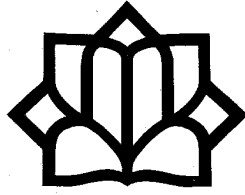


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

عنوان:

بررسی عددی تأثیر اعمال یک میدان مغناطیسی بر جریان
جابجایی آزاد و انتقال حرارت در یک حفره دو بعدی در حالت
گذرا

استاد راهنما:

دکتر قنبرعلی شیخ زاده

استاد مشاور:

دکتر مجید سبزوoshانی

به وسیله:

وحید رحمانی

دی ۱۳۸۷

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که ما را در راه کسب دانش یاری نمود. در اینجا بر خود لازم می دانم تا از تمامی اساتید بزرگوار به ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت یاری نموده‌اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار **جناب آقای دکتر شیخ زاده** که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده‌اند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم. همچنین از **جناب آقای دکتر سبز پوشانی** به عنوان مشاور که با راهنمایی خود بنده را مورد لطف قرار دادند کمال تشکر را دارم.

همچنین از **تشریک مساعی آقای دکتر خراسانی زاده** به عنوان استاد داور داخل دانشگاه و **آقای دکتر فرهادی** به عنوان استاد داور مدعو خارج از دانشگاه که این پایان نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند تشکر می نمایم.

در پایان از **جناب آقای دکتر ابراهیم پور** که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند سپاسگزاری می نمایم.

تقدیم به:

پدر، مادر

و

همسر مهربانم

چکیده

وجود جریان جابجایی آزاد درون محفظه‌ای که از یک مذاب در حال انجماد پر شده است باعث پدیدار شدن یک ساختار غیر همگن و درشت دانه در محصول نهایی می‌گردد. بمنظور رفع این مشکل، دانشمندان علم مواد از دانش هیدرودینامیک مغناطیسی کمک گرفته، و با اعمال یک میدان مغناطیسی مناسب بر مذاب درون محفظه، جریان جابجایی را کاهش داده و یک ساختار ریز دانه و همگن در محصول نهایی بوجود آورده‌اند. در این تحقیق، با نوشتن یک برنامه کامپیوتری، به بررسی عددی تأثیر اعمال یک میدان مغناطیسی ثابت بر جریان جابجایی آزاد و میدان دما در حالت گذرا و آرام درون یک محفظه دو بعدی حاوی فلز گالیم مذاب با عدد پرانتل $0,02$ برای سه مسئله‌ی مختلف در محفظه‌ای با دیواره‌های جانبی دما ثابت و دیواره‌های جانبی شار حرارتی ثابت پرداخته شده است. علاوه بر بررسی تأثیر قدرت میدان مغناطیسی (عدد هارتمن) بر میدان جریان و میدان دما، تأثیر تغییرات پارامترهای مختلف دیگری نظیر عدد رایلی، زاویه قرارگیری محفظه نسبت به افق، زاویه اعمال میدان مغناطیسی و نسبت ابعاد محفظه بر میدان جریان و میدان دما مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. برای تبدیل معادلات دیفرانسیل به معادلات جبری از روش حجم محدود ارائه شده توسط پاتنکار استفاده شده است. نتایج حاصله بصورت خطوط دما ثابت، خطوط جریان و همچنین نمودارهای تغییرات ضریب انتقال حرارت ارائه شده است. نتایج نشان دادند که با افزایش عدد هارتمن، بخاطر تقابل نیروی لورنتز با نیروی شناوری، از مقادیر سرعت درون محفظه کاسته شده و در نتیجه ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان و نرخ انتقال حرارت کلی بین دیواره‌های گرم و سرد محفظه کاهش یافته و جابجایی آزاد تضعیف می‌شود. همچنین با اعمال یک میدان مغناطیسی مناسب می‌توان جابجایی آزاد را از بین برده و و به سمت هدایت خالص پیش رفت. همچنین جابجایی تضعیف شده در اعداد هارتمن بالا، قابل محو شدن با افزایش زاویه انحراف محفظه از 0 تا 90 درجه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد. همچنین کمترین مقدار عدد ناسلت متوسط مربوط به اعمال میدان مغناطیسی در راستای عمود بر شتاب ثقل برای اعداد رایلی بالا و انتخاب محفظه‌ای با نسبت ابعاد 2 برای تمام اعداد رایلی می‌باشد.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول: مقدمه

۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ مروری بر کارهای گذشته
۳	۳-۱ هدف و موضوع این پژوهش
۸	۴-۱ روش تحقیق و بررسی
۱۰	۵-۱ روش حل عددی مورد استفاده در این مسئله
۱۱	

فصل دوم: هیدرودینامیک مغناطیسی و کاربردهای آن

۱۳	۱-۲ مقدمه
۱۴	۲-۲ توصیف هیدرودینامیک مغناطیسی (MHD) و کاربردهای آن
۱۴	۳-۲ خلاصه‌ای از تاریخچه‌ی هیدرودینامیک مغناطیسی
۱۸	۴-۲ از الکترودینامیک تا هیدرودینامیک مغناطیسی
۱۹	۱-۴-۲ پارامترهای مهم در الکترودینامیک و هیدرودینامیک مغناطیسی
۱۹	۲-۴-۲ مرور قوانین الکترودینامیک
۲۰	۵-۲ خلاصه‌ای از نتایج کلیدی در هیدرودینامیک مغناطیسی
۲۲	۶-۲ بعضی از کاربردهای هیدرودینامیک
۲۳	

فصل سوم: معادلات حاکم بر هیدرودینامیک مغناطیسی

۲۸

۲۹	۱-۳ مقدمه
۲۹	۲-۳ قوانین اساسی الکترودینامیک
۲۹	۱-۲-۳ قانون کولن
۳۰	۲-۲-۳ میدان الکتریکی
۳۱	۳-۲-۳ قانون گوس
۳۲	۴-۲-۳ قضیه استوکس
۳۲	۵-۲-۳ میدان الکتریکی و نیروی لورنتز
۳۳	۶-۲-۳ قانون اهم و نیروی حجمی لورنتز
۳۷	۷-۲-۳ قانون آمپر
۳۸	۸-۲-۳ قانون فارادی
۴۲	۹-۲-۳ معادله انتقال برای میدان مغناطیسی \vec{B}
۴۴	۳-۳ معادلات حاکم
۴۴	۱-۳-۳ معادله پیوستگی
۴۵	۲-۳-۳ معادله مومنتوم
۴۶	۳-۳-۳ معادله انرژی
۴۸	۴-۳ جابجایی آزاد
۵۳	۵-۳ معادلات حاکم بر جریان جابجایی آزاد در حضور میدان مغناطیسی ثابت
۵۵	۱-۵-۳ شرایط مرزی و اولیه در مسئله اول
۵۷	۲-۵-۳ شرایط مرزی و اولیه در مسئله دوم
۵۸	۳-۵-۳ شرایط مرزی و اولیه در مسئله سوم
۶۱	۴-۵-۳ معادلات حاکم به شکل بدون بعد در سه مسئله حاضر

فصل چهارم: محاسبات عددی

۶۲

- ۱-۴ مقدمه ۶۳
- ۲-۴ شکل‌گیری معادله انفصال ۶۳
- ۱-۲-۴ شبکه میدان حل ۶۳
- ۲-۲-۴ انفصال معادلات ۶۴
- ۳-۲-۴ ضریب زیر تخفیف ۶۷
- ۴-۲-۴ شکل نهائی معادله انفصال ۶۷
- ۳-۴ ارزیابی میدان فشار ۶۹
- ۱-۳-۴ تصحیح فشار و سرعت ۶۹
- ۲-۳-۴ معادله تصحیح فشار ۷۰
- ۳-۳-۴ معادله فشار ۷۲
- ۴-۴ اعمال شرایط مرزی و اولیه ۷۳
- ۱-۴-۴ شرایط اولیه ۷۳
- ۲-۴-۴ شرایط مرزی برای معادله سرعت ۷۳
- ۳-۴-۴ شرایط مرزی برای دما ۷۵
- ۵-۴ روش حل معادلات ۷۶

فصل پنجم: بحث و بررسی نتایج

۷۷

- ۱-۵ مقدمه ۷۷
- ۲-۵ انتخاب شبکه مناسب ۷۷
- ۱-۲-۵ نسبت ابعاد برابر با ۱ ۷۷
- ۲-۲-۵ نسبت ابعاد برابر با ۰,۵ ۷۸

