نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

بررسی تاثیر زمانبندی پاشش سوخت و بازخورانی گازهای اگزوز (**EGR**) بر عملکرد و آلایندگی موتور دیزل پرخوران شده

نویسندگان:

آسو پریخانی [۱*]، آرش محبَی [۲] و صمد جعفرمدار [۳]

۱ و ۲ – به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳- استاد گروه مهندسی مکانیک دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

ایمیل مکاتبه کننده: asoparikhani@gmail.com

چکیده

مدیریت پاشش سوخت که شامل زمانبندی پاشش است، اثر مهمی بر عملکرد موتور به ویژه توان خروجی و شکل گیری آلاینده ها دارد. در این مطالعه از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی AVL Fire برای شبیه سازی تاثیر زمان پاشش سوخت و بازخورانی گازهای اگزوز بر عملکرد و آلایندگی موتور دیزل پرخوران شده، استفاده شده است. در این تحقیق، فرض شده است که موتور در شرایط بار کامل کار می‌کند و سرعت موتور برابر ۲۰۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. برای اعتباردهی، نتایج حاصل از شبیه سازی با داده‌های حاصل از آزمایشات تجربی، مقایسه شده است. در تمام موارد اعتبار سنجی، نتایج تجربی و عددی توافق خوبی را نشان داده‌اند. نتایج نشان میدهد که هر چه زاویهٔ شروع پاشش به مکث بالا نزدیک شود دوده تولید شده افزایش و اکسیدهای ازت کاهش یافته است. همچنین با کاهش پیشرسی تزریق سوخت توان موتور به دلیل کمتر بودن فشار احتراق داخل سیلندر افت خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: موتور دیزل، زمانبندی پاشش، عملکرد، آلایندگی، گازهای بازخورانی شده (EGR)

مقدمه

موتورهای درون سوز همواره به عنوان یکی از اصلی ترین منابع تولید گازهای آلاینده محیط زیست مطرح هستند. با توجه به افزایش شدت محدودیتهای آالایندگی در آینده و کمبود منابع انرژی، سازندگان این موتورها مجبورند تا به طور پیوسته روشهای آماده سازی مخلوط احتراقی را بهبود دهند تا آلاینده های موتور و همچنین مصرف سوخت را کاهش دهند. توجه به این مهم، نیاز به ابزارهای تحلیلی جدیدی در زمینه پدیده احتراق بیش از پیش احساس میشود. یکی از این ابزارهای قدرتمند، دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است که به کمک آن می توان عملکرد موتور را پیش بینی کرد زیرا در موتورهای درونسوز جریان تراکم پذیر، درهم، ناپایدار، تناوبی و پویاست. رفتار فرآیند احتراق به شدت تحت تأثیر جزئیات پاشش سوخت قرار می گیرد که با فرآیند پیچیده ی تبخیر سوخت و جریان متراکم دو فازی همراه است.

یکی از راه های افزایش توان و کاهش دوده در موتور دیزلی به جلو انداختن زمان پاشش سوخت است اما این موضوع باعث افزایش آلاینده NOx می شود که با استفاده از بازخوزانی گازهای اگزوز قابل کنترل می باشد.

پترسون و همکارانش در سال ۱۹۹۴ کد سه بعدی KIVA-II را پس از انجام اصلاحاتی روی آن، برای مطالعه اثر زمانبندی تزریق، فشار آن و تزریق چندمرحله ای بکار بردند(پترسون و همکاران).

تحقیقات بسیاری در زمینهٔ بررسی اثر شکل و زمانبندی پاشش در انواع موتورهای دیزل انجام شده است. ویکمن تأثیر فشار قوی پاشش و شکل پاشش را بررسی کرد و نتیجه گرفت که شکل پاشش نزولی قابلیت کاهش شکل گیری دوده را دارا میباشد(ویچمن و همکاران).

هاسبرگ و همکارانش در سال ۲۰۰۸ بهصورت تجربی و عددی با استفاده از کد دینامیک سیالات محاسباتی STAR-CD، تأثیر پیشپاشش را بر روی آلایندگی بررسی و موفق به کاهش همزمان اکسیدهای نیتروژن و دوده شدند.

طبق تحقیقات جعفر مدار و همکاران بر روی تاثیر EGR و عایق کاری محفظه‌ی احتراق موتور Caterpillar 3401 DI Deisel Engine با نرم افزار AVL FIRE، عایق کاری محفظه‌ی احتراق باعث بهبود پارامترهای عملکردی موتور می‌شود. ایجاد سلول هوایی (Air- cell) باعث کاهش دوده و EGR باعث کاهش NOx شده است.

جین کوزاکا تاثیر EGR گرم را بر روی تولید NOx یک موتور دیزلی دوگا نه سوز (گاز طبیعی و سوخت دیزل معمولی) با نرم افزار CVIA-3 بررسی نمود. نتیجه این تحقیقات نشان می‌هد که دمای بالای EGR باعث افزایش NOx به دلیل بالا بردن دمای اوج احتراق می شود. اما با کاهش دمای EGR و افزودن آن به مخلوط پیش آمیخته‌ی درون مانیفولد ورودی، تولید آلاینده‌ی NOx بهبود داشته است.

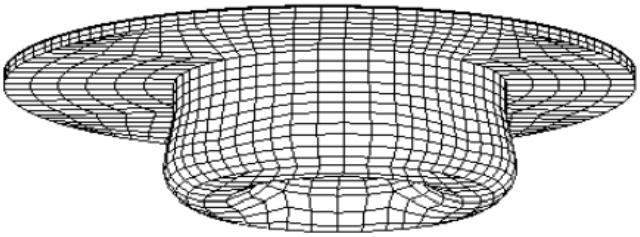
با توجه به پرهزینه و زمانبر بودن انجام آزمایشهای تجربی بر روی موتور، استفاده از روشهای عددی راه حلی مناسب برای حذف این مشکلات و پاسخگویی سریعتر به مسائل طراحی میباشد. در این میان روشهای دینامیک سیالاتی علاوه بر کمک به درک جزئیات بیشتری از جریان پیچیدهٔ احتراق داخل سیلندر و کمک به بهینه کردن طرح اولیه، میتوانند تأثیر قابل ملاحظهای در کاهش زمان و هزینههای انجام آزمایشها داشته باشد.

