



توسعه شبیه‌سازی سه بعدی انتقال گاز درون چندراهه ورودی موتور احتراق داخلی با بررسی اثرات تغییر زمان بندی دریچه ورودی

محمدرسول مروتیان^۱، وحید حسینی^{۲*}

^۱دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، m_r_morovatiyan@yahoo.com

^۲دانشگاه صنعتی شریف، vhosseini@sharif.edu

* نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۲۱۶۶۱۶۵۵۸۵

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۲ دی ۱۳۹۳

پذیرش: ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۴

کلیدواژه‌ها:

چندراهه ورودی موتور احتراق داخلی

فرآیند انتقال گاز

موتور iVVT

شبیه‌سازی پویایی سیالات محاسباتی

بررسی رفتارهای سه بعدی جریان‌های درون موتور احتراق داخلی همواره جزء یکی از علاقه‌مندی‌های طراحان موتور بوده است. امروزه طراحان با استفاده از تحلیل‌های پویایی سیالات محاسباتی^۱، این رفتارها را قبل از ساخت موتور، در حالت نزدیک به واقعیت، ارزیابی می‌کنند تا برای رفع ایرادهای طراحی گام بردارند. در این مقاله، چندراهه ورودی هوا در موتور خودروی ملی تیا (موتور بنزینی چهار استوانه با حجم ۱،۵ لیتر)، شبیه‌سازی شده است. در این شبیه‌سازی تحلیل پویایی سیالاتی سه بعدی و گذرا برای چندین حالت خاص از کارکرد موتور و همچنین حالتی خاص از تغییر زمان بندی دریچه ورودی (زودتر باز شدن دریچه ورودی)، ارائه شده است. بررسی اثرات حالت خاص زودتر باز شدن دریچه بر روی متغیرهای سیالاتی عملکردی موتور در چندراهه ورودی، برای اولین بار در ایران، به صورت سه بعدی و برای این موتور ملی انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی شرکت سازنده و نمودارهای مرجع، صحت‌سنجی شد و تطابق خوبی بین آن‌ها برقرار گردید. نتایج نشان می‌دهد زودتر باز شدن دریچه هوا باعث افزایش بازده حجمی در دوره‌های تند موتور می‌شود. از دیگر نتایج این شبیه‌سازی، یافتن رفتار مستقیم متوسط فشار درون چندراهه ورودی با مقدار باز شدن دریچه گاز و همچنین رفتار عکس متوسط فشار با دور موتور است.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

^۱ Computational Fluid Dynamics (CFD)

۱- مقدمه

ساختن یک موتور احتراق داخلی با عملکرد بهینه، تحت تأثیر متغیرهای گوناگونی است که تحقیقات زیادی بر روی هر کدام از این متغیرها که به قسمت‌های مختلف موتور مربوط می‌شوند، انجام شده است. یکی از این متغیرها، چندراهه ورودی موتور احتراق داخلی است که دارای تأثیری مستقیم بر رفتار پویایی سیالات محاسباتی جریان هوای ورودی به درون چندراهه ورودی موتور است. یک چندراهه ورودی از دو قسمت تشکیل شده است: محفظه آرامش و راهگاه‌ها که به استوانه‌ها متصل می‌شوند.

مهمترین وظیفه چندراهه ورودی، توزیع متوازن هوای ورودی به درون استوانه‌ها است؛ زیرا اثر این توزیع به طور مستقیم بر روی عملکرد موتور دیده می‌شود. به عنوان نمونه، یک توزیع نامتوازن هوای ورودی بین استوانه‌ها، سبب ایجاد تفاوت در بازده حجمی استوانه‌ها شده و با توجه به مقدار نامتوازی توزیع هوا، افت توان موتور و مصرف سوخت آن افزایش می‌یابد. برای کاهش این اتفاقات، توصیه می‌شود که هندسه چندراهه ورودی به طور متقارن ساخته شود. در این مقاله، هندسه چندراهه ورودی موتور ملی تیا ساخت شرکت سایپا انتخاب شده و توزیع سه بعدی جریان سیال درون آن بررسی شد. هدف اصلی این مقاله، بررسی فرآیند انتقال گاز درون چندراهه ورودی موتور احتراق داخلی و همچنین بررسی رفتار سه بعدی سیال درون آن در حالت سه بعدی و گذرا، با در نظر گرفتن اثرات یک حالت خاص از زمان بندی دریچه ورودی متغیر است.

تحقیق بر روی فرآیند انتقال گاز و همچنین ارزیابی رفتار جریان سیال درون چندراهه ورودی بخشی مهم از بررسی های موتور بوده که پیش زمینه بررسی جریان درون استوانه است. در سال ۱۹۷۴، فرآیند انتقال گاز برای یک موتور دیزل، با استفاده از کامپیوترهای دیجیتالی شبیه سازی شد [۱]. مطالعه بر روی فرآیند انتقال گاز ادامه پیدا کرد و روش های مختلفی برای رسیدن به دقت بالاتر در شبیه سازی های رایانه ای مطالعه شد. یکی از روش های مؤثر برای رسیدن به این هدف، توسعه شبیه سازی های مختلف روش اجزاء محدود برای حل معادلات پویایی گاز حاکم بر رفتار جریان سیال درون چندراهه ورودی است [۲]. با گسترش نرم افزارهای تجاری مرتبط با بررسی رفتار موتور، شبیه سازی فرآیند انتقال گاز وارد مرحله ای جدید شد. سپس چندراهه ورودی یک موتور ۲ دریچه متعلق به شرکت فورد توسط نرم افزار Star-CD شبیه سازی شد که رفتاری نزدیک به حالت واقعیت از ماهیت جریان سیال درون چندراهه ورودی بدست آورد [۳]. همچنین با توسعه این نرم افزارها، فرآیند احتراق و پاشش سوخت درون موتورها بهتر از پیش ارزیابی شد [۴]. یکی از روش های لازم در توسعه مطالعات رفتار واقعی جریان سیال درون موتورهای احتراق داخلی، استفاده از شبیه سازی های سه بعدی است. با استفاده از این نوع شبیه سازی، مقالات متعددی در ارتباط با بررسی رفتار موتور انجام

