

بررسی تأثیر استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها روی مصرف سوخت موتور XU7/L3

مقداد پیشگوی*
کارشناس ارشد مهندسی خودرو - دانشگاه علم و صنعت ایران - دانشکده مهندسی خودرو

meghdad.pishgooie@gmail.com

امیرحسین کاکایی
استادیار دانشکده مهندسی خودرو دانشگاه علم و صنعت ایران

kakai_ah@iust.ac.ir

* نویسنده مسئول تاریخ دریافت: ۹۰/۴/۱۱ پذیرش نهایی مقاله: ۹۰/۶/۳۰

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 در کشور ما نیز جهت نیل به این مقصود قوانین و استانداردهای مختلفی مصوب 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 سامانه متغیر 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 آگزوز در نرم‌افزار GT-Power الگو شده. در مرحله بعد الگوی تهیه شده در نرم‌افزار 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.

کلید واژه‌ها: GT-Power، MATLAB Simulink، تحلیل حساسیت، سامانه متغیر دریچه‌ها، مصرف سوخت ویژه ترمزی، زمان‌بندی دریچه‌ها

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 مؤسسه استاندارد ایران موتور XU7JP4/L3 فعلی تا سال ۱۳۹۰ اجازه تولید دارد که نیاز به 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 سامانه متغیر دریچه‌ها تغییر دهیم.

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 پژو پارس، سمند و پژو ۴۰۵ مورد استفاده قرار می‌گیرد. خط تولید این موتور قابلیت

تا جایی که مؤسسه 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 متمدن‌مورد نظر باید با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و امکان‌پذیری فنی استفاده از آن در کشور مدنظر قرار گیرد. همچنین متدی در اولویت است که بیشترین امکان داخل‌سازی و کمترین 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 کننده دستگاه خنک‌کاری خودرو، تلمبه فرمان و...)
۳. کاهش مصرف سوخت با کاهش ضریب درگ بدنه خودرو
۴. کاهش مصرف سوخت با کاهش مقاومت‌های غلطشی
۵. کاهش مصرف سوخت با کاهش افت‌های سامانه 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 کارمشت 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 مؤثر

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 سامانه متغیر دریچه‌ها به‌عنوان راهکارهایی که بیشترین تطابق با خواسته‌های محققین را داشتند انتخاب و به کارگیری شدند.

برای بررسی میزان کارایی سامانه متغیر دریچه‌ها در موتور مورد مطالعه ساختن یک نمونه مورد اعتماد در اولویت است. در این تحقیق ابتدا نمونه 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 صحت‌گذاری (validation) نماید. راهکاری که عموماً 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 متغیر^۱ (یا شناسایی متغیر^۲) 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 متغیر به عوامل مختلف نظیر مسیر بهینه‌سازی، محدودیت‌های نمونه‌سازی است.

پس از صحت‌گذاری 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 سامانه متغیر 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 بین‌المللی تعریف شده است. در کشور ما نیز این بحث بسیار جدی پیگیری می‌شود

۱- Parameter Estimation

۲- Parameter Identification

۱. استفاده از روانکارهایی با قابلیت کاهش اصطکاک بالاتر
۲. کاهش اصطکاکات درونی موتور
۳. استفاده از سامانه‌های متغیر دریچه‌ها
۴. از کار انداختن تعدادی از استوانه‌ها در دور و بارهای کم
۵. استفاده از سامانه پاشش مستقیم بنزین درون استوانه
۶. کاهش حجم موتور و استفاده از توربوشاژر

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 سامانه متغیر دریچه‌ها به‌عنوان تکنولوژی هدف قرار گرفت. [۲]

۲-۱- سامانه متغیر دریچه‌ها

یکی از راهکارهای کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌گی و افزایش خروجی موتور و رفع مشکل گشتاور کم در دوره‌های پایین^۱ استفاده از سامانه متغیر دریچه‌هاست. این سامانه به موتور اجازه می‌دهد در دوره‌های 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 بر مبنای آن شکل میل‌بادامک طراحی می‌شد. این کار موجب محدود شدن گشتاور در دوره‌های پایین و یا قدرت در دوره‌های بالا می‌شد. جهت رفع این مشکل سامانه‌های متغیر دریچه‌ها طراحی شدند، این سامانه‌ها زمان‌بندی و تحریک مناسب برای دریچه‌ها در دوره‌های 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 دوره‌های 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 متغیر دریچه‌ها در واقع در دوره‌های پایین زمان‌بندی مناسب جهت کاهش آلاینده‌های تولیدی موتور و در دوره‌های 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- Low end Torque

- 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 اصطکاک اجزای موتور

افزایش نسبت انبساط مؤثر می‌تواند از طریق استفاده از نسبت تراکم بالاتر و یا استفاده از نسبت تراکم متغیر 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 و کاهش ضرایب اصطکاک راهگاه‌های ورودی و خروجی، کاهش حجم و دور موتور و ... صورت گیرد. کاهش تلفات متراکم نمودن هوا با بهینه‌سازی هندسه موتور و ... صورت می‌گیرد و کاهش تلفات اصطکاک نیز با کاهش ضریب اصطکاک و یا بار عمودی وارد بر سطوح قابل دسترسی است.

