



دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

تعیین سرعت سوختن ورقه‌ای مخلوط گاز طبیعی با هوا و مخلوط دو سوخت (گاز طبیعی - ایزواکتان) با هوا

استاد راهنما

دکتر ابراهیم عبدی اقدم

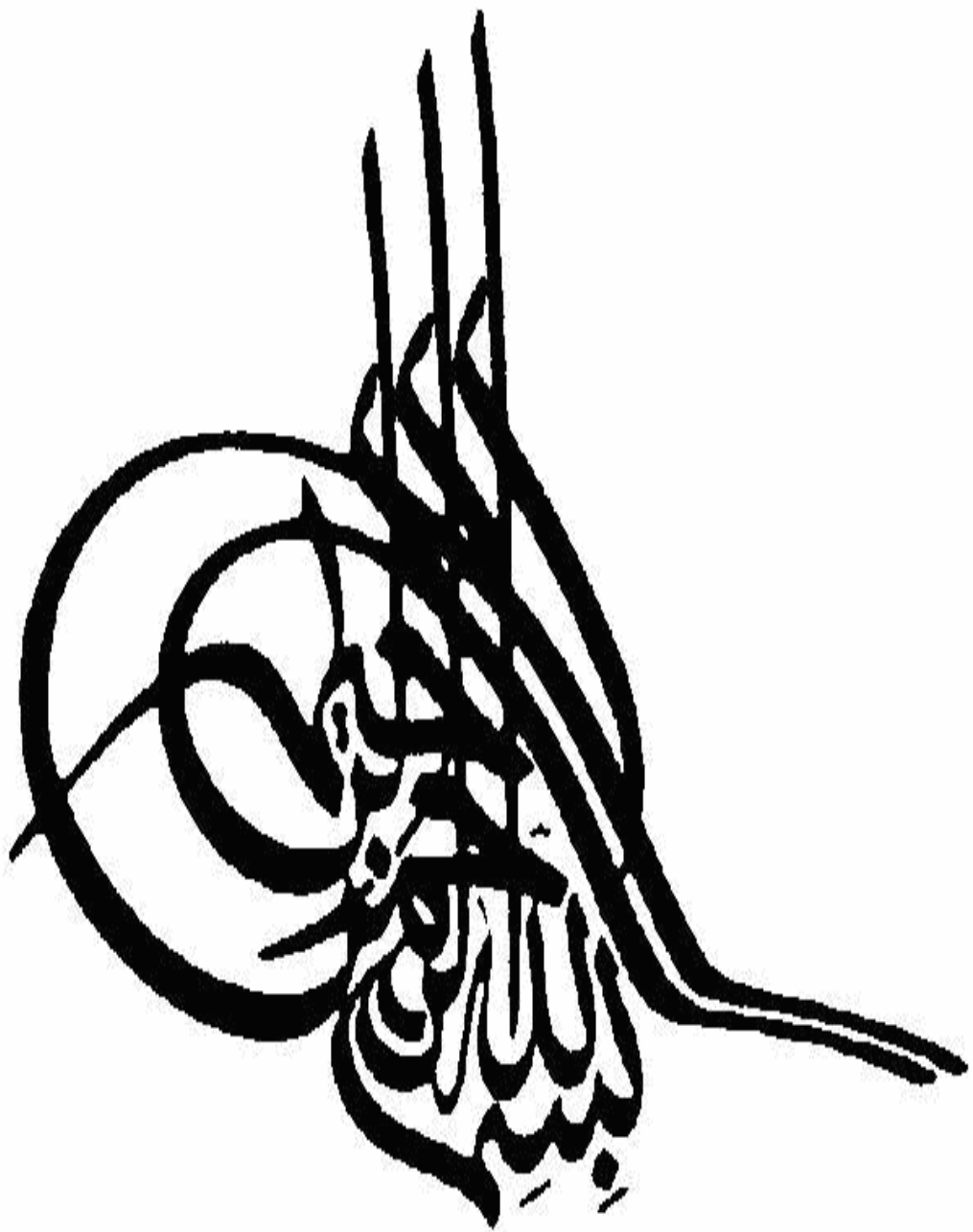
با مشاورت

مهندس شهرام معصومیان

توسط

اصغر داودی

زمستان ۱۳۸۸





دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

تعیین سرعت سوختن ورقه‌ای مخلوط گاز طبیعی با هوا و مخلوط دو سوخت

(گاز طبیعی - ایزواکتان) با هوا

توسط:

اصغر داودی

پایان نامه برای اخذ مدرک کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک تبدیل انرژی

از

دانشگاه محقق اردبیلی

اردبیل - ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر ابراهیم عبدی اقدم (استاد راهنما و رئیس کمیته) استادیار

دکتر مرتضی یاری (داور داخلی) استادیار

دکتر سیامک حسین پور (داور خارجی) استادیار

مهندس شهرام معصومیان (استاد مشاور) سرگناه سیکل ترکیبی اردبیل

دی ماه ۱۳۸۸

تقدیم به:

پدر عزیزم

مادر فداکارم

برادران وفادارم

وخواهر مهربانم

سپاسگذاری:

