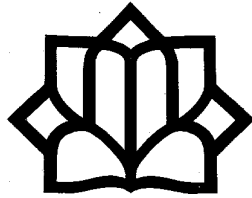


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

عنوان:

مطالعه عددی تأثیر اعمال یک میدان مغناطیسی ثابت بر جابجایی

آزاد متلاطم در یک حفره دو بعدی

استاد راهنما:

دکتر قنبرعلی شیخ زاده

استاد مشاور:

دکتر علی عارف منش

به وسیله:

امیر النجری

اسفند ۱۳۸۸

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که ما را در راه کسب دانش یاری نمود. در اینجا بر خود لازم می‌دانم 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 عارف منش به عنوان مشاور که با راهنمایی خود بنده را مورد لطف قرار دادند کمال تشکر را دارم.

از گروه مپنا که این پایان نامه را مورد حمایت قرار دادند کمال تشکر را دارم. همچنین از تشریک مساعی آقای دکتر عباسیان 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 می‌نمایم.

در پایان از جناب آقای دکتر خراسانی زاده که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم که مرا در تمامی مراحل زندگی یار
و یاور بودند و از کمکهای بی دریغشان بی نصیب
نگذاشتند.

همسرم که در تمام مراحل انجام این تحقیق مرا یاری
نمود.

چکیده

کلمات کلیدی: هیدرودینامیک مغناطیسی، جابجایی آزاد، جریان متلاطم، حفره دو بعدی

در هنگام ریخته‌گری فلزات، به علت اختلاف دمایی بین دیواره‌ها و فلز مذاب جریان جابجایی آزاد درون محفظه ریخته‌گری به وجود می‌آید که بر ساختار نهایی فلز ریخته‌گری شونده تاثیر می‌گذارد. یکی از عوامل تاثیر گذار بر جریان جابجایی، میدان مغناطیسی می‌باشد که می‌تواند جریان جابجایی را کاهش دهد. همچنین به علت بزرگ بودن ابعاد محفظه ریخته‌گری و اختلاف دمایی بالا بین دیواره‌ها و فلز مذاب جریان جابجایی در محدوده جریان‌های متلاطم قرار می‌گیرد. در این تحقیق، با نوشتن یک برنامه کامپیوتری، به بررسی عددی تأثیر اعمال یک میدان مغناطیسی ثابت بر جریان جابجایی آزاد، میدان دما و میزان آشفستگی در حالت پایدار و متلاطم درون یک محفظه دو بعدی حاوی فلزات مذاب با اعداد پرانتل $0/011$ ، $0/022$ و $0/054$ برای محفظه‌ای با دیواره‌های جانبی دما ثابت پرداخته شده است. علاوه بر بررسی تأثیر قدرت میدان مغناطیسی (عدد هارتمن) بر میدان جریان، میدان دما و میزان آشفستگی، تأثیر تغییرات عدد رایلی و عدد پرانتل 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 پاتنکار¹ استفاده شده است. نتایج حاصله بصورت خطوط دما ثابت، خطوط جریان، بررسی روی میزان آشفستگی جریان و همچنین نمودارهای تغییرات ضریب انتقال حرارت و ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان 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، جابجایی آزاد تضعیف می‌شود و از میزان آشفستگی جریان کاسته می‌شود. همچنین با اعمال یک میدان مغناطیسی مناسب می‌توان جابجایی آزاد را از بین برده و به سمت هدایت خالص پیش رفت. همچنین با افزایش عدد پرانتل میزان آشفستگی جریان افزایش می‌یابد و جریان در عدد رایلی پایینتری متلاطم می‌شود. با افزایش عدد رایلی نیز تاثیر پذیری جریان از میدان مغناطیسی کاهش می‌یابد.

