بسم الله الرحمن الرحيم

# دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد «M.Sc.»

گرایش: فرآیند

عنوان:

## شبیه‌سازی محفظه احتراق و بهینه‌سازی مصرف سوخت

استاد راهنما:

دکتر ناصر ثقه الاسلامی

نگارش:

سمیرا علمداری

پاییز ۱۳۹۳

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

**Shahrood Branch**

**Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering**

**((M.Sc)) Thesis**

**On Chemical Engineering**

**Subject:**

# Simulation of combustion chamber and optimization of fuel consumption

**Thesis Advisor:**

**Naser Seghatoleslami Ph.D.**

**By:**

**Samira Alamdari**

**Autumn 2014**

# سپاسگزاری

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

ما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه از پدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده‌اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر ثقه‌الاسلامی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

## تقدیم به:

**همسرم**

**به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و آسایش برای من فراهم آورده است و سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می‌باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود.**

**فرزندم**

**که با آمدنش واژه زیبای مادر را برایم معنا خواهد کرد و آسایش او آرامش جانم خواهد بود.**

## فهرست


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| چکیده | ۱ |
| مقدمه | ۲ |
| **فصل اول: کلیات فرآیند احتراق** | ۳ |
| ۱-۱- چرخه توربین گازی ساده با بازتاب | ۴ |
| ۱-۲- محفظه احتراق | ۵ |
| ۱-۳- پارامترهای مهم در محفظه احتراق | ۶ |
| ۱-۳-۱- راندمان محفظه احتراق | ۶ |
| ۱-۳-۲- درصد احتراق | ۷ |
| ۱-۳-۳- ضریب شکل | ۷ |
| ۱-۴- مروری بر کارهای انجام شده | ۷ |
| ۱-۵- مروری کوتاه بر روی اشکال محفظه‌های احتراق | ۸ |
| ۱-۶- ویژگی‌های کار حاضر | ۱۰ |
| **فصل دوم: معادلات حاکم بر فرآیند احتراق** | ۱۱ |
| ۲-۱- معادلات حاکم | ۱۲ |
| ۲-۱-۱- معادله بقاء جرم | ۱۲ |
| ۲-۱-۲- معادلات بقاء مومنتم | ۱۲ |
| ۲-۱-۳- معادله انرژی | ۱۳ |

