

مطالعه عوامل موثر بر توزیع گازهای برگشتی و رخنه‌های تزریق شده به چندراهه ورودی موتور EF7

پیمان باشی شهابی^{۱*}؛ حمید نیازمند^۲؛ سید محمدرضا مدرس رضوی^۳

چکیده

روند رو به افزایش آلودگی محیط زیست و قوانین سختگیرانه، شرکت‌های خودروسازی را مجبور به تولید محصولات با آلاینگی کمتر می‌نماید. در این راستا تخلیه گازهای رخنه‌ای تولید شده در موتور خودروها به محیط ممنوع شده است. امروزه راهکار مورد استفاده، بازگرداندن این گازها به محفظه احتراق و سوزاندن آنها است. از سوی دیگر استفاده از روش بازگردانی دود برای کاهش اکسیدهای ازت در موتورهای احتراق داخلی مفید بوده است. در هر دو روش، توزیع غیر یکنواخت گازهای بازگردانده شده بین راهگاه‌های چندراهه ورودی، منجر به کاهش چشمگیر توان و افزایش آلاینده‌های موتور خواهد شد. علاوه بر موقعیت تزریق که نقش تعیین‌کننده‌ای در چگونگی توزیع گازهای تزریق شده دارد، به نظر می‌رسد که عواملی مانند دور موتور، سرعت و زاویه تزریق بر چگونگی توزیع گازها اثر بخش باشند. در این تحقیق عددی اثر این عوامل بر توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای تزریق شده به چندراهه ورودی موتور EF7 مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که زاویه تزریق کم‌ترین و دور موتور بیش‌ترین اثر را بر توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای تزریق شده به منفولد دارند.

کلمات کلیدی: گازهای برگشتی، گازهای رخنه‌ای، زاویه تزریق، سرعت تزریق، دور موتور، غیریکنواختی

Study of Effective Parameter on Distribution of EGR/Blowby Injection in the EF7 Intake Manifold

P. B. Shahabi, H. Niazmand and M. R. M. Razavi

ABSTRACT

Increase of environmental pollution and stricted emission legislations has forced companies to produce automobiles with the lower air pollutants. In this respect, discharge of blowby gases into the environment is prohibited and recirculating the gases into the combustion chamber and burning them is used as the accepted solution. In addition, using EGR technique to control and reduce nitrogen oxides in internal combustion engines has been quite effective. An important common feature of these two methods is that if they have not employed correctly the increase of other pollutants and significant engine power reduction may occur which is mostly due to maldistribution of recirculated gases in the manifold. Besides the injection position that has significant role in distribution of injected gas, it seems that other parameters such as the engine speed, the velocity and angle of injection may play a great role on the distribution of i-njected gases. In this numerical study the effect of these parameters on distribution of injected EGR or blowby gases into the EF7 intake manifold are determined. Results show injection angle and engine speed have the least and the most effect on injected gases distribution, respectively.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۵/۹

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۳/۸

^{۱*} نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری، گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد: pbshahabi@yahoo.com

^۲ دانشیار، گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد: hniazmand@yahoo.com

^۳ استاد، گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد: m-razavi@um.ac.ir

۱- مقدمه

هوا معرفی و مزایای آن را نسبت به دو روش قبلی شرح داده‌اند [۱۳] و [۱۴]. در مطالعات گذشته بیش‌تر تعیین بهترین موقعیت تزریق دود یا گازهای رخنه‌ای برای توزیع همگن‌تر و یکنواخت‌تر گازهای تزریق شده بین سیلندرها مورد توجه بوده است. اثر سایر عوامل مانند سرعت تزریق و یا دور موتور که به نظر می‌رسد بر توزیع این گازها موثر باشند کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته و اثر عاملی چون زاویه تزریق تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است. با استفاده از مزایای روش تعقیب ذرات که توسط نویسندگان این مقاله توسعه داده شده است [۱۶]، می‌توان نقش این عوامل را در چگونگی توزیع یکنواخت گازهای تزریق شده به چندراهه مورد بررسی قرار داد که این مطالعه، موضوع مقاله حاضر است که بر روی موتور EF7 انجام شده است. گفتنی است که در عمل چنین مطالعه‌ای به کمک روش‌های پیشین با توجه به محدودیت‌های آن‌ها امکان پذیر نیست.

در ابتدا برای اینکه اهمیت و مزایای روش تعقیب ذرات در چنین مطالعاتی روشن شود این روش و دو روشی که پیش‌تر مورد استفاده قرار گرفته به‌طور خلاصه تشریح می‌شوند.

۲- روش‌های مختلف بررسی توزیع گازهای رخنه‌ای یا دود بازگردانده شده

همان‌طور که گفته شد دو روش، تزریق CO_2 و روش حرارتی به‌همراه روش جدید تعقیب ذرات، روش‌هایی هستند که می‌توانند برای مطالعه توزیع گازهای بازگردانده شده به منیفولد مورد استفاده قرار گیرند. دو روش پیشین را می‌توان به‌صورت آزمایشگاهی و همچنین عددی به‌کار گرفت. توریس و هنریوت [۸] در بررسی عددی و سیورت و همکاران [۹] در یک تحقیق تجربی و عددی از اثر تزریق گازی غیر از هوا، برای مطالعه اثر و چگونگی توزیع دود بازگردانده شده به چندراهه ورودی هوا استفاده نمودند. همچنین گرین [۱۱] در بررسی تجربی و با استفاده از تزریق CO_2 ، روشی برای اندازه‌گیری توزیع دود بازگردانده شده در منیفولد پیشنهاد نمود. در یک مطالعه آزمایشگاهی ویلیام و همکاران [۱۰] اثر عوامل هندسی بر میزان مخلوط شدن دود بازگردانده شده و هوای وارد شده به چندراهه ورودی را به‌کمک روش حرارتی بررسی نمودند. در ادامه به تشریح مختصر این روش‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۱- روش تزریق CO_2

درمقدمه توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای رخنه‌ای را می‌توان با در نظر گرفتن دو نوع گاز در میدان جریان چندراهه

امروزه آلاینده‌های هوا یکی از بزرگ‌ترین مشکل‌های بشر است. طراحان خودروسازان برای رعایت استانداردهای آلاینده‌های جدید، از هر عاملی که حتی اثر کمی بر کاهش آلاینده‌های موتورها دارد نیز صرف‌نظر نمی‌نمایند. از سال‌ها قبل، استفاده از روش بازگردانی دود^۱ برای کنترل و کاهش اکسیدهای ازت^۲ در موتورهای احتراق داخلی مورد استفاده قرار گرفته که اثر بخش بوده است [۱]-[۶]. در این روش، درصدی از محصولات احتراق از سیستم خروجی به چندراهه ورودی هدایت می‌شود. با توجه به کاهش مقدار سوخت محترق شده، دمای احتراق کاهش پیدا می‌نماید. از آن‌جاکه دمای بالا مهم‌ترین عامل تولید اکسیدهای ازت در موتور خودروها است به کمک این روش می‌توان تولید اکسیدهای ازت را کنترل نمود. از طرف دیگر قوانین آلاینده‌های موجود به تولیدکنندگان موتور اجازه نمی‌دهد که گازهای رخنه‌ای^۳ تولید شده که حاصل نفوذ مخلوط سوخت و هوا و همچنین محصولات احتراق به محفظه روغن موتور هستند را به محیط تخلیه کنند. امروزه راهکار مورد استفاده برای جلوگیری از آلاینده‌های گازهای رخنه‌ای، بازگرداندن این گازها به محفظه احتراق و سوزاندن آن‌ها است [۷]. نکته جالب در مورد این دو راهکار آن است که هر دو روش با استفاده از سیستمی که گازهای موردنظر را به چندراهه ورودی هدایت می‌نماید کار می‌کنند. اگر روش بازگردانی این گازها به‌درستی و با دقت استفاده نشود به کاهش توان و افزایش سایر آلاینده‌های موتور منجر خواهد شد. مهم‌ترین عامل بروز این مشکلات توزیع غیر یکنواخت دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراهه ورودی در بین راهگاه‌های ورودی سیلندرها است [۸]-[۱۲]. از این رو به‌کار گرفتن وسیله‌ای که دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده را بطور یکنواخت، بین راهگاه‌های ورودی سیلندرها توزیع نماید لازم است. در تحقیقات قبلی [۱۳]-[۱۵] نشان داده شده است که موقعیت و تعداد نقاط تزریق دود بازگردانده شده یا گازهای رخنه‌ای اثر زیادی در توزیع یکنواخت آن‌ها بین سیلندرها دارند.