شده است، که به عنوان نمونه می توان به شبیه سازی فرآیند انتقال گاز درون استوانه برای موتور ۲ زمانه و ۴ زمانه به وسیله نرم افزار KIVA [۵] و شبیه سازی جریان سیال درون چندراهه ورودی با استفاده از نرم افزار FLUENT [۶] اشاره کرد. همچنین مطالعه ای بر روی روش های مختلف موتور VVT و بررسی اثرات این روش ها بر نمودار فشار-حجم سیال درون استوانه برای یک چرخه کاری موتور توسط نرم افزار GT-Power انجام گردید [۷]. امروزه، مطالعه اثرات حالت های مختلف کارکرد دریچه بیشتر از پیش، مورد علاقه محققان عرصه خودرو قرار گرفته است و هر کدام از این محققین، حالتی خاص از کارکرد دریچه را بررسی کردند. به عنوان نمونه، در تحقیقی اثر یک زمان بندی دریچه متغیر نامعمول بر روی فرآیند انتقال گاز در یک موتور HCCI با استفاده از نرم افزار یک بعدی Wave بحث شد [۸]. یکی دیگر از بخش های مورد علاقه محققین، هندسه چندراهه ورودی است. در پژوهشی دو هندسه مختلف از چندراهه ورودی تحلیل شد [۹]. فرآیند انتقال گاز را نیز می توان با استفاده از زمان بندی متغیر بادامک به صورت شبیه سازی و تجربی بررسی [۱۲] که برخلاف مقاله حاضر، روش زمان بندی متغیر بادامک را برای بررسی تاثیر آن بر مقدار شارژ هوا در نظر گرفته است. همچنین می توان روند انجام شده در این مقاله را برای موتور دیزل نیز در نظر گرفت [۱۳]. در یک بررسی تجربی انجام شده [۱۴]، اثر باز شدن دریچه ورودی بر عملکرد موتور و محاسبه مقدار آلاینده در شرایط درجا کار کردن انجام شده است که بر خلاف مقاله فوق، موتور در حالت درجا کار کردن بررسی شده است.

هدف نهایی این مقاله، شبیه سازی جریان درون چندراهه ورودی در دو حالت پایا و گذرا و همچنین بررسی اثرات یک حالت خاص از زمان بندی متغیر دریچه ورودی (زودتر باز و بسته شدن دریچه ورودی که اصطلاحاً به صورت $EIVO^1 + EIVC^2$ نمایش داده می شوند) بر این جریان است. بررسی اثرات حالت خاص زودتر باز شدن دریچه بر روی متغیرهای سیالاتی عملکردی موتور در چندراهه ورودی، برای اولین بار در ایران، به صورت سه بعدی و برای این موتور ملی انجام شده است.

۲- روش حل و شرایط مرزی

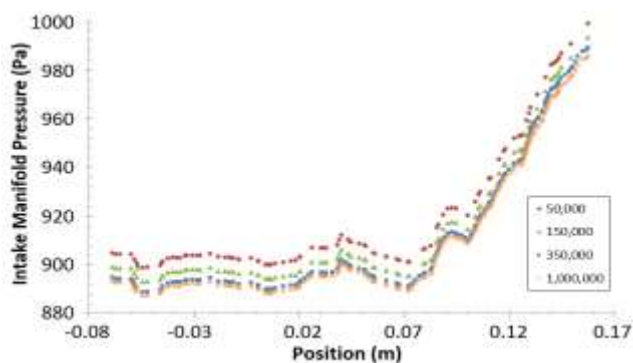
اگرچه روش سعی و خطا که تنها بر پایه آزمایش است، در جهت ارزیابی چندراهه ورودی بسیار مفید است، اما این روش بسیار هزینه بر و نیازمند صرف زمان زیادی است. همچنین این روش، توانایی استخراج همه اطلاعات موجود برای رفتار واقعی جریان را دارا نیست. بنابراین برای بدست آوردن تمامی اطلاعات مورد نیاز برای رفتار واقعی جریان در چندراهه ورودی، بایستی از شبیه سازی های سه بعدی

¹ EIVO (Early Intake Valve Opening)

² EIVC (Early Intake Valve Closing)

تراکم‌ناپذیر در نظر گرفته می‌شود. در ضمن به دلیل ناچیز بودن انتقال حرارت و ثابت بودن تقریبی دما در چندراهه ورودی و همچنین تراکم‌ناپذیر بودن جریان، معادله انرژی در این حالت حل نشده است. از این تحلیل، اطلاعاتی چون ضرائب افت فشار به خصوص برای راهگاه‌ها و ساختار پایای جریان درون چندراهه ورودی بدست می‌آید. مزیت استفاده از شبیه‌سازی حالت پایا در سرعت تند محاسبه ضرائب افت است که به عنوان شرایط اولیه برای حل گذرای مسئله استفاده می‌شوند.

در این تحلیل، شرایط مرزی استفاده شده، فشار ثابت اند. مزیت دیگر حل پایا، محاسبه استقلال نتایج شبیه‌سازی از تعداد شبکه‌بندی است که برای رسیدن به این هدف در این تحقیق، چهار شبکه مختلف با تعداد عنصرهای متفاوت ساخته و بررسی شدند. معیار انتخاب شده برای بررسی استقلال نتایج از تعداد شبکه بندی، فشار نقطه‌ای جریان درون چندراهه ورودی در موقعیت‌های مختلف طولی در حالت پایا و در حالتی که تنها یکی از راهگاه‌های چندراهه ورودی باز است (در اینجا راهگاه آخر)، بوده است (شکل ۳). دقت شود در این حالت، چون جریان پایا در نظر گرفته شده است و تنها استقلال نتایج از تعداد شبکه بندی مد نظر بوده است، شرایط مرزی اعمال شده بر هندسه، شرایط حالت نهایی که در آن شرایط فشار بالادست موتور، مربوط به فشار درون استوانه که بر هندسه اعمال می‌شود، نیست. در اینجا، شرط مرزی خروجی، شرط باز بودن راهگاه آخر است. با توجه به شکل زیر، تعداد عنصر مناسب برای شبیه‌سازی، ۳۵۰,۰۰۰ سلول تعیین شد.



شکل ۳: بررسی استقلال نتایج شبیه‌سازی از تعداد شبکه‌بندی

شبیه‌سازی گذرا می‌تواند رفتار چندراهه ورودی را تحت شرایط واقعی پیش‌بینی کند. در این تحلیل، به دلیل تغییرات ناگهانی فشار در زمان باز و بسته شدن دریچه‌ها، تغییرات شدید فشار و وجود امواج فشاری، بایستی جریان را به صورت تراکم‌پذیر در نظر گرفت. هر چند انتقال حرارت در راهگاه‌ها در این حالت ناچیز است، اما برای دقت بیشتر، معادله انرژی حل شده است. در تحلیل گذرا، استفاده از نتایج حل پایا کمک شایانی به تحلیل درست رفتار پویایی سیالات محاسباتی جریان

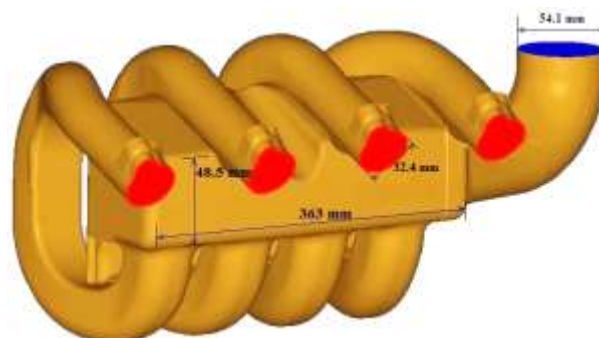
استفاده کرد. رنگ‌های آبی و قرمز در هندسه طرح ترسیم شده در شکل ۲ به ترتیب نمایانگر ورودی و خروجی جریان اند. برای این بررسی، لازم است که چندراهه ورودی در دو حالت مختلف تحلیل شود: تحلیل حالت پایا و تحلیل حالت گذرا. استفاده از این دو تحلیل در کنار یکدیگر سبب افزایش دقت تحلیل می‌شود.

