

بسم الله الرحمن الرحيم

بررسی اثر ناشی از فاصله هوایی مابین بال و بالچه
بر ضرایب آیرودینامیکی در جریان مافوق صوت

توسط

آرش رجبی بانسانی

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای

تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

۱۳۷۸ / ۶ / A

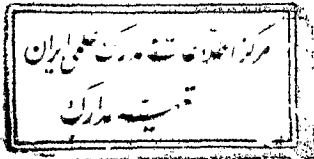
در رشته

مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

از

دانشگاه شیراز

شیراز، ایران



ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه عالی

امضاء اعضاء کمیته پایان نامه

..... دکتر محمد مهدی علیشاهی ، دانشیار بخش مهندسی مکانیک (رئیس کمیته)

..... دکتر محمد صادق معیری ، استاد بخش مهندسی مکانیک

..... دکتر همایون امداد ، استادیار بخش مهندسی مکانیک

بهمن ماه ۱۳۷۷

38041

تقدیم به خانواده عزیزم

تقدیم به

وجود پر مهر مادرم

و

لبخندهای آرامش بخش برادرانم

سپاسگزاری

سپاس خدای را عز و جل ، پروردگاری مهربان که آرامش بخش دل‌های نگران، پرده پوش ناکرده ها و بدکرده های بندگان و رهنما و راهگشای راه جویان حیران است.

خدای را سپاس می گویم که رحمت و لطفش را در توفیق شاگردی استادان عزیز و گرانقدرم در دوران تحصیلات عالی بر سر این بنده سایه گستر نمود. استادان بزرگواری که در علم و اخلاق برایم الگوهای عملی خواهند ماند. به این امیدم که بتوانم در این نوشتار گوشه ای از تشکر و امتنان قلبی خویش را نسبت به ایشان بازگو نمایم، چرا که تمام اندوخته هایم در دوران کارشناسی و کارشناسی ارشد را ماحصل عنایت دلسوزانه این عزیزان در بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز میدانم.

شایسته است تشکر و سپاس ویژه خود را نثار زحمات ، اهتمام و پیگیریهای استاد عزیزم جناب آقای دکتر علیشاهی نمایم که بدون راهنماییهای ایشان کمترین پیشرفتی در پیشبرد این تحقیق امکانپذیر نبود. همچنین از اساتید گرامی آقایان دکتر معیری و دکتر امداد که مرا در انجام این پژوهش یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

امیدوارم با سعی و تلاش هر چه بیشتر در راه سربلندی و عزت ایران عزیز، حق شاگردی این بزرگواران را بجا آورم و بیاری خداوند بتوانم پاسخگوی تمام عزیزانی باشم که از خود گذشتگی و دسترنجشان شرایط تحصیل را برایم فراهم نمود.

تاچه قبول افتد و چه در نظر آید . . .

چکیده

بررسی اثر ناشی از فاصله هوایی مابین بال و

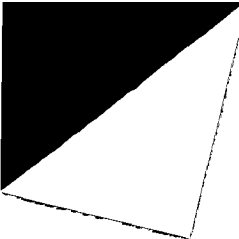
بالچه در جریان مافوق صوت

توسط

آرش رجیبی بانیانی

در این پژوهش آثار ناشی از فاصله هوایی مابین بال و بالچه (Gap Effect) بر ضرایب آیرودینامیکی برا، ممان نصب و ممان لولا برای بالچه های ساده لبه فرار در جریان فراصوتی مورد بررسی قرار گرفته است. به هنگام باز شدن بالچه ناحیه مثلث شکلی مابین بال و بالچه شکل میگیرد که این ناحیه مانند منفذ عبور جریان بین قسمتهای پر فشار و کم فشار بال عمل کرده و باعث تغییر توزیع فشار پیش بینی شده برای مجموعه بال و بالچه میگردد.

