د انشگاه تبریز
دانشکده فنی مهندسی مکانیک
گروه مهندسی مکانیک

رساله

برای دریافت درجه دکتری در رشته مهندسی مکانیک

(تبدیل انرژی)

عنوان

مدلسازی فرایند احتراق و آلایندگی موتورهای دوگانه سوز در بارهای جزئی با استفاده از مکانیزمهای سینتیک شیمیایی مفصل

۱۳۸۷/۲/۸

استاد راهنما

دکتر وهاب پیروزپناه

استادان مشاور

دکتر احمدعلی سهرابی – دکتر علیقلی نیائی

پژوهشگر

رحیم خوش بختی سرای

خرداد ماه ۱۳۸۶

۴۶۷۲۴

اگر تهیه و تالیف این پایان نامه را منزلتی باشد

تقدیم است به

همسر مهربانم

و

دختران عزیزم آیسان و آیلین

تقدیر و تشکر :

بعد از سپاس فراوان خدای را که دانایی و توانایی راستین تنها از آن اوست که توفیق انجام پروژه ای در راستای کمک به هر چه سالمتر ساختن محیط زیست برای همنوعان خود را به اینجانب عطا فرمود، اینجانب برخود لازم می دانم از زحمات بی شائبهٔ استاد گرامی جناب آقای دکتر پیروزپناه که در امر انجام این پروژه با راهنماییهای مفید و سازنده خود مسیر پروژه را هر چه شفافتر نمودند و همچنین از راهنمائیهای ارزنده آقایان دکتر سهرابی و دکتر نیائی اساتید مشاور پروژه، کمال تقدیر و تشکر را دارم. همچنین از برادر بزرگوارم، محمد خوش بختی سرای که مشوق و پشتیبان اینجانب در طول دوران تحصیل اینجانب بوده است، قدردانی می نمایم. از تمامی دوستان بویژه دانشجویان دوره دکترای دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز و دانشجویان ایرانی دانشگاه آلبرتا که مرا در تهیه و تدوین این پایاننامه یاری نموده اند، سپاسگزاری و قدردانی می نمایم. همچنین از واحد گازسوز شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو مخصوصاً آقای مهندس جیحونی به علت همکاریهای صمیمانه آنها ، کمال تشکر و قدردانی را دارم. در نهایت از سازمان مدیریت و برنامه ریزی کل کشور و سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور به دلیل حمایت مالی از این رساله سپاسگزاری و قدردانی می نمایم.

خوش بختی سرای، رحیم

نام خانوادگی: خوش بختی سرای **نام:** رحیم

عنوان پایاننامه: مدلسازی فرایند احتراق و آلایندگی موتورهای دوگانه سوز در بارهای جزئی با استفاده از مکانیزمهای سینتیک شیمیایی مفصل

استاد راهنما: دکتر وهاب پیروز پناه

استادان مشاور: دکتر احمدعلی سهرابی – دکتر علیقلی نیائی

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

دانشکده: فنی مهندسی مکانیک **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۶/۳/۱۳ **تعداد صفحه:** ۱۳۸

کلید واژه ها: موتور دوگانه سوز، سینتیک شیمیائی، بازخورانی گازهای خروجی (EGR)، مدل احتراق شبه دومنطقه ای

چکیده:

کار حاضر به منظور بررسی خواص احتراقی یک موتور دوگانه سوز در بار جزئی با استفاده از مدلهای احتراقی چندمنطقه ای و شبه دو منطقه ای برای احتراق سوخت گاز طبیعی و سوخت دیزل انجام شده است. برای بررسی احتراق سوخت گازی از مکانیزمهای سینتیک شیمیایی مفصل استفاده شده است. این مدلهای احتراقی قادر به پیشگوئی توسعه فرایند احتراق با زمان و پارامترهای عملکردی مهم مرتبط از جمله فشار، دما، آهنگ گرمای آزاد شده و پارامترهای آلایندگی هستند. موتورهای دوگانه سوز در بارهای جزئی به ناچار متحمل بازده حرارتی پایین و مونوکسید کربن و سوخت نسوخته با مقدار زیاد می شوند. از اینرو این کار به بررسی پدیده احتراق در بارهای جزئی می پردازد و در این ارتباط از روشهایی نظیر آوانس زمان پاشش سوخت دیزل، افزایش مقدار سوخت دیزل و *EGR* برای بهبود مشکلات ذکر شده در بارهای جزئی استفاده شده است. نتایج نشان می دهند که آوانس زمان پاشش سوخت دیزل تاثیر اندکی در بهبود پارامترهای احتراقی داشته و دو روش دیگر، فرایند احتراق را بهتر

