بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب با نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی مکانیک
گرایش تبدیل انرژی

بررسی عددی عملکرد ترمودینامیکی موتورهای احتراق داخلی رفت و برگشتی مبتنی بر چرخه دوگانه

استادان راهنما :
دکتر حبیب اله صفرزاده
دکتر مراد پاک نژاد

نگارش :
حجت مرادی

تیر ۱۳۹۰

تقدیر و تشکر

اکنون که با الطاف ایزد منان این پروژه پایان آمد ، بر خود لازم می دانم از تمامی کسانی که بی شائبه من را در انجام این امر یاری نموده اند خصوصاً جناب آقایان دکتر حبیب اله صفرزاده و دکتر مراد پاکنژاد تقدیر و تشکر نمایم.

تقدیم به:

روان پاک پدرم
مادرم
که ذره ذره وجودم سرشار از عشق به آنهاست.

و تقدیم به:

همسر مهربانم
که آخرین همراه لحظه های من برای عاشقانه پیمودن باقی مسیر زندگی تا رسیدن به کسی ست که آنسوی زمان و مکان ما را بسوی خود هدایت می کند.

چکیده

هدف از تعیین عملکرد ترمودینامیکی موتور ، بررسی مشخصاتی است که به واسطه ی آنها می توان موتوری را برای کار در شرایط مطلوب انتخاب نمود و ضمن توجه به مسئله آلودگی هوا، در مصرف انرژی صرفه جویی کرد. برای این منظور برنامه کامپیوتری تهیه شده که عملکرد ترمودینامیکی چرخه قدرت موتورهای احتراق داخلی رفت و برگشتی تک سیلندر شامل مراحل تراکم، احتراق و انبساط مبتنی بر چرخه دوگانه در حالت پایدار را پیش بینی می کند. مشخصات هندسی موتور و نوع سوخت و شرایط ترمودینامیکی هوای تغذیه به عنوان پارامترهای ورودی به برنامه داده می شوند.

انتقال حرارت از گاز های درون سیلندر به محیط اطراف آن از روابط تجربی محاسبه می گردد و در این مورد در کلیه محاسبات رابطه تجربی آناند مورد استفاده قرار گرفته است.

در مرحله تراکم معادلات انرژی ، حالت ، انتقال حرارت و کار به صورت دیفرانسیلی نوشته شده و با استفاده از روش نیوتن – رافسون درجه حرارت و فشار انتهای گام محاسباتی محاسبه می گردند. در این مرحله ترکیب مخلوط نسوخته که شامل گازهای باقیمانده و هوای ورودی تازه است، با استفاده از روش مدل سازی احتراق دما پایین، محاسبه می شود.

مرحله احتراق شامل دو قسمت است. در قسمت اول احتراق در حجم ثابت و در قسمت دوم احتراق در فشار ثابت روی می دهد که با استفاده از معادلات انرژی، حالت و بقاء جرم در قسمت اول و معادلات انرژی، حالت، بقاء جرم، انتقال حرارت و کار و نیز یک مدل آزاد سازی گرما برای محاسبه مقدار سوخت سوخته شده در هر گام محاسباتی در قسمت دوم، و بهره گیری از روش نیوتن — رافسون، دما و فشار در انتهای گام محاسباتی به دست می آیند.

در مرحله احتراق ترکیب محصولات احتراق متشکل از ده ماده مختلف با استفاده از روش ضرایب لاگرانژی که یک روش کلی برای محاسبه ترکیبات تعادلی می باشد، تعیین می شوند. از زیر برنامه ضرایب لاگرانژی همچنین می توان برای بررسی محصولات تعادلی احتراق بیشتری سود جست.

در مرحله انبساط نیز از معادلات انرژی ، حالت ، انتقال حرارت و کار با به کارگیری روش نیوتن – رافسون، درجه حرارت و فشار انتهای گام محاسباتی محاسبه می گردند.

در ضمن حجم درون سیلندر در هر لحظه با توجه به جابه جایی پیستون و با استفاده از مشخصات هندسی موتور محاسبه می شود.

در پایان پارامترهای اصلی عملکرد موتور نظیر راندمان حرارتی، راندمان حجمی، توان اندیکاتوری، مصرف سوخت ویژه و فشار مؤثر متوسط محاسبه می گردند. همچنین با استفاده از این برنامه منحنی تغییرات مقادیر فشار ، حجم و دما محتویات درون سیلندر برحسب زاویه لنگ به دست می آیند.

