بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی مهندسی مکانیک
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک
گرایش سیستم محرکه خودرو

عنوان

تعیین EGR بهینه در موتورهای دوگانه سوز با استفاده از آنالیز آگزرژی

اساتید راهنما:

دکتر سید محمد سیدمحمودی

دکتر رحیم خوشبختی سرای

استاد مشاور:

دکتر سیامک حسین‌پور

پژوهشگر:

بهروز خوشبخت ایردموسی

شهریور ۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخت، تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ وبرگ گیرم و در سایه حمایت های ایشان، در راه موفقیت و کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که دست مرا گرفته اند و راه رفتن در وادی پر از فراز و نشیب زندگی را به من آموخته اند. والدینی که تاج افتخاری هستند بر سرم.

در زندگی هر چه دارم و خواهم داشت و هر کجا رسیده ام و خواهم رسید، همگی را مدیون پدر و مادرم هستم.

این پایان نامه را فقط و فقط به پدر و مادرم تقدیم می کنم

تقدیر و تشکر

نگارنده بر خود لازم می داند که از زحمات بی دریغ و تلاش های بی وقفه و راهنمایی های ارزشمند اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر سید محمد سید محمودی و جناب آقای دکتر رحیم خوشبختی سرای در راستای انجام این پروژه در طول دو سال گذشته تشکر و قدردانی نماید. همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر سیامک حسین پور، سپاس گذاری می نمایم.

در پایان از شرکت بهینه سازی مصرف سوخت (IFCO) که حمایت مالی از این پژوهش را بر عهده داشت، تشکر می نمایم.

هذا من فضل ربّی

نام خانوادگی دانشجو: خوشبخت ایردموسی	**نام: بهروز**
عنوان پایان نامه:تعیین EGR بهینه در موتور های دوگانه سوز با استفاده از آنالیز اگزرژی	
استاد راهنما: دکتر سید محمد سیدمحمودی ، دکتر رحیم خوشبختی سرای	
استاد مشاور: دکتر سیامک حسین پور	

دانشگاه: تبریز	**دانشکده: فنی مهندسی مکانیک**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
رشته: مهندسی مکانیک	**گرایش: سیستم محرکه خودرو**	
تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۱۳۹۰	**تعداد صفحات: ۱۱۰**	

کلید واژه‌ها: موتورهای دوگانه سوز، سینتیک شیمیایی مفصل، مدل احتراق چند منطقه‌ای، آنالیز اگزرژی، EGR

چکیده:

موتورهای دوگانه‌سوز در بارهای جزئی دارای مخلوط سوخت و هوای خیلی فقیر می‌باشند و از این‌رو مقادیر آلاینده‌های خروجی این موتورها (CO,UHC) در شرایط فوق الذکر بالا می‌باشد.همچنین بازده حرارتی موتورهای دوگانه‌سوزدر بارهای جزئی پایین می‌باشد.اعمال EGR به بار ورودی موتور می‌تواند مخلوط سوخت و هوای ورودی به موتور را غنی نموده و به تبع آن پارامترهای عملکردی و آلایندگی اصلاح می‌گردند. از سوی دیگر اعمالEGR با درصدهای بالا می‌تواند بازده حجمی موتور را تحت تاثیر قراردهد و در نتیجه آن پارامترهای عملکردی و آلایندگی موتورهای دوگانه سوز بدتر شوند. در نتیجه EGR در موتورهای دوگانه سوز باید به میزان بهینه مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا،آنالیز قانون دوم ترمودینامیک می‌تواند در تعیین مقدار EGR بهینه در موتورهای دوگانه سوز مورد استفاده قرار گیرد،تا هم بتوان به پارامترهای عملکردی و هم به پارامترهای آلایندگی مناسب در شرایط بارهای جزئی دست یافت. به همین منظور در این کار ابتدا یک مدل چند منطقه‌ای برای مدل سازی فرآیند احتراق موتورهای دوگانه سوز توسعه یافت و به دنبال آن روابط حاکم بر قانون دوم ترمودینامیک بر این مدل اعمال گردید. همچنین فرآیند مکش و تخلیه نیز مدل سازی شد و در نهایت مقادیر مختلف EGR به این مدل در شرایط بار های جزئی اعمال شد و تأثیر اعمال EGR بر پارامترهای عملکردی و آلایندگی مورد بررسی قرار گرفت.و در نهایت برای صحه گذاری بر نتایج مدل از کارهای تجربی موجود در آزمایشگاه ماشین‌های حرارتی استفاده گردید

