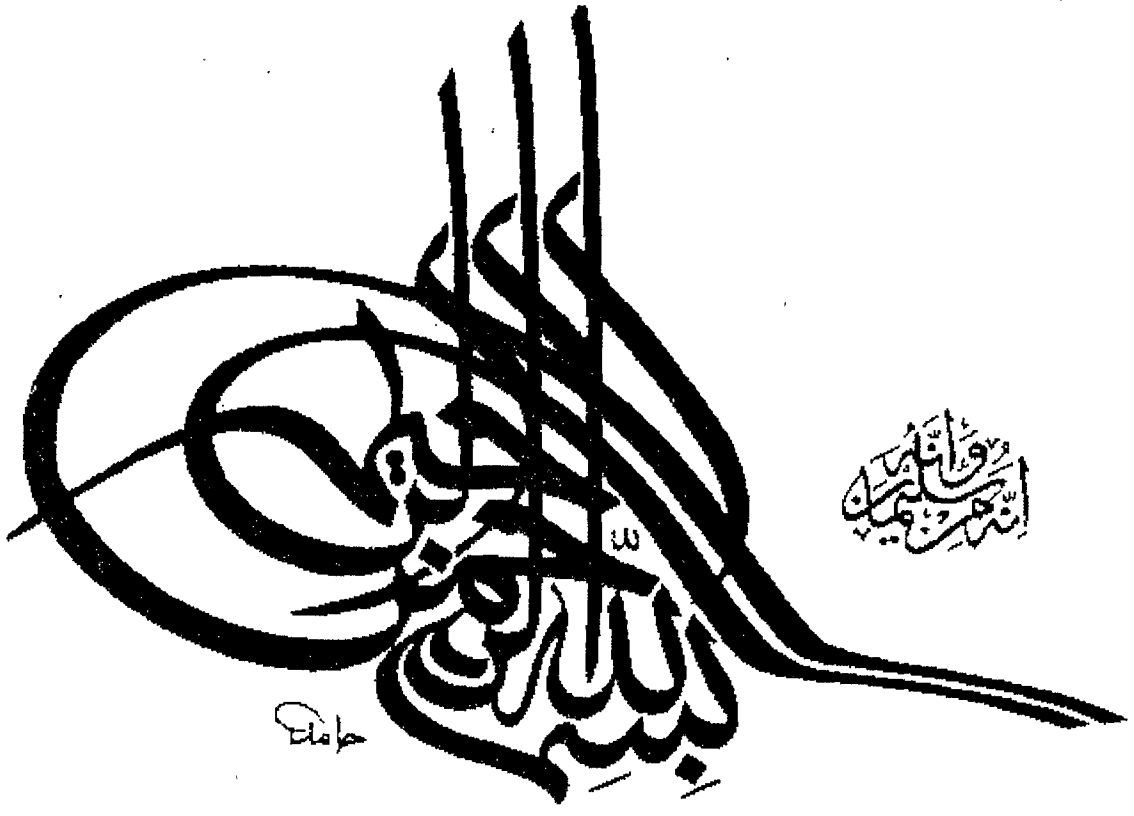


اسکن شہد
تاریخ :
اپریل ۱۹۷۸



۱۲۷۵

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک تبدیل انرژی

بررسی عددی جریان حول دو سیلندر مربعی

با آرایش پهلو به پهلو و اریب

استاد راهنما: دکتر احمد سوهانکار

استاد مشاور: دکتر علی اکبر دهقان

پژوهش و نگارش: مهدی مرادی کوپائی

۱۳۸۸/۹/۱۱

۱۳۸۸/۹/۱۱

توسط هیات مدرک علمی ریاض
توسط مدرک

اسفند ۱۳۸۷

۱۲۷۴۵۰

تقدیم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر مادری فداکار نصیبم ساخته، آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر، توانشان رفت تا به توانایی برسم و رویشان سفید گشت تا رویم سپید بماند. آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان، سرمایه های جاودانی زندگی من است. آنان که راستی قامت در شکستی قامتشان تجلی یافت.

والدینی که بودنشان تاج افتخاریست بر سرم و نامشان دلیلیست بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند.

اینک در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می زنم و با دلی مملو از عشق، محبت و خضوع بر دستشان بوسه می زنم، حال این برگ سبزیست تحفه درویش تقدیم آنان...


تشکر و قدردانی

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

حمد و سپاس مخصوص پروردگار بخشاینده توبه پذیر و بسیار کیفر دهنده است که معبودی جز او نیست و سرنوشت همه به دست اوست و سلام و درود بر محمد رسول الله، رحمت جهانیان و بر اهل بیت و همه یاران.

بر حسب تکلیف از همه عزیزانی که مرا در به پایان رسانیدن پایان نامه یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم و توفیقات بیش از پیش برایشان از خداوند متعال آرزومندم.

- از استاد عزیز و بزرگوارم جناب دکتر احمد سوهانکار (استاد راهنما)، آن الگوی تلاش و علم آموزی که راهنمای ها و حمایت هایشان بی نظیر بود.
- از استاد بزرگوارم جناب دکتر علی اکبر دهقان (استاد مشاور) که با راهنمای هایشان مرا در انجام شدن این تحقیق یاری نمودند.
- از جناب دکتر محمد سعید سعیدی (داور خارجی) و جناب دکتر ولی کلانتر (داور داخلی) که با راهنمای هایشان مرا در جهت بهتر انجام شدن این تحقیق یاری نمودند.
- در پایان از دوستان عزیزم ساسان ملک زاده و مجید توحیدی کمال تشکر را دارم.

