دانشگاه یزد

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

شبیه‌سازی عددی انتقال حرارت جابجایی ترکیبی چشمه‌های حرارتی درون محفظه‌ای دارای تهویه در میدان جریان مغشوش

استاد راهنما: دکتر ولی کلانتر

استاد مشاور: دکتر محمدرضا نظری

پژوهش و نگارش: وحیده زارع

شهریور ماه ۱۳۹۲

تقدیم به:

مهربانانی که خورشید در برابر تشعشع انوار پر مهرشان هیچ پرتویی ندارد

پدر و مادر عزیزم

و کسانی که در طول سال‌ها نشان دادند، موفقیتم آرزویشان است

خواهرانم سعیده، فاطمه، راضیه و زکیه

تقدیر و تشکر:

دوست و همدمی را سپاس می گوییم که در تمام لحظات پر فراز و نشیب مرا همراه بود

خدایا تو را سپاس

استاید ارجمندم: دکتر ولی کلاتر و دکتر محمدرضا نظری

دو سال در مکتب علم و اخلاق شما نشستم و از محضر استادیتان درس گرفتم . . . استاد و مرادم بودید و من شاگرد و مریدتان، همه لطف بودید و من همه زحمت. . .

حال در پایان این دوره از راه پر فراز و نشیب و بی انتهای آموختن ایستاده ام. . .

برای تشکر از لطف بی کرانتان و راهنمایی های بی دریغتان جهت انجام و اتمام پروژه حاضر جز کلام هیچ ندارم.

در تقدیر و تشکر از شما اساتید گرامی، همین بس که مولایمان حضرت علی (ع) می فرمایند:

«هر کس کلمه ای به من بیاموزد مرا بنده خویش ساخته است».

لطف تان بادوام و سایه مهرتان بر شاگردانتان مستدام.

چکیده

افزایش نرخ انتقال حرارت چشمه‌های حرارتی یکی از ضرورت‌های بقا و پایداری بسیاری از قطعاتی است که گرما تولید می‌کنند. تاکنون در بیشتر حل‌های عددی برای حل راحت‌تر مسئله به بررسی جریان آرام برای افزایش نرخ انتقال حرارت پرداخته شده است. حال آنکه واقعیت غیر از این است و وجود عوامل خنک‌کننده‌ای نظیر فن و ... باعث مغشوش شدن جریان می‌شود. در این پژوهش عملکرد مدل‌های توربولانسی مختلف برای خنک‌کاری چشمه یا چشمه‌های حرارتی همراه با انتقال حرارت ترکیبی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای انجام این امر معادلات متوسط‌گیری شده برای جریان تراکم‌ناپذیر و آشفته در حالت دایم برای چهار مدل توربولانسی در محفظه‌ای سه بعدی حل شده اند. برای محاسبات از نرم‌افزار فلوئنت ۶.۳.۲۶ بهره گرفته شده است. در این پژوهش نتایج حاصل از حل عددی با داده‌های تجربی موجود در منابع علمی معتبر مقایسه شد. بررسی‌ها نشان داد که مدل RNG k-ε نسبت به دیگر مدل‌های بررسی شده عملکرد مطلوب‌تری دارد.

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر عدد پرانتل بر روی مقدار عدد ناسلت برای رینولدزهای مختلف، تأثیر قدرت چشمه‌ی حرارتی بر روی متوسط دمای چشمه‌ی حرارتی، تأثیر اندازه‌ی چشمه‌ی حرارتی بر انتقال حرارت چشمه، تأثیر تعداد چشمه‌ی حرارتی بر روی نرخ انتقال حرارت و تاثیر سرعت‌های ورودی غیریکنواخت خطی و سهموی بر نرخ انتقال حرارت می‌باشد. در پایان به تاثیر سرعت ورودی متغییر با زمان بر نرخ انتقال حرارت پرداخته شده است.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱-مقدمه‌ای بر انتقال حرارت ۲

