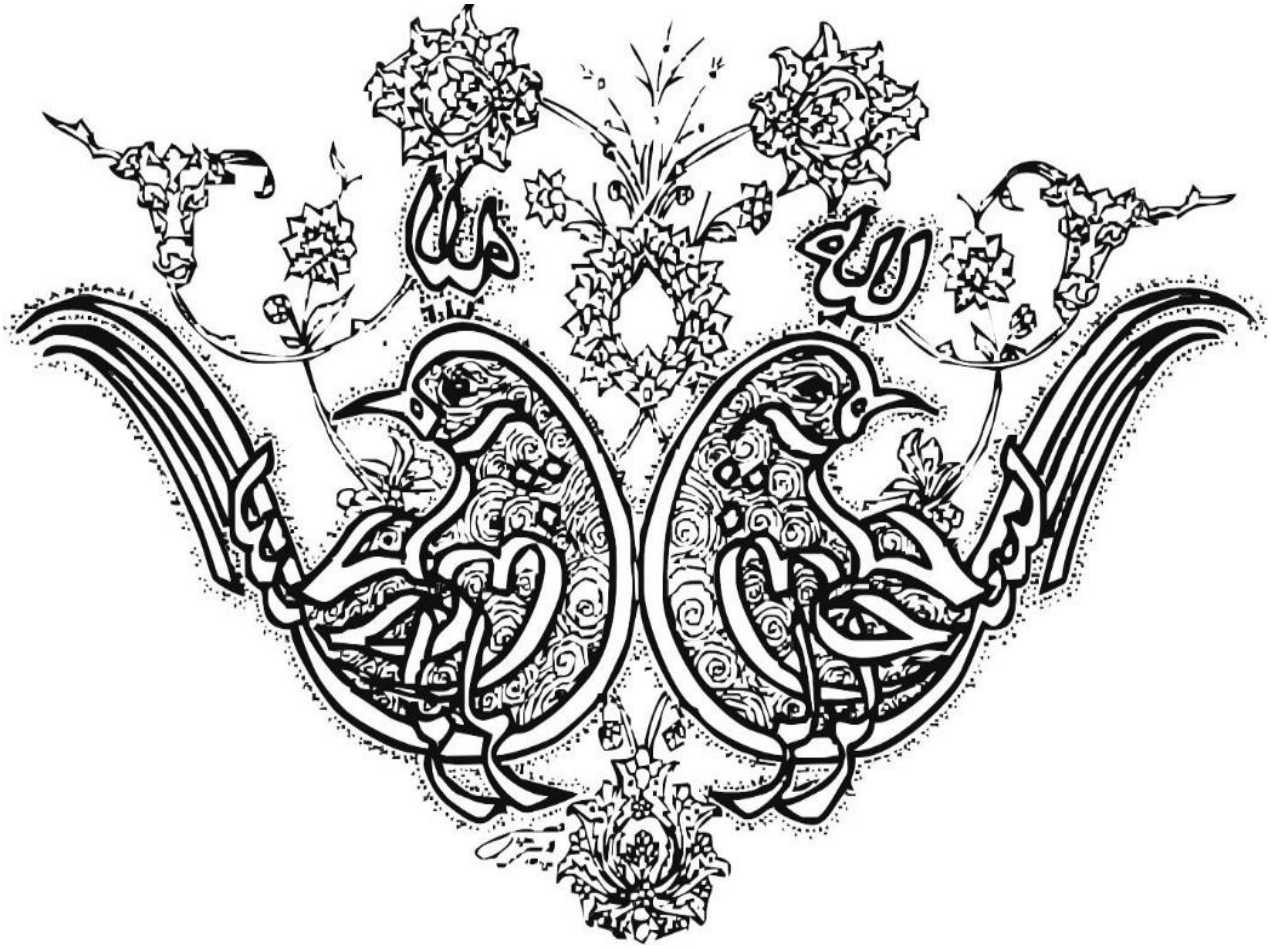

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

بررسی جابجایی طبیعی در یک محفظه مربعی مورب پر شده از نانو سیال تحت میدان مغناطیسی

استاد راهنما:
دکترافراسیاب رئیسی

استاد مشاور:
دکتر بهزاد قاسمی

پژوهشگر:
علی محمد قناعتیان

شهریور ماه ۱۳۹۳

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه آقای **علی محمد قناعتیان** جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی با عنوان: **بررسی جابجایی طبیعی در یک محفظه مربعی مورب پرشده از نانو سیال تحت میدان مغناطیسی** در تاریخ با حضور هیات داوران زیر بررسی و با نمره مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر افراسیاب رئیسی با مرتبه علمی استادیار امضا

۲. استاد مشاور پایان‌نامه دکتر بهزاد قاسمی با مرتبه علمی استاد امضا

۳. استاد داور پایان نامه دکتر علیرضا شاطری با مرتبه علمی استادیار امضا

۴. استاد داور پایان نامه افشین احمدی با مرتبه علمی استادیار امضا

دکتر بهزاد قاسمی
معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی
دانشکده فنی ومهندسی

کلیه حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

جناب آقای دکتر افراســیاب رئیسی، استاد راهنمای گرامی، چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف تو را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی تو را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ســاخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه تو، مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

تقدیم به:

مقدسترین واژه ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم.

