دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی هوافضا(آیرودینامیک)

طراحی، بررسی وتحلیل آیرودینامیک ورودی مافوق صوت یک رم جت

توسط:
محمد فرمانی

استاد راهنما :
دکتر محمد مهدی علیشاهی

بهمن ماه 1387

بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب **محمد فرمانی** دانشجوی رشته ی **مهندسی مکانیک -هوافضا** گرایش **آیرودینامیک** دانشکده ی **مهندسی مکانیک** اظهارمی کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهارمی کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشرننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام ونام خانوادگی: محمد فرمانی

تاریخ و امضاء:

۸۸/۹/۱۴

بنام خدا

طراحی، بررسی و تحلیل آیرودینامیک ورودی مافوق صوت یک رم جت

به وسیله ی:

محمد فرمانی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی هوافضا

(آیرودینامیک)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

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

دکتر ابراهیم گشتاسبی راد استادیار بخش مهندسی مکانیک .....

دکتر رضا کمالی استادیار بخش مهندسی مکانیک .....

بهمن ۱۳۸۷

تقدیم به

آن دوست غائب(عج)

پدر و مادر عزیزم

و همسر صبورم

سپاسگزاری

اکنون که این پایان نامه به پایان رسیده بر خود فرض می دانم که از راهنمایی های استاد گرانمایه دکتر محمد مهدی علیشاهی که سالهاست افتخار شاگردی ایشان را دارم، سپاسگزاری نمایم و از زحمات جناب آقای دکتر ابراهیم گشتاسبی راد و دکتر رضا کمالی، اعضائ محترم کمیته پایان نامه، بخاطر صرف وقت گرانبهایشان تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از جناب آقای مهندس خواجه و سرکار خانم مهندس فالیزی در مرکز محاسبات سریع که علیرغم کمبود امکانات همکاری بسیار زیادی با اینجانب داشتند سپاسگزارم. هزاران بار از پدر و مادر مهربان و همسر صبورم که زحمات زیادی را بخاطرم متحمل شده اند تشکرمی نمایم.

چکیده

طراحی، بررسی و تحلیل آیرودینامیک ورودی مافوق صوت یک رم جت

به کوشش

محمد فرمانی

در این پایان نامه روشی سریع و کاربردی بر مبنای حل عددی جریان مخروطی بمنظور طراحی اولیه ورودی مافوق صوت متقارن محوری با تراکم ترکیبی جهت یک رم جت ارائه شده است. میدان جریان ورودی مافوق صوت طراحی شده، در نرم افزار فلوئنت مدلسازی، بررسی و تحلیل گردیده است. در این مطالعه علیرغم پیچیدگی های جریان مخروطی مافوق صوت و هندسه متقارن محوری این نوع ورودی و محدودیت در امکانات محاسباتی و نرم افزار ، سعی شده تا روش ارائه شده جهت طراحی اولیه ورودی موردنظرومدلسازی ها تاحدامکان کامل باشد. مدلسازی ها درحالت دوبعدی برای جریان غیر لزج وبصورت دائمی ودرحالت سه بعدی برای جریان غیرلزج وبصورت موازی انجام گردیده است. تعداد سلولهای بکاررفته درمدلسازیهای دوبعدی 165,000 سلول ودرسه بعدی درحدود ۲،۸۵۰،۰۰۰ سلول می باشد. برای حل معادلات حاکم ازروش همبسته ضمنی درمحاسبات دوبعدی وروش همبسته صریح درمحاسبات سه بعدی استفاده شده است. نتایج محاسبات تئوری به روش امواج ضربه ای مخروطی، که ازحل عددی معادله تیلور- مک کول بدست آمده، با نتایج محاسبات دوبعدی غیرلزج مقایسه گردیدکه نتایج تطبیق خوبی داشتند ولذا می توان به درستی روش طراحی ارائه شده در این پایان نامه اعتماد نمود. مدلسازی میدان جریان مافوق صوت دراین ورودی نشان دادکه با افزایش عددماخ و نیز افزایش زاویه حمله جریان آزاد مقدار بازیافت فشار کل ورودی کاهش می یابد. بمنظور بررسی اثرات پارامترهای هندسی بر عملکرد ورودی، جابجایی جسم مرکزی و نیز تغییر در زاویه سطح مخروطی دوم انجام واین تغییرات سبب گردید تا بازیافت فشار کل درحدود 5 درصد افزایش یابد.

