۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی هوافضا

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا–آیرودینامیک

شبیه سازی آیرودینامیکی جریان در محفظه احتراق حلقوی و نازل یک موتور مینی جت

سالار هیئت داودیان

اساتید راهنما:

دکتر رضا ابراهیمی

دکتر مسعود میرزایی

زمستان ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم

تقدیم به مادرم که عاشقانه و صبورانه، قدم به قدم راه را به من آموخت.

تقدیم به پدرم که نه فقط به عنوان یک پدر، بلکه به عنوان یک دوست همواره و در همه مراحل زندگی یاری رسان من بود.

تقدیم به دوست و برادر عزیزم

و

تقدیم به همه استادان و پژوهشگران عرصه علم و فن آوری

تأییدیّه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: سالار هیئت داودیان

را با عنوان: شبیه سازی آیرودینامیکی جریان در محفظه احتراق حلقوی و نازل یک موتور مینی جت

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی هوافضا گرایش آیرودینامیک تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما			
۲- استاد مشاور			
۳- استاد مشاور			
۴- استاد ممتحن			
۵- استاد ممتحن			
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی			

موضوع پایان نامه : *شبیه سازی آیرودینامیکی جریان در محفظه احتراق حلقوی و نازل یک موتور مینی جت*
استاد راهنما : آقای دکتر رضا ابراهیمی و آقای دکتر مسعود میرزایی
دانشجو : سالار هیئت داودیان
شماره ی دانشجویی : ۸۸۰۴۰۴۴

اینجانب سالار هیئت داودیان دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا گرایش آیرودینامیک دانشکده مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می باشد و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است.
به علاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ مدرکی یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مطلوب دانشگاه به طور کامل رعایت شده است.

سالار هیئت داودیان

حق چاپ، تکثیر و مالکیت برنتایج

۱. حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد . هر گونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی هوا فضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی مجاز می باشد. ضمناً متن این صفحه باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲. کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان‌نامه منوط به موافقت نویسنده و ارجاع به پایان نامه در متن مورد استفاده می‌باشد.

تشکر و قدردانی

ابتدا وظیفه خود می‌بینم که از زحمات استاید راهنمای محترم، جناب آقای دکتر ابراهیمی و جناب آقای دکتر میرزایی که با راهنمایی‌های ارزنده خود، مرا در پیشبرد این رساله هدایت کردند، کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورم.

در ادامه از استاید ممتحن، جناب دکتر مظاهری و جناب دکتر فتحعلی که با اشاره به نکات ارزنده، ادامه راه را به من نشان دادند تشکر می‌نمایم.

در نهایت از خانم مهندس یعقوبی که در تکمیل این پایان نامه یاری رسان بنده بودند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

جریان درون محفظه احتراق موتورهای توربینی از جریان‌های بسیار پیچیده می باشد. یکی از مسائل مهم در طراحی محفظه‌های احتراقی، نحوه توزیع جریان هوای کمپرسور در نواحی مختلف محفظه از جمله ناحیه اولیه، ناحیه ثانویه و ناحیه رقیق سازی در لوله شعله می باشد. علاوه بر این الگوی چرخش در لوله شعله از اهمیت برخوردار است. از این اطلاعات در طراحی محفظه احتراق استفاده می شود. در این پایان نامه حل جریان سرد در یک محفظه احتراق حلقوی موتور مینی جت به منظور تعیین الگوی جریان و تعیین ضرایب افت سوراخ‌های موجود در لوله احتراقی انجام پذیرفته است. با مقایسه نتایج حاصل از حل عددی با نتایج تحلیل سیستمی موتور مشاهده می‌شود که اختلاف جواب‌ها در این دو روش ناچیز است. همچنین مطالعه میدان جریان و استخراج نقشه‌های عملکردی یک نازل همگرای موتور مینی جت با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی انجام شده‌است. ابتدا، میدان جریان داخلی برای یک نازل همگرا با هندسه خاص و بدون در نظر گرفتن میدان جریان خارجی در پشت نازل، تحلیل شده و نتایج به دست آمده در این قسمت با نتایج حاصل از روابط تحلیلی دینامیک گازها، مقایسه شده‌است. سپس اثر میدان جریان خارجی بر عملکرد نازل مورد تحلیل قرار گرفته‌است. نتایج نشان می‌دهد که حل عددی جریان درون نازل با نتایج تحلیلی گاز دینامیک حدود ۷ درصد اختلاف داشته و لحاظ کردن جریان خارجی نیز حدود ۲۰ درصد اختلاف در نیروی پیشران، نسبت به حالتی که میدان پشت نازل در نظر گرفته نمی‌شود، ایجاد می‌کند. در نهایت پس از رسم نقشه‌های عملکردی، توزیع سرعت، فشار و عدد ماخ برای مشاهده ماهیت جریان درون نازل نشان داده شده است.