روش‌های مورد استفاده برای مطالعه توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراهه موتور در تحقیقاتی که تاکنون انجام شده است محدود به دو روش تزریق CO_2 و روش حرارتی بوده است. در سالهای اخیر نویسندگان مقاله حاضر، روش تعقیب ذرات را برای بررسی چگونگی توزیع گازهای رخنه‌ای یا دود بازگردانده شده به چندراهه ورودی



از گازهای تزریق شده ارائه شده است:

$$\frac{\dot{m}_{EGRBlowby,i}}{\dot{m}_{EGRBlowby}} = \frac{\dot{m}_{air} + \dot{m}_{EGRBlowby}}{N \dot{m}_{EGRBlowby}} \frac{T_i - T_{air}}{T_{EGRBlowby} - T_{air}} \quad (1)$$

که در آن $\dot{m}_{EGRBlowby,i}$ شدت جریان جرمی گازهای بازگردانده شده عبورکننده از هر راهگاه منفولد، \dot{m}_{air} و $\dot{m}_{EGRBlowby}$ به ترتیب شدت جریان جرمی کل هوا و گازهای بازگردانده شده به چندراه و N تعداد سیلندر یا راهگاه‌های چندراه ورودی است. همچنین T_{air} دمای هوای ورودی، $T_{EGRBlowby}$ دمای دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراه و T_i دمای مخلوط عبورکننده از هر راهگاه است. گفتنی است که در رابطه تغییرات گرمای ویژه C_p با دما ناچیز در نظر گرفته شده که با توجه به درجه حرارت‌های متداول فرض قابل قبولی است.

برای انجام این روش به صورت آزمایشگاهی باید به تعداد سیلندرهای موتور، حسگر اندازه‌گیری دما در داخل راهگاه‌های چندراه ورودی نصب شود که محل نصب و فاصله حسگر از دیواره داخلی راهگاه می‌تواند بر روی نتایج به دست آمده به طور کامل موثر باشد. همچنین اثرات تراکم‌پذیری و عواملی غیر از اختلاط گاز داغ با هوا که باعث تغییر دمای مخلوط هوا و گاز تزریق شده می‌شود نیز بر دقت نبودن نتایج به دست آمده از این روش موثر هستند.

برای استفاده از این روش در شبیه‌سازی عددی به کمک پردازنده‌ای که در قسمت قبل به آن اشاره شد به زمانی حدود ۳/۵ دقیقه برای هر گام زمانی نیاز است. کاهش زمان در مقایسه با روش تزریق CO_2 به علت نیاز نبودن حل معادلات انتقال است. با این وجود این روش نیز مشابه روش تزریق CO_2 نیازمند صرف زمانی طولانی برای انجام یک بررسی جامع بر روی توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای تزریق شده به منفولد است. همچنین باید اشاره نمود که چون اساس این روش بر مبنای اختلاف دمای گازهای برگشتی به چندراه و هوای ورودی است، بنابراین این روش فقط برای مطالعه توزیع بازگردانی محصولات احتراق داغ در چندراه ورودی مناسب است و در بررسی توزیع گازهای رخنه‌ای یا بازگردانی محصولات احتراق سرد شده کارایی زیادی ندارد.

۲-۳- روش تعقیب ذرات

در این روش به جای تزریق گاز از موقعیت یا موقعیت‌های موردنظر، ذرات بدون جرمی به درون میدان جریان تزریق می‌شوند. مشخصات مربوط به چگونگی تزریق از قبیل موقعیت، سرعت و جهت تزریق به راحتی قابل تنظیم است. این ذرات بدون تداخل با یکدیگر تحت اثر میدان جریان هوای ورودی قرار گرفته و در منفولد پخش شده و به سمت

ورودی مطالعه نمود. در این روش، هوای ورودی نقش جریان اصلی و گاز نوع دوم، نقش دود بازگردانده شده یا گازهای رخنه‌ای تزریق شده به چندراه را دارد که می‌تواند CO_2 یا HC باشد و با شدت جریان جرمی مشخصی از موقعیت یا موقعیت‌های معین به چندراه ورودی تزریق می‌شود. در این روش با اندازه‌گیری (در مطالعات آزمایشگاهی) یا محاسبه (در شبیه‌سازی عددی) کسر جرمی گاز نوع دوم (CO_2 یا HC) در انتهای هر یک از راهگاه‌های چندراه هوا می‌توان سهم آن راهگاه یا سیلندر از دود بازگردانده شده یا گاز رخنه‌ای تزریق شده را تعیین نمود.

استفاده از این روش اگرچه دقت خوبی دارد ولی در مطالعات تجربی نیازمند صرف هزینه‌های زیاد آزمایش و در صورت انجام شبیه‌سازی عددی نیازمند صرف زمان بسیار طولانی است. حل یک گام زمانی این میدان جریان با یک شبکه‌بندی $700,000$ سلولی به کمک پردازنده (Intel E 6400) متوسط بین ۵ تا ۶ دقیقه زمان نیاز دارد. با در نظر گرفتن هر گام زمانی معادل زمان چرخش میل لنگ به اندازه ۲ درجه، هر دوره شامل ۳۶۰ گام زمانی خواهد بود که برای حل آن نیاز به صرف زمانی بین ۳۰ تا ۳۶ ساعت است. در صورت نیاز به رسیدن به شرایط پایدار حداقل ۸ الی ۱۰ دوره کاری باید حل شود. از طرف دیگر با در نظر گرفتن شبیه‌سازی‌های لازم برای بررسی حالت‌های تزریق هم‌زمان، از دو یا چند نقطه و مطالعه اثر سرعت تزریق، زاویه تزریق و عواملی مشابه، زمانی بسیار طولانی نیاز خواهد بود و در نتیجه در عمل انجام آن با چنین روشی امکان‌پذیر نیست.

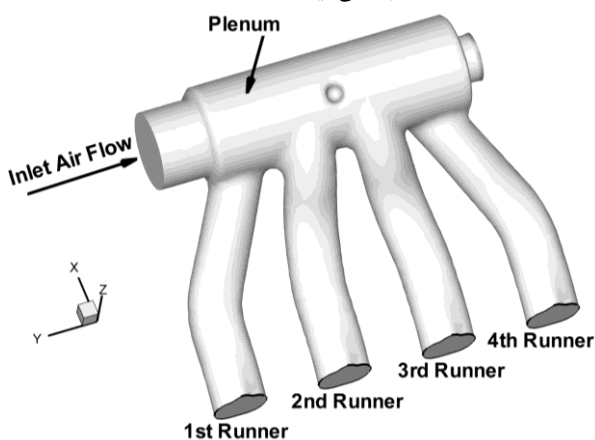
۲-۲- روش حرارتی

در این روش از تزریق گازهای داغ به جای دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراه ورودی هوا استفاده می‌شود. به علت اختلاف دمایی که گازهای تزریق شده با هوای ورودی به چندراه دارند از ترکیب آن‌ها مخلوطی ایجاد می‌شود که دمای آن با دمای اولیه هوا و گاز تزریق شده متفاوت است. بدیهی است که دمای مخلوط، نشان دهنده میزان گاز تزریق شده در مخلوط است. با معین بودن شدت جریان هوای ورودی و گازهای تزریق شده با اندازه‌گیری یا محاسبه دما در خروجی هر یک از راهگاه‌های چندراه ورودی می‌توان سهم هر سیلندر از گازهای تزریق شده را برای هر نقطه تزریق محاسبه نمود. در مرجع [۱] با فرض ناچیز بودن انتقال حرارت از چندراه ورودی و در نظر گرفتن موازنه انرژی رابطه (۱) برای شدت جریان دریافت شده در هر راهگاه چندراه ورودی

سرعت تزریق، زاویه تزریق و دور موتور در توزیع گازهای رخنه‌ای یا دود بازگردانده شده به چندراه ورودی موثر باشند. به جز موقعیت تزریق که با توجه به تحقیقات قبل [۱۳] اثر زیادی بر چگونگی توزیع گازهای تزریق شده دارد، اثر سایر عوامل بر چگونگی توزیع گازهای تزریق شده تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. از این رو در این مطالعه به بررسی این عوامل در توزیع گازهای تزریق شده به چندراه ورودی موتور EF7 پرداخته می‌شود.

۴- مدل هندسی

شکل (۱): نمایی از چندراه ورودی موتور EF7 نمایی از چندراه ورودی موتور EF7 را نشان می‌دهد. میدان جریان مورد بررسی، چندراه ورودی است که یک محفظه آرامش و چهار راهگاه آن را در بر می‌گیرد.



شکل (۱): نمایی از چندراه ورودی موتور EF7

برای بررسی عوامل مختلف موثر بر توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای رخنه‌ای، ۳۹ موقعیت مختلف بر روی محفظه آرامش مینیفولد ورودی در نظر گرفته شده است. این موقعیت‌ها در شکل (۲) شماره‌گذاری و مشخص شده‌اند. همچنین در شکل (۲) موقعیت‌هایی که بر روی یک امتداد محوری یا امتداد محیطی قرار گرفته‌اند نشان داده شده‌اند.

