



بررسی اثر افزودن گاز طبیعی بر سرعت آرام شعله بنزین

مهدی بالو^۱، بیژن ملایی^{۲*}، مهدی اخلاقی^۳، ایمان چیت ساز^۴

^۱دانشگاه صنعتی امیرکبیر و شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو)، تهران، ایران، baloo@aut.ac.ir

^۲دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، dariani@aut.ac.ir

^۳دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، makhlaghi@aut.ac.ir

^۴شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو)، تهران، ایران، i_chitsaz@ip-co.com

*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۲۱-۶۴۵۳۳۴۱۳

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۹ بهمن ۱۳۹۲

پذیرش: ۲۵ اسفند ۱۳۹۲

کلیدواژه‌ها:

سرعت شعله

شیلیرین

سوخت جایگزین

محفظه حجم ثابت

مارک اشتاین

چکیده

در سال‌های اخیر، مخلوط گاز طبیعی و بنزین به عنوان سوختی جایگزین در موتورهای احتراق داخلی، مورد توجه طراحان موتور قرار گرفته است؛ به طوری که از قابلیت‌های بالقوه هر سوخت استفاده شود. بنابراین، مطالعه و شناخت دقیق این سوخت جایگزین در پیش‌بینی رفتار احتراقی آن از فعالیت‌های جذاب و اجتناب ناپذیر است.

در این تحقیق، با روش نوری شیلیرین، سرعت شعله آرام سوخت ترکیبی گاز طبیعی و بنزین در نسبت‌های مختلف جرمی گاز و بنزین و در غناهای مختلف ۰٫۸ تا ۱٫۲ در محفظه استوانه‌ای حجم ثابت اندازه‌گیری شد و سرعت شعله آرام کشیده نشده با استفاده از نظریه مارک اشتاین و با فرض کشیدگی ناچیز شعله محاسبه شده است. سوخت مایع و سوخت گاز با افشانه‌های تزریق مستقیم، پاشش شد. برای اطمینان از تبخیر کامل سوخت مایع، سوخت در محفظه گرم و با ایجاد خلأ اولیه در آن تزریق شد. نتایج نشان داد که افزودن گاز به بنزین موجب افزایش سرعت شعله آرام نسبت به حالت بنزینی در غناهای ۰٫۸ تا ۰٫۹ می‌شود. در غنای زیاد افزایش گاز تأثیر ناچیزی در تغییر سرعت شعله نسبت به حالت بنزینی دارد. افزودن گاز به بنزین موجب شده است که ناپایداری شعله که منجر به حجره‌ای (سلولی) شدن و ترک برداشتن شعله شود، در غنای بیشتری اتفاق بیفتد.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱) مقدمه

مهمترین کمیت در احتراق پیش مخلوط^۱، سرعتی است که جناح شعله^۲ عمود بر خودش و نسبت به جریان در مخلوط نسوخته رشد می‌کند. به این سرعت یک بعدی صفحه‌ای، سرعت شعله آرام گفته می‌شود [۱]. این سرعت خاصیتی ترموشیمیایی است و بیانگر نرخ انرژی آزاد شده در هنگام احتراق در مخلوط ساکن است و به غنا، دمای مخلوط نسوخته و فشار اولیه بستگی دارد. از این خاصیت در هرجایی که احتراق وجود دارد مانند موتورها، مشعل‌ها، فرآیندهای شیمیایی و انفجار استفاده می‌شود. بنابراین بر نرخ سوختن، عملکرد و تولید آلاینده‌ها در موتور احتراق داخلی نیز تأثیر گذار است [۲].

تعیین دقیق سرعت شعله آرام در دما و فشار زیاد، در توسعه و صحنه گذاری سازوکارهای سینتیکی سوخته‌های بنزینی و دیزلی و سوخته‌های جایگزین اهمیت بسزایی دارد [۳-۵].

در شبیه‌سازی‌های مختلف احتراق مغشوش، سرعت شعله آرام به عنوان ورودی برای تعیین سرعت شعله مغشوش به کار می‌رود و مقدار آن بر حل نهایی احتراق مغشوش تأثیر مستقیم دارد. بنابراین تعیین دقیق سرعت شعله آرام در سوخته‌های مختلف بخصوص سوخته‌های ترکیبی جایگزین، در توسعه احتراقی موتور احتراق داخلی اجتناب ناپذیر است.

در پنجاه سال اخیر به منظور توسعه فنونهای جدید و بهبود روشهای موجود برای تعیین تجربی و نظری سرعت شعله آرام، توجه زیادی شده است. از روشهای مختلف آزمایشگاهی اندازه‌گیری سرعت شعله آرام می‌توان به شعله نفوذی کروی [۳-۴]، شعله ساکن، شعله بنسون و شعله تخت تثبیت شده برنر اشاره کرد. به خاطر یکسان نبودن سرعت شعله در سطح شعله بنسون و اثرات دیواره در شعله تخت، یافتن سرعت شعله آرام از طریق شعله نفوذی کروی و شعله ساکن از موفقترین روشها است [۶ و ۹]. با توجه به عدد رینولدز، از روش شعله ساکن در فشارهای زیاد (بیشتر از ۱۰ اتمسفر) نمی‌توان استفاده کرد [۹]. بنابراین استفاده از روش شعله نفوذی کروی در بمب محصور شده، یکی از بهترین روشها در تعیین سرعت شعله آرام به ویژه در فشارهای زیاد است [۲، ۴، ۹].

