Archive of SID

بررسی تأثیر استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها روی مصرف سوخت موتور XU7/L3

مقداد پیشگویی*
کارشناس ارشد مهندسی خودرو- دانشگاه علم و صنعت ایران- دانشکدهٔ مهندسی خودرو
meghdad.pishgooie@gmail.com

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

* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۹۰/۰۴/۱۱ پذیرش نهایی مقاله: ۹۰/۰۶/۳۰

چکیده

با توجه به بحران جهانی سوخت و لزوم استفاده از موتورهایی با کارایی بالاتر و مصرف سوخت کمتر راهکارهای متنوعی جهت کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی موتورهای احتراق داخلی ارائه شده است درکشور ما نیز جهت نیل به این مقصود قوانین و استانداردهای مختلفی مصوّب شده است. از آنجاکه موتور XU7/L3 محصول شرکت پژو دوّمین موتور پرتیراژ داخلی سازی شده کشور می‌باشد، این موتور به‌عنوان موتور مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب شده است. یکی از روش‌های کاهش مصرف سوخت قابل بکارگیری در این موتور استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌هاست که در هر دور با توجه به شرایط کارکرد موتور زمان باز و بسته شدن دریچه‌ها را تغییر داده موجب بهبود بازده تنفسی و در نتیجه کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی موتور می‌گردد. در این تحقیق در ابتدا کلیه اجزای موتور XU7/L3 اعم از چندراهه‌های ورودی و خروجی و مسیر اگزوز در نرم‌افزار GT-Power الگو شده. در مرحله بعد الگوی تهیه شده درنرم‌افزار GT-Power با نرم‌افزار MATLAB Simulink برای پایش روی ورودی‌ها و خروجی‌ها جفت شده است.سپس با ارائه توابع هدف مناسب سعی می‌شود مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور با اتخاذ مناسب‌ترین زمان‌بندی برای دریچه‌های ورودی و خروجی بهینه می‌شود و بدین‌وسیله امکان‌پذیری رسیدن به حداکثر کاهش مصرف سوخت و حداقل مصرف سوخت قابل دسترس با تغییر زمان‌بندی دریچه‌ها به همراه زمان‌بندی بهینه محاسبه می‌شود. همچنین در این تحقیق راهکار نوین طرح شده در تحقیقات قبلی توسط مولفان جهت بهینه‌سازی الگوی GT-Power یک موتور احتراق داخلی با استفاده از روش تحلیل حساسیت در مطالعات قبلی ارائه شده بود تکمیل و مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفت .

کلیـد واژه‌ها: GT-Power، MATLAB Simulink، تحلیل حساسیت، سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها، مصرف‌سوخت ویژه ترمزی، زمان‌بندی دریچه‌ها

۱- مقدمه

موتور XU7JP4/L3 محصول شرکت پژو، در سال ۱۳۸۱ داخلی سازی این موتور در شرکت ایران خودرو شروع شد و در حال حاضر موتور راهبردی و ارزان قیمت ایران خودرو می‌باشد و روی محصولات پژوپارس، سمند و پژو۴۰۵ مورد استفاده قرار می‌گیرد. خط تولید این موتور قابلیت تولید ۳۲۰۰۰۰۰ دستگاه در سال را دارد.

چالش اساسی پیش روی موتور XU7JP4/L3 مصرف سوخت بالا است. با توجه به الزامات برچسب سوخت تعیین شده توسط مؤسسّه استاندارد ایران موتور XU7JP4/L3 فعلی تا سال ۱۳۹۰ اجازه تولید دارد که نیازبه بهینه‌سازی مصرف سوخت این موتور را مشخص می‌سازد. در این تحقیق پس از الگوسازی موتور با نرم‌افزار GT POWER زمان‌بندی دریچه‌ها را با هدف کاهش مصرف سوخت با استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها تغییر دهیم.

www.SID.ir

Archive of SID

بهترین راهکارها برای موتور مورد مطالعه، راهکارهایی هستند که علاوه بر کم‌هزینه بودن مستلزم تغییرات اساسی روی خط تولید نباشند. برای یافتن چنین راهکاری در این تحقیق ابتدا راهکارهای کاهش مصرف سوخت موتوری یک خودرو بطور کامل مورد بررسی قرار گرفت و از میان آنها بهینه‌سازی زمان‌بندی دریچه‌ها و استفاده از سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها به‌عنوان راهکارهایی که بیشترین تطابق با خواسته‌های محققین را داشتند انتخاب و به کارگیری شدند.

برای بررسی میزان کارایی سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها در موتور مورد مطالعه ساختن یک نمونهٔ مورد اعتماد در اولویت است. در این تحقیق ابتدا نمونهٔ موتور مورد مطالعه در نرم‌افزار GT-Power ساخته شد، پس از ساخت نمونه به راهکاری نیاز بود که خروجی این نمونه را با خروجی واقعی موتور صحه‌گذاری (validation) نماید. راهکاری که عموما مورد استفاده قرار می‌گیرد راهکار سعی و خطاست که حداقل بودن خطای قابل حصول در این راهکار فاقد اثبات ریاضی است. در این تحقیق راهکاری ارائه شد که بتوان با استفاده از آن یک الگوی GT-Power را با روش‌های ریاضی قابل اثبات بهینه نمود که این راهکار در ادامه مقاله به تفصیل بیان و بررسی شده است. راهکار ریاضی که به‌عنوان نمونه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است تخمین متغیّر[1] (یا شناسائی متغیّر[2]) با استفاده از تحلیل حساسیت است. در واقع مسئله مطروحه یک مسئله معکوس است که از یک تابع مطلوب می‌خواهیم به شرایط مرزی و اولیه مطلوب برسیم. در این تحقیق هدف اصلی سعی در شناخت بیشتر رفتار و نحوه حساسیت روش تخمین متغیّر به عوامل مختلف نظیر مسیر بهینه‌سازی، محدودیت‌های نمونه‌سازی است.

پس از صحه‌گذاری نمونه، در مرحله بعد از روش مشابه و با استفاده از همان روش و هدف‌گذاری مناسب برای مصرف سوخت ویژه ترمزی بهترین زمان‌بندی دریچه‌ها برای مصرف سوخت هدف تعیین شده است. هدف‌گذاری انجام شده بر اساس تجربیات نصب سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها روی موتورهای مشابه انجام شده است.

۲- بررسی راهکارهای کاهش مصرف سوخت

با توجه به رویکرد جهانی مبنی بر کاهش مصرف انرژی و حفاظت از منابع انرژی خصوصاً سوخت‌های فسیلی در کشورهای مختلف جهان، محدودیت‌هایی برای مصرف سوخت خودروها در سطح بین المللی تعریف شده است. در کشور ما نیز این بحث بسیار جدی پیگیری می‌شود تا جایی‌که مؤسّسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران استاندارد، ملی به شماره ۴۲۴۱ را برای کاهش مصرف سوخت خودروهای داخلی و وارداتی وضع نموده است [۱]. لذا خودروسازان داخلی نیز می‌بایست جهت نیل به این مهم تلاش نمایند و از کلیه روش‌های قابل دسترس جهت کاهش مصرف سوخت محصولات تولیدی خود استفاده نمایند.

روش‌های کاهش مصرف سوخت بسیار متنوع و مختلف می‌باشند در هنگام انتخاب متدمورد نظر باید با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و امکان‌پذیری فنّی استفاده ازآن در کشور مدنظر قرار گیرد. همچنین متدی در اولویت است که بیشترین امکان داخل‌سازی وکمترین میزان وابستگی به خارج را به همراه داشته باشد.

کاهش مصرف سوخت خودرو را می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم کرد. بخش اول راهکارهایی که در مرحله طراحی توسط خودروسازان مد نظر قرار می‌گیرند و بخش دوم رعایت نکاتی است که در هنگام استفاده از خودرو توسط مصرف‌کنندگان باید انجام شود. که مد نظر این تحقیق بخش اول می‌باشد.

کاهش مصرف سوخت در مرحله طراحی خودرو در ۶ بخش اساسی مد نظر قرار می‌گیرد:

۱. کاهش مصرف سوخت موتور خودرو
۲. کاهش مصرف سوخت با کاهش بار اجزای جانبی موتور (متراکم کنندهٔ دستگاه خنک‌کاری خودرو،تلمبهٔ فرمان و...)
۳. کاهش مصرف سوخت با کاهش ضریب درگ بدنهٔ خودرو
۴. کاهش مصرف سوخت با کاهش مقاومتهای غلطشی
۵. کاهش مصرف سوخت با کاهش افت‌های سامانهٔ انتقال قدرت
۶. کاهش مصرف سوخت با کاهش وزن اجزای خودرو

که در این تحقیق مورد اول مد نظر می‌باشد.

برای کاهش مصرف سوخت موتور راهکارهای متنوعی ارائه شده که همه این راهکارها بر مبنای افزایش کارمثبت خروجی موتور و کاهش کارهای منفی و تلفات موتوری (تلفات تلمبه‌ای و تلفات اصطکاکی) است. روش‌های کاهش مصرف سوخت همیشه منجر به ایجاد یک تعادل بهتر میان کارهای مثبت و منفی و رسیدن به حالت بهتر می‌شوند.

در واقع می‌توان روش‌های کاهش مصرف سوخت را در دو بخش عمده مورد بررسی قرار داد:

۱. روش‌هایی که منجر به افزایش کار مثبت می‌شوند:
الف. افزایش نسبت انبساط مؤثّر

۱- Parameter Estimation
۲- Parameter Identification

www.SID.ir

Archive of SID

ب. کاهش تلفات حرارتی موتور

۲. روش‌هایی که منجر به کاهش کار منفی و تلفات موتور می‌شوند:

الف. کاهش تلفات تلمبه‌ای

ب. کاهش تلفات متراکم نمودن هوا

ج. کاهش تلفات اصطکاکی اجزای موتور

افزایش نسبت انبساط مؤثّر می‌تواند از طریق استفاده از نسبت تراکم بالاتر و یا استفاده از نسبت تراکم متغیرّ صورت گیرد، کاهش تلفات حرارتی می‌تواند از طریق کاهش حجم موتور، کاهش سطح انتقال حرارت داخلی و استفاده از مواد مقاوم‌تر به دما و ... صورت گیرد.