<p>شناسه: ب/ک/۳</p>	<p>صور تجلسه دفاعیه پایان نامه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد</p>	 <p>مدیریت تحصیلات تکمیلی</p>
---------------------	---	--

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای / خانم: مهدی مرادی کویانی دانشجوی کارشناسی ارشد




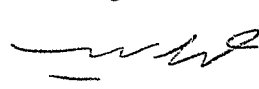
رشته/گرایش: تبدیل انرژی

به شماره دانشجویی: ۸۵۰۳۸۵۴

تحت عنوان: بررسی عددی جریان حول دو سیلندر مربعی با آرایش پهلو به پهلو و اریب

و تعداد واحد: ۶ در تاریخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۵ با حضور اعضای هیأت داوران (به شرح ذیل) تشکیل گردید.

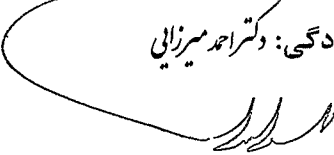
پس از ارزیابی توسط هیأت داوران، پایان نامه با نمره: به عدد ۱۹/۴۵ به حروف نوزده و چهارم و درجه کالی مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء	نام و نام خانوادگی	عنوان
	دکتر امیر سولتان کار	استاد / استادان راهنما:
	دکتر علی اکبر دهقان	استاد / استادان مشاور:
	دکتر ولی کلاتر	متخصص و صاحب نظر داخلی:
	دکتر محمد سعید سعیدی	متخصص و صاحب نظر خارجی:

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام و نام خانوادگی: دکتر امیر میرزایی

امضاء:



چکیده

جریان حول جریان بندها کاربردهای زیادی در صنعت دارد. از جمله می توان به جریان حول ساختمانها و سازه های بلند مثل دودکش ها و خنک کاری قطعات الکترونیکی بوردها در آرایش های مختلف اشاره کرد. در این تحقیق جریان سیال و انتقال حرارت حول دو سیلندر هم اندازه با مقطع مربعی در آرایش پهلو به پهلو و اریب در جریان های آرام و آشسته به روش عددی مطالعه شده است. تحقیق حاضر برای جریان تراکم ناپذیر دائم و غیر دائم در محدوده اعداد رینولدز ۱ تا ۲۰۰ در جریان آرام و محدوده اعداد رینولدز ۲۵۲۰۰ تا ۷۰۰۰۰ در جریان آشسته و عدد پرانتل ۰/۷۱ انجام شده است.

در فصل اول مقدمه ای درباره فیزیک جریان حول اجسام جریان بند و مفاهیم پایه از جمله لایه مرزی جدایی جریان و ریزش گراده تشریح شده است. در فصل دوم تحقیقات انجام شده در گذشته در بخش های جداگانه ارائه شده و جایگاه تحقیق حاضر تعیین شده است. در فصل سوم مسأله مورد تحقیق تعریف شده، شرایط هندسی، شرایط مرزی، نحوه شبکه بندی و معادلات حاکم تشریح شده است.

در فصل چهارم تا ششم نتایج بررسی جریان سیال و انتقال حرارت ارائه شده است. در فصل چهارم نتایج جریان آرام در آرایش پهلو به پهلو ارائه شده است. در این فصل فاصله سیلندرها از مرزهای بالا و پایین، برای تعیین نسبت انسداد مناسب بررسی شده و استقلال شبکه در جریان دائم و غیر دائم مورد بررسی قرار گرفته است. سپس به ارائه ویژگی های جریان دائم و غیر دائم و معرفی الگوهای یک مشاهده شده در هر دو حالت پرداخته شده است و در نهایت انتقال حرارت از سیلندرها بررسی شده است. در فصل پنجم نتایج جریان آرام در آرایش اریب ارائه شده است. در این فصل استقلال شبکه در جریان غیر دائم مورد بررسی قرار گرفته است. سپس به ارائه ویژگی های جریان دائم و غیر دائم پرداخته شده است و در نهایت انتقال حرارت از سیلندرها بررسی شده

است. در فصل ششم ویژگی های جریان آشفته و نتایج انتقال حرارت از سیلندرها در آرایش پهلو به پهلو و اریب ارائه شده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۲-۱ لایه مرزی	۱
۳-۱ ریزش گردابه	۴
فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده در گذشته	۱۰
۱-۲ مقدمه	۱۰
۲-۲ آرایش دو سیلندری پهلوی به پهلوی در جریان آرام	۱۰
۳-۲ آرایش دو سیلندری پهلوی به پهلوی در جریان آشفته	۲۱
۴-۲ آرایش دو سیلندری اریب در جریان آرام	۲۸
۵-۲ آرایش دو سیلندری اریب در جریان آشفته	۳۵
۶-۲ جمع بندی تحقیقات گذشته و ویژگی های تحقیق حاضر	۴۱
فصل سوم: تعریف مساله جزئیات حل عددی و معادلات حاکم	۴۶
۱-۳ مقدمه	۴۶
۲-۳ تعریف مساله	۴۶
۳-۳ معادلات حاکم	۴۸
۱-۳-۳ ترم جابجایی	۵۰
۲-۳-۳ ترم نفوذ	۵۱
۴-۳ مدل آشفته $k - \varepsilon$	۵۲
۵-۳ فرم بی بعد معادلات حاکم	۵۲
۶-۳ شرایط مرزی	۵۳
۱-۶-۳ شرط مرزی ورودی	۵۳
۲-۶-۳ شرط مرزی خروجی	۵۴
۳-۶-۳ شرط مرزی دیوار	۵۵
۷-۳ جزئیات هندسی شبکه	۵۷
فصل چهارم: نتایج جریان آرام در آرایش پهلوی به پهلوی دو سیلندری	۶۳
۱-۴ مقدمه	۶۳
۲-۴ بررسی فاصله BI	۶۳
۳-۴ بررسی استقلال شبکه	۶۵
۴-۴ مقایسه نتایج حالت تک سیلندری دیگر محققان با حالت $GI=5,10$	۶۸
۵-۴ بررسی ویژگی های جریان	۶۸

