

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد
گروه خودرو

عنوان

کاهش همزمان دوده و اکسیدهای نیتروژن در موتورهای دیزل
پاشش مستقیم با ملاحظات مصرف سوخت و توان

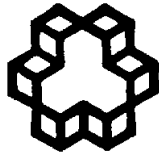
استاد راهنما

دکتر سید علی جزایری

پژوهشگر

علی فیروزی

تابستان ۸۹



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

تأییدیه هیأت داوران

هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان کاهش همزمان دوده و اکسیدهای نیتروژن در موتورهای دیزل پاشش مستقیم با ملاحظات مصرف سوخت و توان توسط آقای علی فیروزی، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش سیستم محرکه خودرو مورد تایید قرار می دهد.

آقای دکتر سید علی جزایری

۱- استاد راهنما

آقای دکتر امیرحسین شامخی

۲- استاد ممتحن داخلی

آقای دکتر رضا ابراهیمی

۳- استاد ممتحن خارجی

آقای دکتر امیرحسین شامخی

۴- نماینده تحصیلات تکمیلی

اظهارنامه دانشجو

موضوع پایان‌نامه: کاهش همزمان دوده و اکسیدهای نیتروژن در موتورهای دیزل

پاشش مستقیم با ملاحظات مصرف سوخت و توان

استاد راهنما: آقای دکتر سید علی جزایری

دانشجو: علی فیروزی

شماره دانشجویی: ۸۶۰۴۲۴۴

اینجانب علی فیروزی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش سیستم محرکه خودرو دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده‌است. به‌علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده‌است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب مصوب دانشگاه به طور کامل رعایت گردیده‌است.

علی فیروزی

تاریخ: ۱۳۸۹/۷/۱۸

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد. ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

۳- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع، مجاز نمی‌باشد.

با تشکر - علی فیروزی

تقدیم به صاحبان اصلی این اثر

پدر و مادرم

تشکر و قدردانی

خداوند را شکرگزارم که توانم را برای حرکت در این مسیر فزونی بخشید.

از استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر جزایری که در طول مدت مطالعه و تحصیل، مشوق و یاری‌دهنده‌ام بودند کمال قدردانی را دارم.

همچنین یاد می‌کنم از دکتر آلن میبوم به دلیل راهنمایی‌های راهبردی ایشان.

در انتها بر خود فرض می‌دانم که از دوستان عزیزم، آقایان مهندس خشایار ابراهیمی و مهندس جعفر قربانیان ذکری به میان آورم که اگر نمی‌بود کمک‌های دوستانه و کاربردی این بزرگواران، با مشکلاتی دو چندان مواجه بودم.

چکیده

در این مطالعه با استفاده از یک مدل ۶ ناحیه‌ای توسعه داده شده به شبیه‌سازی سیکل بسته‌ی موتور دیزل پاشش مسقیم در مراحل تراکم، پاشش سوخت، احتراق و انبساط پرداخته شده‌است. به دلیل ماهیت شبه‌ابعادی این مدل از امکان اتصال آن به مدل‌های آلاینده‌ی نیز سود برده شده و در محدوده‌ی وسیعی از شرایط عملکردی، پیش‌بینی‌هایی نیز برای مقادیر دوده و NO خروجی از موتور ارائه گردیده‌است. این مدل با تفکیک محفظه‌ی احتراق به ۶ ناحیه‌ی متفاوت، اطلاعات محلی مطلوبی همچون دما، نسبت هم‌ارزی و ترکیب شیمیایی را در هر ناحیه به دست می‌دهد. مدل ۶ ناحیه‌ای حاضر بر مبنای مدل مفهومی دک^۱ و با فرضیات باربا^۲ و میبوم^۳ گسترش یافته و برای هندسه‌ی اسپری، نفوذ هوا به اسپری و پیشروی اسپری از مدل‌های سایبرس بهره گرفته‌است. برای محاسبه‌ی آلاینده‌ی NO ، علاوه بر یک مدل تعادلی از مدل سینتیکی زلدویچ^۴ توسعه یافته و برای محاسبه‌ی دوده از مدل دوده‌ی NSC ^۵ استفاده شده‌است. به منظور بررسی صحت کارکرد مدل‌های فوق از چهار موتور مختلف در محدوده‌ی عملکردی وسیعی استفاده شده و تغییرات زمان پاشش، نرخ EGR و پاشش دومرحله‌ای بررسی گردیده‌است. در انتها به کمک یک استراتژی جدید برای پاشش دومرحله‌ای، نتایج مطلوبی جهت کاهش همزمان آلاینده‌های دوده و NO اخذ گردیده‌است.

