بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی مکانیک

مطالعه تئوری کارآیی و خصوصیات آلایندگی یک موتور هیدروژن سوز سوپر شارژر شده

نگارش

اسماعیل جعفری یزدی

استاد راهنما: دکتر ناصر شایگان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک – سیستم محرکه خودرو

بهمن ۱۳۹۱

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **اسماعیل جعفری یزدی** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و ماخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هرزمان) مدرک تحصیلی صادره شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی ومعنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می باشد.

اسماعیل جعفری یزدی

امضاء

بسمه تعالي

شماره: ۱۱/۹۱/۱۱۱۵۲
تاریخ: ۹۱/۱۲/۰۸
پیوست: ---

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

صورتجلسهٔ دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تاییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جناب آقای اسماعیل جعفری‌یزدی رشتهٔ مهندسی مکانیک- سیستم‌محرکه‌خودرو تحت عنوان: مطالعه تئوری کارایی و خصوصیات آلایندگی یک موتور هیدروژنی سوپرشارژشده، که در تاریخ ۹۱/۱۱/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

☑ قبول (بادرجه خوب امتیاز ۱۷) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود.

۱ ـعالی (۲۰ – ۱۹)

۲ ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ – ۱۸)

۳ ـ خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶)

۴ ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ – ۱۴)

۵- غیرقابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر ناصر شایگان	استادیار	
استاد داور داخلی	دکتر مهرداد نوری خاجوی	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر کوروش جواهرده	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمدرضا ارباب تفتی	استادیار	

دکتر غلامحسن پایگانه
رئیس دانشکده مهندسی مکانیک

تهران، لویزان، کد پستی:۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸
صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
تلفن: ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۳۳
Email:sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم

برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر

تقدیر و تشکر

و سپاس بیکران خدا را که بزرگ‌ترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگی‌ست.

در تدوین و تکمیل این پایان‌نامه از راهنمائی‌های بزرگوارانه و ارزشمند اساتید با ارزشان و بهره بردن از علم و دانش والا یشان را چون غنیمتی گرانبها برای خود می‌دانم.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر ناصر مرشاپیگان که با وجود مشغله‌های فراوان و لایق و بایسته کار من بودند و با راهنمائی‌های ارزنده ایشان سرآغاز و پایان‌نامه‌ها در مطالعات و تحقیقات من بوده است.

در اینجا از زحمات و الطاف بزرگوارانه ایشان کمال تشکر و امتنان را دارم.

در نهایت از پدر و مادر بزرگوارم، خواهران و برادر دلسوزم و اساتید محترم جناب آقای دکتر خاجوی و جناب آقای دکتر حاجیاری تشکر می‌کنم که با حمایت‌های بی‌دریغ و قضاوت‌های ارزشمند پشتیبان و یار یکدل من در تمام مراحل زندگی‌ام بخصوص شرایط سخت و دشوار بوده است و خود را تا ابد رهین فداکاری‌های ایشان می‌دانم.

چکیده

از آنجایی که هیدروژن دارای دانسیته (انرژی بر واحد حجم) پائین است، موتور هیدروژن سوز دارای توان خروجی پائین تری نسبت به موتور بنزینی می باشد. جهت بالا بردن توان خروجی ، در این پروژه از سوپر شارژر استفاده می کنیم، ضمن اینکه اثرات نسبت تراکم جهت بالا بردن توان موتور مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین از آنجایی که تنها آلاینده موتور هیدروژن سوز NO_X می باشد، بنابراین استفاده از بازخورانی گازهای خروجی و کاهش نسبت هم ارزی سوخت و هوا مورد بررسی قرار میگیرد. ضمن اینکه با تغییرات دور موتور نیز می توان توان و آلایندگی را تغییر داد.

واژه‌های کلیدی: موتور احتراق داخلی ، هیدروژن ، سوپر شارژر ، اکسید نیتروژن ، GT-suite

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- روند تحقیق ۲

۱-۳- موتورهای احتراق داخلی ۴

۱-۳-۱- انواع موتورهای احتراق داخلی ۵

۱-۳-۲- اساس کار موتورهای چهار زمانه اتو ۶

فصل دوم: زمینه تحقیق و مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱- هیدروژن سوختی دارای خصوصیات ویژه احتراق ۸