پدر، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

پروردگارا:

نه میتوانم موهایشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دستهای پینه بسته شان که ثمره تلاش برای افتخار من است، مرهمی دارم . پس توفیقم ده که هر لحظه شکر گزارشان باشم و ثانیه های عمرم را در عصای دستشان بودن بگذرانم.

چکیده

در این پایان‌نامه، انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک محفظه مربعی مورب پر شده از نانوسیال آب – مس در حضور میدان مغناطیسی به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است. بخشی از دیواره پایین و دیواره سمت چپ عایق و بخشی دیگر از دو دیواره مذکور در دمای T_h می‌باشند. دیواره سمت راست در دمای T_c و دیواره بالا عایق است. ($T_h > T_c$). معادلات گسسته سازی شده با استفاده از الگوریتم سیمپل حل شده است. محاسبات برای بررسی اثر عدد رایلی، زاویه مورب محفظه، کسر حجمی نانوذرات، عدد هارتمن و طول چشمه حرارتی انجام شده است. عدد پرانتل سیال پایه نیز ۶/۲ در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج مشاهده شد که نرخ انتقال حرارت با افزایش عدد رایلی افزایش یافته، ولی با افزایش عدد هارتمن کاهش می‌یابد. افزایش کسر حجمی نانوذرات نیز همیشه باعث افزایش نرخ انتقال حرارت نمی‌شود و تغییرات آن با توجه به عدد رایلی و عدد هارتمن متفاوت است. همچنین افزایش طول چشمه حرارتی، به دلیل افزایش تماس بین نانوسیال و منبع دما گرم، سبب افزایش نرخ انتقال حرارت داخل محفظه می‌شود. نتایج نشان داد که زاویه محفظه می تواند به عنوان پارامتر کنترل برای نرخ انتقال حرارت درون محفظه حاوی نانوسیال استفاده شود. بطوریکه کمترین نرخ انتقال حرارت به ازای زاویه محفظه ۴۵ درجه رخ می‌دهد.

کلمات کلیدی : نانوسیال ، جابجایی آزاد ، محفظه مایل ، میدان مغناطیسی

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فهرست شکل‌ها ۳
فهرست جداول ۵
فهرست نمادها ۶
فصل اول- مقدمه ۹
۱-۱- انتقال حرارت جابجایی ۹
۱-۲- روش‌های افزایش انتقال حرارت ۱۰
۱-۳- معرفی نانوسیال به عنوان محیط جدید انتقال حرارت ۱۰
۱-۴- مزایای بالقوه نانوسیال ۱۱
۱-۴-۱- بهبود انتقال حرارت و پایداری ۱۱
۱-۴-۲- کاهش گرفتگی و انسداد مجاری ۱۱
۱-۴-۳- کاهش اندازه سیستم‌های انتقال حرارت ۱۱
۱-۵- بررسی کارهای انجام شده ۱۱
۱-۶-جایگاه پروژه حاضر ۱۴
فصل دوم- معرفی مسئله و معادلات حاکم بر آن ۱۵
۲-۱- بیان مسئله ۱۵
۲-۲- معادلات حاکم بر محفظه پر شده از نانوسیال ۱۶
۲-۳- بی بعد کردن معادلات ۱۸
۲-۴- شرایط مرزی ۲۰
۲-۵- سایر معادلات ۲۰
فصل سوم- روش عددی حل معادلات حاکم بر جریان ۲۲
۳-۱- جبری سازی معادلات در شبکه عادی ۲۳
۳-۲- شبکه جابجا شده ۲۸
۳-۲-۱ تصحیح فشار و سرعت ۲۸
۳-۲-۲ استخراج معادله تصحیح فشار ۳۰
۳-۲-۳ جداسازی معادله انرژی ۳۱
۳-۳- روند حل معادلات ۳۱
فصل چهارم- ارائه نتایج و نتیجه‌گیری ۳۴
۴-۱- بررسی اعتبار کد کامپیوتری ۳۴
۴-۱-۱- محفظه مربعی پر شده از نانوسیال تحت میدان مغناطیسی ۳۴
۴-۱-۲- محفظه مربعی مورب پر شده از نانوسیال ۳۶
۴-۲- بررسی عدم وابستگی حل به شبکه محاسباتی ۳۷
۴-۳- بررسی اثر قدرت جابجایی(Ra) ۳۸
۴-۴- بررسی اثر طول منبع گرم (L_1) ۴۲