جدول ۱: مشخصات فنی موتور خودروی تیبیا

نوع موتور	۴ استوانه خطی
حجم موتور	۱۴۹۷cc
قطر استوانه	۷۵,۵ mm
طول جابه‌جایی سبمه	۸۳,۶ mm
تعداد دریچه	۸ Valve
نسبت تراکم	۹,۷
ترتیب احتراق	۱-۳-۲-۴
گشتاور بیشینه @ دور گشتاور بیشینه	۱۲۷ N.m
توان بیشینه @ دور توان بیشینه	۴۰۰۰ RPM
زمان بندی باز شدن معمولی دریچه	۸۲ hp (۶۰ kW)
زمان بندی بسته شدن معمولی دریچه	۵۰۰۰ RPM
	۱۳° BTDC
	۶۶° ATDC



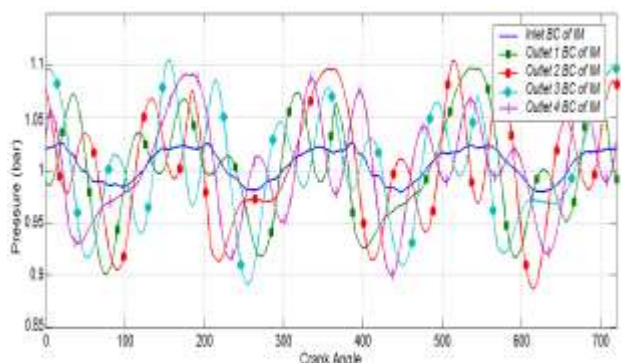
شکل ۱: نمای سه بعدی چندراهه ورودی موتور ملی تیبیا



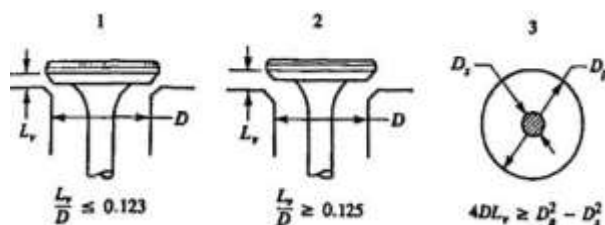
شکل ۲: نمای سه بعدی هندسه طرح ترسیم شده از چندراهه ورودی

در تحلیل حالت پایا، از آنجا که سرعت سیال در هیچ مقطعی از راهگاه‌ها به نزدیکی عدد ماخ ۰,۳ نمی‌رسد و تغییرات فشار ناگهانی در جریان چندراهه و راهگاه‌ها وجود ندارد، بنابراین جریان به صورت

جریان برای مقدار بازشدگی‌های مختلف دریچه محاسبه شده است و با استفاده از این محاسبات و در نظر گرفتن حجم استوانه و رفتار یک چرخه کاری موتور، سرعت‌های جریان هوای ورودی به استوانه در انتهای چندراهه ورودی برای یک چرخه کاری موتور بدست می‌آید.



شکل ۵: شرایط مرزی استخراج شده از نرم‌افزار GT-Power برای شبیه‌سازی یک بعدی موتور در دور ۲۰۰۰ و حالت بار کامل



شکل ۶: نمایش وضعیت‌های مختلف از بازشدگی دریچه [۱۰]

سطح کمینه جریان هوای ورودی که از روی دریچه به درون استوانه وارد می‌شود، با در نظر گرفتن وضعیت‌های مختلف دریچه مطابق شکل ۶ عبارت است از [۱۰]:

$$A_{m_1} = \pi L_v \cos \beta \left(D_v - 2w + \frac{L_v}{2} \sin 2\beta \right) \quad (1)$$

$$A_{m_2} = \pi D_m \left[(L_v - w \tan \tan \beta)^2 + w^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$A_{m_3} = \frac{\pi}{4} (D_p^2 - D_s^2) \quad (3)$$

که $D_m = D_v - w$. قسمت دوم معادلات برای محاسبه فشار خروجی چندراهه ورودی است که ترکیب نتایج دو نرم‌افزار است [۱۰]:

$$P_e = P_c + C_D \left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right) \quad (4)$$

با استفاده از باز و بسته شدن دریچه‌ها و همچنین استفاده از معادلات فوق، شرایط مرزی خروجی برای حالت گذرا در انتهای چندراهه ورودی با در نظر گرفتن رفتار دریچه ورودی، که به طور دائمی در طول شبیه‌سازی در حال تغییر است، محاسبه می‌شود.

۳- بحث بر روی نتایج

با اعمال شرایط مرزی گذرا بر هندسه چندراهه ورودی، شبیه‌سازی پویایی سیالات محاسباتی در FLUENT انجام شد و نتایج بدست

درون چندراهه می‌کند و همچنین منجر به کاهش هزینه زمانی می‌شود. شرایط مرزی این تحلیل از ترکیب نرم‌افزارهای GT-Power و MATLAB محاسبه شده است که برای شرایط مرزی ورودی، تنها از GT-Power و برای شرایط مرزی خروجی از ترکیب این دو استفاده شده است. با به کارگیری این نرم‌افزار، فشار درون استوانه محاسبه شده است. در این نرم‌افزار، تمام قطعات موتور به صورت یک بعدی در کنار هم شبیه‌سازی می‌شوند که شامل شرایط کارکردی موتور و همچنین شرایط آن از جمله لبه‌ها، زاویه‌ها و ابعاد قطعات است. تصویر این شبیه‌سازی در شکل ۴ نشان داده شده است.