۱-۲-روش‌های انتقال حرارت ۲

۱-۲-۱- هدایت حرارتی ۲

۱-۲-۲- جابجایی ۴

۱-۲-۳- تشعشع ۵

۱-۳-انتقال حرارت درون محفظه ۶

۱-۴-مقدمه‌ای بر جریان سیال ۷

۱-۴-۱- جریان آرام ۷

۱-۴-۲- جریان مغشوش ۷

فصل دوم: پیشینه‌ی تحقیق ۹

۲-۵- مقدمه ۱۰

۲-۱- بررسی انتقال حرارت چشمه‌های حرارتی در محفظه با جریان آرام ۱۱

۲-۲- بررسی انتقال حرارت چشمه‌های حرارتی در محفظه با جریان مغشوش ۲۱

۲-۳- پیشنهاد طرح تحقیق ۲۹

فصل سوم- شبیه‌سازی عددی ۳۳

۳-۱- مقدمه ۳۴

۳-۲- معادلات حاکم ۳۴

۳-۲-۱- معادلات حاکم بر جابجایی سیال ۳۴

۳-۲-۲- معادلات حاکم بر جسم جامد (چشمه‌ی حرارتی) ۳۶

۳-۳- آنالیز ابعادی ۳۷

۳-۴-مدل کردن جریان مغشوش[۲۳] ۳۸

۳-۴-۱- مقایسه‌ی حجم و زمان محاسبه برای مدل‌های موجود ۳۹
۳-۴-۲- مقایسه و انتخاب مدل مغشوش ۴۰
۳-۴-۳- توابع دیواره ۴۴
۳-۵- اعتبار سنجی پژوهش ۴۴
۳-۵-۱- اعتبار سنجی با محفظه‌ی بدون جسم جامد همراه جریان آرام ۴۵
۳-۵-۲- اعتبارسنجی با محفظه‌ی دارای جسم جامد با جریان آرام ۴۷
۳-۵-۳- اعتبار سنجی با چشمه‌ی حرارتی درون محفظه‌ی دارای تهویه همراه با جریان مغشوش و تعیین مدل جریان آشفته در نرم افزار فلوئنت ۴۸
۳-۶- شرایط مرزی حاکم بر حل ۵۲
۳-۷- نحوه عملکرد سیستم خنککاری چشمه‌های حرارتی در حالت دائم ۵۳
۳-۸- استقلال حل از شبکه ۵۴
۳-۹- بررسی شدت جریان مغشوش ۵۶
فصل چهار: نتایج و تحلیل آن ۵۷
۴-۱- مقدمه ۵۸
۴-۲- تعداد بهینه‌ی دریچه‌های ورودی و خروجی ۵۹
۴-۳- بررسی تأثیر عدد پرانتل و عدد رینولدز بر روی عدد ناسلت ۶۴
۴-۴- بررسی اثر قدرت چشمه‌ی حرارتی برنرخ انتقال حرارت ۷۱
۴-۵- افقی یا عمودی بودن چشمه‌ی حرارتی ۷۳
۴-۶- ابعاد بهینه برای چشمه‌ی حرارتی ۷۵
۴-۷- تعداد بهینه‌ی چشمه‌ی حرارتی ۷۸
۴-۸- موقعیت بهینه برای چشمه‌ی حرارتی ۸۱
۴-۹- محفظه با سرعت ورودی غیر یکنواخت ۸۴
۴-۹-۱- سرعت ورودی غیر یکنواخت خطی ۸۴

۴-۹-۲- سرعت ورودی غیر یکنواخت سهموی ۸۷
۴-۱۰- بررسی انتقال حرارت یک چشمه‌ی حرارتی در حالت غیر دائم ۹۰
۴-۱۱- بررسی انتقال حرارت محفظه با سرعت ورودی متغییر با زمان ۹۴
۴-۱۲-بررسی و اطمینان از برقرار بودن معادله بقای جرم ۹۶
۴-۱۳-بررسی و اطمینان از برقرار بودن معادله بقای انرژی ۹۷
فصل پنجم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۰۰
۵-۱-جمع‌بندی ۱۰۱
۵-۲-پیشنهاداتی برای ادامه‌ی پژوهش ۱۰۲
پیوست ۱ ..... ۱۰۴
فهرست منابع و مأخذ ۱۰۶

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- انتقال حرارت هدایت در حالت گذرا در یک بعد[۱]. ۳