¹ Patankar

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ مروری بر کارهای گذشته
۷	۳-۱ هدف و موضوع این تحقیق
۸	۴-۱ روش انجام این تحقیق
۱۰	فصل دوم: توصیف هیدرودینامیک مغناطیسی و کاربردهای آن
۱۱	۱-۲ مقدمه
۱۱	۲-۲ هیدرودینامیک مغناطیسی چیست؟
۱۴	۳-۲ تاریخچه‌ای از هیدرودینامیک مغناطیسی
۱۵	۴-۲ مرور قوانین الکترودینامیک
۱۸	۵-۲ بعضی از کاربردهای هیدرودینامیک مغناطیسی
۱۸	۱-۵-۲ شتاب دهنده و مولد قدرت هیدرودینامیک مغناطیسی
۱۹	۱-۱-۵-۲ مولد قدرت هیدرودینامیک مغناطیسی
۲۱	۲-۱-۵-۲ شتاب دهنده‌های هیدرودینامیک مغناطیسی
۲۸	فصل سوم: کاربرد هیدرودینامیک مغناطیسی در متالورژی
۲۹	۱-۳ مقدمه
۲۹	۲-۳ بررسی ساختار مذاب در حال انجماد

۳-۳ تئوری‌های مکانیزم تشکیل هسته‌های شامل دانه‌های هم محور ۳۱

۴-۳ ایجاد حرکت با استفاده از میدان‌های مغناطیسی ۳۵

فصل چهارم: مقدمه ای بر مفاهیم جریان‌های متلاطم و مدلسازی آنها ۴۱

۱-۴ مقدمه ۴۲

۲-۴ معیار آرام یا متلاطم بودن یک جریان ۴۳

۱-۲-۴ شرط متلاطم بودن جریان جابجایی اجباری ۴۴

۲-۲-۴ شرط متلاطم بودن جریان جابجایی آزاد ۴۴

۳-۴ مدلسازی جریان متلاطم و مدل‌های تلاطم ۴۵

۱-۳-۴ روابط اساسی ادی-ویسکوزیته ۴۶

۲-۳-۴ مدل‌های ادی-ویسکوزیته ۴۶

فصل پنجم: معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت در هیدرودینامیک

مغناطیسی ۵۱

۱-۵ مقدمه ۵۲

۲-۵ معادلات حاکم بر الکتروودینامیک ۵۲

۱-۲-۵ میدان الکتریکی و نیروی لورنتز ۵۲

۲-۲-۵ قانون اهم و نیروی لورنتز حجمی ۵۴

۳-۲-۵ قانون آمپر ۵۶

۴-۲-۵ قانون فارادی ۵۷

۵-۲-۵ شکل کاهش یافته معادلات ماکسول در هیدرودینامیک مغناطیسی ۵۸

۶-۲-۵ معادله انتقال برای میدان مغناطیسی ۵۹

۳-۵ معادلات دیفرانسیل حاکم بر میدان جریان و دما ۶۰

- ۶۲ ۱-۳-۵ معادلات حاکم بر جریان متلاطم
- ۶۴ ۲-۳-۵ مدلسازی تلاطم
- ۶۵ ۱-۲-۳-۵ مفهوم ادی - ویسکوزیته
- ۶۵ ۲-۲-۳-۵ مفهوم ادی - نفوذ
- ۶۷ ۳-۳-۵ شکل نهایی معادلات حاکم
- ۶۹ ۴-۳-۵ شرایط مرزی
- ۷۲ ۴-۵ جابجایی آزاد در حضور میدان مغناطیسی
- ۷۲ ۱-۴-۵ پدیده جابجایی آزاد
- ۷۴ ۲-۴-۵ معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت در مسئله مورد نظر
- ۷۷ ۵-۵ محاسبه ضریب انتقال حرارت و تابع جریان

۷۸ فصل ششم: محاسبات عددی

- ۷۹ ۱-۶ مقدمه
- ۷۹ ۲-۶ شکل کلی معادله انفصال
- ۷۹ ۱-۲-۶ شبکه میدان حل
- ۸۰ ۲-۲-۶ معادله دیفرانسیل کلی
- ۸۱ ۳-۲-۶ شکل تفاضل محدود معادله کلی ϕ
- ۸۲ ۴-۲-۶ طرح پیوندی
- ۸۳ ۵-۲-۶ تکمیل معادله انفصال
- ۸۴ ۳-۶ محاسبه میدان جریان و میدان دما
- ۸۴ ۱-۳-۶ شبکه جابجا شده
- ۸۶ ۲-۳-۶ معادلات اندازه حرکت
- ۸۸ ۳-۳-۶ الگوریتم سیمپلر

