بسم الله الرحمن الرحیم

الم یروا الی الطیر مسخرات فی جو السما مایمسکهن الا الله ۱۳۸۳/۶/۱۵

ان فی ذلک لایات لقوم یومنون

آیا به پرندگان رام شده در فضای آسمان ننگریستند. هیچ‌کس جز خدا آنها را نگه نمی‌دارد. همانا در آن برای مردمی که ایمان آورند نشانه‌هاست.

۶۵۰۸۰

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

مهندسی مکانیک - هوافضا

شبیه‌سازی جریان هوا حول یک پرتابه بالک خمیده

محمد کردی

استاد راهنما

دکتر بهزاد قدیری دهکردی

استاد مشاور

دکتر سید محمد حسین کریمیان

۱۳۸۳/۱۲/۱۵
۱۳۸۳/۱۲/۱۵

زمستان ۱۳۸۲

۶۵۰۸۰

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای محمدکردی‌پایان نامه٦واحدی خودراباعنوان:شبیه سازی جریان هواحول یک پرتابه بالک خمیده درتاریخ ۸۲/۱۲/۲۰ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم ومحتوی تاییدوپذیرش آنرابرای تکمیل درجه کارشناسی ارشدرشته مهندسی هوافضا-آیرودینامیک پیشنهاد می کنند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱-استادراهنما:	جناب آقای دکتر قدیری	
۲-استادمشاور:	جناب آقای دکتر کریمیان	
۳-استاد ناظر:	جناب آقای دکترانصاری	
٤-استادناظر	جناب آقای دکتر تقوی زنوز	
	جناب آقای دکتر مسلمی	
٥-مدیرگروه:		
(یانماینده گروه تخصصی)		

۱۳۸۳/۶/۱۵

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه /رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

٦٥٠٨٥

بسمه تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده، در رشتهٔ ..... است که در سال ..... در دانشکدهٔ ..... دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... ، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده، برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب محمد کردی دانشجوی رشته هوافضا مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: محمد کردی

تاریخ و امضاء: ۱۳۸۳/۶/۱۵

تقدیم به:

نخستین آموزگاران زندگیم

پدر عزیزم

که آموختن را

و

مادر فداکارم

که بردباری در برابر سختیها را

به من آموختند

تقدیر و تشکر

اول "الحمدلله لما وفقنی علیه" و سپس سپاس بیکران به محضر استاد راهنمای فرهیخته‌ام جناب آقای دکتر بهزاد قدیری دهکردی، که اگر راهنمایی‌های ارزنده و شکیبایی ایشان نبود، طی طریق این تحقیق میسر نبود. از بابت آنچه به من آموختند، بنده ایشانم و به سبب آنچه نیاموختم شرمنده ایشان.

تشکر فراوان به حضور استاد مشاور ارجمند، جناب آقای دکتر سید محمد حسین کریمیان که در مراحل انجام این تحقیق از مشاوره‌های راهگشای ایشان بسیار بهره بردم.

تشکر ویژه از استاد اخلاقم، جناب آقای دکتر وحید اصفهانیان، که روش تحقیق را به بنده آموختند و اگر راهنماییها، دلگرمیها، منابع و مقالات ارزنده ایشان نبود، این پایان‌نامه به سرانجام نمی‌رسید.

بر خود لازم می‌دانم تا از دوستان عزیزم، آقایان مهندسین حمید پرهیزکار و ابراهیم علیزاده به پاس راهنماییهای ایشان تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین لازم می‌دانم از خانواده محترمم که در طول تحصیل، همواره مشوقم بوده‌اند تشکر نمایم.

به امید بهروزی این عزیزان

چکیده

طی سه دهه اخیر درخواستهای زیادی جهت توسعه و گسترش در زمینه پرتابه‌های بالک خمیده مطرح گشته است. بالکهای خمیده در انواع مختلفی از پرتابه‌هایی که دارای سکوی پرتاب لوله‌ای است مورد استفاده قرار می‌گیرند. حتی در شرایطی که نیاز به پرتاب توسط لوله نباشد نیز پرتابه‌های بالک خمیده دارای امتیازهایی از نظر اشغال فضای کم در زیر بدنه یا بال هواپیما می‌باشند.