۲-۲- عبارت چشمه و چاه در معادلات ۱۴

۲-۳- جریانات مغشوش ۱۴

۲-۳-۱- روش میانگین‌گیری رینولدز ۱۶

۲-۳-۲- مدل $k-\varepsilon$ استاندارد ۱۷

۲-۴- اثرات دیواره ۱۹

۲-۴-۱- ملاحظات در مورد شبکه در نزدیک دیوار ۲۱

۲-۴-۲- تابع دیوار استاندارد ۲۱

**فصل سوم: احتراق و بررسی آلودگی‌های ناشی از احتراق** ۲۳

۳-۱- دسته‌بندی احتراق ۲۴

۳-۱-۱- شعله‌های پیش مخلوط ۲۵

۳-۱-۲- شعله‌های غیر پیش آمیخته مغشوش ۲۶

۳-۲- مدل‌های احتراق ۲۷

۳-۲-۱- مدل PDF ۲۸

۳-۳- حل معادله برای تک‌تک نمونه‌های جرمی ۲۸

۳-۴- اثر نمونه‌های جرمی در معادله انرژی ۲۹

۳-۵- محاسبه نرخ واکنش ۲۹

۳-۵-۱- نرخ آرینوس ۳۰

۳-۵-۲- روش تلفات گردابه‌ای ۳۱

۳-۶- نسبت هم ارزی سوخت ۳۲
۳-۷- هوای تئوری ۳۳
۳-۸- هوای اضافی ۳۳
۳-۹- تحلیل جرمی و حجمی احتراق ۳۴
۳-۱۰- تبدیل تحلیل جرمی بر مبنای حجمی و برعکس ۳۸
۳-۱۱- نسبت هوا به سوخت ۳۹
۳-۱۲- مصرف سوخت و حفاظت از محیطزیست ۴۰
۳-۱۲-۱- تشکیل NO ۴۰
۳-۱۲-۲- روش‌های کاهش NO در احتراق ۴۴
**فصل چهارم: شبکه محاسباتی** ۵۰
۴-۱- شرایط مرزی ۵۱
۴-۱-۱- شرطهای مرزی ورودی ۵۱
۴-۱-۲- شرط مرزی خروجی ۵۲
۴-۱-۳- شرط مرزی دیواره ۵۲
۴-۱-۴- شرط مرزی متقارن ۵۲
۴-۲- مدل هندسی و شبکه محاسباتی ۵۳
۴-۲- روش عددی ۵۶
۴-۳- بهینه سازی ۵۷

**فصل پنجم: نتایج و بحث** ۵۸

۵-۱- مقدمه ۵۹

۵-۲- بررسی انواع محفظه‌های احتراق در حالتهای مختلف ورودی هوا ۶۲

۵-۲-۱- تاثیر بفل ۶۲

۵-۲-۲- تاثیر نوع بفل ۶۶

۵-۲-۳- تاثیر دما ۷۰

۵-۲-۴- تاثیر میزان هوای ورودی ۷۲

۵-۲-۵- بررسی پارامتر بازده احتراق در سه حالت محفظه احتراق ۷۶

۵-۲-۶- بررسی پارامتر ضریب شکل در سه حالت محفظه احتراق ۷۸

۵-۳- بررسی محفظه احتراق در نقطه بهینه ورودی هوا ۷۹

۵-۳-۱- بررسی بازده احتراق در حالت بهینه ۸۵

نتیجه‌گیری ۸۶

پیشنهادات ۸۸

فهرست منابع فارسی ۸۹

فهرست منابع غیر فارسی ۹۰

**چکیده**

در این تحقیق شبیه‌سازی محفظه احتراق در سه نوع مختلف محفظه احتراق انجام شد. حالت اول محفظه احتراق بدون بفل، حالت دوم محفظه احتراق با بفل متقارن و حالت سوم محفظه احتراق با بفل نامتقارن می‌باشد. برای هر کدام از محفظه‌ها ۹ حالت مختلف ورودی هوا در نظر گرفته شد. ضمن اینکه شرایط سوخت ورودی در تمامی حالت‌ها ثابت بود. بعد از انجام شبیه‌سازی‌ها و بدست آمدن نتایج مشخص شد که وجود بفل در محفظه احتراق متان خروجی از محفظه را کاهش و دمای سیال خروجی را افزایش می‌دهد. به طوریکه در نمونه‌ای متان خروجی به میزان % ۲۸ کاهش و دمای سیال خروجی به میزان % ۵ افزایش می‌یابد. همچنین در بررسی آرایش بفل‌ها در محفظه احتراق مشخص شد که بفل با آرایش متقارن در محفظه از بفل با آرایش نامتقارن از لحاظ بررسی پارامترهای احتراق مناسب‌تر است. همچنین تاثیر دمای هوای ورودی بر روی میزان متان خروجی و دمای سیال خروجی بررسی و مشخص شد که با افزایش دمای هوای ورودی، دمای سیال خروجی افزایش و متان خروجی نیز به میزان کمی افزایش می‌یابد. تاثیر میزان هوای ورودی به محفظه نیز بررسی شد و مشخص شد که در اغلب موارد با افزایش میزان هوای ورودی متان خروجی کاهش ولی از طرفی دمای سیال خروجی نیز کاهش می‌یابد. برای نمونه در محفظه احتراق با بفل متقارن با افزایش میزان هوای ورودی از نسبت استوکیومتری تا % ۱۲۵ هوای اضافی، میزان متان خروجی تا % ۹۱ کاهش و دمای سیال خروجی از محفظه نیز به میزان % ۴۰ کاهش می‌یابد. در ادامه به منظور یافتن نقطه بهینه شرایط ورودی هوا از نرم‌افزار Design expert 7 استفاده شد. در نهایت پس از محاسبات در شرایط بهینه مشخص شد که بازده محفظه احتراق با بفل متقارن نسبت به نوع بدون بفل % ۴/۶۳ بیشتر، بازده محفظه احتراق با بفل نامتقارن نسبت به نوع بدون بفل % ۴/۲۵ و بازده محفظه احتراق با بفل متقارن نسبت به محفظه احتراق با بفل نامتقارن % ۰/۴ بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی - محفظه احتراق- نرم‌افزار Design expert 7- شرایط بهینه