با توجه به اینکه در کارهای گذشته بررسی جامعی از تاثیر همزمان دما و مقدار گاز بازخورانی شده در کنار زمانبندی پاشش انجام نشده است تا بتوان تأثیر آنها را در کنار هم مشاهده کرد، در این تحقیق، علاوه بر زمان تزریق سوخت تاثیر یازخورانی گازهای اگزور بر احتراق و شکل گیری آلایندهها در موتور دیزل بررسی شده است. برای شبیه سازی فرایند احتراق از کد محاسباتی FIRE استفاده شده است. برای صحه گذاری، از داده های تجربی استفاده شده است. موتور مورد بررسی در این تحقیق، موتور دیزل نیمه سنگین پرخوران شده ساخت شرکت موتور سازان که بر روی تراکتورهای کشاورزی سری ITM 800 و ITM 299 نصب می شود انجام گرفت [جدول ۱].

مواد و روش‌ها

برای انجام شبیه سازی و ایجاد شبکه سه بعدی مدل، ابتدا هندسه کاسه پیستون در محیط CATIA کشیده شده و بعد به کمک نرم افزار GAMBIT به صورت اولیه مش بندی شده سپس این کاسه پیستون در نرم‌افزار با فرمت flm فراخوانی

شده و فرآیند تولید شبکه بر روی آن اعمال می‌شود. با توجه به این که کاسه پیستون این موتور نامتقارن می‌باشد، لذا شبکه سه بعدی ایجاد شده به صورت ۳۶۰ درجه حول محور عمودی سیلندر می‌باشد. در شکل ۱ کاسه پیستون در نقطه مرگ بالا نشان داده شده است.



شکل ۱- مش سه بعدی محفظه‌ی احتراق در TDC

شرح مدل

در این شبیه سازی، سرسیلندر به عنوان مرز ثابت و دیواره سیلندر و پیستون به عنوان یک مرز متحرک تعریف شده است. شکل ۱ شبکه ایجاد شده از محفظه احتراق توسط نرم افزار FIRE که به صورت یک شبکه متحرک تعریف شده است این شبکه شامل ۲۵۸۲۵ سلول در BTC و ۸۵۴۸ سلول در TDC می باشد. در مدل سازی عددی، یکی از پارامترهای مهم بررسی استقلال از شبکه‌ی محاسبات می باشد. جهت بررسی این مسئله ۱۴۳۰۸، ۲۵۸۲۵ و ۴۸۲۵۰ سلول برای محفظه در نظر گرفته شد. معیار استقلال حل از شبکه، حداکثر فشار احتراق است. با توجه به زمان انجام محاسبات و دقت شبیه‌سازی از ۲۵۸۲۵ سلول استفاده شد. معادلات جریان از بسته شدن سوپاپ هوا تا باز شدن سوپاپ دود (سیکل بسته)، با استفاده از کد دینامیک سیالات محاسباتی AVL FIRE حل شد.

فرایند احتراق توسط مدل احتراقی Eddy Break-up مدل شده است. در مدل احتراقی Eddy Break-up، فرض بر این بوده که واکنشگرها و محصولات احتراق شامل گردابه های مجزا از یکدیگر می باشند. با این فرض، مقیاس زمانی واکنش شیمیایی در مقایسه با مقیاس زمانی پدیده انتقال بسیار کوتاه‌تر خواهد بود. بنابراین فرایند احتراق توسط یک اختلاط توربولانس در جبهه شعله کنترل خواهد شد (یاکسین سیو و همکاران). مدل تزریق استفاده شده در این تحقیق مدل wave است (ریتز و همکاران) که در شبیه سازی تزریق سوخت بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. مقدار ثابت $C_2 = 12$ قرارداده شد. الگوی برخورد سوخت به دیواره محفظه‌ی احتراق توسط مدل walljet1 مدل شد در الگوی به کار گرفته شده، فواره قطرات مایع سوخت بعد از برخورد با دیواره یکی از دو پیامد جهش یا انعکاس را تجربه می‌کنند که معیار بین این دو وضعیت با عدد وبر بحرانی مشخص می‌شود که عدد ۸۰ در نظر گرفته می‌شود.

مدل تشکیل NOx در FIRE، شکل گیری NOx حرارتی مطابق با مکانیسم زلدوویچ است که بر پایه فرض تعادل شیمیایی قرار داده می‌شود، بدین معنی که تنها نیتروژن اتمی به عنوان یک گونه متوسط اضافی تخمین زده شده است. چون تمرکز

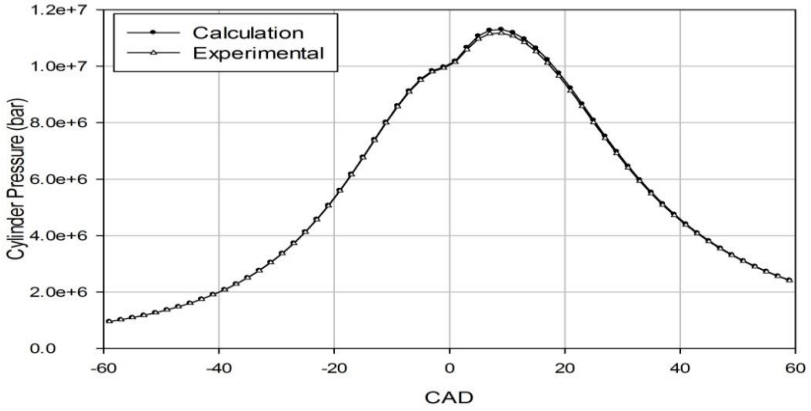
این گونه بستگی به سینتیک اکسایش هیدروکربن ندارد. شکل گیری NOx حرارتی می تواند توسط ادامه گام های واکنش توصیف شود، که معمولاً به عنوان مکانیسم توسعه یافته زلدوویچ شناخته می شود برای فرایند تشکیل و اکسایش دوده از مدل تشکیل دوده Kennedy–Hiroyasu–Magnussen استفاده شد (کندی).

