www.cargeek.ir

Archive of SID

بهینه‌سازی چندراهۀ ورودی موتور XU7/L3 با هدف افزایش بازده تنفسی

ابوالفضل محمدابراهیم
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی خودرو
دانشگاه علم و صنعت ایران
شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (IPCO)
m_ebrahim@ip-co.com

امیرحسن کاکایی*
استادیار،دانشکده مهندسی خودرو
دانشگاه علم و صنعت ایران
kakaee_ah@iust.ac.ir

* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۰۸ پذیرش نهایی مقاله: ۸۹/۰۶/۰۱

چکیده

طراحی چندراهۀ ورودی پیشتر به‌صورت تجربی بوده است، ولی در سال‌های اخیر و با افزایش توان رایانه‌ها و گسترش نرم افزارهای محاسباتی، طراحی چندراهۀها به‌صورت علمی‌تر و دقیق‌تر صورت می‌گیرد. نرم افزارهای متنوعی با استفاده از معادلات یک‌بعدی حاکم بر سیالات برای شبیه‌سازی مجموعۀ موتور و ازجمله چندراهۀ ورودی تهیه شده‌اندکه در این مقاله از الگوی آماده شدۀ سامانۀ تبادل گاز بر مبنای نرم افزار GT-Power، استفاده شده است.

در ابتدا با توجه به وضعیت موتور و هدف‌های بهینه‌سازی، یک تابع هدف به عنوان معیار بهینه‌سازی تعریف می‌گردد. با استفاده از این تابع هدف می‌توان حالت‌های مختلف مورد مطالعه را به‌صورت کمّی با یکدیگر مقایسه کرد.

در ادامه با توجه به گزینه‌های موجود، چند متغیّر برای عملیات بهینه‌سازی انتخاب می‌گردد. متغیّرهای انتخاب شده از لحاظ طول، قطر و انحنا، بررسی و مناسب‌ترین حالت با توجه به محدودیت‌های مختلف تعیین می‌گردد.

در نهایت چند راهۀ بهینه‌سازی شده با حدود ۲,۵ درصد افزایش در بازده تنفسی حاصل می‌گردد.

روش حل مسأله, استفاده از موج‌های صوتی با تکیه بر شبیه‌سازی حالت غیر دائم و معادلات یک بعدی خواهد بود.

کلیـد واژه‌ها: تبادل‌گاز، بازده تنفسی، بهینه‌سازی چندراهۀ ورودی، GT-Power

۱- مقدمه

چندراهۀ ورودی، وظیفۀ توزیع هوا (و سوخت) به استوانه‌ها را بر عهده دارد. با عملکرد مطلوب چندراهۀ ورودی، توزیع یکنواخت مخلوط، بین استوانه‌ها حاصل می‌شود. از طرفی دیگر باید افت فشار چندراهۀ ورودی تا حد ممکن کم باشد تا مخلوط بیشتری به استوانه‌ها ارسال شود و بازده تنفسی موتور افزایش یابد.

طراحی مناسب مجموعۀ مکش در محدودۀ معیّن سرعت موتور انجام می‌شود و اصولاً نمی‌توان چندراهۀ هوایی طراحی کرد که بتواند در تمام دورها به خوبی کار کند. با استفاده از چند راهۀ هندسه متغیّر می‌توان در محدودۀ وسیع‌تری از سرعت موتور، از مزیت بازده تنفسی بیشینه استفاده نمود.

بازده تنفسی معیاری است که چگونگی عملکرد مجموعۀ مکش را نشان می‌دهد. با فرض اینکه مقدار هوای برگشتی در استوانه قابل صرفنظر کردن باشد بازده تنفسی می‌تواند به‌صورت معادلۀ (۱) بیان شود.

www.SID.ir

www.cargeek.ir

www.cargeek.ir

Archive of SID

$$\eta_v = \frac{G_a}{v_{dis}\rho_{ini}} = \frac{V_{ini}}{V_{dis}} \qquad (۱)$$

که در آن، صورت کسر، هوای ورودی به موتور در حالت واقعی و مخرج کسر، حجم هوایی است که می‌تواند به‌صورت نظری محفظه موتور را پر کند.

گرچه در سال‌های قبل از ۱۹۴۰ میلادی افرادی– مانند کپتی که در سال ۱۹۲۹ مقاله‌ای تحت عنوان "اثر طول شاخه‌های مکش بر بازده تنفسی را منتشر نمود– مطالعاتی در زمینۀ طراحی چندراهۀ ورودی انجام داده‌اند با این حال مطالعات و کارهای اساسی پس از سال ۱۹۴۰ صورت گرفته است [۱].

در سال ۱۹۷۴ انگلمن معادلاتی را برای تطبیق چندراهۀ معرفی نمود که این معادلات مبنای طراحی بسیاری از طراحان قرار گرفته است[۲].

در سال ۱۹۹۰ winterbone و pearson روش یک بعدی خطی شده‌ای را برای تحلیل سامانۀ چندراهۀ ورودی و روش سریع موج فعال (wave action) را برای شبیه‌سازی چندراهۀ ورودی معرفی کردند[۳].

در این تحقیق با استفاده از معادلات یک‌بعدی تراکم پذیر خطی شده، رفتار سیال در چندراهۀهای مختلف بررسی شده است. همچنین چگونگی عملکرد چندراهۀ هندسه متغیّر با استفاده از آن معادلات تشریح شده‌اند.