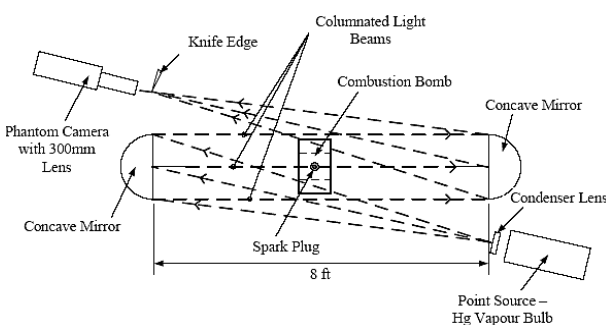
در روش شعله نفوذی کروی، مخلوط قابل احتراق همگن ساکن در محفظه، با شمع یا باریکه لیزر که در مرکز محفظه وجود دارد محترق می‌شود که در نتیجه شعله کروی شکل می‌گیرد [۶]. سابقه جبهه شعله یا سابقه افزایش فشار اندازه‌گیری می‌شود و با شبیه‌سازیهای نظری بسرعت شعله متصل می‌شوند که در قسمت بعد شرح داده می‌شود. بسته به طراحی محفظه و تغییر فشار، دو روش مختلف برای اندازه‌گیری سرعت شعله با استفاده از شعله کروی در حال انبساط وجود دارد: روش فشار ثابت و روش حجم ثابت است.

در این تحقیق از روش حجم ثابت استفاده شده است. در روش حجم ثابت [۲، ۵] با بکارگیری مبدل فشار پاسخ سریع، سابقه فشار داخل محفظه در حین انبساط شعله کروی ثبت می‌شود. تبدیل سریع واکنش دهنده‌ها به محصولات در جناح شعله موجب افزایش سریع فشار و در نتیجه افزایش فشار منطقه سوخته و نسوخته می‌شوند. مزیت این روش این است که سرعت شعله مخلوط معین سوخت و هوا در محدوده وسیعی از دما و فشار قابل اندازه‌گیری است [۲]. در سالهای اخیر، شبیه‌سازیهای متعدد نظری برای اتصال سابقه فشار اندازه‌گیری شده تجربی به سرعتهای لحظه‌ای توسعه داده شده است.

۲) عکسبرداری از شعله به روش نوری شیلیرین^۳

در روش نوری شیلیرین از اصل اختلاف چگالی استفاده می‌شود. بدین شکل که با عبور یک دسته نور موازی از محیط مشخص می‌توان با توجه به شکست نور در اثر اختلاف چگالی ایجاد شده در اثر پاشش سوخت یا احتراق در محفظه به بررسی پدیده‌های پاشش سوخت و احتراق پرداخت. همان طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، این سامانه از منبع نور که چراغ هالوژنی ۱۰۰ وات است شروع می‌شود. نور خروجی به آینه‌ای کروی برخورد می‌کند. دسته نورهای موازی، خروجی آینه اول است که از درون محفظه احتراق عبور می‌نمایند و به آینه کروی دوم در سمت مقابل می‌رسند. این دسته نور موازی پس از برخورد با آینه دوم همگرا و پس از عبور از یک لبه تیز^۴ وارد دوربین سریع می‌شود و به این ترتیب می‌توان از پدیده هدف تصویر برداری کرد. نمایی از مسیر حرکت نور و میز آزمایشگاهی شیلیرین را در شکل (۲) مشاهده می‌کنید.

در روش حجم ثابت از محفظه استوانه‌ای یا کروی مانند شکل (۲) استفاده می‌شود. سرعت شعله بر اساس ثبت تغییرات زمانی فشار $p=p(t)$ بعد از این که شعله به اندازه کافی بزرگ و تغییرات فشار هم مشهود شد، محاسبه می‌شود.



شکل ۱: نمایی از نحوه عکسبرداری از شعله به روش شیلیرین

³ Schlieren
⁴ Knife edge

¹ Premixed flame
² Flame front

جرم نسوخته و جرم کلی بترتیب با این معادلات بیان می‌شوند:

$$m_u = \frac{4}{3}\pi(R_0^3 - R_f^3)\rho_u \quad (7)$$

$$m_0 = \frac{4}{3}\pi R_0^3 \rho_u^0 \quad (8)$$

که R_0 شعاع محفظهٔ کروی (یا شعاع معادل در صورت استوانه‌ای بودن محفظه) و ρ_u^0 چگالی اولیهٔ مخلوط است. با فرض فرایند برگشت پذیر بی‌دررو خواهیم داشت:

$$\frac{\rho_u^0}{\rho_u} = \left(\frac{P_0}{P}\right)^{1/\gamma} \quad (9)$$

با استفاده از معادلات (۱) و (۳) و (۶-۸)، معادلهٔ (۱۰) سرعت شعله حاصل می‌شود:

$$S_u = \frac{R_0^3}{3R_f^2} \left(\frac{P_0}{P}\right)^{1/\gamma} \frac{dx}{dt} \quad (10)$$

$$\frac{R_f}{R_0} = \left[1 - (1-x) \left(\frac{P_0}{P}\right)^{1/\gamma}\right]^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

