به نام ایزد یکتا

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی شیمی

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای مهدی جعفری هرندی پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان مدل سازی و بررسی پارامتریک محفظه احتراق توربین گازی به روش شبکه راکتوری در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مجتبی صدر عاملی	استاد	
استاد مشاور	دکتر صادق تابع جماعت	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر عبدالصمد زرین قلم مقدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مجید عمیدپور	//	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر عبدالصمد زرین قلم مقدم	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه مورد تائید است
امضاء استاد راهنما

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (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 می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» 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 مهندسی شیمی است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر صدرعاملی ، 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 هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

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

ماده ۶: اینجانب مهدی صفری هرندی دانشجوی رشته مهندسی شیمی مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: مهدی صفری هرندی

تاریخ و امضا: ۹۱/۷/۲۷

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱٥ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب مهدی جعفری هرندی دانشجوی رشته مهندسی عمران ورودی سال تحصیلی ۸۷ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا.....

تاریخ: ۸۷/۷/۲۵

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی شیمی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی شیمی- ترموسنیتیک

مدل‌سازی محفظه احتراق و بررسی پارامتریک توربین گازی به روش شبکه راکتوری

نگارنده:

مهدی جعفری هرندی

استاد راهنما:

دکتر سید مجتبی صدر عاملی

استاد مشاور:

دکتر صادق تابع جماعت

بهمن 90

تقدیم به:

پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

سپاس گزاری

با سپاس فراوان از راهنمایی‌ها و کمک‌های شایان جناب آقایان دکتر سید مجتبی صدر عاملی و دکتر صادق تابع جماعت عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر در انجام این پایان‌نامه و همچنین از همیاری و همفکری‌های جناب آقای مهندس سید رضی رضوی، سرکار خانم صادقی و گروهی از دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه صنعتی اصفهان و مخصوصاً از برادر عزیزم جناب آقای دکتر محمود رضا جعفری هرندی که زحمات بسیاری را برای من در این پایان نامه انجام دادند را کمال تشکر و قدرانی می‌گردد.

چکیده

در تحقیق حاضر میدان جریان محترق درون محفظه احتراق توربین گازی، به روش شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ و از نظر شیمیایی، به روش نرخ واکنش‌های شیمیایی مدل سازی و با تعریف شرایط مرزی مناسب جریان محترق در این محفظه حل شده است. معادلات حاکم در بخش‌های فرایند احتراق و فرایند انتقال جرم و فرایند جریان (گردابه‌های بزرگ) بر اساس حجم کنترل نوشته شده و سپس برای حل عددی، شبکه‌ی حل باسازمان یا ساختار یافته و از نوع جابه‌جا شده و مختصات استوانه‌ای در نظر گرفته شده است. سپس معادلات در شبکه مذکور گسسته‌سازی گردیده است. برای حل معادلات از الگوریتم QUICK استفاده گردیده و بر اساس این الگوریتم حل عددی انجام شده است. ابتدا برای راست آزمایی حل عددی، هندسه‌ی یک محفظه احتراق توربین گازی با شرایط مرزی کنترل شده که جواب‌های تحلیلی و تجربی آن معلوم بوده در نظر گرفته شده و حل عددی گردیده است سپس جواب‌ها با مدل تجربی و تحلیلی موجود مقایسه شده و با خطای قابل قبولی تایید گردیده است. در نهایت تأثیرات مشخصه های ورودی همانند انواع دمای هوا و سوخت و انواع میزان قدرت خروجی تولید شده در یک محفظه احتراق بر میزان NO حاصل از محصولات احتراق بدست آمده و با هم مقایسه گردیده است.