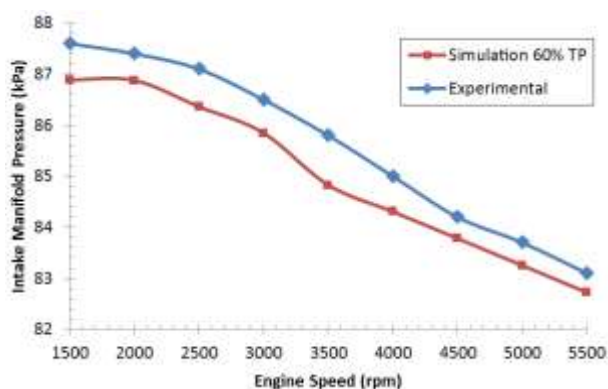


شکل ۴: طرح یک بعدی موتور با استفاده از نرم‌افزار GT-Power

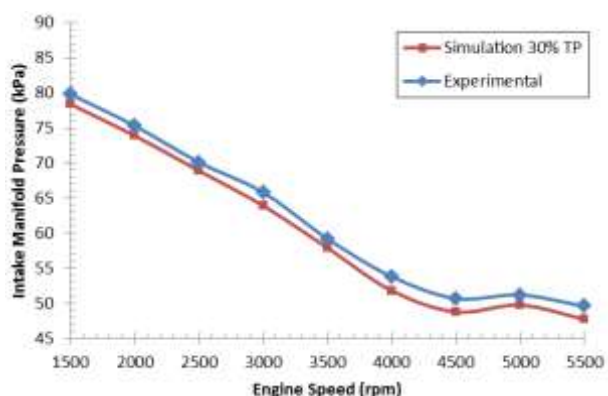
در این تحقیق، از شبیه‌سازی صحت سنجی شده نرم‌افزار GT-Power برای موتور تیبیا که توسط شرکت تولید کننده آن انجام گرفته، استفاده شده است. استفاده از شبیه‌سازی صحت سنجی شده فوق، باعث افزایش دقت در نتایج خروجی مسئله سه بعدی حاضر خواهد شد. بدین معنی که هر چه شبیه‌سازی GT-Power دقیق‌تر باشد، نتایج سه بعدی دقت بالاتری خواهند داشت. برای نحوه شبیه‌سازی موتور در این نرم‌افزار، به طور مختصر، ابتدا بایستی تمامی اجزاء موتور از ورودی تا خروجی هوا برای تمام استوانه‌ها شبیه‌سازی شوند و در کنار یکدیگر قرار بگیرند. بدین منظور در این نرم‌افزار برای هر قسمت از موتور، مؤلفه‌هایی تعریف شده است که هر کدام دارای مشخصات خاصی است. با در نظر گرفتن شرایط هندسی و کارکردی هر کدام از بخش‌های موتور، مشخصات آن مؤلفه بر روی آن اعمال می‌شود.

تمام شرایط مرزی استخراج شده از نرم‌افزار GT-Power در حالت کارکرد عادی موتور و بدون در نظر گرفتن فرآیند زودتر باز شدن دریچه ورودی در شکل ۵ نشان داده شده است.

عملکرد نرم‌افزار MATLAB این است که خروجی‌های نرم‌افزار GT-Power را گرفته و با توجه به معادلاتی که در ادامه آمده است [۱۰]، شرایط مرزی نهایی در تحلیل پویایی سیالات محاسباتی برای حالت‌های خاص زودتر باز شدن دریچه ورودی را استخراج نماید. معادلات اعمال شده در برنامه MATLAB به دو دسته تقسیم می‌شود. قسمت اول، به محاسبه سرعت جریان ورودی به استوانه در محدوده دریچه‌ها وابسته می‌شود [۱۰]. در این قسمت، سطح کمینه



شکل ۹: تغییرات فشار چندراهه ورودی بر حسب دور موتور در مقدار ۶۰٪ بازشدگی دریچه گاز و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی



شکل ۱۰: تغییرات فشار چندراهه ورودی بر حسب دور موتور در مقدار ۳۰٪ بازشدگی دریچه گاز و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی

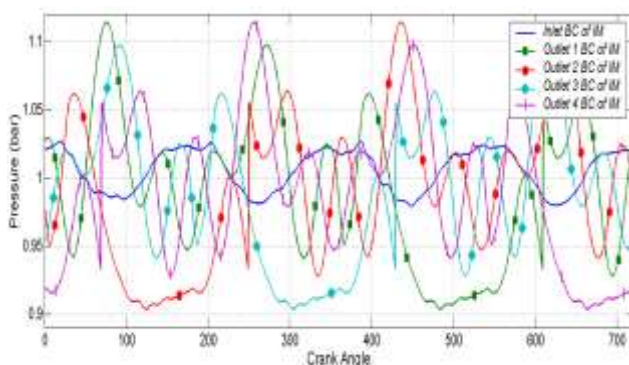
با توجه به شبیه‌سازی صحت سنجی شده GT-Power و بررسی سه بعدی (که در بالا توضیح داده شده است)، میانگین خطای نسبی نتایج شبیه‌سازی و داده‌های آزمایشگاهی برای این سه حالت، در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲: میانگین خطای نسبی شبیه‌سازی و داده‌های آزمایشگاهی

میانگین خطای نسبی داده‌ها	زاویه دریچه گاز
۱٫۴۵٪	۱۰۰٪
۴٫۱۴٪	۶۰٪
۳٫۷۳٪	۳۰٪

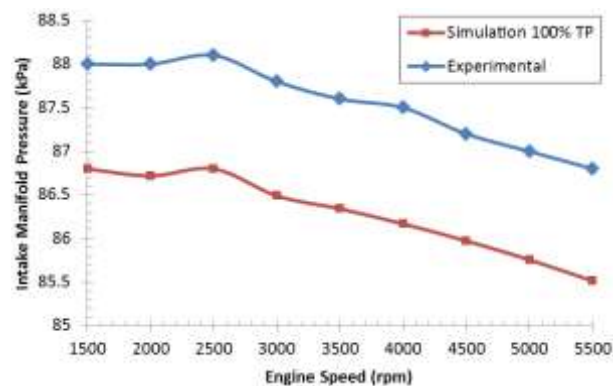
تمامی نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده، در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود فشار سیال چندراهه ورودی در یک مقدار ثابت از بازشدگی دریچه گاز با افزایش دور موتور، کاهش می‌یابد. با بیشتر باز شدن دریچه گاز، هوای ورودی به چندراهه ورودی افزایش می‌یابد و همچنین هوای بیشتری برای فرآیند احتراق فراهم می‌شود. بنابراین امواج فشاری قوی‌تری ناشی از تراکم بیشتر هوا و همچنین ناشی از جریان برگشتی از سوی استوانه به درون راهگاه‌ها در چندراهه ورودی ایجاد می‌شود.

