٩٩٤٧

بسم الله الرّحمن الرّحيم

١١٤٦٧٤

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد هوافضا

بررسی تأثیر افزودن هیدروژن به سوخت CNG بر کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ها در موتورهای احتراق داخلی

نگارنده:
آزاد مشیری

استاد راهنما:
دکتر فتح‌اله امی

۱۳۸۸/۴/ ۱

بهمن ۱۳۸۷

۱۱۴۶۷۴

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای آزاد مشیری پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان بررسی تاثیر افزودن هیدروژن به سوخت CNG بر کاهش مصرف سوخت و آلاینده ها در موتورهای احتراق داخلی در تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۲۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - هوافضا پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر فتح اله امی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر بهزاد قدیری دهکردی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر کیومرث مظاهری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علی نصیری طوسی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر بهزاد قدیری دهکردی	استادیار	

۱۳۸۸/۴/۱

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته **هوافضا** است که در سال **۱۳۸۷** در دانشکده **فنی و مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر **فتح الله امی** ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

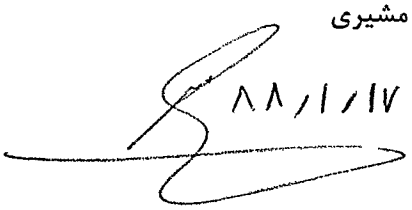
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **آزاد مشیری** دانشجوی رشته **هوافضا** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **آزاد مشیری**

تاریخ و امضا: ۸۸/۱/۱۷



دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

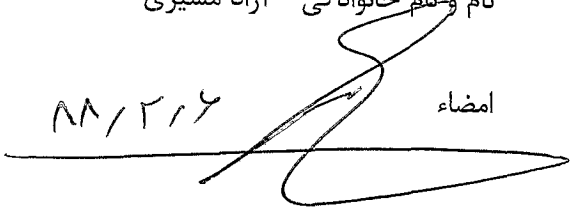
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی آزاد مشیری

امضاء ۸۸/۲/۶



تقدیم به پدر گرامی و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

خدا را سپاس می‌گویم که توانستم این پایان‌نامه را به پایان برسانم.

از استاد راهنمای گرامی، جناب آقای دکتر **فتح‌اله امی** بخاطر حمایت‌ها و راهنمایی‌های بی‌دریغشان در این مدت کمال تشکر را دارم.

از آقای مهندس **شفیعی ثابت** و همکارانشان در مرکز تحقیق و طراحی موتور ایران‌خودرو (IPCO)، بخاطر راهنمایی‌های دلسوزانه و ارزشمندشان و همچنین فراهم کردن تجهیزات آزمایشگاهی لازم برای انجام این پایان‌نامه، سپاسگزارم.

چکیده

در این تحقیق با استفاده از آزمون‌های تجربی، تأثیر افزودن هیدروژن به گاز طبیعی بر پارامترهای مختلف مؤثر بر موتورهای احتراق داخلی، بررسی شده است. این تحقیق با سه سوخت با درصدهای مختلف هیدروژن انجام شده است که عبارتند از گاز طبیعی خالص، مخلوط گاز طبیعی با ۱۵٪ (حجم) هیدروژن و مخلوط گاز طبیعی با ۳۰٪ (حجم) هیدروژن. آزمون‌ها در دو مرحلهٔ بار کامل و بار جزئی انجام شد. در بار کامل سرعت‌های مختلف موتور مورد آزمایش قرار گرفت و برای بار جزئی تنها دو سرعت ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مهمی که در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است عبارتند از راندمان تنفسی، گشتاور، مصرف سوخت ویژه، طول مدت احتراق، تغییرات سیکل به سیکل موتور و آلاینده‌های تولید شده. تمام آزمون‌ها در شرایط استوکیومتریک و زمان جرقه‌زنی بهینه (MBT) انجام شد.

نتایج نشان داد که افزودن هیدروژن با وجود تأثیر منفی بر راندمان تنفسی و گشتاور موتور، باعث کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌های مونوکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته شد. البته از طرفی هم موجب افزایش آلایندهٔ اکسیدنیتروژن گردید. همچنین هیدروژن باعث شد مدت احتراق کاهش یابد، زمان جرقه‌زنی به‌تأخیر بیافتاد و تغییرات سیکل به سیکل موتور کاهش یابد.

فصل اول شامل تاریخچه و تحقیقات گذشته و آشنایی با گاز طبیعی و هیدروژن می‌شود. در فصل دوم به پارامترهای عملکردی موتور و مکانیسم تشکیل آلاینده‌ها اشاره شده است. فصل سوم نیز شامل معرفی روش تولید مخلوط هایتن، روش آزمون‌ها و تجهیزات مربوط به آن‌ها، نتایج آزمون-های تجربی و مقایسهٔ نتایج تجربی با نتایج مدل‌سازی می‌شود. در فصل چهار نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادات آورده شده است.

فهرست مطالب شماره صفحه

فهرست علائم د

فهرست جداول ه

فهرست شکل‌ها و

۱- مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بررسی خواص سوخت‌ها ۳

۱-۲-۱- گاز طبیعی ۳

۱-۲-۲- هیدروژن ۳

۱-۲-۳- مقایسهٔ خواص CNG و هیدروژن ۴

۱-۳- اهمیت و هدف تحقیق ۷

۲- مروری بر مطالعات انجام شده ۹

۲-۱- تاریخچه و تحقیقات گذشته ۱۰

۲-۲- نتیجه‌گیری ۱۶

۳- شاخص‌های مؤثر بر عملکرد موتور، مصرف سوخت و مکانیسم تولید آلاینده‌ها ۱۷

۳-۱- مقدمه ۱۸

۳-۲- متغیرهای کاری که بر عملکرد، راندمان و آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارند ۱۸

۳-۲-۱- زمان‌بندی جرقه ۱۸

۳-۲-۲- تغییرات نسبت هوای اضافی یا نسبت تعادلی ۲۳

۳-۳- تشکیل آلاینده‌ها و کنترل آن‌ها ۲۹

۳-۳-۱- اکسید نیتروژن ۳۱

۳-۳-۲- مونوکسید کربن ۳۳

۳-۳-۳- هیدروکربن‌های نسوخته ۳۶

۳-۴- نتیجه‌گیری ۳۸

۴- آزمون‌های تجربی و نتایج ۳۹

۴-۱- مقدمه ۴۰

۴-۲- تهیهٔ مخلوط گاز طبیعی و هیدروژن ۴۲

۴-۳- تجهیزات مورد استفاده در این آزمون ۴۴

۴-۴- روش آزمون ۵۲

۴-۴-۱- محاسبهٔ نسبت هوا به سوخت و نسبت هیدروژن به کربن ۵۲

۴-۴-۲- آزمون بار کامل ۵۳

۴-۴-۲- آزمون بار جزئی ۵۴

۴-۴-۳- آزمون تغییرات نسبت هوای اضافی ۵۵

۵- نتایج، بحث و پیشنهادات ۵۶

۵-۱- مقدمه ۵۷

۵-۱- تأثیر افزودن هیدروژن بر عملکرد موتور ۵۷

۵-۳- تأثیر افزودن هیدروژن بر سرعت احتراق و تأخیر در اشتعال ۵۹

۵-۴- تأثیر افزودن سوخت بر مصرف سوخت ویژه ۶۶

۵-۵- تأثیر افزودن هیدروژن بر آلاینده‌ها ۶۹

۵-۵-۱- تأثیر افزودن هیدروژن بر مونوکسیدکربن ۶۹

۵-۵-۲- تأثیر افزودن هیدروژن بر هیدروکربن‌های نسوخته ۷۱

۵-۵-۲- تأثیر افزودن هیدروژن بر اکسیدهای نیتروژن ۷۴

۵-۶- تأثیر تغییرات نسبت هوای اضافی ۷۸

۵-۷- جمع‌بندی نتایج ۸۵

مراجع ۸۸

ضمیمه الف۱- توضیح مختصری در بارهٔ حس‌گرهای فشار داخل سیلندر، ترموکوپل‌ها و حس‌گر زاویه‌ای Angle Encoder ۹۲

فهرست علائم

λ	نسبت هوای اضافی
p	فشار
V	حجم
T	دما
n	تعداد مول
η_T	راندمان حرارتی
r_c	نسبت تراکم
bsfc	مصرف سوخت ویژهٔ ترمزی
P	توان
IMEP	فشار مؤثر متوسط اندیکاتوری
BMEP	فشار مؤثر متوسط ترمزی
rpm	دور بر دقیقه
EGR	بازگردش گازهای خروجی

فهرست جداول

۱-۱- مشخصات گاز طبیعی و هیدروژن ۶

۱-۳- ثابت سرعت احتراق برای مکانیسم تشکیل NO ۳۱

۱-۴- مشخصات هندسی موتور EF۷ ۴۱

۴-۲- فهرست حسگرهای دمای مورد نیاز برای انجام آزمون احتراق ۴۵

۴-۳- فهرست حسگرهای فشار مورد نیاز برای انجام آزمون احتراق ۴۶

۴-۴- تجهیزات مورد استفاده در آزمون ۴۷

۴-۵- نرم‌افزارهای مورد استفاده برای مدیریت آزمون ۴۸

۴-۶- الگوی آزمون بار کامل ۵۴

۴-۷- الگوی آزمون بار جزئی برای CNG ۵۴

۵-۱ تأخیر در اشتعال برحسب زاویهٔ میل‌لنگ ۶۳

۵-۲ مدت احتراق از ۵٪ تا ۵۰٪ برحسب زاویهٔ میل‌لنگ ۶۴

۵-۳- میزان تغییرات آلاینده‌ها در اثر افزودن هیدروژن به CNG در حالت بار کامل ۷۷

۵-۴- میزان تغییرات آلاینده‌ها در اثر افزودن هیدروژن به CNG در حالت بار جزئی و سرعت ۲۰۰۰ ۷۸

۵-۵- میزان تغییرات آلاینده‌ها در اثر افزودن هیدروژن به CNG در حالت بار جزئی و سرعت ۳۰۰۰ ۷۸

فهرست شکل‌ها

۲-۱- شماتیکی کلی از مراحل آزمایش ۱۲

۲-۲- شماتیکی از سیستم سوخت‌رسانی در تحقیقی در دانشگاه Tsinghua ۱۳

۳-۱- a) فشار سیلندر بر حسب زاویهٔ میل‌لنگ زمان‌بندی جرقهٔ مختلف، MBT در ۳۰ درجه b) اثر آوانس جرقه بر گشتاور واقعی در سرعت و نسبت هوا به سوخت ثابت، برای حالتی که دریچهٔ گاز کاملاً باز است ۱۹

۳-۲- a) تغییرات گشتاور واقعی با آوانس جرقه، موتور هشت سیلندر در حالت دریچهٔ گاز کاملاً باز از دور ۱۲۰۰ تا ۴۲۰۰ دور بر دقیقه. b) تغییر پیش‌بینی‌شده در مصرف سوخت ویژه با ریتارد کردن جرقه در شرایط متعدد بار جزئی موتور ۲۰

۳-۳- تغییرات زمان جرقه‌زنی برای گشتاور بهینه بر حسب نسبت هوای اضافی، برای هایتن و گاز طبیعی ۲۱

۳-۴- الف) تغییرات سیکل به سیکل و ب) راندمان حرارتی تئوری بر حسب زمان جرقه‌زنی و تأثیر افزودن هیدروژن بر کاهش آن ۲۲

۳-۵- مدت احتراق الف) ۰ تا ۱۰٪ و ب) ۱۰ تا ۹۰٪ برحسب زمان جرقه‌زنی برای هایتن با درصدهای هیدروژن مختلف ۲۳

۳-۶- نتایج سیکل هوا-سوخت برای فشار مؤثر متوسط محاسباتی برحسب نسبت تعادلی و نسبت تراکم سوخت: اکتان، $P_1 = 1atm$ ، $T_1 = 388K$ ، $x_r = 0.05$ ۲۴

۳-۷- اثر طراحی محفظه احتراق و نرخ سوزش بر مصرف سوخت ویژهٔ واقعی موتور اشتعال-جرقه‌ای. موتور چهار سیلندر $1.6dm^3$ با محفظه احتراق متداول و موتور چهار سیلندر $1.5dm^3$ با نسبت تراکم و سرعت سوزش بالا که نسبت تراکم آن $r_c = 13$ می‌باشد. هر دو در $bmep = 250kPa$ و دور $2400\,rev/\min$. ۲۵

۳-۸- تغییرات HC و NOx ویژهٔ واقعی و مصرف سوخت با نسبت هوا به سوخت و نسبت تعادلی سوخت به هوا برای موتور هشت سیلندر در فشار $bmep = 385kPa$ و دور $1400rev/\min$ ۲۶

۳-۹- تغییرات نسبت هوای اضافی بر حسب کسر هیدروژن افزوده شده در سرعت‌های الف) ۱۸۰۰ و ب) ۱۲۰۰ دور بر دقیقه ۲۷

۳-۱۰- تأثیر هیدروژن بر سرعت احتراق در نسبت هوای اضافی بیش از ۱ ۲۸

۳-۱۱- تأثیر هیدروژن بر کاهش تغییرات سیکل‌به‌سیکل و افزایش محدودهٔ رقیق‌سازی ۲۸

۳-۱۲- خلاصه‌ای از تشکیل آلاینده‌های HC، CO و NO در یک موتور اشتعال-جرقه‌ای ۳۰

۳-۱۳- تغییرات HC، CO و NO برحسب نسبت تعادلی سوخت به هوا در موتور اشتعال-جرقه‌ای ۳۰

۳-۱۴- نرخ تشکیل اکسید نیتروژن برحسب کسر جرمی بر ثانیه، به‌عنوان تابعی از دما در نسبت‌های تعادلی مختلف در فشار ۱۵ اتمسفر. خط‌چین دمای شعلهٔ آدیاباتیک را برای احتراق در فشار ۱۵ اتمسفر و دمای ۷۰۰ کلوین نشان می‌دهد ۳۲

۳-۱۵- تغییر غلظت آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربن‌های نسوخته برای زمان‌های جرقه‌زنی و درصدهای هیدروژن مختلف ۳۳

۳-۱۶- تغییرات آلایندهٔ CO در موتور SI برای یازده سوخت با نسبت H/C متفاوت: a) برحسب نسبت هوا به سوخت b) برحسب نسبت هوا به سوخت نسبی ۳۴

۳-۱۷- نتایج محاسبات سینتیکی غلظت مونوکسیدکربن در طول مرحلهٔ انبساط در مقایسه با حالت تعادلی در یک موتور SI و مخلوط استوکیومتریک ۳۵

۳-۱۸- غلظت مونوکسیدکربن برای نسبت‌های هوای اضافی و زمان‌های جرقه‌زنی مختلف ۳۶

۳-۱۹- تغییرات هیدروکربن‌های نسوخته نسبت به الف) نسبت هوای اضافی و ب) زمان جرقه‌زنی ۳۷

۴-۱- برخی مشخصات هندسی مربوط به موتور ۴۱

۴-۲- تصویری از مخازن استفاده شده برای مخلوط Hythane ۴۴

۴-۳- شماتیکی از سلول آزمون و قسمت های مختلف آن ۴۸

۴-۴- نمایی کلی از دینامومتر و موتور متصل به آن ۴۹

۴-۵- نماهایی از سنسورهای شمعی که در سرسیلندر نصب شده‌اند ۴۹

۴-۶- ترموکوپل‌های نصب‌شده در منیفولد ورودی ۵۰

۴-۷- ترموکوپل‌های نصب‌شده در منیفولد خروجی ۵۰

۴-۸- محل نصب Angle Encoder ۵۰

۴-۹- Angle Encoder و تجهیزات آن: مبدل نوری، فیبر نوری، نگه‌دارنده ۵۱

۴-۱۰- نمایی از Angle Encoder نصب شده روی موتور تحت آزمون ۵۱

۴-۱۱- نمایی از نرم‌افزار IndWin ۵۲

۵-۱- تغییرات راندمان تنفسی موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت‌های مختلف ۵۸

۵-۲- تغییرات گشتاور موتور نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت‌های مختلف ۵۸

۵-۳- تغییرات توان موتور نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت‌های مختلف ۵۸

۵-۴- تغییرات زمان جرقه‌زنی نسبت به سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت های مختلف ۶۱

۵-۵- زمان جرقه‌زنی، زمان احتراق کسرهای مختلف از سوخت و زمان رسیدن به بیشینهٔ فشار داخل سیلندر در وضعیت بار کامل برای سوخت گاز طبیعی ۶۱

۵-۶- زمان جرقه‌زنی، زمان احتراق کسرهای مختلف از سوخت نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت هایتن با ۱۵٪ هیدروژن ۶۲

۵-۷- زمان جرقه‌زنی، زمان احتراق کسرهای مختلف از سوخت نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت هایتن با ۳۰٪ هیدروژن ۶۲

۵-۸- تغییرات فاصلهٔ بین زمان جرقه‌زنی تا احتراق ۵٪ جرم سوخت نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت های مختلف ۶۳

۵-۹- تغییرات فاصلهٔ بین زمان جرقه‌زنی تا فشار بیشینهٔ داخل سیلندر نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت های مختلف ۶۳

۵-۱۰- انحراف استاندارد فشار موثر متوسط (IMEP) بر حسب تغییرات سرعت موتور برای سوخت‌های مختلف ۶۵

۵-۱۱- انحراف استاندارد فشار موثر متوسط (IMEP) بر حسب تغییرات بار موتور برای سوخت‌های مختلف ۶۵

۵-۱۲- تغییرات راندمان حرارتی ترمزی موتور نسبت به تغییر سرعت موتور برای سوخت‌های مختلف ۶۷

۵-۱۳- تغییرات مصرف سوخت ویژهٔ موتور نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت‌های مختلف ۶۷

۵-۱۴- راندمان حرارتی در وضعیت بار جزئی برای فشارهای مؤثر متوسط ترمزی (BMEP) مختلف در سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه ۶۸

۵-۱۵- تغییرات مصرف سوخت ویژهٔ موتور نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط ترمزی (BMEP) مختلف در سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه ۶۸

۵-۱۶- تغییرات مصرف سوخت ویژهٔ موتور نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط ترمزی (BMEP) در سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت های مختلف ۶۹

۵-۱۷- تغییرات آلایندهٔ مونوکسید کربن نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت‌های مختلف ۷۰

۵-۱۸- تغییرات آلایندهٔ مونوکسید کربن نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط واقعی در سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت های مختلف ۷۰

۵-۱۹-تغییرات آلایندهٔ مونوکسید کربن نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط واقعی در سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت های مختلف ۷۱

۵-۲۰- تغییرات آلایندهٔ هیدروکربن‌های نسوخته نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت-های مختلف ۷۲

۵-۲۱- تغییرات آلایندهٔ هیدروکربن‌های نسوخته نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط ترمزی در سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت های مختلف ۷۳

۵-۲۲-تغییرات آلایندهٔ هیدروکربن‌های نسوخته نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط واقعی در سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت های مختلف ۷۳

۵-۲۳- تغییرات دمای اگزوز قبل از کاتالیست نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت های مختلف ۷۳

۵-۲۴- تغییرات آلایندهٔ اکسیدهای نیتروژن نسبت به تغییر سرعت موتور در وضعیت بار کامل برای سوخت های مختلف ۷۴

۵-۲۵- تغییرات آلایندهٔ هیدروکربن‌های نسوخته نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط واقعی در سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت های مختلف ۷۶

۵-۲۶- تغییرات آلایندهٔ هیدروکربن‌های نسوخته نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط واقعی در سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت های مختلف ۷۶

۵-۲۷- تغییرات بیشترین فشار داخل سیلندر نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط واقعی در سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت های مختلف ۷۷

۵-۲۸- تغییرات بیشترین فشار داخل سیلندر نسبت به تغییر فشار مؤثر متوسط واقعی در سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت های مختلف ۷۷

۵-۲۹- تغییرات گشتاور بر حسب نسبت هوای اضافی برای سوخت‌های مختلف، در بار کامل و سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه ۷۹

۵-۳۰- تغییرات مصرف سوخت ویژه برحسب نسبت هوای اضافی برای سوخت‌های مختلف، در بار کامل و سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه ۸۰

۵-۳۱- تغییرات مونوکسید کربن بر حسب نسبت هوای اضافی برای سوخت‌های مختلف، در بار کامل و سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه ۸۱

۵-۳۲- تغییرات هیدروکربن‌های نسوخته بر حسب نسبت هوای اضافی برای سوخت‌های مختلف، در بار کامل و سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه ۸۲

۵-۳۳- تغییرات اکسیدهای نیتروژن بر حسب نسبت هوای اضافی برای سوخت‌های مختلف، در بار کامل و سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه ۸۳

۵-۳۴- تغییرات زمان جرقه‌زنی بر حسب نسبت هوای اضافی برای سوخت‌های مختلف، در بار کامل و سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه ۸۴

۵-۳۵- تغییرات تأخیر در اشتعال بر حسب نسبت هوای اضافی برای سوخت‌های مختلف، در بار کامل و سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه ۸۴

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

با توجه به بالا رفتن قیمت سوخت در جهان و سخت‌تر شدن قوانین مربوط به آلایندگی خودروها در سال‌های اخیر موضوع مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌ها در کنار حفظ کیفیت عملکرد موتور، بیش از پیش اهمیت پیدا کرده است. برای رسیدن به این اهداف، تحقیقات در زمینه‌های متنوعی انجام شده است که عبارتند از:

- استفاده از سوخت‌های جایگزین مانند هیدروژن
- طراحی موتورهایی که با انرژی الکتریکی کار می‌کنند
- طراحی موتورهای هیبریدی
- استفاده از موتورهای پیل سوختی

ولی مشکل اصلی در استفاده از این فن‌آوری‌ها، گران بودن آن‌ها است. به‌طوری که هنوز هیچ‌کدام نتوانسته جایگزینی برای خودروهای با سوخت فسیلی شوند. نتیجه اینکه در کنار تحقیق بر روی این راه‌کارها، تحقیقاتی نیز در زمینهٔ بهینه کردن سوخت‌های فسیلی انجام می‌شود. در چند سال اخیر با مخلوط کردن سوخت‌های مختلف، سعی شده است که مخلوطی با عملکرد بهینه بدست آید. یکی از افزودنی‌های مناسب برای سوخت‌های سنتی، هیدروژن است. هیدروژن سوختی است که در سال‌های اخیر توجه خاصی به آن می‌شود و با توجه به فراوانی آن در جهان و برخی مزایای دیگر، ممکن است در آینده کاملاً جایگزین سوخت‌های فسیلی شود.

هیدروژن به‌تنهایی منبع انرژی مناسبی است ولی به‌دلایلی مانند مشکلات تهیه، حمل و نقل و نیاز به مخزن سوخت بزرگ سوار بر وسیلهٔ نقلیه تا کنون به‌عنوان سوخت خالص از آن استفاده نشده است. از اوایل دههٔ ۱۹۹۰ میلادی ایدهٔ استفاده از هیدروژن به‌عنوان سوخت مکمل در کنار بنزین یا گاز