



فصلنامه علمی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineersearch.ir

DOI:10.22034/ER.2022.697921



کاهش آلایندگی و مصرف سوخت موتور دیزلی با استفاده از سیستم‌های سوخت‌رسانی ریل مشترک و پس‌پالایش

ابراهیم اکبرپوران خیاطی^۱، هادی رهبری آسیابی^{۲*}، بهروز نجاری^۳، مصطفی زارع^۴، سمیه پارسا^۵، آرش آراوند^۶

^۱ مدیر تحقیق و توسعه، شرکت ایدم e.Akbarpouran@idem.ir

^۲ کارشناس تحقیق و توسعه، شرکت ایدم hadihra@yahoo.com

^۳ کارشناس تحقیق و توسعه، شرکت ایدم b.najjari@idem.ir

^۴ کارشناس تحقیق و توسعه، شرکت ایدم mostafazareh57@gmail.com

^۵ کارشناس تحقیق و توسعه، شرکت ایدم parsa.somaye@gmail.com

^۶ کارشناس تحقیق و توسعه، شرکت ایدم aravand_arash@yahoo.com

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۵ بهمن ۱۴۰۰

پذیرش: ۲۹ اردیبهشت ۱۴۰۱

کلیدواژه‌ها:

آلایندگی

پس‌پالایش

سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک

مصرف سوخت

موتور دیزلی OM364

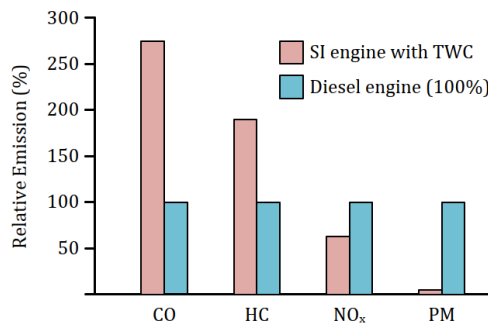
در این مطالعه تجربی، سیستم سوخت‌رسانی موتور دیزل OM 364 تولیدی شرکت ایدم که در حالت پایه دارای پمپ سوخت ردیفی و کنترل گاورنر مکانیکی است، به سیستم ریل مشترک با کنترل الکترونیکی توسط ECU، ارتقا یافته است. همچنین آلایندگی گازهای خروجی با کاتالیست SCR و DOC کاهش یافته و پارامترهای عملکردی و آلایندگی موتور در دو حالت با هم مقایسه شده است. موتور پایه OM 364 با استاندارد آلایندگی یورو ۲، پس از تغییر سیستم سوخت‌رسانی به ریل مشترک و پس‌پالایش گازهای خروجی با کاتالیست SCR و DOC به استاندارد آلایندگی یورو ۵ ارتقا یافته است. نکته قابل توجه ارتقای آلایندگی موتور به استاندارد یورو ۵، EEV بدون استفاده از DPF در پس‌پالایش گازهای خروجی می‌باشد که باعث کاهش هزینه خودروسازان می‌شود. نتایج عملی حاصل از تست موتور OM 364، نشان از عملکرد مناسب سیستم‌های سوخت‌رسانی ریل مشترک و پس‌پالایش دارد.



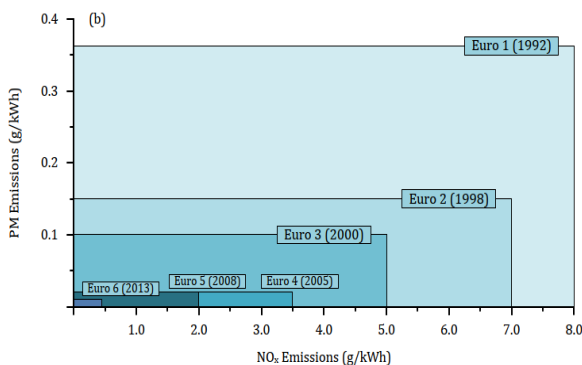
تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

بتوان آلاینده‌گی موتور را کم کرد. فناوری‌ها و روش‌های مختلفی به این شیوه برای کاهش آلاینده‌گی‌ها وجود دارند که عبارتند از استفاده از سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک، استفاده از بازخوران^۶ گازهای خروجی به صورت سرد و گرم، استفاده از خنک‌کن میانی، پاشش آب به‌ویژه در مورد دیزل کشتی‌ها، زود بستن سوپاپ ورودی (سیکل میلر)، کنترل الکترونیکی موتور، تغییراتی در سیستم پاشش سوخت و پارامترهای تزریق یا هندسه محفظه احتراق و



شکل ۱: مقایسه آلاینده‌های موتور بنزینی و دیزلی [۲]



شکل ۲: مقادیر آلاینده‌های PM و NO_x در استاندارد یورو در موتور دیزل سنگین [۳]

در رویکرد دوم با استفاده از فیلتر و یا کاتالیست‌ها آلاینده‌گی گازهای خروجی کاهش می‌یابند. معمولاً از DPF برای کاهش آلاینده PM و از SCR برای کاهش NO_x در موتورهای دیزل سنگین و LNT برای کاهش NO_x در موتورهای دیزل سبک استفاده می‌شود.

