

تحلیل عددی توزیع گازهای برگشتی و نشتی از محفظه لنگ تزریق شده به چندراهه ورودی^۱ در هر استوانه

پیمان باشی شهابی*
دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد
pbshababi@yahoo.com

سید محمدرضا مدرس رضوی
استاد بخش مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد
m-razavi@um.ac.ir

حمید نیازمند
دانشیار بخش مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد
hniazmand@yahoo.com

*نویسنده مسؤل / پذیرش اولیه مقاله: ۸۸/۲/۱۲ پذیرش نهایی: ۸۸/۵/۴
شماره مقاله: ۸۸۱۱۶

چکیده

امروزه مشخص است که استفاده از روش بازگردانی دود^۲ به منظور و کاهش اکسیدهای ازت^۳ در موتورهای احتراق داخلی، کاملاً اثر بخش و مؤثر بوده است. اگر روش بازگردانی دود به درستی و با دقت به خدمت گرفته نشود، به کاهش چشمگیر توان موتور و افزایش سایر آلاینده‌های موتور منجر خواهد شد. یکی از دلایل بروز این مشکل عدم توزیع نسبتاً یکنواخت دود بازگردانده شده در راهگاه‌های ورودی برای هر استوانه است. از این رو به کارگیری سامانه‌ای که دود بازگردانده شده را به شکل مناسبی بین راهگاه‌های ورودی استوانه توزیع نماید اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. از طرف دیگر قوانین آلاینده‌گی موجود به تولید کنندگان موتور اجازه نمی‌دهد که گازهای نشتی از محفظه لنگ^۴ تولید شده در موتور خودروها را به محیط تخلیه کنند. امروزه راهکار مورد استفاده بازگرداندن این گازها به محفظه احتراق و سوزاندن آنها است. در این مورد نیز بنا به دلایلی که ذکر شد عدم توزیع یکنواخت و یکسان این گازها می‌تواند منجر به افزایش آلاینده‌گی و کاهش توان موتور گردد. مشخصات هندسی و موقعیت تزریق دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه لنگ، تأثیر بسزایی در توزیع یکنواخت آنها بین استوانه‌ها دارند. روش متعارف برای تعیین موقعیت مناسب تزریق این گازها در راهگاه ورودی هوا استفاده از روش‌های عددی است که در آن نحوه پخش یک گونه گاز غیر از هوا (مثلاً CO_۲) در جریان هوای درون چندراهه ورودی برای یک چرخه کامل کاری موتور در شرایط مختلف شبیه‌سازی و حل شود. به این ترتیب می‌توان میزان توزیع گونه دوم را در استوانه‌های مختلف به شکل کمی بررسی کرد. این کار باید برای شرایط کاری گوناگون و موقعیت‌های مختلف تزریق انجام گیرد تا مناسبترین محل برای بازگردانی دود یا گازهای نشتی از محفظه لنگ مشخص گردد. با توجه به این که زمان و هزینه مورد نیاز برای حل میدان جریان در هر حالت کاملاً چشمگیری است این روش بسیار وقت‌گیر و پرهزینه خواهد بود. در این تحقیق روش دیگری بر اساس تعقیب ذرات^۵ پیشنهاد شده است که علاوه بر دقت مناسب و قابلیت بررسی جامع تر (حالت‌های ترکیبی) زمان مورد نیاز را برای تعیین موقعیت مناسب به طور چشمگیری کاهش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: گازهای برگشتی، گازهای نشتی از محفظه لنگ، روش ۱- مقدمه

■ امروزه موتورهای احتراق داخلی که انرژی شیمیایی سوخت را به کار مکانیکی تبدیل می‌کنند به طور گسترده استفاده می‌شوند. از این رو این موتورها پیوسته در حال تکامل‌اند و عملکرد آنها رو به بهبود است. یکی از قسمت‌های مهم موتورهای احتراق

تعقیب ذرات، توزیع یکنواخت، چندراهه ورودی

1- Intake Manifold
2- EGR
3- NOx

4- Blowby
5- particle tracking

داخلی سامانه ورودی هوای آنها است که تأثیر بسزایی بر روی عملکرد این موتورها دارد. در این سامانه، تغذیه استوانه‌ها از راهگاه‌های چندراهه صورت می‌گیرد و در هر حالت این تغذیه باید یکنواخت باشد. همچنین با طراحی بهینه چندراهه ورودی و در نتیجه کاهش اتلاف فشار هوای در حال جریان در این سامانه، تحویل هوا یا مخلوط سوخت و هوا به استوانه‌ها راحت‌تر و روان‌تر صورت می‌گیرد. بنابراین بازده تنفسی و توان ترمزی موتور افزایش می‌یابد.

تغذیه استوانه‌ها شامل توزیع یکنواخت سوخت، هوا و دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به چندراهه می‌باشد. بهبود ظرفیت مکش موتور و کاهش اتلاف فشار در راهگاه‌ها نیز از جمله هدف‌هایی است که در طراحی چندراهه ورودی بهینه مورد توجه قرار می‌گیرند. موقعیت، طول و قطر مسیر ورودی به استوانه‌ها و نحوه اتصال آنها به مخزن آرامش نیز در دستیابی به اهداف فوق مؤثرند. همچنین برقراری میدان موج فشاری مناسب نیز در تنظیم راهگاه با اهمیت است. در این باره، نظریه‌های گوناگونی از قبیل نظریه هلمهولتز و نظریه لوله اصلی^۱ ارائه شده‌اند [۳-۱]. توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه لنگ، کاملاً وابسته به شکل و طبیعت ناپایدار جریان در چندراهه‌اند، مطالعه جریان ناپایدار در چرخه کامل موتور در این راستا بسیار با اهمیت است [۴].

در برخی از بررسی‌های عددی از الگوهای فشار نوسانی و هلمهولتز برای تحلیل و طراحی سامانه ورودی استفاده شده است [۵-۸]. تمامی این تحقیقات بر اساس الگوهای یک بعدی انجام شده‌اند و تنها برای طراحی مقدماتی و تخمین ابعاد اولیه چندراهه ورودی مناسب‌اند. به عنوان نمونه بناجس و همکاران از نظریه صوت^۲ برای طراحی اولیه چندراهه ورودی موتور استفاده کردند [۹].

چون تحقیقات آزمایشگاهی نیازمند صرف هزینه‌های بسیار است و در عمل می‌تواند با محدودیت‌هایی نیز همراه باشد، استفاده از روش‌های عددی می‌تواند جایگزین مناسبی برای بهینه‌سازی و اصلاح سامانه ورودی موتور باشد. امروزه طراحان با در اختیار داشتن رایانه‌های قدرتمندتر قادرند معادلات سه بعدی میدان جریان را در چندراهه ورودی در شرایط ناپایدار حل کنند. الگوهای یک بعدی و سه بعدی متعددی برای تحلیل سامانه‌های ورودی و خروجی موتور پیشنهاد شده است [۱۰-۱۲]. به عنوان نمونه، تحقیقی توسط بنسلر به منظور تحلیل و بهینه‌سازی چندراهه انجام داده که در آن به وسیله تحلیل سه بعدی چندراهه ورودی به صورت عددی، میدان‌های سرعت و فشار سیال تراکم پذیر درون چندراهه را مشخص کرده و پدیده‌هایی مانند برگشت جریان و امواج فشاری ناشی از باز و بسته شدن دریچه و جدایش جریان و همچنین میزان آشفتنی جریان و تغییرات آن را نشان داد [۱۳].

بازگردانی دود و احتراق با مخلوط سوخت و هوای رقیق شده باعث بهبود مصرف سوخت و کاهش آلایندگی‌هایی مانند NO_x در موتورهای احتراق داخلی می‌شود [۱۴-۱۹]. این مزیت‌ها در شرایطی حاصل می‌شوند که توزیع دود بازگردانده شده بین استوانه‌ها تا حد امکان یکسان باشد. در غیر اینصورت این روش نه تنها اثری بر کاهش NO_x نخواهد داشت بلکه ممکن است کاهش چشمگیری در توان و افزایش سایر آلایندگی‌ها را به دنبال داشته باشد [۲۰-۲۴].

تورس و هنریت در یک بررسی عددی اثر اختلاط ناهمگن دود بازگردانی شده را بر توزیع مکانی این گازها پیش از اشتعال در داخل محفظه احتراق برای یک موتور اشتعال جرقه‌ای بررسی کردند [۲۰]. نتایج این تحقیق نشان داد که لایه‌بندی دود وارد شده به محفظه احتراق در سرعت‌های تند موتور از اهمیت بیشتری برخوردار است. به علاوه وارد کردن جداگانه دود به هر یک از راهگاه‌های چندراهه ورودی (به جای وارد کردن

دود به محفظه آرامش) توزیع یکنواخت‌تر دود در محفظه احتراق را پیش از اشتعال به دنبال دارد.

سیورت و همکاران [۲۱] توانستند به کمک ترکیبی از شبیه‌سازی عددی و بررسی آزمایشگاهی چندراهه ورودی یک موتور دیزل ۲ لیتری با پاشش مستقیم را به کمک توزیع یکنواخت‌تر استوانه به استوانه دود بازگردانده شده بهینه‌سازی کنند به نحوی که موتور مذکور با اعمال کمترین تغییرات توانست استاندارد آلایندگی Euro-III را کسب کند.