حمد بی پایان و سپاس بی کران خدای را که بر من منت گذاشت تا این تحقیق را به پایان برسانم. امیدوارم که این پایان، آغازی برای یک عمر تلاش در جهت آبادانی و سازندگی کشور عزیزمان ایران باشد. اکنون که این پژوهش به پایان رسیده است، بر خود واجب می‌دانم از تمامی بزرگوارانی که مرا در فراگیری علم و دانش یاری نمودند قدردانی و تشکر نمایم. از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر ابراهیم عبدی اقدم و مشاورت محترم آقای مهندس معصومی و همچنین جناب آقای مهندس رنجبر که در انجام این تحقیق از راهنمایی‌ها، مساعدت‌ها و همکاری‌های ایشان بسیار بهره بردم صمیمانه تشکر می‌کنم. از دوست بسیار عزیزم جناب آقای سید عادل عاملی بسیار تشکر می‌کنم. از تمامی دوستان و همکلاسی‌های عزیزم به پاس محبت‌شان تشکر می‌نمایم. در پایان برای همه‌ی عزیزان پیروزی و خوشبختی و برای خاک پاک میهنم سرافرازی آرزو می‌کنم.

نام خانوادگی دانشجو: داودی	نام: اصغر
عنوان پایان نامه: تعیین سرعت سوختن ورقه‌ای مخلوط گاز طبیعی با هوا و مخلوط دو سوخت (گاز طبیعی - ایزواکتان) با هوا	
استاد راهنما: دکتر ابراهیم عبدی اقدم با مشاورت: مهندس شهرام معصومیان	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مکانیک گرایش: تبدیل انرژی دانشگاه: محقق اردبیلی دانشکده: فنی و مهندسی تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۸۸/۱۰/۲۱ تعداد صفحه: ۸۰	
واژه‌های کلیدی: سرعت سوختن ورقه‌ای، گاز طبیعی، نسبت اکی‌والانس، بمب حرارتی	
<p>چکیده:</p> <p>نرخ سوختن مخلوط در حالت متلاطم، قویاً به سرعت سوختن ورقه‌ای آن بستگی دارد. فاکتورهای مهم و اساسی سرعت سوختن ورقه‌ای، نوع سوخت، نسبت اکی‌والانس (نسبت سوخت به هوا)، دما و فشار است. در کار حاضر، از بمب حرارتی استوانه‌ای حجم ثابت برای اندازه‌گیری نرخ سوختن استفاده شده است. ترنسدیوسرهای فشار مطلق و دینامیک جهت ثبت داده‌های فشار نسبت به زمان استفاده شد. برای محاسبه سرعت‌های سوختن وسایر خواص مخلوط سوخت و هوا، برنامه‌ای به زبان فرترن تهیه شد و با اعمال داده‌های تجربی به آن و اجرای برنامه، سرعت سوختن ورقه‌ای و اطلاعات مربوط به خواص دو ناحیه‌ی سوخته و نسوخته حاصل شد. سرعت سوختن ورقه‌ای مخلوط گاز طبیعی و هوا و همچنین سرعت سوختن مخلوط ۵۰ درصد حجمی گاز طبیعی و ۵۰ درصد ایزواکتان با هوا در نسبت‌های اکی‌والانس‌های ۰/۸، ۱/۰ و ۱/۲ و فشار اولیه 0.185 kPa و 331 K بررسی شد. نتایج سرعت سوختن ورقه‌ای مخلوط گاز طبیعی و هوا در حالت استوکیومتریک با نتایج محققان مختلف مقایسه شد و تطابق خوبی با داده‌های روش‌های مختلف اندازه‌گیری حاصل شد. با تزریق همزمان گاز طبیعی با ایزواکتان، مشاهده شد که سرعت سوختن نسبت به گاز طبیعی بیشتر خواهد شد.</p>	

فهرست مطالب

۱	فصل اول مقدمه و مروری بر کارهای انجام یافته
۲	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- کلیات و تعاریف
۴	۱-۲-۱- احتراق
۵	۲-۲-۱- مشخصه‌های شعله
۶	۳-۲-۱- طبقه بندی شعله
۷	۳-۱- سرعت سوختن
۷	۱-۳-۱- سرعت سوختن ورقه‌ای
۸	۲-۳-۱- ارتباط سرعت سوختن متلاطم و ورقه‌ای
۹	۴-۱- تاریخچه تحقیق
۱۲	۵-۱- روش‌های اندازه گیری سرعت سوختن ورقه‌ای
۱۲	۱-۵-۱- روش‌های مشاهده‌ای
۱۴	۲-۵-۱- روش‌های آزمایشگاهی
۱۹	۳-۵-۱- مزیت روش بمب حرارتی
۱۹	۶-۱- چشم اندازی به فصل‌های آتی

فصل دوم طراحی و ساخت بمب حرارتی

۲۱	۱-۲- مقدمه
۲۱	۲-۲- شکل کلی بمب حرارتی
۲۳	۳-۲- محاسبات طراحی بمب حرارتی
۲۳	۱-۳-۲- مشخصات فنی طرح
۲۵	۲-۳-۲- تعیین دمای اشتعال آدیاباتیک
۲۶	۳-۳-۲- طراحی ابعاد قطعات بمب حرارتی
۲۷	۴-۲- سیستم‌های اندازه‌گیری
۲۸	۱-۴-۲- سنسورهای فشار
۲۹	۲-۴-۲- سیستم ADC

