

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک، سیستم محرکه خودرو

ارائه یک مدل ترمودینامیکی جهت شبیه سازی تاثیر افزودن هیدروژن به سوخت گاز طبیعی
در بازده موتور و آلاینده های خروجی از موتورهای اشتعال جرقه ای

استاد راهنما:

دکتر علی کشاورز

استاد مشاور:

دکتر سید علی جزایری

پژوهشی و تدوین:

هادی یونسیان

شهریور ماه 1390

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: هادی یونسیان

را با عنوان: ارائه یک مدل ترمودینامیکی جهت شبیه سازی تاثیر افزودن هیدروژن به سوخت گاز طبیعی در بازده موتور و آلاینده های خروجی از موتورهای اشتعال جرقه ای

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
	دانشیار	دکتر علی کشاورز	1- استاد راهنما
	دانشیار	دکترسید علی جزایری	2- استاد مشاور
	دانشیار	دکترمسعود ضیاءبشرحق	3- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر امیرحسین شامخی	4- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر امیرحسین شامخی	5- نماینده تحصیلات تکمیلی

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه:

ارائه یک مدل ترمودینامیکی جهت شبیه سازی تاثیر افزودن هیدروژن به سوخت گاز طبیعی در بازده موتور و آلاینده های خروجی از موتورهای اشتعال جرقه ای استاد راهنما: دکتر علی کشاورز

نام دانشجو: هادی یونسیان

شماره دانشجویی: 8702374

اینجانب هادی یونسیان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش سیستم محرکه خودرو دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده است و صحت مطالب نگارش شده مورد تایید می‌باشد. همچنین در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. همچنین گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیاز توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت نموده‌ام.

هادی یونسیان

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

- 1- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده می باشد. هر گونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.
- 2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

تشر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانم از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر علی کشاورز و دکتر سیدعلی جزایری قدردانی و تشر نمایم. همچنین از دوست عزیزم، مهندس جعفر هاشمی که در طول انجام پایان‌نامه با پیشنهادات و نظرات کارشناسی خود مرا یاری نمودند، تشر می‌نمایم. در نهایت مراتب سپاسگزاریم را نسبت به زحمات و تلاش‌های خانواده عزیزم، به خصوص پدر و مادر بزرگوار و فداکارم که همواره همراه و پشتیبان من بودند، ابراز می‌دارم.

چکیده

در این پایان نامه سعی شده است تا با استفاده از روابط حاکم بر سیکل بسته موتورهای اشتعال جرقه ای و استفاده از معادلات قانون اول ترمودینامیک و بقاء جرم و سایر روابط تجربی و نیمه تجربی موجود، شاخص های مهم یک موتور گازسوز تا حد امکان پیش بینی گردد.

این شبیه سازی شامل محاسبات کامل سیکل بسته با استفاده از پارامترهای هندسی موتور، زمان بندی سوپاپها، زمان جرقه زنی، مشخصات سوخت و شرایط کاری موتور بوده و فرآیندهای تراکم، احتراق، انبساط را برای هر یک از سیلندرها در بر می گیرد سپس معادله قانون اول ترمودینامیک برای هر یک از این حجم های کنترلی حل و ارضاء می گردد.

این کد بعنوان یک ابزار مناسب جهت پیش بینی مشخصه های عملکردی یک موتور اشتعال جرقه ای با ترکیب سوخت گاز طبیعی و هیدروژن بکار می رود. بگونه ای که قابلیت پیش بینی پارامترهای مختلف موتور نظیر: اندازه دما و فشار داخلی موتور و میزان انتقال حرارت و آزادسازی حرارت و ضریب انتقال حرارت بر حسب زاویه میل لنگ و همچنین آلاینده های خروجی از موتور و پیش بینی احتمال وقوع کوبش در موتور را دارا می باشد.

جهت اطمینان از صحت و دقت محاسبات، نتایج حاصله با نتایج تجربی موتور شش سیلندر شرکت دانگ فیگ موتور مقایسه گردیده است که تطابق خوبی بین آنها مشاهده گردیده است.