۴-۵- بررسی اثر شدت میدان مغناطیسی (Ha) ۴۵
۴-۶- بررسی اثر کسر حجمی نانوذرات (φ) ۵۰
۴-۷- بررسی اثر زاویه محفظه (γ) ۵۷
۴-۸- جمع بندی و نتیجه‌گیری ۶۴
۴-۷- پیشنهادها ۶۵
منابع ۶۶
Abstract ۶۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: هندسه محفظه ۱۵
شکل ۳-۱: دامنه حل مسئله، نقاط شبکه و دامنه حل یک نقطه مشخص ۲۲
شکل ۳-۲: حجم کنترل در حالت دو بعدی ۲۴
شکل ۳-۳: شار کلی J بین دو نقطه شبکه ۲۵
شکل ۳-۴: شبکه جابجا شده ۲۹
شکل ۳-۵: حجم کنترل برای معادله پیوستگی ۳۰
شکل ۳-۶: نقاط درگیر با حل معادلات در هر مرحله از روش خط به خط(در امتداد y) ۳۲
شکل ۴-۱: طرح شماتیک مرجع [۲۳] ۳۴
شکل ۴-۲: مقایسه دمای بی‌بعد از مطالعه حاضر با مرجع [۲۳] ۳۵
شکل۴-۳: طرح شماتیک مرجع [۸] ۳۶
شکل۴-۴: مقایسه ناسلت موضعی از مطالعه حاضر با مرجع [۸] ۳۷
شکل۴-۵: خطوط همدما (سمت راست) و خطوط جریان (سمت چپ) به ازای رایلی‌های مختلف ۳۹
شکل۴-۶: پروفیل دما (سمت راست) و سرعت عمودی (سمت چپ) در راستای X به ازای رایلی‌های مختلف ۴۰
شکل۴-۷: ناسلت موضعی روی دیواره سرد به ازای رایلی‌های مختلف ۴۱
شکل۴-۸: خطوط همدما (سمت راست) و خطوط جریان (سمت چپ) به ازای طول‌های مختلف منبع حرارتی ۴۳
شکل۴-۹: پروفیل دما (سمت راست) و سرعت عمودی (سمت چپ) در راستای X به ازای طول‌های مختلف منبع حرارتی ۴۴
شکل۴-۱۰: ناسلت موضعی روی دیواره سرد به ازای طول‌های مختلف منبع حرارتی ۴۴
شکل۴-۱۱: خطوط همدما (سمت راست) و خطوط جریان (سمت چپ) به ازای هارتمن‌های مختلف ۴۶
شکل۴-۱۲: پروفیل دما (سمت راست) و سرعت عمودی (سمت چپ) در راستای X به ازای هارتمن‌های مختلف ۴۷
شکل۴-۱۳: ناسلت موضعی روی دیواره سرد به ازای هارتمن‌های مختلف ۴۸
شکل۴-۱۴: تغییرات ناسلت متوسط روی دیواره سرد به ازای هارتمن و رایلی‌های مختلف ۴۸
شکل۴-۱۵: نسبت تغییرات ناسلت متوسط به ناسلت متوسط با هارتمن صفر نسبت به رایلی ۴۹
شکل۴-۱۶: خطوط همدما (سمت راست) و خطوط جریان (سمت چپ) به ازای کسر حجمی مختلف ۵۰
شکل۴-۱۷: پروفیل دما (سمت راست) و سرعت عمودی (سمت چپ) در راستای X به ازای کسر حجمی مختلف ۵۱
شکل۴-۱۸: ناسلت موضعی دیواره سرد به ازای کسر حجمی مختلف ۵۲
شکل۴-۱۹: پروفیل سرعت عمودی در Y=0.5 در کسر حجمی و عدد رایلی مختلف ۵۴
شکل۴-۲۰: ناسلت موضعی دیواره سرد در کسر حجمی و عدد رایلی مختلف ۵۵
شکل۴-۲۱: تغییرات نسبت نوسلت متوسط با عدد رایلی در کسر حجمی و عدد رایلی مختلف ۵۷
شکل۴-۲۲: خطوط همدما (سمت راست) و خطوط جریان (سمت چپ) به ازای زاویه مختلف محفظه ۵۸
شکل ۴-۲۳: ناسلت موضعی روی دیواره سرد به ازای زاویه مختلف محفظه ۵۹