**مقدمه:**

همان‌طور که می‌دانیم بخش اعظم انرژی‌های مورد نیاز برای واحدهای صنعتی از گازهای حاصل از احتراق تأمین می‌شود که این گازها در محفظه احتراق تولید می‌شوند، محفظه احتراق محلی برای انجام فرآیند احتراق است. در صنعت انواع گوناگونی از محفظه‌های احتراق وجود دارد که ظاهراً بسیار متفاوت هستند، اما اگر به‌طور دقیق بررسی کنیم از نظر اساس کار، تقریبا یکسان هستند می‌توان گفت لازمه انجام فرایند احتراق ترکیب سوخت و اکسیدکننده در محفظه احتراق است.

فرایندهای شیمیایی باید به طور مداوم و با حداکثر سرعت و حداقل هزینه بهبود یابند، در این راستا به افزایش مقیاس و تغییر یا بهبود عملیات فرآیندی نیاز است. معمولا برای این موارد به کارهای آزمایشگاهی زیادی نیاز است، نیاز به کارهای آزمایشگاهی زیاد در تضاد با نیاز به تصمیم‌گیری سریع است. مدل‌سازی کلید اصلی حل این مسائل است. چنانچه مدل‌های کامل برای تمام عملیات واحدها در دسترس باشد تعداد آزمایش‌های لازم برای افزایش مقیاس و یا تغییر هندسی دریک واحد تولیدی را می‌توان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داد که این امر موجب کاهش زمان و هزینه‌های گزاف می‌شود.

با تنظیم سوخت و هوای ورودی به محفظه می‌توان ترکیبات گازهای خروجی را تا حدودی کنترل نمود اما آنچه اهمیت دارد استفاده کامل از سوخت است. طی چندین دهه گذشته تئوری احتراق تحت تاثیر فزاینده حفاظت از محیطزیست قرار گرفته است می‌دانیم ازت هوا به هنگام احتراق اکسید می‌شود و ترکیبات سمی ایجاد می‌کند در این تحقیق سعی شده است با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت[1] تاثیر اغتشاش بر بهبود گازهای حاصل از احتراق ترکیباتی که باعث آلودگی محیطزیست می‌شوند را مورد بررسی قرار می‌دهیم و شناخت بهتری از اغتشاش و پارامترهای مهم احتراق ارائه می نمائیم این کار را با قرار دادن بفلهایی داخل محفظه‌های احتراق و در مسیر جریان هوا و سوخت انجام می‌دهیم و نتایج را بررسی می‌کنیم.