ویلیام و همکاران [۲۲] اثر متغیرهای هندسی را بر میزان مخلوط شدن دود بازگردانده شده و هوای وارد شده به چندراهه ورودی مطالعه کردند. در پژوهش مذکور کیفیت مخلوط شدن هوا و دود بازگردانده شده به چندراهه ورودی برای یک چندراهه ساده سازی و نصب شده بر روی یک موتور دیزل بررسی گردیده و میزان توزیع استوانه به استوانه دود بازگردانده شده به کمک روش حرارتی مطالعه شده است. در این روش برای ارزیابی یکنواختی توزیع دود بازگردانده شده در استوانه‌ها از دمای مخلوط هوا و دود بازگردانده شده استفاده شده است. با توجه به گرم‌تر بودن دود بازگردانده شده در مقایسه با هوای ورودی به چندراهه، بر اساس معیار این روش، گرم‌تر بودن مخلوط هر راهگاه به منزله سهم بیشتر آن از دود بازگردانده شده است. در این بررسی با وجود به کارگیری تحلیل عددی و آزمایشگاهی، نتایج تنها بر روی یک همگرا و گرای ساده ارائه شده و از هندسه چندراهه استفاده نشده است. شایان ذکر است که روش حرارتی مورد استفاده در این بررسی وابستگی زیادی به دقت اندازه‌گیری دما دارد. همچنین هنگامی که از چند نقطه برای تزریق دود بازگردانده شده به چندراهه استفاده می‌شود، این روش نمی‌تواند سهم هر یک از نقاط تزریق را برای هر راهگاه مشخص کند. بعلاوه این روش برای مقادیر کم دود بازگردانده شده یا بررسی توزیع گازهای نشتی از محفظه‌لنگ (که اختلاف دمای چشمگیری با هوای ورودی ندارند) مناسب نیست.

گرین [۲۳] در یک بررسی تجربی، روشی برای اندازه‌گیری توزیع دود بازگردانده شده در چندراهه پیشنهاد و این روش را بر روی یک موتور استوانه کوچک دیزل آزمایش کرد. نتایج این تحقیق در دو حالت دائمی و غیر دائمی ارائه شده است. گرین نشان داد که این روش قابلیت مناسبی برای اندازه‌گیری توزیع استوانه به استوانه دود بازگردانده شده به چندراهه ورودی دارد.

در بررسی پارتیج و همکاران [۲۴] به توزیع مناسب دود بازگردانده شده در یک موتور دیزل ۸ استوانه‌ای خورجینی^۳ پرداخته شده است. در تحقیق مذکور اثر بیشینه کردن شار جرمی هوای ورودی به چندراهه بر نحوه اختلاط دود بازگردانده شده و همچنین تغذیه کم یا نامناسب هر یک از استوانه‌ها با دود بازگردانده شده تجزیه و تحلیل شده است. در انتها عواملی که می‌توانند منجر به توزیع یکنواخت‌تر استوانه به استوانه دود بازگردانده شده، همراه با متغیرهای محدود کننده، ارزیابی شده‌اند.

در این تحقیق تلاش می‌شود به کمک شبیه سازی عددی جریان هوا در چندراهه ورودی، بهترین موقعیت برای تزریق دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ که بیشترین یکنواختی توزیع بین استوانه‌ها را نتیجه می‌دهد، تعیین گردد. در روش مرسوم برای تعیین توزیع یکنواختی دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ از تزریق CO_2 یا یک گونه گاز به غیر از هوا در چندراهه ورودی استفاده می‌شود و توزیع آن در هر یک از راهگاه‌ها محاسبه و بررسی می‌شود. این روش با توجه به طولانی بودن زمان حل جریان در چندراهه برای مطالعه تعداد زیادی از نقاط بسیار زمان بر و خسته کننده است. همچنین در این روش، برای مطالعه ترکیبی از حالت‌های تزریق تک نقطه‌ای لازم است که میدان جریان، مجدداً حل شود. در این تحقیق برای مطالعه

1- Origin pipe
2- Acoustic theory

3- V-type

همان‌گونه که در شکل ۲-۲ ب نمایش داده شده است نقاط مورد بحث به شکل منظمی روی محفظه آرامش و بر ۸ امتداد محوری و ۷ امتداد محیطی پراکنده شده‌اند. در این میان خطوط محوری ۷ و ۸ به علت موقعیتشان تنها دارای یک موقعیت برای ورود دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ‌اند. دسته‌بندی فوق این امکان را فراهم می‌کند که بتوان رفتار توزیع کنندگی موقعیت‌های مختلف روی محفظه آرامش را به طور مشخص طبقه‌بندی کرد. همچنین می‌توان پیش‌بینی کرد، موقعیت‌های قرار گرفته بر دو امتداد محیطی ۶ و ۷ به طور مناسبی راهگاه‌های اول و دوم را تغذیه نمی‌کنند چرا که توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ به کمک جریان اصلی هوا در چندراهه انجام می‌شود. منظور از جریان اصلی، جریان هوای ورودی به چندراهه است که رفتار آن بر جریان دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ وارد شده به چندراهه تأثیر می‌گذارد. هنگام عبور هوا از راهگاه‌های اول و دوم، جریان غالبی برای جابه‌جا کردن دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ وارد شده به چندراهه وجود ندارد و این گازها در نزدیکی محل ورود خود به چندراهه جمع می‌شوند. همچنین پیش‌بینی می‌شود موقعیت‌های قرار گرفته بر روی امتداد‌های محوری ۲ و ۶ دارای مزیت نسبی از نظر توزیع یکنواخت باشند. جریان خروجی از این موقعیت‌ها علاوه بر فاصله مناسب نسبت به ورودی راهگاه‌ها باید به هسته جریان اصلی وارد شود و سپس به راهگاه‌ها منتقل گردد. از این رو جریان دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ تحت تأثیر جریان اصلی که خود به طور یکسان بین راهگاه‌ها توزیع می‌شود قرار گرفته و توزیع یکنواخت‌تری برای گازهای ناشی از این موقعیت‌ها حاصل می‌گردد.

به علت پیچیدگی شکل میدان حل امکان تولید شبکه سازمان یافته وجود ندارد. از این رو از شبکه بی‌سازمان و حجره‌های چهار وجهی برای تولید شبکه استفاده شده است.

۲-۲- معادلات حاکم

فرض می‌شود که جریان مغشوش و تراکم پذیر در کل زمان یک چرخه برقرار باشد. بدین ترتیب معادلات حاکم (اصل بقا جرم، اندازه حرکت، انرژی و معادله حالت) عبارتند از:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} \right] + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\nabla p + \nabla \vec{\tau} \quad (2)$$

$$\rho \left[\frac{\partial T}{\partial t} \right] + (\vec{v} \cdot \nabla) T = -\nabla(k \nabla T) \quad (3)$$

$$p v = RT \quad (4)$$

تانسور تنش در معادله (۲) از معادله کلی $\vec{\tau} = \mu [\nabla \vec{v} + (\nabla \vec{v})^T]$ تبعیت می‌کند.

چگونگی توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ به جای تزریق CO_p از روشی بر اساس تعقیب ذرات^۱ استفاده شده است. چون در این گونه از مسائل، جریان هوا، جریان اصلی است و دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ تزریق شده بر روی الگوی جریان تأثیر چشمگیر ندارند، به کمک این روش می‌توان میزان توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ تزریق شده را برای چندین نقطه تزریق مختلف (بدون محدودیت نقاط) بررسی کرد. بعلاوه این روش می‌تواند برای حالت‌هایی که شامل ترکیب دو یا چند نقطه تزریق‌اند نیز استفاده شود. چون در بیشتر موارد حالت‌های ترکیبی توزیع یکنواخت‌تری را برای دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ تزریق شده پیش‌بینی می‌کنند و در عمل نیز حالت‌های ترکیبی نتایج بهتری را به دنبال دارند، این روش در مقایسه با سایر روش‌های موجود کارآمدتر خواهد بود. مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهاد شده بر اساس تعقیب ذرات و روش تزریق CO_p به چندراهه ورودی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با دقت خوبی توزیع گازها در هر یک از راهگاه‌ها را پیش‌بینی می‌کند.

۲- روش حل

۱-۲- الگو هندسی

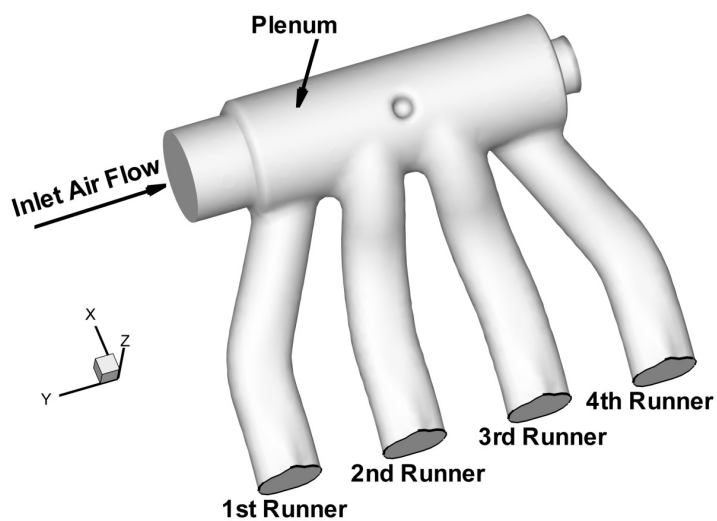
در این پژوهش جریان هوا در چندراهه ورودی موتور توربو شارژ EFV به صورت عددی شبیه سازی شده است. شکل ۱-۱ نمایشی از چندراهه ورودی موتور توربو شارژ EFV را نمایش می‌دهد. میدان جریان، چندراهه ورودی شامل یک محفظه آرامش و چهار راهگاه است.