در بیشتر نمونه‌های عملی مورد استفاده و همچنین تحقیقات انجام شده مشابه، نقاط تزریق روی محفظه آرامش قرار می‌گیرند. علت این انتخاب آن است که در موتورهای با تنفس طبیعی، ورود دود بازگردانده شده یا گازهای رخنه‌ای با مکش موجود در چندراه انجام می‌شود. این شرایط برای موتورهای پرخوران نیز در زمانی که مدار پرخوران آن‌ها فعال نیست حاکم است. همچنین فشار منفی (مکش) در محفظه آرامش یکنواخت‌تر و پایدارتر است و امکان کنترل بهتری را برای جریان گازهای وارد شده به چندراه فراهم می‌نماید. همچنین دسترسی به این قسمت با توجه به تراکم سایر

راهگاه‌ها هدایت می‌شوند. به این ترتیب می‌توان چندین جریان را به‌طور هم‌زمان از چند موقعیت مختلف و یا از یک موقعیت ولی با شرایط مختلف (به عنوان مثال با سرعت‌های مختلف و همچنین جهت‌های متفاوت) به میدان جریان تزریق نمود. این قابلیت به این معنی است که می‌توان فقط با یک بار حل میدان جریان، چگونگی توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراه ورودی را برای چندین موقعیت تزریق و با شرایط تزریق مختلف مورد مطالعه قرار داد. با توجه به اینکه در این روش، ذرات کدگذاری می‌شوند پس از حل میدان جریان می‌توان مشخص نمود که ذرات خارج شده از هر راهگاه از کدامیک از موقعیت‌ها و با چه شرایطی تزریق شده بودند. همچنین به کمک این روش می‌توان توزیع دود و گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده حاصل از ترکیب دو یا چند موقعیت تزریق بر روی چندراه را نیز به سادگی بررسی نمود. گفتنی است که اگر در این روش فقط ذرات از موقعیت یا موقعیت‌های مورد مطالعه به میدان جریان تزریق شوند اثر جریان گازهای تزریق شده در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین در شرایطی که جریان دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراه اثر قابل توجهی بر الگوی جریان و در نتیجه توزیع گازهای بازگردانده شده بگذارد، باید جریان جرم گاز تزریق شده نیز در موقعیت تزریق مورد مطالعه در نظر گرفته شود. بدیهی است در این شرایط امکان مطالعه هم‌زمان چند موقعیت تزریق فقط با یک بار حل نمودن میدان جریان ممکن نخواهد بود و مشابه روش‌های قبل، هر حالت باید به‌طور مستقل حل شود.

زمان مورد نیاز برای حل میدان جریان در این روش به‌طور تقریب معادل با زمان لازم برای روش حرارتی است. با افزایش موقعیت‌ها و شرایط تزریق مورد مطالعه، زمان محاسبات افزایش جزئی خواهد داشت که چون چگونگی توزیع گازهای تزریق شده برای همه موقعیت‌ها و شرایط تزریق با یک بار حل میدان جریان تعیین می‌شود، صرف زمان بیشتر در این روش به‌طور کامل توجیه‌پذیر و منطقی است.

از آنجا که در این تحقیق عوامل موثر بر توزیع گازهای رخنه‌ای یا دود بازگردانده شده به چندراه ورودی هوا مورد مطالعه قرار می‌گیرد، به علت زیاد بودن شرایط و موقعیت‌های تزریق و اثر قابل صرف‌نظر جریان گازهای تزریق شده بر الگوی جریان چندراه (که در ادامه به‌طور کامل توضیح داده خواهد شد)، روش تعقیب ذرات مناسب‌ترین روش خواهد بود.

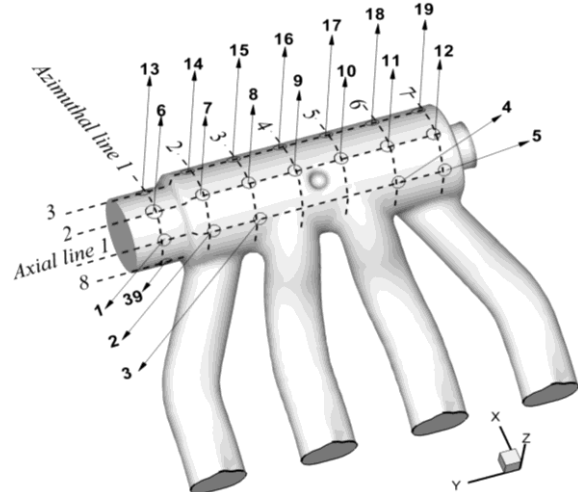
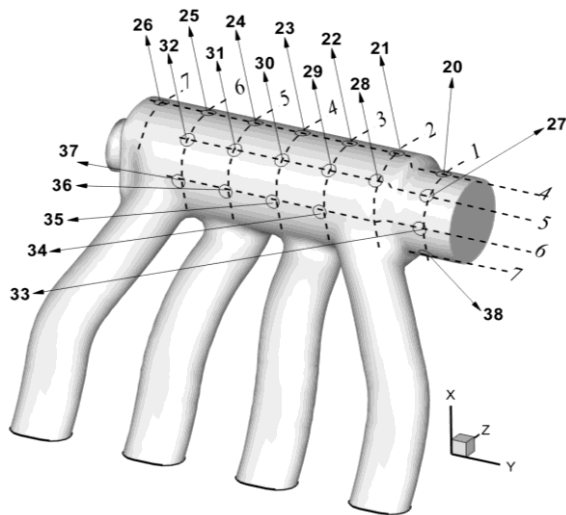
۳- عوامل موثر بر توزیع گازهای رخنه‌ای یا دود

بازگردانده شده

به نظر می‌رسد که عوامل مختلفی مانند موقعیت تزریق،

تجهیزات مانند انژکتورها و شمع‌ها در قسمت‌های دیگر

چندراهه ورودی، راحت‌تر است و هزینه کم‌تری دارد.



شکل (۲): موقعیتهای در نظر گرفته شده (۳۹ حالت) بر روی محفظه آرامش راهگاه مکش EF7 برای تزریق دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده

گرفته شده و نرم‌افزار فلونت^۸ برای حل معادلات حاکم مورد استفاده قرار گرفته است. در این بررسی جریان سیال غیردائمی؛ تراکم‌پذیر و مغشوش در نظر گرفته شده که برای اعمال اثرات اغتشاش از مدل $k-\epsilon$ استاندارد استفاده شده است. همچنین میدان جریان به صورت وابسته به زمان و در طول یک دوره کاری کامل موتور تحلیل شده است. شرایط مرزی وابسته به زمان در مقاطع ورودی و خروجی چندراهه از یک شبیه‌سازی یک بعدی به دست آمده است. این شبیه‌سازی یک بعدی به وسیله نرم‌افزار جی‌تی‌پاور^۹ انجام شده و طرح مورد استفاده در این نرم‌افزار با داده‌های آزمایشگاهی موتور EF7 به طور کامل کالیبره شده است. از این شبیه‌سازی یک بعدی، شدت جریان جرمی در ورودی و فشار برای چهار مقطع خروجی چندراهه (راهگاه‌ها) بر حسب زاویه میل لنگ (زمان) استخراج می‌شود. این مقادیر که به عنوان شرط مرزی در تحلیل سه بعدی استفاده شده‌اند را می‌توان در حالت تمام بار^{۱۰} برای دوره‌های مختلف موتور به دست آورد. در شکل (۳) شرایط مرزی مورد استفاده شامل شدت جریان جرمی هوا در مقطع ورودی و فشار در مقطع خروجی چهار راهگاه چندراهه بر حسب زاویه میل‌لنگ و زمان در دوره‌های ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ rpm نشان داده شده است.

۶- بررسی درستی نتایج

در این قسمت درستی نتایج در دو بخش مورد مطالعه قرار گرفته است. در بخش اول، طرح عددی و شرایط مرزی مورد استفاده و در بخش دوم درستی عملکرد روش تعقیب ذرات بررسی شده است.

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، نقاط مورد بحث به شکل منظمی روی محفظه آرامش و بر ۸ امتداد محوری و ۷ امتداد محیطی توزیع شده‌اند. در این میان، خطوط محوری ۷ و ۸ به علت موقعیت خاص قرارگیری فقط دارای یک موقعیت برای ورود دود بازگردانده شده یا گازهای رخنه‌ای هستند. دسته‌بندی گفته شده این امکان را فراهم می‌نماید که بتوان رفتار توزیع‌کنندگی موقعیت‌های مختلف روی محفظه آرامش را به طور مشخص طبقه‌بندی نمود.

۵- معادلات حاکم

معادلات حاکم با فرض برقراری جریان تراکم‌پذیر (اصل بقا جرم، تکانه، انرژی و معادله حالت) عبارتند از

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (۲)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \right) + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = -\nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau} \quad (۳)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) + (\vec{V} \cdot \nabla) T = -\nabla \cdot (k \nabla T) \quad (۴)$$

$$p = \rho RT \quad (۵)$$

تانسور تنش در رابطه (۳) از رابطه کلی $\vec{\tau} = \mu \nabla \vec{V} + (\nabla \vec{V})^T$ پیروی می‌نماید.