واژگان کلیدی: دیزل - احتراق - آلاینده‌ی - مدل شبه‌ابعادی - دوده - اکسیدنیترژن

^۱ - Dec

^۲ - Barba

^۳ - Maiboom

^۴ - Zeldovich

^۵ - Nagle and Strickland-Constable

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه
فهرست مطالب.....	و.....
فهرست شکل‌ها.....	ح.....
فهرست جدول‌ها.....	ک.....
نمادها.....	ل.....
فصل ۱: مقدمه	۱.....
فصل ۲: پیشینه‌ی تحقیق	۴.....
۱-۲- مقدمه	۵.....
۲-۲- مدل‌های چندبعدی	۶.....
۳-۲- مدل‌های صفربعدی - تک‌ناحیه‌ای	۷.....
۱-۳-۲- مدل باربا	۸.....
۴-۲- مدل‌های شبه‌ابعادی	۱۰.....
۱-۴-۲- مدل واتسون	۱۳.....
۲-۴-۲- مدل هیروياسو	۱۴.....
۳-۴-۲- مدل مفهومی دک	۱۵.....
۵-۲- جزئیات مربوط به احتراق دیزل	۱۸.....
۶-۲- علت ایجاد مدل حاضر و نقائص مدل‌های گذشته	۲۰.....
فصل ۳: مدل‌سازی	۲۲.....
۱-۳- مقدمه	۲۳.....
۲-۳- مدل پاشش	۲۳.....
۱-۲-۳- زیرمدل نفوذ اسپری	۲۴.....
۲-۲-۳- زیر مدل زاویه‌ی پخش اسپری	۲۵.....
۳-۲-۳- زیرمدل طول مایع جت سوخت	۲۶.....
۴-۲-۳- زیرمدل طول برخاستگی شعله	۲۸.....
۳-۳- مدل ۶ ناحیه‌ای	۳۱.....
۱-۳-۳- توصیف مقدماتی مدل	۳۱.....
۲-۳-۳- زیرمدل توزیع جرمی سوخت در نواحی مختلف و محاسبه‌ی هوای	
ورودی به اسپری	۳۴.....
۳-۳-۳- زیرمدل احتراقی	۳۵.....
۱-۳-۳-۳- زیرمدل احتراق پیش‌آمیخته	۳۶.....

۳۸.....	زیرمدل احتراق دیفیوژن (کنترل اختلاطی)
۴۱.....	زیرمدل تأخیر در احتراق
۴۱.....	زیرمدل انتقال جرم
۴۳.....	زیرمدل انتقال حرارت
۴۵.....	زیرمدل تراکم و انبساط و معادلات حالت و بقا
۴۵.....	مرحله‌ی تراکم
۴۷.....	مرحله‌ی انبساط
۴۷.....	زیرمدل تعادلی
۴۸.....	اجزاء مورد نظر در توسعه‌ی زیرمدل واکنش‌های تعادلی
۴۹.....	ثوابت واکنش‌های تعادلی
۵۰.....	زیرمدل تلفات اصطکاکی
۵۴.....	فصل ۴: آلاینده‌های دوده و NO_x
۵۵.....	۱-۴- تشکیل NO_x
۵۹.....	۲-۴- تشکیل دوده
۶۴.....	۳-۴- روش‌های کاهش آلاینده‌گی
۷۰.....	فصل ۵: بحث و نتیجه‌گیری
۱۰۶.....	فهرست مراجع
۱۱۲.....	پیوست

