**اثر تغيير هندسه منيفلد دود روی عملکرد موتور اشتعال جرقه ای**

صابرمیرزایی1، آرش محمدی\*2

|  |  |
| --- | --- |
| 1کارشناس ارشد مکانیک، شرکت تحقیق طراحی و تولید موتور ایران خودرو | s.mirzaei@ikco.ir |
| 2\* استاديار دانشکده مکانيک، دانشگاه تربيت دبير شهيد رجايي | amohammadi@sru.ac.ir |

# چكيده

طراحی مناسب منيفلد دود روی کاهش صدای موتور و عملکرد آن اثر خواهد شد. در این پژوهش ابتدا مدار عملکرد موتور به صورت یک بعدی با استفاده از نرم افزار جی تی پاور شبیه سازی گردید و اثر تغییر کاتالیست و راهگاه خروجی موتور روی گشتاور، توان، فشار برگشتی و مصرف سوخت ويژه مورد بررسی قرار گرفت. سپس از طریق آزمون میز جریان تاثیر تغيير منيفلد دود روی شدت جريان هوای خروجی آن مطالعه شد. سپس اثر تغيير طرح مجموعه کاتاليست و منيفلد دود از طريق اتاق آزمون جهت بررسی نهايي مورد ازمايش قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی نشان دادند که با فرض ثابت بودن تمامی متغیرها در دو حالت آزمایش، میزان گشتاور خروجی موتور در حالت تست با منیفولد دود طرح یورو 2 بیشتر از موتور با منیفولد دود طرح یورو 4 میباشد که بدین معنا است که توان خروجی آن نیز در حالت یورو 2 بهبود یافته و مناسب تر می باشد.

**کليدواژه­ها:** موتور XUM، منيفلد دود، عملکرد موتور

**Investigating the Effect of exhaust manifold geometry on performance of a SI engine**

**Saber Mirzaei1, Arash Mohamadi 2\***

|  |  |
| --- | --- |
| 1\* MSc of mechanical engineering, Iran Khodro Power Train Company | s.mirzaei@ikco.ir |
| 2 Faculty of Mechanical Engineering Department, Shahid Rajaee Teacher Training University | amohammadi@sru.ac.ir |

**Abstract**

Correct design of exhaust manifold causes to decrease noise of engine and affect performance of engine. In this research first, performance circuit of engine in one dimensional with GTPOWER software and effect of changing catalyst and exhaust manifold on torque, power, and exhaust pressure of engine and brake specific fuel consumption were investigated. Also with flow bench test changing exhaust runner on exhaust mass flow rate were studied. Finally, changing exhaust manifold and catalyst with test investigated. The experimental test showed that with assumption of all parameter in two case of test, torque and power with Euro 2 catalyst and exhaust manifold is more than Euro 4 catalyst and exhaust manifold.

**Keywords:** XUM engine, exhaust manifold, Engine performance.

**مقدمه**

افت فشار بسیار بالای کاتاليست سبب می شود که فشار گاز در چند راهه خروجی و در پشت کاتاليست زیاد شده و دمای سطوح به میزان زیادی افزایش می یابد و این موضوع سبب کاهش عمر قطعات مسیر گازهای خروجی می شود. همچنین با افزایش فشار در منيفلد دود، میزان گازهای باقیمانده از چرخه قبل بیشتر می شود و این موضوع سبب افزایش میزان انحرافات چرخه ای فشار داخل استوانه می شود. بعد از بررسی و مقایسه منحنی عملکرد موتور XUM با سایر موتور های مشابه مشخص شد میزان افت فشار گاز های خروجی از کاتاليست شیمیایی در مقایسه با سایر موتورهای مشابه بسیار زیاد است و همین مساله سبب افزایش مصرف سوخت و افت شدید عملکرد موتور مخصوصا در دورهای بالا می باشد. بعد از بررسی علت افت فشار بسیار زیاد گازهای خروجی از موتور در عبور از کاتاليست شیمیایی به دو دلیل است: اول مساحت سطح مقطع گازهای عبوری از کاتاليست شیمیایی در مقایسه با دبی گازهای عبوری بسیار کم است دوم نسبت سطح باز به کل سطح برای کاتاليست شیمیایی موتور XUM بسیار کم است (حدود ۸۰ درصد).[1]

تولید خودرو یورو4 با هدف کاهش آلایندگی و سلامت جامعه و همچنین استاندارد سازی سوخت خودروها در برنامه تولیدی شرکت‌های خودروساز قرار گرفته و این در حالی است که هنوز زیر ساخت‌های مناسب برای تهیه سوخت با این استاندارد و پایش خودروها ایجاد نشده و ظاهرا توجهی به این نکته نشده است که موتور خودروی یورو 4 پس از مدتی از تزریق سوخت یورو 2، به موتور یورو 2 با کیفیت پایین تبدیل شود که آلایندگی بسیاری را در بر خواهد داشت.[2]