شکل ۱-۲- انتقال حرارت یک بعدی درون یک المان با چشمه‌ی حرارتی [۱]. ۴

شکل ۱-۳- (a) انتقال حرارت جابجایی اجباری (b) انتقال حرارت جابجایی طبیعی [۱]. ۵

شکل ۱-۴- نمونه‌ای از انتقال حرارت یک جسم داغ درون محیط خلأ [۱]. ۶

شکل ۱-۵- رشد لایه مرزی برروی یک صفحه تخت [۱]. ۸

شکل ۲-۱- نمایش شماتیک محفظه با چشمه‌ی حرارتی [۲]. ۱۱

شکل ۲-۲- نمایش مسئله مورد مطالعه [۳]. ۱۲

شکل ۲-۳- نمایش محفظه با چشمه‌ی حرارتی و ابعاد مختلف دریچه‌ی بادخور[۴]. ۱۳

شکل ۲-۴- نمایش محفظه‌ی مربعی با وضعیت متفاوت چشمه‌ی حرارتی [۵]. ۱۴

شکل ۲-۵- نمایش محفظه با چشمه با شرایط مرزی مختلف [۶]. ۱۵

شکل ۲-۶- نمایش محفظه با موقعیت متفاوت چشمه‌های حرارتی [۷]. ۱۶

شکل ۲-۷- نمایش هندسه‌ی مسئله و مختصات در نظر گرفته شده [۸]. ۱۷

شکل ۲-۸- نمایش محفظه همراه با تهویه با موقعیت‌های مختلف چشمه‌ی حرارتی [۹]. ۱۸

شکل ۲-۹- نمایش هندسه‌ی مورد مطالعه و نمونه‌ای از مش استفاده شده [۱۰]. ۱۹

شکل ۲-۱۰- نمایش شماتیک هندسه‌ی مورد بررسی [۱۱]. ۲۰

شکل ۲-۱۱- نمایش محفظه‌ی باز تحت زاویه‌ی فی [۱۲]. ۲۱

شکل ۲-۱۲- نمایش کانال و مختصات حاکم بر آن [۱۳]. ۲۲

شکل ۲-۱۳- نمایش محفظه با چشمه‌ی حرارتی و دریچه‌های ورود و خروج [۱۴]. ۲۳

شکل ۲-۱۴- نمایش هندسه‌ی مورد مطالعه [۱۵]. ۲۴

شکل ۲-۱۵- نمایش محفظه با چشمه‌ی حرارتی [۱۶]. ۲۵

شکل ۲-۱۶- نمایشی از محفظه و موقعیت چشمه‌های درون آن [۱۸]. ۲۷

شکل ۲-۱۷- نمایش سیستم مورد بررسی: ۱-دیواره‌ها، ۲-گاز، ۳-چشمه حرارتی [۱۹]. ۲۸

شکل ۲-۱۸- نمایش کانال با چشمه‌های حرارتی همراه با تولید کننده‌ی گردابه‌ی مثلثی [۲۰] ۲۹
شکل ۲-۱۹- نمایش دوبعدی آرایش چیدمان یک چشمه‌ی حرارتی در یک محفظه با دریچه‌ی تهویه. ۳۰
شکل ۲-۲۰- نمایش آرایش چیدمان سه بعدی یک چشمه‌ی حرارتی در یک محفظه با دریچه‌ی تهویه ۳۱
شکل ۳-۱- هندسه‌ی استفاده شده جهت اعتبار سنجی ۴۵
شکل ۳-۲- شکل مولفه‌ی عمودی سرعت در میانه‌ی محفظه برای رایلی $۱۰^{۴}$ و مقایسه با مرجع[۲۷] ۴۶
شکل ۳-۳- شکل مولفه‌ی عمودی سرعت برای عدد رایلی $۱۰^{۶}$ و مقایسه با مرجع[۲۷]. ۴۷
شکل ۳-۴- هندسه‌ی مورد بررسی جهت اعتبار سنجی [۲۴]. ۴۷
شکل ۳-۵- تغییرات عدد ناسلت برحسب عدد رینولدز برای مدل‌های مختلف جریان مغشوش. ۴۹
شکل ۳-۶- تغییرات نسبت دمای میانگین دیواره‌ی چشمه‌ی حرارتی به دمای ورودی بر حسب عدد ناسلت برای مدل‌های مختلف جریان مغشوش. ۵۰
شکل ۳-۷- نمایش همگرایی حل عددی در نرم‌افزار فلوئنت برای روش k-ε Standard ۵۱
شکل ۳-۸- نمایش همگرایی حل عددی در نرم‌افزار فلوئنت برای روش k-ε RNG ۵۲
شکل ۳-۹- نمایی از نحوه قرار گرفت چشمه‌ی حرارتی درون محفظه. ۵۳
شکل ۳-۱۰- مولفه‌ی عمودی سرعت در میانه‌ی محفظه برای شبکه‌های مختلف ۵۵
شکل ۳-۱۱- دما در میانه‌ی محفظه برای شبکه‌های مختلف ۵۵
شکل ۴-۱- نمایش هندسه‌هایی با تعداد دریچه‌های متفاوت. ۶۰
شکل ۴-۲- نمایش بردار سرعت در میانه‌ی محفظه برای هندسه‌هایی با دریچه‌های متفاوت. ۶۲
شکل ۴-۳- نمایش خطوط سرعت متوسط در میانه‌ی محفظه برای هندسه‌هایی با دریچه‌های متفاوت. ۶۲
شکل ۴-۴- نمایش خطوط دما ثابت برای هندسه‌هایی با ابعاد و تعداد دریچه‌های متفاوت. ۶۳