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷۱	۴-۵-۱ جریان دائم
۸۳	۴-۵-۲ جریان غیر دائم
۱۰۲	۴-۶ انتقال حرارت از دو سیلندر
۱۱۴	۴-۶ جمع بندی نتایج
۱۱۶	فصل پنجم نتایج جریان آرام در آرایش اریب دو سیلندری
۱۱۶	۵-۱ مقدمه
۱۱۶	۵-۲ بررسی استقلال شبکه
۱۱۸	۵-۳ بررسی ویژگی های جریان دائم
۱۳۰	۵-۴ بررسی ویژگی های جریان غیر دائم
۱۵۰	۵-۵ انتقال حرارت از دو سیلندر
۱۵۹	۵-۶ جمع بندی نتایج
۱۶۱	فصل ششم: نتایج جریان آشفته در آرایش پهلو به پهلو و اریب دو سیلندری
۱۶۱	۶-۱ مقدمه
۱۶۲	۶-۲ بررسی ویژگی های جریان آشفته
۱۷۳	۶-۳ انتقال حرارت از دو سیلندر
۱۷۸	۶-۴ جمع بندی نتایج
۱۸۰	پیوست
۱۸۰	پیوست الف
۱۸۵	پیوست ب
۱۸۷	پیوست ج
۱۹۰	پیوست د
۲۱۶	منابع و ماخذ

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
شکل ۱-۱ لایه مرزی شکل گرفته در عبور جریان یکنواخت روی صفحه تخت ساکن	۳
شکل ۲-۱ جریان تراکم ناپذیر روی کره الف) جریان غیرلزج ب) جریان لزج	۴
شکل ۳-۱ پدیده ریزش گردابه و مسیر گردابه ون کارمن پشت یک سیلندر	۵
شکل ۴-۱ دو نمونه از طرح های استفاده شده در سازه های بلند، برای محافظت در برابر تشدید، در اثر ریزش گردابه ها	۶
شکل ۵-۱ گردابه های ایجاد شده در پشت یک هواپیما	۷
شکل ۶-۱ مراحل گسترش جسم در امتداد جریان جهت کاهش تشکیل گردابه و باریک شدن ویک	۸
شکل ۷-۱ جدایی خطوط جریان و تشکیل ناحیه گردابه ای پشت جسم	۹
شکل ۸-۱ کاهش نیروی درگ با اضافه کردن دو جسم آیرودینامیکی به طرح سمت چپ (طرح سمت راست)	۹
فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده در گذشته	۱۰
شکل ۱-۲ آرایش دو سیلندر در دامنه محاسباتی	۱۱
شکل ۲-۲ ریزش گردابه از سیلندرها در رژیم هماهنگ الف) غیر همفاز ب) همفاز	۱۲
شکل ۳-۲ بردار لحظه ای سرعت برای رژیم های ریزش گردابه الف) غیر همفاز ب) همفاز	۱۲
شکل ۴-۲ کانتورهای سرعت متوسط (U_{ave}) و خطوط جریان متوسط: الف) رژیم هماهنگ ب) رژیم نیم وارو	۱۳
شکل ۵-۲ فشار متوسط روی صفحات سیلندر پایین برای: الف) رژیم هماهنگ ب) رژیم نیم وارو	۱۴
شکل ۶-۲ آرایش سیلندرها در دامنه محاسباتی	۱۵
شکل ۷-۲ الف) انتقال از جریان دائم متقارن به دائم غیر متقارن ب) انتقال از جریان دائم متقارن به جریان نوسانی با ریزش گردابه هماهنگ در حالت همفاز. پ) انتقال از جریان دائم متقارن به جریان نوسانی با ریزش گردابه هماهنگ در حالت همفاز	۱۶
شکل ۸-۲ کانتورهای فشار برای آرایش پهلو به پهلو در $Re = 200$	۱۷
شکل ۹-۲ توان طیفی ضریب لیفت در آرایش پهلو به پهلو	۱۸
شکل ۱۰-۲ کانتورهای لحظه ای سرعت (چپ) و خطوط جریان (راست)	۲۰
شکل ۱۱-۲ آرایش سیلندرها در دامنه محاسباتی	۲۱
شکل ۱۲-۲ الف) کانتورهای لحظه ای سرعت و ب) کانتورهای انرژی جنبشی آشفته	۲۲
شکل ۱۳-۲ کانتورهای لحظه ای بردارهای سرعت	۲۳
شکل ۱۴-۲ کانتورهای لحظه ای انرژی جنبشی آشفته	۲۴