برای مقایسه و بررسی موقعیت‌های مختلف دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ، ۳۹ موقعیت مختلف بر روی محفظه آرامش چندراهه ورودی در نظر گرفته شده است. این موقعیت‌ها در شکل ۲-۲ الف شماره‌گذاری و مشخص شده‌اند. همچنین در شکل ۲-۲ ب موقعیت‌هایی که بر روی یک امتداد محوری^۲ یا امتداد محیطی^۳ قرار گرفته‌اند، نشان داده شده‌اند.

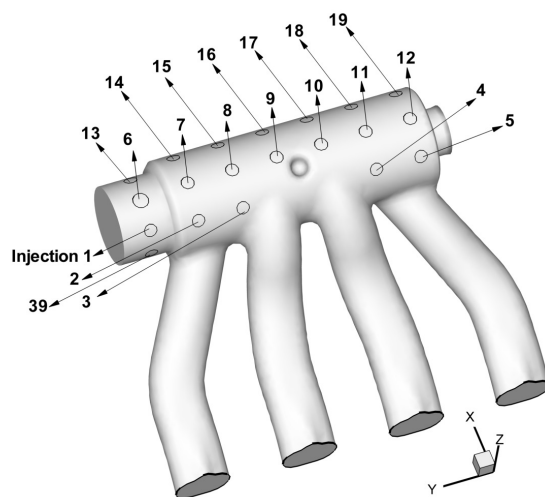
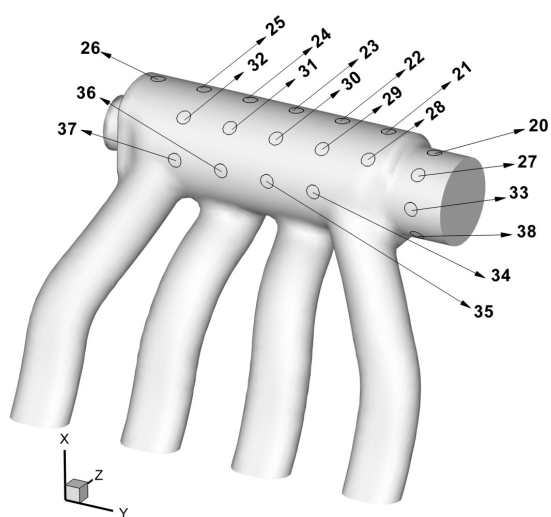
در بیشتر کاربردهای عملی و همچنین تحقیقات انجام شده از این دست، نقاط تزریق روی محفظه آرامش تعبیه می‌شوند. علت این انتخاب آن است که در موتورهای با تنفس طبیعی، ورود دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه لنگ با مکش موجود در چندراهه صورت می‌گیرد. این شرایط برای موتورهای پرخوران نیز در محدوده کاری که مدار پرخوران آنها فعال نیست حاکم است. این فشار منفی (مکش) در محفظه آرامش یکنواخت تر، پایدارتر و قوی‌تر است و امکان مدیریت بهتری برای شار جرمی گازهای وارد شده به چندراهه را فراهم می‌کند. اگر چه در نگاه اول راهگاه‌های چندراهه نیز می‌توانند انتخاب خوبی به نظر برسند اما در بیشتر موتورها، محدوده اطراف راهگاه‌های مکش ناحیه شلوغ و پر تراکمی است که امکان تعبیه محلی برای ورود دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ بندرت وجود دارد. همچنین امواج فشاری ناشی از باز و بسته شدن دریچه‌ها در راهگاه‌های مکش بر عدم تنظیم شار جرمی هر راهگاه می‌افزایند. در نهایت اگر بتوان تمامی این مشکلات را بر طرف کرد باز هم باید این نکته توجه کرد که تعبیه چهار محل برای ورود دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ بر روی چهار راهگاه (در صورتی که موتور چهار استوانه‌ای باشد) دست کم هزینه‌ای دو برابر تعبیه دو محل روی محفظه آرامش دارد. به این ترتیب اگر موتور شش یا هشت استوانه‌ای باشد هزینه چنین سامانه‌ای چند برابر خواهد بود. به علاوه با در نظر گرفتن دو محل ورود دود بازگردانده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ به محفظه آرامش مدار ساده‌تر است و تنظیم آن نیز بهتر صورت می‌گیرد.

1 - Particle tracking
2 - Axial line

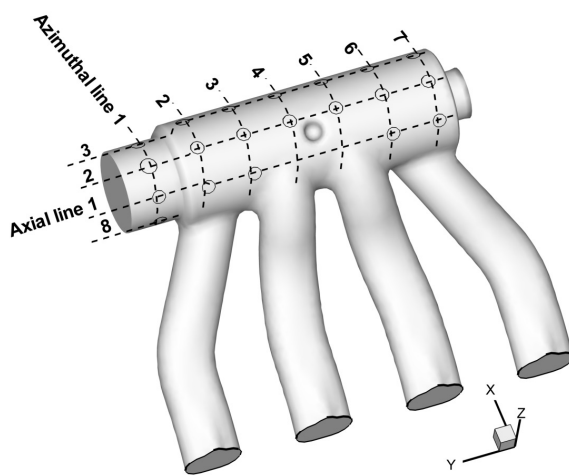
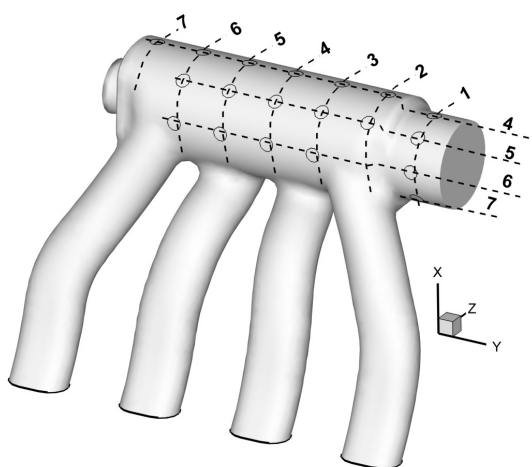
3- Azimuthal line



شکل ۱: نمای از چند راهه ورودی موتور پرخوران EFV



الف

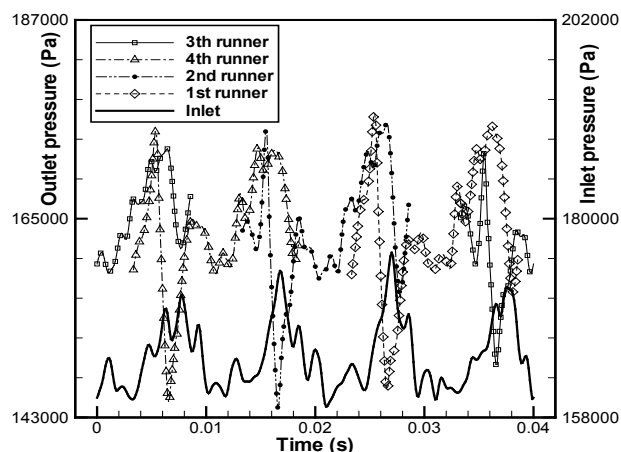


ب

شکل ۲: موقعیت های در نظر گرفته شده (۳۹ حالت) بر روی محفظه آرامش چند راهه ورودی موتور EFV برای تزریق دود بازگردانده شده یا گازهای نشستی از محفظه‌لنگ (الف) شماره گذاری موقعیت های تزریق (ب) شماره گذاری امتدادهای محوری و امتدادهای محیطی

۳-۲- روش عددی و شرایط مرزی

برای حل معادلات حاکم جریان در چندراهه ورودی از روش حجم محاسبه استفاده شده است. نرم افزار Gambit برای تولید شبکه و اصلاح شکل هندسی چندراهه ورودی به کار گرفته شده است و نرم افزار Fluent برای حل معادلات حاکم استفاده شده است. در این بررسی جریان سیال ناپایدار، تراکم پذیر و مغشوش در نظر گرفته شده است. برای اعمال اثرات اغتشاش از الگوی K-ε استفاده شده است. در این تحقیق میدان جریان به صورت وابسته به زمان و در طول یک چرخه کاری کامل موتور تحلیل شده است. شرایط مرزی وابسته به زمان در مقاطع ورودی و خروجی چندراهه از یک شبیه سازی یک بعدی بدست آمده است. این شبیه سازی یک بعدی به وسیله نرم افزار GT-Power انجام گرفته و الگوی مورد استفاده در این نرم افزار با داده های آزمایشگاهی موتور EFV کاملاً زینبندی گردیده است. از این شبیه سازی، یک بعدی فشار در مقطع ورودی و چهار مقطع خروجی چندراهه بر حسب زاویه میل لنگ (زمان) استخراج می گردد. از این مقادیر فشار که به عنوان شرط مرزی در تحلیل سه بعدی استفاده می شوند، در حالت تمام بار^۱ برای دوره های مختلف موتور بدست آورد. در شکل ۳ به طور نمونه فشار در مقطع ورودی و مقطع خروجی چهار راهگاه چندراهه بر حسب زمان در دور ۳۰۰۰ rpm نشان داده شده است.