۳۰	..... ۲-۴-۳- روتامتر وانواع آن
۳۳	..... ۲-۵- سیستم‌های کنترل
۳۳	..... ۲-۵-۱- هیتر دما ثابت
۳۴	..... ۲-۵-۲- شیر سولونوئیدی

فصل سوم مدل ترمودینامیکی پیشروی شعله ۳۵

۳۶	..... ۳-۱- مقدمه
۳۶	..... ۳-۲- اهمیت مدل‌سازی
۳۶	..... ۳-۲-۱- مدل‌سازی آزمایشگاهی
۳۷	..... ۳-۲-۲- مدل‌سازی عددی
۳۷	..... ۳-۲-۳- مزایای مدل‌سازی عددی
۳۸	..... ۳-۳- انواع مدل احتراق
۳۸	..... ۳-۳-۱- مدل‌های چندبعدی
۳۹	..... ۳-۳-۲- مدل‌های ترمودینامیکی
۳۹	..... ۳-۳-۳- مدل تک منطقه‌ای
۴۰	..... ۳-۳-۴- مدل‌های شبه‌بعدی
۴۱	..... ۳-۳-۵- مدل دو منطقه‌ای
۴۱	..... ۳-۳-۶- مدل چند منطقه‌ای
۴۲	..... ۳-۴- معرفی خواص و ترکیب سیال عامل
۴۳	..... ۳-۴-۱- تعادل شیمیایی با استفاده از ثابت‌های تعادل
۴۴	..... ۳-۴-۲- ترکیب مخلوط نسوخته
۴۵	..... ۳-۴-۳- ترکیب مخلوط سوخته
۴۶	..... ۳-۵- مشخصات کد کامپیوتری
۴۶	..... ۳-۵-۱- مراحل الگوریتم برنامه
۴۸	..... ۳-۵-۲- فلوجارت الگوریتم ارائه شده برای محاسبه سرعت سوختن ورقه‌ای
۴۹	..... ۳-۵-۳- زیربرنامه‌ها و توابع بکاررفته در برنامه
۵۲	..... ۳-۵-۴- اجرای موردی کد تهیه شده برای شرایط ورودی مشخص

فصل چهارم استخراج نتایج تجربی و تحلیل آنها ۵۵

۱-۴-مقدمه	۵۶
۲-۴- نحوه آزمایش دستگاه	۵۶
۳-۴- نحوه محاسبه درصد حجمی مخلوط گاز طبیعی و ایزواکتان با هوا	۵۸
۴-۴- بررسی اثر پارامترهای مختلف بر سرعت سوختن ورقه‌ای	۶۱
۵-۴- مقایسه نتایج با سایر نوشته‌ها	۶۱
۶-۴- تغییرات فشار نسبت به زمان	۶۳
۷-۴- اثر نسبت اکی والانس	۶۵
۸-۴- اثر درصد حجمی گاز طبیعی و ایزواکتان	۶۶
۹-۴- تغییرات دمای نسوخته	۶۹
۱۰-۴- تغییرات کسر گاز سوخته به فشار	۶۹
۱۱-۴- تغییرات کسر گاز سوخته به شعاع سوخته	۷۰
۱۲-۴- تغییرات کسر گاز سوخته به زمان	۷۱

فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۳

۱-۵- نتیجه‌گیری	۷۴
۲-۵- پیشنهادات برای کارهای آینده	۷۴
مراجع	۷۵

فهرست نمودارها

شکل ۱-۱- شعله ورقه‌ای ساکن یکنواخت که گاز نسوخته که با سرعت ورقه‌ای شعله $S_f = V_u$ به ناحیه واکنش وارد می‌شود و پس از سرعت $V_b > V_u$ خارج می‌شوند	۷
شکل ۱-۲- پیشروی شعله ورقه‌ای با سرعت آرام شعله، S_f ، نسبت به گاز نسوخته مجاور خود	۸
شکل ۱-۳- پیشروی شعله مغشوش از کانون جرقه	۹
شکل ۱-۴- محدوده نتایج تجربی سرعت سوختن متان و هوا در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد	۱۰