فهرست شکل‌ها

عنوان.....	صفحه
شکل (۱-۲) مراحل مختلف بخش احتراق پیش‌آمیخته‌ی مدل باربا.....	۹
شکل (۲-۲) پروفیل کیفی نرخ آزاد شدن گرما در ۲ فاز مختلف از بخش احتراق پیش‌آمیخته‌ی مدل باربا.....	۹
شکل (۳-۲) پروفیل کیفی فرکانس اختلاطی مربوط به بخش احتراق دیفیوژن مدل باربا و مقایسه‌ی زمانی آن با پروفیل پاشش و نرخ آزاد شدن گرمای متناظر.....	۱۰
شکل (۴-۲) مدل دو ناحیه‌ای.....	۱۱
شکل (۵-۲) مدل سه ناحیه‌ای.....	۱۲
شکل (۶-۲) مدل‌های چند ناحیه‌ای.....	۱۳
شکل (۷-۲) حرکت، انحراف و برخورد جت با دیواره‌ی سیلندر در مدل واتسون.....	۱۴
شکل (۸-۲) مراحل گذرای تکامل اسپری در موتور دیزل.....	۱۷
شکل (۹-۲) حالت شبه‌پایدار مدل مفهومی دک.....	۱۸
شکل (۱-۳) نمایی از اسپری ایده‌ال که به منظور توسعه‌ی این زیرمدل استفاده شده‌است.....	۲۷
شکل (۲-۳) مقایسه‌ی طول برخاستگی شعله و طول مایع جت سوخت.....	۳۰
شکل (۳-۳) شش ناحیه‌ی مجزا در محفظه‌ی احتراق.....	۳۱
شکل (۴-۳) مراحل مختلف توسعه‌ی اسپری در مدل ۶ ناحیه‌ای.....	۳۳
شکل (۵-۳) مقایسه‌ی کیفی مقدار سوخت در نواحی مختلف.....	۴۰
شکل (۶-۳) انتقال جرم بین نواحی مختلف بعد از شروع احتراق.....	۴۲
شکل (۷-۳) روند منطقی ارتباط زیرمدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی.....	۵۳
شکل (۱-۴) روند کیفی فرآیند تشکیل و اکسیداسیون دوده و ارائه‌ی عوامل اصلی در هر مرحله...۶۳	۶۳
شکل (۲-۴) تأثیر دما و λ (عکس نسبت هم‌ارزی) بر تشکیل دوده.....	۶۴
شکل (۳-۴) احتمال تشکیل دوده و NO_x برای موتورهای متفاوت با توجه به شرایط دما و نسبت هم‌ارزی.....	۶۵
شکل (۴-۴) استراتژی جدید پاشش.....	۶۸
شکل (۵-۴) عوامل مؤثر و ترتیب بکارگیری آن‌ها در فرایند کاهش آلاینده‌ها.....	۶۹
شکل (۱-۵) پروفیل پاشش سوخت برای ۴ حالت بارگذاری متفاوت (موتور ۱).....	۷۲
شکل (۲-۵) نفوذ اسپری، مرز ناحیه‌ی ۳ و ۴، موقعیت شعله‌ی پیش‌آمیخته، انتهای پاشش، طول جت مایع سوخت و طول برخاستگی شعله برای حالت $1800\ rpm$ و بارگذاری 50% از	

