

پایان نامه کارشناسی ارشد

دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک - گرایش سیستم محرکه خودرو

بررسی پیشبرد مشخصه‌های خانواده موتور ملی به کمک

سامانه زمان بندی متغیر پیوسته دریچه‌ها

دانشجو: امیرحسین پریور-۸۷۰۲۵۱۴

استاد راهنما: آقای دکتر سید علی جزایری

تابستان ۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیر و تشکر

باحمد و سپاس فراوان از خداوند سبحان که هر نصرت و توفیقی از اوست، بر خود لازم می‌دانم که از زحمات استاد گرانقدر جناب آقای دکتر جزایری تشکر نموده و از خداوند متعال توفیق روز افزون و طول عمر این استاد فرهیخته را خواستار باشم.

همچنین از جناب آقای مهندس کرباسفروش‌ها که سرپرستی پایان‌نامه این جانب را در مرکز تحقیقات موتور به‌عهده داشته و همواره از راهنمایی‌های ایشان بهره‌مند بوده‌ام، صمیمانه قدردانی نموده و نیز از سایر مدیران و کارشناسان شرکت ایپکو از جمله آقایان: مهندس ایزانلو، مهندس شفیعی، مهندس غفوری، مهندس رستمی، مهندس مومنی، مهندس کاملی، مهندس اسدی، مهندس نادرپور و تکنیسین‌های محترم آقایان گلشن و کاهه تقدیر و تشکر می‌نمایم. همچنین از مدیریت آزمایشگاه شرکت ایپکو که فرصت انجام آزمون را برای این جانب فراهم آوردند و نیز از اداره پژوهش و فناوری شرکت ایپکو قدردانی می‌نمایم.

چکیده

امروزه یکی از متداول‌ترین راه‌های بهبود مشخصه‌های موتورهای احتراق داخلی، استفاده از سامانه‌های عملکرد متغیر دریچه‌هاست. در میان این سامانه‌ها، سامانه زمان بندی متغیر پیوسته دریچه‌ها، به دلیل سهولت به کارگیری در موتور، و نیز امکان بهبود قابل توجه شاخص‌های عملکردی، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پایان‌نامه به بررسی اثرات به کارگیری این سامانه در حالات مختلف از نظر نحوه قرارگیری بر روی میل بادامک‌های ورودی و یا خروجی برای خانواده موتورهای ملی یعنی موتور پرخورانی شده و موتور تنفس طبیعی پرداخته شده است. شبیه سازی موتور پرخوران در دو حالت گاز و بنزین سوز و شبیه سازی موتور تنفس طبیعی در حالت بنزین سوز انجام پذیرفته است. به منظور صحت گذاری نتایج شبیه سازی، آزمون‌های نیز بر روی موتور پرخوران ملی در دو حالت گاز و بنزین سوز انجام پذیرفته است که مطابق شبیه سازی، حاکی از بهبود بسیار چشمگیر گشتاور موتور در حالت تمام بار در دورهای کم دارد. همچنین برای موتور تنفس طبیعی در حالت تمام بار استفاده از دو عملگر زبمپ و اثر استفاده سامانه مذکور در چرخه رانندگی اروپایی، همچنین ترکیب اثر به کارگیری سامانه گشودگی متغیر دریچه‌ها به کمک تعویض بادامک دو مرحله‌ای، به همراه سامانه زمان بندی متغیر پیوسته، بر روی میل بادامک هوا در نقاط کاری چرخه رانندگی اروپایی بر مصرف سوخت موتور، دیگر مواردی است که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

فهرست مطالب

| | |
|-----|--|
| ۱۲ | فصل اول: معرفی نرم افزار مورد استفاده و معرفی مشخصات موتور پرخوران |
| ۱۳ | ۱-۱- معرفی نرم افزار GT-Power |
| ۱۳ | ۱-۱-۱- علل انتخاب نرم افزار GT-Power |
| ۱۵ | ۱-۱-۲- الگوی احتراقی |
| ۱۷ | ۱-۱-۳- انتخاب طول شبکه |
| ۱۹ | ۲-۱- معرفی موتور پرخوران |
| ۲۲ | ۱-۲-۱- محدودیت‌های موتور پرخوران |
| ۲۶ | ۲-۲-۱- توان مصرفی سامانه CVVT |
| ۳۰ | فصل دوم: بهبود مشخصه های عملکردی موتور پرخوران |
| ۳۱ | ۱-۲- معرفی راهبرد بهبود در مشخصه ها و روش تغییر متغیرهای شبیه سازی |
| ۳۵ | ۲-۲- تشریح آزمون انجام شده و صحت گذاری نتایج با شبیه سازی |
| ۳۵ | ۱-۲-۲- معرفی آزمون انجام شده و شرایط آن |
| ۳۹ | ۲-۲-۲- نتایج آزمون و شبیه سازی در حالت گاز سوز |
| ۵۸ | ۳-۲-۲- نتایج آزمون و شبیه سازی در حالت بنزین سوز |
| ۶۸ | ۳-۲- بررسی نتایج شبیه سازی بهبود مشخصه‌های موتور پرخوران در تمام بار با فرض استفاده از دو عملگر CVVT و بررسی امکان کاهش حجم موتور |
| ۷۳ | فصل سوم: بهبود مشخصه‌های عملکردی موتور تنفس طبیعی در تمام بار و کاهش مصرف سوخت در چرخه رانندگی اروپایی به کمک سامانه زبمپ هوا و دود |
| ۷۵ | ۱-۳- شبیه سازی تاثیر عملگر دوتایی زبمپ بر گشتاور تمام بار |
| ۸۱ | ۲-۳- معادل سازی چرخه رانندگی NEDC با نقاط کاری موتور |
| ۸۵ | ۳-۳- اثر تغییر فشار محیط بر اندازه‌گیری میزان مصرف سوخت و آلاینده NO _x خودرو در چرخه رانندگی |
| ۸۸ | ۴-۳- شبیه سازی تاثیر عملگر دوتایی زبمپ بر مصرف سوخت در چرخه رانندگی NEDC |
| ۹۲ | فصل چهارم: معرفی چرخه میلر و بهبود مشخصه‌های عملکردی به کمک سامانه زبمپ و تعویض بادامک دو مرحله‌ای در چرخه رانندگی اروپایی |
| ۹۳ | ۱-۴- معرفی سامانه‌های تعویض بادامک |
| ۹۶ | ۲-۴- سامانه‌های تعویض بادامک و چرخه میلر |
| ۱۰۱ | ۳-۴- کاهش مصرف سوخت در چرخه رانندگی NEDC به کمک سامانه تعویض بادامک دو مرحله‌ای و سامانه زبمپ بر روی میل بادامک هوا |
| ۱۱۴ | طرح‌های پیشنهادی |
| ۱۱۵ | مقالات ارایه شده |
| ۱۱۶ | منابع |