- شکل ۱-۵- رژیم‌های درجه حرارت در یک شعله ورقه‌ای..... ۱۳
- شکل ۱-۶- نمونه‌ای از مشعل بنسون..... ۱۴
- شکل ۱-۷- نمونه دستگاه روش حباب صابون..... ۱۵
- شکل ۱-۸- دستگاه آزمایشی روش شعله مسطح..... ۱۶
- شکل ۱-۹- نمونه‌ای از روش جریان مخالف..... ۱۷
- شکل ۱-۱۰- نمونه‌ای از محفظه احتراق بمب حرارتی..... ۱۹
- شکل ۲-۱- طرح شماتیک بمب حرارتی..... ۲۱
- شکل ۲-۲- قطعه شش گوش به منظور اختلاط مخلوط سوخت و هوا..... ۲۲
- شکل ۲-۳- شماتیک کلی دستگاه به همراه سایر اجزاء در آزمایش تعیین سرعت سوختن ورقه‌ای.. ۲۴
- شکل ۲-۴- سنسور فشار دینامیکی..... ۲۸
- شکل ۲-۵- سنسور فشار مطلق..... ۲۹
- شکل ۲-۶- کارت الکترونیکی سیستم *ADC*..... ۲۹
- شکل ۲-۷- ارتباط دهنده فشار سنج‌های مطلق و نسبی با کامپیوتر..... ۳۰
- شکل ۲-۸- روتامتر هوا..... ۳۱
- شکل ۲-۹- روتامتر گاز طبیعی..... ۳۲
- شکل ۲-۱۰- نمودار تصحیح دبی حجمی قرائت شده روتامتر گاز طبیعی..... ۳۳
- شکل ۲-۱۲- برد هیتر بکاررفته در آزمایش..... ۳۳
- شکل ۲-۱۳- نقشه برش خورده شیر سولونوئیدی بکار رفته در طرح..... ۳۴
- شکل ۳-۱- توزیع مناطق در یک محفظه کروی الف- مدل معادل جرمی ب) مدل معادل شعاعی.
- قسمت‌های هاشور زده جبهه شعله در هر لحظه را نمایش می‌دهد..... ۴۱
- شکل ۳-۲- فلوجارت تعیین حجم اولیه سوخته در فشار مشخص محفظه احتراق..... ۴۸
- شکل ۳-۳- الگوریتم محاسبه سرعت سوختن ورقه‌ای..... ۴۹
- شکل ۳-۴- دمای نسوخته $Tu(k)$ بر حسب $P(bar)$ شرایط ورودی متعارف و اتمسفر..... ۵۴
- شکل ۳-۵- دمای نسوخته $Tu(k)$ بر حسب $P(bar)$ شرایط ورودی متعارف و اتمسفر..... ۵۴
- شکل ۴-۱- مقایسه سرعت سوختن گاز طبیعی با هوا در نسبت اکی والانس استوکیومتریکی با سایر نوشته‌ها..... ۶۳
- شکل ۴-۲- تغییرات فشار نسبت به زمان مخلوط گاز طبیعی با هوای استوکیومتریکی..... ۶۴
- شکل ۴-۳- تغییرات فشار نسبت به زمان مخلوط گاز طبیعی با هوا در نسبت اکی‌والانس ۰/۸..... ۶۴

- شکل ۴-۴- تغییرات فشار نسبت به زمان مخلوط گاز طبیعی با هوا در نسبت اکیوالانس ۱/۲..... ۶۵
- شکل ۴-۵- سرعت‌های سوختن گاز طبیعی خالص در شرایط اولیه فشار ۸۵ کیلو پاسکال و دمای ۳۳۱ کلوین نسبت به فشار به ازای نسبت‌های اکیوالانس ۰/۸ و ۱/۰ و ۱،۲..... ۶۶
- شکل ۴-۶- تغییرات فشار نسبت به زمان مخلوط ۵۰ درصد حجمی ایزواکتان و ۵۰ درصد گاز طبیعی نسبت اکیوالانس ۱/۰..... ۶۷
- شکل ۴-۷- تغییرات فشار نسبت به زمان مخلوط ۵۰ درصد حجمی ایزواکتان و ۵۰ درصد گاز طبیعی نسبت اکیوالانس ۱/۲..... ۶۷
- شکل ۴-۸- مقایسه سرعت سوختن ورقه‌ای مخلوط ۵۰ درصد حجمی گاز طبیعی و ایزواکتان در نسبت‌های ۰/۸ و ۱/۲..... ۶۸
- شکل ۴-۹- مقایسه سرعت سوختن ورقه‌ای مخلوط گاز طبیعی خالص با مخلوط ۵۰ درصد حجمی ایزواکتان و ۵۰ درصد حجمی گاز طبیعی در نسبت اکیوالانس ۱/۰..... ۶۸
- شکل ۴-۱۰- سرعت سوختن ورقه‌ای نسبت به دمای نسوخته را در شرایط دما و فشار آزمایش در نسبت اکیوالانس ۱/۰..... ۶۹
- شکل ۴-۱۱- تغییرات کسر گاز سوخته (x_b) نسبت به فشار حالت استوکیومتریک گاز طبیعی..... ۷۰
- شکل ۴-۱۲- تغییرات کسر گاز سوخته (x_b) نسبت به فشار حالت استوکیومتریک مخلوط ۵۰ درصد حجمی گاز و ۵۰ درصد حجمی ایزواکتان..... ۷۰
- شکل ۴-۱۳- تغییرات کسر جرمی سوخته به شعاع سوخته حالت استوکیومتریک برای گاز طبیعی..... ۷۱
- شکل ۴-۱۴- تغییرات کسر جرمی سوخته به شعاع سوخته حالت استوکیومتریک مخلوط ۵۰ درصد حجمی گاز طبیعی و ۵۰ درصد گاز ایزواکتان..... ۷۱
- شکل ۴-۱۵- تغییرات کسر جرمی سوخته به زمان حالت استوکیومتریک برای گاز طبیعی..... ۷۲
- شکل ۴-۱۶- تغییرات کسر جرمی سوخته به زمان حالت استوکیومتریک مخلوط ۵۰ درصد حجمی گاز طبیعی و ۵۰ درصد گاز ایزواکتان..... ۷۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۱- عوامل و پیامد های استفاده از گاز طبیعی در موتور های احتراق داخلی (پیروز پناه و همکاران، ۱۳۸۰)..... ۳
- جدول ۱-۲- مشخصات فنی دستگاه *DAQ-2016*..... ۳۰
- جدول ۱-۳- داده های فشار ورودی از بمب حرارتی ۵۳
- جدول ۱-۴- درصد حجمی ترکیبات موجود در آنالیز های عمده ایران (جزایری و همکاران، ۱۳۸۲)..... ۵۸
- جدول ۲-۴- حجم گاز طبیعی تزریقی در نسبت های اکی والانس مختلف ۶۰
- جدول ۳-۴- حجم گاز طبیعی و ایزواکتان مایع تزریقی در نسبت های اکی والانس مختلف در ۵۰ درصد حجمی ۶۱
- جدول ۴-۴- مقایسه نتایج عددی u_1 برای $\phi = 1.0$ در شرایط متعارف (بوسچارت و جویی، ۲۰۰۳) ۶۲
- جدول ۵-۴- مقایسه اندازه گیری های تجربی سرعت سوختن مخلوط هوا و متان در حالت $\phi = 1.0$ در بمب حرارتی در شرایط اتمسفری (بوسچارت و جویی، ۲۰۰۳)..... ۶۲

