



بررسی اثر متغیرهای فیزیکی موتور بر تأخیر اشتعال

برات قبادیان*

دانشیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

غلامرضا چگینی**

استادیار گروه فنی کشاورزی، دانشکده مهندسی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

چکیده

اولین دوره احتراق (از ۳ دوره احتراق) در موتورهای احتراق تراکمی دوره تأخیر اشتعال است. طول این دوره بر عملکرد و کارایی موتور نقش بسزایی دارد. شناسایی و کنترل متغیرهایی که بر طول این دوره تأثیر دارند در طراحی و بالا بردن عملکرد موتور بسیار حائز اهمیت است. با استفاده از آزمایش فاکتوریل کامل با طرح پایه کاملاً تصادفی آزمایشها در چهار سطح سرعت دورانی موتور: ۱۲۰۰، ۱۳۵۰، ۱۵۰۰ و ۱۶۵۰ rpm و چهار سطح بار موتور: ۵۵، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰٪ بار کامل و ۵ سطح زمان پاشش سوخت: ۲۲، ۲۷، ۳۲، ۳۷ و ۴۲ که بر روی یک موتور کوچک دیزلی پاشش مستقیم صورت گرفت. متغیرهای احتراق موتور شامل دمای درونی سیلندر، فشار حداکثر، مشتق اول فشار حداکثر، مشتق دوم فشار حداکثر سیلندر و مشتق حداکثر گرمای آزاد شده و تأخیرهای اشتعال استاتیکی و دینامیکی اندازه‌گیری و تحلیل شدند. متغیرهای مؤثر بر تأخیر اشتعال شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای دمای داخلی سیلندر، دور موتور و نرخ حداکثر گرمای آزاد شده، بیشترین تأثیر را بر تأخیر اشتعال داشتند. در یک شرایط ثابت بار و زمان پاشش سوخت، افزایش نرخ حداکثر گرمای آزاد شده، دمای درونی سیلندر و دور موتور باعث کاهش تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی شد. در بار و دورهای ثابت موتور، افزایش فشار حداکثر تأخیر اشتعال را کاهش داد. متغیرهای بار، نرخ فشار حداکثر و شتاب فشار حداکثر سیلندر تأثیر قابل محسوسی بر تأخیر اشتعال نداشت.

واژه‌های کلیدی: موتورهای کوچک دیزلی پاشش مستقیم، تأخیر اشتعال، متغیرهای فیزیکی

مقدمه

موتور بخش اصلی تامین قدرت در کشاورزی می‌باشد. استفاده از موتورهای دیزلی با کارایی و راندمان بالا و مصرف سوخت کم جزء هزینه‌های تولید به حساب می‌آید. بنابراین بهینه سازی عملکرد موتور نقش مهمی در کاهش هزینه‌های تولید در کشاورزی دارد.

*. ghobadiab@modares.ac.ir

***. chegini@ut.ac.ir

سوخت در موتورهای دیزل می‌بایست مراحل پاشش، اتمیزه شدن، توزیع ذرات، نفوذ ذرات، جذب ذرات تبخیر و اختلاط با هوا را طی کند تا اشتعال آغاز شود. این مدت زمان در موتورهای دیزل که از پاشش سوخت تا اشتعال طول می‌کشد دوره تأخیر اشتعال^۱ نام دارد. با طی مراحل مذکور سوخت و هوای مخلوط مشتعل شده و سریعاً فشار داخل سیلندر به حد اکثر مقدار خود می‌رسد [۲ و ۱].

طول این دوره تأخیر اشتعال تا حد زیادی بر کیفیت احتراق، کارایی موتور، اشتعالهای بعدی و ایجاد سر و صدا، کوبش، کارکرد غیر یکنواخت و دیگر متغیرها تأثیر دارد. تأخیر اشتعال مهمترین دوره‌ای است که بر توسعه فشار داخل سیلندر مؤثر است. فشار زیاد باعث ایجاد بارهای ناگهانی، کوبش و سر و صدای زیاد موتور می‌شود [۳ و ۴].

تعاریف زیادی برای طول این دوره بکار رفته است. تعریف عمومی تأخیر اشتعال مدت زمان بین شروع پاشش سوخت تا شروع اشتعال می‌باشد. به دست آوردن زمان شروع پاشش اغلب با زمان بلند شدن سوزن انژکتور از نشیمنگاه خود قابل اندازه‌گیری است ولی مشخص کردن شروع اشتعال مشکل می‌باشد. بنابراین از آثار و نشانه‌های احتراق برای تعیین شروع این مرحله استفاده شده است.

بیشترین تفاوت در نشان دادن پایان این دوره است. افزایش فشار در طول احتراق یا نورافشانی احتراق به نسبت بیشتری برای تعیین پایان این دوره بکار رفته است. در بعضی موارد نیز افزایش ناگهانی دما در طول احتراق به عنوان پایان این دوره در نظر گرفته شده است. طول این دوره شکل اختلاط سوخت و هوا را تعیین می‌کند. تأخیر اشتعال نه فقط مستقیماً بر کارایی موتور تأثیر دارد بلکه نقش مهمی در آلودگی محیط زیست ایفا می‌کند [۷ و ۶ و ۵]. تحقیقات قبلی نشان داده است که متغیرهایی نظیر نسبت سوخت به هوا، فشار پاشش، درجه حرارت سیال خنک کننده، اغتشاش، کیفیت پاشش، اندازه ذرات سرعت پاشش، نرخ پاشش، دما و فشار هوای ورودی، دور موتور، تمرکز اکسیژن، دمای دیواره‌های محفظه احتراق خصوصیات سوخت و... بر تأخیر اشتعال مؤثر می‌باشند [۸ و ۹ و ۱۰].

