



بررسی تأثیر فشار هوای ورودی و عوامل پاشش سوخت بر روی ارتقاء توان و کاهش آلاینده‌گی موتور دیزل سنگین

سعید چامه‌سرا^{۱*} و سید مصطفی میرسلیم^۲

^۱ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

^۲ استادیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۰۹/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۶

چکیده

در این مقاله، تأثیر عوامل سامانه سوخت‌رسانی و هوارسانی بر ارتقاء توان موتور دیزل سنگین RK215 بررسی شده است. فرایند شبیه‌سازی در نرم افزار AVL-Fire V8.3.1 طی چهار مرحله در حالت تمام بار صورت پذیرفته است. مرحله اول، متعلق به حالت اولیه موتور با قانون پاشش سوخت شبه مثلثی، مقدار سوخت پاشش شده در هر چرخه ۱۳۹ میلی گرم، قطر سوراخ‌های دماغه افشانه، ۳ میلی‌متر و فشار هوای ورودی، ۴/۲ بار است. در مرحله دوم، اثر تغییر قانون پاشش سوخت به حالت مستطیلی با کاهش قطر سوراخ‌های دماغه و افزایش مقدار سوخت پاشش شده بررسی شده است که در نتیجه آن، فشار بیشینه، توان خروجی، آلاینده‌های اکسید نیتروژن و دوده بترتیب، ۰/۲٪، ۲۱٪، ۱۶/۶٪ و ۲۷٪، نسبت به مرحله اول افزایش داشته‌اند. در مرحله سوم، تنها اثر افزایش فشار هوای ورودی (۵ بار) نسبت به مرحله دوم بررسی شده است که در نتیجه آن، فشار بیشینه و توان خروجی و اکسید نیتروژن بترتیب، ۱۵/۳٪، ۲۶٪ و ۹٪ افزایش و دوده در حدود ۴/۶٪ کاهش یافته‌اند. در مرحله چهارم، کاهش قطر سوراخ‌های دماغه نسبت به حالت سوم اتفاق افتاده است. فشار بیشینه و توان خروجی بترتیب، ۱۰/۴٪ و ۲۴٪ افزایش یافته‌اند. از طرفی دوده و مونوکسید نیتروژن نیز بترتیب، در حدود ۲۲٪ و ۴/۶٪ کاهش داشته‌اند.

کلمات کلیدی: ارتقاء توان، موتور دیزل؛ کاهش آلاینده‌گی؛ فرایند احتراق؛ منواکسید نیتروژن.

Investigation of the Effect of Air Intake Pressure and Fuel Injection Parameters on Upgrading Power and Emissions of Heavy Duty Diesel Engine

S. Chamehsara^{1*}, S. M. Mirsalim²

¹ Master of Science, Malek-E-Ashtar University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Tehran, Iran.

² Assistant Professor, Amirkabir University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Tehran, Iran.

Abstract

In this paper, the effect of fuel injection and intake systems on upgrading the power of RK215 HD diesel engine investigated. The process simulated in four state with full load performance by AVL-Fire V8.3.1 software. The first state is about the original engine with semi-triangular discharge curve, 139mg fuel injection per cycle, nozzle diameter of 3mm and air intake pressure of 4.2bar. In the second state the effect of changing the discharge curve to rectangular type and reducing the nozzle diameter and increasing fuel injection quantity is investigated which is resulted in 0.2, 21, 16.6 and 27 percent increase in peak pressure, output power, NO and soot emissions, respectively. In the third state, only the effect of air intake pressure increase (5bar) with respect to the second state is considered. In this state the amount of peak pressure, output power and NO emission is increased by 15.3, 26, 9 percent, respectively and soot emission reduced by 4.6%. In the fourth state the nozzle diameter is reduced with respect to the third state. The result is 10.4 and 24 percent increase in peak pressure and output power, respectively. In the other hand, the Soot and NO emissions are decreased about 22 and 4.6 percent, respectively.

Keywords: Power Upgrading; Diesel Engine; Emission Reduction; Combustion Process; NO.

۱- مقدمه

ارتقاء توان موتورهای درونسوز، به عنوان یک ویژگی کمی محسوب شده، برای دسترسی به آن از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که تمام این روش‌ها، به طور مستقیم و غیرمستقیم به سوخت و هوای موجود در فرایند احتراق وابسته‌اند. در واقع بدون در نظر گرفتن عوامل سامانه سوخت رسانی و هوارسانی، فرایند ارتقاء توان میسر نخواهد بود. مقدار و نحوه پاشش سوخت و هوا علاوه بر توان خروجی بر سایر عوامل احتراقی مانند، فشار و دمای محفظه احتراق، کیفیت و کمیت آلاینده‌های خروجی تأثیرگذار خواهند بود. در واقع تغییرات ناشی از این عوامل، فرایندی را در احتراق موتور رقم خواهند زد.

اگر ارتقاء توان موتور دیزل با افزایش فشار بیشینه محفظه احتراق همراه باشد، موجب تشدید کوبش داخل محفظه احتراق خواهد شد و از طرفی اگر افزایش دمای بیشینه محفظه احتراق رخ دهد، مقدار حرارت آزاد شده حاصل و همچنین عوامل آلاینده‌ای که به دما وابسته‌اند (مانند مونوکسید نیتروژن)، افزایش خواهند یافت؛ بنابراین با تعریف هر روش و مسیر برای رسیدن به ارتقاء توان در موتورهای دیزل، عوامل احتراقی و آلاینده‌ای تأثیرگذار باید بررسی شوند تا تغییراتشان تحت پایش قرارگیرند.