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱۵ متوسط ضریب اصطکاک سطحی موضعی دیوار کانال برای فاصله بین سیلندری مختلف	
الف) آرایش پهلو به پهلو ب) آرایش پشت سر هم	۲۶
شکل ۲-۱۶ متوسط عدد نوسلت موضعی دیوار کانال برای فاصله بین سیلندری مختلف G_p	
در آرایش پهلو به پهلو	۲۷
شکل ۲-۱۷ تغییرات زمانی ضرایب لیفت و درگ، برای دو سیلندر مربعی در آرایش پهلو به پهلو.	۲۸
شکل ۲-۱۸ آرایش سیلندرها در دامنه محاسباتی.	۲۹
شکل ۲-۱۹ چگالی توان طیفی ضرایب درگ و لیفت	۳۰
شکل ۲-۲۰ آرایش سیلندرها و نامگذاری پیکربندی میدان حل.	۳۲
شکل ۲-۲۱ میدان های ورتیسیتیه لحظه ای	۳۳
شکل ۲-۲۲ عدد استروهل نسبت به فاصله عرضی برای فاصله طولی مختلف برای سیلندر پایین	
(SCI) و سیلندر بالا ($SCII$).	۳۴
شکل ۲-۲۳ ضرایب درگ و لیفت متوسط نسبت به فاصله عرضی در حالت های مختلف فاصله	
طولی روی سیلندر I (SCI) و سیلندر II ($SCII$).	۳۴
شکل ۲-۲۴ آرایش سیلندها در هندسه جریان	۳۶
شکل ۲-۲۵ تغییرات ضریب درگ C_D سیلندر پایین دست در جهت عرضی.	۳۶
شکل ۲-۲۶ تغییرات ضریب لیفت C_L سیلندر پایین دست در جهت عرضی.	۳۷
شکل ۲-۲۷ کانتورهای مقادیر ثابت الف) C_L ب) C_D پ) C'_L ت) C'_D ج) St سیلندر پایین دست.	
.	۳۸
شکل ۲-۲۸ پیکربندی دو سیلندر دایره ای هم اندازه در جریان عرضی دائم	۳۹
شکل ۲-۲۹ آرایش سیلندرها در هندسه جریان	۴۱
شکل ۲-۳۰ نامگذاری مشخصات هندسی جریان در تحقیق حاضر در آرایش الف) پهلو به پهلو	
ب) اریب.	۴۲
شکل ۲-۳۱ مقایسه محدوده اعداد رینولدز تحقیقات انجام شده در گذشته با تحقیق حاضر برای دو	
سیلندر مربعی با آرایش پهلو به پهلو الف) جریان آرام ب) جریان آشفته.	۴۴
شکل ۲-۳۲ مقایسه محدوده اعداد رینولدز تحقیقات انجام شده در گذشته با تحقیق حاضر برای	
دو سیلندر مربعی با آرایش اریب. الف) جریان آرام ب) جریان آشفته.	۴۵
فصل سوم: تعریف مساله، جزئیات حل عددی و معادلات حاکم	۴۶
شکل ۳-۱ مشخصات هندسی میدان حل برای دو سیلندر با آرایش الف) پهلو به پهلو ب) اریب.	۴۷
شکل ۳-۲ حجم کنترل	۴۹
شکل ۳-۳ نامگذاری شبکه	۵۰

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۳-۴ نواحی مختلف میدان حل در ایجاد شبکه یکنواخت و غیر یکنواخت برای دو سیلندر با آرایش الف) پهلوی به پهلوی ب) اریب.....	۵۸
شکل ۳-۵ نمونه شبکه تولید شده برای دو سیلندر با آرایش الف) پهلوی به پهلوی ب) اریب پ) بزرگنمایی شبکه در ناحیه اطراف سیلندر در آرایش پهلوی به پهلوی.....	۵۹
شکل ۳-۶ توزیع اندازه ابعاد حجم های کنترل ایجاد شده در جهت X و Y در راستای خطوط عبور کننده از مرکز سیلندرها. الف) دو سیلندر با آرایش پهلوی به پهلوی ب) دو سیلندر با آرایش اریب.....	۶۰
شکل ۳-۷ انواع توزیع نقاط در تولید شبکه.....	۶۱
شکل ۳-۸ الگوریتم SIMPLEC در کد مورد استفاده در این تحقیق.....	۶۲
فصل چهارم: نتایج جریان آرام در آرایش پهلوی به پهلوی دو سیلندری.....	۶۳
شکل ۴-۱ ضریب فشار حول چهار وجه سیلندر ۱ برای BI مختلف در $Re=150$ و $GI=3$	۶۵
شکل ۴-۲ ضرایب لیفت و درگ سیلندر ۱ برای سه شبکه مختلف.....	۶۶
شکل ۴-۳ مقایسه زمان اجرا برای سه شبکه مختلف با $BI=5, 10$	۶۷
شکل ۴-۴ مقایسه الف) ضریب درگ متوسط ب) ضریب درگ فشاری متوسط پ) عدد استروهال در حالت $GI=10, 5$ با حالت تک سیلندری.....	۶۹
شکل ۴-۵ ضریب لیفت متوسط در اعداد رینولدز مختلف و حالت $GI=5$	۷۰
شکل ۴-۶ خطوط جریان دائم برای $Re=1-40$ و $GI=1$	۷۲
شکل ۴-۷ خطوط جریان دائم برای $Re=40, 5$ و $GI=5$	۷۳
شکل ۴-۸ سرعت متوسط در جهت محور X الف) در امتداد خط مرکزی بین دو سیلندر (U) ب) در امتداد خط مرکزی عبور کننده از وسط سیلندر ۱ (U_1).....	۷۵
شکل ۴-۹ خطوط جریان حول سیلندر ۱ در $Re=1$ و $GI=1, 5$	۷۶
شکل ۴-۱۰ ضریب فشار حول سیلندر ۱ برای GI مختلف. الف) الگوی ۱ ب) الگوی ۲.....	۷۷
شکل ۴-۱۱ نمایش طول برگشتی (L_r).....	۷۸
شکل ۴-۱۲ طول برگشتی برای $Re=1-45$ و $GI=1-5$	۷۸
شکل ۴-۱۳ ضریب فشار حول سیلندر ۱ برای Re مختلف و $GI=1$	۷۸
شکل ۴-۱۴ ضریب درگ و ضریب اصطکاکی سیلندر ۱ برای Re و GI مختلف (نمودار داخلی، بزرگنمایی در محدوده رینولدز ۲۰-۴۵ می باشد).....	۷۹
شکل ۴-۱۵ پروفیل سرعت افقی U در جهت محور Y برای پنج مقطع با X های متفاوت در الگوی اول $Re=5$ و $GI=1$	۸۰
شکل ۴-۱۶ پروفیل سرعت افقی U در جهت محور Y برای پنج مقطع با X های متفاوت در الگوی دوم برای $Re=40$ و $GI=1$	۸۰