نتایج این پایان نامه نشان می دهد که روش طراحی ارائه شده در طراحی اولیه ورودیهای مافوق صوت قابل استفاده و کاربرد می باشد و محاسبات عددی از این دست در طراحی و بهینه سازی ورودیهای مافوق صوت بسیار مفید و موثر می باشد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه و معرفی

1-1 مقدمه 1

2-1 انواع ورودیهای مافوق صوت موشک 3

3-1 مروری بر تحقیقات گذشته 8

4-1 اهداف 10

فصل دوم: مبانی تئوری و محاسبات تحلیلی

1-2 مبانی تئوری 12

2-2 امواج ضربه ای مخروطی 12

3-2 معادلات حاکم 13

1-3-2 معادلات حاکم بر امواج ضربه ای مخروطی 13

2-3-2 معادلات حاکم بر موج ضربه ای مایل 18

3-3-2 روند حل عددی معادلات حاکم برجریان مخروطی 20

4-3-2 معادلات حاکم بر تراکم آیزنتروپیک 21

4-2 روش طراحی و حل معادلات حاکم 22

1-4-2 روش و معیارهای طراحی 22

2-4-2 محاسبات کامپیوتری 25

فصل سوم: معادلات حاکم و روش حل عددی

3-1 مجاری ورودی مافوق صوت و دینامیک سیالات عددی 28

3-2 مشخصات مجرای ورودی مافوق صوت 29

3-3 معادلات حاکم 30

3-3-1 معادلات ناویر – استوکس 31

3-3-2 معادلات اویلر 32

3-3-3 معادله حالت 33

3-4 روش حجم محدود 33

3-5 مجزا سازی 35

3-6 خطی سازی 36

3-7 روش همبسته (کوپله) 37

3-8 مجزا سازی زمانی 39

3-9 شرایط مرزی 41

فصل چهارم: مدلسازی فیزیکی و شبکه بندی

4-1 مدلسازی و شبکه بندی 44

4-2 مدلسازی مجرای ورودی 46

4-2-1 حالت دوبعدی 46

4-2-2 حالت سه بعدی 50

فصل پنجم: روش انجام محاسبات عددی

5-1 آماده سازی شبکه برای انجام محاسبات 53

5-2 پردازش موازی 56

5-3 مدلسازی و محاسبات انجام شده 58

5-4 مدلسازی ها و محاسبات انجام شده 59

فصل ششم: نتایج بحث

1-6 بررسی تعداد سلولهای شبکه 62

2-6 مقایسه نتایج محاسبات تئوری با نتایج مندرج در منابع علمی 63

3-6 نتایج محاسبات دوبعدی مجرای ورودی در نقطه طراحی 65

1-3-6 مقایسه نتایج برنامه کامپوتری با نتایج خروجی نرم افزار فلوئنت جهت محاسبه میدان دوبعدی جریان مجرای ورودی در نقطه طراحی 65

2-3-6 تحلیل نتایج حل عددی میدان دوبعدی جریان 68

4-6 تاثیرتغییر عدد ماخ جریان آزاد بر عملکرد مجرای ورودی 71

5-6 بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از تنظیم امواج ضربه ای مجرای ورودی 79

6-6 تاثیر زاویه حمله جریان آزاد بر عملکرد مجرای ورودی 84

7-6 بررسی تغییرعددماخ وزاویه حمله جریان آزادبرمیدان جریان وعملکرد مجرای ورودی..... 88

فصل هفتم: جمع بندی و پیشنهادات

1-7 جمع بندی 99

2-7 پیشنهادات 101

- مراجع 102

- پیوست الف 105

فهرست جدولها

عنوان وشماره صفحه

جدول شماره6-1 : مقایسه نتایج محاسبات تحلیلی با نتایج ارائه شده در مرجع [1] 63

جدول شماره6-2 : توزیع عدد ماخ مجرای ورودی (خروجی برنامه کامپیوتری - روش تحلیلی) ...66

