



دانشکده مهندسی مکانیک

مدلسازی جریان‌های ثانویه و لقی پره در توربوماشین‌های

گریز از مرکز

نگارش

حمید عظیمی کیوی

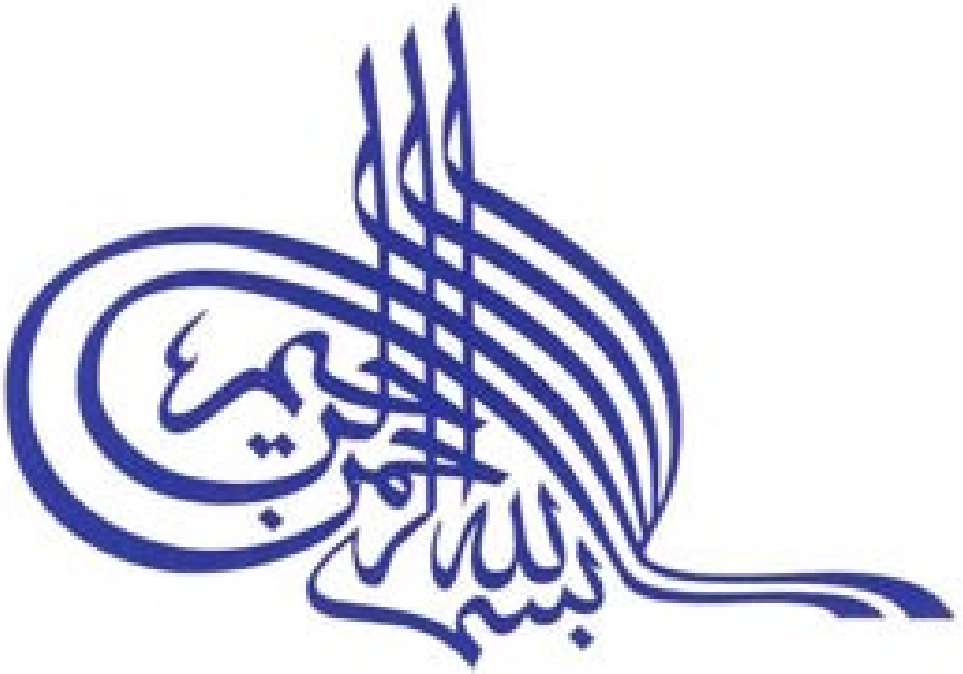
استاد راهنما: دکتر محمدرضا علی گودرز

استاد مشاور: دکتر شعبان علیاری

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

شهریور ۱۳۹۰





بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب حمید عظیمی کیوی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و ماخذ ذکر گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر تحصیلی ارائه نشده است در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می‌باشد.

نام و نام خانوادگی

امضا

تهران - لویزان - کدپستی ۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ تلفن ۰۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰ (داخلی ۲۳۴۷)

نمبر ۲۲۹۷۰۰۱۱ پست الکترونیکی sru@sru.ac.ir



دانشکده مهندسی مکانیک

مدلسازی جریان‌های ثانویه و لقی پره در توربوماشین‌های

گریز از مرکز

نگارش

حمید عظیمی کیوی

استاد راهنما: دکتر محمدرضا علی گودرز

استاد مشاور: دکتر شعبان علیاری

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

شهریور ۱۳۹۰

ياشايش اولدوزلاريم :

مهريبانليغي داشييان آتا، آنا

دوزوملو اولان قاديما

دوز يولدا اولان قارداش و باجيلاريم

سونورام.

قدردانی و تشکر

برخود لازم می‌دانم از زحمات پدر و مادرم که در مسیر تربیت و رشد من سعی و تلاش را به نهایت رساندند و نیز از تحمل و شکیبایی همسرم که زمان‌های با او بودن را صرف انجام این پروژه و نگارش پایان‌نامه نمودم، تشکر نمایم. همچنین از زحمات استاد گرامی و ارجمندم جناب آقای دکتر محمدرضا علی‌گودرز در معرفی پروژه و راهنمایی‌های بی‌شائبه‌اش در انجام پروژه تقدیر و تشکر می‌نمایم. از گروه توربوماشین شرکت مهندسی توربو تک خاورمیانه بخاطر در اختیار گذاشتن منابع لازم و راهنمایی‌های اعضا بخصوص آقای دکتر علیرضا فتحی مدیر گروه و آقای مهندس هادی کرابی کارشناس ارشد گروه توربوماشین کمال تشکر را دارم. در پایان از زحمات تمامی دوستانی که در تهیه این پروژه مرا یاری نمودند، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