کلید واژه: شبیه سازی محفظه احتراق حلقوی، شبیه سازی نازل مینی جت، افت فشار، توزیع جریان، نقشه‌های عملکردی نازل

فهرست مطالب

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- مروری بر کارهای انجام شده ۱

فصل ۲- معرفی محفظه احتراق موتورهای توربین گازی ۱۱

۲-۱- اجزای داخلی محفظه احتراق ۱۱

۲-۱-۱- پخش کننده ۱۱

۲-۱-۲- محفظه هوا ۱۳

۲-۱-۳- لاینر ۱۳

۲-۱-۴- چرخاننده ۱۳

۲-۱-۵- دهانه ۱۴

۲-۱-۶- انژکتور سوخت ۱۴

۲-۱-۷- آتش زنه ۱۵

۲-۲- نواحی مختلف محفظه احتراق ۱۵

۲-۲-۱- ناحیه اولیه ۱۵

۲-۲-۲- ناحیه میانی ۱۷

۲-۲-۳- ناحیه رقیق سازی ۱۷

۲-۳- انواع محفظههای احتراق ۱۷

۲-۳-۱- محفظه احتراق لوله ای ۱۸

۲-۳-۲- محفظه احتراق حلقوی ۱۹

۲-۳-۳- محفظه احتراق لوله ای – حلقوی ۲۰

۲-۴- نسل های مختلف محفظه احتراق ۲۰

۲-۴-۱- محفظه های بریتانیایی ۲۰

۲-۴-۲- محفظه های آلمانی ۲۲

۲-۴-۳- محفظه های آمریکایی ۲۳

۲-۵- الزامات محفظه احتراق ۲۴

فصل ۳- آیرودینامیک محفظه احتراق ۲۵

۳-۱- مقدمه ۲۵

۳-۲- پخش کننده ۲۵

۳-۲-۱- هندسه پخش کننده ۲۶

۳-۲-۲- رژیم های جریان ۲۶

۳-۲-۳- معیارهای عملکرد پخش کننده ۲۷

۳-۳- افت فشار در محفظه احتراق و ارتباط آن با اندازه محفظه ۲۹

۳-۴- جریان در حلقه ۳۱

۳-۵- جریان درون سوراخ لاینر ۳۳
۳-۵-۱- ضریب تخلیه ۳۳
۳-۵-۲- زاویه جت اولیه ۳۵
۳-۶- آیرودینامیک چرخاننده ۳۶
۳-۶-۱- چرخاننده محوری ۳۶
۳-۶-۲- چرخاننده شعاعی ۳۹
فصل ۴- هندسه و شبکه بندی محفظه احتراق ۴۱
فصل ۵- تحلیل عددی میدان جریان محفظه احتراق ۴۸
۵-۱- مقدمه ۴۸
۵-۲- معادلات حاکم بر جریان محفظه احتراق ۵۳
۵-۲-۱- معادله بقای جرم ۵۳
۵-۲-۲- معادله بقای مومنتوم ۵۳
۵-۲-۳- مدل آشفتگی ۵۳
۵-۳- تابع دیوار ۵۵
۵-۳-۱- توابع دیوار استاندارد ۵۶
۵-۴- شرایط مرزی محفظه احتراق ۵۷
۵-۴-۱- شرط ورودی سرعت ۵۷
۵-۴-۲- شرط خروجی فشار ۵۸
۵-۴-۳- شرط پریودیک ۵۸
۵-۵- حل جریان با حلگر مناسب ۵۹
۵-۵-۱- روش رو به باد مرتبه اول ۶۰
۵-۵-۲- روش روبه باد مرتبه دوم ۶۰
۳-۱۲-۴- روش چند شبکه ای ۶۱
۵-۶- پردازش موازی ۶۲
فصل ۶- نتایج عددی برای محفظه احتراق ۶۴
۶-۱- استقلال از شبکه ۶۴
۶-۲- نتایج عددی پخش کننده ۶۵
۶-۳- نتایج عددی چرخاننده ۶۶
۶-۴- نتایج عددی لاینر ۶۸
۶-۵- بردار و توزیع سرعت و فشار در صفحه xy ۶۹
فصل ۷- مقدمه ۷۱
فصل ۸- تولید هندسه و شبکه بندی نازل ۷۳