در گذشته کارهايی توسط محققين انجام شده است. جواد و همکاران [3]، به صورت آزمایشگاهی به بهینه سازی طراحی اگزوز برای موتور هوندا را برای بیشینه کردن عملکرد و پایداری آن پرداختند. نتایج نشان دادند که افزایش گشتاور و توان زمانی حاصل می‌گردد که طول هدر 34 اینچ و قطر اولیه یدک 1.375 اینچ و زاویه کلکتور 360 درجه باشد. کیم و همکاران ]4[ در کار خود اثر افت فشار در لایه­های مبدل­های کاتاليستی مختلف را بررسی کردند. مبدل­های بررسی شده دارای تراکم سلول­ها، طول و قطر متفاوت در بازه ۵/۳ تا ۷۳/۴ اینچ بودند. گروه برای تست­ها از موتور سه لیتری شش سیلندر بود. آن­ها در کار خود از دو روش تحلیلی و آزمایشگاهی برای محاسبه افت فشار استفاده کردند. نتایج مدل توسعه داده شده هماهنگی مناسبی با داده­های آزمایشگاهی را نشان می­داد می‏توانست به­عنوان یک ابزار مناسب برای طراحی سیستم‏های اگزوز استفاده شود. تالبوت و نزان [5] به بهینه سازی عملکرد موتور از طریق شبیه سازی و آزمایش سیستم منیفولد خروجی پرداختند. آنها نشان دادند که افزایش طول لوله، حجم یا موقعیت اتاق اگزوز، موقعیت مافلر و هندسه منیفولد خروجی باعث بهبود توان خروجی و گشتاور خواهد شد. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان دادند که پیکر بندی منیفولد خروجی تاثیر بسیار قوی ایی بر بازده حجمی و گشتاور خروجی موتور خواهد داشت. آنها سپس به کمک انتخاب پارامترهای متفاوت مانند مکان قرارگیری صدا خفه کن، قطر لوله و طول لوله که باعث مینیمم شدن فشار خروجی میگردد، به بهینه سازی موتور پرداختند. دیکسیت و همکاران ]6[ تلاش کردند جریان خروجی از موتور را در انتهای سرد اگزوز را بصورت تک‏بعدی شبیه‏سازی کنند و با کاهش افت فشار در این سیستم کارایی را به بیشترین حد برسانند. آن‏ها برای پیش‏پردازش کار خود عملکرد مافلر و رزوناتور را در نرم‏افزار GEM3D شبیه‏سازی کردند. همچنین برای شبیه‏سازی فشار برگشتی از نرم‏افزار GT-Power استفاده کردند. برای دستیابی به نتیجه مطلوب پوسته (شل) و لوله‏های (تیوب) مختلف با ابعاد و هندسه‏های مختلف بررسی گردید. سیورام و همکاران [7] به بررسی تاثیر فشار برگشتی خروجی بر عملکرد یک موتور دیزلی پرداختند. در این مقاله تاثیر زمانبندی سوپاپ و تاثیر تزریق سوخت را بر عملکرد موتور بررسی نمودند. آنها تاثیر تغییر فشار برگشتی خروجی را بر روی عملکرد یک موتور دیزلی تک سیلندر چهار پیستون مطالعه کردند. نتایج نشان دادند که با افزایش طول لوله خروجی، فشار برگشتی خروجی نیز افزایش خواهد یافت و بازده سوخت به تبع آن کاهش می‌یابد. بالاکریشنا و مامیدلا [8]، به طراحی بهینه مبدل کاتلیست برای کاهش مسائل و مشکلات ذره‌ای و کاهش فشار برگشتی در موتور دیزل و با استفاده از تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی پرداختند. نتایج نشان دادند که کاتالست مدل 90MM-MC-2 پایینترین فشار برگشتی را در بین سایر کاتاليستها تولید می‌کند بنابراین میزان بازده حجمی آن نیز بالاتر است. شکل خاص مهره‌ای کاتاليست به گاز اجازه می‌دهد تا به صورت آزاد و بدون هیچ مانعی جریان یابد. این مساله به محدود نمودن فشار برگشتی نیز کمک خواهد کرد. جین و همکاران [9]، یک روش جدید(روش تخمین فشار خروجی مبتنی بر توان کمپرسور) برای اندازه‌گیری فشار منیفولد خروجی بر مبنای توان دینامیکی کمپرسور برای موتورهای دیزلی و اندازه گیری فشار خروجی منیفولد آن طراحی نمودند. به عنوان نتیجه گیری آنها اعلام نمودند که روش ارائه شده برای اندازه گیری فشار خروجی منیفولد دارای دقت بسیار بالایی است و عملکرد کنترل را بالا میبرد و آلاینده‌ها را نیز کاهش می‌دهد. گالیندو و همکاران [10]، یک نوع منیفولد خروجی را برای