در انتخاب استراتژی کاهش آلاینده‌گی موتور باید به این نکته توجه کرد که هماهنگی بین دو رویکرد انجام گیرد. اگر بنا باشد فقط از رویکرد اول استفاده شود، به‌ناچار باید مصالحه بین NO_x و بقیه آلاینده‌ها نیز صورت گیرد تا شرایط بهینه حاکم باشد. زیرا آلاینده NO_x با دیگر آلاینده‌ها و پارامترهای عملکردی موتور تقابل دارد و به طور عمده با بهبود طراحی موتور و پارامترهای عملکردی، بقیه آلاینده‌ها کاهش، ولی NO_x افزایش می‌یابد. البته با توجه به

در جهان امروزی جابه‌جایی و حمل‌ونقل جزو جدایی‌ناپذیر از زندگی انسان است و در صنعت حمل‌ونقل امروزی نقش وسایل نقلیه موتوری بسیار زیاد بوده که در بین آنها نیز موتورهای احتراق داخلی پیستونی بنزینی و دیزلی در خودروها، قطارها، کشتی‌ها و حتی هواپیماهای ملخی بیشترین کاربرد را دارند.

با افزایش روزافزون تعداد موتورهای احتراق داخلی در جهان شرکت‌های سازنده همواره به دنبال بهبود و ارتقای کیفیت محصولات خود از لحاظ توان، آلاینده‌گی و مصرف سوخت هستند. البته در دهه‌های گذشته توجه اصلی در طراحی موتور احتراق داخلی به‌طور عمده پارامترهای عملکردی به‌ویژه توان موتور بود، اما امروزه با سخت‌تر شدن قوانین و استانداردهای آلاینده‌گی و ملاحظات زیست‌محیطی، مسئله آلاینده‌گی و مصرف سوخت نیز اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده و فصل نوینی در برابر مهندسی موتور گشوده شده است و بهبود عملکرد موتور و کاهش آلاینده‌گی و مصرف به طور همزمان به چالشی برای مهندسين موتور تبدیل شده است و هر روزه مهندسين در تلاش برای یافتن فناوری‌های جدید برای کاهش آلاینده‌گی هستند.

استانداردهای آلاینده‌گی مختلفی در دنیا تدوین شده است که می‌توان به استاندارد آمریکا، اروپا، ژاپن، چین، هندوستان و ... اشاره کرد که در کشور ایران بیشتر استاندارد اروپایی تحت عنوان یورو مورد استناد قرار می‌گیرد.

در موتورهای احتراق داخلی عمده آلاینده‌های خروجی عبارتند از HC، CO، PM و NO_x که در موتورهای دیزلی به دلیل بالاتر بودن نسبت هوا به سوخت در مقایسه با موتور بنزینی آلاینده‌های CO و HC زیاد مطرح نبوده و PM و NO_x اهمیت بیشتری دارند و در واقع PM و NO_x اصلی‌ترین آلاینده در موتورهای دیزلی هستند. فرایند تشکیل هر کدام از آلاینده‌ها در ادبیات اهل فن موجود می‌باشند [۱] و در شکل ۱ آلاینده‌های موتورهای بنزینی و دیزلی مقایسه شده‌اند. در شکل ۲ محدوده آلاینده‌های PM و NO_x در استانداردهای مختلف یورو نشان داده شده است.

به طور کلی برای کاهش آلاینده‌های خروجی دو رویکرد اصلی پیش روی مهندسين موتور وجود دارد؛ ۱- ارتقای فناوری موتور (و کیفیت سوخت)، ۲- پس‌پالایش^۱ گازهای خروجی مانند استفاده از DOC^۲، SCR^۳، LNT^۴ و DPF^۵.

در رویکرد اول هدف اصلی این است که با استفاده از فناوری‌های پیشرفته و یا با ایجاد تغییراتی در پارامترهای طراحی و داخل موتور

¹ Aftertreatment

² Diesel Oxidant Catalyst

³ Selective Catalist Reduction

⁴ Lean NO_xTraps

⁵ Diesel Particle Filter

⁶ Exhaust Gas Recirculation(EGR)

شده و در ادامه مقایسه نتایج این حالت با حد مجاز استاندارد انجام گرفته و در نهایت نتیجه‌گیری کلی انجام یافته است.

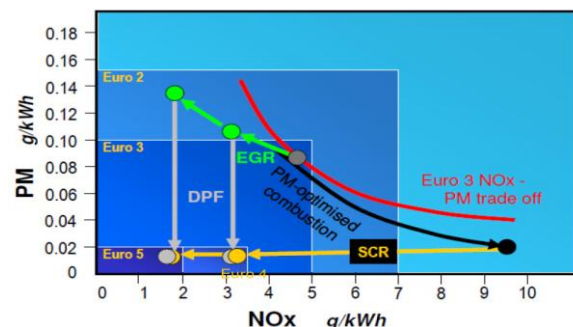
۲- سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک

در سیستم‌های تزریق سوخت با پمپ ردیفی یا آسیابی ایجاد فشار و تعیین مقدار سوخت تزریقی توسط بارل، پلانجر پمپ انژکتور و گاورنر انجام می‌گیرد و فشار سوخت برای هر بار پاشش جداگانه تولید می‌شود. از طرف دیگر ویژگی‌های پمپ‌های مکانیکی این سیستم‌ها طوری است که با افزایش دور موتور مقدار سوخت تزریقی و فشار پاشش زیاد می‌شود و به عبارتی مقدار و فشار سوخت تزریقی تابع دور موتور است. همچنین در فرایند تزریق فشار تزریق ثابت نبوده و در ابتدای تزریق زیاد شده و در انتهای مرحله تزریق دوباره افت می‌کند تا به فشار بسته‌شدن سوزن انژکتور برسد. این ویژگی‌های پمپ‌های ردیفی و آسیابی باعث می‌شود که منحنی پاشش به شکل یک مثلث باشد [۴ و ۵].

سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک برای اولین بار توسط بوش در سال ۱۹۹۷ در خودروهای سواری به بازار عرضه و تجاری‌سازی آن از سال ۱۹۹۹ آغاز شد و در سال ۲۰۰۵ بوش سومین لوله مشترک تولیدی را با فشار پاشش ۱۸۰۰ بار برای وسایل نقلیه تجاری سبک، معرفی کرد یک نسخه از این سامانه برای خودروهای نیمه‌سنگین در سال ۲۰۰۷ به بازار عرضه شد. اولین تولید بوش برای وسایل نقلیه تجاری به سال ۱۹۹۹ بازمی‌گردد که فشار پاشش ۱۴۰۰ بار را دارا بود. دومین محصول با فشار ۱۶۰۰ بار در سال ۲۰۰۱ به بازار عرضه شد [۴]. حرفتمش و همکاران با پاشش تک‌مرحله‌ای و دو مرحله‌ای در موتور دیزلی مجهز به سامانه سوخت‌رسانی لوله مشترک مقدار آلایندگی را تا حدی کاهش داده‌اند [۶]. اکبرپوران و همکاران آلایندگی موتور دیزل OM 355 را با استفاده از سیستم ریل مشترک و پس‌پالایش تا حد یورو ۵ و مصرف سوخت را نیز تا ۷ درصد کاهش دادند [۷].

ویژگی بارز و مهم سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک، فشار بالای تزریق و همچنین کنترل الکترومغناطیسی انژکتورها می‌باشد که باعث پاشیده‌شدن مقدار مناسب سوخت در زمان مناسب می‌شود. در این سیستم یک ریل مشترک در مسیر سوخت‌رسانی مابین پمپ فشار قوی و انژکتورها وجود دارد و پمپ فشار قوی که حرکت خود را از موتور می‌گیرد، سوخت فشار بالا را به طور دائم به ریل مشترک ارسال می‌کند و فشار بالا همیشه در این ریل و پشت انژکتورها برقرار می‌باشد. بنابراین در این سیستم برخلاف سیستم‌های قبلی، فشار سوخت برای هر بار پاشش جداگانه تولید نمی‌شود و فشار پاشش سوخت در این سیستم بیشتر از سیستم‌های تزریق سوخت با پمپ ردیفی و آسیابی است. انژکتورها در این سیستم از نوع الکترومغناطیسی بوده و زمان و مقدار تزریق از طریق ECU موتور تعیین می‌شود. در این سیستم منحنی پاشش برای هر سیکل یک‌تکه نیست و پاشش‌های متعددی برای هر سیکل انجام می‌گیرد، به طوری که مرحله پاشش اولیه برای آرام کارکردن موتور، پاشش اصلی

سخت‌گیری استانداردهای جدید آلایندگی حتی با این شرایط بهینه هم موتور قادر به پاس‌کردن استانداردهای جدید آلایندگی نیست و بایستی از رویکرد دوم نیز، استفاده کرد. با این وجود دیگر لزومی به رعایت مصالحه بین NOx و بقیه آلایندها و انتخاب شرایط بهینه نیست و می‌توان بدون در نظر گرفتن NOx بقیه پارامترها و آلایندها را بهبود داده و NOx را با SCR کم کرد. یک استراتژی که امروزه توسط بیشتر خودروسازان دیزلی سنگین در جهان دنبال می‌شود این است که با توجه به قیمت زیاد DPF، طراحی موتور طوری صورت گیرد که با ایجاد شرایط احتراق مناسب، PM و بقیه آلایندها به غیر از NOx بدون نیاز به DPF کاهش یافته و NOx نیز توسط SCR کاهش یابد. در واقع DPF از پس‌پالایش حذف شده و فقط SCR و DOC باقی بمانند. یعنی حال که به دلیل سخت‌گیری استانداردهای جدید و تقابل آلاینده NOx با دیگر آلایندها و پارامترهای عملکردی استفاده از پس‌پالایش گازهای خروجی ضروری می‌باشد، پس بهتر است بقیه آلایندها بدون نیاز به DPF کاهش داده شود. در شکل ۳ دو استراتژی کاهش آلایندگی در موتورهای دیزل سنگین پس از استاندارد یورو ۳ شرح داده شده است.



شکل ۳: دو استراتژی کاهش آلایندگی در موتورهای دیزل سنگین پس از استاندارد یورو ۳

در این مطالعه از هر دو رویکرد برای کاهش آلایندگی موتور استفاده می‌شود. سیستم سوخت‌رسانی موتور دیزل OM 364 از محصولات شرکت ایدم در حالت پایه دارای پمپ انژکتور ردیفی است و کنترل مقدار و زمان پاشش سوخت توسط گاورنر مکانیکی انجام می‌گیرد. در این مطالعه سیستم سوخت‌رسانی این موتور به سیستم ریل مشترک تغییر می‌یابد و همچنین برای پس‌پالایش گازهای خروجی از سیستم SCR و همچنین DOC استفاده شده است.

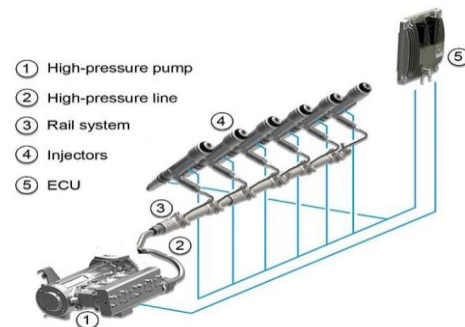
این مقاله از بخش‌های زیر تشکیل شده است. بعد از مقدمه مشخصات فنی موتور OM 364 مورد استفاده برای انجام آزمون‌ها ذکر شده و سپس سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک و همچنین سیستم پس‌پالایش کاتالیستی SCR توضیح داده شده است. در بخش بعدی آزمون‌های عملکردی و آلایندگی موتور OM 364 در حالت ارتقایافته به سیستم ریل مشترک و پس‌پالایش کاتالیستی SCR آورده

۴- موتور تحت آزمون

در این مطالعه برای بررسی تأثیر سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک و پس‌پالایش گازهای خروجی از موتور دیزلی OM 364 تولیدی شرکت ایدم، استفاده شده است که مشخصات فنی این موتور در حالت پایه در جدول ۱ آورده شده است.