جدول ۱- مشخصات موتور

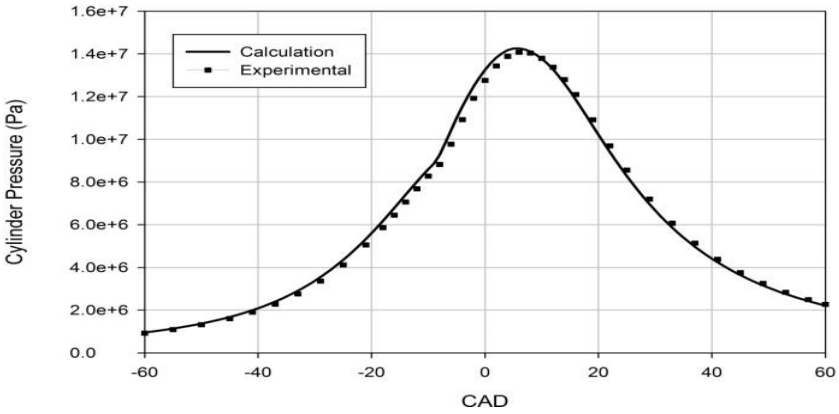
مدل	MT 4-244 PERKINS
نوع موتور	چهار زمانه تزریق مستقیم
قطر پیستون	۱۰۰میلی‌متر
کورس پیستون	۱۲۷ میلی‌متر
حداکثر توان	۸۲ اسب بخار در ۲۰۰۰ دور بر دقیقه
نسبت تراکم	۱۷,۵
تعداد سوراخ انژکتور	۴
آوانس تزریق سوخت	۵ درجه گردش میل لنگ

اعتبار سنجی مدل

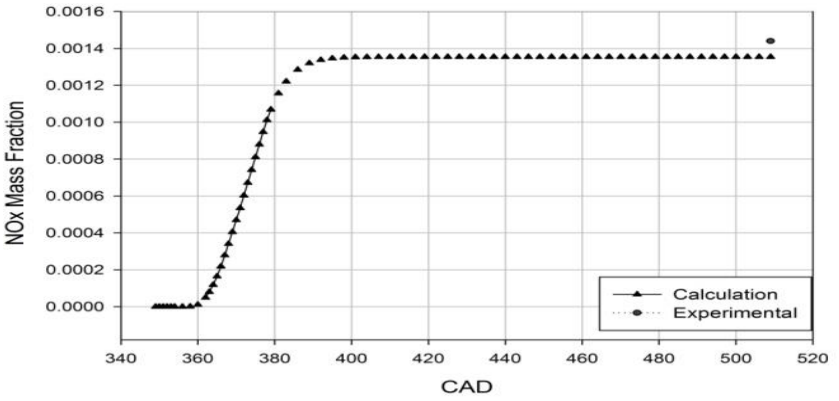
برای بررسی اعتبار و دقت مدل، داده‌های فشار مدل با مقادیر تجربی آن مورد مقایسه قرار گرفت که در شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ مشاهده می‌گردد. نتایج شبیه سازی تطابق خوبی با نتایج تجربی دارد که نشان دهنده دقت شبیه سازی است.



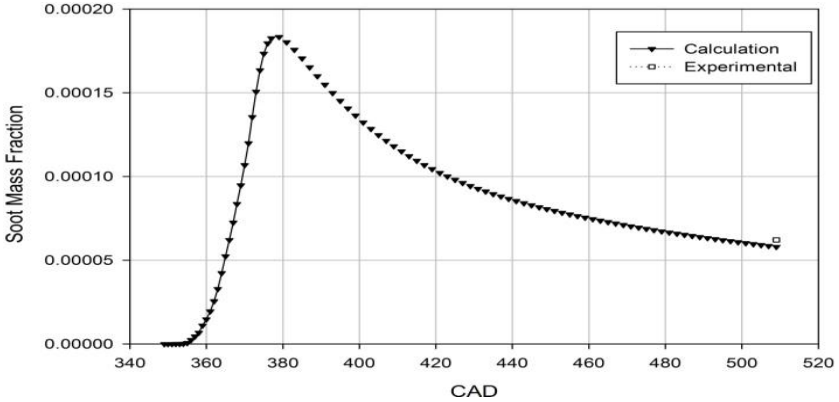
شکل ۲- مقایسه شبیه‌سازی و تجربی فشار داخل سیلندر در حالت بدون EGR در پاشش سوخت ۵- درجه میل‌لنگ



شکل ۳- مقایسه شبیه‌سازی و تجربی فشار داخل سیلندر در حالت بدون EGR در پاشش سوخت ۱۲- درجه میل‌لنگ



شکل ۴- مقایسه نتایج شبه سازی و تجربی تولید NOx.