بهبود عملکرد یک موتور دیزل سرعت بالای توربوشارژ طراحی نمودند. برای بهبود عملکرد موتور، آنها به بهینه سازی طراحی منیفولد خروجی پرداختند این مدل نشان داد که نه تنها عملکرد ناپایای آن بهبود می‌یابد بلکه دمای گاز در ورودی کاتالیست تاثیر مثبتی خواهد داشت. کانازاکی و همکاران [11]، به بهینه سازی شکل منیفولد خروجی پرداختند. برای اینکار آنها از الگوریتم ژنتیک و به منظور رسیدن به توان بالاتر موتور استفاده نمودند. در حالت اول، شکل منیفولد با در نظر گرفتن سه نقطه در مرکز لوله و با فرض شعاع لوله ثابت بهینه سازی گردید. در حالت بعدی به بهینه سازی هم شعاع و هم سه نقطه در مرکز لوله پرداختند. در این حالت نه تنها بازده خروجی بلکه دمای گاز خروجی نیز بهبود یافتند. این نتیجه گیری نشان می‌دهد که شعاع لوله پارامتر بسیار مهمی برای بهبود دمای گاز خروجی است. موهیدین و همکاران [12]، به بررسی آزمایشگاهی میزان نویز و فشار پشتی در طراحی صدا خفه‌کن پرداختند. هدف اصلی مطالعه آنها یافتن رابطه بین فشار برگشتی و نویز بود. این دو دارای نسبت عکس باهم هستند. کاهش نویز در نوک باعث ایجاد فشار برگشتی بالایی میگردد. پانچال و همکاران [13] به منظور کاهش آلاینده‌های خروجی و دستیابی به فشار برگشتی مناسب به بهینه سازی منیفولد خروجی بپردازند. آنها مشاهده نمودن زمانی که زاویه منیفولد به اندازه 1 درجه افزایش میباید، میزان انتشار گازهای دی اکسید کربن نیز به اندازه 2.6 ppm افزایش خواهد یافت و انتشار گاز منوکسید کربن نیز به اندازه 0.054% افزایش خواهد یافت. همچنین زاویه منیفولد خروجی در زوایایی 20، 30 و 60 درجه نیز بهترین حالت برای کمترین میزان انتشار منوکسید کربن میباشد. چیوات و همکاران [14]، تاثیر استفاده از مبدل کاتالیزوری را بر مینیمم کردن فشار برگشتی و کاهش انتشار دود بررسی نمودند. آنها در مطالعه خود انواع مدلهای مختلف مبدل کاتالیستی را بر مبنای پارامترهای مختلف مانند اندازه و شکل سلول، پیکربندی و زاویه مخروط ورودی مطالعه نمودند. همچنین تاثیر انواع مختلف کاتالیست را در کاهش انتشار CO و HC بررسی نمودند. شبیه سازی بر مبنای دینامیک سیالات محاسباتی انجام گرفت. اندازه مبدل کاتالیتیکی تاثیر زیادی بر روی عملکرد مبدل خواهد داشت. در نهایت، نوع پوشش نیکل مونولیت باعث کاهش 50% در انتشار HC و کاهش 60% در میزان CO با مینیمم فشار برگشتی و بیشینه آشفتگی خواهد شد. باجپای و همکاران [15]، به تحلیل دینامیک سیالاتی محاسباتی منیفولد خروجی یک موتور اشتعال جرقه ای پرداختند و فشار برگشتی آن را در حالت استفاده از سوخت جایگزین مقایسه نمودند. آنها در مطالعه خود از سه نوع سوخت بنزین، الکل و LPG برای تخمین فشار برگشتی استفاده نمودند. نتایج نشان دادند که سوخت LPG مینیمم فشار برگشتی را نتیجه می‌دهد، دما و سرعت به طور تقریبی در محدوده یکسان با سوخت‌های دیگر بدست آمد. رانی و همکاران [16]، به بررسی آزمایشگاهی انتشار و فشار برگشتی یک موتور دیزلی پرداختند. تستها در شرایط سرعت های متفاوت انجام در محدوده 750 تا 1050 دو رد دقيقه صورت گرفت. هدف از انجام آن کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها و فشار برگشتی در حالت استفاده از کاتالیست بود. نتایج نشان دادند که میزان انتشار CO 3% کاهش یافت و همچنین میزان انتشار HC نیز به میزان 3% کاهش یافت. هانگ و همکاران [17]، به بهینه سازی یک سیستم چندراهه خروجی موتور بنزینی بر اساس نرم افزار يک بعدی BOOST پرداختند. آنها اتصال سیستم منیفولد خروجی را تغییر دادند. نتایج نشان داد که این طراحی جدید سیستم میزان آشفتگی را کاهش داده و فشار برگشتی را کاهش خواهد داد و سیستم منیفولد را بهینه خواهد کرد.