۹۱	.....نحوه اعمال شرایط مرزی ۴-۳-۶
۹۱	.....شرایط مرزی معادله u ۱-۴-۳-۶
۹۲	.....شرایط مرزی معادله v ۲-۴-۳-۶
۹۲	.....شرایط مرزی معادله k ۳-۴-۳-۶
۹۳	.....شرایط مرزی معادله ε ۴-۴-۳-۶
۹۳	.....شرایط مرزی معادله T ۵-۴-۳-۶
۹۴	.....نحوه حل دستگاه معادلات جبری ۵-۳-۶

۹۶ فصل هفتم: بررسی نتایج

۹۷	.....مقدمه ۱-۷
۹۷	.....انتخاب شبکه مناسب ۲-۷
	.....۱-۲-۷ جابجائی آزاد در محفظه مربعی با عدد رایلی 10^7 ، عدد پرانتل ۰/۰۲۲ و عدد هارتمن
۹۸	.....۱۰۰
	.....۲-۲-۷ جابجائی آزاد در محفظه مربعی با عدد رایلی 10^7 ، عدد پرانتل ۰/۰۱۱ و عدد هارتمن
۹۹	.....۱۰۰
	.....۳-۲-۷ جابجائی آزاد در محفظه مربعی با عدد رایلی 10^7 ، عدد پرانتل ۰/۰۵۴ و عدد هارتمن
۱۰۱	.....۱۰۰
۱۰۳	.....بررسی عملکرد برنامه کامپیوتری ۳-۷
۱۰۶	.....بررسی متلاطم شدن جریان ۴-۷
۱۱۲	.....بررسی نتایج ۵-۷
۱۱۲	.....بررسی میدان جریان ۱-۵-۷
۱۲۱	.....بررسی میدان دما و انتقال حرارت ۲-۵-۷
۱۲۹	.....تجزیه و تحلیل کلی نتایج ۳-۵-۷

فصل هشتم: جمع بندی و ارائه پیشنهادات

۱۴۸

۱-۸ مقدمه ۱۴۹

۲-۸ خلاصه نتایج ۱۴۹

۳-۸ پیشنهادات ۱۵۰

۱۵۲

پیوست

خواص بردارها و تئوری آنها ۱۵۲

۱۵۳

مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

- شکل ۱-۱: یک محفظه دو بعدی با دیواره‌های جانبی دما ثابت و دیواره‌های بالا و پایین عایق حرارتی در حضور یک میدان مغناطیسی مایل..... ۸
- شکل ۱-۲: نمایش قانون اهم برای (الف) رسانای ساکن (ب) رسانای متحرک..... ۱۶
- شکل ۲-۲: نمایش قانون فارادی (الف) تولید نیروی محرکه الکتریکی بواسطه حرکت رسانا (ب) تولید نیروی محرکه الکتریکی بواسطه میدان مغناطیسی وابسته به زمان..... ۱۷
- شکل ۲-۳: نمایش قانون آمپر بر روی یک سیم حامل جریان الکتریکی..... ۱۸
- شکل ۲-۴: طرحی از اجزای یک مولد قدرت هیدرودینامیک مغناطیسی..... ۲۰
- شکل ۲-۵: طرحی از مجرای هیدرودینامیک مغناطیسی در یک مولد قدرت هیدرودینامیک مغناطیسی..... ۲۰
- شکل ۲-۶: نمایی از یک مولد قدرت هیدرودینامیک مغناطیسی..... ۲۱
- شکل ۲-۷: نمایشی از نحوه شتاب گرفتن یک گاز با استفاده از اصول هیدرودینامیک مغناطیسی..... ۲۲
- شکل ۲-۸: طرحی ساده از یک پمپ هیدرودینامیک مغناطیسی..... ۲۲
- شکل ۲-۹: موقعیت یک پمپ هیدرودینامیک مغناطیسی در یک رآکتور هسته‌ای زایشی..... ۲۳
- شکل ۲-۱۰: (الف) زیر دریایی نظامی با سیستم رانش هیدرودینامیک مغناطیسی حلقوی (ب) اجزای مختلف سیستم رانش هیدرودینامیک مغناطیسی حلقوی..... ۲۴
- شکل ۲-۱۱: اجزای یک پرتابگر الکترومغناطیس..... ۲۵
- شکل ۲-۱۲: پرتاب موشک با استفاده از سیستم پرتابگر الکترومغناطیس..... ۲۶
- شکل ۲-۱۳: یک سیستم پیشرفته پيشرانش برای استفاده در سفینه‌های فضایی..... ۲۷
- شکل ۳-۱: سه ناحیه متمایز با ساختار دانه‌ای متفاوت در یک جامد بلورین ریخته‌گری شده..... ۳۰
- شکل ۳-۲: تغییر ساختار یک قطعه آلومینیومی خالص تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی نوسانی با شدت و فرکانس: (الف) صفر تسلا (بدون اعمال میدان مغناطیسی) (ب) ۰/۱۲ تسلا و ۸۲/۷ هرتز (پ) ۰/۲۲ تسلا و ۴۵/۱ هرتز (ت) ۰/۳۱ تسلا و ۳۲ هرتز (ث) ۰/۳۷ تسلا و ۲۶/۸ هرتز (ج) ۰/۵۱ تسلا و ۱۹/۵ هرتز..... ۳۵
- شکل ۳-۳: (الف) ریخته‌گری پیوسته آلومینیوم (ب) ریخته‌گری پیوسته فولاد..... ۳۶