بازده تنفسی، از اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار سامانه هوارسانی بر ارتقاء توان موتورهای درونسوز به حساب می‌آید. از جمله روش‌های افزایش بازده تنفسی، می‌توان به تغییر هندسه راهگاه هوای ورودی، استفاده از پرخوران مکانیکی و ... اشاره کرد [۱].

در زمینه بهبود عملکرد سامانه هوارسانی به منظور ارتقاء توان موتورهای درونسوز، کارهای متعددی انجام شده است [۳ و ۲]. کارهای عددی و شبیه‌سازی در مقایسه با کارهای تجربی با توجه به هزینه‌های کمتری که دارند، بیشتر مورد توجه قرار داشته‌اند [۴-۶].

جمنی و همکارانش، با بهینه‌سازی راهگاه هوای ورودی و در نتیجه افزایش مقدار هوای ورودی به محفظه احتراق، به ارتقاء توان در موتورهای دیزل دست یافته‌اند. کار تحقیقاتی مذکور، به روش دینامیک سیالات محاسباتی صورت پذیرفته است [۷].

در زمینه بهبود عملکرد پرخوران‌ها نیز، مطالعات گسترده و متعددی با هدف ارتقاء توان بویژه در موتورهای دیزل سنگین انجام شده است [۸-۱۰].

سیک لی و چوی به واسطه یک کار تجربی، هوارسانی یک موتور دیزل دارای پرخوران را با پاشش هوا در راهگاه ورودی آن بررسی کرده‌اند. نتایج تجربی نشان می‌دهد، با پاشش هوا در راهگاه ورودی موتورهای دیزل دارای پرخوران، عوامل احتراقی و توان خروجی بهبود خواهد یافت [۱۱].

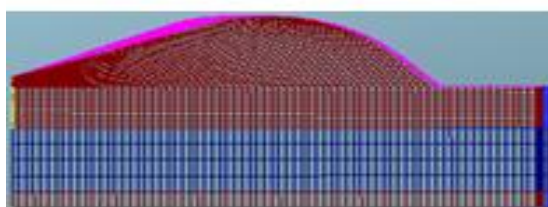
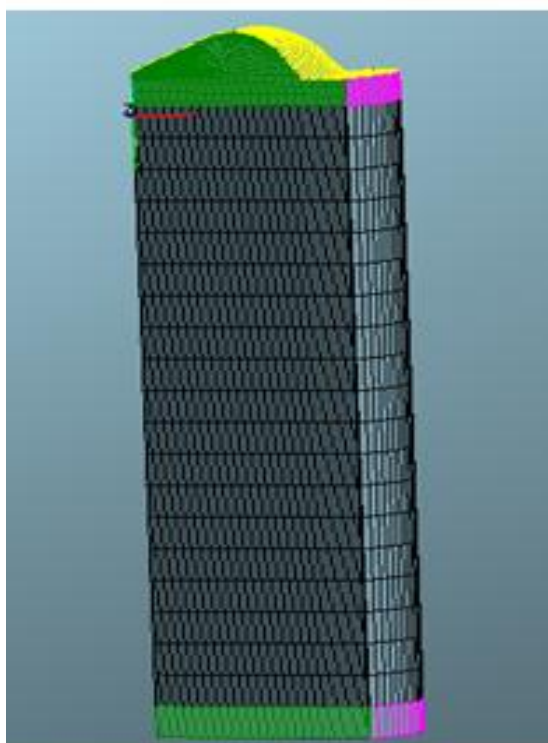
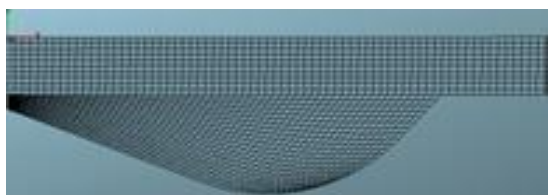
کلیکن در کاری تجربی با استفاده از سامانه پاشش سوخت فشار قوی، تأثیر فشار پاشش سوخت را بر عملکرد و آلاینده‌های خروجی در موتورهای دیزل بررسی کرده است. نتایج نشان داده با افزایش فشار پاشش سوخت توان خروجی نیز افزایش یافته است [۱۲].

در مقاله حاضر، ارتقاء توان موتور دیزل سنگین با تغییر قانون پاشش سوخت از حالت شبه مثلثی به مستطیلی و مدیریت عوامل سامانه‌های سوخت‌رسانی (مقدار سوخت پاشش شده، قطر سوراخ‌های دماغه افشانه) و هوارسانی (فشار هوای ورودی) و اثر هر یک بر فرایند احتراق بررسی شده است. بررسی موارد ذکر شده، به روش دینامیک سیالات محاسباتی با شبیه‌سازی در نرم افزار AVL-Fire V8.3.1 انجام شده است.