شکل ۵- مقایسه نتایج شبیه سازی و تجربی تولید دوده

نتایج و بحث

تاثیر زمان پاشش سوخت بر عملکرد و آلایندگی

در این بخش به بررسی تأثیر زمانبندی پاشش سوخت (زمان شروع پاشش سوخت) بر احتراق، عملکرد و آلایندگی می-پردازیم. برای این منظور دو زمانبندی مختلف برای تزریق سوخت، برابر با ۵ و ۱۲ درجه قبل از نقطه مرگ بالا بررسی می-

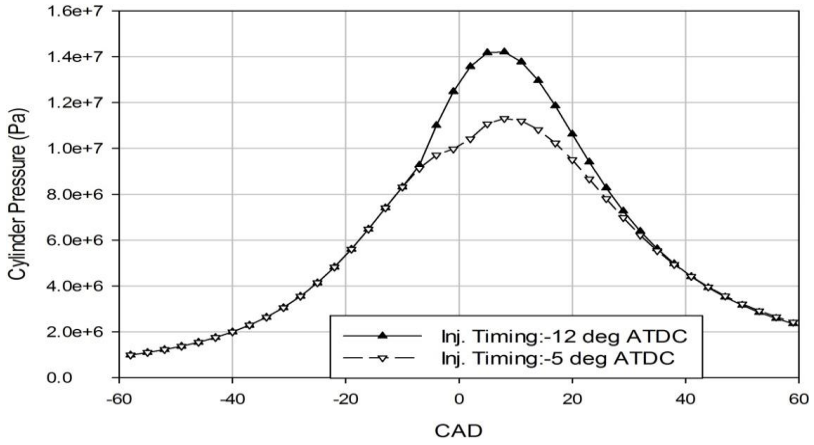
گردد. لازم به یادآوری است که دبی و طول پاشش سوخت در تمام حالات مساوی و برابر با حالت پایه در نظر گرفته می-شود و سایر مشخصات موتور بدون تغییر می‌ماند. جدول۲، تاثیر تغییر زمان پیشرسی تزریق سوخت را بر روی شاخص‌های عملکرد و مقدار انتشار آلاینده‌های موتور در شرایط بیشینه توان و سرعت ارزیابی شده، نشان می‌دهد.

جدول ۲- تاثیر پیشرسی تزریق سوخت بر روی عملکرد و آلایندگی موتور در بیشینه توان و سرعت ۲۰۰۰rpm

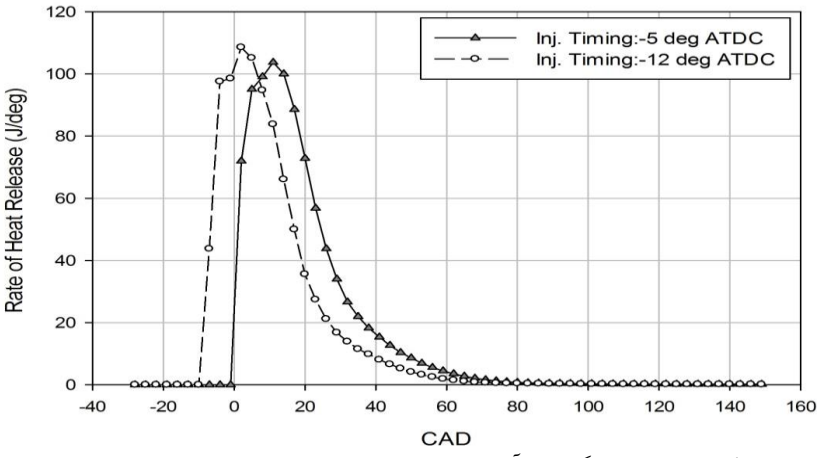
پیشرسی تزریق سوخت (CA)°	گشتاور موتور (Nm)	توان موتور (KW)	BSFC gr/kw-) (hr	بازده حرارتی (٪)	Soot gr/kw-) (hr	NOx gr/kw-) (hr
۵	۳۱۰/۴	۶۵	۲۴۰	۳۵/۲	۰/۴۳۶	۵/۳۶
۱۲	۳۲۹/۵	۶۹	۲۲۶	۳۷/۳	۰/۳۹۲	۱۰/۲۲

همان‌گونه که از داده‌های جدول مشاهده می شود، با افزایش پیشرسی تزریق از ۵°CA BTDC به ۱۲°CA BTDC، گشتاور و توان ترمزی موتور به میزان ۶/۱۵ درصد افزایش یافته و در همین حال، مقدار BSFC در حدود ۶/۲ درصد کاهش و بازده حرارتی ترمزی موتور نیز به میزان ۶ درصد افزایش نشان می‌دهد. علت این امر، انجام زودتر تمامی فرایندهای احتراق و نزدیکی اوج فشار سیلندر به TDC و بنابراین افزایش مقدار آن خواهد بود. با زیاد شدن فشار اوج سیلندر، دمای اوج گازهای درون سیلندر نیز افزایش یافته و باعث افزایش اکسیداسیون دوده (کاهش دوده) و افزایش مقدار انتشار آلاینده NOx خواهد بود.

شکل های ۶ و ۷ به ترتیب نتایج مدل برای تغییرات فشار داخل سیلندر و نرخ آزادسازی حرارت برحسب درجه میل لنگ را در زمانبندی های مختلف پاشش سوخت نشان می دهند. نتایج بدست آمده برای فشار نشان می‌دهد که به پیش انداختن زمان پاشش سوخت منجر به افزایش در مقدار بیشینه فشار و نرخ افزایش آن می‌گردد و هرچه زمان پاشش سوخت به تعویق انداخته شد، و باعث کاهش بیشینه فشار می‌شود. به جلو کشیدن زمانبندی پاشش سوخت سبب افزایش زمان تأخیر در اشتعال و افزایش تشکیل مخلوط سوخت و هوا در این تأخیر می گردد و هرچه سوخت دیرتر پاشیده شود زمان تأخیر در اشتعال کمتر شده و تشکیل مخلوط سوخت و هوا کاهش می‌یابد. بنابراین همانطور که در شکل ۷ مشهود است، احتراق پیش آمیخته با به پیش انداختن زمان تزریق زودتر آغاز شده و افزایش زیادی می‌یابد.