همچنین کاهش تلفات تلمبه‌ای می‌تواند از طریق بهینه‌سازی زمان باز و بسته شدن دریچه‌ها، بهینه‌سازی طول وکاهش ضرایب اصطکاک راهگاه‌های ورودی و خروجی،کاهش حجم و دور موتور و... صورت گیرد. کاهش تلفات متراکم نمودن هوا با بهینه‌سازی هندسه موتورو... صورت می‌گیرد و کاهش تلفات اصطکاکی نیز با کاهش ضریب اصطکاک و یا بار عمودی وارد بر سطوح قابل دسترسی است.

برمبنای موارد فوق می‌توان ۵ روش اصلی برای کاهش مصرف سوخت موتوری در نظر گرفت که عبارتند از:

۱. سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها[۱]

۲. کاهش اصطکاکهای داخلی موتور [۲]

۳. سامانهٔ پاشش مستقیم سوخت (GDI)[۳]

۴. کاهش حجم موتور و استفاده از پرخوران[۴]

۵. استفاده از سامانهٔ متغیرّ نسبت تراکم [۵]

۶. استفاده از سامانهٔ غیرفعال سازی استوانه‌ها [۶]

همچنین در سال ۲۰۰۹ با توجه به بحران‌های اقتصادی و بحران سوخت دولت آمریکا تصمیماتی برای کاهش مصرف سوخت میانگین خودروهاو میزان آلاینده‌ها اتخاذ نمود و مؤسّسه حفاظت از محیط زیست آمریکا EPA متولی تصویب قوانین و ترسیم نقشه راه برای نیل به این مقصود شد.

در بررسی که این مؤسّسه انجام داد راهکارهای ذیل برای کاهش مصرف سوخت و میزان آلاینده‌های تولیدی خودروها برای خودروسازان انتخاب شدند:

۱. استفاده از روانکارهایی با قابلیت کاهش اصطکاک بالاتر

۲. کاهش اصطکاکات درونی موتور

۳. استفاده از سامانه‌های متغیرّ دریچه‌ها

۴. از کار انداختن تعدادی از استوانه‌ها در دور و بارهای کم

۵. استفاده از سامانهٔ پاشش مستقیم بنزین درون استوانه

۶. کاهش حجم موتور و استفاده از توربوشارژر

با توجه به شرایط این موتور و نیاز به استفاده از روشی که مستلزم حداقل تغییرات روی خط و خطوط تولید باشد استفاده از تکنولوژی سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها به‌عنوان تکنولوژی هدف قرار گرفت. [۲]

۲-۱-سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها

یکی از راهکارهای کاهش مصرف سوخت و آلایندگی و افزایش خروجی موتور و رفع مشکل گشتاورکم در دورهای پایین[۷] استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌هاست. این سامانهٔ به موتور اجازه می‌دهد در دورهای مختلف و در حین کارکرد موتور زمان‌بندی دریچه‌های ورودی و خروجی را تغییر دهد.

در موتورهای قدیمی برای دریچه‌های ورودی و خروجی یک زمان‌بندی ثابت در نظر گرفته می‌شد و برمبنای آن شکل میل‌بادامک طراحی می‌شد. این کار موجب محدود شدن گشتاور در دورهای پایین ویا قدرت در دورهای بالا می‌شد. جهت رفع این مشکل سامانه‌های متغیرّ دریچه‌ها طراحی شدند، این سامانه‌ها زمان‌بندی و تحریک مناسب برای دریچه‌ها در دورهای مختلف را فراهم می‌کنند.

در دور موتورهای بالا طبیعتاً موتور به حجم هوای ورودی بیشتری نیاز دارد، اگر زمان‌بندی باز و بسته شدن دریچه‌ها ثابت باشد، زود بسته شدن دریچه ورودی فرصت کافی برای ورود هوا به استوانه فراهم نمی‌کند و موجب افت عملکردی موتور می‌شود، همچنین در دورهای پایین زیاد باز بودن دریچه ورودی موجب خروج هیدروکربنهای نسوخته و ناقص ماندن عمل احتراق شده و در نتیجه منجر به افزایش آلاینده‌های خروجی دود می‌شود. سامانه‌های متغیرّ دریچه‌ها در واقع در دورهای پایین زمان‌بندی مناسب جهت کاهش آلاینده‌های تولیدی موتور و در دورهای بالا زمان‌بندی مناسب جهت افزایش عملکرد موتور را فراهم می‌کنند، که این دو مساله منجر به کاهش مصرف سوخت و بهبود عملکرد موتور در همه دورها فشارهای دولت‌ها و نهادهای حفاظت از محیط زیست بر روی خودروسازان جهت کاهش آلاینده‌های خروجی خودروها منجر

۱- Variable Valve Timing (or Lift) VVT (or VVL)
۲- Internal Friction Reduction
۳- Gasoline Direct Injection
۴- Downsizing +Turbocharger(or supercharger)
۵- Variable compression Ratio (VCR)
۶- Cylinder Deactivation
۷- Low end Torque

www.SID.ir

Archive of SID

به رو آوردن آنها به استفاده از سامانه‌های متغیّر دریچه‌ها در خودروهای تولیدی شده است.[۲]

اتخاذ زمان‌بندی و تحریک دریچه‌ها در دورهای مختلف بر مبنای دور موتور و شرایط عملکردی موتور موجب ارتقای سطح عملکردی موتور و کاهش مصرف سوخت و سطح آلاینده‌های موتور می‌گردد. این عمل علاوه بر افزایش مدت زمان تنفس در دورهای بالا موجب مقداری بازگردانی گازهای سوخته به مخلوط ورودی به شکل داخلی[۱] و همچنین رفع مشکل گشتاور کم در دورهای پایین و قدرت کم در دورهای بالا می‌شود.

تغییر زمان‌بندی و تحریک دریچه‌ها و ایجاد بهترین زمان‌بندی و تحریک بر مبنای دور و بار موتور در هنگام عملکرد آن توسط سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها انجام می‌شود. از ابتدای ابداع تاکنون این سامانهٔ تغییرات و تکامل‌های گوناگونی روی آن انجام شده اولین نمونه‌های سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها در قرن نوزدهم روی موتورهای بخار و موتور لوکوموتیوها بکار گرفته شد،کار این سامانهٔ قطع جریان بخار به داخل استوانه در دورهای مختلف و بطور متغیّر بود.[۳]

اما در خودروسازی این طرح در ابتدا در اواخر دهه ۱۹۶۰ توسط کارخانه فیات به کار گرفته شد و با توجه به کارایی بالای این سامانهٔ در کاهش مصرف سوخت و آلایندگی و ارتقای عملکرد موتور و به‌دلیل وضع قوانین کاهش آلایندگی ومصرف سوخت در جهان خودروسازانی نظیر هوندا، جنرال موتورز و فورد به‌تدریج این سامانهٔ را در موتورهای تولیدیشان به‌کار بردند و امروزه استفاده از این سامانهٔ در میان خودروسازان بسیار رواج پیدا کرده است.

پایش دریچه‌های ورودی و خروجی به چندین دسته تقسیم می‌گردد که عبارتند از:

۱. تقسیم بندی از لحاظ اعمال پایش روی دریچه‌های ورودی یا همه دریچه‌ها

a. سامانهٔ پایش دریچه‌های ورودی[۲]

الف. سامانه‌های پایش دریچه‌های خروجی[۳]

ب. سامانه‌های پایش دریچه‌های ورودی وخروجی

۲. تقسیم‌بندی از لحاظ پایش پیوسته یا گسسته

الف. پایش پیوسته دریچه‌ها[۴]

ب. پایش گسسته دریچه‌ها[۵]

۳. تقسیم بندی از لحاظ اعمال پایش روی زمان‌بندی یا تحریک

الف. سامانه‌های پایش زمان‌بندی دریچه‌ها[۶]

ب. سامانه‌های پایش تحریک دریچه‌ها[۷]

در موتورهای دارای یک میل‌بادامک (SOHC & OHV) امکان پایش زمان‌بندی جداگانه دریچه‌های ورودی و خروجی وجود ندارد چراکه فرمان باز و بسته شدن دریچه‌های ورودی و خروجی از یک میل‌بادامک صادر می‌شود وایجاد هر تغییری در میل‌بادامک به منظور تغییر زمان‌بندی یک دریچه روی دریچه دیگر هم تأثیر می‌گذارد در واقع اعمال پایش دقیق و مناسب روی هر دو دریچه ورودی و خروجی تنها در سامانه‌هایی که برای دریچه‌های ورودی و خروجی میل‌بادامک‌های جداگانه دارند امکان پذیر است. برای موتورهای تک میل دریچه یا از سامانهٔ متغیّر تحریک استفاده می‌شود و یا از یک ساختار زمان‌بندی که تغییر فاز میل‌بادامک را پایش می‌کند استفاده می‌شود. این سامانه در واقع یک سامانهٔ متغیّر سرعت میل‌بادامک است که توسط سامانهٔ مدیریت موتور پایش می‌شود، سامانهٔ مدیریت موتور با تغییر دور میل‌بادامک زمان‌بندی مورد نیاز موتور را ایجاد می‌نماید.

زمان‌بندی اخذ شده یک زمان‌بندی بهینه برای هر دو دریچه ورودی و خروجی است، هرچند استفاده از این سامانهٔ ارزان‌تر و آسان‌تر از تبدیل موتور به دو میل دریچه و یا حذف میل‌بادامک و استفاده از دریچه‌های مغناطیسی است اما کارایی یک موتور دو میل دریچه مجهز به سامانهٔ زمان‌بندی متغیّر دریچه‌ها را ندارد.

۳- ادبیات موضوع

در سال ۲۰۰۰ پیریک و همکارانش تکامل‌های صورت گرفته روی سامانهٔ پایش متغیّر دریچه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. در موتور مورد بررسی آنها سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها موجب کاهش ۱۲ درصدی مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور[۸] در حالت دور آرام، ۷ تا ۱۰ درصد در دورهای پایین و دورهای میانگین و حدود ۳ درصد در دورهای بالا شده است. در دورهای پایین بهبودی در حدود ۳ درصد در گشتاور مشاهده شدند. همچنین میزان تولید آلاینده‌های NOx و HC موتور با کاهش مواجه بوده است [۴].