شکل ۴-۲۴: ناسلت موضعی روی دیواره گرم سمت چپ به ازای زاویه مختلف محفظه..... ۶۰
شکل ۴-۲۵: ناسلت موضعی روی دیواره گرم پایین به ازای زاویه مختلف محفظه..... ۶۰
شکل۴-۲۶: تأثیر عدد رایلی بر ناسلت متوسط دیواره سرد به ازای کسر حجمی و زاویه مختلف محفظه..... ۶۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: خواص ترموفیزیکی آب و مس ۱۷
جدول ۲-۲: جملات معادلات حاصل از معادله (۲-۲۳) ۱۹
جدول ۴-۱: مقایسه نوسلت متوسط در محفظه مربعی با نتایج مرجع [۲۳] ۳۶
جدول ۴-۲: تاثیر تعداد نقاط بر عدد ناسلت و تابع جریان ماکزیمم ۳۸
جدول ۴-۳: تاثیر تعداد نقاط بر تابع جریان ماکزیمم ۳۸
جدول ۴-۴: تابع جریان ماکزیمم به ازای رایلی‌های مختلف ۴۰
جدول ۴-۵: ناسلت متوسط روی دیواره‌های دما ثابت به ازای رایلی‌های مختلف ۴۱
جدول ۴-۶: تابع جریان ماکزیمم به ازای طول‌های مختلف منبع حرارتی ۴۲
جدول ۴-۷: ناسلت متوسط روی دیواره‌های دما ثابت به ازای طول‌های مختلف منبع حرارتی ۴۵
جدول ۴-۸: تابع جریان ماکزیمم به ازای هارتمن‌های مختلف ۴۷
جدول ۴-۹: ناسلت متوسط روی دیواره‌های دما ثابت به ازای هارتمن‌های مختلف ۴۸
جدول ۴-۱۰: تابع جریان ماکزیمم به ازای کسر حجمی مختلف ۵۱
جدول ۴-۱۱: ناسلت متوسط دیواره‌های دما ثابت به ازای کسر حجمی مختلف ۵۲
جدول ۴-۱۲: تابع جریان ماکزیمم در رایلی و کسر حجمی مختلف ۵۳
جدول ۴-۱۳ ناسلت متوسط دیواره سرد در رایلی و کسر حجمی مختلف ۵۵
جدول ۴-۱۴: تابع جریان ماکزیمم در هارتمن و کسر حجمی مختلف ۵۶
جدول ۴-۱۵: ناسلت متوسط دیواره سرد در هارتمن و کسر حجمی مختلف ۵۶
جدول ۴-۱۶: ناسلت متوسط روی دیواره‌های دما ثابت به ازای زاویه مختلف محفظه ۶۰
جدول ۴-۱۷: تابع جریان ماکزیمم در رایلی و زاویه مختلف محفظه ۶۱
جدول ۴-۱۸: ناسلت متوسط دیواره سرد در رایلی و زاویه مختلف محفظه ۶۱
جدول ۴-۱۹: تابع جریان ماکزیمم به ازای هارتمن و زاویه مختلف محفظه ۶۲
جدول ۴-۲۰: ناسلت متوسط دیواره سرد به ازای هارتمن و زاویه مختلف محفظه ۶۲

فهرست نمادها

B_o	قدرت میدان مغناطیسی، T
C_p	ظرفیت گرمایی ویژه، J/kgK
g	شتاب جاذبه زمین، ms^{-2}
h	ضریب انتقال حرارت جابجایی، $Wm^{-2}k^{-1}$
k	ضریب هدایت گرمایی، $Wm^{-1}k^{-1}$
L	طول و ارتفاع محفظه، m
L_1	طول منبع حرارتی، m
$\overline{p}$	فشار اصلاح شده، $p+\rho_c gy$
p	فشار، Pa
P	فشار بی‌بعد، $\overline{p}L^2/\rho_{nf}\alpha^2$
S	جمله چشمه در معادله مومنتم
t	زمان، s
T	دما، k
u	سرعت در جهت x، ms^{-1}
U	سرعت بی بعد در جهت x، $U=u/u_{ref}$
v	سرعت در جهت y، ms^{-1}
V	سرعت بی بعد در جهت y، $V=v/u_{ref}$
x	طول، m
X	طول بدون بعد، $X=x/L$
y	عرض، m
Y	عرض بدون بعد، $Y=y/L$
Ha	عدد هارتمن، $Ha=B_oL\sqrt{\sigma_f/\rho_f\vartheta_f}$

Nu	عدد نوسلت، $Nu = hL/k_f$
Pr	عدد پرانتل، $\mathrm{Pr} = \upsilon/\alpha$
Ra	عدد رایلی، $Ra = g\ \beta_f\ L^3(T_H - T_C)/\nu_f\alpha_f$

حروف یونانی

α	ضریب پخش حرارتی، $m^2 s^{-1}$
β	ضریب انبساط گرمایی، T^{-1}
ϕ	پارامتر بی‌بعد در معادله ۲-۲۱
φ	کسر حجمی نانوذرات
γ	زاویه محفظه نسبت به افق
Γ_ϕ	ضریب پخش در معادله ۲-۲۱
μ	لزجت دینامیکی، $Pa.s$
ϑ	لزجت سینماتیکی، $m^2 s^{-1}$
θ	دمای بی بعد، $\theta = (T - T_c)/(T_h - T_c)$
ρ	دانسیته، $kg.m^{-3}$
σ	هدایت الکتریکی
ψ	تابع جریان

زیرنویس

b	دیواره پایین
c	دیواره سرد
f	سیال
h	دیواره گرم
l	دیواره سمت چپ
max	بیشترین مقدار
nf	نانوسیال

p	نانوذره

بالانویس

*	متغیر حدسی
'	متغیر تصحیح

فصل اول

مقدمه

۱-۱ انتقال حرارت جابه‌جایی

به طور کلی حرارت یا گرما در اثر اختلاف دما می‌تواند منتقل شود و جهت شار حرارتی همواره از سمت گرم‌تر به سمت سردتر است. انتقال حرارت به سه روش هدایت، جابه‌جایی و تشعشع انجام می‌گیرد. انتقال حرارت هدایتی وقتی خواهیم داشت که در یک محیط ساکن گرادیان دما وجود داشته باشد. جابه‌جایی هنگام حرکت یک سیال از مجاور یک سطح با دمای متفاوت مطرح می‌شود و بالاخره کلیه سطوح با توجه به دمایی که دارند از خود انرژی صادر می‌کنند که اگر دو جسم با دمای متفاوت بتوانند با یکدیگر تشعشع مبادله کنند، انتقال حرارت تشعشعی خواهیم داشت.