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱ فصل اول ۴

۱-۱ مزایای استفاده از موتورهای دوگانه‌سوز ۵

۱-۲ آشنایی با عملکرد موتورهای دوگانه‌سوز ۷

۱-۳ خلاصه پیشینه پژوهش در زمینه پارامتر های عملکردی موتورهای دوگانه‌سوز ۱۵

۲ فصل دوم ۲۹

۲-۱ تحلیل موتور دوگانه سوز از لحاظ قانون اول ترمودینامیک ۳۰

۲-۱-۱ تحلیل قانون اول ترمودینامیک موتور دوگانه سوز ۳۰

۲-۱-۲ تحلیل قانون اول ترمودینامیک موتور دوگانه‌سوز از مرحله تراکم تا انبساط ۴۶

۲-۱-۳ توصیف پیکربندی مخلوط گازی درون سیلندر . **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱-۴ مدل سازی فرایند احتراق ۴۷

۲-۱-۵ مدل احتراق چند منطقه ای ۵۲

۲-۱-۶ الگوریتم حل استفاده شده در مدل ۵۷

۲-۲ تحلیل موتور دوگانه سوز از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیک ۵۸

۲-۲-۱ مفهوم اگزرژی یک سیستم ترمودینامیکی ۵۸

۲-۲-۲ تعیین خواص ترمودینامیکی آنتالپی، انرژی داخلی و آنتروپی سیستم ۵۹

۲-۲-۳ تعاریف ترمهای مختلف اگزرژی ۶۰

۲-۲-۴ بالانس اگزرژی در موتورهای دوگانه سوز ۶۴

۳ فصل سوم ۶۷

۳-۱ منحنی‌های فشار ۶۸

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۳-۲ نتایج آنالیز قانون دوم ترمودینامیک (تحلیل اگزرژی) ۶۹

۳-۲-۱ منحنیهای ترمهای مختلف اگزرژی برای شرایط عملکردی ۶۹

۳-۲-۲ بازده قانون دوم ترمودینامیک ۷۱

۳-۲-۳ اثرات مقادیر مختلف EGR بر روی ترمهای اگزرژی ۷۳

۳-۳ نتیجه گیری ۸۷

۳-۴ پیشنهاد برای کارهای آتی ۸۸

مقدمه

امروزه سوخت های فسیلی در اکثر کشور های جهان به عنوان یکی از نیاز های استراتژیک به شمار می رود. جنبه استراتژیک سوخت های فسیلی به دلیل استفاده از این سوخت به عنوان منبع انرژی در بخش های مختلف صنعتی و خانگی ناشی می شود. یکی از بخش هایی که سوخت های فسیلی به عنوان منبع انرژی در آن به کار می رود بخش حمل و نقل می باشد. بخش حمل و نقل یکی از بخش های زیربنایی هر کشور می باشد که تمامی بخش های صنعتی به منظورادامه حیات وابستگی شدید به این بخش دارند. استفاده گسترده از سوخت های فسیلی در بخش حمل نقل منجر به نگرانی های در زمینه اتمام منابع سوخت های فسیلی و افزایش آلودگی های ناشی از استفاده از این سوخت ها را ایجاد کرده است. در نتیجه به دلیل کاهش منابع انرژی فسیلی در جهان و افزایش آلودگی زیست محیطی، سرمایه گذاری های گسترده ای در جهان در زمینه توسعه تکنولوژی های به کار رفته در موتور های احتراق داخلی و ایجاداحتراق با بازده بالاتر و مناسب برای محیط زیست صورت پذیرفته است.

از جمله مشکلاتی که همواره گریبان گیر موتورهای اشتعال تراکمی دیزل[1] می باشد، آلایندگی بالای این موتورها بخصوص از لحاظ دوده و اکسید نیتروژن می‌باشد. یکی از روش‌های پیشنهاد شده به منظور کاهش آلاینده های تولید شده از این موتور ها، جایگزین بخشی از سوخت مایع مصرف شده در این موتورها با سوخت گازی می‌باشد. موتورهائی که به این شیوه کار می‌کنند با عنوان موتورهای دوگانه سوز نامگذاری شده‌اند [۳]

از لحاظ تاریخی، 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 مطرح شد. توسعه تجاری موتورهای دوگانه سوز[2] به سال ۱۹۳۰ میلادی در کشور انگلستان بر می گردد که در آن زمان موتورهای دوگانه‌سوز ثابت که با سوخت گاز شهری کار می‌کردند، به کار برده شدند. با کاهش