روبرت و همکارانش در سال ۲۰۰۵ بهینه‌سازی زمان‌بندی دریچه‌ها

۱- Internal EGR
۲- Variable Valve Timing intake (VVTi) (Variable Valve Lift intake(VVLi)
۳- Variable Valve Timing exhaust(VVTe) (Variable Valve Lift exhaust (VVLe)
۴- Continuous Variable Valve Timing (CVVT) (Continuous Variable Valve Lift (CVVL)
۵- Discrete Variable Valve Timing exhaust(DVVT) (Discrete Variable Valve Lift exhaust (DVVL)
۶- Variable Valve Timing (VVT)
۷- Variable Valve Lift (DVVL)
۸- Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

www.SID.ir

Archive of SID

را با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه کردند. موتور هدف این مطالعه یک موتور بنزینی دو میل دریچه مجهز به سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها از نوع سامانهٔ متغیّر زمان‌بندی با استفاده از تغییر فاز میل‌بادامک‌ها بود. بدین منظور ابتدا یک الگوی ریاضی از موتور هدف تهیه شد و الگو با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی مورد تایید قرار گرفت و ثوابت و محدوده کارکرد آن مشخص شدند. سپس با هدف حداکثر کردن گشتاور خروجی موتور زمان‌بندی دریچه‌ها تغییر کرد و بهترین زمان‌بندی در هر دور و بارهای مختلف در حالت کارکرد دریچهٔ تمام باز گاز تعیین شد. متغیّرهای مستقل در نظر گرفته‌شده در این مطالعه زمان‌بندی دریچه‌های ورودی و خروجی، زمان‌بندی جرقه و نسبت هوا و سوخت بودند. سپس، میزان حساسیت نمونه به متغیّرهای مستقل و وابسته بررسی شد. متغیّر مستقلی که بیشترین تأثیر را در میزان گشتاور موتور در این پژوهش نشان داد، زمان‌بندی بسته‌شدن دریچه‌های ورودی ارزیابی شدند. در مرحله نهایی با هدف کاهش مصرف سوخت در دورهای میانی و بارهای متوسط زمان‌بندی بهینه تعیین شده‌اند[۵].

فونتانا و همکارانش، در سال ۲۰۰۹ برای هدف کاهش مصرف سوخت و بهبود عملکرد موتورهای کم‌حجم استفاده از سامانهٔ پیوسته متغیّر دریچه‌ها را پیشنهاد کردند. سامانهٔ متغیّر پیوسته زمان‌بندی دریچه‌ها با ایجاد عمل معکوس چرخهٔ میلر و ایجاد مقدار قابل توجه EGR قادر است عملکرد و مصرف سوخت خودرو را بهینه سازد. این سامانه همچنین قادر است تأثیرات قابل توجهی بر فرآیندهای داخل استوانه بگذارد. در این مطالعه با استفاده از تغییر شکل پورت ورودی و شکل دریچه موفق به ایجاد جریان چرخشی داخل استوانه[۱] متغیّر شده‌اند. سامانهٔ به‌کار رفته در این تحقیق توانایی ایجاد ۲۳ درصد EGR بیشتر نسبت به موتورهای فاقد این سامانه را دارد. همچنین آنها گزارش کردند با ایجاد تاخیر فاز زیاد در میل‌بادامک میزان جریان برگشتی[۲] در موتور افزایش می‌یابد [۶].

در سال ۱۳۸۵ برای اولین بار گروهی از طرف شرکت ایران‌خودرو به آلمان رفتند و با گروه FEV برای طراحی موتور ملی همکاری نمودند. در نتیجه این همکاری، به‌عنوان اولین کار دانشگاهی، کسرایی [۷] که در همین گروه حضور داشت، نرم‌افزار GT-POWER را برای شبیه‌سازی موتور احتراق داخلی در ایران مورد استفاده قرار داد. پس از آن در مطالعات متعددی دیگری همچون کار محمد ابراهیم مورد استفاده قرار گرفت[۸].

۱- Swirl
۲- Back Flow

٤- نمونهٔ GT-Power تهیه شده

برای بررسی تأثیر استفاده از سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها در موتور مورد مطالعه ابتدا به یک نمونهٔ قابل اعتماد نیازمندیم، در تحقیق قبل این الگوی برای موتور مورد مطالعه تهیه شد [۲]. پس از تهیه نمونه به متغیّرهایی برخورد می‌شود که یا قابل محاسبه مستقیم نیستند و یا محاسبه آنها بسیار مشکل و هزینه‌بر است، که این متغیّرها برای موتور مورد مطالعه عبارتند از: دما و فشار هوا در دریچه ورودی استوانه، ضریب اصطکاک چندراهه ورودی، دمای استوانه، گرادیان دمای بخش‌های مختلف چندراهه ورودی و خروجی، سراستوانه و سمبه، لقی دریچه ورودی و خروجی، و دمای مسیر خروجی دود.

در عمده تحقیقات گذشته مورد بررسی قرار گرفته این متغیّرها حدس زده می‌شود و سپس با سعی و خطا روی آنها سعی می‌شد خروجی الگو بیشترین نزدیکی را به خروجی آزمایشگاهی پیدا کند، اما روش سعی و خطا نمی‌تواند به محقق اطمینان بدهد که جواب‌های اخذ شده بهترین جواب‌های ممکن هستند چرا که این روش فاقد بنیان ریاضی است.

در تحقیق قبلی که توسط مولفان انجام شد روشی ریاضی برای بهینه‌سازی و صحه گذاری الگوهای GT-Power ابداع گردید، در این روش از قابلیت نرم‌افزار GT-POWER برای جفت‌شدن با نرم‌افزار SIMULINK برای بهینه‌سازی استفاده شد که این کار عملا برای اولین بار ارائه شد.[۲] و در تحقیق حاضر سعی بر این است که این نتایج با روش‌هایی که در آینده اشاره می‌شود بهینه شوند.

درواقع محاسبات مربوط به موتور احتراق داخلی توسط نرم‌افزار GT-Power و محاسبات مربوط به بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار SIMULINK[۳] انجام می‌شود.

نمونهٔ تهیه شده در نرم‌افزار GT-Power یک نمونهٔ دو بعدی است که بخشی از شرایط مرزی آن ورودی‌های مربوط به هندسهٔ موتور، بخشی شرایط مرزی و اولیه و بخشی دیگر مربوط به شرایط کارکردی موتور است [۳].

هندسهٔ موتور از نقشه‌های چندراهه‌های ورودی و خروجی، محفظه احتراق و اطلاعات هندسه سمبه و میل لنگ و دسته سمبه‌های موتور XU7/L3 اخذ شده از شرکت پژو بوده و شرایط کارکرد موتور نیز بر مبنای شرایط آزمایشگاه شرکت ایپکو جایگزین شده است. بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی اخذ شده از شرکت ایپکو شرایط مرزی معلوم شده مطابق اطلاعات گردآوری شده جایگزین و شرایط مجهول غیرقابل اندازه‌گیری نیز با استفاده از روش تحلیل حساسیت محاسبه و

۳- از بخش‌هاي نرم‌افزار MATLAB

www.SID.ir

Archive of SID

در الگو جایگزین شده است

بنزین مورد استفاده در این الگو بنزین سوپر ایران بوده و اطلاعات این بنزین از شرکت PETRO LAB اخذ شده[۹].

جدول ۱ نتایج آزمایشگاهی اخذ شده از لگام‌ترمز شرکت ایپکو

مصرف سوخت (Kg/hr)	قدرت (Kw)	گشتاور (N.m)	دور موتور (RPM)
۴/۶	۱۹/۶۴	۱۲۵/۲	۱۵۰۰
۶/۲	۲۶/۴۱	۱۲۶/۳	۲۰۰۰
۸/۹	۳۷/۲۱	۱۴۲/۰	۲۵۰۰
۱۰/۴	۴۴/۰۹	۱۴۰/۵	۳۰۰۰
۱۲/۸	۵۱/۱۷	۱۳۹/۵	۳۵۰۰
۱۵/۰	۵۷/۱۶	۱۳۶/۳	۴۰۰۰
۱۷/۰	۶۱/۵۱	۱۳۰/۴	۴۵۰۰
۱۸/۲	۶۴/۴۱	۱۲۲/۹	۵۰۰۰
۲۰/۵	۶۷/۴۱	۱۱۶/۹	۵۵۰۰
۲۱/۱	۶۸/۷۵	۱۰۹/۳	۶۰۰۰

۵- روش تحلیل حساسیت

در این بخش مباحث ریاضی الگوسازی آورده شده است.