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

۱. سامانه متغیر دریچه‌ها^۱
۲. کاهش اصطکاک‌های داخلی موتور^۲
۳. سامانه پاشش مستقیم سوخت (GDI)^۳
۴. کاهش حجم موتور و استفاده از پرخوران^۴
۵. استفاده از سامانه متغیر نسبت تراکم^۵
۶. استفاده از سامانه غیرفعال سازی استوانه‌ها^۶

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

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

- 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

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

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

تغییر زمان‌بندی و تحریک دریچه‌ها و ایجاد بهترین زمان‌بندی و تحریک بر مبنای دور و بار موتور در هنگام عملکرد آن توسط سامانه متغیر دریچه‌ها انجام می‌شود. از ابتدای ابداع تاکنون این سامانه تغییرات و تکامل‌های گوناگونی روی آن انجام شده اولین نمونه‌های سامانه متغیر دریچه‌ها در قرن نوزدهم روی موتورهای بخار و موتور لوکوموتیوها بکار گرفته شد، کار این سامانه قطع جریان بخار به داخل استوانه در دوره‌های مختلف و بطور متغیر 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 سامانه در کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌گی و ارتقای عملکرد موتور و به دلیل وضع قوانین کاهش آلاینده‌گی و مصرف سوخت در جهان خودروسازانی نظیر هوندا، جنرال موتورز و فورد به تدریج این سامانه را در موتورهای تولیدیشان به کار بردند و امروزه استفاده از این سامانه 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. سامانه پایش دریچه‌های ورودی^۲

الف. سامانه‌های پایش دریچه‌های خروجی^۳

ب. سامانه‌های پایش دریچه‌های ورودی و خروجی

۲. تقسیم‌بندی از لحاظ پایش پیوسته یا گسسته

الف. پایش پیوسته دریچه‌ها^۴

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)

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 و ایجاد 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 سامانه متغیر تحریک استفاده می‌شود و یا از یک ساختار زمان‌بندی که تغییر فاز میل‌بادامک را پایش می‌کند استفاده می‌شود. این سامانه در واقع یک سامانه متغیر سرعت میل‌بادامک است که توسط سامانه مدیریت موتور پایش می‌شود، سامانه 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 سامانه 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 سامانه زمان‌بندی متغیر دریچه‌ها را ندارد.

۳- ادبیات موضوع

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

روبرت و همکارانش در سال ۲۰۰۵ بهینه‌سازی زمان‌بندی دریچه‌ها

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)

۴- نمونه GT-Power تهیه شده

برای بررسی تأثیر استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها در موتور مورد مطالعه ابتدا به یک نمونه قابل اعتماد نیازمندیم، در تحقیق قبل این الگوی برای موتور مورد مطالعه تهیه شد [۲]. پس از تهیه نمونه به متغیرهایی برخورد می‌شود که یا قابل محاسبه مستقیم نیستند و یا محاسبه آنها بسیار مشکل و هزینه‌بر است، که این متغیرها 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، سراسوانه و سمبه، لقی دریچه ورودی و خروجی، و دمای مسیر خروجی دود.

در عمده تحقیقات گذشته مورد بررسی قرار گرفته این متغیرها حدس زده می‌شود و سپس با سعی و خطا روی آنها سعی می‌شود 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 صحت‌گذاری 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 عملاً 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^۲ انجام می‌شود.