1-Compression Ignition Engines
2-Dual Fuel Engines

دسترسی به سوخت های مرسوم در طی جنگ جهانی دوم، بسیاری از کشورها به استفاده از موتورهای دوگانه رغبت زیادی نشان دادند. از جمله مزیت‌های موتورهای دوگانه سوز قابلیت استفاده از سوخت های گازی مختلف در این موتورها می‌باشد. در دوران جنگ جهانی دوم در بسیاری از موتورهای دیزلی تبدیل یافته برای کاربردهای نظامی و غیرنظامی از سوختهای گازی همچون گاز طبیعی، گاز زغال سنگ و گاز کوره بلند استفاده می‌شد. با توجه به کمبود منابع سوخت مرسوم، این تنوع در سوخت مصرفی منجر به گستردگی استفاده از این موتورها گردید و در نتیجه موتورهای دوگانه سوز برای اولین بار به طور گسترده در صنعت بکار رفتند. بعد از جنگ جهانی دوم، به دلیل وجود منابع عظیم سوخت گاز طبیعی در گوشه کنار جهان، استفاده از این موتورها گسترش بیشتری یافت و رفته رفته بر تنوع و موارد استفاده از موتورهای دوگانه‌سوز افزوده شد. امروزه موتورهای دوگانه سوز در بخش های مختلف صنعتی مانند تجهیزات متحرک و تجهیزات ثابت به‌کار رفته‌اند. موتورهای دوگانه‌سوز در تجهیزات متحرک مانند کامیون‌های با ظرفیت زیاد،اتوبوس ها، لوکوموتیوهای راه‌آهن، کشتی‌ها و همچنین در کاربرد های کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار گرفته اند. کاربرد های ثابت امروزی این موتورها عبارت اند از ژنراتورهای تولید قدرت الکتریکی موتوری، پمپ ها و تجهیزات تولید هم‌زمان[1] (cogeneration) می باشد[5].

با وجود کاربرد های گسترده موتورهای دوگانه سوز، این موتورها دارای نقاط ضعفی نیز می-باشند که از آن جمله می‌توان به مقادیر بالای آلاینده‌های خروجی (CO ,UHC[2]) و بازده حرارتی پایین این موتورها در بارهای جزئی اشاره کرد. به منظور جبران موارد فوق، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. یکی از روش های پیشنهاد شده، اعمال EGR[3] به بار ورودی موتور می‌باشد. اعمال EGR به بار ورودی به موتور منجر به غنی‌تر شدن مخلوط سوخت و هوای ورودی به موتور می‌شود که به نوبه خود پارامترهای عملکردی و آلایندگی موتور اصلاح می‌شوند. از طرف دیگر،

1-Cogeneration
2-Unburned Hydrocarbon
3-Exhaust Gas Recirculation

درصورتی که از درصد های بالایی از EGR در موتورهای دوگانه سوز استفاده شود، بازده حجمی موتور تحت تاثیر قرار می‌گیرد و پارامترهای عملکردی و آلایندگی موتور دوگانه‌سوز بدتر می‌شود. در نتیجه با توجه به شرایط فوق، EGR به کار رفته درموتور های دوگانه سوز بایستی به صورت بهینه اعمال شود. در این پژوهش، موتور دوگانه‌سوز، با هدف تعیین مقدار EGR بهینه، از لحاظ قانون دوم ترمودینامیک مورد تحلیل قرار گرفته است.

در انجام تحلیل ترمودینامیکی موتور دوگانه‌سوز، در قدم اول یک مدل چند منطقه‌ای برای مدل سازی فرآیند احتراق توسعه داده شد. به دنبال آن روابط حاکم بر قانون دوم ترمودینامیک بر این مدل اعمال گردید. همچنین فرآیند مکش و تخلیه نیز مورد مدل سازی قرار گرفت. در نهایت مقادیر مختلف EGR به این مدل در شرایط بار های جزئی اعمال شده و تأثیر EGR بر پارامترهای عملکردی و آلایندگی موتور مورد بررسی قرار گرفت.

فصل اول

پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

۱–۱ مزایای استفاده از موتورهای دوگانه‌سوز

استفاده از گاز طبیعی در موتور های دیزل، منجر به دستیابی بـه مزایـای زیسـت محیطـی و مزایای اقتصادی می شود. از لحاظ زیست محیطی با توجه به عدم وجود مواد ناخالص سوخت دیزل ازجمله ترکیبات گوگرد و همچنین احتراق با کیفیت‌تر سوخت گازی در مقایسه بـا سـوخت دیـزل، میزان آلاینده‌های تولید شده توسط این موتورهای با سوخت گازی در مقایسه با موتور های با سوخت دیزل کمتر می‌باشد.از جمله آلاینده‌های کاسته شده در اثر استفاده از سـوخت گـازی در موتورهـای اشتعال تراکمی می توان به اکسید نیتروژن، دوده و ذرات معلق اشاره کرد. در نتیجه، استفاده از موتور های دوگانه‌سوز، آسیب کمتری را به محیط زیست وارد می‌کند. با توجه به کمبـود منـابع سـوختی استفاده از سوخت گازی، به دلیل ایجاد تنوع در منابع سوخت، از وابستگی موتورهای اشتعال تراکمی به سوخت دیزل می‌کاهد. همچنین با توجه به در دسترس بودن منابع عظیم گاز طبیعی در بسیاری از مناطق جهان، تامین سوخت برای موتور های دوگانه سوز در مقایسه با موتور های دیـزل از سـهولت بیشتری برخوردار است. علاوه بر این قیمت مناسب گاز طبیعی در مقایسه با سوخت دیزل بر میزان تمایل در زمینه استفاده از گاز طبیعی بجای سوخت دیزل، در موتور های اشتعال تراکمی افزوده است.