در مسئله معکوس، هدف کمّینه‌کردن جمع مربعات زیر می‌باشد:

$$S = \left(\vec{T}^m - \vec{T}^c\right)^T \mathbf{W} \left(\vec{T}^m - \vec{T}^c\right) \qquad (۱$$

این مجموع تابعی از متغیّر مجهول $\vec{P}$ می‌باشد. به‌عنوان مثال این متغیّر مجهول در این تحقیق همان متغیّرهای مجهول یا غیرقابل اندازه‌گیری موتور هستند. بدین ترتیب به‌طور کلی می‌توان متغیّر مجهول را به‌طور زیر در نظر گرفت :

$$\vec{P} = \left[\vec{P}_1 \quad \vec{P}_2 \quad \dots \quad \vec{P}_N\right]^T \qquad (۲$$

که در آن $\vec{P}_n$ مقدار متغیّر مجهول در بازه زمانی n ام است و به صورت زیر می‌باشد:

$$\vec{P}_n = \left[P_{n,1} \quad P_{n,2} \quad \dots \quad P_{n,L}\right]^T \qquad (۳$$

که در آن $P_{n,l}$ پارمتر مجهول l ام در بازه زمانی n ام می‌باشد. بدین ترتیب با توجه به اینکه این متغیّر با در نظر گرفتن معادله حاکم برمسئله مقدار $\vec{T}^c$ را تغییر می‌دهد می‌توان S را تابعی از متغیرّ $\vec{P}$ دانست. [۱۰]

با استفاده از مشتق در نقطه بهینه برای آنکه $\vec{P}$ مقدار S را بهینه کند معادله زیر باید برقرار باشد:

$$\frac{\partial S}{\partial \vec{P}} = 0 \qquad (۴$$

با اعمال این شرط در معادله (۱) معادله زیر بدست می‌آید:

$$\mathbf{X}^T \mathbf{W}\left(\vec{T}^m - \vec{T}^c\right) = 0 \qquad (۵$$

که در آن $\mathbf{X}$ ماتریس حساسیت نامیده می‌شود:

$$\mathbf{X} = \left[\frac{\partial \vec{T}^{cT}}{\partial \vec{P}}\right]^T \qquad (۶$$

برای بهینه‌سازی لازم است که $\vec{T}^c$ نیز به‌عنوان تابعی از $\vec{P}$ دیده شود. چنانچه فرض شود که $\vec{P}$ معلوم است ولی در معادله(۵) صدق نمی‌کند لازم است تغییری معادل $\Delta\vec{P}$ بنماید. در این صورت با استفاده از سری تیلور و صرف‌نظر کردن از جملات درجه بالا می‌توان رابطه زیر را برای تغییر $\vec{T}^c$ نوشت:

$$\vec{T}^{c,k+1} = \vec{T}^{c,k} + \mathbf{X}\,\Delta\vec{P} \qquad (۷$$

که در آن بالانویس k نشان تکرار است و پس از این برای سادگی محاسبات از نوشتار حذف می‌گردد. با جایگذاری معادله (۷-۳) در معادله (۵-۳) می‌توان به معادله زیر رسید:

$$\mathbf{X}^T\mathbf{W}\left(\vec{T}^m - \vec{T}^c\right) = \mathbf{X}^T\mathbf{X}\,\Delta\vec{P} \qquad (۸$$

بدین ترتیب معادله‌ای برای تصحیح $\vec{P}$ بدست آمد. بر این اساس روش حل مسئله معکوس به صورت زیر خواهد بود.

الگوریتم پایه

۱- $\vec{P}$ حدس زده می‌شود؛

۲- معادله مستقیم حاکم حل می‌شود و میدان مورد نظر در زمان مورد نظر تعیین می‌شود؛

۳- مقادیر میدان در نقاط اندازه‌گیری، $\vec{T}^c$، به‌دست می‌آید؛

۴- S محاسبه می‌گردد؛

۵- ماتریس حساسیت، $\mathbf{X}$، تعیین می‌شود؛

۶- معادله(۳-۸) برای تعیین $\Delta\vec{P}$ حل می‌شود؛

۷- $\vec{P}$ تصحیح می‌شود؛

۸- معادلهٔ مستقیم حاکم حل می‌شود و میدان مورد نظر در زمان مورد نظر تعیین می‌شود؛

۹- مقادیر میدان در نقاط اندازه‌گیری، $\vec{T}^c$، بدست می‌آید؛

۱۰- S محاسبه؛

www.SID.ir

Archive of SID

۱۱- چنانچه یکی از معیارهای زیر برقرار بود پاسخ بدست آمده است؛ در غیر اینصورت محاسبات از گام (۵) ادامه می‌آبد.

$$\left\|\Delta\vec{P}\right\| < \varepsilon_1 \qquad (۹$$

$$S < \varepsilon_2$$

$$\left|\frac{S^{k+1}-S^k}{S^k}\right| < \varepsilon_3 \qquad (۱۰$$

که در آن ε_1، ε_2 و ε_3 مقادیر مناسب به اندازه کافی کوچک هستند. در مورد این مقادیر بیشتر بحث خواهد شد.

این شیوه معمولا به‌عنوان مبنا در روش‌های مبتنی بر خطی‌سازی می‌باشند. هنگامی که مقادیر $\vec{P}$ و $\vec{T}^c$ در طول کل زمان مورد استفاده قرار گیرد به آن روش فراگیر گویند. چرا که تمام بازه‌های زمانی در آن واحد و به صورت فراگیر در معادلات مورد نظر قرار می‌گیرند.

چند نکته در این قسمت باقی می‌ماند. محاسبه ماتریس حساسیت خود یکی از معضلات در مسائل معکوس غیرخطی است. مؤلّفه سطر i و ستون j طبق تعریف برای یک مسئله فراگیر از رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$X_{ij} = \frac{\partial T^c_{n_1,m}}{\partial P_{n_2,l}}$$

که در آن $i=(n_1-1)M+m$، $m=1,2,\ldots,M$، $n_2=1,2,\ldots,N$، $j=(n_2-1)L+l$، $n_1=1,2,\ldots,N$ و $l=1,2,\ldots,L$ می‌باشد. این مقادیر برای مسائل خطی بسیار ساده محاسبه می‌شوند. لیکن در مسئله مورد نظر این پروژه به علت حرکت سریع مرز این ضریب غیرخطی عمل می‌کند. به همین دلیل روش‌های محاسباتی تحلیلی مناسب نیست. به همین دلیل از تعریف این ماتریس استفاده می‌شود و از تقریب درجه یک محاسباتی برای محاسبه آن استفاده می‌شود. برای این منظور برای محاسبه این مولفه از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X_{ij} = \frac{T^c_{n_1,m}\left(P_{n_2,l}(1+\varepsilon)\right) - T^c_{n_1,m}\left(P_{n_2,l}\right)}{\varepsilon P_{n_2,l}} \qquad (۱۱$$

در این عبارت ε عدد بسیار کوچکی است که انتخاب آن بستگی به حساسیت مسئله به متغیّر مجهول دارد. این عدد نباید آنقدر کوچک باشد که خطاهای کامپیوتر برآن غلبه کند و نباید آنقدر بزرگ باشند که از پاسخ واقعی دور باشند [۱۶-۱۳].

۵-۱-روش‌های انتخاب متغیّر

در انتخاب متغیّر تنظیم روش‌های مختلفی وجود دارد. در برخی از مراجع این مقدار را کوچک و ثابت فرض می‌کنند. لیکن می‌توان با استفاده از دیدگاه‌های مختلف روش‌هایی مناسب برای انتخاب این متغیّر دست یافت.

در این تحقیق از یکی از مهم‌ترین روش‌ها که توسط لونبرگ[۱] ارائه شده است و روش کمترین مربعات مستهلک شده[۲] نیز نامیده می‌شود استفاده شده است. این روش براساس مبانی آماری برای مسائل کمترین مربعات ارائه شده است. در این روش عبارت (۱) به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱۰]:

$$S = \left(\vec{T}^m - \vec{T}^c\right)^T \mathbf{W}\left(\vec{T}^m - \vec{T}^c\right) + \nu^k \left(\vec{P} - \vec{P}^k\right)^T \mathbf{\Omega}^k \left(\vec{P} - \vec{P}^k\right) \qquad (۱۲$$

که در آن بالانویس k شمارنده تکرار است. بدین ترتیب عبارت (۸) به صورت زیر تغییر خواهد کرد: [۱۶]

$$\mathbf{X}^T\mathbf{W}\left(\vec{T}^m - \vec{T}^c\right) = \left(\mathbf{X}^T W \mathbf{X} + \nu^k \Omega^k\right)\Delta\vec{P} \qquad (۱۳$$

۶- تلفیق نرم‌افزار GT-Power و SIMULINK MATLAB

دربخش‌های قبل ذکر شد اساس بهینه‌سازی بر پایه میزان حساسیت خروجی نمونه به تغییرات ورودی استوار است. الگوی تهیه شده بر مبنای میزان حساسیت خروجی‌ها نسبت به ورودی‌ها سعی می‌کند با تغییر ورودی‌ها نزدیک‌ترین نقطه را نسبت به اطلاعات آزمایشگاهی اتخاذ نماید. جهت اعمال نظارت بر ورودی‌ها و خروجی‌های نمونه دو نرم‌افزار با یکدیگر تلفیق شدند.

نرم‌افزار GT-POWER در هربار اجرای خود صدها ورودی مشخص را تحویل می‌گیرد و متغیّرهای عملکردی موتور را به‌عنوان خروجی ارائه می‌دهد. این نرم‌افزار تنها توانایی حل مستقیم مسئله را داشته و توانایی برنامه‌ریزی برای حل مسئله تحلیل معکوس را ندارد. البته GT-POWER دارای یک بهینه‌ساز است که کاملا درون خود نرم‌افزار عمل می‌کند و از محیط و نحوه عملکرد آن اطلاعاتی توسط شرکت طراح نرم‌افزار ارائه نشده و عملا نحوهٔ بهینه‌سازی نمی‌تواند تغییر کند و آن‌طور که لازم است مورد استفاده تحقیقات مورد نظر قرار گیرد. برای اجرای روش فوق‌الذکر لازم است تا راه حلی برای برنامه‌نویسی و تکرار و تغییر یک سری متغیّر ارائه کرد. پس از بررسی‌های متعدد مشخص شد که این نرم‌افزار در اصل در محیط MATLAB نوشته شده است و قابلیت جفت‌شدن با نرم‌افزار SIMULINK از زیرمجموعه MATLAB را دارد.

۱- Levenberg
۲- Damped Least Square

www.SID.ir

Archive of SID

برای برقراری ارتباط بین نرم‌افزار GT-POWER و SIMULINK در کتابخانه[۱] نرم‌افزار GT-POWER سه شی[۲] در نظرگرفته شده‌است: ۱) SENSOR (حسگر) که خروجی‌ها را از نرم‌افزار GT-POWER به SIMULINK منتقل می‌کند، ۲) ACTUATOR (عملگر) که ورودی‌ها را از SIMULINK به GT-POWER منتقل می‌کند و ۳) WIRING HARNESS(عضو سیم‌کشی) که مدیریت حسگرها و عملگرها را در ارتباط با SIMULINK برعهده دارد.