۷۸	..... ۳-۲-۵ نسبت ابعاد برابر با ۲
۸۰	..... ۳-۵ بررسی عملکرد برنامه کامپیوتری
۸۰	..... ۱-۳-۵ مدلسازی جابجایی آزاد درون محفظه
	..... ۲-۳-۵ مدلسازی جابجایی آزاد درون محفظه‌ای با دیواره‌های جانبی دما ثابت تحت تاثیر یک
۸۲	..... میدان مغناطیسی ثابت
	..... ۳-۳-۵ مدلسازی گذرای جابجایی آزاد درون محفظه‌ای با دیواره‌های جانبی دما ثابت تحت تاثیر
۸۴	..... یک میدان مغناطیسی ثابت
	..... ۴-۳-۵ مدلسازی جابجایی آزاد درون محفظه‌ای با دیواره‌های جانبی تحت شار حرارتی ثابت در
۸۴	..... حضور یک میدان مغناطیسی ثابت
۸۶	..... ۴-۵ بررسی نتایج
۸۷	..... ۱-۴-۵ حل مسئله اول
۸۷	..... ۱-۱-۴-۵ مقایسه نیروی لورنتز و شناوری در مسئله اول
۹۱	..... ۲-۱-۴-۵ بررسی تاثیر افزایش عدد رایلی و عدد هارتمن بر میدان جریان و میدان دما
۱۰۳	..... ۳-۱-۴-۵ نتایج حاصل از تغییر زاویه محفظه
۱۱۳	..... ۴-۱-۴-۵ نتایج حاصل از تغییر زاویه میدان مغناطیسی
۱۲۶	..... ۵-۱-۴-۵ نتایج حاصل از تغییرات نسبت ارتفاع به پهنا
۱۳۹	..... ۲-۴-۵ نتایج حاصل از حل مسئله دوم
۱۵۶	..... ۳-۴-۵ نتایج حاصل از حل مسئله سوم
۱۶۲	فصل ششم: جمع بندی و ارائه پیشنهادات
۱۶۳	..... ۱-۶ مقدمه
۱۶۴	..... ۲-۶ خلاصه نتایج
۱۶۴	..... ۱-۲-۶ محفظه حاوی سیال سرد با دیواره‌های جانبی دما ثابت (مسئله اول)
۱۶۸	..... ۲-۲-۶ محفظه حاوی سیال گرم با دیواره‌های جانبی دما ثابت (مسئله دوم)

۳-۲-۶ محفظه با دیواره‌های جانبی شار حرارتی ثابت (مسئله سوم) ۱۷۰

۳-۶ پیشنهادات ۱۷۱

پیوست ۱۷۲

خواص بردارها و تئوری آنها ۱۷۳

مراجع ۱۷۴

فهرست شکلها

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱: هندسه حل و مشخصات آن برای دیواره‌های گرم و سرد در طرفین محفظه‌ی حاوی سیال سرد..... ۸
- شکل ۱-۲: هندسه حل و مشخصات آن برای دیواره‌های سرد در طرفین محفظه‌ی حاوی سیال گرم..... ۹
- شکل ۱-۳: هندسه حل و مشخصات آن برای شار حرارتی ثابت در دیواره‌های کناری..... ۹
- شکل ۱-۲: عکس العمل یک میدان مغناطیسی و حرکت حلقه سیم..... ۱۵
- شکل ۲-۲: قانون اهم در رساناهای ساکن و متحرک..... ۲۰
- شکل ۲-۳: قانون فارادی برای (الف) نیروی محرکه تولید شده بوسیله حرکت یک رسانا (ب) نیروی محرکه تولید شده بوسیله یک میدان مغناطیسی وابسته به زمان..... ۲۱
- شکل ۲-۴: قانون آمپر در یک سیم..... ۲۲
- شکل ۲-۵: شکلی از لکه‌های خورشیدی..... ۲۳
- شکل ۲-۶: حرکت گدازه‌ها در مرکز کره زمین باعث حفظ میدان مغناطیسی زمین می‌شود..... ۲۴
- شکل ۲-۷: طرحی از راکتورهای گرما هسته‌ای..... ۲۴
- شکل ۲-۸: پمپ الکترومغناطیسی..... ۲۵
- شکل ۲-۹: طرحی از همزن‌های مغناطیسی..... ۲۵
- شکل ۲-۱۰: دمپ مغناطیسی حرکت در طول ریخته‌گری..... ۲۶
- شکل ۳-۱: نیروی الکتریکی بین دو بار هم نام که از قانون کولن به دست می‌آید..... ۳۰
- شکل ۳-۲: محفظه‌ی مستطیلی شکل دو بعدی با دیواره‌های جانبی دما ثابت..... ۴۹
- شکل ۳-۳: هندسه مسئله اول:
- محفظه دو بعدی، حاوی سیال هادی الکتریسیته و تحت اثر میدان مغناطیسی \vec{B} ۵۵
- شکل ۳-۴: هندسه مسئله دوم:
- محفظه دو بعدی، حاوی سیال هادی الکتریسیته و تحت اثر میدان مغناطیسی \vec{B} ۵۸