درسال ۱۹۹۶ بنسلر و آپرمن در شرکت فولکس واگن جریان را در چندراهۀ ورودی موتور چهار استوانه‌ای به‌صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی کردند. برای این کار از نرم افزار Wave و Vectis استفاده شد. شبیه‌سازی در دو حالت دائم و غیر دائم صورت گرفته و در نهایت پیشنهادهایی برای بهبود چندراهۀ ارائه گردید[۴و۵].

وینتربون و پیرسون در سال ۱۹۹۹ کتاب "روش‌های طراحی چندراهۀ موتورهای احتراق داخلی" را در دو جلد منتشر کردند [۶]. در این کتاب نتایج سال‌ها تحقیقات در زمینۀ طراحی چندراهۀ موتور (البته به‌صورت یک‌بعدی) بسیاری از محققان جمع آوری شده است. مطالب این کتاب، اساس تهیۀ بسیاری از نرم افزارهای شبیه‌ساز یک‌بعدی بوده است.

در سال ۲۰۰۳ Peters و Gosman یک روش عددی برای حل جریان ناپایدار یک‌بعدی با در نظر گرفتن انتقال حرارت، در چندراهۀهای چند شاخه‌ای موتورهای چند استوانه‌ای ابداع کردند[۷].

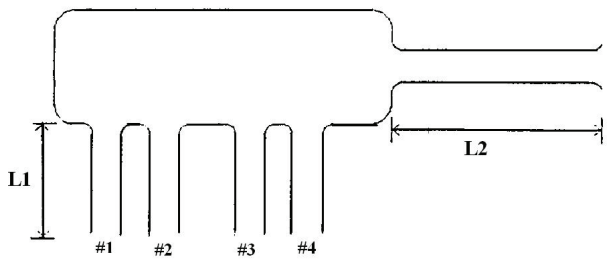
در همین سال، Deur و Hrovat به تحلیل مسائل مدیریت موتور به‌ویژه تأثیر حرارتی چندراهۀ ورودی پرداختند[۸].

در این مقاله نیز با بررسی مطالعات انجام شده در زمینۀ طراحی و بهینه‌سازی چندراهۀ هوای ورودی، به بهینه‌سازی متغیّرهای بالقوّه در بهبود بازده تنفسی موتور خودروی سمند پرداخته شده است.

۲- شبیه‌سازی و تحلیل جریان سیال در محفظۀ چندراهۀ ورودی

در این بخش، برای تحلیل جریان در محفظۀ چندراهۀ ورودی، جریان سیّال با استفاده از روش تفاضل محدود، شبیه‌سازی می‌شود . برای به‌دست آوردن راه حل پایدار و دقیق، باید شرایط مرزی در راهگاه‌های ورودی و استوانه موجود باشد.

شکل ۱، سامانۀ ورودی ساده شده را نشان می‌دهد. چندراهۀ ورودی شامل چهار لوله برای اتصال به هر استوانه، یک محفظۀ آرامش و یک لولۀ مستقیم بلند برای اتصال به هوای آزاد است. هوای ورودی، گاز کامل فرض شده و جریان در لوله، یک‌بعدی و تراکم‌پذیر درنظر گرفته می‌شود. همچنین افت دما و فشار ناشی از اصطکاک و انتقال حرارت از دیواره وجود دارد [۹].



شکل ۱ چندراهۀ ورودی یک موتور

معادلات حاکم بر جریان از قوانین بقای جرم، اندازه حرکت و انرژی حاصل می‌شود.

- معادلۀ پیوستگی

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} = -\frac{\rho u dF}{F dx} \qquad (۲)$$

- معادلۀ اندازه حرکت

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2 + p)}{\partial x} = -\frac{(\rho u^2 dF)}{F dx} - \rho\left(\frac{Af}{d} + \zeta\right)\frac{u|u|}{2} \qquad (۳)$$

- معادلۀ انرژی

$$\frac{\partial}{\partial t}\left\{\left(C_v T + \frac{u^2}{2}\right)\rho F u dx\left(C_v T + \frac{u^2}{2} + pv\right)\right\} = q\rho F dx \qquad (۴)$$

برای به‌دست آوردن ρ، u و p جریان، روش تفاضل محدود دو مرحله‌ای لاکس–وندراف انتخاب می‌شود. در این روش یک گام زمانی به دو گام میانی در حوزۀ زمان تبدیل می‌شود. در گام اول برای یافتن مقادیر در نقاط $i-1/2$ و $i+1/2$ و در سطح زمانی $n+1/2$. از روش لاکس استفاده می‌شود تا بتوان در ادامه مقادیر $i-1,i,i+1$ را در سطح زمان n

www.SID.ir

www.cargeek.ir

www.cargeek.ir

Archive of SID

به‌دست آورد. در مرحلهٔ دوم، برای به‌دست آوردن مقادیر i در سطح زمانی $n+1$، از روش لیپ–فراگ استفاده می‌شود.

برای به‌دست آوردن جریان داخل راهگاه ورودی به سمت استوانه، معادلات انرژی و پیوستگی برای جریان پایدار در نقطه (۱) راهگاه ورودی و نقطه (t) گلوگاه دریچه به‌کار می‌رود (شکل ۲)

$$\rho_t u_t F_t = \rho_1 u_1 F_1 \qquad (۵)$$

$$a_t^{\,2} + \frac{\kappa-1}{2} u_t^{\,2} = a_1^{\,2} + \frac{\kappa-1}{2} u_1^{\,2} \qquad (۶)$$