این برنامه کامپیوتری قادر است عملکرد ترمودینامیکی موتور را برای سوخت های مختلف با فرمول کلی $C_{X}H_{Y}O_{Z}N_{W}$ پیش بینی نماید. در محاسبات فعلی نتایج تئوری برای سوخت های بنزین ، دیزل و نیترومتان به ازای مقادیر مختلف نسبت هم ارزی ، نسبت تراکم ، نسبت گازهای باقیمانده و سرعت دورانی لنگ محاسبه و به صورت نمودارهایی ارائه گردیده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ای بر موتورهای احتراق داخلی ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- دسته بندی موتورها ۶

۱-۲-۱- انواع اشتعال ۶

۱-۲-۲- چرخه عملکرد موتور ۶

۱-۲-۳ طرح اصلی ۹

۱-۳- پارامترهای عملکرد موتور ۱۰

۱-۳-۱- پارامترهای هندسی موتور ۱۰

۱-۳-۱-۱- حجم مرده ۱۰

۱-۳-۱-۲- حجم جابه جایی ۱۰

۱-۳-۱-۳- نسبت تراکم ۱۱

۱-۳-۱-۴- سرعت متوسط پیستون ۱۱

۱-۳-۱-۵- حجم لحظه ای سیلندر ۱۲

۱-۳-۱-۶- مساحت سطح محفظه احتراق ۱۳

۱-۳-۲- پارامترهای خروجی مکانیکی ۱۳

۱-۳-۲-۱-کار اندیکاتوری ۱۳

۱-۳-۲-۲- کار اصطکاکی ۱۴

۱-۳-۲-۳- کار ترمزی ۱۴

۱-۳-۲-۴- گشتاور ۱۴

۱-۳-۲-۵- توان ۱۵

۱-۳-۲-۶- فشار مؤثر متوسط ۱۵

۱-۳-۳- پارامترهای ورودی مربوط به هوا، سوخت و احتراق ۱۵

۱-۳-۳-۱- نسبت هوا به سوخت ۱۵

۱-۳-۳-۲- نسبت هم ارزی ۱۶

۱-۳-۳-۳- مصرف سوخت ویژه ۱۶

۱-۳-۴- راندمان های موتور ۱۶

۱-۳-۴-۱- راندمان مکانیکی ۱۶

۱-۳-۴-۲- راندمان حرارتی ۱۷

۱-۳-۴-۳- راندمان حجمی ۱۷

فصل دوم: ترکیب و خواص ترمودینامیکی سیال عامل ۱۸

۲-۱- ترکیب سیال عامل ۱۹

عنوان **صفحه**

۲-۱-۱- ترکیب مخلوط نسوخته (قبل از احتراق) ۱۹
۲-۱-۲- ترکیب مخلوط گازهای سوخته (محصولات احتراق) ۲۳
۲-۲- داده های ترمودینامیکی ۲۸

فصل سوم: تحلیل ترمودینامیکی موتور احتراق داخلی مبتنی بر چرخه دوگانه ۳۱

۳-۱- مقدمه ۳۲
۳-۲- چرخه حجم ثابت (چرخه اتو) ۳۳
۳-۳- چرخه فشار ثابت (چرخه دیزل) ۳۴
۳-۴- چرخه دوگانه (فشار محدود) ۳۵
۳-۵- تحلیل ترمودینامیکی موتور احتراق داخلی مبتنی بر چرخه دوگانه ۳۷
۳-۵-۱- مرحله تراکم ۳۷
۳-۵-۲- مرحله احتراق ۴۲
۳-۵-۲-۱- احتراق در حجم ثابت ۴۲
۳-۵-۲-۲- احتراق در فشار ثابت ۴۴
۳-۵-۳- مرحله انبساط ۴۶
۳-۵-۴- اندازه ی گام محاسباتی ۴۶

فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری ۴۷

۴-۱- مقدمه ۴۸
۴-۲- مقایسه نتایج با نتایج استاندارد ۴۹
۴-۳- بحث و نتیجه گیری ۵۱
۴-۳-۱- اثر نسبت مول های سوخته شده در احتراق حجم ثابت ۵۱
۴-۳-۲- اثر نسبت هم ارزی ۵۴
۴-۳-۳- اثر نسبت تراکم ۵۵
۴-۳-۴- اثر سرعت دورانی لنگ ۵۸
۴-۳-۵- اثر سوپر شارژ ۵۹
۴-۳-۶- اثر دمای هوای تغذیه – پیش گرم کردن هوای تغذیه ۶۱
۴-۳-۷- اثر نوع سوخت ۶۴
۴-۳-۸- منحنی تغییرات مقادیر فشار ، حجم و دما محتویات درون سیلندر ۶۶
۴-۳-۹- اثر کسر جرمی گازهای باقیمانده ۶۹
۴-۴- نتایج ۷۱

عنوان **صفحه**

پیشنهاد ادامه ی کار ۷۲

پیوست ها ۷۳

پیوست «الف» داده های ترمودینامیکی ۷۴

پیوست «ب» برنامه کامپیوتری ۹۷

مراجع

مراجع ۱۱۲

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) . چرخه عملکرد موتور چهار زمانه ۷
شکل (۱-۲) . چرخه عملکرد موتور دو زمانه ۸
شکل (۱-۳) . هندسه پیستون و سیلندر موتور رفت و برگشتی ۱۱
شکل (۳-۱) .(الف)دیاگرام اندیکاتوری برای یک موتور نمونه SI با چرخه چهار زمانه.(ب)چرخه ترمودینامیکی اتو ۳۳
شکل (۳-۲) .(الف) دیاگرام اندیکاتوری برای یک موتور نمونه CI با چرخه چهار زمانه. (ب) چرخه ترمودینامیکی دیزل ۳۴
شکل (۳-۳) . (الف) دیاگرام اندیکاتوری یک موتور CI جدید، که با چرخه چهار زمانه کار می کند. (ب) چرخه ترمودینامیکی ایده آل دوگانه ۳۵
شکل (۴-۱) . مقایسه نتایج حاصل از زیر برنامه لاگرانژی و مرجع [۱۲] برای سوخت C_8H_{18} در دمای ۱۷۵۰ درجه کلوین و فشار ۳۰/۴ بار ۴۹
شکل (۴-۲) . مقایسه نتایج حاصل از زیر برنامه لاگرانژی و مرجع [۱۲] برای سوخت C_8H_{18} در دمای ۲۲۵۰درجه کلوین و فشار ۳۰/۴ بار ۵۰
شکل (۴-۳) . مقایسه نتایج حاصل از زیر برنامه لاگرانژی و مرجع [۱۲] برای سوخت C_8H_{18} در دمای ۲۷۵۰ درجه کلوین و فشار ۳۰/۴ بار ۵۰
شکل (۴-۴) . منحنی تغییرات قدرت اندیکاتوری بر حسب نسبت مول های سوخته در مرحله ی احتراق حجم ثابت برای نسبت هم ارزی های مختلف ۵۱
شکل (۴-۵) . منحنی تغییرات راندمان حرارتی بر حسب نسبت مول های سوخته شده در مرحله ی احتراق حجم ثابت برای دورهای موتور مختلف ۵۲
شکل (۴-۶) . منحنی تغییرات انتقال حرارت گازهای درون سیلندر به محیط اطراف بر حسب نسبت مول های سوخته در مرحله ی احتراق حجم ثابت برای نسبت های هم ارزی مختلف ۵۳
شکل (۴-۷) . منحنی تغییرات ماکزیمم دمای گازهای درون سیلندر بر حسب نسبت مول های سوخته شده در مرحله ی احتراق حجم ثابت برای دورهای موتور مختلف ۵۳
شکل (۴-۸) .منحنی تغییرات مصرف سوخت ویژه بر حسب نسبت مول های سوخته در مرحله ی احتراق حجم ثابت برای نسبت های هم ارزی مختلف ۵۴
شکل (۴-۹) . منحنی تغییرات ماکزیمم درجه حرارت گازهای درون سیلندر بر حسب نسبت توازن برای نسبت تراکم های مختلف ۵۵
شکل (۴-۱۰) . منحنی تغییرات راندمان حجمی بر حسب نسبت توازن برای نسبت تراکم های مختلف ۵۶
شکل (۴-۱۱) . منحنی تغییرات راندمان حرارتی بر حسب نسبت توازن برای نسبت تراکم های مختلف ۵۷
شکل (۴-۱۲) . منحنی تغییرات فشار مؤثر متوسط بر حسب نسبت تراکم برای دورهای مختلف ۵۷
شکل (۴-۱۳) . منحنی تغییرات مصرف سوخت ویژه بر حسب نسبت تراکم برای دورهای مختلف ۵۸
شکل (۴-۱۴) . منحنی تغییرات راندمان حرارتی بر حسب فشار هوای تغذیه ۵۹