شکل ۳ مقادیر فشار در ورودی و چهار راهگاه خروجی چندراهه برای یک چرخه کاری موتور EFV در دور ۳۰۰۰ rpm

۳- روش بررسی

توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی محفظه لنگ را می توان با در نظر گرفتن دو گونه گاز در میدان جریان مطالعه کرد. گونه اول، جریان هوایی ورودی از چندراهه که جریان اصلی و غالب است. گونه دوم که نقش دود بازگردانده شده و گازهای نشتی از محفظه لنگ تزریق شده به چندراهه را دارد می تواند CO₂ یا HC باشد. دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه لنگ با شار جرمی مشخص از موقعیت یا موقعیت های معین به چندراهه ورودی تزریق می شوند. به منظور دستیابی به حل نوسانی و پایدار این جریان باید دست کم میدان جریان را برای ۵ الی ۶ چرخه کاری موتور حل کرد. در این شرایط کسر جرمی گونه دوم (CO₂ یا HC) در انتهای هر یک از راهگاه های چندراهه، نشان دهنده سهم آن راهگاه یا استوانه از دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ تزریق شده است. کسر جرمی گونه دوم در انتهای هر راهگاه را می توان برای محدوده

زمانی مورد نظر در چرخه هایی که جریان نوسانی پایدار در آنها برقرار شده است، به سادگی محاسبه کرد.

استفاده از این روش اگر چه دارای دقت مناسبی است ولی بسیار زمان بر خواهد بود. حل تنها یک سیکل این میدان جریان به کمک پردازنده (Intel E ۶۴۰۰ Core ۲ GHz و ۲/۴ Duo) GB و حافظه داخلی DDR۲ بین ۲۰ تا ۲۴ ساعت زمان نیاز دارد که برای دستیابی به جریان نوسانی پایدار (۵ الی ۶ چرخه کاری موتور) نزدیک به ۵ الی ۶ روز است. اگر لازم باشد که هر یک از ۳۹ حالت بررسی شوند، بدون در نظر گرفتن حل های شامل ترکیب دو نقطه تزریق و حل های مورد نیاز برای بارها و سرعت های مختلف موتور، باز هم این زمان بسیار طولانی است. با این توضیح، ارزیابی جامع توزیع همگن یکنواخت دود بازگردانده شده و گازهای نشتی از محفظه لنگ برای همه حالت ها با توجه به امکانات متعارف این روش غیر عملی به نظر می رسد.

در این تحقیق به کمک تعقیب ذرات، روشی پیشنهاد شده است که ارزیابی و بررسی چگونگی توزیع دود بازگردانده شده و گازهای نشتی از محفظه لنگ برای تمامی موقعیت های تزریق، به صورت مجزا و ترکیبی، تنها با یک بار حل میدان جریان امکان پذیر می گردد. در این روش ذرات از نقاط تزریق مورد نظر به میدان جریان سیال غالب (در اینجا هوا) تزریق می شوند. شرایط تزریق ذرات از قبیل سرعت، دما و سایر موارد مورد نظر را می توان به صورت شرط مرزی کنترل کرد و آنها را مطابق شرایط واقعی تزریق دود بازگردانده شده و گازهای نشتی از محفظه لنگ به چندراهه هوا تنظیم نمود. نکته مهم این است که هیچ محدودیتی برای تعداد و شرایط موقعیت های تزریق وجود ندارد و می توان هر یک را به طور مستقل اعمال نمود. ذرات تزریق شده در نهایت از انتهای راهگاه های مکش خارج و به استوانه ها وارد می شوند. پس از اینکه شرایط نوسانی پایدار حاصل شد ذرات خارج شده از خروجی هر راهگاه در طول یک سیکل کاری شمارش می شوند. واضح است که تعداد ذرات خارج شده از راهگاه، مشخص کننده میزان تغذیه این راهگاه یا استوانه منتهی به آن راهگاه است. به کمک این روش می توان توزیع دود بازگردانده شده و گازهای نشتی از محفظه لنگ حاصل از ترکیب دو موقعیت بر روی چندراهه را نیز به سادگی بررسی کرد.

با مقایسه دو روش برای یک موقعیت تزریق یکسان، نشان داده می شود که نتایج روش پیشنهادی بر اساس تعقیب ذرات از دقت مناسبی برخوردار است.

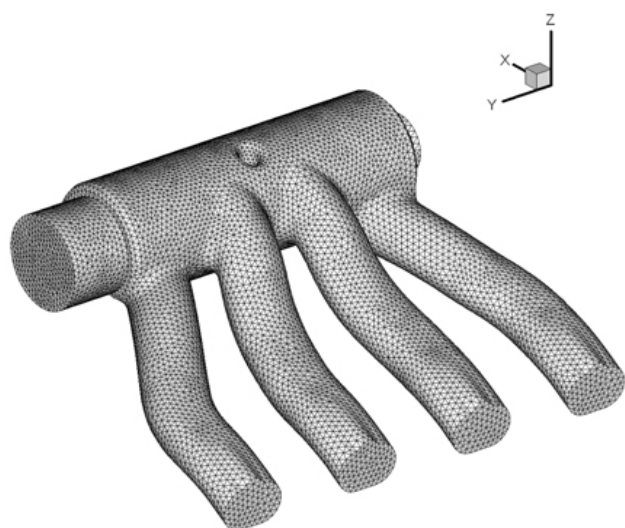
۴- بررسی نتایج

۴-۱- استقلال حل از شبکه بندی

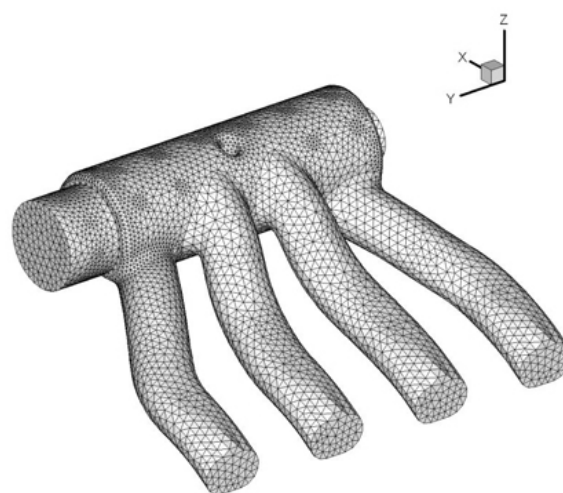
میدان جریان شبکه بندی شده در شکل ۴- الف نشان داده شده است. از این شبکه بندی که شامل ۱۴۰،۷۳ سلول است و در برخی قسمت های آن شبکه بندی ریز شده است برای تهیه نتایج این تحقیق استفاده شده است. شبکه بندی ریزتری دارای ۰،۵۶ حججه (شکل ۴- ب) برای بررسی استقلال حل از اندازه شبکه بندی مورد استفاده قرار گرفته است.

حداکثر اختلاف بین نتایج حاصل از این دو شبکه بندی با وجود اینکه تعداد حججه های شبکه تقریباً دو برابر شده است از ۳/۲٪ تجاوز نمی کند. از طرف دیگر زمان همگرایی و اتمام حل میدان جریان برای یک چرخه کاری موتور برای شبکه بندی ریزتر تقریباً دو برابر است. بنابراین با توجه به اختلاف ناچیز نتایج دو حالت و زمان کوتاه تر شبکه درشت تر (شبکه شامل ۱۴۰،۷۳ سلول) این شبکه به عنوان شبکه مورد استفاده در این تحقیق انتخاب شده است.

1- full load



(ب)



(الف)

شکل ۴ شبکه بندی چند راهه ورودی EF7 (الف) شامل ۱۴۰,۷۳ سلول (ب) شامل ۱۴۸,۰۵۶ حجره

۲-۴- مقایسه نتایج و بررسی صحت روش تعقیب ذرات

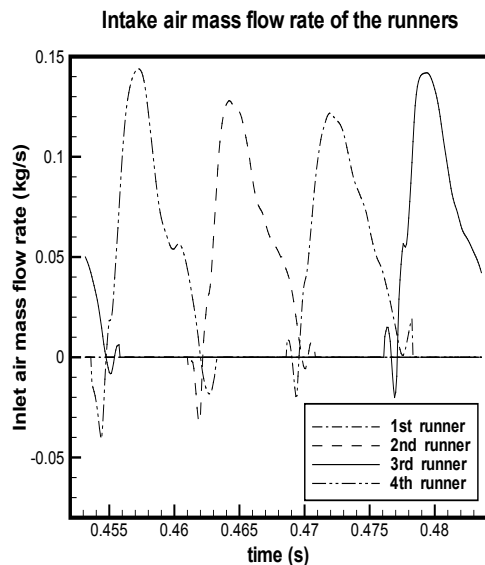
در این قسمت نتایج راجع به توزیع دود بازگردانده شده و گازهای نشتی از محفظه‌لنگ بدست آمده از روش تعقیب ذرات با نتایج حاصل از روشی که CO_p را به عنوان گونه دوم در چندراهه ورودی در نظر می‌گیرد مقایسه شده‌اند. در هر دو حالت دود بازگردانده شده و گازهای نشتی از محفظه‌لنگ از موقعیت تزریق ۱ به چندراهه وارد می‌شوند و نتایج پس از طی چند سیکل و برقراری شرایط نوسانی پایدار در میدان جریان استخراج شده است. همانطور که قبلاً ذکر شد، در روش اول از CO_p به عنوان گاز گونه دوم و در نقش دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به میدان جریان استفاده می‌شود. شار جرمی CO_p تزریق شده از موقعیت تزریق ۱ معادل ۱٪ متوسط شار جرمی هوای ورودی به چندراهه می‌باشد. برای این روش شار جرمی دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده (CO_p) در خروج از هر راهگاه در شکل ۵ نمایش داده شده است. کاملاً مشخص است که سهم راهگاه ۲ و ۳ از دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به چندراهه بترتیب بیشترین و کمترین مقدار است. انتقال‌گیری برای شار جرمی در طول یک چرخه کامل کار موتور نشان می‌دهد که راهگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب هر کدام ۲۹/۳۴٪، ۵۹/۴۳٪، ۴/۳۱٪ و ۶/۷۱٪ از کل دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به چندراهه را دریافت می‌کنند. این توزیع غیر یکنواخت در حالی رخ می‌دهد که برای هوا، شار جرمی هر یک از راهگاه‌ها ۱ تا ۴ تقریباً یکسان است (شکل ۶) و حداکثر اختلاف که بین شار هوای راهگاه‌های ۱ و ۴ رخ می‌دهد از ۴٪ تجاوز نمی‌کند.