فهرست شکل‌ها و جدول‌ها

| صفحه | عنوان شکل | شماره شکل |
|------|--|-----------|
| ۱۷ | مدل یک بعدی موتور پرخوران EF7 ساخته شده در نرم افزار GT-Power | ۱-۱ |
| ۱۸ | اثر اندازه شبکه راهگاه‌های ورودی و خروجی بر زمان اجرای برنامه | ۱-۲ |
| ۱۸ | اثر اندازه شبکه راهگاه‌های ورودی بر مشخصه های موتور همراه با زمان اجرای برنامه | ۱-۳ |
| ۱۹ | اثر اندازه شبکه راهگاه های خروجی بر مشخصه های موتور همراه با زمان اجرای برنامه | ۱-۴ |
| ۲۱ | نتایج حاصل از آزمون منحنی‌های گشتاور موتور پرخوران در حالت تمام بار در دو حالت گاز و بنزین سوز | ۱-۵ |
| ۲۴ | یک نمونه شبیه سازی نمودار دمای گازهای خروجی برحسب تغییر نسبت هوا به سوخت | ۱-۶ |
| ۲۵ | نتیجه شبیه سازی یک نمونه تغییر گشتاور ترمزی برحسب تغییر نسبت هوا به سوخت | ۱-۷ |
| ۲۶ | منحنی‌های نتایج تجربی مصرف مخصوص موتور پرخوران در دو حالت گاز و بنزین سوز حالت تمام بار | ۱-۸ |
| ۲۸ | نمای سامانه زبمپ ، عملگر روغنی و شیر مهارگر آن در موتور ملی تنفس طبیعی | ۱-۹ |
| ۳۴ | منحنی گشتاور موتور دولیتری شرکت GM قبل و بعد از ارتقاء آن | ۲-۱ |
| ۳۶ | نحوه اعمال تغییر زمانبندی دریچه‌ها | ۲-۲ |
| ۳۷ | مقایسه منحنی های بادامک موتور مینا و موتور مورد آزمون بهبود یافته | ۲-۳ |
| ۳۸ | نمایی از موتور و تجهیزات آزمون | ۲-۴ |
| ۳۹ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مینا دور rpm ۱۰۰۰-تمام بار(گاز) | ۲-۵ |
| ۴۰ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مینا دور rpm ۱۵۰۰-تمام بار(گاز) | ۲-۶ |
| ۴۰ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مینا دور rpm ۲۰۰۰-تمام بار(گاز) | ۲-۷ |
| ۴۱ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مینا دور rpm ۴۰۰۰-تمام بار(گاز) | ۲-۸ |
| ۴۱ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مینا گشتاور ترمزی-تمام بار(گاز) | ۲-۹ |
| ۴۲ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مینا مصرف مخصوص ترمزی-تمام بار(گاز) | ۲-۱۰ |
| ۴۲ | صحه گذاری شبیه سازی حالت بهبود یافته گشتاور ترمزی-تمام بار(گاز) | ۲-۱۱ |
| ۴۳ | صحه گذاری شبیه سازی حالت بهبود یافته مصرف مخصوص ترمزی-تمام بار(گاز) | ۲-۱۲ |
| ۴۳ | مقایسه نتایج آزمون مینا و بهبود یافته گشتاور ترمزی-تمام بار(گاز) | ۲-۱۳ |
| ۴۴ | درصد افزایش گشتاور ترمزی-تمام بار(گاز) | ۲-۱۴ |
| ۴۴ | تاثیر تاخیر جرقه بر افزایش گشتاور و پایداری احتراق دور rpm ۱۷۵۰-تمام بار(گاز) | ۲-۱۵ |
| ۴۶ | مقایسه نتایج آزمون مینا و بهبود یافته زمان جرقه زنی - تمام بار(گاز) | ۲-۱۶ |
| ۴۶ | مقایسه نتایج آزمون مینا و بهبود یافته بازده تنفسی-تمام بار(گاز) | ۲-۱۷ |
| ۴۷ | مقایسه نتایج شبیه سازی مینا و بهبود یافته بازده کسرجرمی گاز باقیمانده- تمام بار(گاز) | ۲-۱۸ |
| ۴۸ | مقایسه نتایج شبیه سازی مینا و بهبود یافته دمای متوسط مرحله مکش- تمام بار(گاز) | ۲-۱۹ |
| ۴۹ | نمایی از موقعیت سوخت پاش گاز و بنزین در چندراهه هوا (گاز) | ۲-۲۰ |
| ۵۰ | نتیجه شبیه سازی حالت بهبود یافته حبس شدن سوخت حین مرحله مکش rpm ۱۷۵۰- | ۲-۲۱ |
| | تمام بار(مقاطع ورودی- میانی و خروجی راهگاه بستار) (گاز) | |
| ۵۲ | نتیجه شبیه سازی حالت بهبود یافته حبس شدن سوخت حین مرحله مکش rpm ۱۷۵۰- | ۲-۲۲ |

