

مطالعه تجربی وابستگی نرخ حرارت آزاد شده و تاخیر اشتعال به اختلاط سوخت و هوا در یک موتور اشتعال جرقه‌ای

ابراهیم عبدی اقدم^۱، محسن باشی^{۲*}

دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فنی و مهندسی، آزمایشگاه موتورهای احتراق داخلی

(^۲نویسنده مخاطب: mohsenbashi@gmail.com)

چکیده

در کار حاضر برای مطالعه تاثیر اختلاط مخلوط سوخت و هوای ورودی بر روی نرخ حرارت آزاد شده و تاخیر اشتعال، در یک موتور تک سیلندر با قابلیت پاشش سوخت در مانیفولد، با ثابت گرفتن طول پاشش و سرعت و وضعیت دریچه گاز اقدام به تغییر زاویه شروع پاشش کرده و به تحلیل نتایج ثبت شده پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که با توجه به موقعیت باز شدن سوپاپ ورودی بهتر است که برای اختلاط بهتر مخلوط درون سیلندر سوخت در ابتدای کورس مکش پاشیده شود و در صورت تمایل به روشن کردن موتور در شرایط سرد باید مخلوط نزدیک شمع از غنای بالاتری برخوردار باشد در نتیجه بهتر است پاشش در موقعیتی رخ دهد که انتهای پاشش مقارن با بسته شدن سوپاپ ورودی باشد.

واژه‌های کلیدی: نرخ حرارت آزاد شده، تاخیر در اشتعال، پاشش سوخت در مانیفولد، زمانبندی پاشش، موتور اشتعال جرقه انژکتوری.

۱- مقدمه

بررسی زمان بهینه پاشش و زمان بهینه جرقه در کاهش آلاینده‌ها و همچنین افزایش توان و بازده موتور از زمانی که کاربراتور و سیستم‌های جرقه‌زنی قدیمی حذف شد، از جمله تحقیقاتی بوده که بر روی موتورهای انژکتوری صورت گرفته است. طراحی و بهینه سازی موتور برای اختلاط بهتر مخلوط سوخت و هوا وابسته به زمان پاشش (بر حسب زاویه میل‌لنگ)، فشار پاشش، شکل و موقعیت درگاه ورودی، شکل محفظه سیلندر و ... می‌باشد. از بین تمام این عوامل در یک موتور طراحی شده و برای رعایت پارامترهای ساخت غالباً برای بهبود اختلاط هوا و سوخت بر روی تغییر شکل محفظه یا موقعیت سوپاپ‌ها متمرکز نمی‌شوند. در بین تمام این عوامل مطالعه زمان پاشش و فشار پاشش از اهمیت کاربردی‌تری برخوردار است. پاشش سوخت در زمان بهینه سبب اختلاط بهتر مخلوط سوخت و هوا شده و توان و انرژی حرارتی آزاد شده در شرایطی که پاشش سوخت در موقعیت بهینه رخ می‌دهد بیشتر از حالتی است که سوخت در موقعیت بهینه تزیق نمی‌شود [۱].

لی و همکاران به مطالعه اثر زمان پاشش سوخت و زمان زدن جرقه بر روی عملکرد و کسر گازهای خروجی یک موتور چهار سیلندر با امکان پاشش سوخت مستقیم به درون سیلندر برای سوخت متانول پرداختند و به این نتیجه رسیدند که برای چنین موتوری یک نقطه بهینه برای زمان پاشش و آوانس جرقه وجود دارد. در نقطه بهینه پاشش سوخت و آوانس جرقه تاخیر احتراق مخلوط کمتر شده، تغییرات سیکی، توان خروجی و انرژی آزاد شده مخلوط افزایش می‌یابد و کسر آلاینده‌های خروجی در شرایط بهتری قرار دارد [۱].

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشکده فنی و مهندسی.

- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه محقق اردبیلی.

فان و همکاران به مطالعه احتراق و کسر گازهای خروجی در اولین سیکل‌های راه اندازی موتور در شرایط سرد یک موتور بنزین سوز با امکان پاشش سوخت مستقیم دو مرحله‌ای پرداختند. آن‌ها نشان دادند که زمان بهینه جرعه سبب کاهش آلاینده‌های خروجی و بهبود احتراق در داخل سیلندر می‌شود. همچنین افزایش فشار تزریق سوخت هرچند سبب بهبود راه اندازی موتور می‌شود اما کسر هیدروکربن نسوخته افزایش و در مقابل کسر اکسیدهای ازت خروجی کاهش می‌یابد [۲].

ونگوپال و همکاران به مطالعه اثر زمان پاشش در مانیفولد ورودی در یک موتور اشتعال جرعه‌ای که با دو سوخت بنزین و بوتانول کار می‌کرد، پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در وضعیت دریچه گاز ۶۰ و ۲۵ درصد برای کاهش کسر هیدروکربن‌های نسوخته بهتر است که پاشش سوخت قبل از باز شدن سوپاپ ورودی تمام شود. همچنین بهتر است پاشش بوتانول قبل از بنزین صورت گیرد تا تاثیر مطلوبتری بر روی هیدروکربن نسوخته و منواکسید کربن داشته باشد [۳].

سزر و همکاران به بررسی اثر پاشش بخار آب به مانیفولد ورودی یک موتور بنزینی بر روی عملکرد و کسر گازهای خروجی پرداختند. آن‌ها اثر مثبت افزودن بخار آب به مانیفولد ورودی را در بازده، گشتاور، مصرف سوخت ویژه و گازهای خروجی هیدروکربن نسوخته و اکسید ازت مشاهده کردند [۴].

دنگ و همکاران به آنالیز انرژی حرارتی آزاد شده در مخلوط دو سوخت بیو اتانول و گازولین در یک موتور اشتعال جرعه‌ای در سرعت بالا پرداختند، آن‌ها دریافتند که سرعت سوختن لایه‌ای بوتانول بیشتر از بنزین است و همچنین افزودن بیوتانول مقاومت بیشتری در برابر کوبش به مخلوط می‌دهد. بار موتور بیشتر از نوع سوخت یا سرعت بر روی انرژی حرارتی آزاد شده تاثیر می‌گذارد [۵].

