



دانشکده مهندسی مکانیک

شبیه سازی و تحلیل عملکرد موتور احتراق داخلی با نرم افزار

GT-Suite

نگارش

عباس ریاحی

استاد راهنما : دکتر شعبان علیاری شوردلی

استاد مشاور : مهندس صیاد نصیری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک (سیستم محرکه خودرو)

بهمن ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب **عباس ریاحی** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن ها استفاده شده است، مطابق مقررات، ارجاع و در فهرست منابع و ماخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی است.

نام و نام خانوادگی دانشجو

عباس ریاحی



دانشکده مهندسی مکانیک

شبیه سازی و تحلیل عملکرد موتور احتراق داخلی با نرم افزار

GT-Suite

نگارش

عباس ریاحی

استاد راهنما : دکتر شعبان علیاری شوردلی

استاد مشاور : مهندس صیاد نصیری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک (سیستم محرکه خودرو)

بهمن ۱۳۹۲

شماره: ۱۱۹۲۱۱۸۵۵
تاریخ: ۱۳۹۲/۱۲/۶
پیوست:



دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

به نام خدا

صور تجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای عباس ریاحی دانشجوی رشته مکانیک خودرو تحت عنوان " شبیه سازی و تحلیل عملکرد موتور احتراق داخلی با نرم افزار GT-Suite " در تاریخ : ۹۲/۱۱/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی برگزار و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

قبول (باجرجه بسیار خوب امتیاز ۱۸-۱۸/۹۹) دفاع مجدد مردود.

۱- عالی (۲۰-۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸-۱۸/۹۹)

۳- خوب (۱۶-۱۷/۹۹)

۴- قابل قبول (۱۴-۱۵/۹۹)

۵- غیر قابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر شعبان علیاری شوره دلی	استادیار	
استاد مشاور	مهندس صیاد نصیری		
استاد داور داخلی	دکتر علی میرمحمدی	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر مجید قدسی حسن آباد	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی میرمحمدی	استادیار	

دکتر غلامحسن پایگانه

رئیس دانشکده مهندسی مکانیک

تهران، لویزان، کد پستی: ۱۶۷۸۸-۱۵۸۱۱
صندوق پستی: ۱۶۷۸۵-۱۶۲
تلفن: ۹-۰۶۰-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۲۳
Email: sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تقدیم به:

تقدیم به پدر و مادرم که چگونه زیستن را به من آموختند.

تقدیم به معلمانم که چگونه فهمیدن را به من آموختند.

تقدیم به همسرم که چگونه عشق ورزیدن را به من آموخت.

تقدیم به دوستانم که چگونه بودن را به من آموختند.

و تقدیم به روان پاک عالم روشن ضمیر استاد شهید مرتضی مطهری.....

قدردانی و تشکر

من به سرچشمه ی خورشید نه خود بردم راه

ذره ای بودم و مهر تو مرا بالا برد

اولین سپاس به پیشگاه حضرت دوست که هرچه هست از اوست.

از جناب آقای دکتر شعبان علیاری شوردلی به خاطر راهنمایی های بی دریغشان تشکر و قدردانی نموده.
از جناب آقای مهندس صیاد نصیری استاد مشاور پروژه که طی این تحقیق همچون پدری مهربان مرا راهنمایی کردند تشکر می نمایم.

قدردانی خود را از جناب آقای مهندس حامد مشایخی که کمک های بیشماری در جهت انجام هر چه بهتر این پروژه به بنده نمودند اعلام می دارم. همچنین جا دارد از زحمات آقایان مهندس ذهنی، مهندس کرباس فروش ها و مهندس مدنی کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