انتقال حرارت جابجایی در واقع شامل دو مکانیزم است. به عبارتی علاوه بر پخش انرژی در اثر حرکت رندوم مولکولها، در اینجا حرارت از طریق حرکت کلی سیال نیز منتقل می‌شود. می‌توان گفت که حرکت کل سیال با دمای متفاوت با دمای سطح باعث انتقال حرارت می‌شود، که این انتقال حرارت شامل هر دو مکانیزم فوق است. بر اساس طبیعت جریان سیال می‌توان انتقال حرارت جابه‌جایی را به جابه‌جایی اجباری و جابه‌جایی آزاد تقسیم‌بندی کرد. در جابه‌جایی اجباری عامل حرکت سیال یک عامل خارجی، مانند پمپ، فن و یا وزش باد است. ولی در جابه‌جایی آزاد (طبیعی) حرکت سیال در اثر نیروهای غوطه‌وری است که در نتیجه تغییرات جرم حجمی در اثر گرادیان دما در سیال به وجود می‌آید. مواقعی که جریان جابجایی اجباری در اثر جریان سیال با سرعت کم داشته باشیم، جابه‌جایی آزاد نیز می‌تواند در رفتار سیال اثر بگذارد و به عبارتی جابجایی توأم آزاد و اجباری داشته باشیم.

همانطور که بیان شد، در جابه‌جایی آزاد، حرکت سیال ناشی از نیروی غوطه‌وری در سیال است. نیروی غوطه‌وری در اثر حضور توأم گرادیان چگالی سیال و نیروی جسمی متناسب با آن به وجود می‌آید. نیروی جسمی، عمل

گرانش است هر چند که نیروی کریولیس در حرکتهای چرخشی اقیانوس یا جو نیز می‌تواند به عنوان نیروی جسمی عمل کند. گرادیان چگالی جرمی در یک سیال به دلایل مختلف می‌تواند ایجاد شود که متداولترین آنها حضور گرادیان دماست.

چگالی گازها و مایعات به دما بستگی دارد و معمولاً با افزایش دما (به دلیل انبساط سیال) کاهش می‌یابد. البته باید توجه داشت که حضور گرادیان چگالی لزوماً موجب جریان جابجایی در سیال نمی‌شود. باید گرادیان چگالی به نحوی باشد که چگالی سیال در جهت گرانش کاهش یابد و اختلاف دما از یک حد بحرانی تجاوز کند تا با غلبه نیروهای غوطه‌وری بر اثرات نیروهای اصطکاکی شرایط ناپایدار ایجاد شود. اگر سیالی بین دو صفحه افقی در دماهای متفاوت قرار گرفته باشد، دو حالت اتفاق می‌افتد. در یک حالت دمای صفحه پایینی بیشتر از دمای صفحه بالایی است و در حالت دیگر دمای صفحه پایینی کمتر از دمای صفحه بالایی است. در حالت اول، چون چگالی در جهت گرانش کاهش می‌یابد، اگر اختلاف دما از حد بحرانی بیشتر شود، شرایط ناپایدار ایجاد می‌شود. در حالت دوم، چون چگالی در جهت نیروی گرانش کم نمی‌شود، امکان ایجاد جریان چرخشی و شرایط ناپایدار وجود نداشته و حرکت توده سیال به وجود نمی‌آید. نهایتاً در حالت اول انتقال حرارت از سطح گرم به سطح سرد در اثر جابجایی آزاد صورت می‌گیرد و در حالت دیگر انتقال حرارت از سطح گرم به سطح سرد در اثر هدایت روی می‌دهد[۱].

۱-۲ روش‌های افزایش انتقال حرارت

در چند دهه اخیر به منظور صرفه جویی در مصرف انرژی و مواد اولیه و با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و زیست محیطی تلاش های زیادی برای ساخت دستگاههای تبادل حرارت پر بازده صورت پذیرفته است. هدف اصلی کاهش اندازه مبدل حرارتی مورد نیاز برای یک بار حرارتی معین و افزایش ظرفیت مبدلهای حرارتی موجود می باشد. تقاضای جهانی برای دستگاههای تبادل حرارت، قابل اطمینان و اقتصادی مخصوصا درصنایع فرآیندی، تولید الکتریسیته، سیستم های سرمایش و تهویه مطبوع، مبدلهای حرارتی و وسایل نقلیه، به سرعت روبه افزایش است. اگر اصول مربوط به روش های افزایش انتقال حرارت و طراحی دستگاههای انتقال حرارت با سطح زیاد به خوبی شناخته شوند، امکان افزایش صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست میسر خواهد بود.