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۴-۱۷ (الف) ضریب لیفت (ب) ضریب لیفت فشاری (برای $R=۴۵-۱$ و $GI=۱-۵$)	۸۲
شکل ۴-۱۸ خطوط جریان لحظه ای (سمت چپ) و کانتورهای ورتیسیتیه لحظه ای (سمت راست) در نیم دوره تناوب از حرکت نوسانی برای $Re=۱۵۰$ و $GI=۲$	۸۴
شکل ۴-۱۹ ضریب فشار حول سیلندرا ۱ در ۵ موقعیت زمانی مربوط به نیم دوره تناوب ذکر شده در شکل ۴-۱۳	۸۵
شکل ۴-۲۰ کانتورهای خطوط جریان متوسط برای $Re=۵۰-۲۰۰$ و $GI=۱$ (سمت چپ) بزرگنمایی کانتورها حول سیلندر ۱ (سمت راست)	۸۶
شکل ۴-۲۱ کانتورهای خطوط جریان متوسط و بزرگنمایی آن روی سیلندرا برای $Re=۲۰۰, ۱۲۵$ و $GI=۵$	۸۷
شکل ۴-۲۲ پروفیل سرعت افقی پروفیل سرعت افقی در جهت محور X (الف) روی خط مرکزی بین دو سیلندر (U) (ب) خط عبورکننده از وسط سیلندرا (U_1) برای $Re=۵۰-۲۰۰$ و $GI=۱$	۸۹
شکل ۴-۲۳ کانتور خطوط جریان متوسط برای $Re=۲۰۰$ و $GI=۱$	۸۹
شکل ۴-۲۴ مقایسه کانتورهای ورتیسیتیه لحظه ای (سمت چپ) و کانتورهای خطوط جریان لحظه ای (سمت راست) دو سیلندر به ترتیب از بالا به پایین در الگوی جریان ۱) هماهنگ غیر همفاز ۲) هماهنگ همفاز ۳) نیم وارو ۴) شکسته ۵) تک جسمی ۶) دائم	۹۱
شکل ۴-۲۵ مقایسه ضرایب لیفت و درگ لحظه ای دو سیلندر به ترتیب از بالا به پایین در الگوی جریان ۱) هماهنگ غیر همفاز ۲) هماهنگ همفاز ۳) نیم وارو ۴) شکسته ۵) تک جسمی ۶) دائم	۹۲
شکل ۴-۲۶ طول برگشتی برای $Re=۵۰-۲۰۰$ و $GI=۱-۵$	۹۵
شکل ۴-۲۷ ضریب فشار حول سیلندر ۱ برای $Re=۵۰-۲۰۰$ و $GI=۱$	۹۶
شکل ۴-۲۸ (الف) ضریب لیفت متوسط (ب) ضریب درگ متوسط ($Re=۵۰-۲۰۰$ و $GI=۱-۵$)	۹۷
شکل ۴-۲۹ (الف) ضریب لیفت rms سیلندرا (Cl_{rms1}) (ب) ضریب درگ rms سیلندرا (Cd_{rms1}) برای $Re=۵۰-۲۰۰$ و $GI=۱-۵$	۹۸
شکل ۴-۳۰ مقایسه عدد استروهاال در محدوده $Re=۵۰-۲۰۰$ و $GI=۱-۵$	۹۹
شکل ۴-۳۱ مقایسه ضرایب لیفت و درگ متوسط در حالت دو سیلندر مربعی با حالت دو سیلندر دایره ای	۱۰۰
شکل ۴-۳۲ مقایسه عدد استروهاال در حالت دو سیلندر مربعی با حالت دو سیلندر دایره ای	۱۰۱
شکل ۴-۳۳ مقایسه سرعت افقی U روی خط مرکزی بین دو سیلندر در $Re=۷۳$ و $G=۲/۵$ در تحقیق حاضر با نتایج عددی آگراوال در کانال	۱۰۱
شکل ۴-۳۴ کانتورهای لحظه ای دما در پنج لحظه مشخص شده، در نیم دوره تناوب از حرکت نوسانی جریان در $Re=۱۵۰$ و $GI=۲$	۱۰۲