فصل ۹- تحلیل عددی میدان جریان نازل ۷۸

۹-۱- معادله انرژی ۷۸

۹-۲- مدل آشفتگی ۷۸

۹-۳- تعیین مشخصات فیزیکی سیال ۸۰

۹-۴- شرایط کارکرد ۸۱

۹-۵- انتخاب شرایط مرزی نازل ۸۲

۹-۵-۱- تعیین فشار استاتیک ۸۲

۹-۵-۲- تعیین جهت جریان ۸۲

۹-۵-۳- تعیین شدت اغتشاش ۸۲

۹-۶- استقلال از شبکه برای مسئله نازل ۸۳

فصل ۱۰- نتایج عددی برای نازل ۸۴

۱۰-۱- نقشه های عملکردی نازل ۸۴

۱۰-۲- توزیع سرعت، فشار و عدد ماخ در نازل ۸۷

فصل ۱۱- جمع بندی ۹۰

فصل ۱۲- پیشنهادات برای کارهای آینده ۹۲

فهرست مراجع ۹۳

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: تجهیزات آزمایشگاهی پخش کننده [۸] ۳

شکل ۱-۲: بردار سرعت در عدد رینولدز ۱×۱۰^{۵} [۸] ۳

شکل ۱-۳: هندسه چرخاننده محوری و قطعه آزمایشگاهی [۱۳] ۴

شکل ۱-۴: توزیع سرعت بی بعد و بردار سرعت در چرخاننده های مختلف [۱۳] ۴

شکل ۱-۵: مشخصات هندسه چرخاننده [۱۴] ۵

شکل ۱-۶: تست تونل آب[۱۴] ۵

شکل ۱-۷: بردار سرعت برای پره های صاف در زاویه ۶۰ درجه [۱۴] ۶

شکل ۱-۸: پروفیل سرعت محوری در ناحیه برآمدگی در حالت غیر واکنشی [۱۹] ۷

شکل ۱-۹ : پروفیل سرعت محوری در ناحیه اولیه و رقیق سازی در حالت غیر واکنشی [۱۹] ۷

شکل ۲-۱: اجزای محفظه احتراق یک موتور توربین گازی [۲۳] ۱۱

شکل ۲-۲: انواع پخش کننده های حلقوی، (الف) آیرودینامیکی، (ب) دامپ [۲۴] ۱۳

شکل ۲-۳: چند نمونه از چرخاننده های مورد استفاده در محفظه احتراق [۲۶] ۱۴

شکل ۲-۴: نواحی مختلف محفظه احتراق [۲۴] ۱۵

شکل ۲-۵: محفظه احتراق ویتل [۲۴] ۱۶

شکل ۲-۶: محفظه لوله ای J33 جنرال الکتریک [۲۴] ۱۶

شکل ۲-۷: الگوی جریان اولیه [۲۴] ۱۶

شکل ۲-۸: انواع محفظه احتراق، (الف) حلقوی، (ب) لولهای-حلقوی، (ج) چند لوله ای [۲۴] ۱۸