ادامه چکیدهٔ پایان نامه:

بهبود می بخشند. در این میان روش *EGR* بدلیل نقش اساسی آن در بهبود احتراق موتورهای دوگانه سوز، با جزئیات بیشتر و با در نظر گرفتن اثرات مختلف آن از جمله اثرات شیمیائی، رادیکالی، حرارتی و ترکیبی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از بررسی اثرات مختلف *EGR* نشان می دهند که تمامی این اثرات، تاثیر مثبت بر پارامترهای عملکردی و آلایندگی موتورهای دوگانه سوز در بارهای جزئی دارند. مقادیر پیش بینی شده توسط مدل در توافق خوبی با کارهای تجربی در تمامی شرایط عملکردی موتور می باشند.

«فهرست مطالب»

صفحه

فصل اول

مقدمه

۱-۱) تاریخچه ۲
۱-۲) بیان مسئله ۴
۱-۳) اهداف ۷
۱-٤) صفحه آرائی و مضمون پایاننامه ۸

فصل دوم

پیشینه پژوهش

۲-۱) مروری بر کارهای انجام شده ۱۰
۲-۲) جمعبندی کارهای انجام شده ۳۷
۲-۳) مباحثی که هنوز در مورد موتورهای دوگانه سوز جای تحقیق دارد ۳۸

فصل سوم

مدلسازی فرایند احتراق و آلایندگی در موتورهای دوگانه سوز

۳-۱) مدلسازی احتراق دیزل ۴۲
۳-۱-۱)مقدمه ۴۲
۳-۱-۲) توصیف فیزیکی مدل چندمنطقه ای ۴۳
۳-۱-۳) توصیف ریاضی مدل ۴۵
۳-۲) مدلسازی احتراق سوخت گاز طبیعی ۴۹
۳-۲-۱) مقدمه ۴۹
۳-۲-۲) روابط سینتیک شیمیائی ۵۰
۳-۳) مدلسازی احتراق در موتورهای دوگانه سوز ۵۳
۳-۳-۱) مقدمه ۵۳
۳-۳-۲) توصیف فیزیکی مدل احتراقی چند منطقه ای ۵۴
۳-۳-۳) توصیف ریاضی مدل احتراقی چندمنطقه ای ۵۶
۳-۳- ٤) توصیف فیزیکی مدل احتراقی شبه دو منطقه ای ۵۸
۳-۳-۵) توصیف ریاضی مدل احتراقی شبه دو منطقه ای ۶۰
۳-۳-۵-۱) سوخت دیزل ۶۰

۳-۳-۵-۲) سوخت گازی ۶۲
۳-۳-۵-۳) مکانیزم سینتیک شیمیائی و آنالیز آن ۶۳

فصل چهارم

نتایج و بحث در مورد آنها

٤-١) مقدمه ۷۲
٤-٢) مدل چندمنطقه ای ۷۳
٤-٢-١) موتور دو گانه سوز پایه ۷۳
٤-٢-٢) تاثیر مقدار سوخت گازی ۷۵
٤-٢-٣) تاثیر زمانبندی پاشش سوخت دیزل ۸۰
٤-٢-٤) تاثیر مقدار سوخت دیزل آتش زا ۸۳
٤-٣) مدل شبه دومنطقه ای ۸۵
٤-٣-١) موتور دوگانه سوز پایه ۸۵
٤-٣-٢) اثرات *EGR* ۹۲
٤-٣-٣) اثرات حرارتی، شیمیائی و رادیکالی *EGR* ۱۰۵

فصل پنجم

نتیجه گیری کلی و پیشنهاد برای کارهای آینده

٥-١) نتیجه گیری کلی ۱۲۱
٥-٢) پیشنهاد برای کارهای آتی ۱۲۴
مراجع ۱۲۷
چکیدهٔ انگلیسی ۱۳۷

«فهرست شکل ها»

صفحه

شکل (۱) : شکل شماتیک آهنگ آزادسازی انرژی در یک موتور دوگانه‌سوز در نسبتهای هم ارزی مختلف و بخش‌های مختلف آن در بارهای جزئی..... ۱۲