همچنین اگر جریان شیپوره بین نقاط ۱ و t، هم‌آنتروپی فرض شود:

$$\frac{p_t}{\rho_t^k} = \frac{p_1}{\rho_1^k} \qquad (۷)$$

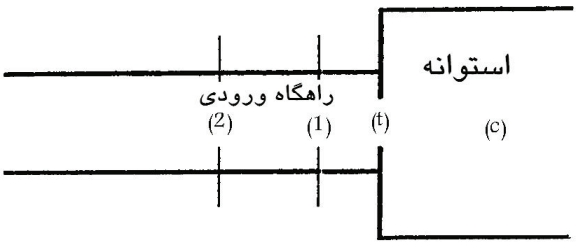
هنگامی که جریان در راهگاه، مادون صوت باشد آنگاه می‌توان فشار گلوگاه را برابر با فشار استوانه فرض کرد.

$$p_t = p_c \qquad (۸)$$

بین نقاط ۱ و ۲، با توجه به معادلات اندازه حرکت و پیوستگی، دو معادله ۹و ۱۰ به‌دست می‌آید:

$$\frac{\rho_1^{n+1} - \rho_1^n}{\Delta t} + \frac{\left((\rho u)_2^{n+1} - (\rho u)_1^{n+1}\right)}{\Delta x} = 0 \qquad (۹)$$

$$\frac{(\rho u)_1^{n+1} - (\rho u)_1^n}{\Delta t} + \frac{\left((\rho u^2 + p)_2^{n+1} - (\rho u^2 + p)_1^{n+1}\right)}{\Delta x} = 0 \qquad (۱۰)$$



شکل ۲ مرز دریچهٔ ورودی

با حل شش معادله بالا (از ۵ تا ۱۰) مقادیر ρ، u و p در نقاط ۱ و گلوگاه، به‌دست می‌آید.

هنگامی که فشار راهگاه ورودی کمتر از فشار استوانه باشد، جریان خروجی از استوانه اتفاق می‌افتد. این اتفاق قبل از زمان بسته شدن دریچه ورودی یا بعد از باز شدن دریچه ورودی اتفاق می‌افتد. به دلیل اینکه حجم استوانه به‌نسبت بزرگتر از حجم راهگاه ورودی است، می‌توان استوانه را یک منبع در نظر گرفت و جریان را در این ناحیه هم‌آنتروپی فرض کرد.[۱۰]

$$a_c^2 = a_t^2 + \frac{\kappa-1}{2} u_t^2 \qquad (۱۱)$$

$$\frac{p_c}{\rho_c^k} = \frac{p_t}{\rho_t^k} \qquad (۱۲)$$

در محفظهٔ نشان داده شده در شکل ۳ خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\sum_{i=0}^{n} (\rho u F)_i^n}{V} \qquad (۱۳)$$

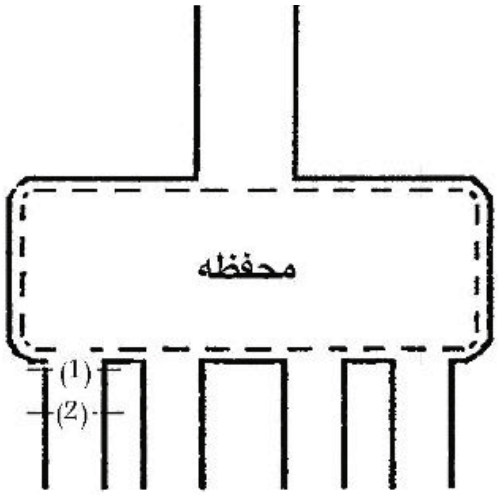
$$\rho_{ch}^{n+1} = \rho_{ch}^n + \frac{\partial \rho}{\partial t}.\Delta t \qquad (۱۴)$$

همچنین از معادلات تکانه و پیوستگی بین نقاط ۱ و ۲، دو معادلهٔ ۱۵ و ۱۶ به دست می‌آید:

$$\frac{\rho_1^{n+1} - \rho_1^n}{\Delta t} + \frac{\left((\rho u)_2^{n+1} - (\rho u)_1^{n+1}\right)}{\Delta x} = 0 \qquad (۱۵)$$

$$\frac{(\rho u)_1^{n+1} - (\rho u)_1^n}{\Delta t} + \frac{\left((\rho u^2 + p)_2^{n+1} - (\rho u^2 + p)_1^{n+1}\right)}{\Delta x} = 0 \qquad (۱۶)$$

از آن معادلات مقادیر ρ، u و p در نقطهٔ ۱ به‌دست می‌آید.



شکل ۳ شرایط مرزی در محفظه

۳- بررسی الگوی یک‌بعدی

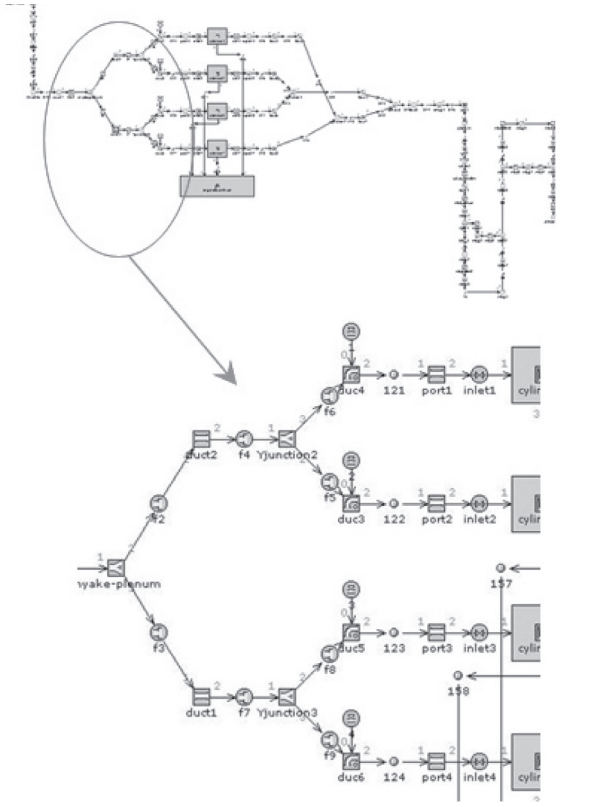
با در نظر گرفتن تمامی اجزاء سامانهٔ تبادل گاز و استخراج متغیّرهای هر جزء یا سامانه، الگوی یک‌بعدی از موتور تهیه شد(شکل۴).