- ۷۳ موتور ۱
- شکل (۳-۵) مقایسه‌ی نرخ آزاد شدن گرمای حاصل از مدل ۶ ناحیه‌ای و شرایط آزمایشگاهی در بارگذاری‌های مختلف. دور موتور در تمام حالت‌ها 1800 rpm می‌باشد. ۷۴
- شکل (۴-۵) نرخ آزادسازی گرما با تفکیک سهم احتراق پیش‌آمیخته و احتراق دیفیوژن در بارگذاری ۷۵٪. ۷۵
- شکل (۵-۵) مقایسه‌ی فشار مؤثر متوسط ترمزی اندازه‌گیری شده با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در بارگذاری‌های مختلف و مصرف سوخت ویژه ترمزی متناظر با آن. ۷۶
- شکل (۶-۵) پروفیل پاشش سوخت برای ۵ سرعت دورانی متفاوت (موتور ۱). ۷۷
- شکل (۷-۵) مقایسه‌ی جرم سوخت و هوای سوخته و نسوخته در اسپری در دور 2100 rpm و بارگذاری ۵۰٪. ۷۸
- شکل (۸-۵) مقایسه‌ی نرخ آزاد شدن گرمای حاصل از مدل ۶ ناحیه‌ای و شرایط آزمایشگاهی در سرعت‌های مختلف. بارگذاری در تمام حالت‌ها ۵۰٪ می‌باشد. ۷۹
- شکل (۹-۵) فشار مؤثر متوسط ترمزی اندازه‌گیری شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی در سرعت‌های مختلف و مصرف سوخت ویژه متناظر با آن. ۸۰
- شکل (۱۰-۵) مقایسه‌ی پروفیل فشار در پنج زمان پاشش متفاوت. ۸۲
- شکل (۱۱-۵) مقایسه‌ی نرخ آزاد شدن گرمای حاصل از مدل ۶ ناحیه‌ای و شرایط آزمایشگاهی با تغییر در زمان شروع پاشش. بارگذاری در تمام حالت‌ها ۸۰٪ و سرعت دورانی موتور 1600 rpm می‌باشد. ۸۳
- شکل (۱۲-۵) مقایسه‌ی فشار مؤثر متوسط ترمزی اندازه‌گیری شده با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در زمان‌های پاشش متفاوت. ۸۴
- شکل (۱۳-۵) آلاینده‌ی دوده و (a, b, NO) روند تغییرات در سیلندر. ۸۵
- شکل (۱۴-۵) مقایسه‌ی غلظت NO به دو روش تعادلی و سینتیکی برای حالت $SOI=15\text{ deg}$ $BTDC$. ۸۶
- شکل (۱۵-۵) پروفیل‌های پاشش سوخت در چند حالت متفاوت که به صورت کیفی ارائه شده‌اند. ۸۸
- شکل (۱۶-۵) منحنی نرخ آزادسازی گرما حاصل از مدل ۶ ناحیه‌ای و اندازه‌گیری با تفکیک بین فازهای احتراق پیش‌آمیخته و دیفیوژن، مربوط به نقطه‌ای با $15\% EGR$. ۸۹
- شکل (۱۷-۵) دمای متوسط در شعله و هسته‌ی اسپری و دمای متوسط سیلندر برای دو دمای ورودی متفاوت. ۹۰
- شکل (۱۸-۵) آلاینده‌ی دوده و NO ، $15\% EGR$ نقطه‌ی عملکرد A در حضور پایلوت. ۹۱
- شکل (۱۹-۵) نسبت هم‌ارزی متناظر با طول برخاستگی شعله در دماهای ورودی متفاوت، $15\% EGR$. ۹۱
- شکل (۲۰-۵) منحنی نرخ آزادسازی گرما حاصل از مدل ۶ ناحیه‌ای و اندازه‌گیری، با تفکیک بین

- ۹۲ فازهای احتراق پیش‌آمیخته و دیفیوژن، بدون پایلوت
- شکل (۵-۲۱) منحنی نرخ آزادسازی گرما حاصل از مدل ۶ ناحیه‌ای و اندازه‌گیری با تفکیک بین فازهای احتراق پیش‌آمیخته و دیفیوژن، در حضور پایلوت ۹۳
- شکل (۵-۲۲) دمای متوسط در شعله و هسته‌ی اسپری و دمای متوسط سیلندر در ۳ نرخ *EGR* متفاوت بدون پاشش پایلوت ۹۴
- شکل (۵-۲۳) دمای متوسط در شعله و هسته‌ی اسپری و دمای متوسط سیلندر در ۳ نرخ *EGR* متفاوت با داشتن پاشش پایلوت ۹۴
- شکل (۵-۲۴) روند تغییرات دوده و *NO* در سیلندر و مقایسه‌ی آن با مقادیر خروجی آلاینده‌ها در حضور پایلوت ۹۵
- شکل (۵-۲۵) روند تغییرات دوده و *NO* در سیلندر و مقایسه‌ی آن با مقادیر خروجی آلاینده‌ها در غیاب پایلوت ۹۵
- شکل (۵-۲۶) مقایسه‌ی دوده و *NO* خروجی از موتور با تغییر *EGR* در دو حالت پایلوت و بدون پایلوت ۹۶
- شکل (۵-۲۷) پروفیل فشار محاسبه‌شده برای حالت پایلوت در نرخ‌های *EGR* متفاوت ۹۷
- شکل (۵-۲۸) تغییرات فشار مؤثر متوسط ترمزی و مصرف سوخت ویژه‌ی ترمزی نسبت به *EGR* در دو حالت پایلوت و بدون پایلوت ۹۷
- شکل (۵-۲۹) مقایسه‌ی *NO* خروجی موتور حاصل از محاسبه و اندازه‌گیری در دو استراتژی پاشش معمولی و جدید ۹۹
- شکل (۵-۳۰) مقایسه‌ی دوده‌ی خروجی موتور حاصل از محاسبه و اندازه‌گیری در دو استراتژی پاشش معمولی و جدید ۱۰۰