از ویژگی های کارکردی موتور های دوگانه سوز می توان به اشتعال پاک‌تر و با آلودگی کمتـر موتورهای دوگانه‌سوز در مقایسه با موتورهای دیزل سوخت مایع و همچنین بازده حرارتی بالا و تقریباً قابل مقایسه با موتورهای دیزل اشاره کرد. موتورهای دوگانه‌سوز عملکردی کم سروصداتر، روان تر، با تلفات حرارتی پایین‌تر و قابلیت کار در محیط‌هایی با دمای پایین‌تر را نیز از خود بـه نمـایش مـی-گذارند[۵].

با توجه به امکان تزریق و احتراق زمان بندی شده سوخت مایع آتش زا، تقریباً هر نوع سوخت گازی یا بخار را هر چند با مقادیر متفاوت می‌توان در موتورهای دوگانه‌سوز مـورد اسـتفاده قـرار داد. سوخت های گازی اتان، پروپان، بوتان، هیدروژن، تاکنون در این موتورها به کار برده شده‌اند. علاوه بر

این مخلوط‌های مختلف سوخت گازی از جمله گاز طبیعی، گاز زیست محیطی[1]، (landfilled gases)، گازهای نفتی مایع شده و غیره در این موتورها به کار برده شده اند.[۵] از میان گازهای به‌کار رفته در موتور دوگانه‌سوز، متان به دلیل عدد اکتان[2] بالا برای استفاده در موتورهای دوگانه سوز که نسبت تراکم بالایی دارند مناسب تر می‌باشد. با توجه به این که بخش عمده‌ای از گاز طبیعی از متان تشکیل شده است، در نتیجه گاز طبیعی به عنوان گزینه مناسبی برای استفاده در این موتورها به شمار می‌رود. عدد اکتان بالای متان و در نتیجه عدد اکتان بالای گاز طبیعی، امکان استفاده از این گاز را در موتورهایی با نسبت تراکم بالا فراهم می‌سازد. از سایر ویژگی های منحصر به فرد گاز طبیعی، قابلیت اختلاط یکنواخت آن با هوا می باشد. اختلاط یکنواخت گاز طبیعی با هوا، منجر به اشتعال کارامد و کاهش اساسی در مقدار آلاینده های موجود در گاز های خروجی از موتور از جمله اکسید نیتروژن و دوده می‌شود.[۳]

بیشتر موتورهای دوگانه‌سوز فعلی طوری ساخته می شوند که قابلیت عملکرد در هر دو حالت دوگانه‌سوزی و حالت دیزل را داشته باشند. موتورهای دوگانه سوز اکثر نقاط قوت موتور های دیزل را حفظ می‌کنند و در کنار حفظ اکثر نقاط قوت موتورهای دیزل، این موتورها در برخی موارد از نقطه قوت موتور های دیزل نیز فراتر می‌روند و از نظر تولید توان بیشتر و آلایندگی کمتر، نتایج بهتری را از خود به نمایش می‌گذارند. نقاط قوت فوق بدون تولید مقادیر قابل توجه از دوده و ذرات معلق و کاهش در میزان تولید اکسیدهای نیتروژن، کاهش در میزان فشار بیشینه موتور و کاهش صدای موتور بدست می‌آید.

از سوی دیگر باید این را در نظر داشت که عملکرد دوگانه‌سوزی، حتی با وجود استفاده از سوخت متان که در برابر کوبش مقاوم است، در صورت کارکرد موتور در حالت توان خروجی بالا و یا استفاده از دمای ورودی بالا می‌تواند منجر به پدیده کوبش شود. البته در اکثر موتورهای دوگانه‌سوزی که در آنها از گاز طبیعی استفاده می‌شود ناحیه‌ای که در آن پدیده کوبش روی می‌دهد، خارج از

1-Bio-Gas
2-Octane Number

محدوده عملکردی موتور دوگانه سوز می‌باشد. مگر این که این موتورهای در حالت توربو شارژ بالا و یا در حالت استفاده از سوخت های گازی با درصد بالایی از هیدروکربن های سنگین تر استفاده شوند.