ید الهی و همکاران به بررسی اثر هندسه محفظه احتراق بر اختلاط مخلوط پیش آمیخته در یک موتور اشتعال جرعه‌ای با امکان پاشش مستقیم سوخت گاز پرداختند. آن‌ها بامدلسازی یک محفظه احتراق سیلندر و پیستونی در نرم افزار ای وی ال فایر^۱ و بررسی ۵ نوع هندسه برای سر پیستون به این نتیجه رسیدند که شکل کاسه‌ای توزیع بهتری را در زمان جرعه ایجاد می‌کند. همچنین شیبانی شکل کردن سر سیلندر باعث بوجود آمدن جریان‌های نامتقارن در سیلندر می‌گردد. در صورت استفاده از سر سیلندر تخت، شعله در نزدیکی شمع به سختی گسترش می‌یابد و این مشکل می‌تواند با استفاده از سر پیستون کاسه‌ای تا حدودی رفع کرد با استفاده از سر پیستون کاسه‌ای مخلوط در نزدیکی شمع قابلیت اشتعال و توسعه بهتری پیدا می‌کند اما برای دستیابی به مخلوط با کیفیت بالاتر باید تغییرات دیگری نیز ایجاد کرد [۶].

موری و همکاران به مطالعه تغییرات سیکلی بر اساس دما محصولات خروجی و فشار موثر متوسط اندیکه در یک موتور اشتعال جرعه‌ای پرداختند، آن‌ها در این بررسی دریافتند با تغییر زمانبندی پاشش تغییرات سیکلی شدیداً تغییر کرده و در نقطه‌ی کمینه می‌گردد، این تغییرات برای مقادیر که پاشش قبل از باز شدن سوپاپ رخ می‌دهد شدیدتر است [۷].

با توجه به اینکه نسبت هم‌ارزی معیاری از احتراق سوخت است، با تغییر موقعیت پاشش و ثابت بودن طول پاشش^۲ (زمان پاشش برای هر سیکل) مقدار نسبت هم‌ارزی دچار تغییر می‌گردد، در صورت تمایل به تنظیم نسبت هم‌ارزی و تغییر طول پاشش مقدار انرژی ورودی به سیکل تغییر می‌کند که در مقدار آلاینده‌ها، توان و بازده خروجی تاثیر گذار خواهد بود. برای مطالعه تاثیر زمان پاشش^۳ بر عملکرد یک موتور می‌توان با ثابت گرفتن مقدار سوخت تزریقی به هر سیکل اثر موقعیت پاشش را در اختلاط و میزان تبدیل به انرژی شدن سوخت پرداخت. در کار حاضر با ثابت گرفتن سرعت موتور، وضعیت دریچه گاز و طول پاشش، زاویه شروع پاشش (موقعیت پاشش) را به عنوان پارامتر موثر در اختلاط مخلوط سوخت و هوا تغییر داده و به بررسی اثر اختلاط مخلوط سوخت و هوا بر نسبت هم‌ارزی، آلاینده‌ی منواکسید کربن، انرژی حرارتی آزاد شده و تاخیر اشتعال می‌پردازیم.

1-AVL Fire

2-Injection Duration (ID)

3-Injection Position (IP)

۲- تجهیزات استفاده شده

در این بررسی از یک موتور تک سیلندر کوپله شده با یک دینامومتر آسنکرون با قابلیت تنظیم سرعت موتور استفاده شده است. تغییرات فشار درون سیلندر توسط یک فشار سنج پیزو الکتریک مدل کیستلر^۱ و فشار هوای ورودی نیز توسط یک عدد فشار سنج پیزو رزستيو مدل کیستلر اندازه گیری شده است. کیفیت محصولات خروجی از اگزوز توسط یک آنالیزور گاز نوع ساکسون اینفرالیت^۲ اندازه گیری شد که علاوه بر تعیین نسبت هوا به سوخت نسبی (λ)، در صد حجمی منواکسید کربن، دی اکسید کربن، اکسیژن و هیدروکربن نسوخته را تعیین می کند. برای ثبت داده ها از یک عدد مبدل آنالوگ به دیجیتال نوع ادلینک^۳ و نرم افزار ذخیره سازی مربوطه استفاده شد. موقعیت زوایای سیکل نیز توسط یک عدد شفت انکودر متصل به میل بادامک با پالس موقعیت مرگ بالای تخلیه تعیین می گردد. طول پاشش، موقعیت شروع پاشش و موقعیت جرقه توسط یک عدد سیستم کنترل الکترونیکی تنظیم می گردد. در جدول ۱ مشخصات هندسی، سیستم خنک کاری، سوخت رسانی و جرقه زنی موتور مربوطه جمع بندی شده است.

جدول ۱: مشخصات موتور مدل G.U.N.T CT300

تعداد سیلندر	۱
نسبت تراکم	متغیر از ۵ تا ۱۹ (در کار حاضر ۸/۱۴)
قطر سیلندر	۹۰ mm
کورس پیستون	۷۴ mm
حجم جایجایی	۴۷۰ cm ³
بیشترین سرعت	۳۶۰۰ rpm
تعداد و موقعیت سوپاپها	۲ OHV
سیستم سوخت رسانی	انژکتور با فشار پشت انژکتور ثابت و کنترل الکترونیکی طول و زاویه شروع پاشش
سیستم جرقه زنی	الکترونیکی با امکان کنترل الکترونیکی زاویه زدن جرقه
نوع خنک کاری	آب

۳- نحوه انجام آزمایشات و تحلیل داده ها

طی انجام آزمایشات نسبت تراکم به مقدار ۸/۱۴ تنظیم و در حالت بار کامل سرعت موتور برابر ۱۸۰۰ rpm تنظیم شد. بعد از راه اندازی موتور و افزایش دمای آب و روغن موتور به مقدار متعارف، با تنظیم زاویه شروع پاشش در موقعیت نقطه مرگ بالای تخلیه مقدار طول پاشش انژکتور طوری تنظیم شد تا نسبت هوا به سوخت نسبی توسط نمایشگر آنالیزور برابر با ۱/۰۵ مشاهده شود در این شرایط آوانس جرقه به گونه ای تنظیم شد تا گشتاور خروجی در بیشترین مقدار خود قرار گیرد. با ثابت گرفتن طول پاشش و ثابت گرفتن زاویه زدن جرقه زاویه شروع پاشش را تغییر داده و در هر مورد با استفاده از سیستم اخذ داده ها مقادیر، فشار داخل سیلندر، فشار مطلق مانیفولد ورودی، پالس شفت انکودر، موقعیت جرقه، سیگنال نقطه مرگ بالای