معادلات ۱۰ و ۱۱ با اندازه‌گیری سابقهٔ فشار درون محفظه از لحظهٔ شروع احتراق تا پایان آن برای اندازه‌گیری سرعت شعله بکار می‌روند. محاسبات تعادلی در شرایط حجم ثابت، برای به دست آوردن وابستگی بین P با x ، γ ، دمای گاز سوخته T_b و دمای گاز نسوخته T_u لازم است. با استفاده از این معادلات و با حل معادلات (۱۰) و (۱۱) و با اندازه‌گیری فشار P ، سرعت شعله کشیده شدهٔ S_u به دست می‌آید. برای سادگی معمولاً فرض وجود معادلهٔ خطی بین نسبت جرمی سوخته و افزایش فشار بکار می‌رود [۱۴]:

$$x = \frac{P - P_0}{P_e - P_0} \quad (12)$$

با جایگذاری معادلهٔ (۱۲) در معادلات (۱۰) و (۱۱) سرعت شعله کشیده شده از معادلهٔ (۱۳) به دست خواهد آمد:

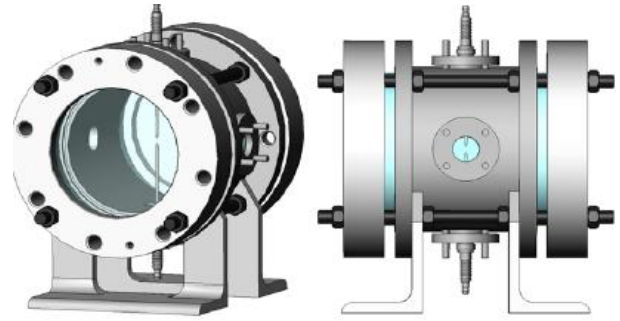
$$S_u = \frac{R_0}{3} \left(\frac{R_0}{R_f}\right)^2 \frac{1}{P_e - P_0} \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \frac{dP}{dt} \quad (13)$$

در معادلهٔ (۱۳) فشار انتهایی با فرض احتراق حجم ثابت است. خواص ترمودینامیکی احتراق حجم ثابت بی‌دررو با فرض تعادل شیمیایی بر طبق معادلات (۱۴) و (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$U_i = U_e \text{ or } H_i - n_R R U T_i = H_e - n_R R U T_e \quad (14)$$

$$P_e = p_i \frac{T_e n_e}{T_i n_i} \quad (15)$$

که در معادلات فوق U انرژی درونی، R_U ثابت جهانی گازها و زیرنویس‌های i و e بترتیب شرایط اولیه و نهایی اند. بنابراین با استفاده از سابقهٔ فشار $p = p(t)$ ، موقعیت شعله R_f از معادلهٔ (۱۱) و سرعت شعله کشیده شده S_u از معادلهٔ (۱۳) به دست می‌آید.



شکل ۲: محفظهٔ استوانه‌ای حجم ثابت

فرضیات روش حجم ثابت بدین صورت است:

شعلهٔ به صورت نازک، صاف و کروی است و فشار هم به صورت یکنواخت است. اجزا گازهای سوخته و نسوخته به صورت گاز کامل رفتار می‌کنند و محصولات تجزیه شده در تعادل باهم‌اند. گاز نسوخته به صورت برگشت پذیر بی‌دررو تحت فشار قرار می‌گیرد. دما به صورت فضایی در منطقهٔ گاز سوخته شده یکنواخت است. اثرات نیروی شناوری هم ناچیز است. با این فرضیات می‌توان خصوصیات گازهای سوخته و نسوخته را در فرایند سوختن حجم ثابت محاسبه کرد.

۳) تعیین سرعت شعله با ثبت لحظه ای فشار

با استفاده از قانون بقای جرم در محفظهٔ کروی داریم:

$$m_b + m_u = m_0 \quad (1)$$

$$\frac{dm_u}{dt} = -\frac{dm_u}{dt} \quad (2)$$

که m_b و m_u جرم گاز سوخته و نسوخته و m_0 کل جرم اولیه است.

بر طبق تعریف سرعت شعله (S_u) داریم:

$$\frac{dm}{dt} = -4\pi R_f^2 \rho_u S_u \quad (3)$$

که R_f شعاع لحظه‌ای شعله و ρ_u چگالی گاز سوخته نشده است.