پیشینه تحقیق

در طول ۵۰ سال گذشته، تحقیقات زیادی با بمب حجم ثابت و موتورهای مختلف احتراق داخلی برای به دست آوردن پارامترهای موثر بر این دوره تأخیر اشتعال انجام گرفته است. مطالعه بر روی خود اشتعالی و مخلوط سوخت و هوا و اندازه‌گیری دوره تأخیر اشتعال قبل از سال ۱۹۹۲ توسط تیزارد و پی^۲ شروع شد. وسیله آزمایش آنها ماشین فشار زیاد با سیلندری به قطر ۷۶ mm و کورس ۲۳ mm با نسبت تراکم ۶:۱ تا ۹:۱ بود. آنها متوجه شدند که قبل از افزایش فشار یک تأخیر وجود دارد که با ایجاد اغتشاش کاهش می‌یابد [۱۱].

گریش و وس^۳ با آزمایش بر روی یک موتور تک سیلندر آزمایش عمومی ناسا نتیجه گرفتند که افزایش دمای درونی، فشار هوا، نسبت تراکم و دور موتور باعث کاهش تأخیر اشتعال می‌شود [۱۲]. سلدن^۴ مطالعه‌اش را بر روی اثر دما و چگالی هوا بر تأخیر افزایش فشار انجام داد. او با استفاده از یک بمب با سیلندری به قطر ۷۶، طول ۱۹۸mm تا ۸۷۰ تا ۱۲۵۵ °C، چگالی ۰/۵۹ تا ۱/۱۸۱ b/cuft و نسبت سوخت به هوا

۱۳/۳ تا ۱:۶۰ آزمایشهای خود را انجام داد و نتیجه گرفت که نسبت سوخت و هوا بر تأخیر اشتعال تأثیری ندارد و افزایش چگالی و دمای هوا کاهش کمی در تأخیر ایجاد می‌کند [۱۳].

آزمایشات دیگری نشان داده است که با افزایش پارامترهای فشار، دما و نسبت سوخت به هوا تأخیر افزایش فشار کاهش می‌یابد و در موتور، این دوره کوتاهتر از بمب است [۱۴]. هارن و هوگس^۵ اثر فشار، دما و نوع ترکیب سوخت را بر روی تأخیر افزایش فشار

1. Ignition delay
2. Tizared and Pye
3. Gerrish and Voss
4. Selden
5. Hurn and Hughes

در یک محفظه حجم ثابت با قطر ۶۳ mm و طول ۸۹ mm با محدوده دمایی ۸۵۰ تا ۱۰۵۰°F، فشار ۲۷۵ تا ۶۷۵ psi، درصد اکسیژن ۱۵-۱۴% و عدد ستان ۳۷/۲ تا ۵۳/۷% بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که درصد اکسیژن مشخصی وجود دارد که در این درصد اکسیژن تأخیر اشتعال به حداقل می‌رسد. همچنین دما و فشار نسبت به نوع ترکیب سوخت بر تأخیر اشتعال اثر بیشتری دارد [۱۵].

لین و ولدمانیس^۱ اثر دما، فشار هوا و پارامترهای سیستم پاشش را بر روی تأخیر افزایش فشار در دو نوع موتور بررسی کردند و نتیجه گرفتند که دما، فشار سیلندر و زمان پاشش، پارامترهای عمده‌ای هستند که بر تأخیر اشتعال اثر بیشتر و پارامترهای سرعت هوا، فشار پاشش سوخت و شکل نازل تأثیر کمتری دارند. نسبت سوخت به هوا، اثر ناچیزی بر تأخیر اشتعال دارد [۱۶].

افزایش فشار هوای سیلندر، نسبت سوخت به هوا، دمای آب خنک کننده و سرعت موتور، تأخیر اشتعال را کوتاه‌تر می‌کند. فشار پاشش نازل اثر کمی بر تأخیر افزایش فشار دارد ولی تأثیر آن بر تأخیر نور افشانی بیشتر است. آزمایشات انجام شده بر روی محفظه حجم ثابت با فشار پاشش ۹/۸ MPa نشان می‌دهد که افزایش درجه حرارت و فشار هوای ورودی، باعث کاهش تأخیر اشتعال می‌شود [۱۷]. در آزمایش دیگری که بر روی موتور دیزل پاشش مستقیم کوچک با دور ۱۹۸۰ rpm انجام شده نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درجه حرارت و عدد ستان، دوره تأخیر اشتعال کاهش و با افزایش فشار، تأخیر اشتعال افزایش می‌یابد [۱۸].

همانطور که گفته شد درجه حرارت و فشار درون سیلندر بر تأخیر اشتعال مؤثر می‌باشد بنابراین، دمای سیال خنک کننده نیز مورد آزمایش محققان انجام گرفته و نتیجه نشان می‌دهد که افزایش درجه حرارت مایع خنک کننده، دوره تأخیر را کاهش می‌دهد. برای اینکه عمل احتراق به طور کامل انجام شود باید سوخت پاشیده شده بتواند به خوبی با مولکولهای هوا ترکیب شود. یکی از پارامترهایی که باعث افزایش اختلاط سوخت و هوا می‌شود چرخش سریع هوا در داخل سیلندر و جابجایی مولکولهای هوا و سوخت یا اصطلاحاً اغتشاش می‌باشد. افزایش اغتشاش باعث کاهش تأخیر اشتعال می‌شود [۱۹ و ۲۰].