واژه های کلیدی: موتور ، مدلسازی موتور ، سیکل بسته ، مدلسازی احتراق سوخت ترکیبی گاز طبیعی و هیدروژن

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	فهرست جدول‌ها
د	فهرست شکل‌ها
و	فهرست علائم و نشانه‌ها
1	فصل 1- مقدمه
2	1-1- مدل‌های تحلیلی
2	1-1-1- مدل‌های پر و خالی شونده
3	1-1-1-1- مدل‌های صفر بعدی
4	1-1-1-2- مدل‌های صفر بعدی چند ناحیه ای یا شبه ابعادی
5	1-1-2- مدل دینامیک موجی
6	1-1-3- مدل‌های سه بعدی
6	1-1-4- مدل‌های مقدار متوسط
7	1-2- مقدمه‌ای بر گاز طبیعی و هیدروژن
9	1-2-1- دلایل مطلوبیت ویژه گاز طبیعی و هیدروژن
14	1-3- مروری بر ادبیات موضوع
16	1-4- اهداف و ویژگی‌های مطالعه حاضر
17	1-5- محتویات مطالعه
18	فصل 2- اصول عملکرد موتور و سیال عامل
18	1-2- مقدمه
18	2-2- ترمودینامیک بار درون سیلندر
22	1-2-2- خواص ترمودینامیکی مخلوط‌های گازی
26	2-3- پارامترهای موتور
30	2-4- مرحله تراکم
32	2-5- مرحله احتراق
35	2-6- مرحله انبساط
36	2-7- مدل انتقال حرارت
38	2-8- تابع وایب

39.....	9-2 - بعضی از پارامترهای عملکردی موتور
41.....	10-2 - استفاده از مدل کانترا
42.....	1-10-2 - مقایسه کمکین و کانترا
44.....	فصل 3- حل دستگاه معادلات
44.....	1-3 - مقدمه
45.....	2-3 - مدل سازی آلاینده‌گی
45.....	1-2-3 - اکسیدهای نیتروژن (NO_x)
47.....	2-2-3 - منواکسید کربن (CO)
48.....	3-3 - مدلسازی کوبش
50.....	فصل 4- صحه گذاری مدل
50.....	1-4 - نتایج تجربی
51.....	1-1-4 - صحه گذاری نتایج حاصل از کانترا
56.....	2-4 - صحه گذاری نمودارهای فشار
60.....	3-4 - بررسی دمای محفظه احتراق
62.....	4-4 - صحه گذاری نمودارهای آلاینده‌گی
63.....	1-4-4 - بررسی آلاینده‌گی NO_x
67.....	2-4-4 - بررسی آلاینده‌گی CO
73.....	5-4 - بررسی نمودارهای عملکردی در موتور
79.....	6-4 - بررسی وقوع کوبش در موتور
83.....	فصل 5- نتایج
84.....	1-5 - دورنمای برنامه
85.....	2-5 - پیشنهادات
87.....	فهرست مراجع

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول 1-1: ارزش حرارتی گازهای مختلف	11
جدول 2-1: مقادیر نسبت تراکم و عدد اکتان گازهای مختلف	13
جدول 1-2: جدول ضرایب C_1 و C_2 در حالت های مختلف تبادل گاز	37
جدول 2-2: جدول میزان خطای حاصله از نتایج کانتررا در مقایسه با کمکین	43
جدول 1-4: جدول مشخصات موتور شرکت دانگ فیگ ، موتور مورد شبیه سازی شده در برنامه	50
جدول 2-4: جدول بررسی میزان خطای حاصله از نتایج کانتررا در مقایسه با نرم افزار CEA	56