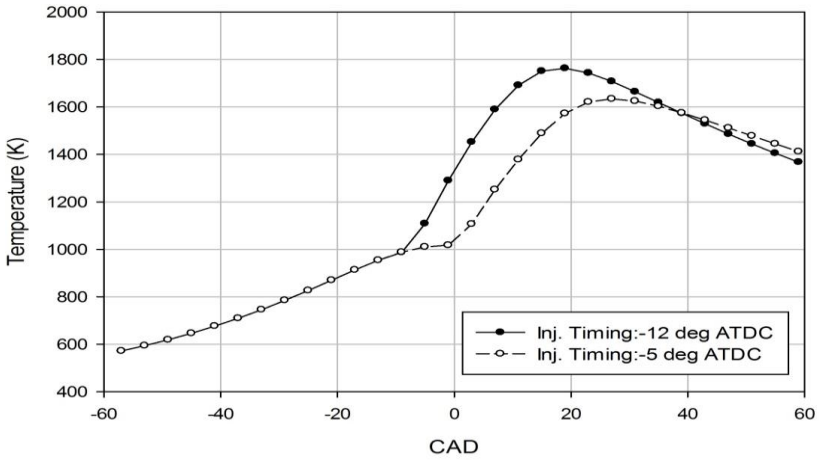


شکل ۶- منحنی فشار داخل سیلندر در دو حالت زمان‌بندی تزریق سوخت



شکل ۷- منحنی گرمای آزاد شده در دو حالت زمان‌بندی تزریق سوخت

شکل ۸ متوسط دمای داخل سیلندر را برای زمانبندی‌های مختلف تزریق سوخت نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود، به پیش انداختن زمان تزریق سبب می‌شود تا پاشش سوخت در دماهای کمتری صورت بگیرد و دمای محفظه زودتر و با نرخ بیشتری شروع به افزایش می‌کند. این موضوع به دلیل پاشش زودتر سوخت می‌باشد که سبب می‌شود با وجود زمان تأخیر در اشتعال طولانی‌تر، احتراق پس از رسیدن به دمای خود اشتعالی به یکباره آغاز گردد. ولی در ادامه به خاطر اختلاط بهتر سوخت و هوا حرارت جذب شده از جریان بیشتر می‌شود و دمای خروجی کاهش می‌یابد.



شکل ۸– منحنی دمای داخل سیلندر در دو حالت زمان‌بندی تزریق سوخت

با توجه به جدول ۲ تغییرات میزان NOx، هنگامیکه زمانبندی تزریق به جلو کشیده می‌شود، مخلوط داخل محفظه زمان بیشتری را در مجاورت دماهای بالاتر قرار می‌گیرد که سبب افزایش تولید این آلاینده می‌گردد. بنابراین بعلت نرخ احتراق پیش آمیخته بیشتر و دمای بالاتر که بعلت افزایش تشکیل مخلوط سوخت و هوا در زمانبندی به جلو کشیده پاشش سوخت صورت می‌پذیرد میزان تشکیل این آلاینده زیاد می‌گردد. و با به تأخیر انداختن پاشش سوخت به خاطر دمای متوسط پایین‌تر داخل محفظه احتراق، NOx کمتری تولید می‌شود .

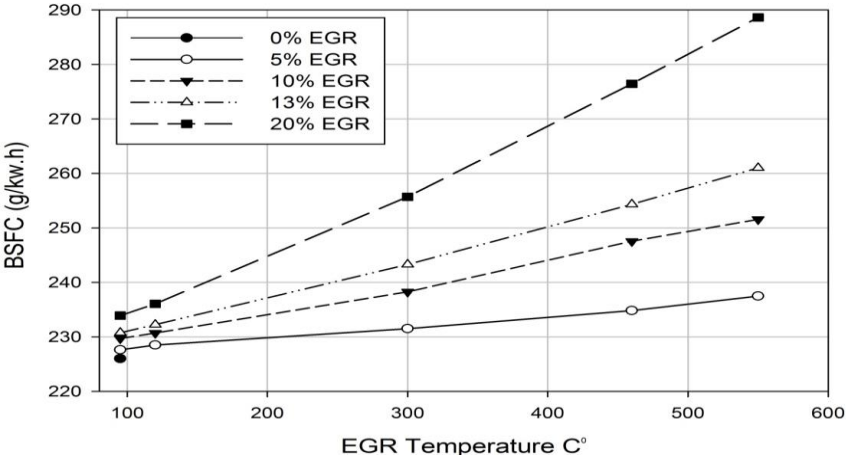
همچنین تغییرات میزان soot، هر چه سوخت زودتر پاشیده شود به دلیل زمان تأخیر در اشتعال بیشتر و افزایش تشکیل مخلوط سوخت و هوا، نرخ احتراق پیش آمیخته بیشتر و دمای متوسط داخل سیلندر افزایش می‌یابد در نتیجه میزان تشکیل soot کاهش می‌یابد و به خاطر اختلاط بهتر سوخت و هوا در داخل محفظه، soot تشکیل شده بیشتر اکسید می‌شود و soot در خروجی کمتر خواهد بود. ولی هرچه سوخت دیرتر پاشیده شود زمان تأخیر در اشتعال و تشکیل مخلوط سوخت و هوا کمتر شده و دمای متوسط داخل سیلندر نیز کاهش می‌یابد. بنابراین soot که در دماهای میانی تشکیل می‌شود، افزایش می‌یابد و به خاطر نرخ اکسایش کمتر soot در خروجی این آلاینده افزایش می‌یابد.