با توجه به در دسترس بودن نتیجه‌های آزمایش تونل باد یک مدل استاندارد TTCP، این مدل جهت انجام آزمایشها و مقایسه با نتیجه‌های حاصل از برنامه‌های مهندسی در نظر گرفته می‌شود. برای بررسی و مقایسه ضرایب آیرودینامیکی بالکهای خمیده متفاوت، چند نمونه از بالکهای خمیده استاندارد در نظر گرفته شده است. تحلیل جریان سیال اطراف اجسام پرنده از مباحث مهم در طراحی این اجسام است. بخصوص در مورد پرتابه‌ها، محاسبه دقیق توزیع فشار و ضرایب آیرودینامیکی، تأثیر مهمی در طراحی مناسب آنها دارد. در این پروژه از برنامه فلوئنت استفاده شده است.

برای محاسبه توزیع فشار که منجر به محاسبه ضرایب آیرودینامیکی جسم خواهد شد، در حالت کلی باید شبیه‌سازی سه بعدی جریان سیال انجام گیرد. در این تحقیق حل معادلات جریان لزج اطراف یک پرتابه بالک خمیده مد نظر است. سیال نیوتنی، تک فاز، گاز ایده‌آل و تراکم‌پذیر فرض شده و از اثرات گاز داغ صرف نظر شده است. برای بدست آوردن توزیع فشار روی پرتابه در زاویه حمله صفر، یک چهارم آن را شبیه‌سازی کرده‌ایم. سپس برای شبیه‌سازی جریان سه بعدی در زوایای حمله و ماخهای مختلف، با فرض اینکه پرتابه تنها دارای زاویه حمله و فاقد زاویه لغزش جانبی بوده، کل پرتابه شبیه‌سازی شده است. در شبیه‌سازی جریان سه بعدی اثرات شبکه، شرایط مرزی، مدلهای توربولانس، مشخصه‌هایی نظیر شدت و طول مشخصه توربولانس مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده برای ضرایب آیرودینامیکی پرتابه با نتایج تونل باد مورد مقایسه قرار گرفته است. معادلات بقای جرم، ممنتم و انرژی بر اساس روش حجم محدود، در یک شبکه بدون حرکت تعریف شده‌اند. این معادلات بصورت کوپل و حالت پایا با الگوریتم بالا دست مرتبه اول (یا دوم) به روش تکرار صریح و گاهی شبکه چندتایی حل شده است.

واژه‌های کلیدی: پرتابه، بالک خمیده، بالک تخت، مدل استاندارد TTCP

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و تعریف مساله ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ انتخاب مدل مناسب ۶