در این پژوهش به بررسی تجربی تاثیر اجزای سامانه خروجی دود همانند کاتاليست شیمیایی و منيفلد دودبر پارامترهای عملکردی موتور XUM همانند توان و گشتاور پرداخته شده است.

**موتور XUM**

مورد مطالعه در این پژوهش مطابق شکل 1 موتور XUM که دارای 4 سیلندر و حجم 1761 سی‌سی با تنفس طبیعی می‌باشد و در جدول شماره 1 مشخصات کلی این موتور آورده شده است.



شکل 1 – تصویر موتورXUM

جدول 1: مشخصات فنی موتور

|  |  |
| --- | --- |
| نوع مشخصه | مقدار مشخصه (واحد) |
| نام موتور | XUM |
| ظرفیت موتور(cc) | 1761 |
| مدیریت موتور | Siemans |
| قطر سیلندر | 83 |
| تعداد سیلندر | 4 |
| نسبت تراکم | 9.3:1 |
| سیستم سوخت رسانی | افشانه ایی چند نقطه ای(بنزین) |
| کورس پیستون | 81.4 |

در این مطالعه اثر مجموعه چندراهه خروجی بهمراه کاتاليست شیمیایی بر پارامترهای عملکردی مورد بررسی قرار می گیرد. در شکل 2 تصویر چندراهه خروجی موتور مبنا (EU4) و در شکل 3 تصویر چندراهه خروجی بهینه (EU2) نشان داده شده است که تفاوت های اصلی این دو طرح نسبت به یکدیگر تغییر فرم راه گاه خروجی دود می باشد.

قطعه ديگر که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است قطعه کاتاليست شیمیایی می باشد که در شکل 4 تصویر کاتاليست شیمیایی مبنا و در شکل 5 تصویر کاتاليست شیمیایی بهینه نشان داده شده است.

در ادامه مجموعه منيفلد دود و کاتاليست شیمیایی بر روی یک موتور تحت آزمون عملکردی جهت بررسی میزان توان، گشتاور و فشار دود خروجی قرار گرفت.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| شکل 2. تصویر منيفلد دودموتور مبنا(EU4 ) | شکل 3. تصویر منيفلد دودموتور بهینه(EU2) |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| شکل 4. تصویر کاتاليستشیمیایی موتور مبنا(EU4) | شکل 5. تصویر کاتاليستشیمیایی موتور بهینه(EU2) |

**آزمايش میز جریان**

آزمون میز جریان جهت بررسی کیفیت افت فشار چندراهه ها، کاتاليستها و راهگاه ها به کار می رود که بیشترین کاربرد آن در توسعه راهگاههای بستار موتور می باشد. به وسیله این دستگاه، با اعمال اختلاف فشار معین به دو سر جز مورد مطالعه، میزان افت فشار و ضرایبی مانند ضرایب جریان و تخلیه بدست میآید. این ضرایب تاثیر مستقیمی بر پارامترهای عملکردی موتور مانند بازه تنفسی و در نتیجه توان و گشتاور دارد. شکل 6 نمای کلی دستگاه میز جریان را نشان می‌دهد. در آزمون جریان، دو منیفولد دود یورو 2 و یورو 4 از یک سرسیلندر جهت استخراج افت فشار منیفولدهای دود استفاده گردید.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 6. دستگاه میز جریان جهت اندازه گیری افت جریان در چندراهه خروجی |

برای آماده سازی سرسیلندر لازم می باشد سوپاپ ها بر روی سرسیلندر مونتاژ گردد. ساعت مورد نیاز در آزمون با دقت 0.01 میلی متر می باشد. دستگاه میز جریان را روشن کرده و اختلاف فشار را برای انجام کلیه تست ها بر روی 50 سانتی متر آب تنظیم می کنیم. برای محاسبه دبی جریان, گشودگی سوپاپ‌ها با پرش 1 میلی متری تا 10 میلی متر اندازه گیری می‌شود. تعداد دفعات داده برداری به صورت پیش فرض, 25ثانیه(25 بار تعداد دفعات داده برداری) قرار داده شده است. در حین انجام تست، تکرار پذیر بودن نتایج ضروری است.