۵-۱- روش عددی و شرایط مرزی

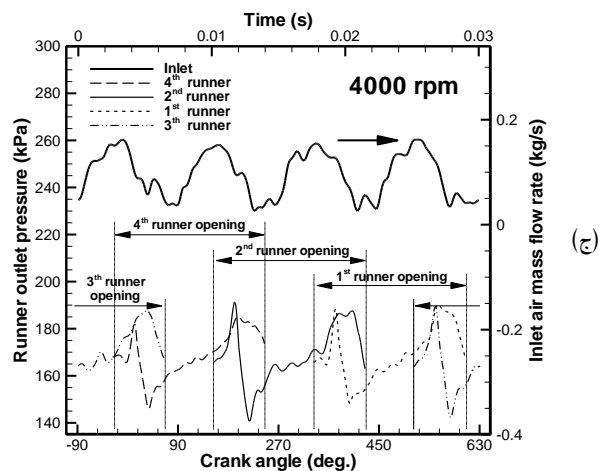
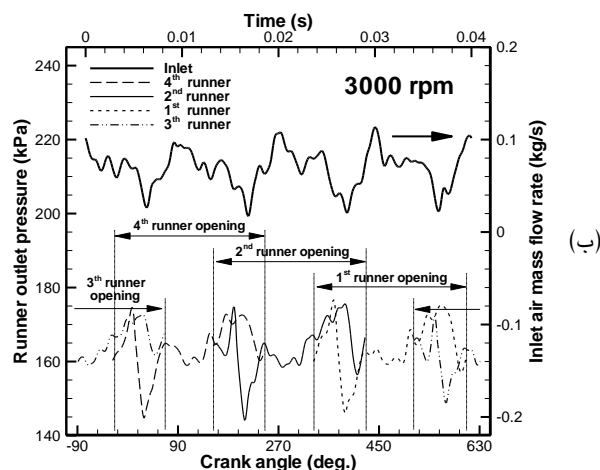
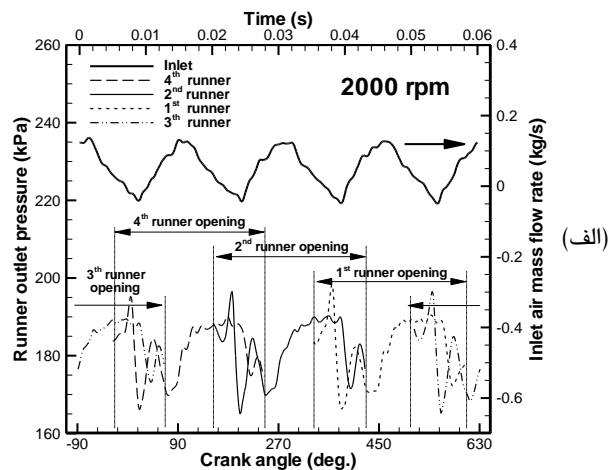
برای حل معادلات حاکم جریان در چندراهه ورودی از روش حجم کنترل استفاده شده است. نرم‌افزار گمبیت^۷ برای تولید شبکه و اصلاح شکل هندسی چندراهه ورودی به کار

نتایج به دست آمده از حل سه بعدی و یک بعدی درستی روش عددی و طرح‌های مورد استفاده در حل سه بعدی را بررسی نمود.

برابری نتایج حل سه بعدی با نتایج طرح یک بعدی کالیبره شده با موتور، نشان دهنده درستی طرح عددی و نتایج شبیه‌سازی سه بعدی است. برابری مقادیر به دست آمده از جریان جرم هوا در راهگاه‌ها با نتایج طرح یک بعدی کالیبره شده نشان می‌دهند که میدان جریان تا چه حد با میدان جریان واقعی در چندراهه ورودی موتور شباهت دارد و از طرف دیگر با توجه به اثر قابل توجه جریان هوا در توزیع دود و گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراهه ورودی هوا، درستی نتایج مربوط به توزیع گازهای تزریق شده تایید می‌شود. در شکل (۴) جریان هوای به دست آمده از حل سه بعدی و طرح یک بعدی در چهار راهگاه با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این نتایج به عنوان نمونه و فقط برای دور ۲۰۰۰ rpm ارائه شده‌اند. با توجه به ماهیت متفاوت طرح‌های سه و یک بعدی نمی‌توان انتظار داشت که نتایج به‌طور کامل با یکدیگر برابر باشند ولی روند تغییرات برای هر دو روش یکسان و به‌طور کامل رضایت‌بخش است. نکته جالب توجه آن است که در هر چهار راهگاه در ابتدای باز شدن و بسته شدن دریچه‌های ورودی هوا به سیلندر اختلاف بیش‌تر است.

۲-۶- بررسی درستی روش تعقیب ذرات

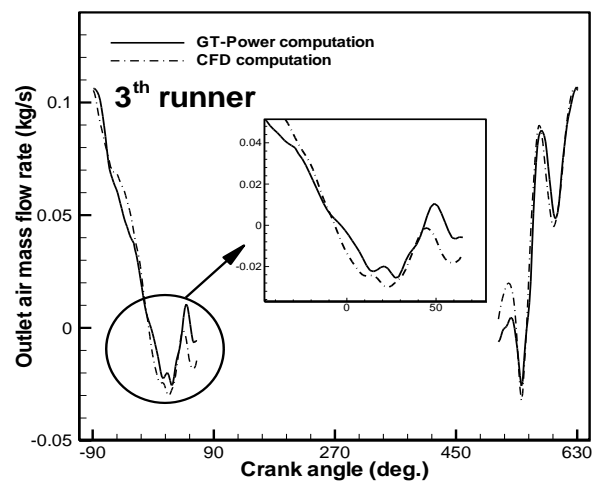
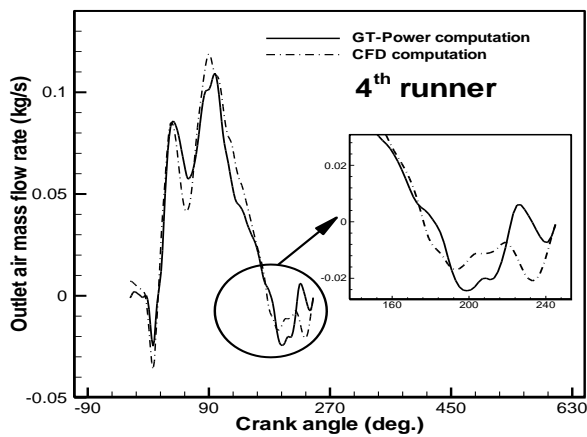
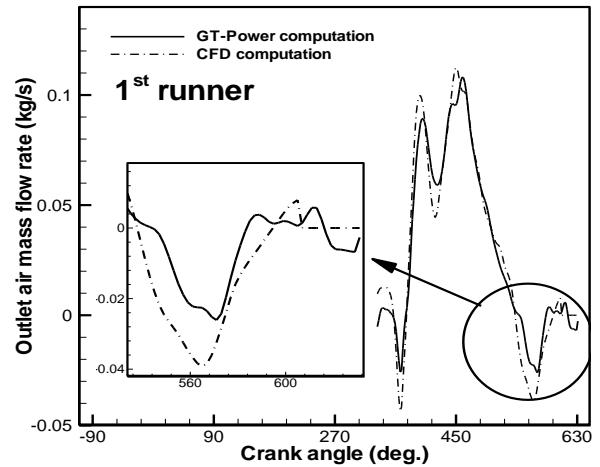
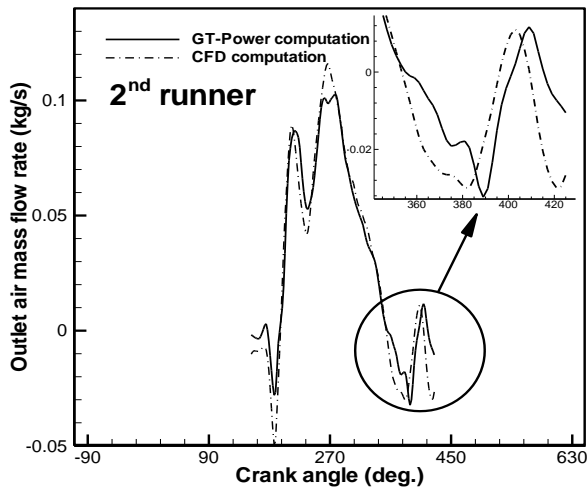
تعیین چگونگی توزیع گازهای تزریق شده به منیفولد ورودی را می‌توان با توجه به امکانات، دقت مورد نیاز و همچنین شرایط کاری موتور به روش‌های مختلفی انجام داد. در این تحقیق با توجه به محدودیت‌ها و امکانات موجود از تزریق سوخت (گاز مایع) به چندراهه ورودی و اثر آن بر مقادیر λ هر یک از سیلندرها، استفاده شده است. از آنجایی که فرض شده عواملی مانند دما یا چگالی گاز اثر قابل توجهی بر توزیع گازهای تزریق شده به چندراهه ورودی هوا نداشته باشد می‌توان در نظر گرفت که سوخت تزریق شده مشابه محصولات احتراق یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراهه ورودی در بین سیلندرها توزیع می‌شود. به این ترتیب با مقایسه مقادیر λ به دست آمده برای حالت بدون تزریق و حالت با تزریق گاز مایع می‌توان نحوه توزیع و سهم هر سیلندر از گازهای تزریق شده به چندراهه ورودی را با محاسباتی ساده تخمین زد. چگونگی انجام محاسبات با جزئیات در [۱۶] شرح داده شده است. شکل (۵) شمایی از تجهیزات مورد استفاده در آزمایش را نمایش می‌دهد.