1-Kistler
2-Saxon Infralyt CL
3-Adlink DAQ2005

تخلیه و طول پاشش انژکتور برای ۵۰۰ سیکل متوالی با فرکانس ۸۰ kHz نمونه برداری گردید. همین فرآیند، با حفظ نسبت تراکم و سرعت موتور در حالت نسبت هوا به سوخت نسبی ۱/۱۱ تکرار شد. جدول ۲ شرایط کاری و نمونه‌های انجام گرفته را بیان می‌کند.

جدول ۲: خلاصه شرایط تست‌ها

زوایای شروع پاشش نسبت به نقطه مرگ بالا تخلیه (deg)	۱۸۰، ۱۲۰، ۶۰، ۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰-
زاویه زدن جرعه قبل از مرگ بالای تراکم (deg)	۳۵
طول پاشش (msec)	۱۶/۲ و ۱۵/۷
سرعت موتور (rpm)	۱۸۰۰
وضعیت دریچه گاز	کاملاً باز

در نهایت با استفاده از کد نوشته شده به زبان فرترن و با استفاده از سیگنال موقعیت نقطه مرگ بالای تخلیه، سیکل‌های ذخیره شده از هم جدا شده و تغییرات فشار داخل سیلندر با زاویه میل لنگ، مقدار فشار موثر متوسط اندیکه، فشار بیشینه سیلندر و موقعیت فشار بیشینه محاسبه می‌شود.

۴- انرژی حرارت آزاد شده

تحلیل کامل فرآیندها در موتورهای احتراق داخلی به جهت توأم شدن هر دو پدیده احتراق و دینامیک سیالات توربولانت دشوار و به طور دقیق غیر ممکن است. در چنین شرایطی با در نظر گرفتن فرض‌هایی اقدام به ساده کردن مساله و حل آن می‌کنیم. در کار حاضر برای بررسی فرآیند احتراق در موتور، نرخ انرژی آزاد شده و زمان شروع احتراق با صرف نظر کردن از پدیده نشتی، انتقال حرارت از دیواره سیلندر، تاخیر دمایی فشار سنج درون سیلندر، صرفاً با تحلیل ترمودینامیکی داده‌های فشار درون سیلندر اقدام به محاسبه نرخ حرارت آزاد شده و تاخیر اشتعال شده است. بر اساس قانون اول ترمودینامیک با در نظر گرفتن رابطه ۱ نرخ حرارت آزاد شده بر واحد درجه میل لنگ با استفاده از تغییرات فشار و حجم سیلندر با زاویه میل لنگ بدست می‌آید [۸].

$$\frac{dQ}{d_n} = \frac{x}{x-1} P \frac{dV}{d_n} + \frac{1}{x-1} V \frac{dP}{d_n} \quad (1)$$

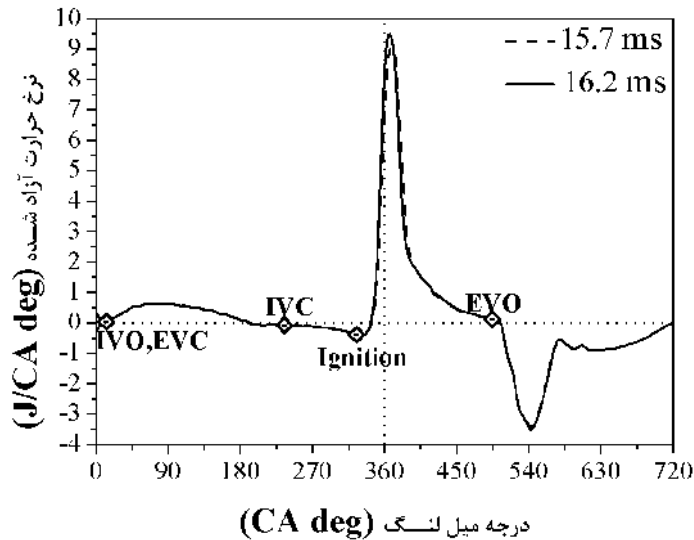
برای بررسی نرخ انرژی آزاد شده و زمان شروع احتراق با داشتن فشار سیکل با دقت ۰/۵ درجه میل لنگ و رابطه حجم سیلندر با زاویه میل لنگ رابطه ۱ را باید به صورت عددی بیان کنیم تا بتوانیم نرخ تغییرات انرژی آزاد شده را بر اساس داده‌های گسسته ثبت شده پیدا کنیم. رابطه ۲ فرم عددی رابطه ۱ می‌باشد [۹].

$$HRR_j = \frac{x_j}{x_j-1} P_j (V_{j+1} - V_j) + \frac{1}{x_j-1} V_j (P_{j+1} - P_j) \quad (2)$$

در رابطه ۲ V_j و P_j به ترتیب حجم و فشار مرحله زام می‌باشد و V_{j+1} و P_{j+1} به ترتیب حجم و فشار مرحله $j+1$ زام می‌باشد. در رابطه ۲ نسبت گرمای ویژه در دمای مرحله زام است که برای کل حجم ثابت در نظر گرفته می‌شود. HRR_j^1 نرخ حرارت آزاد شده در مرحله زام است. مقدار Z از صفر درجه میل لنگ (نقطه مرگ بالای تخلیه) شروع شده و تا ۷۲۰+ درجه میل لنگ بعد از مرگ بالای تخلیه می‌باشد.