www.SID.ir

www.cargeek.ir

www.cargeek.ir

Archive of SID

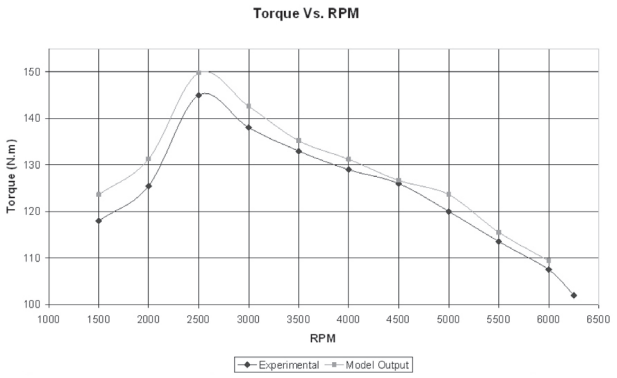


شکل ۴ ارتباط اجزا با یکدیگر در موتور سمند: بالا) سامانه تبادل گاز؛ پایین) راهگاه و چندراههٔ ورودی

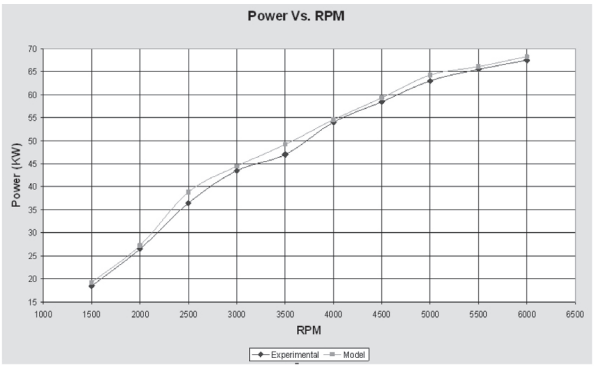
در ادامه با بررسی متغیّرهای مختلف، تنظیم الگوی موتور پایه برای تطبیق نتایج الگو با نتایج آزمون انجام گردید. پس از مراحل تطبیق، الگو با خطای کمّی متغیّرهای خروجی موتور مانند گشتاور و توان را پیش‌بینی می‌کند(جدول ۱، شکل‌های ۵ و۶)

جدول ۱ درصد خطای مقادیر واقعی و نتایج الگو در گشتاور، توان در دورهای مختلف

دور (rpm)	درصد خطا در پیش‌بینی گشتاور (٪)	درصد خطا در پیش‌بینی توان (٪)
۱۵۰۰	۳/۷	۳/۹
۲۰۰۰	۳/۶	۲/۸
۲۵۰۰	۲/۳	۶/۴
۳۰۰۰	۲/۵	۲/۲
۳۵۰۰	۱	۴/۷
۴۰۰۰	۱	۱/۱
۴۵۰۰	-۰/۱	۱/۴
۵۰۰۰	۲/۳	۲
۵۵۰۰	۱/۱	۰/۹
۶۰۰۰	۱/۱	۱/۲



شکل ۵ تغییرات گشتاور بر حسب دور در دو حالت تجربی و خروجی الگو



شکل ۶ تغییرات توان بر حسب دور در دو حالت تجربی و خروجی الگو

نهایتاً، نتیجهٔ کار ایجاد الگوی یک‌بعدی سامانهٔ تبادل گاز بر مبنای اطلاعات تجربی و عددی است که با دقت مناسبی متغیّرهای اصلی خروجی موتور را پیش‌بینی می‌نماید. با این الگو می‌توان به بررسی اثر تغییرات مختلف در سامانهٔ تبادل گاز بر متغیّرهای خروجی پرداخت.

٤- بهینه‌سازی

در این مرحله با توجه به الگوی موجود انطباق‌یافته و صحه‌گذاری شده از سامانهٔ تبادل گاز خودرو سمند، بهینه‌سازی روی چندراههٔ ورودی موتور XU7/L3 انجام می‌شود.

در این بخش، ابتدا یک تابع به عنوان معیار بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. با تغییر متغیّر موردنظر برای بهینه‌سازی، در دامنه‌ای از تغییرات، با استفاده از روش مقدار میانگین و با تغییراتی در حدود ۲٪، مقدار بهینه آن متغیّر به‌دست می‌آید.

www.SID.ir

www.cargeek.ir

www.cargeek.ir

Archive of SID

٤-١- متغیّرهای انتخابی برای بهینه‌سازی چندراهۀ ورودی

متغیّرهای بالقوّه در بهینه‌سازی چندراهۀ ورودی عبارتند از:

- طول و قطر لوله‌ها و انشعابات
- حجم محفظۀ آرامش (شامل قطر و طول)
- محل اتصال مجراها به محفظۀ آرامش
- انحناها
- صافی سطح

با توجه به انتخاب‌های زیاد برای محل و نحوۀ اتصال مجراها که به محدودیت‌های طراحی نیز برمی‌گردد، ترجیح داده شد که این متغیّرها ثابت نگه داشته شود.