چکیده

تحلیل و طراحی کمپرسورهای گریز از مرکز به عنوان یکی از مهمترین اجزاء ایستگاه‌های تقویت فشار گاز، نیازمند ابزارهایی با دقت و سرعت بالا است. گرچه توسعه روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی^۱ در بهبود طراحی و تحلیل، کمک شایانی نموده است، اما استفاده از روش‌های یک بعدی نه تنها جایگاه خود را از دست نداده، بلکه به کمک نتایج تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی بیش از نیمی از فرآیند طراحی توربوماشینی کمپرسورها و توربین‌های شعاعی و محوری قابل انجام می‌باشد.

روشی که برای مدلسازی جریان گذرنده از کمپرسور گریز از مرکز در این پروژه انتخاب شده است، روش یک بعدی است که با استفاده از روابط تجربی حاکم بر جریان هر جزء از کمپرسور گریز از مرکز، میدان جریان تک‌تک اجزای کمپرسور به صورت پله‌ای تعیین می‌شود.

اعتبار سنجی مدل، از مقایسه نتایج حاصل از تحلیل یک بعدی با نتایج آزمایشگاهی موجود جریان داخل کمپرسور گریز از مرکز دو طبقه صورت می‌گیرد. مقایسه ذکر شده به صورت منحنی‌های فشار کل، زاویه جریان، عدد ماخ در ایستگاه‌های مختلف و همچنین نمودارهای عملکردی کمپرسور شامل نسبت فشار کل - دبی، بازده ایزونتروپیک - دبی ارائه می‌گردد. انطباق بسیار خوب حاصل از مقایسه نتایج حاصل از مدل با نتایج آزمایشگاهی موجود، حاکی از توانایی مدل و اعتبار آن در برآورد خواسته‌ها و نیازهای مطلوب است.

در ادامه کار با تغییر بعضی از پارامترهای مهم در طراحی و تاثیر آنها بر روی عملکرد کمپرسور، روش‌های بهبود عملکرد و طراحی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: کمپرسور گریز از مرکز - مدلسازی یک بعدی - سطح پره به پره^۲ - سطح نصف‌النهاری^۳ - منحنی مشخصه عملکرد^۴

1 - Computational Fluid Dynamics(CFD)
2 - Blade to Blade Surface
3 - Meridional Surface
4 - Performance Map

فهرست

- فصل اول : مقدمه ۱
- ۱-۱- معرفی کمپرسور و کاربرد آن ۲
- ۲-۱- جایگاه پژوهش حاضر در ایران و جهان ۳
- ۳-۱- پیچیدگی‌های جریان کمپرسور گریز از مرکز ۴
- ۴-۱- روش حل مسئله ۷
- ۵-۱- روش یک بعدی ۷
- ۶-۱- روش تحقیق و ساختار پروژه ۸
- فصل دوم : پیشینه انواع مدل‌های پیش‌بینی رفتار کمپرسورهای گریز از مرکز ۱۰
- ۱-۲- روش شبه سه بعدی ۱۱
- ۲-۲- روش جریان پتانسیل ۱۲
- ۳-۲- روش مارچینگ وابسته به زمان جریان در صفحه پره به پره ۱۲
- ۴-۲- روش لایه مرزی ۱۳
- ۵-۲- روش یک بعدی ۱۴
- فصل سوم : مدل‌سازی یک بعدی جریان با استفاده از روش خط جریان نصف‌النهاری ۱۵
- ۱-۳- تعاریف ۱۷
- ۱-۱-۳- خط جریان، صفحه جریان، ورقه جریان و لوله جریان ۱۷
- ۲-۱-۳- دستگاه مختصات ساکن و چرخان ۱۸
- ۳-۱-۳- مثلث سرعت ۱۸
- ۴-۱-۳- معادله پیوستگی ۲۰
- ۵-۱-۳- معادله مومنتوم یا قانون دوم نیوتن ۲۰
- ۶-۱-۳- معادله انرژی ۲۰

