

مطالعه‌ی تجربی زمان تاخیر اشتعال یک موتور دیزل با استفاده از مخلوط سوخت‌های بیودیزل و دیزل

محمد رضا سعیدی نیجران^{۱*}، برات قبادیان^{۱**}، تیمور توکلی^{۱***} و رحیم خوشبختی سرای^{۲****}

۱- دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی

۲- دانشگاه صنعتی سهند تبریز، دانشکده مهندسی مکانیک

(دریافت: ۱۳۸۸/۴/۱۰، پذیرش: ۱۳۸۸/۷/۶)

در تحقیق حاضر، استفاده از بیودیزل حاصل از روغن پسماند خوراکی در یک موتور دیزل CFR ستان‌سنج و نیز یک موتور دیزل لیستر M ۸/۱ مطالعه شده و تاخیر اشتعال مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل شماره ۲ معمولی و بیودیزل بر مبنای حجمی (B00, B10, B20, B30, B40, B50, B60, B70, B80, B90, B100) بررسی شده است. موتور دیزل تحت آزمایش با سرعت ثابت ۷۳۰ دور در دقیقه ولی در بارهای مختلف ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد بار کامل به کار گرفته شد. در ابتدا، عدد ستان مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل در موتور دیزل CFR ستان‌سنج بر مبنای استاندارد ASTM-D 613 تعیین شد. با استفاده از عدد ستان مخلوط‌های سوخت و رابطه بین عدد ستان و تاخیر اشتعال، تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل محاسبه شد. نتایج آزمایش‌های تجربی نشان داد که با افزایش درصد بیودیزل در سوخت مخلوط بیودیزل و دیزل، عدد ستان سوخت افزایش یافت و تاخیر اشتعال کاهش یافت. سپس مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل در موتور دیزل لیستر M ۸/۱ تحت آزمون‌های کوتاه مدت و در چهار بار مختلف بر مبنای استاندارد ECE R-۴۹ آزمایش شد. با استخراج منحنی‌های فشار-زاویه‌ی میل‌لنگ ($P-\theta$) و مشتق اول و دوم فشار، تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل در چهار بار مختلف تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل، تاخیر اشتعال کاهش می‌یابد. مقایسه‌ی نتایج دو روش تعیین مقادیر تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل بیانگر مطابقت آن‌هاست. روند کاهش دوره‌ی تاخیر اشتعال در گستره‌ی کامل بار موتور تحت آزمایش، با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط سوخت‌های بیودیزل و دیزل یک مزیت مهم محسوب شده و موجب کاهش کوبش دیزل، کاهش آلاینده‌های مهم به ویژه NO_x کاهش فرسایش قطعات موتور و در نتیجه افزایش طول عمر مفید موتور خواهد شد.

واژگان کلیدی: سوخت بیودیزل، موتور دیزل، تاخیر اشتعال موتور.

مقدمه

در سال‌های اخیر سوخت‌های مختلفی به عنوان جایگزین سوخت دیزل در موتورهای دیزلی بررسی شده‌اند که از مهم‌ترین آن‌ها سوخت به دست آمده از ضایعات روغن‌های گیاهی است که به عنوان سوخت بیودیزل نام‌گذاری شده است [۱-۵]. بیودیزل سوخت جایگزین مناسبی برای موتور دیزل بوده و تمام مزایای این نوع موتورها را حفظ می‌کند. برای استفاده از این سوخت در موتورهای دیزل به جای سوخت گازوییل، تغییرات اساسی در موتور لازم نیست و فقط بسته به ارزش گرمایی و سایر مشخصه‌های سوخت، لازم است تنظیماتی بر روی زمان شروع و مدت زمان پاشش سوخت انجام شود. این سوخت در مقایسه با

* دانشجوی دکتری (ایمیل: mrsaedi2000@yahoo.com)

** دانشیار - نویسنده مخاطب (ایمیل: ghobadib@modares.ac.ir)

*** استاد (ایمیل: ttavakoli@modares.ac.ir)

**** استادیار (ایمیل: khosbakhti@sut.ac.ir)

گازوییل سوخت پاکی به شمار می‌رود [۲]. در تحقیقی مشخص شد که از میان مراحل مختلف احتراق در موتور دیزل، عامل اصلی کنترل بر فرایند احتراق و آلودگی‌های زیست‌محیطی موتورهای دیزل، مرحله‌ی اول احتراق یعنی دوره‌ی تاخیر اشتعال است که به صورت اختلاف بین شروع پاشش سوخت و شروع اشتعال آن تعریف می‌شود [۴]. بیودیزل سوخت تجدیدپذیر جایگزین برای موتورهای دیزل است که از نظر ساختار شیمیایی جزء استرها محسوب می‌شود. این سوخت می‌تواند از روغن گیاهانی مثل ذرت، آفتاب‌گردان، برخی دانه‌های روغنی، بادام زمینی و همچنین روغن‌های پسماند خوراکی و چربی‌های حیوانی در کنار یک عامل متیل‌کننده تولید شود [۶]. مهم‌ترین تفاوت اساسی در ترکیبات سوخت دیزل و بیودیزل، محتوای اکسیژن است. میزان اکسیژن موجود در سوخت دیزل صفر است در حالی که بیودیزل حاوی ۱۰ تا ۱۲ درصد وزنی اکسیژن است. تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که تاخیر اشتعال هیدروکربن‌ها، به محتوای اکسیژن آن‌ها بستگی دارد [۷]. در تحقیقی روغن سبوس برنج برای تولید بیودیزل استفاده شد و متیل استر روغن سبوس برنج به صورت خالص و مخلوط با سوخت دیزل در موتور دیزل تک سیلندر با پاشش مستقیم مورد استفاده قرار گرفت و متغیرهای احتراق، عملکرد و آلایندگی موتور بررسی شدند. در این تحقیق، شش نوع سوخت یعنی دیزل خالص، مخلوط‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ درصد متیل استر روغن سبوس برنج و سوخت دیزل (بر مبنای حجمی) و متیل استر روغن سبوس برنج خالص، آزمایش شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که تاخیر اشتعال و بیش‌ترین مقدار در منحنی گرمای آزاد شده برای متیل استر روغن سبوس برنج و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل کم‌تر از سوخت دیزل خالص است و تاخیر اشتعال با افزایش درصد متیل استر روغن سبوس برنج در مخلوط کاهش می‌یابد [۸]. مرحله‌ی تاخیر اشتعال در موتورهای دیزل به دلیل تاثیر آن بر سروصدای موتور و تشکیل آلایندگی‌ها مورد توجه محققان است. دوره‌ی تاخیر اشتعال مرکب از تاخیر فیزیکی شامل پودر شدن (Atomization)، تبخیر و اختلاط همراه با تاخیر شیمیایی حاصل از واکنش‌های پیش احتراق مخلوط سوخت و هواست. به دلیل اهمیت متغیر تاخیر اشتعال به خاطر تاثیر تغییرات این دوره بر متغیرهای عملکردی و آلایندگی موتورهای دیزلی، محققان مختلفی در خصوص دوره‌ی تاخیر اشتعال تحقیق کرده‌اند [۹-۱۲]. روابط متعددی برای تعیین تاخیر اشتعال بر اساس داده‌های تجربی پیشنهاد شده است. اغلب این روابط از رابطه‌ای مشابه رابطه آرنیوس که توسط ولفر پیشنهاد شده، یعنی رابطه (۱) استفاده می‌کنند [۱۳]:

$$\tau_{id} = AP^{-n} \exp\left(\frac{E_a}{R_u T}\right) \quad (1)$$

در این رابطه P و T فشار و دما، E_a انرژی فعال‌سازی، R_u ثابت عمومی گازها و n و A ضرایب ثابت هستند. در تحقیقی به منظور محاسبه‌ی تاخیر اشتعال از رابطه (۲) که رابطه میان عدد ستان و تاخیر اشتعال سوخت است، استفاده شده است [۱۳].

$$CN = 830.99 \times (ID - 1.512)^{-0.658} + 3.547 \quad (2)$$

در این رابطه، تاخیر اشتعال بر حسب میلی ثانیه (ms) است. در تحقیقی، زمان تاخیر اشتعال چهار اسید چرب غیر اشباع و متیل، اتیل، پروپیل و بوتیل استرهای آن‌ها در یک دستگاه احتراق با حجم ثابت تعیین شدند و این مقادیر برای محاسبه‌ی اعداد ستان مورد استفاده قرار گرفتند. دامنه‌ی اعداد ستان به دست آمده از ۲۰/۴ تا ۸۰/۱ بود. تاثیر این ترکیبات با غلظت، متغیر بود، بعضی در غلظت بالاتر و بعضی در غلظت پایین‌تر در کاهش زمان تاخیر اشتعال موثرتر بودند [۱۴ و ۱۵]. در تحقیق دیگری بر روی موتور دیزل با استفاده از سوخت‌های دیزل و بیودیزل، با مقادیر مختلف زمان پاشش استاتیک، یک رابطه جدید برای پیش‌بینی تاخیر اشتعال ارائه شد. شروع پاشش دینامیک به دو روش اندازه‌گیری شده بود. روش اول بر اساس اندازه‌گیری بلندشدن سوزن انژکتور و روش دوم براساس اندازه‌گیری فشار سوخت قبل از انژکتور بوده است. شروع اشتعال و انتهای تاخیر اشتعال بر اساس تعیین نقطه‌ی جدایش منحنی‌های تغییرات فشار داخل سیلندر در دو حالت موتورگردانی (بدون سوخت) و موتور در حال کار (با سوخت)، اندازه‌گیری شد. رابطه به دست آمده پیش‌بینی به‌تری در حالت استفاده از سوخت دیزل و بیودیزل، در مقایسه با روابط ارائه شده توسط نویسندگان دیگر که در ادبیات فن موجود است، به دست می‌دهد [۱۶]. در یک تحقیق دیگر، عملکرد یک موتور برای مصارف غیر جاده‌ای با استفاده از متیل استر روغن کلزا بررسی و با سوخت دیزل مقایسه

شد. بیودیزل به دلیل محتوای اکسیژن آن نسبت به سوخت دیزل زودتر مشتعل می‌شد. به دلیل تاخیر اشتعال پایین‌تر، سوخت کم‌تری در محفظه‌ی احتراق قبل از شروع احتراق جمع شده و بنابراین افزایش فشار کم‌تر و سروصدا (کوبش دیزل) نیز کم‌تر بوده است. بقیه‌ی مراحل احتراق برای هر دو نوع سوخت تقریباً یکسان بوده است. مصرف سوخت ثقلی بیودیزل حدود ۱۳ درصد بیش‌تر از سوخت دیزل بوده است و این امر به دلیل ارزش گرمایی بالاتر سوخت دیزل است. با بررسی تفاوت در ارزش گرمایی، مصرف سوخت برای هر دو نوع یکسان بوده است [۱۷]. یک موتور دیزل مجهز به پرخوران (Turbo charger) در شرایط سکون برای بررسی ویژگی‌های احتراق مخلوط متیل ایزوپروپیل و متیل استر روغن سویا با سوخت دیزل تحت آزمون قرار گرفت. همه مخلوط‌های سوخت، تاثیر قابل توجهی در کاهش آلاینده‌های منواکسید کربن، هیدروکربن‌های نسوخته، ذرات ریز و کربن جامد داشتند و عملکرد موتور در همه‌ی آن‌ها یکسان بود. همه مخلوط‌های استر در شرایط ۱۰۰ و ۲۰ درصد بار موتور، دارای تاخیر اشتعال کم‌تری بودند [۱۸]. در تحقیقی، فرایند احتراق شامل نمودارهای فشار و تحلیل تاخیر اشتعال و نشر آلاینده‌های موتور دوگانه سوز با استفاده از سوخت CNG و بیودیزل بررسی شده است. در این تحقیق، مشخص شد که با افزایش درصد سوخت بیودیزل در سوخت دوگانه، تاخیر اشتعال کاهش می‌یابد [۱۹]. نتایج تحقیق بر روی متیل استر روغن مغز فندق و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل نشان داد که با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل مصرف سوخت ویژه ترمزی تا مخلوط سوخت B10 کاهش می‌یابد و با افزایش بیش‌تر درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت (B10-B100)، مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش می‌یابد. نتایج این تحقیق هم‌چنین نشان می‌دهد که با افزایش درصد بیودیزل، تاخیر اشتعال کاهش می‌یابد [۲۰].

از آن‌جایی که دوره‌ی تاخیر اشتعال در فرایند احتراق موتورهای دیزل، عامل اصلی کنترل بر فرایند احتراق، پدیده کوبش موتور، طول عمر موتور دیزل و آلاینده‌های صوتی و زیست محیطی است، لذا بررسی این متغیر مهم به روش تجربی اهمیت پیدا می‌کند. از طرفی با توجه به این موضوع که تا کنون در خصوص تاثیر سوخت جدید، دوستدار طبیعت و تجدیدپذیر بیودیزل بر متغیر مهم تاخیر اشتعال موتور دیزل تحقیق تجربی یافت نشده است، اهمیت تحقیق حاضر بیش‌تر نمود پیدا می‌کند. علی‌رغم تحقیقات انجام شده توسط محققان پیشین که به آن‌ها اشاره شد، هنوز داده‌های تجربی کاملی پیرامون تفاوت تاثیر سوخت‌های بیودیزل و دیزل بر تاخیر اشتعال موتور دیزل در دسترس نیست که در تحقیق حاضر به آن پرداخته شده است. در ضمن، نتایج حاصل از این تحقیق به صورت داده‌های تجربی و عملی آزمایشگاهی می‌تواند به عنوان منبع معتبر برای صحه‌گذاری مطالعات و تحقیقات نظری و مقایسه با تحقیقات تجربی در آینده مورد بهره‌برداری محققان قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل حاصل از روغن پسماند خوراکی، با درصدهای مختلف بیودیزل از صفر تا صد درصد حجمی (B00, B10, B20, B30, B40, B50, B60, B70, B80, B90, B100) تهیه شد. در مرحله‌ی اول عددستان آن‌ها در موتور دیزل (CFR (Cetane Fuel Rating) ستان‌سنج اندازه‌گیری شد و با استفاده از مقادیر عدد ستان، تاخیر اشتعال این سوخت‌ها به کمک رابطه ریاضی بین عدد ستان و تاخیر اشتعال محاسبه شد. در مرحله‌ی دوم آزمایش‌ها، مخلوط‌های اشاره شده، در موتور لیستر مدل M ۸/۱ در چهار بار مختلف موتور (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) تحت آزمون‌های کوتاه مدت در سه تکرار مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند. با استخراج منحنی‌های فشار درون سیلندر بر حسب زاویه‌ی میل‌لنگ (P-θ) برای هر حالت از آزمایش‌ها (در کل ۴۴ حالت) و هم‌چنین منحنی‌های مشتق اول و دوم تغییرات فشار درون محفظه‌ی احتراق، تاخیر اشتعال سوخت‌های مورد آزمایش محاسبه و با نتایج مرحله‌ی اول مقایسه شد.

مشخصات اصلی سوخت بیودیزل

بیودیزل بر اساس تعریف، عبارت از استرهای منوالکیل اسیدهای چرب با زنجیر طولانی است که از منابع طبیعی تجدیدپذیر مانند روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تهیه می‌شود و تشابه زیادی با گازوییل داشته و به عنوان سوخت جایگزین جدی

آن مطرح است. به دلیل تغییرات ناگهانی در قیمت محصولات نفتی از جمله گازوییل، پایان ذخایر نفتی در چند دهه آینده، وابستگی شدید کشورها به منابع سوخت فسیلی خارجی، تجدیدپذیر و تجزیه پذیر بودن بیولوژیکی سوخت بیودیزل و در نهایت پاک بودن آن در مقابل آلاینده‌های زیست محیطی ناشی از گازوییل، بسیاری از کشورها جایگزینی تدریجی گازوییل با بیودیزل را در برنامه‌های کلان تامین انرژی خود برای آینده قرار داده‌اند. بیودیزل هم‌چنین سازگار با سوخت متداول گازوییل بوده و می‌تواند با هر نسبتی با سوخت گازوییل مخلوط شود [۱۸]. بیودیزل استفاده شده در این تحقیق متیل استر روغن خوراکی گیاهی پسماند است که در آزمایشگاه تولید بیودیزل دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تولید شد و سوخت گازوییل مورد استفاده، گازوییل متداول در ایران (گازوییل شماره ۲) است. برخی از خواص مهم بیودیزل استفاده شده به همراه استانداردهای مربوطه و حدود مجاز آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- برخی از خواص مهم بیودیزل مورد استفاده به همراه استانداردهای آزمون ASTM

ویژگی	روش استاندارد آزمون	حدود مجاز	بیودیزل	واحد
نقطه‌ی اشتعال	ASTM D-92	$130 <$	۱۷۶	$^{\circ}\text{C}$
گرانروی سینماتیک	ASTM D-445	۶/۰-۱/۹	۴/۷۳	mm^2/s
نقطه‌ی ابری شدن	ASTM D-2500	-	-۱	$^{\circ}\text{C}$
نقطه‌ی ریزش	ASTM D-97	-	-۴	$^{\circ}\text{C}$
رنگ	ASTM D-1500	-	L۱/۵	-
خوردگی مس	ASTM D-130	بیش‌ترین شماره ۳	la	-
گلیسرین آزاد	ASTM D-6584	بیش‌ترین شماره ۰/۰۲	۰/۰۱۶	% mass
آب و رسوبات	ASTM D-2709	بیش‌ترین شماره ۰/۰۵	۰/۰۵	% vol.
چگالی	---	---	۰/۸۸۰	g/cm^3

مشخصات موتور دیزل ستان سنج و موتور دیزل لیستر مدل M ۸/۱

برای اندازه‌گیری عدد ستان مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل، از موتور دیزل CFR ستان‌سنج موجود در آزمایشگاه ماشین‌های گرمایی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز استفاده شد. مشخصات این موتور چهار زمانه، با محفظه‌ی احتراق پاشش غیر مستقیم در جدول (۲) ذکر شده است. دقت اندازه‌گیری موتور دیزل CFR ستان‌سنج $\pm 0/5$ مقادیر استاندارد عدد ستان برای سوخت دیزل و مخلوط‌های آن با سوخت بیودیزل است. برای به دست آوردن نتایج دقیق، آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد و میانگین نتایج سه تکرار به عنوان نتیجه نهایی انتخاب شد. در جدول (۳) مقادیر اندازه‌گیری شده عدد ستان برای سوخت دیزل خالص، مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل و هم‌چنین سوخت بیودیزل خالص در یازده سطح، در سه تکرار همراه با میانگین آن‌ها، ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات فنی موتور دیزل CFR ستان‌سنج

مشخصه	مقدار	واحد
تعداد سیلندر	۱	-
قطر سیلندر	۹۵	mm
کورس پیستون	۱۲۰	mm
حجم سیلندر	۸۵۰	cc
نسبت تراکم	۱۷ : ۱	-
فشار پاشش	۱۰/۳	MPa
زمان پاشش	-۲۰	درجه‌ی میل‌لنگ

جدول ۳- مقادیر عدد ستان سوخت دیزل و بیودیزل خالص و مخلوطهای سوخت دیزل و بیودیزل

نوع سوخت	B0	B10	B20	B30	B40	B50	B60	B70	B80	B90	B100
عدد ستان (تکرار ۱)	۵۷/۸	۵۸/۷	۵۹/۶	۵۹/۳	۶۰/۱	۶۰/۸	۶۰/۴	۶۱/۳	۶۲/۳	۶۲/۱	۶۲/۱
عدد ستان (تکرار ۲)	۵۸/۵	۵۸/۲	۵۹/۴	۶۰/۲	۶۰/۷	۶۰/۰	۶۰/۹	۶۱/۴	۶۰/۹	۶۲/۴	۶۲/۸
عدد ستان (تکرار ۳)	۵۸/۳	۵۸/۶	۵۸/۹	۵۹/۹	۵۹/۸	۶۰/۷	۶۰/۸	۶۰/۹	۶۱/۹	۶۱/۸	۶۲/۶
میانگین	۵۸/۲	۵۸/۵	۵۹/۳	۵۹/۸	۶۰/۲	۶۰/۵	۶۰/۷	۶۱/۲	۶۱/۷	۶۲/۱	۶۲/۵

مقایسه‌ی مقادیر اعداد جدول (۳) با مقادیر میانگین آنها نشان می‌دهد که حداکثر انحراف داده‌ها از مقادیر میانگین، ۰/۸۴ درصد است. موتور دیزل CFR ستان‌سنج در شکل (۱) نشان داده شده است. از طرفی، موتور مورد استفاده در آزمایش‌های اندازه‌گیری متغیرهای مورد نیاز برای تعیین تاخیر اشتعال مخلوطهای سوخت دیزل و بیودیزل (فشار درون سیلندر) از نوع لیستر M ۸/۱ است. این موتور چهار زمانه با تنفس طبیعی ساخت کارخانه لیستر انگلستان است و مشخصات فنی آن در جدول (۴) آورده شده است.



شکل ۱- نمایی از موتور دیزل CFR ستان‌سنج

جدول ۴- مشخصات فنی موتور دیزل لیستر مدل M ۸/۱

مشخصه	مقدار	واحد
تعداد سیلندر	۱	-
قطر پیستون* کورس پیستون	۱۱۴/۳	۱۳۹/۷ mm
طول شاتون	۳۷۹/۴	mm
حجم جابجایی	۱/۴۳	Lit
نسبت تراکم	۱۷/۵ : ۱	-
ظرفیت سیلندر	۱/۵ : ۶۶	Lit
حاکتر توان در ۸۵۰ rpm	۸	hp
مصرف ویژه سوخت در حداکثر توان	۲۲۷	gr/hp.hr
فشار پاشش	۹۱/۷	kg/cm ²
زاویه‌ی شروع پاشش	-۲۱	درجه‌ی میل‌لنگ
زاویه‌ی خاتمه پاشش	+۹	درجه‌ی میل‌لنگ

تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها سه بوده و نتایج ارایه شده، میانگین حاصل از سه تکرار هستند. فشار درون محفظه‌ی احتراق توسط حسگر پیزوالکتریک درگام‌های زمانی یکسان دریافت شده است. سپس با اسیلوسکوپ تنظیم و تقویت شده و از طریق بورد ADC در رایانه نمایش داده شده و ذخیره‌سازی شده است. در هر مرحله از آزمایش (در کل ۴۴ مرحله)، بار اعمال شده بر حسب درصد بار نهایی تنظیم و به مدت ۶۰ ثانیه در حالت کار قرار می‌گرفت تا دور موتور به حالت پایدار برسد. مرحله‌ی گرم کردن موتور، شامل ۱۰ دقیقه کار کردن موتور با هر یک از سوخت‌های مورد آزمایش بوده است. داده‌های مربوط به تغییرات فشار داخل محفظه‌ی احتراق در هر یک از ۴۴ حالت آزمایش ثبت شدند. با استفاده از این داده‌ها، تغییرات فشار داخل محفظه‌ی احتراق و هم‌چنین مشتق اول و دوم فشار برای کلیه حالت‌های آزمایش رسم شد.

محاسبه‌ی تاخیر اشتعال با استفاده از عدد ستان

عددستان مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل در یازده سطح بیودیزل از ده درصد تا صد درصد بیودیزل (B00... B100) در موتور CFR بر اساس استاندارد ASTM-D 613 اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها برای تعیین زمان تاخیر اشتعال هر یک از انواع سوخت‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. برای محاسبه‌ی تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با استفاده از عددستان، از رابطه (۲) استفاده شد. مقادیر به دست آمده برای تاخیر اشتعال از رابطه (۲) بر حسب میلی‌ثانیه (ms) است که با استفاده از رابطه (۳) می‌توان این مقادیر را بر حسب درجه‌ی میل‌لنگ به دست آورد [۲۱]:

$$\tau_{id}(ms) = \frac{\tau_{id}(CA)}{0.006N} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، N سرعت دورانی موتور بر حسب دور بر ثانیه، $\tau_{id}(ms)$ نشانگر تاخیر اشتعال بر حسب میلی‌ثانیه و $\tau_{id}(CA)$ بیانگر تاخیر اشتعال بر حسب درجه میل‌لنگ است.

محاسبه‌ی تاخیر اشتعال با استفاده از منحنی‌های تغییرات فشار و مشتق‌های آن

در این روش، برای محاسبه‌ی تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل از منحنی‌های تغییرات فشار درون محفظه‌ی احتراق در حالت موتورگردانی و موتور در حال کار و منحنی‌های مشتق اول و دوم فشار استفاده شده است. این روش، به‌ترین و کم‌خطاترین روش اندازه‌گیری تاخیر اشتعال گزارش شده است [۲۱ و ۲۲].

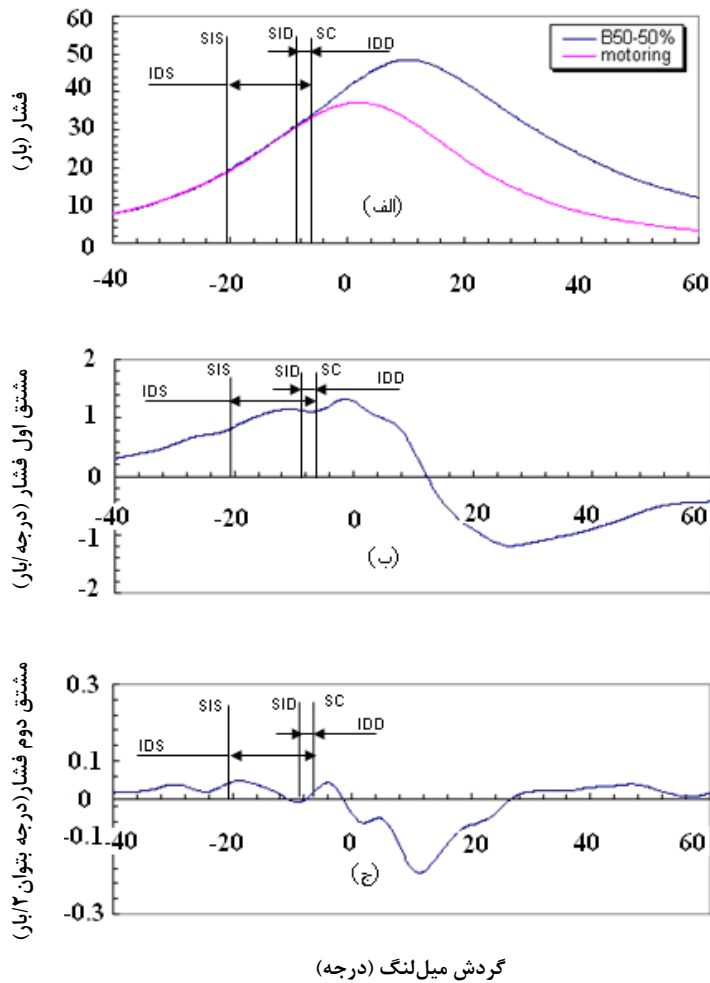
برای موتور لیستر M ۸ / ۱ مورد استفاده در آزمایش‌ها، زاویه‌ی شروع پاشش استاتیکی^۱ (SSI) ۲۱ BTDC^۲ درجه (قبل از نقطه‌ی مرگ بالا) است و بر اساس آزمایش‌های انجام شده بر روی موتور، زاویه‌ی شروع پاشش دینامیکی^۳ (DSI) ۹/۲ BTDC^۳ اندازه‌گیری شده است. زمان شروع اشتعال (SC)، از روی منحنی فشار و یا منحنی‌های مشتق اول و دوم فشار تعیین شده است. به این ترتیب که نقطه‌ی جدا شدن منحنی فشار حاصل از احتراق سوخت (موتور در حال کار) و منحنی فشار موتور در حالت موتورگردانی و یا اولین نقطه‌ی کمینه در منحنی مشتق اول و یا اولین صفر منحنی مشتق دوم پس از شروع پاشش به عنوان نقطه‌ی شروع اشتعال (SC) در نظر گرفته شد. اختلاف بین شروع استاتیکی یا دینامیکی پاشش سوخت و شروع اشتعال به ترتیب به عنوان تاخیر اشتعال استاتیکی (IDS) و تاخیر اشتعال دینامیکی (IDD) اندازه‌گیری شدند [۲۱ و ۲۲].

برای نمونه، شکل (۳) منحنی P-θ برای سوخت B50 در ۵۰ درصد بار نهایی دینامومتر و منحنی θ-P در حالت احتراق سوخت و موتورگردانی و منحنی مشتق اول و دوم فشار برای مخلوط سوخت دیزل و بیودیزل B50 در ۵۰ درصد بار نهایی دینامومتر را نشان می‌دهد. با استفاده از این منحنی‌ها، نقطه‌ی شروع اشتعال برای سوخت B50 در ۵۰ درصد بار نهایی دینامومتر ۷/۰۳- درجه محاسبه شد.

¹ Static Start of Injection

² Before Top Dead Centre

³ Dynamic Start of Injection



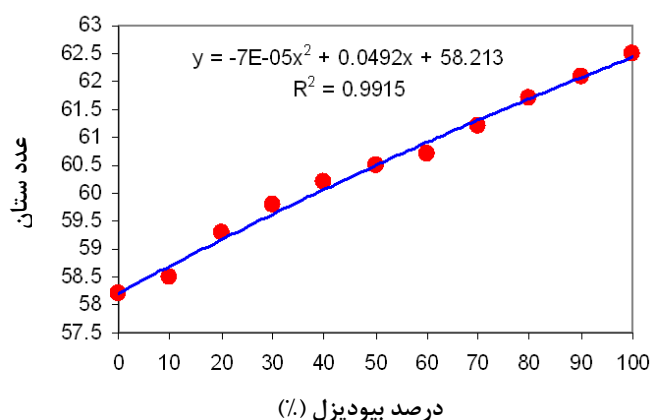
شکل ۳- منحنی‌های الف) فشار، زاویه‌ی میل لنگ (P-θ) برای حالت احتراق سوخت و موتور گردانی، ب) مشتق اول فشار، و ج- مشتق دوم فشار برای مخلوط سوخت B50 در ۵۰ درصد بار نهایی دینامومتر.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های موتور دیزل CFR ستان سنج

نتایج آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری عدد ستان مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با استفاده از موتور دیزل CFR ستان سنج در شکل (۴) نشان داده شده است. نتایج این مرحله از آزمایش‌ها حاکی از این واقعیت است که با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط سوخت، عدد ستان افزایش می‌یابد. این شکل تاثیر سوخت بیودیزل بر عدد ستان را در مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که سوخت دیزل خالص (B0) دارای عدد ستان ۵۸/۲ بوده و با افزودن ۱۰ درصد حجمی سوخت بیودیزل به آن، عدد ستان مخلوط سوخت B10 به ۵۸/۵ می‌رسد. روند افزایش عدد ستان با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل ادامه داشته تا این که عدد ستان سوخت بیودیزل خالص (B100) به ۶۲/۵ می‌رسد. به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط سوخت، عدد ستان افزایش می‌یابد. همان گونه که در قسمت‌های قبلی نیز بیان شد، دقت اندازه‌گیری نقاط این نمودار، مطابق با راهنمای دستگاه ± 0.5 عدد ستان سوخت دیزل و مخلوط‌های دیزل و بیودیزل در حالت استاندارد است. در هنگام انجام آزمایش‌های اندازه‌گیری عدد ستان مخلوط‌های سوخت، با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط‌های سوخت، میزان مصرف هوای موتور کاهش

یافته، در نتیجه عدد حاصل از نمودار استاندارد برای عدد ستان افزایش می‌یابد. کاهش مصرف هوای موتور در این حالت را می‌توان به دلیل وجود اکسیژن در ساختار مولکولی سوخت بیودیزل دانست.



شکل ۴- تاثیر مخلوط‌های سوخت بیودیزل بر عدد ستان

تاثیر عدد ستان بر تاخیر اشتعال

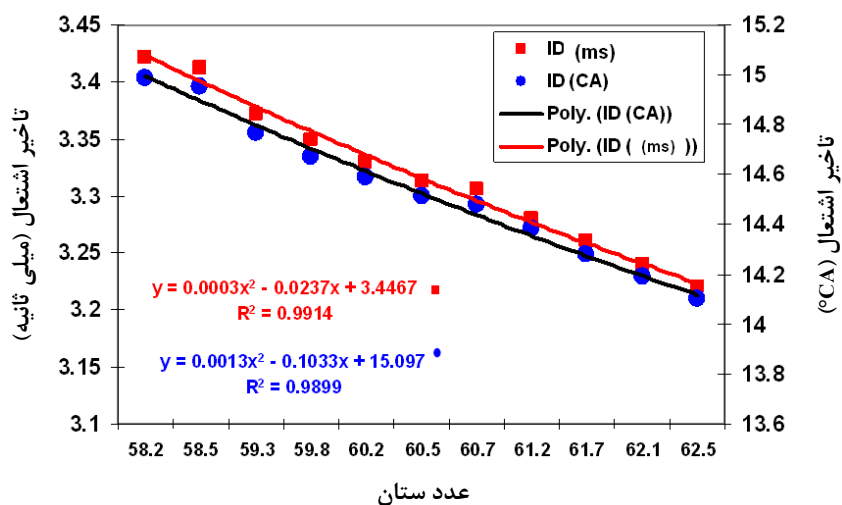
برای محاسبه‌ی تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با استفاده از عدد ستان از رابطه (۲) استفاده شد. مقادیر تاخیر اشتعال بدست آمده از رابطه فوق بر حسب میلی‌ثانیه (ms) است در حالی که با استفاده از رابطه (۳) این مقادیر بر حسب زاویه‌ی میل‌لنگ ($^{\circ}CA$) به دست آمدند. نتایج حاصل از محاسبه‌ی مقادیر تاخیر اشتعال با استفاده از عدد ستان و با استفاده از نمودارهای فشار، مشتق اول و دوم فشار برای مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل در جدول (۵) ارائه شده است. مقادیر این جدول نشان می‌دهد که تاخیر اشتعال سوخت دیزل خالص (B0) برابر با $3/422$ میلی‌ثانیه ($14/99$ درجه زاویه‌ی میل‌لنگ) بوده و با افزودن ۱۰ درصد حجمی سوخت بیودیزل به آن، تاخیر اشتعال به $3/412$ میلی‌ثانیه ($14/95$ درجه زاویه‌ی میل‌لنگ) می‌رسد. این روند کاهش تاخیر اشتعال با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط سوخت ادامه داشته تا این که در سوخت بیودیزل خالص (B100)، تاخیر اشتعال به $3/22$ میلی‌ثانیه ($14/10$ زاویه‌ی میل‌لنگ) می‌رسد. دلیل کاهش تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت، بالا بودن عدد ستان سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل است (شکل ۴). روند کاهش تاخیر اشتعال با افزایش عدد ستان در شکل (۵) به وضوح نشان داده شده است. نتایج اندازه‌گیری شده در سه تکرار برای عدد ستان، تاخیر اشتعال (به عنوان متغیرهای وابسته) و سوخت دیزل و بیودیزل خالص و مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل (به عنوان تیمار) با استفاده از نرم‌افزار MSTATC (زیر برنامه ANOVA-1) به روش تحلیل واریانس مورد تحلیل آماری قرار گرفت و جدول (۶) به عنوان جدول تحلیل واریانس تشکیل شد. با توجه به جدول تحلیل واریانس مشاهده می‌شود که اثر مخلوط سوخت (تیمارها) در متغیرهای وابسته عدد ستان و تاخیر اشتعال در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است و بین میانگین تیمارها برای تمام متغیرهای وابسته بالا در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بنابراین مقایسه‌ی میانگین تیمارها (مخلوط‌های سوخت) برای متغیرهای وابسته با روش حداقل تفاوت معنی‌دار^۱ (LSD) انجام شد. مقایسه‌ی دوه‌دو میانگین‌های تیماری مخلوط‌های سوخت با روش حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد با استفاده از نرم‌افزار MSTATC (زیر برنامه RANGE) انجام شد با استفاده از این نرم‌افزار مقادیر میانگین‌های تیماری مخلوط‌های سوخت برای عدد ستان و تاخیر اشتعال مقایسه شد. نتایج مقایسه‌ی میانگین مخلوط‌ها نشان داد که سوخت بیودیزل خالص (B100)، با میانگین عدد ستان $62/5$ ، دارای بیش‌ترین میزان عدد ستان است و سوخت دیزل خالص (B0) در مقایسه با سوخت بیودیزل خالص و سایر مخلوط‌های سوخت، دارای پایین‌ترین

¹ Least Significant Difference

میزان عدد ستان است. هم‌چنین مشاهده شد که بین میانگین عدد ستان مخلوط‌های سوخت B60 با B50 و B40 با B30 در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. سوخت دیزل خالص (B0)، با میانگین تاخیر اشتعال $13/77^{\circ}\text{CA}$ ، بیش‌ترین میزان تاخیر اشتعال را دارد و سوخت بیودیزل خالص (B100) در مقایسه با سوخت دیزل خالص (B0) و سایر مخلوط‌های سوخت، دارای پایین‌ترین میزان تاخیر اشتعال است. هم‌چنین مشاهده شد که بین میانگین تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت B80، B70 و B90 در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

جدول ۵- مقادیر تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل محاسبه شده با استفاده از عدد ستان و منحنی‌های فشار

نوع سوخت	B100	B90	B80	B70	B60	B50	B40	B30	B20	B10	B00
عدد ستان	۶۲/۵	۶۲/۱	۶۱/۷	۶۱/۲	۶۰/۷	۶۰/۵	۶۰/۲	۵۹/۸	۵۹/۳	۵۸/۵	۵۸/۲
تأخیر اشتعال (ms) با استفاده از عدد ستان	۳/۲۲	۳/۲۴	۳/۲۶	۳/۲۸	۳/۳۰۶	۳/۳۱۴	۳/۳۳۰	۳/۳۵۰	۳/۳۷۲	۳/۴۱۲	۳/۴۲۲
تأخیر اشتعال ($^{\circ}\text{CA}$) با استفاده از عدد ستان	۱۴/۱۰	۱۴/۱۹	۱۴/۲۸	۱۴/۳۸	۱۴/۴۸	۱۴/۵۱	۱۴/۵۹	۱۴/۶۷	۱۴/۷۷	۱۴/۹۵	۱۴/۹۹
تأخیر اشتعال (به دست آمده از منحنی‌های فشار) (ms)	۲/۹۷	۲/۰۵	۳/۱۲	۳/۲۲	۳/۳۰	۳/۳۴	۳/۴۰	۳/۴۹	۳/۵۲	۳/۵۹	۳/۶۱



شکل ۵- تأثیر عدد ستان بر تاخیر اشتعال موتور

جدول ۶- جدول تحلیل واریانس برای متغیرهای وابسته

میانگین توان‌های دوم ^۱ (MS)		درجه‌ی آزادی	منبع تغییرات
تاخیر اشتعال ($^{\circ}\text{CA}$)	عدد ستان		
۱/۰۲۲**	۵/۹۳۵**	۱۰	مخلوط سوخت
۰/۱۷۵**	۰/۱۶۵**	۲۲	خطا

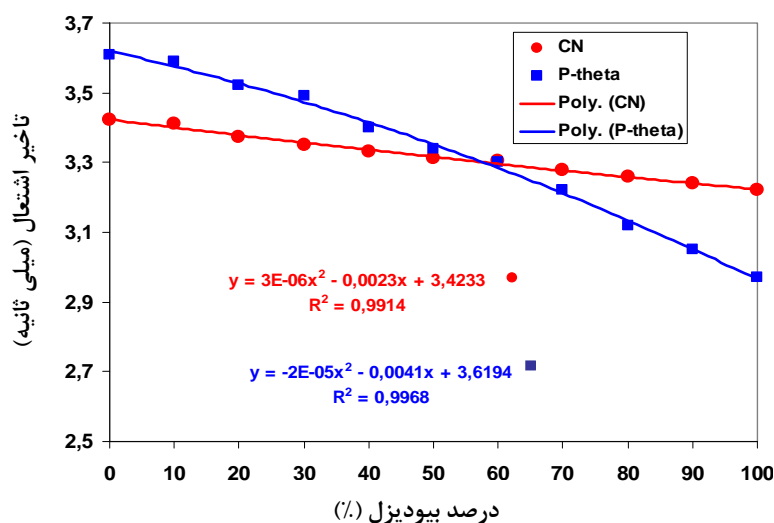
** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

^۱ Mean Square

اختلاف جزئی موجود بین تاخیر اشتعالی که با استفاده از عدد ستان به دست آمده است و تاخیر اشتعالی که با استفاده از منحنی‌های فشار درون سیلندر و مشتق‌های اول و دوم آن حاصل شده است به این دلیل است که در حالت اول از روابط نظری (معادلات ۲ و ۳) استفاده شده است در صورتی که در روش دوم نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی بوده و در شرایط واقعی به دست آمده‌اند.

تأثیر سوخت بیودیزل بر تاخیر اشتعال

اگرچه شکل‌های (۴) و (۵) به اندازه کافی گویای این مطلب هستند که با افزایش نسبت سوخت بیودیزل در مخلوط سوخت موتور، عدد ستان مخلوط سوخت افزایش یافته (شکل ۴)، و رابطه میان تاخیر اشتعال و عدد ستان یک رابطه معکوس است (شکل ۵) و این موضوع به طور غیر مستقیم بر کاهش تاخیر اشتعال موتور دلالت دارد، اما شکل (۶) به طور مستقیم و به صورت روشن تأثیر سوخت بیودیزل بر تاخیر اشتعال را نشان می‌دهد. لذا، می‌توان چنین بیان کرد که بررسی نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل، تاخیر اشتعال کاهش می‌یابد. مقایسه‌ی تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با سوخت دیزل خالص (B00) نشان می‌دهد که تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص کمتر بوده و این اختلاف با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط سوخت بیشتر می‌شود. کاهش تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به سوخت دیزل به دلیل وجود اکسیژن در ساختار سوخت بیودیزل است. در شکل (۶) تأثیر سوخت بیودیزل بر تاخیر اشتعال در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با درصد‌های مختلف بیودیزل، محاسبه شده با استفاده از عدد ستان و اندازه‌گیری شده با استفاده از منحنی‌های فشار (P-θ) و مشتق اول و دوم فشار به منظور مقایسه نشان داده شده است.

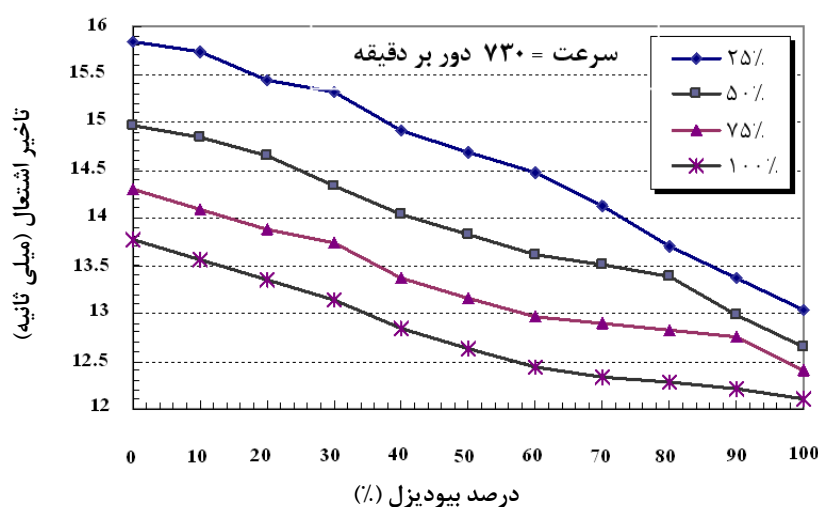


شکل ۶- تغییرات تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل

نتایج حاصل از هر دو روش تعیین تاخیر اشتعال موتور، روند کاهش تاخیر اشتعال با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت را تایید می‌کند. در روش محاسبه‌ی تاخیر اشتعال با استفاده از عدد ستان، از رابطه (۲) استفاده شده است. این رابطه توسط نوت و همکاران ارائه شده است. در برآورد این رابطه اعداد ستان استرهای مختلف، به روش آزمایش کیفیت اشتعال (IQT) و تاخیر اشتعال آن‌ها در یک دستگاه احتراق با حجم ثابت (CVCA) تعیین شده‌اند [۲۱]. در روش اندازه‌گیری تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با استفاده از منحنی‌های تغییرات فشار سیلندر و مشتق اول و دوم فشار (روش P-θ)، مخلوط‌های فوق به طور عملی در موتور استفاده شد و داده‌های مربوط به منحنی‌های فوق ثبت شد و با استفاده از این منحنی‌ها، تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت استخراج شد. از آن جا که این روش یک روش کاملاً تجربی

است، لذا مقادیر حاصل از این روش نسبت به مقادیر حاصل از رابطه نوت و همکاران، به واقعیت نزدیکتر است. اختلاف موجود بین نمودارها نیز ناشی از این واقعیت است که روش استفاده از منحنی‌های فشار، یک روش کاملاً تجربی است در حالی که روش دوم (استفاده از عدد ستان) روشی نیمه تجربی است و با خطا همراه است. دقت نقاط در روش نظری (محاسبه با عدد ستان)، ± 0.5 عدد ستان سوخت دیزل و مخلوط‌های دیزل و بیودیزل در حالت استاندارد است.

شکل (۷) تاثیر سوخت بیودیزل بر تاخیر اشتعال در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با درصدهای مختلف بیودیزل را در بارهای مختلف دینامومتر نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این نمودارها بیانگر آن است که با افزایش بار دینامومتر، تاخیر اشتعال کاهش می‌یابد. این روند کاهش به صورت تقریبی برای همه بارهای موتور یکسان بوده و اختلاف تاخیر اشتعال در بارهای مختلف با افزایش درصد استفاده از بیودیزل در مخلوط سوخت موتور کاهش یافته است.



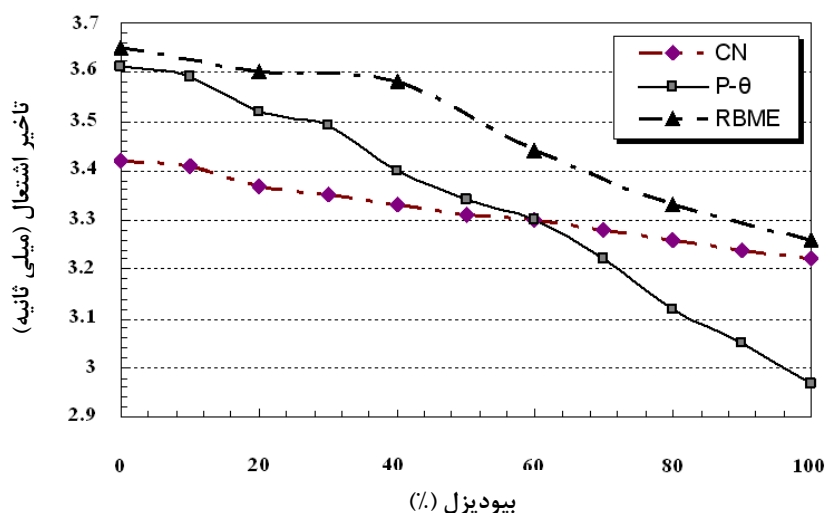
شکل ۷- تاثیر بیودیزل بر تاخیر اشتعال در بارهای مختلف دینامومتر، اندازه گیری شده با استفاده از روش منحنی‌های فشار (روش تجربی)

طولانی بودن طول دوره‌ی تاخیر اشتعال به این مفهوم است که در هر چرخه کاری موتور، سوخت بیش‌تری در محفظه‌ی احتراق موتور جمع شده و با آغاز اشتعال این سوخت، دما و فشار درون سیلندر موتور به صورت ناگهانی افزایش یافته و تاثیرات مخربی از جمله کوبش، افزایش آلاینده‌ها به ویژه NOx، فرسایش قطعات و کاهش طول عمر مفید موتور را موجب خواهد شد. حال با توجه به کاهش طول دوره‌ی تاخیر اشتعال با افزایش مقدار درصد بیودیزل در مخلوط سوخت، این معایب به حداقل میزان خود کاهش خواهند یافت. از این رو، با توجه به روند افزایش روزافزون استفاده از سوخت بیودیزل به جای سوخت دیزل در جهان و مزایای استفاده از بیودیزل در مقایسه با دیزل، کاهش طول دوره‌ی تاخیر اشتعال در گستره بارهای مختلف موتور یک مزیت به حساب آمده و نوید بخش عملکرد مطلوب‌تر موتور با سوخت بیودیزل است.

مقایسه‌ی نتایج این تحقیق با یافته‌های محققان پیشین

مطالعات موجود نشان می‌دهند که تا کنون تحقیقات اندکی به صورت جزئی پیرامون تاخیر اشتعال در موتورهای دیزل با استفاده از مخلوط سوخت‌های دیزل و بیودیزل انجام شده است [۱۹، ۱۵، ۲۳]. در این میان، نتایج کار تحقیقاتی گاهامانی و همکاران، با نتایج حاصل از تحقیق حاضر در خصوص تاخیر اشتعال مقایسه شده است. آن‌ها در تحقیقی بر روی متیل استر روغن سبوس برنج (RBME) و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل مقادیر تاخیر اشتعال مخلوط‌های متیل استر روغن سبوس برنج با سوخت دیزل را به دست آوردند [۱۵]. در شکل (۸) تغییرات تاخیر اشتعال مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل مورد استفاده در این تحقیق و مخلوط‌های متیل استر روغن سبوس برنج با سوخت دیزل برای مقایسه ارائه شده است. روند کاهش تاخیر

اشتعال با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط‌های سوخت هر دو تحقیق با هم مطابقت دارد. هم‌چنین با توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که در سوخت دیزل خالص (B0)، مقادیر به دست آمده برای تاخیر اشتعال با روش P-θ (۳/۶۱ میلی‌ثانیه) برای تحقیق حاضر و داده‌های حاصل از کار گاه‌ماننی و همکاران (۳/۶۵ میلی‌ثانیه) بسیار به هم نزدیک بوده و در سوخت بیودیزل خالص (B100) و RBME مقادیر به دست آمده برای تاخیر اشتعال با روش عدد ستان (CN) (۳/۲۲ میلی‌ثانیه) این تحقیق و اطلاعات مربوط به گاه‌ماننی و همکاران (۳/۲۶ میلی‌ثانیه) به هم نزدیک هستند. شیب هر دو خط یا آهنگ تغییرات تاخیر اشتعال برای هر دو روش P-θ و RBME بسیار به هم شبیه‌اند.