- شکل ۳-۴: (الف) همزدن مغناطیسی فولاد (ب) همزدن مغناطیسی آلومینیوم ۳۷
- شکل ۳-۵: نمای بالا از یک همزن مغناطیسی ۳۷
- شکل ۳-۶: اجزای دستگاه همزن مغناطیسی فولاد مذاب ۳۸
- شکل ۳-۷: سیستم ذوب مجدد قوسی تحت خلأ ۳۹
- شکل ۴-۱: رشد لایه مرزی بر روی یک صفحه تخت ۴۲
- شکل ۵-۱: نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در حضور یک میدان مغناطیسی ۵۳
- شکل ۵-۲: مسیر بسته ساکن در حضور یک میدان مغناطیسی وابسته به زمان ۵۷
- شکل ۵-۳: تغییرات متغیر عمومی Φ نسبت به زمان در جریان متلاطم ۶۲
- شکل ۵-۴: نقاط نزدیک به مرز جامد ۷۰
- شکل ۵-۵: جابجایی آزاد در یک محفظه دو بعدی با دیوارهای جانبی دما ثابت ۷۲
- شکل ۵-۶: هندسه یک محفظه دوبعدی با دیوارهای جانبی دما ثابت و دو دیواره عایق حرارتی حاوی سیال هادی الکتریسیته که تحت اثر یک میدان مغناطیسی ثابت قرار گرفته است. ۷۴
- شکل ۶-۱: حجم کنترل نمونه در شبکه منطبق شده بر میدان حل (الف) حجم کنترل اصلی (ب) حجم کنترل u (ج) حجم کنترل v ۸۰
- شکل ۶-۲: حجم کنترل اصلی برای بدست آوردن معادله انفصال کلی ۸۲
- شکل ۶-۳: نمایش شبکه جابجا شده مربوط به سرعتهای u و v نسبت به شبکه اصلی ۸۵
- شکل ۶-۴: فلوجارت مربوط به کد کامپیوتری بر اساس الگوریتم سیمپلر ۹۰
- شکل ۶-۵: سلول سرعت u در مجاورت دیوار پایینی محفظه ۹۱
- شکل ۶-۶: نمایش روش خط به خط ۹۵
- شکل ۷-۱: پروفیل مؤلفه عمودی سرعت بر حسب X روی خط میانی محفظه به ازای چندین شبکه برای اعداد پرانتل $0.22/10^7$ ، $Ra = 10^7$ و $Ha = 100$ ۹۸
- شکل ۷-۲: پروفیل دما بر حسب X روی خط میانی محفظه به ازای چندین شبکه برای اعداد پرانتل $0.22/10^7$ ، $Ra = 10^7$ و $Ha = 100$ ۹۹
- شکل ۷-۳: پروفیل مؤلفه عمودی سرعت بر حسب X روی خط میانی محفظه به ازای چندین شبکه برای اعداد پرانتل $0.11/10^7$ ، $Ra = 10^7$ و $Ha = 100$ ۱۰۰