فصل دوم: معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیال ۱۱

۲-۱ معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیال ۱۲

۲-۲ جریان مغشوش ۱۵

۲-۳ انتخاب مدل آشفتگی ۱۹

۲-۳-۱ فرضیه بوزینسک ۲۱

۲-۳-۲ مدل اسپالارت- آلماراس ۲۱

۲-۳-۳ مدل دو معادله‌ای $K-\varepsilon$ ۲۳

۲-۳-۳-۱ مدل $K-\varepsilon$ استاندارد ۲٤

۲-۳-۳-۲ مدل آشفتگی $K\varepsilon-RNG$ ۲٦

۲-۳-۳-۳ معادلات حاکم برای تولید آشفتگی در معادلات $K-\varepsilon$ ۲۹

۲-۳-۳-٤ اثرات شناوری در مدلهای آشفتگی $K-\varepsilon$ ۲۹

۲-۳-۳-۵ مدل کردن اثرات تراکم‌پذیری در مدلهای آشفتگی $K-\varepsilon$ ۳۰

۲-۳-۳-٦ شرط مرزی دیواره ۳۱

۲-۳-۴ مدل معادله تنش رینولدز(**RSM**) ۳۵

فصل سوم: مدلسازی و روش حل ۳۹

۳-۱ مقدمه ۴۰

۳-۲ ساختار برنامه ۴۱

۳-۳ قابلیتهای برنامه ۴۲

۳-۴ مدلسازی ۴۳
۳-۵ شبکه‌بندی ۴۴
۳-۵-۱ روش کلاسیک ۴۶
۳-۵-۲ روش جبری ۴۷
۳-۵-۳ روش معادلات دیفرانسیل جزئی ۴۸
۳-۶ شرایط مرزی ۵۹
۳-۶-۱ شرط مرزی فشار دوردست ۶۰
۳-۶-۲ شرط مرزی دیوار ۶۱
۳-۶-۳ شرط مرزی تقارن ۶۱
۳-۶-۴ شرط مرزی تناوبی ۶۳
۳-۷ انتخاب مدلهای فیزیکی ۶۵
۳-۸ تعریف خواص فیزیکی سیال ۶۵

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۶۷

۴-۱ مقدمه ۶۸
۴-۲ حل جریان ۶۹
۴-۲-۱ بررسی اثرات شدت توربولانس ۶۹
۴-۲-۲ بررسی اثرات طول مشخصه توربولانس ۶۹
۴-۲-۳ بررسی مدلهای توربولانس مختلف ۷۰
۴-۳ بررسی اثرات چهار نوع بالک ۷۱
۴-۴ نتیجه‌گیری ۷۹
۴-۵ پیشنهادها ۸۶

فهرست اشکال

فصل اول: مقدمه و تعریف مساله ۱

شکل۱-۱ جهت شتاب کوریولیس ۳

شکل۱-۲ حرکت ژیروسکوپی ۴

شکل۱-۳ پایداری دینامیکی با استفاده از رقص محوری ۴

شکل۱-۴ مدل استاندارد **TTCP** ۸

شکل۱-۵ نمایی از چهار بالک استاندارد **TTCP** (ابعاد بر حسب میلی‌متر می‌باشد)..... ۸

فصل دوم: معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیال ۱۱

شکل۲-۱ انتقال اطلاعات از شبکه ریز به درشت با استفاده از روشهای مختلف میانیابی ۱۵

شکل۲-۲ مقایسه مدلهای مختلف توربولانس ۲۰

شکل۲-۳ ساختمان لایه مرزی ۳۲

شکل۲-۴ نمایی شماتیک از دو روش مدلسازی ناحیه نزدیک دیوار ۳۳

فصل سوم: مدلسازی و روش حل ۳۹

شکل۳-۱ ارتباط قسمتهای مختلف بسته نرم‌افزاری فلوئنت ۴۲

شکل۳-۲ مدلسازی یک چهارم پرتابه برای ماخهای مختلف و زوایای حمله صفر ۴۴

شکل۳-۳ مدلسازی کل پرتابه برای ماخها و زوایای حمله مختلف ۴۵

شکل۳-۴ شبکه‌بندی سطح پرتابه بالک خمیده (الف) ۵۳

شکل۳-۵ شبکه‌بندی سطح و فضای پشت پرتابه بالک خمیده (الف) ۵۴

شکل۳-۶ شبکه‌بندی سطح و فضای بین دو بالک پرتابه بالک خمیده (الف) ۵۴

شکل۳-۷ نمودار عدم وابستگی حل به تعداد شبکه برای پرتابه بالک خمیده (الف) ۵۵

شکل۳-۸ شبکه‌بندی سطح پرتابه بالک تخت (ب) ۵۶

شکل۳-۹ شبکه‌بندی سطح و فضای پشت پرتابه بالک تخت (ب) ۵۷

شکل۳-۱۰ شبکه‌بندی سطح و فضای بین دو بالک پرتابه بالک تخت (ب) ۵۷
شکل۳-۱۱ شبکه‌بندی سطح، فضای بین دو بالک و پشت پرتابه بالک تخت (ب) ۵۸
شکل۳-۱۲ نمودار عدم وابستگی حل به تعداد شبکه برای پرتابه بالک تخت (ب) ۵۹
شکل۳-۱۳ مرز فشار دوردست، در اطراف پرتابه ۶۰
شکل۳-۱۴ دو نمونه مساله که در آنها از شرط مرزی تقارن استفاده شده است ۶۱
شکل۳-۱۵ مرز تقارن، در اطراف پرتابه بالک تخت (ب) ۶۲
شکل۳-۱۶ نمونه‌ای از اعمال شرط مرزی تناوبی دورانی ۶۳
شکل۳-۱۷ نمونه‌ای از اعمال شرط مرزی تناوبی جابه‌جایی ۶۴
شکل۳-۱۸ شرط مرزی تناوبی دورانی، اطراف پرتابه بالک خمیده (الف) در شرایط پرواز با زاویه حمله صفر ۶۴