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

هندسه 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

را با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه کردند. موتور هدف این مطالعه یک موتور بنزینی دو میل دریچه مجهز به سامانه متغیر دریچه‌ها از نوع سامانه متغیر 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 دریچه تمام باز گاز تعیین شد. متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده در این مطالعه زمان‌بندی دریچه‌های ورودی و خروجی، زمان‌بندی جرقه و نسبت هوا و سوخت بودند. سپس، میزان حساسیت نمونه به متغیرهای مستقل و وابسته بررسی شد. متغیر 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 دوره‌های 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 سامانه پیوسته متغیر دریچه‌ها را پیشنهاد کردند. سامانه متغیر پیوسته زمان‌بندی دریچه‌ها با ایجاد عمل معکوس چرخه 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 متغیر شده‌اند. سامانه به کار 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

۳- از بخش‌های نرم‌افزار MATLAB

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 لگام ترمز شرکت ایپکو

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

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

$$\frac{\partial S}{\partial \bar{P}} = 0 \quad (۴)$$

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

$$\mathbf{X}^T \mathbf{W} (\bar{T}^m - \bar{T}^c) = 0 \quad (۵)$$

که در آن \mathbf{X} ماتریس حساسیت نامیده می شود:

$$\mathbf{X} = \left[\frac{\partial \bar{T}^{ct}}{\partial \bar{P}} \right]^T \quad (۶)$$

برای بهینه سازی لازم است که \bar{T}^c نیز به عنوان تابعی از \bar{P} دیده شود. چنانچه فرض شود که \bar{P} معلوم است ولی در معادله (۵) صدق نمی کند لازم است تغییری معادل $\Delta \bar{P}$ بنماید. در این صورت با استفاده از سری تیلور و صرف نظر کردن از جملات درجه بالا می توان رابطه زیر را برای تغییر \bar{T}^c نوشت:

$$\bar{T}^{c,k+1} = \bar{T}^{c,k} + \mathbf{X} \Delta \bar{P} \quad (۷)$$

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

$$\mathbf{X}^T \mathbf{W} (\bar{T}^m - \bar{T}^c) = \mathbf{X}^T \mathbf{X} \Delta \bar{P} \quad (۸)$$

بدین ترتیب معادله ای برای تصحیح \bar{P} بدست آمد. بر این اساس روش حل مسئله معکوس به صورت زیر خواهد بود.

الگوریتم پایه

۱- \bar{P} حدس زده می شود؛

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

۳- مقادیر میدان در نقاط اندازه گیری، \bar{T}^c ، بدست می آید؛

۴- S محاسبه می گردد؛

۵- ماتریس حساسیت، \mathbf{X} ، تعیین می شود؛

۶- معادله (۸-۳) برای تعیین $\Delta \bar{P}$ حل می شود؛

۷- \bar{P} تصحیح می شود؛

۸- معادله مستقیم حاکم حل می شود و میدان مورد نظر در زمان مورد نظر تعیین می شود؛

۹- مقادیر میدان در نقاط اندازه گیری، \bar{T}^c ، بدست می آید؛

۱۰- S محاسبه؛

۵- روش تحلیل حساسیت

در این بخش مباحث ریاضی الگوسازی آورده شده است.

در مسئله معکوس، هدف کمینه کردن جمع مربعات زیر می باشد:

$$S = (\bar{T}^m - \bar{T}^c)^T \mathbf{W} (\bar{T}^m - \bar{T}^c) \quad (۱)$$

این مجموع تابعی از متغیر مجهول \bar{P} می باشد. به عنوان مثال این متغیر مجهول در این تحقیق همان متغیرهای مجهول یا غیرقابل اندازه گیری موتور هستند. بدین ترتیب به طور کلی می توان متغیر مجهول را به طور زیر در نظر گرفت:

$$\bar{P} = [\bar{P}_1 \quad \bar{P}_2 \quad \dots \quad \bar{P}_n]^T \quad (۲)$$

که در آن \bar{P}_n مقدار متغیر مجهول در بازه زمانی n ام است و به صورت زیر می باشد:

$$\bar{P}_n = [P_{n,1} \quad P_{n,2} \quad \dots \quad P_{n,L}]^T \quad (۳)$$

که در آن پارمتر مجهول l ام در بازه زمانی n ام می باشد. بدین ترتیب با توجه به اینکه این متغیر با در نظر گرفتن معادله حاکم بر مسئله مقدار \bar{T}^c را تغییر می دهد می توان S ، را تابعی از متغیر \bar{P} دانست. [۱۰]

استفاده از دیدگاه‌های مختلف روش‌هایی مناسب برای انتخاب این متغیر 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]:

$$S = (\bar{T}^m - \bar{T}^c)^T \mathbf{W} (\bar{T}^m - \bar{T}^c) + \nu^k (\bar{P} - \bar{P}^k)^T \Omega^k (\bar{P} - \bar{P}^k) \quad (12)$$

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

$$\mathbf{X}^T \mathbf{W} (\bar{T}^m - \bar{T}^c) = (\mathbf{X}^T \mathbf{W} \mathbf{X} + \nu^k \Omega^k) \Delta \bar{P} \quad (13)$$

۶- تلفیق نرم‌افزار GT-Power و SIMULINK و MATLAB

در بخش‌های 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 متغیرهای 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-PO-ER دارای یک بهینه‌ساز است که کاملاً درون خود نرم‌افزار عمل می‌کند و از محیط و نحوه عملکرد آن اطلاعاتی توسط شرکت طراح نرم‌افزار ارائه نشده و عملاً نحوه 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 متغیر 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.