شکل ۲-۹: محفظه احتراق تک لوله ای [۲۸] ۱۸

شکل ۲-۱۰: محفظه احتراق چند لوله ای [۲۸] ۱۹

شکل ۲-۱۱: محفظه احتراق حلقوی [۲۸] ۱۹

شکل ۲-۱۲: محفظه احتراق لوله ای- حلقوی [۲۸] ۲۰

شکل ۲-۱۳: محفظه تبخیری ویتل [۲۸] ۲۱

شکل ۲-۱۴: محفظه حلقوی متروویک [۲۸] ۲۱

شکل ۲-۱۵: محفظه احتراق لوله ای جومو ۰۰۴ [۲۸] ۲۲

شکل ۲-۱۶: محفظه حلقوی BMW 003 [۲۸] ۲۳

شکل ۲-۱۷: محفظه لوله ای- حلقوی پرت اند ویتنی J57 [۲۸] ۲۳

شکل ۳-۱: هندسه پخش کننده، (الف) مخروطی، (ب) دوبعدی ۲۶
شکل ۳-۲: تبدیل انرژی در پخش کننده [۲۴] ۲۷
شکل ۳-۳: کنترل جریان در سوراخ های رقیق سازی [۲۴] ۳۳
شکل ۳-۴: تاثیر شکل سوراخ بر ضریب تخلیه [۱۵] ۳۴
شکل ۳-۵: تاثیر نوع سوراخ بر ضریب تخلیه [۱۶] ۳۵
شکل ۳-۶: جریان از سوراخ لاینر [۲۴] ۳۵
شکل ۳-۷: جریان بازگردشی ایجاد شده توسط چرخاننده [۲۴] ۳۶
شکل ۳-۸: دو نوع اصلی چرخاننده، (الف) چرخاننده محوری، (ب) چرخاننده شعاعی [۲۴] ۳۶
شکل ۳-۹: علائم چرخاننده محوری [۲۴] ۳۷
شکل۳-۱۰: ناحیه بازگردش در میدان جریان چرخشی [۲۴] ۳۸
شکل ۳-۱۱: پروفیل سرعت محوری و چرخشی برای یک جریان چرخشی قوی [۲۴] ۳۹
شکل ۳-۱۲: پیکربندی چرخاننده شعاعی [۲۴] ۳۹
شکل ۴-۱: هندسه تولید شده توسط نرم افزار سالید ورکس ۴۱
شکل ۴-۲: مراحل انجام کار در نرم افزار گمبیت ۴۲
شکل ۴-۳: پخش کننده محفظه احتراق مورد مطالعه ۴۲
شکل ۴-۴: چرخاننده محفظه احتراق مورد مطالعه، (الف) نمای کلی، (ب) دید از روبرو ۴۳
شکل ۴-۵: لاینر محفظه احتراق مورد مطالعه، (الف) نمای کلی، (ب) دید از بالا ۴۳
شکل ۴-۶: نقاط شبکه محفظه احتراق مورد مطالعه ۴۴
شکل ۴-۷: روشهای مختلف تولید شبکه در روی سطوح با استفاده از نرم افزار گمبیت [۳۰] ۴۴
شکل ۴-۸: شبکه سطحی محفظه احتراق مورد مطالعه ۴۵
شکل ۴-۹: شبکه بندی سطحی لاینر ۴۵
شکل ۴-۱۰: شبکه بندی سطحی چرخاننده ۴۵
شکل ۴-۱۱: شبکه بندی حجمی محفظه احتراق مورد مطالعه ۴۶
شکل ۴-۱۲: شرایط مرزی مسئله ۴۷
شکل ۵-۱: روش حل فشار مبنا ۵۰
شکل ۵-۲: روش حل چگالی مبنا ۵۱
شکل ۵-۳: رفتار نزدیک دیوار در نرم افزار فلوئنت [۳۱] ۵۵
شکل ۵-۴: استفاده از شرط مرزی پریودیک [۳۱] ۵۸