در شکل ۱ تغییرات نرخ حرارت آزاد شده با زاویه میل لنگ را برای دو طول پاشش مختلف استفاده شده و برای زاویه شروع پاشش صفر درجه بیان کرده است. در این نمودار موقعیت جرعه، زاویه باز و بسته شدن سوپاپ ورود و خروج نیز بیان

شده است. با توجه به شکل ۱ موقعیت باز شدن سوپاپ خروجی هم خوانی مستقیم با کاهش نرخ حرارت آزاد شده دارد و همچنین فرآیند مکش رابطه مستقیم با افزایش نرخ حرارت آزاد شده دارد. غالباً بررسی این نمودار در مقالات مختلف محدود به ناحیه بعد از جرقه و موقعیت مکانی نقاطی است که نرخ حرارت آزاد شده آن‌ها مثبت است.



شکل ۱: تغییرات نرخ حرارت آزاد شده با زاویه میل لنگ برای موقعیت پاشش صفر درجه و دو طول پاشش مختلف

۵- تاخیر در اشتعال

از زمان ارسال پالس جرقه (در کسر ناچیزی از زمان) تا پاسخ سیستم جرقه زنی (کوئل و شمع) تاخیر در سیستم جرقه زنی محسوب می‌شود و از زمان زدن جرقه در سر شمع و تشکیل هسته شعله در محفظه احتراق تا پیشروی شعله در محفظه نیز تاخیر در اشتعال محسوب می‌شود. مقدار تاخیر برای سیستم جرقه زنی برای تمامی تست‌ها با توجه به ثابت بودن سیستم یکسان می‌باشد اما با توجه به اختلاط هوا و سوخت و کیفیت مخلوط در نزدیکی شمع در زمان جرقه تاخیر اشتعال کاهش پیدا می‌کند. برای بدست آوردن تاخیر اشتعال می‌توان دو شیوه را پیش رو گرفت:

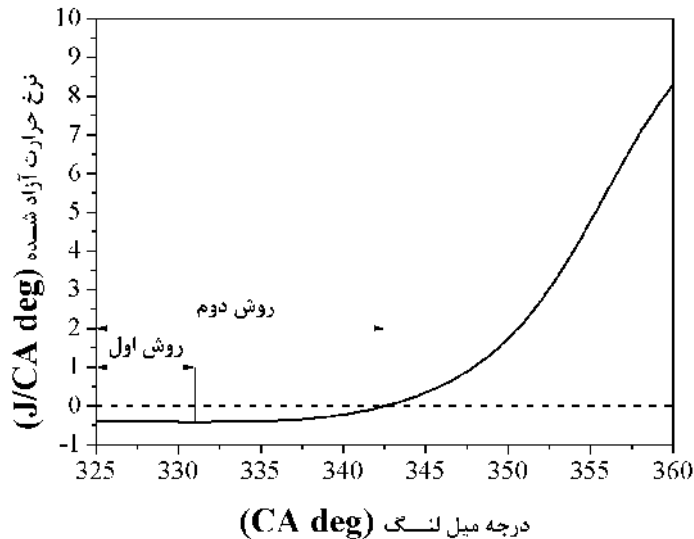
۱. با توجه به منحنی نرخ حرارت آزاد شده بعد از زمان زدن جرقه تا لحظه‌ای که احتراق در سیلندر سبب شیب مثبت در منحنی گردد نقطه حدقلی وجود دارد که می‌تواند به عنوان نقطه آغاز اشتعال در سیلندر در نظر گرفته شود. فاصله بین نقطه زدن جرقه تا این موقعیت را می‌توان به عنوان تاخیر اشتعال تعریف کرد.
۲. با توجه به منحنی نرخ حرارت آزاد شده بعد از زدن جرقه اولین موقعیت که نرخ حرارت آزاد شده بزرگتر از صفر شود را می‌توان به عنوان آغاز اشتعال در سیلندر در نظر گرفته شود. فاصله بین نقطه زدن جرقه تا این موقعیت را می‌توان به عنوان تاخیر اشتعال تعریف کرد [۹].

در کار حاضر برای بیان تاخیر اشتعال از روش ۲ استفاده شده است. برای پیدا کردن طول زمانی تاخیر اشتعال به جای طول زاویه‌ای از رابطه ۳ استفاده می‌شود.

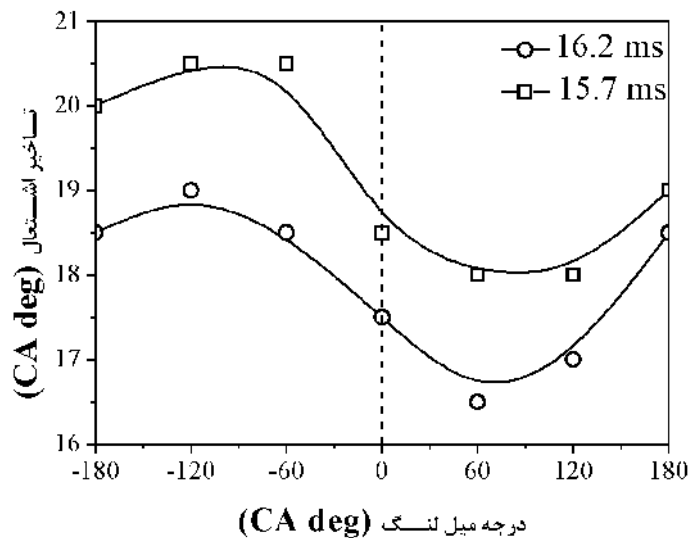
$$delay_{sec} = delay_{deg} \times \frac{1}{6Speed_{rpm}} \quad (3)$$

شکل ۲ طول تاخیر اشتعال را بر اساس دو روش بیان شده نشان می‌دهد. همچنین شکل ۳ مقدار تاخیر اشتعال زوایای مختلف شروع پاشش را در دو طول پاشش مختلف مورد مطالعه بیان می‌کند.