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل 1-1. نواحی مد نظر در توسعه مدل صفر بعدی دو ناحیه ای توسط راکپولس و همکارانش	4
شکل 1-2. نواحی مد نظر مدل صفر بعدی سه ناحیه ای توسعه داده شده توسط گائو و همکارانش	5
شکل 1-2. تصویر شماتیکی مدل دو ناحیه ای	35
شکل 2-2. نمودار تغییرات مقایسه نتایج کمکین و کانترا در یک مکانیزم مشابه	43
شکل 1-4. تصویر صفحه ابتدایی نرم افزار CEA	51
شکل 2-4. تصویر صفحه ابتدایی نرم افزار CEA بعد از اجرای برنامه	52
شکل 3-4. تصویر صفحه گزارش نرم افزار CEA و لیست کسر مولی ذرات	53
شکل 4-4. تصویر صفحه گزارش نرم افزار متلب	54
شکل 5-4. تصویر صفحه گزارش نرم افزار متلب و لیست کسر مولی ذرات	55
شکل 4-6. نمودار تغییرات فشار داخل محفظه احتراق موتور ، مخلوط 100 % گاز طبیعی	57
شکل 4-7. نمودار تغییرات فشار داخل محفظه احتراق موتور ، مخلوط 70% گاز طبیعی	57
شکل 4-8. نمودار مقایسه ای درصد خطای حاصله از مدل سازی فشار نسبت به نتایج تجربی	58
شکل 4-9. نمودار تغییرات فشار برای نسبتهای ترکیبی 0% و 30% و 50% هیدروژن به گاز طبیعی	59
شکل 4-10. نمودار تغییرات فشار نسبتهای ترکیبی 0% ، 10% ، 30% ، 50% هیدروژن به گاز طبیعی	59
شکل 4-11. نمودار تغییرات دما داخل محفظه احتراق موتور، مخلوط 100 درصد گاز طبیعی	60
شکل 4-12. نمودار تغییرات دما داخل محفظه احتراق موتور ، مخلوط 70% گاز طبیعی	61
شکل 4-13. نمودار دمای نواحی سوخته و نسوخته در موتور	61
شکل 4-14. نمودار تغییرات دما برای نسبتهای ترکیبی 0% و 30% و 50% هیدروژن به گاز طبیعی	62
شکل 4-15. نمودار آلاینده‌گی NOx در موتور ، با ترکیب 30 درصد هیدروژن	63
شکل 4-16. نمودار آلاینده‌گی NOx در موتور در دور موتور 3000 rpm	64
شکل 4-17. نمودار تغییرات آلاینده‌گی NOx نسبتهای ترکیبی 0% و 10% و 30% و 50% هیدروژن	64
شکل 4-18. نمودار مقایسه ای آلاینده‌گی NOx نسبتهای ترکیبی 50% هیدروژن به گاز طبیعی	65
شکل 4-19. نمودار مقایسه ای آلاینده‌گی NOx نسبتهای ترکیبی 30% هیدروژن به گاز طبیعی	66
شکل 4-20. نمودار مقایسه ای آلاینده‌گی NOx نسبتهای ترکیبی 10% هیدروژن به گاز طبیعی	66
شکل 4-21. نمودار مقایسه ای آلاینده‌گی NOx در موتور برای 100% گاز طبیعی	67
شکل 4-22. نمودار آلاینده‌گی CO در موتور ، با ترکیب 30 درصد هیدروژن	68

- شکل 4-23. نمودار آلاینده‌گی CO در موتور ، مخلوط 70٪ گاز طبیعی و 30٪ هیدروژن.....68
- شکل 4-24. نمودار آلاینده‌گی CO برای نسبت‌های ترکیبی 0٪ و 30٪ و 50٪ هیدروژن69
- شکل 4-25. نمودار تغییرات آلاینده‌گی CO برای نسبت‌های ترکیبی مختلف هیدروژن بر حسب Φ70
- شکل 4-26. نمودار تغییرات راندمان حرارتی برای نسبت ترکیبی 0٪ و 50٪ هیدروژن به گاز طبیعی. 70
- شکل 4-27. نمودار مصرف سوخت ویژه برای نسبت‌های ترکیبی 0٪ و 10٪ و 30٪ و 50٪ هیدروژن ... 71
- شکل 4-28. نمودار تغییرات مصرف سوخت ویژه برای نسبت‌های مختلف هیدروژن به گاز طبیعی 71
- شکل 4-29. نمودار تغییرات فشار متوسط موثر ترمزی برای نسبت‌های مختلف هیدروژن به گاز طبیعی 72
- شکل 4-30. نمودار تغییرات حجم محفظه احتراق موتور برحسب زاویه میل لنگ73
- شکل 4-31. نمودار ضریب انتقال حرارت در موتور شبیه سازی شده 73
- شکل 4-32. نمودار نرخ انتقال حرارت در موتور شبیه سازی شده 74
- شکل 4-33. نمودار تغییرات کار خروجی در دور موتور 1200 rpm..... 74
- شکل 4-34. نمودار کار خروجی موتور برای نسبت ترکیبی 30٪ هیدروژن به گاز طبیعی..... 75
- شکل 4-35. نمودار نرخ آزادشدن حرارت در محفظه احتراق موتور با مخلوط 30٪ هیدروژن 75
- شکل 4-36. نمودار ضریب انتقال حرارت در محفظه احتراق موتور 76
- شکل 4-37. نمودار نرخ انتقال حرارت در موتور 76
- شکل 4-38. تعداد 6 نمونه از نمودار های عملکردی موتور برای نسبت ترکیبی 30٪ هیدروژن 77
- شکل 4-39. نمودار تغییرات گشتاور ، نسبت‌های 0٪ و 10٪ و 30٪ و 50٪ هیدروژن به گاز طبیعی 77
- شکل 4-40. نمودار تغییرات گشتاور با افزودن 0٪ و 10٪ و 30٪ و 50٪ هیدروژن بر دور موتور 78
- شکل 4-41. نمودار پیش بینی کوبش با افزودن هیدروژن به موتور 79
- شکل 4-42. نمودار پیش بینی کوبش با افزودن نسبت هوای اضافی برحسب زاویه میل لنگ 80
- شکل 4-43. نمودار پیش بینی کوبش در موتور با پیش اندازی جرقه برحسب زاویه میل لنگ 81
- شکل 4-44. نمودار پیش بینی کوبش در موتور با تغییردمای هوای ورودی برحسب زاویه میل لنگ 81
- شکل 4-45. نمودار پیش بینی کوبش در موتور با تغییرات نسبت تراکم برحسب زاویه میل لنگ 82