موتورهای دوگانه‌سوز در بارهای بسیار کم و بخصوص در هنگام استفاده از مقادیر کم سوخت آتش‌زا نسبت به موتور دیزل عملکرد ضعیف‌تری را به نمایش می‌گذارند. این ضعف عملکرد با افزایش مصرف سوخت ویژه، تغییرات چرخه‌ای، تولید بیشتر آلاینده های هیدروکربن نسوخته و مونواکسید کربن مشخص می‌شود. این ضعف در عملکرد بیشتر به این دلیل اتفاق می‌افتد که شعله های ایجاد شده در ناحیه پاشش سوخت آتش زا در زمان موجود، امکان گسترش سریع در کل محفظه سیلندر را پیدا نمی‌کنند. ضعف‌های فوق را می‌توان به وسیله استفاده از غلظت‌های بالای گاز طبیعی درون سیلندر، مقادیر سوخت آتش‌زای بیشتر ، گرمایش هوای ورودی به درون موتور و کاهش دور موتور اصلاح کرد.

۱-۲ آشنایی با عملکرد موتورهای دوگانه‌سوز

موتورهای دوگانه‌سوز همانند سایر موتورهای دیزل به صورت چهار زمانه کار می‌کنند .و در طی عملکرد خود چهار مرحله مکش، تراکم، احتراق، انبساط و تخلیه را پشت سر می‌گذارند.

در این موتورها بخش اعظمی از سوخت دیزل با گاز طبیعی جایگزین می‌شود و سوخت دیزل به عنوان عامل ایجاد احتراق در سیلندر به کار می‌رود.

در این موتورها گاز طبیعی در منیفولد ورودی به درون هوای در حال گذر از منیفولد تزریق می‌شود و پس از باز شدن دریچه ورودی و حرکت پیستون به سمت پایین به همراه هوا به درون سیلندر وارد می‌شود.

در پایان مرحله مکش محتویات درون سیلندر مخلوط هوا و سوخت گازی می‌باشد. پس از اتمام مرحله مکش دریچه ورودی بسته شده و پیستون به سمت بالا حرکت می‌کند و تراکم مخلوط سوخت و هوا درون سیلندر آغاز می شود. در طی مرحله تراکم، مخلوط گازی درون سیلندر به صورت

یک ناحیه همگون (ناحیه نسوخته)از نظر فشار و دما و ترکیب شیمیایی در نظر گرفته می شوند. در طی فرایند تراکم و با نزدیک شدن به وضعیت نقطه مرگ بالا، فشار و دمای مخلوط درون سیلندر به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می یابد. به دلیل این افزایش دما و فشار، فعالیت واکنشی قبل از اشتعال در گاز های درون سیلندر بخصوص در صورت وجود برخی از شرایط کارکرد و برخی از سوخت های به میزان قابل توجه‌ای پیشرفت می‌کند. به عنوان مثال در صورت کارکرد موتور با سوخت متان، برخی واکنش‌ها می‌توانند در مرحله تراکم و بدون نیاز به تزریق سوخت آتش‌زا، پیش بروند. با نزدیک شدن به نقطه مرگ بالا، افزایش فعالیت‌های شیمیایی محتویات درون سیلندر به افزایش دمای درون سیلندر کمک می‌کند و شرایط را بیش از پیش به منظور ورود و احتراق سوخت آتش‌زا آماده می‌کنند. این کمک به افزایش دما بخصوص در مخلوط‌هایی که خیلی رقیق نیستند بیشتر قابل مشاهده می‌باشد. واکنش های پیش از اشتعال می‌توانند احتراق گاز های درون محدوده سوخت آتش‌زا و همچنین گاز های مجاور این ناحیه را به طور مستقیم و احتراق گاز های موجود در بخش‌های دیگر محفظه احتراق را به طور غیر مستقیم تحت تاثیر قرار دهند[۵]. به دلیل دمای بالای خود اشتعالی مخلوط سوخت گازی و هوا، شرایط درون سیلندر در این زمان برای اشتعال مخلوط سوخت گازی مناسب نیست و موتور به حالت اشتعال نمی‌رسد. به منظور ایجاد اشتعال، در نزدیکی TDC مقدار اندکی سوخت دیزل به درون محفظه احتراق تزریق می‌شود. سوخت پاشیده شده به درون سیلندر ابتدا اتمیزه شده و سپس تبخیر می‌شود. با تبخیر سوخت پاشیده شده، یک جت مخروطی نفوذ کننده به درون ناحیه نسوخته را شکل می‌دهد. در حین نفوذ جت، بخشی از مخلوط همگون نسوخته درون جت در بر گرفته می‌شود و با سوخت دیزل تبخیر شده مخلوط می‌شود. [۱۱]