سیستم سوخت‌رسانی این موتور در حالت پایه به وسیله پمپ سوخت ردیفی با کنترل گاورنر مکانیکی می‌باشد و در این وضعیت پایه، استاندارد آلایندگی موتور یورو ۲ است. در این مطالعه سیستم سوخت‌رسانی این موتور به سیستم ریل مشترک تغییر یافته و همچنین برای پس‌پالایش گازهای خروجی از DOC و کاتالیست SCR استفاده شده است. برای ارتقای سیستم سوخت‌رسانی موتور به ریل مشترک برخی قطعات سیستم سوخت‌رسانی حذف و قطعات جدید که دارای فناوری بالاتری هستند جایگزین شده‌اند. در سیستم ریل مشترک از قطعات پمپ فشار بالا، ریل مشترک سوخت، انژکتورهای الکترومغناطیسی و ECU استفاده شده است که طراحی و تأمین این قطعات در شرکت ایدم تبریز انجام گرفته است و نمونه‌هایی از آنها برای پیاده‌کردن روی موتور تولید شده‌اند که در صورت تأیید نتایج تست موتور، این قطعات به تولید انبوه خواهند رسید. همچنین قطعات موردنیاز برای پس‌پالایش گازهای خروجی در شرکت ایدم طراحی و نمونه‌هایی ساخته شده‌اند که در آینده به تولید انبوه خواهند رسید.

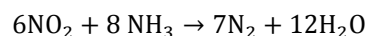
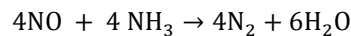
برای ایجاد قدرت ایده‌آل و پاشش ثانویه برای کاهش آلایندگی صورت می‌گیرد. با توجه به ساختار این سیستم سوخت‌رسانی، فشار ایجادشده برای تزریق مستقل از سرعت موتور است و مقادیر کم سوخت که در دوره‌های پایین موتور پاشیده می‌شود نیز همانند مقدار زیاد سوخت که در دوره‌های بالا پاشیده می‌شود دارای فشار بالا می‌باشد. بالا بودن فشار تزریق و همچنین ثابت بودن آن در طی عمل تزریق باعث بهبود پارامترهای عملکردی موتور با این سیستم تزریق می‌شود [۴]. شکل ۴ شماتیکی از این سیستم و اجزای آن را نشان می‌دهد.



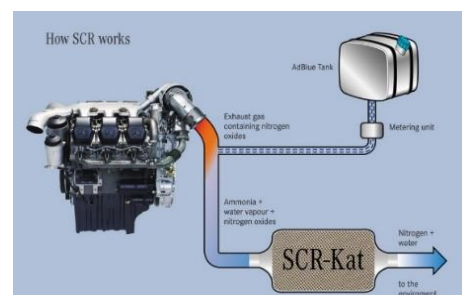
شکل ۴: سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک و اجزای آن [۷]

۳- سیستم پس‌پالایش گازهای خروجی از نوع کاتالیستی SCR

این سیستم برای کاهش آلایندگی NOx در موتورهای دیزل سنگین استفاده می‌شود. در این سیستم از اوره به عنوان کاتالیزور استفاده می‌شود. بدین شکل که ترکیبی از اوره و آب در یک مخزن جداگانه قرار گرفته و بر حسب مقدار NOx موجود در گازهای خروجی و با فرمان واحد کنترل موتور، به گازهای خروجی پاشیده می‌شوند و اوره بلافاصله تبدیل به آمونیاک شده و بدین ترتیب مخلوطی از آمونیاک و گازهای خروجی وارد کاتالیست می‌شوند و در درون کاتالیست NOx موجود در گازهای خروجی طبق رابطه زیر در مجاورت کاتالیزور توسط ماده احیاگر به گاز N₂ احیا می‌شوند [۳]:



شکل کلی از سیستم SCR در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: سیستم پس‌پالایش کاتالیست SCR [۷]

جدول ۱: مشخصات فنی موتور OM 364 در حالت پایه

تعداد سیلندر / تعداد سوپاپ / آرایش سیلندرها	۴ سیلندر / ۸ سوپاپ / خطی
قطر سیلندر (میلی‌متر)	۹۷/۵
کورس پیستون (میلی‌متر)	۱۳۳
نسبت تراکم	۱۸:۱
حجم موتور (لیتر)	۳/۹۷۲
حداکثر توان (کیلو وات)	۱۰۳ کیلووات در دور ۲۶۰۰ د.د.
حداکثر گشتاور (نیوتن متر)	۴۸۰ نیوتن‌متر در دور ۱۲۰۰ د.د.
حداقل مصرف سوخت	۲۰۵ گرم بر کیلو وات ساعت در دور ۱۶۰۰ د.د.
استاندارد آلایندگی	یورو ۲
سیستم سوخت‌رسانی	پمپ ردیفی با کنترل گاورنر مکانیکی