آمدند. نتایج شبیه‌سازی انجام شده در این مقاله به سه دسته تقسیم می‌شود: بررسی تغییرات فشار سیال درون چندراهه ورودی در دوره‌های مختلف موتور برای چند حالت خاص از بازشدگی دریچه گاز، بررسی تغییرات فشار سیال درون چندراهه بر حسب مقدار بازشدگی دریچه گاز در چندین دور ثابت موتور و بررسی تأثیر زمان‌بندی متغیر دریچه ورودی (زودتر باز شدن دریچه ورودی) بر چندراهه ورودی. این تحلیل‌ها به صورت سه بعدی انجام شده‌اند که نتایج در ادامه بحث شد.

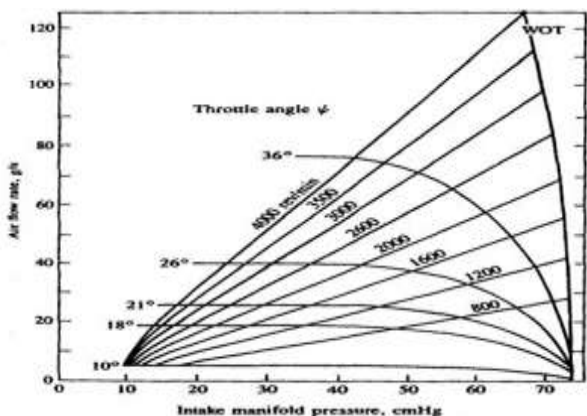


شکل ۷: تمام شرایط مرزی برای چندراهه ورودی در دور ۲۰۰۰، حالت بار کامل و زودتر باز بسته شدن دریچه ورودی (EIVO+EIVC)

صحت‌سنجی نتایج با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی آزمون موتور در شرکت تولیدی موتور، جعبه دنده و محور سایا (مگاموتور) و همچنین استفاده از نموداری در یک کتاب مرجع [۱۰]، انجام شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ دیده می‌شود، تغییرات فشار جریان درون چندراهه ورودی برای سه حالت ثابت از بازشدگی دریچه گاز (حالت بار کامل یا ۱۰۰٪، مقدار باز شدگی ۶۰٪ و مقدار بازشدگی ۳۰٪) نشان داده شده است که با استفاده از داده‌های آزمایشگاه آزمون موتور، صحت‌سنجی شده‌اند. همچنین شرایط آزمون در آزمایشگاه، دمای محیط ۲۸°C، فشار محیط ۸۸۳ mbar و رطوبت محیط، ۲۱٫۵ درصد بوده است.

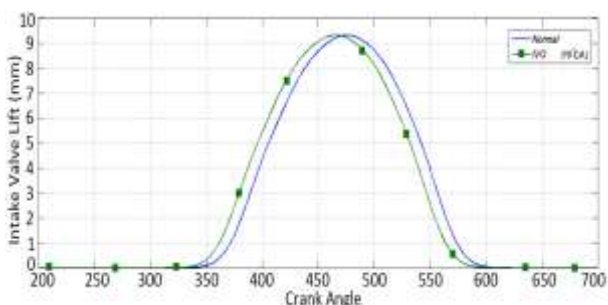


شکل ۸: تغییرات فشار چندراهه ورودی بر حسب دور موتور در مقدار ۱۰۰٪ بازشدگی دریچه گاز و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی



شکل ۱۴: نمودار مرجع [۱۰] برای توضیح رفتار شکل ۱۳

در این مقاله، یک حالت خاص از بازشدگی دریچه ورودی بررسی شد که زودتر باز شدن دریچه ورودی (EIVO) و همچنین زودتر بسته شدن آن (EIVC) است. با مطالعه پژوهش‌های قبلی انجام شده در این زمینه، مقدار زودتر بازشدگی ۱۰ درجه برای دریچه ورودی انتخاب گردید [۱۱] که تغییرات آن به همراه کارکرد معمولی دریچه ورودی در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود.

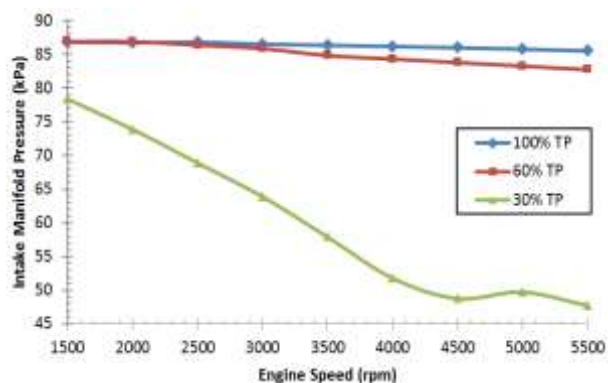


شکل ۱۵: نمایش حالت کارکرد معمولی دریچه و حالت خاص در نظر گرفته شده (EIVO+IVC)

با اعمال محاسبه شرایط مرزی برای این حالت خاص کارکرد دریچه، نتایج تحلیل برای دو حالت کارکرد معمولی و این حالت خاص کارکرد دریچه، در دو بخش بررسی تغییرات نرخ جرمی جریان ورودی و تغییرات فشار چندراهه ورودی برای یک چرخه کاری موتور مقایسه شده‌اند. ضمناً این نتایج در دو دور متفاوت موتور بررسی شده‌اند.

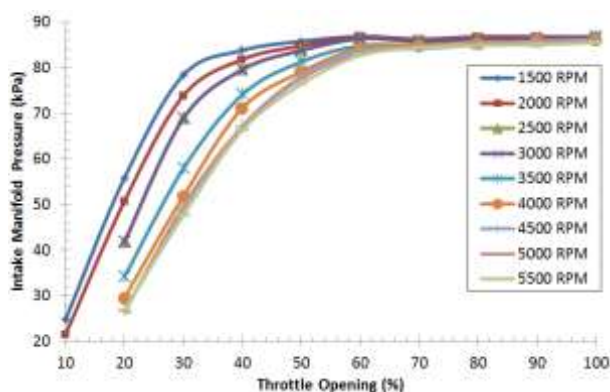
همان‌طور که در دو شکل ۱۶ و ۱۷ مشاهده می‌شود، هر راهگاه چندراهه ورودی در دو بخش دارای جریان برگشتی است. بخش اول، مربوط به لحظه باز شدن دریچه ورودی است که فشار درون استوانه از فشار درون چندراهه بیشتر است و به علت اختلاف فشار، جریان به درون راهگاه باز می‌گردد.

در ادامه، فشار جریان ورودی به فشار استوانه غلبه می‌کند و هوا وارد استوانه می‌شود. بخش دوم، برای مرحله بعد از بسته شدن دریچه است. علت این بخش از جریان برگشتی، این است که راهگاه دیگر چندراهه باز می‌شوند و مقداری از جریان این راهگاه برای ورود به راهگاه دیگر، به محفظه آرامش باز می‌گردد که در نهایت تغییرات نرخ جرمی جریان در این راهگاه صفر می‌شود.