جدول شماره6-3 : توزیع عدد ماخ مجرای ورودی (خروجی نرم افزار فلوئنت - روش عددی) 67

جدول شماره6-4 : موقعیت اولین موج ضربه ای نسبت به لبه پوشش مجرای ورودی 71

جدول شماره6-5 : شار جریان گذرنده از مجرای ورودی بر حسب تغییر عدد ماخ جریان آزاد 78

جدول شماره6-6 : موقعیت تشکیل امواج ضربه ای نسبت به لبه پوشش مجرای ورودی 86

جدول شماره6-7 : تغییرات بازیافت فشارکل مجرای ورودی 87

جدول شماره6-8 : تاثیر زاویه حمله برموقعیت تشکیل امواج ضربه ای مجرای ورودی 88

جدول شماره6-9 : پارامتر غیر یکنواختی در مجرای ورودی (بدون تنظیم امواج ضربه ای) 97

جدول شماره6-10 : پارامتر غیر یکنواختی در مجرای ورودی (با تنظیم امواج ضربه ای) 98

فهرست شکل ها و تصویرها

عنوان صفحه

شکل (1- 1) نمایش مجرای ورودی متقارن محوری 3

شکل(1-2) ورودیهای متقارن محوری 4

شکل(1-3) ورودیهای چهارضلعی 5

شکل(1-4) ورودی چین 6

شکل(1-5) ورودیهای سوئدی و اثر زاویه سرش بر عملکرد آنها 7

شکل(1-6) ورودی ماوراء صوت 7

شکل(2-1) جریان مخروطی 14

شکل(2-2) موج ضربه ای مخروطی 18

شکل(2-3) تراکم آیزنتروپیک 21

شکل(2-4) ورودی با تراکم خارجی 23

شکل(2-5) ورودی با تراکم ترکیبی 23

شکل(2-6) بازیافت فشار برحسب عددماخ جریان آزاد و تعداد موج ضربه ای مایل 24

شکل(2-7) شمای کلی ورودی در شرایط طراحی 25

شکل(2-8) مجرای ورودی در شرایط طراحی 27

شکل(3-1) شکل نیم سطح مقطع مجرای ورودی در نقطه طراحی 30

شکل(3-2) شرایط مرزی بکاررفته در مدلسازی مجرای ورودی مافوق صوت 41

شکل(4-1) بلوک بندی جریان داخلی و خارجی مجرای ورودی در حالت دوبعدی 47

شکل(4-2) شبکه نهایی دوبعدی مجرای ورودی و ناحیه خارجی آن 48

شکل(4-3) شبکه نهایی در اطراف لبه پوشش مجرای ورودی 49

شکل(4-4) شبکه نهایی در نوک مخروط اول 49
شکل(4-5) هندسه سه بعدی جسم میانی ورودی و پوشش آن 50
شکل(4-6) بلوک بندی مجرای ورودی و ناحیه خارجی آن 51
شکل(4-7) نمونه ای از بلوک بندی و شبکه های تولید شده مجرای ورودی 51
شکل(6- 1) مقایسه توزیع عدد ماخ برای دو نوع شبکه 62
شکل(6-2) زاویه موج ضربه ای مخروطی 64
شکل(6-3) عدد ماخ در سطح مخروط 64
شکل(6-4) امواج ضربه ای در مجرای ورودی حاصل از محاسبات تحلیلی و عددی برای جریان غیرلزج 65
شکل(6-5) توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 2 وزاویه حمله صفردرجه) 69
شکل(6-6) توزیع فشار استاتیکی درمجرای ورودی رم جت (عددماخ2 وزاویه حمله صفردرجه).69
شکل(6-7) توزیع دانسیته در مجرای ورودی رم جت (عددماخ 2 وزاویه حمله صفردرجه)..... 70
شکل(6-8) توزیع دمای استاتیکی درمجرای ورودی رم جت(عدد ماخ2 وزاویه حمله صفردرجه).70
شکل(6-9) توزیع دمای کل در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 2و زاویه حمله صفر درجه).....70
شکل(6-10) کانتورهای توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 1/75 و زاویه حمله صفردرجه) 72
شکل(6-11) کانتورهای توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 1/6 و زاویه حمله صفر درجه) 72
شکل(6-12) کانتورهای توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 2/25 و زاویه حمله صفر درجه) 73
شکل(6-13) کانتورهای توزیع عددماخ درمجرای ورودی رم جت(عددماخ 2 وزاویه حمله صفردرجه)..... 73
شکل(6-14) کانتورهای توزیع فشاراستاتیکی درمجرای ورودی رم جت (عددماخ 1/75 و زاویه حمله صفر درجه)..... 73
شکل(6-15) کانتورهای توزیع فشار استاتیکی درمجرای ورودی رم جت (عددماخ 1/6 و زاویه حمله صفردرجه)..... 73