۴-۱- اتاق آزمون

تست‌های عملکردی و آلایندگی برای موتور OM 364 در اتاق تست نشان داده شده در شکل ۶ انجام گرفته است. برای اعمال بار به موتور و اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی از دینامومتر استفاده شده است. همچنین دستگاه AVL DiCom4000 ساخت اتریش با قابلیت اندازه‌گیری CO، CO₂، λ، HC، NOx و کدری^۱ جهت سنجش آلاینده‌ها به کار گرفته شده است. در این آزمایشگاه پارامترهای عملکردی موتور شامل توان، گشتاور و دیگر پارامترهای موردنیاز مانند

¹ Opacity

جدول ۲: سیکل تست‌های استاندارد یورو برای موتورهای دیزل سنگین [۲]

سیکل تست	استاندارد آلایندگی
ECE R49	Euro ۱ (۱۹۹۳)
ECE R49	Euro ۲ (۱۹۹۵)
ESC+ ELR (+ETC)	Euro ۳ (۲۰۰۰)
ESC+ ELR +ETC	Euro ۴ (۲۰۰۵)
ESC+ ELR +ETC	Euro ۵ (۲۰۰۸)

جدول ۳: حد مجاز آلاینده‌ها برای موتورهای دیزل سنگین در استاندارد اروپا در سیکل‌های R49، ESC و ELR [۲]

استاندارد آلایندگی	سیکل تست	NOx (g/kw h)	PM (g/kw h)	CO (g/kw h)	HC (g/kw h)	Smoke (m ⁻¹)
Euro ۱ (۱۹۹۳)	ECE R49	۹/۰۰	۰/۴۰	۴/۹۰	۱/۳۲	—
Euro ۲ (۱۹۹۵)	ECE R49	۷/۰۰	۰/۱۵	۴/۰۰	۱/۱۰	—
Euro ۳ (۲۰۰۰)	ESC+ ELR	۵/۰۰	۰/۱۰	۲/۱۰	۰/۶۶	۰/۸۰
Euro ۴ (۲۰۰۵)	ESC+ ELR	۳/۵۰	۰/۰۲	۱/۵۰	۰/۴۶	۰/۵۰
Euro ۵ (۲۰۰۸)	ESC+ ELR	۲/۰۰	۰/۰۲	۱/۵۰	۰/۴۶	۰/۵۰
Euro ۵ EEV	ESC+ ELR	۲/۰۰	۰/۰۲	۱/۵۰	۰/۲۵	۰/۱۵

جدول ۴: حد مجاز آلاینده‌ها برای موتورهای دیزل سنگین در استاندارد اروپا سیکل ETC [۲]

استاندارد آلایندگی	NOx (g/kw h)	PM (g/kw h)	CO (g/kw h)	HC (g/kw h)
Euro ۳ (۲۰۰۰)	۵/۰۰	۰/۱۶	۵/۴۵	۰/۷۸
Euro ۴ (۲۰۰۵)	۳/۵	۰/۰۳	۴/۰۰	۰/۵۵
Euro ۵ (۲۰۰۸)	۲/۰	۰/۰۳	۴/۰۰	۰/۵۵
Euro ۵ EEV	۲/۰	۰/۰۲	۳/۰۰	۰/۴۰

۵- بحث بر روی نتایج

پس از تغییر سیستم سوخت‌رسانی موتور OM 364 به ریل مشترک و نصب سیستم‌های پس‌پالایش DOC و SCR بر روی موتور آزمون عملکرد و آلایندگی بر روی موتور صورت گرفت که نتایج آن در جدول‌های ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ و شکل‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۱ آورده شده است.

طبق نتایج به‌دست‌آمده از تست‌ها ملاحظه می‌شود که عملکرد موتور جدید مجهز به سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک و پس‌پالایش دارای عملکرد مشابه با موتور پایه است که نشانگر این است سامانه‌های اضافه‌شده به موتور عملکرد آن را تحت تأثیر قرار نداده و هیچ تغییر منفی در آن ایجاد نکرده و حتی باعث بهبود عملکرد موتور نیز شده است. طبق جدول ۵ حداکثر توان تولیدی توسط موتور ۱۰۳ کیلووات در دور ۲۶۰۰

دما و فشار توسط سنسورهای موجود در اتاق تست اندازه‌گیری می‌شود. مصرف سوخت نیز با استفاده از دبی‌سنج دیجیتال AVL 733S با دقت هزارم کیلوگرم بر ساعت اندازه‌گیری می‌شود.

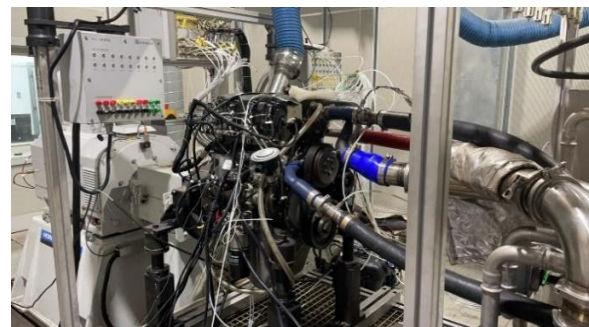
۴-۲- آزمون‌های موردنیاز جهت ارتقا به استاندارد یورو ۵ EEV

۴-۲-۱- آزمون عملکرد

در این آزمون پارامترهای عملکردی موتور از جمله توان، گشتاور و مصرف سوخت در دوره‌های مشخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا از کارکرد صحیح موتور و قطعات آن اطمینان حاصل شود. در این آزمون محور خروجی موتور به دینامومتر که بار ترمزی بر روی محور موتور ایجاد می‌کند، وصل شده و در دورها و بارهای مختلف اعمالی، توان خالص خروجی تولیدشده توسط موتور اندازه‌گیری می‌شود. استاندارد مربوط به آزمون عملکرد موتور ECE R85 می‌باشد که جزئیات و دستورالعمل آن در ادبیات اهل فن موجود است.