شکل (۳): مقادیر شدت جریان جرمی در ورودی و فشار در چهار راهگاه خروجی چندراهه برای یک دوره کاری موتور EF7 در دورهای (الف) ۲۰۰۰، (ب) ۳۰۰۰ و (ج) ۴۰۰۰ rpm

۱-۶- بررسی درستی طرح عددی

استفاده از نرم‌افزار جی‌تی‌پاور و طرح یک بعدی کالیبره شده با موتور واقعی یک روش متداول و کارآمد برای پیش طراحی اجزا مختلف موتور و بررسی عملکرد موتور طراحی شده است. از آنجا که طرح یک بعدی مورد استفاده با نتایج آزمایشگاهی موتور EF7، کالیبره شده است می‌توان با مقایسه



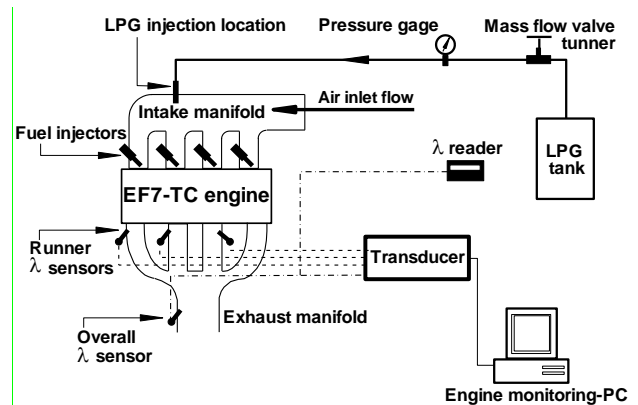
شکل (۴): مقایسه مقادیر شدت جریان جرمی در چهار راهگاه خروجی منیفولد برای طرح یک و سه بعدی در دور ۲۰۰۰ rpm

شد. مقایسه نتایج نشان دادند که روش تعقیب ذرات عملکرد مناسبی در چگونگی تعیین رتبه راهگاه‌ها از نظر میزان گازهای دریافتی دارد. جدول (۱) توزیع به دست آمده از دو روش آزمایشگاهی و عددی را از گازهای تزریق شده به چندراه ورودی برای تزریق از یک نقطه تزریق مشخص در دور موتور ۳۰۰۰ rpm و شدت جرمی گاز مایع ۰/۵٪ (نسبت به شدت جرمی جریان هوای ورودی به چندراه) ارائه می‌دهد.

جدول (۱): مقایسه نتایج آزمایش و روش تعقیب ذرات در دور موتور ۳۰۰۰ rpm و نرخ تزریق ۰/۵٪

توزیع بدست آمده از	راهگاه راهگاه راهگاه		
	اول	دوم	سوم
آزمایش (%)	۲۹/۹۷	۲۸/۱۶	۲۰/۰۱
روش تعقیب ذرات (%)	۲۶/۱۵	۴۲/۷۷	۲۱/۵۶
اختلاف نتایج دو روش (%)	۱۴/۶۰	۱۲/۰۷	۷/۷۵

مقایسه مقادیر موجود در جدول (۱) نشان می‌دهد که نتایج



شکل (۵): چیدمان تجهیزات نصب شده بر روی بستر آزمایش موتور EF7 برای تعیین چگونگی توزیع گازهای تزریقی به منیفولد ورودی

نتایج برای شرایط کاری مختلف مانند دور موتور و تزریق با شدت‌های جرمی مختلف تزریق گاز مایع به چندراه ورودی به دست آمد و با نتایج طرح عددی روش تعقیب ذرات مقایسه

۷-۱- اثر سرعت تزریق

برای بررسی اثر سرعت جریان تزریق شده به چندراه ورودی هوا بر چگونگی توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده بین سیلندرها، مساله با سه سرعت تزریق متفاوت حل شده است. سرعت پایه برای تزریق ذرات $3/4 \text{ m/s}$ است که بر مبنای تزریق دود یا گاز رخنه‌ای بازگردانده شده به مقدار ۵٪ شدت جریان جرمی هوای ورودی به چندراه و در شرایط تمام بار و دور 3000 rpm بدست آمده است. برای مطالعه اثر سرعت، سرعت‌های $1/5$ و 3 برابر سرعت گفته شده نیز برای سرعت تزریق ذرات در نظر گرفته شده است. گفتنی است که با ثابت بودن نسبت جرمی دود یا گاز رخنه‌ای بازگردانده شده به هوای ورودی چندراه (که در اینجا ۵٪ است) افزایش سرعت تزریق به عنوان کاهش مقطع عبور جریان است. برای رسیدن به سرعت‌های بیشتر از 3 برابر سرعت پایه (یعنی $3/4 \text{ m/s}$) سطح مقطع تزریق را باید به قدری کوچک نمود که در عمل قابل استفاده نیست و در اینجا مورد بررسی قرار نگرفته است.

جدول (۲): چهار نقطه تزریق با کم‌ترین و بیش‌ترین غیریکنواختی در توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای برگشتی برای حالت تزریق پایه

نقطه تزریق	درصد دود یا گازهای رخنه‌ای خارج شده از هر راهگاه به کل گاز تزریق شده در حالت پایه			
	راهگاه ۱	راهگاه ۲	راهگاه ۳	راهگاه ۴
۳۴	۱۲/۳۴	۲۷/۳۰	۳۳/۱۸	۲۶/۱۸
۲۳	۱۱/۵۸	۳۵/۳۷	۲۷/۲۸	۲۵/۷۷
۲۴	۹/۰۲	۲۷/۱۹	۲۳/۰۴	۴۰/۷۵
۷	۲۶/۷۳	۴۲/۵۶	۲۲/۳۲	۸/۳۹
۳۶	۰/۰۱	۰/۰۴	۲۵/۶۵	۷۴/۲۹
۳۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۹/۱۰	۸۰/۹۰
۱۲	۱/۱۷	۱/۲۱	۱۵/۷۰	۸۱/۹۱
۵	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۵۱	۹۹/۴۱

نتایج مربوط به حالت پایه و دو سرعت تزریق دیگر در جداول (۲) و (۴) ارائه شده‌اند. جدول (۲) برای حالت پایه و شامل چهار نقطه‌ای که به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار یکنواختی هستند است. برای مقایسه بهتر، در سایر جداول نیز نتایج برای نقاط تزریق، مشابه جدول (۲) ارائه شده‌اند. همچنین چگونگی توزیع گازهای تزریق شده در چهار راهگاه برای خطوط محوری و شعاعی یک (به عنوان نمونه) برای سرعت‌های $1/5$ و 3 برابر سرعت پایه به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده‌اند.

روش تعقیب ذرات از نظر رتبه‌بندی با نتایج آزمایشگاهی یکسان هستند. بر این مبنای لحاظ میزان گاز تزریق شده دریافتی، هر دو روش راهگاه‌های دوم، اول، سوم و چهارم را به ترتیب دارای رتبه‌های اول و چهارم شناسایی می‌نمایند. با این وجود می‌توان استفاده از شرایط مرزی حاصل از مدل‌سازی یک بعدی و همچنین تقریب‌سازی در محاسبات آزمایشگاهی را از عواملی دانست که باعث ایجاد اختلاف مقداری بین کمیت توزیع‌های به دست آمده از دو روش عددی و آزمایشگاهی شده‌اند. بررسی جامع‌تر و نتایج بیش‌تر در مرجع [۱۶] ارائه شده است.

۷- بررسی اثر عوامل موثر بر توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای رخنه‌ای

اثر سرعت تزریق، زاویه تزریق و سرعت موتور بر چگونگی توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراه ورودی هوا در این قسمت مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با توجه به فراوانی حالت‌هایی که باید مورد مطالعه قرار گیرند و مزیت روش تعقیب ذرات در امکان مطالعه چند نقطه تزریق با شرایط و موقعیت‌های گوناگون، این روش مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه تزریق دود یا گازهای رخنه‌ای با سرعت $3/4 \text{ m/s}$ به شکل عمود بر سطح موقعیت تزریق و دور 3000 rpm به عنوان حالت پایه در نظر گرفته شده است. در هر بخش، با تغییر دادن سرعت تزریق، زاویه تزریق و یا سرعت موتور دو عامل دیگر مشابه حالت پایه و ثابت در نظر گرفته می‌شوند. برای تعیین یک معیار برای ارزیابی غیر یکنواختی توزیع گازهای تزریق شده، از اختلاف سهم هر راهگاه نسبت به مقدار ایده‌آل ۲۵٪ و در پایان محاسبه مقدار متوسط این چهار مقدار استفاده شده است.