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۶۷

شکل۴-۱ تغییرات ضریب پسا برحسب شدت توربولانس پرتابه بالک خمیده ۷۰
شکل۴-۲ تغییرات ضریب پسا برحسب طول مشخصه توربولانس پرتابه بالک خمیده ۷۰
شکل۴-۳ خطوط همتراز ماخ جریان اطراف پرتابه بالک خمیده (الف) در شرایط **M=1.6** و $\alpha = 0$ ۷۲
شکل۴-۴ خطوط همتراز ماخ جریان اطراف پرتابه بالک خمیده (الف) در شرایط **M=1.9** و $\alpha = 0$ ۷۲
شکل۴-۵ خطوط همتراز ماخ جریان اطراف پرتابه بالک خمیده (الف) در شرایط **M=2.36** و $\alpha = 0$ ۷۲
شکل۴-۶ خطوط همتراز ماخ جریان اطراف پرتابه بالک خمیده (الف) در شرایط **M=2.86** و $\alpha = 0$ ۷۲
شکل۴-۷ خطوط همتراز فشار استاتیکی فضای بین دو بالک (الف) در شرایط **M=1.6** و $\alpha = 0$ ۷۳
شکل۴-۸ خطوط همتراز فشار استاتیکی فضای بین دو بالک (ب) در شرایط **M=2.36** و $\alpha = 2.45$ ۷۳

شکل۴-۹ خطوط همتراز فشار استاتیکی فضای بین دو بالک (ج) در شرایط **M=2.86** و $\alpha = 3.2$ ۷۳
شکل۴-۱۰ خطوط همتراز فشار استاتیکی فضای بین دو بالک (د) در شرایط **M=1.9** و $\alpha = 4.65$ ۷۳
شکل۴-۱۱ خطوط همتراز ماخ سطح و صفحه **z=0.1** بالک خمیده (الف) در شرایط **M=2.36** و $\alpha = 2.45$ ۷۴
شکل۴-۱۲ خطوط همتراز ماخ سطح و صفحه **z=0.1** بالک تخت (ب) در شرایط **M=2.86** و $\alpha = 2.2$ ۷۴
شکل۴-۱۳ خطوط همتراز ماخ سطح و صفحه **z=0.05** بالک خمیده کوتاه (ج) در شرایط **M=1.9** و $\alpha = 0$ ۷۴
شکل۴-۱۴ خطوط همتراز ماخ سطح و صفحه **z=0.1** بالک خمیده باریک (د) در شرایط **M=1.6** و $\alpha = 0$ ۷۴
شکل۴-۱۵ تغییرات ضریب پسای پرتابه بالک خمیده (الف) با زاویه حمله در ماخ **M=1.6** ۷۵
شکل۴-۱۶ تغییرات ضریب برای پرتابه بالک خمیده (الف) با زاویه حمله در ماخ **M=2.36** ۷۵
شکل۴-۱۷ تغییرات ضریب گشتاور چرخشی پرتابه بالک خمیده (الف) با زاویه حمله در ماخ **M=2.86** ۷۵
شکل۴-۱۸ تغییرات ضریب پسای پرتابه بالک تخت (ب) با زاویه حمله در ماخ **M=1.6** ۷۶
شکل۴-۱۹ تغییرات ضریب برای پرتابه بالک تخت (ب) با زاویه حمله در ماخ **M=1.9** ۷۶
شکل۴-۲۰ تغییرات ضریب گشتاور چرخشی پرتابه بالک تخت (ب) با زاویه حمله در ماخ **M=2.86** ۷۶
شکل۴-۲۱ تغییرات ضریب پسای پرتابه بالک خمیده (ج) با زاویه حمله در ماخ **M=1.9** ۷۷