| | | |
|----|---|------|
| | تمام بار(مقاطع ورودی- میانی و خروجی راهگاه بستار) (گاز) | |
| ۵۳ | مقایسه نتایج شبیه سازی مبنا و بهبود یافته نسبت احتباس هوا و سوخت- تمام بار(گاز) | ۲-۲۳ |
| ۵۵ | مقایسه نتایج شبیه سازی حالت بهبود یافته، فشار ورودی و خروجی و داخل استوانه حین همپوشانی دریچه‌ها در دور ۱۷۵۰ rpm (شکل بالای) و دور ۳۵۰۰ rpm (شکل پایینی)- تمام بار(گاز) | ۲-۲۴ |
| ۵۶ | نقاط کاری موتور حالت مبنا و بهبود یافته بر روی نقشه تنجار- تمام بار(گاز) | ۲-۲۵ |
| ۵۸ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مبنا دور ۱۰۰۰ rpm - تمام بار(بنزین) | ۲-۲۶ |
| ۵۸ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مبنا دور ۱۷۵۰ rpm - تمام بار(بنزین) | ۲-۲۷ |
| ۵۹ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مبنا گشتاور ترمزی- تمام بار(بنزین) | ۲-۲۸ |
| ۵۹ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مبنا مصرف مخصوص ترمزی- تمام بار(بنزین) | ۲-۲۹ |
| ۶۰ | صحه گذاری شبیه سازی حالت بهبود یافته گشتاور ترمزی- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۰ |
| ۶۰ | صحه گذاری شبیه سازی حالت بهبود یافته مصرف مخصوص ترمزی- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۱ |
| ۶۱ | مقایسه نتایج آزمون مبنا و بهبود یافته گشتاور ترمزی- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۲ |
| ۶۲ | درصد افزایش گشتاور ترمزی- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۳ |
| ۶۳ | مقایسه نتایج آزمون مبنا و بهبود یافته بازده تنفسی- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۴ |
| ۶۴ | مقایسه نتایج آزمون مبنا و بهبود یافته زمان جرعه زنی(محدودیت کوبش)- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۵ |
| ۶۵ | مقایسه نتایج شبیه سازی مبنا و بهبود یافته کسر جرمی گاز باقیمانده- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۶ |
| ۶۵ | مقایسه نتایج شبیه سازی مبنا و بهبود یافته متوسط دمای مرحله مکش- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۷ |
| ۶۶ | مقایسه نتایج شبیه سازی مبنا و بهبود یافته نسبت احتباس هوا و سوخت- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۸ |
| ۶۷ | نقاط کاری موتور حالت مبنا و بهبود یافته بر روی نقشه تنجار- تمام بار(بنزین) | ۲-۳۹ |
| ۶۸ | مقایسه نتایج شبیه سازی مبنا و بهبود یافته و دو سامانه زبمپ و نیز اثر کوچک سازی موتور (۲۵۰CC) بر گشتاور خروجی- تمام بار | ۲-۴۰ |
| ۶۹ | مقایسه نتایج شبیه سازی مبنا و بهبود یافته و دو سامانه زبمپ و نیز اثر کوچک سازی موتور (۲۵۰CC) بر فشار متوسط مؤثر ترمزی- تمام بار | ۲-۴۱ |
| ۷۰ | مقایسه نتایج شبیه سازی مبنا و بهبود یافته و دو سامانه زبمپ و نیز اثر کوچک سازی موتور (۲۵۰CC) بر گشتاور خروجی- تمام بار | ۲-۴۲ |
| ۷۱ | مقایسه نتایج شبیه سازی مبنا و بهبود یافته و دو سامانه زبمپ و نیز اثر کوچک سازی موتور (۲۵۰CC) بر فشار متوسط مؤثر ترمزی- تمام بار | ۲-۴۳ |
| ۷۶ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مبنا دور ۱۰۰۰ rpm - تمام بار | ۳-۱ |
| ۷۶ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مبنا دور ۲۰۰۰ rpm - تمام بار | ۳-۲ |
| ۷۷ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مبنا دور ۴۰۰۰ rpm - تمام بار | ۳-۳ |
| ۷۷ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مبنا فشار متوسط مؤثر ترمزی- بازده تنفسی(هوا مبنا)- تمام بار | ۳-۴ |
| ۷۸ | صحه گذاری شبیه سازی حالت مبنا مصرف مخصوص ترمزی- تمام بار | ۳-۵ |
| ۷۸ | تغییر زمانبندی ورودی و خروجی | ۳-۶ |
| ۷۹ | مقایسه موتور مبنا و موتور زبمپ دوتایی- فشار متوسط مؤثر ترمزی- بازده تنفسی- تمام بار | ۳-۷ |

