دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

تعیین سرعت سوختن برای مخلوط سوخت ترکیبی(ایزواکتان-گاز طبیعی)-هوا و گازهای رقیق‌کننده در شرایط اولیه آرام

استاد راهنما

دکتر ابراهیم عبدی‌اقدم

استاد مشاور

مهندس شهرام معصومیان

پژوهشگر

مهران خاکی

پاییز ۱۳۹۱

Department of Mechanic

Determination of burning velocity for combined fuel (Isooctane – condition at initially laminar NG)-air-diluent mixture

Supervisor:

Dr, Ebrahim Abdi Aghdam

Advisor:

Engineer, Shahram Maasomian

By

Meharan Khaki

University of Mohaghegh Ardabili

2012, December

Surname: Khaki **Name:**Mehran

Title of thesis: Determination of burning velocity for combined fuel (Isooctane –NG)-air-condition at initially laminar diluent mixture

Supervisor(s): Dr, Ebrahim Abdi Aghdam
Advisor(s): Engineer, Shahram Maasomian

Graduate Degree: Master of science **Major:** Mechanical emgineering
Specialty: Energy Conversion
University of Mohaghegh Ardabili **Faculty :** Technical & Engineering
Graduation date: 2013 **Number of pages:**87

Keywords: Laminar burning velocity, Natural gas, Constant-volume bomb.

Abstract:

An important intrinsic property of a combustible fuel, air, burned gas mixture is its laminar burning velocity that depends primarily on the equivalence ratio, type of fuel, temperature in the unburned mixture and the pressure. Natural gas is considered to be one of the most favorable fuels for engines. But burning velocity of natural gas is slow. One of the effective methods to solve the problem of slow burning velocity of natural gas is to mix natural gas with a fuel that possesses high burning velocity. Isooctane is regarded as a good gaseous candidate due to its high burning velocity.

Using a constant volume spherical vessel at different equivalence ratios and different initial pressures and temperatures, the pressure-time changes were recorded using AD logger soft ware and used as input file to the thermodynamic code and the laminar burning velocity was calculated. Using residual gases from previous cycle combined with new fuel-air mixture and like previous method, laminar burning velocity calculated. Difference in kind of fuel, changed the kind of products of combustion. One of the most important issues that should be considered was the presence of vapor in reactants. This issue maters when the initial temperature is lower than water saturation temperature, because it causes vapor to be condensed. So necessary changes must be considered.

In this thesis the laminar burning velocity for 2 & 4 bar initial pressures, 369 Kelvin temperature, 0.95 & 1 equivalence ratios and also for mixtures of NG-Isooctane with 0, 0.25, 0.5, 0.75 NG mass fractions and 0, 5 and 10% of residual gases was calculated.

The results showed that with an increase in initial pressure, the laminar burning velocity decreased. Also with an increase in mass fraction of Isooctane from 0 to 1, the laminar burning velocity increased by 25% and by adding 0 to 10% volumetric fraction of residual gases, the laminar burning velocity decreased by 32.79%. Error analysis for the laminar burning velocity was performed and also two new correlations were derived and compared with the experimental results.

فصل اول:

مقدمه و مروری بر کارهای انجام یافته

فصل دوم:

مواد و روش‌ها

فصل سوم:

استخراج نتایج تجربی

فصل چهارم:

بحث و نتیجه گیری

تقدیم به پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

و بعد از مدتها، پس از پیمودن راههای فراوان که با حضور شیرین اساتید عزیزم، با راهنماییها و دغدغه های فراوانشان و سختی های زیبای آن دوران، نگاههای پدر مادرم، با چشمهای پر از برق شوق، و زیبایی حضور خواهرم در کنارم، که خستگیهای این راه را به امید و روشنی راه تبدیل کرده، امیدوارم بتوانم در آینده ای نزدیک جوابگوی این همه محبت آنها باشم . اکنون، با احترام فراوان برای تلاش همه این عزیزان جهت موفقیت من، این پایان نامه را به پدر و مادرم، اساتید عزیز و خواهر مهربانم تقدیم میکنم . امیدوارم قادر به درک زیباییهای وجودشان باشم .