فصل اول

مقدمه و مروری بر کارهای انجام یافته

اهمیت انرژی و منابع مختلف تهیه آن، در حال حاضر جزء چالش‌های اصلی کشورهای مختلف است. به عبارت دیگر، از مسائل مهم هر کشور در جهت توسعه اقتصادی و اجتماعی، بررسی، اصلاح و استفاده بهینه از منابع موجود است. امروزه مسائلی نظیر محدودیت ذخایر فسیلی، نگرانی‌های زیست محیطی و ازدیاد جمعیت، رشد اقتصادی و همچنین یافتن راهکارهای مناسب جهت تمیزتر و کاراتر نمودن انرژی و الگوی بهینه مصرف آن، در رأس برنامه‌های زیر بنایی اکثر کشورهای جهان قرار دارد. رشد صنعت و موتوریزه شدن آن در جهان، تقاضا برای سوخت‌های فسیلی را افزایش داده است. از طرف دیگر، براساس برآورد، ذخایر نفت خام دنیا کمتر از نیم قرن دیگر تمام خواهد شد (اچ ژیه و همکاران، ۲۰۰۲). با توجه به فراوانی منابع گاز طبیعی در کشور ایران، ضرورت تحقیق و مطالعه در جهت تامین سوخت خودروها به کمک این منبع اهمیت پیدا کرده است. استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت جایگزین در موتورهای بنزینی به صورت اولویت اول مطرح شده است. اما مسائلی از جمله تعداد کم ایستگاه‌های سوخت‌گیری، افت توان ناشی از تغییر سوخت، مشکل ذخیره سازی سوخت، کاهش عمر موتور و ... معضلی بر سر راه این تعویض سوخت قرار گرفته است (ساعی‌ور و لواسانی، ۱۳۸۱). با توجه به اینکه در کشور ما دسترسی به گاز طبیعی ارزان قیمت امکان‌پذیر است، لذا از نظر اقتصادی نیز توسعه این سوخت جهت مصرف آن در خودروها قابل ملاحظه خواهد بود. وجود منابع و میادین گازی مختلف در کشور شایان توجه است و استفاده بهتر و بیشتر از این ثروت خدادادی در راستای توسعه ملی است. اغلب میادین گازی کشور غنی بوده و تا ۹۰ درصد دست نخورده باقی مانده است. به طور کلی سهم کشور ما از دارائی منابع گازی ۱۵/۵ درصد کل منابع دنیاست و پس از روسیه در رتبه دوم قرار دارد (پیروز پناه و همکاران، ۱۳۷۹). نظر به بحران آلودگی محیط زیست و تأثیر سوخت‌های بنزین و دیزل بر این بحران و از سوی دیگر هزینه‌ی بالای این سوخت‌ها، در سال‌های اخیر توجه سازندگان خودروها به استفاده از سوخت‌های جایگزین معطوف شده است (گوپتا و پراساد، ۲۰۰۰). گاز طبیعی، که در شکل‌های متفاوتی به عنوان سوخت خودروها از جمله به صورت فشرده به کار گرفته می‌شود، یکی از انواع سوخت‌های جایگزین است که با توجه به فراوانی آن در بسیاری از کشورها از جمله ایران، ارزان بوده و استفاده از آن می‌تواند در تعدیل سبد انرژی کشور نقش اساسی داشته باشد (بیدارفرخ و آرمان، ۱۳۸۳). از سوی دیگر، تحقیقات نشان می‌دهند که از نظر آلودگی محیط زیست گاز طبیعی موقعیت بهتری نسبت به بنزین و گازوئیل دارد.