شکل (۲) : طرحوارهٔ تست موتور دوگانه‌سوز با استفاده از روشهای EGR و گرم کردن هوای ورودی..... ۲۵

شکل (۳-۱): تکامل تدریجی مناطق احتراقی در مدل چند منطقه ای..... ٤٦

شکل (۳-۲): طرح کلی از مناطق احتراقی و آهنگ کشیده شدن هوا به این مناطق..... ٤٦

شکل (۳-۳): شکل شماتیک مدل احتراقی چندمنطقه ای موتور دوگانه سوز..... ٥٥

شکل (٤-۱): تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز (بار کامل، نسبت انرژی: ۹۰٪ سوخت گاز طبیعی و ۱۰٪ سوخت دیزل)..... ۷٥

شکل (٤-۲): تغییرات آهنگ انرژی آزاد شدهٔ مخلوط داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز (بار کامل، نسبت انرژی: ۹۰٪ سوخت گاز طبیعی و ۱۰٪ سوخت دیزل)..... ۷٦

شکل (٤-۳): تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز (بار جزئی، نسبت انرژی: ۷۷/۲٪ سوخت گاز طبیعی و ۲۲/۸٪ سوخت دیزل)..... ۷۷

شکل (٤-٤): تغییرات آهنگ انرژی آزاد شدهٔ مخلوط داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز بازای نسبت های هم ارزی مختلف..... ۷۸

شکل (٤-٥): تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز بازای نسبت های هم ارزی مختلف..... ۷۸

شکل (٤-٦): تغییرات دمای داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز بازای نسبت های هم ارزی مختلف..... ۷۹

شکل (٤-۷): تغییرات آهنگ انرژی آزاد شدهٔ مخلوط داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز بازای مقادیر مختلف زمان پاشش سوخت دیزل..... ۷۸

شکل (٤-۸): تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز بازای مقادیر مختلف زمان پاشش سوخت دیزل..... ۸۲

شکل (٤-۹): تغییرات دمای داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز بازای مقادیر مختلف زمان پاشش سوخت دیزل..... ۸۲

شکل (٤-۱۰): تغییرات آهنگ انرژی آزاد شدهٔ مخلوط داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز بازای مقادیر مختلف سوخت دیزل..... ۸٤

شکل (٤-۱۱): تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز بازای مقادیر مختلف سوخت دیزل..... ۸٤

شکل (٤-١٢): تغییرات دمای داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز بازای مقادیر مختلف سوخت دیزل..... ٨٥

شکل (٤-١٣): آنالیز حساسیت برای غلظت UHC برای موتور دوگانه سوز در شرایط بار جزئی ($\frac{1}{4}$ بار کامل)..... ٨٧

شکل (٤-١٤): آنالیز حساسیت برای غلظت CO برای موتور دوگانه سوز در شرایط بار جزئی ($\frac{1}{4}$ بار کامل)..... ٨٨

شکل (٤-١٥): تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب دور میل لنگ در موتور دوگانه سوز (بار جزئی، نسبت انرژی: ٨٠٪ سوخت گاز طبیعی و ٢٠٪ سوخت دیزل)..... ٩٠

شکل (٤-١٦): تغییرات آهنگ انرژی آزاد شده برای سوختهای دیزل و گاز طبیعی بر حسب درجهٔ میل لنگ ($\frac{1}{4}$ بار کامل، نسبت انرژی: ٨٠٪ سوخت گاز طبیعی و ٢٠٪ سوخت دیزل)..... ٩١

شکل (٤-١٧): تغییرات آهنگ انرژی آزاد شده بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ٩٤

شکل (٤-١٨): تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ٩٥

شکل (٤-١٩): تغییرات دمای داخل سیلندر بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ٩٥

شکل (٤-٢٠): تغییرات کار انجام شدهٔ کل بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ٩٧

شکل (٤-٢١): تغییرات بازده حرارتی اندیکه بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ٩٨

شکل (٤-٢٢): تغییرات کسر مولی رادیکال OH بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ٩٨

شکل (٤-٢٣): تغییرات پریود تاخیر در اشتعال سوخت دیزل بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ٩٩

شکل (٤-٢٤): تغییرات کسر مولی رادیکال O بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ١٠٠

شکل (٤-٢٥): تغییرات کسر مولی رادیکال HO_2 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ١٠٠

شکل (٤-٢٦): تغییرات کسر مولی رادیکال CH_3 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ١٠١