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

$$\|\Delta \bar{P}\| < \varepsilon_1 \quad (9)$$

$$S < \varepsilon_2$$

$$\left| \frac{S^{k+1} - S^k}{S^k} \right| < \varepsilon_3 \quad (10)$$

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 معمولاً به‌عنوان مبنا در روش‌های مبتنی بر خطی‌سازی می‌باشند. هنگامی که مقادیر \bar{P} و \bar{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. مؤلفه سطر i و ستون j طبق تعریف برای یک مسئله فراگیر از رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$X_{i,j} = \frac{\partial T_{n_1,m}^c}{\partial P_{n_2,l}}$$

که در آن $n_2 = 1, 2, \dots, N$ ، $m = 1, 2, \dots, M$ ، $i = (n_1 - 1)M + m$ ، $n_1 = 1, 2, \dots, N$ ، $j = (n_2 - 1)L + l$ ، $l = 1, 2, \dots, L$ 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 مؤلفه از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$X_{i,j} = \frac{T_{n_1,m}^c(P_{n_2,l}(1+\varepsilon)) - T_{n_1,m}^c(P_{n_2,l})}{\varepsilon P_{n_2,l}} \quad (11)$$

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

۵- روش‌های انتخاب متغیر

در انتخاب متغیر تنظیم روش‌های مختلفی وجود دارد. در برخی از مراجع این مقدار را کوچک و ثابت فرض می‌کنند. لیکن می‌توان با

۱- Levenberg

۲- Damped Least Square

را ندارد. البته GT-POWER دارای یک بهینه‌ساز است که کاملاً درون خود نرم‌افزار عمل می‌کند و از محیط و نحوه عملکرد آن اطلاعاتی توسط شرکت طراح نرم‌افزار ارائه نشده و عملاً نحوه بهینه‌سازی مجهول است.

برای بهینه‌سازی و برنامه‌نویسی مناسب در این زمینه از جفت کردن 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 متغیرهای مجهول حاصل شود. اساس بهینه‌سازی بر پایه میزان حساسیت خروجی الگو به تغییرات ورودی استوار است. نمونه 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 حدس زده 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 و مصرف سوخت) با ورودی‌ها مورد بررسی قرار گرفته و سپس شرایط اولیه نزدیک حدس زده شده‌اند.

برای این منظور از روش تحلیل حساسیت استفاده شد و یک غربالگری^۲ اولیه روی متغیرهای مجهول و با غیر قابل اندازه‌گیری دقیق انجام شد [۲]. غربالگری با استفاده از تغییرات ورودی‌های مورد نظر در همسایگی مقادیر مبنای استفاده از نرم‌افزار انجام شد. سرانجام از میان این متغیرها، نشان داده شد که الگو به سه متغیر اول، دمای قسمت ورودی، فشار قسمت ورودی و ضریب اصطکاک چنדרاهه، حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. بنابراین این سه متغیر 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

برای برقراری ارتباط بین نرم‌افزار GT-POWER و SIMULINK در کتابخانه^۱ نرم‌افزار GT-POWER سه شی^۲ در نظر گرفته 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 متغیرهای خروجی متصل شوند. از میان خروجی‌های مد نظر در این مطالعه، توان، گشتاور و دور موتور از بخش ENGINE CRANK TRAIN (زنجیره میل‌لنگ موتور) و خروجی مصرف سوخت از بخش INJECTOR اخذ می‌شود. برای مدیریت بر متغیرهای ورودی به الگو نیز باید عملگرها به متغیرهای 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 سامانه سیم‌کشی در حالت SIMULINK قرار گیرد. پس از اعمال این ارتباطات در کتابخانه SIMULINK یک شی به نام GT-MODEL قرار می‌گیرد و ورودی‌ها و خروجی‌ها به ترتیب شماره آنها در عضو سیم‌کشی به آن متصل می‌گردند و عملیات مد نظر در محیط مربوطه قابل برنامه‌ریزی است [۲].