در ابتدا در محیط نرم‌افزار GT-POWER حسگرها به بخش‌های متغیّرهای خروجی متصل شوند. از میان خروجی‌های مد نظر در این مطالعه، توان، گشتاور و دور موتور از بخش ENGINE CRANK TRAIN (زنجیرهٔ میل‌لنگ موتور) و خروجی مصرف سوخت از بخش INJECTOR اخذ می‌شود. برای مدیریت بر متغیّرهای ورودی به الگو نیز باید عملگرها به متغیّرهای ورودی متصل شوند. به این ترتیب عملگرهای دما و فشار دریچه ورودی به بلوک دریچه ورودی و عملگرهای زمان‌بندی دریچه‌ها به بلوک دریچه‌ها متصل می‌شوند.

پس از این مرحله باید در محل PROPERTIES (خصوصیات) عضو سیم‌کشی، نوع سامانهٔ سیم‌کشی در حالت SIMULINK قرارگیرد. پس از اعمال این ارتباطات در کتابخانه SIMULINK یک شی به نام GT-MODEL قرار می‌گیرد و ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌ترتیب شماره آنها در عضو سیم‌کشی به آن متصل می‌گردند و عملیات مد نظر در محیط مربوطه قابل برنامه‌ریزی است [۲].

۷- مرحله اوّل - تهیه الگوی پایه و نتایج

در این مرحله لازم است براساس آزمایش‌های موجود، الگویی مناسب تهیه شود که قابل اعتماد باشد و بتواند تا حد امکان رفتار موتور را به‌خوبی نشان دهد. برای این منظور از نرم‌افزار GT-Power استفاده شد. ورودی‌های نرم‌افزار، از منابع مختلف به‌دست می‌آید. هندسهٔ موتور از نقشه‌های چندراهه‌های ورودی و خروجی، محفظه احتراق و اطلاعات هندسه سمبه و میل‌لنگ ودسته سمبه‌های موتور XU7/L3 اخذ شده از شرکت پژو می‌باشد و شرایط کارکرد موتور نیز بر مبنای شرایط آزمایشگاه شرکت ایپکو جایگزین شد همچنین بنزین مورد استفاده در این الگو بنزین‌سوپر ایران بوده و اطلاعات این بنزین از شرکت PETRO LAB اخذ شده است[۹]. نرم‌افزار GT-POWER تنها توانایی حل مستقیم مسئله را داشته و توانایی برنامه‌ریزی برای حل مسئله تحلیل معکوس را ندارد. البته GT-POWER دارای یک بهینه‌ساز است که کاملا درون خود نرم‌افزار عمل می‌کند و از محیط و نحوهٔ عملکرد آن اطلاعاتی توسط شرکت طراح نرم‌افزار ارائه نشده و عملاً نحوهٔ بهینه‌سازی مجهول است.

برای بهینه‌سازی و برنامه‌نویسی مناسب در این زمینه از جفت‌کردن یا تلفیق دو نرم‌افزار GT-POWER با SIMULINK استفاده شد. به این ترتیب که حل معادله مستقیم به عهده نرم‌افزار GT-POWER و محاسبات تحلیل معکوس به عهده SIMULINK می‌باشد.

پس از تهیه الگو در نرم‌افزار GT-POWER این الگو با اعمال تغییرات موردنیاز که به آنها اشاره شد با نرم‌افزار SIMULINK جفت می‌شود و الگوریتم تحلیل حساسیت را روی الگو اجرا می‌کند تا بهینه‌ترین الگو با توجه به متغیّرهای مجهول حاصل شود. اساس بهینه‌سازی بر پایه میزان حساسیت خروجی الگو به تغییرات ورودی استوار است. نمونهٔ تهیه شده بر مبنای میزان نمونه خروجی‌ها نسبت به ورودی‌ها سعی می‌کند با تغییر ورودی‌ها نزدیک‌ترین نقطه را نسبت به اطلاعات آزمایشگاهی اتخاذ نماید. مسئله معکوس بدخیم است و به میزان زیادی به میزان مقادیر اولیه حدس‌زده شده و تغییرات مرحله بعد حساس است. چه بسا اتخاذ یک مقدار اولیه یا مقدار هدف نادرست منجر به انتخاب تغییرات نامناسب شده و کل خروجی‌ها را واگرا نماید. در این تحقیق ابتدا وابستگی خروجی‌ها (قدرت و گشتاور ومصرف سوخت) با ورودی‌ها مورد بررسی قرار گرفته و سپس شرایط اولیه نزیک حدس زده شده‌اند.

برای این منظور از روش تحلیل حساسیت استفاده شد و یک غربالگری[۳] اولیه روی متغیّرهای مجهول ویا غیر قابل اندازه‌گیری دقیق انجام شد[۲]. غربالگری با استفاده از تغییرات ورودی‌های مورد نظر در همسایگی مقادیر مبنا با استفاده از نرم‌افزار انجام شد. سرانجام ازمیان این متغیّرها، نشان داده شد که الگو به سه متغیّر اول، دمای قسمت ورودی، فشار قسمت ورودی و ضریب اصطکاک چندراهه، حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. بنابراین این سه متغیّر برای بهینه‌سازی انتخاب شدند.

رسیدن به پاسخ مناسب بدون ایجاد واگرایی در جواب مستلزم انتخاب مناسب حدس اولیه و استپ تغییرات مناسب است.هرچه حدس اولیه نادقیق‌تر باشد باید استپ تغییرات بزرگتری اتخاذ کنیم که می‌تواند منجر به واگرایی شود. بهترین حدس نزدیک به جواب به همراه استپ مناسب به بهترین جواب‌ها منجر می‌شود. اگر جواب با یک بازه تغییرات خاص واگرا شد باید برای بازه تغییرات تعریف شده تنظیم کننده تعریف کرد، تنظیم کننده را تغییر می‌دهیم تا بازه تغییرات مناسب هر دور موتور و

۱- library
۲- object
۳- Screening

www.SID.ir

Archive of SID

برای هر متغیّر محاسبه گردد.

روش تحلیل معکوس بسیار تمایل به واگرایی دارد، واگرایی این روش به حدس اولیه، تعداد و مقدار استپ‌ها بستگی دارد. درتحقیق قبل در ابتدا بهینه‌سازی روی یک متغیّر بطور همزمان انجام شد که در نتیجه آن ۱۱/۸۷ درصد خطا در گشتاور و ۱۱/۸۷ درصد خطا در قدرت را نشان داد. خطای مصرف سوخت نیز ۳۳ درصد برآورد شد یعنی بطور میانگین۱۱/۸۱۵ درصد خطا در قدرت و گشتاور و ۱۸/۸۷ درصد خطا در قدرت، گشتاور و مصرف سوخت.

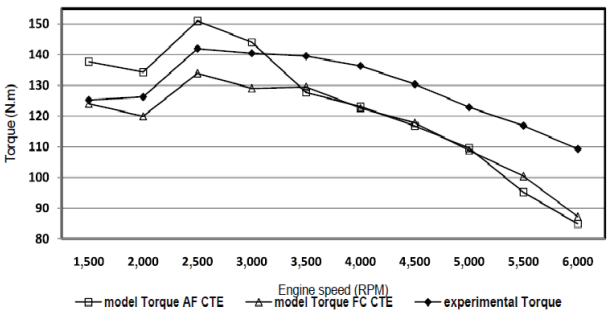
الگوسازی مشخص کرد حداقل خطای متوسط در حالت بهینه‌سازی همزمان سه مجهول، برابر ۸ درصد است. به این ترتیب که ۹/۹۳ درصد خطا در گشتاور و ۱۰/۰۴ درصد خطا در قدرت را نشان داد. خطای مصرف سوخت نیز ۴/۳۶ درصد برآورد شد یعنی بطور میانگین ۹/۹۸ درصد خطا در قدرت و گشتاور و ۸/۱۱ درصد خطا در قدرت، گشتاور و مصرف سوخت است [۲].

درنرم‌افزار GT-Power دونوع افشانه قابل استفاده است یک نوع تنها نرخ مصرف سوخت و نوع دیگر تنها نسبت هوا به سوخت را ورودی می‌گیرد. حال آنکه هردو متغیّر در اطلاعات آزمون موتور موجود می‌باشند. در این تحقیق بررسی تاثیر استفاده از این دو نوع افشانه در نمونه مورد بررسی در تحقیق گنجانده شده است همچنین نحوه رسیدن به نمونهٔ ایده‌آل مورد بحث قرار گرفته است.

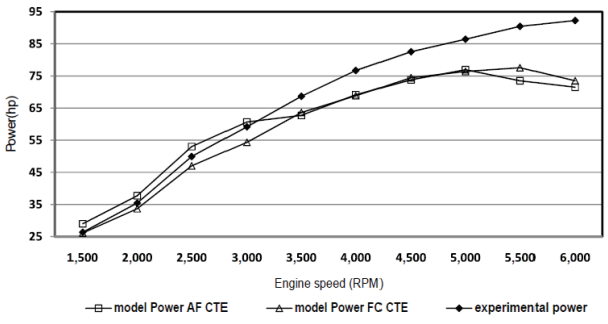
در شکل ۱ نحوهٔ عملکرد الگوی تهیه شده در دو حالت استفاده از اطلاعات نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی (FC CTE) و نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی (AF CTE) آورده شده است. مشاهده می‌شود که رفتار نمونه در هر دو حالت تقریباً با اطلاعات آزمایشگاهی مشابه می‌باشند اما برای نمونه‌ای که براساس نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی تهیه شده در دورهای پایین گشتاور الگوی بالاتر و در دورهای بالا گشتاور پایین‌تر نتیجه داده می‌شود. از طرفی در نمونهٔ دوم که براساس نرخ مصرف سوخت موتور تهیه شده، شکل تغییرات به اطلاعات آزمایشگاهی نزدیک است اما در همه موارد مقادیر کمتر از مقادیر آزمایشگاهی تقریب زده شده‌اند به عبارت دیگر رفتار را بسیار بهتر نشان می‌دهد. اما دارای خطای بالاتری است. همچنین در دورهای ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰ دور بر دقیقه رفتار نمونه در هر دو حالت کاملا مشابه گزارش شده و دارای خطاهای یکسانی نسبت به نتایج آزمایشگاهی هستند.