کلید واژه‌ها: محفظه احتراق، توربین گازی، گردابه‌های بزرگ، نرخ واکنش، گسسته‌سازی، شبکه‌ی ساختار یافته، شبکه‌ی جابه‌جا شده

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

فصل 1 1

1-1- مقدمه 2

2-1- معرفی محفظه احتراق (Combustion Chamber-Combustor) 3

3-1- شرح فصول پایان‌نامه 13

فصل 2: مروری بر تحقیقات انجام شده 14

1-2- مقدمه 15

2-2- تحقیقات انجام شده در مدلسازی اغتشاش و انتقال 15

3-2- تحقیقات انجام شده در میزان نشر آلودگی 18

4-2- تحقیقات انجام شده در تکنیک های حل عددی 20

فصل 3: بدست آوردن معادلات حاکم 23

1-3- معادلات اولیه حاکم در احتراق 24

1-1-3-عناصر 24

2-1-3- جرم 24

3-1-3- ممنتوم 24

4-1-3- انرژی 25

5-1-3- تنش ویسکوز 25

6-1-3- شار گرما 25

7-1-3- انتشار جرم 26

8-1-3- معادله حالت (ترمودینامیکی) 26

2-3- ساده‌سازی معادلات 27

3-3- جریان گردابی و تأثیر آن برروی مدل شیمیایی 30

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

فصل 4: روش عددی 33

4-1-روش عددی 34

4-2-انتخاب نوع شبکه حل 35

4-3- تعریف نمادگذاری برای گسسته‌سازی معادلات 37

4-4- گسسته‌سازی معادلات حاکم 37

4-5- روش حل معادلات حاکم 40

4-6- انتخاب شبکه حل و گسسته‌سازی نهایی 45

4-6-1- استخراج معادلات در مختصات استوانه‌ای پیشنهادی 46

4-7- شرایط مرزی 48

4-7-1- شرط مرزی در r=0 48

4-7-2- شرط مرزی دیواره 48

4-7-3- شرط مرزی ورودی 49

4-7-4- شرط مرزی خروجی 49

4-8- شرح برنامه کامپیوتری 49

4 -8-1- مقدمه 49

4-8-2- شرح زیر برنامه‌های اصلی برنامه Fortran 50

4-8-2-1- زیربرنامه ReadGeometry 50

4-8-2-2- زیربرنامه InitialiseVariables 50

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

4-8-2-3- زیربرنامه SetBoundaryConditions 51

4-8-2-4- زیربرنامه CalculateScalar 51

4-8-2-5- زیربرنامه FluxScalar 51

4-8-2-6- زیربرنامه CalculateUVW 51

4-8-2-7- زیربرنامه CalculatePressure 51

4-8-2-8- زیربرنامه FluxMass 51

4-8-2-9- زیربرنامه UpdateP 51

4-8-2-10- زیربرنامه Update_P_at_boundaries 53

4-8-2-11- زیربرنامه UpdateBC 53

4-8-2-12- زیربرنامه TurbulenceModels 53

4-8-2-13- زیر برنامه GradientPhi 53

4-8-3-الگوریتم کلی برنامه 53

فصل 5: نتایج 55

5-1- بررسی اعتبار کد کامپیوتری 56

5-2- تأثیر پارامترهای ورودی در تولید NO 62

5-2-1- تأثیر دمای هوای ورودی 62

5-2-2- تأثیر گرمای اولیه سوخت ورودی 63

5-2-3- تأثیر توان خروجی 64

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

3-5- نتایج عددی بر اساس توزیع جرمی..... 65

4-5- نتیجه گیری..... 68

5-5 زمینه‌های ادامه تحقیق..... 69

منابع..... 70

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... **صفحه**

شکل 1-1: شکل شماتیک توربین گازی احتراقی تک محوری.....3

شکل 1-2: نمای ظاهری محفظه احتراق توربین و اجزاء تشکیل دهنده آن.....4

شکل 1-3: فرآیند احتراق.....5

شکل 1-4: دمای آدیاباتیک شعله را برای متان.....8

شکل 1-5: شکل شماتیک محفظه احتراق یک توربین گازی.....9

شکل 1-6: جریان عبوری از اجسام شیب دار.....10

شکل 1-7: مقطع شماتیک محفظه احتراق.....11

شکل 4-1: الگوی شبکه جابه‌جا شده.....36

شکل 4-2: شبکه مجزا از هم فضا - زمان.....38

شکل 4-3: مقایسه نواحی پایداری خطی برای 1 و 2 و 3 تکراری با مقایسه با روش رانگ کوتای درجه 3.....42