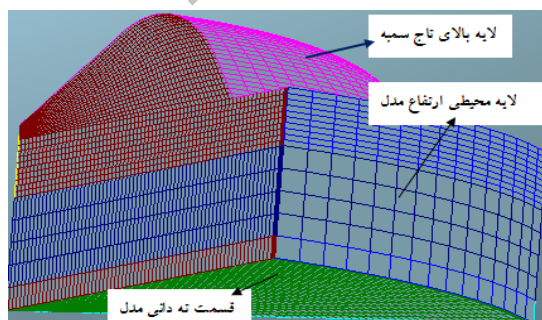
۲- هندسه موتور و اطلاعات مورد نیاز

در کار تحقیقاتی حاضر، موتور دیزل سنگین Rk215 بررسی شده است. در جدول ۱، اطلاعات موتور مذکور و همچنین سایر اطلاعات مورد نیاز برای فرایند شبیه‌سازی ارائه شده‌اند. برای ایجاد نقشه سه بعدی براساس شبکه بندی که در نقشه دو بعدی تعریف شده و همچنین آماده‌سازی شبکه متحرک، از نرم افزار AVL-Fire V8.3.1 استفاده شده است. شکل ۱، بخشی از مراحل آماده‌سازی نقشه اولیه را برای ورود به فرایند اصلی شبیه‌سازی به تصویر کشیده است.

در شکل ۲، بخش‌های مختلفی از سمبه با ذکر نام و به تفکیک رنگ از هم تمیز داده شده‌اند. از شرایط مهم و بنیادی برای شبیه‌سازی احتراق، شرایط مرزی دمایی است که برای قسمت‌های مختلف الگو در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱- بخشی از مراحل شبیه سازی و شبکه بندی اولیه



شکل ۲- موقعیت قسمت‌های اصلی الگو

۳- الگوی دینامیک سیالات محاسباتی

در مقاله حاضر، از روش دینامیک سیالات محاسباتی برای حل مسئله استفاده شده است. الگوهایی که در این شبیه‌سازی استفاده شده، در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات و مشخصات هندسی و عملکردی مورد

نیاز فرایند شبیه‌سازی

ردیف	مشخصات	مقادیر
۱	تعداد استوانه	۱۶
۲	قطر سمبه	۲۱۵ میلی‌متر
۳	طول جایجائی	۲۷۵ میلی‌متر
۴	طول دسته سمبه	۵۰۲ میلی‌متر
۵	سرعت موتور	۱۰۰۰ دور در دقیقه
۶	نسبت تراکم	۱۳/۵
۷	تعداد سوراخ دماغه افشانه	۹
۸	قطر دماغه افشانه	۳ میلی‌متر
۹	زوایه پاشش اول	۱۴۰ درجه
۱۰	زوایه پاشش دوم	۲۰ درجه
۱۱	سوخت	دیزل
۱۲	مقدار سوخت پاشش شده در هر چرخه	۱۳۹ میلی‌گرم
۱۳	طول دوره پاشش سوخت	۳۰ درجه
۱۴	فشار هوای ورودی	۴/۲ بار
۱۵	دمای هوای ورودی	۳۷۰ کلوین
۱۶	بازده مکانیکی موتور	۰/۹۰۵

جدول ۲- موقعیت دمایی قسمت‌های اصلی الگو

قسمت‌ها	دما (کلوین)
قسمت ته دانی الگو	۵۵۳
لایه محیطی ارتفاع الگو	۴۰۳
لایه بالایی تاج سمبه	۵۹۳

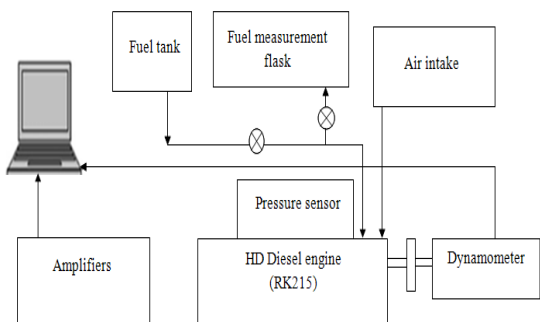
جدول ۳- الگوهای استفاده شده در فرایند شبیه‌سازی

الگوها	مشخصه
الگوی فواره	موجی
الگوی احتراق	تجزیه‌گر دابی
الگوی آلاینده اکسید نیتروژن	زلدویچ
الگوی آلاینده دوده	کندی-هیروباسو-مگسان

تولید می‌شود. از اینرو به آن الگوی نیتروژن اکسید دمایی نیز گویند [۱۳ و ۱۷].

۴- صحه‌گذاری و آزمون‌های عملی

صحه‌گذاری نتایج حاصل از شبیه‌سازی، با دو عامل فشار بیشینه محفظه احتراق و توان داخلی (اندیکاتوری) بررسی شده و با مقایسه نتایج حاصل از آزمون و شبیه‌سازی براساس عواملی مذکور، فرایند صحه‌گذاری تکمیل می‌شود. برای استخراج فشار بیشینه هر استوانه و توان خروجی به وسیله آزمون، موتور دیزل مورد نظر به حسگرهای فشار و لگام ترمز تجهیز شده است. شکل ۳، نمای کلی تجهیزات و نحوه اجرای آزمون را به تصویر کشیده است.



شکل ۳- نمای کلی از مدار آزمون موتور

به منظور اندازه‌گیری فشار بیشینه محفظه احتراق، از حسگرهای فشار مدل Type7613c محصول شرکت کیستلر استفاده شده که به طور مجزا روی هر استوانه یکی از آنها نصب شده است. در فرایند کاری موتور فشار بیشینه هر استوانه، اندازه‌گیری و ثبت شده است. در جدول ۴، فشار بیشینه تمام استوانه‌ها ارائه شده است که به وسیله حسگرهای فشار اندازه‌گیری شده‌اند. از طرفی فشار بیشینه حاصل از شبیه‌سازی نیز، در حدود ۱۶۳/۵ بار بدست آمده است.