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
مساحت سر تاج پیستون در حالت سر تخت	A_p
نسبت هوا به سوخت	A/F
بعد از نقطه مرگ پایین	$ABDC$
بعد از نقطه مرگ بالا	$ATDC$
قطر داخلی سیلندر	B
قبل از نقطه مرگ پایین	$BBDC$
نقطه مرگ پایین	BDC
قبل از نقطه مرگ بالا	$BTDC$
زاویه میل لنگ (درجه)	CA, θ
نسبت سوخت به هوا	F/A
موتور احتراق داخلی	ICE
ثابت تعادل شیمیایی	K_e
وقوع ناک در زاویه میل لنگ	$KOCA$
عدد اکتان موتوری	MON
تعداد مول ها	n
فشار	P
گرما	Q
ارزش حرارتی سوخت	Q_{HV}
طول دسته پیستون به شعاع لنگ	R
فاصله جابه جایی (پیستون)	S
دما	T
دمای دیواره	T_w
نقطه مرگ بالا	TDC
حجم	V
گرمای ویژه در فشار ثابت	C_p

C_v	گرمای ویژه در حجم ثابت
e	انرژی داخلی
h	آنتالپی
K	ثابت واکنش سیننتیک
m	جرم
r_c	نسبت تراکم
rpm	دور بر دقیقه
ρ	چگالی
x	کسر مولی اجزاء
τ	گشتاور
Φ	نسبت سوخت به هوای بی بعد

فصل 1 - مقدمه

امروزه مدل سازی موتورهای احتراق داخلی موضوعی ارزشمند، جذاب و گسترده به شمار می آید. با استفاده از مدل های ریاضی می توان فرآیند طراحی موتور را با صرف هزینه کمتری انجام داد. مدل های ریاضی نمی توانند جایگزین آزمون موتور در فرآیند طراحی یا بهینه کردن موتور گردند. با این وجود به کمک آنها می توان میزان آزمون های مورد نیاز را تا حد قابل قبولی کاهش داد. در حال حاضر دانشگاهها و موسسات تحقیقاتی فراوانی در سراسر دنیا در زمینه مدلسازی موتور فعالیت می کنند و هرکدام بر اساس اهدافی که دنبال می کنند مدلی منحصر به فرد و با ساختاری متفاوت ارائه کرده اند شرکت های تجاری نیز با استفاده از مدل های ریاضی موجود نرم افزارهایی را ارائه می کنند که بیشتر جنبه تجاری داشته و ساختار آنها طوری طراحی شده است که سایر افراد نیز بتوانند از آنها به راحتی استفاده کنند . در این راستا می توان به نرم افزارهای ویو¹، پرومو²، مرلین³ و جی تی - سوئیت⁴ اشاره کرد. اگرچه ساختار مدل های مذکور تا حدودی پیچیده می باشد ولی اصول مدلسازی موتور مشخص بوده و درک آن نیز آسان می باشد . پیچیدگی موجود در ساختار مدل های پیشرفته امروزی ، بدلیل روش های محاسباتی بوده و از جزییات فرآیند شبیه سازی موتور ناشی می شود.