۱- ۳ معرفی نانوسیال به عنوان محیط جدید انتقال حرارت

از جمله روشهای افزایش انتقال حرارت، مخلوط کردن سیالات متداول نظیر آب (سیال پایه) و ذرات جامد با ابعاد نانومتری می‌باشد که موجب افزایش بازده انتقال حرارت در تجهیزاتی نظیر مبدلهای حرارتی، افزایش هدایت حرارتی سیال حامل انرژی و افزایش ضریب جابجایی انتقال حرارت نقش اساسی را برعهده دارند. سیالات متداول در انتقال حرارت و حامل انرژی در صنایع را معمولا سیالاتی نظیر آب، روغن ها و اتیل گلیکول تشکیل می‌دهند. با افزایش رقابت جهانی در زمینه صنایع مختلف و نقش انرژی در هزینه تولید، این صنایع به شدت به سمت توسعه سیالات پیشرفته و جدید با شاخص‌های حرارتی بالا پیش می‌روند.

۱-۴ مزایای بالقوه نانوسیال

فرآیند انتقال حرارت و استفاده از مبدلهای حرارتی در اغلب صنایع کوچک و بزرگ وجود دارد. افزایش میزان انتقال حرارت و کارایی مبدلهای حرارتی به معنی صرفه جویی میلیون ها دلار در هزینه‌های صنایع می‌باشد. با رفتاری که نانوسیال از خود در زمینه انتقال حرارت نشان داده است، امید به چنین صرفه‌جویی در صنایع، بویژه صنایع بزرگ بیشتر شده است. برخی از مزایا و قابلیت‌های بالقوه نانوسیال به قرار زیر است:

۱-۴-۱ بهبود انتقال حرارت و پایداری

کاهش اندازه ذرات یک جامد که توام با افزایش تعداد آنها در واحد حجم می‌باشد، منجر به افزایش سطح مخصوص می‌گردد. به طوری که سطح مخصوص ذراتی با اندازه نانومتری در حدود ۱۰۰۰ برابر سطح مخصوص ذراتی با ابعاد میکرومتر می‌باشد. با کاهش ذرات به حدود نانومتر درصد بیشتری از اتم‌های آن در نزدیکی سطح قرار می‌گیرند. سطح ذرات در انتقال حرارت مؤثر بوده و استفاده از نانوسیال به افزایش سطح انتقال حرارت منجر می‌شود. نانوذرات به کار گرفته شده یک سطح بسیار زیاد برای موضوع انتقال حرارت ایجاد می‌کند و همین عامل یک مزیت بالقوه برای نانوسیال می‌باشد. مقایسه سطح ایجاد شده برای انتقال حرارت در نانوذرات با سطح پودرهای متداول میکرومتری بیانگر توانایی و قابلیت زیاد نانوذرات در افزایش انتقال حرارت و ایجاد سوسپانسیون پایدار می‌باشد. لازم به ذکر است که یکی از مشکلات افزودن ذرات به اندازه میکرو به سیال پایه، ته‌نشینی سریع آنها می‌باشد که با کاهش اندازه به مقیاس نانو تا حدود زیادی مرتفع می‌گردد.

۱-۴-۲ کاهش گرفتگی و انسداد مجاری

همانطور که ذکر شد، ایده افزایش انتقال حرارت با استفاده از افزودن ذرات به یک سیال پایه، قدمتی نزدیک به صد سال دارد. لیکن ذراتی که در تحقیقات قدیمی به سیالات افزوده می‌شد، دارای اندازه‌های میکرومتری بودند. این ذرات پایداری لازم در سوسپانسیون را نداشته و به سرعت ته‌نشین می‌شوند. همین امر سبب می‌شود که مجاری عبور سیال به سرعت مسدود گردد. در حالی که ذرات با اندازه نانو تشکیل سوسپانسیون‌های بسیار پایدارتری داده و پایین بودن سرعت ته‌نشینی آنها سبب می‌گردد تا مشکل گرفتگی و انسداد مجاری به حداقل برسد. از طرفی بزرگی ذرات میکرومتری سبب می‌شود تا نتوان از آنها در مجاری میکروکانالها استفاده کرد، درحالی که اندازه نانویی ذرات این امکان را می‌دهد تا از نانوسیال بتوان در میکروکانالها استفاده کرد.

۱-۴-۳ کاهش اندازه سیستم های انتقال حرارت

با توجه به قابلیتی که نانوسیال از خود در افزایش انتقال حرارت نشان داده است، برای انتقال یک مقدار مشخص حرارت، مبدلهای حرارتی لازم وقتی که از نانوسیال بجای سیال معمولی برای انتقال حرارت استفاده شود، از حجم و اندازه کوچکتری برخوردار خواهند شد.