۲۳	..... قانون دوم ترمودینامیک
۲۳	..... روش مدلسازی
۲۵	..... الگوریتم
۲۹	..... فرضیات
۲۹	..... تحلیل جریان تراکم پذیر و آدیباتیک
۳۱	..... فصل چهارم : روابط تجربی برای برآورد افت‌ها
۳۲	..... کار ورودی ایمپلر
۳۴	..... ضریب لغزش
۳۶	..... ضریب اعوجاج ایمپلر
۳۷	..... جریان‌های فاصله لقی
۳۹	..... کار اصطکاک دیسک و اغتشاش
۴۲	..... کار ناشی
۴۴	..... کار گردش دوباره
۴۵	..... تحلیل عملکرد آیرودینامیکی یک بعدی
۴۸	..... عملکرد پره‌های هدایت کننده ورودی
۵۱	..... عملکرد ایمپلر
۶۱	..... عملکرد کانال حلقوی بدون پره
۶۳	..... عملکرد دیفیوزر پره‌دار
۶۷	..... عملکرد کانال برگشتی
۷۰	..... عملکرد حلزونی و جمع کننده
۷۳	..... فصل پنجم : اعتبارسنجی کاربرد مدل
۷۴	..... معرفی کمپرسور گریز از مرکز دو طبقه

- ۷۵ ۲-۵ منابع ایجاد خطا
- ۷۵ ۳-۵ راستی‌سنجی نتایج مدل
- ۷۶ ۱-۳-۵ مقایسه نتایج تجربی و مدلسازی منحنی‌های مشخصه عملکردی کمپرسور
- ۷۷ ۲-۳-۵ فشار کل در ایستگاه‌های مختلف
- ۸۰ ۳-۳-۵ نسبت فشار کل به فشار کل ورودی کمپرسور
- ۸۰ ۴-۳-۵ نسبت فشار استاتیکی به فشار استاتیکی ورودی
- ۸۱ ۵-۳-۵ نسبت فشار استاتیکی به فشار کل ورودی هر ایستگاه
- ۸۲ ۶-۳-۵ عدد ماخ
- ۸۵ ۷-۳-۵ زاویه جریان
- ۸۷ ۸-۳-۵ توان لازم و مصرفی کمپرسور
- ۸۸ ۲-۵ کاربرد مدل
- ۸۸ ۱-۲-۵ مقایسه افت‌های اجزای مختلف کمپرسور گریز از مرکز
- ۸۹ ۲-۲-۵ مقایسه افت‌های مختلف ایمپلر در یک طبقه کمپرسور گریز از مرکز
- ۹۰ ۳-۲-۵ ضریب افت چوک
- ۹۱ ۴-۲-۵ بررسی منحنی عملکرد یک کمپرسور گریز از مرکز
- ۹۳ ۵-۲-۵ بررسی استال، سرج و چوک
- ۹۳ ۶-۲-۵ بررسی تاثیر زاویه خروجی جریان دیفیوزر بر افت آن
- ۹۴ ۷-۲-۵ بررسی تاثیر زاویه حمله کانال برگشتی پره‌دار بر افت آن
- ۹۵ ۸-۲-۵ بررسی تغییر زاویه حمله ورودی پره‌های هدایت‌کننده جریان بر نسبت فشار کل و بازده ایزنتروپیک
- ۹۶ ۹-۲-۵ بررسی تغییر زاویه حمله ورودی کانال برگشتی بر نسبت فشار کل و بازده ایزنتروپیک
- ۹۸ ۱۰-۲-۵ بررسی تاثیر غیر یکنواختی دمای کل ورودی بر نسبت فشار کل و بازده ایزنتروپیک