شکل ۳-۵: هندسه مسئله سوم:

محفظه دوبعدی، حاوی سیال هادی الکتریسیته و تحت اثر میدان مغناطیسی \vec{B} در حالت شار حرارتی ثابت بر روی دیواره‌ها ۵۹

شکل ۴-۱: شبکه نقاط منطبق شده بر میدان حل

- الف) حجم کنترل اصلی (ب) حجم کنترل u (ج) حجم کنترل v ۶۴
- شکل ۴-۲: تغییرات ω نسبت به زمان برای سه طرح مختلف صریح، ضمنی و کرنک نیکلسون ۶۶
- شکل ۴-۳: حجم کنترل اصلی برای بدست آوردن معادله انفصال کلی ۶۹
- شکل ۴-۴: حجم کنترلی برای معادله پیوستگی ۷۲
- شکل ۴-۵: توزیع سرعت برای در u و v یک مرز دیواره ۷۴
- شکل ۴-۶: توزیع سرعت در یک دیواره [۲۳] ۷۵

شکل ۵-۱: تغییرات سرعت عمودی در خط میانی محفظه بر حسب X برای چندین شبکه مختلف در

..... $Ar = 1$ و $Ra = 10^5$ ، $Ha = 10$ ۷۸

شکل ۵-۲: تغییرات سرعت عمودی در خط میانی محفظه بر حسب X برای چندین شبکه مختلف در

..... $Ar = 0,5$ و $Ra = 10^5$ ، $Ha = 50$ ۷۹

شکل ۵-۳: تغییرات سرعت عمودی در خط میانی محفظه بر حسب X برای چندین شبکه مختلف در

..... $Ar = 2$ و $Ra = 10^5$ ، $Ha = 50$ ۷۹

شکل ۵-۴: هندسه مسئله مورد مقایسه با مرجع [۷] ۸۰

شکل ۵-۵: خطوط جریان و خطوط دما ثابت: مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج مرجع [۷] در

..... $Ha = 0$ و $Gr = 2 \times 10^4$ ۸۱

شکل ۵-۶: هندسه مسئله مورد مقایسه با مرجع [۱] ۸۱

شکل ۵-۷: مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج مرجع [۱] در $Ra = 0,733$ و $Ha = 0$ ۸۲

شکل ۵-۸: خطوط جریان و خطوط دما ثابت: مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج مرجع [۷] برای سیالی با

..... $Gr = 2 \times 10^4$ ۸۳

شکل ۵-۹: هندسه مسئله مورد مقایسه با مرجع [۱۲] ۸۴

شکل ۵-۱۰: تغییرات زمانی خطوط جریان و دما ثابت: مقایسه بین نتایج حاضر و مرجع [۶] ۸۵