از طرفی، کاهش توان ناشی از تبدیل سوخت بنزین به گاز ملاحظات خاصی را در طراحی این خودروها می‌طلبد (پیروز پناه و همکاران، ۱۳۸۰). بعلاوه حمایت از رشد صنعت خودروهای گازسوز می‌تواند دلایلی چون بهینه سازی منابع ملی، کاهش واردات بنزین، کاهش میزان آلودگی هوا و ... داشته باشد (بی نام، ۱۳۸۰). استفاده از سوخت گاز طبیعی باعث می‌شود که روغن موتور دیرتر کثیف شود. همچنین به علت عدم وجود رسوبات و دوده، شمع دیرتر آلوده شده و لذا هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمتر می‌شود. این موتورها در مقایسه با موتورهای دیزلی و بنزینی، دارای بازده تنفسی کمتر و در نتیجه توان و گشتاور کمتری می‌باشند. در تبدیل مکانیکی و تبدیل الکتریکی این موتورها، ۲۴ درصد و ۱۵ درصد، به ترتیب، افت پیدا می‌کند. سایر عوامل در جدول ۱-۱ آورده شده است.

جدول ۱-۱- عوامل و پیامدهای استفاده از گاز طبیعی در محفظه احتراق (پیروز پناه و همکاران، ۱۳۸۰)

پیامد	عامل
کاهش دی اکسید کربن (CO_2)	بالا بودن نسبت هیدروژن به کربن (H/C)
اشغال حجم ورودی هوا - کاهش راندمان حجمی	گازی بودن سوخت
احتیاج به دوره احتراق طولانی‌تر و افزایش تلاطم	پائین بودن سرعت شعله و نرخ سوختن
لزوم افزایش قدرت جرّقه	بالا بودن تاخیر در اشتعال
کاهش مصرف سوخت	بالا بودن عدد اکتان
عدم تجمع آن در اطراف وسیله نقلیه	سبک تر بودن از هوا

بنظر می‌رسد استفاده همزمان از مخلوط گاز طبیعی و بنزین معمولی می‌تواند بعضی از مشکلات موجود از جمله افت قدرت و حداکثر دمای حاکم در داخل سیلندر را حل و مخلوط مورد اشاره به عملکرد بنزین سوپر نزدیک شود. استفاده همزمان دو سوخت ملاحظات پیچیده‌ای را می‌طلبد و مراحل مختلف مطالعاتی را می‌طلبد. گام نخست این کار، مطالعه اولیه در مورد سرعت سوختن این دو سوخت به تنهایی در نسبت سوخت به هواهای مختلف و در مرحله بعدی در مخلوط‌های با درصدهای شاهد متفاوت گاز- بنزین (متان - ایزواکتان) است، بطوری که بتوان همبستگی‌هایی بین سرعت سوختن مخلوط دو سوخت با سرعت‌های سوختن مخلوط منحصر سوخت‌ها با هوا را بدست

آورد. بنابراین لازم است سرعت سوختن ورقه‌های مخلوط سوخت‌های گاز طبیعی^۱ و بنزین یا سوخت‌های شاهد متان و ایزواکتان را اندازه‌گیری نموده تا در طراحی‌ها با استفاده از کدهای احتراق کامپیوتری به صورت ورودی اعمال و نتایج را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

۱-۲-۲- کلیات و تعاریف

در این قسمت بعضی از واژه‌ها و عبارتهایی که به وفور در مبحث احتراق استفاده می‌شوند، تشریح می‌گردد.

۱-۲-۱- احتراق

احتراق عبارتست از یک واکنش شیمیایی که در اثر ترکیب دو ماده شیمیایی، یکی اکسیدکننده و دیگری اکسید شونده اتفاق می‌افتد و انرژی شیمیایی آزاد می‌شود. ماده اکسیدکننده ممکن است بخشی از ماده سوختنی (نظیر پیشران‌ها) یا اکسیژن موجود در محیط باشد. احتراق ممکن است از ترکیب اجزای سوختنی با هوا، هوای غنی از اکسیژن، اکسیژن خالص یا یک ماده اکسیدکننده دیگر باشد. فرآیند احتراق یک واکنش گرمازای سریع در فاز گازی است (معمولاً اکسیژن یکی از واکنش‌کننده‌ها است). احتراق را می‌توان از دو منظر بررسی نمود که در قسمت‌های بعدی تشریح می‌گردد.

• شیمی احتراق

هر واکنش شیمیایی با یک آهنگ معین و مشخص (سریع یا کند) انجام می‌گیرد که به پارامترهای تجربی زیادی چون ترکیب، فشار و دما بستگی دارد. در بعضی از واکنش‌ها پدیده اکسیداسیون و احتراق چنان سریع است که بنظر می‌رسد به صورت آنی و لحظه‌ای رخ می‌دهد (مورتنی کانوری، ۲۰۰۲). آهنگ یک واکنش، تغییر غلظت با زمان می‌باشد که غلظت، تعداد مول‌های موجود در حجم واحد تعریف می‌گردد.

• فیزیک احتراق

از منظر فیزیکی، میدان جریان حاکم بر مخلوط نسوخته نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند. جریان سیال حاکم بر پدیده احتراق از ترکیب سه قانون بنیادی انتقال ملکولی زیر حاصل می‌شود:

۱- قانون گرانروی نیوتن برای انتقال اندازه حرکت

۲- قانون رسانش فوریه برای انتقال گرما

۳- قانون پخش فیک برای انتقال گونه‌ها یا جرم

سه قانون مذکور تعریف سه خاصیت مهم فیزیکی سیال یعنی گرانروی، رسانش گرمایی و نفوذ جرم را مطرح می‌کند.