تحقیقاتی که بر روی موتور لیستر و موتوری با سرعت دورانی ۶۰۰ rpm انجام گرفته نشان می‌دهد که افزایش اغتشاش، اختلاط سوخت و هوا را بیشتر و در سرعت‌های زیادتر موتور باعث کوتاه‌تر شدن دوره تأخیر می‌شود. در زمان پاشش در حالت آوانس فشار و دمای درونی هوا کمتر شده و تأخیر اشتعال افزایش می‌یابد. در حالت ریتارد فشار و دمای درونی هوا ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته که در نتیجه تأخیر اشتعال کاهش می‌یابد. افزایش دور موتور نیز باعث کاهش تأخیر اشتعال می‌شود [۲۱]. یکی دیگر از عواملی که دوره تأخیر اشتعال را تحت تأثیر قرار می‌دهد کیفیت سوخت می‌باشد. آزمایشات نشان می‌دهد که با افزایش عدد ستان تأخیر اشتعال کوتاه‌تر شده و هر چه دمای هوای ورودی بیشتر شود این کاهش نیز بیشتر می‌شود، همچنین زمان تأخیر اشتعال با افزایش مقادیر بیشتر مواد فرار در سوخت کاهش یافته و آلودگی را به حداقل می‌رساند [۲۲].

بیشتر تحقیقاتی که بر روی پارامترهای فیزیکی مؤثر بر تأخیر اشتعال انجام شده است فقط محدود به بررسی یک یا دو پارامتر بوده است. در این تحقیق با انتخاب و اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی بار، سرعت، دما، زمان پاشش سوخت، فشار حداکثر، مشتق اول فشار حداکثر و مشتق دوم فشار حداکثر و مشتق اول حداکثر گرمای آزاد شده، اثر تک تک و همزمان آنها بر تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی پارامترهای احتراق و پاشش مؤثر بر تأخیر اشتعال در موتور تعداد زیادی نشانگر نیاز است تا تخمین مناسبی از داده‌های موتور ارائه دهد. این نشانگرها می‌بایست مستقیماً پارامترهای رفتار فشار سیلندر، رفتار شتاب خطی، بارگشتاور، سرعت و مصرف سوخت ویژه را اندازه‌گیری نمایند.

در این تحقیق موتور دیزل مدل Kirloskar، تک سیلندر، پاشش مستقیم با سوخت گازوئیل، خنک کننده آبی با خصوصیات نسبت تراکم ۱: ۱۶/۵، قطر پیستون ۸۰ mm، با کورس ۱۱۰ mm، حجم جابجایی ۰/۵۵۳ L، سرعت اسمی ۱۵۰۰ rpm، گشتاور ۲۳ Nm

و قدرت ۳/۶۸ kW برای تست انتخاب شد. علت عمده انتخاب این موتور کاربرد وسیع آن به عنوان موتور تولید برق قابل حمل و نیز استفاده به عنوان موتور پمپ جهت پمپاژ آب در کشاورزی است. از طرف دیگر این موتور در تقسیم‌بندی انواع موتورهای تولید توان ثابت در کلاس کوچک قرار می‌گیرد که نتایج حاصل از تحقیقات بر روی آن را می‌توان به موتورهای کوچک دیزلی پاشش مستقیم این نوع از موتورها تعمیم داد. موتور در یک اتاق استاندارد تست قرار گرفت و تجهیزات و ابزار اندازه‌گیری نظیر فشار سنج فشار سیلندر، فشارسنج فشار خط سوخت، شتاب سنج و ترموکوپل بر روی آن نصب شد و پارامترهای فشار سیلندر، فشار پاشش سرعت، گشتاور، بار، دمای روغن، دمای آگزوز، مقدار و زمان مصرف سوخت اندازه‌گیری شدند. از دینامومتر برای بارگذاری و کنترل موتور استفاده شد که دارای تنظیم بار و نشانگر سرعت بود. پارامترهای کاری موتور نظیر قدرت خروجی، سرعت و گشتاور با دینامومتر اندازه‌گیری و با یک واحد دیجیتالی نشان داده شد. مصرف سوخت با نشانگر مصرف سوخت دینامومتر اندازه‌گیری و با اندازه‌گیری زمان لازم برای مصرف ۵۰ mL محاسبه شد. دمای روغن و آگزوز نیز با دماسنج و واحد نشانگر دیجیتالی دینامومتر اندازه‌گیری شد.

زمان تاخیر اشتعال از اندازه‌گیری منحنی فشار داخل سیلندر (نمودار P-t) و فشار خط سوخت‌رسانی ب وسیله حسگر فشار^۱ با دقت $\pm 1\%$ به دست آمدند. روش محاسبه نیز به این صورت بوده است که سیگنالهای مربوط پس از اخذ و ثبت جهت پردازش در حوزه زمان^۲ به صورت پردازش داده‌های عددی^۳ بوسیله نرم افزار فرتن با کامپیوتر تحلیل گردیدند (شکل ۱).

مشتهای اول و دوم سیگنال فشار سیلندر به روش اختلاف محدود نیوتن^۴ (شکل ۱) به دست آمدند. تخمین تاخیر اشتعال در مقاله حاضر بر اساس معیار تأخیر افزایش فشار^۵ به دست آمده است که در مطالعات مربوط به ارتعاش و صدا روش پذیرفته شده‌ای است. این روش به خاطر سادگی، دقت زیاد و تکرارپذیری آن انتخاب گردید [۱۶ و ۱۹ و ۲۰] شکل ۱: نقاط شروع احتراق و تاخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی را در زاویه پاشش 22°CA btdc گراف سمت چپ و زاویه پاشش 32°CA btdc گراف سمت راست نشان می‌دهد. شروع احتراق (SC) را به جای استفاده از نمودار فشار- زمان، $P_c(t)$ ، می‌توان از نمودارهای مشتق اول آن $P_c(t)$ و مشتق دوم آن $P_c(t)$ از طریق شروع افزایش سریع فشار تعیین کرد [۲۰]. گرچه می‌توان آنرا از طریق نمودار نرخ آزاد شدن گرما $Q(t)$ نیز به دست آورد [۲۰]. برای این کار این نمودارها پس از اخذ و ثبت، پردازش شده‌اند (قسمتهای مختلف شکل ۱).

همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است شروع پاشش استاتیکی سوخت^۶ (SIS) با بلند شدن سوزن از نشیمنگاه آن در شکل (d-1) آغاز شده و به دنبال آن شروع پاشش دینامیکی سوخت^۷ (SID) که سوخت عملاً وارد سیلندر شده و مشتق اول و دوم فشار سیلندر، کاهش افزایش فشار را نشان می‌دهد ادامه می‌یابد (شکل ۱-b, c). مدت زمان بین (SIS) و (SID) به عنوان اختلاف شروع تاخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی شناخته می‌شود. بنابراین در شکل ۱ شروع احتراق سوخت (نقطه SC^۸) همراه با افزایش قابل توجه فشار می‌باشد که در نمودارهای (b, c) یعنی $P_c(t)$ و $P_c(t)$ کاملاً مشهود است.

با مراجعه به جدول مقادیر عددی به دست آمده با این نمودارها، زمان بین (SIS) و (SC) و همچنین زمان بین (SID) و (SC) به راحتی تأخیر اشتعال استاتیکی و تأخیر اشتعال دینامیکی محاسبه شدند. در این تحقیق پارامترهای کاری موتور: سرعت موتور، بار و زمان پاشش سوخت بود و آزمایشات با آزمایش فاکتوریل کامل با طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد، که سطوح و تیمارهای آن به تفکیک در جدول (۱) نشان داده شده [۲۱ و ۲۲].

1. Pressure Transducers
2. Time Domain Analysis
3. Digital Data Analysis
4. Newton's Finite Difference Method
5. Pressure Rise Delay Criteria
6. Start of Static Injection
7. Start of Dynamic Injection
8. Start of Combustion

نتایج و بحث

با تغییر پارامترهای کاری موتور سرعت، زمان پاشش (با زاویه قبل از مرگ بالا مشخص شده است) و پارامترهای احتراق اندازه‌گیری یا تخمین زده شدند. اثر هر پارامتر با ثابت نگه‌داشتن دیگر پارامترها بر تأخیر اشتعال‌های استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تغییرات به محققین در پیش‌بینی طول دوره تأخیر اشتعال و طراحی موتور کمک زیادی می‌کند.

الف- بار موتور $L(\%)$

با ثابت نگه داشتن زاویه پاشش اثر بار در محدوده ۵۵٪ تا ۸۵٪ بر تأخیر در دوره‌های مختلف موتور مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در ۵ زاویه پاشش ۲۲، ۲۷، ۳۲، ۳۷ و ۴۲ °CA btdc انجام شد و تأخیرهای SID, SIS برحسب ca, ms اندازه‌گیری شد. در تمامی آزمایشات انجام شده در یک سرعت ثابت موتور تغییرات بار تأثیر قابل توجهی بر تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی نداشت. مقایسه تغییر بار در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد که در سرعت‌های بالای موتور تأخیر اشتعال کوتاه‌تر است. یک نمونه از رابطه بین تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی و بار موتور در یک زاویه پاشش ۳۷ درجه قبل از نقطه مرگ بالا در دوره‌های مختلف نشان داده شده است (شکل ۲).

ب- دور موتور $N(rpm)$

یکی دیگر از پارامترهایی که می‌تواند بر تأخیر اشتعال مؤثر باشد دور موتور است. با ثابت نگه داشتن زاویه پاشش میل لنگ در پنج سطح از ۲۲ تا ۴۲ °CA و بار در چهار سطح از ۵۵ تا ۸۵٪ تأخیر اشتعال در دوره‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که با ثابت نگه داشتن بار موتور در زمان‌های مختلف پاشش، افزایش دور تا ۱۵۰۰ rpm باعث کاهش هر دو تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی می‌شود و با افزایش بیشتر دور از ۱۵۰۰ rpm تأخیر اشتعال نیز افزایش یافت. در شکل (۳) برای بارهای ۵۵ و ۱۰۰٪ در زاویه پاشش ۲۲ °CA btdc رابطه بین دور موتور و تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی در دو مقیاس ca و ms نشان داده شده است.

آزمایش دیگری در یک بار ثابت ۷۰٪ موتور انجام شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش دور، تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی کاهش می‌یابد و در زوایای پاشش نزدیک‌تر به نقطه مرگ بالا تأخیر اشتعال کوتاه‌تر است. همانطور که قبلاً گفته شد، یکی از عواملی که باعث کوتاه‌تر شدن طول دوره احتراق می‌شود اختلاط سریع‌تر و بیشتر بین سوخت و هوا و در نتیجه اشتعال زودتر آنها است، دور موتور از پارامترهای کاری موتور است که باعث ایجاد اغتشاش و اختلاط بیشتر سوخت و هوا می‌شود (شکل ۴).

ج- دمای داخلی سیلندر $T(K)$

یکی دیگر از پارامترهای فیزیکی مهم مؤثر بر تأخیر اشتعال، دمای درونی سیلندر می‌باشد. آزمایشاتی که با ۴ دور ثابت ۱۲۰۰ rpm-۱۶۵۰ در بارهای مختلف ۵۵ تا ۸۵٪ با محدوده دمایی از ۵۰۶ تا ۶۴۷ درجه کلوین انجام گرفت، نشان داد که با افزایش دما از ۵۰۶ تا ۵۹۸ درجه کلوین تأخیر اشتعال‌های دینامیکی و استاتیکی کاهش می‌یابند. افزایش دما در داخل سیلندر باعث تبخیر زودتر مخلوط سوخت و هوا شده و در نتیجه دوره تأخیر اشتعال کاهش می‌یابد (شکل ۵).