بر اساس شکل ۱ تاخیر اشتعال در روش دوم بیشتر از روش اول تخمین زده می‌شود. مقدار تاخیر اشتعال نشان داده شده در شکل ۳ در کمترین حالت برای زاویه شروع پاشش ۶۰ درجه رخ می‌دهد. همچنین تاخیر اشتعال برای شرایط بسیار دورتر از موقعیت باز شدن سوپاپ ورودی (۱۸۰ و -۱۸۰) تقریباً با هم برابر است. بیشترین تاخیر اشتعال برای شروع پاشش در ۶۰- و طول پاشش ۱۵/۷msec رخ می‌دهد و برابر با ۱/۸۹msec می‌باشد و کمترین تاخیر اشتعال برای شروع پاشش در ۶۰ و طول پاشش ۱۶/۲msec رخ داده و برابر با ۱/۵۲msec می‌باشد. همچنین بر اساس شکل ۳ با غنی تر شدن مخلوط ورودی تاخیر در اشتعال به طور کلی کاهش می‌یابد که خود بیانگر افزایش سرعت شعله با غنی تر شدن مخلوط ورودی است.



شکل ۲: نمایش طول تاخیر اشتعال بر اساس دو روش بیان شده

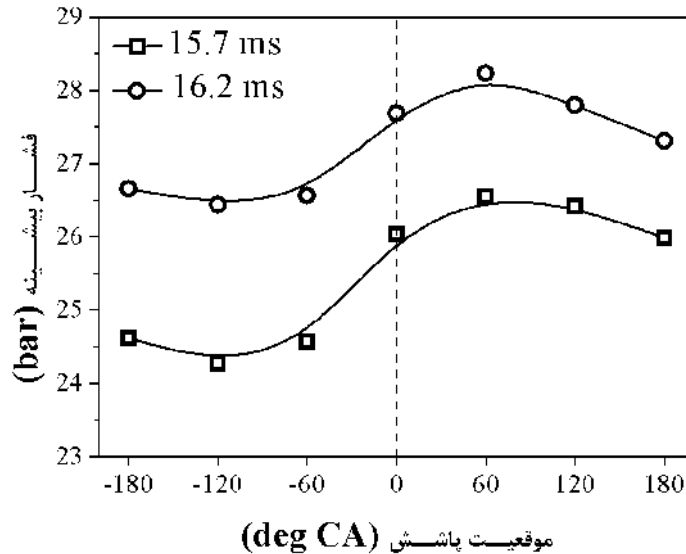


شکل ۳: تاخیر اشتعال برای زوایای مختلف پاشش در دو مقدار سوخت تزریقی مختلف

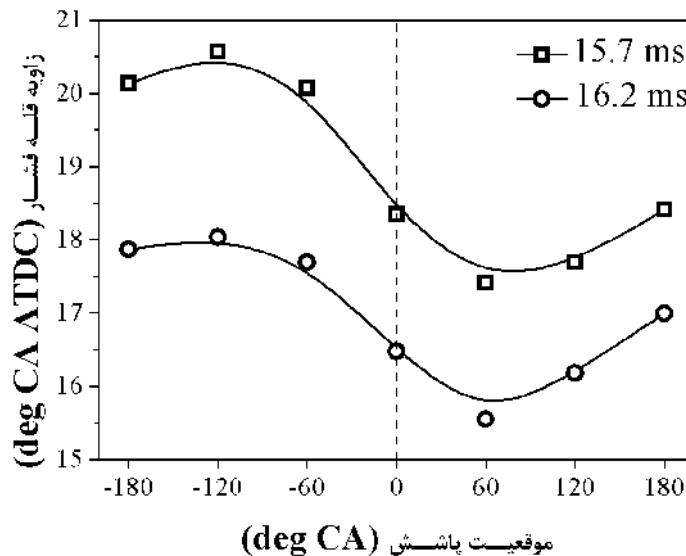
۶- مقدار و موقعیت قله فشار

مقدار و موقعیت قله فشار در زوایای مختلف شروع پاشش به جهت ثابت بودن منبع خطا (وسیله اندازه‌گیری، کد برنامه ریز شده) با یکدیگر قابل مقایسه است. وجود مخلوط غنی‌تر در نزدیکی شمع سبب گسترش سریع‌تر شعله در محفظه احتراق

می‌گردد و از طرفی گسترش سریع شعله شیب فشار را در سیلندر تندتر کرده که در نتیجه قله فشار را به موقعیت مرگ بالای تراکم نزدیکتر می‌کند. بر اساس نتایج قسمت قبل این موضوع پیش بینی می‌شود که بیشینه مقدار قله فشار و کمینه موقعیت قله فشار در شروع پاشش در ۶۰ درجه رخ دهد. شکل ۴ و ۵ این موضوع را تایید می‌کنند. بر اساس شکل ۴ و ۵ مقدار قله فشار با افزایش سوخت تزریقی افزایش می‌یابد و از طرفی موقعیت قله فشار با افزایش سوخت تزریقی به نقطه مرگ بالای تراکم نزدیکتر می‌شود. این موضوع بیانگر افزایش سرعت شعله با غنی‌تر شدن مخلوط ورودی است. همچنین مقدار قله فشار و موقعیت آن برای زوایای شروع پاشش بسیار دور تر از آغاز تنفس (۱۸۰ و -۱۸۰) تقریباً با هم برابر است.