سوخت دیزل آتش‌زا تزریق شده به درون سیلندر بلا فاصله پس از تزریق شدن مشتعل نمی‌شود. به فاصله زمانی که بین تزریق سوخت و اشتعال وجود دارد، تاخیر در اشتعال[1] می‌گویند. در این فاصله زمانی دمای و فشار درون سیلندر افزایش می‌یابد و به طور همزمان جرم سوخت دیزل تبخیر شده

1-Ignition Delay

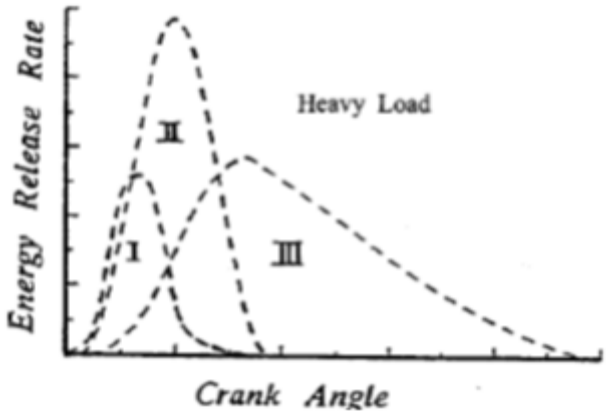
افزایش می‌یابد و مخلوط قابل اشتعالی را با مخلوط سوخت گازی مجاور تشکیل می‌دهد.

پس از گذر زمان تاخیر در اشتعال و تبخیر سوخت، به دلیل دمای پایین خوداشتعالی سوخت دیزل، سوخت دیزل تبخیر شده دچار خود اشتعالی می‌شود و به عنوان منبع اشتعال برای مخلوط سوخت گازی و هوا عمل می‌کند[3]. پس از اشتعال سوخت آتش‌زا در درون سیلندر دو ناحیه در آن به وجود می‌آید. این دو ناحیه عبارت از ناحیه درحال سوختن و ناحیه نسوخته می‌باشد. این دو ناحیه به وسیله سطح جلوی شعله از همدیگر جدا می‌شوند. فرض بر این است که این سطح جلوی شعله به صورت مخروطی است و ناحیه خارجی جت را می‌پوشاند. در نتیجه مرز خارجی ناحیه در حال سوختن به وسیله جلوی شعله تعریف می‌شود. که پیشروی آن به درون ناحیه نسوخته، به وسیله سرعت شعله محاسبه می‌شود. سرعت گسترش شعله نیز به وسیله مکانیزم گسترش شعله بدست می-آید. جلوی شعله درون ناحیه نسوخته در جهتی عمود بر سطح خارجی ناحیه مخروطی درحال سوختن، گسترش می‌یابد و بخشی از مخلوط گازی که خارج ناحیه مخروطی قرار دارد، با گسترش جلوی شعله در جهت عمود بر سطح مخروط می‌سوزد. بخش دیگر از مخلوط سوخت گازی که در اثر گسترش جت سوخت دیزل، درون ناحیه در حال سوختن قرار گرفته بود، به دلیل گسترش شعله به طور ناگهانی به محصولات تبدیل می‌شود.[۱۱].

فرایند اشتعال درون موتور دوگانه سوز معمولی، هم بر مشخصات پاششی و اشتعالی سوخت دیزل آتش‌زا و هم بر نوع سوخت گازی استفاده شده و غلظت آن وابسته است. ویژگی‌های انرژی احتراق آزاد شده در موتورهای دوگانه‌سوز، بر هم کنش نسبتاً پیچیده فیزیکی و شیمیایی بین فرایند های احتراق دو سوخت را منعکس می‌کند [۶]

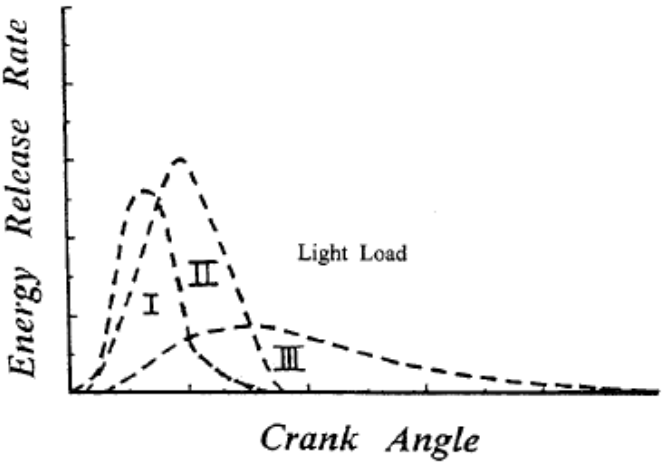
در موتورها دو گانه سوز قسمت اعظم انرژی آزاد شده از احتراق گاز طبیعی و بخش کوچکی از این انرژی از احتراق سوخت دیزل به دست می‌آید. مطابق شکل (۱-۱) نرخ انرژی آزاد شده از موتور دوگانه سوز را می‌توان به صورت سه بخش روی هم افتاده در نظر گرفت. بخش (I) انرژی آزاد شده از اشتعال سوخت آتش‌زا می‌باشد، بخش (II)انرژی آزاد شده به دلیل اشتعال آن بخش از سوخت گازی