۴-۲-۲- آزمون آلایندگی

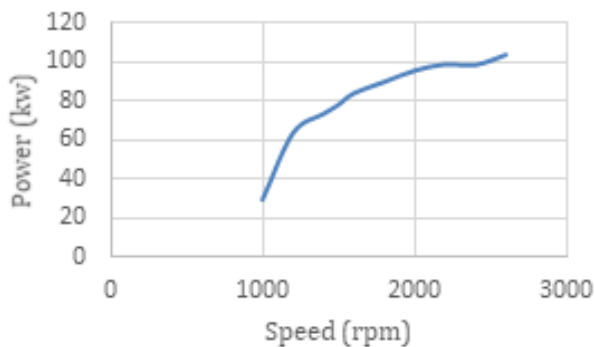
در جدول ۲ سیکل تست‌های موردنیاز و بیشترین مقدار مجاز آلاینده‌های مختلف برای موتورهای دیزل سنگین در ورژن‌های مختلف استاندارد یورو آورده شده است. برای بررسی استاندارد آلایندگی بایستی موتور طبق سیکل‌های ELR، ESC و ETC تحت تست قرار گیرد که دستورالعمل‌های هر کدام از این تست‌ها در ادبیات اهل فن موجود می‌باشد. حد مجاز آلاینده‌ها در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است [۲].



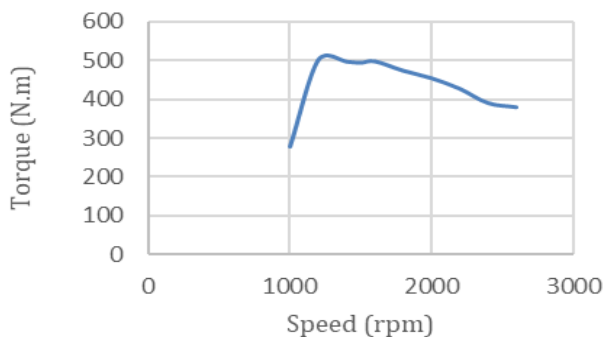
شکل ۶: نمای اتاق تست

جدول ۶: مقایسه مصرف سوخت ویژه دو نقطه‌ای موتور OM 364 در حالت پایه همراه با فیلتر ذرات و موتور جدید دارای سیستم سوخت ریل مشترک و

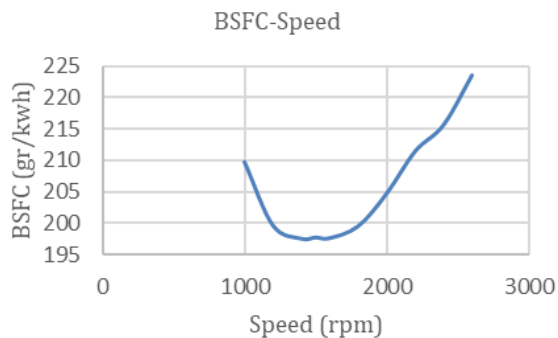
پس‌پالایش			
میانگین (g/kwh)	مصرف سوخت ویژه در گشتاور بیشینه (g/kwh)	مصرف سوخت ویژه در توان بیشینه (g/kwh)	
۲۲۰/۹۱۵	۲۱۵/۷۶	۲۲۶/۰۷	موتور پایه همراه با فیلتر ذرات
۲۱۱/۶۵	۱۹۹/۷	۲۲۳/۶	موتور جدید



شکل ۷: نمودار توان موتور OM 364 دارای ریل مشترک و پس‌پالایش SCR و DOC



شکل ۸: نمودار گشتاور موتور OM 364 دارای ریل مشترک و پس‌پالایش SCR و DOC



شکل ۹: نمودار مصرف سوخت ویژه موتور OM 364 دارای ریل مشترک و پس‌پالایش SCR و DOC

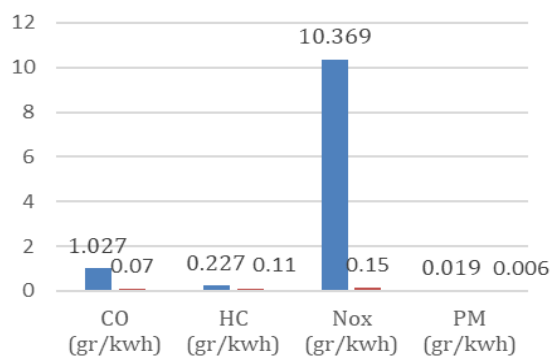
د.د.د است و همچنین حداکثر گشتاور ۵۰۳ نیوتن‌متر در دور ۱۲۰۰ د.د.د به دست آمده است. عدم قطعیت تست‌ها ۵ درصد می‌باشد.

در جدول ۶ مصرف سوخت ویژه دو نقطه‌ای موتور در حالت پایه همراه با فیلتر ذرات و همچنین در موتور جدید که سیستم سوخت ریل مشترک و پس‌پالایش نصب شده، درج شده است که موتور جدید در حدود ۵ درصد مصرف سوخت کمتری دارد. در شکل ۹ نیز مقایسه نتایج جدول ۶ به صورت نمودار نشان داده شده که نشانگر کاهش مصرف سوخت دارد.