| | | |
|-----|--|------|
| ۸۰ | فرآیند تخلیه مقایسه دو حالت مبنا و زبمپ دوتایی ۱۵۰۰rpm-تمام بار | ۳-۸ |
| ۸۱ | زمانبندی انتخابی برای حالت زبمپ دوتایی- تمام بار | ۳-۹ |
| ۸۳ | تقسیم بندی نواحی کاری خودروی سمند(دورموتور- معیاری از بار) در چرخه رانندگی NEDC برای موتور EF7 | ۳-۱۰ |
| ۸۴ | نقاط کاری معادل چرخه رانندگی NEDC | ۳-۱۱ |
| ۸۴ | ضریب وزنی زمانی و مصرف سوخت نقاط معادل سازی شده | ۳-۱۲ |
| ۸۶ | اثر تغییر فشار محیط بر تغییر فشار ورودی و خروجی | ۳-۱۳ |
| ۸۷ | میزان انتقال حرارت و دمای بیشینه با تغییر فشار محیط ۲۰۰-۲ بار | ۳-۱۴ |
| ۹۰ | نمودار دمای داخل استوانه مقایسه حالت مبنا و زبمپ دوتایی نقطه کاری g | ۳-۱۵ |
| ۹۴ | سامانه شرکت هوندا (سمت راست) و سامانه شرکت Audi برای تعویض بادامک | ۴-۱ |
| ۹۴ | نمای سامانه VVTL-i برای تعویض دو مرحله‌ای بادامک | ۴-۲ |
| ۹۵ | سامانه شرکت INA مورد استفاده در خودرو پورشه برای تعویض بادامک | ۴-۳ |
| ۹۵ | سامانه شرکت Mechadyne به جهت تولید پروفیل‌های مختلف به‌طور پیوسته | ۴-۴ |
| ۹۶ | سامانه Valvetronic شرکت BMW (دوشکل بالا) و سامانه شرکت Ferrari برای تعویض پروفیل بادامک به‌طور پیوسته(شکل پایین) | ۴-۵ |
| ۹۸ | چرخه میلر در حالت EIVC | ۴-۶ |
| ۹۹ | چرخه میلر در حالت LIVC | ۴-۷ |
| ۱۰۰ | مقایسه نمودار P-V چرخه اتو و میلر در دو حالت EIVC و LIVC در بار جزئی | ۴-۸ |
| ۱۰۰ | مقایسه نمودار دمای چرخه اتو و میلر در دو حالت EIVC و LIVC در بار جزئی | ۴-۹ |
| ۱۰۴ | منحنی های گشودگی دریچه هوا در حالات مختلف - مبنا - کاهش مدت گشودگی-افزایش شتاب - شتاب ثابت -کاهش شتاب- کاهش میزان گشودگی غیر از حالت مبنا ما بقی در حالت دریچه گاز تمام باز و در نقطه کاری ۲۰۰۰ دور در دقیقه-فشار متوسط مؤثر ترمزی ۲ بار | ۴-۱۰ |
| ۱۰۸ | نواحی پوشش داده شده به‌توسط منحنی بادامک با گشودگی ۴ میلی‌متر | ۴-۱۱ |
| ۱۰۸ | منحنی فشار متوسط مؤثر ترمزی بادامک بزرگتر و نیز منحنی حاصل از بادامک بهینه کوچکتر (۴ میلی‌متری) و نیز منحنی حاصل از بادامک ۲ میلی‌متری به همراه نقاط کاری معادل چرخه رانندگی NEDC | ۴-۱۲ |
| ۱۰۹ | درصد کاهش مصرف سوخت در چرخه NEDC با تغییر بیشینه گشودگی بادامک هوا | ۴-۱۳ |
| ۱۰۹ | نواحی پوشش داده شده به‌توسط منحنی بادامک با گشودگی ۵ میلی‌متر | ۴-۱۴ |
| ۱۱۰ | نواحی پوشش داده شده به‌توسط منحنی بادامک با گشودگی ۴/۵ میلی‌متر | ۴-۱۵ |
| ۱۱۰ | نواحی پوشش داده شده به‌توسط منحنی بادامک با گشودگی ۳/۵ میلی‌متر | ۴-۱۶ |
| ۱۱۱ | نواحی پوشش داده شده به‌توسط منحنی بادامک با گشودگی ۳ میلی‌متر | ۴-۱۷ |
| ۱۱۱ | نواحی پوشش داده شده به‌توسط منحنی بادامک با گشودگی ۲/۵ میلی‌متر | ۴-۱۸ |
| ۱۱۲ | نواحی پوشش داده شده به‌توسط منحنی بادامک با گشودگی ۲ میلی‌متر | ۴-۱۹ |

| شماره جدول | عنوان جدول | صفحه |
|------------|--|------|
| ۱-۱ | مشخصات اصلی موتور پرخوران | ۲۰ |
| ۱-۲ | توان مصرفی سامانه CVVT در دورموتورهای مختلف | ۲۹ |
| ۲-۱ | تغییر مصرف مخصوص بار جزئی(گاز) | ۵۷ |
| ۲-۲ | تغییر مصرف مخصوص بار جزئی(بنزین) | ۶۸ |
| ۳-۱ | مشخصات موتور تنفس طبیعی | ۷۵ |
| ۳-۲ | مشخصات نقاط کاری به دست آمده برای معادل سازی چرخه رانندگی حالت مبنا | ۸۳ |
| ۳-۳ | نتایج آزمون و مقایسه با شبیه سازی تغییر فشار بر روی موتور EF7 (سوخت بنزین) | ۸۷ |
| ۳-۴ | تغییر مصرف سوخت و آلاینده NOx از فشار ۸۸ kPa به فشار استاندارد ۱۰۱/۳kPa | ۸۸ |
| ۳-۵ | بهبود مصرف سوخت و آلاینده NOx با بکارگیری سامانه زبمپ دوتایی | ۸۹ |
| ۴-۱ | مقایسه چرخه میلر در دو حالت EIVC و LIVC | ۱۰۱ |
| ۴-۲ | نتایج شبیه سازی نقطه کاری ۲۰۰۰ دور در دقیقه- فشار متوسط مؤثر ترمزی ۲ بار با منحنی بادامک های مختلف | ۱۰۵ |
| ۴-۳ | مشخصات نقاط کاری به دست آمده برای معادل سازی چرخه رانندگی حالت مبنا | ۱۰۶ |
| ۴-۴ | مشخصات نقاط کاری به دست آمده برای منحنی بادامک و زمان بندی بهینه (گشودگی بیشینه ۴ میلیمتر) | ۱۰۷ |