۹۹	..... بررسی تاثیر غير يکنواختی فشار کل ورودی بر نسبت فشار کل و بازده ایزنتروپیک
۱۰۱	..... فصل ششم : جمع بندی پژوهش
۱۰۲	..... ۱-۶ - خلاصه یافته‌ها
۱۰۳	..... ۲-۶ - ارزیابی
۱۰۴	..... ۳-۶ - پیشنهادها
۱۰۵	..... منابع
۱۰۸	..... مقالات ارائه شده

فهرست جداول

جدول ۱-۵ - مشخصات هندسی و ترمودینامیکی کمپرسور گریز از مرکز

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- شماتیک برش خورده یک کمپرسور گریز از مرکز دو طبقه ۲
- شکل ۲-۱- پیچیدگی میدان جریان در کمپرسور گریز از مرکز ۵
- شکل ۳-۱- نمای نصف‌النه‌ای ایمپلر ۷
- شکل ۱-۳- مختصات‌ها در صفحه جریان ۱۸
- شکل ۲-۳- مثلث سرعت در ایمپلر ۱۹
- شکل ۳-۳- ورود و یک خروج جرم از یک حجم کنترل ۲۱
- شکل ۴-۳- طبقه بندی حل مدل یک بعدی ۲۵
- شکل ۵-۳- فلوجارت تحلیل یک طبقه کمپرسور گریز از مرکز ۲۷
- شکل ۶-۳- فلوجارت تحلیل ایمپلر ۲۸
- شکل ۱-۴- مشخصه‌های کار ورودی ایمپلر ۳۴
- شکل ۲-۴- پره‌های مقسم در نمای پره به پره ۳۶
- شکل ۳-۴- مدل تعیین ضریب گشتاور دلی و نک ۴۱
- شکل ۴-۴- هندسه درز نشتی ۴۳
- شکل ۵-۴- مقادیر اصطکاک پوسته‌ای تصحیح شده بر اساس رینولدز ۴۷
- شکل ۶-۴- کانال هدایت کننده ورودی ۴۸
- شکل ۷-۴- هندسه پره هدایت کننده ورودی ۴۹
- شکل ۸-۴- هندسه کانال ایمپلر در نمای نصف‌النه‌ای ۵۲
- شکل ۹-۴- هندسه پره ایمپلر در نمای پره به پره ۵۲
- شکل ۱۰-۴- فلوجارت تحلیل عملکرد ایمپلر ۵۴
- شکل ۱۱-۴- چگونگی ایجاد استال در ردیف پرها ۵۷
- شکل ۱۲-۴- تبدیل استال جزئی به استال کامل و استال کامل به سرج ۵۷
- شکل ۱۳-۴- تغییرات سرعت و فشار در ایمپلر و دیفیوزر ۶۲
- شکل ۱۴-۴- هندسه دیفیوزر پره‌دار ۶۴
- شکل ۱۵-۴- هندسه کانال برگشتی در نمای نصف‌النه‌ای ۶۸
- شکل ۱۶-۴- هندسه حلزونی ۷۰
- شکل ۱۷-۴- الگوی سرعت نصف‌النه‌ای جریان ۷۱