فهرست جدول‌ها

عنوان.....	صفحه
جدول (۱-۳) ضرایب رابطه انتقال حرارت و شنی.....	۴۵
جدول (۲-۳) اجزاء مورد نظر در توسعه‌ی مدل تعادلی اسی.....	۴۸
جدول (۳-۳) واکنش‌های مورد نظر در توسعه‌ی مدل تعادلی اسی.....	۴۹
جدول (۱-۴) ثوابت نرخ برای مکانیزم تشکیل <i>NO</i> در روش زلدویچ.....	۵۸
جدول (۲-۴) ثوابت نرخ واکنش‌های اکسیداسیون دوده در روش <i>NSC</i>	۶۳
جدول (۱-۵) مشخصات مربوط به موتور شماره‌ی یک.....	۷۱
جدول (۲-۵) مشخصات مربوط به موتور شماره‌ی دو.....	۸۱
جدول (۳-۵) شرایط عملکردی موتور شماره‌ی دو.....	۸۲
جدول (۴-۵) مشخصات مربوط به موتور شماره‌ی سه.....	۸۷
جدول (۵-۵) شرایط عملکردی موتور شماره‌ی سه.....	۸۷
جدول (۶-۵) مشخصات مربوط به موتور شماره‌ی چهار.....	۹۸
جدول (۷-۵) شرایط عملکردی موتور شماره‌ی چهار.....	۹۸
جدول (۸-۵) تغییرات ضرایب میزان‌سازی در مدل.....	۱۰۰

نمادها

A_{hex}	سطح انتقال حرارت [m^2]
C_a	ضریب انقباض سطح
C_d	ضریب تخلیه
C_v	ضریب انقباض سرعت
C_{diss}	ضریب تجربی اضمحلال انرژی سینتیکی متلاطم
C_G	ضریب تجربی سرعت اختلاط (مربوط به هندسه)
C_H	ضریب تجربی مربوط به طول برخاستگی شعله
C_k	ضریب تجربی سرعت اختلاط مربوط به انرژی سینتیکی متلاطم
C_{spray}	ضریب تجربی تولید انرژی سینتیکی متلاطم
C_m	سرعت متوسط پیستون [$m \cdot s^{-1}$]
d_o	قطر روزنه‌ی نازل [m]
d_f	قطر مؤثر روزنه‌ی نازل [m]
$E_{cin,spray}$	انرژی سینتیکی اسپری [$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$]
f_s	جرم گاز محیطی مورد نیاز برای احتراق ۱ کیلوگرم سوخت
f_{mix}	فرکانس اختلاطی [Hz]
h	آنتالپی ویژه [$J \cdot kg^{-2}$]
H	طول برخاستگی شعله [m]
k	چگالی انرژی سینتیکی متلاطم [$m^2 \cdot s^{-2}$]
k_{diff}	ضریب تجربی برای احتراق دیفیوژن
k_{pre}	ضریب پیوستگی برای فاز دوم احتراق پیش‌آمیخته [s^{-1}]
k_{eff}	ضریب تجربی برای فاز اول احتراق پیش‌آمیخته
K_p	ثابت واکنش‌های تعادلی
l_{mix}	طول مشخصه‌ی اختلاطی [m]
LL	طول جت سوخت مایع [m]
m	جرم [kg]
n_N	تعداد روزنه‌های نازل
P	فشار [Pa]
P_{ox}	فشار جزئی اکسیژن [Pa]
\dot{Q}_W	انتقال حرارت به دیواره سیلندر
R_{ox}	نرخ اکسیداسیون سطح دوده [$g \cdot atom \ carbon \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2}$]
s^+	طول مرجع برای بی‌بعدسازی نفوذ اسپری [m]
\bar{s}	طول بی‌بعد نفوذ اسپری
S_{diff}	نفوذ اسپری در مرز ناحیه‌ی ۳ و ۴ [m]
S_{end}	نفوذ آخرین بسته از سوخت پاشش شده [m]
S_{start}	نفوذ اسپری در فاز گازی [m]
S_{spray}	مساحت مقطع اسپری [m^2]
S_{noz}	مساحت روزنه‌ی نازل [m^2]
S_l	سرعت شعله‌ی آرام [$m \cdot s^{-1}$]
S_t	سرعت شعله‌ی متلاطم [$m \cdot s^{-1}$]
t^+	زمان مرجع برای بی‌بعدسازی زمان نفوذ اسپری [s]
\bar{t}	زمان بی‌بعد نفوذ اسپری
T	دما [K]
T_s	دمای اشباع [K]

