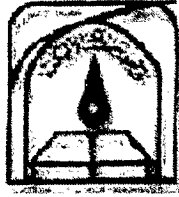


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الم يروا الي الطير مسخرات في جو السما ما يمسكن الله
ان في ذلك لآيات لقوم يؤمنون

آيا به پرندگان رام شده در فضای آسمان ننگریستند. هیچ کس جز خدا آنها را نگه
نمی دارد. همانا در آن برای مردمی که ایمان آورند نشانه هاست.



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک - هوافضا

شبیه سازی جریان هوا حول یک پرتابه بالک خمیده

محمد کردی

استاد راهنما

دکتر بهزاد قدیری دهکردی

استاد مشاور

دکتر سید محمد حسین کریمیان

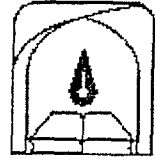
وزارت اطلاعات مدرک علمی ایران
تعمیرات مدرک

۱۳۸۲ / ۱۹ / ۱۵

۱۳۸۲ / ۱۹ / ۱۵

زمستان ۱۳۸۲

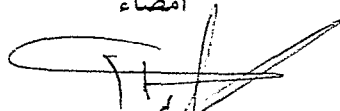
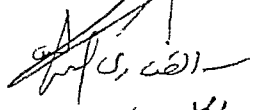



۶۵۰۸۰



دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای محمد کردی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان: شبیه سازی جریان هوا حول یک پرتابه بالک خمیده در تاریخ ۸۲/۱۲/۲۰ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا- آیرودینامیک پیشنهاد می کنند.

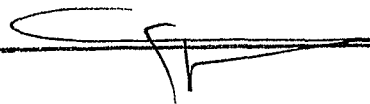
امضاء	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	جناب آقای دکتر قدیری	۱- استاد راهنما:
	جناب آقای دکتر کریمیان	۲- استاد مشاور:
	جناب آقای دکتر انصاری	۳- استاد ناظر:
	جناب آقای دکتر تقوی زنوز	۴- استاد ناظر
	جناب آقای دکتر مسلمی	۵- مدیر گروه:

(یانماینده گروه تخصصی)

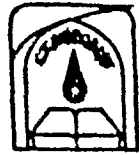
۱۳۸۳ / ۱۲ / ۱۵

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

امضای استاد راهنما:



۶۵۰۱۰



بسمه تعالی

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

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

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:
«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته _____ است
که در سال _____ در دانشکده _____ دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب
آقای دکتر _____، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر _____ و مشاوره سرکار
خانم / جناب آقای دکتر _____ از آن دفاع شده است.»

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

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب صحروردی: دانشجوی رشته هوافضا
مقطع کارشناسی ارشد / رساله
تعهد فوق
و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: صحروردی

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 "الحمد لله لما وفقني عليه" 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 شرمندۀ 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 محترم 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 فلونت 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 مآخهای 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، ممتم 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
۲-۱ انتخاب مدل مناسب	۶
فصل دوم: معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیال	۱۱
۱-۲ معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیال	۱۲
۲-۲ جریان مغشوش	۱۵
۳-۲ انتخاب مدل آشفتگی	۱۹
۱-۳-۲ فرضیه بوزینسک	۲۱
۲-۳-۲ مدل اسپالارت-آلماراس	۲۱
۳-۳-۲ مدل دو معادله ای $K-\epsilon$	۲۳
۱-۳-۳-۲ مدل $K-\epsilon$ استاندارد	۲۴
۲-۳-۳-۲ مدل آشفتگی $K\epsilon-RNG$	۲۶
۳-۳-۳-۲ معادلات حاکم برای تولید آشفتگی در معادلات $K-\epsilon$	۲۹
۴-۳-۳-۲ اثرات شناوری در مدل های آشفتگی $K-\epsilon$	۲۹
۵-۳-۳-۲ مدل کردن اثرات تراکم پذیری در مدل های آشفتگی $K-\epsilon$	۳۰
۶-۳-۳-۲ شرط مرزی دیواره	۳۱
۴-۳-۲ مدل معادله تنش رینولدز (RSM)	۳۵
فصل سوم: مدلسازی و روش حل	۳۹
۱-۳ مقدمه	۴۰
۲-۳ ساختار برنامه	۴۱
۳-۳ قابلیت های برنامه	۴۲

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

فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری

۶۷.....	۱-۴ مقدمه
۶۹.....	۲-۴ حل جریان
۶۹.....	۱-۲-۴ بررسی اثرات شدت توربولانس
۶۹.....	۲-۲-۴ بررسی اثرات طول مشخصه توربولانس
۷۰.....	۳-۲-۴ بررسی مدل‌های توربولانس مختلف
۷۱.....	۳-۴ بررسی اثرات چهار نوع بالک
۷۹.....	۴-۴ نتیجه گیری
۸۶.....	۵-۴ پیشنهادها