- شکل ۵-۱- نمای نصف‌النهاری کمپرسور گریز از مرکز دو طبقه ۷۴
- شکل ۵-۲- مقایسه نسبت فشار کل بین نتایج تجربی و مدل یک بعدی در دوره‌های مختلف ۷۶
- شکل ۵-۳- مقایسه بازده آیزنتروپیک بین نتایج تجربی و مدل یک بعدی در دوره‌های مختلف ۷۷
- شکل ۵-۴- تغییرات فشار کل در ایستگاه‌های مختلف در ۷۰ درصد دور نامی ۷۸
- شکل ۵-۵- تغییرات فشار کل در ایستگاه‌های مختلف در ۹۰ درصد دور نامی ۷۸
- شکل ۵-۶- تغییرات فشار کل در ایستگاه‌های مختلف در دور نامی ۷۹
- شکل ۵-۷- تغییرات فشار کل در ایستگاه‌های مختلف در ۱۰۵ درصد دور نامی ۷۹
- شکل ۵-۸- نسبت فشار کل ایستگاه‌های مختلف به فشار کل ورودی کمپرسور در دور نامی ۸۰
- شکل ۵-۹- نسبت فشار استاتیکی ایستگاه‌های مختلف به فشار استاتیکی ورودی در دور نامی ۸۱
- شکل ۵-۱۰- نسبت فشار استاتیکی به فشار کل ورودی هر ایستگاه در دور نامی ۸۲
- شکل ۵-۱۱- تغییرات عدد ماخ در ایستگاه‌های مختلف در ۷۰ درصد دور نامی ۸۳
- شکل ۵-۱۲- تغییرات عدد ماخ در ایستگاه‌های مختلف در ۹۰ درصد دور نامی ۸۳
- شکل ۵-۱۳- تغییرات عدد ماخ در ایستگاه‌های مختلف در دور نامی ۸۴
- شکل ۵-۱۴- تغییرات عدد ماخ در ایستگاه‌های مختلف در ۱۰۵ درصد دور نامی ۸۴
- شکل ۵-۱۵- تغییرات زاویه جریان در ایستگاه‌های مختلف در ۷۰ درصد دور نامی ۸۵
- شکل ۵-۱۶- تغییرات زاویه جریان در ایستگاه‌های مختلف در ۹۰ درصد دور نامی ۸۶
- شکل ۵-۱۷- تغییرات زاویه جریان در ایستگاه‌های مختلف در دور نامی ۸۶
- شکل ۵-۱۸- تغییرات زاویه جریان در ایستگاه‌های مختلف در ۱۰۵ درصد دور نامی ۸۷
- شکل ۵-۱۹- مقایسه تغییرات توان لازم و مصرفی کمپرسور در دوره‌های مختلف ۸۸
- شکل ۵-۲۰- مقایسه افت اجزای مختلف کمپرسور گریز از مرکز با مدل یک بعدی ۸۹
- شکل ۵-۲۱- مقایسه افت‌های مختلف ایمپلر در دبی‌های مختلف ۹۰
- شکل ۵-۲۲- تغییرات افت چوک با دبی در دوره‌های مختلف ۹۱
- شکل ۵-۲۳- منحنی عملکرد کمپرسور گریز از مرکز ۹۲
- شکل ۵-۲۴- مقایسه تغییرات خطوط استال، سرج و چوک با دبی در دوره‌های مختلف ۹۳
- شکل ۵-۲۵- تغییرات افت دیفیوزر با تغییر زاویه خروجی جریان ۹۴
- شکل ۵-۲۶- تاثیر تغییرات افت با تغییر زاویه حمله در کانال برگشتی پره‌دار ۹۴
- شکل ۵-۲۷- تاثیر تغییرات زاویه حمله ورودی پره‌های هدایت کننده جریان بر نسبت فشار کل ۹۵

- شکل ۵-۲۸- تاثیر تغییرات زاویه حمله ورودی پره‌های هدایت کننده جریان بر بازده آیزنتروپیک..... ۹۶
- شکل ۵-۲۹- تاثیر تغییرات زاویه حمله ورودی کانال برگشتی بر نسبت فشار کل ۹۷
- شکل ۵-۳۰- تاثیر تغییرات زاویه حمله ورودی کانال برگشتی بر بازده آیزنتروپیک..... ۹۷
- شکل ۵-۳۱- تاثیر غیر یکنواختی دمای کل ورودی بر نسبت فشار کل در دور نامی ۹۸
- شکل ۵-۳۲- تاثیر غیر یکنواختی دمای کل ورودی بر بازده آیزنتروپیک در دور نامی ۹۸
- شکل ۵-۳۳- تاثیر غیر یکنواختی فشار کل ورودی بر نسبت فشار کل ۹۹
- شکل ۵-۳۴- تاثیر غیر یکنواختی فشار کل ورودی بر بازده آیزنتروپیک..... ۱۰۰