شکل ۵-۵: مرز پریودیک انتقالی، (الف) دامنه فیزیکی، (ب) دامنه مدل شده [۳۱] ۵۹
شکل ۵-۷: حجم معیار استفاده شده برای گسسته سازی معادله انتقال [۳۱] ۶۰
شکل ۵-۸: تقسیم شبکه محاسباتی [۳۱] ۶۲
شکل ۵-۹: پردازش موازی در فلوئنت [۳۱] ۶۳
شکل ۵-۱۰: دامنه محاسباتی تقسیم شده در صفحه yz ۶۳
شکل ۶-۱: فشار استاتیکی بی بعد در امتداد خط محور ۶۴
شکل ۶-۲: سرعت محوری بی بعد در امتداد خط محور ۶۵
شکل ۶-۳: حد باقیمانده ها به ازای ۲۰۵۷۳۴۵ سلول محاسباتی ۶۵
شکل ۶-۴: سرعت محوری بی بعد در امتداد خط محوری عبور کننده از مرکز چرخاننده ۶۶
شکل ۶-۵: موقعیت صفحه yz ۶۷
شکل ۶-۶: بردار سرعت محوری بی بعد در صفحه yz ۶۷
شکل ۶-۷: خط مسیر در ناحیه بازگردش ۶۸
شکل ۶-۸: بردار اندازه سرعت بی بعد در صفحه xy ۶۹
شکل ۶-۹: توزیع فشار استاتیک بی بعد در صفحه xy ۷۰
شکل ۶-۱۰: توزیع فشارسکون بی بعد در صفحه yz ۷۰
شکل ۷-۱: طرح کلی یک نازل [۳۲] ۷۱
شکل ۷-۲: نقشه عملکرد برای یک نازل همگرا [۳۲] ۷۲
شکل۷-۳: نقشه عملکرد برای یک نازل همگرا-واگرا [۳۲] ۷۲
شکل ۸-۱: هندسه ساخته شده توسط نرم افزار سالیدورکس ۷۳
شکل ۸-۲: نمونه ای از خطوط زاید ۷۳
شکل ۸-۳: هندسه ساده شده توسط نرم افزار گمبیت ۷۴
شکل ۸-۴: پریودیک کردن هندسه ۷۴
شکل ۸-۵: نقاط شبکه ای روی مرز ۷۵
شکل۸-۶: ایجاد شبکه محاسباتی سطحی به روش Tri:Pave ۷۵
شکل ۸-۷: شبکه بندی حجمی ۷۶
شکل ۸-۸: معرفی شرایط مرزی اعمال شده در نرم افزار گمبیت ۷۷
شکل ۹-۱: استقلال از شبکه برای نازل ۸۳
شکل ۱۰-۱: هندسه قطاعی از نازل با در نظر گرفتن میدان خارجی ۸۴

شکل ۱۰-۲: عدد ماخ نسبی خروجی نازل بر حسب نسبت فشار ۸۵

شکل ۱۰-۳: بازده نازل بر حسب نسبت فشار ۸۵

شکل ۱۰-۴: نیروی پیشران بر حسب نسبت فشار ۸۶

شکل ۱۰-۵: دبی جرمی اصلاحی نسبی بر حسب نسبت فشار ۸۶

شکل ۱۰-۶: توزیع فشار استاتیک در صفحه پریودیک ۸۷

شکل ۱۰-۷: توزیع سرعت در صفحه پریودیک ۸۸

شکل ۱۰-۸: توزیع فشار سکون در صفحه پریودیک ۸۸

شکل ۱۰-۹: توزیع نسبت عدد ماخ در صفحه پریودیک ۸۹

فهرست جداول

جدول ۳-۱: افت فشار در محفظه های احتراق ۳۰
جدول ۳-۲: بازه طراحی چرخاننده ۳۷
جدول ۶-۱: ضرایب افت پخش کننده در دورهای مختلف ۶۶
جدول ۶-۲: درصد هوای عبوری و ضریب تخلیه سوراخ ها ۶۸
جدول ۹-۱: مشخصات فیزیکی سیال ۸۱
جدول ۹-۲: فشارهای کارکرد پیشنهادی نرم افزار فلوئنت ۸۱

فهرست علایم و نشانه‌های لاتین

عنوان	علامت اختصاری
بردار سطح مقطع	$\vec{A}$
گرمای ویژه در فشار ثابت	C_p
انرژی کل	E
نیروهای بدنه‌ای	$\vec{F}$
تولید انرژی آشفتگی به علت نیروهای انبساطی	G_b
تولید انرژی آشفتگی به علت نیروهای گرادیان سرعت	G_k
تانسور واحد	I
شار پخش	J_j
عدد ماخ	M
جرم مولکولی	M_w
تعداد معادلات	N
تعداد صفحات	N_{face}
ثابت گازها	R
عدد رینولدز	Re
عبارت چشمه حرارتی	S_h
عبارت چشمه جرمی	S_m
دما	T
کسر جرمی	Y_j
شتاب جاذبه	g
آنتالپی	h
انرژی جنبشی آشفته	k
رسانایی موثر	k_{eff}
رسانایی آشفته	k_t
فشار استاتیک	p