بسم الله الرحمن الرحیم

نام خانوادگی: خاکی **نام:** مهران

عنوان پایان‌نامه: تعیین سرعت سوختن برای مخلوط سوخت ترکیبی (ایزواکتان-گاز طبیعی) - هوا و گازهای رقیق‌کننده در شرایط اولیه آرام

استاد راهنما: دکتر ابراهیم عبدی‌اقدم

استاد مشاور: مهندس شهرام معصومیان

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مکانیک **گرایش:** تبدیل انرژی **دانشگاه:** محقق اردبیلی

دانشکده: فنی و مهندسی **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** پاییز ۱۳۹۱ **تعداد صفحه:** ۸۷

کلمات کلیدی: سرعت سوختن ورقه‌ای، بمب حرارتی، گاز طبیعی

چکیده:

از مهمترین خواص مخلوط قابل احتراق گاز سوخته، هوا و سوخت، سرعت سوختن ورقه‌ای است که بستگی به نسبت هم‌ارزی مخلوط سوخت-هوا، نوع سوخت، دمای مخلوط نسوخته، فشار و مقدار گازهای باقی‌مانده دارد. گاز طبیعی یکی از سوخت‌های مطلوب برای موتور می‌باشد. اما سرعت سوختن آن پایین است. یکی از روش‌های مؤثر جهت حل مشکل سرعت سوختن پایین گاز طبیعی، مخلوط کردن گاز طبیعی با یک سوخت است که سرعت سوختن بالایی دارد و ایزواکتان یکی از این سوخت‌ها است که این کاهش را جبران می‌کند.

با استفاده از یک بمب حرارتی حجم ثابت کروی در نسبت‌های هم‌ارزی مختلف از مخلوط گاز طبیعی-ایزواکتان و هوا با فشار و دمای اولیه مشخص، مقادیر فشار پس از عمل احتراق توسط نرم افزار AD logger ثبت، سپس داده‌های آن به عنوان ورودی به کد ترمودینامیکی اعمال و سرعت سوختن محاسبه شد. در ادامه محصولات احتراق آزمایش ماقبل در همان نسبت هم‌ارزی بدون رقیق‌کننده که در داخل بمب باقی مانده بود تا فشار جزئی مورد نظر خالی شد و با مخلوط سوخت و هوای تازه مخلوط شد و مراحل بالا تکرار و مقادیر سرعت سوختن محاسبه گردید. تغییر نوع سوخت باعث تغییراتی در نوع و مقدار محصولات احتراق شد. وجود بخار آب در محصولات احتراق یکی از مسائلی بود که باید به دقت ملاحظه می‌شد تا از وجود آب مایع در آزمایش جدید اجتناب گردد. وجود آب مایع می‌تواند به دلیل پایین‌تر رفتن دمای ورودی از دمای اشباع آب باشد. حل این مسئله نیازمند تغییرات شرایط اولیه فشار و دما به ازای سوخت‌های مختلف و نسبت‌های مختلف از گازهای باقی‌مانده است.

در کار حاضر سرعت سوختن ورقه‌ای برای نسبت هم‌ارزی ۱ و ۰/۹۵، فشار اولیه ۲ و ۴ بار، دمای اولیه ۳۶۹ کلوین، درصدهای جرمی ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد برای ایزواکتان در سوخت ترکیبی و درصد حجمی ۰، ۵ و ۱۰ درصد برای گازهای باقی‌مانده بدست آمد.

نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش فشار اولیه سرعت سوختن کاهش و با افزایش درصد ایزواکتان از ۰ تا ۱۰۰ سرعت سوختن افزایش ۲۵ درصدی دارد. با افزایش درصد حجمی گازهای باقی‌مانده از ۰ تا ۱۰ درصد سرعت سوختن ورقه‌ای کاهش ۳۲/۷۹ درصدی خواهد داشت. آنالیز خطا برای داده‌های تجربی انجام شد و همچنین روابط همبستگی برای دو نمونه از آزمایشات با شرایط متفاوت محاسبه شد که برای مقایسه با داده‌های تجربی در یک نمودار آمده است.