شکل(6-16) کانتورهای توزیع فشاراستاتیکی درمجرای ورودی رم جت (عددماخ 2/25 وزاویه حمله صفر درجه)..... 74
شکل(6-17) کانتورهای توزیع فشاراستاتیکی درمجرای ورودی رم جت (عددماخ2 وزاویه حمله صفردرجه)..... 74
شکل(6-18) کانتورهای توزیع دمای استاتیکی درمجرای ورودی رم جت (عددماخ 1/75 وزاویه حمله صفردرجه)..... 74
شکل(6-19) کانتورهای توزیع دمای استاتیکی درمجرای ورودی رم جت (عددماخ 1/6 وزاویه حمله صفر درجه) 74
شکل(6-20) کانتورهای توزیع دمای استاتیکی درمجرای ورودی رم جت (عددماخ 2/25 وزاویه حمله صفر درجه)..... 75
شکل(6-21) کانتورهای توزیع دمای استاتیکی درمجرای ورودی رم جت (عددماخ2 وزاویه حمله صفر درجه)..... 75
شکل(6-22) کانتورهای توزیع دمای کل درمجرای ورودی رم جت (عددماخ 1/75 وزاویه حمله صفردرجه)..... 75
شکل(6-23) کانتورهای توزیع دمای کل درمجرای ورودی رم جت (عددماخ 1/6 وزاویه حمله صفردرجه) 75
شکل(6-24) کانتورهای توزیع دمای کل در مجرای ورودی رم جت (عددماخ 2/25 وزاویه حمله صفر درجه) 76
شکل(6-25) کانتورهای توزیع دمای کل درمجرای ورودی رم جت (عددماخ2 و زاویه حمله صفردرجه) 76
شکل(6-26) بازیافت فشار کل مجرای ورودی با تغییر عددماخ در زاویه حمله صفر درجه)..... 76
شکل(6-27) نمودار تغییرفشارکل درمجرای ورودی (عدد ماخ 1/75 و زاویه حمله صفر درجه)....77
شکل(6-28) نمودار تغییر فشار کل در مجرای ورودی (عدد ماخ 1/6 و زاویه حمله صفر درجه)...77
شکل(6-29) نمودار تغییر فشارکل در مجرای ورودی (عدد ماخ 2/25 و زاویه حمله صفر درجه)..78
شکل(6-30) نمودار تغییر فشار کل در مجرای ورودی (عدد ماخ 2 و زاویه حمله صفر درجه) 78
شکل(6-31) توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (بدون تنظیم محل امواج ضربه ای) 79