فهرست اشکال

- فصل اول: مقدمه و تعریف مساله ۱
- شکل ۱-۱ جهت شتاب کوریولیس ۳
- شکل ۲-۱ حرکت ژيروسکوپي ۴
- شکل ۳-۱ پایداری دینامیکی با استفاده از رقص محوری ۴
- شکل ۴-۱ مدل استاندارد TTCP ۸
- شکل ۵-۱ نمایی از چهار بالک استاندارد TTCP (ابعاد بر حسب میلی متر می باشد) ۸
- فصل دوم: معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان سیال ۱۱
- شکل ۱-۲ انتقال اطلاعات از شبکه ریز به درشت با استفاده از روشهای مختلف میانجیابی ۱۵
- شکل ۲-۲ مقایسه مدل‌های مختلف توربولانس ۲۰
- شکل ۳-۲ ساختمان لایه مرزی ۳۲
- شکل ۴-۲ نمایی شماتیک از دو روش مدل‌سازی ناحیه نزدیک دیوار ۳۳
- فصل سوم: مدل‌سازی و روش حل ۳۹
- شکل ۱-۳ ارتباط قسمتهای مختلف بسته نرم‌افزاری فلوئنت ۴۲
- شکل ۲-۳ مدل‌سازی یک چهارم پرتابه برای ماخهای مختلف و زوایای حمله صفر ۴۴
- شکل ۳-۳ مدل‌سازی کل پرتابه برای ماخها و زوایای حمله مختلف ۴۵
- شکل ۴-۳ شبکه‌بندی سطح پرتابه بالک خمیده (الف) ۵۳
- شکل ۵-۳ شبکه‌بندی سطح و فضای پشت پرتابه بالک خمیده (الف) ۵۴
- شکل ۶-۳ شبکه‌بندی سطح و فضای بین دو بالک پرتابه بالک خمیده (الف) ۵۴
- شکل ۷-۳ نمودار عدم وابستگی حل به تعداد شبکه برای پرتابه بالک خمیده (الف) ۵۵
- شکل ۸-۳ شبکه‌بندی سطح پرتابه بانک تخت (ب) ۵۶
- شکل ۹-۳ شبکه‌بندی سطح و فضای پشت پرتابه بالک تخت (ب) ۵۷

- شکل ۳-۱۰ شبکه‌بندی سطح و فضای بین دو بالک پرتابه بالک تخت (ب) ۵۷
- شکل ۳-۱۱ شبکه‌بندی سطح، فضای بین دو بالک و پشت پرتابه بالک تخت (ب) ۵۸
- شکل ۳-۱۲ نمودار عدم وابستگی حل به تعداد شبکه برای پرتابه بالک تخت (ب) ۵۹
- شکل ۳-۱۳ مرز فشار دوردست، در اطراف پرتابه ۶۰
- شکل ۳-۱۴ دو نمونه مساله که در آنها از شرط مرزی تقارن استفاده شده است ۶۱
- شکل ۳-۱۵ مرز تقارن، در اطراف پرتابه بالک تخت (ب) ۶۲
- شکل ۳-۱۶ نمونه‌ای از اعمال شرط مرزی تناوبی دورانی ۶۳
- شکل ۳-۱۷ نمونه‌ای از اعمال شرط مرزی تناوبی جابه‌جایی ۶۴
- شکل ۳-۱۸ شرط مرزی تناوبی دورانی، اطراف پرتابه بالک خمیده (الف) در شرایط پرواز با زاویه حمله صفر ۶۴

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۶۷

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

- شکل ۹-۴ خطوط همتراز فشار استاتیکی فضای بین دو بالک (ج) در شرایط $M=2.86$ و $\alpha = 3.2$ ۷۳
- شکل ۱۰-۴ خطوط همتراز فشار استاتیکی فضای بین دو بالک (د) در شرایط $M=1.9$ و $\alpha = 4.65$ ۷۳
- شکل ۱۱-۴ خطوط همتراز ماخ سطح و صفحه $z=0.1$ بالک خمیده (الف) در شرایط $M=2.36$ و $\alpha = 2.45$ ۷۴
- شکل ۱۲-۴ خطوط همتراز ماخ سطح و صفحه $z=0.1$ بالک تخت (ب) در شرایط $M=2.86$ و $\alpha = 2.2$ ۷۴
- شکل ۱۳-۴ خطوط همتراز ماخ سطح و صفحه $z=0.05$ بالک خمیده کوتاه (ج) در شرایط $M=1.9$ و $\alpha = 0$ ۷۴
- شکل ۱۴-۴ خطوط همتراز ماخ سطح و صفحه $z=0.1$ بالک خمیده باریک (د) در شرایط $M=1.6$ و $\alpha = 0$ ۷۴
- شکل ۱۵-۴ تغییرات ضریب پسای پرتابه بالک خمیده (الف) با زاویه حمله در ماخ $M=1.6$ ۷۵
- شکل ۱۶-۴ تغییرات ضریب برای پرتابه بالک خمیده (الف) با زاویه حمله در ماخ $M=2.36$ ۷۵
- شکل ۱۷-۴ تغییرات ضریب گشتاور چرخشی پرتابه بالک خمیده (الف) با زاویه حمله در ماخ $M=2.86$ ۷۵
- شکل ۱۸-۴ تغییرات ضریب پسای پرتابه بالک تخت (ب) با زاویه حمله در ماخ $M=1.6$ ۷۶
- شکل ۱۹-۴ تغییرات ضریب برای پرتابه بالک تخت (ب) با زاویه حمله در ماخ $M=1.9$ ۷۶
- شکل ۲۰-۴ تغییرات ضریب گشتاور چرخشی پرتابه بالک تخت (ب) با زاویه حمله در ماخ $M=2.86$ ۷۶
- شکل ۲۱-۴ تغییرات ضریب پسای پرتابه بالک خمیده (ج) با زاویه حمله در ماخ $M=1.9$ ۷۷