برای مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی بر اساس تعقیب ذرات با روش تزریق CO_p ، ذرات از موقعیت تزریق ۱ (مشابه با روش تزریق CO_p) و سرعت ورود ذرات به چندراهه نیز مشابه سرعت گاز CO_p تزریق شده به چندراهه ورودی در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از روش تعقیب ذرات نیز مشابه روش تزریق CO_p نشان می‌دهد که بیشتر جریان دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ که از موقعیت ۱ به چندراهه

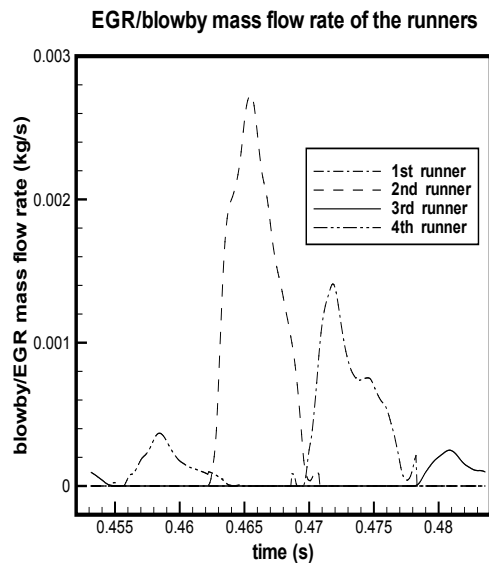
ورودی تزریق می‌شود به راهگاه دوم می‌رود. همچنین نتایج هر دو روش نشان می‌دهد که سهم راهگاه سوم از دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده از موقعیت ۱ کمترین مقدار است. مقایسه کمی نتایج دو روش مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول سهم هر یک از راهگاه‌ها از کل CO_p تزریق شده با سهم هر یک از راهگاه‌ها از کل ذرات وارد شده به چندراهه ورودی بر حسب درصد، در چرخه کامل موتور با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج هر دو روش تطابق خوبی با یکدیگر دارند و حداکثر اختلاف بین آنها ۵/۳۷٪ است که وابسته به مقایسه نتایج دو روش برای راهگاه چهارم است.

جدول ۱ مقایسه نتایج روش پیشنهادی بر اساس تعقیب ذرات (روش دوم) و تزریق CO_p

راهگاه	۱	۲	۳	۴	مجموع
تعداد ذرات خارج شده از هر راهگاه	۱۹۴۰	۳۸۴۴	۲۶۶	۴۱۰	۶۴۶۰
نسبت ذرات خارج شده از هر راهگاه به کل ذرات تزریق شده به چندراهه (% - روش دوم)	۳۰/۰۳	۵۹/۵۰	۴/۱۲	۶/۳۵	۱۰۰
نسبت جرمی دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ هر راهگاه برای روش تزریق CO_p (% - روش اول)	۲۹/۳۴	۵۹/۴۳	۴/۳۱	۶/۷۱	۱۰۰
درصد اختلاف سهم دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ روش دوم نسبت به روش اول	+۲/۳۵	+۰/۱۲	-۴/۴۰	-۵/۳۷	—



شکل ۶ شار جرمی هوای ورودی به چند راهه در یک چرخه کاری موتور



شکل ۵ شار جرمی دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ تزریق شده به چند راهه ورودی در چرخه کاری موتور برای نقطه تزریق ۱

راهگاه چهارم همواره بیشترین سهم را از دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ تزریق شده به داخل چندراهه ورودی در بین چهار راهگاه دارا است. چون این موقعیت‌ها تنها راهگاه‌های سوم و چهارم را تغذیه می‌کنند نمی‌توان آنها را به عنوان موقعیت‌های تزریق مناسب در نظر گرفت.

تغذیه راهگاه چهارم برای خطوط محوری ۱، ۲، ۳ و ۴ یک روند افزایشی و سپس کاهش‌ی دارد (شکل‌های ۷ تا ۱۰). بر روی این خطوط برای موقعیت‌های تزریق ابتدایی محفظه آرامش تا موقعیت‌های میانی، سهم راهگاه چهارم از دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ تزریق شده رو به کاهش است. با نزدیک شدن به انتهای محفظه آرامش برای موقعیت‌های تزریق انتهایی تغذیه راهگاه چهارم افزایش پیدا می‌کند. با صرف نظر از میزان تغذیه راهگاه چهارم از موقعیت تزریق ۲۸ این روند برای خط محوری ۵ نیز ادامه می‌یابد. با این وجود برای خط محوری ۶ این روند کاملاً معکوس است. بر روی این خط، تغذیه راهگاه چهارم برای موقعیت‌های ابتدای محفظه آرامش تا موقعیت‌های میانی افزایشی است و با نزدیک شدن به انتهای محفظه آرامش، میزان تغذیه کاهش پیدا می‌کند.

با مقایسه موقعیت‌های تزریقی که بر روی یک خط محوری قرار گرفته‌اند مشخص می‌گردد که موقعیت‌های قرار گرفته بر روی خطوط محوری ۳، ۴ و ۵ که بر روی خط محیطی ۴ نیز قرار دارند، موقعیت‌هایی هستند که بیشینه تغذیه به راهگاه سوم رخ می‌دهد (شکل‌های ۹ تا ۱۱).

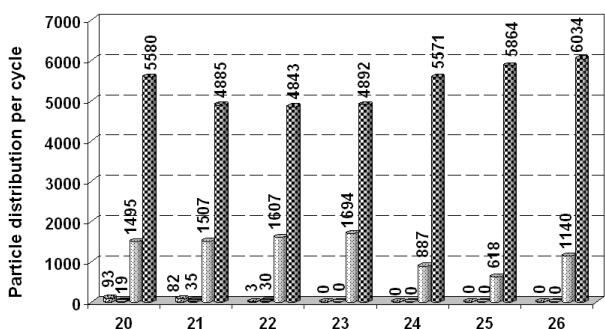
۴-۳- بررسی نتایج بر مبنای تزریق منفرد

روش پیشنهاد شده بر اساس تعقیب ذرات، از این قابلیت برخوردار است که بدون نیاز به حل جدید می‌تواند توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه لنگ تزریق شده به چندراهه را در حالت‌های ترکیبی نیز پیش‌بینی کند. در این قسمت نتایج تزریق منفرد بررسی می‌شود و در قسمت بعدی نتایج حالت‌های ترکیبی ارائه می‌گردد.

همانطور که در قسمت‌های قبل ذکر شد برای تعیین بهترین محل تزریق دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ، چندین موقعیت تزریق مختلف بر روی محفظه آرامش چندراهه ورودی در نظر گرفته شده است (شکل ۲). موقعیت‌های تزریق بر روی ۸ خط در امتداد محوری مخزن آرامش با فواصل زاویه‌ای ۴۵ درجه قرار دارند. بسته به موقعیت زاویه‌ای، هر خط شامل ۱ تا ۷ موقعیت تزریق است که بر روی هفت خط محیطی قرار می‌گیرند. به این ترتیب مجموعاً ۳۹ موقعیت تزریق بر روی محفظه آرامش چندراهه وجود خواهد داشت که چگونگی توزیع دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ تزریق شده از طریق هر یک از آنها در این قسمت بررسی می‌شود.