شکل ۵-۱۱: هندسه مسئله مورد مقایسه با مرجع [۶] ۸۵

- شکل ۵-۱۲: خطوط جریان و خطوط دما ثابت؛ مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج مرجع [۶] برای سیالی با
 ۸۶ $Ha = 50$ و $Gr = 2 \times 10^4$ ، $Pr = 0.733$
- شکل ۵-۱۳: تغییرات نیروی لورنتز و نیروی شناوری با گذشت زمان در $Ra = 10^4$ و اعداد هارتمن
 ۸۸ مختلف
- شکل ۵-۱۴: تغییرات ماکزیمم نیروی لورنتز و شناوری با گذشت زمان در $Ra = 10^4$
 ۸۹ مختلف
- شکل ۵-۱۵: تغییرات نیروی لورنتز و شناوری با گذشت زمان در $Ra = 10^5$ و اعداد هارتمن
 ۸۹ مختلف
- شکل ۵-۱۶: تغییرات ماکزیمم نیروی لورنتز و شناوری با گذشت زمان در $Ra = 10^5$
 ۹۰ مختلف
- شکل ۵-۱۷: تغییرات نیروی لورنتز و شناوری با گذشت زمان در $Ra = 10^6$ و اعداد هارتمن
 ۹۰ مختلف
- شکل ۵-۱۸: تغییرات ماکزیمم نیروی لورنتز و شناوری با گذشت زمان در $Ra = 10^6$
 ۹۱ مختلف
- شکل ۵-۱۹-الف: تاثیر عدد هارتمن بر خطوط جریان در زمانهای مختلف در $Ra = 10^4$
 ۹۳ مختلف
- شکل ۵-۱۹-ب: تاثیر عدد هارتمن بر خطوط جریان در زمانهای مختلف در $Ra = 10^5$
 ۹۴ مختلف
- شکل ۵-۱۹-ج: تاثیر عدد هارتمن بر خطوط جریان در زمانهای مختلف در $Ra = 10^6$
 ۹۵ مختلف
- شکل ۵-۲۰-الف: تاثیر عدد هارتمن بر خطوط دما ثابت در زمانهای مختلف در $Ra = 10^4$
 ۹۷ مختلف
- شکل ۵-۲۰-ب: تاثیر عدد هارتمن بر خطوط دما ثابت در زمانهای مختلف در $Ra = 10^5$
 ۹۸ مختلف
- شکل ۵-۲۰-ج: تاثیر عدد هارتمن بر خطوط دما ثابت در زمانهای مختلف در $Ra = 10^6$
 ۹۹ مختلف
- شکل ۵-۲۱: تغییرات عدد ناسلت متوسط بر حسب زمان در اعداد رایلی و هارتمن مختلف
 ۱۰۰ مختلف
- شکل ۵-۲۲: تغییرات عدد ناسلت متوسط با افزایش میزان عدد هارتمن در اعداد رایلی مختلف
 ۱۰۱ مختلف
- شکل ۵-۲۳: تغییرات ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان بر حسب عدد هارتمن در اعداد رایلی مختلف
 ۱۰۲ مختلف
- شکل ۵-۲۴-الف: تغییرات خطوط جریان با افزایش زاویه‌ی محفظه با افق در اعداد هارتمن مختلف و
 ۱۰۵ $Ra = 10^4$
- شکل ۵-۲۴-ب: تغییرات خطوط جریان با افزایش زاویه‌ی محفظه با افق در اعداد هارتمن مختلف و
 ۱۰۵ $Ra = 10^5$
- شکل ۵-۲۴-ج: تغییرات خطوط جریان با افزایش زاویه‌ی محفظه با افق در اعداد هارتمن مختلف و
 ۱۰۶ $Ra = 10^6$