شکل ۴: تغییرات مقدار قله فشار با زاویه شروع پاشش در دو مقدار سوخت تزریقی مختلف

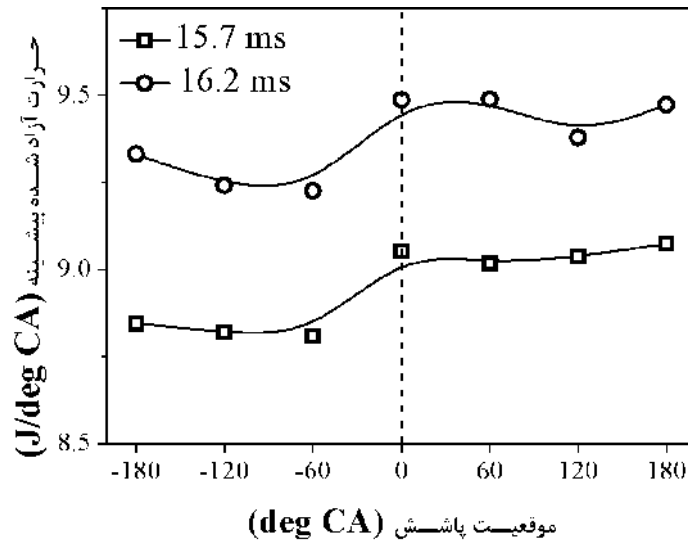


شکل ۵: تغییرات موقعیت قله فشار با زاویه شروع پاشش در دو مقدار سوخت تزریقی مختلف

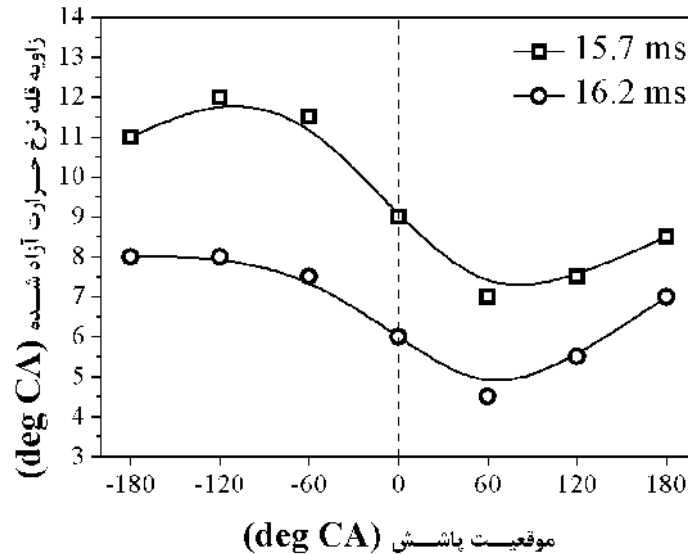
۷- مقدار و موقعیت بیشترین نرخ حرارت آزاد شده

نرخ حرارت آزاد شده معیاری از تبدیل به انرژی شدن سوخت در سیلندر می‌باشد. شکل ۶ و ۷ موقعیت و بیشترین مقدار نرخ حرارت آزاد شده بر اساس زوایای مختلف شروع پاشش را نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۶ بیشترین نرخ حرارت آزاد شده

در صفر رخ می‌دهد همچنین تغییرات بیشترین نرخ حرارت آزاد شده چندان وابسته به زاویه پاشش نیست در حالی که با تغییر طول پاشش تغییر زیادی در آن رخ می‌دهد. این به آن معنی است که طول پاشش پارامتر موثرتری در تغییر بیشترین نرخ حرارت آزاد شده است و موقعیت پاشش در بیشترین نرخ حرارت آزاد شده چندان تاثیرگذار نیست.



شکل ۶: تغییرات بیشترین نرخ حرارت آزاد شده با زاویه شروع پاشش در دو مقدار سوخت تزریقی مختلف

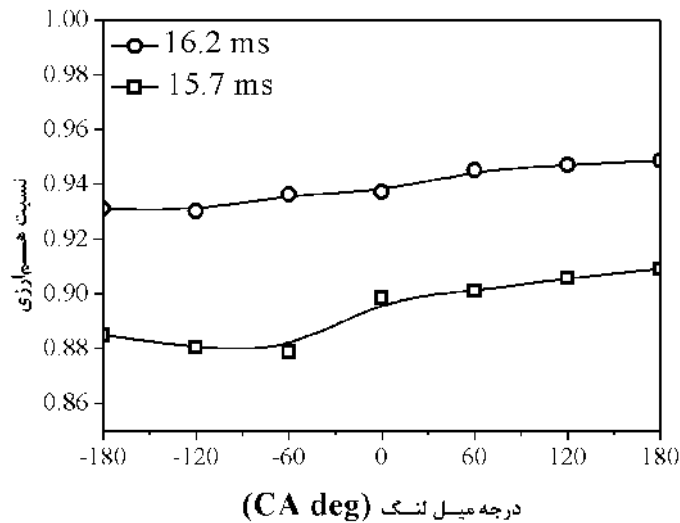


شکل ۷: تغییرات موقعیت بیشترین نرخ حرارت آزاد شده با زاویه شروع پاشش در دو مقدار سوخت تزریقی مختلف

۸- بررسی نسبت هم‌ارزی، منواکسید کربن و توان اندیکه

نسبت هم‌ارزی معیاری از سوختن مخلوط ورودی است به این نحو که هر چه سوخت ورودی شرایط بهتری برای سوختن داشته باشد نسبت هم‌ارزی اندازه‌گیری شده توسط آنالیزور محصولات احتراق بالاتر خواهد بود. در کار حاضر با توجه به ثابت

نگه داشتن مقدار سوخت در هر آزمایش نسبت هم ارزی دچار تغییراتی بر حسب زاویه شروع پاشش می‌شود. هر چند این تغییرات ناچیز می‌باشد اما در بیان شرایط به ما کمک می‌کند. شکل ۸ مقدار نسبت هم‌ارزی را برای زوایای مختلف شروع پاشش و دو طول پاشش مورد مطالعه نشان می‌دهد. هرچند این نمودار بیان می‌کند که با تغییر زاویه شروع پاشش مقدار نسبت هم‌ارزی از کمترین مقدار در ۱۸۰- تا بیشترین مقدار در ۱۸۰+ افزایش می‌یابد و این به آن معنی است که سوخت بیشتری در محفظه سوخته است اما با توجه به آنالیز بخش‌های قبل این نتیجه گرفته می‌شود که در زاویه شروع پاشش برابر ۱۸۰ هر چند مقدار نسبت هم‌ارزی بیشتر از دیگر موقعیت‌ها است اما بیشتر احتراق به صورت ناقص رخ داده و انرژی تولیدی کمتری در سیلندر آزاد شده است و این غالباً به علت عدم اختلاط مناسب مخلوط سوخت و هوا و در دسترس نبودن هوای کافی برای سوختن است.