بر اساس فرضیاتی چون نازک بودن شعلهٔ کروی و یکنواختی دمایی در منطقه گاز خواهیم داشت:

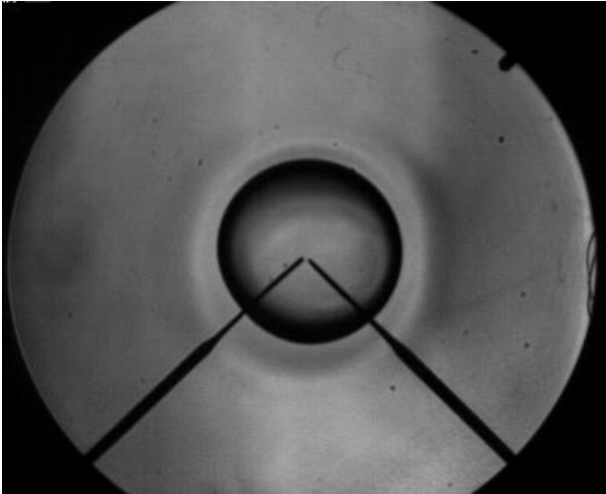
$$m_b = \frac{4}{3}\pi R_f^3 \rho_b \quad (4)$$

اگر فرض شود که گاز سوخته، گازی کامل است و تراکم در حین نفوذ شعله نیز برگشت پذیر بی‌دررو است:

$$\frac{d\rho_b}{\rho_b} = dP/\gamma P \quad (5)$$

که ρ_b چگالی گاز سوخته است. کسر جرمی سوخته x هم به صورت معادلهٔ (۶) تعریف می‌شود:

$$x = \frac{m_b}{m_0} = 1 - \frac{m_u}{m_0} \quad (6)$$



شکل ۳: قطبهای مثبت و منفی شمع و جناح شعله

۴) تعیین سرعت شعله با عکسبرداری نوری

استفاده از روش نوری شیلیترین روش مناسب برای تعیین مکان جناح شعله بعد از جرقه و شروع احتراق و محاسبه سرعت شعله در مرحله نفوذ جناح شعله است.

برای این کار ابتدا محفظه حجم ثابت از مخلوط از هوا و سوخت با غنای معین در فشار و دمای اولیه خاص پر می شود. بعد از حصول اطمینان از ساکن شدن کامل مخلوط، جرقه شمع در مرکز محفظه زده می شود. در شکل (۳) نمای روبرویی محفظه احتراق و شمعیای نصب شده در آن نشان داده شده است. در این شمعیای از میله های نازک فلزی که به قطبهای میانی هر یک جوش داده می شود استفاده می شود. یکی از شمعیای به سیم پیچ و دیگری به زمین اتصال می یابد. همان طور که در این شکل مشخص است مرز ناحیه سوخته از نسوخته کاملاً واضح است. با استفاده از روشهای پردازش تصویر با نرم افزار MATLAB و استفاده از روشهای لبه یابی شعاع لحظه ای قابل اندازه گیری است و نرخ تغییرات شعاع dr/dt تعیین می شود.

در شعله ای که به صورت کروی رشد می کند سرعت شعله از معادله (۱۶) محاسبه می شود.

$$S_b = \frac{dr}{dt} \quad (16)$$

کشیدگی شعله^۱ پدیده ای است که در نفوذ شعله کروی اتفاق می افتد و در محاسبه سرعت شعله آرام باید آن را در نظر گرفت. کشیدگی شعله ناشی از کرنش و تغییر شعاع انحنا شعله ناشی می شود [۱۴] و نرخ کشیدگی از معادله (۱۷) محاسبه می شود:

$$\alpha = \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{d(4\pi r^2)}{dt} = \frac{2}{r} \frac{dr}{dt} \quad (17)$$

α نرخ کشیدگی شعله و A سطح لحظه ای شعله است. برای به دست آوردن سرعت شعله آرام باید اثر کشیدگی شعله حذف شود. با توجه به اینکه اثر افزایش دما و فشار در مراحل اولیه رشد شعله کمینه است، مرحله ای وجود دارد که سرعت شعله به طور خاص تابعی از کشیدگی است که امکان برون یابی خطی برای کشیدگی صفر و تعیین رفتار کشیدگی را میسر می سازد. با رسم نمودار S_u بر حسب α و برونیابی نمودار تا نرخ کشیدگی صفر می توان سرعت شعله آرام کشیده نشده (S_u^0) را محاسبه کرد [۱۵]:

$$S_u = S_u^0 - L_{II} \alpha \quad (18)$$

$$S_u = \frac{\rho_b}{\rho_u} \frac{dr}{dt} \quad (19)$$

L_{II} در معادله (۱۸) طول مارک اشتاین شعله^۲ نسوخته نامیده می شود و شیب خط برازش شده معرف این کمیت است.

۵) محاسبه نسبت چگالی قسمت سوخته به نسوخته

برای محاسبه نسبت چگالی و استفاده از معادله (۲۰)، برنامه ترمودینامیکی دو ناحیه ای توسعه داده شده است که با حل سامانه معادلات تعادلی برای ۱۲ گونه شیمیایی شامل $H_2, O_2, H_2O, CO, CH_4, NO, NO_2, N, O, H, OH, CO_2$ و استفاده از زیربرنامه خارجی CHEM_EQUIL و جدول داده های NASA نسبت گرمای ویژه (γ)، جرم مولکولی (M) و کسر مولی (n) هر یک از اجزا واکنش دهنده ها و محصولات حاصل می شود.

داده های ورودی در این برنامه شامل شرایط اولیه (دما و فشار اولیه مخلوط و فشار جزیی اجزا) و نوع سوخت است.