- شکل ۵-۲۵-الف: تغییرات خطوط جریان با افزایش زاویه‌ی محفظه با افق در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^4$ ۱۰۸
- شکل ۵-۲۵-ب: تغییرات خطوط جریان با افزایش زاویه‌ی محفظه با افق در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^5$ ۱۰۸
- شکل ۵-۲۵-ج: تغییرات خطوط جریان با افزایش زاویه‌ی محفظه با افق در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^6$ ۱۰۹
- شکل ۵-۲۶: تغییرات عدد ناسلت متوسط با افزایش زاویه‌ی محفظه در $Ra = 10^4$ ۱۱۱
- شکل ۵-۲۷: تغییرات عدد ناسلت متوسط با افزایش زاویه‌ی محفظه در $Ra = 10^5$ ۱۱۱
- شکل ۵-۲۸: تغییرات عدد ناسلت متوسط با افزایش زاویه‌ی محفظه در $Ra = 10^6$ ۱۱۲
- شکل ۵-۲۹: خطوط جریان برای اعداد هارتمن و زوایای مختلف میدان مغناطیسی در $Ra = 10^4$ ۱۱۵
- شکل ۵-۳۰: خطوط جریان برای اعداد هارتمن و زوایای مختلف میدان مغناطیسی در $Ra = 10^5$ ۱۱۶
- شکل ۵-۳۱: خطوط جریان برای اعداد هارتمن و زوایای مختلف میدان مغناطیسی در $Ra = 10^6$ ۱۱۷
- شکل ۵-۳۲: خطوط دما ثابت برای اعداد هارتمن و زوایای مختلف میدان مغناطیسی در $Ra = 10^4$ ۱۱۸
- شکل ۵-۳۳: خطوط دما ثابت برای اعداد هارتمن و زوایای مختلف میدان مغناطیسی در $Ra = 10^5$ ۱۲۰
- شکل ۵-۳۴: خطوط دما ثابت برای اعداد هارتمن و زوایای مختلف میدان مغناطیسی در $Ra = 10^6$ ۱۲۱
- شکل ۵-۳۵: خطوط جریان و دما ثابت برای $Ha = 100$ ، و زوایای مختلف محفظه و میدان مغناطیسی در $Ra = 10^4$ ۱۲۳
- شکل ۵-۳۶: خطوط جریان و دما ثابت برای $Ha = 100$ ، و زوایای مختلف محفظه و میدان مغناطیسی در $Ra = 10^5$ ۱۲۴
- شکل ۵-۳۷: خطوط جریان و دما ثابت برای $Ha = 100$ ، و زوایای مختلف محفظه و میدان مغناطیسی در $Ra = 10^6$ ۱۲۵
- شکل ۵-۳۸-الف: تغییرات زمانی خطوط جریان در $Ar = 2$ و $Ra = 10^4$ در اعداد هارتمن مختلف ۱۲۷
- شکل ۵-۳۸-ب: تغییرات زمانی خطوط جریان در $Ar = 2$ و $Ra = 10^5$ در اعداد هارتمن مختلف ۱۲۷
- شکل ۵-۳۸-ج: تغییرات زمانی خطوط جریان در $Ar = 2$ و $Ra = 10^6$ در اعداد هارتمن مختلف ۱۲۸

شکل ۵-۳۹: تغییرات ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان با افزایش عدد هارتمن در $Ar = 2$ و اعداد رایلی

مختلف ۱۲۸.....

شکل ۵-۴۰-الف: تغییرات زمانی خطوط دما ثابت در $Ar = 2$ و $Ra = 10^4$ در اعداد هارتمن مختلف ۱۲۹.....

شکل ۵-۴۰-ب: تغییرات زمانی خطوط دما ثابت در $Ar = 2$ و $Ra = 10^5$ در اعداد هارتمن مختلف ۱۳۰.....

شکل ۵-۴۰-ج: تغییرات زمانی خطوط دما ثابت در $Ar = 2$ و $Ra = 10^6$ در اعداد هارتمن مختلف ۱۳۰.....

شکل ۵-۴۱: تغییرات زمانبهد ناسلت متوسط در اعداد هارتمن و رایلی مختلف و $Ar = 2$ ۱۳۲.....

شکل ۵-۴۲-الف: تغییرات زمانی خطوط جریان در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^4$ و $Ar = 0,5$ ۱۳۳.....

شکل ۵-۴۲-ب: تغییرات زمانی خطوط جریان در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^5$ و $Ar = 0,5$ ۱۳۳.....

شکل ۵-۴۲-ج: تغییرات زمانی خطوط جریان در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^6$ و $Ar = 0,5$ ۱۳۴.....

شکل ۵-۴۳: تغییرات ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان با افزایش عدد هارتمن در اعداد رایلی مختلف و

$Ar = 0,5$ ۱۳۴.....

شکل ۵-۴۴-الف: تغییرات خطوط دما ثابت با گذشت زمان در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^4$ و

$Ar = 0,5$ ۱۳۵.....

شکل ۵-۴۴-ب: تغییرات خطوط دما ثابت با گذشت زمان در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^5$ و

$Ar = 0,5$ ۱۳۶.....

شکل ۵-۴۴-ج: تغییرات خطوط دما ثابت با گذشت زمان در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^6$ و

$Ar = 0,5$ ۱۳۶.....

شکل ۵-۴۵: تغییرات عدد ناسلت با گذشت زمان در اعداد هارتمن و رایلی مختلف و $Ar = 0,5$ ۱۳۷.....