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۴-۳۵ کانتورهای دمای لحظه ای (سمت چپ) و کانتورهای دمای متوسط (سمت راست) دو سیلندر به ترتیب از بالا به پایین در الگوی جریان (۱) هماهنگ غیر همفاز (۲) هماهنگ همفاز (۳) نیم وارو (۴) شکسته (۵) تک جسمی (۶) دائم.	۱۰۴
شکل ۴-۳۶ اعداد نوسلت متوسط سیلندر ۲ در جریان آرام دائم برای $Re=1-40$ و $Gl=1$	۱۰۶
شکل ۴-۳۷ اعداد نوسلت متوسط سیلندر ۲ در جریان آرام غیردائم برای $Re=70-200$ و $Gl=1$	۱۰۶
شکل ۴-۳۸ دمای متوسط در خط مرکزی افقی بین دو سیلندر (T) و دمای متوسط در خط افقی عبور کننده از مرکز سیلندر ۲ (T_2) در جریان آرام دائم برای $Re=1-40$ و $Gl=1$	۱۰۷
شکل ۴-۳۹ دمای متوسط در خط مرکزی افقی بین دو سیلندر (T) و دمای متوسط در خط افقی عبور کننده از مرکز سیلندر ۲ (T_2) در جریان آرام غیر دائم برای $Re=70-200$ و $Gl=1$	۱۰۸
شکل ۴-۴۰ اعداد نوسلت متوسط وجوه مختلف سیلندر ۲ برای $Re=1-200$ و $Gl=1$	۱۱۲
شکل ۴-۴۱ اعداد نوسلت متوسط سیلندر ۲ برای جریان آرام دائم $Re=1-40$ و $Gl=1$	۱۱۳
شکل ۴-۴۲ اعداد نوسلت متوسط سیلندر ۲ برای جریان آرام غیر دائم $Re=1-200$ و $Gl=1$	۱۱۴
فصل پنجم: نتایج جریان آرام در آرایش اریب دو سیلندری.....	۱۱۶
شکل ۵-۱ ضرایب لیفت و درگ متوسط سیلندر ۱ و عدد استروهال دو سیلندر برای سه شبکه مختلف.....	۱۱۷
شکل ۵-۲ rms ضرایب لیفت و درگ سیلندر ۱ برای سه شبکه مختلف.....	۱۱۸
شکل ۵-۳ خطوط جریان دائم برای $Re=1-35$ و $Gl_v=1$ (الف)؛ $Gl_H=1$ (ب) و $Gl_H=5$	۱۲۰
شکل ۵-۴ خطوط جریان دائم برای $Re=1-40$ و $Gl_v=3$ (الف)؛ $Gl_H=1$ (ب) و $Gl_H=5$	۱۲۱
شکل ۵-۵ ضریب لیفت متوسط سیلندر ۱ (سمت چپ) و سیلندر ۲ (سمت راست) برای $Re=1-200$ ، $Gl_H=1-5$ و ضریب لیفت فشاری در محدوده جریان دائم (الف) $Gl_v=1$ (ب) $Gl_v=3$	۱۲۴
شکل ۵-۶ ضریب درگ متوسط دو سیلندر برای $Re=1-200$ و ضریب درگ فشاری دو سیلندر در $Re=1-40$ با $Gl_H=1, 3, 5$ (الف) $Gl_v=1$ (ب) $Gl_v=3$	۱۲۵
شکل ۵-۷ ضریب فشار حول سیلندر ۱ برای $Re=1-35$ با $Gl_H=1$ و $Gl_v=1$	۱۲۶
شکل ۵-۸ سرعت افقی متوسط دو سیلندر (U) در جهت محور Y در مقادیر مختلف X برای $Re=5$ با $Gl_H=1$ و $Gl_v=1$	۱۲۸
شکل ۵-۹ سرعت افقی متوسط دو سیلندر (U) در جهت محور Y در مقادیر مختلف X برای $Re=35$ با $Gl_H=1$ و $Gl_v=1$	۱۲۹
شکل ۵-۱۰ خطوط جریان لحظه ای و کانتورهای ورتیسیتیته لحظه ای در نیم دوره تناوب برای: $Re=150$ با $Gl_H=5$ و $Gl_v=1$ (بر اساس نمودار ضریب لیفت سیلندر ۱).....	۱۳۱
شکل ۵-۱۱ خطوط جریان متوسط برای $Re=50-200$ ، $Gl_H=1$ ، $Gl_v=1$	۱۳۳

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۵-۱۲ خطوط جریان لحظه ای و کانتورهای ورتیسیتنه لحظه ای برای: $Re=100$ با $Gl_H=1,3,5$ (در حالت ضریب لیفت سیلندر ۲ ماکزیمم) الف) $Gl_V=1$ ب) $Gl_V=3$	۱۳۶
شکل ۵-۱۳ ضرایب لیفت و درگ لحظه ای دو سیلندر در $Re=100$ با $Gl_H=1,3,5$ با $Gl_V=1$	۱۳۷
شکل ۵-۱۴ ضرایب لیفت و درگ لحظه ای دو سیلندر در $Re=100$ با $Gl_H=1,3,5$ با $Gl_V=3$	۱۳۸
شکل ۵-۱۵ ضریب فشار حول دو سیلندر برای $Re=200-500$ با $Gl_H=1$ و $Gl_V=1$	۱۳۹
شکل ۵-۱۶ ضریب فشار حول دو سیلندر برای $Re=200-500$ با $Gl_H=1$ و $Gl_V=3$	۱۴۰
شکل ۵-۱۷ ضریب لیفت متوسط دو سیلندر برای $Re=200-400$ با $Gl_H=1,3,5$ الف) $Gl_V=1$ ب) $Gl_V=3$	۱۴۲
شکل ۵-۱۸ ضریب درگ متوسط دو سیلندر برای $Re=200-400$ با $Gl_H=1,3,5$ الف) $Gl_V=1$ ب) $Gl_V=3$	۱۴۴
شکل ۵-۱۹ نوسانات ضریب لیفت متوسط دو سیلندر برای $Re=200-400$ با $Gl_H=1,3,5$ الف) $Gl_V=1$ ب) $Gl_V=3$	۱۴۵
شکل ۵-۲۰ نوسانات ضریب درگ متوسط دو سیلندر برای $Re=200-400$ با $Gl_H=1,3,5$ الف) $Gl_V=1$ ب) $Gl_V=3$	۱۴۶
شکل ۵-۲۱ عدد استروهال دو سیلندر برای $Re=200-400$ ، $Re=1-5$ الف) $Gl_V=1$ ب) $Gl_V=3$	۱۴۷
شکل ۵-۲۲ مولفه افقی سرعت متوسط (U) و ضریب فشار (C_p) روی خط مرکزی بین دو سیلندر و خط افقی عبور کننده از مرکز دو سیلندر در جهت محور X برای $50 \leq Re \leq 200$ ، $Gl_V=1$	۱۴۸
شکل ۵-۲۳ مولفه افقی سرعت متوسط (U) و ضریب فشار (C_p) روی خط مرکزی بین دو سیلندر و خط افقی عبور کننده از مرکز دو سیلندر در جهت محور X برای $50 \leq Re \leq 200$	۱۴۹
شکل ۵-۲۴ کانتورهای دما در جریان دائم و کانتورهای دمای لحظه ای در جریان غیر دائم با $Gl_H=1,3,5$ و $Gl_V=1$ برای: الف) $Re=1$ ب) $Re=35$ ج) $Re=70$ د) $Re=200$	۱۵۱
شکل ۵-۲۵ دمای متوسط در خط مرکزی افقی بین دو سیلندر (T) و دمای متوسط در خط افقی عبور کننده از مرکز دو سیلندر (T_1, T_2) برای $Re=1-200$ و $Gl_H=1$ و $Gl_V=1$	۱۵۳
شکل ۵-۲۶ دمای متوسط در خط مرکزی افقی بین دو سیلندر (T) و دمای متوسط در خط افقی عبور کننده از مرکز دو سیلندر (T_1, T_2) برای $Re=1-200$ و $Gl_H=5$ و $Gl_V=1$	۱۵۴
شکل ۵-۲۷ اعداد نوسلت متوسط سیلندر او ۲ برای جریان دائم با $Re=1-40$ و $Gl_H=3,5,10$ الف) $Gl_V=1$ ب) $Gl_V=3$	۱۵۷
شکل ۵-۲۸ اعداد نوسلت متوسط سیلندر او ۲ برای جریان غیردائم $Re=200-70$ و $Gl_H=1,3,5$ الف) $Gl_V=1$ ب) $Gl_V=3$	۱۵۸
فصل ششم: نتایج جریان آشفته در آرایش پهلو به پهلو و ازیب دو سیلندری.....	۱۶۱