با توجه به توضیح گفته شده در قسمت [۲-۳-§] در مورد اثر جریان گازهای تزریق شده بر الگوی جریان داخل چندراه در روش تعقیب ذرات، در این تحقیق درصد گازهای رخنه‌ای یا دود بازگردانده شده نسبت به هوای ورودی ۵٪ در نظر گرفته شده است که اثر آن بر میدان جریان هوا قابل چشم‌پوشی باشد. برای اطمینان از موثر نبودن جریان جرم گازهای تزریق شده برای نرخ تزریق ۵٪ نتایج حاصل از روش تعقیب ذرات برای توزیع گازهای بازگردانده شده در دو حالت با تزریق هوا به میزان ۵٪ هوای ورودی و بدون تزریق هوا، برای یک موقعیت یکسان با یکدیگر مقایسه و دیده شد که رتبه‌بندی راهگاه‌ها از نظر دریافت گازهای بازگردانده شده برای این دو حالت تفاوتی با یکدیگر ندارند.

جدول (۴): چهار نقطه تزریق با کمترین و بیشترین غیریکنواختی در توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای برگشتی با سرعت تزریق ۳ برابر

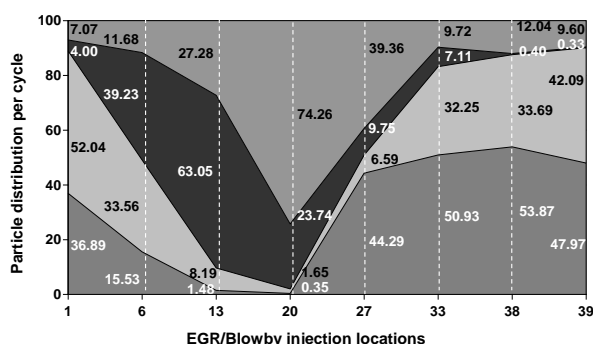
سرعت پایه					نقطه تزریق
راهگاه اول	راهگاه دوم	راهگاه سوم	راهگاه چهارم	پایه	
۱۳/۲۸	۲۷/۲۶	۳۳/۶۲	۲۵/۸۳	۵/۵۶	۳۴
۱۱/۴۴	۳۶/۸۲	۲۸/۷۲	۲۳/۰۲	۷/۷۷	۲۳
۱۱/۴۵	۳۸/۰۱	۲۳/۸۷	۲۶/۶۷	۷/۳۴	۲۴
۲۶/۶۵	۴۲/۴۹	۲۲/۴۸	۸/۳۸	۹/۵۷	۷
۰/۰۳	۰/۰۴	۲۵/۱۹	۷۴/۷۴	۲۴/۹۷	۳۶
۰/۰۰	۰/۰۰	۱۹/۰۲	۸۰/۹۸	۲۷/۹۹	۳۷
۱/۹۶	۴/۲۰	۱۹/۰۹	۷۴/۷۵	۲۴/۸۷	۱۲
۰/۳۳	۱/۳۸	۵/۲۴	۹۳/۰۶	۳۴/۰۳	۵

با تغییر سرعت تزریق نقاطی که در حالت پایه دارای بیشترین یا کمترین میزان یکنواختی بودند همچنان در جایگاه سابق قرار دارند و با افزایش یا کاهش سرعت تزریق، بهبودی در یکنواختی توزیع ایجاد نمی‌شود.

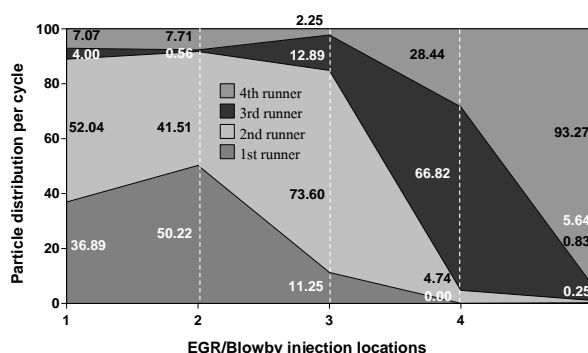
جدول (۳): چهار نقطه تزریق با کمترین و بیشترین غیریکنواختی در توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای برگشتی با سرعت تزریق ۱/۵ برابر

سرعت پایه					نقطه تزریق
راهگاه اول	راهگاه دوم	راهگاه سوم	راهگاه چهارم	پایه	
۱۳/۳۱	۲۷/۳۷	۳۳/۳۵	۲۵/۹۸	۵/۸۵	۳۴
۱۱/۱۵	۳۶/۸۶	۲۷/۹۸	۲۴/۰۱	۷/۴۲	۲۳
۱۱/۳۶	۳۸/۷۴	۲۳/۲۹	۲۶/۶۱	۷/۶۸	۲۴
۲۶/۶۹	۴۲/۵۶	۲۵/۲۲	۸/۵۱	۹/۶۲	۷
۰/۰۴	۰/۰۳	۲۵/۱۳	۷۴/۸۰	۲۲/۹۷	۳۶
۰/۰۰	۰/۰۰	۱۹/۰۵	۸۰/۹۵	۲۷/۹۷	۳۷
۱/۶۳	۴/۳۰	۱۸/۸۹	۷۵/۱۷	۲۵/۰۹	۱۲
۰/۲۵	۰/۸۳	۵/۶۴	۹۳/۲۷	۳۴/۱۴	۵

با وجود آنکه سرعت تزریق بر توزیع گازهای تزریق شده بی‌اثر نیست، اما این اثر به شکلی نیست که با تغییر سرعت تزریق بهبود قابل ملاحظه‌ای در یکنواختی توزیع حاصل شود.

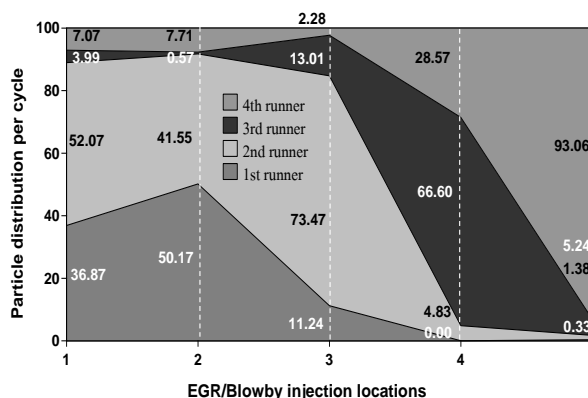
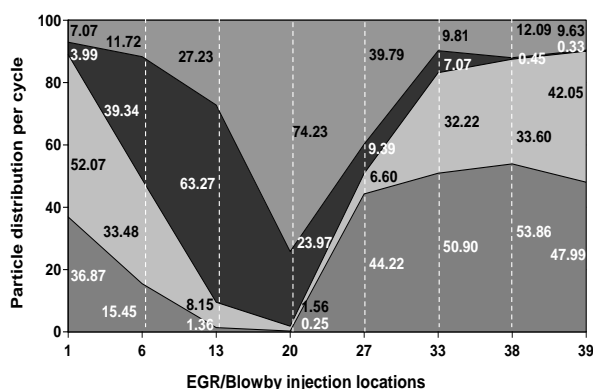


(ب)

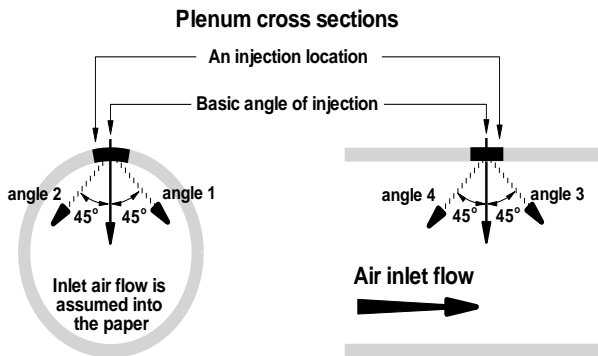


(الف)

شکل (۶): درصد دود یا گازهای رخنه‌ای دریافت شده در چهار راهگاه خروجی چندراهه هوا برای سرعت ۱/۵ برابر سرعت پایه (الف) بر روی خط شعاعی یک (ب) بر روی خط شعاعی یک



شکل (۷): درصد دود یا گازهای رخنه‌ای دریافت شده در چهار راهگاه خروجی چندراهه هوا برای سرعت ۳ برابر سرعت پایه (الف) بر روی خط شعاعی یک (ب) بر روی خط شعاعی یک



۲-۷- اثر زاویه تزریق

در حالت پایه، ذرات عمود بر صفحه تزریق و جریان هوای ورودی به محفظه آرامش تزریق می‌شوند. برای مطالعه اثر زاویه تزریق دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده، برای هر موقعیت تزریق به جز حالت پایه، چهار زاویه مختلف دیگر نیز در نظر گرفته شده است. از آنجا که نقاط تزریق دور تا دور محفظه آرامش قرار داده شده‌اند برای توصیف هر زاویه تزریق، بهتر است که از زاویه، نسبت به جهت جریان هوا و حالت پایه برای هر موقعیت تزریق کمک گرفته شود.