می‌باشد که بلافاصله مجاور مراکز اشتعال و احتراق سوخت آتش زا می‌باشد. بخش (III) انرژی آزاد شده به دلیل مجموعه تمام واکنش های پیش اشتعالی و همچنین گسترش شعله توربولانت (و در برخی موارد خوداشتعالی) در مخلوط رقیق می‌باشد.



شکل(۱-۱):نرخ آزاد سازی انرژی در موتورهای دوگانه سوز در حالت کارکرد در بار زیاد[۵]

همان طوریکه شکل (۱-۲) نشان می دهد، در مخلوط‌های بسیار رقیق، بخش اصلی انرژی آزاد شده، از اشتعال و احتراق سریع ناحیه کوچک سوخت آتش‌زا (بخش I) و همچنین احتراق سوخت گازی که درون ناحیه آتش‌زا و مجاور ناحیه سوخت آتش‌زا که در آن دمای بالا و مخلوط‌های غنی وجود دارد ناشی می‌شود. با توجه به شکل زیر مشخص است که در این حالت، تنها قسمت نسبتاً کوچکی از انرژی آزاد شده، می‌تواند از احتراق مخلوط سوخت و هوا دورتر از ناحیه سوخت آتش‌زا ناشی شود. پس از اشتعال سوخت آتش‌زا، تا زمانی که غلظت سوخت گازی بیش از غلظت حداقل لازم برای گسترش شعله نرسد، گسترش شعله توربولانت از ناحیه اشتعال سوخت آتش‌زا به سایر مناطق سیلندر انجام نمی‌شود. مقدار این غلظت حداقل با نوع سوخت به کار رفته و شرایط کارکرد موتور تغییر می‌کند. در نتیجه در مخلوط های بسیار رقیق هیچ گسترش شعله پایا از نقاط اشتعال و نواحی مشتعل در اثر سوخت آتش زا به سایر نقاط درون سیلندر روی نمی‌دهد.



شکل(۱-۲):نرخ آزاد سازی انرژی در موتور دوگانه سوز در حالت کارکرد در بار سبک[۵]

با افزایش اندازه ناحیه سوخت آتش‌زا که با افزایش جرم سوخت تزریق شده و با افزایش میزان گسترش و پخش سوخت آتش‌زا درون مخلوط بسیار رقیق می‌تواند صورت گیرد، انرژی کل آزاد شده به صورت غیر خطی افزایش می‌یابد. در این حالت مقدار بیشتری از مخلوط سوخت و هوا به دلیل قرار گرفتن در درون جت سوخت آتش‌زا و مجاورت با این ناحیه محترق می‌شوند و انرژی آزاد شده بزرگتر و نرخ انرژی آزاد شده بیشتری به دلیل گسترش شعله منطقه‌ای و افزایش فعالیت های پیش اشتعالی در قسمت‌های خارج از محل قرار گیری سوخت آتش زا، روی می‌دهد[۵].

با احتراق مخلوط سوخت گازی درون موتور و آزاد سازی انرژی، دما و فشار درون سیلندر به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد و منجر به عقب رانده شدن پیستون و تولید کار توسط موتور دوگانه‌سوز می‌شود.پس از انبساط مخلوط گازی محترق شده درون سیلندر و رانده شدن سیلندر به نقطه مرگ پایین، سوپاپ خروجی سیلندر باز می‌شود و با حرکت پیستون به سمت بالا گاز های حاصل از احتراق از درون سیلندر خارج می‌شود و سیلندر آماده ورود مخلوط جدید هوای تازه و گاز طبیعی می‌شود. با باز شدن سوپاپ ورودی و حرکت پیستون به سمت پایین مخلوط جدید به درون سیلندر کشیده می‌شود و چرخه موتور بار دیگر تکرار می‌شود.

عملکرد موتور دوگانه‌سوز را می‌توان با توجه به مقدار نسبی سوخت گازی به سوخت دیزل

استفاده شده در دو گروه طبقه بندی کرد. گروه اول که معمول تر نیز می باشد، عبارت است ازتزریق مقدار نسبی کم از سوخت دیزل مایع با هدف ایجاد اشتعال، به مخلوط های رقیق از سوخت گازی و هوا می باشد. در این حالت، بخش عمده انرژی آزاد شده در اثر احتراق درون سیلندر،از سوخت گازی ناشی می شود. گروه دوم عملکرد دوگانه سوزی عبارت است از اضافه کردن مقداری سوخت گازی به هوای وارد شده به درون موتور دیزل موجود و در حال کار، در محدوده خارج از بار کم می‌باشد.در این حالت، به منظور دست‌یابی به بهترین عملکرد،در تمام محدوده بار و هر نوع سوخت گازی ، نیاز به تغییر بهینه در مقدار سوخت مایع متناسب با مقدار سوخت گازی استفاده شده می‌باشد[۵].