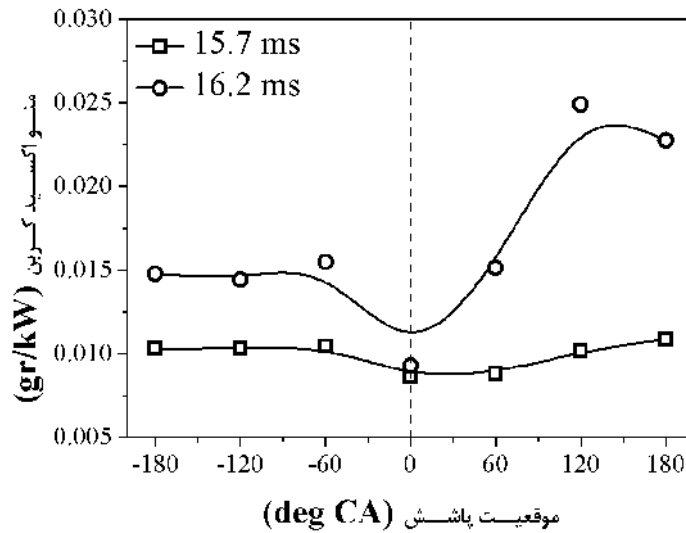


شکل ۸: تغییرات نسبت هم‌ارزی با زاویه شروع پاشش در دو مقدار سوخت تزریقی مختلف

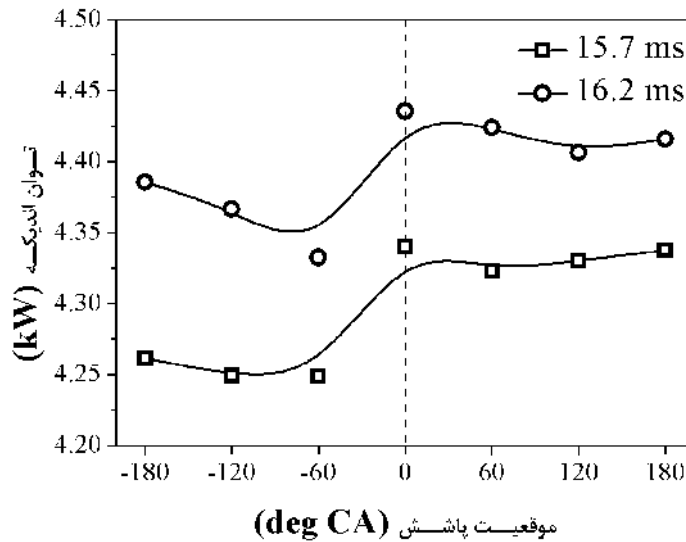
شکل ۹ تغییرات مقدار منواکسید کربن ویژه را بر حسب زاویه شروع پاشش نشان می‌دهد بر اساس این منحنی بیشتر احتراق در موقعیت پاشش ۱۸۰- به صورت ناقص و به شکل منواکسید کربن رخ داده است. مقدار منواکسید کربن ویژه با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شده است [۱۰].

$$sCO = \frac{m_{CO}}{P_b} \quad (4)$$

شکل ۱۰ تغییرات توان اندیکه خروجی را با زاویه شروع پاشش بیان می‌کند. بر اساس شکل ۹ و ۱۰ کمترین نرخ تبدیل سوخت به کربن منواکسید و در نتیجه تولید توان بالاتر در موقعیت پاشش صفر رخ می‌دهد. با توجه به ثابت بودن طول پاشش و در نتیجه مقدار انرژی شیمیایی ورودی ثابت، بازده حرارتی نیز رفتار مشابه توان اندیکه دارد یعنی در موقعیت صفر درجه بیشینه است.



شکل ۹: تغییرات منواکسید کربن ویژه با زاویه شروع پاشش



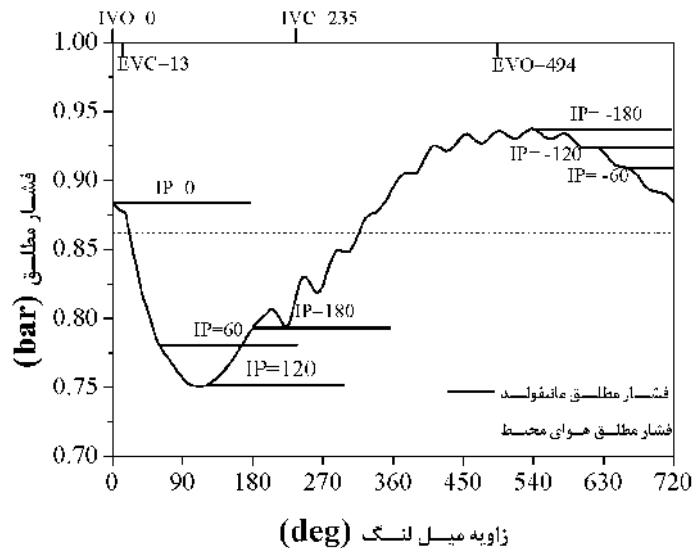
شکل ۱۰: تغییرات توان اندیکه با زاویه شروع پاشش

۹- تغییرات فشار درون مانیفولد ورودی

طول پاشش بر حسب زاویه میل لنگ با استفاده از رابطه ۳ و جایگذاری بدست می‌آید بر این اساس طول پاشش برای $16/2ms$ برابر $175/8$ درجه میل لنگ و برای $15/7ms$ برابر $170/4$ درجه میل لنگ می‌شود. شکل ۱۱ تغییرات فشار مطلق درون مانیفولد ورودی را برای شرایط پاشش در صفر درجه و طول پاشش $16/2ms$ نشان می‌دهد. همچنین در این شکل موقعیت باز و بسته شدن سوپاپ ورودی و خروجی و فشار مطلق محیط نیز نشان داده شده است. با بررسی تغییرات فشار مطلق برای زوایای مختلف پاشش این نتیجه حاصل می‌شود که نه تنها این تغییرات برای 500 سیکل پشت سر هم یکسان است همچنین تفاوت بسیار ناچیز و غیر قابل توجهی در فشار مطلق به ازای زوایای مختلف پاشش رخ می‌دهد. همچنین به علت ماهیت مایع شکل سوخت با تغییر طول پاشش منحنی تغییرات فشار مطلق درون مانیفولد تغییر معنی داری نمی‌کند. در نتیجه این منحنی قابل استناد برای هر دو طول پاشش مورد مطالعه است. در شکل ۱۱ علاوه بر مطالب فوق طول پاشش برای

موقعیت‌های مختلف شروع پاشش نیز نشان داده شده است، زاویه شروع پاشش و طول آن در فشار ابتدای پاشش رسم شده است.