فهرست علائم و اختصارات

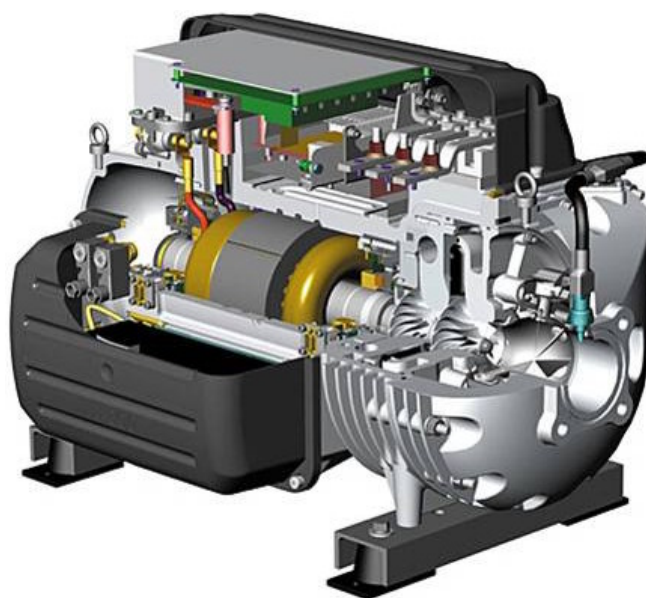
A	سطح مقطع	I_c	افت انحنا کانال بدون پره
A_R	نسبت سطح	I_D	افت نفوذ کانال بدون پره
B	انسداد اصطکاک سطح	k_m	انحنا خط جریان
b	عرض کانال	L	طول نصف‌النهاری خط جریان
C	سرعت مطلق	M	عدد ماخ
C_m	سرعت شعاعی	M_U	عدد ماخ چرخشی
C_U	سرعت مماسی	\dot{m}	جریان جرمی
c_f	ضریب اصطکاک	N	تعداد پره‌های آببندی
c_p	ظرفیت گرمای ویژه در فشار ثابت	P	فشار
c_v	ظرفیت گرمای ویژه در حجم ثابت	P_r	نسبت فشار
D	پارامتر همگرایی کانال	P_v	فشار سرعت
d	قطر	R	روتالیپی، ضریب ثابت گاز
D_m	پارامتر تعریف شده	r	شعاع
d_H	قطر هیدرولیکی	Re	عدد رینولدز
D_{eq}	ضریب تعادل نفوذ	S	آنتروپی، عرض فاصله لقی
E	بازده نفوذ	T	دما
h	آنتالپی	U	سرعت مماسی
I	ضریب کار ورودی ایمپلر	W	سرعت نسبی
i	زاویه حمله	W_U	مولفه مماسی سرعت نسبی

\dot{w}	توان	τ	گشتاور
Z	تعداد موثر پره		زیرنویس
Z_{FB}	تعداد پره کامل	h	ریشه
Z_{SB}	تعداد پره مقسم	s	نوک
α	زاویه جریان	t	شرایط کل
β	زاویه پره نسبت به افق	U	مولفه مماسی
σ	ضریب لغزش	1	شرایط ورودی
ρ	چگالی	2	شرایط خروجی
ω	سرعت چرخشی	B	پارامتر پره
η	بازده	id	شرایط ایده‌آل
Φ	ضریب جریان	m	مولفه نصف‌النهاری
λ	ضریب اعوجاج نوک ایمپلر	rms	ریشه میانگین مربع
δ	زاویه انحراف، فاصله لقی		بالانویس
γ	ضریب، زاویه استگر	$'$	شرایط نسبی
μ	ضریب لزجت	$*$	شرایط افت مینیمم، صوت

١ - مقدمه

۱-۱ - معرفی کمپرسور و کاربرد آن

کمپرسورها بنا بر کاربردشان در صنعت به دو نوع گریز از مرکز (شعاعی) و محوری تقسیم می‌شوند. نوع محوری آن با توجه به مشخصات فنی، برای کاربردهای دبی ثابت و هد متغیر، و نوع گریز از مرکز آن برای دبی-های متغیر با هد ثابت بکار می‌روند. به همین دلیل از کمپرسور گریز از مرکز برای کاربردهایی که در آن دبی متغیر است، استفاده می‌شود که از آن مورد می‌توان به کاربردهای کمپرسور گریز از مرکز در ایستگاه‌های تقویت فشار خط انتقال گاز، نیروگاه‌ها، صنایع شیمیایی و... نام برد. شکل (۱-۱) برش خورده یک کمپرسور گریز از مرکز دو طبقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ - شماتیک برش خورده یک کمپرسور گریز از مرکز دو طبقه [۳۶]