تاثیر EGR بر روی عملکرد موتور

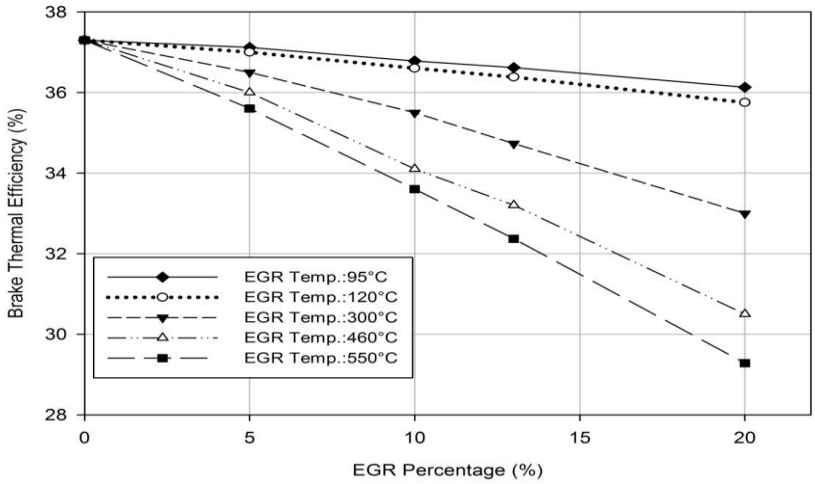
همان گونه که انتظار می‌رود، استفاده از EGR گرم، اثر منفی بر روی مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور و بازده حرارتی ترمزی آن دارد. بدین منظور تاثیر مقادیر مختلف EGR با دماهای متفاوت بر روی این دو شاخص عملکردی، در بیشینه توان و دور ارزیابی شده، بررسی شد که نتایج آن در شکل های ۹ و ۱۰ ارائه گردیده است. همان گونه که

مشاهده می‌شود، مقدار BSFC با افزایش EGR، افزایش یافته و در حالت EGR با دمای بالاتر، این امر باعث کاهش قابل ملاحظه بازده حرارتی ترمزی موتور با شیب بیشتری است، در حالی که روند این کاهش برای EGR با دمای ۱۲۰ و ۹۵ درجه سلسیوس دارای شیب ملایم‌تری است. همچنین مصرف سوخت ویژه بدلیل بالاتر بودن میزان و شدت سوختن در مرحله اول احتراق (احتراق در حجم ثابت) و بازده گرمایی بالاتر در EGR سرد، کاهش می‌یابد. بنابراین با کاهش دمای

جریان ورودی به داخل سیلندر در EGR سرد و افزایش هواپذیری موتور، کارایی آن بهبود می یابد علت اصلی کاهش بازده حرارتی کاهش مقدار اکسیژن موجود در مخلوط ورودی موتور بر اثر پدیده خفانش گرمایی است که مستقیما بر روی آهنگ احتراق سوخت تاثیر منفی داشته و این امر موجب به تاخیر افتادن کل فرایند احتراق و در نتیجه کاهش بازده حرارتی موتور به ویژه در حالت EGR گرم می‌شود. به دلیل کاهش فشار احتراق کار انجام شده روی یافت است.



شکل ۹- تاثیر دما و مقدار EGR بر روی مصرف سوخت ویژه

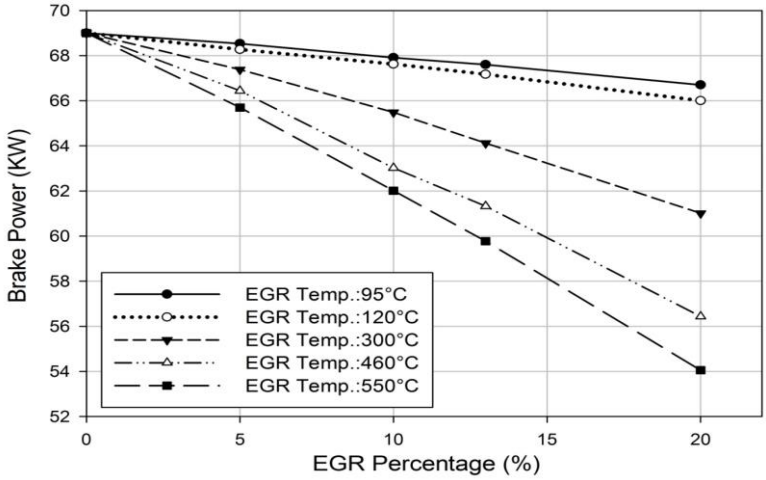


شکل ۱۰- تاثیر دما و مقدار EGR بر روی بازده حرارتی ترمزی

همانطور که در شکل ۱۱ دیده می‌شود در حالت استفاده از EGR توان اندیکه با کاربرد EGR سرد افزایش می‌یابد زیرا مقدار متوسط فشار داخل سیلندر در EGR سرد بیشتر از EGR گرم می‌باشد. در نتیجه کار انجام شده در هر چرخه

بیشتر می‌شود. فشار مؤثر متوسط اندیکه نیز با افزایش فشار ناشی از EGR سرد، افزایش می‌یابد. با این توصیف با افزایش مقدار EGR و دمای آن، گشتاور موتور و در نتیجه توان ترمزی آن به طور قابل ملاحظه‌ای، کاهش می‌یابد. بنابراین بکارگیری EGR سرد نسبت به EGR گرم به خاطر افزایش بازده حجمی موتور و در نتیجه بیشتر شدن اکسیژن ورودی موتور تا حدودی باعث بهبود توان ترمزی آن می‌شود. از طرفی دیگر، با افزایش مقدار EGR به ویژه با دمای بالا، به خاطر

کاهش جرم ورودی، اندکی از فشار تراکم موتور کاسته می‌شود که این نیز عامل مهمی برای کاهش گشتاور و به تبع آن توان ترمزی موتور است.