شکل (۸) این چهار حالت را با توجه به جهت جریان هوای ورودی و حالت پایه نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده شده است، در شرایطی که در مقطع عرضی محفظه آرامش (نمای سمت چپ) جریان هوا به سمت داخل صفحه باشد، زاویه تزریق ۱ نسبت به حالت پایه ۴۵ درجه به سمت راست متمایل است. زاویه تزریق ۲ در شرایط مشابه ولی ۴۵ درجه به سمت چپ انحراف دارد. گفتنی است که به توجه با نامتقارن بودن مینیفولد ورودی شکل (۱) دو زاویه تزریق ۱ و ۲ نیز متقارن نیستند. همچنین در شکل (۸) و در مقطع طولی محفظه آرامش (نمای سمت راست) زاویه تزریق ۳ با ۴۵ درجه شیب نسبت به حالت پایه و در جهت جریان هوا نشان داده شده و زاویه تزریق ۴ با ۴۵ درجه انحراف نسبت به حالت پایه و در خلاف جهت جریان در نظر گرفته شده است.

شکل (۸): طرح زوایای مختلف تزریق در مقایسه با حالت پایه و نحوه شماره‌گذاری آن‌ها

نتایج نشان می‌دهند که زاویه تزریق کم‌ترین اثر را بر توزیع جریان دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به مینیفولد ورودی دارد به طوری که می‌توان گفت تغییر زاویه تزریق بر بهبود توزیع و افزایش یکنواختی گازهای تزریق شده به طور تقریبی بی‌اثر است. جدول (۵) نتایج اثر زاویه تزریق را برای نقطه تزریق ۱ در زاویه تزریق حالت پایه و چهار زاویه دیگر ارائه می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که بیش‌ترین اختلاف بین زوایای تزریق مختلف برای یک نقطه، از ۰/۵٪ تجاوز نمی‌نماید. با توجه به این نتیجه و فراوانی نتایج این قسمت فقط به نتایج ارائه شده در جدول (۵) برای نقطه تزریق ۱ اکتفا شده است. گفتن این نکته نیز لازم است که با نگاه دقیق‌تر به دو زاویه تزریق ۱ و ۲ پیش‌بینی می‌شود که این دو زاویه برای تزریق دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراهه ورودی هوا مناسب نیستند زیرا گازها را به سمت دیواره و نواحی کم سرعت جریان هدایت می‌نمایند. از آنجا که نتایج مربوط به این دو زاویه تزریق در مقایسه با حالت‌های دیگر تغییر زیادی ندارد نتیجه مورد اشاره، مبنی بر بی‌اثر بودن زاویه تزریق بر توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراهه هوا دوباره تأیید می‌شود.

جدول (۵): نتایج اثر زاویه تزریق بر توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به نقطه تزریق ۱

درصد دود یا گازهای رخنه‌ای خارج شده از هر راهگاه به کل گاز تزریق شده					در دور موتور ۲۰۰۰ rpm
پیکربندی	راهگاه چهارم	راهگاه سوم	راهگاه دوم	راهگاه اول	



موتور ۳۰۰۰ rpm دارند. این افزایش برای نقاط تزریق ۲۳ و ۲۴ بسیار چشمگیرتر است.

۱۹/۴۹	۷/۰۳	۴/۰۰	۵۱/۷۷	۳۷/۲۰	نقطه تزریق ۱- حالت پایه
۱۹/۴۲	۷/۱۰	۴/۰۷	۵۱/۱۳	۳۷/۷۰	نقطه تزریق ۱- زاویه ۱
۱۹/۵۰	۷/۰۹	۳/۹۲	۵۱/۵۴	۳۷/۴۵	نقطه تزریق ۱- زاویه ۲
۱۹/۴۲	۷/۱۸	۳/۹۹	۵۱/۱۲	۳۷/۷۱	نقطه تزریق ۱- زاویه ۳
۱۹/۴۶	۷/۱۵	۳/۹۳	۵۱/۳۶	۳۷/۵۶	نقطه تزریق ۱- زاویه ۴

جدول (۶): چهار نقطه تزریق با کمترین و بیشترین غیریکنواختی در توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای برگشتی برای دور ۲۰۰۰ rpm

درصد دود یا گازهای رخنه‌ای خارج شده از هر راهگاه به کل گاز تزریق شده برای ۲۰۰۰ rpm					نقطه تزریق
راهگاه اول	راهگاه دوم	راهگاه سوم	راهگاه چهارم	راهگاه پنجم	
۲۵/۸۸	۳۵/۰۰	۳۶/۹۸	۲/۱۵	۱۱/۴۳	۳۴
۰/۰۵	۰/۱۱	۱۶/۲۵	۸۳/۶۰	۲۹/۳۰	۲۳
۰/۰۰	۰/۱۸	۱۰/۱۷	۸۹/۶۵	۳۲/۳۲	۲۴
۱۹/۷۹	۳۰/۹۹	۳۷/۹۸	۱۱/۲۴	۹/۴۹	۷
۰/۳۳	۰/۰۶	۲۹/۴۲	۷۰/۱۹	۲۴/۸۱	۳۶
۰/۰۰	۰/۰۰	۳۴/۰۵	۶۵/۹۵	۲۵/۰۰	۳۷
۰/۰۰	۰/۰۴	۱۱/۰۳	۸۳/۹۳	۳۱/۹۷	۱۲
۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۲۷	۹۶/۷۳	۲۵/۸۷	۵

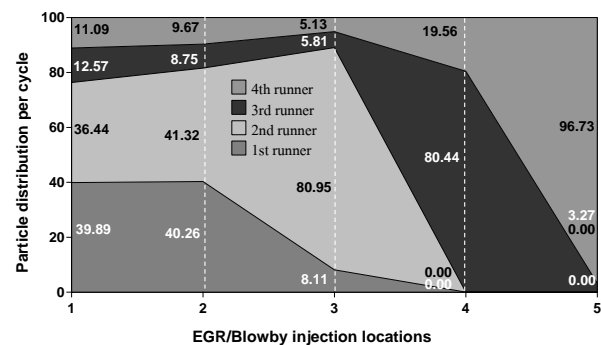
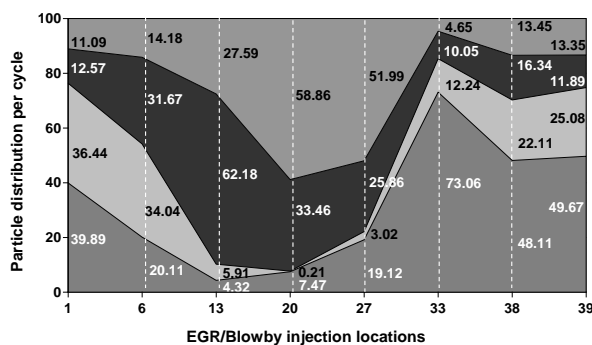
۳-۷- اثر دور موتور

اثر دور موتور با توجه به حالت پایه که دور ۳۰۰۰ rpm است با در نظر گرفتن دو دور ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ rpm مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به زیاد بودن نقاط و شرایط تزریق، در این بخش نیز فقط نتایج برای چهار نقطه تزریق که کمترین و بیشترین مقدار غیریکنواختی در توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراهه ورودی را دارند ارائه شده است. جداول (۶) و (۷) این نتایج را به ترتیب برای دورهای ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ rpm نشان می‌دهند. همچنین به عنوان نمونه، نتایج مربوط به توزیع گازهای بازگردانده شده از موقعیت‌های قرار گرفته بر روی خطوط محوری و شعاعی اول برای دور موتورهای ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ rpm به ترتیب در شکل‌های (۹) و (۱۰) آورده شده‌اند.

جدول (۷): چهار نقطه تزریق با کمترین و بیشترین غیریکنواختی در توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای برگشتی برای دور ۴۰۰۰ rpm

درصد دود یا گازهای رخنه‌ای خارج شده از هر راهگاه به کل گاز تزریق شده برای ۴۰۰۰ rpm					نقطه تزریق
راهگاه اول	راهگاه دوم	راهگاه سوم	راهگاه چهارم	راهگاه پنجم	
۱۵/۴۹	۳۲/۲۹	۴۵/۲۲	۶/۹۹	۱۳/۷۶	۲۴
۱/۸۹	۳/۱۷	۵۱/۳۹	۴۳/۵۶	۲۲/۴۷	۲۳
۰/۰۰	۰/۳۲	۷۸/۶۹	۲۰/۹۹	۲۶/۸۴	۲۴
۳۹/۱۷	۲۸/۶۶	۲۶/۹۲	۵/۲۴	۹/۸۸	۷
۰/۰۰	۰/۰۰	۳۷/۸۴	۶۲/۱۶	۲۵/۰۰	۳۶
۰/۰۰	۰/۰۰	۴۵/۸۷	۵۴/۱۳	۲۵/۰۰	۳۷
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۹	۹۹/۷۱	۳۷/۳۶	۱۲
۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۸۵	۹۸/۱۵	۳۶/۵۷	۵