در این تحقیق با بهره گیری از تئوری جریانهای مخروطی حل تحلیلی ارائه گشته و با استفاده از حلهای تحلیلی سه برنامه برای تعیین اثر فاصله هوایی و لحاظ نمودن این اثر برای حلهای قبلی، تهیه شده است. در یکی از این برنامه ها با استفاده از حلهای تحلیلی حد بیشترین مقدار این اثر تعیین شده و در دو برنامه دیگر با استفاده از برخی حلها مقدار نیروی برای ناحیه اثر فاصله هوایی حذف گشته است. در نهایت نتایج این سه برنامه و همچنین برنامه هایی که پیش از این بکار برده میشده، با نتایج



آزمایشگاهی گرفته شده از تونل باد مافوق صوت مقایسه شده و میزان دقت هر یک تعیین شده است.

این برنامه ها از نظر شکل هندسی بالچه محدودیتی ندارند. همچنین به منظور بهینه نمودن کدهای نیمه تجربی و افزایش دقت و کارایی آنها میتوان هریک از این برنامه ها را به عنوان زیر برنامه به آنها افزود.

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|--------|-----------------------------------------------------|
| هشت | فهرست جدول ها |
| نه | فهرست شکل ها |
| دوازده | فهرست علامتهای اختصاری |
| ۱ | فصل اول: مقدمه |
| ۱ | ۱-۱: مقدمه |
| ۵ | ۲-۱: هدف از انجام تحقیق |
| ۵ | ۳-۱: تاریخچه |
| ۲۰ | فصل دوم: تئوری |
| ۲۰ | ۱-۲: مقدمه |
| ۲۰ | ۲-۲: معادله خطی پتانسیل سرعت |
| ۲۰ | ۱-۲-۲: شرح معادله |
| ۲۱ | ۲-۲-۲: تبدیل پرانندال-گلورت-گورتورت |
| ۲۲ | ۳-۲-۲: شکل هندسی بال تغییر یافته |
| ۲۷ | ۴-۲-۲: معرفی متغیرهای توابع آیرودینامیکی |
| ۲۸ | ۵-۲-۲: جریان بر روی لبه ها |
| ۳۱ | ۶-۲-۲: جریانهای مخروطی و روش حل معادلات این جریانها |
| ۴۰ | ۷-۲-۲: چگونگی استفاده از انواع جوابها |
| ۴۵ | ۳-۲: بالچه در مسیر جریان فراصوتی |
| ۴۷ | ۴-۲: توضیحاتی در رابطه با انواع بالچه ها |
| ۵۰ | ۵-۲: تصحیح اثر ضخامت |

| | |
|-----|-------------------------------------------------------------|
| ۵۱ | ۲-۶: روش حذف بردار سطوح محدود |
| ۵۵ | فصل سوم: مراحل و روش انجام تحقیق |
| ۵۵ | ۳-۱: مقدمه |
| ۵۵ | ۲-۳: روش استفاده از حل بالچه آزاد |
| ۶۱ | ۳-۳: روش حذف نیروی برایی با در نظر گرفتن گردابه های روی لبه |
| ۶۳ | ۳-۴: استفاده از حل حذف برایی متقارن |
| ۶۴ | ۳-۵: مقادیر ورودی برنامه |
| ۶۷ | فلوچارت برنامه |
| ۶۷ | فلوچارت برنامه بالچه آزاد |
| ۶۸ | فلوچارت برنامه حذف نیروی برایی |
| ۶۹ | فصل چهارم: بحث در نتایج |
| ۶۹ | ۴-۱: مقدمه |
| ۶۹ | ۴-۱-۱: اثر وجود فاصله هوایی |
| ۷۱ | ۴-۲: برنامه بالچه آزاد |
| ۷۱ | ۴-۲-۱: بررسی برنامه از نظر پیوستگی |
| ۷۶ | ۴-۲-۲: درستی مقادیر برنامه بالچه آزاد |
| ۷۸ | ۴-۳: مقایسه روشها و برنامه های ارائه شده |
| ۱۰۳ | فصل پنجم: خلاصه و نتیجه گیری |
| ۱۰۵ | منابع |
| | چکیده و صفحه عنوان به زبان انگلیسی |