- شکل ۴-۷: پروفیل دما بر حسب X روی خط میانی محفظه به ازای چندین شبکه برای اعداد پرانتل ۰/۰۱۱،
 $Ha = 100$ و $Ra = 10^7$ ۱۰۰
- شکل ۵-۷: پروفیل مؤلفه عمودی سرعت بر حسب X روی خط میانی محفظه به ازای چندین شبکه برای اعداد
 پرانتل ۰/۰۵۴، $Ha = 100$ و $Ra = 10^7$ ۱۰۱
- شکل ۶-۷: پروفیل دما بر حسب X روی خط میانی محفظه به ازای چندین شبکه برای اعداد پرانتل ۰/۰۵۴،
 $Ha = 100$ و $Ra = 10^7$ ۱۰۲
- شکل ۷-۷: نمودارهای خطوط جریان، خطوط دما ثابت و ویسکوزیته متلاطم: مقایسه کار حاضر با مرجع [۲۹] ۱۰۵
- شکل ۸-۷: خطوط جریان بدست آمده برای اعداد پرانتل ۰/۰۱۱، $Ra = 4 \times 10^5$ بدون استفاده از معادلات $k-\varepsilon$ ۱۰۷
- شکل ۹-۷: خطوط جریان بدست آمده برای اعداد پرانتل ۰/۰۱۱، $Ra = 4 \times 10^5$ بدون استفاده از معادلات $k-\varepsilon$ ۱۰۷
- شکل ۱۰-۷: خطوط جریان بدست آمده برای اعداد پرانتل ۰/۰۱۱، $Ra = 3/8 \times 10^5$ بدون استفاده از معادلات $k-\varepsilon$ ۱۰۷
- شکل ۱۱-۷: خطوط جریان بدست آمده برای اعداد پرانتل ۰/۰۲۲، $Ra = 2/1 \times 10^5$ بدون استفاده از معادلات $k-\varepsilon$ ۱۰۹
- شکل ۱۲-۷: خطوط جریان بدست آمده برای اعداد پرانتل ۰/۰۲۲، $Ra = 2 \times 10^5$ بدون استفاده از معادلات $k-\varepsilon$ ۱۰۹
- شکل ۱۳-۷: خطوط جریان بدست آمده برای اعداد پرانتل ۰/۰۲۲، $Ra = 1/8 \times 10^5$ بدون استفاده از معادلات $k-\varepsilon$ ۱۰۹
- شکل ۱۴-۷: خطوط جریان بدست آمده برای اعداد پرانتل ۰/۰۵۴، $Ra = 10^5$ بدون استفاده از معادلات $k-\varepsilon$ ۱۱۱
- شکل ۱۵-۷: خطوط جریان بدست آمده برای اعداد پرانتل ۰/۰۵۴، $Ra = 0/9 \times 10^5$ بدون استفاده از معادلات $k-\varepsilon$ ۱۱۱
- شکل ۱۶-۷: خطوط جریان بدست آمده برای اعداد پرانتل ۰/۰۵۴، $Ra = 0/8 \times 10^5$ بدون استفاده از معادلات $k-\varepsilon$ ۱۱۱
- شکل ۱۷-۷: خطوط جریان برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr = 0/011$ ۱۱۳
- شکل ۱۸-۷: خطوط جریان برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr = 0/022$ ۱۱۴
- شکل ۱۹-۷: خطوط جریان برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr = 0/054$ ۱۱۵
- شکل ۲۰-۷: نمودار ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان بر حسب عدد هارتمن برای اعداد رایلی مختلف برای
 $Pr = 0/011$ ۱۱۶
- شکل ۲۱-۷: نمودار ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان بر حسب عدد هارتمن برای اعداد رایلی مختلف برای
 $Pr = 0/022$ ۱۱۷
- شکل ۲۲-۷: نمودار ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان بر حسب عدد هارتمن برای اعداد رایلی مختلف برای
 $Pr = 0/054$ ۱۱۸
- شکل ۲۳-۷: خطوط دما ثابت برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr = 0/011$ ۱۲۲
- شکل ۲۴-۷: خطوط دما ثابت برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr = 0/022$ ۱۲۳
- شکل ۲۵-۷: خطوط دما ثابت برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr = 0/054$ ۱۲۴