در شکل 7 نمودار دبی حجمی هوای عبوری از منيفلد دود با استاندادر يورو 2 بر حسب ميزان بلند شدن سوپاپ برای وروديهای 1 تا 4 منيفلد دود (سيلندر 1 تا 4 ) آورده شده است. در زمان بسته شدن سوپاپ جريانی وارد منيفلد هوا نمی شود. اولين ميزان بازشدگی مربوط به 1 ميلی متر است که دبی عبور ی آن 8 ليتر بر دقيق می باشد. با افزايش ميزان بلند شدن سوپاپ دبی حجمی افزايش پيدا می کند و در ميزان بلند شدگی 10 ميلی متر به 45 ليتر بر دقيق می رسد. چون طول ورودی چهارم (مطابق شکل 3) از سه ورودی ديگر بيشتر است بنابراين افت فشار بيشتری دارد و دبی هوای عبوری از آن کمتر است، بطوری که در ميزان بلند شدگی سوپاپ 10 ميلی متر دبی عبوری آن 4/42 ليتر بر دقيقه می باشد.

|  |
| --- |
|  |
| شکل7. شدت جریان عبوری از پورت های منيفلد دودیورو2 |

در شکل 8 نمودار دبی حجمی هوای عبوری از منيفلد دود با استاندادر يورو 4 بر حسب ميزان بلند شدن سوپاپ برای وروديهای 1 تا 4 منيفلد دود (سيلندر 1 تا 4 ) آورده شده است. در زمان بسته شدن سوپاپ جريانی وارد منيفلد هوا نمی شود. اولين ميزان بازشدگی مربوط به 1 ميلی متر است که دبی عبور ی آن 8 ليتر بر دقيق می باشد. با افزايش ميزان بلند شدن سوپاپ دبی حجمی افزايش پيدا می کند و در ميزان بلند شدگی 10 ميلی متر به 4/46 ليتر بر دقيق می رسد. چون طول ورودی چهارم از سه ورودی ديگر بيشتر است بنابراين افت فشار بيشتری دارد و دبی هوای عبوری از آن کمتر است، بطوری که در ميزان بلند شدگی سوپاپ 10 ميلی متر دبی عبوری آن 3/43 ليتر بر دقيقه می باشد. پس از اتمام انجام دو آزمون نتایج از دستگاه استخراج و بازبینی می شود و در صورت اشکال دردیتابرداری مجدداً در آن نقطه مورد نظر آزمون تکرار می گردد. با توجه به نتایج بدست آمده و نمودار تحلیلی زیر می توان نتیجه گرفت که اختلاف جریان ورودی و خروجی در منيفلد دودیورو2 و یورو 4 تفاوت چندانی ندارد و می توان اثر هر کدام از آنها را در نتایج آزمون دینامیکی نادیده گرفت.

|  |
| --- |
|  |
| شکل8. شدت جریان عبوری از پورت های منيفلد دودیورو4 |

## **نحوه انجام آزمون**

جهت انجام آزمون دینامیکی موتور XUM در اتاق آزمون مورد ارزیابی قرار م گيرد. پس از آمادگی موتور شامل نسب دستگاههای اندازه گیری سوخت، روغن و سنسورهای کنترلی دما و هوا, موتور تحت آزمون دینامیکی قرار می گیرد. موتورهای XUM مطابق پروسه PSA به 13 ساعت آببندی نیاز دارد و پس از آزمون آببندی، موتور تحت آزمون عملکرد قرار گرفته و وضعیت آزمون آببندی مطابق دستورالعمل پژو به شماره DI/DII/DIL/SR/T2808/JCO 1585 انجام می گردد. گشتاور و قدرت موتور با استفاده از مرجع ISIRI 6483 , 6483a- ISO1585 محاسبه شده‌اند.

اندازه گیری گشتاور موتور در حالت تمام بار انجام می گیرد. در حالت تمام بار دریچه گاز موتور کامل باز بوده و در دورهای مختلف گشتاور موتور استخراج می‌گردد. در فرآیند انجام آزمون دینامیکی عملکرد، جهت رویت روند گشتاور موتور, استخراج گشتاور از دور 1000 تا دور 6250 د.د.د این اندازه گیری با استپ های 500 د.د.د انجام می شود. در زمان آزمون عملکرد دمای آب در کل فرآیند ثابت و تحت کنترل می‌باشد. آزمون عملکرد حدود 1 ساعت به طول می‌انجامد. شرایطی که برای انجام این آزمایش در نظر گرفته شده است به صورت زیر می‌باشد:

1) در آزمون فن خنك كننده اگزوز در دور 2500 د.د.د و گشتاور 25 N.m و در آزمون عملكرد تمام بار از ابتدا روشن گرديده است.

2) آزمون عملكرد تمام بار با واكنشگر انجام شد.

3) آزمون عملكرد با سوخت بنزين انجام شد.

هدف از انجام ازمون بررسی اثر استفاده از منيفلد با استاندارد يورو 2 و 2 (شکلهای 2و 3 ) و اثر کاتاليست ( شکلهای 4 و 5 ) می باشد.