شکل ۴-۵- مولفه‌ی عمودی سرعت در میانه‌ی محفظه برای هندسه‌هایی با ابعاد و تعداد دریچه‌های متفاوت ۶۳
شکل ۴-۶- متوسط دما بر روی چشمه‌ی حرارتی در میانه‌ی محفظه برای هندسه‌هایی با ابعاد و تعداد دریچه‌های متفاوت ۶۴
شکل ۴-۷- نمایی از هندسه‌ی مورد بررسی. ۶۵
شکل ۴-۸- تغییرات عدد ناسلت بر حسب رینولدز برای اعداد پرانتل مختلف ۶۵
شکل ۴-۹- تغییرات عدد ناسلت بر حسب رینولدز برای اعداد پرانتل مختلف ۶۶
شکل ۴-۱۰- تغییرات دما در میانه‌ی محفظه برای اعداد پرانتل مختلف ۶۷
شکل ۴-۱۱- تغییرات دما در میانه‌ی محفظه برای اعداد پرانتل مختلف ۶۷
شکل ۴-۱۲- نمایش کانتور سرعت متوسط در میانه‌ی محفظه ۶۹
شکل ۴-۱۳- خطوط دما ثابت در میانه‌ی محفظه به ازای اعداد رینولدز و پرانتل متفاوت ۷۰
شکل ۴-۱۴- تغییرات دما در میانه‌ی محفظه برای اعداد ریچاردسون مختلف ۷۲
شکل ۴-۱۵- تغییرات دما در میانه‌ی محفظه برای اعداد ریچاردسون مختلف ۷۲
شکل ۴-۱۶- نمایش بردار سرعت در میانه‌ی محفظه ۷۴
شکل ۴-۱۷- نمایش خطوط دما ثابت در میانه‌ی محفظه ۷۵
شکل ۴-۱۸- نمایش بردار سرعت برای ابعاد مختلف چشمه‌ی حرارتی در میانه‌ی محفظه. ۷۷
شکل ۴-۱۹- نمایش خطوط سرعت متوسط برای ابعاد مختلف چشمه‌ی حرارتی در میانه‌ی محفظه. ۷۷
شکل ۴-۲۰- نمایش خطوط دما ثابت برای ابعاد مختلف چشمه‌ی حرارتی در میانه‌ی محفظه ۷۸
شکل ۴-۲۱- مولفه‌ی عمودی سرعت در میانه محفظه‌ای با تعداد چشمه‌های حرارتی مختلف ۸۰
شکل ۴-۲۲- نمایش بردار سرعت در میانه محفظه با تعداد چشمه‌های حرارتی مختلف ۸۰
شکل ۴-۲۳- نمایش خطوط دما ثابت در میانه محفظه با تعداد چشمه‌های حرارتی مختلف ۸۱
شکل ۴-۲۴- نمایش توزیع ویسکوزیته مغشوش در میانه‌ی محفظه ۸۲

شکل ۴-۲۵- نمایش دو بعدی از موقعیت قرارگیری چشمه‌ی حرارتی درون محفظه. ۸۲
شکل ۴-۲۶- بردار سرعت برای موقعیت‌های مختلف چشمه‌ی حرارتی ۸۳
شکل ۴-۲۷- نمایش دو بعدی محفظه با سرعت ورودی یکنواخت و سرعت ورودی غیر یکنواخت. ۸۵
شکل ۴-۲۸- نسبت سرعت ورودی به ارتفاع دریچه‌های ورودی. ۸۵
شکل ۴-۲۹- دما در میانه‌ی محفظه برای سرعت‌های غیر یکنواخت خطی. ۸۷
شکل ۴-۳۰- نمایش دو بعدی محفظه برای دو سرعت ورودی غیر یکنواخت سهموی. ۸۸
شکل ۴-۳۱- نسبت سرعت ورودی به ارتفاع دریچه‌های ورودی. ۸۸
شکل ۴-۳۲- دما در میانه‌ی محفظه برای سرعت‌های غیریکنواخت سهموی. ۸۹
شکل ۴-۳۳- نمایش همگرایی دمای متوسط سطح چشمه‌ی حرارتی ۹۱
شکل ۴-۳۴- تغییرات عدد ناسلت متوسط چشمه‌ی حرارتی با گذشت زمان ۹۱
شکل ۴-۳۵- پروفیل دما در میانه‌ی محفظه با ازای واحد طول بر حسب زمان ۹۲
شکل ۴-۳۶- خطوط دما ثابت و خطوط جریان برای محفظه با یک چشمه‌ی حرارتی بر حسب زمان ۹۳
شکل ۴-۳۷- ناسلت متوسط چشمه‌ی حرارتی در یک دوره‌ی زمانی. ۹۵
شکل ۴-۳۸- بردارهای سرعت در یک دوره برای فرکانس ۲۰ هرتز. ۹۵
شکل ۴-۳۹- خطوط دما ثابت در یک دوره برای فرکانس ۲۰ هرتز. ۹۶
شکل ۴-۴۰- نمای پروفیل سرعت افقی بی‌بعد در دهانه‌ی ورودی و خروجی. ۹۶