۷- مرحله اول - 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. هندسه موتور از نقشه‌های چنדרاهه‌های ورودی و خروجی، محفظه احتراق و اطلاعات هندسه سمبه و میل‌لنگ و دسته 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 بنزین سوپر 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

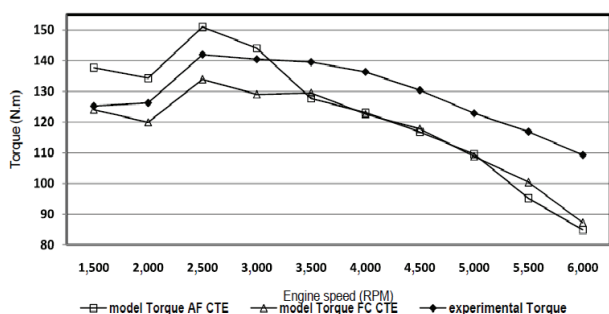
۱- library

۲- object

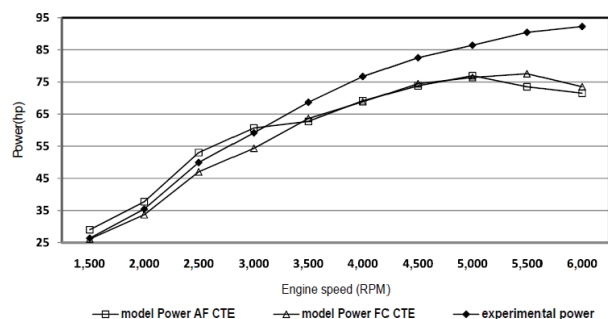
۳- Screening

بسیار خوبی از عملکرد واقعی موتور است اما در دوره‌های بالا این مسئله با خطای بالاتری مواجه است. حال آنکه با در نظر گرفتن نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی، نمودار هموارتر شده اما دارای خطای بیشتری است.

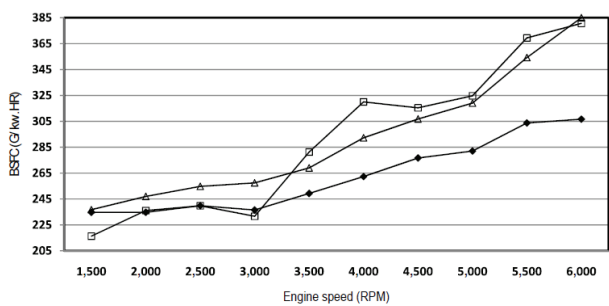
در شکل ۳ تخمین مصرف سوخت ویژه ترمزی برای حالت جایگزینی نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی، در دوره‌های پایین کمتر و در دوره‌های بالا بیشتر از مصرف سوخت ویژه ترمزی محاسبه شده در آزمایشگاه است. حال آنکه در حالت جایگزینی نرخ مصرف سوخت ثابت تمامی تقریب‌های مصرف سوخت ویژه ترمزی بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در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

برای هر متغیر محاسبه گردد.

روش تحلیل معکوس بسیار تمایل به واگرایی دارد، واگرایی این روش به حدس اولیه، تعداد و مقدار استپ‌ها بستگی دارد. در تحقیق قبل در ابتدا بهینه‌سازی روی یک متغیر 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 میانگین ۱۱/۸۱۵ 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].

در نرم‌افزار 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 هر دو متغیر در اطلاعات آزمون موتور موجود می‌باشند. در این تحقیق بررسی تأثیر استفاده از این دو نوع افشانه در نمونه مورد بررسی در تحقیق گنجانده شده است همچنین نحوه رسیدن به نمونه ایده‌آل مورد بحث قرار گرفته است.

در شکل ۱ نحوه 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 دوره‌های پایین گشتاور بالاتر و در دوره‌های بالا گشتاور پایین‌تر نتیجه داده می‌شود. از طرفی در نمونه 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 دوره‌های ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰ دور بر دقیقه رفتار نمونه در هر دو حالت کاملاً 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 دوره‌های پایین قادر به ارائه تقریب

هر دو دریچه را تعیین می‌کند. [۲]

بدین ترتیب بر مبنای خروجی الگوی GT-Power نرم‌افزار SIMULINK MATLAB بر مبنای 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 نمونه تهیه شده پرداخته شده است.