فهرست علائم و اختصارات

عنوان انگلیسی

عنوان فارسی

| | |
|---|---|
| ABDC-After Bottom Dead Center | بعد از نقطه سکون پایین |
| Advance | پیشی |
| ATDC-After Top Dead Center | بعد از نقطه سکون بالا |
| BMEP-Brake Mean Effective Pressure | فشار متوسط مؤثر ترمزی |
| BSFC-Brake Specific Fuel Consumption | مصرف مخصوص ترمزی |
| CA-Crank Angle | درجه میل لنگ |
| Cam Profile | منحنی بادامک |
| Catalyst | واکنشگر |
| Compressor | تنجار |
| Continuous Variable Valve Timing | زمان بندی متغیر پیوسته دریچه‌ها |
| CVVT | زیمپ |
| Cylinder | استوانه |
| CylinderHead | بستار |
| Delivery Ratio | نسبت تحویل |
| Downsizing | کوچک سازی |
| DualVVT | سامانه زمان بندی متغیر دوتایی (ورودی و خروجی) |
| Effective Compression Ratio | نسبت تراکم مؤثر |
| EGR-Exhaust Gas Recirculation | باز گردانی دود خروجی |
| EIVC-Early Intake Valve Closing | زود بستن دریچه هوا |
| EMS-Engine Management System | سامانه مدیریت موتور |
| EVC-Exhaust Valve Closing | بستن دریچه دود |
| EVO-Exhaust Valve Opening | باز کردن دریچه دود |
| FMEP- Friction Mean Effective Pressure | فشار متوسط مؤثر اصطکاکی |
| Full Load | تمام بار |
| Hydraulic | روغنی |
| HLA- Hydraulic Lash Adjuster | تنظیم کننده لقی روغنی |
| IMEP- Indicated Mean Effective Pressure | فشار متوسط مؤثر داخلی |
| Injector | افشانه |
| Intercooler | خنک کن نهایی |
| Internal-EGR | بازگردانی داخلی دود |
| IVC-Intake Valve Closing | بستن دریچه هوا |
| IVO-Intake Valve Opening | باز کردن دریچه هوا |
| Lambda | نسبت هم ارزی هوا به سوخت |
| Lash | لقى استکانی |
| LIVC-Late Intake Valve Closing | دیر بستن دریچه هوا |
| Manifold | چندراهه |
| MBT Maximum Brake Torque | گشتاور بیشینه ترمزی |
| mf-mass of fuel | جرم سوخت |
| Miller Cycle | چرخه میلر |
| Natural Aspirated- NA | تنفس طبیعی |

| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| NEDC-New European Driving Cycle | چرخه رانندگی اروپایی |
| NOx-Oxides of Nitrogen | اکسیدهای نیتروژن |
| Overlap | همپوشانی |
| Partload | بار جزئی |
| Piston | سمبه |
| Port | راهگاه |
| pmep-pumping mean effective pressure | فشار متوسط مؤثر تلمبه‌ای |
| Pumping Loss | اتلافات تلمبه‌ای |
| Knock | کوبش |
| Residual Gas | گازهای باقیمانده |
| Retard | تاخیر |
| rpm-revolutions per minute | دور بر دقیقه |
| Scavenging | رویش |
| Spark Advance | زمان جرقه زنی |
| Standard Deviation of IMEP | انحراف مجاز فشار متوسط مؤثر داخلی |
| Tappet | استکانی |
| TDC-Top Dead Center | نقطه سکون بالا |
| Turbocharger | پرخوران |
| Valve | دریچه |
| VVA-Variable Valve Actuation | عملکرد متغیر دریچه‌ها |
| Wastegate | دریچه مهار توربین |

فصل اول: معرفی نرم افزار مورد استفاده و معرفی

مشخصات موتور پرخوران

فصل اول: معرفی نرم افزار مورد استفاده و معرفی مشخصات موتور پرخوران

مقدمه: در این فصل به معرفی نرم افزار مورد استفاده جهت انجام شبیه سازی های انجام شده در این پژوهش و نیز به معرفی مشخصات موتور پرخوران ملی و ملاحظات شبیه سازی آن، پرداخته می شود.

۱-۱- معرفی نرم افزار GT-Power

۱-۱-۱- علل انتخاب نرم افزار GT-Power

نرم افزار GT-Power از سری نرم افزارهای GT-Suite بوده و از جمله نرم افزارهای یک بعدی شبیه ساز موتور است که امروزه کاربرد وسیعی در تخمین مشخصه های عملکردی موتور دارد. این نرم افزار جریان داخل لوله ها و خمها را به صورت یک بعدی و با حل معادله جریان مدلسازی نموده و فضای داخل استوانه را به صورت یک یا دو ناحیه ای مدل سازی می کند.

به جهت انجام شبیه سازی اثر تغییر زمان بندی دریچه ها و منحنی بادامک ها و نسبت هم ارزی هوا به سوخت و زمان جرقه زنی و... که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است، هم می توان از نرم افزارهای یک بعدی و هم از نرم افزارهای سه بعدی بهره جست اما به دلیل زمان بر بودن شبیه سازی و نیز به دلایل زیر، نرم افزارهای سه بعدی برای انجام چنین پژوهشی مورد استفاده قرار نمی گیرد:

۱- در استفاده از نرم افزار سه بعدی اغلب به دلیل صرفه جویی در وقت تنها یک استوانه و راهگاه-

های چندراهه هوا و دود متصل به آن استوانه، شبیه سازی می شود. حال آنکه به جهت تغییر

شرایط مرزی در اثر تغییر متغیرهای نام برده، بهتر است تمامی مسیر مکش و چندراهه هوا و

تمامی استوانه ها و چندراهه دود و مسیر خروجی تا محیط شبیه سازی شود. این مساله چنانچه

موتور به سامانه پرخورانی نیز مجهز باشد اهمیت بیشتری خواهد یافت.

۲- در شبیه سازی سه بعدی به جهت محدودیت زمان برای اجرای برنامه، چنانچه بحث درباره احتراق باشد، معمولاً چرخه بسته (از زمان بسته شدن دریچه هوا تا باز شدن دریچه دود) شبیه سازی می شود و چنانچه بحث درباره تبادل گاز باشد، تنها مرحله مکش شبیه سازی می شود حال آنکه در مدل یک بعدی می توان تمامی چرخه را بدون نگرانی از ازدیاد زمان اجرای برنامه شبیه سازی و اثر تغییر شرایط مرزی را لحاظ نمود.