برای تکمیل فرایند شبیه‌سازی، توان داخلی حاصل از شبیه‌سازی با توانی که به وسیله لگام ترمز در هنگام آزمون ثبت شده، مقایسه می‌شود. توان خروجی از فرایند آزمون، در حدود ۳۸۱۵ اسب بخار است. با در نظر گرفتن بازده مکانیکی توان داخلی در حدود ۴۲۱۶ اسب بخار بدست می‌آید. از

برای فواره الگوی موجی استفاده شد [۱۳]. این الگو برای شبیه‌سازی پدیده تجزیه سوخت در موتورهای دیزل بسیار کاربردی است. در این الگو، اندازه قطره باید با قطر سوراخ نازل تنظیم شود؛ زیرا قطرات بزرگ در نزدیکی دماغه به سختی تبخیر می‌شوند؛ بنابراین برای این موضوع باید نظریه‌ای ارائه شود. این نظریه براساس استفاده از قطرات ریزتر است؛ یعنی قطرات بزرگتر به تعدادی قطرات ریزتر تبدیل شده، قطرات به سرعت تبخیر می‌شوند [۱۴].

الگوی احتراق مورد استفاده، تجزیه گردابی است. در این الگو، اساس فرض رابطه مستقیم فیزیکی روی نرخ جریان آشفته تعریف می‌شود. در جریان آشفته نرخ واکنش، به گرداب جریان بستگی دارد و به واسطه تأثیری که این جریان روی نرخ واکنش دارد، ممکن است میزان اختلاط و انتقال حرارت در طول فرایند افزایش یابد [۱۵].

اساس الگوی کندی-هیروياسو-مگسان که در این کار تحقیقاتی برای الگوی آلاینده دوده استفاده شد؛ ترکیب دو فرایند فیزیکی و شیمیایی به منظور نمایش رویداد رشد رویه و اکسایش است که تشکیل ذرات و رشد رویه به ترتیب، تابعی از سوخت در جایی معین از محفظه احتراق و غلظت هسته دوده آن ناحیه است [۱۶].

نیتروژن اکسید، یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های تولیدی موتور دیزل است. غلظت نیتروژن اکسید، تأثیر بسیار کمی روی جریان دارد و بازه زمانی واکنش‌های نیتروژن اکسید، بیشتر از بازه زمانی است که برای آشفته‌گی فرایند اختلاط و همچنین احتراق که آزادسازی گرما را پایش می‌کند، در نظر گرفته می‌شود. از اینرو، محاسبات نیتروژن اکسید می‌تواند از محاسباتی جدا باشد که برای واکنش اصلی پیش‌بینی می‌شود. الگوی نیتروژن اکسید مورد استفاده در این مقاله، همانطور که در جدول ۳ عنوان شد، مدل زلدویچ است. این الگو به شدت وابسته به دما بوده، به وسیله واکنش نیتروژن و اکسیژن موجود در هوا در دماهای بالا

شبیه‌سازی و آزمون وجود دارد، در حدود ۳۳۸ اسب بخار است. با توجه به اینکه شبیه‌سازی روی یک موتور تک استوانه انجام شده، در حالی که فرایند آزمون روی موتور واقعی با تمام استوانه‌ها (۱۶ استوانه) صورت پذیرفته است، بنابراین این اختلاف با توجه به تلفات حرارتی بیشتری که در موتور تک استوانه اتفاق می‌افتد، منطقی به نظر می‌رسد.

جدول ۵- نتایج آزمون موتور و شبیه‌سازی برای صحنه‌گذاری

آزمون موتور	شبیه‌سازی	مشخصه‌ها
۱۶۰-۱۶۶	۱۶۳.۵	فشار بیشینه محفظه احتراق (بار)
۴۲۱۶	۳۸۷۸	توان داخلی (اسب بخار)

۵- نتایج و بحث

فرایند صحنه‌گذاری برای شبیه‌سازی با قانون پاشش سوخت شبه مثلثی صورت گرفته است. در مرحله اول برای افزایش توان موتور مورد نظر، تأثیر سه عامل مقدار سوخت پاشش شده در هر چرخه، قانون پاشش سوخت و قطر سوراخ‌های دماغه افشانه با فرض ثابت نگه داشتن فشار هوای ورودی بررسی شده و در پی آن پارامتر مقدار هوای ورودی به محفظه احتراق به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود. با بررسی عوامل به طور همزمان بهترین حالت برای افزایش توان و تا حد امکان کاهش آلایندگی در نظر گرفته خواهد شد.

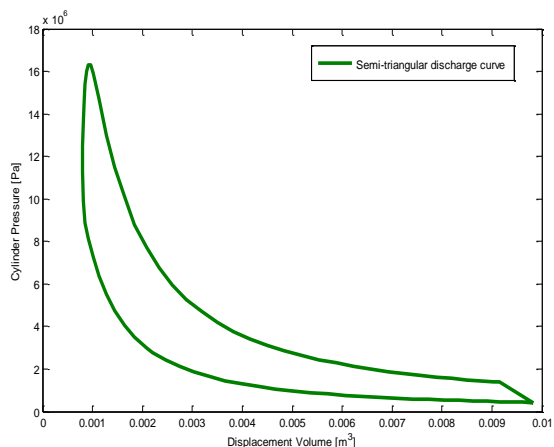
با افزایش مقدار سوخت پاشش شده بدون افزودن هوای ورودی، مخلوط غنی تشکیل می‌شود؛ در نتیجه مخلوط مستعد احتراق ناقص خواهد بود که در پی آن آلایندگی دوده افزایش خواهد یافت. از طرفی افزایش مقدار سوخت و کاهش قطر سوراخ‌های دماغه افشانه، منجر به افزایش دمای محفظه احتراق می‌شود که افزایش آلایندگی مونوکسید نیتروژن را نیز در پی خواهد داشت.