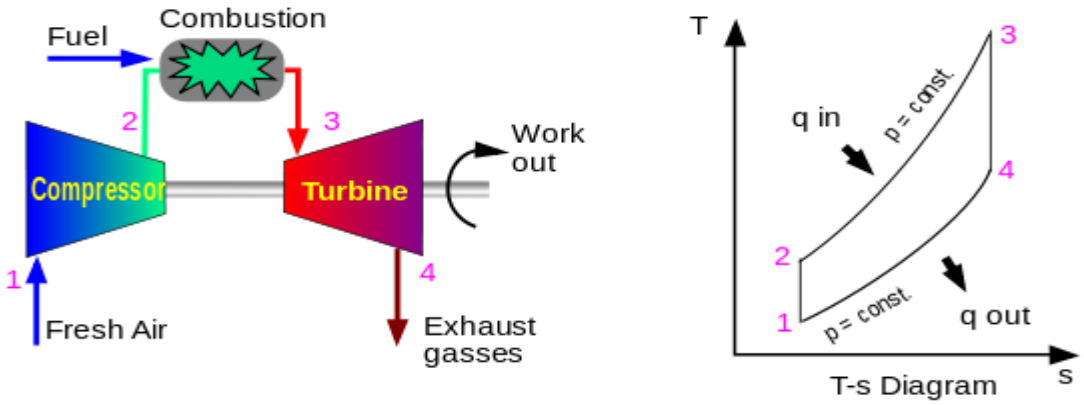
[1] Fluent

# فصل اول:

# کلیات فرآیند احتراق

### ۱-۱- چرخه توربین گازی ساده با بازتاب

هدف از این پروژه بررسی پارامترهای مهم در محفظه احتراق است. برای بیان شرایط حاکم بر این محفظه، لازم است نگاهی کوتاه به چرخه توربین گازی ساده با بازیاب داشته باشیم. چرخه توربین گازی یکی از انواع چرخه‌های توان زایی است که سیال عامل آن در فاز گاز است اساس کار چرخه توربین گازی بر اساس چرخه ایده‌آل برایتون است. برای اضافه شدن راندمان چرخه یک المان به نام بازتاب به آن اضافه می‌کنیم. در زیر شکل شماتیک این نوع چرخه و دیاگرام دما- آنتروپی آن دیده می‌شود [۱].




شکل (۱-۱). شماتیک سیکل توربین گازی یا بازیاب به همراه نمایش تحول در دیاگرام (T-S) [۱].

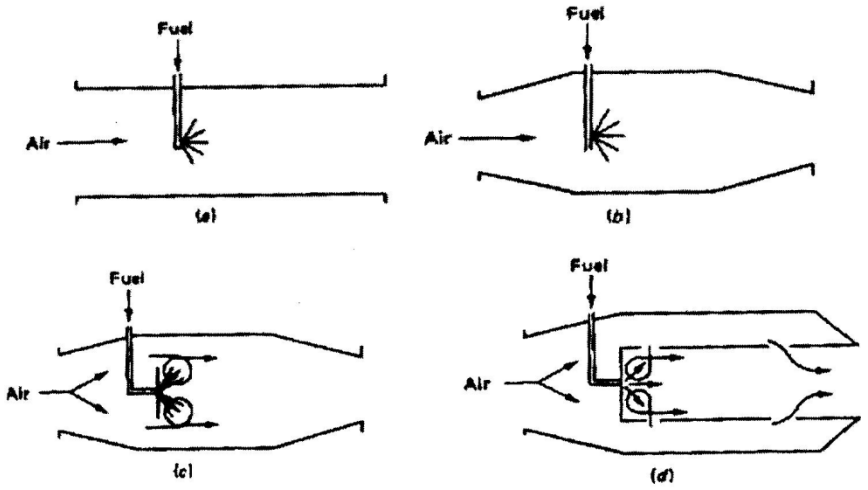
هوای محیط پس از عبور از صافی‌های هوا وارد کمپرسور می‌شود. پس از اینکه در کمپرسور تا فشار معینی کمپرس شد، وارد بازیاب می‌شود و مقداری دمای آن بالا می‌رود. سپس وارد محفظه احتراق می‌شود و گاز طبیعی (هر سوخت دیگری که مدنظر باشد) به آن اضافه می‌شود و در نتیجه احتراق

انجام می‌شود. در اثر این فرایند بازهم دمای سیال عامل بالا می‌رود. این گاز گرم و پرفشار وارد توربین می‌شود و تا دما و فشار نقطه ۴ منبسط می‌شود.