شکل ۵-۴۶-الف: تغییرات عدد ناسلت متوسط با افزایش Ar در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^4$ ۱۳۸.....

شکل ۵-۴۶-ب: تغییرات عدد ناسلت متوسط با افزایش Ar در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^5$ ۱۳۸.....

شکل ۵-۴۶-ج: تغییرات عدد ناسلت متوسط با افزایش Ar در اعداد هارتمن مختلف و $Ra = 10^6$ ۱۳۹.....

شکل ۵-۴۷-الف: تغییرات زمانی خطوط جریان در $Ra = 10^4$ و اعداد هارتمن مختلف ۱۴۲.....

شکل ۵-۴۷-ب: تغییرات زمانی خطوط جریان در $Ra = 10^5$ و اعداد هارتمن مختلف ۱۴۲.....

شکل ۵-۴۷-ج: تغییرات زمانی خطوط جریان در $Ra = 10^6$ و اعداد هارتمن مختلف ۱۴۳.....

شکل ۵-۴۸: تغییرات زمانی ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان در اعداد هارتمن و رایلی مختلف ۱۴۴.....

شکل ۵-۴۹-الف: تغییرات زمانی خطوط دما ثابت در $Ra = 10^4$ و اعداد هارتمن مختلف ۱۴۵.....

- شکل ۵-۴۹-ب: تغییرات زمانی خطوط دما ثابت در $10^5 Ra$ و اعداد هارتمن مختلف ۱۴۶
- شکل ۵-۴۹-ج: تغییرات زمانی خطوط دما ثابت در $10^6 Ra$ و اعداد هارتمن مختلف ۱۴۶
- شکل ۵-۵۰: تغییرات ماکزیمم دمای محفظه بر حسب زمان در اعداد رایلی و هارتمن مختلف ۱۴۷
- شکل ۵-۵۱: تغییرات ماکزیمم دمای محفظه در اعداد رایلی مختلف و $Ha = 0$ ۱۴۸
- شکل ۵-۵۲-الف: تغییرات زمانی نیروی شناوری و لورنتز در $10^4 Ra$ ۱۴۹
- شکل ۵-۵۲-ب: تغییرات زمانی نیروی شناوری و لورنتز در $10^5 Ra$ ۱۴۹
- شکل ۵-۵۲-ج: تغییرات زمانی نیروی شناوری و لورنتز در $10^6 Ra$ ۱۴۹
- شکل ۵-۵۳: تغییرات زمانی عدد ناسلت متوسط با گذشت زمان در اعداد هارتمن و رایلی مختلف ۱۵۰
- شکل ۵-۵۴: تغییرات زمانی خطوط جریان در اعداد رایلی 10^4 و هارتمن‌های مختلف ۱۵۲
- شکل ۵-۵۵: تغییرات زمانی خطوط جریان در اعداد رایلی 10^5 و هارتمن‌های مختلف ۱۵۳
- شکل ۵-۵۶: تغییرات زمانی خطوط جریان در اعداد رایلی 10^6 و هارتمن‌های مختلف ۱۵۴
- شکل ۵-۵۷: تغییرات ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان با افزایش عدد هارتمندر اعداد رایلی مختلف در شرایط دائم ۱۵۵
- شکل ۵-۵۸: تغییرات زمانی خطوط دما ثابت در عدد رایلی 10^4 و هارتمن‌های مختلف ۱۵۷
- شکل ۵-۵۹: تغییرات زمانی خطوط دما ثابت در عدد رایلی 10^5 و هارتمن‌های مختلف ۱۵۸
- شکل ۵-۶۰: تغییرات زمانی خطوط دما ثابت در عدد رایلی 10^6 و هارتمن‌های مختلف ۱۵۹
- شکل ۵-۶۱: تغییرات زمانی عدد ناسلت متوسط در طی گذشت زمان در اعداد هارتمن و رایلی مختلف ۱۶۱