د- مشتق حداکثر گرمای آزاد شده $Q'_{max} (kJ/s)$

مشتق حداکثر گرمای آزاد شده از پارامترهای احتراق بود که اثر آن بر تأخیر اشتعال مورد بررسی قرار گرفت. در ۵ زاویه پاشش ۲۲ تا ۴۲ درجه میل‌لنگ قبل از نقطه مرگ بالا و بارهای مختلف از ۵۵ تا ۱۰۰٪ اثر آن بر تأخیر اشتعال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بارهای ثابت مختلف با افزایش حداکثر گرمای آزاد شده تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی افزایش می‌یابد. همچنین در شرایط ثابت بار و زمان پاشش، تأخیر اشتعال استاتیکی از تأخیر اشتعال دینامیکی بزرگتر است. افزایش مقدار گرمای آزاد شده از مخلوط سوخت و هوا در مدت زمان کوتاه‌تر باعث سریع‌تر شروع شدن دوره دوم احتراق و در نتیجه کوتاه شدن دوره تأخیر اشتعال می‌شود (شکل ۶).

ه- فشار حداکثر (P_{max})، مشتق اول فشار حداکثر (P'_{max})، مشتق دوم فشار حداکثر (P''_{max})

با ثابت نگه داشتن پارامترهای زاویه میل لنگ در لحظه پاشش و بار موتور اثر فشار حداکثر بر تأخیرهای استاتیکی و دینامیکی در حالت‌های مختلف بار و زمان پاشش مورد بررسی قرار گرفت. در تمامی آزمایشات با افزایش فشار حداکثر، تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی کاهش یافت. در فشارهای زیاد سیلندر سوخت پاشیده شده سریع‌تر و بیشتر در داخل مولکولهای هوا نفوذ می‌کند و تبخیر و اشتعال زودتر انجام می‌شود. در نتیجه دوره تأخیر اشتعال کوتاه‌تر می‌شود. همانطور که در شکل (۶) نیز نشان داده شده است در شرایط یکسان، تأخیر اشتعال استاتیکی از تأخیر اشتعال دینامیکی بزرگتر است. بررسی اثر نرخ فشار حداکثر و شتاب فشار حداکثر بر تأخیر اشتعال در بارها و زوایای مختلف نشان داد که این دو پارامتر اثر قابل ملاحظه‌ای بر تأخیر اشتعال ندارند.

نتیجه گیری:

اثر هر پارامتر با ثابت نگه داشتن دیگر پارامترها بر تأخیر اشتعال‌های استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه حاصل نشان داد که با کنترل پارامترهای فیزیکی موتور، می‌توان پارامترهای درونی موتور و دوره تأخیر اشتعال را کنترل نمود. پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر تأخیر اشتعال دارند پارامترهای دمای داخلی سیلندر، دور موتور و مشتق حداکثر گرمای آزاد شده است. در یک سرعت ثابت موتور، تغییرات بار تأثیر قابل توجهی بر تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی ندارد. در یک بار ثابت، سرعت‌های بالای موتور تأخیر اشتعال کوتاه‌تری دارند. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که با ثابت نگه داشتن بار موتور در زمانهای مختلف پاشش، افزایش دور تا ۱۵۰۰ rpm باعث کاهش هر دو تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی می‌شود و با افزایش بیشتر دور از ۱۵۰۰ rpm افزایش می‌یابد.

در دورهای ثابت ۱۶۵۰-۱۲۰۰ rpm و بارهای ۵۵ تا ۸۵٪ افزایش دما از ۵۰۶ تا ۵۹۸ درجه کلونین تأخیر اشتعال‌های دینامیکی و استاتیکی کاهش می‌یابند. افزایش دما در داخل سیلندر باعث تبخیر زودتر مخلوط سوخت و هوا شده و در نتیجه دوره تأخیر اشتعال کاهش می‌یابد.

با افزایش فشار حداکثر موتور، تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی کاهش می‌یابد. در فشارهای زیاد سیلندر، سوخت پاشیده شده سریع‌تر و بیشتر در داخل مولکولهای هوا نفوذ می‌کند و تبخیر و اشتعال زودتر انجام می‌شود، در نتیجه دوره تأخیر اشتعال کوتاه‌تر می‌شود. در بارهای ثابت مختلف با افزایش حداکثر گرمای آزاد شده تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی افزایش می‌یابد. همچنین در شرایط ثابت بار و زمان پاشش تأخیر اشتعال استاتیکی از تأخیر اشتعال دینامیکی بزرگتر است. متغیرهای حداکثر نرخ افزایش فشار سیلندر و حداکثر شتاب فشار سیلندر تأثیر قابل محسوسی بر تأخیر اشتعال ندارند.