چکیده

راه حل مناسبی که برای رفع مشکل تامین سوخت در خودروها پیشنهاد می گردد، یافتن جایگزینی برای بنزین است که در مقایسه با آن دارای کارایی فنی لازم در خودرو بوده و از نظر زیست محیطی نیز آلاینده های کمتری تولید نماید. از آنجایی که ایران دارای منابع غنی گاز طبیعی بوده و در حال حاضر امکان حذف کامل خودروهای بنزینی از سیستم حمل و نقل و جایگزینی آن با خودروهای با سوخت جایگزین وجود ندارد گزینه مناسب بعنوان سوخت جایگزین استفاده از مخلوط بنزین و گاز طبیعی فشرده (CNG) می باشد. هدف از این تحقیق، بررسی استفاده از این سوخت در موتور احتراق داخلی جرکه ای چهار زمانه به همراه ارزیابی تبعات اقتصادی این جایگزینی می باشد. این کار از طریق ساختن مدل یک بعدی موتور مورد نظر در نرم افزار GT-Suite و انجام فرآیند شبیه سازی توسط این مدل به انجام رسید. خروجی های مدل تعیین پارامترهای عملکرد موتور از نقطه نظر توان، گشتاور و مصرف ویژه سوخت ترمزی به همراه آلاینده های زیست محیطی شامل دی اکسید کربن، مونواکسید کربن، هیدروکربن های نسوخته و اکسیدهای نیتروژن می باشد. این ارزیابی ها بر روی یک موتور احتراق داخلی جرکه ای بنزینی که با نصب تجهیزات، گازسوز شده و در سه حالت عملکردی مختلف بنزین سوز، گازسوز و دوگانه سوز برای دوره های موتور ۱۰۰۰rpm و ۲۰۰۰rpm و ۳۰۰۰rpm و ۴۰۰۰rpm در دو حالت دریاچه گاز تمام باز و دریاچه گاز نیمه باز انجام شده است. درصد جرمی گاز طبیعی فشرده در مخلوط سوخت ورودی ۰.۶٪، ۰.۸٪، ۱.۰٪، ۲.۰٪ و ۴.۰٪ در نظر گرفته شده است. برای اعتبار بخشی به مدل، نتایج آزمایشات انجام گرفته توسط مرکز تحقیقات شرکت مگاموتور بر روی موتور چهار سیلندر بنزینی پراید صبا ۱/۳ لیتری دوگانه سوز اشتعال جرکه ای برای دو حالت صد در صد بنزین سوز و صد در صد گازسوز در دور موتور های ۱۰۰۰rpm و ۲۰۰۰rpm و ۳۰۰۰rpm و ۴۰۰۰rpm برای وضعیت دریاچه گاز تمام باز استفاده شده است. نتایج نشان از کاهش ۳۵ تا ۴۵٪ مصرف سوخت ویژه ترمزی و کاهش ۴۲ تا ۵۸٪ توان و ۱۸ تا ۲۶٪ گشتاور ترمزی می باشد، در ضمن با افزایش درصد جرمی گاز طبیعی در مخلوط سوخت ورودی، آلاینده های اکسیدهای نیتروژن ۹۵ تا ۱۲۳٪ افزایش می یابد و درمقابل آلاینده های مونواکسید کربن ۵۰ تا ۷۰٪ و دی اکسید کربن ۲۰ تا ۳۰٪ و هیدروکربن های نسوخته ۷۰ تا ۸۵٪ کاهش می یابند. در ادامه بهترین حالت عملکردی فنی موتور برای حالت دوگانه سوز در دوره های مختلف کسر جرمی ۰.۶٪ گاز طبیعی تعیین شد.

کلمات کلیدی: شبیه سازی، تحلیل عملکرد، مدل سازی، موتور احتراق داخلی، GT-Suite

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - طرح مساله.....
۲	۱-۱- مقدمه.....
۲	۲-۱- اهداف تحقیق.....
۳	۳-۱- سوالات یا فرضیه های تخصصی.....
۳	۴-۱- ضرورت و اهمیت تحقیق.....
۳	۵-۱- کاربرد نتایج تحقیق.....
۴	فصل دوم - مروری بر ادبیات موضوع.....
۵	۱-۲- مقدمه.....
۸	۲-۲- نرم افزار GT-Suite.....
۹	۳-۲- سوخت های جایگزین.....
۱۱	۴-۲- جایگاه استفاده از گاز طبیعی فشرده در بخش حمل و نقل.....
۱۱	۲-۴-۱- جایگاه استفاده از گاز طبیعی فشرده در جهان.....
۱۲	۲-۴-۲- جایگاه استفاده از گاز طبیعی فشرده در کشور.....
۱۴	۵-۲- اهداف تحقیق حاضر.....
۱۵	۶-۲- مروری بر کارهای اخیر.....
۲۴	فصل سوم - مبانی و مشخصه های عملکردی موتورهای احتراق داخلی.....

۲۵	.....۱-۳- گاز طبیعی
۲۵	.....۱-۱-۳- مقدمه
۲۶	.....۲-۱-۳- مزایای استفاده از گاز طبیعی فشرده به عنوان سوخت
۲۷	.....۳-۱-۳- مشکلات استفاده از گاز طبیعی فشرده به عنوان سوخت
۲۸	.....۴-۱-۳- انواع موتورهای گازسوز
۲۹	.....۲-۳- مبانی موتورهای دوگانه سوز
۲۹	.....۱-۲-۳- مقدمه
۳۰	.....۲-۲-۳- انواع مجموعه های سوخت رسانی
۳۲	.....۳-۳- مشخصه های عملکردی موتورهای احتراق داخلی
۳۲	.....۱-۳-۳- مقدمه
۳۲	.....۲-۳-۳- کار
۳۴	.....۳-۳-۳- فشار موثر متوسط
۳۵	.....۴-۳-۳- گشتاور و توان
۳۷	.....۵-۳-۳- گشتاور و توان سنج ها
۳۷	.....۶-۳-۳- دینامومترهای سیالی یا هیدرولیکی
۳۸	.....۷-۳-۳- دینامومترهای جریان گردابی
۳۸	.....۸-۳-۳- دینامومتر الکتریکی
۳۸	.....۹-۳-۳- نسبت هوا به سوخت و سوخت به هوا
۳۹	.....۱۰-۳-۳- نسبت هم ارزی (Φ)

۳۹	..... ۱۱-۳-۳- مصرف سوخت ویژه.....
۴۱	..... ۱۲-۳-۳- بازده های موتور.....
۴۲	..... ۱۳-۳-۳- بازده حجمی.....
۴۳	..... ۱۴-۳-۳- انتشار آلاینده ها.....
۴۵	..... فصل چهارم- مدل سازی و شبیه سازی
۴۶	..... ۱-۴- مقدمه.....
۴۶	..... ۲-۴- مدل موتور پراید.....
۴۸	..... ۱-۲-۴- سیلندر.....
۵۰	..... ۲-۲-۴- محفظه لنگ.....
۵۲	..... ۳-۲-۴- سیستم ورودی.....
۵۵	..... ۴-۲-۴- سینتیک احتراق و تعیین نسبت هوا به سوخت.....
۶۱	..... ۵-۲-۴- سیستم خروجی.....
۶۶	..... فصل پنجم- نتایج شبیه سازی
۶۷	..... ۱-۵- شرایط شبیه سازی.....
۶۸	..... ۲-۵- نتایج.....
۶۸	..... ۱-۲-۵- کالیبراسیون تجربی.....
۷۲	..... ۲-۲-۵- نتایج وضعیت درجه گاز تمام باز.....
۷۶	..... ۳-۲-۵- نتایج وضعیت درجه گاز نیمه باز.....
۸۱	..... فصل ششم- تحلیل نتایج

۸۲	..... ۱-۶- مقدمه
۸۲	..... ۲-۶- قدرت ترمزی
۸۳	..... ۳-۶- گشتاور ترمزی
۸۴	..... ۴-۶- مصرف ویژه سوخت ترمزی
۸۵	..... ۵-۶- آلاینده‌گی دی اکسید کربن
۸۶	..... ۶-۶- آلاینده‌گی مونواکسید کربن
۸۷	..... ۷-۶- آلاینده‌گی اکسیدهای نیتروژن
۸۹	..... ۸-۶- آلاینده‌گی هیدروکربن های نسوخته
۹۱	..... فصل هفتم- سناریو بهینه ، نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۲	..... ۱-۷- مقدمه
۹۳	..... ۲-۷- سناریوی بهینه
۹۴	..... ۳-۷- مقایسه موتور دوگانه سوز با موتور گازسوز
۹۵	..... ۴-۷- جمع بندی
۹۸	..... ۵-۷- پیشنهادات برای فعالیت های آتی
۹۹	..... پیوست ۱
۱۰۴	..... منابع
۱۱۰	..... چکیده انگلیسی
۱۱۱	..... عنوان انگلیسی

فهرست جداول

صفحه

عنوان

۱۰	جدول ۱-۲- درصد بنزین وارداتی از کل مصرف بنزین در طول ۷ سال.....
	جدول ۲-۲- آمار تعداد خودروهای گازسوز و جایگاه های گاز رسانی پنج کشور اول جهان در
۱۲	سال ۲۰۰۹.....
۱۴	جدول ۳-۲- تعداد خودروهای گازسوز تولید شده در ایران از سال راه اندازی طرح CNG.....
۱۴	جدول ۴-۲- پیش بینی آمار خودروهای گازسوز در ایران در سال های آتی.....
۲۵	جدول ۱-۳- مقایسه برخی از خواص متان با سایر سوخت ها.....
۲۷	جدول ۲-۳- میزان تولید آلاینده های سوخت های مختلف.....
۲۷	جدول ۳-۳- هزینه تولید سوخت های مختلف.....
۳۱	جدول ۴-۳- انتخاب نسل های مختلف کیت های گاز سوز بر اساس موتور پایه بنزینی.....
۴۷	جدول ۱-۴- مشخصات موتور مورد آزمایش.....
۴۷	جدول ۲-۴- شرایط محیطی مدل سازی موتور.....
۵۱	جدول ۳-۴- توضیح پارامترهای معادله ۳-۴.....
۵۱	جدول ۴-۴- FMEP موتور پراید بر حسب rpm.....
۵۴	جدول ۵-۴- ضریب تخلیه سوپاپ ورودی تابعی از خیز سوپاپ.....
۵۷	جدول ۶-۴- نسبت هوا به سوخت در دوره های مختلف برای سوخت G0.....
۵۸	جدول ۷-۴- نسبت هوا به سوخت در دوره های مختلف برای سوخت G6.....
۵۸	جدول ۸-۴- نسبت هوا به سوخت در دوره های مختلف برای سوخت G8.....

- جدول ۴-۹- نسبت هوا به سوخت در دوره‌های مختلف برای سوخت G10..... ۵۹
- جدول ۴-۱۰- نسبت هوا به سوخت در دوره‌های مختلف برای سوخت G20..... ۵۹
- جدول ۴-۱۱- نسبت هوا به سوخت در دوره‌های مختلف برای سوخت G40..... ۶۰
- جدول ۴-۱۲- نسبت هوا به سوخت در دوره‌های مختلف برای سوخت G100..... ۶۰
- جدول ۴-۱۳- ترکیبات سوخت بنزین..... ۶۱
- جدول ۴-۱۴- ترکیبات سوخت گاز طبیعی..... ۶۱
- جدول ۴-۱۵- ضرایب تخلیه دریچه گاز تابعی از موقعیت دریچه گاز..... ۶۲
- جدول ۴-۱۶- ضریب تخلیه سوپاپ دود تابعی از خیز سوپاپ..... ۶۳
- جدول ۴-۱۷- مشخصات کاتالیست موتور پراید..... ۶۴
- جدول ۷-۱- مزایا و معایب استفاده از مخلوط بنزین و گاز طبیعی به عنوان سوخت در خودروها..... ۹۷

فهرست شکل ها

صفحه

عنوان

شکل ۱-۲	تولید مونواکسید کربن، دی اکسید کربن و اکسید نیتروژن ناشی از بنزین در بخش حمل و نقل.....	۵
شکل ۱-۳	نمودار P-V موتور اشتعال جرقه ای.....	۳۳
شکل ۲-۳	تغییرات bsfc نسبت به دور و نسبت تراکم.....	۴۰
شکل ۳-۳	تغییرات bsfc نسبت به نسبت هم ارزی و نسبت تراکم.....	۴۱
شکل ۴-۳	آلاینده های خروجی موتور SI بر حسب نسبت هم ارزی.....	۴۴
شکل ۱-۴	مشخصات هندسی سیلندر وارد شده در نرم افزار GT-Suite.....	۴۸
شکل ۲-۴	مشخصات سیلندر.....	۴۹
شکل ۳-۴	خیز سوپاپ ورودی نسبت به زاویه لنگ.....	۵۲
شکل ۴-۴	مدل منیفولد ورودی موتور پراید.....	۵۵
شکل ۵-۴	خیز سوپاپ دود نسبت به زاویه لنگ.....	۶۲
شکل ۶-۴	مدل منیفولد خروجی موتور پراید.....	۶۴
شکل ۷-۴	مدل مافلر موتور پراید.....	۶۵
شکل ۱-۵	طرحواره ای از نحوه تامین دو سوخت به صورت همزمان در موتور دوگانه سوز.....	۶۷
شکل ۲-۵	مقایسه قدرت ترمزی حاصل از شبیه سازی و آزمایش تجربی برای سوخت های بنزین و گاز طبیعی.....	۶۸

شکل ۳-۵- مقایسه گشتاور ترمزی حاصل از شبیه سازی و آزمایش تجربی برای سوخت های

بنزین و گاز طبیعی..... ۶۹

شکل ۴-۵- مقایسه bsfc حاصل از شبیه سازی و آزمایش تجربی برای سوخت های

بنزین و گاز طبیعی..... ۶۹

شکل ۵-۵- مقایسه آلاینده NO_x حاصل از شبیه سازی و آزمایش تجربی برای سوخت های

بنزین و گاز طبیعی..... ۷۰

شکل ۶-۵- مقایسه آلاینده CO_2 حاصل از شبیه سازی و آزمایش تجربی برای سوخت های

بنزین و گاز طبیعی..... ۷۱

شکل ۷-۵- مقایسه آلاینده CO حاصل از شبیه سازی و آزمایش تجربی برای سوخت های

بنزین و گاز طبیعی..... ۷۱

شکل ۸-۵- مقایسه آلاینده HC حاصل از شبیه سازی و آزمایش تجربی برای سوخت های

بنزین و گاز طبیعی..... ۷۲

شکل ۹-۵- قدرت ترمزی بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره های مختلف

(دریچه گاز ۱۰۰٪)..... ۷۳

شکل ۱۰-۵- گشتاور ترمزی بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره های مختلف

(دریچه گاز ۱۰۰٪)..... ۷۳

شکل ۱۱-۵- مصرف ویژه سوخت ترمزی بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره های مختلف

(دریچه گاز ۱۰۰٪)..... ۷۴

شکل ۵-۱۲- آلایندگی NO_x بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۴ (دریچه گاز ۱۰۰٪)

شکل ۵-۱۳- آلایندگی CO_2 بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۵ (دریچه گاز ۱۰۰٪)

شکل ۵-۱۴- آلایندگی CO بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۵ (دریچه گاز ۱۰۰٪)

شکل ۵-۱۵- آلایندگی HC بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۶ (دریچه گاز ۱۰۰٪)

شکل ۵-۱۶- قدرت ترمزی بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۷ (دریچه گاز ۵۰٪)

شکل ۵-۱۷- گشتاور ترمزی بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۷ (دریچه گاز ۵۰٪)

شکل ۵-۱۸- مصرف ویژه سوخت ترمزی بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۸ (دریچه گاز ۵۰٪)

شکل ۵-۱۹- آلایندگی NO_x بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۸ (دریچه گاز ۵۰٪)

شکل ۵-۲۰- آلایندگی CO_2 بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۹ (دریچه گاز ۵۰٪)

شکل ۵-۲۱- آلاینده‌ی CO بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۷۹(دریچه گاز ۵۰٪).....

شکل ۵-۲۲- آلاینده‌ی HC بر حسب کسر جرمی گاز طبیعی برای دوره‌های مختلف

۸۰(دریچه گاز ۵۰٪).....

شکل ۶-۱- قدرت ترمزی برای دوره‌ها و بارهای مختلف.....

شکل ۶-۲- گشتاور ترمزی برای دوره‌ها و بارهای مختلف.....

شکل ۶-۳- bsfc برای دوره‌ها و بارهای مختلف.....

شکل ۶-۴- آلاینده CO₂ برای دوره‌ها و بارهای مختلف.....

شکل ۶-۵- آلاینده CO برای دوره‌ها و بارهای مختلف.....

شکل ۶-۶- آلاینده NO_x برای دوره‌ها و بارهای مختلف.....

شکل ۶-۷- آلاینده HC برای دوره‌ها و بارهای مختلف.....

شکل ۷-۱- روند تغییرات نسبت افت توان به مصرف ویژه سوخت موتور دوگانه سوز به ازای کسر

۹۳جرمی‌های مختلف گاز طبیعی.....

فهرست علائم و اختصارات

دما	T
کار	W
نیرو	F
مسافت طی شده توسط پیستون	X
فشار	P
سطح مقطع	A
حجم دیفرانسیلی جابجا شده توسط پیستون	Dv
راندمان	η
تعداد دورهای موتور به ازای هر چرخه	n
گشتاور	τ
دور موتور	N
متوسط سرعت پیستون	\bar{U}_p
جرم سوخت	m_f
جرم هوا	m_a
نسبت هم ارزی	Φ
گرما	Q
قبل از نقطه مرگ بالا	BTDC
بعد از نقطه مرگ پایین	ABDC
قبل از نقطه مرگ پایین	BBDC
بعد از نقطه مرگ بالا	ATDC
ضریب انتقال حرارت	h
ضریب تخلیه	C_d
ثابت گاز	R

فهرست پیوست ها

صفحه

عنوان

پیوست ۱ اطلاعات مورد نیاز جهت مدل سازی موتور اشتعال جرقه ای ۹۹