در ضمن طول و قطر لوله ثانویه (لولۀ متصل به محفظۀ آرامش) در موتور XU7 از اجزای چندراهۀ به شمار نمی‌رود، بلکه توسط لوله‌ای از صافی هوا به چندراهۀ متصل می‌شود، بنابراین در اینجا روی تغییرات آن مطالعه‌ای انجام نشده است.

در مورد انحنای لوله‌های اولیه (مجراها) نیز با توجه به وجود دامنۀ وسیع تغییرات و محدودیت‌های جانمایی موتور و محفظۀ جلویی خودرو، چهار حالت مختلف، بررسی شده است.

٤-٢- تعیین معیار بهینه‌سازی

معیار بهینه‌سازی به متغیّرهای مختلفی بستگی دارد مانند:

- نوع موتور (دیزلی یا بنزینی)
- حجم موتور (زیر ۱۱۰۰ سی‌سی، ۱۶۰۰-۱۱۰۰، ۲۰۰۰-۱۷۰۰و بالای ۲۰۰۰ سی‌سی)
- نوع خودرو (شهری، مسابقه‌ای و ....)
- چرخه و فرهنگ رانندگی (تهران، اروپا و ....).

در این تحقیق با توجه به وضعیت کارکرد خودرو در کاربردهای شهری و ویژگی‌های موتور، هدف اصلی بهبود عملکرد در محدوده دورهای ۲۵۰۰-۳۵۰۰ است. با توجه به فراوانی میزان کارکرد موتور در دورهای مختلف، ضرایب وزنی، برای تأثیر اهمیّت هر دور به‌صورت زیر درنظر گرفته شد:

- ضریب اهمیت ۰/۵ برای دور ۲۵۰۰
- ضریب اهمیت ۰/۳ برای دور ۳۰۰۰
- ضریب اهمیت ۰/۲ برای دور ۲۰۰۰

نهایتاً معیار بهینه‌سازی بدین‌صورت خواهد بود:

$$C=0.5*Volef2500+0.3*Volef3000+0.2*Volef3500 \quad (۱۷)$$

که C به عنوان عدد بهینه‌سازی در نظر گرفته شده و تحلیل‌ها بر مبنای آن انجام می‌شود.

٤-٣- تأثیر حجم محفظۀ آرامش بر بازده تنفسی

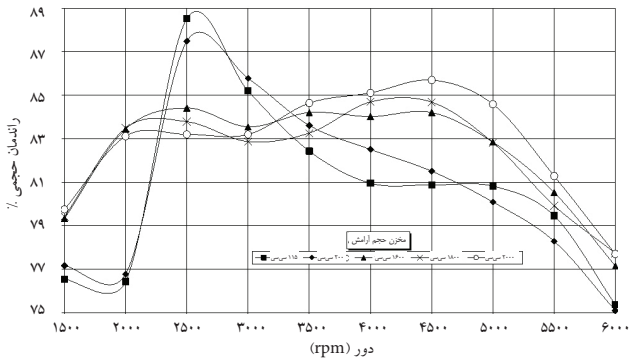
با بررسی‌های انجام شده، همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است، افزایش حجم محفظۀ آرامش، باعث یکنواختی بیشتر بازده تنفسی موتور و به‌وجود آمدن نقطۀ اوج دوم در شکل بازده تنفسی خواهد شد. با توجه به معیار تعریف شده در قسمت قبل، وجود محفظه آرامش، بازده تنفسی را در دورهای ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ کاهش خواهد داد.

مخزن آرامش به‌صورت میراکننده‌ای بین استوانه و اجزاء محدود کنندۀ جریان مانند دریچۀ گاز، صافی هوا و لولۀ قبل از آن عمل می‌کند و باعث آرام‌کردن جریان در این محدودکننده‌ها می‌شود. وجود مخزن آرامش موجب می‌شود تا شاخه‌ها در مکش، همواره به مقدار کافی هوا در دسترس داشته باشند و اثر مکش شاخه‌ها بر یکدیگر کاهش یابد. البته انتخاب مخزن آرامش خیلی حجیم هم می‌تواند پاسخ موتور را به تغییرات دریچه گاز به تأخیر بیندازد.

با توجه به توضیحات فوق بحث استفاده از محفظۀ آرامش منتفی می‌گردد.

٤-٤- تأثیر انحنای لوله‌های اوّلیه بر بازده تنفسی

همان‌طور که بیان گردید، با توجه به وجود دامنۀ وسیع تغییرات و محدودیت‌های جانمایی موتور و محفظۀ جلویی خودرو، چهار حالت مختلف برای بررسی انحنای لوله‌های اولیه (مجراها) انتخاب و با یکدیگر مقایسه شد. (زاویۀ بین انشعابات از ۵۰ درجه تا ۳۵ درجه با فاصلۀ ۵ درجه) (شکل‌های ۸ و ۹)