فهرست علائم

CAbtDC : درجه میل لنگ قبل از نقطه مرگ بالا

ca : درجه میل لنگ

ID : تأخیر اشتعال

L : بار موتور

ms : میلی ثانیه

N : دور موتور

P : فشار تراکم

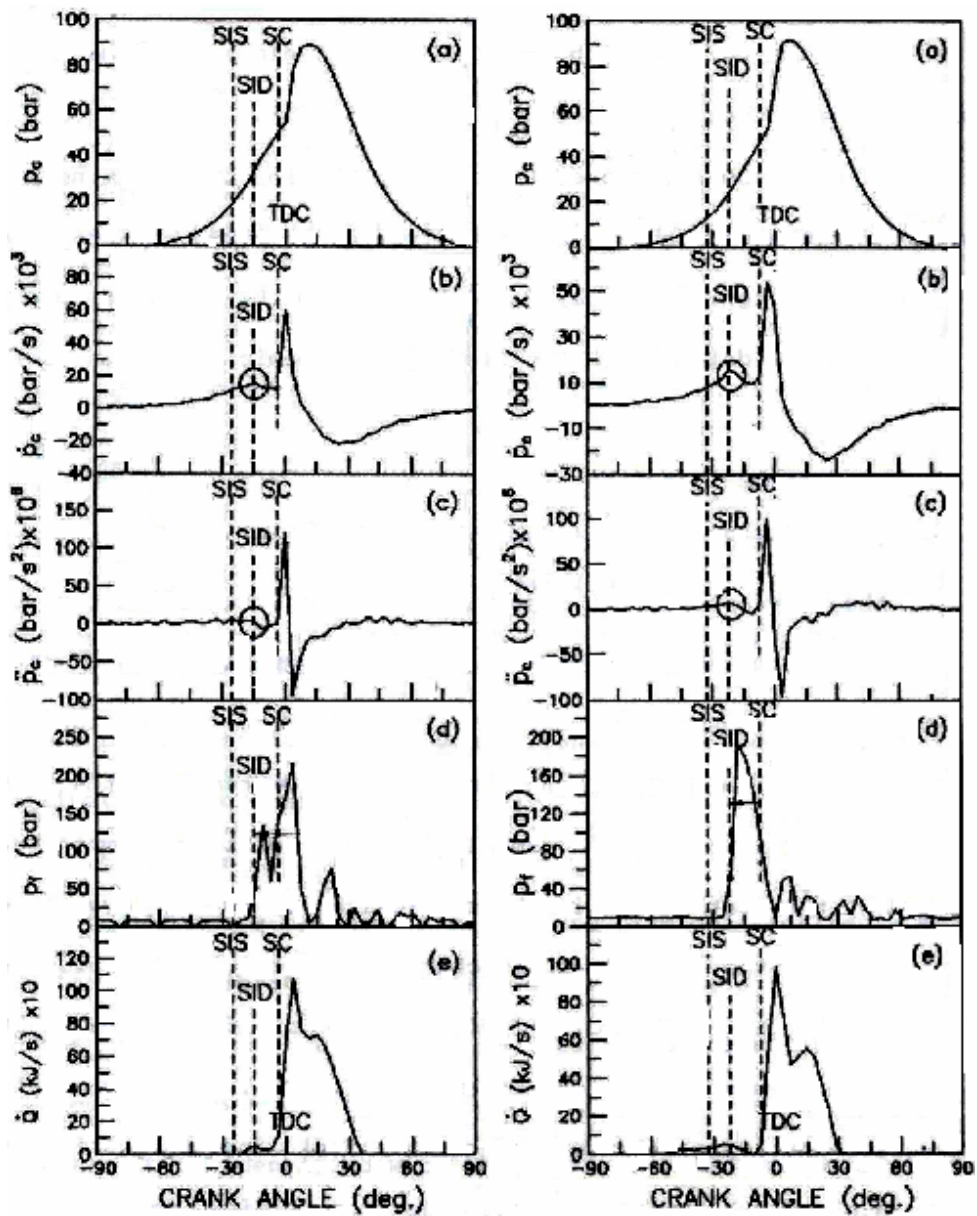
Pmax : فشار حد اکثر سیلندر

P'_{max} : مشتق اول فشار حداکثر
 P''_{max} : مشتق دوم فشار حداکثر
 Q'_{max} : مشتق حد اکثر گرمای آزاد شده
 SC : شروع احتراق
 SIS : شروع پاشش استاتیکی سوخت
 SID : شروع پاشش دینامیکی سوخت
 T : دمای داخلی سیلندر

منابع و مأخذ:

۱. چگینی، غلامرضا، مدل تاخیر اشتعال در موتورهای دیزلی پاشش مستقیم. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶
2. Pedersen, P.S. and Qwale, B. (1974). A model for the physical part of the ignition delay in a diesel engine. SAE Paper 740716.
3. Lee, C.S. and Choi, N.J. (1991). A study on the variations of combustion characteristics in diesel engine. SAE Paper 911245.
4. Henein, N. A. and Bolt, J. A. (1986). Ignition delay in diesel engines SAE paper 670007.
5. Bassoli, C., Cornetti, G.M. and Levizzari, G. (1977). Combustion noise and ignition delay in diesel engines. SAE Paper 770012.
6. Gray, P. (1989). Diesel combustion processes and emissions. Roorkee paper 247667.
7. Heywood, J.B. (1989). Internal combustion engine fundamental. New York, Mc Graw-Hill. USA.
8. Miwa, K. H. and Kegami, X. I. (1986). Ignition delay meter for diesel engine. JSME, 7(1):26-32.
9. Walki, M. (1967). Fuel evaporation and ignition lag in diesel combustion. SAE Progress in Technology, 11: 110-117.
10. Andree, A. and Pacheneegg, S.J. (1969). Ignition conditions in diesel engines. SAE Paper 690253.
11. Ghobadian, B. (1994). A parametric study on diesel engine noise. Ph.D. Thesis, Roorkee university, INDIA.
12. Tizared, H.T. and Pye, D.R. (1992). Experiments on the ignition of gases by sudden compression. Philosophical Magazine, 44:79-121.
13. Gerrish, H. and Voss, F. (1932). Influence of several factors on ignition lag in compression – ignition engine. NACA T.N.434
14. Selden, R.F. (1939). A comparison of ignition characteristics of diesel fuel as determined in engines and in a constant volume bomb. NACA Technology, 710.
15. Starkman, E. (1946). Ignition delay in diesel engines. Trans. American Institute of Chemical Engineering, 42:107-120.
16. Hurn, R. W. and Hughes, K. J. (1952). Combustion characteristics of diesel fuels as measured in a constant volume bomb. SAE Quarterly Trans, 6: 24-35.
17. Lyn, W.T. and Valdmanis, E. (1966). The effects of physical factors on ignition delay. Paper IME Automobile Div. 10:125-132.
18. Pul, G. (1962). Fuel injection and controls for internal combustion engines. Library Congress Catalog: 138-150.
19. Taylor, F. (1982). The internal combustion engine in theory and practice. New York, MIT Press. USA.
20. Reddy, P.R., Krisna, D.M. and Mallan G.K.R. (1993). Evaluation of combustion parameters in direct injection diesel engine-an easy and reliable method. SAE Paper 930605.