شکل۴-۲۲ تغییرات ضریب برای پرتابه بالک خمیده (ج) با زاویه حمله در ماخ **M=2.36** ۷۷
شکل۴-۲۳ تغییرات ضریب گشتاور چرخشی پرتابه بالک خمیده (ج) با زاویه حمله در ماخ **M=2.86** ۷۷
شکل۴-۲۴ تغییرات ضریب پسای پرتابه بالک خمیده باریک (د) با زاویه حمله در ماخ **M=1.6** ۷۸
شکل۴-۲۵ تغییرات ضریب برای پرتابه بالک خمیده باریک (د) با زاویه حمله در ماخ **M=2.36** ۷۸
شکل۴-۲۶ تغییرات ضریب گشتاور چرخشی پرتابه بالک خمیده باریک (د) با زاویه حمله در ماخ **M=2.86** ۷۸
شکل۴-۲۷ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالکهای خمیده (الف) و تخت (ب)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.6** ۷۹
شکل۴-۲۸ مقایسه تغییرات ضریب برای بالکهای خمیده (الف) و تخت (ب)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.6** ۷۹
شکل۴-۲۹ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک خمیده (الف) و تخت (ب)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.6** ۷۹
شکل۴-۳۰ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک خمیده (الف) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.9** ۸۰
شکل۴-۳۱ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک خمیده (الف) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.9** ۸۰
شکل۴-۳۲ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک خمیده (الف) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.9** ۸۰
شکل۴-۳۳ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک خمیده (الف) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ **M=2.36** ۸۱
شکل۴-۳۴ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک خمیده (الف) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ **M=2.36** ۸۱

شکل۴-۳۵ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک خمیده (الف) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ **M=2.36** ۸۱
شکل۴-۳۶ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک تخت (ب) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ **M=2.86** ۸۲
شکل۴-۳۷ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک تخت (ب) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ **M=2.86** ۸۲
شکل۴-۳۸ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک تخت (ب) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ **M=2.86** ۸۲
شکل۴-۳۹ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک تخت (ب) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.6** ۸۳
شکل۴-۴۰ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک تخت (ب) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.6** ۸۳
شکل۴-۴۱ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک تخت (ب) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.6** ۸۳
شکل۴-۴۲ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک کوتاه (ج) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.9** ۸۴
شکل۴-۴۳ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک کوتاه (ج) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.9** ۸۴
شکل۴-۴۴ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک کوتاه (ج) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ **M=1.9** ۸۴
شکل۴-۴۵ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالکها با زاویه حمله در عدد ماخ M=1.6 ..... ۸۵
شکل۴-۴۶ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالکها با زاویه حمله در عدد ماخ M=1.9 ..... ۸۵
شکل۴-۴۷ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالکها با زاویه حمله در عدد ماخ M=2.36 ..... ۸۵
شکل۴-۴۸ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالکها با زاویه حمله در عدد ماخ M=2.86 ..... ۸۵

فهرست جداول

فصل اول: مقدمه و تعریف مساله ۱

فصل دوم: معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیال ۱۱

جدول۲-۱ بررسی نقاط ضعف و قوت مدلهای مختلف توربولانس ۲۰

فصل سوم: مدلسازی و روش حل ۳۹

جدول۳-۱ مقایسه روشهای تولید شبکه ۵۱

جدول۳-۲ تعداد شبکه در فضای اطراف پرتابه بالک خمیده (الف)، در سه جهت مختصات ۵۲

جدول۳-۳ تعداد شبکه در فضای اطراف پرتابه بالک تخت (ب)، در سه جهت مختصات .۵۵

جدول۳-۴ خواص سیال که در جریانهای مختلف باید تعیین شوند ۶۶

جدول۳-۵ شرایط پروازی و خواص سیال ۶۶

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۶۷

جدول۴-۱ شرایط بررسی اثرات شدت توربولانس ۶۹

جدول۴-۲ شرایط بررسی اثرات طول مشخصه توربولانس ۷۰

جدول۴-۳ شرایط بررسی اثرات مدلهای توربولانس مختلف ۷۱