در مدل های ریاضی ، مجموعه ای از روابط تجربی، آزمایشگاهی و تحلیل رفتار ترمودینامیکی موتور به کار گرفته شده و هدف پیش بینی رفتار موتور را دنبال می کنند. مدل هایی که در ساختار آنها بیشتر از روابط تحلیلی استفاده می شود ، جهت تخمین متغیرهای عملکردی موتور با جزئیات کافی در بازه های زمانی مختلف به کار برده می شوند و زمان اجرای بالایی دارند. در مقابل ، مدل های که در ساختار آنها بیشتر از روابط تجربی استفاده می شود، جهت تعیین رفتار کلی موتور در شرایط کاری مختلف به کار برده می شود و زمان اجرای کمتری دارند. در ادامه دسته بندی کلی مدل های ریاضی موجود در زمینه شبیه سازی رفتار ترمودینامیکی موتورهای اشتعال جرقه ای ارائه می شود.

1 - WAVE
2 - PROMO
3 - MERLIN
4 - GT-suite

1-1 - مدل های تحلیلی

1-1-1 - مدل های پر و خالی شونده¹

یک روش عمومی جهت مدلسازی موتورهای اشتعال جرقه ای، روش پر و خالی شونده می باشد. برنامه شبیه ساز موتورهای احتراق داخلی ، اسپایس²، که توسط چارلتون³ در سال 1986 میلادی ارائه شد نمونه ای از این نوع مدل ها می باشد [1]. در مدلسازی موتور به روش پر و خالی کننده، موتور به چندین حجم کنترل های در نظر گرفته شده و با این فرض که گازهای عبوری از هر حجم کنترل از قانون گاز ایده آل پیروی می کنند ، عملکرد موتور در شرایط کاری مختلف تخمین زده می شود. در توسعه مدل های پر و خالی کننده جهت محاسبه خواص گازهای عبوری از سیستم چند جمله هایی که بر حسب دما ، فشار و نسبت هم ارزی⁴ توسعه یافته اند استفاده می شود. جهت شبیه سازی فرآیند احتراق در مدل های پر و خالی کننده معمولاً از مدل های صفر بعدی⁵ استفاده می شود. از آنجایی که مدل های صفر بعدی توانایی تخمین میزان آلاینده های خروجی از موتور را ندارند از مدل های صفر بعدی چند ناحیه ای⁶ یا شبه ابعادی⁷ نیز در توسعه مدل های پر و خالی کننده استفاده می شود [1]. جهت میزان کردن مدل های پر و خالی کننده، معمولاً از نتایج حاصل از آزمون موتور استفاده می شود. میزان سازی مدل فرآیندی است که در آن مقادیر ثوابت تجربی به کار رفته شده در مدل به کمک نتایج حاصل از آزمون موتور تعیین می شوند. مدل های پر و خالی کننده از دقت کافی جهت شبیه سازی رفتار ترمودینامیکی موتور در شرایط کاری مختلف برخوردار می باشند. سرعت محاسبات در مدل های پر و خالی کننده نسبتاً بالا است. مدل های پر و خالی را می توان در فازهای اولیه و نهایی طراحی موتور استفاده کرد. نکته دیگر این که تنها به کمک این مدل است که می توان تمام اجزای موتور را مدلسازی کرد و تاثیر عملکرد هر جز را بر عملکرد کلی موتور مورد بررسی قرار داد.

این مدل برحسب نوع زیر مدل احتراقی که در ساختار آنها به کار می رود به دو دسته مدل های صفر بعدی و صفر بعدی چند ناحیه ای شبه ابعادی طبقه بندی می شوند که بر اساس آن محفظه احتراق به چندین قسمت بر اساس فرآیند پاشش سوخت و احتراق تقسیم می گردد. در مقایسه با

1 - Filling and Emptying Models

2 - Spice

3 - Charlton

4 - Valve

5 - Orifice

6 - Equivalence Ratio

7 - Zero-dimensional Models

مدل های صفر بعدی که تنها از روابط ترمودینامیکی در توسعه آنها استفاده می شود، مدل های صفر بعدی چند ناحیه ای یا شبه ابعادی مدل هایی هستند که در توسعه آنها تاثیر گاز موجود در محفظه احتراق نیز جهت محاسبه نرخ آزاد شدن گرما¹ مد نظر قرار می گیرد. مدل های صفر بعدی چند ناحیه ای یا شبه ابعادی توانایی محاسبه آلایندهای حاصل از احتراق را با دقت کافی دارا می باشند. زمان محاسبات در مدل های صفر بعدی چند ناحیه ای یا شبه ابعادی از مدل های صفر بعدی بیشتر است ولی در مقایسه با مدل های دینامیک سیالات محاسباتی² از زمان اجرای کمتری برخوردار هستند. در ادامه مدل های صفر بعدی و صفر بعدی چند ناحیه ای یا شبه ابعادی را معرفی می کنیم و توانایی آنها را در زمینه شبیه سازی عملکرد موتور مورد بررسی قرار می دهیم.