۱-۵ بررسی کارهای انجام شده

از جمله کارهای دقیق اولیه در زمینه انتقال حرارت درون محفظه، می‌توان به بررسی‌های دیویس [۲] اشاره نمود. این محقق جابجایی آزاد در یک محفظه مربعی با دیواره‌های افقی عایق و دیواره‌های عمودی در دو دمای ثابت و متفاوت را به روش عددی حل نموده است. در این مقاله با استفاده از روش‌های برون‌یابی جواب‌های دقیقی ارائه شده است که امروزه جهت کنترل جواب‌های کدهای کامپیوتری در مسائل جابجایی آزاد استفاده می‌شود . با افزایش عدد رایلی گردابه‌های تشکیل شده در نمودارهای خطوط جریان تقویت می‌شوند. همچنین مقدار تابع جریان ماکزیمم و نرخ انتقال حرارت از محفظه نیز که در قالب عدد ناسلت بیان شده است با افزایش عدد رایلی، زیاد می‌شود. نیدیادوی و همکارانش [۳] جابجایی آزاد را در محفظه مستطیلی با دیواره جانبی گرم، در نه موقعیت مختلف منبع حرارتی، مورد بررسی قرار دادند. ناحیه گرم در بالا، وسط، و پایین محفظه واقع شده و موقعیت ناحیه سرد نیز از پایین تا بالای محفظه تغییر می‌کند، تا بیشترین و کمترین مقدار انتقال حرارت مشخص گردد. آنها دریافتند که اگر موقعیت ناحیه گرم برای یک ناحیه سرد ثابت، تغییر می‌کند، تغییر مشهودی در نرخ انتقال حرارت مشاهده نمی‌شود. علاوه بر اینکه اگر ناحیه سرد در بالای محفظه واقع شود، نرخ انتقال حرارت افزایش چشمگیری دارد. دنگ و همکاران [۴]، جابجایی آزاد جریان آرام در محفظه مستطیلی با منابع حرارتی مجزا بر روی دیواره را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که به طور کلی نقش منابع حرارتی دما ثابت از منابع حرارتی شار ثابت، بیشتر است. محمودی و همکاران [۵] به حل عددی جریان جابجایی آزاد نانوسیال آب - مس در یک محفظه مربعی شامل یک منبع حرارتی افقی روی یک ضلع عمودی محفظه پرداختند. آنها اثر پارامترهایی چون عدد رایلی، موقعیت مکانی منبع حرارتی و درصد حجمی نانوذرات بر انتقال حرارت محفظه را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که مهمترین پارامتر مؤثر بر خواص جریان و انتقال حرارت، ابعاد منبع حرارتی است، به صورتی که با افزایش طول منبع حرارتی، نرخ انتقال حرارت محفظه کاهش می یابد. همچنین به ازای طول منبع حرارتی و عدد ریلی مشخص، ناسلت متوسط به صورت خطی با درصد حجمی نانوذرات تغییر کرده و با افزایش این پارامتر، نرخ انتقال حرارت نیز افزایش می‌یابد. همچنین به ازای مقادیر بالاتر عدد رایلی، انتقال حرارت جابجایی بیشتر می شود. خانفر و همکاران [۶] به حل عددی جریان جابجایی آزاد یک نانوسیال داخل یک محفظه مربع شکل پرداختند. آنها با بررسی اثر افزودن نانوذرات به سیال خالص به این نتیجه رسیدند که هرچه درصد حجمی نانوذرات بیشتر شود، نرخ انتقال حرارت محفظه بیشتر می شود. امین السادات و قاسمی [۷] مطالعه ای روی جابجایی آزاد، با در نظر گرفتن یک منبع حرارتی که در ته یک محفظه بسته پر از نانوسیال قرار داشت را انجام دادند. در این مقاله، تأثیر عدد رایلی، محل و هندسه گرم‌کن، نوع نانوذرات و نسبت حجمی نانوذرات روی عملکرد سرمایش مطالعه شد. نتایج نشان می‌دهد که اضافه کردن نانوذرات به آب خالص، عملکرد سرمایشی بهتری را ایجاد می‌کند، مخصوصا در اعداد رایلی کوچک این امر چشمگیرتر است. نوع نانوذرات، طول و محل گرم‌کن روی حداکثر دمای گرم‌کن، تأثیر معناداری دارد. هرچه نسبت حجمی ذرات بالاتر رود، تغییرات ناسلت متوسط در اعداد رایلی پایین، یعنی 10^4، بیشتر از رایلی‌های بالا، یعنی 10^5 و 10^6 است. ابونادا و اوزتوپ [۸] تأثیر زاویه مایل بودن محفظه پر شده از نانوسیال آب- مس را بررسی و مطالعه کردند .آنها به این نتیجه رسیدند که زاویه مایل می‌تواند یک پارامتر کنترل برای محفظه پر شده از نانوسیال باشد و نیز درصد افزایش انتقال حرارت با استفاده از نانوذرات برای اعداد رایلی بزرگتر کاهش می یابد. الناجم و همکاران [۹] میدان‌های دما و جریان را تحت اعمال یک میدان مغناطیسی در یک محفظه مایل با دیواره‌های عمودی دما ثابت و دیواره‌های افقی عایق برای سیالی با عدد پرانتل ۰/۷۱ با استفاده از روش