- شکل ۴-۲۲ تغییرات ضریب برای پرتابه بالک خمیده (ج) با زاویه حمله در ماخ $M=2.36$ ۷۷
- شکل ۴-۲۳ تغییرات ضریب گشتاور چرخشی پرتابه بالک خمیده (ج) با زاویه حمله در ماخ $M=2.86$ ۷۷
- شکل ۴-۲۴ تغییرات ضریب پسای پرتابه بالک خمیده باریک (د) با زاویه حمله در ماخ $M=1.6$ ۷۸
- شکل ۴-۲۵ تغییرات ضریب برای پرتابه بالک خمیده باریک (د) با زاویه حمله در ماخ $M=2.36$ ۷۸
- شکل ۴-۲۶ تغییرات ضریب گشتاور چرخشی پرتابه بالک خمیده باریک (د) با زاویه حمله در ماخ $M=2.86$ ۷۸
- شکل ۴-۲۷ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالکهای خمیده (الف) و تخت (ب)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.6$ ۷۹
- شکل ۴-۲۸ مقایسه تغییرات ضریب برای بالکهای خمیده (الف) و تخت (ب)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.6$ ۷۹
- شکل ۴-۲۹ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک خمیده (الف) و تخت (ب)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.6$ ۷۹
- شکل ۴-۳۰ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک خمیده (الف) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.9$ ۸۰
- شکل ۴-۳۱ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک خمیده (الف) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.9$ ۸۰
- شکل ۴-۳۲ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک خمیده (الف) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.9$ ۸۰
- شکل ۴-۳۳ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک خمیده (الف) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ $M=2.36$ ۸۱
- شکل ۴-۳۴ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک خمیده (الف) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ $M=2.36$ ۸۱

- شکل ۳۵-۴ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک خمیده (الف) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ $M=2.36$ ۸۱
- شکل ۳۶-۴ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک تخت (ب) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ $M=2.86$ ۸۲
- شکل ۳۷-۴ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک تخت (ب) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ $M=2.86$ ۸۲
- شکل ۳۸-۴ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک تخت (ب) و کوتاه (ج)، با زاویه حمله در ماخ $M=2.86$ ۸۲
- شکل ۳۹-۴ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک تخت (ب) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.6$ ۸۳
- شکل ۴۰-۴ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک تخت (ب) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.6$ ۸۳
- شکل ۴۱-۴ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک تخت (ب) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.6$ ۸۳
- شکل ۴۲-۴ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالک کوتاه (ج) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.9$ ۸۴
- شکل ۴۳-۴ مقایسه تغییرات ضریب برای بالک کوتاه (ج) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.9$ ۸۴
- شکل ۴۴-۴ مقایسه تغییرات ضریب گشتاور چرخشی بالک کوتاه (ج) و باریک (د)، با زاویه حمله در ماخ $M=1.9$ ۸۴
- شکل ۴۵-۴ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالکها با زاویه حمله در عدد ماخ $M=1.6$ ۸۵
- شکل ۴۶-۴ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالکها با زاویه حمله در عدد ماخ $M=1.9$ ۸۵
- شکل ۴۷-۴ مقایسه تغییرات ضریب پسای بالکها با زاویه حمله در عدد ماخ $M=2.36$ ۸۵
- شکل ۴۸-۴ 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

جدول ۱-۲ بررسی نقاط ضعف و قوت مدل‌های مختلف توربولانس ۲۰

فصل سوم: مدلسازی و روش حل ۳۹

جدول ۱-۳ مقایسه روش‌های تولید شبکه ۵۱

جدول ۲-۳ تعداد شبکه در فضای اطراف پرتابه بالک خمیده (الف)، در سه جهت مختصات ۵۲

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

جدول ۴-۳ خواص سیال که در جریان‌های مختلف باید تعیین شوند ۶۶

جدول ۵-۳ شرایط پروازی و خواص سیال ۶۶

فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری ۶۷

جدول ۱-۴ شرایط بررسی اثرات شدت توربولانس ۶۹

جدول ۲-۴ شرایط بررسی اثرات طول مشخصه توربولانس ۷۰

جدول ۳-۴ شرایط بررسی اثرات مدل‌های توربولانس مختلف ۷۱