• احتراق کامل

احتراق کامل هنگامی است که تمام عناصر موجود در سوخت به بالاترین حد ترکیب با اکسیژن خود برسد، ولی اگر مقداری از مواد قابل اکسید شدن از سوخت باقی بماند، احتراق ناقص صورت گرفته که در این حالت مقداری از انرژی قابل دسترس تلف شده‌است. به عبارتی دیگر، احتراق کامل وقتی حاصل می‌شود که هیچ مقدار از سوخت در محفظه احتراق باقی نماند و نیز گازهای قابل احتراق همراه دود خارج نشوند. ایجاد احتراق کامل و پیوسته ایجاد شرایط زیر را می‌طلبد (فیلیپوف، ۱۹۷۵؛ کروندین و مارکوف، ۱۹۸۰)

- ۱- سوخت و اکسیژن بخوبی درهم آمیخته شوند. از بهترین روش‌ها، تمیزه کردن سوخت‌های مایع و پودر کردن سوخت‌های جامد است.
- ۲- دمای سیستم به سطح دمای احتراق برسد.
- ۳- محصولات احتراق از محل خارج شوند بطوریکه عمل آمیختگی سوخت و اکسیژن ادامه یابد.
- ۴- پس از شروع احتراق، حرارت تولید شده باید به اندازه کافی باشد تا دمای آمیزه گازی کم‌تر از دمای احتراق نشود.

۱-۲-۲- مشخصه‌های شعله

شعله، انتشار خود تحملی^۱ یک منطقه احتراق محلی در سرعت‌های زیر صوت در مدت زمان کوتاه می‌باشد (بین، ۲۰۰۴). احتراق مخلوط سوخت و هوا یکی از فرآیندهایی است که انرژی آزاد شده و گازهای تولید شده را کنترل می‌کند. بنابراین شناخت زمینه‌های مناسب برای پدیده احتراق یک ضرورت مقدماتی است.

حرکت نسبی شعله بطرف گازهای نسوخته از مشخصه مهم شعله است. ساختمان شعله بستگی به این ندارد که آیا شعله نسبت به گاز نسوخته حرکت نسبی دارد یا شعله ثابت است و گاز از میان آن حرکت می کند. وجود حرکت نسبی شعله، اشاره بر این دارد که واکنش به منطقه‌ای محدود می شود که ضخامت آن در مقایسه با ابعاد تجهیزات (در اینجا محفظه احتراق) کوچک است. معمولاً منطقه واکنش مذکور جبهه نامیده می شود. مشخصه انتشار فضایی شعله از تلفیق قوی ما بین پدیده‌هایی مثل واکنش شیمیایی، فرآیند انتقال جرم و هدایت گرمایی و جریان سیال ناشی می شود.

۱-۲-۳- طبقه بندی شعله

شعله‌ها معمولاً از روی مشخصاتی که دارند طبقه بندی می شوند. اولین قدم مشخص کردن سرگذشت اختلاط سوخت و هوایی است که در منطقه واکنش مطرح است. اگر سوخت و اکسید کننده اساساً بطور یکنواخت با هم مخلوط شوند به چنین شعله‌ای شعله پیش آمیخته^۱ می گویند و اگر اختلاط عمل کننده‌ها پیش آمیخته نباشند و اجباراً در همان محلی که واکنش رخ می دهد با هم مخلوط گردند در آن صورت به چنین شعله‌ای شعله دیفوزیونی^۲ یا نفوذی می گویند به علت اینکه اختلاط بایستی بوسیله فرآیند نفوذ به انجام برسد.

دومین اصل تقسیم بندی به رژیم جریان گاز در منطقه واکنش مربوط می شود. در این مرحله مشخص می گردد که آیا جریان ورقه‌ای است یا متلاطم^۳. در جریان ورقه‌ای اختلاط و انتقال توسط فرآیند مولکولی انجام می گیرد و این نوع جریان تنها در اعداد رینولدز پایین اتفاق می افتد. عدد رینولدز نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ویسکوزی است. از خصوصیات یک جریان متلاطم بالا بودن عدد رینولدز است. سومین مشخصه تقسیم بندی این است که آیا شعله یکنواخت است یا غیر یکنواخت و جنبه تمایز آنها در تغییر شکل ساختمان شعله نسبت به زمان است.

مشخصه نهایی تقسیم بندی، فاز اولیه عمل کننده‌ها است و در این مرحله مشخص می گردد که فاز اولیه عمل کننده ها گاز، مایع یا جامد است. یک نتیجه آشکار از احتراق در بمب حجم ثابت این است که شعله غیر یکنواخت می باشد و بسته به میدان جریان حاکم ممکن است ورقه‌ای یا متلاطم باشد.