1-1-1-1- مدل های صفر بعدی

ساختار این نوع مدل ها بسیار ساده می باشد و در توسعه آنها بیشتر از روابط تجربی استفاده می شود. در مدل سازی موتور به کمک مدل های صفر بعدی فرض بر این است که محتویات سیلندر را در هر لحظه، مخلوط همگنی از هوا، سوخت و محصولات احتراق تشکیل می دهد. نمونه های فراوانی از مدل های مذکور را می توان در بعضی از مراجع یافت [2]. در مدل سازی فرآیند احتراق به کمک مدل های صفر بعدی معمولاً از داده های فشار بر حسب درجه دوران میل لنگ جهت میزان سازی مدل استفاده می شود [2]. از مدل های صفر بعدی نمی توان در زمینه طراحی موتور استفاده کرد ولی می توان از آنها در فرآیند آزمون موتور، جهت توسعه داده های اندازه گرفته شده، استفاده کرد [1]. فرآیند میزان سازی مدل های صفر بعدی به علت ضرایب تجربی فراوانی که در زیر مدل های مختلف آنها موجود می باشد تا حدودی پیچیده است.

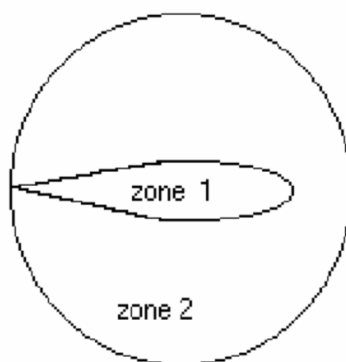
1 - Heat Release Rate

2 - CFD Model

1-1-1-2- مدلهای صفربعدی چند ناحیه ای یا شبه ابعادی

مدلهای صفربعدی دو ناحیه ای

در توسعه این نوع مدل ها محفظه احتراق به دو ناحیه مخلوط هوا و سوخت و مخلوط هوا و محصولات احتراق تقسیم میگردد. مدل های صفر بعدی دو ناحیه ای به صورت گسترده در زمینه شبیه سازی فرآیند احتراق در موتورهای اشتعال جرقه ای¹ به کار برده می شوند. در زمینه مدل سازی فرآیند احتراق در موتور نیز تا حدودی از مدل های صفربعدی دو ناحیه ای استفاده می شود. در مدل مذکور فرض شده است که احتراق در مرز میان اسپری و محیط اطراف روی می دهد.



شکل 1-1. نواحی در نظر گرفته شده در توسعه مدل صفر بعدی دو ناحیه ای توسط راکپولس و همکارانش

مدل های صفر بعدی سه ناحیه ای²

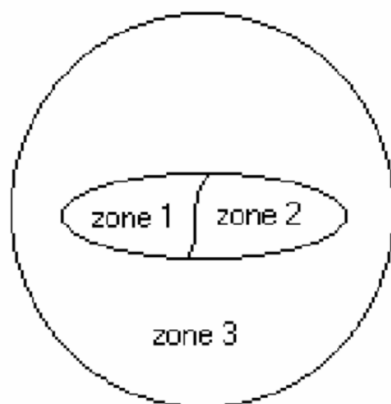
مدل های صفر بعدی سه ناحیه ای عموماً جهت مدل سازی فرآیند احتراق در موتورهایی به کار گرفته می شوند که از دو سوخت متفاوت استفاده می کنند. به عنوان مثال گائو و همکارانش³ [1] جهت مدل سازی فرآیند احتراق در یک موتور دیزل که از سوخت دیزل و اتانول همزمان استفاده می کردند⁴، مخلوط هوا و سوخت دیزل و اتانول به عنوان ناحیه دوم و محصولات احتراق به عنوان ناحیه سوم در نظر گرفته شده است. در مدل مذکور فرض شده است که سوخت دیزل به عنوان عامل احتراق عمل کرده و سبب سوختن نواحی اول و دوم می گردد. نمونه ای از ناحیه بندی محفظه احتراق در این نوع مدل در شکل 2-1 نشان داده شده است .