گازهای گرم خروجی توربین پس از اینکه مقداری از انرژی حرارتی خود را در بازیاب به هوای ورودی می‌دهند، از طریق اگزوزها خارج می‌شوند. صرف‌نظر از جزئیات، توربین گازی که در این پروژه مدنظر بوده در چنین چرخه‌ای کار می‌کند؛ اما هدف مدل کردن محفظه احتراق است طبق این الگو ورودی‌های محفظه احتراق، سوخت (در دمای محیط و فشار محفظه) هوای پرفشار (که تا دمای معینی در بازیاب پیش گرم شده است) و خروجی آن محصولات احتراق گرم و پرفشار است [۱].

**۱-۲- محفظه احتراق**

محفظه احتراق محلی برای انجام احتراق است. در صنعت انواع گوناگونی از محفظه‌های احتراق وجود دارد که ظاهراً بسیار متفاوت هستند؛ اما اگر به طور دقیق‌تر بررسی کنیم از نظر اساس کار، تقریبا تمام این محفظه‌ها یکسان هستند. لازم است در این مورد توضیحاتی داده شود. همان‌طور که در شکل (۱-۲) مشخص است باید سوخت و هوا باهم ترکیب شوند تا عمل احتراق انجام شود. ساده‌ترین چیزی که به نظر می‌رسد این است که عبور جریان هوا از کف محفظه و تزریق سوخت به داخل این جریان صورت می‌پذیرد.




شکل (۱-۲). روند تکامل محفظه احتراق [۱].

در شکل (a-۲-۱) متاسفانه این شکل ساده قابل استفاده نیست، چون افت فشار متناسب با توان دوم سرعت است و سرعت ورودی محفظه‌ها در حدود ۱۵۰ متر بر ثانیه است، در این شرایط، تقریبا ۱/۴ فشاری که در کمپرسور تأمین شده افت می‌شود که اصلا مناسب نیست. روشی که اغلب بکار برده می‌شود استفاده از دیفیروژر است. در شکل (b-۲-۱) فاکتور کاهش سرعت این دیفیوژرها در حدود ۵ است اما اشکال محفظه با دیفیوژر این است که چون هوا از اطراف نازل با سرعت عبور می‌کند که شرایط برای ثبات شعله مناسب نیست. پس باید یک حفاظ در مسیر هوا قرار دهیم تا در اطراف شعله سرعت هوا کم باشد (شکل ۱-۲-c). تنها نقص باقیمانده این است که برای تأمین دبی مورد نیاز توربین احتیاج به مقدار بسیار زیاد هوا هست که باعث بالا رفتن نسبت هوا به سوخت خواهد شد؛ که در چنین نسبت‌هایی امکان احتراق هیدروکربن‌ها وجود ندارد. برای حل این مشکل بجای حفاظ گفته شده از یک آستر سوراخ شده استفاده می‌شود (شکل ۱-۲-d). کار این آستر آن است که اولا یک ناحیه سرعت پایین در اطراف مشعل‌ها ایجاد می‌کند تا شعله نگهداری شود ثانیاً هوا در دو مرحله وارد محفظه می‌شود. کسری از هوا که درحد نسبت سوخت به هوای مورد نیاز است، از کف محفظه وارد می‌شود در مباحث تئوری پیشنهاد شده یک سوم هوا (و یا کمتر) صرف احتراق شود. با استفاده از این آستر محفظه احتراق دارای نواحی گوناگون خواهد بود [۱].

ناحیه ابتدایی که درکف محفظه وجود دارد، ناحیه چرخشی که در این ناحیه اغلب سوخت و هوا برای احتراق آماده می‌شوند. ناحیه شعله که عمل احتراق در این ناحیه کامل می‌شود. ناحیه رقیق‌سازی که هوای اضافی با محصولات احتراق ترکیب می‌شود تا دمای مناسب حاصل شود. در حالت ایده‌آل نباید در ناحیه رقیق‌سازی احتراق انجام شود؛ اما در عمل گاهی مقداری سوخت به این ناحیه می‌رسد و در این مرحله عمل احتراق رخ می‌دهد [۱].