۳- در شبیه سازی سه بعدی به دلیل زمانبر بودن اجرای برنامه، تعداد نقاط کاری موتور مورد شبیه سازی، بسیار کم خواهد بود و لذا نتیجه گیری برای بررسی نحوه تاثیر سامانه بر مشخصات عملکردی موتور، قابل انجام نخواهد بود در حالیکه در شبیه سازی یک بعدی می توان به راحتی تمامی نقاط کاری تمام بار و نقاط کاری شاخص را در بار جزئی موتور را بدون نگرانی از ازدیاد زمان اجرای برنامه شبیه سازی نمود.

لذا در مجموع می توان چنین نتیجه گیری نمود که استفاده از نرم افزار سه بعدی در پژوهش هایی که تغییر هندسه داخل استوانه و محفظه احتراق مورد بررسی است و یا پژوهش هایی که هندسه مورد بررسی از تقارن محوری فاصله زیادی دارد، مورد استفاده قرار گیرد.

این فرضیات در الگوی یک بعدی دینامیکی استفاده می شود:

۱- سامانه ورودی و خروجی موتور به صورت ترکیبی از لوله ها، خم ها و اتصالات حجمی می تواند شبیه سازی شود.

۲- جریان داخل لوله ها تک بعدی و از انتقال حرارت هدایت در طول لوله صرف نظر می شود.

۳- مخلوط داخل استوانه و در هر مقطع از لوله به صورت همگن در نظر گرفته می شود.

۴- شرایط مرزی به صورت شبه پایدار در نظر گرفته می شود.

۵- ضرایب تخلیه، نرخ انتقال حرارت و اصطکاک لوله‌ها برای جریان پایا و ناپایا به‌طور یکسان محاسبه می‌شود.

۶- رفتار گاز به‌صورت گاز کامل در نظر گرفته می‌شود. [۱] و [۲]

۱-۱-۲- الگوی احتراقی

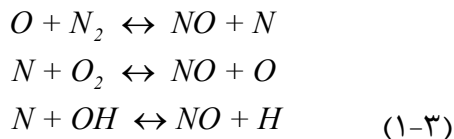
به جهت شبیه سازی فرآیند احتراق، در نرم افزار گزینه‌های مختلفی وجود دارد. یکی از الگوهای احتراقی نرم افزار استفاده از تابع Wiebe است. در این الگو، متغیرهای تابع Wiebe را کاربر می‌تواند تغییر دهد.

$$x_b = 1 - \exp\left[-a\left(\frac{\theta - \theta_0}{\Delta\theta}\right)^{m+1}\right] \quad (1-1)$$

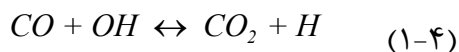
در معادله (۱-۱) a و m دو ثابت‌اند و نیز $\Delta\theta$ کل مدت سوختن برحسب درجه میل لنگ و θ_0 زمان شروع احتراق است. اما به جهت مدل‌سازی احتراق و تعیین نرخ آزاد سازی لحظه‌ای حرارت، می‌توان از الگویی با عنوان SITurbFlame که به کمک مدل‌سازی سرعت شعله آرام و نیز مساحت لحظه‌ای شعله، نرخ سوختن را پیش بینی می‌کند، نیز بهره برد. اما به جهت دقت بیشتر نیز می‌توان منحنی نرخ سوختن را که از داده‌های تجربی حاصل از اندازه گیری فشار داخل استوانه باشد، به دست آورد. به این ترتیب که داده‌های فشار داخل استوانه به همراه داده‌های دیگری چون بازده تنفسی، زمان جرقه‌زنی، میزان سوخت پاشیده شده در هر چرخه، دمای استوانه، دمای بستار و دمای سطح سمبه ترکیب سوخت و ... به نرم افزار داده می‌شود و نرم افزار با توجه به انحراف منحنی فشار از فشار موتور گردانی و برقراری تعادل حرارتی، نرخ آزاد سازی انرژی را به‌عنوان خروجی پیش پردازش، ارائه می‌دهد.

$$\frac{dQ_{ch}}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \times P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} \times V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{ht}}{d\theta} \quad (1-2)$$

سپس این داده‌ها در الگوی اصلی استفاده می‌شود. اجزا شیمیایی که در نرم افزار در حل معادلات شیمیایی به صورت تعادلی در نظر گرفته می‌شود عبارتند از: $\text{OH}, \text{O}, \text{H}, \text{H}_2, \text{CO}, \text{O}_2, \text{N}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$. NO و N اما به دلیل اهمیت محاسبه و آنکه دقت محاسبه NO با فرض تعادلی، کم است، محاسبه بهتر است به صورت سینتیکی و با لحاظ نمودن نرخ پیشرفت واکنش انجام پذیرد نرم افزار قابلیت شبیه سازی و محاسبه کسر مولی سینتیکی NOx و CO را به صورت جداگانه داراست. ساز و کار مورد استفاده در نرم افزار به جهت محاسبه NOx ساز و کار زلدوویچ توسعه یافته است. شایان ذکر است مقادیر کسر مولی‌های تعادلی اجزایی نظیر H و O که با فرض تعادلی و به دلیل غلظت کمتر، دقت کمی دارند، به طور مستقیم در خروجی‌های نرم افزار ذکر نمی‌شوند. [۲]