همچنین در شکل ۲ موارد فوق برای توان اندازه‌گیری شده‌اند. مشاهده می‌شود که در حالت اول که نسبت هوا به سوخت از اطلاعات آزمایشگاهی جایگزین شده، الگو در دورهای پایین قادر به ارائه تقریب بسیار خوبی از عملکرد واقعی موتور است اما در دورهای بالا این مسئله با خطای بالاتری مواجه است. حال آنکه با درنظر گرفتن نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی، نمودار هموارتر شده اما دارای خطای بیشتری است.

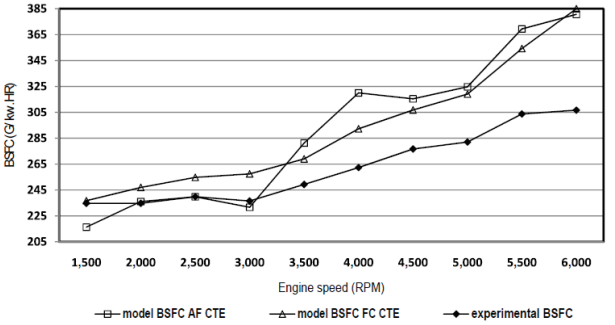
در شکل ۳ تخمین مصرف سوخت ویژه ترمزی برای حالت جایگزینی نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی، در دورهای پایین کمتر و در دورهای بالا بیشتر از مصرف سوخت ویژه ترمزی محاسبه شده در آزمایشگاه است. حال آنکه در حالت جایگزینی نرخ مصرف سوخت ثابت تمامی تقریب‌های مصرف سوخت ویژه ترمزی بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه تقریب زده شده‌اند.



شکل ۱ نمودار مقایسه‌ای گشتاور نمونه با گشتاور اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه



شکل ۲ نمودار مقایسه‌ای قدرت نمونه با قدرت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه



شکل ۳ مقایسه نتایج مصرف سوخت ویژه ترمزی شبیه‌سازی و آزمایشگاه

www.SID.ir

Archive of SID

درنتایج فوق مشاهده می‌شود در دورهای بالا، نمونه خطای بالاتری به خود گرفته. در بحث خطا تذکر این نکته ضروری است که سه متغیّر به‌عنوان مجهول مطرح و بطور همزمان بهینه‌سازی شدند می‌توان تعداد متغیّرهای مجهولی که همزمان بهینه می‌شوند روی مقدار خطا مؤثّر دانست، هرچه متغیّرهای تحت بهینه‌سازی بیشتر باشند مقدار خطا کمتر می‌شود. همچنین توجه به این نکته ضروری است که نرم‌افزار GT-POWER آثار پدیده‌هایی نظیر RAM effect و Back Flow را الگو نمی‌کند و بخشی از خطا در دورهای بالا را می‌توان ناشی از این امر دانست.[۲]

نمودارهای به‌دست آمده در حالت استفاده از مصرف سوخت ثابت هموارتر و به روند تغییرات اطلاعات آزمایشگاهی نزدیک‌ترند اما میزان خطا به ۹/۵ درصد افزایش می‌یابد. به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت نزدیک‌ترین نمونه به نمونهٔ آزمایشگاهی، نمونهٔ نسبت هوا به سوخت ثابت است.

توجه به این نکته ضروری است که می‌توان با روش‌هایی نظیر تغییر اندازه و تعداد استپها و یا نحوه حدس اولیه متغیّرها نتایج نمونه‌سازی را بهینه نمود که این مسئله در این تحقیق لحاظ نشده و می‌تواند زمینه تحقیقات بعدی باشد و با توجه به هموارتر ونزدیک‌تر بودن نمودارهای حالت مصرف سوخت ثابت، می‌توان این حالت را دارای قابلیت رسیدن به خطای کمتر دانست.

۸- بررسی تأثیر استفاده از سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها روی موتور مورد مطالعه

نمونه‌های تهیه شده در بخش قبل در این بخش استفاده می‌شود. درواقع در این بخش نمونه‌های صحه‌گذاری شده در فصل قبل را به‌عنوان نمونهٔ مبنا قرار می‌گیرد و سعی می‌شود بهترین زمان‌بندی دریچه‌ها با هدف کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی محاسبه گردد با این تفاوت که اینجا متغیّر ورودی زمان‌بندی دریچه‌های ورودی و خروجی و متغیّر خروجی مصرف سوخت موتور است.

لازم به ذکر است در نمونهٔ دارای نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی از آنجاکه زمان‌بندی دریچه‌ها منجر به تغییرات دبی هوای ورودی و در نتیجه نسبت هوا به سوخت می‌شود، متغیّر نسبت هوا به سوخت در هر دور نیز توسط نمونه تعیین می‌شود. نکته دیگر تک میل دریچه بودن موتور مورد مطالعه است که استفاده از پایش جفت‌کردن دریچه‌های ورودی و خروجی را ناگزیر می‌سازد. به همین دلیل در نمونهٔ تهیه شده تنها یک محاسبه‌گر برای زمان‌بندی دریچه‌ها موجود است که زمان‌بندی هر دو دریچه را تعیین می‌کند.[۲]

بدین‌ترتیب برمبنای خروجی الگوی GT-Power نرم‌افزار SIMULINK MATLAB برمبنای محاسبات تحلیل حساسیت ورودی‌های مناسب جهت رسیدن به الگوی دارای کمترین خطا را خروجی می‌دهد.

مسئله دیگر که در این بخش مورد مطالعه قرار می‌گیرد نحوه عملکرد الگوها در دو حالت نسبت هوا به سوخت ثابت در وضعیت فعلی و یا مصرف سوخت موتور در وضعیت فعلی است که در این تحقیق به بررسی کاهش مصرف سوخت در دو نمونهٔ تهیه شده پرداخته شده است.

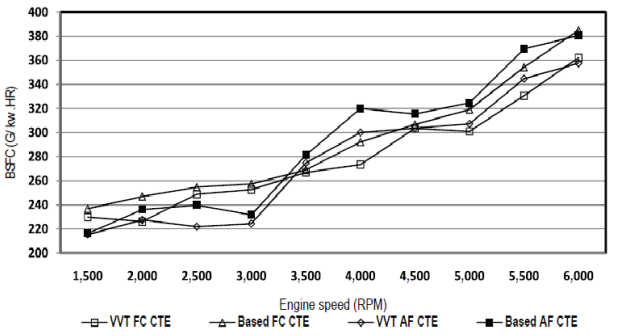
مسئله مهم در این بخش هدف‌گذاری کاهش مصرف سوخت است که این مسئله در مطالعه قبل مورد بررسی قرار گرفت و اهداف ۵ و۱۰ درصدی به‌عنوان یک هدف مناسب و معقول که دارای همگرایی مناسبی است تعیین شد[۲].

۸-۱- بررسی میزان کاهش مصرف سوخت ویژهٔ ترمزی موتور مورد مطالعه در حالت هدفگذاری کاهش ۵ درصدی برای الگوی نسبت

در این بخش توسط نرم‌افزار تلفیق GT-Power و SIMULINK-MATLAB با هدف کاهش ۵ درصدی مصرف سوخت ویژه از روش تحلیل حساسیت استفاده شده است.

در شکل ۴ ملاحظه می‌شود با استفاده از سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها مصرف سوخت ویژه در تمامی دورها کاهش می‌یابد این کاهش خصوصاً در دور موتورهای بالا قابل ملاحظه است. همچنین در دور موتورهای۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، کاهش چشمگیر است.

در حالت نمونهٔ دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی کاهش مصرف سوخت ۴/۵ درصدی و در حالت نمونهٔ دارای نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی کاهش ۴/۴۹ درصدی مشاهده شد.

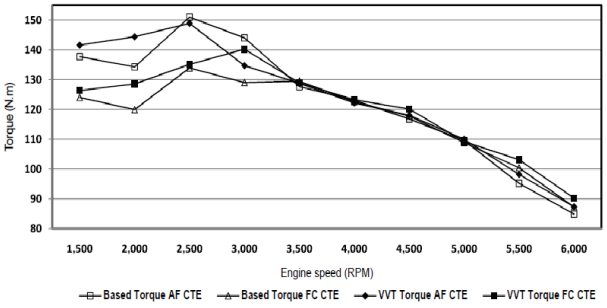


شکل ۴ نمودار تغییرات مصرف سوخت ویژه برحسب دور موتور در دو حالت استفاده از سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها و حالت بدون سامانهٔ متغیّر دریچه‌ها

www.SID.ir

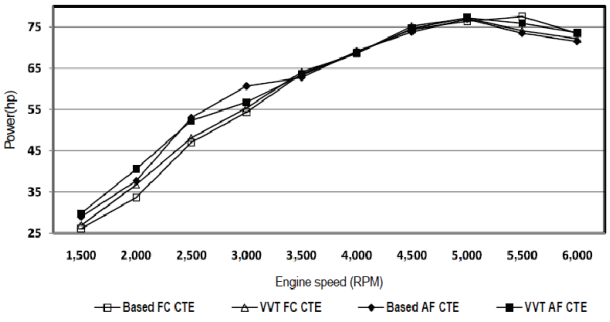
Archive of SID

از شکل ۵ مشخص می‌شود که با استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها شاهد افزایش گشتاور، تقریباً در تمامی دورها در هر دو نمونه هستیم. مقدار افزایش گشتاور در حدود ۳/۵ درصد برای نمونهٔ دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی و ۳/۹۴ درصد برای نمونهٔ دارای نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی است افزیش گشتاور در دورهای پایین نیز کاملا مشهود است همچنین نمودار گشتاور نسبت به حالت فاقد سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها بسیار هموارتر است.



شکل ۵ نمودار تغییرات گشتاور برحسب دور موتور در دو حالت استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها و حالت بدون سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها

از شکل ۶ مشخص می‌شود که با استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها شاهد افزایش قدرت تقریباً در تمامی دورها هستیم. مقدار افزایش قدرت در حدود ۳ درصد برای نمونهٔ دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی و حدود ۳/۵ درصد برای نمونهٔ دارای نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی است.