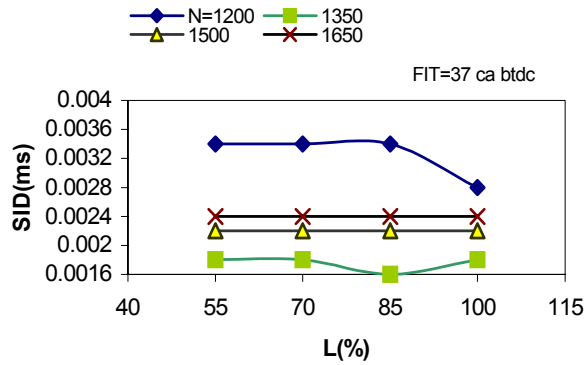
21. Shundoh,S.,Kakegawa,T.and Tsujimura,K.(1991).The effect of injection parameters and swirl on diesel combustion with high pressure fuel injection.SAE Paper 910489.
22. Rothrock,A.M.and Waldron,C.D.(1932).Fuel vaporization and its effect on combustion in a high speed C.I.engine .NACA Report 435.
23. Jing,S.G.and Wei,F.U.(2001).A study on the effect of more volatile fuel on evaporation and ignition for emulsified oil.Fuel,80:437-445.
24. Das,M.N.,Giri,N.C.(1986).Design and analysis of experiments.New Delhi,WILEY Eastern,2 ed ,INDIA.
25. Douglas,C.(1992).Introduction to linear regression analysis.New York,MC Graw Hill,USA



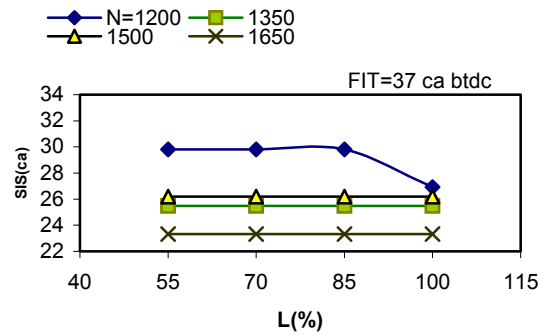
شکل ۱: تخمین SIS، SC و SID از نمودارهای: a- $P_c(t)$ ، b- $\dot{P}_c(t)$ ، c- $\ddot{P}_c(t)$ ، d- $Q(t)$ در زاویه پاشش 22°CA btdc گراف سمت چپ و زاویه پاشش 22°CA btde گراف سمت راست.

جدول ۱: ماتریس آزمایشها

سطوح					پارامتر
۵	۴	۳	۲	۱	
-	۱۶۵۰	۱۵۰۰	۱۳۵۰	۱۲۰۰	سرعت موتور rpm
-	۱۰۰	۸۵	۷۰	۵۵	گشتاور بار موتور %
۴۲	۳۷	۳۲	۲۷	۲۲	زمان پاشش سوخت $^\circ\text{CA btdc}$

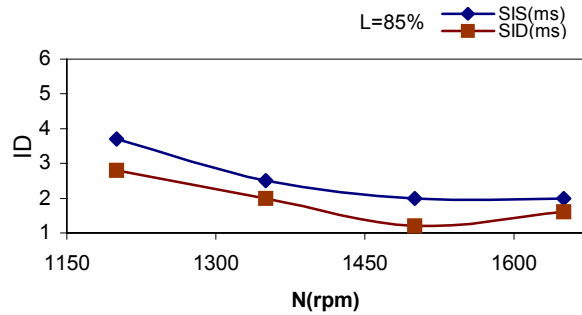
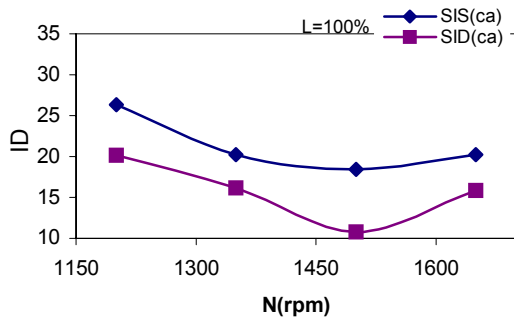


(ب)

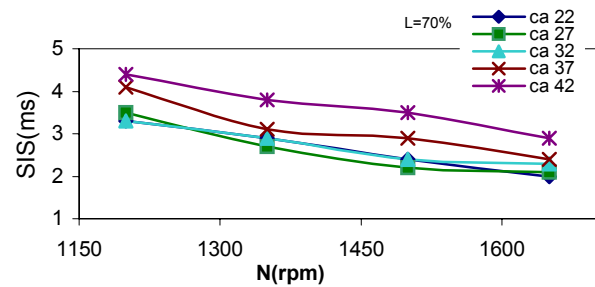
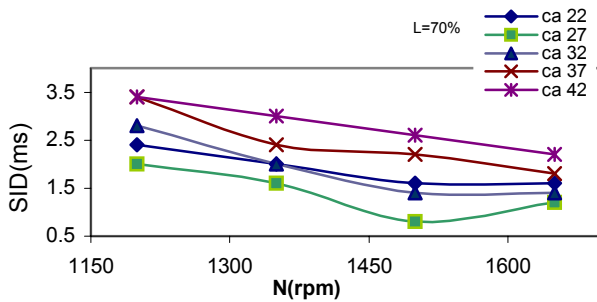