عنوان **صفحه**

شکل (۴-۱۵) . منحنی تغییرات فشار مؤثر متوسط بر حسب نسبت فشار هوای تغذیه ۶۰
شکل (۴-۱۶) . منحنی تغییرات انتقال حرارت گازهای درون سیلندر به محیط اطراف بر حسب فشار هوای تغذیه ۶۰
شکل (۴-۱۷) . منحنی تغییرات ماکزیمم دمای گازهای درون سیلندر بر حسب دمای هوای تغذیه ۶۱
شکل (۴-۱۸) . منحنی تغییرات راندمان حجمی بر حسب دمای هوای تغذیه ۶۲
شکل (۴-۱۹) . منحنی تغییرات راندمان حرارتی بر حسب دمای هوای تغذیه ۶۲
شکل (۴-۲۰) . منحنی تغییرات توان اندیکاتوری بر حسب دمای هوای تغذیه ۶۳
شکل (۴-۲۱) . منحنی تغییرات مصرف سوخت ویژه بر حسب دمای هوای تغذیه ۶۳
شکل (۴-۲۲) . منحنی تغییرات ماکزیمم دمای گازهای درون سیلندر بر حسب نسبت هم ارزی برای سوخت های مختلف ۶۴
شکل (۴-۲۳) . منحنی تغییرات راندمان حرارتی بر حسب نسبت هم ارزی برای سوخت های مختلف ۶۵
شکل (۴-۲۴) . منحنی تغییرات توان اندیکاتوری بر حسب نسبت هم ارزی برای سوخت های مختلف ۶۵
شکل (۴-۲۵) . منحنی تغییرات مصرف سوخت ویژه بر حسب نسبت هم ارزی برای سوخت های مختلف ۶۶
شکل (۴-۲۶) . منحنی تغییرات نسبت مولی ماکزیمم دی اکسید کربن بر حسب نسبت هم ارزی برای سوخت های مختلف ۶۷
شکل (۴-۲۷) . منحنی تغییرات فشار بر حسب زاویه لنگ ۶۷
شکل (۴-۲۸) . منحنی تغییرات دما بر حسب زاویه لنگ ۶۸
شکل (۴-۲۹) . دیاگرام اندیکاتوری برای موتور احتراق داخلی مبتنی بر چرخه دوگانه (چرخه قدرت) ۶۸
شکل (۴-۳۰) . منحنی تغییرات راندمان حجمی بر حسب کسر جرمی گازهای باقیمانده ۶۹
شکل (۴-۳۱) . منحنی تغییرات مصرف سوخت ویژه برحسب کسر جرمی گازهای باقیمانده ۷۰
شکل (۴-۳۲) . منحنی تغییرات توان اندیکاتوری برحسب کسر جرمی گازهای باقیمانده ۷۰

فهرست جدول ها

جدول **صفحه**

جدول (۲-۱) . محصولات احتراق درجه حرارت پایین ۲۱
جدول (الف-۱) . داده های ترمودینامیکی مربوط به محصولات احتراق ۷۳
جدول (الف-۲) . ضرایب چند جمله ای لگاریتمی گرمای ویژه در فشار ثابت $(\tilde{c}_p(T^*) = [\frac{J}{mol.K}])$ $(100K \leq T \leq 5000K)$ ۹۴

فصل اول

مقدمه ای بر موتورهای احتراق داخلی

۱-۱- مقدمه

موتورهای احتراق، به دو گروه عمده موتورهای احتراق داخلی و احتراق خارجی تقسیم می شوند. در موتورهای احتراق خارجی، محصولات احتراق مستقیماً کار انجام نمی دهند زیرا سیال عامل از مخلوط سوخت و هوا جدا بوده و حرارت توسط ظرف محتوای سیال عامل به آن منتقل می شود. در نیروگاه های حرارتی که حرارت به سیال عامل داده می شود و این سیال کار انجام می دهد مثال بارز این دسته از موتورهاست. در موتورهای احتراق داخلی محصولات احتراق مستقیماً کار انجام می دهند. در این موتورها در اثر احتراق مواد شیمیایی، فشار و درجه حرارت افزایش یافته باعث انجام کار روی پیستون می شوند. موتور اتومبیل و توربین گاز از این دسته موتورها به شمار می روند.