شکل 4-4: محفظه احتراق پیشنهادی برای حل عددی معادلات استخراجی.....45

شکل 4-5: شبکه جابجا شده استوانه‌ای که p, ϕ, u_x, ρ در مراکز سلول (نقاط توپر •) و u_θ در مرز سلول‌ها (علامت ×) و u_r در مرکز یال‌های بیرونی سلول‌ها (مربع توخالی) قرار می‌گیرند.....46

شکل 5-1: الگوریتم سیمپل.....54

شکل 5-1: محفظه احتراق در تحقیق تجربی آون و همکاران.....57

شکل 5-2: باز ترسیم شده بخش جلویی محفظه احتراق به منظور حل عددی از نمونه استفاده شده توسط آون و همکاران.....57

شکل 5-3: شبکه‌بندی مدل محفظه احتراق.....59

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... **صفحه**

شکل 5-4: متوسط جرمی محصولات احتراق در مقطع x/R=0.21 خط پر نتیجه عددی، نقطه چین حل تحلیلی و نقاط توپر نتیجه آزمایشگاهی..... 60

شکل 5-5: متوسط جرمی محصولات احتراق در مقطع x/R=3.16 خط پر نتیجه عددی، نقطه چین حل تحلیلی و نقاط توپر نتیجه آزمایشگاهی..... 60

شکل 5-6: متوسط جرمی محصولات احتراق در مقطع x/R=3.84 خط پر نتیجه عددی، نقطه چین حل تحلیلی و نقاط توپر نتیجه آزمایشگاهی..... 61

شکل 5-7: متوسط جرمی محصولات احتراق در مقطع x/R=7.41 خط پر نتیجه عددی، نقطه چین حل تحلیلی و نقاط توپر نتیجه آزمایشگاهی..... 61

شکل 5-8: تأثیر درجه حرارت‌های هوای ورودی در تولید NO_x..... 63

شکل 5-9: تأثیر میزان گرمای اولیه سوخت بر میزان تولید NO_x..... 64

شکل 5-10: اثر قدرت خروجی در میزان تولید NO_x..... 65

شکل 5-11: توزیع مخلوط سوخت و هوا را در مقطع طولی محفظه احتراق..... 66

شکل 5-12: توزیع متوسط جرمی محصولات احتراق در مقطع طولی محفظه احتراق..... 66

شکل 5-13 پروفیل توزیع دما در مقطع طولی محفظه احتراق..... 67

شکل 5-14: توزیع نسبت جرمی NO را زمان‌های مختلف حل نسبت به طول محفظه احتراق..... 67

فصل 1: مقدمه

1-1-مقدمه

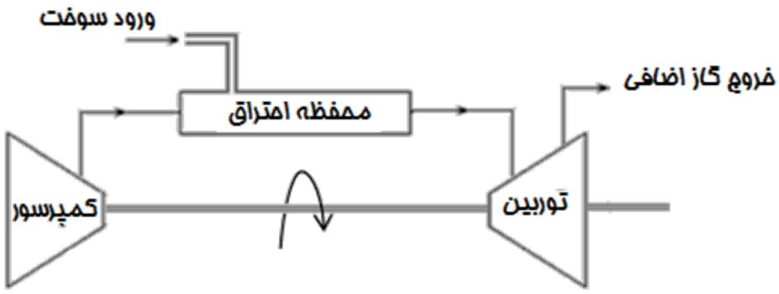
از حدود 70 سال قبل توربین‌های گازی جهت تولید برق مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند، اما در بیست سال اخیر تولید این نوع توربین‌ها بیست برابر افزایش یافته است. اولین طرح توربین گازی مشابه توربین‌های گازی امروزی در سال 1791 به وسیله «جان پایر» پایه‌گذاری شد که پس از مطالعات زیادی بالاخره در اوایل قرن بیستم اولین توربین گازی که از یک توربین چند طبقه عکس‌العملی و یک کمپرسور محوری چند طبقه تشکیل شده بود، تولید گردید. اولین دستگاه توربین گازی در سال 1933 در یک کارخانه فولادریزی در کشور آلمان مورد بهره‌برداری قرار گرفت و امروزه توربین گازی با قدرت 212/2 مگاوات مورد بهره‌برداری قرار می گیرد. در صنعت برق ایران اولین توربین گازی در سال 1343 در نیروگاه شهر فیروزه (طرشت) مورد استفاده قرار گرفته است که شامل دو دستگاه بوده و هر کدام 12/5 مگاوات قدرت داشته است. در حال حاضر کوچکترین توربین گازی موجود در ایران توربین گاز سیار «کاتلزبرگ» با قدرت اسمی یک مگاوات و بزرگترین آن توربین گازی 49-7 شرکت زیمنس با قدرت 150 مگاوات می‌باشد.