- شکل ۷-۲۶: نمودار عدد ناسلت متوسط روی دیواره گرم بر حسب عدد هارتمن برای اعداد رایلی مختلف برای $Pr=0.11$ ۱۲۵
- شکل ۷-۲۷: نمودار عدد ناسلت متوسط روی دیواره گرم بر حسب عدد هارتمن برای اعداد رایلی مختلف برای $Pr=0.22$ ۱۲۶
- شکل ۷-۲۸: نمودار عدد ناسلت متوسط روی دیواره گرم بر حسب عدد هارتمن برای اعداد رایلی مختلف برای $Pr=0.54$ ۱۲۷
- شکل ۷-۲۹: پروفیل مؤلفه عمودی سرعت بر حسب X روی خط میانی محفظه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0.11$ ۱۳۰
- شکل ۷-۳۰: پروفیل مؤلفه افقی سرعت بر حسب Y روی خط میانی محفظه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0.11$ ۱۳۱
- شکل ۷-۳۱: پروفیل دما روی خط میانی محفظه بر حسب X برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0.11$ ۱۳۲
- شکل ۷-۳۲: پروفیل مؤلفه عمودی سرعت بر حسب X روی خط میانی محفظه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0.22$ ۱۳۳
- شکل ۷-۳۳: پروفیل مؤلفه افقی سرعت بر حسب Y روی خط میانی محفظه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0.22$ ۱۳۴
- شکل ۷-۳۴: پروفیل دما بر حسب X روی خط میانی محفظه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0.22$ ۱۳۵
- شکل ۷-۳۵: پروفیل مؤلفه عمودی سرعت بر حسب X روی خط میانی محفظه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0.54$ ۱۳۶
- شکل ۷-۳۶: پروفیل مؤلفه افقی سرعت بر حسب Y روی خط میانی محفظه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0.54$ ۱۳۷
- شکل ۷-۳۷: پروفیل دما بر حسب X روی خط میانی محفظه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0.54$ ۱۳۸
- شکل ۷-۳۸: نمودار ستونی تغییرات عدد ناسلت برای عدد رایلی 10^7 و پرانتل‌های مختلف..... ۱۴۱
- شکل ۷-۳۹: نمودار ستونی تغییرات ماکزیمم تابع جریان برای عدد رایلی 10^7 و پرانتل‌های مختلف..... ۱۴۱
- شکل ۷-۴۰: نمودار ستونی تغییرات عدد ناسلت برای عدد رایلی 10^8 و پرانتل‌های مختلف..... ۱۴۲
- شکل ۷-۴۱: نمودار ستونی تغییرات ماکزیمم تابع جریان برای عدد رایلی 10^8 و پرانتل‌های مختلف..... ۱۴۲
- شکل ۷-۴۲: نمودار ستونی تغییرات عدد ناسلت برای عدد رایلی 10^9 و پرانتل‌های مختلف..... ۱۴۳
- شکل ۷-۴۳: نمودار ستونی تغییرات ماکزیمم تابع جریان برای عدد رایلی 10^9 و پرانتل‌های مختلف..... ۱۴۳
- شکل ۷-۴۴: توزیع ویسکوزیته متلاطم در محفظه دو بعدی در عدد رایلی 10^9 برای هارتمن‌ها و پرانتل‌های مختلف..... ۱۴۵