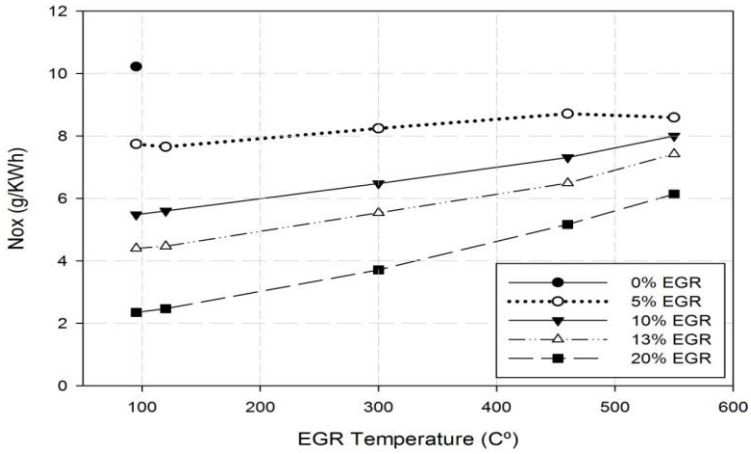
شکل ۱۱- تاثیر دما و مقدار EGR بر روی توان ترمزی موتور

تاثیر EGR بر تولید آلاینده ها

همان گونه که پیشتر نیز اشاره شد، بکارگیری EGR روش مناسبی برای کاهش آلاینده NOx است به ویژه هنگامی که زمان پیشرسی تزریق سوخت برای بهبود شاخص‌های عملکردی موتور، افزایش داده شده باشد. با افزایش مقدار پیشرسی تزریق سوخت، مقدار تولید NOx بیشتر خواهد شد زیرا دما و فشار بالای گازهای درون سیلندر در حضور اکسیژن زیاد، مهم‌ترین عوامل افزایش تولید NOx هستند و چون با افزایش پیشرسی تزریق سوخت، اوج فشار احتراق به مراحل ابتدایی فرایند انبساط نزدیکتر می‌گردد بنابراین احتراق پیش‌آمیخته با آهنگ بالاتری انجام گرفته و باعث افزایش دمای گازهای پشت جبهه شعله و تولید NOx می گردد. مضافا این که، افزایش مقدار EGR ورودی در یک زمان تزریق سوخت معین، باعث کاهش تولید NOx شده است (شکل۱۲). علت این کاهش، پایین بودن اوج فشار گازهای درون سیلندر، کم بودن مقدار اوج گرمای آزاد شده و دمای منطقه شعله، به هنگام بکار گیری EGR است. این امر عمدتا ناشی از اثر رقیق سازی EGR است که باعث کاهش اکسیژن قابل دسترس در مخلوط سوخت و هوای درون محفظه احتراق شده، بنابراین موجب گسترش بیشتر منطقه شعله برای جستجوی اکسیژن لازم و کافی برای ادامه احتراق می‌شود. این گسترش منطقه شعله باعث تماس بیشتر شعله با گازهای درون محفظه احتراق شده در نتیجه، مقداری انتقال حرارت را از این منطقه به سایر نواحی محفظه احتراق بدنبال داشته و باعث کاهش دمای شعله می‌شود. علاوه بر این اثرات گرمایی و شیمیایی EGR نیز باعث کاهش دمای گازهای درون محفظه احتراق می‌شود و این موارد نیز دلایل

مضاعفی برای کاهش انتشار NOx به هنگام بکار گیری EGR هستند. با افزایش مقدار EGR در هر حالتی، باعث کاهش تولید NOx می‌شود اما با افزایش دمای EGR تاثیر آن بر کاهش NOx تقلیل می‌یابد و این به دلیل بالا بردن دما اوج احتراق است. با این حال اثر خفانش گرمایی EGR گرم بیشتر است. به همین دلیل با وجود بالا بردن دمای احتراق، باعث کاهش

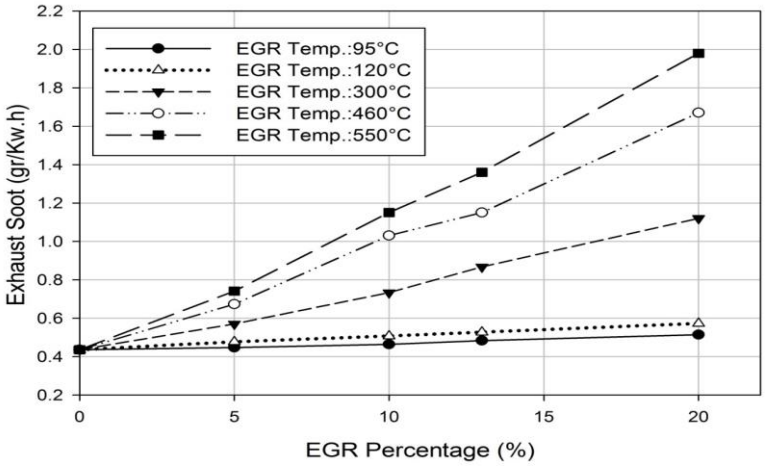
NOx شده است. اما تاثیر EGR سرد بر کاهش NOx بسیار بیشتر است. و آن به دلیل کاهش دمای اوج احتراق است. زیرا ظرفیت گرمایی ویژه EGR سرد نسبت به EGR گرم بیشتر است.



شکل ۱۲– تاثیر مقدار و دمای EGR بر تولید آلاینده Nox

همان گونه که در شکل ۱۳ نشان داده شده است. EGR باعث افزایش سطح انتشار soot می‌گردد. افزایش مقدار EGR، انتشار مقدار بیشتری از دوده را به همراه دارد. این امر عمدتا ناشی ازکاهش نسبت هوا به سوخت به هنگام بکارگیری EGR است که باعث کاهش اکسیژن لازم برای فرایند اکسیداسیون دوده‌ی تشکیل شده در طی فرایند احتراق می‌شود. افزایش دمای EGR نیز باعث افزایش مقدار انتشار آلاینده دوده شده است که علت آن، کاهش مقدار اکسیژن موجود ناشی از اثر خفانش گرمایی در طی انجام اکسیداسیون دوده بوده است. بنابراین آشکار است که هنگام استفاده از EGR با دمای بالاتر، اکسیداسیون دوده در طی مرحله انبساط، به دلیل کمبود اکسیژن، زودتر متوقف می‌گردد و این مورد، توجیه کننده اثر منفی افزایش دمای EGR بر روی انتشار دوده می‌باشد.