(الف)

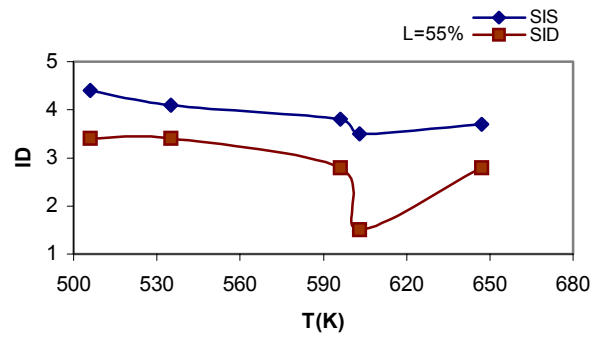
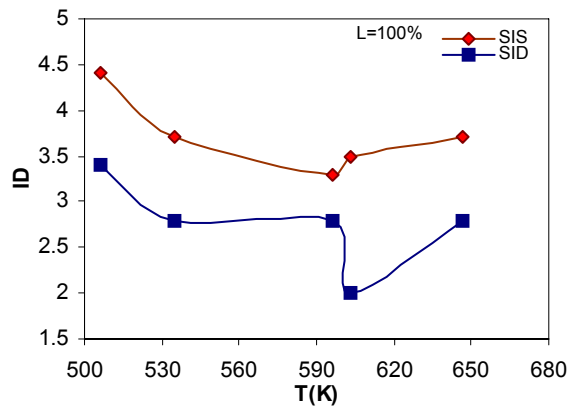
شکل ۲: رابطه بار موتور و تاخیر اشتعال: (الف) استاتیکی و (ب) دینامیکی در دورهای موتور با زمان پاشش ۳۷ °CA btdc



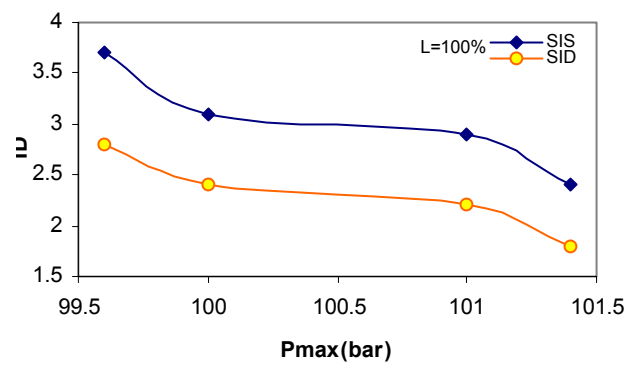
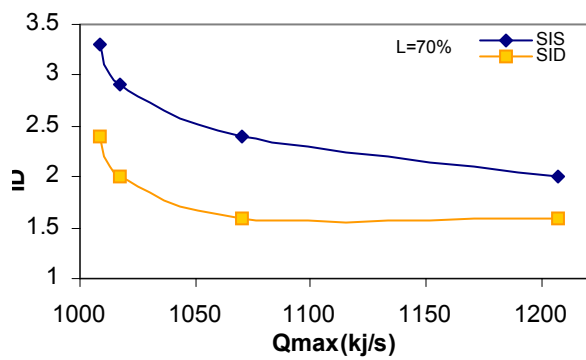
شکل ۳: رابطه بین دور موتور و تاخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی با مقیاس ms و ca در زاویه پاشش ۲۲ °ca btdc



شکل ۴: رابطه بین دور موتور و تاخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی (ms) در بار ۷۰٪ در زمانهای پاشش مختلف



شکل ۵: رابطه بین دمای درونی سیلندر با تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی در دور ۱۲۰۰ rpm و بارهای ۵۵٪ و ۱۰۰٪.



شکل ۶: اثر حداکثر فشار درونی سیلندر و نرخ حداکثر گرمای آزاد شده بر تأخیر اشتعال استاتیکی و دینامیکی (ms) در زاویه پاشش ۲۲ °CA btde

Study of the Effects of Engine Physical Parameters on Ignition Delay

B Ghobadian

Associate Professor, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran Bghobadian @ aeoi.irg.ir

G.R Chegini

Assistant Professor, Abureihan campus, Tehran University Tehran, Iran. Chegini @ ut.ac.ir

Abstract

The first period of combustion in a compression ignition engine is the period of ignition delay. The duration of this period plays an important role on performance and efficiency of the engine. Determination and control of parameters that effect the duration of this period is useful in design and improvement of engine performance. Tests were performed using full factorial design of experiments with engine speed in 4 levels: 1200,1350,1500,1650 rpm, engine load torque in 4 levels :55,70,85,100% and 5 levels of fuel injection timing 22,27,32,37,42°CA btdc on a small direct injection diesel engine. Engine combustion parameters such as peak cylinder pressure, maximum rate of cylinder pressure rise, maximum acceleration of cylinder pressure, peak rate of heat release, cylinder internal temperature and static and dynamic ignition delay were measured and analysed. The effective parameters on ignition delay were determined and investigated which were cylinder internal temperature, engine speed and peak rate of heat release. Under constant condition of load and fuel injection timing, increasing peak rate of heat release cylinder internal temperature and engine speed, static and dynamic ignition delay were decreased. Under constant condition of load and speed, increasing peak cylinder pressure decreased ignition delay. The effect of cylinder pressure rise, maximum acceleration of cylinder pressure and engine load torque on ignition delay was negligible.

Keywords: Direct injection diesel engine, Ignition delay, Operating parameters