شکل(6-32) توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (با تنظیم محل امواج ضربه ای) 79
شکل(6-33) توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (با تنظیم محل امواج ضربه ای شامل تغییر موقعیت جسم میانی وزاویه مخروط دوم)..... 81
شکل(6-34) تغییر فشار کل در مجرای ورودی (بدون تنظیم محل امواج ضربه ای) 82
شکل(6-35) تغییر فشار کل در مجرای ورودی (با تنظیم محل امواج ضربه ای) 82
شکل(6-36) توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (بدون تنظیم محل امواج ضربه ای) 83
شکل(6-37) توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (با تنظیم محل امواج ضربه ای) 83
شکل(6-38) تغییر فشار کل در مجرای ورودی (بدون تنظیم محل امواج ضربه ای) 84
شکل(6-39) تغییر فشار کل در مجرای ورودی (با تنظیم محل امواج ضربه ای) 84
شکل(6-40) توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 2 و زاویه حمله صفر درجه)... 86
شکل(6-41) توزیع عدد ماخ در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 2 و زاویه حمله 2 درجه)..... 86
شکل(6-42) توزیع عددماخ درخروجی مجرای ورودی رم جت (عددماخ2 وزاویه حمله2 درجه) 87
شکل(6-43) تاثیر زاویه حمله بر جریان خروجی مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 1/75 وزاویه حمله 2درجه)..... 89
شکل(6-44) تاثیر زاویه حمله برجریان خروجی مجرای ورودی رم جت (عددماخ 1/6 و زاویه حمله 2درجه)..... 89
شکل(6-45) تاثیر زاویه حمله برجریان خروجی مجرای ورودی رم جت (عددماخ 2/25 وزاویه حمله 2درجه)..... 90
شکل(6-46) تاثیر زاویه حمله برجریان خروجی مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 2 و زاویه حمله 2درجه)..... 90
شکل(6-47) کانتور توزیع عدد ماخ در صفحه تقارن مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 1/75 و زاویه حمله 2درجه)..... 90
شکل(6-48) کانتور توزیع عدد ماخ در صفحه تقارن مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 1/6 و زاویه حمله 2درجه)..... 90
شکل(6-49) کانتور توزیع عدد ماخ در صفحه تقارن مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 2/25 و زاویه حمله 2درجه)..... 91

شکل(6-50) کانتور توزیع عدد ماخ در صفحه تقارن مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 2 و زاویه حمله 2درجه)..... 91
شکل(6-51) توزیع عدد ماخ بر روی جسم میانی وسطح داخلی پوشش مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ1/75و زاویه حمله2درجه)..... 91
شکل(6-52) توزیع عدد ماخ بر روی جسم میانی وسطح داخلی پوشش مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ1/6و زاویه حمله2درجه)..... 91
شکل(6-53) توزیع عدد ماخ بر روی جسم میانی وسطح داخلی پوشش مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ2/25و زاویه حمله2درجه)..... 92
شکل(6-54) توزیع عدد ماخ بر روی جسم میانی وسطح داخلی پوشش مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 2و زاویه حمله2 درجه)..... 92
شکل(6-55) توزیع دمای استاتیکی درصفحه تقارن مجرای ورودی رم جت(عددماخ 1/75 و زاویه حمله 2درجه)..... 92
شکل(6-56) توزیع دمای استاتیکی درصفحه تقارن مجرای ورودی رم جت(عددماخ 1/6 و زاویه حمله 2درجه)..... 92
شکل(6-57) توزیع دمای استاتیکی درصفحه تقارن مجرای ورودی رم جت(عددماخ 2/25 و زاویه حمله 2درجه)..... 92
شکل(6-58) توزیع دمای استاتیکی درصفحه تقارن مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 2 و زاویه حمله 2درجه)..... 92
شکل(6-59) توزیع دمای استاتیکی درصفحه خروجی مجرای ورودی رم جت(عددماخ 1/75 و زاویه حمله 2درجه)..... 93
شکل(6-60) توزیع دمای استاتیکی درصفحه خروجی مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 1/6 و زاویه حمله 2درجه)..... 93
شکل(6-61) توزیع دمای استاتیکی درصفحه خروجی مجرای ورودی رم جت(عددماخ 2/25 و زاویه حمله 2درجه)..... 93
شکل(6-62) توزیع دمای استاتیکی در صفحه خروجی مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 2 و زاویه حمله 2درجه)..... 93

شکل(6-63) توزیع فشار کل در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 1/75 و زاویه حمله 2 درجه)...94
شکل(6-64) توزیع فشار کل در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 1/6 و زاویه حمله 2 درجه) ... 94
شکل(6-65) توزیع فشار کل در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ 2/25 و زاویه حمله 2 درجه) 94
شکل(6-66) توزیع فشار کل در مجرای ورودی رم جت (عدد ماخ2 و زاویه حمله 2 درجه) 94
شکل(6-67) تغییربازیافت فشار کل مجرای ورودی رم جت براثرتغییرزاویه حمله وعددماخ جریان آزاد 95
شکل(6-68) کانتور توزیع فشارکل در صفحه خروجی مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 1/75 و زاویه حمله 2درجه)..... 96
شکل(6-69) کانتور توزیع فشارکل در صفحه خروجی مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 1/6 و زاویه حمله 2درجه)..... 96
شکل(6-70) کانتور توزیع فشارکل درصفحه خروجی مجرای ورودی رم جت(عددماخ 2/25 و زاویه حمله 2درجه)..... 96
شکل(6-71) کانتور توزیع فشارکل درصفحه خروجی مجرای ورودی رم جت(عدد ماخ 2 و زاویه حمله 2درجه)..... 96