تاریخچه موتورهای احتراق داخلی به سال ۱۸۷۶ که اتو موتورهای اشتعال جرقه ای و سال ۱۸۹۲ که دیزل موتورهای اشتعال تراکمی را توسعه دادند برمی گردد. به مرور زمان با رشد تکنولوژی این موتورها توسعه بیشتری یافتند که نباید تقاضای مدل های جدید از طرف مشتریان را در این امر نادیده گرفت.

همانطور که در سطح جامعه دیده می شود موتورهای احتراق داخلی بزرگ ترین منبع تولید کار و به همین دلیل بزرگترین مصرف کننده انرژی در سطح جهانی می باشند. اگر مجموعه اتومبیل ها، خودروهای سبک و سنگین، موتورهای کشاورزی و محرکین کشتی ها به عنوان یک منبع تولید انرژی در نظر گرفته شود می توان دریافت که این مجموعه بسیار بزرگ تر از کلیه نیروگاه های حرارتی و هسته ای در سطح جهانی است. به همین دلیل موتورهای احتراق داخلی در جوامع امروز بشری همواره از ارزش و اهمیت خوبی برخوردار بوده است.

نظر به کاربرد وسیع این گونه موتورها در دنیای امروز و لزوم توجه به صرفه جویی در مصرف منابع انرژی و با در نظر گرفتن مسائل آلودگی محیط زیست و سعی در کاهش مصرف سوخت ویژه، عملکرد این موتورها از نظر ترمودینامیکی دارای اهمیت خاصی است. با تعیین عملکرد ترمودینامیکی می توان موتور را در شرایط بهینه مورد استفاده قرار داد. به همین منظور مدل های کامپیوتری توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است.

در شبیه سازی موتور به وسیله کامپیوتر، اجزاء مختلف مدل بندی شده و با اعمال قوانین ترمودینامیکی و فیزیکی حاکم بر آن اجزاء برنامه کامپیوتری تهیه می گردد که اطلاعاتی نظیر

هندسه موتور، خصوصیات سوخت، هوا، سایر گازهای موجود در سیلندر و پارامترهای مشابه را به عنوان ورودی در نظر گرفته و پارامترهای مورد نیاز را در محدوده وسیعی از عملکرد موتور محاسبه می کند.

در شبیه سازی موتور بوسیله کامپیوتر می توان درجه حرارت و فشار برحسب موقعیت لنگ و نیز درصد مولی محصولات احتراق ، مصرف سوخت ویژه، راندمان حرارتی، راندمان حجمی، توان محوری، عملکرد توربوشارژ و دیگر پارامترهای مهم را پیش بینی کرد.

شبیه سازی موتور به وسیله کامپیوتر دارای مزایای زیادی است که مهمترین آنها عبارتند از :

۱) قابلیت بررسی اثر تغییرات ابعاد هندسی موتور بر عملکرد آن در اسرع وقت با صرف کمترین هزینه بدون ساختن مدل های مختلف
۲) هنگام تست واقعی موتور، به طور کلی نمی توان تأثیر یک پارامتر بر عملکرد موتور را بررسی کرد در حالی که در شبیه سازی کامپیوتری این مشکل وجود ندارد.
۳) حذف نتایج مشکوک حاصل از تجارب آزمایشگاهی
۴) کاهش تعداد آزمایشات لازم برای بهینه کردن عملکرد موتور تحت شرایط ویژه
۵) امکان مطالعه و تحقیق در مورد طرح های نوین که امکان ساخت و یا فراهم شدن شرایط آزمایش آنها به علت محدود بودن امکانات فعلی و بالا بودن هزینه از دسترس ما خارج است.

شبیه سازی موتورهای احتراق داخلی موضوع تحقیقاتی وسیعی در چند دهه اخیر بوده است. دلیل این امر توسعه کامپیوتر های دیجیتالی از نظر سرعت و حافظه می باشد.

در بررسی موتور های احتراق داخلی مراحل کار به دو دوره تقسیم می گردد. دوره اول شامل رانش و مکش است که در این دوره محصولات احتراق یک چرخه، از محفظه احتراق خارج و بسته به نوع موتور، مخلوط سوخت و هوا یا هوای چرخه بعد به داخل سیلندر مکیده می شود. این دوره از زمان باز شدن سوپاپ دود تا بسته شدن سوپاپ تغذیه ادامه دارد. دوره دوم که به چرخه قدرت موسوم است شامل مراحل تراکم، احتراق و انبساط بوده و از لحظه ی بسته شدن سوپاپ تغذیه تا باز شدن سوپاپ دود ادامه دارد.

با استفاده از کامپیوتر می توان محاسبات هر مرحله را به چند گام محاسباتی تقسیم نمود و دقت محاسباتی را افزایش داد.

در این زمینه پژوهشگران تحقیقات زیادی انجام داده اند که به چند مورد اشاره می گردد :

صفرزاده تأثیر سوخت های هیدروکربنی و الکل ها را بر یک موتور احتراق داخلی مبتنی بر چرخه دوگانه به صورت عددی بررسی کرده است. وی چهار ماده در محصولات احتراق در نظر گرفته و غلظت هر یک را طی یک چرخه محاسبه کرده است [۱].

بنسون روابط حاکم بر چرخه ایده آل سوخت و هوا مبتنی بر چرخه دوگانه را ضمن چشم پوشی از انتقال حرارت ارائه کرده است. همچنین وی الگوریتم و فلوچارتی که فرآیندهای تراکم، احتراق و انبساط را نشان می دهد تهیه کرده و در پایان برنامه کامپیوتری ارائه نموده که قادر است راندمان حرارتی، مصرف سوخت ویژه، توان، فشار مؤثر متوسط، فشار و دمای لحظه ای محصولات احتراق را محاسبه کند. در ضمن وی برنامه ای مشابه نیز جهت چرخه ایده آل سوخت و هوا (اتو) تهیه کرده است [۲].

گریفیث یک برنامه شبیه سازی برای نشان دادن اثر افزایش درجه حرارت اطاق احتراق بر راندمان حرارتی و نیز افت حرارتی از موتورهای اشتعال – تراکمی تهیه نموده است [۳].

بورمن و استریت با در نظر گرفتن یک موتور احتراق داخلی از نوع اشتعال – تراکمی دو زمانه توربوشارژ، برنامه ی کامپیوتری ارائه کرده که عملکرد این موتورها را پیش بینی می کند [۴].

هارلوک و وینتربون مدلی جهت موتور های احتراق داخلی از نوع اشتعال – تراکمی توربوشارژ ارائه کرده اند. در این مدل راندمان حرارتی، فشار مؤثر متوسط و چند پارامتر عملکردی دیگر محاسبه می شوند [۵].

وشنی اثر تغییر نسبت هم ارزی، فشار تغذیه، دمای تغذیه، دور موتور و لحظه پاشش سوخت را بر نرخ آزاد سازی گرمای سوخت بررسی کرده و در پایان رابطه ای ریاضی برای نرخ آزاد سازی گرما ارائه کرده است [۶].

مک آلی و بورمن [۷] و آنانند [۸] نیز برنامه های جهت پیش بینی عملکرد موتورهای احتراق داخلی نوشته اند.

راموس نیز مدل های مختلفی جهت تحولات در چرخه های اتو و دیزل ارائه کرده است که با استفاده از آنها می توان برنامه هایی جهت پیش بینی عملکرد ترمودینامیکی موتور تهیه کرد [۹].

فرگوسن برنامه های فرعی زیادی ارائه کرده که می توان از آنها در برنامه اصلی کمک گرفت. این برنامه ها برای محاسبه لزجت، ضریب هدایت حرارتی، گرمای ویژه در فشار ثابت و نرخ آزادسازی گرما قابل استفاده هستند. فرگوسن همچنین یک برنامه فرعی برای محاسبه درصد مولی گازهای ناشی از احتراق ارائه کرده است [۱۰].

بورمن با در نظر گرفتن یک موتور تک سیلندر، برنامه ای جهت پیش بینی عملکرد موتورهای اشتعال جرقه ای و اشتعال تراکمی تهیه کرده که مطابقت خوبی با نتایج تجربی دارد [۱۱].

همچنین هارلوک [۵] و هیوود [۱۲] هر کدام تحقیقاتی راجع به افت حرارتی در موتور و طریقه اندازه گیری آن انجام داده اند.

هوهنبرگ ضمن بحث در مورد روش های اندازه گیری افت حرارتی در موتور، رابطه ای جهت تخمین مقدار آن ارائه کرده که با نتایج آزمایش هایش تطابق خوبی دارد [۱۳].

در ایـن پـروژه برنامـه ای جهـت پـیش بینـی عملکـرد یـک موتـور تـک سـیلندر شـامل مراحـل تـراکم، احتـراق و انبسـاط مبتنـی بـر چرخـه دوگانـه تهیـه شـده اسـت. گرمـای ویـژه در فشـار ثابـت گازهـای موجـود در سـیلندر بـه صـورت چنـد جملـه ای هـائی از درجـه حـرارت در نظـر گرفتـه شـده کـه ضـرایب آن به عنوان ورودی به برنامه داده می شوند.

افت حرارتی در تمامی مراحل از رابطه تجربی آناند محاسبه می گردد. در مراحل تراکم، احتراق و انبساط معادلات بقای جرم، انرژی، کار، انتقال حرارت و حالت بکار رفته و با روش نیوتن – رافسون، با داشتن شرایط ابتدای گام محاسباتی، شرایط انتهای آن گام محاسبه شده است. در ضمن درصد مولی ده ماده از محصولات احتراق با استفاده از روش ضرایب لاگرانژی (کمینه کردن انرژی آزاد گیبس) پیش بینی شده و در پایان پارامترهای عملکردی موتور نظیر راندمان حرارتی، راندمان حجمی، قدرت محوری، مصرف سوخت ویژه و فشار مؤثر متوسط محاسبه گردیده است. همچنین اثر گازهای باقیمانده در محاسبات چرخهی لحاظ شده است.

۱-۲- دسته بندی موتورها

موتورهای احتراق داخلی را می توان به روش های مختلف، دسته بندی کرد [۱۴] :

۱-۲-۱- انواع اشتعال

(الف) اشتعال جرقه ای[1] (SI) : در این نوع موتورها شروع احتراق مخلوط سوخت وهوا توسط جرقه الکتریکی شمع صورت می گیرد سوختی که این نوع موتورها مصرف می کنند عمدتاً بنزین می باشد ولی سوخت هایی همچون گاز طبیعی(CNG) وگاز نفتی مایع (LPG) والکل ها نیز در این نوع موتورها با تغییر کمی درساختار آنها قابل مصرف است در این نوع موتورها سوخت و هوا قبل از ورود به محفظه احتراق با همدیگر مخلوط می شوند، به این موتورها بنزینی گفته می شود. موتورهای بنزینی معمولا گشتاورهای کم ولی سرعت های بالایی را تولید می کنند به همین دلیل در خودروهای سواری که سبک کار هستند از آنها استفاده می شود.

(ب) اشتعال تراکمی[2] (CI) : در این نوع موتورها شروع احتراق با تزریق سوخت به داخل هوای متراکم وداغ محفظه احتراق صورت می گیرد. سوختی که این نوع موتورها مصرف می کنند سوخت دیزل یا گازوئیل می باشد. موتورهای دیزلی معمولاً سرعت های کم ولی گشتاورهای زیادی را تولید می کنند به همین خاطر در خودروهای سنگین کار مانند تراکتورها، اتوبوس ها، کامیون ها، خودرو های راه سازی، کشتی ها ونیروگاه های حرارتی از این نوع موتورها استفاده می کنند. راندمان بالای موتورهای دیزلی، کم مصرف بودن در سوخت و آلایندگی کمتر نسبت به موتورهای بنزینی از مزایای این موتورها می باشد.

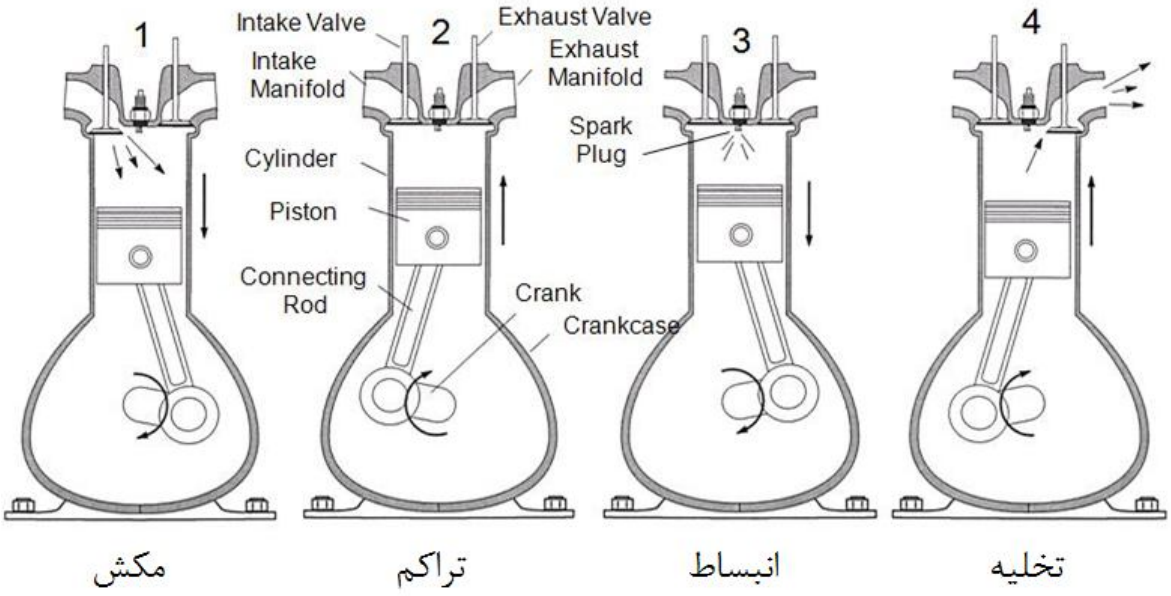
۱-۲-۲- چرخه عملکرد موتور

(الف) چرخه چهار زمانه : چرخه چهار زمانه، شامل چهار بار حرکت پیستون، در دو دور گردش موتور، برای هر چرخه ترمودینامیکی است (شکل ۱-۱) .

موتورهای چهار زمانه درونسوز اعم از موتور بنزینی و دیزلی، چهار مرحله را در هر چرخه پشت سر می‌گذارندکه عبارتند از:

۱) مکش: به داخل کشیدن هوا یا مخلوطی قابل احتراق در سیلندر
۲) تراکم: متراکم ساختن مخلوط وارده به سیلندر توسط پیستون
۳) احتراق یا انفجار: شعله‌ور ساختن مخلوط متراکم‌شده، انبساط گازهای سوخته شده و تولید توان
۴) خروج پسماند احتراق

[1]. Spark Ignition (SI)
[2] . Compression Ignition (CI)



شکل (۱-۱) . چرخه عملکرد موتور چهار زمانه

تفاوت موتور بنزینی و دیزل از لحاظ مراحل چهارگانه بالا، در مرحله احتراق است. در موتور بنزینی، سیستم تغذیه و تنظیم سوخت، مخلوط هوا و ماده سوختنی را فراهم می‌کند و به داخل محفظه سیلندر می‌فرستد این کار بر اثر ایجاد خلاء در سیلندر به واسطه پایین رفتن پیستون انجام می‌شود. پس از ورود مخلوط، پیستون آن را فشرده می‌کند. این مخلوط در لحظه‌ای مناسب به وسیله جرقه‌ای الکتریکی مشتعل می‌شود. این امر، باعث آزاد شدن انرژی و راندن پیستون به سمت پایین می‌شود. به همین دلیل، موتور بنزینی، موتور احتراق جرقه‌ای نیز نامیده می‌شود. در موتور دیزل، هوای خالص در سیلندر موتور متراکم می‌شود. سپس به منظور جلوگیری از اشتعال پیش‌رس، سوخت به داخل هوای متراکم تزریق می‌شود. زمانی که سوخت تزریق می‌شود، به دلیل فشار و دمای بالا، خودبه‌خود محترق می‌شود. تا زمانی که پاشش سوخت ادامه می‌یابد عمل احتراق نیز ادامه دارد. به همین دلیل، موتور دیزل، موتور احتراق تحت فشارنیز نامیده می‌شود.

(ب)چرخه دو زمانه : در موتورهای دو زمانه چرخه دردو کورس تکمیل می شود.یعنی یک بار چرخش میل لنگ در موتور دو زمانه در مقابل دو بار چرخش میل لنگ در موتور های چهار زمانه (شکل۱- ۲).

تفاوت میان موتورهای دو زمانه و چهار زمانه درروش پر کردن سیلندر از هوای تازه و خارج کردن گازهای سوخته شده از درون سیلندر است. در یک موتور دو زمانه مکش به وسیله هوای متراکم شده در کارتل و یا به وسیله یک دمنده صورت می گیرد.