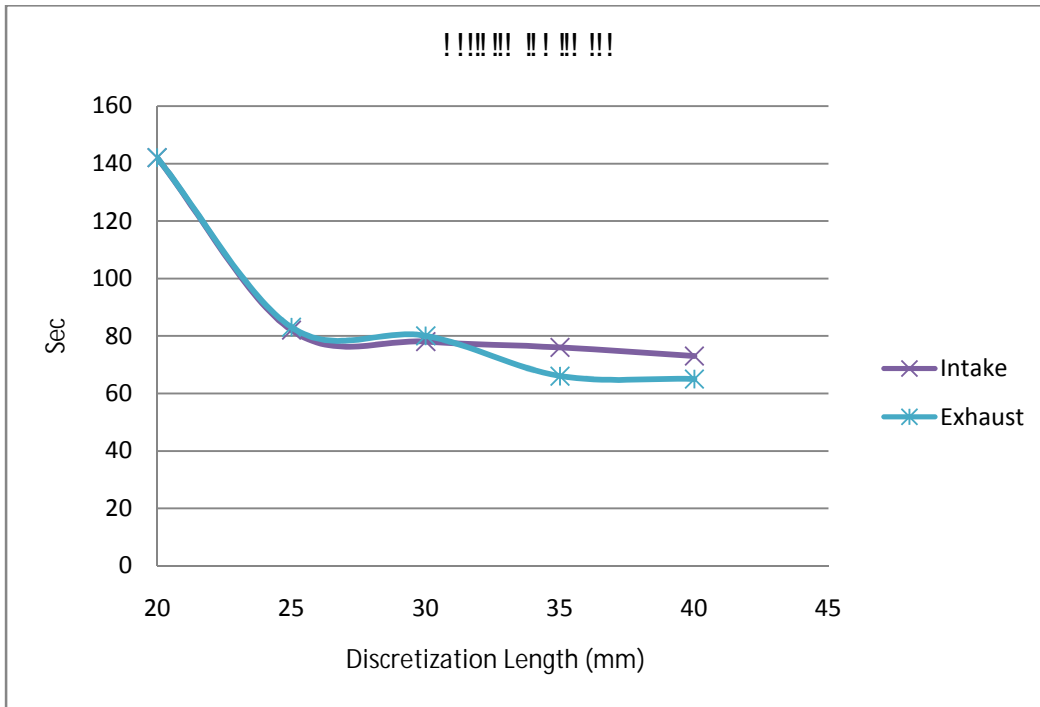


واکنش مورد بررسی به جهت محاسبه کسر مولی سینتیکی CO به توسط نرم افزار نیز چنین است:

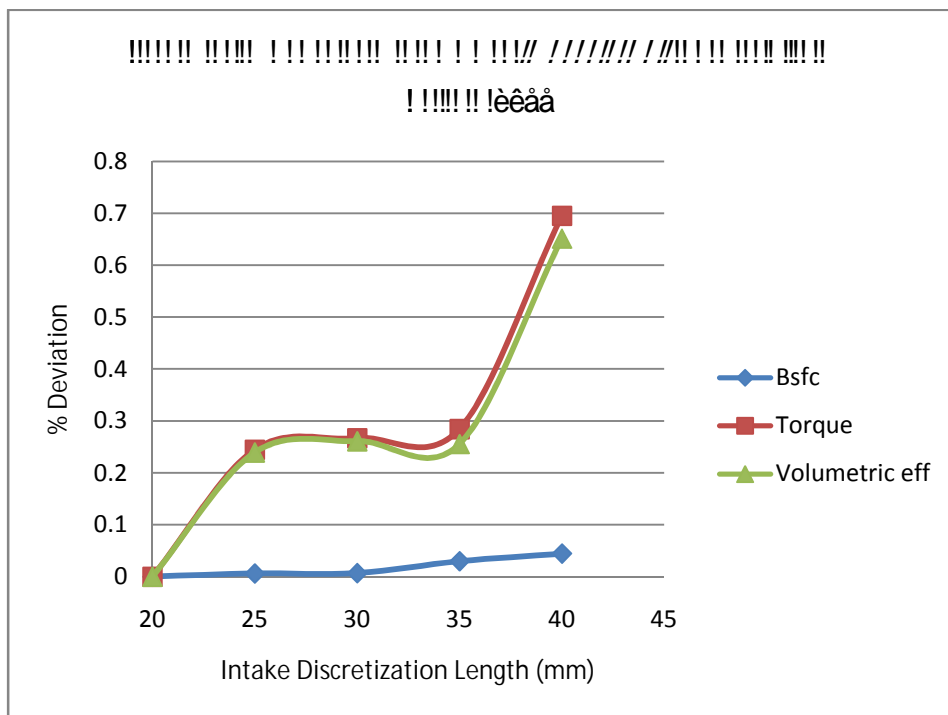


نرم افزار GT-Power محاسبه غلظت‌های تعادلی اجزا را تا دمای ۱۶۰۰ درجه کلوین ادامه می‌دهد توجه آنکه در دماهای خنک‌تر عملاً به دلیل سینتیک بسیار کند تغییر محسوسی در غلظت‌ها انجام نمی‌شود و لذا کسر مولی محصولات تقریباً ثابت می‌ماند. همچنین نرم افزار انتقال حرارت داخل استوانه و لوله‌ها را با کمک معادله (۱-۵) که نیاز به دمای دیواره و دمای گاز و ضریب انتقال حرارت دارد محاسبه می‌کند. محاسبه مقدار h نیز از رابطه وشنی به دست می‌آید.