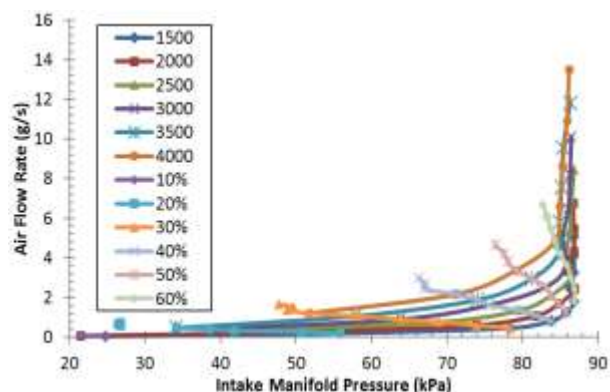
شکل ۱۱: تغییرات فشار جریان درون چندراهه ورودی بر حسب دور موتور برای سه حالت خاص از بازشدگی دریچه گاز

نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده برای دوره‌های ثابت موتور، در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش بازشدگی دریچه گاز در یک دور ثابت موتور، فشار سیال درون چندراهه ورودی افزایش می‌یابد که به دلیل ایجاد شدن امواج فشاری با قدرت بیشتر است. مقدار و نحوه تغییرات این فشار در شکل ۱۲ دیده می‌شود.

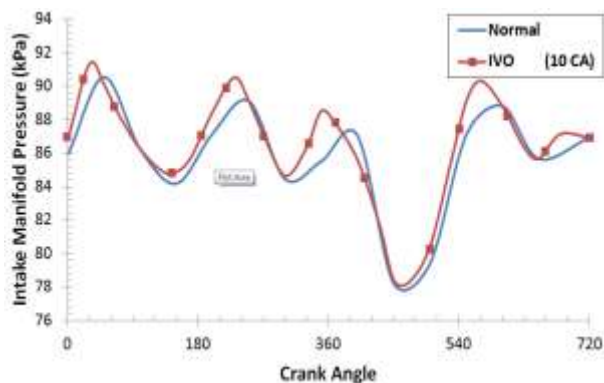


شکل ۱۲: تغییرات فشار جریان درون چندراهه ورودی بر حسب مقدار بازشدگی دریچه گاز برای دوره‌های مختلف

برآیند نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده در قسمت‌های قبل، در شکل ۱۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که رفتار نتایج شبیه‌سازی، همخوانی خوبی با مرجع (شکل ۱۴) دارد.

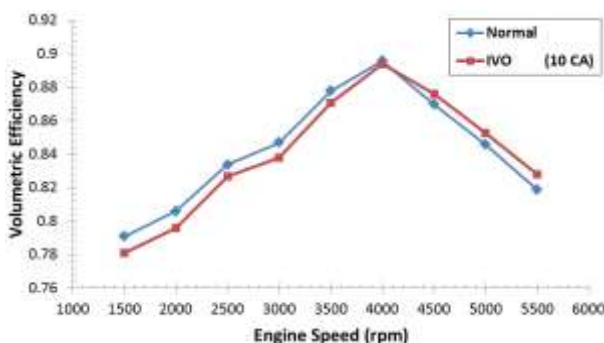


شکل ۱۳: تغییرات هوای ورودی بر حسب فشار چندراهه ورودی با در نظر گرفتن مقدار بازشدگی‌های مختلف دریچه گاز و دوره‌های مختلف موتور



شکل ۱۹: تغییرات فشار درون چندراهه ورودی بر حسب یک چرخه کاری موتور و در دور ۵۰۰۰ و حالت بار کامل

در نهایت، به وسیله بررسی متوسط نرخ جرمی جریان در دوره‌های مختلف، برای این دو حالت از کارکرد دریچه، بررسی بازده حجمی انجام شده و در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

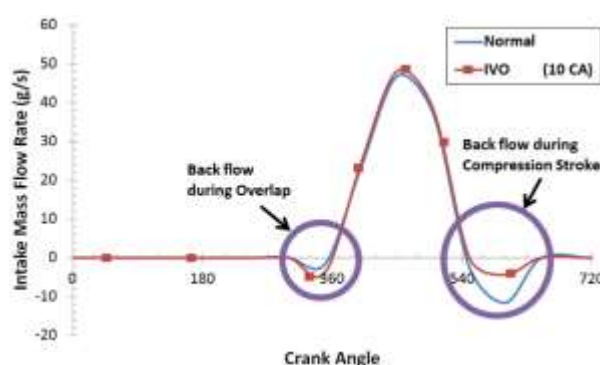


شکل ۲۰: بازده تنفسی موتور بر حسب دوره‌های مختلف با در نظر گرفتن حالت کارکرد معمولی و حالت خاص دریچه (EIVO+EIVC)

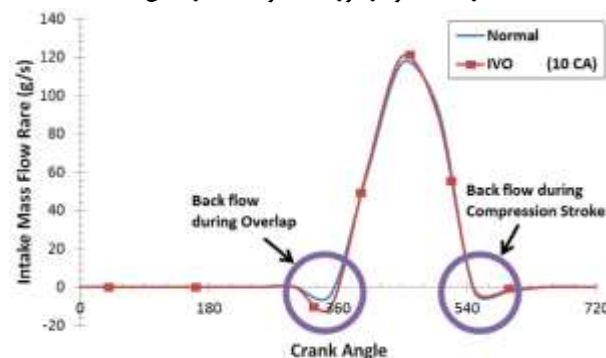
همان‌طور که از شکل‌های ۱۸-۲۰ مشاهده می‌شود، زودتر باز شدن دریچه ورودی تأثیر مثبتی بر بازده حجمی در دوره‌های پایین ندارد اما در دوره‌های تند سبب افزایش بازده حجمی می‌گردد. همچنین از آنجا که در دوره‌های پایین‌تر، هوای ورودی به موتور کمتر از دوره‌های تندتر است، بازده حجمی موتور در دوره‌های پایین، مقدار کمتری دارد. این موضوع از رابطه کلی بازده حجمی موتور قابل درک است.

رفتار سه بعدی توزیع جریان برای این حالت خاص از کارکرد دریچه ورودی در شکل‌های زیر نشان داده شده است. با توجه به بردارهای سرعت جریان درون چندراهه ورودی، رفتار پویایی سیالاتی جریان در طی یک چرخه کاری موتور قابل بررسی است. کارکرد استوانه‌های موتور بررسی شده در این مقاله به صورت ۲-۳-۴-۱ است که استوانه‌ها بر طبق این ترتیب کار می‌کنند و با توجه به آن، چرخش جریان سیال و وضعیت گردابه‌های آن درون چندراهه و عبور جریان به درون راهگاه برای زاویه‌های مختلف لنگ قابل پیش‌بینی است.

در زاویه لنگ ۱۰۰ درجه، همان‌طور که در شکل ۲۱ دیده می‌شود، راهگاه ۴ باز است که بردارهای سرعت به سمت این راهگاه متمایل است و جریان برگشتی از راهگاه ۳ قابل مشاهده است.

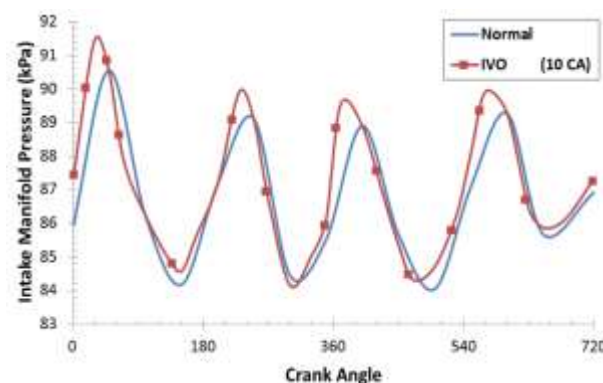


شکل ۱۶: تغییرات نرخ جرمی جریان بر حسب یک چرخه کاری موتور برای راهگاه ۱ و در دور ۲۰۰۰ و حالت بار کامل



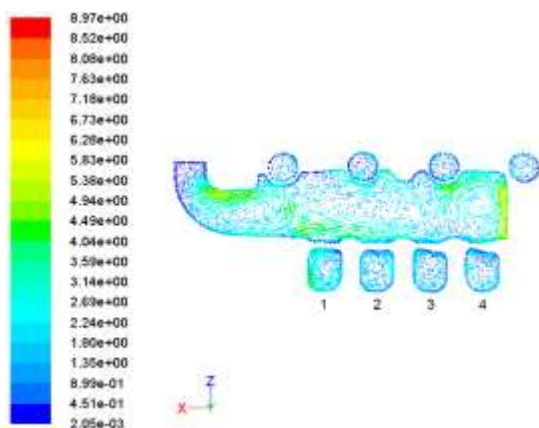
شکل ۱۷: تغییرات نرخ جرمی جریان بر حسب یک چرخه کاری موتور برای راهگاه ۱ و در دور ۵۰۰۰ و حالت بار کامل

از دیگر نتایج گرفته شده برای مقایسه دو حالت کارکرد دریچه، تغییرات فشار جریان درون چندراهه ورودی در یک چرخه کاری موتور برای دو سرعت مختلف ۲۰۰۰ RPM و ۵۰۰۰ RPM است که در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ مشاهده می‌گردد. همان‌طور که از این دو نمودار مشاهده می‌شود در حالت خاص زود باز شدن دریچه ورودی، فشار جریان سیال درون چندراهه ورودی اندکی افزایش یافته است. همچنین این فشار اندکی پیش‌رسی زاویه‌ای دارد که علت آن، اتصال پیدا کردن با یک منبع فشاری قویتر (فشار درون استوانه) در بالادست است.



شکل ۱۸: تغییرات فشار درون چندراهه ورودی بر حسب یک چرخه کاری موتور و در دور ۲۰۰۰ و حالت بار کامل

در ادامه روند کارکرد موتور احتراق داخلی، دریچه هوای استوانه ۱ بسته شده و جریان سیال در این راهگاه، به صورت جریان برگشتی به درون این راهگاه و در ادامه به درون چندراهه ورودی وارد می‌شود. در زاویه لنگ ۶۵۰ درجه، راهگاه ۳ باز شده است و جریان در حال وارد شدن به درون این راهگاه است که بردارهای سرعت آن برای این زاویه لنگ در شکل ۲۴ دیده می‌شود.



شکل ۲۴: بردارهای سرعت جریان هوا زاویه ۶۵۰ درجه لنگ (m/s)

۴- نتیجه گیری

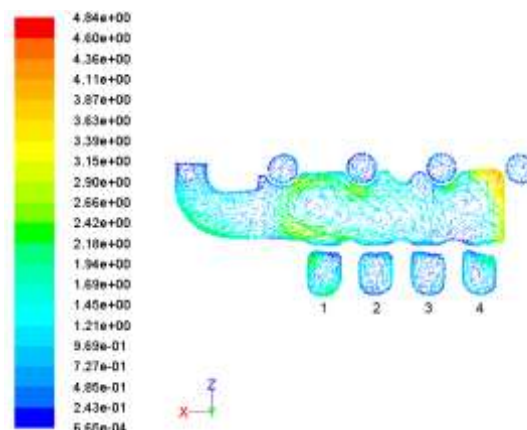
به طور خلاصه می‌توان نتایج زیر را از نتایج شبیه‌سازی انجام شده در تحقیق حاضر استخراج نمود:

۱. کارکرد دریچه به صورت EIVO+EIVC سبب افزایش بازده حجمی در دوره‌های تندی موتور می‌شود و در تقابل با آن، این کارکرد در دوره‌های پایین، تأثیر منفی بر بازده حجمی موتور دارد.

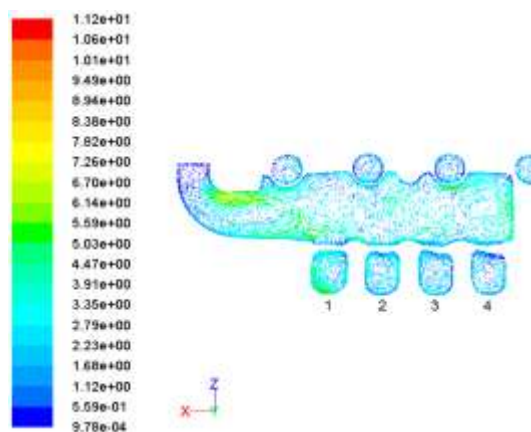
۲. فشار متوسط جریان درون چندراهه ورودی ارتباط مستقیم با مقدار بازشدگی دریچه گاز دارد؛ به این معنی که در یک دور ثابت از موتور، مقدار بیشتر باز بودن دریچه گاز سبب افزایش فشار متوسط چندراهه می‌شود.

۳. فشار متوسط چندراهه ورودی ارتباطی عکس با مقدار دور موتور دارد؛ به این معنی که در یک مقدار ثابت بازشدگی دریچه گاز، با افزایش دور موتور، فشار متوسط جریان درون چندراهه ورودی کاهش می‌یابد.