1 - Zero-dimensional Two Zone Models

2 - Zero-dimensional Three Zone Models

3 - Gao et al

4 - Ethanol Fuelled Diesel Engine



شکل 1-2. نواحی در نظر گرفته شده در توسعه مدل صفر بعدی سه ناحیه ای توسعه داده شده توسط گائو و همکارانش

سایر مدل های صفر بعدی چند ناحیه ای

در اکثر مدل های صفر بعدی چند ناحیه ای یا شبه ابعادی که در توسعه آنها بیش از سه ناحیه لحاظ می شود ، اسپری سوخت پاشیده شده به درون محفظه احتراق به چندین ناحیه تقسیم می گردد. فرآیند احتراق از پیچیدگی های خاصی برخوردار می باشد. ابزارهای موجود جهت مطالعه و تجزیه و تحلیل این فرآیند نظیر دوربین های تصویر برداری در ادوار مختلف قابلیت محدودی داشته اند و با گذشت زمان به قابلیت آنها افزوده شده است. مدل های صفر بعدی چند ناحیه ای موجود در زمینه شبیه سازی فرآیند احتراق دیزل نیز به همراه بهبود عملکرد ابزارهای موجود در زمینه مطالعه فرآیند احتراق ، بهبود یافته اند.

1-1-2 - مدل دینامیک موجی¹

در شبیه سازی موتور به کمک مدل های پر و خالی کننده ، امواج فشار ایجاد شده در منیفولد های ورودی و خروجی در نظر گرفته نمی شوند. جریان گازهای عبوری از منیفولدهای ورودی و خروجی به دلیل امواج فشار ایجاد شده در آنها بر اثر باز و بسته شدن سوپاپ ها ناپایدار می باشد. امواجی که فشار ایجاد شده در درون منیفولدها را دارا هستند، مدل های دینامیک موجی یا مدل های

یک بعدی ناپایدار¹ نامیده می شوند[2]. در مدل های مذکور معادلات جریان ناپایدار حاکم بر رفتار گازهای عبوری از منیفولدها حل می شوند. جهت حل معادلات مذکور از روش مشخصه ها² و یا روش تفاضل محدود³ استفاده می شود. به کمک مدل های دینامیک موجی می توان عملکرد پرخوران، طراحی منیفولدها و فرآیند روبش سیلندرها را در رابطه با امواج ایجاد شده در منیفولدها بهبود داد.

1-1-3 - مدل های سه بعدی

امروزه از دینامیک سیالات محاسباتی⁴ به صورت گسترده در مدل سازی موتورهای احتراق داخلی استفاده می شود. به کمک مدل های سه بعدی می توان رفتار جریان سیال را در موتور با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار داد. در مدل سازی فرآیند در حدود 40000 حجم کنترل یا بیشتر تقسیم می شود. سپس معادلات دیفرانسیل حاکم بر رفتار هر حجم کنترل نوشته شده و حل می گردد. مدل سازی موتور به کمک این روش بسیار زمان بر و تا حدودی مشکل می باشد ولی از لحاظ پیش بینی وضعیت جریان سیال عبوری از موتور بسیار حائز اهمیت می باشد. این نوع از مدل ها، مورد نظر این مطالعه نمی باشد. نمونه هایی از مدل های مذکور در مرجع [3] یافت می شوند.

1-1-4 - مدل های مقدار متوسط⁵

جهت سرعت بخشیدن به محاسبات مربوط به مدل سازی موتور می توان از تغییرات مقادیر مشخصه های عملکردی موتور در طول یک چرخه کاری موتور صرف نظر کرد و مقادیر متوسط مشخصه های عملکردی موتور را در طول چندین چرخه کاری مورد بررسی قرار داد. مدل های مقدار متوسط به راحتی میزان سازی می شوند و به علت ساختار ساده ای که دارند زمان اجرای آنها بسیار پایین می باشد. به همین دلیل مدل های مقدار متوسط بیشتر در راستای کنترل عملکرد موتور یا بهینه کردن سیستم انتقال قدرت خودرو به کار می روند. از جمله مدل های مقدار متوسط می توان به

1 - Non-steady 1D models

2 - Method of characteristics

3 - Finite Difference Technique

4 - Computational Fluid Dynamics(CFD)

5 - Mean Value Engine Models