شکل ۶ نمودار تغییرات قدرت برحسب دور موتور در دو حالت استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها و حالت بدون سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها

پس از محاسبات زمان‌بندی دریچه‌ها به شکل ذیل محاسبه می‌شوند.

جدول ۲ زمان‌بندی دریچه‌ها با هدف ۵ درصد کاهش مصرف سوخت

تغییرات زمان همپوشانی در حالت الگوی نرخ جریان سوخت ثابت	تغییرات زمان همپوشانی در حالت الگوی نسبت هوا به سوخت ثابت	دور موتور (RPM)
−۱۲/۲	−۱۲/۵	۱۵۰۰
−۱۲/۴	−۱۲/۳	۲۰۰۰
۳/۰	۳/۵	۲۵۰۰
۱۴/۷	۱۵/۱	۳۰۰۰
۱۴/۶	۱۴/۵	۳۵۰۰
۱۴/۶	۱۴/۵	۴۰۰۰
۱۳/۸	۱۳/۹	۴۵۰۰
۳۰/۴	۲۹/۳	۵۰۰۰
۱۵/۷	۱۵/۵	۵۵۰۰
۱۹/۸	۱۹/۶	۶۰۰۰
۱۰/۲	۱۰/۱	میانگین تغییرات

درقسمت نهایی این بخش به محاسبه میزان بهبودهای حاصله پرداخته شده:

۱. $$\Delta BSFC\% = \frac{BSFC_{vvt} - BSFC_{\mathrm{mod}\,el}}{BSFC_{\mathrm{mod}\,el}}$$

۲. $$avg(\Delta BSFC\%) = \frac{\sum \Delta BSFC\%}{N_{RPM}}$$

که درآن:

$BSFC_{Model}$: مصرف سوخت ویژه محاسبه شده از نمونهٔ بهینه‌سازی شده

$BSFC_{vvt}$: مصرف سوخت محاسبه شده از نمونهٔ دارای سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها

$\Delta BSFC\%$: تغییرات $BSFC$ در هر دور موتور نسبت به نمونه $BSFC$

N_{RPM}: تعداد دور موتورهای مورد مطالعه (که در این تحقیق ۱۰ دور موتور است.)

پس از انجام محاسبات فوق نتایج به شکل جدول ذیل بدست می‌آید:

www.SID.ir

Archive of SID

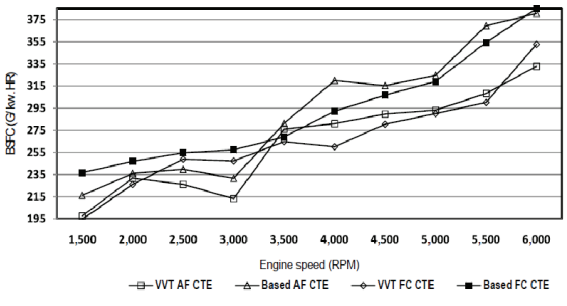
جدول ۳ کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در دور موتورهای مختلف درصورت استفاده از سامانهٔ متغیرّدریچه‌ها

دور موتور (RPM)	درصد کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در حالت الگوی نسبت هوا به سوخت ثابت	درصد کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در حالت الگوی نرخ سوخت ثابت
۱۵۰۰	٪۰/۴۵	٪۲/۹۵
۲۰۰۰	٪۳/۵۸	٪۸/۴۴
۲۵۰۰	٪۷/۳۹	٪۲/۳۰
۳۰۰۰	٪۴/۱۲	٪۱/۸۷
۳۵۰۰	٪۲/۳۱	٪۰/۷۵
۴۰۰۰	٪۶/۲۴	٪۶/۴۶
۴۵۰۰	٪۳/۷۱	٪۱/۰۴
۵۰۰۰	٪۵/۳۶	٪۵/۶۷
۵۵۰۰	٪۶/۶۹	٪۶/۶۶
۶۰۰۰	٪۶/۰۶	٪۵/۹۳
میانگین کاهش	٪۴/۴۹	٪۴/۵

٤-۲-هدف کاهش ۱۰ درصد مصرف سوخت

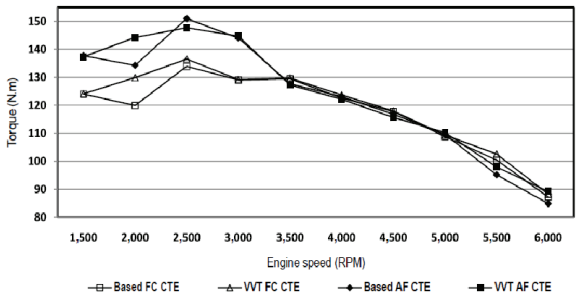
در شکل ۷ ملاحظه می‌شود که با استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها مصرف سوخت ویژه در تمامی دورها کاهش می‌یابد این کاهش خصوصاً در دور موتورهای بالا قابل ملاحظه است. همچنین در دور موتورهای۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، کاهش چشمگیر است. مقادیر محاسبه شده و هدف‌گذاری مصرف سوخت ویژه در جدول۴ آورده شده است.

از نمودار مشخص می‌شود که با استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها شاهد کاهش مصرف سوخت ویژه در تمامی دورها هستیم و مقدار کاهش در نمونهٔ جایگزینی نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی ۸/۴۹ درصد و در نمونهٔ با مصرف سوخت آزمایشگاهی در حدود ۸/۶۳ درصد است. کاهش مصرف سوخت در دورهای پایین نیز کاملا چشمگیر است.



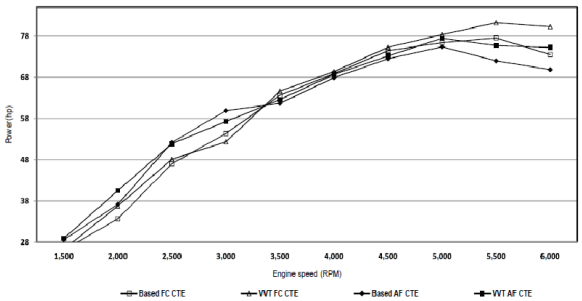
شکل ۷ نمودار تغییرات مصرف سوخت ویژه برحسب دور موتور در دو حالت استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها و حالت بدون سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها

از شکل ۸ مشخص می‌شود که با استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها شاهد افزایش گشتاور تقریباً در تمامی دورها هستیم. مقدار افزایش گشتاور در الگوی نسبت هوا به سوخت ثابت حدود ۳ درصد و در حالت نرخ مصرف سوخت ثابت در حدود ۳/۲ درصد است. افزیش گشتاور در دورهای پایین نیز کاملا مشهود است همچنین نمودار گشتاور نسبت به حالت فاقد سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها در دورهای پایین بسیار هموارتر است. اما در دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به قیمت کاهش مصرف سوخت از ارتقای گشتاور صرف‌نظر شده است. همچنین افزایش گشتاور کلی نیز با هدف کاهش مصرف سوخت تقلیل یافته است.



شکل ۸ نمودار تغییرات گشتاور برحسب دور موتور در دو حالت استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها و حالت بدون سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها

از نمودار شکل۹ مشخص می‌شود که با استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها شاهد افزایش قدرت کمتر تقریباً در تمامی دورها نسبت به حالت قبل هستیم. مقدار افزایش گشتاور در نمونهٔ دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی حدود ۲/۴۴ درصد و در نمونهٔ دارای نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی در حدود ۲/۸۳ درصد است.



شکل ۹ نمودار تغییرات قدرت برحسب دور موتور در دو حالت استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها و حالت بدون سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها

بعد از محاسبه زمان‌بندی جدید دریچه‌ها و میزان همپوشانی در صورت استفاده از سامانهٔ پایش جفتی دریچه‌ها و با فرض عدم اعمال تغییر در پروفیل میل‌بادامک در جدول ۱۰ تغییرات زمان همپوشانی دریچه‌ها در هر دور موتور آورده شده است. همپوشانی در دورهای پایین

www.SID.ir

Archive of SID

با هدف کاهش مصرف سوخت کاهش یافته و در دورهای بالا با هدف افزایش کارآیی و بازده تنفسی همپوشانی افزایش یافته است.

جدول ۴ جدول تغییرات زمان همپوشانی با هدف ۱۰ درصد کاهش مصرف سوخت

تغییرات زمان همپوشانی در حالت الگوی نرخ جریان سوخت ثابت	تغییرات زمان همپوشانی در حالت الگوی نسبت هوا به سوخت ثابت	دور موتور (RPM)
-۹/۶	-۱۰/۵	۱۵۰۰
-۱۰/۲	-۹/۸	۲۰۰۰
۶/۳	۵/۹	۲۵۰۰
۱۲/۸	۱۲/۴	۳۰۰۰
۱۴/۳	۱۴/۵	۳۵۰۰
۱۴/۴	۱۴/۵	۴۰۰۰
۱۵/۱	۱۵	۴۵۰۰
۱۷/۷	۱۷/۳	۵۰۰۰
۱۵/۸	۱۵/۶	۵۵۰۰
۱۸/۱	۱۸/۵	۶۰۰۰
۸/۲	۹/۴	میانگین تغییرات

در جدول ۵ کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در دور موتورهای مختلف درصورت استفاده از سامانهٔ متغیّردریچه‌ها با هدف کاهش ۱۰ درصدی مصرف سوخت ویژه ترمزی آورده شده است.

جدول ۵ کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در دور موتورهای مختلف درصورت استفاده از سامانهٔ متغیّردریچه‌ها

درصد کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در حالت الگوی نرخ سوخت ثابت	درصد کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در حالت الگوی نسبت هوا به سوخت ثابت	دور موتور (RPM)
٪۱۷/۷	٪۸/۴۶	۱۵۰۰
٪۸/۴۴	٪۱/۷۶	۲۰۰۰
٪۲/۳	٪۵/۶۵	۲۵۰۰
٪۳/۹۵	٪۷/۹۴	۳۰۰۰
٪۱/۵۵	٪۱/۸۳	۳۵۰۰
٪۱۰/۹۸	٪۱۲/۱۸	۴۰۰۰
٪۸/۵۸	٪۸/۱۵	۴۵۰۰
٪۹/۰۸	٪۹/۶۹	۵۰۰۰
٪۱۵/۲۵	٪۱۶/۵۴	۵۵۰۰
٪۸/۴۲	٪۱۲/۵۶	۶۰۰۰
٪۸/۶۳	٪۸/۴۹	میانگین کاهش

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق هدف نهایی ارائه یک راهکار برای حدس متغیّرهای غیرقابل اندازه‌گیری در موتور احتراق داخلی و همچنین تعیین متغیّرهای پایشی نظیر زمان‌بندی دریچه‌ها و جرقه‌زنی به منظور رسیدن به هدف خروجی بهینه است. کاربرد این کار، بهینه‌سازی الگوهای محاسباتی موتورهای احتراق داخلی و همچنین تعیین متغیّرهای مستقل کارکردی موتور نظیر زمان‌بندی دریچه‌ها و زمان‌بندی جرقه و.... است.