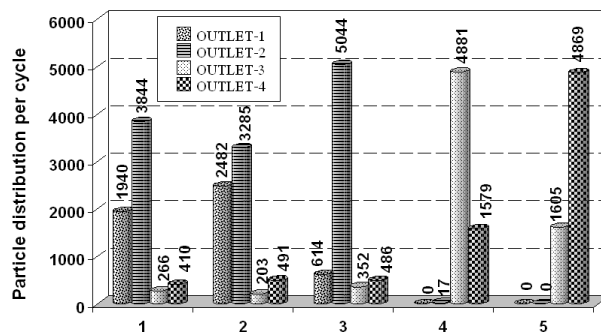
موقعیت‌های تزریقی که در انتهای هر یک از خطوط محوری ۱ تا ۸ قرار گرفته‌اند (یعنی موقعیت‌های ۵، ۱۲، ۱۹، ۲۶، ۳۲ و ۳۷) و به همراه دو یا سه نقطه تزریق ما قبل خود تقریباً راهگاه اول را تغذیه نمی‌کنند (شکل‌های ۷ تا ۱۲). همچنین میزان دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ دریافت شده توسط راهگاه دوم نیز برای نقاط فوق بسیار ناچیز است. برای این نقاط تقریباً تمامی دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ تزریقی به توسط راهگاه‌های سوم و چهارم دریافت می‌شود. روی خطوط محوری ۱، ۲ و ۵ موقعیت‌های دورتر از انتهای محفظه آرامش (به عبارت دیگر نزدیکتر به راهگاه سوم) بیشتر دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ تزریق شده را به راهگاه سوم هدایت می‌کنند و سهم راهگاه چهارم در مقایسه با راهگاه سوم کمتر است. از طرف دیگر با نزدیک شدن به انتهای محفظه آرامش سهم دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه لنگ دریافت شده به توسط راهگاه چهارم افزایش پیدا می‌کند. بر روی خطوط دیگر، بدون در نظر گرفتن فاصله موقعیت تزریق تا انتهای محفظه آرامش،

Particle distribution in the 4th axial line



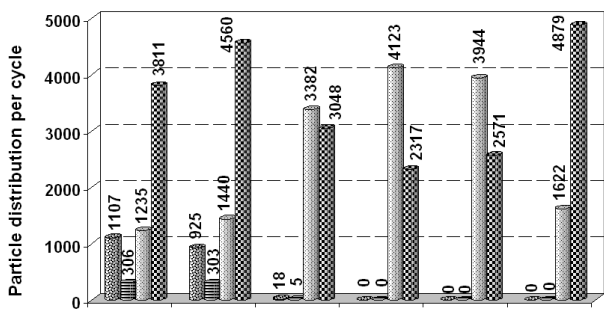
شکل ۱۰ توزیع ذرات در استوانه‌ها برای موقعیت‌های تزریق قرار گرفته بر روی خط محوری

Particle distribution in the 1st axial line



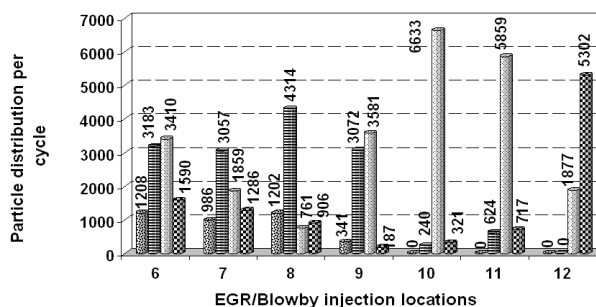
شکل ۷ توزیع ذرات در استوانه‌ها برای موقعیت‌های تزریق قرار گرفته بر روی خط محوری ۱

Particle distribution in the 5th axial line



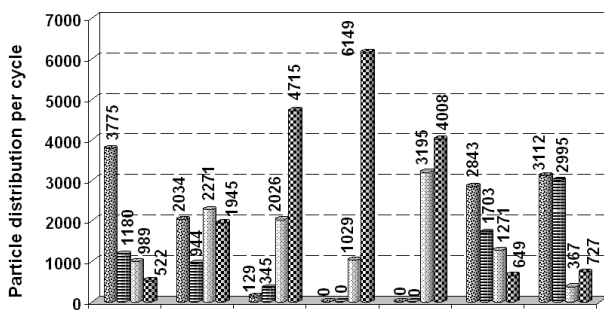
شکل ۱۱ توزیع ذرات در استوانه‌ها برای موقعیت‌های تزریق قرار گرفته بر روی خط محوری ۵

Particle distribution in the 2nd axial line



شکل ۸ توزیع ذرات در استوانه‌ها برای موقعیت‌های تزریق قرار گرفته بر روی خط محوری ۲

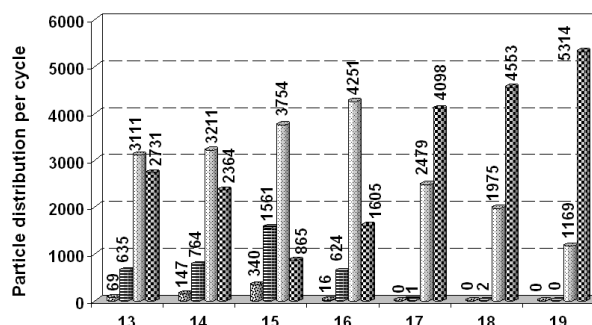
Particle distribution in the 6th axial line



شکل ۱۲ توزیع ذرات در استوانه‌ها برای موقعیت‌های تزریق قرار گرفته بر روی خط محوری ۶

و موقعیت‌های ۳۸ و ۳۹

Particle distribution in the 3rd axial line



شکل ۹ توزیع ذرات در استوانه‌ها برای موقعیت‌های تزریق قرار گرفته بر روی خط محوری ۳

بررسی نمود، بدون اینکه نیاز به حل جدیدی باشد. این امکان در روش‌های قبلی مانند روش‌های حرارتی و تزریق CO_2 وجود ندارد و در ضمن امکان تشخیص اینکه دود بازگرداننده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ تزریق شده از کدام موقعیت تزریق به راهگاه چندراهه ورودی راه یافته‌اند وجود ندارد.

ذکر این مطلب نیز ضروری است که با توجه به غالب بودن جریان هوا در میدان جریان و عدم تأثیر چشمگیری جریان دود بازگرداننده شده یا گازهای ناشی از محفظه‌لنگ تزریق شده در جریان اصلی، استفاده از این روش کاملاً با نوع الگوی جریان مطابقت دارد. در روش مورد استفاده تعدد نقاط تزریق تأثیری بر جریان اصلی داخل چندراهه ندارد و از این رو برای بررسی نقاط تزریق هیچ محدودیتی از نظر تعداد وجود ندارد. همچنین مطالعه چگونگی توزیع حاصل از ترکیب چند نقطه تزریق نیز بسادگی قابل بررسی است. این موارد مزایای با اهمیتی هستند که این روش در مقایسه با روش تزریق CO_2 از آن برخوردار است.

به علت تعدد حالت‌های موجود از ترکیب دو نقطه تزریق از ۳۹ موقعیت تزریق (مجموعاً ۷۴۱ حالت)، تنها نتایج متعلق به حالت‌هایی در اینجا ارائه شده است که حداکثر اختلاف بین ذرات عبور کننده از راهگاه‌ها برای آنها از ۱۰۰۰ ذره بیشتر نباشد. حالت‌های ترکیبی که اختلافی کمتر از ۱۰۰۰ ذره در بین ذرات عبور کننده از چهار راهگاه را بوجود می‌آورند در جدول ۲ ارائه شده‌اند. در تمامی ۳ حالت ترکیبی موقعیت تزریق ۳۹ به عنوان یکی از نقاط مطلوب در ترکیب دوتایی استفاده شده است. همانطور که از اطلاعات این جدول مشخص است بهترین حالت ترکیبی از موقعیت تزریق ۱۳ و ۳۹ حاصل می‌گردد که حداکثر اختلاف بین ذرات عبور کننده از راهگاه‌ها برای آن ۴۴۹ ذره است.

جدول ۲ نتایج روش تعقیب ذرات برای ترکیب دوتایی موقعیت‌های تزریق

راهگاه	۱	۲	۳	۴
تعداد ذرات عبور کننده از هر راهگاه که از موقعیت ۱۳ تزریق شده‌اند	۶۹	۶۳۵	۳۱۱۱	۲۷۳۱
تعداد ذرات عبور کننده از هر راهگاه که از موقعیت ۳۹ تزریق شده‌اند	۳۱۱۲	۲۹۹۵	۳۶۷	۷۲۷
مجموع ذرات عبور کننده از هر راهگاه، حداکثر اختلاف ۴۴۹	۳۱۸۱	۳۶۳۰	۳۴۷۸	۳۴۵۸
تعداد ذرات عبور کننده از هر راهگاه که از موقعیت ۱۴ تزریق شده‌اند	۱۴۷	۷۶۴	۳۲۱۱	۲۳۶۴
تعداد ذرات عبور کننده از هر راهگاه که از موقعیت ۳۹ تزریق شده‌اند	۳۱۱۲	۲۹۹۵	۳۶۷	۷۲۷
مجموع ذرات عبور کننده از هر راهگاه، حداکثر اختلاف ۶۶۸	۳۲۵۹	۳۷۵۹	۳۵۷۸	۳۰۹۱
تعداد ذرات عبور کننده از هر راهگاه که از موقعیت ۲۹ تزریق شده‌اند	۱۸	۵	۳۳۸۲	۳۰۴۸
تعداد ذرات عبور کننده از هر راهگاه که از موقعیت ۳۹ تزریق شده‌اند	۳۱۱۲	۲۹۹۵	۳۶۷	۷۲۷
مجموع ذرات عبور کننده از هر راهگاه، حداکثر اختلاف ۷۷۵	۳۱۳۰	۳۰۰۰	۳۷۴۹	۳۷۷۵