**بررسی نتایج آزمون**

در شکل 9 نمودار گشتاور موتور با در نظر گرفتن منيفلد دود و کاتاليست استانداردهای يورو 2 و يورور 4 در مقابل دور موتور آورده شده است. مطابق نمودار گشتاور مجموعه منيفلد دود و کاتاليست يورو 2 در تمامی دورها بيش از گشتاور مجموعه يورو 4 می باشد. بيشترين افزايش در دورهای 1500 تا 3000 د.د.د ديده می شود و کمترين افزايش در دور 3500 د.د.د می باشد. با توجه به اينکه محدود دور موتور در حالت استفاده از خودرو بطور معمول زير 3000 د.د.د دقيقه است. پس استفاده از مجموعه يورو دور بهتر می باشد. مطابق شکل 10 در نمونه (EU2) در دور 3000 د.د.د گشتاور 140.4 Nm و در نمونه (EU4) در دور 3000 د.د.د گشتاور 136.4 Nm حدود 3 درصد افزایش گشتاور نسبت به نمونه (EU4) مشاهده می شود.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 9 . نمودار گشتاور موتور با در نظر گرفتن منيفلد دود و کاتاليست استانداردهای يورو 2 و يورور 4 |

در شکل 10 نمودار توان موتور با در نظر گرفتن منيفلد دود و کاتاليست استانداردهای يورو 2 و يورور 4 در مقابل دور موتور آورده شده است. مطابق نمودار توان مجموعه منيفلد دود و کاتاليست يورو 2 در تمامی دورها بيش از توان مجموعه يورو 4 می باشد. بيشترين افزايش در دورهای 4000 تا 6250 د.د.د ديده می شود و کمترين افزايش در دور 1000 د.د.د می باشد. مطابق شکل 11 در نمونه (EU2) در دور 6250 د.د.د توان 66.6 kW و در نمونه (EU4) 61 kW حدود 9 درصد افزایش گشتاور نسبت به نمونه (EU4) مشاهده می شود.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 10 . نمودار توان موتور با در نظر گرفتن منيفلد دود و کاتاليست استانداردهای يورو 2 و يورور 4 |

در شکل 11 نمودار مصرف سوخت ويژه ترمزی با در نظر گرفتن منيفلد دود و کاتاليست استانداردهای يورو 2 و يورور 4 در مقابل دور موتور آورده شده است. مطابق نمودار ميزان مصرف سوخت ويژه ترمزی مجموعه منيفلد دود و کاتاليست يورو 2 در تمامی دورها کمتر از گشتاور مجموعه يورو 4 می باشد. بيشترين کاهش در دورهای 3000 تا 6250 د.د.د ديده می شود و کمترين کاهش در دور 3000 د.د.د می باشد. مطابق شکل 11 در نمونه (EU2) در دور 6250 د.د.د توان339.9 g/kW.h و در نمونه (EU4) 365.4 g/kW.h حدود 9 درصد افزایش گشتاور نسبت به نمونه (EU4) مشاهده می شود که حدود 5/7 درصد کاهش مصرف سوخت نسبت به یورو 4 مشاهده می شود.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 11 . نمودار مصرف سوخت ويژه ترمزی موتور با در نظر گرفتن منيفلد دود و کاتاليست استانداردهای يورو 2 و يورور 4 |

در شکل 12 نمودار فشار خروجی اگزوز با در نظر گرفتن منيفلد دود و کاتاليست استانداردهای يورو 2 و يورور 4 در مقابل دور موتور آورده شده است. مطابق مقدار فشار خروجی مجموعه منيفلد دود و کاتاليست يورو 2 در تمامی دورها کمتر از فشار مجموعه يورو 4 می باشد و اين کاهش فشار با افزايش دور با نرخ بيشتری انجام می شود.

بيشترين کاهش در دور 6250 د.د.د ديده می شود و کمترين کاهش در دور 1000 د.د.د می باشد. مطابق شکل 11 در نمونه (EU2) در دور 6250 د.د.د فشار خروجی 23.9 kPa و در نمونه (EU4) 49.8 kPa می شود.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 12 . نمودار فشار خروجی اگزوز موتور با در نظر گرفتن منيفلد دود و کاتاليست استانداردهای يورو 2 و يورور 4 |

## 

مدل‌های شبیه‌سازی در صورتی‌که بتوانند سیستم موتور را به‌ خوبی مدل نمایند می‌توانند کمک بسیاری به طراحان موتور نمایند. ارزش اقتصادی این مدل‌هاي يک بعدی مدار عملکرد به این است که زمان و هزینه توسعه موتورهای جدیدتر را کاهش می‌دهد و ارزش فنی آنها در این است که نکات مهمی در طراحی موتور که نیازمند توجه خاصی هستند را مشخص می‌کند. در این شبیه‌سازی از نرم افزار GT- power برای مدلسازی موتور مورد نظر استفاده شده است. با استفاده از این نرم افزار مدار قدرت موتور شبیه سازی شده و با استفاده از شرایط مرزی موردنظر نتایج حاصل از عملکرد موتور به‌دست می‌آید.