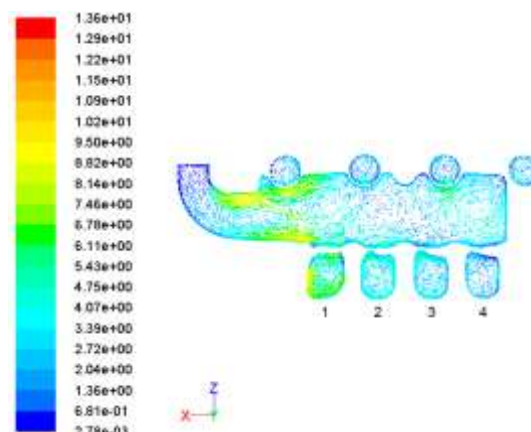
۴. نرخ جرمی جریان سیال ورودی به چندراهه ورودی در دو منطقه از کارکرد موتور دارای جریان برگشتی است: یک منطقه در لحظه همزمانی باز بودن دریچه هوا و دود، و دیگری در مرحله تراکم که به خاطر حرکت برگشتی دریچه است. به طور کلی می‌توان گفت که به وسیله فرآیند EIVO، مدت زمان باز بودن همزمان دریچه‌های هوا و دود افزایش پیدا می‌کند که سبب افزایش مقدار جریان برگشتی به درون راهگاه‌ها می‌گردد. از سوی دیگر، با استفاده از فرآیند EIVC، مقدار جریان برگشتی در طی کورس تراکم کاهش می‌یابد؛ زیرا جرم



شکل ۲۱: بردارهای سرعت جریان هوا در زاویه ۱۰۰ درجه لنگ (m/s) در زاویه لنگ ۳۰۰ درجه، دریچه هوا برای استوانه ۲ به طور کامل باز است. بنابراین همان‌طور که در شکل ۲۲ مشاهده می‌شود بردارهای سرعت در حال وارد شدن به راهگاه مربوط به این استوانه اند.



شکل ۲۲: بردارهای سرعت جریان هوا در زاویه ۳۰۰ درجه لنگ (m/s) بعد از بسته شدن دریچه هوای استوانه ۲، دریچه هوا برای راهگاه ۱ در زاویه لنگ ۴۵۰ درجه باز می‌شود و جریان سیال به درون راهگاه ۲ وارد می‌شود. این رویه برای راهگاه ۱ و همچنین بردارهای سرعت جریان برگشتی از راهگاه ۲ در شکل ۲۳ قابل مشاهده است.



شکل ۲۳: بردارهای سرعت جریان هوا در زاویه ۴۵۰ درجه لنگ (m/s)

Ltd. & Osaka Institute of Technology, SAE 820410, 1982

[3] W. Bauer, J. B. Heywood, O. Avanesian, D. Chu, Flow Characteristics in Intake Port of Spark Ignition Engine Investigated by CFD and Transient Gas Temperature Measurement, Massachusetts Institute of Technology, SAE 961997, 1996

[4] Ph. Adomeit, O. Lang, R. Schulz and V. Weng, CFD Simulation of Diesel Injection and Combustion, FEV Motorentechnik GmbH, Aachen, SAE 2002-01-0945, 2002

[5] J. R. Arias, E. Moreno, E. Navarro, E. Varela, Using 1-D and 3-D Models for the Simulation of Gas Exchange Processes, Universidad Politecnica de Madrid, SAE 2000-01-0658, 2000

[6] M. Safari and M. Ghamari, A. Nasiritosi, Intake Manifold Optimization by Using 3-D CFD Analysis, SAE 2003-32-0073, 2003

[7] G. B. Parvate-Patil, H. Hong and B. Gordon, An Assessment of Intake and Exhaust Philosophies for Variable Valve Timing, Concordia University, SAE 2003-04-378, 2003

[8] A. F. M. Mahrous, A. Potrzebowski, M. L. Wyszynski, H. M. Xu, A. Tsolakis, P. Luszcz, A modeling study into the effects of variable valve timing on the gas exchange process and performance of a 4-valve DI homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine, Energy Conversion and Management Journal, University of Birmingham, 2008

[9] J. Wang, Theory of flow distribution in manifolds, Chemical Engineering Journal, Science Direct, 2011

[10] J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Pub. Cor., 1988.

[11] H. Wenyan, X. Sichuan, D. Xiao, Z. Yuekang, Z. Xiaomao, Optimization Design of Intake Manifold and Valve Timing of Gasoline Engine Based on AMESim Code, IEEE, 978-1-61284-840, 2011

[12] P. Oberg, L. Eriksson, Control Oriented Modeling of the Gas Exchange Process in Variable Cam Timing Engines, Vehicular Systems, Dept. of EE, Linkopings Universitet, S-581 83 Linkoping, SWEDEN, SAE 2006-01-0660, 2006

[13] Z. Peng, M. Jia, L. Lu, CFD Analysis of VVT/VVA on the Gas Exchange and Fuel-Air Mixing in a Diesel Engine, University of Sussex and Beihang University, SAE 2008-01-1635, 2008

[14] M. Badami, M. R. Marzano, P. Nuccio, Influence of Late Intake-Valve Opening on the SI Engine Performance in Idle Condition, SAE 960586, 1996

مخلوط هوا و سوخت زمان کمتری دارد که از طریق دریچه ورودی به درون راهگاه‌ها و چندراهه ورودی جریانی برگشتی داشته باشد.

۵. با استفاده از فرآیند EIVO+EIVC، فشار جریان سیال درون چندراهه ورودی در هر لحظه از کارکرد موتور، علاوه بر افزایش جزئی، دارای اندکی تقدم زاویه‌ای نیز نسبت به حالت کارکرد معمولی دریچه است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از بخش تحقیقات و توسعه شرکت تولیدی موتور، جعبه دنده و محور سایپا (مگاموتور) اعلام می‌دارند.

فهرست علائم

L_v	Valve Lift
D_v	Valve head diameter
D_p	Port diameter
D_s	Valve stem diameter
D_m	Mean seat diameter
w	Seat width
β	Valve seat angle
P_e	Outlet pressure of IM runners
P_c	Pressure of cylinders at each crank angle
C_D	Drag coefficient of valves
V	Air flow velocity at each crank angle
A_m	Minimum flow area of valves

مراجع

[1] A. J. Hallam, S. Cottam, Computer Program to predict the gas exchange process of a diesel engine, Ruston Paxman Diesels Ltd, Research Centre, Lincoln, England, Vol. 7, No. 2, 1974

[2] M. Takizawa, T. Uno, T. Oue, T. Yura, A Study of Gas Exchange Process Simulation of an Automotive Multi-Cylinder internal Combustion Engine, HIGASHIFUJI Technical Center, Toyota Motor Co.,