در جدول ۶، فرایند تغییر عوامل در شبیه‌سازی و مشاهده تأثیر آن‌ها روی افزایش توان و کاهش آلایندگی ارائه شده است. در واقع شرایطی که برای موتور در این شبیه‌سازی بررسی می‌شود، در جدول ۶ در مرحله‌های مختلف نشان داده شده که مشخصات هر مرحله با هدفی خاص تعریف شده است.

طرفی توان داخلی حاصل از شبیه‌سازی نیز، به وسیله نمودار فشار محفظه احتراق بر حسب حجم جابجایی که در شکل ۴ ارائه شده، بدست می‌آید. این مقدار در حدود ۳۸۷۸ اسب بخار است.

جدول ۴- فشار بیشینه هر استوانه

شماره استوانه	فشار بیشینه محفظه احتراق (بار)
۱	۱۶۶
۲	۱۶۲
۳	۱۶۱
۴	۱۶۲
۵	۱۶۳
۶	۱۶۰
۷	۱۶۰
۸	۱۶۴
۹	۱۶۲
۱۰	۱۶۳
۱۱	۱۶۲
۱۲	۱۶۳
۱۳	۱۶۰
۱۴	۱۶۱
۱۵	۱۶۲
۱۶	۱۶۳

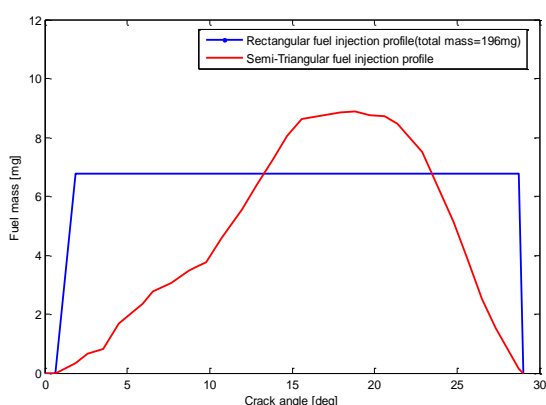


شکل ۴- توان داخلی حاصل از شبیه‌سازی

در جدول ۵، خلاصه نتایج حاصل از آزمون و شبیه‌سازی ارائه شده است. تفاوتی که بین توان داخلی حاصل از

جدول ۶- تشریح مراحل مورد استفاده در شبیه‌سازی

مرحله	قانون پاشش سوخت	قطر سوراخهای دماغه (میلی‌متر)	مقدار سوخت پاشش شده در هر چرخه (میلی گرم)	فشار هوای ورودی (بار)
۱	شبه مثلثی	۳	۱۳۹	۴/۲
۲	مستطیلی	۲/۶	۱۹۶	۴/۲
۳	مستطیلی	۲/۶	۱۹۶	۵
۴	مستطیلی	۳	۱۹۶	۵



شکل ۵- قانون پاشش سوخت شبه مثلثی و مستطیلی

شکل ۶، نمودار فشار محفظه احتراق را برای مراحل مختلفی که در جدول ۶ تعریف شده بر حسب دور میل لنگ به تصویر کشیده است. برای افزایش توان به افزایش مقدار سوخت پاشش شده در هر چرخه نیاز است که در پی آن فشار بیشینه افزایش خواهد یافت. برای پایش فشار بیشینه در مرحله اول، قانون پاشش سوخت از شبه مثلثی به مستطیلی تبدیل و قطر سوراخ‌های دماغه کاهش یافته، اما فشار هوای ورودی ثابت فرض شده است. مشاهده می‌شود که در اثر این تغییرات، فشار بیشینه تنها ۰/۲٪ افزایش یافته است. با افزایش فشار هوای ورودی به ۵ بار فشار بیشینه محفظه احتراق ۲۵ بار (در حدود ۱۵/۳٪) افزایش خواهد یافت که در صورت افزایش قطر دماغه افشانه به ۳ میلی‌متر، فشار بیشینه را در حدود ۸ بار می‌توان کاهش داد (در حدود ۱۰/۴٪ افزایش نسبت به مرحله اول)؛ اما این تنها زمانی مطلوب خواهد بود که هدف، افزایش توان با ثابت نگه داشتن فشار بیشینه محفظه احتراق باشد.

شکل ۷، نمودار فشار محفظه احتراق بر حسب جابجایی سمبه به تصویر کشیده که معرف کار تولید شده است. در این

مرحله اول: اطلاعات این مرحله متعلق به شرایط اولیه

موتور است (حالتی که موتور بدون تغییر بر روی هیچ یک از سامانه‌های آن کار می‌کند) و هر گونه تغییر در مراحل بعدی نسبت به این مرحله مقایسه می‌شود تا مشخص شود با تغییر هر متغیر، چه تغییراتی نسبت به حالت اولیه انجام شده است. با توجه به این که هدف اصلی ارتقاء توان و در پی آن تا حد امکان پایش سطح آلاینده‌گی است، بنابراین در مراحل بعد افزایش مقدار سوخت پاشش شده به یک مقدار مشخص در نظر گرفته شده است.