EGR با دمای پایین‌تر به دلیل تاثیر کمتر در بالا بردن دمای هوای ورودی به محفظه‌ی احتراق، پدیده خفانش گرمایی کمتری نسبت به EGR گرم دارد بنابراین سطح انتشار دوده در دمای ۹۵ و ۱۲۰ درجه سلسیوس تقریبا در هر مقداری ثابت بوده است.



شکل ۱۳- تاثیر مقدار و دمای EGR بر تولید دوده

نتیجه‌گیری

استفاده از EGR، اثر منفی بر روی مصرف سوخت ویژه ترمزی، بازده حرارتی و توان ترمزی موتور داشته اما این اثرات منفی در حالت استفاده از EGR سرد کمتر بوده است.

در یک فشار تقویتی پرخورانی معین، اضافه شدن EGR به هوای ورودی موتور، نسبت هوا به سوخت و بنابراین اکسیژن قابل دسترس برای احتراق را کاهش می‌دهد. این امر عمدتا ناشی از اثر خفانش گرمایی مخلوط ورودی است. این اثر عامل مهمی در کاهش پیشرفت کل فرایند احتراق است. با افزایش مقدار EGR، تاخیر در اشتعال افزایش یافته و منجر به احتراق دیرتر می گردد. نتیجه این امر، کاهش فشار و اوج آهنگ گرمای آزاد شده خواهد بود. البته بکارگیری EGR سرد نسبت به گرم، اثر خفانش گرمایی مخلوط ورودی موتور را کاهش می دهد.

اگر چه EGR، به واسطه‌ی کاهش مقدار اوج فشار و دمای گازهای درون سیلندر، روش موثری در کاهش انتشار آلاینده NOx است ولی در این میان، اثرات متقابلی وجود داشته که نشان دهنده افزایش مقادیر BSFC و آلاینده دوده، ناشی از کاهش غلظت اکسیژن در مخلوط ورودی به موتور می باشد. EGR سرد تا حدودی غلظت اکسیژن را بهبود بخشیده و بنابراین باعث کاهش اثرات متقابل بین NOx-Soot و NOx-BSFC خواهد شد. EGR سرد موثرتر از EGR گرم بوده و باعث بهبود عملکرد و کاهش آلاینده‌های موتور می شود.

بنابراین استفاده از خنک کن EGR برای کاهش اثرات منفی بازخورانی گاز اگزوز در مقابل تاثیر مثبت آن در کاهش NOx امری ضروری به نظر می رسد. البته استفاده از خنک کن EGR هزینه های طراحی و ساخت سیستم را بالا می‌برد.

منابع و مآخذ

1. Patterson, M.A., Kong, S.C., Hampson, G.J., & Reitz, R.D., “Modeling the Effects of Fuel Injection Characteristics on Diesel Engine Soot and NOx Emissions”, SAE Paper 940523, pp. 101-117, 1994.

2. D.D. Wickman, K.V. Tanin, P.K. Senecal, R.D Reitz] ,K. Gebert, R.L. Barkhimer, & N.J. Beck, Methods and results from the development of a 2600 bar diesel fuel injection system, SAE International, Paper No. 2000-01-0947 2000.
3. Husberg, T., Denbratt, I., & Karlsson, A., "Analysis of Advanced Multiple Injection Strategies in a Heavy-Duty Diesel Engine, Using Optical Measurement and CFD-Simulations", SAE Paper 2008 -01-1328.
4. S. Jafarmadar & mastaneh hosseinzadeh. improvement of emissions and performance by using of air jet, exhaust gas re-circulation and insulation methods in a direct injection diesel engine. thermal science: year 2013, vol. 17, no. 1, pp. 57-70.
5. Jin Kusaka & Yasuhiro Daisho. Compression and Exhaust Gas Emission Characteristics of a Diesel Engine Dual- Fueled with Natural Gas. THE Fourth international symposium comodia 1998.
6. Yaxin Su*, Cuiwu Chen, Along Su.Simulation of high temperature air combustion with modified Eddy-Break-Up combustion model. Energy Procedia 14 (2012) 127- 132.
7. Reitz RD. Modeling atomization processes in high-pressure vaporizing sprays.Atomization Spray Technol 1987;3:309–37.
8. AVL Fire manual, Fire_v83_spray.pdf
9. IanM. Kennedy. models of soot formation and oxidation. energy Combust. Sci. Vol. 23, pp. 95-132, 1997.

نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

An Investigation of the Effect of Injection timing and EGR on the performance and emissions of turbocharged direct injection diesel engine

Abstract

It is well-established that control of fuel injection which is consisted injection timing has an important role in engine performance, especially in pollutants' formation. In the present study, a FIRE computational fluid dynamic (CFD) code has been used in order to simulate the Effect of timing Injection and EGR on the performance and emissions of turbocharged direct injection diesel engine In this investigation, it is assumed that the motor operates at full load and engine speed is 2000 rpm. For validation, the results of simulations has been compared to the experimental data. In all validation cases, the numerical and experimental results are consistent. Results show that if the start angle of the fuel injection approaches .the TDC, the maximum soot formed will be increased and NOx reduced. Furthermore, with reduce premature enjection timing the Engine power drops.

Keywords: Diesel engine, exhaust gas recirculation (EGR), injection timing, performance, emission