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۶ الف) ضریب لیفت متوسط دو سیلندر ب) ضریب درگ متوسط دو سیلندر در آرایش پهلو به پهلو	۱۶۴
شکل ۲-۶ نوسانات ضریب لیفت و درگ متوسط سیلندر ۲، Cl_{rms2} , Cd_{rms2} در آرایش پهلو به پهلو.	۱۶۴
شکل ۳-۶ ضریب فشار حول سیلندر ۲ در آرایش پهلو به پهلو .	۱۶۵
شکل ۴-۶ الف) ضریب لیفت متوسط دو سیلندر ب) ضریب درگ متوسط دو سیلندر در آرایش اریب .	۱۶۷
شکل ۵-۶ الف) نوسانات ضریب لیفت دو سیلندر، Cl_{rms} ب) نوسانات درگ متوسط دو سیلندر، Cd_{rms} در آرایش اریب.	۱۶۷
شکل ۶-۶ عدد استرومال دو سیلندر الف) آرایش پهلو به پهلو ب) آرایش اریب .	۱۶۸
شکل ۷-۶ ضریب فشار حول دو سیلندر در آرایش اریب .	۱۶۸
شکل ۸-۶ کانتورهای خطوط جریان لحظه ای در آرایش پهلو به پهلو و اریب.	۱۶۹
شکل ۹-۶ ضرایب لیفت و درگ لحظه ای در آرایش پهلو به پهلو و اریب.	۱۷۰
شکل ۱۰-۶ الف) کانتورهای انرژی جنبشی آشفته لحظه ای ب) کانتورهای اتلاف انرژی جنبشی آشفته لحظه ای در آرایش پهلو به پهلو دو سیلندر.	۱۷۱
شکل ۱۱-۶ الف) کانتورهای انرژی جنبشی آشفته لحظه ای ب) کانتورهای اتلاف انرژی جنبشی آشفته لحظه ای در آرایش اریب دو سیلندر.	۱۷۲
شکل ۱۲-۶ اعداد نوسلت متوسط دو سیلندر در آرایش پهلو به پهلو .	۱۷۴
شکل ۱۳-۶ اعداد نوسلت متوسط دو سیلندر در آرایش اریب.	۱۷۵
شکل ۱۴-۴ کانتورهای لحظه ای دما در $Re=25200$ و فاصله بین سیلندری مختلف در آرایش پهلو به پهلو (سمت راست) و آرایش اریب (سمت چپ).	۱۷۶
شکل ۱۵-۶ دمای متوسط در خط مرکزی افقی بین دو سیلندر (T) و دمای متوسط در خط افقی عبور کننده از مرکز سیلندر ۲ (T_2) در آرایش اریب.	۱۷۷
شکل ۱۶-۶ دمای متوسط در خط مرکزی افقی بین دو سیلندر (T) و دمای متوسط در خط افقی عبور کننده از مرکز دو سیلندر (T_1, T_2) در آرایش اریب.	۱۷۹