۲-۲- قوت ها و چالش های موتور هیدروژن سوز ۹

۲-۲-۱- محدوده وسیع قابلیت اشتعال ۹

۲-۲-۲- انرژی مشتعل شدن کم ۱۰

۲-۲-۳- اکتان بالا ۱۰

۲-۲-۴- سرعت سوختن زیاد در نسبت استوکیومتریک ۱۰

۲-۲-۵- ضریب پخش بالا ۱۱

۲-۲-۶- چگالی پائین ۱۱

۲-۲-۷- مشکل احتراق پیش رس و راه حل آن ۱۱

۲-۲-۸- آلاینده ها ۱۱

۲-۳- تولید هیدروژن و محدویت پیش رو ۱۱

۲-۴- روش های ذخیره سازی هیدروژن ۱۲

۲-۴-۱- گاز هیدروژن فشرده ۱۲

۲-۴-۲- هیدروژن مایع ۱۳

۲-۴-۳- هیدریدهای فلزی ۱۴

۲-۵- سوپر شارژر ۱۵

۲-۵-۱- اصول کارکرد سوپر شارژر ها ۱۵
۲-۵-۲- انواع سوپر شارژر ۱۶
۲-۵-۲-۱- سوپر شارژر دمنده ای ۱۶
۲-۵-۲-۲- سوپر شارژر دو پیچی ۱۶
۲-۵-۲-۳- سوپر شارژر گریز از مرکز ۱۷
۲-۶- پیشینه تحقیق ۱۸

فصل سوم: شبیه سازی موتور هیدروژن سوز

۳-۱- مقدمه ۲۳
۳-۲- مشخصه های کارکردی موتور احتراق داخلی ۲۳
۳-۲-۱- کار ۲۳
۳-۲-۲- فشار موثر متوسط ۲۶
۳-۲-۳- گشتاور و توان ۲۷
۳-۳- گشتاور و توان سنج ها ۲۹
۳-۳-۱- دینامو مترهای سیالی یا هیدرولیک ۲۹
۳-۳-۲- دینامو مترهای جریان گردابی ۲۹
۳-۳-۳- دینامو مترهای الکتریکی ۲۹
۳-۴- نسبت هوا به سوخت ۳۰
۳-۴-۱- نسبت هم ارزی ۳۱
۳-۵- مصرف سوخت ویژه ۳۱
۳-۶- بازده های موتور ۳۳
۳-۷- بازده حجمی ۳۴
۳-۸- انتشار آلاینده ها ۳۴
۳-۹- بیان مسئله ۳۶
۳-۱۰- نرم افزار GT-Suite ۳۷

فصل چهارم: نتایج شبیه سازی

۴-۱- مقدمه ۴۱

۴-۲- صحه گذاری ۴۱

۴-۳- بررسی اثر نسبت هم ارزی ۴۲

۴-۴- بررسی اثر نسبت تراکم ۴۷

۴-۵- بررسی اثر دور ۵۰

۴-۶- بررسی اثر باز خورانی گازهای خروجی ۵۳

۴-۷- بررسی اثر پرخورانی (سوپر شارژر) ۵۵

فصل پنجم: جمع بندی نتایج و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۵۸

۵-۲- پیشنهادات ۵۹

مقالات ارائه شده ۶۰

منابع و مراجع ۶۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- مشخصات احتراق هیدروژن ، متان و بنزین ۹

جدول ۲-۲- عدد اکتان هیدروژن و چند سوخت فسیلی ۱۰

جدول ۴-۱- مشخصات موتور E6/US ۴۱

جدول ۴-۲- تغییرات عملکرد موتور بر حسب نسبت هم ارزی ۴۵

جدول ۴-۳- تغییرات عملکرد موتور بر حسب نسبت تراکم ۴۹

جدول ۴-۴- تغییرات عملکرد موتور بر حسب دور ۵۲

جدول ۴-۵- تغییرات توان و آلاینده بر حسب فشار ورودی ۵۵

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۴-۱- صحه گذاری نتیجه شبیه سازی ۴۲
نمودار ۴-۲- تغییرات گشتاور در نسبت هم ارزی مختلف ۴۳
نمودار ۴-۳- اثر نسبت هم ارزی بر تغییرات فشار سیلندر ۴۴
نمودار ۴-۴- اثر نسبت هم ارزی بر تغییرات دمای سیلندر ۴۴
نمودار ۴-۵- اثر نسبت هم ارزی بر توان و آلایندگی ۴۶
نمودار ۴-۶- تغییرات تولید آلاینده در نسبت هم ارزی مختلف ۴۶
نمودار ۴-۷- اثر نسبت تراکم بر تغییرات فشار سیلندر ۴۷
نمودار ۴-۸- اثر نسبت تراکم بر تغییرات دمای سیلندر ۴۸
نمودار ۴-۹- اثر نسبت تراکم بر توان و آلایندگی ۴۸
نمودار ۴-۱۰- تغییرات تولید آلاینده در نسبت تراکم های مختلف ۴۹
نمودار ۴-۱۱- اثر دور موتور بر تغییرات فشار سیلندر ۵۰
نمودار ۴-۱۲- اثر دور موتور بر تغییرات دمای سیلندر ۵۱
نمودار ۴-۱۳- اثر دور موتور بر توان و آلایندگی ۵۱
نمودار ۵-۱۴- تغییرات تولید آلاینده در دورهای مختلف ۵۲
نمودار ۴-۱۵- تاثیر دور موتور بر راندمارن حرارتی ۵۳
نمودار ۴-۱۶- اثر باز خورانی بر آلاینده و توان در $\varphi =$ ۰/۸۲ ۵۴
نمودار ۴-۱۷- اثر باز خورانی بر آلاینده و توان در $\varphi =$ ۱ ۵۵
نمودار ۴-۱۸- اثر سوپر شارژر بر توان ۵۶