امکانات تولید برق در طول سال‌های متمادی تکامل یافته است. در گذشته، به منظور کاهش هزینه‌های عملیاتی در هر مگاوات قدرت تولیدی، از تجهیزات پیچیده و گران قیمتی استفاده می‌گردید که با زیاد شدن قدرت خروجی به همان نسبت هزینه اولیه خرید و نصب نیز به صورت سرسام آوری زیاد می‌شد. ولی از سال 1980، کارخانجات تولید کننده، شروع به بهینه‌سازی نیروگاه‌ها در رنج 1000 مگاوات به منظور کاهش هزینه‌های تولید و در همان زمان کاهش هزینه هر مگاوات تولیدی نمودند[1]. تا سال 1990، فنآوری‌های پیشرفته در تولید سیستم‌های توربین گاز کوچک در محدوده 50-100 مگاوات باعث کاهش هزینه در هر مگاوات و همچنین کاهش هزینه‌های ثابت اولیه شده است. این پیشرفت در بهینه سازی باعث باز شدن یک بازار بالقوه برای متقاضیان نیروگاه‌های کوچک و نسبتاً قابل حمل شده است. این بازار بالقوه شامل جوامع

کوچک و کارخانه‌های تولیدی می‌گردد که منابع لازم را برای خرید یک نیروگاه تولید برق بزرگ، ندارند. به دلیل همین علاقه مجدد در بازار توربین‌های گاز کوچک، بودجه تحقیق و توسعه برای تولید هر چه بهتر چنین نیروگاه‌هایی افزایش یافته است و هدف اصلی، کاهش انتشار آلاینده و بهبود کارایی سیستم می‌باشد.

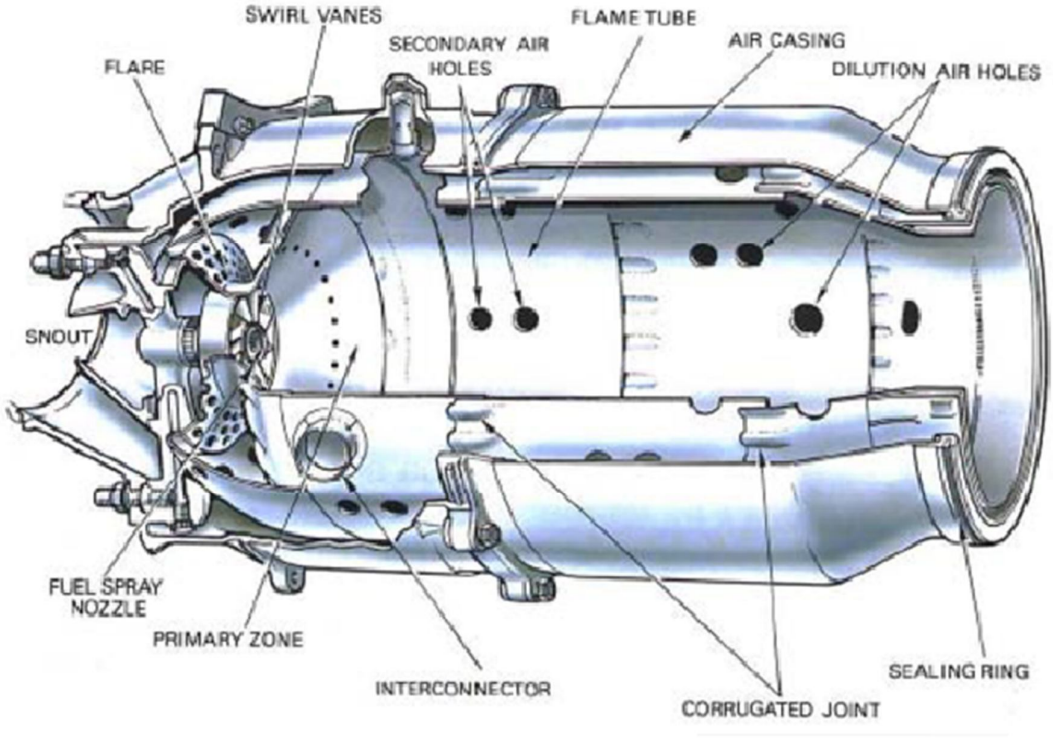
1-2- معرفی محفظه احتراق (Combustion Chamber-Combustor)