### ۱-۳- پارامترهای مهم در محفظه احتراق

برای مقایسه دو محفظه می‌توان یک سری پارامترهای تعیین‌کننده را مقایسه کرد [۲].

#### ۱-۳-۱- راندمان محفظه احتراق

این پارامترکه معیاری برای اندازه‌گیری بازده و کارایی احتراق است، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta = 1 - \frac{T_{max} - T_{av}}{T_{max}} \qquad (۱-۱)$$

**۱-۳-۲- درصد احتراق**

درصد احتراق با کاهش میزان متان خروجی قابل محاسبه است، هرچقدر درصد متان خروجی کمتر باشد نشان‌دهنده این است که احتراق کامل‌تر است.

**۱-۳-۳- ضریب شکل[۱]**

به‌نوعی شکل بی‌بعد شده اختلاف دما در خروجی است که بدین شکل تعریف می‌شود:

$$P.F = \frac{T_{max} - T_{av}}{T_{av} - T_{in}} \qquad (۲-۱)$$

$T_{max}$ بیشترین دما در مقطع خروجی، $T_{av}$ دمای متوسط وزنی در خروج از محفظه و $T_{in}$ دمای میانگین وزنی دمای تمام ورودی‌ها به محفظه است.P.F پارامتر بسیار با اهمیتی می‌باشد هرچقدر میزان عددی P.F در خروجی محفظه کمتر باشد نشان‌دهنده این است که دمای متوسط خروجی به دمای ماکزیمم نزدیک‌تر است پس ایده‌آل این است که مقدار P.F تا حد ممکن کوچک باشد [۳].

**۱-۴- مروری برکارهای انجام شده**

در زمینه شبیه‌سازی عددی محفظه احتراق کارهای زیادی انجام شده است. در اینجا به تعدادی از آن‌ها اشاره خواهد شد. لازم به ذکر است در همه موارد شعله از نوع دیفیوژن است. در سال ۱۹۸۰ جونز و پریدن حل سه‌بعدی برای جریان و میدان‌های دما و غلظت نمونه‌های جرمی برای یک محفظه با سوخت Kerosene را ارائه کردند. به علت نبودن نتایج تجربی برای این مسئله اعتبار شبیه‌سازی به وسیله یک محفظه دیگر بررسی شد [۴].

در سال ۱۹۸۸ جونز و مک گورک شبیه‌سازی محفظه را با استفاده از یک مدل اصلاح‌شده برای اغتشاش انجام داده و اثر مکانیزم‌های محفظه مانند اثر تشعشع را بررسی کردند [۲]. در سال ۲۰۰۰ جونز و تورال مقادیر دما و توزیع نمونه‌های جرمی دریک محفظه از نوع بسته را مورد

[۱] Pattern Factor

بررسی قرار دادند در این کار اثر پیش گرم کردن هوای ورودی بر روی پارامترهای محفظه بررسی شده است[۳]. در سال ۲۰۰۳ هوکام و همکارانش یک روش نیمه تحلیلی برای طراحی یک محفظه احتراق ارائه کردند به این ترتیب که دریک محفظه حلقوی، جریان برگشتی تحلیل شده است.

خارج محفظه اصلی جریان دارد با یک تحلیل یک بعدی حل شده و قسمت داخلی با یک حل عددی جریان به‌طور سه بعدی حل شده است. از نتایج حل یک بعدی به عنوان شرایط مرزی برای حل عددی استفاده شده است.

در سال ۲۰۰۳ یاگا و همکارانش مدل‌سازی احتراق یک محفظه نمونه را با استفاده از مدل EDC انجام دادند و برای اغتشاشات از مدل LES[۱] استفاده کردند [۶]. در سال ۲۰۰۵ کوروساوا و همکارانش ساختار شعله‌های پخشی چرخشی را در محفظه احتراق توربین گاز، مورد بررسی قرار دادند در این تحقیق دو مشعل کنار هم بررسی شد و اثر چرخشی آن‌ها بر یکدیگر بررسی شد [۷].