فهرست جدول ها

صفحه

جدول

جدول (۴-۱): متوسط مقدار خطا برای ضرایب آیرودینامیکی نمونه دوم ۹۰

فهرست شکل ها

| شکل | صفحه |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| (۱-۱): مجموعه بال و بالچه یک هوایما در معرض جریان هوا | ۴ |
| (۲-۱): فاصله هوایی مابین دم و بدنه موشک | ۱۳ |
| (۳-۱): نمایش چهار نوع موشک مورد آزمایش و مقایسه | ۱۶ |
| (۱-۲): نمایش و معرفی قسمتهای مختلف یک بال در سیستم مختصات (x, y) | ۲۳ |
| (۲-۲): نمایش تغییر بال با توجه به تئوری پرانداال-گلورت-گورت | ۲۴ |
| (۳-۲): نمایش مخروط پایین دست و بالادست یک نقطه در جریان مافوق صوت | ۲۹ |
| (۴-۲): بال در مسیر جریان مافوق صوت | ۲۹ |
| (۵-۲): نمایش لبه حمله مادون صوت و مافوق صوت با توجه به زاویه تمایل بال | ۳۰ |
| (۶-۲): نمایش مخروط ماخ در یک سمت بال | ۳۱ |
| (۷-۲): بال و مخروط ماخ | ۳۲ |
| (۸-۲): انتقال بال و مخروط ماخ به صفحه موهومی | ۳۴ |
| (۹-۲): نمایش متغییر τ بر روی بال | ۳۶ |
| (۱۰-۲): منحنی توابع و شکل بال در معرض جریان برایی با لبه حمله مادون صوت | ۴۱ |
| (۱۱-۲): منحنی توابع و شکل بال در معرض جریان برایی با لبه حمله مادون صوت | ۴۲ |
| (۱۲-۲): منحنی توابع و شکل بال در معرض جریان با لبه فرار مادون صوت | ۴۳ |
| (۱۳-۲): قسمت حقیقی برخی توابع که در حلهای مخروطی بکار می روند | ۴۴ |
| (۱۴-۲): ناحیه برخورد دو مخروط ماخ بر روی صفحه بال | ۴۶ |
| (۱۵-۲): نماش بالچه تمام متحرک و قسمتی متحرک | ۴۸ |
| (۱۶-۲): نمایش بالچه بطرف داخل و بالچه بطرف خارج | ۴۹ |
| (۱۷-۲): چگونگی حذف نیروی برای اضافی | ۵۲ |
| (۱۸-۲): نمونه ای از حلهای مربوط به حذف نیروی برایی | ۵۳ |

- ۵۶ (۱-۳): نمایش بال (ویا بالچه) و منحنی های مربوطه در حالت "Zero Gap"
- ۵۷ (۲-۳): نمایش بال (ویا بالچه) و منحنی های مربوطه در حالت "Free Flap"
- ۵۹ (۳-۳): توزیع نیروی برایی در حالت واقعی و در دو حالت حدی
- ۶۲ (۴-۳): اثر وجود گردابه ها در کاهش نیروی برایی بر روی لبه جانبی
- ۶۳ (۵-۳): چگونگی حل میدان حذف نیروی برایی
- ۶۳ (۶-۳): قرار دادن بال و بالچه در یک صفحه فرضی
- ۶۵ (۷-۳): نمایش مقادیر ورودی برنامه بر روی شکل
- ۷۰ (۱-۴): تغییرات مشتق ضریب برا برحسب نسبت منظری در دو حالت حدی
- ۷۱ (۲-۴): تغییرات مشتق ضریب برا برحسب نسبت باریک شوندهگی
- ۷۳ (۳-۴): تغییرات مشتق ضریب برا برحسب زاویه لبه فرار
- ۷۴ (۴-۴): مشتق ضریب ممان لولا برحسب زاویه لبه فرار
- ۷۵ (۵-۴): مشتق ضریب ممان نصب و ممان لولا برحسب نسبت باریک شوندهگی
- ۷۷ (۶-۴): منحنی تغییرات ضریب برا برحسب نسبت منظری در اعداد ماخ مختلف
- ۷۹ (۷-۴): مشخصات نمونه های قرار گرفته در تونل باد
- ۸۰ (۸-۴): نمایش مدل بال و خطوط مرجع مربوط به ممان نصب
- ۸۱ (۹-۴): ضریب برا برحسب عدد ماخ برای نمونه دوم در $\delta = 10^\circ$
- ۸۳ (۱۰-۴): ضریب برا برحسب عدد ماخ برای نمونه سوم در $\delta = 20^\circ$
- ۸۴ (۱۱-۴): ضریب ممان لولا برحسب عدد ماخ برای نمونه دوم در $\delta = 10^\circ$
- ۸۵ (۱۲-۴): ضریب لولا برحسب عدد ماخ برای نمونه دوم در $\delta = 20^\circ$
- ۸۶ (۱۳-۴): ضریب ممان نصب اول برحسب عدد ماخ برای نمونه دوم در $\delta = 20^\circ$
- ۸۷ (۱۴-۴): ضریب ممان نصب دوم برحسب عدد ماخ برای نمونه دوم در $\delta = 20^\circ$
- ۸۸ (۱۵-۴): ضریب ممان لولا برحسب عدد ماخ برای نمونه سوم در $\delta = 20^\circ$
- ۸۹ (۱۶-۴): ضریب ممان نصب اول برحسب عدد ماخ برای نمونه سوم در $\delta = 20^\circ$