با حرکت بر روی هر یک از خطوط محوری و نزدیک شدن به انتهای محفظه آرامش، راهگاه دوم مقدار کمتری از دود بازگرداننده شده یا گاز ناشی از محفظه‌لنگ تزریق شده از موقعیت‌های قرار داده شده بر روی آن خط محوری را دریافت می‌کند (شکل‌های ۷ تا ۱۲). با این وجود برای موقعیت‌های تزریق نزدیک به ورودی چندراهه، تغذیه راهگاه دوم در خطوط محوری مختلف روند یکسانی ندارد. برای خطوط محوری ۱، ۲ و ۳ بیشینه میزان تغذیه راهگاه دوم به توسط موقعیت قرار گرفته روی خط محیطی ۳ صورت می‌گیرد (موقعیت‌های تزریق ۳، ۸ و ۱۵). برای این خطوط با نزدیک شدن به انتهای محفظه آرامش تغذیه راهگاه دوم تقریباً صفر می‌شود. اگر چه موقعیت‌های تزریق قرار گرفته روی خط محوری ۴ به شکل مناسبی راهگاه دوم را تغذیه نمی‌کنند، موقعیتی که بیشینه تغذیه راهگاه دوم را انجام می‌دهد بر روی خط محیطی ۲ قرار می‌گیرد. این در حالی است که این موقعیت برای خطوط محوری ۱، ۲ و ۳ بر روی خط محیطی ۳ قرار دارد. همچنین برای موقعیت‌های تزریقی که بر روی خطوط محوری ۵ و ۶ قرار دارند موقعیت‌های قرار گرفته روی خط محیطی ۱ بیشترین تغذیه را برای راهگاه دوم انجام می‌دهند. این بدین معنی است که با حرکت به سمت پشت چندراهه (نسبت به خط محوری ۱) موقعیت‌هایی که بیشترین تغذیه را برای راهگاه دوم انجام می‌دهند به ورودی چندراهه نزدیک‌تر می‌شوند.

با مقایسه موقعیت‌های تزریق قرار گرفته بر روی یک خط محیطی مشخص می‌شود که نقطه تزریق قرار گرفته بر محل تقاطع خط محوری ۴ با یک خط محیطی در مقایسه با سایر موقعیت‌های قرار گرفته بر روی همان خط محیطی راهگاه چهارم را بیشتر از بقیه تغذیه می‌کند. این روند تنها برای خط محیطی ۵ صادق نیست. برای خط محیطی ۵ موقعیتی که راهگاه چهارم را بیشتر از بقیه تغذیه می‌کند موقعیت تزریق ۳۶ است که در محل تقاطع خط محیطی ۵ با خط محوری ۷ قرار دارد. برای این خط محیطی موقعیت قرار گرفته بر محل تقاطع با خط محوری ۴ (موقعیت تزریق ۲۴) از نظر میزان تزریق راهگاه چهارم در رتبه دوم قرار دارد.

اگر چه تغذیه راهگاه سوم برای موقعیت‌های قرار گرفته بر روی یک خط محیطی دارای یک روند یکسان نیست اما با بررسی نتایج مشخص است که تزریق کننده حداکثر برای راهگاه سوم بین موقعیت‌های قرار گرفته بر روی یک خط محیطی هیچگاه بر محل تقاطع آن با خط محوری ۱ قرار ندارد. در بیشتر موارد موقعیت‌های تزریقی که بر محل تقاطع یک خط محیطی و خطوط محوری ۲ یا ۳ قرار دارند راهگاه سوم را در بین موقعیت‌های قرار گرفته بر همان خط محیطی بیشتر از سایرین تغذیه می‌کنند.

در انتها ذکر این مطلب ضروری است که نتایج نشان می‌دهد که تزریق دود بازگرداننده شده یا گاز ناشی از محفظه‌لنگ توسط تنها یک نقطه تزریق نمی‌تواند توزیع همگن و قابل قبول در بین چهار راهگاه چندراهه فراهم کند. با این وجود در بین این ۳۹ موقعیت می‌توان موقعیت تزریق ۳۴ را به طور نسبی بهترین نقطه معرفی کرد چرا که دارای حداقل اختلاف توزیع دود بازگرداننده شده یا گاز ناشی از محفظه‌لنگ تزریق شده در بین چهار راهگاه است.

۴-۴- بررسی نتایج بر مبنای تزریق ترکیبی

در این قسمت چگونگی توزیع دود بازگرداننده شده یا گاز ناشی از محفظه‌لنگ تزریق شده از دو نقطه به کمک نتایج روش تعقیب ذرات بررسی می‌شود. یکی از امتیازات برجسته روش پیشنهاد شده در این بررسی، امکان مطالعه حالت‌های ترکیبی است. چون در حین حل به کمک کد گذاری ذرات می‌توان مشخص کرد که هر ذره موجود در جریان هوای درون چندراهه از کدام موقعیت رها شده است و همچنین از کدام خروجی چندراهه (کدام راهگاه) خارج شده است، پس از حل می‌توان اطلاعات کاملی در مورد نحوه توزیع ذرات بدست آورد. به کمک این اطلاعات نه تنها می‌توان حالت‌هایی را که یک موقعیت تزریق را شامل می‌شوند بررسی کرد بلکه می‌توان ترکیبی از دو یا چند موقعیت تزریق را

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق نحوه توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به چندراهه ورودی موتور EF۷ به طور عددی و به کمک یک روش جدید پیشنهادی بر اساس تعقیب ذرات مطالعه شده است. این روش علاوه بر دقت مناسب به زمان و هزینه کمتری در مقایسه با سایر روش‌های موجود نیاز دارد. در این روش می‌توان تنها با یک بار حل میدان جریان نحوه توزیع دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به چندراهه را در هر یک راهگاه‌ها تعیین نمود. تعداد موقعیت‌های تزریق دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ نامحدود است و این روش بدون وابستگی به تعدد نقاط قادر به ارزیابی چگونگی توزیع گاز تزریق شده است. این قابلیت در هیچ یک از روش‌های متعارف موجود نیست و باید برای هر یک از موقعیت‌های تزریق جدید انجام گیرد یا حل عددی دوباره تکرار شود. بعلاوه به کمک این روش می‌توان بدون حل مجدد، حالت‌های ترکیبی شامل دو یا چند نقطه تزریق را مطالعه کرد و میزان یکنواختی دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده در راهگاه‌ها را بررسی نمود. دقت این روش برای مقادیر کم دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به چندراهه نیز مناسب است. همچنین این روش برای دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده هم دما با هوای ورودی به چندراهه بخوبی کار می‌کند و بر خلاف روش حرارتی، دقت آن اساساً بستگی به دمای سیال ندارد. شایان ذکر است در مواردی که جریان دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به چندراهه بر میدان جریان و شار جرمی عبور کننده از راهگاه‌های خروجی تأثیر چشمگیری داشته باشند این روش چندان دقیق نیست چراکه در روش پیشنهادی از اثر گازهای تزریق شده به چندراهه بر میدان جریان صرف نظر شده است. با توجه به تنوع شکل چندراهه‌های طراحی شده برای خودروها، تعیین درصد جرمی برای جریان دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به چندراهه که برای روش تعقیب ذرات بخوبی کار می‌کند ساده به نظر نمی‌رسد. برای این منظور باید هر چندراهه در شرایط کاری مورد نظر مورد مطالعه قرار گیرد.

بر اساس نتایج بدست آمده مشخص گردید، اساساً نقطه منفردی که بتواند توزیع یکنواخت قابل قبولی برای دود بازگردانده شده یا گازهای نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده در چندراهه ایجاد کند، وجود ندارد. همانطور که قابل پیش‌بینی بود موقعیت‌های قرار گرفته بر روی امتدادهای محوری نزدیک به انتهای چندراهه یعنی امتدادهای محوری ۶ و ۷ بعضاً ۵ بدترین نقاط در بین سایر موقعیت‌های هم ردیف خود بودند. در بین موقعیت‌های قرار گرفته بر روی یک امتداد محوری معمولاً موقعیت‌های ابتدایی هر امتداد محوری (یعنی موقعیت‌های قرار گرفته بر روی دو امتداد محیطی ۱ و ۲) بین سایر موقعیت‌های هم ردیف از وضعیت توزیع مناسبتری برخوردار هستند. در مجموع در بین نقاط در نظر گرفته شده، موقعیت تزریق ۳۴ به طور نسبی یکنواخت‌ترین توزیع را در مقایسه با سایر نقاط تزریق منفرد بدست می‌دهد.

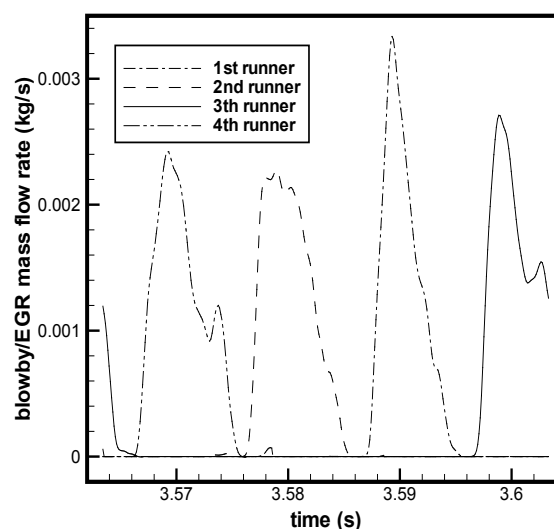
نتایج قسمت وابسته به بررسی ترکیبی موقعیت‌ها نشان داد که حالت‌های ترکیبی نتایج بهتری را به دنبال دارند. در این قسمت حالت ترکیبی شامل موقعیت‌های تزریق ۱۳ و ۳۹ بهترین حالت در مقایسه با سایر حالت‌های ترکیبی است.