فهرست نشانه های اختصاری

$\vec{A}$	بردار سطح
$\vec{A}_f$	بردار سطح f
a	سرعت صوت و ضریب انتقال حرارت
B	ترم چشمه
CLA	زاویه لبه پوشش مجرای ورودی رم جت
C_p	گرمای ویژه در فشار ثابت
E	انرژی داخلی سکون سیال
e	انرژی داخلی
F_i	کمیات جابجایی
G_i	کمیات پخش
h	مقدار آنتالپی
L_i	طول مجرا بر حسب شعاع مقطع خروجی مجرای ورودی رم جت
M	عدد ماخ
N_{faces}	تعداد سطوح
p	فشار استاتیکی
p_d	فشار دینامیکی
p_{t_0}	فشار کل
Q	کمیتهای اولیه
R	ثابت گازها
r	راستای شعاعی از راس مخروط

$\mathbf{T}$	دمای استاتیکی
$\mathbf{t}$	زمان
$\mathbf{U}$	کمیات بقایی
$\mathbf{V}$	مقدار سرعت
$V_{\max}$	بیشترین سرعت قابل دستیابی ازانبساط تئوری جریان تا رسیدن به دمای صفر
v_r	مقدار سرعت در راستای شعاعی از راس مخروط
v_θ	مقدار سرعت در راستای عمود بر سطح مخروط
$\vec{v}$	سرعت مطلق
$\vec{v}_r$	سرعت نسبی
β , θ_s	زاویه موج ضربه ای
$\Delta\vec{s}$	بردار جابجایی
ϕ	کمیت اسکالر
Γ	ماتریس پیش شرط زمانی
Γ_ϕ	ضریب پخشی
γ	گرمای ویژه نسبی
μ	لزجت مولکولی
θ	زاویه انحراف جریان ، راستای عمود بر سطح مخروط
θ_c	زاویه نیم راس مخروط
ρ	دانسیته سیال
$\vec{\tau}$	تانسور تنش

فصل اول : مقدمه و معرفی

1-1.مقدمه

بررسی آیرودینامیک مجاری ورودی جریان فراصوت در طی جنگ جهانی دوم و همزمان با ساخت موتورهای جت شکل گرفت. پی بردن به مزیت پروازهای مافوق صوت در اواخر سال 1940 منجر به توسعه تحقیقات در زمینه طراحی مجاری ورودی گردید.مجرای ورودی جریان هوا، بخشی ازموتورهواپیما و یا موتورموشک است که به وسیله آن هوای موجود در اتمسفر آزاد به موتور وارد می شود. از دیدگاه آیرودینامیک بدنبال بررسی فرآیند طی شده توسط دو جریان هوا هستیم که از حالت یکنواخت در بی نهایت بالادست، به سمت موشک می آید. یکی از این جریانها،جریان داخلی است و آن جریانی است که به مجرا داخل شده و لازم است که با کمترین کاهش فشار کل وبیشترین یکنواختی جریان، که دو فاکتور ضروری در چگونگی رفتار و پایداری عملکرد موتور هستند، به موتور برسد.

جریان دیگر یعنی جریان خارجی، بخشی از جریان کلی است که در اطراف وسیله پرنده جاری بوده و توسط مجرا مورد تاثیر قرار می گیرد. جریان خارجی تاثیر مهمی را بر آیرودینامیک موشک دارد.

سیستمهای رانش[1] قابل استفاده در وسایل پرنده ای که نیروی رانشی آنها توسط موتورهای مکنده هوا تامین می شود دو نوعند:

1. موتورهای توربوجت که برای موشک های مادون صوت و مافوق صوت مناسب هستند .
2. موتورهای رم جت که فقط برای موشک های مافوق صوت قابلیت کاربرد دارند .

[1] Propulsion