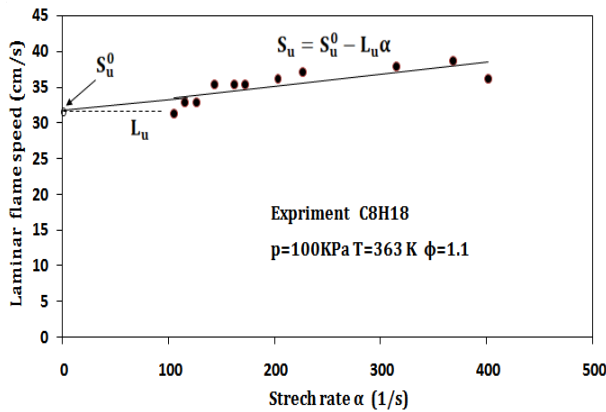
با فرض تراکم برگشت پذیر بی درروی گاز نسوخته، دمای واکنش دهنده ها (T_R) از معادله (۲۰) محاسبه می شود:

$$T_R = T_i \left(\frac{p}{p_i} \right)^{\frac{\gamma_u - 1}{\gamma_u}} \quad (20)$$

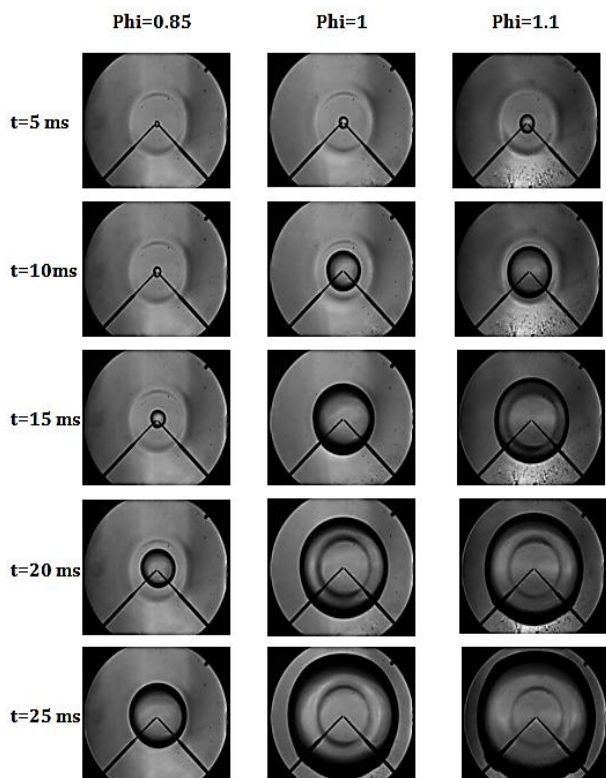
که T_i و p_i بترتیب دما و فشار اولیه مخلوط است. خصوصیات محصولات در هر نقطه با فرض تعادل شیمیایی در فرایند احتراق فشار ثابت بی دررو که معادله $H_R(T_R) = H_P(T_P)$ را ارضا نماید تعیین می شود که H_P و H_R بترتیب آنتالپی واکنش دهنده ها و آنتالپی محصولات است. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، با اندازه گیری شعاع لحظه ای و محاسبه نرخ تغییرات آن و نیز محاسبه نسبت چگالی سوخته به نسوخته، از معادله (۱۹) می توان برای محاسبه سرعت شعله آرام بهره برد. شایان ذکر است که در استفاده از معادله (۱۳) نیازی به عکسبرداری نوری ندارد و فقط فشار دینامیکی احتراق ثبت می شود و بالعکس برای محاسبه سرعت شعله آرام از معادله (۱۹) نیاز به داده های فشار نیست و عکسبرداری به روش شیلیترین برای تعیین دقیق موقعیت شعله لازم است.

1 Flame Stretch

2 Markstein length



شکل ۴: رشد شعله در غناهای مختلف با سوخت ایزواکتان



شکل ۵: رشد شعله در غناهای مختلف با سوخت ایزواکتان

افزودن گاز به ایزواکتان در غنای کم موجب سرعت شعله تندتر خواهد شد. این رفتار در شکل‌های (۷) و (۸) دیده می‌شود. با افزایش مقدار سوخت گاز در ایزواکتان، شعله آرام با سرعت بیشتری رشد می‌کند. مقایسه فشار محفظه در نسبت‌های مختلف گاز به ایزواکتان در شکل (۷) نیز، گویای این مسأله است. بنابراین، از سوخت گازی به عنوان افزایش سرعت شعله در مخلوط‌های رقیق می‌توان بهره برد.

بدیهی است ناپایداری احتراق و جره‌ای شدن شعله در روش اول قابل مشاهده نیست که در محاسبه سرعت شعله آرام خطا ایجاد می‌کند.