فرضیاتی که از آنها در مدل شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار استفاده شده است، عبارت‌اند از:

1) مدل انتقال حرارت استفاده شده، مدل وشنی است.

2) دمای محیط بیرونی موتور برای انتقال حرارت جابجایی و تشعشعی، 320 کلوین در نظر گرفته شده است.

3) پایشگر در نظر گرفته شده برای دریچه اتلاف، در سامانه پرخورانی، پایشگر V73 میباشد.

پارامترهای دیگری که میبایستی به‌عنوان شرایط مرزی به نرم‌افزار داده شوند، عبارت‌اند از: دمای محیط، دمای هوای ورودی به موتور، فشار محیط و جو، فشار هوای ورودی به موتور، دمای آب در سامانه خنک‌سازی، دمای سوخت پیش از پاشش، دمای سطح بالای استوانه (که شامل سوپاپ‌ها نیز هست) و سمبه و دیواره استوانه، فشار موثر متوسط اصطکاکی (FMEP)، کتان سوخت استفاده شده، میزان سوخت پاشیده شده. مدار عملکرد موتور XUM در این نرم افزار در شکل 13 نشان داده شده است.

|  |
| --- |
| C:\Users\Gigabyte\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\New Picture.png |
| شکل 13. مدار شبیه‌سازی قدرت موتور XUM |

شکل 14 مقایسه میزان گشتاور خروجی با منيفلد و کاتاليست يورو 4 در دورهای مختلف برای نتايج آزمون و عددی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می­شود اختلاف دو حالت در دور 3500 د.د.د اتفاق افتاده است که خطا زير 10 درصد می باشد.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 14. نمودار گشتاور بر حسب دور برای حالت آزمایشگاهی و عددی در حالت یورو4 |
|  |
| شکل 15. نمودار توان بر حسب دور برای حالت آزمایشگاهی و عددی در حالت یورو4 |

شکل 15 نمودار تعییرات توان بر حسب دور در دو حالت آزمایشگاهی و عددی را با هم مقایسه می کند. از مقایسه نمودار بالا، میزان خطای میانگین در دو حالت در حدود 0.8% بدست آمد که نشان دهنده این است که نتایج با تقریب خوبی بر هم منطبق هستند. شکل 16 نمودار مقایسه تغییرات فشار برگشتی عددی و ازمون می باشد. از نتايج می توان ديد که بيشترين اختلاف در دور 1500 د.د.د وجود دارد که علت آن می تواند اختلاف افت فشار کاتاليست در حالت عددی و ازمايشگاهی باشد.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 16. نمودار فشار خروجی اگزوز بر حسب دور برای حالت آزمایشگاهی و عددی در حالت یورو4 |

شکل 17 نمودار مصرف سوخت ويژه ترمزی بر حسب دور در دو حالت آزمایشگاهی و عددی را با هم مقایسه می کند. بيشترين درصد خطا در این حالت نیز در حدود 0.86% محاسبه گردید که عدد مناسبی میباشد.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 17. نمودار مصرف سوخت ويژه ترمزی بر حسب دور برای حالت آزمایشگاهی و عددی در حالت یورو4 |

شکل 18 مقایسه میزان گشتاور خروجی با منيفلد و کاتاليست يورو 2 در دورهای مختلف برای نتايج آزمون و عددی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می­شود اختلاف دو حالت در دور 3000 د.د.د اتفاق افتاده است که خطا 12 درصد می باشد. شکل 19 نمودار تعییرات توان بر حسب دور در دو حالت آزمایشگاهی و عددی را با هم مقایسه می کند. از مقایسه نمودار بالا، میزان خطای میانگین در دو حالت در حدود 9% بدست آمد.

شکل 20 نمودار مقایسه تغییرات فشار برگشتی عددی و ازمون می باشد. از نتايج می توان ديد که بيشترين اختلاف در دور 6000 د.د.د وجود دارد که حدود 4 درصد است.

شکل 21 نمودار مصرف سوخت ويژه ترمزی بر حسب دور در دو حالت آزمایشگاهی و عددی را با هم مقایسه می کند. بيشترين درصد خطا در این حالت نیز در حدود 9% محاسبه گردید که عدد مناسبی میباشد.

|  |
| --- |
|  |
| شکل 18. نمودار گشتاور بر حسب دور برای حالت آزمایشگاهی و عددی در حالت یورو2 |
|  |
| شکل 19. نمودار توان بر حسب دور برای حالت آزمایشگاهی و عددی در حالت یورو2 |
|  |
| شکل 20. نمودار فشار خروجی اگزوز بر حسب دور برای حالت آزمایشگاهی و عددی در حالت یورو2 |
|  |
| شکل 21. نمودار مصرف سوخت ويژه ترمزی بر حسب دور برای حالت آزمایشگاهی و عددی در حالت یورو2 |