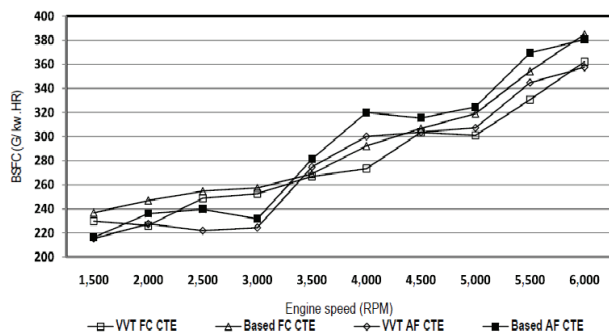
مسئله مهم در این بخش هدف‌گذاری کاهش مصرف سوخت است که این مسئله در مطالعه قبل مورد بررسی قرار گرفت و اهداف ۵ و ۱۰ درصدی به‌عنوان یک هدف مناسب و معقول که دارای همگرایی مناسبی است تعیین شد [۲].

۸-۱- بررسی میزان کاهش مصرف سوخت ویژه 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 سامانه متغیر دریچه‌ها مصرف سوخت ویژه در تمامی دورها کاهش می‌یابد این کاهش خصوصاً در دور موتورهای بالا قابل ملاحظه است. همچنین در دور موتورهای ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، کاهش چشمگیر است.

در حالت نمونه دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی کاهش مصرف سوخت ۴/۵ درصدی و در حالت نمونه 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 سامانه متغیر دریچه‌ها و حالت بدون سامانه متغیر دریچه‌ها

در نتایج فوق مشاهده می‌شود در دورهای بالا، نمونه خطای بالاتری به خود گرفته. در بحث خطا تذکر این نکته ضروری است که سه متغیر به‌عنوان مجهول مطرح و بطور همزمان بهینه‌سازی شدند می‌توان تعداد متغیرهای مجهولی که همزمان بهینه می‌شوند روی مقدار خطا مؤثر دانست، هرچه متغیرهای 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 نمونه آزمایشگاهی، نمونه 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 متغیرها نتایج نمونه‌سازی را بهینه نمود که این مسئله در این تحقیق لحاظ نشده و می‌تواند زمینه تحقیقات بعدی باشد و با توجه به هموارتر و نزدیک‌تر بودن نمودارهای حالت مصرف سوخت ثابت، می‌توان این حالت را دارای قابلیت رسیدن به خطای کمتر دانست.

۸-۲- بررسی تأثیر استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها روی موتور مورد مطالعه

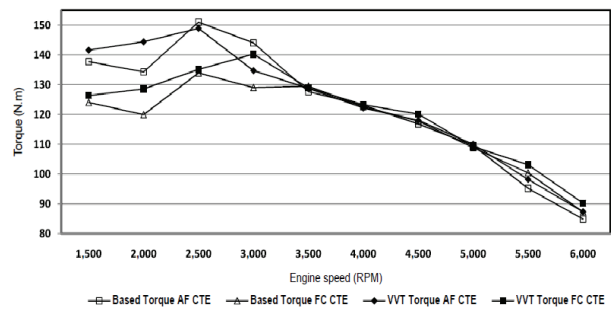
نمونه‌های تهیه شده در بخش قبل در این بخش استفاده می‌شود. در واقع در این بخش نمونه‌های صحه‌گذاری شده در فصل قبل را به‌عنوان نمونه مبنا قرار می‌گیرد و سعی می‌شود بهترین زمان بندی دریچه‌ها با هدف کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی محاسبه گردد با این تفاوت که اینجا متغیر ورودی زمان بندی دریچه‌های ورودی و خروجی و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

لازم به ذکر است در نمونه دارای نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی از آنجاکه زمان بندی دریچه‌ها منجر به تغییرات دبی هوای ورودی و در نتیجه نسبت هوا به سوخت می‌شود، متغیر 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 جفت کردن دریچه‌های ورودی و خروجی را ناگزیر می‌سازد. به همین دلیل در نمونه تهیه شده تنها یک محاسبه‌گر برای زمان بندی دریچه‌ها موجود است که زمان بندی

جدول ۲ زمان‌بندی دریچه‌ها با هدف ۵ درصد کاهش مصرف سوخت

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

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



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

در قسمت نهایی این بخش به محاسبه میزان بهبودهای حاصله

پرداخته شده:

$$\Delta BSFC\% = \frac{BSFC_{vvt} - BSFC_{mod\ et}}{BSFC_{mod\ et}} \quad ۱$$

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

که در آن:

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

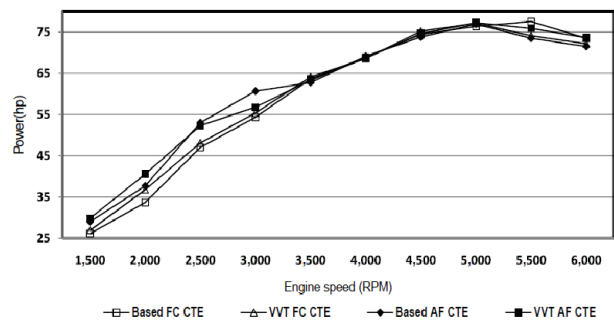
$BSFC_{vvt}$: مصرف سوخت محاسبه شده از نمونه دارای سامانه متغیر دریچه‌ها

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

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:

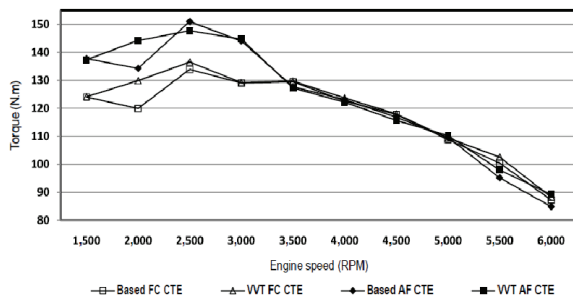
از شکل ۶ مشخص می‌شود که با استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها شاهد افزایش قدرت تقریباً در تمامی دورها هستیم. مقدار افزایش قدرت در حدود ۳ درصد برای نمونه دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی و حدود ۳/۵ درصد برای نمونه دارای نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی است.



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

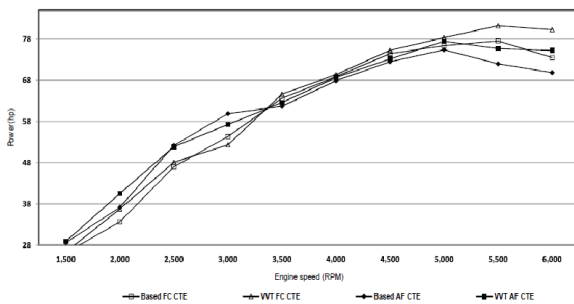
پس از محاسبات زمان‌بندی دریچه‌ها به شکل ذیل محاسبه می‌شوند.

از شکل ۸ مشخص می‌شود که با استفاده از سامانه متغیر 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. افزایش گشتاور در دورهای پایین نیز کاملاً مشهود است همچنین نمودار گشتاور نسبت به حالت فاقد سامانه متغیر دریچه‌ها در دورهای پایین بسیار هموارتر است. اما در دور ۳۰۰۰ 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 سامانه متغیر دریچه‌ها و حالت بدون سامانه متغیر دریچه‌ها

از نمودار شکل ۹ مشخص می‌شود که با استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها شاهد افزایش قدرت کمتر تقریباً در تمامی دورها نسبت به حالت قبل هستیم. مقدار افزایش گشتاور در نمونه دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی حدود ۲/۴۴ درصد و در نمونه دارای نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی در حدود ۲/۸۳ درصد است.



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

بعد از محاسبه زمان‌بندی جدید دریچه‌ها و میزان همپوشانی در صورت استفاده از سامانه 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

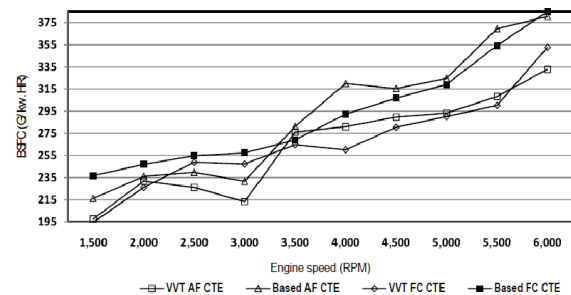
جدول ۳ کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در دور موتورهای مختلف در صورت استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها

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٪

۴-۲-هدف کاهش ۱۰ درصد مصرف سوخت

در شکل ۷ ملاحظه می‌شود که با استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها مصرف سوخت ویژه در تمامی دورها کاهش می‌یابد این کاهش خصوصاً در دور موتورهای بالا قابل ملاحظه است. همچنین در دور موتورهای ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، کاهش چشمگیر است. مقادیر محاسبه شده و هدف‌گذاری مصرف سوخت ویژه در جدول ۴ آورده شده است.

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



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

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

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

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

در جدول ۵ کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در دور موتورهای مختلف در صورت استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها با هدف کاهش ۱۰ درصدی مصرف سوخت ویژه ترمزی آورده شده است.