در این تحقیق از مخلوط گاز و سوخت ایزواکتان به نسبت‌های مختلف استفاده شده است که خواص اصلی هریک در جدول (۱) نشان داده شده است. وابستگی شیمیایی بر اساس مقادیر نسبت کربن به هیدروژن و محتوای اکسیژن هر سوخت محاسبه شده است. این خواص تأثیر مستقیم در محاسبات ترمودینامیکی و تنظیم غنای مخلوط دارند. علت استفاده از ایزواکتان با خلوص ۹۹٫۹٪، به خاطر متغیر بودن نوع سوخت بنزینی و عدم اطمینان از ساختار شیمیایی آن بوده است. با این وجود با توجه به تشابه رفتار احتراقی بنزین و ایزواکتان استفاده از ایزواکتان به جای بنزین در بررسی‌های سرعت شعله مناسب خواهد بود.

۶) بررسی نتایج

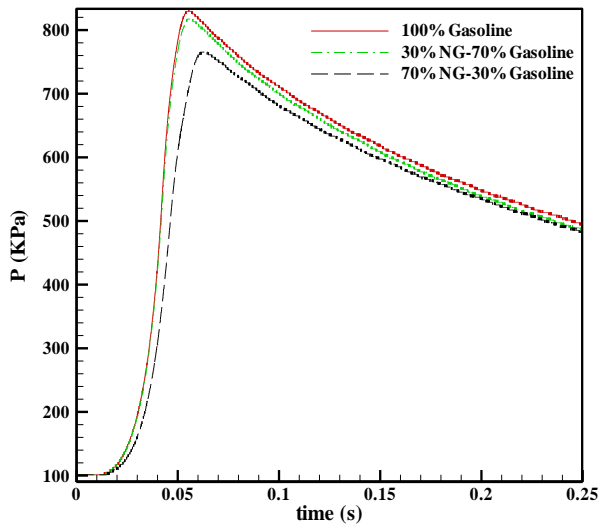
شکل (۴) نحوه به دست آوردن سرعت شعله آرام کشیده نشده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در قسمت قبل ذکر شد یکی از روش‌های متداول در پیدا کردن سرعت شعله آرام کشیده نشده ($\alpha = 0$) استفاده از روش برون‌یابی خطی نمودار S_{II} بر حسب α است که در کشیدگی صفر، مقدار سرعت آرام کشیده نشده به دست می‌آید. همان‌طور که مشخص است این سرعت برابر با ۳۲ cm/s است.

در شکل (۵) نحوه رشد شعله آرام در غنای مختلف با سوخت ایزواکتان نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست با افزایش غنای شعله روند افزایشی دارد و در $\phi = 1.1$ به بیشینه خود می‌رسد. این رفتار در همه هیدروکربن‌های اشباع شده گروه الکنها تقریباً وجود دارد و حداکثر سرعت شعله در مخلوط کمی غنی دیده می‌شود.

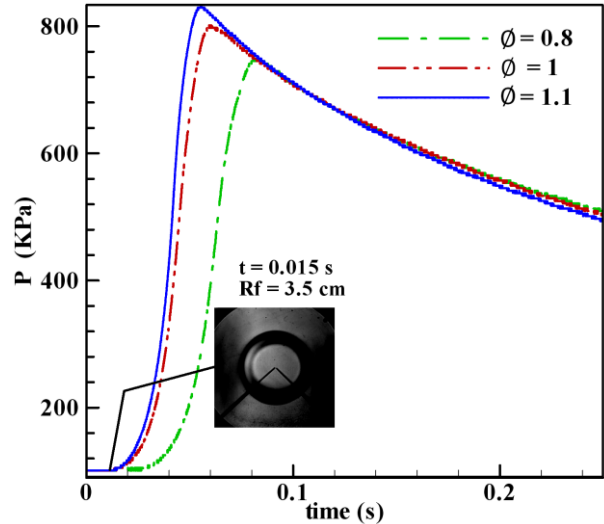
بررسی نمودار تغییرات فشار بر حسب زمان در شکل (۶) که فشار محفظه برای سه غنای ۰٫۸، ۰٫۹ و ۱٫۱ است، نشان می‌دهد که مخلوط رقیق ($\phi = 0.8$) مقدار فشار و نیز نرخ افزایش فشار کمتری نسبت به غنای بیشتر دارد. در مخلوط کمی غنی ($\phi = 1.1$) نرخ افزایش فشار به بیشینه خود می‌رسد.

جدول ۱: خواص سوخت‌های مورد استفاده

نوع سوخت	ارزش حرارتی (MJ/kg.k)	
بنزین	۴۲	C ₈ H ₁₈
گاز طبیعی	۳۴٫۵	C _{3.996} H _{1.0542} O _{0.0128}