شکل (٤-٢٧): تغییرات کسر مولی گونهٔ H_2O_2 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR..... ١٠١

شکل (٤-٢٨): تغییرات کسر مولی گونهٔ CH_2O بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR ١٠٣
شکل (٤-٢٩): تغییرات کسر مولی گونهٔ O_2 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR ١٠٣
شکل (٤-٣٠): تغییرات کسر مولی گونهٔ CH_4 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR ١٠٤
شکل (٤-٣١): تغییرات کسر مولی گونهٔ CO بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR ١٠٤
شکل (٤-٣٢): تغییرات غلظت NO_x بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای مقادیر مختلف EGR ١٠٥
شکل (٤-٣٣): تغییرات آهنگ انرژی آزاد شده بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١٠٨
شکل (٤-٣٤): تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١٠٩
شکل (٤-٣٥): تغییرات دمای داخل سیلندر بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١٠٩
شکل (٤-٣٦): تغییرات کار انجام شدهٔ کل بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٠
شکل (٤-٣٧): تغییرات کسر مولی گونهٔ OH بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٢
شکل (٤-٣٨): تغییرات کسر مولی رادیکال O بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٣
شکل (٤-٣٩): تغییرات کسر مولی رادیکال HO_2 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٣
شکل (٤-٤٠): تغییرات کسر مولی رادیکال CH_3 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٤
شکل (٤-٤١): تغییرات کسر مولی گونهٔ H_2O_2 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٥
شکل (٤-٤٢): تغییرات کسر مولی گونهٔ CH_2O بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٥
شکل (٤-٤٣): تغییرات کسر مولی گونهٔ O_2 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٧

شکل (٤-٤٤): تغییرات کسر مولی گونهٔ CH_4 بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٧
شکل (٤-٤٥): تغییرات کسر مولی گونهٔ CO بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٨
شکل (٤-٤٦): تغییرات کسر مولی گونهٔ NO_x بر حسب درجهٔ میل لنگ بازای اثرات مختلف EGR ١١٨

«فهرست جدول ها»

صفحه

جدول (۳-۱): مکانیزم سینتیک شیمیائی برای سوختهای متان و پروپان..... ٦٦
جدول (٤-۱): مشخصات عمومی موتور دوگانه سوز $OM355$..... ۷۲
جدول (٤-۲): مشخصات سوخت گاز طبیعی مورد استفاده..... ۷۳
جدول (٤-۳): مقایسهٔ مابین مقادیر نظری و تجربی گونه های مهم خروجی از موتور دوگانه سوز در شرایط بار جزئی ($\frac{1}{4}$ بار کامل، نسبت انرژی: ۷۷/۲٪ سوخت گاز طبیعی و ۲۲/۸٪ سوخت دیزل)..... ۷٦
جدول (٤-٤): مقایسهٔ مابین مقادیر نظری و تجربی گونه های مهم خروجی از موتور دوگانه سوز در شرایط بار جزئی ($\frac{1}{4}$ بار کامل، نسبت انرژی: ۸۰٪ سوخت گاز طبیعی و ۲۰٪ سوخت دیزل)..... ۹۱
جدول (٤-۵): مقایسهٔ مابین مقادیر تجربی گونه های مهم خروجی از موتور دوگانه سوز در شرایط بار جزئی($\frac{1}{4}$ بار کامل، نسبت انرژی: ۸۰٪ سوخت گاز طبیعی و ۲۰٪ سوخت دیزل) و بار کامل..... ۹۲
جدول (٤-٦): تغییرات بازده حرارتی اندیکه و پریود تاخیر در اشتعال سوخت دیزل بازای اثرات مختلف EGR در موتور دوگانه سوز در بار جزئی ($\frac{1}{4}$ بار کامل)..... ۱۱۱

فصل اول:

مقدمه

۱-۱) تاریخچه

در دهه اخیر استفاده از منابع تولید انرژی با بازده بالا، با اولویت در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی به صورت یک چالش جهانی درآمده است. از اینرو تحقیق در زمینه موتورهای احتراق داخلی با سرعت بالائی در جریان است. در این میان موتورهای دیزلی به عنوان موثرترین نیروده در بین انواع مختلف موتورهای احتراق داخلی هستند. وسایل نقلیه سبک و سنگین و ماشینهای صنعتی اکثراً بوسیله موتورهای دیزلی به حرکت در می آیند. در اروپا استفاده از اتومبیلهای دیزلی بصورت فزاینده ای رایج و مردم پسند شده است. همچنین در ایالات متحده این موتورها خود را به عنوان مهمترین گزینه برای تولید قدرت در آینده نزدیک مطرح کرده اند. بنابر این، پیشرفت و توسعه بیشتر در کنترل آلاینده های خروجی از این موتورها یک نیاز اساسی است. موتورهای احتراق داخلی سهم اساسی در آلودگی هوا و محیط زیست دارند که این آلودگی ها، اثرات مخربی بر سلامت انسانها ومحیط زیست و همچنین تغییرات آب و هوایی می تواند داشته باشد. در این میان مزایای موتورهای دیزلی از دیدگاه آلودگی محیط زیست از جمله نشر گازهای گلخانه ای کمتر با مضرات آن همچون نشر اکسیدهای نیتروژن و ذرات از این موتورها موازنه می شود. با سختتر شدن قوانین جهانی آلایندگی، نیاز به روشهای کنترل آلایندگی پیشرفته و حدود آلایندگی نزدیک صفر احساس می شود. از طرف دیگر با توجه به کمبود منابع انرژی سوختهای فسیلی، سوختهای جایگزین اهمیت خود را نشان می دهند. یکی از این سوختهای 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 بسزایی در کاهش آلودگی محیط زیست داشته باشد. از آنجا که موتورهای دیزلی با فناوری حاضر، قادر به ارضاء این قوانین سخت آلایندگی نیستند. بنابر این استفاده از گاز طبیعی

بعنوان یک راه حل ممکن برای کاهش آلاینده های خروجی از این موتورها می باشد. یکی از روشهای ممکن برای تبدیل موتور دیزلی به موتور گاز سوز، دوگانه سوز کردن موتور می باشد که این روش می تواند با اعمال مقادیر بالای گاز طبیعی و مقادیر ناچیز سوخت دیزل که از آن بعنوان منبع اشتعالی مخلوط سوخت گاز طبیعی و هوا استفاده می شود، به اندازه موتور دیزلی تولید قدرت نماید. شایان ذکر است که جایگزینی سهم‌عمده ای از سوخت دیزل با گاز طبیعی، مکانیزم احتراقی را در موتور تغییر می دهد چرا که بخش عظیمی از احتراق غیرهمگن سوخت دیزل با احتراق همگن سوخت گاز طبیعی در محفظه احتراق جایگزین می شود.

از لحاظ تاریخچه، از همان بدو توسعه موتور دیزلی، مفهوم استفاده از گاز طبیعی و اشتعال آن توسط سوخت دیزلی، توسط Dr. Rudolf Diesel، در سال ۱۸۹۸ میلادی کشف شد. البته توسعه تجاری موتورهای دوگانه سوز به سال ۱۹۳۰ میلادی در کشور انگلستان بر می گردد که در آن زمان موتورهای دوگانه سوز ساکن که با گاز شهری کار می کردند، تولید می شدند[1] .

در طی جنگ جهانی دوم، بسیاری از کشورها به استفاده از موتورهای دوگانه سوز بدلیل عدم در دسترس بودن سوختهای مرسوم کافی، رغبت زیادی نشان دادند. در بسیاری از موتورهای دیزلی تبدیل یافته برای کاربردهای نظامی و غیرنظامی از سوختهای گازی همچون گاز طبیعی، گاز زغال سنگ[1] و گاز کوره بلند[2] استفاده می شد. اجزای اصلی این سوختهای گازی هیدروژن، مونوکسید کربن، متان، اتان، پروپان و سایر هیدروکربنها بوده که اغلب گازهای خنثی نظیر نیتروژن، دی اکسید کربن و بخارآب نیز در ترکیب این گازها وجود داشتند[2] .

[1] Coal Gas
[2] Blast Furnace Gas

در سال ۱۹٤۳ در ایالات متحده، شرکت Worthington Pump and Machinery، اولین شرکتی بود که اقدام به ساخت موتور دوگانه سوز با مکش طبیعی نموده و گاز طبیعی ورودی به موتور با فشار پایین صورت می گرفت که اشتعال آن با سوخت آتش زا بود. در دسترس بودن قابل اطمینان گاز طبیعی، بویژه در آمریکای شمالی در آن زمان، تحقیق و توسعه موتورهای دوگانه سوز با توان خروجی بالا را قوت بخشید [3].