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۸۳	جدول ۱-۵ مقادیر ناسلت متوسط روی دیواره گرم: مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج مرجع [۷].....
۸۸	جدول ۲-۵: مقادیر عدد ناسلت در اعداد هارتمن و رایلی مختلف.....
۹۳	جدول ۳-۵: مقادیر ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان در اعداد رایلی و هارتمن مختلف.....
	جدول ۴-۵: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان برای زوایای مختلف محفظه در اعداد هارتمن و رایلی مختلف.....
۱۰۷	جدول ۵-۵: مقادیر عدد ناسلت متوسط در زوایای مختلف محفظه در اعداد هارتمن و رایلی مختلف.....
۱۱۰	جدول ۶-۵: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان برای زوایای میدان مغناطیسی و اعداد هارتمن مختلف در عدد رایلی 10^4
۱۱۵	جدول ۷-۵: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان برای زوایای میدان مغناطیسی و اعداد هارتمن مختلف در عدد رایلی 10^5
۱۱۶	جدول ۸-۵: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان برای زوایای میدان مغناطیسی و اعداد هارتمن مختلف در عدد رایلی 10^6
۱۰۹	جدول ۹-۵: عدد ناسلت متوسط برای زوایای میدان مغناطیسی و اعداد هارتمن مختلف در عدد رایلی 10^4
۱۱۹	جدول ۱۰-۵: عدد ناسلت متوسط برای زوایای میدان مغناطیسی و اعداد هارتمن مختلف در عدد رایلی 10^5
۱۲۱	جدول ۱۰-۵: عدد ناسلت متوسط برای زوایای میدان مغناطیسی و اعداد هارتمن مختلف در عدد رایلی 10^5

جدول ۵-۱۱: عدد ناسلت متوسط برای زوایای میدان مغناطیسی و اعداد هارتمن مختلف در عدد رایلی

۱۰^۶..... ۱۲۲

جدول ۵-۱۲: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان و عدد ناسلت متوسط برای زوایای میدان مغناطیسی و

اعداد هارتمن ۱۰۰ در رایلی ۱۰^۴..... ۱۲۴

جدول ۵-۱۳: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان و عدد ناسلت متوسط برای زوایای میدان مغناطیسی و

اعداد هارتمن ۱۰۰ در رایلی ۱۰^۵..... ۱۲۵

جدول ۵-۱۴: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان و عدد ناسلت متوسط برای زوایای میدان مغناطیسی و

اعداد هارتمن ۱۰۰ در رایلی ۱۰^۶..... ۱۲۷

فهرست علائم اختصاری

Ar	نسبت ارتفاع به پهنای محفظه (نسبت ابعاد)
A	سطح حجم کنترل
B	میدان مغناطیسی
B_0	میدان مغناطیسی اعمالی
b	میدان مغناطیسی القایی
b	جمله چشمه معادلات اندازه حرکت
c_p	گرمای ویژه فشار ثابت
D	کنداکتانس پخش
E	میدان الکتریکی
E_{appl}	میدان الکتریکی اعمالی
E_{ind}	میدان الکتریکی القایی
E_r	میدان الکتریکی مؤثر
E_s	میدان الکتروستاتیک
emf	نیروی محرکه الکتریکی
\hat{e}_x, \hat{e}_y	بردارهای یکه در راستای x و y
F_l	نیروی لورنتز
F_b	نیروی شناوری
$|f_l|_{\max}$	ماکزیمم نیروی لورنتز
$|f_b|_{\max}$	ماکزیمم نیروی شناوری
g	شتاب ثقل
Gr	عدد گراشف
H	ارتفاع محفظه

Ha	عدد هارتمن
h	ضریب انتقال حرارت جابجایی موضعی
I	جریان الکتریکی
J	چگالی جریان الکتریکی
k	ضریب انتقال حرارت هدایتی
L	پهنای محفظه
ℓ	طول مشخصه
m	تعداد نقاط در راستای محور x
n	تعداد نقاط در راستای محور y
Nu_y	عدد ناسلت موضعی بر روی دیواره گرم
\overline{Nu}	عدد ناسلت متوسط
p	فشار
P	فشار بی بعد
P'	تصحیح فشار
Pr	عدد پرانتل
q	بارهای الکتریکی آزاد
q''	شار حرارتی ثابت
R	مقاومت الکتریکی
Re_m	عدد رینولدز مغناطیسی
Ra	عدد رایلی
\bar{S}	جمله کلی چشمه
S_c	بخش ثابت جمله چشمه
S_p	ضریب ω_p در عبارت خطی شده جمله چشمه
t	زمان
T	دما
T_r	دمای مرجع
T_∞	دمای جریان خارج از لایه مرزی