شکل ۸: فشار لحظه‌ای محفظه‌ای در ترکیب جرمی گاز به بنزین مختلف در غنای $\phi = 1$



شکل ۹: فشار لحظه‌ای محفظه‌ای بعد از ایجاد چرکه در غناهای مختلف

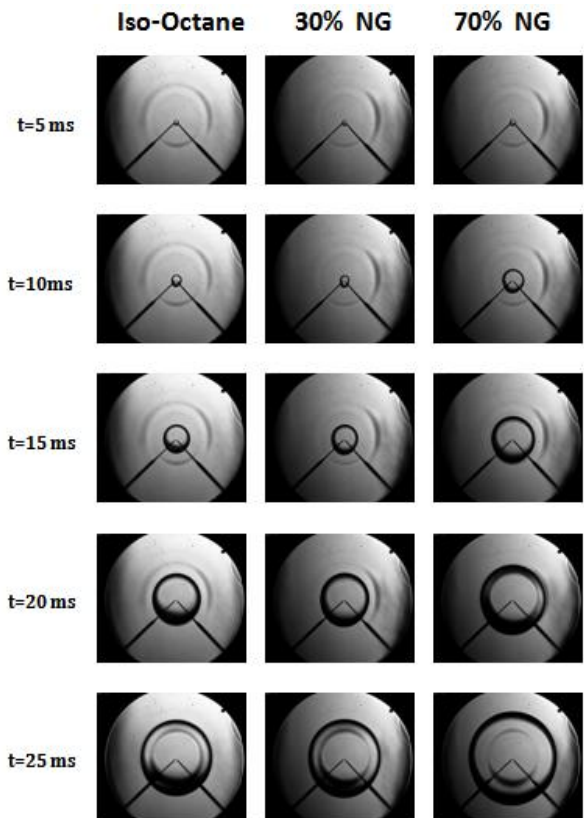
با افزایش غنای سوخت تمایل به ناپایداری شعله زیاد می‌شود. این ناپایداری عمدتاً از دو منبع ناشی می‌شود: ناپایداری هیدرودینامیکی^۱ که ریشه در تغییر چگالی در طول شعله دارد و ناپایداری نفوذ حرارتی^۲ که از اختلاف نفوذ مواد واکنش دهنده و نفوذ انرژی حرارتی ناشی می‌شود. تأثیر قسمت دوم را با تعریف عدد لوییس^۳ می‌توان توضیح داد.

عدد لوییس به صورت معادله (۲۱) تعریف می‌شود.

$$Le = \frac{\lambda}{\rho C_p D} \quad (21)$$

که λ ضریب نفوذ حرارتی و D ضریب نفوذ جرمی است.

ناپایداری نفوذ حرارتی زمانی اتفاق می‌افتد که عدد لوییس از مقدار بحرانی آن که در سوخته‌های مختلف فرق می‌کند، کمتر شود. با افزودن گاز به بنزین و تغییر عدد بحرانی لوییس در مخلوط جدید، این ناپایداری کمتر می‌شود و ترک برداشتن و جگره‌ای شدن شعله به تعویق می‌افتد یا حذف می‌شود. در شکل (۹) مرز شعله در $t = 30$ ms برای سوخت ایزواکتان و سوخت ترکیبی ایزواکتان و ۷۰٪ از طبیعی را نشان می‌دهد. جگره‌ای شدن و ترک برداشتن شعله بوضوح در سوخت ایزواکتان دیده می‌شود. در حالیکه در سوخت ترکیبی این مسأله اتفاق نیفتاده است.



شکل ۷: اثر افزودن گاز طبیعی به بنزین در غنای $\phi = 0.8$

¹ Hydrodynamic instability

² Thermal diffusion instability

³ Lewis Number

حروف یونانی

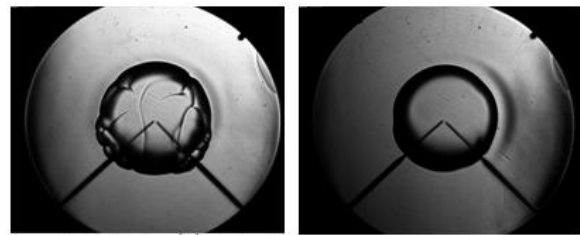
	$\frac{kg}{m^3}$	چگالی،
γ		نسبت گرمای ویژه
\emptyset		غنا
λ	$\frac{m}{s^2}$	ضریب نفوذ حرارتی،
α	$\frac{1}{s}$	نرخ کشیدگی،
زیرنویسها		
0		شرایط اولیه
e		شرایط نهایی
b		سوخته
u		نسوخته
f		شعله
R		واکنش دهنده‌ها
P		محصولات

References

- [1] G.E. Andrew, D. Bradley, Determination of burning velocities: A critical review, Combustion and Flame, Vol. 18, pp. 133-153, 1972
- [2] M. Metghalchi, J.C. Keck, Laminar burning velocity of propane-air mixtures at high temperature and pressure, Combustion and Flame, Vol. 38, pp. 143, 1980
- [3] C.K. Law, C.J. Sung, H. Wang, T.F. Lu., Development of comprehensive detailed and reduced reaction mechanisms for combustion modeling, AIAA Journal, Vol. 41, pp. 1629-1645, 2003
- [4] X. Qin, Y. Ju, Measurements of burning velocities of dimethyl ether and air premixed flames at elevated pressures. Proceedings of The Combustion Institute, Vol. 30, pp. 233-240, 2005
- [5] J.T. Farrell, R.J. Johnston, I.P. Androulakis, Molecular structure effects on laminar burning velocities at elevated temperature and pressure, SAE International, Paper No. 01-2936, 2004
- [6] C.J. Rallis, A.M. Garforth, The determination of laminar burning velocity, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 6, pp. 303-329, 1980
- [7] D.R. Dowdy, D.B. Smith, S.C. Taylor, A. Williams, The use of expanding spherical flames to determine burning velocities and stretch effects in hydrogen/air mixtures, Proceedings of The Combustion Institute, Vol. 23, pp. 325-332, 1990
- [8] M.J. Brown, I.C. McLean, D.B. Smith, S.C. Taylor, Markstein lengths of CO/H₂/air flames, using expanding spherical flames. Proceedings of The Combustion Institute, Vol. 26, pp. 875-881, 1996