**نتيجه‌گيري**

در این پژوهش ابتدا مدار عملکرد موتور به صورت یک بعدی با استفاده از نرم افزار جی تی پاور شبیه سازی گردید و اثر تغییر کاتالیست بر روی فشار راهگاه خروجی موتور، گشتاور و توان موتور و همچنين تغییرات زاویه چند راهه دود و تاثیر آن بر روی شدت جریان خروجی مورد بررسی قرار گرفت. سپس از طریق آزمون میز جریان و تاثیر منيفلد دودمورد بررسی قرار گرفت. نتيجه نشان می دهد که با فرض ثابت بودن تمامی متغیرها در دو حالت آزمایش، میزان گشتاور خروجی موتور در حالت تست با منیفولد دود طرح یورو 2 بیشتر از موتور با منیفولد دود طرح یورو 4 میباشد که بدین معنا است که توان خروجی آن نیز در حالت یورو 2 بهبود یافته و مناسب تر میباشد. همچنين افت فشار در دو طرح چندراه خروجی یورو2 و یورو 4 تفاوت چندانی ندارد و می توان اثر هر کدام از آنها را در نتایج آزمون دینامیکی نادیده گرفت.

**مراجع و منابع**

[1] ارزیابی علل افت توان موتور XUM، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو،مهندس نیکروان.

[2] آشنایی با استاندارهای آلایندگی خودرو یورو، تهیه شده در مدیریت پشتیبانی و نظارت بر شرکتها، 1392

[3] Jawad, B., Biggs, C., & Klein, B. (2002). Exhaust system design for a four cylinder engine (No. 2002-01-3316). SAE Technical Paper.

[4] Kim, J. Y., Corsetti, M. L., Biundo, L., Dobson, D. A., & Beason, R. E. (2003). Modeling and measuring exhaust backpressure resulting from flow restriction through an aftertreatment system (No. 2003-01-0939). SAE Technical Paper.

[5] Talbot, J., & Nezan, S. (2009). Engine Performance Optimization through Exhaust System Simulation and Testing. MTZ worldwide, 70(9), 48-56.

[6] Dixit, M., Sundaram, V., & Kumar, S. S. (2016). A Novel Approach for Flow Simulation and Back Pressure Prediction of Cold End Exhaust System (No. 2016-28-0235). SAE Technical Paper.

[7] R, Sivaram & Rangasamy, Rajavel & Jayakumar, N & Vinothkumar, M. (2017). Exhaust back pressure effect on the performance features of a diesel engine. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 12. 5353-5356.

[8] Balakrishna,B., and Srinivasarao Mamidala. "Design optimization of catalytic converter to reduce particulate matter and achieve limited back pressure in diesel engine by CFD." International Journal of current engineering and Technology 2 (2014): 651-658.

[9] Jin, H., Choi, S., & Kim, S. (2014). Design of a compressor-power-based exhaust manifold pressure estimator for diesel engine air management. International Journal of Automotive Technology, 15(2), 191-201.

[10] Galindo, J., Luján, J. M., Serrano, J., Dolz, V., & Guilain, S. (2004). Design of an exhaust manifold to improve transient performance of a high-speed turbocharged diesel engine. Experimental Thermal and Fluid Science, 28(8), 863-875.

[11] Kanazaki, M., Morikaw, M., Obayashi, S., & Nakahashi, K. (2002, September). Multiobjective design optimization of merging configuration for an exhaust manifold of a car engine. In International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (pp. 281-287). Springer, Berlin, Heidelberg.

[12] Mohiuddin, A., Ideres, M., & Hashim, S. (2005). Experimental study of noise and back pressure for silencer design characteristics. Journal of Applied Sciences(Pakistan), 5(7), 1292-1298.

[13] Panchal, T., Panchal, D., Dogra, B., & Shah, K. Effect of Exhaust Back Pressure on Exhaust Emissions by Altering Exhaust Manifold Position. International Journal of Emerging Research in Management &Technology ISSN, 2278-9359.

[14] Wani, U.S., Korane, A.B., & Kapatkar, V.N. (2017). Design , Analysis & Testing of Catalytic Converter for Emission Reduction & Backpressure Optimization.

[15] Bajpai, Kanupriya & Chandrakar, Akash & Agrawal, Akshay & Shekhar, Shiena. (2017). CFD Analysis of Exhaust Manifold of SI Engine and Comparison of Back Pressure using Alternative Fuels. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 14. 23-29. 10.9790/1684-1401012329.

[16] Patil, Dipak & Arakerimath, Rachayya. (2015). Experimental Analysis Of Engine Exhaust Back Pressure On Emission Characteristics Of Four Cylinder Diesel Engine

[17] Huang, W., Zhou, Y., Chen, Q., & Peng, X. (2010, June). Optimization for one gasoline engine exhaust system based on BOOST. In Control and Automation (ICCA), 2010 8th IEEE International Conference on (pp. 1086-1091). IEEE.