جدول ۵ کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در دور موتورهای مختلف در صورت استفاده از سامانه متغیر دریچه‌ها

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	٪۸/۴۶	٪۱۷/۷
۲۰۰۰	٪۱/۷۶	٪۸/۴۴
۲۵۰۰	٪۵/۶۵	٪۲/۳
۳۰۰۰	٪۷/۹۴	٪۳/۹۵
۳۵۰۰	٪۱/۸۳	٪۱/۵۵
۴۰۰۰	٪۱۲/۱۸	٪۱۰/۹۸
۴۵۰۰	٪۸/۱۵	٪۸/۵۸
۵۰۰۰	٪۹/۶۹	٪۹/۰۸
۵۵۰۰	٪۱۶/۵۴	٪۱۵/۲۵
۶۰۰۰	٪۱۲/۵۶	٪۸/۴۲
میانگین کاهش	٪۸/۴۹	٪۸/۶۳

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق هدف نهایی ارائه یک راهکار برای حدس متغیرهای غیرقابل اندازه‌گیری در موتور احتراق داخلی و همچنین تعیین متغیرهای 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 متغیرهای 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 متغیر خروجی تحت بهینه‌سازی به متغیر 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 متغیرهای موتور توسط نرم‌افزار GT-POWER و محاسبات متغیرهای ورودی از تحلیل حساسیت توسط نرم‌افزار SIMULINK صورت گرفت.

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

در این 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، در نرم‌افزار GT-POWER دو نوع 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 متغیر در اطلاعات آزمون موتور موجود می‌باشند. بررسی تأثیر استفاده از این دو نوع افشانه در نمونه مورد بررسی، در این تحقیق گنجانده شده است همچنین نحوه رسیدن به نمونه 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

اما با توجه به شباهت بیشتر نتایج در نمونه با افشانه نرخ مصرف سوخت آزمایشگاهی، استفاده از این نوع افشانه و نیز 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 به دست آمد.

از دست‌آوردهای مهم این تحقیق مشخص شدن کارایی سامانه متغیر دریچه‌ها در کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی موتور XU7JP4/L3 است. به دلیل 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 کشور خواهد شد. از طرفی با توجه به قوانین کاهش مصرف سوخت مؤسسه استاندارد، کاهش مصرف سوخت این موتور موجب ارتقا برچسب سوخت و بقا بیشتر این موتور ارزان قیمت با حاشیه سود بالا در سید محصولات شرکت ایران خودرو خواهد شد. توجه به این نکته که استفاده از سامانه متغیر 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 نمایان تر می‌شود.

نمادها

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

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 نمونه آزمایشگاهی در حالت نسبت هوا به سوخت ثابت است. اما به دلیل شباهت زیاد رفتار منحنی‌ها به منحنی‌های آزمایشگاهی در نمونه دارای مصرف سوخت آزمایشگاهی و نمونه 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 نمونه دارای نسبت هوا به سوخت آزمایشگاهی، برای مصرف سوخت، کاهش ۴/۵ درصدی به همراه افزایش ۳/۵ درصدی قدرت موتور و ۳/۹۴ 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 نمونه 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.

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.

The Effect of Using Variable Valve System on XU7/L3 Engine

M. Pishgooie*

Gratuante student
School of Automotive Engineering
Iran University of Science and Technology
meghdad.pishgooie@gmail.com

A. H. Kakai

Assistant Professor
School of Automotive Engineering
Iran university of Science and Technology
kakai_ah@iust.ac.ir

*Corresponding Authors

Received: July, 02, 2011

Accepted in Revised Form: Sep. 23, 2011

Abstract

Considering the world fuel crisis and need for more efficient internal combustion engines different fuel consumption reduction methods has been developed. For this purpose several law and standards has been adopted in our country. In this study XU7/L3 engine is one of Peugeot products which is Iran's second most produced engine has been chosen as case study. Using variable valve timing is one of fuel consumption reduction methods that can be applied to the engine, in this method depending on engine operation condition, inlet and exhaust valve timing change to enhance volumetric efficiency, fuel economy and engine performance. In first part of the study all parts of the engine were modeled in GT-Power software, in next stage GT-Power was coupled with SIMULINK MATLAB which controls the input and output parameters. Putting forward a suitable target function for brake specific fuel consumption (BSFC) optimum valve timing for the engine was calculated for best fuel economy. And maximum achievable fuel economy using variable valve timing in the engine was calculated. In the study newly invented method for model optimization in previous studies was completed.

Keywords: *GT-Power, SIMULINK MATLAB, Sensitivity Analysis, Variable Valve Timing, Brake Specific Fuel Consumption, Valve Timing*