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- مخزن ذخیره گاز هیدروژن فشرده ۱۳
شکل ۲-۲- مخزن ذخیره هیدروژن مایع ۱۴
شکل ۲-۳- سوپر شارژر دمنده ای ۱۶
شکل ۲-۴- سوپر شارژر دو پیچی ۱۷
شکل ۲-۵- سوپر شارژر گریز از مرکز ۱۷
شکل ۲-۶- اتومبیل هیدروژن سوز شرکت فورد ۲۰
شکل ۲-۷- موتور هیدروژن سوز شرکت BMW ۲۱
شکل ۳-۱- نمودار P-V برای موتور اشتعال جرقه ای ۲۴
شکل ۳-۲- تغییرات Bsfc نسبت به دور و نسبت تراکم ۳۲
شکل ۳-۳- تغییرات Bsfc نسبته به نسبت هم ارزی و نسبت تراکم ۳۲
شکل ۳-۴- آلاینده های خروجی موتور بر حسب نسبت هم ارزی ۳۶
شکل ۳-۵- محیط کاری GT-Suite ۳۸
شکل ۳-۶- مرحله راه اندازی نرم افزار ۳۹
شکل ۳-۷- فضای مشاهده نتایج GT-Post ۳۹

فهرست علائم

عنوان	نماد
موتور احتراق داخلی	SI
هیدروژن	H
فشار	P
دما	T
توان	P
نسبت هم ارزی سوخت – هوا	φ
نسبت تراکم	CR
اکسید نیتروژن	NO_x
دور بر دقیقه	RPM
باز خورانی گازهای خروجی	EGR
نقطه مرگ بالا	TDC
نقطه مرگ پائین	BDC

فصل اول

طرح تحقیق

۱-۱- مقدمه

از زمان تولید وسائل نقلیه بشر به دنبال پیشرفت و تکامل آن بوده استف که با گذر زمان به نتایج مهمی دست یافته است. پس از تولید خودرو با موتورهای احتراق داخلی و با سیر تکاملی آن در دهه های اخیر شرکت های سازنده خودرو به دلایل مختلفی از جمله افزایش قدرت ، سرعت ، راندمان و همچنین کاهش آلایندگی رقابت تنگاتنگی با یکدیگر داشته اند. یکی از اهداف استفاده از سوخت های جایگزین می باشد.

۱-۲- پروسه تحقیق

طی دهه های اخیر افزایش روز افزون بهای نفت خام و سوخت های فسیلی از یکسو و سخت گیرانه تر شدن استاندارد های آلایندگی از سوی دیگر، باعث معطوف شدن نگاه صنایع و کارشناسان انرژی به سمت سوخت های جایگزین شده است. امروزه موتورهای احتراق داخلی در زمره اصلی ترین مصرف کنندگان حامل های انرژی در جهان هستند، به کار گیری سوخت های جایگزین در موتورهای احتراق داخلی همواره از موضوعات مورد توجه پژوهشگران و موتور سازان بزرگ دنیا بوده است. طی دو دهه اخیر کوشش های فراوانی از طرف کشورهای توسعه یافته جهان نظیر ایالات متحده، ژاپن و کشورهای اروپایی جهت توسعه و معرفی سوخت های جایگزین جدید و جایگزینی آنها به جای سوخت های متداول نظیر بنزین و دیزل انجام گرفته است. مشکلات زیست محیطی و تلاش برای بهبود کیفیت هوای شهرهای بزرگ مهمترین عامل و محرک جهت حرکت به سوی سوخت های جایگزین می باشد. منبع اصلی آلودگی هوا، آلایندگی ناشی از ناوگان حمل و نقل و خودروها می باشد به طوری که در ایالات متحده ۷۰٪ منو اکسید کربن، ۴۱٪ اکسید های نیترون و ۳۸٪ آلایندگی هیدروکربن ناشی از موتورهای احتراق داخلی می باشد [۱]. همچنین ۲۵٪ از کل دی اکسید کربن تولیدی توسط بشر در کل دنیا ناشی از احتراق سوخت های فسیلی در موتورهای احتراق داخلی می باشد. در کنار مشکلات زیست محیطی عدیده، رشد روز افزون قیمت نفت خام و انواع سوخت ها در چند سال اخیرنیزباعث بروز مشکلات متعددی برای دولت ها شده است. اعتصاب گسترده بر سر بالا رفتن بی رویه قیمت سوخت شاهدی بر این ادعاست. باتوجه به مسائل فوق،