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

فصل ۱: مقدمه و مروری بر کارهای انجام یافته ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت پژوهش..... ۳

۱-۳- هدف پژوهش ۵

۱-۴- سرعت سوختن ورقه‌ای ۶

۱-۵- سرعت سوختن متلاطم..... ۷

۱-۶- پیشینه تحقیق ۸

فصل ۲: مواد و روش‌ها ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- روش‌های مختلف تعیین سرعت سوختن ۱۲

۲-۲-۱- روش‌های مشاهده‌ای ۱۲

۲-۲-۱-۱-روش شلیرین ۱۳

۲-۲-۱-۲- روش تداخل سنجی ۱۵

۲-۲-۲- روش‌های آزمایشگاهی ۱۶

۲-۲-۲-۱- روش مشعل بنسون..... ۱۶

۲-۲-۲-۲- روش لوله استوانه‌ای..... ۱۹

۲-۲-۲-۳- روش حباب صابون..... ۲۰

۲-۲-۲-۴- روش شعله مسطح..... ۲۱

۲-۲-۲-۵- روش شار گرمایی..... ۲۳

۲-۲-۲-۶- روش جریان مخالف..... ۲۴

۲-۲-۲-۷- روش بمب حرارتی..... ۲۵

۲-۳- گازهای رقیق‌کننده ۲۷
۲-۴- سیستم EGR، مزایا و معایب ۲۸
۲-۵- مدل‌های ترمودینامیکی احتراق ۳۰
۲-۶- انواع مدل احتراق ۳۱
۲-۶-۱- مدل دو منطقه‌ای ۳۱
۲-۷- تجهیزات آزمایشگاهی ۳۳
۲-۷-۱- بمب حرارتی ۳۳
۲-۷-۲- منبع گاز طبیعی ۳۳
۲-۷-۳- کمپرسور هوا ۳۳
۲-۷-۴- روتامتر ۳۳
۲-۷-۵- سیستم گرمکن ۳۴
۲-۷-۶- ترموکوپل ۳۵
۲-۷-۷- سیستم خلاءساز ۳۵
۲-۷-۸- سیستم ایجاد جرقه ۳۶
۲-۷-۹- ترنسدیوسر فشار مطلق ۳۶
۲-۷-۱۰- ترنسدیوسر فشار دینامیک ۳۶
۲-۷-۱۱- سیستم ADC ۳۷
۲-۸- نحوه انجام آزمایش ۳۹
۲-۹- نحوه محاسبه درصد جرمی و حجمی مخلوط گاز طبیعی و ایزواکتان با هوا و فشارهای جزئی آن‌ها . ۴۰
۲-۱۰- ملاحظات دمای نقطه شبنم ۴۸
۲-۱۱- کد کامپیوتری ۴۹

فصل ۳: استخراج نتایج تجربی ۵۲
۳-۱- مقدمه ۵۳
۳-۲- تحلیل خطا در داده‌های تجربی ۵۳
۳-۳- رابطه همبستگی سرعت سوختن ورقه‌ای، دما و فشار ۵۶
۳-۴- معتبر سازی ۶۰
۳-۵- تغییرات سرعت سوختن بر حسب فشار با درصدهای جرمی متفاوت ایزواکتان و گاز طبیعی بدون گازهای باقی‌مانده ۶۱
۳-۶- تغییرات سرعت سوختن بر حسب فشار با درصدهای جرمی متفاوت ایزواکتان و گاز طبیعی با حضور گازهای باقی‌مانده ۶۴

۳-۷- اثر نسبت هم‌ارزی روی سرعت سوختن ورقه‌ای ۶۷
۳-۸- اثر افزایش درصد گازهای باقی‌مانده روی سرعت سوختن ورقه‌ای..... ۶۸
۳-۹- تأثیر تغییر فشار اولیه روی سرعت سوختن..... ۷۲
۳-۱۰- تغییرات فشار بر حسب زمان..... ۷۴
۳-۱۱- تغییرات سرعت سوختن ورقه‌ای بر حسب شعاع سوخته ۷۷

فصل ۴: بحث و نتیجه‌گیری ۸۰
۴-۱- نتیجه‌گیری..... ۸۱
۴-۲- پیشنهادات برای کارهای آینده ۸۲
منابع..... ۸۴