در مطالعه قبلی که توسط مولفان انجام شد استفاده از روش تحلیل حساسیت مورد بررسی قرار گرفت که در آن با توجه به میزان حساسیت متغیّر خروجی تحت بهینه‌سازی به متغیّر ورودی مدنظر تغییرات را اعمال نموده تا به خروجی مناسب برسد. بدین منظور به روش الگوسازی انجام شده اشاره شد، برای نیل به این هدف ابتدا یک الگوی موتور چهار زمانه بنزینی در نرم‌افزار GT-POWER تهیه شد و شرایط مرزی و اولیه آن براساس اطلاعات شرایط آزمایشگاهی و اطلاعات هندسی موتور در الگو قرار داده شد. موتور مورد بررسی موتور XU7/L3 بود.

سپس الگو برای مدیریت ورودی‌ها و خروجی‌ها، انجام محاسبات عددی و استفاده از روش تحلیل حساسیت نرم‌افزار GT-POWER نرم‌افزار SIMULINK تلفیق شد. به این ترتیب که محاسبات متغیّرهای موتور توسط نرم‌افزار GT-POWER و محاسبات متغیّرهای ورودی از تحلیل حساسیت توسط نرم‌افزار SIMULINK صورت گرفت.

در مرحلهٔ بعد روش تحلیل حساسیت روی نرم‌افزار SIMULINK پیاده‌سازی شد و بهینه‌سازی با هدف حداقل شدن خطای میانگین مربعات سه متغیّر قدرت، گشتاور و مصرف سوخت نمونه و اطلاعات آزمایشگاهی به انجام رسید.

دراین مطالعه سعی شد رفتار این نمونه با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد و بر مبنای این اصل تغییراتی در روش حل و رسیدن به پاسخ مطلوب داده شد.

این تغییرات از محدودیت‌های نرم‌افزار GT-POWER منشاء می‌گیرد، درنرم‌افزار GT-POWER دونوع افشانه قابل استفاده است یک نوع تنها نرخ مصرف سوخت و نوع دیگر تنها نسبت هوا به سوخت به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند حال آنکه هر دو متغیّر در اطلاعات آزمون موتور موجود می‌باشند. بررسی تاثیر استفاده از این دو نوع افشانه در نمونهٔ مورد بررسی، در این تحقیق گنجانده شده است همچنین نحوه رسیدن به نمونهٔ ایده‌آل بحث و بررسی شده است.

در حالت استفاده از مصرف سوخت ثابت هموارتر و به روند تغییرات اطلاعات آزمایشگاهی نزدیک‌ترند اما میزان خطا از حدود ۸ درصد در

www.SID.ir

Archive of SID

الگوی دارای نسبت هوا به سوخت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به ۹/۵ درصد در الگوی دارای نرخ مصرف سوخت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه افزایش می‌یابد. به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت نزدیک‌ترین الگو به نمونهٔ آزمایشگاهی در حالت نسبت هوا به سوخت ثابت است. اما به دلیل شباهت زیاد رفتار منحنی‌ها به منحنی‌های آزمایشگاهی در نمونهٔ دارای مصرف سوخت آزمایشگاهی و نمونهٔ تحت بهینه‌سازی زمان‌بندی دریچه‌ها قرار گرفت و نتایج آن استخراج، بررسی و مقایسه شد.

در مرحله بعد از همان بسته نرم‌افزاری استفاده شد با این تفاوت که در این قسمت هدف بهینه‌سازی زمان‌بندی دریچه‌های ورودی و خروجی بود و تابع هدف رسیدن به ۵ و ۱۰ درصد کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی است که در هدفگذاری ۵ درصدی کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی، کاهش مصرف سوخت ۴/۴۹ درصدی به همراه افزایش ۳ درصدی قدرت موتور و ۳/۵ درصدی گشتاور و برای نمونهٔ دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی، برای مصرف سوخت، کاهش ۴/۵ درصدی به همراه افزایش ۳/۵ درصدی قدرت موتور و۳/۹۴ درصدی گشتاور حاصل شد.

در هدف‌گذاری ۱۰ درصدی کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی کاهش مصرف سوخت ۸/۴۹ درصدی به همراه افزایش ۳ درصدی قدرت موتور و ۲/۴۴ درصدی گشتاور و برای نمونهٔ دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی برای مصرف سوخت کاهش ۸/۶۳ درصدی به همراه افزایش ۲/۸۳ درصدی قدرت موتور و ۳/۴۹ درصدی گشتاور حاصل شد.

از نتایج بر می‌آید در دو حالت تفاوت چندان محسوسی در میزان کاهش مصرف سوخت دیده نمی‌شود این امر نشان می‌دهد استفاده از افشانه‌ای که نسبت هوا به سوخت را ورودی می‌گیرد با افشانه‌ای که نرخ مصرف سوخت را به‌عنوان ورودی مسئله مورد استفاده قرار می‌دهد تفاوت چندانی در نتایج بهینه‌سازی زمان‌بندی دریچه‌ها ندارد.

اما با توجه به شباهت بیشتر نتایج در نمونه با افشانهٔ نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی، استفاده از این نوع افشانه ونیز تکنیک‌های همگرایی به نتایج بهتری می‌رسد.

علاوه بر موارد فوق در نمودار گشتاور بدست آمده نیز نسبت به نمودار گشتاور موتور بسیار هموارتر و با تغییرات کمتر به‌دست آمد.

از دست‌آوردهای مهم این تحقیق مشخص شدن کارایی سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها در کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی موتور XU7JP4/ L3 است. به‌دلیل پرتیراژ بودن این موتور، هر مقدار کاهش در مصرف سوخت موجب کاهش در میانگین مصرف سوخت خودروهای تولیدی شرکت ایران خودرو و همچنین کاهش قابل ملاحظه در بنزین مصرفی کشورخواهد شد. از طرفی باتوجه به قوانین کاهش مصرف سوخت مؤسسّه استاندارد، کاهش مصرف سوخت این موتور موجب ارتقا برچسب سوخت و بقا بیشتر این موتور ارزان قیمت با حاشیه سود بالا در سبد محصولات شرکت ایران‌خودرو خواهد شد. توجه به این نکته که استفاده از سامانهٔ متغیرّ دریچه‌ها نیاز به تغییر خطوط ماشینکاری استوانه و بستار نداشته و فقط تغییر جزئی ماشینکاری میل‌بادامک برای اجرا روی موتور کافی است، اهمیت این پژوهش نمایان‌تر می‌شود.

نمادها

قدرت موتوربرحسب اسب بخار	P (hp)
گشتاور موتوربرحسب نیوتن متر	T(N.m)
مصرف سوخت موتور	fc(Kg/s)
مصرف سوخت ویژه ترمزی	BSFC(Kg/Kw.hr)
دور موتور	N(RPM)

www.SID.ir

Archive of SID

References:

1. Iran standard and industrial research "national fuel consumption standard and fuel lable for gasoline engines" national standard no 4241-2 first edition,2007
2. Pishgooie,M, Reduction of fuel consumption of XU7/L3 engine using variable valve timing system, MSC thesis Iran university of science and technology, November 2010 (In Farsi)
3. Snell, J B (1971). Mechanical Engineering: Railways, Longman & Co, London
4. Ronald J Pierik and James F Burkhard "Design and Development of a Mechanical Variable Valve System" , Variable valve actuation, SAE Technical paper 2000-01-1221
5. Bin Wu, Robert G. Prucka and Zoran S. Filipi and Denise M. Kramer and Gregory L. Ohl , "Cam-Phasing Optimization Using Artificial Nural Network Surrogate Model- Maximazing output Torque"Variable Valve Timing, SAE Paper 2005-01-3757, 2005
6. G. Fontana, E. Galloni , "Variable valve timing for fuel economy improvement in a small spark-ignition engine" ,Applied Energy, Elsevier journal, 2009
7. Kasrai r. "studying the effect of using turbocharger in design and performance of CNG engines, MSC thesis Iran university of science and Technology, July 2006
8. Mohamad ebrahim a. "Samand engine manifold modeling and optimization" MSC thesis Iran university of science and Technology, November 2007
9. Petro Lab, " certificate of analysis of Iran's fuel" Iran khodro power train company (IPCO) request, July 2009
10. Kakai A.H, " Moving surface Temperature Identification With Inverse Analysis, PHD thesis, sharif university of technology, Mat 2003 (In Farsi)
11. United States Enviromental And Pollution Agency "Draft Regulatory Impact Analysis Proposed Rulemaking to Establish Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standar`ds" , EPA-420-D-09-003,September 2009
12. VALVE-ACTUATING MECHANISM FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, United States Patent 3641988 ,1960
13. Beck, J.V., Blackwell, B., St. Clair, C.R., Jr., Inverse Heat Conduction: Ill-posed Problems, John Wiley Pub., 1985.
14. Beck, J.V., Nonlinear Estimation Applied to the Nonlinear Heat Conduction Problem, Int. J. Heat & Mass Transfer, Vol. 13, pp.703-716, 1970.
15. OLIVER NELLES “Non Linear System Identification” Springer Publication ,ISBN: 3-540-67369-5,2001
16. Levenberg, K.A., A Method for the Solution of Certain Non-Linear Problems in Least Squares, Q. Appl. Math., Vol. 2, pp. 164-168, 1944.

www.SID.ir