در حال حاضر، موتورهای دوگانه سوز با پرخورانی بالا و با تعداد سیلندر متعدد و بزرگ برای توانهای خروجی متجاوز از ۷۵۰۰ kW ساخته می شوند[4].

علاوه بر موارد ذکر شده در مورد تولید موتورهای دوگانه سوز، در دهه های اخیر نیز تحقیقات عظیمی در راستای توسعه موتورهای دوگانه سوز انجام شده است که با جزئیات بیشتر در فصل پیشینه پژوهش به آن پرداخته خواهد شد.

۱-۲) بیان مسئله

در طول چندین قرن گذشته، محققین در پی یافتن راهکارهایی برای بهبود فرایند احتراق سوخت مرسوم دیزل در موتورهای اشتعال تراکمی در راستای کاهش آلاینده های خروجی از این موتورها بوده اند. بعنوان نمونه، Arcomanis و همکارانش [5] اثر EGR را بر عملکرد و آلایندگی در یک موتور دیزلی با پاشش مستقیم مورد مطالعه قرار داده اند، Kohketsu و همکارانش [6] اثر پاشش آب به محفظه احتراق در موتورهای دیزلی را مورد بررسی قرار داده اند، Montgomery و Reitz [7] یک مطالعه برای تشریح اثرات EGR و پاشش چندمرحله ای بر آلاینده های ذرات و اکسیدهای نیتروژن در موتورهای دیزلی با پاشش مستقیم انجام داده اند، Steber و همکارانش [8] سیستم Miller را برای کاهش NO_x بکار برده اند و Choi و Foster [9] پاشش جت گازی کنترل

شده را به منظور تقویت اختلاط سوخت و هوا و به تبع آن بهبود خواص آلایندگی مورد استفاده قرار داده اند.

محققین دیگری سعی در کاهش آلاینده ها با استفاده از تغییر ترکیب سوخت یعنی سوختهای جایگزین داشتند. مهمترین سوختهای جایگزین درحال حاضر گاز طبیعی، گاز نفتی مایع[1] ، متانول و اتانول می باشند. در میان این سوختهای جایگزین، گاز طبیعی بدلیل در دسترس بودن، قیمت پایین و ویژگیهای سوختن پاک بصورت وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد [10]. در حقیقت گاز طبیعی یکی از سوختهای سازگار و بی خطر به محیط زیست، بدلیل پتانسیل آن برای کاهش ازن می باشد(چون متان دارای شاخص واکنش پذیری برابر با صفر می باشد). عمده ترین ترکیب گاز طبیعی، گاز متان است که دارای آهنگ واکنش فوتوشیمیائی خیلی پائینی می باشد. از طرف دیگر، متان با عدد اکتانی تخمینی ۱۳۰، دارای مقاومت در برابر کوبش بالا بوده که این مشخصه آنرا بعنوان یک سوخت عالی برای کاربردهای موتورهای احتراق داخلی با نسبت تراکم بالا معرفی می کند.

امروزه دو نوع از موتورهای گاز طبیعی سوز، بیشتر مورد توجه هستند. یکی از آنها موتور گازسوز با مخلوط همگن، HC[2] [11] و دیگری موتور گازسوز با پاشش مستقیم، DI[3] [12] می باشد. در موتورهای گازسوز HC، مخلوطی همگن از گاز طبیعی و هوا به داخل سیلندر هدایت می شود در حالیکه در موتورهای گازسوز DI، گاز طبیعی با فشار بالا در حدود ۳۵۰bar بصورت مستقیم به داخل سیلندر پاشیده می شود. چون متان دارای انرژی فعال بالاتری نسبت به سایر سوختهای هیدروکربنی می باشد، لذا شروع اشتعال این سوخت نسبت به سوختهای دیگر به سختی اتفاق می افتد. برای هر دو موتور گازسوز HC و DI، مقداری انرژی اضافی برای افروزش مخلوط

[1] LPG (Liquefied Petroleum Gas)
[2] Homogeneous Charge
[3] Direct Injection

گاز طبیعی و هوا لازم می باشد. جرقه شمع و سوخت آتش زای دیزل دو روش عمده مورداستفاده برای اشتعال مخلوط گاز طبیعی و هوا در موتورها هستند. روش پاشش سوخت دیزل، مزایائی همچون بازده گرمائی بالاتر و کارکرد موتور با مخلوطهای سوخت و هوای فقیرتر را داراست. مزیت دیگر این روش، انعطاف پذیری سوخت یا قابلیت تغییر مد گازسوز به مد دیزلی در صورت در دسترس نبودن سوخت گازی می باشد.