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

شکل (۱-۱) انتشار آزاد شعله آدیاباتیک تک بعدی..... ۶
شکل (۲-۱) روش عکس برداری شلیرین..... ۱۴
شکل (۲-۲) مسیر نور از ابتدا تا انتها در تداخل سنج..... ۱۶
شکل (۲-۳) طرحی از مشعل بنسون..... ۱۷
شکل (۲-۴) طرحی از شعله مخروطی بنسون و قسمت‌های مختلف تشکیل دهنده آن..... ۱۹
شکل (۲-۵) متغیرهای موجود در معادلات روش حباب صابون..... ۲۱
شکل (۲-۶) مشعل شعله مسطح برای بدست آوردن سرعت سوختن..... ۲۲
شکل (۲-۷) شکل شماتیک از آرایش روش جریان مخالف که قسمت خاکستری نشان دهنده جبهه شعله است..... ۲۴
شکل (۲-۸) المانی از رشد شعله داخل بمب کروی..... ۲۶
شکل (۲-۹) تاثیر EGR روی کاهش NO_X در موتورهای دیزلی و بنزینی..... ۲۹
شکل (۲-۱۰) نسبت هوا به سوخت با تغییر درصد EGR..... ۲۹
شکل (۲-۱۱) طرح کلی بمب حرارتی و تجهیزات متصل به آن..... ۳۸
شکل (۳-۱) نمودار تحلیل خطا برای فشار ۴ بار..... ۵۶
شکل (۳-۲) مقایسه داده‌های تجربی با نتایج رابطه همبستگی به خمراه نمودار تحلیل خطا..... ۵۹
شکل (۳-۳) مقایسه نتایج تجربی و نتایج بدست آمده از رابطه همبستگی متقالچی به همراه نمودار تحلیل خطا..... ۶۰
شکل (۳-۴) نمودار سرعت سوختن بر حسب فشار با درصدهای جرمی متفاوت ایزواکتان و گاز طبیعی..... ۶۱
شکل (۳-۵) نمودار سرعت سوختن بر حسب فشار با درصدهای جرمی متفاوت ایزواکتان و گاز طبیعی..... ۶۲
شکل (۳-۶) نمودار سرعت سوختن بر حسب فشار با درصدهای جرمی متفاوت ایزواکتان و گاز طبیعی..... ۶۳
شکل (۳-۷) تغییرات سرعت سوختن با تغییرات درصد ایزواکتان..... ۶۴

شکل (۳-۸) نمودار سرعت سوختن بر حسب فشار با درصدهای جرمی متفاوت ایزواکتان و گاز طبیعی و با حضور گازهای باقی‌مانده.....۶۵
شکل (۳-۹) نمودار سرعت سوختن بر حسب فشار با درصدهای جرمی متفاوت ایزواکتان و گاز طبیعی و با حضور گازهای باقی‌مانده.....۶۵
شکل (۳-۱۰) نمودار سرعت سوختن بر حسب فشار با درصدهای جرمی متفاوت ایزواکتان و گاز طبیعی و با حضور گازهای باقی‌مانده. ۶۶
شکل (۳-۱۱) تغییرات سرعت سوختن با تغییرات درصد حجمی گازهای باقی‌مانده.....۶۷
شکل (۳-۱۲) سرعت سوختن بر حسب فشار برای نسبت‌های هم‌ارزی ۰/۹۵ و ۱.....۶۸
شکل (۳-۱۳) تغییرات سرعت سوختن بر حسب فشار برای درصدهای مختلف گازهای باقی‌مانده.....۶۹
شکل (۳-۱۴) تغییرات سرعت سوختن بر حسب فشار برای درصدهای مختلف گازهای باقی‌مانده.....۷۰
شکل (۳-۱۵) تغییرات سرعت سوختن بر حسب فشار برای درصدهای مختلف گازهای باقی‌مانده.....۷۱
شکل (۳-۱۶) تغییرات سرعت سوختن بر حسب فشار برای فشارهای اولیه ۲ و ۴ بار.....۷۲
شکل (۳-۱۷) تغییرات سرعت سوختن بر حسب فشار برای فشارهای اولیه ۲ و ۴ بار.....۷۳
شکل (۳-۱۸) تغییرات فشار برحسب زمان.....۷۴
شکل (۳-۱۹) تغییرات فشار برحسب زمان.....۷۵
شکل (۳-۲۰) تغییرات فشار برحسب زمان.....۷۶
شکل (۳-۲۱) تغییرات سرعت سوختن ورقه‌ای بر حسب شعاع سوخته.....۷۷
شکل (۳-۲۲) تغییرات سرعت سوختن ورقه‌ای بر حسب شعاع سوخته.....۷۸

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

جدول (۲-۱) مشخصات فنی دستگاه..... ۳۷

جدول (۲-۲) ترکیبات گاز طبیعی در استان اردبیل..... ۴۱

جدول (۲-۳) تناسب برای بدست آوردن $n_{C_8H_{18}}$..... ۴۲

جدول(۲-۴) فشارهای جزئی ۵۰٪ گاز طبیعی و ۵۰٪ ایزواکتان با هوا و گازهای رقیق‌کننده در نسبت هم‌ارزی۱ ..... ۴۴