البته باید این نکته را در نظر داشت که استفاده از عملکرد دوگانه سوزی تاثیر منفی بر میزان آلایندگی موتور از لحاظ تولید مونواکسید کربن دارد و منجر به افزایش مونواکسید کربن تولیدی موتور می‌شود.

با وجود این به دلیل مزایای زیاد وضیعت دوگانه‌سوزی، تقاضا برای موتورهای که به صورت دوگانه سوز کار می کنند روز به روز بیشتر می‌شود و به همین دلیل تحقیقات و برنامه های توسعه بسیاری در تمام نقاط جهان برای حل مشکلات موجود در استفاده از این تکنولوژی اختصاص یافته است. از جمله مشکلات پیش روی این موتورها می‌توان به امکان وقوع کوبش در بار های زیاد و همچنین احتراق ناقص سوخت گازی در بارهای کم اشاره کرد. معمولاً یکی از هدف‌های اصلی در موتورهای دوگانه‌سوز، بیشینه کردن میزان جایگزینی سوخت گازی به جای سوخت دیزل، در کنار حفظ سطوح آلایندگی و عملکرد قابل قبول موتور می‌باشد. بیشتر برنامه‌های که در سال‌های اخیر به منظور حل مشکلات پیش روی این موتورها به کار گرفته شده اند عبارت اند از کاهش آلاینده های ورودی از طریق مبدل‌های کاتالیستی[1]، بازخورانی گازهای خروجی و افزایش سوخت آتش‌زا می-باشد[۵]

حرکت به سوی تبدیل موتورهای دیزل معمول برای کارکرد به صورت دوگانه‌سوزی و کارکرد در محدوده وسیعی از سوخت‌های گازی منجر به تضعیف برخی از ویژگی‌های برتر عملکرد اشتعال

1-Catalytic Convertor

تراکمی می شود .برخی از عواملی که به این جهت‌گیری در جهت تضعیف کمک کرده اند عبارت اند از:

i: موتورهای دیزل می توانند از نظر نوع ، اندازه و محدوده سرعت و... به مقدار زیادی تغییر داده شوند که این ویژگی امکان تبدیل آن‌ها را به شکل مورد نظر و دلخواه، با حفظ عملکرد بهینه را امکان پذیر می‌سازد.

ii: در صورت استفاده از برخی از ترکیب‌های سوخت گازی، عملکرد موتورهای دوگانه‌سوز به دلیل پدیده کوبش، به مقدار زیادی محدود می‌شود.

iii: نیاز به تعیین درست و قابل اجرای ویژگی‌ها و مشخصات تزریق سوخت آتش‌زا و احتراق سوخت گازی به منظور دستیابی کاهش آلاینده های اکسید نیتروژن در این موتورها وجود دارد.

iv:موتورهای دوگانه‌سوز در بارهای کم، از مخلوط‌های هوا و سوخت بسیار رقیق استفاده می-کنند که می‌تواند منجر به تولید مقادیر قابل ملاحظه از سوخت گازی تبدیل نشده، مونواکسید کربن و سایر محصولات شود. تصفیه گازهای خروجی به روش کاتالیستی در این حالت، در صورت استفاده از برخی از مخلوط‌های سوخت دیزل کم اثر است.

v: کمینه کردن نسبت سوخت دیزل مایع به سوخت گازی می‌تواند آلاینده‌های موجود در گاز های خروجی از موتور را افزایش و احتمال رویداد پدیده کوبش و نوسانات چرخه ای را در عملکرد موتور افزایش دهد.

vi: برهم کنش مابین اسپری سوخت آتش‌زا وسوخت گازی، نه تنها جنبه حرارتی دارد، بلکه دارای جنبه سینتیکی[1] نیز می‌باشد. وجود این برهم کنش می تواند منجر به افزایش زمان تاخیر در اشتعال و افرایش آلایندگی موتور شود.

یکی از روش‌هایی که برای کاهش برخی از عیوب کارکرد دوگانه‌سوزی از جمله کاهش مقدار اکسید نیتروژن NO_x در گازهای خروجی موتور پیشنهاد شده است، روش باز خورانی گازهای خروجی (EGR) می‌باشد. این روش در واقع عبارت است از باز گرداندن بخشی از گاز های خروجی از موتور به

1-Kinetics