در سال ۲۰۰۳ مگل و همکارانش یک شعله دیفیوژن متان را شبیه‌سازی عددی کردند. در این مدل‌سازی از روش EDC[۲] استفاده شده و جزئیات نسبتا مفصلی از واکنش در نظر گرفته شده است [۷].

در سال ۲۰۰۷ آرفی یک تغییر در محفظه احتراق را بررسی کرده‌اند توجه اساسی ایشان به میزان تغییر تولید آلودگی محفظه در اثر این تغییر بوده است [۸].

در سال ۲۰۰۷ راتیگان و همکارانش اثر تشعشع را در شعله متان بررسی کردند. در سال ۲۰۰۷ ویدمن و همکارانش برای یک نوع جریان احتراقی که شعله‌اش به‌وسیله چرخش پایدار شده نشان دادند که استفاده از RNG[۳] برای مدل‌سازی اغتشاشات نتایج بهتری را نسبت به مدل $K-\varepsilon$ استاندارد می‌باشد [۹].

**۱-۵- مروری کوتاه بر روی اشکال محفظه‌های احتراق**

---

۱ Large Eddy Simulation

۲ Eddy Dissipation Concept

۳ Renormalization Group

اولین محفظه احتراق توربین گازی در سال ۱۹۳۹ توسط شرکت Brown– Boveri ساخته شد. این محفظه احتراق (شکل ۱-۳-a) دارای کلیه ویژگی‌های اصلی موجود در تمامی محفظه‌های احتراق بعدی است.

الف) از یک چرخنده برای روان بودن هوای اولیه و پایداری شعله استفاده شد. جریان‌های متقابل هوا و سوخت موجب پایداری شعله می‌شود.

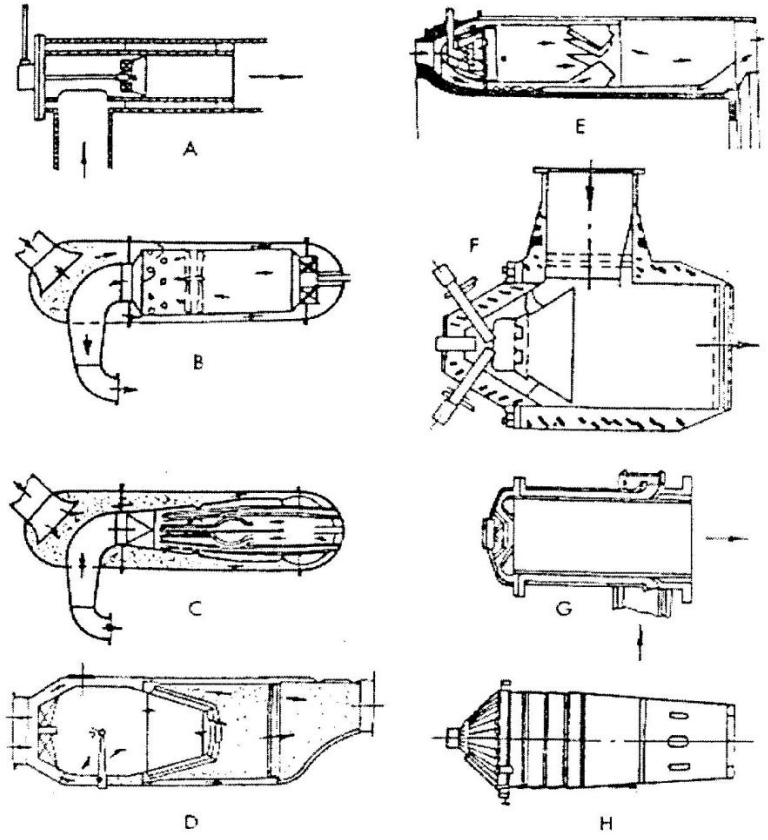
ب) هوا به دو بخش اولیه و ثانویه تقسیم شد مقداری هوای اولیه به‌منظور بهینه‌سازی احتراق در لوله شعله وارد گردید. هوای ثانویه با گازهای داغ مخلوط شد تا دما به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یابد. آزمایش موتور توربین گازی با این محفظه احتراق در ژوئن ۱۹۳۹ توسط شرکت معروف Stodola انجام شد.