مرحله دوم: در این مرحله، اثر قانون پاشش سوخت (تغییر نیمرخ پاشش سوخت از حالت شبه مثلثی به مستطیلی) به همراه افزایش مقدار سوخت پاشش شده و قطر سوراخ‌های دماغه بررسی می‌شود؛ در حالی که فشار هوای ورودی ثابت فرض شده است.

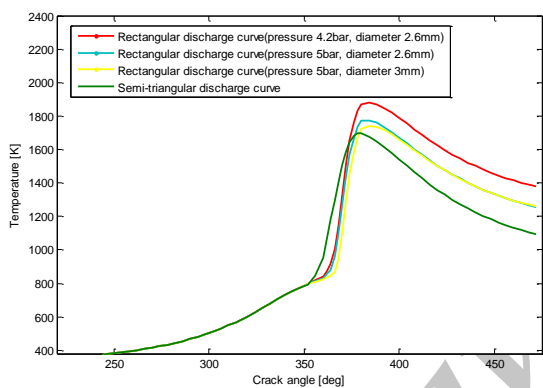
مرحله سوم: تأثیر افزایش فشار هوای ورودی را نسبت به مرحله دوم روی عوامل احتراق نشان می‌دهد.

مرحله چهارم: تأثیر قطر سوراخ‌های دماغه را در حالی که فشار هوای ورودی افزایش یافته و قانون پاشش سوخت مستطیلی است، نشان می‌دهد.

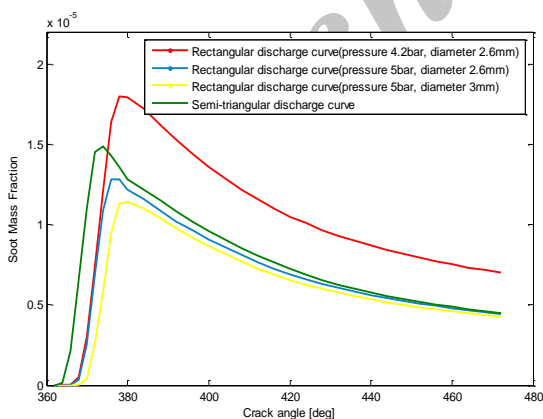
مقدار کمی افزایش و یا کاهش هر متغیر در تمام چهار مرحله به طور کامل در جدول ۶ ارائه شده است.

پس از شبیه‌سازی براساس تغییرات ارائه شده و استخراج نتایج، به بررسی و مقایسه نتایج مراحل مختلف پرداخته می‌شود. شکل ۵، قانون پاشش سوخت را برای دو حالت شبه مثلثی با مقدار سوخت پاشش شده ۱۳۹ میلی گرم (شرایط اولیه کاری موتور) و مستطیلی با مقدار سوخت پاشش شده ۱۹۶ میلی گرم به تصویر کشیده شده است. مهمترین ویژگی قانون پاشش سوخت مستطیلی نسبت به شبه مثلثی، توزیع یکنواخت سوخت در طول دوره پاشش سوخت و مهار عوامل احتراقی بویژه فشار محفظه احتراق است.

در شکل‌های ۹ و ۱۰ بترتیب، نمودارهای آلاینده‌گی دوده و اکسید نیتروژن بر حسب زاویه میل لنگ نشان داده شده است. در هر دو نمودار، تأثیر افزایش فشار هوای ورودی بر پایش آلاینده‌گی کاملاً مشهود است. به طوری که اگر افزایش هوای ورودی اتفاق افتد، حتی کاهش آلاینده‌گی دوده دیده خواهد شد که برای مراحل سوم و چهارم بترتیب، $14/6\%$ و 24% خواهد بود. در زمینه آلاینده‌گی مونوکسید نیتروژن نیز برای مرحله سوم، 9% افزایش و برای مرحله چهارم، 9.6% کاهش اتفاق افتاده است؛ در حالی که اگر فشار هوای ورودی افزایش نیابد (مرحله دوم)، در سطح آلاینده‌گی افزایش چشم گیری رخ خواهد داد که برای آلاینده‌گی دوده و اکسید نیتروژن بترتیب، $16/6\%$ و 27% خواهد بود.



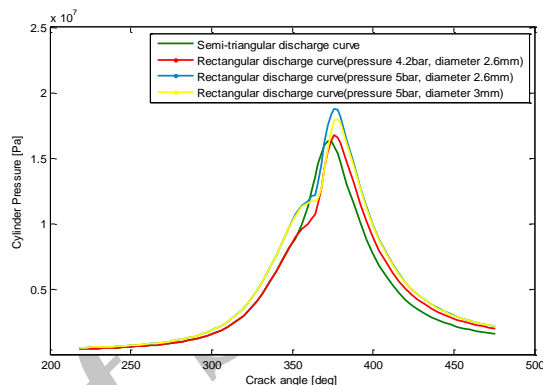
شکل ۸- دمای بیشینه محفظه احتراق برای مراحل مختلف