U_f	سرعت سوخت در خروجی نازل [$m \cdot s^{-1}$]
v_{mix}	سرعت اختلاط [$m \cdot s^{-1}$]
V	حجم [m^3]
x_f	موقعیت شعله نسبت به نازل [m]
Z_{st}	کسر جرمی استوکیومتریک سوخت

حروف یونانی

α	زاویه‌ی واقعی پخش اسپری [deg]
θ	زاویه‌ی پخش اسپری در مدل [deg]
ρ	چگالی [$kg \cdot m^{-3}$]
$\tilde{\rho}$	نسبت چگالی سوخت به هوا
Δt_{comb}	زمان مورد نیاز برای رسیدن سوخت به طول برخاستگی
Δt_{evap}	زمان مورد نیاز برای رسیدن سوخت به طول جت سوخت مایع
Φ	نسبت هم‌ارزی سوخت به هوا

زیرنویس‌ها

a	گازهای محیطی (هوا+EGR)
b	سوخته
cyl	سیلندر
$diff$	دیفیوژن
f	سوخت
ign	اشتعال
in	ورودی
inj	پاشش شده
pre	پیش‌آمیخته

علائم اختصاری

$ATDC$	بعد از نقطه‌ی مرگ بالا
$BTDC$	قبل از نقطه‌ی مرگ بالا
ASI	بعد از شروع پاشش
CA	زاویه‌ی لنگ [deg]
CFD	دینامیک سیالات محاسباتی
$CIDI$	احتراق تراکمی پاشش مستقیم
$DF2$	سوخت دیزل شماره‌ی دو
EGR	بازخورد گازهای خروجی

<i>EOC</i>	پایان احتراق
<i>EOI</i>	پایان پاشش
<i>HCCI</i>	احتراق تراکمی با شارژ همگن
<i>HP</i>	فشار بالا
<i>HSDI</i>	پر دور پاشش مستقیم
<i>ID</i>	تأخیر در اشتعال
<i>IMEP</i>	فشار مؤثر متوسط اندیکاتوری [MPa]
<i>LHV</i>	ارزش حرارتی پایین [$J \cdot kg^{-1}$]
<i>LTC</i>	احتراق دما پایین
<i>NIS</i>	استراتژی جدید پاشش
<i>NOx</i>	اکسیدهای نیتروژن
<i>NSC</i>	<i>Nagle and Strickland-Constable</i>
<i>ROHR</i>	نرخ آزاد شدن گرما [W]
<i>SEZM</i>	مکانیزم فوق توسعه یافته‌ی زلدویچ
<i>SI</i>	اشتعال جرقه‌ای
<i>SOC</i>	شروع احتراق
<i>SOI</i>	شروع پاشش
<i>VGT</i>	توربین با هندسه‌ی متغیر
<i>WO pilot</i>	بدون پایلوت
<i>W pilot</i>	در حضور پایلوت

فصل ۱

مقدمه

در حال حاضر موتورهای دیزل به دلیل مشخصه‌های عملکردی مناسب از جمله احتراق نسبتاً فقیر، فشار، دما و نسبت تراکم بالای احتراق که باعث افزایش بازده حرارتی و کاهش نسبی مصرف سوخت می‌شود و همچنین امکان استفاده در محدوده‌ی وسیع از شرایط آب و هوایی، بار و نوع سوخت، بسیار مورد توجه هستند. همین‌طور در صورت بهینه‌سازی نسبت فشار و سیستم‌های پرخوران خارجی^۱ و بدون محدودیت کوبش^۲ چگالی توان موتورهای اشتعال تراکمی پاشش مستقیم^۳ نسبت به موتورهای اشتعال جرقه‌ای^۴ قابل رقابت است.