فهرست جداول

عنوان	صفحه
فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده در گذشته.....	۱۰
جدول ۱-۲ اعداد رینولدز بحرانی و اعداد استروهل بحرانی	۱۷
جدول ۲-۲ متوسط مقادیر عدد استروهل، ضرایب درگ و لیفت روی سیلندر پایینی و بالایی و ضریب اصطکاک سطحی روی دیوارهای کانال	۳۱
جدول ۳-۲ مقایسه تحقیقات گذشته برای دو سیلندر با آرایش پهلو به پهلو.....	۴۳
جدول ۴-۲ مقایسه تحقیقات گذشته بر روی دو سیلندر با آرایش اریب.....	۴۳
فصل سوم: تعریف مساله، جزئیات حل عددی و معادلات حاکم	۴۶
جدول ۱-۳ مقادیر بی بعد مشخصه های هندسی مطرح شده در این تحقیق.....	۴۸
فصل چهارم: نتایج جریان آرام در آرایش پهلو به پهلو دو سیلندری	۶۳
جدول ۱-۴ مقایسه نتایج برای BI مختلف در $Re=150$ و $GI=1.3$	۶۴
جدول ۲-۴ مقایسه نتایج سه شبکه مختلف در حالت $BI=10$ با $GI=3$ و $Re=150$	۶۷
جدول ۳-۴ تعداد پله زمانی و تعداد پررود متوسط گیری از نتایج حل عددی در حالت های مختلف.....	۷۰
جدول ۴-۴ مقایسه نتایج پارامترهای جریان آرام دائم ($Re=1-45$ و $GI=1-5$).....	۸۱
جدول ۵-۴ محدوده شکل گیری الگوهای جریان در Re و GI مختلف دو سیلندر مربعی (Sq) و مقایسه با حالت دو سیلندر دایره ای کنگ (Cr).....	۹۳
جدول ۶-۴ مقایسه پارامترهای مختلف جریان آرام برای $Re=45-200$ و $GI=1-5$	۹۴
جدول ۷-۴ اعداد نوسلت متوسط سیلندر ۲ و وجوه مختلف آن برای $Re=1-200$ و $GI=1-5$	۱۱۰
فصل پنجم: نتایج جریان آرام در آرایش اریب دو سیلندری	۱۱۶
جدول ۱-۵ مقایسه نتایج سه شبکه مختلف در حالت $Re=100$ با $GI_H=1$ و $GI_V=1$	۱۱۷
جدول ۲-۵ مقایسه پارامترهای مختلف جریان دائم برای $Re=1-40$ و $GI_H=1-5$ و $GI_V=1.3$	۱۲۲
جدول ۳-۵ مقایسه محل جدایی جریان از وجوه بالا و پایین دو سیلندر در اعداد رینولدز و فاصله بین سیلندری مختلف.....	۱۳۴
جدول ۴-۵ مقایسه پارامترهای مختلف جریان غیر دائم برای $Re=40-200$ و $GI_H=1-5$ و $GI_V=1.3$	۱۴۱
جدول ۵-۵ مقایسه وضعیت نیروی لیفت وارد بر دو سیلندر در $Re=40-200$ با $GI_H=1.3, 5$ و $GI_V=1.3$	۱۴۳
جدول ۶-۵ اعداد نوسلت متوسط دو سیلندر و وجوه مختلف آنها برای $Re=1-200$ و $GI_V=1$ و $GI_H=1.3, 5$	۱۵۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۵-۷ اعداد نوسلت متوسط دو سیلندر و وجوه مختلف آنها برای $Re=1-200$ و $Gl_H=1,3,5$ و $Gl_V=3$	۱۵۶
فصل ششم: نتایج جریان آشفته در آرایش پهلو به پهلو و اریب دو سیلندری.....	۱۶۱
جدول ۶-۱ مقایسه پارامترهای مختلف جریان در آرایش پهلو به پهلو برای $Re=25200,40000,70000$ و $Gl=1/5,3,5$	۱۶۲
جدول ۶-۲ مقایسه پارامترهای مختلف جریان در آرایش اریب برای $Re=25200,40000,70000$ و $Gl_H=0,3,5$ و $Gl_V=3$	۱۶۲
جدول ۶-۳ اعداد نوسلت متوسط سیلندر ۲ و وجوه مختلف آن در آرایش پهلو به پهلو برای.....	۱۷۳
جدول ۶-۴ اعداد نوسلت متوسط دو سیلندر و وجوه مختلف آن در آرایش اریب برای $Re=25200,40000,70000$ و $Gl_H=0,3,5$ و $Gl_V=3$	۱۷۳

فهرست علائم اختصاری (لاتین)

نسبت انسداد	B
فاصله بدون بعد مرز بالای میدان حل از وجه پایین سیلندر ۲ در آرایش اریب	Bl
ضریب درگ	Cd
ضریب درگ اصطکاکی	Cd_f
ضریب درگ فشاری	Cd_p
rms ضریب درگ	Cd_{rms}
ضریب لیفت	Cl
ضریب لیفت اصطکاکی	Cl_f
ضریب لیفت فشاری	Cl_p
rms ضریب لیفت	Cl_{rms}
ضریب فشار	C_p
ابعاد سیلندرها	d
فرکانس ریزش گردابه	f
فاصله بین سیلندری بدون بعد در آرایش پهلو به پهلو	Gl
فاصله طولی بین سیلندری بدون بعد در آرایش اریب	Gl_H
فاصله عرضی بین سیلندری بدون بعد در آرایش اریب	Gl_V
ضریب انتقال حرارت جابجایی موضعی	h
عرض بدون بعد میدان حل	H
انرژی جنبشی توربولانسی	k
طول بدون بعد میدان حل	L
راستای عمودی	n
عدد نوسلت	Nu
فشار استاتیک	P
عدد پرانتل	Pr
عدد رینولدز	Re
عدد استروهمال	St
زمان	t
دمای بدون بعد	T
سرعت در راستای محور X	u
سرعت نوسانی بدون بعد	u''

فهرست علائم اختصاری (لاتین)

سرعت بدون بعد در راستای محور X	U
سرعت ورودی	U_{in}
سرعت در راستای محور Y	v
سرعت بدون بعد در راستای محور Y	V
محور افقی در دستگاه مختصات کارتیزین	x
محور افقی بدون بعد در دستگاه مختصات کارتیزین	X
طول بدون بعد پایین دست جریان	X_d
طول بدون بعد بالادست جریان	X_u
محور عمودی در دستگاه مختصات کارتیزین	y
محور عمودی بدون بعد در دستگاه مختصات کارتیزین	Y