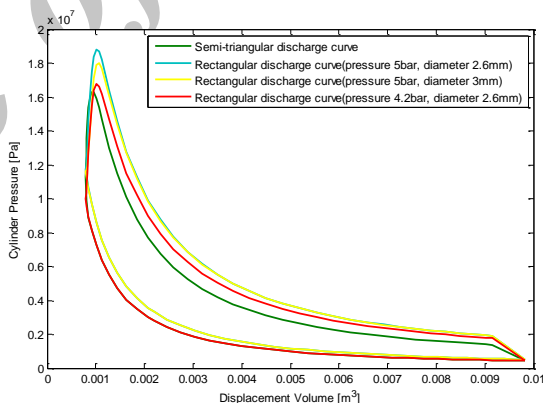
شکل ۹- آلاینده‌گی دوده تولید شده در مراحل مختلف

در جدول ۷ نیز، نتایج متعلق به شبیه‌سازی برای تمام گام‌های اول تا چهارم ارائه شده است.

شکل مشخص است که با اعمال تغییرات ذکر شده، مساحت سطح محصور داخل منحنی افزایش یافته که نشان دهنده افزایش کار و توان است. در واقع با اعمال برنامه‌ای که در مراحل دوم، سوم و چهارم تعریف شده، امکان افزایش توان بترتیب به مقدار، 21% ، 26% و 24% نسبت به حالت اولیه محقق خواهد شد.



شکل ۶- فشار بیشینه محفظه احتراق برای مراحل مختلف



شکل ۷- معیار توان داخلی برای مراحل مختلف

شکل ۸، نمودار دمای محفظه احتراق را بر حسب زاویه میل لنگ به تصویر کشیده است. این نمودار نشان می‌دهد، زمانی که اگر قانون پاشش سوخت مستطیلی شود و در پی آن با هدف افزایش توان مقدار سوخت پاشش شده افزایش و قطر سوراخ‌های دماغه کاهش یابند، دمای بیشینه محفظه احتراق در حدود 9% افزایش (متعلق به مرحله دوم) خواهد یافت که تأثیر بسزایی بر افزایش آلاینده‌گی خواهد داشت. برای مراحل سوم و چهارم بترتیب، $4/1\%$ و $2/3\%$ افزایش مشاهده می‌شود.

جدول ۷- تشریح مراحل مورد استفاده در شبیه‌سازی

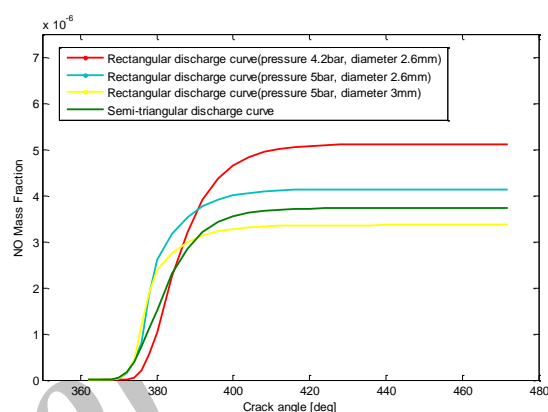
مرحله	توان داخلی (اسب بخار)	فشار بیشینه محفظه احتراق (بار)	دمای بیشینه محفظه احتراق (کلوین)	کسر جرمی مونو کسید نیتروژن	کسر جرمی دوده
۱	۳۸۷۸	۱۶۳.۵	۱۷۰۰	۳/۷۳	۱.۵
۲	۴۹۲۶	۱۶۷	۱۸۷۰	۵/۱۱	۱.۸
۳	۵۲۱۵	۱۸۸	۱۷۷۳	۴/۱۴	۱.۲۸
۴	۵۰۹۸	۱۸۰	۱۷۴۲	۳/۳۷	۱.۱۴

است. از اینرو این حالت هم اساس فرایند صحت‌گذاری و هم مبنایی برای مقایسه تغییرات سه مرحله دیگر قرار گرفته است.

مرحله دوم: با تغییر قانون پاشش سوخت به حالت مستطیلی و همچنین افزایش مقدار سوخت پاشش شده و کاهش قطر سوراخ‌های دماغه همراه بوده است، درحالی که فشار هوای ورودی ثابت در نظر گرفته شده است. در این مرحله، ارتقاء توان در حدود ۲۱٪ حاصل شده است، اما آلاینده دوده و مونوکسید نیتروژن بترتیب، ۱۶/۶٪ و ۲۷٪ افزایش یافته‌اند. در این مرحله، فشار بیشینه محفظه احتراق ۰.۲٪ افزایش یافته است.

در مرحله سوم به منظور پایش عوامل آلاینده‌گی، مقدار فشار هوای ورودی نسبت به حالت دوم افزایش یافته است. در این حالت، ۲۶٪ ارتقاء توان اتفاق افتاده است، دوده ۱۴/۶٪ کاهش و مونوکسید نیتروژن ۹٪ افزایش داشته است؛ اما فشار بیشینه محفظه احتراق در حدود ۱۵/۳٪ افزایش یافته است. در مرحله چهارم به منظور پایش فشار بیشینه و به تبع آن فرایند کوبش در محفظه احتراق، تنها یک تغییر نسبت به حالت سوم اتفاق افتاده که آن افزایش قطر سوراخ‌های دماغه بوده است. با توجه به این تغییر افزایش فشار بیشینه محفظه احتراق تنها ۱۰/۴٪ و ارتقاء توان در حدود ۲۴٪ حاصل شده‌اند. از طرفی آلاینده‌گی دوده و مونوکسید نیتروژن بترتیب، ۲۴٪ و ۹/۶٪ کاهش داشته‌اند.