- ۹۱ (۴-۱۷): ضریب ممان نصب دوم برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه اول
- ۹۲ (۴-۱۸): ضریب ممان نصب دوم برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه دوم
- ۹۳ (۴-۱۹): ضریب لولا برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه دوم
- ۹۴ (۴-۲۰): ضریب برا برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه دوم
- ۹۵ (۴-۲۱): ضریب ممان نصب اول برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه دوم
- ۹۶ (۴-۲۲): ضریب ممان نصب دوم برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه دوم
- ۹۷ (۴-۲۳): ضریب برا برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه سوم
- ۹۸ (۴-۲۴): ضریب ممان لولا برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه سوم
- ۹۹ (۴-۲۵): ضریب ممان نصب اول برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه سوم
- ۱۰۰ (۴-۲۶): ضریب ممان نصب اول برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه سوم
- ۱۰۱ (۴-۲۷): ضریب ممان نصب دوم برحسب زاویه انحراف بالچه برای نمونه سوم

فهرست علامتهای اختصاری

علامت

تعریف

α

زاویه حمله بال نسبت به جریان هوا

$$\beta = \sqrt{Ma^2 - 1}$$

ضریب جریان مافوق صوت

$\Lambda_{L.E.}$

زاویه تمایل بالچه در خط لولا

$\Lambda_{T.E.}$

زاویه تمایل بالچه در لبه فرار

$$\lambda_f = \frac{C_{tf}}{C_{rf}}$$

نسبت باریک شوندهگی بالچه

γ

زاویه تمایل بال نسبت به محور Y

$$C_p = \frac{\Delta P}{q}$$

ضریب فشار

C_{rf}

وتر سطح کنترلی در ریشه

C_{tf}

وتر سطح کنترلی در نوک

$$m = \frac{\beta}{\tan \gamma}$$

مشخصه طول بال پس از تغییر متغیر

Ma

عدد ماخ در جریان آزاد

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2$$

فشار دینامیکی جریان آزاد

S_f

مساحت بالچه

زیر نویس

| | |
|----------|-----------------------------|
| ∞ | مشخصات جریان در بینهایت دور |
| L.E. | لبه حمله بال یا بالچه |
| T.E. | لبه فرار بال یا بالچه |
| θ | زاویه انحراف بالچه |
| f | مربوط به بالچه |
| w | مربوط به بال |

فصل اول

مقدمه

پرواز در آسمان لایتناهی و سیر در افق لاجوردی ، از قدیمی ترین و هیجان انگیزترین آرزوهای بشر بوده است . انسان زمینی پرواز را به دیده از میان برداشتن تعلقات و پایندهای خاکی مینگریسته و با نگرشی عارفانه آنرا تحسین میکرده است . خواه این پرواز ، پروازی جسمانی باشد ، خواه پروازی روحانی .