در جدول‌های ۷ و ۸ نتیجه تست آلایندگی موتور نشان داده شده و با مقدار مجاز آلاینده‌ها در استاندارد یورو ۵ EEV مقایسه شده است. در جدول ۹ نتایج تست آلایندگی ESC موتور پایه همراه با فیلتر ذرات و موتور جدید دارای سیستم سوخت ریل مشترک و پس‌پالایش آورده شده است. در شکل ۱۰ مقایسه نتایج جدول ۹ به صورت نمودار آورده شده است که به دلیل استفاده از SCR مقدار NOx به شدت کاهش پیدا کرده است و همان‌طور که در جدول‌های ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود، تمامی آلاینده‌های موتور مذکور کمتر از حد مجاز استاندارد بوده و استاندارد یورو ۵ EEV را پاس کرده است. دلیل این امر فشار بالای تزریق سوخت در سیستم ریل مشترک و ثابت بودن فشار در طی عمل تزریق است که باعث کاهش آلاینده‌های CO، HC و PM می‌شود، اما از طرفی به دلیل تقابل آلاینده NOx با بقیه آلاینده‌ها، آلاینده NOx افزایش می‌یابد که آن هم با استفاده از کاتالیست SCR کاهش داده شده و به مقدار کمتر از حد مجاز استاندارد رسانده شده است. نکته جالب توجه این است که آلاینده PM بدون استفاده از فیلتر ذرات معلق به مقدار کمتر از حد استاندارد رسیده است و به عبارت دیگر بهبود فرایند احتراق در سیستم ریل مشترک به حدی بوده که توانسته است آلاینده PM را حتی بدون استفاده از فیلتر ذرات معلق تا کمتر از حد استاندارد پایین بیاورد و دیگر در این موتور و با این سیستم سوخت‌رسانی و پس‌پالایش نیازی به استفاده از فیلتر ذرات معلق که هزینه زیادی هم برای خودروسازان دارد، نیست.

جدول ۵: نتایج تست عملکرد موتور OM 364 دارای ریل مشترک و

پس‌پالایش SCR و DOC			
سرعت N موتور (rpm)	P توان تصحیح شده (kw)	T گشتاور تصحیح شده (N.m)	BSFC مصرف سوخت ویژه ترمزی (g/kwh)
۲۶۰۰	۱۰۳/۵	۳۸۰/۰	۲۲۳/۶
۲۴۰۰	۹۸/۳	۳۹۱/۰	۲۱۵/۷
۲۲۰۰	۹۸/۶	۴۲۸/۱	۲۱۱/۵
۲۰۰۰	۹۵/۴	۴۵۵/۶	۲۰۴/۸
۱۸۰۰	۸۹/۶	۴۷۵/۳	۱۹۹/۶
۱۶۰۰	۸۳/۷	۴۹۹/۵	۱۹۷/۷
۱۵۰۰	۷۷/۹	۴۹۵/۹	۱۹۷/۸
۱۴۰۰	۷۳/۱	۴۹۸/۵	۱۹۷/۶
۱۲۰۰	۶۳/۲	۵۰۳/۰	۱۹۹/۷
۱۰۰۰	۳۹/۰	۲۷۷/۴	۲۰۹/۸



■ موتور پایه با فیلتر ذرات

■ موتور با سیستم سوخت رسانی ریل مشترک و پس پالایش

شکل ۱۱: مقایسه نتیجه تست ESC موتور OM 364 در حالت پایه با فیلتر ذرات و موتور جدید دارای سیستم سوخت ریل مشترک و پس پالایش SCR و DOC

۶- نتیجه گیری

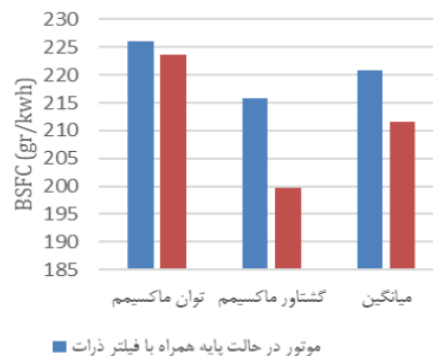
در این مقاله تأثیر سیستم پاشش سوخت ریل مشترک و پس پالایش SCR و DOC بر پارامترهای عملکردی، مصرف سوخت و آلایندگی موتور دیزل به صورت تجربی بررسی شده است. نتایج تست‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم‌ها باعث کاهش آلایندگی موتور تا استاندارد یورو ۵ EEV شده است. در سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک به دلیل بالا بودن فشار تزریق و همچنین ثابت بودن آن در طی عمل تزریق آلاینده‌های CO، HC و PM کاهش می‌یابند، اما به دلیل تقابل آلایند NOx با بقیه آلاینده‌ها، آلایند NOx افزایش می‌یابد که آن را هم با استفاده از کاتالیست SCR می‌توان کاهش داد و به کمتر از حد مجاز استاندارد رساند. نکته قابل توجه این است که با استفاده از سیستم سوخت‌رسانی ریل مشترک می‌توان فرایند احتراق را آن قدر بهبود بخشید تا آلایند PM بدون نیاز به فیلتر ذرات معلق بتواند به کمتر از حد مجاز استاندارد برسد و دیگر نیازی به استفاده از فیلتر ذرات معلق برای پاس کردن استاندارد یورو ۵ EEV نباشد که این امر باعث کاهش هزینه برای خودروسازان می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از پشتیبانی‌های مدیریت محترم و کارکنان شرکت ایدم در پیشبرد این طرح تشکر و قدردانی می‌نمایند.