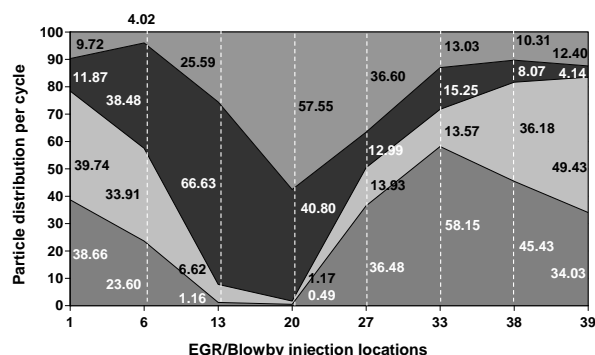
بررسی و مقایسه نتایج جداول (۶) و (۷) با مقادیر حالت پایه (دور ۳۰۰۰ rpm در جدول (۲) نشان می‌دهد که نقطه تزریق ۷ در هر سه دور ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ rpm جزء چهار موقعیت تزریق با کمترین غیریکنواختی در توزیع دود و گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراهه است. بنابراین این نقطه تزریق با توجه به عملکرد قابل قبول در همه دورها می‌تواند یک انتخاب خوب برای محل تزریق دود و گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده باشد. گفتنی است که نقطه تزریق ۵ در هر سه دور جزء چهار نقطه تزریق با بیشترین غیریکنواختی است. نتایج نشان می‌دهند که چهار نقطه تزریق در دور موتور rpm که دارای کمترین غیریکنواختی در توزیع دود و گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده بوده‌اند؛ همواره در دورهای ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ rpm غیریکنواختی بیشتری در مقایسه با دور



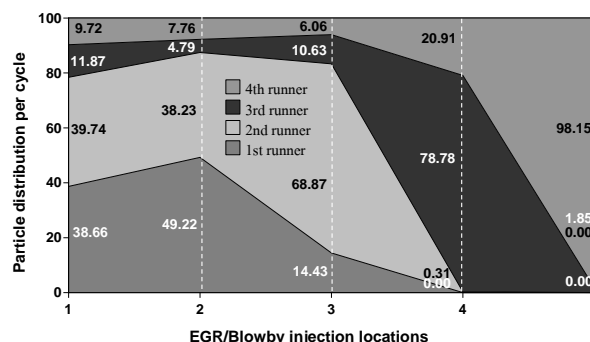
(ب)

(الف)

شکل (۹): درصد دود یا گازهای رخنه‌ای دریافت شده در چهار راهگاه خروجی چندراه هوا برای دور موتور ۲۰۰۰ rpm (الف) بر روی خط شعاعی یک (ب) بر روی خط محوری یک



(ب)



(الف)

شکل (۱۰): درصد دود یا گازهای رخنه‌ای دریافت شده در چهار راهگاه خروجی چندراه هوا برای دور موتور ۴۰۰۰ rpm (الف) بر روی خط شعاعی یک (ب) بر روی خط محوری یک

سرعت تزریق تغییر نکرد.

(ب) اختلاف مقادیر غیریکنواختی برای زوایای مختلف تزریق در هر نقطه، کمتر از ۰/۵٪ است. این موضوع نشان می‌دهد که زاویه تزریق کمترین اثر را بر چگونگی توزیع گازهای تزریق شده به منیفولد دارد.

(ج) دور موتور بیشترین اثر را بر چگونگی توزیع گازهای تزریق شده به چندراه ورودی هوا دارد. این اثر به اندازه‌ای است که ممکن است نقطه‌ای در یک دور، جزء نقاط قابل قبول در دور موتور دیگر در دسته نقاط متوسط یا غیر قابل قبول از نظر میزان غیریکنواختی توزیع گازهای بازگردانده شده به چندراه ورودی هوا قرار گیرد. به این ترتیب برای انتخاب نقطه تزریق مناسب باید میانگین عملکرد آن در دوره‌های مختلف ملاک انتخاب قرار داده شود.

۹- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله حاضر از حمایت شرکت تحقیقات موتور ایران خودرو (IPCO) برای انجام این تحقیق قدردانی می‌نمایند.

همچنین با بررسی کلی نتایج مشخص می‌شود که نقاط تزریق با کمترین میزان غیریکنواختی در همه دوره‌ها، از نظر مکانی به‌طور معمول در نزدیکی ورودی و ابتدای محفظه آرامش و بر روی خطوط محوری ۱-۳ و ۸ (نیمه جلویی منیفولد) و یا در میانه محفظه آرامش و بر روی خطوط محوری ۵-۷ (نیمه پشتی منیفولد) قرار دارند. همچنین در همه دوره‌ها نقاط تزریق با بیشترین میزان غیریکنواختی همگی در انتهای محفظه آرامش قرار دارند.

۸- نتیجه‌گیری

در این تحقیق عددی اثر سرعت تزریق، زاویه تزریق و دور موتور بر چگونگی توزیع دود یا گازهای رخنه‌ای بازگردانده شده به چندراه ورودی هوا بر روی موتور EF7 مورد بررسی قرار گرفت که نتایج عبارتند از:

(الف) با افزایش سرعت تزریق، تغییر محسوسی در بهبود توزیع گازهای تزریق شده به چندراه ورودی هوا دیده نشد و رتبه‌بندی نقاط تزریق با حداقل غیریکنواختی نیز با افزایش

۱۰- مراجع

[۳] He, Y., Salemat, A., Reese, R., Vick, R., and Amer, A., "Effect of Intake Primary Runner Blockages on Combustion Characteristics and Emissions with Stoichiometric and EGR-Diluted Mixtures in SI Engines", SAE paper 2007, No. 2007-01-3992.

[۴] Millo, F., Pautasso, E., Pasero, P., Barbero, S., and Vennettilli, N., "An Experimental and Numerical Study of an Advanced EGR Control System for Automotive Diesel Engines", SAE paper 2008, No. 2008-01-0208.

[۱] Ladomatos, N., Abdelhalim, S. M., and Zhao, H., "Effect of Exhaust Gas Recirculation Temperature on Diesel Engine Combustion and Emissions", Journal of Automobile Engineering, 1998, Vol. 212.

[۲] Alger, T., "Synergies between High EGR Operation and GDI Systems", SAE paper 2008, No. 2008-01-0134.



- Shahabi, P. B., Niazmand, H., Modarres Razavi, M. R., "Particle Tracking Based Method for Evaluation of Cylinder-to-Cylinder Distribution of EGR/Blowby" under review, Particle & Particle Systems characterization [۱۳]
- Bashi Shahabi, P., Modarres Razavi, M. R., and Niazmand, H., "Numerical Study of Homogeneous Cylinder-to-Cylinder Distribution of EGR/Blowby Gases to Intake Manifold", 16th Int. Conference on Thermal Engineering & Thermogrammetry (THERMO), Budapest, July 1-3, 2009. [۱۴]
- باشی شهابی، پیمان؛ مدرس رضوی، سید محمد رضا؛ نیازمند، حمید؛ تحلیل عددی توزیع گازهای برگشتی و رخنه‌ای تزریق شده به مینیفولد ورودی هر سیلندر، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات موتور، شماره ۱۵، تابستان ۱۳۸۸. [۱۵]
- باشی شهابی، پیمان؛ بررسی عوامل موثر بر جانمایی محل تزریق گازهای تزریق شده به مینیفولد ورودی به روشهای عددی و تجربی، پایان نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مکانیک دانشکده مهندسی، بهمن ماه ۱۳۸۹. [۱۶]
- Florea, R., Toraza, D., Henein, N., and Bryzk, W., "Transient Fluid Flow and Heat Transfer in the EGR Cooler", SAE paper 2008, No. 2008-01-0956. [۱۷]
- Hountalas, D. T., Mavropoulos, G., and Zannis, T., "Comparative Evaluation of EGR, Intake Water Injection and Fuel-Water Emulsion as NOx Reduction Techniques for Heavy Duty diesel Engines", SAE paper 2007, No. 2007-01-0120. [۱۸]
- Dhariwal, H. C., "Control of Blowby Emissions and Lubricating Oil Consumption in I.C. Engines", Energy Convers. 1997, Vol. 38, No. 10-13, 1267-1274. [۱۹]
- Torres, A., Henriot, S., "Modeling the Effects of EGR Inhomogeneities Induced by Intake Systems in a Four-Valve Engine" SAE paper 1996, No. 961959. [۲۰]
- Siewert, R. M., Krieger, R. B., Huebler, M. S., Baruah, P. C., Khalighi, B., and Wesslau, M., "Modifying an Intake Manifold to Improve Cylinder-to-Cylinder EGR Distribution in a DI Diesel Engine Using Combined CFD and Engine Experiment", SAE paper 2001, No. 2001-01-3685. [۲۱]
- William, J., Dupont, A., Bazile, R., and Marchal, M., "Study of Geometrical Parameter Influence on Air/EGR Mixing", SAE paper 2003, No. 2003-01-1796. [۲۲]
- Green, R. M., "Measuring the Cylinder-to-Cylinder EGR Distribution in the Intake of a Diesel Engine during Transient Operation" SAE Paper 2000, No. 2000-01-2866. [۲۳]
- Partridge, W. P., Lewis, S. A., Ruth, M. J., Muntean, G. G., Smith, R. C., and Stang, J. H., "Resolving EGR Distribution and Mixing" SAE Paper 2002, No. 2002-01-2882. [۲۴]

۱۱- زیرنویس ها

- ¹ EGR
² NO_x
³blowby
⁴ Transport equation
⁵ Axial line
⁶Azimuthal line
⁷Gambit
⁸ Fluent
⁹ GT-Power
¹⁰ full load