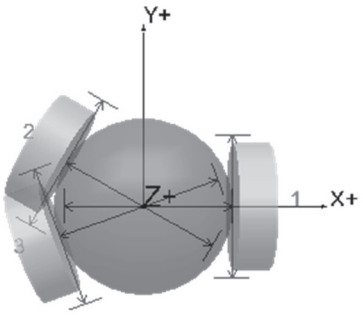
شکل ۷ تأثیر حجم محفظۀ آرامش بر بازده تنفسی در دورهای مختلف

www.SID.ir

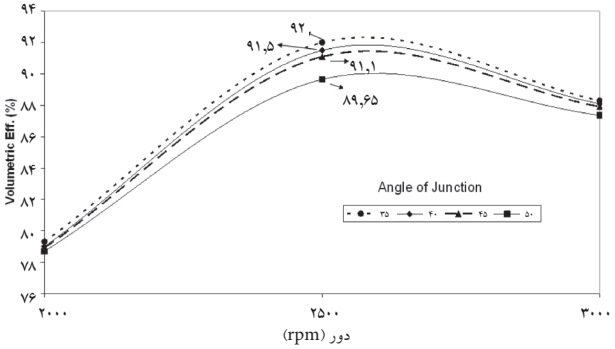
www.cargeek.ir

www.cargeek.ir

Archive of SID



شکل ۸ زاویه تقاطع مورد نظر در بهینه‌سازی



شکل ۹ تأثیر زاویه تقاطع بر بازده تنفسی در دورهای ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰

٤-٥- تأثیر قطر لوله‌های اوّلیه بر بازده تنفسی

هدف اصلی در این قسمت، تعیین قطر بهینۀ لوله‌های اولیه در هر دور است. به عنوان مثال با روند مشخص شده در جدول۲, در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه ، قطر بهینه ۳۶/۲۵ میلی‌متر به‌دست آمد.

جدول ۲ مراحل بهینه‌سازی قطر مجرا در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه

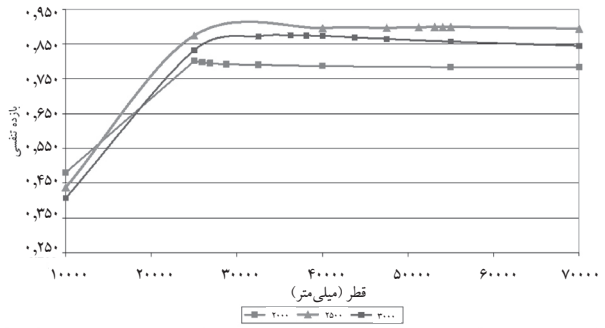
گام بهینه‌سازی	قطر مجرا	معیار بهینه‌سازی
۱	۴۰/۰۰۰	۰/۸۷۴
۲	۱۰/۰۰۰	۰/۴۰۸
۳	۷۰/۰۰۰	۰/۸۴۵
۴	۲۵/۰۰۰	۰/۸۳۳
۵	۵۵/۰۰۰	۰/۸۵۷
۶	۳۲//۵۰۰	۰/۸۷۲
۷	۴۷/۵۰۰	۰/۸۶۵
۸	۳۶/۲۵۰	۰/۸۷۶
۹	۴۳/۷۵۰	۰/۸۷۰
۱۰	۳۸/۱۲۵	۰/۸۷۵
۱۱	۳۶/۲۵۰	۰/۸۷۶

یا در تلاشی دیگر، مطابق مراحل جدول۳، در ۶۰۰۰ دور بر دقیقه، قطر بهینه ۴۳/۷۵ میلی‌متر به‌دست آمد.

جدول ۳ مراحل بهینه‌سازی قطر مجرا در ۶۰۰۰ دور بر دقیقه

مرحله بهینه‌سازی	قطر مجرا	معیار بهینه‌سازی
۱	۴۰/۰۰۰	۰/۷۴۵
۲	۱۰/۰۰۰	۰/۲۶۳
۳	۷۰/۰۰۰	۰/۷۴۱
۴	۲۵/۰۰۰	۰/۶۱۶
۵	۵۵/۰۰۰	۰/۷۴۳
۶	۳۲//۵۰۰	۰/۷۱۰
۷	۴۷/۵۰۰	۰/۷۴۷
۸	۴۳/۷۵۰	۰/۷۴۸
۹	۴۱/۸۷۵	۰/۷۴۷
۱۰	۴۵/۶۲۵	۰/۷۴۷
۱۱	۴۳/۷۵۰	۰/۷۴۸

نهایتاً با بررسی در دورهای مختلف، شکل ۱۰ به‌دست آمد. در این شکل تغییرات معیار بهینه‌سازی با توجه به تغییرات قطر مشخص شده است.



شکل ۱۰ تأثیر قطر مجرا بر بازده تنفسی در دورهای هدف

باتوجه به شکل ۱۰، اعداد بهینۀ قطر مجرا در دورهای هدف به‌صورت جدول ۴ خواهد بود.

www.SID.ir

www.cargeek.ir

www.cargeek.ir

Archive of SID

جدول ۴ اعداد بهینهٔ قطر مجرا در دورهای هدف

دور موتور (دور بر دقیقه)	قطر بهینه (mm)
۲۰۰۰	۲۵
۲۵۰۰	۵۵
۳۰۰۰	۴۳٫۷۵

در جدول ۴ قطر بهینه برای دورهای هدف به‌دست آمد، برای اظهارنظر نهایی قطر بهینه، باید معیار بهینه‌سازی(C) در هر قطر به‌دست آید و با یکدیگر مقایسه شوند. (جدول ۵)

جدول ۵ بازده تنفسی در قطرهای مختلف مجرا (mm) در دورهای هدف

دور موتور (rpm)	بازده تنفسی			معیار بهینه‌سازی
	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	
قطر ۲۵ میلی‌متر	۷۸/۵	۸۷/۵	۸۳/۳	۸۴/۴۴
قطر ۴۳/۷۵ میلی‌متر	۷۸/۱	۸۹/۶	۸۷	۸۶/۵۲
قطر ۵۵ میلی‌متر	۷۸/۱	۹۰	۸۵/۷	۸۶/۳۳

با توجه به جدول ۵ و معیار بهینه‌سازی، قطر ۴۳/۷۵ میلی‌متر قطر بهینهٔ مجرا برای این چندراهۀ است.

٤-٦- تأثیر طول لوله‌های اولیه بر بازده تنفسی

هدف اصلی در این قسمت، تعیین طول بهینهٔ لوله‌های اولیه در هر دور است. به عنوان مثال با روند مشخص شده در جدول ۶، در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه ، طول بهینه ۳۵ میلی‌متر به‌دست آمد.

جدول ۶ مراحل بهینه‌سازی طول مجرا در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه

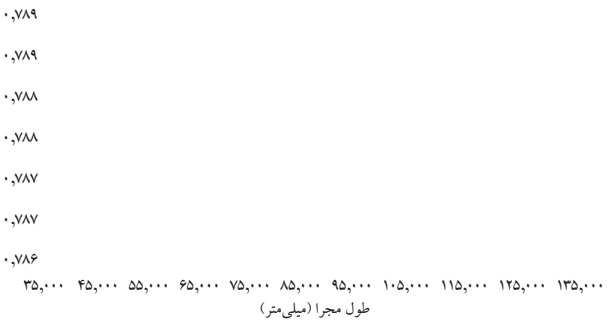
مرحله بهینه‌سازی	قطر مجرا	معیار بهینه‌سازی
۱	۸۵/۰۰۰	۰/۸۷۴
۲	۳۵/۰۰۰	۰/۸۷۹
۳	۱۳۵/۰۰۰	۰/۸۷۱
۴	۶۰/۰۰۰	۰/۸۷۶
۵	۴۷/۵۰۰	۰/۸۷۷
۶	۴۱/۲۵۰	۰/۸۷۸
۷	۳۸/۱۲۵	۰/۸۷۹
۸	۳۶/۵۶۳	۰/۸۷۹
۹	۳۵/۰۰۰	۰/۸۷۹
۱۰	۸۵/۰۰۰	۰/۸۷۴
۱۱	۳۵/۰۰۰	۰/۸۷۹

برای رسیدن به طول بهینه در ۶۰۰۰ دور بر دقیقه یعنی طول مجرا برابر ۹۷/۵ میلی‌متر، مراحل مطابق جدول ۷، انجام شده است.

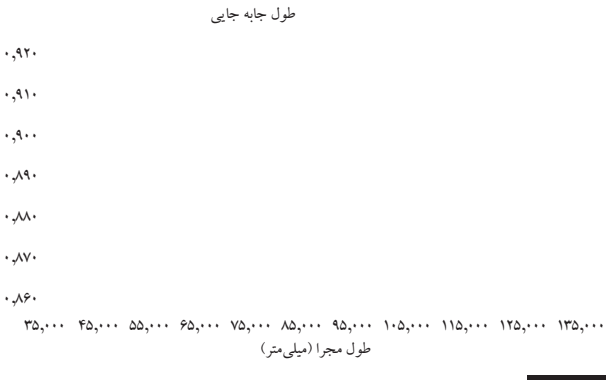
جدول ۷ مراحل بهینه‌سازی طول مجرا در ۶۰۰۰ دور بر دقیقه

مرحله بهینه‌سازی	قطر مجرا	معیار بهینه‌سازی
۱	۸۵/۰۰۰	۰/۷۴۵
۲	۳۵/۰۰۰	۰/۷۳۹
۳	۱۳۵/۰۰۰	۰/۷۴۳
۴	۶۰/۰۰۰	۰/۷۴۱
۵	۱۱۰/۰۰۰	۰/۷۴۶
۶	۹۷/۵۰۰	۰/۷۴۶
۷	۹۱/۲۵۰	۰/۷۴۶
۸	۱۰۳/۷۵۰	۰/۷۴۶
۹	۹۴/۳۷۵	۰/۷۴۶
۱۰	۱۰۰/۶۲۵	۰/۷۴۶
۱۱	۹۷/۵۰۰	۰/۷۴۶

با بزرگنمایی بیشتر در مورد دورهای هدف(۲۰۰۰,۲۵۰۰,۳۰۰۰rpm)، اثر طول بر بازده تنفسی در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ مشخص شده است.



شکل ۱۱ تأثیر طول مجرا بر بازده تنفسی در دور ۲۰۰۰



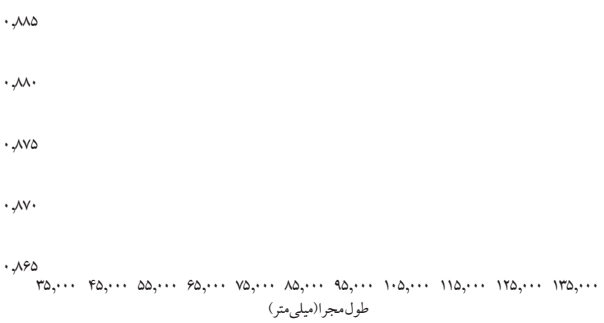
شکل ۱۲ تأثیر طول مجرا بر بازده تنفسی در دور ۲۵۰۰

www.SID.ir

www.cargeek.ir

www.cargeek.ir

Archive of SID



شکل ۱۳ تأثیر طول مجرا بر بازده تنفسی در دور ۳۰۰۰

با توجه به شکل‌های ۱۱ تا ۱۳، قطرهای بهینه در سرعت‌های هدف در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸ اعداد بهینۀ طول مجرا (mm) در دورهای هدف

دور موتور (rpm)	طول بهینه (mm)
۲۰۰۰	۱۲۵/۵
۲۵۰۰	۱۳۵
۳۰۰۰	۳۵

برای دورهای هدف, با توجه به طول بهینه هر دور، شرایط به‌صورت جدول ۹ خواهد بود.