فهرست علائم

P	توان، Kw
T	گشتاور، N.m
BSFC	مصرف سوخت ویژه ترمزی، g/kwh
N	دور، rpm



■ موتور با سیستم سوخت رسانی ریل مشترک و پس پالایش

شکل ۱۰: مقایسه مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور OM 364 در حالت پایه همراه با فیلتر ذرات و موتور جدید دارای سیستم سوخت ریل مشترک و پس پالایش SCR و DOC

جدول ۷: نتیجه تست ESC و ELR موتور OM 364 دارای ریل مشترک و

پس پالایش SCR و DOC			
وضعیت (قبول یا مردود)	مقدار	حد مجاز در استاندارد یورو ۵ EEV	پارامتر
قبول	۰/۰۷	۱/۵	CO (g/kw h)
قبول	۰/۰۱۱	۰/۲۵	HC (g/kw h)
قبول	۰/۱۵	۲/۰	NOx (g/kw h)
قبول	۰/۰۰۶	۰/۰۲	PM (g/kw h)
قبول	۰/۰۷	۰/۱۵	Smoke(m ⁻¹)

جدول ۸: نتیجه تست ETC موتور OM 364 دارای ریل مشترک و

پس پالایش SCR و DOC			
وضعیت (قبول یا مردود)	مقدار	حد مجاز در استاندارد یورو ۵ EEV	پارامتر
قبول	۰/۰۵	۳/۰	CO (g/kw h)
قبول	۰/۰۲۱	۰/۴۰	HC (g/kw h)
قبول	۱/۴۴	۲/۰	NOx (g/kw h)
قبول	۰/۰۱۱	۰/۰۲	PM (g/kw h)

جدول ۹: نتیجه تست ESC موتور OM 364 در حالت پایه با فیلتر ذرات و موتور جدید دارای سیستم سوخت ریل مشترک و پس پالایش SCR و DOC

پارامتر	موتور پایه همراه با فیلتر ذرات	موتور جدید دارای سیستم سوخت ریل مشترک و پس پالایش
CO (g/kw h)	۱,۰۲۷	۰/۰۷
HC (g/kw h)	۰,۲۲۷	۰,۱۱
NOx (g/kw h)	۱۰,۳۶۹	۰,۱۵
PM (g/kw h)	۰,۰۱۹	۰,۰۰۶

مراجع و منابع

- [1] J. Heywood, Internal combustion engine fundamentals, Mc Graw-Hill, 1988
- [2] www.dieselnet.com
- [3] B. Sawatmongkhon, Modeling of catalytic aftertreatment of NO_x emission using hydrocarbon as a reductant, A thesis submitted to the university of Birmingham for the degree of Doctor of Philosophy, December, 2011
- [4] Bosch diesel system components for professional repairs on modern and conventional diesel systems, 2018.
- [5] L.J. Jiang, Automobile maintenance advanced course for the industrial technical instructors Kia common rail diesel system, 2011
- [6] M. Herfatmanesh, P. Lu, M. Attar, H. Zhao, Experimental investigation into the effects of two-stage injection on fuel injection quantity combustion and emissions in a high-speed optical common rail diesel engine fuel, 109 137-147, 2013
- [7] E. Akbarpouran, B. Najjari, S. Parsa, M.J. Abedi, Emissions and fuel consumption reduction of the OM355 diesel engine using a common rail fuel injection and selective catalytic reduction systems, The Journal of engine research, Vol. 62, pp. 15-21, Spring, 2021
- [8] G. Ouyang, S. An, Z. Liu, Y. Li, Common rail fuel injection technology in diesel engines, Wiley, 2019
- [9] H.T. Xua, Z.Q. Luo, N. Wang, Z.G. Qu, J. Chen, L.An, Experimental study of the selective catalytic reduction after-treatment for the exhaust emission of a diesel engine, Applied thermal engineering, Vol. 147, pp. 198-204, 2019
- [10] M. Balaji, Y. Wenming, C. Kiang, Fuel injection strategies for performance improvement and emissions reduction in compression ignition engines: a review, Renew Sustain Energy, Vol. 28, pp. 664-676, 2013
- [11] Y. Shinohara, K. Takeuchi, O. Herrmann, H. Laumen, 3000 bar common rail system, Springer, 72, pp. 4-9, 2011
- [12] B. Guan, R. Zhan, H. Lin, Z. Huang, Review of state of the art technologies of selective catalytic reduction of NO_x from diesel engine exhaust, Appl Therm Eng. Vol. 66, pp. 395-414, 2014



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineerresearch.ir

DOI:10.22034/ER.2022.697921



Reduction of emissions and fuel consumption of diesel engine by using common rail fuel injection and aftertreatment systems

E. Akbarpouran Khayati¹, H. Rahbari Asiabi^{2*}, B. Najjari³, M. Zare⁴, S. Parsa⁵, A. Aravand⁶¹ R&D Manager, IDEM Co, e.Akbarpouran@idem.ir² R&D expert, IDEM Co, hadihra@yahoo.com³ R&D expert, IDEM Co, b.najjari@idem.ir⁴ R&D expert, IDEM Co, mostafazareh57@gmail.com⁵ R&D expert, IDEM Co, parsa.somaye@gmail.com⁶ R&D expert, IDEM Co, aravand_arash@yahoo.com

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 04 February 2022

Accepted: 19 May 2022

Keywords:

Aftertreatment

Common rail fuel injection system

Emission

Fuel consumption

OM364 diesel engine

ABSTRACT

In this experimental study, the fuel system of the OM364 diesel engine manufactured by IDEM company, which operates in the basic mode with inline fuel pump and mechanical governor control, is upgraded to a common rail system with electronic control by the ECU. Also, emission of exhaust gases is reduced by SCR and DOC catalysts then performance and emission parameters of engine are compared in two cases. The base engine of OM 364 with Euro 2 emission standard is upgraded to Euro 5 EEV emission standard after changing the fuel system to common rail and after refining the exhaust gases with SCR and DOC catalysts. The important point is to pass the Euro 5 EEV standard without using DPF in exhaust gas refining, which reduces the cost of car manufacturers.



© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.