شکل ۸- مقایسه‌ی مقادیر تاخیر اشتعال با تحقیقات پیشین گاه‌ماننی و همکاران [۱۵]

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کمک‌ها و مساعدت‌های مادی و معنوی شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت ایران (IFCO)، در انجام این تحقیق قدردانی به عمل می‌آید.

مراجع

- Peterson, C. L., Wagner, G. L., and Auld, D. L., "Performance Testing of Vegetable Oil Substitutes for Diesel Fuel," Paper 81-3578, ASAE, St. Joseph, MI, 1981.
- Sapuan, S. M., Masjuki, H. H., and Azlan, A., "The Use of Palm Oil as Diesel Fuel Substitute," Proc. Inst. Mech. Engrs. Part A, Journal of Power Energy, Paper Number 210, pp. 47-53, 1996.
- Dunn, P. D., and Perera, E., "The Effect of Viscosity and Other Properties of Vegetable Oil Fuels on Spray Characteristics," Proceedings of the Second International Conference on Small Engines and their Fuels in Developing Countries, UK, 1987.
- Goettler, H. L., Ziejewski, M., and Knudson, A. M., "Performance of a Diesel Engine Operating on Blends of Diesel Fuel and Crude Sunflower Oil at Normal and Elevated Fuel Temperatures," Paper 852087, SAE, 1985.
- Borgelt, S. C., and Harris, P. D., "Endurance Tests Using Soybean Oil-Diesel Fuel Mixture to Fuel Small Pre-combustion Chamber Engines," ASAE, St. Joseph, MI, 1982.
- Demirbas, A., "Progress and Recent Trends in Biofuels," Progress in Energy and Combustion Science, 33, pp. 1-18, 2006.
- Kadota, T., Hiroyasu, H., and Oya, H., "Spontaneous Ignition Delay of a Fuel Droplet in High Pressure High Temperature Gaseous Environments," Bulletin of the JSME, 19, No.130, Paper 536, pp. 437-445, 1976.
- Monyem, A., and Van Gerpen, J. H., "The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emission," Biomass and Bioenergy, 20, pp. 317-325, 2001.
- Ghobadian, B., Rahimi, H., Nikbakht, A. M., Najafi, G., and Yusaf, T. F., "Diesel Engine Performance and Exhaust Emission Analysis Using Waste Cooking Biodiesel Fuel with an Artificial Neural Network," Renewable Energy Journal, 34, pp. 976-982, 2009.

10. Dennis, N. A., Zoran, S. F., and Scott, B., "Predictive Ignition Delay Correlation Under Steady-State and Transient Operation of a Direct Ignition Diesel Engine," ASME- ICE Fall Technical Conference, 1999.
11. Lyn W.T., G.E. "Calculations of the Effect of Rate of Heat Release on the Shape of Cylinder Pressure Diagram and Cycle Efficiency," Proceeding of Mechanical Engineering, No. 1, 1960.
12. Callan, T. J., Ryan, T. W., "Engine and Constant Volume Bomb Studies of Diesel Ignition and Combustion," SAE Paper 881626, 1988.
13. Henein, H. A., Jay, A. B. L., "Ignition Delay in Diesel Engines," SAE Paper 670007, 1967.
14. Knothe, G., Bagby, O., and Ryan, W., "The Influence of Various Oxygenated Compounds on The Cetane Number of Fatty Acids and Esters," Energy Conversion and Management, 42, No. 5, pp. 529-538, 2003.
15. Gahamaneni, L. N., Subramani, S., Santhanam, S., and Kuderu, R., "Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine Fuelled With Rice Bran Oil Methyl Ester And Its Diesel Blends," Thermal Science, 12, No. 1, pp. 139-150, 2008.
16. Bibic, D., Filiporic, I., Heribernik, A., and Pikula, B., "Investigation into the Effect of Different Fuels on Ignition Delay of M-Type Diesel Combustion Process," Thermal Science, 12, No. 1, pp. 103-114, 2008.
17. Hansen, U., Strenziok, R., and Schroder, T., "Use Of Biodiesel in an Off-Road Engine," Bioresource Technology, 98, pp. 1167-1174, 1999.
18. Zhang, Y., "Combustion Analysis of Esters of Soybean Oil in a Diesel Engine," ASE Paper 960765, 1996.
- ۱۹- نجفی، ب. "تحلیل تجربی فرایند احتراق و نشر آلاینده‌های موتور دوگانه سوز با استفاده از سوخت CNG و بیودیزل،" رساله دوره‌ی دکترای مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ۱۳۸۶.
20. Atmaca., M., "Use of Hazelnut Kernel oil Methyl Ester and Its Blends as Alternative Fuels in Diesel Engines," Turkish J. Eng. Env. Sci. 32, pp. 133-141, 2008.
21. Stone, R., Introduction to Internal combustion Engines, MacMillan, London, 1999.
22. Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1988.
23. Knothe, G., Matheaus, C., and Ryan, W., "Cetane Numbers of Branched and Straight-Chain Fatty Esters Determined in an Ignition Quality Tester," Fuel, 82, pp. 971-975, 2003.

English Abstract

An Experimental Investigation of a Diesel Engine Ignition Delay using Biodiesel and Diesel Fuels

M. Saidi Neicharan¹, B. Ghobadian¹, T. Tavakoli¹ and R. Khoshbakhti Saray²

1- Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University

2- Department of Mechanical Engineering, Sahand Technical University

In the present study, the use of biodiesel collected from waste vegetable oil in a CFR diesel and a direct injection M 8.1 diesel engine is studied. Experiments were carried out in wide ranges of engine load conditions to evaluate the engine ignition delay with waste vegetable oil and its blends on volume basis with ordinary No.2 diesel fuel. The engine under investigation operates at a fixed speed of 730 rpm, but at different loads, i.e. 25%, 50%, 75% and 100% of full loads. First, the cetane number for blended fuels was measured in a CFR diesel engine based on ASTM-D613 standard method, and ignition delay of blended fuels was calculated based on the cetane number using the relationship between the two. Experimental results revealed that by increasing the biodiesel percentage in the blend, the cetane number of the blended fuels increases, which then causes reduction of the ignition delay. Then, M 8.1 diesel engine was tested at 4 loads and constant engine speed conditions based on the ECE R-49 standard. Engine cylinder pressure data was measured, and the first and second derivatives of pressure curves were drawn to obtain the ignition delay on the basis of these curves. The results indicated that by increasing the biodiesel percentage, ignition delay of blended fuels decreases. Comparison of the results for both methods for ignition delay of the diesel engine confirmed that increasing biodiesel percentage in biodiesel/diesel blended fuels reduces the ignition delay. The decreasing trend of ignition delay for the complete range of engine load though increase in the biodiesel percentage in the fuel blend is an important advantage in diesel knock, NO_x emission, engine parts wear reduction, and lengthening the effective life span of the engine..

Keywords: Biodiesel fuel, Diesel engine, Engine Ignition delay.