اگر بعد از افزایش فشار هوا به وسیله کمپرسور هوا مستقیماً وارد توربین شود (توربینی که کمپرسور را می‌چرخاند) و هیچ انرژی در این میان از بین نرود با فرض ناچیز بودن اتلاف انرژی، انرژی حاصل شده در محور خروجی توربین معادل انرژی مورد نیاز برای چرخش کمپرسور خواهد بود و هیچ توان اضافی در خروجی محور توربین باقی نمی‌ماند. پس کاری صورت نگرفته است و انرژی منتقل شده توسط استارتر به هدر رفته است. لذا می‌بایست کاری کرد که آنتالپی هوای خروجی کمپرسور را به مقدار زیاد افزایش داد که این افزایش آنتالپی با استفاده از سوختن سوخت در یک محفظه احتراق صورت می‌گیرد. (شکل 1-1)



شکل 1-1: شکل شماتیک توربین گازی احتراقی تک محوری

در شکل 1-2، یک محفظه احتراق توربین به صورت شماتیک نشان داده شده است.



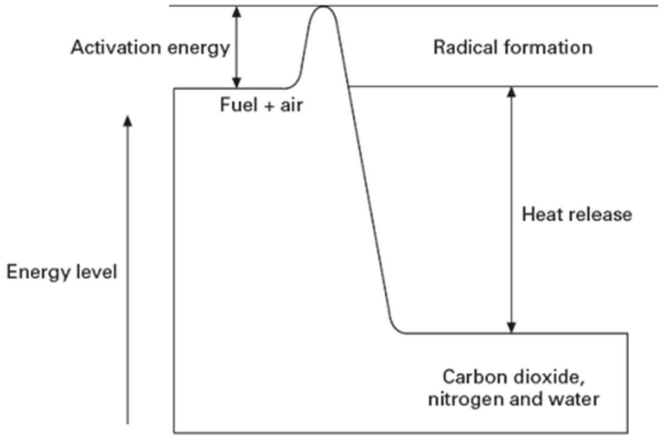
شکل 1-2: نمای ظاهری محفظه احتراق توربین و اجزاء تشکیل دهنده آن [2]

15 تا 20 درصد هوای ورودی از تیغه‌های شکل دهنده جریان عبور می‌کند. عبور هوا از این بخش موجب افشان شدن کامل سوخت (که معمولاً با قطرات سوخت همراه است) می‌شود که نتیجه آن اختلاط کامل سوخت و هوا و نیز احتراق آن در درجه حرارت بالا در قسمت اول محفظه احتراق است.

حدود30 درصد هوا از مجاری خاص به قسمت دوم محفظه احتراق هدایت می‌شود تا عمل سوختن کامل شود. بقیه هوا در قسمت سوم محفظه احتراق برای همگن کردن محصول احتراق و نیز خنک کردن محفظه احتراق مصرف می‌شود. در این بخش همگن کردن محصول احتراق در مسیر عبوری خود، در حدی باید صورت گیرد که از ایجاد نقطه‌های داغ (Hot Spot) در محفظه احتراق جلوگیری کند. اگر فرآیند احتراق کامل نباشد، موجب تشکیل ذرات کربنی شده که به لحاظ سرعت بالای این ذرات سایش و کندگی تیغه توربین، کاهش عمر مفید تیغه‌ها و توربین را به دنبال دارد. تعداد محفظه احتراق بستگی به طراحی ساخت