بنابراین ارتقاء توان و همچنین کاهش آلاینده‌گی با توجه به تغییراتی که در مرحله چهارم اعمال شده، قابل دسترسی است، اما فشار بیشینه محفظه احتراق نیز افزایش می‌یابد؛ درحالی که افزایش فشار بیشینه محفظه احتراق برای موتور غیر قابل تحمل باشد و موجب خرابی آن گردد، باید در مقابل از افزایش آلاینده‌گی چشم‌پوشی کرد که در شبیه‌سازی مرحله دوم نتایج آن ارائه شده است.



شکل ۱۰- آلاینده‌گی مونوکسید نیتروژن تولید شده در مراحل مختلف

۷- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، تأثیر عوامل سامانه سوخت‌رسانی و همچنین فشار هوای ورودی روی ارتقاء توان و تغییرات آلاینده‌گی با شبیه‌سازی به روش دینامیک سیالات محاسباتی به کمک نرم افزار AVL-Fire V8.3.1 انجام پذیرفته است.

برای صحت‌گذاری شبیه‌سازی نیز، از آزمون‌های آزمایشگاهی روی موتور مورد مطالعه استفاده شده است. دو عامل فشار بیشینه محفظه احتراق و توان داخلی از فرایند آزمون و شبیه‌سازی استخراج و مقایسه شده‌اند. نتیجه صحت‌گذاری، دقت مناسب شبیه‌سازی را تأیید کرده است. با توجه به اینکه هدف اصلی ارتقاء توان و در پی آن تا حد امکان پایش عوامل آلاینده‌گی است، مراحل شبیه‌سازی در ۴ مرحله تعریف شده‌اند.

مرحله اول: در این مرحله موتور مورد نظر دارای سامانه سوخت‌رسانی تلمبه واحد با قانون پاشش سوخت شبه مثلثی است. در واقع در مرحله اول موتور با شرایطی که در سلول تست مورد آزمایش قرار گرفته در نرم افزار، شبیه‌سازی شده

Turbochargers, paper C34/82. I Mech E London England 123-127.

- [9] Pattas KN, Stamatelos AM (1992) Transient behavior of turbocharged engine vehicles equipped with diesel particulate traps. SAE Pa-per 920361. 532-539.
- [10] Lee CS, Choi NJ (1991) A study on the characteristics of transient response in a turbocharged diesel engine. in: Proc of IPC6.KSAE Seoul Korea 73-80.
- [11] Sik Lee Ch, Jung Choi N (2002) Effect of air injection on the characteristics of transient response in a turbocharged diesel engine. Int J Therm sci 41: 63-71.
- [12] Celikten I (2003) An experimental investigation of the effect of the injection pressure on engine performance and exhaust emission in indirect injection diesel engines. Appl Therm Eng 23(16):2051-2060.
- [13] Emami S, Jafarmadar S (2013) Multidimensional Modeling of the effect fuel injection pressure on temperature distribution in cylinder of a turbocharged DI diesel engine. Propulsion Power Res 2(2):162-175.
- [14] AVL Fire Manual (2004) Fire version 8. Tutorials.
- [15] Reitz RD (1987) Modeling atomization processes in high-pressure vaporizing sprays. Atomization Spray Technol 3:309-337.
- [16] Magnussen BF. The eddy dissipation concept: a bridge between science and technology. In: ECCOMAS thematic conf on comp combustion, Lisbon, Portugal; 20.
- [17] Dukowicz JK (1980) A particle-fluid numerical model for liquid sprays. J Comput Phys 35(2): 229-253.
- [1] Heywood JB (1988) Internal combustion engine fundamentals. 1th edn. McGraw-Hill Inc.
- [2] Papyri F, Desantes JM, Pastor JV (1996) LDV measurements of the flow inside the combustion chamber of a 4-valve D.I. diesel engine with axisymmetric piston bowls. Exp Fluids Springer-Verlag 22: 118-128.
- [3] Justham T, Jarvis S, Clarke A, Garner CP, Hargrave GK, Halliwell NA (2006) Simultaneous study of intake and in-cylinder IC engine flow fields to provide an insight into intake induced cyclic variations. J Phys Confer Ser. Institute of Physics Publishing. 45: 146-153.
- [4] Wu HW, Perng SW (2004) Numerical analysis of thermal turbulent flow in the bowl-in-piston combustion chamber of a motored engine. Int J Therm Sci. 43: 1011-1023.
- [5] Gosman AD (1999) State of the art of multi dimensional modeling of engine reacting flow. Oil Gas Sci Technol Rev IFP 54(2): 149e59.
- [6] Nureddin D, Nuri Y (2007) Numerical simulation of flow and combustion in an axisymmetric internal combustion engine. Proc Word Acad Sci Eng Technol 22: 1307-6884.
- [7] Jemni MA, Kantchev G, Abid MS (2011) Influence of intake manifold design on in-cylinder flow and engine performance in a bus diesel engine converted to LPG gas fuelled using CFD analyses and experimental investigations. Energy Elsevier 36: 2701-2715.
- [8] Nishiguchi F, Sumi Y, Yamane K (1982) Reduction in the polar moment of inertia of an automotive turbocharger by controlling aerodynamic blade loading. in: Proc of Turbocharging and

۸ - مراجع