فهرست علایم و نشانه‌های لاتین

عنوان	علامت اختصاری
فشار سکون	P
فشار کارکرد	p_{op}
زمان	t
سرعت در جهت x	u
سرعت در جهت y	v
سرعت در جهت z	w
محور طولی	x
محور عرضی	y

فهرست علایم و نشانه‌های یونانی

عنوان	علامت اختصاری
ضریب پخش	Γ
نسبت گرماهای ویژه	γ
نرخ اتلافات	ε
بازده	η
لزجت مطلق	μ
لزجت گردابی	μ_t
چگالی	ρ
عدد پرانتل	σ
تانسور تنش	$\bar{\bar{\tau}}$
متغیر اسکالر	φ

فصل ۱– مقدمه

تحلیل محفظه احتراق موتورهای توربین گازی یکی از پیچیده‌ترین مسایل در حوزه مکانیک سیالات می‌باشد. علت اصلی این امر آن است که پدیده‌های متعددی از جمله احتراق، آشفتگی، انتقال حرارت، جریان‌های چند فازی، آلاینده‌ها و تحلیل مواد و سازه محفظه در آن دخیل بوده در شبیه‌سازی واقعی محفظه احتراق باید همه این موارد را لحاظ کرد. با توجه به هزینه‌بر بودن آزمایشات تجربی، بررسی عددی جریان درون محفظه احتراق از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از اولین نیازمندی‌های شبیه‌سازی عددی محفظه احتراق، به دست آوردن نحوه توزیع جریان در نواحی مختلف محفظه احتراق می‌باشد. قسمتی از جریان خروجی از کمپرسور پس از عبور از پخش کننده و چرخاننده وارد لاینر محفظه احتراق شده و در آن‌جا پس از اختلاط با سوخت محترق می‌شود. بخش دیگری از هوای کمپرسور نیز پس از عبور از پخش کننده وارد حلقه شده و از طریق سوراخ‌های لاینر به درون لوله شعله هدایت می‌شود. قبل از این که جریان محترق درون محفظه شبیه سازی شود، بررسی چگونگی تقسیم جریان در محفظه، افت فشار در پخش کننده و سوراخ‌های لاینر و نیز توزیع چرخش در لوله شعله، دارای اهمیت است که در پایان نامه به این مقوله پرداخته می‌شود.

علاوه بر شبیه سازی محفظه احتراق، تحلیل جریان در نازل خروجی یک موتور مینی جت نیز مد نظر است. نقش نازل در موتور مینی جت، تغییر در فشار و دمای گاز برای تولید نیروی پیشران می‌باشد. برای سالیان دراز، طراحی و بهینه‌سازی نازل بر مبنای تحلیل‌های تجربی استوار بود. آزمایش‌های تجربی به واقعیت نزدیک می‌باشند اما با توجه به فیزیک جریان، با افزایش درجه حرارت و سرعت خروج، چرخه آزمایش طولانی‌تر شده و باعث می‌شود که تحلیل‌های تجربی هزینه‌بر و وقت‌گیر باشند. با رشد و توسعه روش‌های عددی حل میدان جریان، این مشکلات تا حد زیادی حل شده و این روش‌ها به ابزار موثری برای طراحی و بهینه‌سازی نازل‌ها تبدیل شده‌اند. یکی از قسمت‌های مهم طراحی نازل‌ها، به دست آوردن نقشه‌های عملکردی نازل می‌باشد. اطلاعاتی که از نقشه عملکردی نازل‌ها به دست می‌آید، در حالات طراحی و خارج از طراحی کاربردهای فراوانی دارد. این نقشه‌ها یک دید سریع و کلی برای شرایطی که نازل در آن کار می‌کند، فراهم می‌آورد. در نقشه عملکردی نازل، دبی جرمی اصلاحی، بازده نازل و عدد ماخ خروجی از اهمیت خاصی در طراحی برخوردار است که در بخش دوم پایان نامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱–۱– مروری بر کارهای انجام شده

در این بخش، کارهای انجام شده در زمینه آیرودینامیک محفظه احتراق و نازل موتور مینی جت مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا به بررسی مطالعاتی که در زمینه آیرودینامیک پخش‌کننده، لاینر و چرخاننده صورت گرفته است، پرداخته شده و در ادامه مروری بر کارهای انجام شده در زمینه شبیه سازی نازل موتور مینی جت صورت می‌پذیرد.