حجم کنترل براساس قاعده توانی بررسی نموده‌اند. آنها نشان دادند که اعمال یک میدان مغناطیسی بر جریان-های جابجایی آزاد و انتقال حرارت، در زوایای انحراف کوچکتر و اعداد گراشف بالاتر تاثیر بیشتری دارد. مهمت و الیف [۱۰] تأثیر اعمال میدان مغناطیسی بر جریان درون محفظه‌های مربعی و مستطیل شکل مایل را که دو دیواره جانبی آن گرم و سرد و دو دیواره دیگر عایق بودند را برای سیالی با عدد پرانتل ۱ به طور عددی مطالعه کردند. آنها نشان دادند که زاویه قرارگیری محفظه نسبت به افق، نسبت ابعاد محفظه، قدرت و جهت اعمال میدان مغناطیسی، تأثیرات قابل توجهی را بر میدان جریان و انتقال حرارت می‌گذارند. تیاما [۱۱] اثر جابجایی آزاد را در یک محفظه مستطیل شکل، تحت یک میدان مغناطیسی ثابت، در حالی‌که دیواره‌های بالا و پایین عایق و دیواره‌های جانبی در دمای ثابت باشند را بررسی کرده است. وی نشان داد که عدد ناسلت متوسط که معیاری برای نرخ انتقال حرارت داخل محفظه در نظر گرفته می‌شود، با افزایش عدد رایلی افزایش و با افزایش قدرت میدان مغناطیسی کاهش می‌یابد. پیرمحمدی و قاسمی [۱۲] نیز به بررسی جابجایی طبیعی، پایدار و آرام جریان در حضور یک میدان مغناطیسی در یک محفظه مربع شکل با دیواره گرم در پایین و دیواره سرد در بالا و دو دیواره عایق عمودی برای زاویه ی صفر درجه محفظه در نظر گرفتند. سپس با چرخاندن پادساعتگرد محفظه در زاویه های ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه و اعداد رایلی و هارتمن متفاوت به مطالعه اثر شیب محفظه پرداختند و نشان دادند شیب محفظه تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر حرکت‌های سیال و پارامترهای انتقال حرارت دارد و حداکثر انتقال حرارت در زاویه محفظه ۴۵ درجه اتفاق می‌افتد. انتقال حرارت برای صفحات عمودی گرم و سرد، با نرخ بیشتری نسبت به صفحات عمودی آدیاباتیک صورت می‌پذیرد. شیخ زاده و همکاران [۱۳] با استفاده از روش‌های عددی، یک محفظه دو بعدی حاوی سیالی با عدد پرانتل ۰/۷۱ را که بخشی از دیواره راست محفظه گرم و بخشی از دیواره چپ آن سرد بود و در معرض یک میدان مغناطیسی ثابت قرار داشت را مدلسازی کرده و میدان دما و انتقال حرارت را مورد بررسی قرار دادند. آنها نتایج را برای مقادیر مختلف اعداد رایلی، هارتمن و زاویه قرارگیری محفظه نسبت به افق ارائه نمودند و مشاهده کردند که قدرت میدان مغناطیسی اعمالی یکی از پارامترهای مهم در تضعیف جریان‌های جابجایی آزاد می‌باشد و با اعمال میدان مناسب می‌توان جابحایی آنها را از بین برد. آنها همچنین دریافتند که قرارگیری محفظه در زاویه‌هایی بزرگتر از ۳۰ درجه نسبت به افق نیز می تواند یک عامل موثر در تضعیف جریان های جابجایی آزاد باشد. خو و همکاران [۱۴] یک مطالعه تجربی روی انتقال حرارت جابجایی آزاد با حضور میدان مغناطیسی درون محفظه‌ای مستطیل شکل که از گالیم مذاب پر شده بود، انجام دادند. آنها نشان دادند که حضور میدان مغناطیسی باعث کاهش انتقال حرارت می‌شود. آنها همچنین نشان دادند اگر قدرت میدان مغناطیسی بالا و قدرت جابجایی پایین باشد، خطوط جریان در مرکز محفظه کشیده شده و خطوط دما ثابت تقریبا موازی می‌شود که نشان دهنده غالب شدن هدایت حرارتی در مرکز محفظه می‌باشد. محمودی و همکاران [۱۵] انتقال حرارت در محفظه مربعی حاوی نانوسیال با مانعی عایق روی دیواره پایین با دیواره‌ای ضخیم در قسمت سمت چپ را مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که افزایش کسر حجمی نانوذرات به ازای تمامی مقادیر عدد رایلی، باعث افزایش نرخ انتقال می‌شود. آنها همچنین نشان دادند که موقعیت مانع روی دیواره پایین بر نرخ انتقال حرارت اثر می‌گذارد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که افزایش عدد رایلی موجب افزایش نرخ انتقال حرارت می‌شود. امین‌الساداتی و قاسمی [۱۶] انتقال حرارت در محفظه مربعی مورب با یک مانع رسانا را مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که استفاده از نانوذرات باعث بهبود نرخ انتقال حرارت می‌شود و ابعاد مانع بر نرخ انتقال حرارت اثر می‌گذارد. آنها همچنین