۱-۲- جایگاه پژوهش حاضر در ایران و جهان

با توجه به کاربرد فراوان و با اهمیت توربوماشین‌ها در صنایع، فعالیت‌های فراوانی در خصوص مسائل مطرح در این زمینه از سالیان دور در کشورهای صنعتی صورت گرفته و در حال توسعه می‌باشند. کار بر روی مسائل مربوط به توربوماشین‌ها، زمینه بسیار وسیعی است که سال‌هاست وقت، انرژی، هوش و توان دانشمندان و مهندسان را در سرتاسر جهان به ویژه در ایالات متحده و کشورهای اروپایی به خود مشغول داشته است. حجم سرمایه‌گذاری‌ها و فعالیت‌های انجام شده و همچنین مقالات و کتاب‌های منتشر شده در این زمینه گواه بر این ادعاست. این در حالی است که بسیاری از مستندات منتشر نشده در خصوص فعالیت‌های انجام شده و در حال انجام در این زمینه به دلایل امنیتی نظامی و تجاری، به صورت محرمانه نگهداری و قابل دسترسی نمی‌باشند.

این نوع تحقیقات به خصوص از زمان جنگ جهانی دوم در ساخت موتورهای جت هواپیما بسیار پر رنگ‌تر شده و تا به امروز همچنان به قوت ادامه دارد. به عنوان مثال در آمریکا چندین مرکز همچون ناسا^۵ و شرکت‌های بزرگی مثل جنرال الکتریک^۶، پرت اند ویتنی^۷ و وستینگ‌هاوس^۸ بودجه‌ای کلان را برای تحقیق در خصوص این موضوع هزینه می‌کنند. از شرکت مهندسی و ساخت توربین مپنا (توگا) و شرکت توربو کمپرسور نفت می - توان به عنوان بزرگترین مراکز تولید تجهیزات توربوماشینی (شامل توربین گاز، کمپرسور گاز، توربین بخار) در کشور نام برد [۱].

کشور ایران، از یک سو با دارا بودن حدود ۱۹ درصد کل ذخایر گازی جهان، دومین کشوری است که بیشترین ذخایر گازی دنیا را دارد، و از سوی دیگر کشوری در حال توسعه است که موتور حرکت و پیشرفت آن تولید انرژی و توان می‌باشد. بنابراین موضوع استفاده از منابع خدادادی گاز طبیعی و تبدیل آنها به انرژی و تولید توان، نیازی اساسی و حیاتی است. از توربین‌های گازی می‌توان به عنوان یکی از بهترین ابزارها برای تبدیل انرژی گاز و تولید توان الکتریکی در نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی نام برد. همچنین می‌توان به کاربرد مهم و استراتژیک توربوماشین‌ها در صنایع نظامی، مخصوصاً در دوران حاضر که با وجود تحریم‌های سیاسی، نظامی و اقتصادی نیاز داخلی به مسائل تحلیلی و طراحی توربوماشین‌ها به مراتب بیشتر احساس می‌شود، اشاره کرد. در حال حاضر تولید توربوماشین‌ها در کشور ما عمدتاً تحت لیسانس شرکت‌های خارجی صورت گرفته و راه طولانی برای دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت و رسیدن به مرحله طراحی کامل داخلی این تجهیزات در پیش رو وجود دارد. پیشینه طولانی و درخشان علمی - مهندسی غربی‌ها از یک سو و همچنین گستردگی و وجود پیچیدگی‌های فراوان مسائل مربوط به توربوماشین‌ها از سوی دیگر، می‌تواند موجبات ناامیدی برای محققان و پژوهشگران داخلی در این زمینه را فراهم سازد. خوشبختانه به دلیل وجود پتانسیل‌های قوی ولو اندک نیروی انسانی متخصص و با انگیزه در این زمینه می‌توان بر این احساس یاس فائق آمد. به همین دلیل علیرغم سختی و

5- NASA (National Aeronautics and Space Administration)

6- GE (General Electric)

7 - Pratt & Whitney

8 - Westinghouse