Iso-Octane

70% NG



t=30 ms

شکل ۹: اثر افزودن گاز طبیعی به ایزواکتان در غنای $\emptyset = 1.5$

(۷) نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که با افزایش غنای سوخت تا مقدار کمی غنی ($\emptyset \approx 1.1$) سرعت شعله روند افزایشی دارد و بعد از آن سرعت کاهش می‌یابد. افزودن گاز طبیعی به ایزواکتان موجب بیشتر شدن نرخ نفوذ شعله خواهد شد. بنابراین در موتورهای رقیق سوز استفاده از سوخت ترکیبی گازو بنزین در کیفیت احتراق مؤثر و مفید خواهد بود. افزودن گاز طبیعی به ایزواکتان موجب کمک به پایداری شعله و به تأخیر انداختن جبره‌ای شدن یا ترک برداشتن شعله می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله در راستای فعالیتهای آزمایشگاهی وابسته به پایان نامه دکتری تعریف شده در مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو و با حمایت مالی و معنوی این شرکت است. لازم است از جناب آقای مهندس کرباسی‌فروشها و همه عزیزانی که در آماده سازی و اجرای آزمونها، مساعدت فکری و عملی نمودند، تشکر و قدردانی شود.

فهرست علائم

pa	فشار،
$\frac{m}{s}$	سرعت،
K	دما،
$\frac{J}{kg}$	آنتالپی،
$\frac{J}{kg}$	انرژی درونی،
m^2	مساحت،
m	شعاع،
kg	جرم،
m	طول مارک اشتاین،
$\frac{kJ}{kg K}$	گرمای ویژه در فشار ثابت
$\frac{m}{s^2}$	ضریب نفوذ جرمی،
x	نسبت جرمی

- [13] P.G. Hill, J. Hung, Laminar burning velocities of Stoichiometric mixtures of methane with propane and ethane additives, *Combustion Science and Technology*, Vol. 60, pp. 7-30, 1988
- [14] T. Poinso, D. Veynante, *Theoretical and numerical combustion*, 2005
- [15] A.A. Burluka, M. Harker, H. Osman, C.G.W. Sheppard, A.A. Konnov, Laminar burning velocities of three C₃H₆O isomers at atmospheric pressure, *Fuel*, Vol. 89, pp. 2864-2872, 2010
- [9] S.D. Tse, D.L. Zhu, C.K. Law, Morphology and burning rates of expanding spherical flames in H₂/O₂/inert mixtures up to 60 atmospheres, *Proceedings of The Combustion Institute*, Vol. 28, pp. 1793-1799, 2000
- [10] G. Rozenchan, D.L. Zhu, C.K. Law, S.D. Tse, Outward propagation, burning Velocities, and chemical effects of methane flames up to 60 atm, *Proceedings of The Combustion Institute*, Vol. 29, pp. 1461-1469, 2002
- [11] B. Lewis, G.V. Elbe, *Combustion flames and explosive of gases*, 2nd Edition, Academic Press, USA, 1961
- [12] D. Bradley, A. Mitcheson, *Mathematical solutions for explosions in spherical vessels*, *Combustion and Flame*, Vol. 26, pp. 201-217, 1976



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir



Investigation of effect of adding natural gas on gasoline laminar flame speed

M. Baloo¹, B. Mollaei^{2*}, M. Akhlaghi³, I. Chitsaz⁴

¹Amirkabir University of Technology and Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, baloo@aut.ac.ir

²Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, dariani@aut.ac.ir

³Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, makhlaghi@aut.ac.ir

⁴Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, i_chitsaz@ip-co.com

*Corresponding Author, Phone Number: +98-21-64543413

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 18 February 2014

Accepted: 16 March 2014

Keywords:

Flame speed

Schlieren

Constant volume chamber

Equivalence ratio

Mark Stein

ABSTRACT

In recent years, natural gas and gasoline blended fuels have been considered as alternative fuels in spark ignition (SI) engines. In order to utilize their potential benefits, a precise identification of those alternative fuels is attractive and inevitable studies to predict their performance in SI engines. In this study, the laminar flame speed of natural gas and gasoline blended fuels in the constant volume chamber at different equivalence ratios of 0.8 to 1.2, via the Schlieren optical method was measured and the un-stretched laminar flame speed by following the theory of the weekly stretched flame was obtained. Direct injectors, were installed at the top of the chamber and were used to inject liquid and gaseous fuels. To ensure that the liquid fuel would evaporate completely, the chamber wall was heated with four band heaters and liquid injection was done in the vacuumed chamber. The result showed that adding the natural gas to the gasoline would increase its flame speed at low equivalence ratio, from 0.8 to 0.95. Adding the natural gas to the gasoline in high equivalence ratio caused the flame instability that originated from cracking and the cellularity of the flame surface occurred at higher equivalence ratio.

© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.