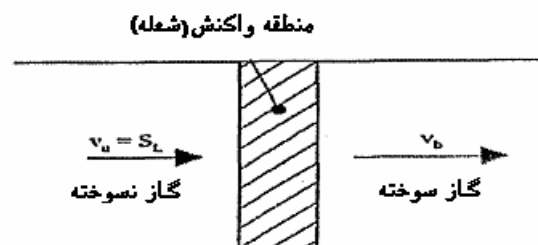
شعله متداول مربوط به موتورهای اشتعال جرقه‌ای یک شعله متلاطم، غیر یکنواخت و پیش‌آمیخته است و تمام مخلوط سوخت-هوایی که در معرض پیشروی شعله قرار می‌گیرد در فاز گازی است. فرآیند احتراق موتور دیزلی غالباً یک شعله‌نفوذی، متلاطم و غیر یکنواخت است و سوخت ابتدا در فاز مایع است. هر دو این شعله به شدت پیچیده‌اند و این پیچیدگی در فرآیند احتراق دیزلی به مراتب بالاتر از فرآیند اشتعال جرقه‌ای است زیرا بررسی تبخیر سوخت مایع و فرآیند اختلاط سوخت و هوا بسیار پیچیده است.

۱-۳-۱- سرعت سوختن

سرعت سوختن شعله، آهنگ انتشار موج احتراق صفحه‌ای در میان یک مخلوط قابل اشتعال گازی است. این پارامتر بوسیله نرخ واکنش شیمیایی در ناحیه نازک شعله و توسط انتقال حرارت و جرم از شعله به گاز نسوخته و بالعکس محاسبه می‌گردد. سرعت سوختن را می‌توان به صورت حرکت جبهه شعله در جهت عمود بر سطحش در میان گازهای نسوخته نیز تعریف کرد. در واقع، سرعت سوختن از ویژگی‌های اساسی مخلوط احتراقی بوده و برای پایداری شعله‌ها و تعیین نرخ انرژی آزاد شده از مخلوط اهمیت دارد.

۱-۳-۱-۱- سرعت سوختن ورقه‌ای^۱

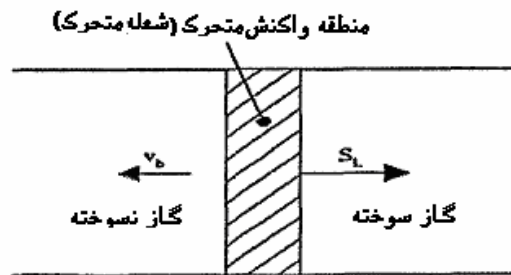
سرعت شعله ورقه‌ای، سرعت گازهای نسوخته نسبت به جبهه شعله است که تحت شرایط ورقه‌ای جریان، گازها به محصولات تبدیل می‌شوند (شکل ۱-۱). در این تعریف شعله ساکن می‌باشد و گازهای نسوخته نسبت به آن حرکت می‌کنند و گازهای سوخته از شعله دور می‌شوند. چگالی گازهای سوخته از چگالی گازهای نسوخته کمتر است، بنابراین گازهای سوخته دارای سرعت بیشتری نسبت به گازهای نسوخته هستند.



شکل ۱-۱- شعله ورقه‌ای ساکن یکنواخت که گاز نسوخته با سرعت ورقه‌ای شعله $S_L = V_u$ به ناحیه واکنش وارد

می‌شود و پس از سوختن با سرعت $V_b > V_u$ خارج می‌شوند.

اما حالتی که بیشتر به بوم حرارتی مربوط می‌شود، حالتی است که در آن گاز نسوخته ابتدا در یک فضای مشخص محدود می‌باشد و ناحیه واکنش در میان آن پیشروی می‌کند، در این حالت سرعت سوختن ورقه‌ای، سرعتی می‌باشد که جبهه شعله با آن نسبت به گاز نسوخته مجاور خود حرکت می‌کند (شکل ۱-۲). در واقع در چنین حالتی دورشدن گازهای نسوخته از جبهه شعله ناشی از انبساط گازهای سوخته و تراکم گازهای نسوخته است. به طور تجربی ثابت می‌شود که اگر متغیرهای مخلوط ثابت در نظر گرفته شوند، برای هر نوع سوخت سرعت سوختن دارای مقدار ثابتی خواهد بود (لیف و ر، ۱۹۹۸).



شکل ۱-۲- پیشروی شعله ورقه‌ای با سرعت آرام شعله، S_L ، نسبت به گاز نسوخته مجاور خود

۱-۳-۲- ارتباط سرعت سوختن متلاطم^۱ و ورقه‌ای

در حالت کاربردی اغلب شعله‌ها متلاطم‌اند (مثل شعله‌های موتور و مشعل‌ها). مطالعات تجربی اولیه مارکستین (۱۹۶۴) نشان می‌دهد که کشیدگی شعله^۲ بر روی سرعت سوختن تاثیر خواهد داشت و بطور تجربی، تئوری و عددی رابطه خطی بین سرعت سوختن ورقه‌ای و آهنگ کشیدگی شعله پیشنهاد شده‌است. در حالت متلاطم به علت متغیربودن آهنگ کشیدگی، رابطه خطی فوق معتبر نمی‌باشد. وجود تلاطم باعث می‌شود جبهه شعله خمیده و چین‌دار گردد (شکل ۱-۳). در حالت تلاطم شدید، شعله به یک حالت باریک و پریپیچ که مخلوط نسوخته در آن گیر افتاده است، تبدیل می‌شود. همچنین حرکات مغشوش گاز به پیشروی شعله کمک می‌کند و از آنجاکه سرعت‌های ناحیه‌ای گاز ناشی از تلاطم، گاهاً از سرعت ورقه‌ای شعله بزرگتر است، لذا حضور تلاطم، سرعت واقعی