جدول ۹ بازده تنفسی در طول‌های مختلف مجرا(mm) در دورهای هدف

دور موتور (rpm)	بازده تنفسی ۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	معیاربهینه‌سازی
طول ۳۵mm	۷۸/۷	۸۷	۸۷/۹	۸۵٫۶۱
طول ۱۲۵٫۵mm	۷۸/۸	۹۰/۸	۸۷/۲	۸۷/۳۲
طول ۱۳۵mm	۷۸/۸	۹۱	۸۷/۱	۸۷/۳۹

با توجه به جدول ۹ و معیار بهینه‌سازی، طول ۱۳۵ میلی‌متر بهینه‌ترین طول مجرا برای این چندراهۀ است.

۵- نتیجه گیری

با بهینه‌سازی‌های انجام شده و انتخاب طول مجرا, قطر مجرا و زاویۀ تقاطع بهینه‌سازی شده، وضعیت بازده تنفسی موتور در دورهای هدف به‌صورت شکل ۱۴ خواهد بود.

قابل ذکر است که حالت پایه اشاره شده در شکل ۱۴ خروجی حاصل از الگوی صحه‌گذاری شده با هندسۀ اولیه چندراهۀ ورودی است. و منحنی دوم در این شکل بعد از تغییرات روی هندسه الگو به‌دست آمده است.

جزئیات اعداد و مقدار معیار بهینه‌سازی به‌صورت جدول ۱۰ است.

جدول ۱۰ وضعیت بهینه‌سازی‌های انجام شده

دور (rpm)	بازده تنفسی نمونه اولیه	بازده تنفسی نمونه بهینه‌سازی شده	٪ بهبود بازده تنفسی	٪بهبود معیار بهینه‌سازی
۲۰۰۰	۸۷/۳۶	۸۸/۵۶	۱/۳۷	۲/۴۱
۲۵۰۰	۸۹/۶۴	۹۲/۹۲	۳/۶۵	
۳۰۰۰	۷۸/۶۹	۷۹/۳۸	۰/۸۷	

شکل ۱۴ وضعیت بازده تنفسی پس از بهینه‌سازی در دورهای هدف

با تکمیل موارد فوق عملیات بهینه‌سازی روی هندسۀ چندراهۀ ورودی انجام و نهایتاً چندراهۀ بهینه‌سازی شده با ۲/۵٪ افزایش در بازده تنفسی تعیین شد.

به‌صورت تجربی ثابت شده است که در صورت داشتن الگوی صحه‌گذاری شده، می‌توان به نتایج بهینه‌سازی تا حد زیادی اطمینان کرد.

برای به‌دست آوردن مقدار دقیق بهبود، لازم است الگوی نهایی ساخته شود و به‌صورت عملی نیز مقایسه گردد.

www.SID.ir

www.cargeek.ir

www.cargeek.ir

Archive of SID

یادآوری: با وجود خطاهای موجود و غیرقابل انکار در روش‌های تحلیلی یک‌بعدی، به دلیل کم‌هزینه و سریع‌بودن این روش‌ها، استفاده از آنها برای مقایسه و تعیین محدودهٔ جواب‌ها بسیار رایج است ولی در صورت نیاز به مطالعه دقیق‌تر جریان داخل چندراههٔ، تحلیل‌های سه‌بعدی مکمل تحلیل‌های بر مبنای الگوی یک‌بعدی خواهند بود.

تشکر و قدردانی

با سپاس از مجموعهٔ شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، به‌ویژه واحد محاسبات مهندسی این شرکت که کمال همکاری را با محقق داشتند.

فهرست علائم

چگالی	ρ
سرعت	u
فشار	p
سطح مقطع	F
ثابت معادلات هم‌آنتروپی	k
سرعت صوت	a
بازده تنفسی در دور ۲۵۰۰	Volef2500
معیار بهینه‌سازی	C

زیر نویس‌ها

مقطع نهایی	t
مقطع اولیه	1

References:

1. Capetti, A., Effect of intake pipe length on the volumetric efficiency of an internal combustion engine,*NACA TM501, 1929.*
2. Engelman, H., The Tuned Manifold: supercharging without a blower. *ASME paper 53-DGP4, 1953.*
3. Pearson,R.J. & Winterbone,D.E. A rapid wave action simulation technique for intake manifold design, *SAE paper 900676, 1990.*
4. Bensler.H.P, Intake Manifold Optimization using CFD Analysis Ricardo Software international conference Detroit, 1996.
5. Bensler.H.P, CFD optimization of powertrain components, *SAE paper 964022, 1996.*
6. Desmond E Winterbone & Richard J Pearson, "Design Techniques for Engine Manifolds', 2000.
7. B. Peters,A. D. Gosman, Numerical Simulation of Unsteady Flow in Engine Intake Manifolds *SAE paper 930609, 2003.*
8. Deur, J., Hrovat, D., Asgari, J. Analysis of mean value engine model with emphasis on intake manifold thermal effects, Control Applications, *Proceedings of 2003 IEEE Conference, 161- 166 vol.1* .
9. Nak W. Sung, Jae W. Song, Flow Analysis for a Chamber Type Intake Manifold Engine, *SAE paper, No. 961824, 1996.*
10. R. S. Benson, The thermodynamics and Gas Dynamics of Internal Combustion Engines, Clarendon Press, *Vol. 1, Oxford, 1982.*
11. Heywood J.B., *Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, NY, 1988.*

www.SID.ir

www.cargeek.ir