با توجه به نتایج بخش‌های قبل حداکثر توان تولید و حداقل منواکسید کربن در زاویه شروع پاشش صفر دیده می‌شود و از طرفی حداقل تاخیر اشتعال، بیشترین قله فشار سیلندر و نزدیکترین موقعیت قله فشار به مرگ بالا تراکم در زاویه شروع پاشش ۶۰ درجه دیده می‌شود. با توجه به شکل ۱۱ در صورت شروع پاشش در صفر تمام طول پاشش در کورس مکش (۰ تا ۱۸۰) قرار دارد، در نتیجه مخلوط به نسبت همگن‌تری با امکان دسترسی بهتر به اکسیژن برای سوخت در سیلندر تهیه می‌شود. از طرفی در صورت شروع پاشش در ۶۰، انتهای پاشش مبتنی بر موقعیت بسته شدن سوپاپ ورودی می‌باشد که در نتیجه در تمام مدت باز بودن سوپاپ ورودی سوخت تزریق شده است اما اختلاط سوخت و هوا در محفظه سیلندر نسبت به حالت صفر کمتر بوده، در عوض حجم بالای محفظه سیلندر در نزدیکی شمع دارای غنای بالاتری است که در نتیجه سرعت پیشروی شعله بالاتر، تاخیر در اشتعال کمتر و مقدار قله فشار بزرگتر می‌شود.



شکل ۱۱: تغییرات فشار مطلق مانیفولد ورودی در زاویه شروع پاشش صفر و طول ۱۶/۲ms

۱۰- نتیجه گیری

- با توجه به بخش‌های مختلف بررسی شده نتایج زیر دریافت می‌شود:
- در صورت که مخلوط درون سیلندر دارای شرایط همگن‌تری باشد مقدار منواکسید کربن، توان خروجی و بازده حرارتی افزایش می‌یابد.
- با غنی‌تر شدن مخلوط سرعت پیشروی شعله بالاتر می‌رود.
- با افزایش سرعت پیش روی شعله تاخیر در اشتعال کاهش می‌یابد، مقدار قله فشار افزایش می‌یابد و موقعیت قله فشار به نقطه مرگ بالای تراکم نزدیکتر می‌شود.
- تاخیر در اشتعال علاوه بر غنای کلی مخلوط به غنای مخلوط نزدیک شمع نیز وابسته است به این نحو که هر چه مخلوط اطراف شمع غنی‌تر باشد سرعت پیش روی شعله بالاتر است.
- بیشینه نرخ حرارت آزاد شده بیشتر به اختلاط مخلوط ورودی وابسته است و هرچه این اختلاط بهتر باشد بیشینه نرخ حرارت آزاد شده بالاتر است.



- برای راه اندازی باید پاشش به نحوی صورت گیرد که غنای مخلوط در نزدیکی شمع بیشتر باشد تا هسته شعله در مخلوط غنی به راحتی شکل گرفته و سریعتر موتور روشن شود.
- برای داشتن منواکسید کربن کمتر بهتر است شروع پاشش سوخت به نحوی تنظیم شود که در طول کورس مکش سوخت به همراه هوا مکیده شود.
- موقعیت باز و بسته شدن سوپاپ ورودی و خروجی و همچنین منحنی تغییرات فشار مانیفولد ورودی در تشخیص موقعیت پاشش برای کاهش آلاینده‌ها و افزایش توان و موقعیت پاشش برای استارت موتور موثر است.
- تذکر: محفظه سیلندر به شکل استوانه، با سر پیستون کاسه‌ای و سر سیلندر تخت می‌باشد که این موضوع جریان‌ها گردشی داخل سیلندر را تا حدودی خنثی می‌کند و از برخی جهات با موتورهای که سر سیلندر آن‌ها به صورت شیربانی است متفاوت است.

مراجع

- 1- Li, J., Gong, C.M., Su, Y., Dou, H.L., Liu, X.J., "Effect of injection and ignition timings on performance and emissions from a spark-ignition engine fueled with methanol", Fuel, Volume 89, Issue 12, December 2010, Pages 3919-3925.
- 2- Fan, Q., Li, L., "Study on first-cycle combustion and emissions during cold start in a TSDI gasoline engine", Fuel, Volume 103, January 2013, Pages 473-479.
- 3- Venugopal, T., Ramesh, A., "Experimental studies on the effect of injection timing in a SI engine using dual injection of n-butanol and gasoline in the intake port", Fuel, Volume 115, January 2014, Pages 295-305.
- 4- Cesur, I., Parlak, A., Ayhan, V., Boru, B., Gonca, G., "The effects of electronic controlled steam injection on spark ignition engine", Applied Thermal Engineering, Volume 55, Issues 1-2, June 2013, Pages 61-68.
- 5- Deng, B., Fu, J., Zhang, D., Yang, J., Feng, R., Liu, J., Li, K., Liu, X., "The heat release analysis of bio-butanol/gasoline blends on a high speed SI (spark ignition) engine", Energy, Volume 60, 1 October 2013, Pages 230-241.
- 6- Yadollahi, B., Boroomand, M., "The effect of combustion chamber geometry on injection and mixture preparation in a CNG direct injection SI engine", Fuel, Volume 107, May 2013, Pages 52-62.
- 7- Morey, F., Seers, P., "Comparison of cycle-by-cycle variation of measured exhaust-gas temperature and in-cylinder pressure measurements", Applied Thermal Engineering, Volume 30, Issue 5, April 2010, Pages 487-491.
- 8- Senthil Kumar, K., Thundil Karuppa Raj, R., "Effect of Fuel Injection Timing and Elevated Intake Air Temperature on the Combustion and Emission Characteristics of Dual Fuel Operated Diesel Engine", Procedia Engineering, Volume 64, 2013, Pages 1191-1198.
- 9- Hunicz, J., Kordos, P., "An experimental study of fuel injection strategies in CAI gasoline engine", Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 35, Issue 1, January 2011, Pages 243-252.
- 10- Heywood, J. B., "Internal combustion engine fundamentals", McGraw Hill, 1988, Pages 56.