جدول(۲-۵) فشارهای جزئی ۲۵٪ گاز طبیعی و ۷۵٪ ایزواکتان با هوا و گازهای رقیق‌کننده در نسبت هم‌ارزی۱ ..... ۴۴

جدول(۲-۶) فشارهای جزئی ۷۵٪ گاز طبیعی و ۲۵٪ ایزواکتان با هوا و گازهای رقیق‌کننده در نسبت هم‌ارزی۱ ..... ۴۵

جدول(۲-۷) فشارهای جزئی ۰٪ گاز طبیعی و ۱۰۰٪ ایزواکتان با هوا و گازهای رقیق‌کننده در نسبت هم‌ارزی۱ ..... ۴۵

جدول(۲-۸) فشارهای جزئی ۵۰٪ گاز طبیعی و ۵۰٪ ایزواکتان با هوا و گازهای رقیق‌کننده در نسبت هم‌ارزی۰/۹۵ ..... ۴۶

جدول(۲-۹) فشارهای جزئی ۲۵٪ گاز طبیعی و ۷۵٪ ایزواکتان با هوا و گازهای رقیق‌کننده در نسبت هم‌ارزی۰/۹۵..... ۴۶

جدول(۲-۱۰)فشارهای جزئی ۷۵٪ گاز طبیعی و ۲۵٪ ایزواکتان با هوا و گازهای رقیق‌کننده در نسبت هم‌ارزی۰/۹۵..... ۴۷

جدول(۲-۱۱)فشارهای جزئی ۰٪ گاز طبیعی و ۱۰۰٪ ایزواکتان با هوا و گازهای رقیق‌کننده در نسبت هم‌ارزی۰/۹۵..... ۴۷

جدول(۲-۱۲) فشارهای جزئی و دمای نقطه شبنم بخار آب موجود در محصولات..... ۴۹

جدول (۳-۱) مقادیر u_{l0}، α و β برای فشار ۲ بار، دمای ۳۶۹ کلوین، نسبت هم‌ارزی ۱ و درصدهای مختلف ایزواکتان..... ۵۸

فهرست علائم

سرعت سوختن ورقه‌ای	u_L
جرم سوخته شده	m_b
مساحت ناحیه شعله	A_f
چگالی	ρ
دما	T
فشار	P
دما در طول احتراق	T_u
فشار در طول احتراق	P_u
دمای مرجع	T_0
فشار مرجع	P_0
دمای اولیه	T_i
فشار اولیه	P_i
نسبت هم‌ارزی	ϕ
زمان	t
شعاع	r
شعاع بخش سوخته	r_b
کسر مولی گاز طبیعی	y_{NG}
کسر مولی بخار آب	y_{H_2o}
فشار جزئی گاز طبیعی	P_{NG}
فشار جزئی بخار آب	P_{H_2o}
فشار نهایی	P_{tot}
فشار جزئی ایزواکتان	P_{iso}
جرم ایزواکتان	m_{iso}

جرم مولکولی ایزواکتان	M_{iso}
حجم ایزواکتان	V_{iso}
حجم سوخت مایع	V_f
حجم بمب	V_{bomb}
فشار جزئی گازهای رقیق‌کننده	P_{RG}
درصد حجمی گازهای رقیق‌کننده	x_{RG}
درصد وزنی ایزواکتان	x_{iso}
فشار جزئی هوا در حالت مخلوط همراه با گازهای رقیق‌کننده	$P_{a,RG}$
فشار جزئی گاز طبیعی در حالت مخلوط همراه با گازهای رقیق‌کننده	$P_{NG,RG}$
فشار جزئی ایزواکتان در حالت مخلوط همراه با گازهای رقیق‌کننده	$P_{gas,RG}$
جرم سوخت	m_f
جرم هوا	m_a
نسبت سوخت به هوای استوکیومتریک	α_s
ثابت جهانی گازها	$\tilde{R}$
ثابتی در تعیین سرعت سوختن ورقه‌ای	u_{L0}
ثابتی در تعیین سرعت سوختن ورقه‌ای	α
ثابتی در تعیین سرعت سوختن ورقه‌ای	β

فصل اول

مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته