بسم الله الرحمن الرحیم

دانشـگاه تبـریـز

دانشـکده فنـی مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

رساله

برای دریافت درجه دکتری در رشته مهندسی مکانیک

(تبدیل انرژی)

عنوان

اشتعال موتورهای دوگانه سوز با استفاده از رادیکال های آزاد موجود در گازهای EGR

استاد راهنما

شادروان دکتر وهاب پیروزپناه

جانشین استاد راهنما

دکتر رحیم خوشبختی سرای

استادان مشاور

دکتر علیقلی نیائی - دکتر سید علی جزایری

پژوهشگر

اسداله محمدی کوشا

شهریور ۱۳۸۷

اگر تهیه و تالیف این رساله را منزلتی باشد

تقدیم است به

روح پاک پدرم

و

مادر فداکارو مهربانم

تقدیر و تشکر:

سپاس خداوند یکتا را که هستیم بخشید و از دریای بیکران رحمتش برخوردارم نمود. تحصیل دانش را روزیم ساخت، همتم عطا کرد تا سختی ها و مرارت های زندگی را با حلاوت آموختن بر خود هموار کنم، گذر از این مسیر و فائق آمدن بر مشکلات را به برکت فداکاری، یاری و مهربانی بندگان خویش بر من میسر ساخت.

بدون شک انجام این رساله بدون یاری استاد راهنمای عزیز و گرانقدرم میسر نبود، از این رو قبل از بیان هر مطلبی بر خود واجب می دانم از زحمات بی دریغ و بی شائبه استاد ارجمندم جناب آقای دکتر وهاب پیروز پناه، انسان فرزانه ای که علاوه بر بهره جستن از دانش آن، اخلاق نیکویش نیز برایم سرمشق بوده ولی متاسفانه بعد از اتمام کارهای رساله دعوت حق را لبیک گفته و به رحمت ایزدی پیوستند، از خداوند متعال طلب رحمت برای ایشان دارم.

از اساتید مشاور محترم آقایان دکتر نیائی و دکتر جزایری که راهنمائی های ارزنده و رهگشای آنان مسیر پروژه را هر چه شفاف تر نمود کمال تقدیر و تشکر را دارم. هم چنین از آقای دکتر خوشبختی که همواره پشتیبان فکری اینجانب در تمامی مراحل اجرای پروژه بودند قدردانی نموده و برایشان در تمامی مراحل زندگی و مجامع علمی و تحقیقاتی آرزوی موفقیت دارم، از داوران محترم آقایان دکتر مدرس رضوی، دکتر شیروانی تبار، دکتر عجب شیرچی و دکتر خلیل آریا که زحمت داوری را کشیده و در پربار نمودن رساله بنده را راهنمایی کردند سپاسگزاری می نمایم

در خاتمه از:

- مدیریت محترم قسمت تحقیق و توسعه کارخانه ایدم تبریز
- مدیریت و کارگاه آموزشی ساخت و تولید دانشگاه تبریز
- مدیریت محترم دانشکده برق دانشگاه تبریز
- معاونت پژوهشی دانشکده شیمی دانشگاه تبریز
- شرکت ترموقدس
- آقایان دکتر بهرامی، دکتر فرونچی، مهندس سلسبیلی، مهندس کریمانی، مهندس تقی پوریان، مهندس مجتهدی، مهندس حسینی

به خاطر مساعدت و همکاری در پیشبرد این رساله تقدیر و تشکر می نمایم.

اسداله محمدی کوشا

شهریور ۱۳۸۷

نام خانوادگی: محمدی کوشا **نام:** اسد اله

عنوان پایاننامه: اشتعال موتورهای دوگانه سوز با استفاده از رادیکال های آزاد موجود در گازهای EGR

استاد راهنما: دکتر وهاب پیروز پناه

استادان مشاور: دکتر علیقلی نیائی - دکتر سید علی جزایری

مقطع تحصیلی: دکتری **رشته:** مهندسی مکانیک **گرایش:** تبدیل انرژی **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: فنی مهندسی مکانیک **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۷ **تعداد صفحه:۱۹۳**

کلید واژه ها: موتور دوگانه سوز - اشتعال- گاز طبیعی - سوخت آتش زا - EGR داغ

چکیده:

با توجه به اطلاعات موجود در ادبیّات فن و تحقیقات انجام یافته در آزمایشگاه ماشین های حرارتی دانشگاه تبریز و دیگر مراکز تحقیقاتی جهان بر روی موتورهای دوگانه سوز (Dual Fuel Engines) که در آنها اکثر قدرت خروجی موتور از احتراق سوخت گازی تأمین شده و سوخت آتش زای دیزلی تنها به عنوان منبع اشتعال سوخت گازی و تأمین کننده بخش خیلی اندک از قدرت خروجی موتور مدنظر قرار می گیرد . این امر نشان گر این است که در این موتور ها کاهش پاشش سوخت آتش زا با استفاده از اثرات رادیکالی و حرارتی گونه های فعال شیمیایی موجود در گازهای اگزوز از نقطه نظر ملاحظات اقتصادی و هم چنین کنترل آلاینده ها از موضوعات بسیار مهم و جدیدی است که به ویژه در شرایط بارهای جزئی این موتورها مطرح می باشد . در این روش استفاده از رادیکال های آزاد به جای سوخت آتش زا در اشتعال و احتراق مخلوط داخل سیلندر مدنظر است .

لذا در این رساله کاهش سوخت آتش زا و جایگزینی آن با رادیکال های آزاد موجود در گازهای برگشتی اگزوز (EGR) در یک موتور دیزلی تک سیلندر (۱-۸) ، با محفظه احتراق IDI در شرایط بارهای جزئی مورد تحقیق و آزمایش قرار گرفته و پارامترهای مختلف از قبیل عملکرد ، آلاینده ها ، فشار و دمای محفظه احتراق نیز در مراحل مختلف آزمایشات اندازه گیری و محاسبه شده اند .

ادامه چکیدهٔ پایان نامه :

از آنجا که EGR داغ نقش مهمی در اعمال رادیکال های فعال و افزایش دمای مخلوط ورودی دارد ، لذا از یک هیتر مناسب برای حصول EGR داغ استفاده شده است . آزمایش ها در طیف گسترده ای از بارها ، ۱۰ الی ۵۰ درصد بار کامل صورت گرفته است . نتایج نشان می دهند که با اعمال EGR داغ ، پارامترهای عملکردی و آلایندگی به صورت چشم گیری بهبود می یابند . هم چنین درصد و دمای EGR لازم برای غلبه بر عملکرد ضعیف این موتورها در شرایط مختلف بارهای جزئی متفاوت بوده به طوری که در شرایط بارهای جزئی پایین تر ، درصد و دمای EGR لازم برای بهبود پارامترهای عملکردی و آلایندگی افزایش یافته در حالی که در شرایط بار جزئی بالاتر ، این مقادیر کاهش خواهند یافت .

«فهرست مطالب»

فصل اول **صفحه**

مقدمه

۱- ۱) تاریخچه ۱

۱- ۲) صورت مساله ۳

۱- ۳) اهدا ف ۵

۱- ۴) صفحه آرا یی و مضمون رساله ۶

فصل دوم

پیشینه پژوهش

۲- ۱) مروری بر کارهای انجام شده ۷

فصل سوم

مواد و روش ها ..

۳) آشنایی مختصری با موتور های دیزلی و طرز کار آنها ۱۸

۳- ۱) گاز سوز کردن موتور های دیزلی ۲۱

۳- ۲) نحوه اشتعال در موتور دوگانه سوز (Dual Fuel) با استفاده از سوخت آتش زا ۲۲

۳- ۳) تجهیزات اندازه گیری

۳- ۳- ۱) مدار اندازه گیری هوا ۲۳

۳- ۳- ۲) مدار سوخت دیزلی ۲۴

۳- ۳ -۳) مدار آب خنک کاری ۲۶

۳- ۳- ۴) مدار گاز طبیعی (NG) ۲۷

۳- ۳- ۵) تابلوی دیجیتالی ۲۸

۳- ۳- ۶) اندازه گیری دما ها ۲۹

۳- ۳- ۷) مدار EGR ۳۱
۳- ۳- ۸) اسیلوسکوپ ها ۳۳
۳- ۳- ۹) ترانسدیوسر فشار داخل سیلندر Kistler نوع ۶۱۲۳ ..... ۳۶
۳- ۳- ۱۰) اندازه گیری سرعت موتور ۳۸
۳- ۳- ۱۱) استفاده از جعبه کنترل ۴۰
۳- ۳- ۱۲) اسیلوسکوپ دیجیتالی مدل TNM DC 20080 ..... ۴۱
۳- ۳- ۱۳) تجهیزات اندازه گیری آلاینده های خروجی از موتور ۴۲
۳- ۴) اندازه گیری آلاینده ها ۴۷
۳- ۵) اندازه گیری دبی هوای مصرفی ۴۸
۳- ۶) اندازه گیری دبی جرمی سوخت ها (دیزل و گاز طبیعی) ۵۰
۳- ۷) نحوه محاسبه و تنظیم دبی گازهای اگزوز بر گشتی EGR ۵۰
۳- ۸) نحوه محاسبه پارامتر های عملکردی ۵۰
۳- ۹) نحوه آماده سازی موتور دوگانه سوز برای انجام آزمون ها ۵۲
۳- ۱۰) آنالیز فشار درون سیلندر ۵۲
۳- ۱۱) آهنگ گرمای خالص آزاد شده ۵۳
۳- ۱۲) فشار درون سیلندر ۵۷
۳- ۱۳) مشتق اول ودوم فشار ۶۰
۳- ۱۴) حجم و مشتق حجم ۶۰
۳- ۱۵) نسبت گرماهای ویژه ۶۱
۳- ۱۶) آهنگ کار انجام شده و آهنگ تغییر انرژی داخلی ۶۳
۳- ۱۷) انتقال حرارت و آهنگ گرمای نا خالص آزاد شده ۶۴
۳- ۱۸) تاخیر در اشتعال ۶۵
۳- ۱۹) دوره احتراق ۶۸
۳- ۲۰) شرح مراحل آزمون ها ۷۰

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴- ۱) مقدمه ۷۵

۴- ۲) سوخت آتش زا ثابت و سوخت گازی به تدریج اضافه می شود ۷۶

۴- ۲- ۱) تغییرات غلظت آلاینده ها ، دمای گازهای خروجی و مصرف سوخت ویژه ترمزی برای سه مقدار ثابت سوخت آتش زا ۸۶

۴- ۳) آزمون ها در بار کامل و بار های جزئی ۹۱

۴- ۳- ۱) بار کامل ۹۱

۴- ۳- ۲) بارهای جزئی ۵۰ ، ۲۵ و۱۰ در صد ثابت ۹۷

۴- ۴) بر رسی تاثیر دمای EGR در فرآیند احتراق ، عملکرد و آلایندگی موتورهای دو گانه سوز در شرایط بارهای جزئی ۱۰ و ۵۰ در صد بار کامل با در صدهای ورودی EGR داغ ۴ و ۱۰ در صد ۱۱۱

۴- ۵) بر رسی تاثیر میزان EGR به ازای دمای ثابت آن بر روی فرآیند احتراق ، عملکرد و آلایندگی موتور های دو گانه سوز در شرایط بارهای جزئی ۱۰ و ۵۰ در صد بار کامل ۱۳۸

۴- ۶) کاهش سوخت آتش زا و جایگزینی آن با رادیکال های آزاد موجود در EGR و بالاخره حذف کامل آن ۱۵۴

۴- ۷) اندازه گیری دمای محفظه احتراق ۱۵۹

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

۵- ۱) نتیجه گیری کلی ۱۶۲

۵- ۲) پیشنهاد برای کار های آتی ۱۶۴

مراجع ۱۶۶

پیوست ها ۱۷۶

۱ _ روش آزمون و دستگاه های لازم برای آزمون موتور دوگانه سوز لیستر ۱- ۸ ..... ۱۷۸

۲ _ نحوه روشن کردن اولیه موتور دوگانه سوز لیستر ۱-۸ ..... ۱۷۹

۳ _ نحوه خاموش کردن موتور ۱۸۰

۴ _ آمپلی فایر Kistler نوع 5041 B ۱۸۱
۵ _ نحوه تنظیم آمپلی فایر برای مقیاس معین ۱۸۲
۶ _ کالیبره کردن اسیلوسکوپ TE 28 ..... ۱۸۶
۷ _ طریقه نصب نرم افزار و روش استفاده از اسیلوسکوپ TNM ۱۸۷
۸ _ نمونه جدول پارامترهای عملکرد و آلایندگی محاسبه شده ۱۹۰
چکیده انگلیسی ۱۹۳

((فهرست شکل ها))

صفحه

شکل (۲- ۱) : شکل طرح وا ره آهنگ آزادسازی انرژی در یک موتور دوگانه سوز در نسبت های هم ارزی مختلف وبخش های مختلف آن در بارهای جزئی ۸

شکل (۲- ۲) : طرح وا ره تست موتور دوگانه سوز با استفاده از روش های EGR و گرم کردن هوای ورودی .. ۱۰

شکل (۲- ۳) : طرح وا ره محفظه های فرعی در موتور اشتعال تراکمی ۱۷

شکل (۳- ۱) : نمایی از موتور لیستر ۱- ۸ ..... ۲۰

شکل (۳- ۲) : نمایی از محفظه احتراق ثانویه و گلوگاه موتور لیستر ۱- ۸ ..... ۲۰

شکل (۳- ۳) : مخزن آرامش به همراه مانو متر های اندازه گیری دبی جرمی هوای ورودی ۲۴

شکل (۳- ۴) : مدار سوخت رسانی دیزل ۲۶

شکل (۳- ۵) : مدار خنک کاری آب موتور ۲۷

شکل (۳- ۶) : کنتور گاز شهری ۲۸

شکل (۳- ۷) : تابلوی نشانگر دیجیتالی ۲۹

شکل (۳- ۸) : ترمو کوپل نوع K و تابلو نشان دهنده دیجیتال ۳۰

شکل (۳- ۹) : مدار EGR نصب شده روی موتور ۳۲

شکل (۳- ۱۰) : قسمت داخلی هیتر ۳۲

شکل (۳- ۱۱) و (۳- ۱۲) : نمایی از دستگاه اندیکاتور الکترونیکی همراه آمپلی فایر (TE 28) و ا سیلوسکوپ آنالوگ (3060 D) بالا چپ و ا سیلوسکوپ دیجیتال (TNM) بالا راست ۳۴

شکل (۳ – ۱۳) طرح واره تست موتور دوگانه سوز لیستر ۱_ ۸ ..... ۳۵

شکل (۳- ۱۴) : ترانسدیوسر فشار Kistler نوع ۶۱۲۳ ..... ۳۷

شکل (۳- ۱۵) : محل نصب ترا نسدیوسر فشار روی موتور لیستر ۱- ۸ ..... ۳۷

شکل (۳- ۱۶) : دستگاه انکودر کوپل شده با میل لنگ موتور ۳۹

شکل (۳- ۱۷) : شماتیک قسمت کنترل دستگاه اندیکاتور TE 28 ..... ۴۰

شکل (۳- ۱۸) : صفحه پا نل ا سیلوسکوپ TNM ۴۱

شکل (۳- ۱۹) : دستگاه آلاینده سنج Signal (VM 4000) ۴۲

شکل (۳- ۲۰) : دستگاه آلا ینده سنج کا سنز ۴۳

شکل (۳- ۲۱) : دستگاه آلا ینده سنج AVL ۴۴

شکل (۳- ۲۲) : دستگاه دود سنج AVL ۴۵

شکل (۳- ۲۳) : سیستم باز در نظر گرفته شده برای محفظه احتراق در آنا لیز گرمای آزاد شده ۵۳

شکل (۳- ۲۴) : منحنی های فشار قبل و بعد از هموار سازی . محاسبه مشتق فشار با استفاده... ..... ۵۹

شکل (۳- ۲۵) : نمودار حجم و مشتق آن بر حسب زاویه میل لنگ برای موتور لیستر ۱- ۸ ..... ۶۱

شکل (۳- ۲۶) : آهنگ انجام کار و تغییر انرژی درونی برای موتور IDI لیستر ۱- ۸ در بار جزئی ۵۰ در صد... ۶۳

شکل (۳- ۲۷) ، الف ،ب وج نمودارهای فشار مشتق اول و دوم آن را نشان می دهد. نقطه S در این نمودار ها به ترتیب نقطه عطف ، کمینه و صفر منحنی است که نشانگر شروع اشتعال است ..... ۶۸ _۶۷

شکل (۳- ۲۸) : دوره احتراق با استفاده از منحنی انباشتگی گرمای آزاد شده برحسب زاویه میل لنگ . فاصله زمانی از ۵٪ تا ۹۵٪ بیشترین انباشتگی گرمای آزاد شده را دوره احتراق در نظر می گیرند. ۶۹
شکل (۴- ۱) : تغییرات فشار درون سیلندر برای سوخت آتش زای ثابت ۳۵۶ kg/ hr /۰ ..... ۷۷
شکل (۴- ۲) : تغییرات فشار درون سیلندر برای سوخت آتش زای ثابت ۲۴۳ kg/ hr /۰ ..... ۷۷
شکل (۴- ۳) : تغییرات فشار درون سیلندر برای سوخت آتش زای ثابت ۱۲۱ kg/ hr /۰ ..... ۷۷
شکل (۴- ۴) : تغییرات شیب فشار برای سوخت آتش زای ثابت ۳۵۶ kg/ hr / ۰ ..... ۷۹
شکل (۴- ۵) : تغییرات مشتق دوم فشار برای سوخت آتش زای ثابت ۳۵۶ kg/ hr / ۰ ..... ۷۹
شکل (۴- ۶) : تغییرات شیب فشار برای سوخت آتش زای ثابت ۲۴۳ kg/ hr / ۰ ..... ۸۰
شکل (۴- ۷) : تغییرات مشتق دوم فشار برای سوخت آتش زای ثابت ۲۴۳ kg/ hr / ۰ ..... ۸۰
شکل (۴- ۸) : تغییرات شیب فشار برای سوخت آتش زای ثابت ۱۲۱ kg/ hr / ۰ ..... ۸۱
شکل (۴- ۹) : تغییرات مشتق دوم فشار برای سوخت آتش زای ثابت ۱۲۱ kg/ hr / ۰ ..... ۸۱
شکل (۴- ۱۰) : آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده برای سوخت آتش زای ثابت ۳۵۶ kg/ hr / ۰ ..... ۸۳
شکل (۴- ۱۱) : انباشتگی گرمای آزاد شده برای سوخت آتش زای ثابت ۳۵۶ kg/ hr /۰ ..... ۸۳
شکل (۴- ۱۲) : آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده برای سوخت آتش زای ثابت ۲۴۳ kg/ hr / ۰ ..... ۸۴
شکل (۴- ۱۳) : انباشتگی گرمای آزاد شده برای سوخت آتش زای ثابت ۲۴۳ kg/ hr / ۰ ..... ۸۴
شکل (۴- ۱۴) : آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده برای سوخت آتش زای ثابت ۱۲۱ kg/ hr /..... ۸۵
شکل (۴- ۱۵) : انباشتگی گرمای آزاد شده برای سوخت آتش زای ثابت ۱۲۱ kg/ hr / ۰ ..... ۸۵
شکل (۴- ۱۶) : تغییرات آلاینده CO در سه مقدار سوخت آتش زای ثابت با افزایش سوخت گازی ۸۷
شکل (۴- ۱۷) : تغییرات آلاینده TUHC در سه مقدار سوخت آتش زای ثابت با افزایش سوخت گازی ۸۸
شکل (۴- ۱۸) : تغییرات آلاینده اکسید های نیتروژن در سه مقدار سوخت آتش زای ثابت با افزایش سوخت گازی .. ۸۸
شکل (۴- ۱۹) : تغییرات دمای گازهای خروجی در سه مقدار سوخت آتش زای ثابت با افزایش سوخت گازی ۸۹
شکل (۴- ۲۰) : تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی در سه مقدار سوخت آتش زای ثابت با افزایش سوخت گازی .. ۹۰
شکل (۴- ۲۱) : تغییرات فشار درون سیلندر در بار کامل ۹۲
شکل (۴- ۲۲) : تغییرات شیب فشار درون سیلندر در بار کامل ۹۲
شکل (۴- ۲۳) : تغییرات مشتق دوم فشار در بار کامل ۹۲
شکل (۴- ۲۴) : آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده در بار کامل ۹۳
شکل (۴- ۲۵) : انباشتگی گرمای آزاد شده در بار کامل ۹۳
شکل (۴- ۲۶) : غلظت آلاینده هیدروکربن های نسوخته بر حسب سوخت آتش زا در بار کامل ۹۵
شکل (۴- ۲۷) : غلظت آلاینده مونوکسید کربن بر حسب سوخت آتش زا در بار کامل ۹۵
شکل (۴- ۲۸) : غلظت آلاینده اکسیدهای نیتروژن بر حسب سوخت آتش زا در بار کامل ۹۶
شکل (۴- ۲۹) : مصرف سوخت ویژه ترمزی بر حسب سوخت آتش زا در بار کامل ۹۶
شکل (۴- ۳۰) : تغییرات فشار درون سیلندر در بار جزئی ۵۰ ٪ ۹۷
شکل (۴- ۳۱) : تغییرات فشار درون سیلندر در بار جزئی ۲۵ ٪ ۹۸
شکل (۴- ۳۲) : تغییرات فشار درون سیلندر در بار جزئی ۱۰ ٪ ۹۸
شکل (۴- ۳۳) : تغییرات شیب فشار درون سیلندر در بار جزئی ۵۰ ٪ ۹۹
شکل (۴- ۳۴) : تغییرات شیب فشار درون سیلندر در بار جزئی ۲۵ ٪ ۱۰۰

شکل (۴- ۳۵) : تغییرات شیب فشار درون سیلندر در بار جزئی ۱۰ ٪ ۱۰۰
شکل (۴- ۳۶) : تغییرات مشتق دوم فشار در بار جزئی ۵۰ ٪ ۱۰۱
شکل (۴- ۳۷) : تغییرات مشتق دوم فشار در بار جزئی ۲۵ ٪ ۱۰۱
شکل (۴- ۳۸) : تغییرات مشتق دوم فشار در بار جزئی ۱۰ ٪ ۱۰۱
شکل (۴- ۳۹) : آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده در بار جزئی ۵۰ ٪ ۱۰۲
شکل (۴- ۴۰) : آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده در بار جزئی ۲۵ ٪ ۱۰۳
شکل (۴- ۴۱) : آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده در بار جزئی ۱۰ ٪ ۱۰۳
شکل (۴- ۴۲) : انبا شتگی گرمای آزاد شده در بار جزئی ۵۰ ٪ ۱۰۴
شکل (۴- ۴۳) : انبا شتگی گرمای آزاد شده در بار جزئی ۲۵ ٪ ۱۰۴
شکل (۴- ۴۴) : انبا شتگی گرمای آزاد شده در بار جزئی ۱۰ ٪ ۱۰۴
شکل (۴- ۴۵) : غلظت مونو کسید کربن بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۵۰ ٪ ۱۰۶
شکل (۴- ۴۶) : غلظت مونو کسید کربن بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۲۵ ٪ ۱۰۶
شکل (۴- ۴۷) : غلظت مونو کسید کربن بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۱۰ ٪ ۱۰۶
شکل (۴- ۴۸) : غلظت هیدرو کربن های نسوخته بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۵۰ ٪ ۱۰۷
شکل (۴- ۴۹) : غلظت هیدرو کربن های نسوخته بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۲۵ ٪ ۱۰۷
شکل (۴- ۵۰) : غلظت هیدرو کربن های نسوخته بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۱۰ ٪ ۱۰۷
شکل (۴- ۵۱) : غلظت اکسید های نیتروژن بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۵۰ ٪ ۱۰۸
شکل (۴- ۵۲) : غلظت اکسید های نیتروژن بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۲۵ ٪ ۱۰۸
شکل (۴- ۵۳) : غلظت اکسید های نیتروژن بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۱۰ ٪ ۱۰۸
شکل (۴- ۵۴) : مصرف سوخت ویژه ترمزی بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۵۰ ٪ ۱۰۹
شکل (۴- ۵۵) : مصرف سوخت ویژه ترمزی بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۲۵ ٪ ۱۱۰
شکل (۴- ۵۶) : مصرف سوخت ویژه ترمزی بر حسب سوخت آتش زا در بار جزئی ۱۰ ٪ ۱۱۰
شکل (۴- ۵۷) : تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰ ٪ بار کامل) ۱۱۳
شکل (۴- ۵۸) : تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای اعمال ۴ ٪ و ۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰ ٪ بار کامل) ۱۱۴
شکل (۴- ۵۹) : تغییرات آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده بر حسب زاویه میل لنگ به ازای اعمال ۴ ٪ و ۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰ ٪ بار کامل) ۱۱۶
شکل (۴- ۶۰) : تغییرات آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده بر حسب زاویه میل لنگ به ازای اعمال ۴ ٪ و ۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰ ٪ بار کامل) ۱۱۷
شکل (۴- ۶۱) : تغییرات مشتق اول فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰ ٪ بار کامل) ۱۱۹
شکل (۴- ۶۲) : تغییرات مشتق اول فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰ ٪ بار کامل) ۱۲۰
شکل (۴- ۶۳) : تغییرات مشتق دوم فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰ ٪ بار کامل) ۱۲۱

شکل (۴-۶۴) : تغییرات مشتق دوم فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰٪ بار کامل) ۱۲۲
شکل (۴-۶۵) : تغییرات توان ترمزی بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰٪ بار کامل) ۱۲۳
شکل (۴- ۶۶) : تغییرات توان ترمزی بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰ ٪ بار کامل) ۱۲۴
شکل (۴-۶۷) : تغییرات bsfc بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰٪ بار کامل) ۱۲۶
شکل (۴-۶۸) : تغییرات bsfc بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰٪ بار کامل) ۱۲۷
شکل (۴-۶۹) : تغییرات آلاینده UHC بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰٪ بار کامل) ۱۲۸
شکل (۴-۷۰) : تغییرات آلاینده UHC بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰ ٪ بار کامل) ۱۲۹
شکل (۴-۷۱) : تغییرات آلاینده CO بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰٪ بار کامل) ۱۳۱
شکل (۴-۷۲) : تغییرات آلاینده CO بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰ ٪ بار کامل) ۱۳۲
شکل (۴-۷۳) : تغییرات آلاینده اکسیدهای نیتروژن بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰٪ بار کامل) ۱۳۳
شکل (۴-۷۴) : تغییرات آلاینده اکسیدهای نیتروژن بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰ ٪ بار کامل) ۱۳۴
شکل (۴-۷۵) : تغییرات در صد حجمی اکسیژن بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۱۰٪ بار کامل) ۱۳۶
شکل (۴-۷۶) : تغییرات در صد حجمی اکسیژن بر حسب دمای مخلوط ورودی به ازای اعمال ۴ ٪ و۱۰ ٪ EGR و دماهای مختلف مخلوط ورودی در بار جزئی (۵۰ ٪ بار کامل) ۱۳۷
شکل (۴- ۷۷) : تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت و درصد های مختلف EGR در ۱۰ و۵۰ در صد بار کامل ۱۴۲
شکل (۴- ۷۸) : تغییرات آهنگ ظاهری گرمای آزاد شده بر حسب زاویه میل لنگ به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت و درصد های مختلف EGR در ۱۰ و۵۰ در صد بار کامل ۱۴۳
شکل (۴- ۷۹) : تغییرات مشتق اول و دوم فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت و در صدهای مختلف EGR در ۱۰ در صد بار کامل ۱۴۴
شکل (۴- ۸۰) : تغییرات مشتق اول و دوم فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت و در صدهای مختلف EGR در ۵۰ در صد بار کامل ۱۴۵
شکل (۴- ۸۱) : تغییرات توان ترمزی بر حسب در صدهای مختلف EGR به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت ، در ۱۰ و۵۰ در صد بار کامل ۱۴۶

شکل (۴- ۸۲) : تغییرات bsfc بر حسب در صدهای مختلف EGR به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت ، در ۱۰ و۵۰ در صد بار کامل ۱۴۷
شکل (۴- ۸۳) : تغییرات آلاینده UHC بر حسب در صدهای مختلف EGR به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت ، در ۱۰ و۵۰ در صد بار کامل ۱۴۹
شکل (۴- ۸۴) : تغییرات آلاینده CO بر حسب در صدهای مختلف EGR به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت ، در ۱۰ و۵۰ در صد بار کامل ۱۵۰
شکل (۴- ۸۵) : تغییرات آلاینده اکسیدهای نیتروژن بر حسب در صدهای مختلف EGR به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت ، در ۱۰ و۵۰ در صد بار کامل ۱۵۲
شکل (۴- ۸۶) : تغییرات در صد حجمی اکسیژن بر حسب در صد های مختلف EGR به ازای دمای مخلوط ورودی ثابت ، در ۱۰ و ۵۰ در صد بار کامل ۱۵۳
شکل (۴- ۸۷) : عکس برداری با سرعت بالا از احتراق HCCI ۱۵۶
شکل (۴- ۸۸) : تغییرات فشار درون سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازاء سوخت آتش زای۰/۰۱۸ kg/hr ۱۵۸
شکل (۴- ۸۹) : تغییرات فشار درون سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ به ازاء شرایط بدون استفاده..... .۱۵۸
شکل (۴- ۹۰) : تغییرات دمای بیشینه سیلندر بر حسب در صد بار ۱۶۰
شکل (۴- ۹۱) : تغییرات دمای بیشینه سیلندر بر حسب دمای مخلوط ورودی برای موتور دوگانه سوز به ازای اعمال ۱۰ ٪ EGR در بار جزئی (۲۰ ٪ بار کامل) ۱۶۰
شکل (۴- ۹۲) : تغییرات دمای بیشینه سیلندر بر حسب دمای مخلوط ورودی برای موتور دوگانه سوز به ازای اعمال ۱۲ ٪ EGR در بار جزئی (۱۰ ٪ بار کامل) ۱۶۱
شکل (پ _ ۱) نمایی کلی از دستگاه های مورد استفاده در آزمون ها ۱۷۶
شکل (پ _ ۲) نمایی از شانه پمپ انژکتور که توسط دو عدد انبر قفل شده است ۱۷۶
شکل (پ _ ۳) محل نصب مدار EGR (هیتر، شیر تنظیم دبی EGR) بر روی موتور لیستر ۱- ۸ ..... ۱۷۷
شکل (پ _ ۴) وانتوری (سوخت آما) نصب شده بر روی موتور دوگانه سوز لیستر ۱- ۸ ..... ۱۷۷

« فهرست جدول ها » **صفحه**

جدول ۳ – ۱ – مشخصات موتور دوگانه سوز IDI (لیستر ۱ – ۸) ۱۹

جدول ۳ – ۲ – مشخصات گاز طبیعی (NG) در تابستان و پائیز سال ۱۳۸۶ در تبریز ۲۳

جدول ۳ – ۳ – جدول تبدیل واحد OPACITY به واحد BOSCH ۴۵

جدول ۳ – ۴ – بازه ی اندازه گیری هر یک از گازها و دقت اندازه گیری هر کدا م ۴۷

جدول ۳ – ۵ – پارا متر های معادله Woschni ۶۵

فهرست نمادها:

AFR	Air Fuel Ratio	نسبت هوا به سوخت
BDC	Bottom Dead Center	نقطه مرگ پایین
BG	Bio Gas	گاز زیستی
BSFC	Brake Specific Fuel Consumption	مصرف سوخت ویژه ترمزی
C.A.	Crank Angle	زاویه میل لنگ
CNG	Compressed Natural Gas	گاز طبیعی فشرده
DI	Direct Injection	تزریق مستقیم
EGR	Exhaust Gas Recirculation	بازخورانی گازهای خروجی
EVO	Exhaust Valve Opening	باز شدن دریچه خروجی
HCCI	Homogeneous Charge Compression Ignition	اشتعال تراکمی مخلوط همگن
ID	Ignition Delay	تأخیر اشتعال
IDI	Indirect Injection	تزریق غیر مستقیم
IVC	Inlet Valve Closing	بسته شدن دریچه ورودی
LPG	Liquefied Petroleum Gases	گازهای نفتی مایع شده
NHRR	Net Heat Release Rate	آهنگ خالص گرمای آزادشده
P_b	Braking Power	قدرت ترمزی
PM	Particulate Mater	آلاینده ذرات
TUHC	Total Unburned Hydrocarbons	مجموع هیدروکربنهای نسوخته
Φ	Equivalence Ratio	نسبت هم ارزی
γ	Specific Heat Ratios	نسبت گرماهای ویژه
λ	Coefficient of Extended Air	ضریب هوای اضافی
η_{th}	Thermal Efficiency	بازده حرارتی

فصل اوّل

مقدمه

۱-۱) تاریخچه

امروزه تخریب منابع محیط زیست به عنوان مهم ترین تهدید و نگرانی دنیای صنعتی مطرح است. منابع خاک ، آب و هوا همگی گنج هایی محسوب می شوند که اختلال در هر یک از این منابع مشکلات جدی برای ساکنان کره زمین به وجود می آورد. از بین این منابع هوا به عنوان حیاتی ترین عنصر، نقش کلیدی در زندگی بشر ایفا می کند زیرا این منبع ارتباط دائمی و مستقیم با حیات انسان دارد.

پس از انقلاب صنعتی شرط لازم برای حرکت چرخ های صنعت، دستیابی به منبع انرژی بود، با پیدایش نفت این شرط تأمین شد و نفت و مشتقات آن همانند خون در پیکره دنیای صنعتی به گردش افتاد. حدود۱۵۰ سال پیش موتورهای احتراق داخلی اختراع شدند و تولید محصولاتی که از سوخت های فسیلی به عنوان منبع انرژی استفاده می کردند به شدت رو به افزایش گذاشت. اما دیری نپایید که دو سئوال مهم در ذهن بشر نقش بست. اول این که سوخت های فسیلی تا چه مدت قابلیت بهره برداری دارند و دوم اینکه انباشته شدن گاز های سمی و غیر سمی ناشی از فرآیند احتراق در کره زمین و آلودگی هوا تا چه میزان قابل تحمل است. پاسخ به سئوال اول باعث شد که به تدریج خودروها و وسایل کم مصرف و پر بازده تر و نیز سوخت های جایگزین مورد استفاده قرار گیرد و پاسخ به سئوال دوم باعث شد که قوانین و استانداردهای آلایندگی در کشورهای مختلف جهان تدوین و اعمال شود .

امروزه تحقیق در زمینه موتور های احتراق داخلی با سرعت بالائی در جریان است، در این میان موتور های دیزلی به عنوان موثرترین منبع نیرو در بین انواع مختلف موتور های احتراق داخلی هستند. وسایل نقلیه سبک و سنگین و ماشین های صنعتی اکثراً به وسیله موتور های دیزلی به حرکت در می آیند. در اروپا استفاده از اتومبیل های دیزلی به صورت فزاینده ای رایج و مردم پسند شده است. هم چنین در ایالات متحده این موتورها خود را به عنوان مهم ترین گزینه برای تولید

قدرت در آینده نزدیک مطرح کرده اند . بنابراین، پیشرفت و توسعه بیشتر در کنترل آلاینده های خروجی از این موتورها یک نیاز اساسی است. در این میان مزایای موتور های دیزلی از دیدگاه آلودگی محیط زیست از جمله نشر گازهای گلخانه ای کمتر با مضرات آن هم چون نشر اکسید های نیتروژن و ذرات از این موتورها موازنه می شود. با سخت تر شدن قوانین جهانی آلایندگی، نیاز به روش های کنترل آلایندگی پیشرفته و حدود آلایندگی نزدیک صفر احساس می شود. از طرف دیگر با توجه به کمبود منابع انرژی سوخت های فسیلی، سوخت های جایگزین اهمیت خود را نشان می دهند. یکی از این سوخت های جایگزین که دارای منابع عظیم در کشورمان می باشد سوخت گاز طبیعی است که علاوه بر مزایای اقتصادی، آن یک سوخت پاک از لحاظ آلایندگی بوده که می تواند نقش بسزائی در کاهش آلودگی هوا و محیط زیست داشته باشد. از آنجا که موتور های دیزلی با فناوری حاضر، قادر به ارضاء این قوانین سخت آلایندگی نیستند، بنابراین استفاده از گاز طبیعی به عنوان یک راه حل ممکن برای کاهش آلاینده های خروجی از این موتورها می باشد. بالا بودن دمای خود اشتعالی گاز طبیعی (NG) از مهم ترین مزایای این سوخت به شمار می آید که باعث می شود این سوخت نسبت های تراکم بالای موتورهای دیزلی را تحمل کند [۴].

یکی از روش های ممکن برای تبدیل موتور دیزلی به موتور گازسوز، دوگانه سوز کردن آن می باشد که این روش می تواند با اعمال مقادیر بالای گاز طبیعی و مقادیر ناچیز سوخت دیزل که از آن به عنوان منبع اشتعالی مخلوط سوخت گاز طبیعی و هوا استفاده می شود، به اندازه موتور دیزلی تولید قدرت نماید. شایان ذکر است که جایگزینی سهم عمده ای از سوخت دیزل با گاز طبیعی، مکانیزم احتراقی را در موتور تغییر می دهد چرا که بخش عظیمی از احتراق غیر همگن سوخت دیزل با احتراق همگن سوخت گاز طبیعی در محفظه احتراق جایگزین می شود.

از لحاظ تاریخچه، از همان بدو اختراع و توسعه موتور دیزلی، مفهوم استفاده از گاز طبیعی و اشتعال آن با سوخت دیزلی، توسط Dr. Rudolf Diesel، در سال ۱۸۹۸ میلادی کشف شد. البته