$$Q = hA(T_g - T_w) \quad (1-5)$$

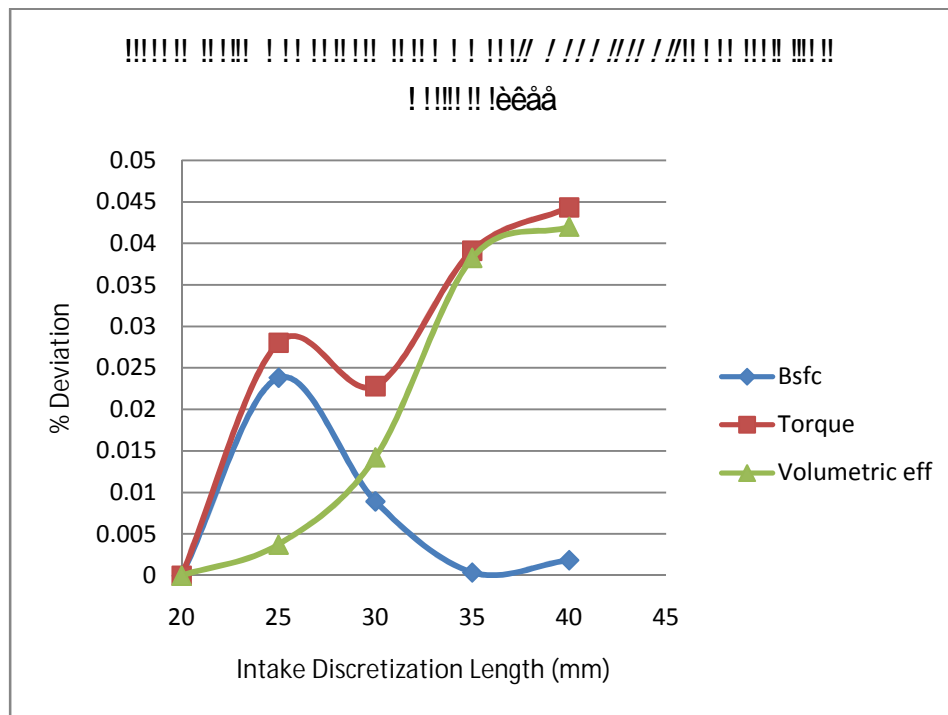


شکل ۱-۲: اثر اندازه شبکه راهگاه‌های ورودی و خروجی بر زمان اجرای برنامه



شکل ۱-۳: اثر اندازه شبکه راهگاه‌های ورودی بر مشخصه‌های موتور همراه با زمان اجرای برنامه

مشاهده می‌شود که درصد میزان انحراف جواب‌ها از مقدار جواب کوچکترین شبکه انتخابی، کمتر از ۱ درصد است لذا حساسیت چندانی نسبت به تغییر طول شبکه بر جواب نهایی وجود ندارد و نیز همان گونه که در شکل بعد مشخص است میزان حساسیت تغییر شبکه در راهگاه‌های دود کمتر از راهگاه‌های هوا است. زیرا راهگاه‌های هوا بر تعیین بازده تنفسی و در نتیجه گشتاور موتور بسیار مؤثر است.



شکل ۴-۱: اثر اندازه شبکه راهگاه‌های خروجی بر مشخصه‌های موتور همراه با زمان اجرای برنامه

طول شبکه انتخابی برای راهگاه‌های هوا ۲۵ و برای راهگاه‌های دود ۳۵ میلی‌متر است.

۱-۲- معرفی موتور پرخوران

موتور پرخوران ملی که با نام موتور EF7-TC شناخته می‌شود از خانواده موتورهای ملی است. مشخصات اصلی این موتور در جدول ۱-۱ بیان شده است.

جدول ۱-۱: مشخصات اصلی موتور پرخوران

| | |
|---------------|---|
| ۷۸/۶ | قطر استوانه (mm) |
| ۸۵ | طول مسیر سمبه (mm) |
| ۱۳۴/۵ | طول دسته سمبه (mm) |
| ۴خطی | تعداد استوانه ها- وضعیت قرارگرفتن |
| ۹/۸ | نسبت تراکم |
| ۱۱۰kW>5000rpm | بیشینه توان در حالت گازسوز |
| ۱۱۰kW>5000rpm | بیشینه توان در حالت بنزین سوز |
| EuroIV | استانده آلاینده‌گی در دو حالت گاز و بنزین |
| ۲۱۵ Nm | گشتاور ۲۰۰۰-۴۸۰۰ (rpm) |

موتور مجهز به سامانه پرخورانی از نوع غیرمستقیم (Turbocharger) است و لذا نیروی محرکه به جهت به چرخش در آوردن تنجار از انرژی جنبشی حاصل از برخورد دود خروجی موتور با توربین تأمین می‌گردد. به جهت تنظیم گشتاور و عدم تجاوز از گشتاور تعیین شده که برای این موتور ۲۱۵ نیوتن متر تعیین شده است، دریچه‌ای برای تنظیم مقدار شار عبوری از توربین تعبیه شده که دریچه‌ی مهار توربین نام دارد. میزان گشتاور حداکثری برای موتور با توجه به ملاحظات احتراق غیرعادی و نیز مقاومت مصالح و تنش‌های مکانیکی و حرارتی موتور به منظور رسیدن به عمر کاری مناسب و نیز گشتاور قابل تحمل به-توسط سامانه انتقال قدرت موتور، انتخاب شده است. همان‌گونه که ذکر شد حداکثر گشتاور موتور به-کمک سامانه پایش توربین محدود می‌شود به این معنی که در حالت تمام بار یا همان گشتودگی کامل دریچه‌ی گاز، از دور خاصی به بعد (باتوجه به حالت بنزین یا گازسوز) موتور به کمک سامانه پرخورانی قادر به تأمین گشتاور هدف (۲۱۵Nm) است و لذا از این دور با افزایش دور موتور به تدریج دریچه‌ی مهار توربین باز می‌شود تا بخشی از شار دود خروجی بدون برخورد با توربین از موتور خارج شود و با تنظیم شار عبوری از توربین، گشتاور ثابت بماند. زیرا افزایش شار عبوری از توربین به معنی افزایش دور توربین و در نتیجه دور تنجار خواهد بود که افزایش دور تنجار، افزایش نسبت فشار هوای قبل و بعد از تنجار (Boost Pressure) را منجر می‌شود که این به معنای افزایش بازده تنفسی و در نتیجه افزایش گشتاور است. در