

بررسی تجربی تأثیر مشخصه‌های سوخت دیزل بر متغیرهای احتراقی، عملکردی و آلاینده‌گی یک موتور دیزل

سید علیرضا خباز^{۱*}، رحیم خوشبختی سرای^{۲**} و رؤف مبشری^{۳***}

۱- شرکت موتورسازان، مجتمع تراکتورسازی ایران

۲- دانشگاه صنعتی سهند تبریز، دانشکده مهندسی مکانیک

۳- دانشگاه ساسکس انگلستان، دانشکده علوم و تکنولوژی

(دریافت: ۱۳۸۸/۲/۱۸، پذیرش: ۱۳۸۸/۹/۲۸)

این مطالعه تأثیر محتویات گوگرد سوخت و هم‌چنین عدد ستان سوخت دیزل را بر روی احتراق، عملکرد و آلاینده‌های خروجی از یک موتور دیزل پاشش مستقیم بررسی می‌کند. فرایند آزمایش بر اساس روند ۸ مد مطابق استاندارد (ECE-R96) انجام می‌شود. برای بررسی تأثیر متغیرهای سوخت بر آلاینده‌گی و عملکرد، هفت سوخت مختلف تهیه شد که سه سوخت با محتویات گوگرد مختلف در گستره‌های ۵۰، ۵۰۰ و ۳۵۰۰ ppm و چهار سوخت دیگر با اعداد ستان مختلف در گستره بین ۴۷ تا ۵۷ بود. نتایج تجربی به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد که سطح گوگرد سوخت تأثیر محسوسی بر روی همه آلاینده‌های خروجی از موتور به ویژه بر روی آلاینده PM دارد. نتایج به دست آمده در مورد سوخت‌های با اعداد ستان مختلف حاکی از این حقیقت است که هر چه عدد ستان سوخت افزایش می‌یابد میزان آلاینده NOx کاهش و میزان آلاینده PM افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: عدد ستان، متغیرهای سوخت دیزل، آلاینده‌گی، موتورهای دیزل

مقدمه

موتورهای دیزل به دلیل بازده گرمایی بالا و تولید کم آلاینده CO₂ و هم‌چنین سخت‌گیرانه‌تر شدن مقررات در مورد آلاینده‌های NO_x و PM از نظر حفظ محیط زیست استفاده وسیعی دارند. هرچه قوانین مربوط به میزان آلاینده‌های خروجی از موتور سخت‌گیرانه‌تر شود، تأثیر متغیرهای سوخت بیش‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. به طور گسترده نشان داده شده است که آلاینده‌های خروجی از موتور به صورت قابل توجهی به متغیرهای موتور و نوع سوخت مورد استفاده در هر چرخه‌ی کاری وابسته‌اند [۱-۲]. برای موتورهای دیزل برخی مطالعات [۶ و ۱۰] نشان می‌دهند که متغیرهای سوخت تأثیر چشمگیری روی آلاینده‌های خروجی از موتور دارند.

از میان ترکیبات سوخت، پاره‌ای از آن‌ها که تأثیر قابل توجهی بر روی آلاینده‌های خروجی از موتور دارند عبارت‌اند از:

- میزان گوگرد

- عدد ستان

- چگالی سوخت

- و محتویات آروماتیکی سوخت

که در این جا به طور مختصر تأثیر هر یک از آن‌ها بیان می‌شود.

* کارشناس ارشد- نویسنده مخاطب (ایمیل: alirezakhabbaz@gmail.com)

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

*** دانشجوی دکترا (ایمیل: raoufmobasheri@gmail.com)

میزان گوگرد: مطالعات اخیر [۶] نشان می‌دهند که سوخت‌های با محتویات گوگرد بالا آلاینده‌های PM بالایی تولید می‌کنند. انتخاب سوخت با گوگرد پایین، باعث می‌شود که اثرات سولفور سوخت کم‌تر شده و ترکیبات دیگر سوخت به‌تر تاثیر خودشان را نشان دهند.

چگالی سوخت: چگالی سوخت معمولاً به عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سوخت که بر روی PM و NO_x تاثیر می‌گذارد بیان می‌شود، به ویژه وقتی که سوخت‌ها توسط فرایند گذرا (Transient) سنجیده می‌شوند [۱۲ و ۱۳]. بررسی‌های دقیق‌تر نشان می‌دهند که تاثیر چگالی سوخت اصولاً به صورت فیزیکی است. یعنی چگالی بالا می‌تواند منجر به سوخت‌دهی زیاد (Over-fueling) و گاهی اوقات سبب تغییر در زمان دینامیکی پاشش شود [۱۲]. شواهد کمی وجود دارد که تاثیرپذیری فرایند احتراق از چگالی سوخت را نشان می‌دهد. بنابراین، اثر چگالی سوخت روی آلاینده‌های خروجی از موتور به طور وسیع به فرایند آزمون و بررسی جبران چگالی سوخت در برنامه‌ی آزمون (Test program) وابسته است.

عدد ستان: در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که عدد ستان مشخصه‌ای از سوخت دیزل است که بر روی تمام آلاینده‌های خروجی موتور تاثیر می‌گذارد [۱۱ و ۱۲]. تاثیر عدد ستان بر روی آلاینده‌های خروجی از موتور به نوع سوخت و متغیرهای طراحی موتور وابسته است [۱۰]. با توجه به این که بیش‌تر موتورها طوری تنظیم می‌شوند که آلاینده NO_x را کاهش دهند، تاثیر عدد ستان بر روی NO_x در بیش‌تر موتورها ثابت بوده به طوری که وقتی عدد ستان افزایش می‌یابد آلاینده NO_x کاهش می‌یابد. به طور معمول این کاهش در آلاینده NO_x به ازای هر ۱۰ عدد افزایش در عدد ستان، حدود ۲ تا ۴ درصد است. تاثیر عدد ستان روی آلاینده PM ثابت نیست و بیش‌تر به موتور وابسته است. در بعضی موارد با افزایش عدد ستان، در آلاینده PM کاهش دیده می‌شود و به عکس در بعضی موارد افزایش دیده می‌شود. همچنین برای آلاینده‌های CO و HC، برخی مطالعات نشان داده‌اند که با افزایش عدد ستان این آلاینده‌ها کاهش یافته‌اند [۶]، ولی بعضی دیگر نشان داده‌اند که این آلاینده‌ها بیش‌تر به طراحی موتور وابسته‌اند [۱۲].

محتویات آروماتیکی: در برخی از مطالعات نشان داده شده است که محتویات آروماتیکی سوخت یکی از متغیرهای مهم سوخت محسوب می‌شوند که بیش‌تر بر روی آلاینده PM تاثیر می‌گذارند. هرچه سطح محتویات آروماتیکی سوخت کم‌تر باشد میزان تولید آلاینده PM نیز کم‌تر است [۶].

ترکیبات اکسیژن‌دار: با توجه به یافته‌های تجربی در مورد محتویات اکسیژن‌دار سوخت، وقتی که از سوخت‌های اکسیژن‌دار استفاده می‌شود فرایند احتراق سریع شروع شده و فشار داخل سیلندر افزایش می‌یابد که می‌تواند از افزایش عدد ستان در نتیجه محتویات اکسیژنی سوخت ناشی شود. به علاوه با افزایش محتویات اکسیژنی فرایند احتراق شتاب می‌گیرد و کاهش قابل توجهی در دوده، CO و HC دیده می‌شود، در حالی که آلاینده NO_x افزایش می‌یابد [۱۵].

سطح محتویات گوگرد سوخت دیزل در اروپا و آمریکا بسیار پایین بوده و به سمت صفر میل می‌کند و همچنین عدد ستان سوخت دیزل در اروپا حدود ۵۱ و در آمریکا حدود ۴۹ می‌باشد اما سوخت دیزل موجود در ایران در مقایسه با سوخت دیزل مورد استفاده در اروپا و آمریکا دارای محتویات گوگرد بالا بوده و همچنین عدد ستان بالایی در حدود ۵۹ دارد. از این رو کار حاضر به بررسی تاثیر عدد ستان و همچنین محتویات گوگرد سوخت بر فرایند احتراق، عملکرد و آلاینده‌ی یک موتور دیزلی از نوع پاشش مستقیم می‌پردازد. در این راستا، از روش استاندارد آزمون آلاینده‌ی ۸ مد (ECE-R96) بهره گرفته خواهد شد. همچنین، تاثیر این ویژگی‌های سوخت بر روی فرایند احتراق با استفاده از تحلیل آزادسازی گرما بررسی خواهد شد.

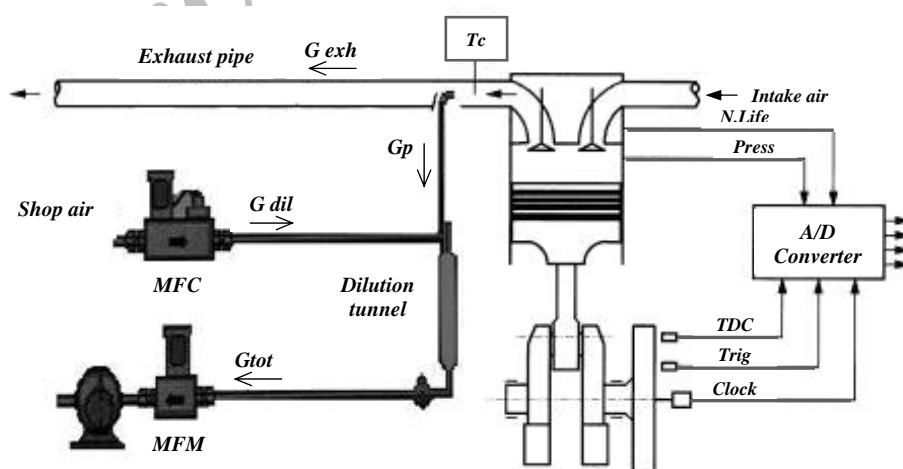
مواد و روش‌ها

موتور استفاده شده در این تحقیق، یک موتور پاشش مستقیم مجهز به پرخوران (Turbo charger) است که مشخصات آن در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات موتور

قطر سیلندر	۱۰۰ میلیمتر
کورس پیستون	۱۲۷ میلیمتر
تعداد سیلندر / حجم موتور	۴ سیلندر / ۳/۹۹ لیتر
نسبت تراکم	۱۷/۵
نوع محفظه‌ی احتراق	Reentrant
نوع پاشش	پاشش مستقیم
نوع پمپ انژکتور	دوار (DPA)
فشار پاشش سوخت	۲۷۵ بار
تعداد سوراخ‌های انژکتور	۵ عدد
فشار موجود در پمپ انژکتور	۴۰۰ الی ۴۵۰ بار
بیشینه توان خروجی	۶۱ kW در دور ۲۰۰۰
بیشینه گشتاور خروجی	۳۴۰ N.m در دور ۱۴۰۰

برای کنترل سرعت و بار اعمالی بر موتور از دینامومتر مغناطیسی استفاده شده است. وظیفه اصلی دینامومتر ایجاد نیروی ترمزی قابل تنظیم در برابر چرخش محور خروجی موتور است. برای اندازه‌گیری گشتاور از یک سنسور لود سل (Load cell) با قابلیت اندازه‌گیری نیروی ۵۰۰ kgf، برای اندازه‌گیری دور از یک سنسور دورسنج مغناطیسی و برای اندازه‌گیری دبی هوا از یک دبی‌سنج از نوع سیم داغ استفاده شده است. میزان مصرف سوخت نیز از طریق دبی‌سنج جرمی اندازه‌گیری می‌شود. همچنین دمای آب، روغن، هوای ورودی و گازهای خروجی به منظور اطمینان از عملکرد موتور، از طریق سنسورهایی که در قسمت‌های مختلف موتور قرار گرفته‌اند، اندازه‌گیری می‌شود که همه این مقادیر توسط یک رایانه مرکزی ثبت و ذخیره می‌شود. یک مبدل فشار از نوع پیزوالکتریک (Indi Modul 621) نیز برای اندازه‌گیری فشار داخل محفظه‌ی احتراق استفاده می‌شود. این مبدل فشار داخل محفظه‌ی سیلندر را در هر ۰/۱ زاویه‌ی میل‌لنگ داده برداری می‌کند. موقعیت میل‌لنگ نیز از طریق یک زاویه‌سنج میل‌لنگ (Crank angle encoder) مشخص می‌شود. افشانه سوخت نیز مجهز به یک حسگر بود که میزان بلند شدن سوزن افشانه و لحظه پاشش و طول پاشش را مشخص می‌کند.



شکل ۱- طرحواره داده برداری

میزان آلاینده PM با وزن کردن فیلتر قبل و بعد از نمونه برداری (با استفاده از دستگاه AVL SPC 472_Model CE.97) به دست می‌آید. بدین ترتیب که یک لوله‌ی مدرج مجزا برای نمونه برداری PM استفاده می‌شد. دمای لوله به منظور جلوگیری از چگالش، در ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته می‌شد. سپس، نمونه‌ی برداشته شده از گازهای خروجی در یک تونل کوچک رقیق کننده، توسط هوای خشک و تصفیه شده رقیق می‌شد. میزان دبی جرمی کل تونل (G_{tot}) و میزان دبی جرمی هوای رقیق شده (G_{dil}) توسط SPC اندازه‌گیری و کنترل و میزان دبی جرمی گازهای خروجی از اگزوز با استفاده از اختلاف دو دبی جرمی قبلی محاسبه می‌شد. همچنین، لوله‌ی مدرج گرم شده بعد از مخزن مخلوط کننده برای نمونه برداری از گازهای آلاینده در اگزوز نصب شده بود.

برای اندازه‌گیری آلاینده‌های دیگر منتشر شده از موتور مورد آزمایش از دستگاه آلاینده‌سنج AVL-Dicom4000 استفاده شده است. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری CO_2 ، O_2 ، CO ، HC ، NO_x از موتور را دارد. اکسیدهای نیتروژن توسط روش پرتو افشانی شیمیایی اندازه‌گیری می‌شوند. هیدروکربن‌های منتشر شده از موتور شامل پارافین‌ها، الفین‌ها، آروماتیک‌ها و کربن‌های استیلنی‌اند. در دستگاه AVL-Dicom4000 مورد استفاده، امکان جداسازی هیدروکربن‌ها وجود ندارد و هیدروکربن‌های نسوخته کلی را نمایش می‌دهد. این دستگاه بر مبنای هگزان (C_6H_{14}) کالیبره شده است و داده‌های خروجی در ضریب ثابت ۶ ضرب می‌شوند. همچنین برای جلوگیری از تقطیر هیدروکربن‌های سنگین، نمونه‌ی مورد نظر قبل از یونیزاسیون، گرم می‌شود. در این تحقیق از هفت نوع سوخت مختلف استفاده شده است که سه تای آن‌ها در میزان گوگرد و چهار تای دیگر در عدد ستان سوخت با یکدیگر اختلاف دارند. سوخت‌هایی که به منظور بررسی تاثیر محتویات گوگرد سوخت تهیه شده‌اند، حاوی محتویات گوگرد در گستره‌های ۵۰، ۵۰۰ و ۳۵۰۰ ppm هستند. البته قابل ذکر است که این سوخت‌ها تنها در میزان محتویات گوگرد با یکدیگر اختلاف دارند.

برای بررسی تاثیر عدد ستان بر روی آلاینده‌های خروجی از چهار سوخت دیگر با اعداد ستانی در گستره‌های ۴۷، ۵۰، ۵۲ و ۵۷ استفاده شده است. با توجه به این که عدد ستان سوخت موجود در ایران در حدود ۵۷ است، از این رو در این بررسی برای کاهش عدد ستان تا ۴۷ از ترکیب درصد‌های مختلف آروماتیک‌ها با حلقه‌های ساده‌ی بنزنی به سوخت دیزل با گوگرد پایین استفاده شده است. برای به دست آوردن مقدار عدد ستان ترکیبات از دستگاه CFR استفاده شده است. جدول (۲) مشخصات سوخت‌های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات سوخت‌های استفاده شده

چگالی	گوگرد (ppm)	عدد ستان	درصد افزودنی	نماد سوخت
۰/۱۸۶۵	۳۵۰۰	۵۷	-	TF_1S
۰/۱۸۵۷	۵۰۰	۵۷	-	TF_2S
۰/۱۸۶۰	۵۰	۵۷	-	TF_3S
۰/۱۸۶۰	۵۰	۵۷	-	TF_1C
۰/۱۸۶۱	۵۰	۵۲	٪۱۰	TF_2C
۰/۱۸۶۲	۵۰	۵۰/۵	٪۱۵	TF_3C
۰/۱۸۶۳	۵۰	۴۷	٪۲۰	TF_4C

نحوه‌ی انجام آزمایش

در این مطالعه تنها نتایج مربوط به مد اول روش استاندارد آلاینده‌گی ۸ مد یعنی مد توان آورده شده است. نحوه‌ی انجام آزمایش بدین صورت است که ابتدا موتور مورد آزمایش به منظور ایجاد شرایط کاری موتور با روند آزمایش ۸ مد مطابق با استاندارد (ECE-R96) بر دینامومتر مغناطیسی موجود سوار شد. برای تمام نمونه سوخت‌های موجود شرایط دور و بار در هر

مد به صورت مشابه نگه داشته شد و همچنین زمان پاشش سوخت نیز برای تمام نمونه‌ها به صورت ثابت نگه داشته شد. برای حصول اطمینان از داده‌های اندازه‌گیری شده همه دستگاه‌ها قبل و بعد از هر نمونه برداری کالیبره شدند و مسیر سوخت رسانی نیز برای استفاده از نمونه‌ی جدید کاملاً تمیز شد، حتی فیلترهای سوخت نیز تعویض شدند. اندازه‌گیری برای هر نمونه پنج مرتبه تکرار شد و میانگین آن‌ها به عنوان داده‌ی نهایی ثبت شد. تحلیل خطای به دست آمده در این بررسی و همچنین گستره و دقت اندازه‌گیری دستگاه در جدول (۳) نشان داده شده است.

برای به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر در مورد احتراق و متغیرهای وابسته به آن، نمودارهای آزادسازی انرژی نیز برای هر نمونه سوخت رسم شده است. میزان انرژی خالص آزاد شده توسط قانون اول ترمودینامیک برای هر داده‌ی خروجی از فشار داخل سیلندر با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۴]:

$$\frac{dQ_n}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (1)$$

که γ نسبت گرماهای ویژه است. نسبت گرماهای ویژه در این جا تنها به عنوان تابعی از دما در نظر گرفته شده است [۱]:

$$\gamma = 1.338 - 6.0 \times 10^{-10} \times T(K) + 1 \times 10^{-8} \times T(K)^2 \quad (2)$$

اندازه‌گیری فشار برای صد چرخه‌ی کاری (با آهنگ نمونه برداری برای هر ۰/۱ زاویه میل‌لنگ) انجام شده است.

جدول ۳- گستره و دقت اندازه‌گیری دستگاه و خطای تخمینی داده‌ها

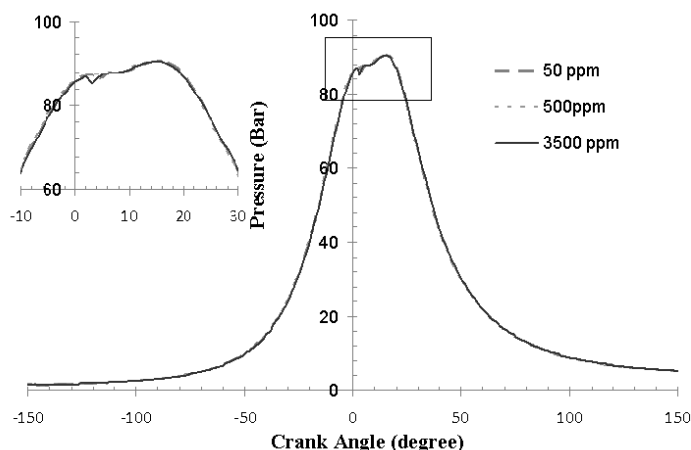
دقت	گستره اندازه‌گیری	کمیت	عدم قطعیت	کمیت
۰/۱ درصد	۰ تا ۱۰۰	Opacity	٪۴/۵	نسبت حجمی سوخت دیزل
۰/۰۱ درصد حجمی	۰ تا ۱۰ درصد حجمی	CO	٪۳	میزان جرمی مصرف هوا
۰/۱ درصد حجمی	۰ تا ۲۰ درصد حجمی	CO ₂	٪۲	سرعت موتور
۱ ppm حجمی	۰ تا ۲۰۰۰۰ ppm حجمی	HC	٪۵	توان
۰/۰۱ درصد حجمی	۰ تا ۴ درصد حجمی	O ₂		
۰/۱ درصد حجمی	۰ تا ۲۲ درصد حجمی			
۱ ppm حجمی	۰ تا ۴۰۰۰ ppm حجمی	NO		
۰/۱ °CA	-	حسگر اندازه‌گیری نقطه‌ی مرگ بالا		
۲ °CA	۰ تا ۱۱۰۰ °C	حسگر اندازه‌گیری دما		

نتایج و بحث در مورد آن‌ها

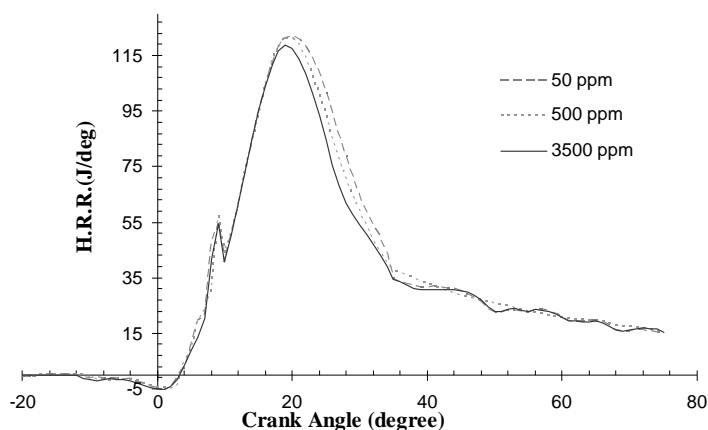
همان‌طور که بیان شد سوخت دیزل ایران در مقایسه با سوخت‌های استاندارد عدد ستان و محتویات گوگرد بالایی دارد. تاثیر عدد ستان و میزان محتویات گوگرد بر روی متغیرهای احتراقی، عملکردی و همچنین آلاینده‌های خروجی از موتور در این کار بررسی شده است. بعد از انجام آزمایش‌ها به روش شرح داده شده در قسمت قبل، نتایج به دست آمده از سوخت‌های تهیه شده در این قسمت بیان می‌شود.

تاثیر محتویات گوگرد بر روی فرایند احتراق، عملکرد و آلاینده‌های خروجی از موتور

تاثیر محتویات گوگرد بر روی منحنی فشار داخل محفظه‌ی احتراق و همچنین منحنی آزادسازی انرژی، در شکل‌های (۲) و (۳) آورده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود محتویات گوگرد سوخت تاثیر چندانی بر روی نمودار فشار داخل سیلندر ندارد ولی نمودار آزادسازی انرژی سوخت‌ها با محتویات گوگرد مختلف دارای اختلافات محسوسی در قسمت احتراق نفوذی است.



شکل ۲- تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای محتویات گوگرد مختلف در دور ۲۰۰۰

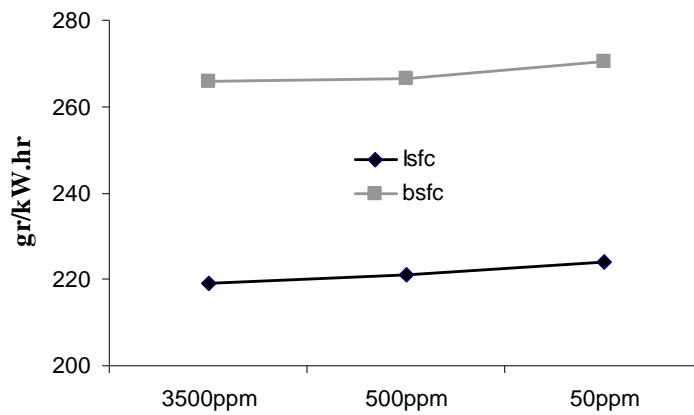


شکل ۳- تغییرات آزاد سازی انرژی بر حسب زاویه میل لنگ به ازای محتویات گوگرد مختلف در دور ۲۰۰۰

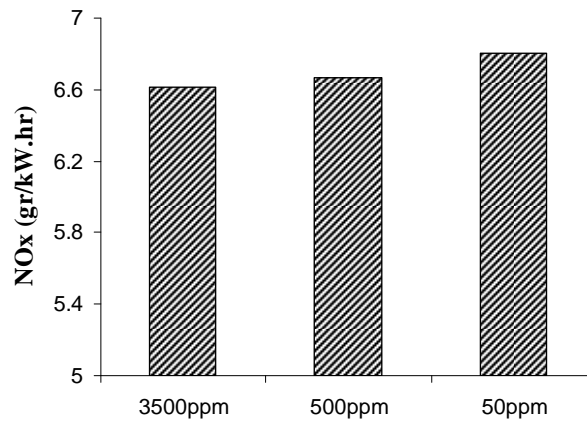
با توجه به این نکته که احتراق در موتورهای دیزل به شدت به میزان اکسیژن وابسته است و از آن جا که احتراق در موتورهای دیزلی در دو مرحله کلی احتراق پیش‌آمیخته و احتراق نفوذی صورت می‌گیرد، این عامل (محتویات گوگرد سوخت) نمی‌تواند در احتراق پیش‌آمیخته تاثیر چندانی بگذارد ولی در احتراق نفوذی با توجه به جذب اکسیژن موجود در محفظه احتراق توسط گوگرد و تشکیل SO_x ، مانع انجام احتراق کامل تر توسط سوخت هیدروکربنی می‌شود، چون میزان اکسیژن موجود تا حدی صرف واکنش با گوگرد شده است.

همان‌طور که در شکل (۴) دیده می‌شود محتویات گوگرد مختلف تاثیر چندانی بر روی میزان مصرف سوخت ویژه اندیکاتوری و یا ترمزی ندارند. زیرا با توجه به نمودار فشار داخل محفظه احتراق و ثابت بودن دبی جرمی سوخت، میزان ISFC موتور به میزان بسیار ناچیز تغییر می‌کند.

شکل (۵) تاثیر محتویات گوگرد سوخت را بر آلاینده NO_x نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود با کاهش میزان گوگرد سوخت، میزان آلاینده NO_x به میزان خیلی ناچیز افزایش می‌یابد که این میزان افزایش در این آلاینده، از سوخت با گوگرد ۳۵۰۰ ppm به ۵۰ ppm تقریباً حدود ۱/۵ درصد است. اگر چه محتویات گوگرد پایین تاثیر منفی در تشکیل آلاینده NO_x دارد ولی می‌توان با استفاده از یک کاتالیزور در مسیر گازهای خروجی، این تاثیر را کاهش داد. قابل ذکر است هر چه سطح گوگرد سوخت بالاتر باشد تاثیر منفی روی عمر و عملکرد قطعات مختلف موتور از قبیل رینگ‌های پیستون، سوپاپ‌ها، لاینرها و خود پیستون می‌گذارد و هم‌چنین منجر به تشکیل آلاینده SO_x نیز می‌شود.

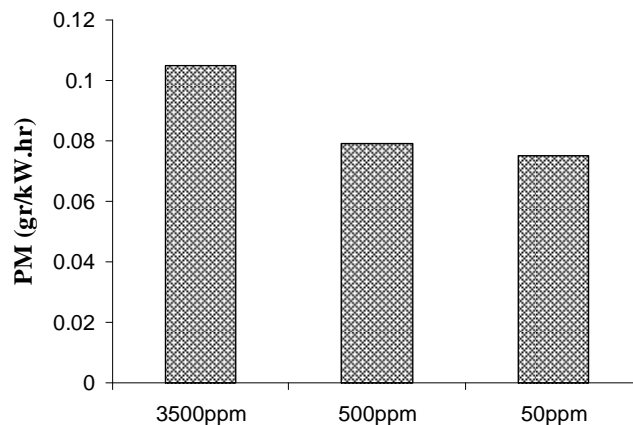


شکل ۴- تاثیر محتویات گوگرد بر BSFC و ISFC در دور ۲۰۰۰



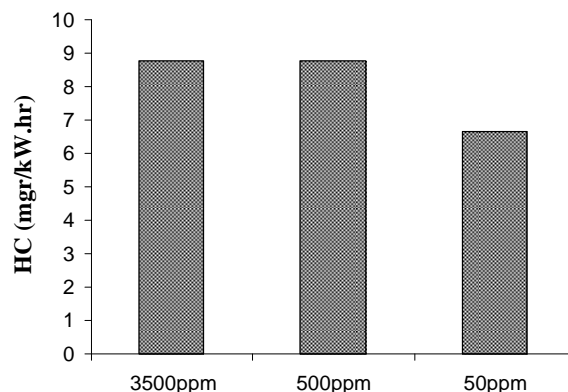
شکل ۵- تاثیر محتویات گوگرد بر آلاینده NOx در دور ۲۰۰۰

شکل (۶) تاثیر محتویات گوگرد را بر آلاینده PM نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با کاهش محتویات گوگرد از ۳۵۰۰ ppm به ۵۰۰ ppm کاهش قابل توجهی در حدود ۳۵ درصد در سطح آلاینده PM مشاهده می‌شود. هم‌چنین با کاهش این محتویات از ۵۰۰ ppm به ۵۰ ppm کاهشی در حدود ۲/۳ درصد دیده می‌شود.



شکل ۶- تاثیر محتویات گوگرد بر آلاینده PM در دور ۲۰۰۰

شکل (۷) تاثیر محتویات گوگرد سوخت دیزل را بر آلاینده HC نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، کاهش محتویات گوگرد از ۵۰۰ ppm به ۵۰ ppm باعث کاهش قابل توجهی بر آلاینده HC می‌شود در حالی که کاهش این محتویات از ۳۵۰۰ ppm به ۵۰۰ ppm تاثیر ناچیزی روی آلاینده HC می‌گذارد.

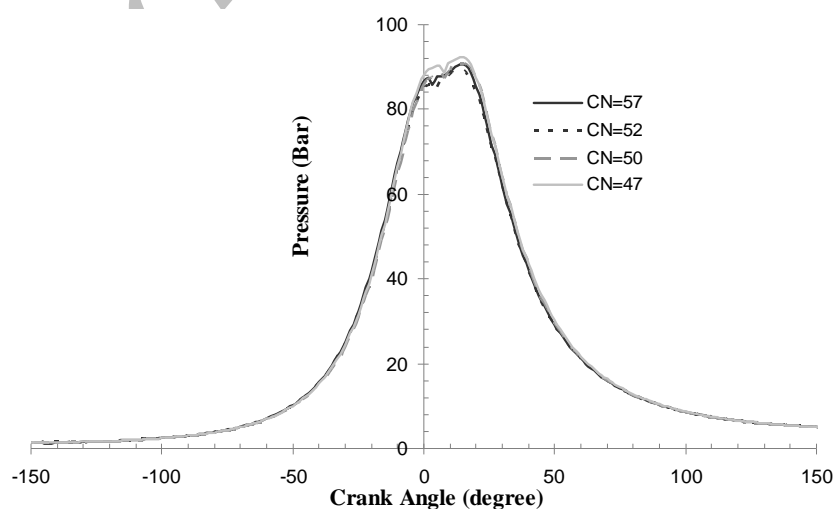


شکل ۷- تاثیر محتویات گوگرد بر آلاینده HC در دور ۲۰۰۰

تاثیر عدد ستان سوخت بر روی فرایند احتراق، عملکرد و آلاینده‌های خروجی از موتور

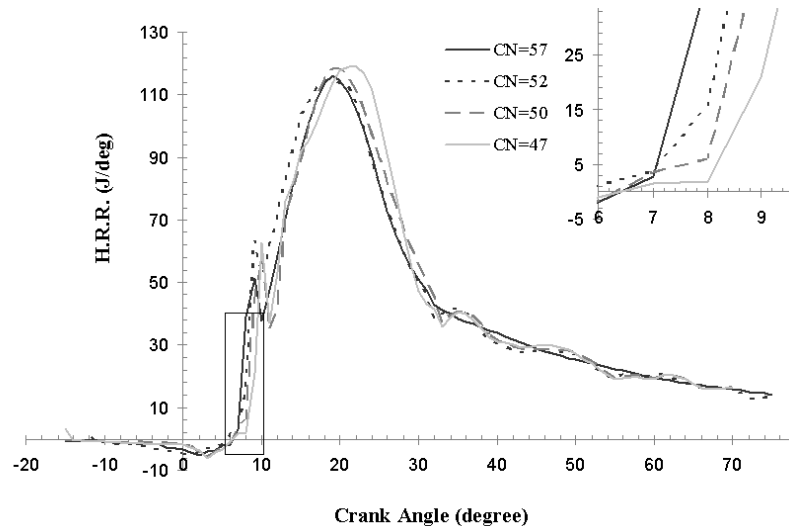
تاثیر عدد ستان بر روی آلاینده‌های خروجی از موتور و عملکرد آن توسط چهار سوخت تهیه شده به روش‌هایی که در قسمت قبل توضیح داده شد انجام می‌شود. به طور کلی روال خاصی برای توان خروجی از موتور برای سوخت‌هایی با عدد ستان مختلف نمی‌توان بیان کرد. نتایج به دست آمده در تحلیل اثر مشخصه‌های سوخت موتورهای دیزلی، به طور گسترده به نوع موتور و متغیرهای دخیل در طراحی موتور وابسته است. علاوه بر متغیرهای طراحی، وابستگی به نوع افزودنی که به سوخت دیزل اضافه می‌شود و همچنین منبعی که سوخت دیزل از آن به دست آمده، وجود دارد [۵].

شکل (۸) تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل‌لنگ به ازای اعداد ستان مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود برای عدد ستان ۴۷ یک افزایش ناگهانی در فشار داخل محفظه‌ی احتراق نسبت به سایر اعداد ستان دیده می‌شود که این افزایش فشار منجر به بالا رفتن بازده گرمایی برای این نوع سوخت شده است.



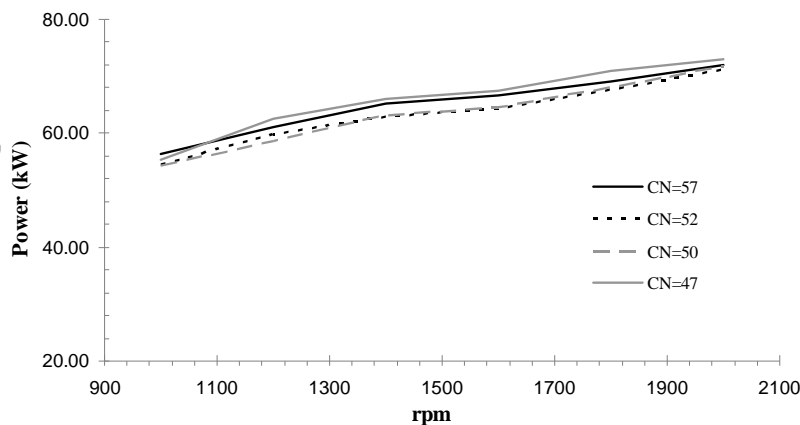
شکل ۸- تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل‌لنگ به ازای اعداد ستان مختلف در دور ۲۰۰۰

در شکل (۹) نمودار آزاد سازی انرژی برای هر چهار نمونه سوخت رسم شده است. از این شکل به روشنی مشخص است که هر چه عدد ستان سوخت پایین تر باشد، پیک آزاد سازی انرژی و همچنین مدت زمان احتراق دما بالا به دلیل افزایش تاخیر در اشتعال افزایش می یابد. این افزایش باعث بالا رفتن دمای گازهای سوخته ی اولیه و در نتیجه تولید NO_x بیش تر می شود.



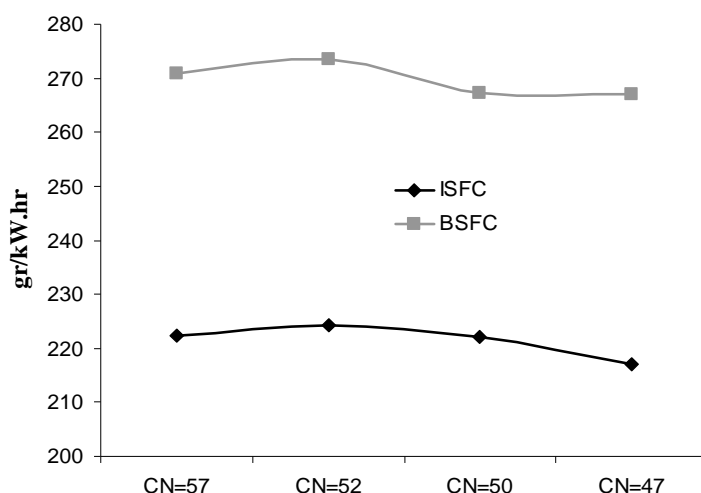
شکل ۹- تغییرات آزاد سازی انرژی بر حسب زاویه ی میل لنگ به ازای اعداد ستان مختلف در دور ۲۰۰۰

شکل (۱۰) نشان می دهد که موتور مذکور برای سوخت با عدد ستان ۴۷ دارای بیش ترین توان اندیکاتوری بوده ولی برای محدوده ی تغییرات عدد ستان بین ۵۰ تا ۵۲ دارای کم ترین توان است. با توجه به شکل، توان اندیکاتوری موتور در دوره های پایین برای سوخت های با عدد ستان بالا و پایین چندان فرقی نمی کند. میزان کاهش توان به ازای کاهش عدد ستان از ۵۷ به ۵۰ در دور ۲۰۰۰ (دور توان بیشینه) تقریباً حدود ۱ درصد است که البته در محدوده ی عدد ستان ۴۷ حدود ۳ درصد افزایش توان دیده می شود. این نتایج با توجه به نمودار $p - \theta$ به دست آمده از موتور برای هر سوخت حاصل شده است.



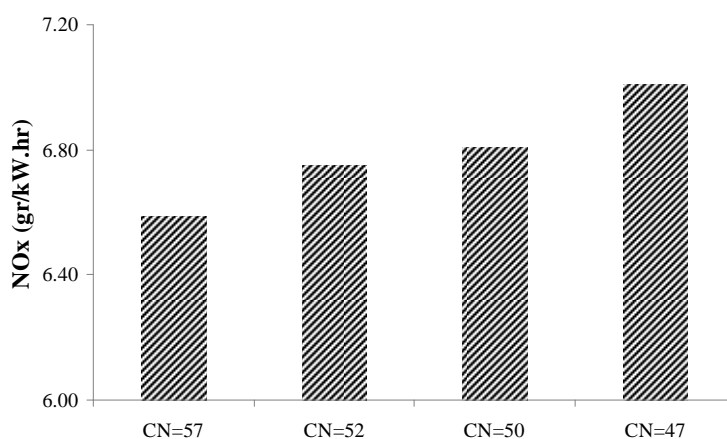
شکل ۱۰- تغییرات توان اندیکاتوری موتور بر حسب دور موتور به ازای اعداد ستان مختلف

میزان مصرف سوخت ویژه اندیکاتوری و ترمزی موتور نیز برای هر چهار نمونه سوخت در این شرایط کاری موتور آورده شده است. روشن است که میزان مصرف سوخت ویژه اندیکاتوری و ترمزی با کاهش عدد ستان تقریباً حدود ۴ درصد و ۳/۵ درصد به ترتیب کاهش می یابند که این نتیجه بسیار مطلوب بوده و بازده گرمایی موتور افزایش یافته است.



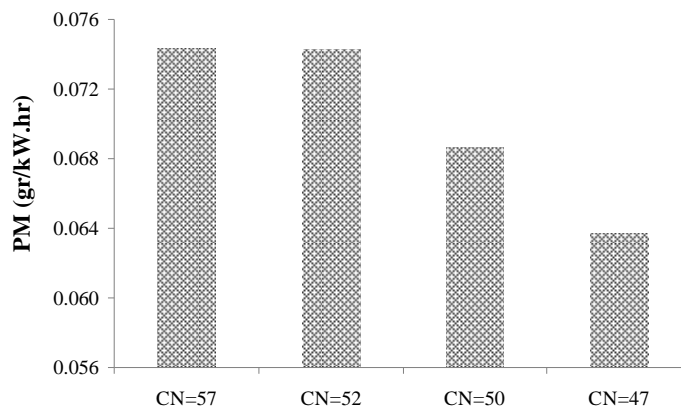
شکل ۱۱- میزان مصرف سوخت ویژه موتور به ازای اعداد ستان مختلف در دور ۲۰۰۰

تاثیر عدد ستان سوخت دیزل روی آلایندگی NO_x در شکل (۱۲) نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود در حالت کلی با کاهش عدد ستان میزان آلایندگی NO_x زیاد می شود، به این دلیل که هر چه عدد ستان کاهش می یابد میزان تاخیر در اشتعال افزایش می یابد. با افزایش تاخیر در اشتعال میزان سوخت آماده شده برای احتراق پیش آمیخته افزایش یافته و در نتیجه بیشینه فشار داخل سیلندر افزایش یافته که به طبع آن دمای گازهای سوخته ی اولیه نیز بالا می رود. با بالا رفتن دمای گازهای سوخته ی اولیه، میزان آلایندگی NO_x افزایش می یابد. میزان افزایش آلایندگی NO_x در ازای کاهش عدد ستان از ۵۷ به ۴۷ حدود ۵/۵ درصد است.



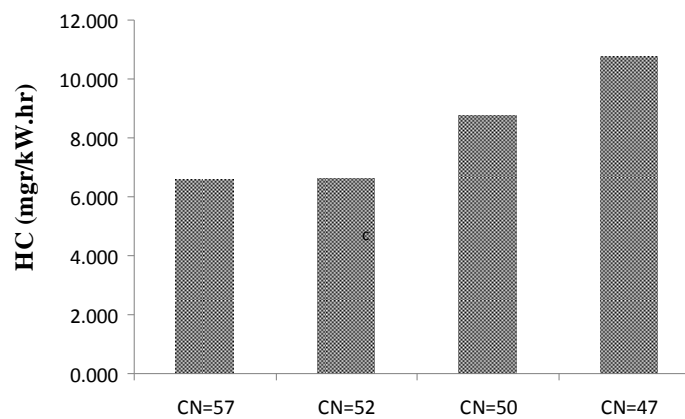
شکل ۱۲- تغییرات آلایندگی NO_x به ازای اعداد ستان مختلف در دور ۲۰۰۰

تاثیر عدد ستان سوخت دیزل روی آلایندگی PM در شکل (۱۳) نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود با کاهش عدد ستان، میزان آلایندگی PM کاهش می یابد. نتایج به دست آمده در این قسمت با توجه به شکل های (۸) و (۹) قابل پیش بینی بود. زیرا همان طور که مشاهده می شود مرحله ی احتراق نفوذی با کاهش عدد ستان به تر شده است، در نتیجه میزان سوخت محترق شده نیز افزایش یافته که این امر موجب کاهش دوده در موتور می شود. از آن جا که بیشترین انرژی سوخت در مرحله ی احتراق نفوذی آزاد می شود، هر چه این نوع احتراق بیشتر و به تر شود میزان آلایندگی های خروجی از موتور کمتر می شود.



شکل ۱۳- تغییرات آلاینده PM به ازای اعداد ستان مختلف در دور ۲۰۰۰

میزان کاهش دیده شده در آلاینده PM برای محدوده‌ی عدد ستان بین ۵۷ تا ۵۰ حدود ۷ درصد و برای عدد ستان بین ۵۰ تا ۴۷ حدود ۸ درصد است. البته میزان کاهش کلی دیده شده در عدد ستان بین ۵۷ تا ۴۷ حدود ۱۵ درصد است.



شکل ۱۴- تغییرات آلاینده HC به ازای اعداد ستان مختلف در دور ۲۰۰۰

همچنین، با کاهش عدد ستان میزان آلاینده HC نیز افزایش یافته است. البته این آلاینده نیز همانند CO در موتورهای دیزلی همواره از مقدار مجازش کم‌تر است و از این رو نمی‌تواند معیار تصمیم‌گیری در موتورهای دیزلی باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، بررسی تاثیر متغیرهای سوخت دیزل نظیر عدد ستان و محتویات گوگرد بر عملکرد و آلاینده‌های خروجی از موتور بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که:

- کاهش محتویات گوگرد سوخت بیش‌ترین تاثیر را بر روی آلاینده PM می‌گذارد که با کاهش آن، میزان آلاینده PM به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

- محتویات گوگرد سوخت تاثیر اندکی روی آلاینده NO_x می‌گذارد و منجر به اندکی افزایش در آن می‌شود.

- محتویات گوگرد سوخت تاثیر چندانی روی توان خروجی از موتور و همچنین میزان مصرف سوخت ویژه ندارد.

- روند تغییرات آلاینده HC با محتویات گوگرد سوخت بسیار ناچیز بوده و با افزایش میزان گوگرد سوخت به میزان خیلی ناچیز افزایش می‌یابد.
- با کاهش عدد ستان سوخت دیزل به علت افزایش زمان تاخیر در اشتعال، دمای بیشینه حاصل از احتراق افزایش یافته و در نتیجه میزان آلاینده NO_x افزایش می‌یابد.
- با کاهش عدد ستان میزان آلاینده PM حدود ۱۵ درصد کاهش یافته است.
- آلاینده HC نیز با کاهش عدد ستان سوخت دیزل افزایش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت موتورسازان به منظور اجرای این پروژه تشکر و قدردانی می‌کنند.

مراجع

1. Ceviz, M. A., and Kaymaz, I., "Temperature and Air-Fuel Ratio Dependent Specific Heat Ratio Functions for Lean Burned and Unburned Mixture," *Energy Conversion and Management*, 46, pp. 2387-2404, 2005.
2. James Szybist, P., and Bruce Bunting, G., "Cetane Number and Engine Speed Effects on Diesel HCCI Performance and Emissions," *SAE Technical Paper 2005-01-3723*, 2005.
3. Lu Xing-cai, Yang Jian-guang, Zhang Wu-gao, and Huang Zhen, "Effect of Cetane Number Improver on Heat Release Rate and Emissions of High Speed Diesel Engine Fueled with Ethanol-Diesel Blend Fuel," *Fuel*, 83, pp. 2013-2020, 2004.
4. Icingur, Y., and Altiparma, D., "Effect of Fuel Cetane Number and Injection Pressure on a DI Diesel Engine Performance and Emission," *Energy Convergent and Management*, 44, pp. 389-397, 2003.
5. BOSMAL Automotives R&D Centre, "Effect of Fuel Properties on Exhaust Emissions from the Latest Light-Duty DI Diesel Engine," *SAE 2003-03-1882*, 2003.
6. Deng Yuanwang, Zhu Meilin, Xiang Dong, and Cheng Xiaobei, "An Analysis for Effect of Cetane Number on Exhaust Emissions from Engine with the Neural Network," *Fuel*, 81, pp. 1963-1970, 2002.
7. Yoshiyuki Kidoguchi, Changlin Yang, Ryoji Kato, and Kei Miwa, "Effects of Fuel Cetane Number and Aromatics on Combustion Process and Emissions of a Direct-Injection Diesel Engine," *JSAE Review*, 21, pp. 469-475, 2000.
8. Signer, M., Heinze, P., Mercogliano, R., and Stein, H. J., "European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE)-Heavy Duty Diesel Study," *SAE Paper 961074*, 1996.
9. Tamanouchi, M., Morishisa, H., Yamada, S., Iida, J., Sasaki, T., and Sue, H., "Effect of Fuel Properties on Exhaust Emissions for Diesel Engines with and without Oxidation Catalyst and High Pressure Injection," *SAE Technical Paper 970758*, 1997.
10. Li, X., Chippior, W. L., and Gulder, O. L., "Effects of Fuel Properties on Exhaust Emissions of a Single Cylinder DI Diesel Engine," *SAE Technical Paper 962116*, 1996.
11. Den Ouden, C. J. J., Clark, R. H., Cowley, L. T., Stradling, R. J., Lange, W. W., and Maillard, C., "Fuel Quality Effects on Particulate Matter Emissions from Light and Heavy-Duty Diesel Engines," *SAE Paper 942022*, 1994.
12. Ullman, T. L., Spreen, K. B., and Mason, R. L., "Effects of Cetane Number, Cetane Improver, Aromatics, and Oxygenates on 1994 Heavy-Duty Diesel Engine Emissions," *SAE Paper 941020*, 1994.
13. Mitchell, K., Steere, D. E., Taylor, J. A., Manicom, B., Fisher, J. E., Sienicki, E. J., Chiu, C., and Williams, P., "Impact of Diesel Fuel Aromatics on Particulate, PAH and Nitro-PAH Emissions," *SAE Paper 942053*, 1994.
14. Cowley, L. T., Stradling, R. J., and Doyon, J., "The Influence of Composition and Properties of Diesel Fuel on Particulate Emissions from Heavy-Duty Engines," *SAE Paper 932732*, 1993.
15. Zannis, T. C., Hountalas, D. T., and Kouremenos, D. A., "Experimental Investigation to Specify the Effect of Oxygenated Additive Content and Type on DI Diesel Engine Performance and Emissions," *SAE Paper 2004-01-0097*, 2004.

English Abstract

An Experimental Investigation of the Effect of Fuel Properties on Combustion, Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine

S. A. R. Khabbaz¹, R. Khoshbakhti Saray² and R. Mobasheri³

1- Motorsazan CO., Iranian Tractor Manufacturing Company

2- Department of Mechanical Engineering, Sahand University of Technology

3- School of Science and Technology, University of Sussex, Brighton

This study investigates the effects of sulfur contents and Cetane number (CN) of diesel fuel on combustion, performance and exhaust emission characteristics of a direct injection (DI) diesel engine. The engine experiments were run at 8-modes steady-state emission test procedure (ECE-R96). To evaluate the influence of fuel properties on engine's emissions and performance characteristics, seven different test fuels were prepared: three fuels with different sulfur contents in the ranges of 50 ppm, 500 ppm and 3500 ppm and four fuels with a different cetane number that changes from 47 to 57. Experimental results indicate that the sulfur level of the diesel fuel has a significant effect on all regulated emissions, especially on PM. Also, the obtained results for fuels with different cetane numbers show that NO_x emissions are reduced and PM emissions are increased when cetane number increases.

Keywords: Cetane number, Fuel properties of the diesel engines, Exhaust emission, Diesel engine.