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱: مقایسه کارایی مدل‌های مختلف ادی - ویسکوزیته	۵۰
جدول ۵-۱: معادلات الکترودینامیک	۵۸
جدول ۵-۲: معادلات الکترودینامیک نهایی	۵۹
جدول ۵-۳: مقادیر ثابت استفاده در مدل $k - \varepsilon$	۶۸
جدول ۶-۱: مقادیر ϕ و Γ برای معادله دیفرانسیلی کلی حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت	۸۱
جدول ۷-۱(الف): شبکه بندی بهینه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/011$	۱۰۲
جدول ۷-۱(ب): شبکه بندی بهینه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/022$	۱۰۳
جدول ۷-۱(ج): شبکه بندی بهینه برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/054$	۱۰۳
جدول ۷-۲: مقادیر ناسلت متوسط بر روی دیواره گرم: مقایسه بین نتایج حاضر و مرجع [۳]	۱۰۳
جدول ۷-۳: مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج مینا ارائه شده در مرجع [۲۹]	۱۰۵
جدول ۷-۴: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان برای اعداد هارتمن و رایلی مختلف برای $Pr=0/011$	۱۱۶
جدول ۷-۵: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان برای اعداد هارتمن و رایلی مختلف برای $Pr=0/022$	۱۱۷
جدول ۷-۶: ماکزیمم قدر مطلق تابع جریان برای اعداد هارتمن و رایلی مختلف برای $Pr=0/054$	۱۱۸
جدول ۷-۷: عدد ناسلت متوسط برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/011$	۱۲۵
جدول ۷-۸: عدد ناسلت متوسط برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/022$	۱۲۶
جدول ۷-۹: عدد ناسلت متوسط برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/054$	۱۲۷
جدول ۷-۱۰: تغییرات ماکزیمم تابع جریان برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/011$	۱۳۹
جدول ۷-۱۱: تغییرات عدد ناسلت برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/011$	۱۳۹
جدول ۷-۱۲: تغییرات ماکزیمم تابع جریان برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/022$	۱۳۹
جدول ۷-۱۳: تغییرات عدد ناسلت برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/022$	۱۳۹
جدول ۷-۱۴: تغییرات ماکزیمم تابع جریان برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/054$	۱۴۰
جدول ۷-۱۵: تغییرات عدد ناسلت برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/054$	۱۴۰
جدول ۷-۱۶: ماکزیمم مقدار انرژی جنبشی آشفتنگی برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/011$	۱۴۶
جدول ۷-۱۷: ماکزیمم مقدار انرژی جنبشی آشفتنگی برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/022$	۱۴۶
جدول ۷-۱۸: ماکزیمم مقدار انرژی جنبشی آشفتنگی برای اعداد رایلی و هارتمن مختلف برای $Pr=0/054$	۱۴۶

فهرست علائم اختصاری

Ar	نسبت ارتفاع به پهناى محفظه (نسبت ابعاد)
$A(m^2)$	سطح حجم کنترل
$B(Tesla)$	میدان مغناطیسی
$B_o(Tesla)$	میدان مغناطیسی اعمالی
$b(Tesla)$	میدان مغناطیسی القایی
b	جمله چشمه معادلات اندازه حرکت
$c_p \left(\frac{W}{Kg.k} \right)$	گرمای ویژه فشار ثابت
D	کنداكتانس پخش
$E \left(\frac{volt}{m} \right)$	میدان الکتریکی
$E_{appl} \left(\frac{volt}{m} \right)$	میدان الکتریکی اعمالی
$E_{ind} \left(\frac{volt}{m} \right)$	میدان الکتریکی القایی
$E_r \left(\frac{volt}{m} \right)$	میدان الکتریکی مؤثر
$E_s \left(\frac{volt}{m} \right)$	میدان الکتروستاتیک
$emf (Tesla.m.s^{-1})$	نیروی محرکه الکتریکی
\hat{e}_x, \hat{e}_y	بردارهای یکه در راستای x و y
$F(N)$	نیروی لورنتز
$F_{sh}(N)$	نیروی برشی
F	قدرت جابجایی
$g \left(\frac{m^2}{s} \right)$	شتاب ثقل
Gr	عدد گرافش

$H(l)$	ارتفاع محفظه
Ha	عدد هارتمن
$h(W.m^{-2}.k)$	ضریب انتقال حرارت جابجایی موضعی
$I(A)$	جریان الکتریکی
$J\left(\frac{A}{m^2}\right)$	چگالی جریان الکتریکی
$J_{appl}\left(\frac{A}{m^2}\right)$	چگالی جریان اعمالی
$J_{ind}\left(\frac{A}{m^2}\right)$	چگالی جریان القایی
$k(W.m^{-1}.k^{-1})$	ضریب انتقال حرارت هدایتی
$k\left(\frac{m^2}{s^2}\right)$	انرژی جنبشی جریان متلاطم
$L(l)$	پهنای محفظه
$\ell(l)$	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
$p(Pa)$	فشار
P	فشار بی بعد
$P'(Pa)$	تصحیح فشار
Pr	عدد پرانتل
Pe	عدد پکلت
$q(A.s)$	بارهای الکتریکی آزاد
$q''(W.m^{-2})$	شار حرارتی ثابت
$R(\Omega)$	مقاومت الکتریکی
Re_m	عدد رینولدز مغناطیسی
Ra	عدد رایلی