و قدرت مورد نیاز دارد که ممکن است توربین دارای یک محفظه احتراق یا چندین محفظه احتراق مجزا باشد. هدف از احتراق گاز در هوا، افزودن انرژی حرارتی در هوا به وسیله افزودن درجه حرارت آن است. در اتاق احتراق انرژی شیمیایی سوخت (Fuel) موجب افزایش آنتالپی هوا می‌شود. در شرایط اتمسفری، سوخت‌های هیدروکربنی به آرامی می‌سوزند. جهت سوزاندن سوخت‌های هیدروکربنی، می‌بایست دمای سوخت به اندازه کافی افزایش یابد. زمانی که دما به اندازه کافی افزایش یافت، مولکول‌های اولیه به اجزایی به نام رادیکال (Radical) شکسته می‌شوند. انرژی لازم جهت تشکیل رادیکال‌های آزاد از سوخت اولیه، انرژی فعال‌سازی نامیده می‌شود. به طور کلی در شرایط جوی این رادیکال‌ها، ناپایدار بوده و در صورت عدم وجود اکسیژن به حالت اولیه باز می‌گردند.

با این حال، این رادیکال‌ها، تمایل زیادی جهت واکنش با اکسیژن دارند. در صورت وجود اکسیژن به سرعت واکنش داده و فرآورده‌های آب، دی‌اکسید کربن و مقداری گرما تولید می‌کنند. در شکل 1-3، فرآیند احتراق نشان داده شده است.



شکل 1-3: فرآیند احتراق [2]

معادله سوختن متان به صورت زیر است:

+ 2 ——— (+ +) ——— + 2

در معادله فوق، در ابتدا یک مولکول متان (CH_4) با دو مولکول اکسیژن (O_2) واکنش می‌دهد. در ادامه این فرآیند منجر به تولید مونوکسید کربن (CO) و رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) و متیل (CH_3) می‌شود.

در حالت کلی در مورد واکنش سوختن یک سوخت هیدروکربنی با فرمول C_xH_y نکات زیر وجود دارد:

فرآیند اکسید شدن کربن به مونوکسید کربن فرایندی سریع است. بر خلاف آن، فرایند اکسید شدن مونوکسید کربن به دی اکسید کربن (CO_2) فرآیندی کند است. واکنش بین رادیکال هیدروکسیل (OH) و مونوکسید کربن (CO) نیز فرآیندی سریع است. این فرآیند نیز منجر به تولید دی اکسید کربن (CO_2) می‌شود و عقیده بر این است که عمده دی اکسید کربن در فرآیند احتراق به این صورت تشکیل می‌شود. در واکنش قبل، هیدروکسیل (OH) و مونوکسید کربن (CO) با هم واکنش داده و در این واکنش، دی اکسید کربن (CO_2) و رادیکال هیدروژن (H) تشکیل می‌شود. رادیکال هیدروژن نیز ضمن واکنش با اکسیژن موجب تشکیل رادیکال هیدروکسیل (OH) می‌شود.

در سوخت‌هایی که نسبت کربن به هیدروژن (x/y) بالایی دارند (مانند سوخت‌های نفت سنگین)، فرآیند تبدیل CO به CO_2 به زمان بیشتری احتیاج دارد. زمان احتراق، فاکتور مهمی در طراحی محفظه احتراق است. این زمان که غالباً زمان ماند (Residence Time) نیز نامیده می‌شود، زمانی است که سوخت جهت سوختن و یا باقی ماندن در قسمت اصلی طی می‌کند.

یک مول هوا دارای اجزای زیر است:

یک مول اکسیژن (O_2)، 3/76 مول نیتروژن (N_2)، مقادیر جزیی از گازهای دیگر مانند دی‌اکسید کربن (CO_2) و آرگون (Ar) است. سوخت هیدروکربنی را می‌توان بر اساس نسبت کربن به هیدروژن آن بیان کرد.