مشکلات عمده این روش، عملکرد ضعیف ومقادیر آلایندگی بالا در بارهای جزئی موتور می باشند. تا بحال برای حل این مشکلات، از روشهای مختلفی نظیر خفانش هوای ورودی، افزایش مقدار سوخت آتش زا، افزایش مقدار سوخت گاز طبیعی، آوانس پاشش سوخت آتش زا، EGR و ... استفاده شده است. روشهای مورد استفاده برای کاهش آلاینده ها در موتورهای دوگانه سوز در بارهای جزئی و بهبود فرایند احتراق نیازمند فهم عمیق فرایند احتراق در موتورهای دوگانه سوز می باشد. همچنین، فهم فرایندهای فیزیکی و شیمیائی مفصل مرتبط با فرایند احتراق در این موتورها، می تواند منجر به بهبود در کاهش مصرف سوخت و آلاینده ها شود.

دو روش عمده برای تحقیق در موتورها وجود دارد، یکی روش تجربی و دیگری مدلسازی ریاضی می باشد.در حالیکه روشهای تجربی، اطلاعات با ارزش و خیلی مهمی را فراهم می کنند، مدلسازی ریاضی می تواند خیلی سریع و با هزینه پایین نتایج مشابه را تولید نماید. اطلاعات مفصل درباره فرایند احتراق می تواند با مدلسازی ریاضی به دست آید که حصول این اطلاعات با روشهای تجربی یا خیلی سخت و یا تقریباً غیرممکن است. استفاده از مکانیزمهای سینتیک شیمیائی مفصل می تواند اطلاعات با ارزشی درباره فرایند احتراق فراهم نماید. لذا در کار حاضر، یک مدل ریاضی

شبه دو منطقه ای با مکانیزم سینتیک شیمیائی مفصل برای سوخت گازی بعنوان ابزار تحقیق انتخاب می شود.

۱-۳) اهداف

اهداف تحقیق حاضر، بررسی فرایند احتراق موتورهای دوگانه سوز در بارهای جزئی از طریق مدلسازی است که عبارتند از:

- توسعه یک مدل احتراق دیزلی چند منطقه ای (MZCM) برای پیش بینی خواص عملکردی و آلایندگی موتور در شرایط دیزل
- توسعه یک مدل احتراقی تک منطقه ای (SZCM) برای پیش بینی خواص عملکردی و آلایندگی موتور در شرایطی که موتور از سوخت گازی استفاده می کند.
- تلفیق دو مدل احتراقی فوق الذکر برای مدلسازی احتراق و آلایندگی موتور دوگانه سوز
- حصول فهم بهتر فرایند احتراق و فرایندهای تشکیل آلاینده ها در موتور دوگانه سوز با استفاده از مدل ریاضی حاصله (تلفیقی)
- ساخت و توسعه مدل احتراق شبه دومنطقه ای برای موتور دوگانه سوز
- مقایسه نتایج نظری و تجربی عملکرد و آلایندگی موتور دوگانه سوز
- بازخورانی گازهای خروجی اگزوز در راستای بهبود عملکرد و آلایندگی موتور دوگانه سوز در شرایط بار جزئی

۱-٤) صفحه آرائی و مضمون پایاننامه

فصل اول تاریخچه توسعه موتورهای دوگانه سوز و دلایل استفاده از سوخت گاز طبیعی بعنوان سوخت جایگزین را بیان میکند. فصل دوم، کارهای تجربی و نظری انجام شده بر روی موتورهای دوگانه سوز موجود در ادبیات فن را مورد بررسی قرار می دهد. فصل سوم، مدلسازی فرایند احتراق و آلایندگی در موتورهای دوگانه سوز را ارائه می کند که در آن مدلهای چندمنطقه ای و مدل شبه دومنطقه ای برای مدلسازی این موتورها مورداستفاده قرار گرفته است. نتایج و بحث در مورد آنها در فصل چهارم گنجانده شده است که در این فصل مقادیر نظری و تجربی و آنالیز داده ها آورده شده است. در نهایت، نتیجه گیری کلی و پیشنهاد برای کارهای آتی در فصل پنجم ارائه شده است.