\bar{S}	جمله کلی چشمه
S_c	بخش ثابت جمله چشمه
S_p	ضریب ϕ_p در عبارت خطی شده جمله چشمه
$t(s)$	زمان
$T(k)$	دما
$T_r(k)$	دمای مرجع
$T_h(k)$	دمای دیواره گرم
$T_c(k)$	دمای دیواره سرد
$u\left(\frac{m}{s}\right)$	مؤلفه سرعت در جهت x
U	مؤلفه سرعت بی بعد در جهت X
U_c	مؤلفه سرعت بی بعد در جهت X روی خط میانی محفظه
$\hat{u}\left(\frac{m}{s}\right)$	سرعت کاذب در جهت x
$u^*\left(\frac{m}{s}\right)$	سرعت بر حسب فشار P^* در جهت x
$v\left(\frac{m}{s}\right)$	مؤلفه سرعت در جهت y
V	مؤلفه سرعت بی بعد در جهت Y
V_c	مؤلفه سرعت بی بعد در جهت Y روی خط میانی محفظه
$\hat{v}\left(\frac{m}{s}\right)$	سرعت کاذب در جهت y
$v^*\left(\frac{m}{s}\right)$	سرعت بر حسب فشار P^* در جهت y
$x, y(l)$	مختصات با بعد
X, Y	مختصات بی بعد

حروف یونانی

$\phi(^{\circ})$	زاویه میدان مغناطیسی نسبت به راستای محور x
$\sigma(\Omega^{-1}m^{-1})$	ضریب هدایت الکتریکی سیال

$\mu \left(\frac{A}{m^2} \right)$	ضریب نفوذ پذیری فضای آزاد
$\lambda \left(\frac{m^2}{s} \right)$	ضریب پخش مغناطیسی
ε_0	ثابت دی الکتریک فضای آزاد
$\rho \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$	دانسیته
$\beta (k^{-1})$	ضریب انبساط حرارتی حجمی سیال
$\mu (Kgm^{-1}s^{-1})$	لزجت دینامیکی
$\nu (m^2s^{-1})$	لزجت سینماتیکی
$\alpha (m^2s^{-1})$	ضریب پخش حرارتی
$\Phi (volt)$	پتانسیل الکتریکی
$\rho_e (A.s.m^{-2})$	چگالی بار الکتریکی
$\tau_e (s)$	ثابت زمانی
θ	دمای بی بعد
$\psi (m^2s^{-1})$	تابع جریان
Ψ	تابع جریان بی بعد
$\tau_w (N.m^{-2})$	تنش برشی دیوار
∇	اپراتور دل
∇^2	اپراتور لاپلاسین
ϕ	متغیر وابسته عمومی
$\bar{\phi}$	مقدار متوسط متغیر وابسته عمومی در جریان متلاطم
ϕ'	انحراف متغیر وابسته عمومی از مقدار متوسط در جریان متلاطم
$\Omega (s)$	سرعت دوران
Γ	ضریب پخش
α	ضریب زیر تخفیف
a	ضریب مربوط به معادلات منفصل شده
$\Delta V (l^3)$	حجم سلول
$\Delta x (l)$	پهنای حجم کنترل در جهت x

$\Delta y(l)$	پهنای حجم کنترل در جهت y
$\delta x(l)$	فاصله بین دو گره مجاور شبکه در جهت x
$\delta y(l)$	فاصله بین دو گره مجاور شبکه در جهت y
$\varepsilon(m^2 s^{-3})$	نرخ اضمحلال ویسکوز انرژی جنبشی آشفتگی
$\omega(s^{-1})$	فرکانس آشفتگی
σ_i	عدد پراوتل متلاطم

زیر نویسی

e	وجه شرقی حجم کنترل
w	وجه غربی حجم کنترل
n	وجه شمالی حجم کنترل
s	وجه جنوبی حجم کنترل
E	گره شرقی
W	گره غربی
N	گره شمالی
S	گره جنوبی
P	گره مرکزی
nb	گره همسایه
I	شماره خطوط شبکه (شماره گره) در راستای x
J	شماره خطوط شبکه (شماره گره) در راستای y
i	شماره وجوه حجم کنترل در راستای x
j	شماره وجوه حجم کنترل در راستای y
D_h	قطر هیدرولیکی
D	قطر هیدرولیکی
t	کمیت وابسته به جریان متلاطم