فهرست جداول

جدول ۳-۱- مقدار عدد ناسلت به ازای پرانتل ۰.۷ برای مقادیر متفاوت عدد رایلی. ۴۶
جدول ۳-۲- مقدار عدد ناسلت متوسط برای پرانتل ۰/۷۱ و R_K=۱. ..... ۴۸
جدول ۳-۳- مقدار خطای عدد ناسلت مدل‌های مختلف آشفتگی با مدل آزمایشگاهی. ۵۰
جدول ۳-۴- مقایسه‌ی عدد ناسلت متوسط و دمای مقطع خروجی برای شبکه‌های مختلف. ۵۴
جدول ۳-۵- نتایج عدد ناسلت بر حسب شدت جریان مغشوش ۵۶
جدول ۴-۱- مقدار عدد ناسلت برای هندسه‌های مختلف با تعداد دریچه‌های متفاوت ۶۱
جدول ۴-۲- عدد ناسلت برای رینولدزهای مختلف به ازای عدد ریچاردسون ۶. ..... ۷۱
جدول ۴-۳- عدد ناسلت برای رینولدزهای مختلف به ازای عدد ریچاردسون ۳. ..... ۷۱
جدول ۴-۴- مقایسه‌ی عدد ناسلت برای محفظه‌ی با چشمه‌ی افقی و عمودی ۷۳
جدول ۴-۵- مقایسه‌ی عدد ناسلت برای محفظه‌ی با چشمه‌ی افقی و عمودی ۷۳
جدول ۴-۶- مقدار عدد ناسلت برای ابعاد متفاوت چشمه‌ی حرارتی ۷۶
جدول ۴-۷- تغییرات عدد ناسلت برای محفظه با تعداد چشمه‌های حرارتی متفاوت ۷۹
جدول ۴-۸- عدد ناسلت متوسط و دمای متوسط سطح چشمه حرارتی برای موقعیت‌های مختلف چشمه‌ی حرارتی ۸۲
جدول ۴-۹- مقدار ناسلت متوسط برای سرعت‌های غیر یکنواخت خطی مختلف ۸۶
جدول ۴-۱۰- مقدار ناسلت متوسط برای سرعت‌های غیر یکنواخت سهموی مختلف. ۸۹
جدول ۴-۱۱- ناسلت متوسط در یک دوره به ازای فرکانس مختلف. ۹۴
جدول ۴-۱۲- مقادیر بی‌بعد انرژی ورودی و خروجی از محفظه ۹۸

فهرست نمادها

A	مساحت سطح(m^2)
C_p	گرمای ویژه ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
E	انرژی کل (J)
EXP	آزمایشگاهی
Gr	عدد گراشف ($g\beta\Delta T\ L^3\nu^{-2}$)
G	شتاب جاذبه ($9.81\ ms^{-2}$)
K	ضریب هدایت حرارتی ($Wm^{-1}K$)
L	اندازه‌ی هر یک از اضلاع محفظه (m)
LX	طول افقی بدون بعد چشمه‌ی حرارتی
LY	طول عمودی بدون بعد چشمه‌ی حرارتی
Nu	عدد ناسلت (hLk^{-1})
Num	تعداد چشمه‌های حرارتی درون محفظه
P	فشار (Pa)
Pr	عدد پرانتل ($\mu C_p k^{-1}$)
Ra	عدد رایلی (Gr Pr)
Re	عدد رینولدز ($u_\infty L\nu^{-1}$)
Ri	عدد ریچاردسون ($Gr\ Re^{-2}$)
R_ε	یک ترم در معادله‌ی مدل مغشوش RNG
T_{avg}	دمای متوسط روی سطح هیتر (K)
T_∞	دمای ورودی (K)
V	سرعت بی بعد در راستای عمودی (vu_∞^{-1})
u_∞	سرعت ورودی (ms^{-1})

H	ضریب انتقال حرارت جابجایی (Wm^{-2})
ΔT	$T_{max} - T_{\infty}$