۷- تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله از حمایت مادی و معنوی شرکت تحقیقات موتور ایران خودرو (IPCO) برای اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.

به منظور اطمینان بیشتر نتایج روش تعقیب ذرات برای تزریق ترکیبی، با نتایج حاصل از تزریق همزمان CO_2 برای از نقاط ۱۳ و ۳۹ (که در روش تعقیب ذرات به عنوان بهترین حالت شناخته شد) مقایسه می‌شود. نتایج روش تزریق CO_2 از تزریق مجموعاً ۲٪ CO_2 به چندراهه بدست آمده است که ۱٪ آن سهم نقطه تزریق ۱۳ و ۱٪ دیگر از نقطه ۳۹ تزریق شده است. شکل ۱۳ توزیع CO_2 تزریق شده را از نقاط تزریق ۱۳ و ۳۹ در راهگاه‌های خروجی ۱ تا ۴ نشان می‌دهد. برای مقایسه بهتر نتایج هر دو روش در جدول ۳ ارائه شده است. حداکثر اختلاف بین نتایج دو روش ۱/۵۱٪ است که تأیید کننده انتطابق قابل قبول نتایج روش تعقیب ذرات با روش تزریق CO_2 می‌باشد.

EGR/blowby mass flow rate of the runners



شکل ۱۳ شار جرمی دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ تزریق شده به چندراهه ورودی در چرخه کاری موتور برای تزریق ترکیبی از نقاط ۱۳ و ۳۹

جدول ۳ مقایسه نتایج روش تعقیب ذرات (روش دوم) و تزریق CO_2 (روش اول) برای تزریق ترکیبی از نقاط ۱۳ و ۳۹

راهگاه	۱	۲	۳	۴	مجموع
تعداد ذرات خارج شده از هر راهگاه	۳۱۸۱	۳۶۳۰	۳۴۷۸	۳۴۷۸	۱۳۷۴۷
نسبت ذرات خارج شده از هر راهگاه به کل ذرات تزریق شده به چندراهه (٪) - روش دوم	۲۳/۱۴	۲۶/۴۱	۲۵/۳۰	۲۵/۱۵	۱۰۰
نسبت جرمی دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ هر راهگاه برای روش تزریق CO_2 (٪) - روش اول	۲۴/۱۴	۲۵/۹۲	۲۴/۹۵	۲۴/۹۹	۱۰۰
درصد اختلاف سهم دود بازگردانده شده یا گاز نشتی از محفظه‌لنگ روش دوم نسبت به روش اول	-۱	+۱/۵۱	+۰/۳۵	+۰/۱۶	—

Reference:

1. Yagi S., Ishizuga A., Fujii I. Research and development of high speed, high performance small displacement Honda engines, SAE Paper, 700122, 1970.
2. Engelman H. W. Design of tuned intake manifold, ASME paper, 73WA/DGP-2, 1973.
3. Tabaczynski R. J. Effect of inlet and exhaust system design on engine performance, SAE Paper, 821577, 1982.
4. Matsumoto I., Ohata A. Variable induction systems to improve volumetric efficiency at low and / or medium engine speed, SAE Paper 860100, 1986.
5. Alester M. Improved calculation of resonant frequencies of Helmholtz resonant, Journal of sound and vibration, 24, 1, 1972.
6. Driels M. R. Dynamics of I.C. engine induction system, Journal of sound and vibration, 43, 3, 1975.
7. Brands M. C. Helmholtz tuned induction system for turbocharged diesel engine, SAE 790069, 1979.
8. Pearson R. J., Winterbone D. E. A rapid wave action simulation technique for intake manifold design, SAE 900676, 1990.
9. Benajes J., reyes E., Galindo J. and Pidero J. Pre-design model for intake manifolds in internal combustion engine, SAE 970055, 1997.
۱۰. فرهانی، ب. معینی سده، م. حل عددی جریان سیال درون چنדרاهه در حالت سه بعدی دائم و گذرا، مجموعه مقالات دومین همایش بین المللی موتورهای درون سوز، ایران، تهران، بهمن ماه ۱۳۸۰.
۱۱. افراز حبیبی، م. قربانیان، ک. سلطانی، م. نازک کار ماهر، ف. تحلیل تجربی چنדרاهه ورودی موتور نسیان (Z-۳۴)، مجموعه مقالات دومین همایش بین المللی موتورهای درون سوز، ایران، تهران، بهمن ماه ۱۳۸۰.
۱۲. اصفهانیان، و. شمس سبحانی، آ. کربلایی رضا، ح. کلامرج الیاسی، م. تحلیل جریان داخل چنדרاهه موتور احتراق داخلی با استفاده از حل عددی معادلات اویلر یک بعدی، مجموعه مقالات سومین همایش بین المللی موتورهای درون سوز، ایران، تهران، بهمن ماه ۱۳۸۲.
13. Bensler H. Intake manifold optimization using CFD analysis, Proceeding of the first Ricardo software International user conference, Detroit, 1996.
14. Ladomatos N., Abdelhalim S. M., Zhao H. Effect of exhaust gas recirculation temperature on diesel engine combustion and emissions, Journal of Automobile Engineering, Vol 212, 1998.
۱۵. عجب شیرچی، ی. پیروز پناه، و. بررسی تجربی تأثیر دمای سیال EGR در عملکرد و آلایندگی موتورهای SI، مجموعه مقالات دومین همایش بین المللی موتورهای درون سوز، ایران، تهران، بهمن ماه ۱۳۸۰.
۱۶. میرسلیم، س. م. شقیعی ثابت، آ. کیانوش، ع. بررسی اثر بازگردانی دود (EGR) بر میزان آلایندگی خروجی و عملکرد موتور پیکان ۱۶۰۰ سی سی، مجموعه مقالات دومین همایش بین المللی موتورهای درون سوز، ایران، تهران، بهمن ماه ۱۳۸۰.
۱۷. عجب شیرچی، ی. منجزی، م. شرافتی، ک. بررسی تجربی تأثیر درصد و دمای سیال EGR در عملکرد و آلایندگی موتور پیکان ائکتوری ۱۶۰۰ سی سی، مجموعه مقالات سومین همایش بین المللی موتورهای درون سوز، ایران، تهران، بهمن ماه ۱۳۸۲.
۱۸. عجب شیرچی، ی. عباسعلی زاده، م. بررسی تجربی EGR تمیز بر روی عملکرد و آلایندگی موتورهای اشتعال جرقه‌ای، مجموعه مقالات چهارمین همایش بین المللی موتورهای درون سوز، ایران، تهران، آبان ماه ۱۳۸۴.
19. Hountalas D. T., Mavropoulos G., Zannis T. Comparative Evaluation of EGR, Intake Water Injection and Fuel-Water Emulsion as NOx Reduction Techniques for Heavy Duty Diesel Engines, SAE paper No. 2007-01-0120, 2007.
20. Torres A., Henriot S. Modeling the Effects of EGR Inhomogeneities Induced By Intake Systems in a Four-Valve Engine, SAE paper No. 961959, 1996.
21. Siewert R. M., Krieger R. B., Huebler M. S., Baruah P. C., Khalighi B., 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 No. 2001-01-3685, 2001.
22. William J., Dupont A., Bazile R., Marchal M. Study of geometrical parameter influence on air/EGR mixing, SAE paper No. 2003-01-1796, 2003.
23. Green R. M. Measuring the cylinder-to-cylinder EGR distribution in the intake of a diesel engine during transient operation, 2000-01-2866, 2000.
24. Partridge W. P., Lewis S. A., Ruth M. J., Muntean G. G., Smith R. C., Stang J. H. Resolving EGR distribution and mixing, SAE Paper No. 2002-01-2882, 2002.

Numerical Analysis of Injected EGR/Blowby Gases Distribution in Intake Manifold

P. B. Shahabi*

Ph. D. student of Mech. Engineering
Ferdowsi University of Mashhad
pbshahabi@yahoo.com

M. R. Modarres Razavi

Ferdowsi University of Mashhad
Faculty of Engineering
m-razavi@um.ac.ir

H. Niazmand

Associate professor of Mech. Engineering
Ferdowsi University of Mashhad
hniazmand@yahoo.com

Corresponding Authors

Received: Jun. 22, 2009

Accepted in Revised From Feb. 10, 2009

Article No. 88116

Abstract

Exhaust Gas Recirculation (EGR) method has already shown its benefits on controlling NO_x emissions in internal combustion engines. By using EGR, power reduction and increase of other pollutants may be appeared; therefore use of this method needs an accurate regulation system limiting EGR cylinder-to-cylinder maldistribution. On the other hand, emission law limitations make engine manufacturers to recycle back blowby gases into the cylinders. As the same reasons, mentioned above, homogeneous distribution of blowby gases shows better performance and more emission reduction. Geometrical parameters and injection location of EGR/blowby have substantial effects on homogenous cylinder-to-cylinder distribution of EGR/blowby gases. Therefore a numerical simulation of air flow with another species gas (for example CO₂ injection inside intake manifold as EGR/blowby simulation gas) is needed to evaluate the maldistribution quantitatively. Although this method is practicable, it is time consuming because of various injection locations and long solution duration. In this study a new method based on particle tracking is proposed which decreases the time and effort needed to find appropriate injection locations. Furthermore, with the new method double injection analysis is available.

Keywords: EGR Gases, Blowby Gases, Particle Tracking Method, Homogeneous Distribution, Intake Manifold