طیران مرغ دیدی تو ز پایبند شهوت بدرآی تا بینی طیران آدمیت

آرزوی پرواز در زمانهای کهن ابتدا در نقشهای روی سنگها ، سپس در شعر و ادبیات و داستان ظاهر گردیده و در ادامه به یک مسیر علمی منتهی شده است

تا دو قرن پیش ، انسان به اطلاعاتی ناچیز از علم هوا و فضا اکتفا میکرد و فقط به هنگام وقوع طوفان و پدیده هایی نظیر آن ، از مشاهده قدرت و تأثیر جریان هوا در پیدایش خرابیها شگفت زده میشد . اگرچه آرزوی پرواز انسان به هنگام مشاهده پرندگان ، افسانه هایی مانند افسانه ایکاروس^۱ را در ذهنها میپروراند ، اما هیچیک از این داستانها بر اساس فهم مسائل آیرودینامیکی نبود . در این زمینه دانشمندان نامی گذشته نیز سهم ناچیزی داشته اند . برای مثال ارسطو معتقد بود که به هنگام حرکت یک جسم در هوا ، شکل گیری خلاء در جلوی آن جسم سبب ادامه حرکت میگردد . ویا لئوناردو داوینچی (Leonardo da vinci) حتی طرحهایی

^۱ Icarus : ایکاروس قهرمانی افسانه ای است که برای فرار از قلعه ای که در آن زندانی است بالهایی میسازد و آنها را با موم به بدن خود متصل میکند اما در حین پرواز با نزدیک شدن به خورشید آن مومها آب می شود و باعث سقوطش می گردد .

در رابطه با چرخبال (هلیکوپتر) و چگونگی طراحی بال داشت، اما هیچکدام از این طرحها بر اساس محاسبه نیروهای حاصل از حرکت جسم در سیال و همچنین ملزومات مهندسی برای به انجام رساندن آنها، تجهیز نشده بودند. اولین تئوری در رابطه با نیروی مقاومت هوا در قرن هیجدهم میلادی توسط ایزاک نیوتن (Sir Isaac Newton) ارائه گردید و مدت کوتاهی پس از پیوند میان دانش و تخیل اولین ساخته دست بشر بصورت بالن در ۴ ژوئن ۱۷۸۳ میلادی به آسمان رفت. از آن پس بررسی اثرات متقابل جسم پرنده و هوای اطراف آن، مسائل متعددی را پیش روی پژوهشگران قرار داده است که پاسخگویی به این مسائل و رفع مشکلات اجسام پرنده، شاخه‌ها و نیز روشهای گوناگونی را در زمینه آیرودینامیک مطرح کرده و باعث بسط و گسترش آن گردیده است.

پیش بینی چگونگی رفتار جریان هوا و بررسی مسائل مختلف آیرودینامیکی از مهمترین نکات مورد توجه در مباحث طراحی، ساخت و پیش بینی محدوده عملکرد اجسام پرنده امروزی، نظیر هواپیما و موشک و ... می باشد. با در نظر گرفتن ضرائب آیرودینامیکی، چگونگی حرکت یک جسم پرنده در هوا تا حدود زیادی قابل پیش بینی خواهد بود. لذا تعیین ضرائب آیرودینامیکی یک جسم پرنده در شرایط مختلف، از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. لازم به ذکر است که هر یک از قسمتهای متصل به یک جسم پرنده به نوعی در مقادیر ضرائب آیرودینامیکی کل جسم دخالت دارند.

به عنوان مثال ضریب برا (Lift Coefficient) در یک موشک را در نظر بگیرید. به منظور محاسبه این ضریب (C_L)، ضرایب برا در هر یک از قسمتهای بدنه، دم، بالک و سایر قسمتهای کنترلی (C_{L_i}) و همچنین ضرایب تداخلی ناشی از مجموعه هر دو قسمت (مثل: "بدنه و دم" و "بالک و بدنه" و ...) را می بایست در محاسبات منظور کنیم. بدین ترتیب "ضریب برا" کل (C_L) در یک موشک بدست می آید.