در عین حال احتراق دیزل سطح نامطلوبی از اکسیدهای نیتروژن^۵ و دوده را تولید می‌کند. اجرای قوانین سختگیرانه مربوط به آلاینده‌ی در شرایطی که نیاز به حفظ و یا حتی بهبود کارایی موتورهای دیزل وجود دارد، چالش اساسی محسوب می‌شود. علاوه بر این کاهش همزمان برخی آلاینده‌ها از جمله دوده و NO_x خود عاملی است که بر دشواری کار می‌افزاید. برای مثال به تأخیر انداختن زمان پاشش^۶ که باعث کاهش آلاینده‌ی موتور می‌شود [۱] و از جمله راه حل‌های ارائه شده در بحث آلاینده‌ی می‌باشد، خود منجر به افت کارایی نیز خواهد شد. این روش باعث کاهش احتراق پیش‌آمیخته^۷ و کاهش حداکثر دمای داخل سیلندر و به دنبال آن کاهش NO_x می‌شود. متأسفانه این عمل نرخ اکسیداسیون دوده را کاهش داده و سبب افزایش دوده‌ی خروجی نیز می‌شود. بنابراین کنترل همزمان NO_x و دوده^۸ که به *Diesel Dilemma* شهرت دارد، در حال حاضر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است.

به منظور بررسی کمی و کیفی فرآیند احتراق، تولید آلاینده‌ها و عملکرد موتور دیزل فهم کامل فرآیند احتراق مورد نیاز است. فرآیند احتراق از لحاظ فیزیکی و شیمیایی فرآیندی است پیچیده،

^۱ - External turbo charging systems

^۲ - Knock constraint

^۳ - Compression Ignition Direct Injection (CIDI)

^۴ - Spark Ignition (SI)

^۵ - NO_x

^۶ - Retarding injection timing

^۷ - Premixed combustion

^۸ - Soot/ NO_x tradeoff

مغشوش، سه بعدی و چند فازی که در دما و فشار بالا اتفاق می‌افتد، و این فرآیند پیچیده توسط فرآیندهای متعددی از جمله اتمیزه شدن و تبخیر سوخت، اختلاط گازهای داخل سیلندر و سوخت، خوداشتعالی و اکسیداسیون سوخت، تولید تلاطم به وسیله‌ی هوا و جت سوخت، امکان برهم‌کنش جت با دیواره‌ی سیلندر یا جت‌های مجاور، انتقال حرارت بین نواحی در حال سوخت و گازهای محیط و بین دیواره و گازهای محیط، کنترل می‌شود.

در حال حاضر ایجاد مدل‌هایی که عملکرد موتور را به وسیله‌ی معادلات اساسی حاکم پیش‌بینی کنند غیر ممکن است [۲]، به همین منظور از روش‌های مدل‌سازی برای مطالعه‌ی فرآیند احتراق استفاده می‌شود. در همین راستا در مطالعه‌ی حاضر از آنجایی که هدف نهایی پیش‌بینی کمی و کیفی آلاینده‌های دوده و NO می‌باشد نیاز به انتخاب مدلی مناسب برای بررسی دقیق عملکرد موتور دیزل در فرآیند احتراق احساس می‌شود. بنابراین در آغاز به مطالعه‌ی کاملی راجع به مدل‌های احتراقی موجود پرداخته شده‌است و در ادامه مدلی خاص که توانایی اعمال تغییرات پارامتریک بالایی را دارا باشد توصیف شده‌است تا بتوان به پیش‌بینی آلاینده‌ها رسید.

از آنجایی که برای کاهش آلاینده‌ها نیاز به تغییر شرایط عملکردی به طور همزمان وجود دارد بنابراین مدل باید انعطاف‌پذیری کافی برای اعمال این تغییرات و سرعت قابل قبول برای محاسبات آن‌ها را دارا باشد.

در فصول بعدی ابتدا تاریخچه‌ای راجع به شبیه‌سازی موتور ارائه می‌گردد در ادامه به مطالعه‌ی دقیق ساختار ریاضی مدل عملکرد موتور دیزل و همین‌طور فرآیند تشکیل و مدل‌سازی آلاینده‌های دوده و NO_x پرداخته خواهد شد. در انتها با اعمال تغییراتی در شرایط عملکردی چهار موتور مختلف و به‌کارگیری مدل عملکرد و آلاینده‌ی موتور نتایج و پیشنهادات بیان می‌گردد.