افت فشار در محفظه احتراق ۱/۶ درصد دمای شعله ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و گرمای آزاد شده برابر $۵ \times ۱۰^{۶}$ kcal/m$^3$ بود. راندمان احتراق نیز خیلی بالا بود. راندمان کل موتور در ساده‌ترین ترکیب کمپرسور، محفظه احتراق و توربین ۱۸/۳ درصد بود مرور تاریخی زیر برای محفظه‌های احتراق نشانگر ویژگی‌های اصلی است که سهم مهمی در توسعه محفظه‌های احتراق داشته‌اند. محفظه احتراق Whittle (شکل ۱-۳-b) در اولین هواپیمای جت استفاده شد. همانند موتور Boveri-Brown دریک چرخاننده جهت پایداری شعله تبخیری، مشابه موتور پریموس (Primus) (شکل ۱-۳-c) استفاده کرد این وسیله عملکرد بدی داشت زیرا در لوله‌های تبخیر تشکیل کک کرد که موجب گرفتگی شد [۱۰].

چندین سال بعد به‌طور موفقیت‌آمیز از این اصل تبخیر در موتورهای توربین گازی مامبا (Mamba) دو محفظه احتراق طراحی‌شده در ابتدای دورانی توربین گازی (۱۹۴۳-۱۹۳۸) را باید ذکر کرد. این محفظه‌ها در آلمان برای موتورهای توربین گازی UMO-۰۰۴ (شکل ۱-۳-d) و ۰۰۳-BMW (شکل ۱-۳-e) طراحی شدند.

در UMO-۰۰۴ سوخت در خلاف جهت هوای اولیه در حال دوران تزریق گردید، پس از چرخاننده صفحه صافی عمود بر جهت جریان قرار دارد. صفحه که توسط لوله‌های هوا سرد نگهداشته شده است بر فرآیند اختلاط بهتر برای احتراق کمک می‌کند. موتور توربین گازی BMW-۰۰۳ آلمانی دارای اولین محفظه احتراق حلقوی بود [۷].

در محفظه احتراق Eliot (شکل ۱-۳-f) از دو گردابه در یک لوله زانویی شکل استفاده شد. این طرح برای پایداری شعله است محفظه احتراق ساخته شده توسط دانشمند معروف روسی Georgy zoti (شکل ۱-۳-g) دارای جریان‌هایی با جهت مخالف است. جریان‌ها از طریق برخورد مسیرها با زاویه‌های خاص نسبت به موتور محفظه ایجاد می‌گردد. در اختراع Kristich (شکل ۱-۳-h) از پایدارکننده های V شکل نصب شده بر روی سطح یک مخلوط استفاده شد. از اختراع Kristich zotiokov بر روی موتورهای توربین گازی استفاده شد [۷].




شکل (۱-۳): مراحل اصلی در توسعه محفظه‌های احتراق توربین‌های گازی [۷].

**۱-۶- ویژگی‌های کار حاضر**

در قیاس با کارهای انجام شده که در قسمت قبل به آن‌ها اشاره شد، کار حاضر دارای وجه تمایزی به شرح ذیل است: در این محفظه بفل‌هایی در مسیر جریان وجود دارد که باعث چرخش گازهای احتراق و کامل‌تر شدن آن می‌شود و این شرایط به شرایط ایده‌آل نزدیک‌تر است در حالی که

کارهای انجام شده اکثرا مسئله محدود به یک مشعل بوده است. اضافه بر این محفظه به‌صورت سه بعدی و با در نظر گرفتن جزئیات حل شده است.