برنامه های تحقیقی متعددی در کشورهای توسعه یافتـه در جریـان اسـت تـا از اتکـاء بخـش هـای مختلف مصرف کننده انرژی به نفت و فرآورده های نفتی کاسته شود. هیدروژن یکی از انواع سوخت های جایگزین است که طی یک دهه اخیر توجه بسیاری از کارشناسان و محققین را به سمت خـود معطوف ساخته است. هیدروِژن تنها سوختی است که در ساختمان آن اتم کربن به کار نرفته اسـت، به همین جهت از احتراق آن گونه های کربن دار به خصوص منواکسید کـربن و دی اکسـید کـربن تولید نخواهد شد. اگر چه از احتراق هیدروِژن در موتورهای احتراق داخلـی مقـادیری از اکسـیدهای نیتروژن تولید میشود، اما همچنان هیدروژن به عنوان پاک ترین سوخت مطرح می باشد. عـلاوه بـر آن هیدروژن می تواند بدون تولید آلایندگی در پیل های سوختی به منظور تولید الکتریسیته به کار گرفته شود. مشخصه دیگر هیدروژن این است که به صورت آزاد در طبیعت یافت نمـی شـود امـا بـا استفاده از روش های مختلف نظیر الکترولیز آب و تبدیل سوخت های فسیلی مـی تـوان هیـدروژن مورد نیاز را تولید کرد. در سالیان اخیر خصوصیات احتراقی ویژه هیدروژن نظر بسـیاری از محققـین و کارشناسان صنعت خودرو را به خود جلب کرده است. از دهه ۷۰ میلادی تا کنـون شـرکت هـای معتبر و بزرگ خودرو سازی در جهان تحقیقات گسـترده ای را پیرامـون بـه کـارگیری هیـدروژن و طراحی موتورهای هیدروژن سوز به انجام رسانده اند. در میان این شرکت ها مرسدس بنـز، بـی . ام. و، مزدا و فورد به پیشرفت های چشمگیری در این زمینه دست یافته اند. در کنار توسعه موتورهـای احتراقی هیدروژن سوز، توسعه حول موتورهای پیل سوختی نیز به طور مستمر دنبـال مـی شـود در زمینه موتورهای هیدروِژنی پیل سوختی شرکت هـای هونـدا، فـورد و جنـرال موتـورز از پیشـگامان توسعه این تکنولوژی می باشند. مهم ترین مشکل بر سر راه استفاده تجاری از موتورهـای هیـدروژن سوز و رقابت پذیری با سوخت های فسیلی معمول، عدم وجود زیر ساخت های گسترده و اقتصـادی برای تولید و توزیع هیدروژن می باشد که استفاده از آن را به عنـوان سـوخت بـا محـدودیت روبـرو ساخته است. امروزه تحقیقات در زمینه تولید هیدروژن با شتاب بیشـتری بـه سـمت جلـو در حـال حرکت است. با وجود برتری های انکار ناپذیر هیدروژن در برخی موارد نسبت بـه سـایر سـوخت هـا برای استفاده در موتورهای احتراق داخلی، بعضی از خصوصیات احتراقی آن چالش جدی بر سـر راه عملکرد بهینه موتور همراه با سطح توان تولیدی قابل قبول ایجاد می کند. از این رو بررسـی پدیـده احتراق در موتورهای هیدروژن سوز اهمیت خاصی دارد و بـه طراحـی بهینـه تـر همـراه بـا هزینـه طراحی کمتر کمک شایانی می نماید.

۱-۳- موتورهای احتراق داخلی

موتورهای احتراق داخلی اولین بار در اواخر قرن هفدهم اختراع شد این موتورها اثرات چشمگیری در جوامع بشری داشته و به عنوان یکی از مهمترین تحولات صنعتی قرن گذشته به شمار می رود لذا به جرأت می توان گفت پایه توسعه بسیاری از تکنولوژی های تجاری امروزی محسوب می شود بیشترین کاربرد موتورهای احتراق داخلی در وسایل حمل و نقل زمینی (خودروهای سواری و باری)، ماشی نهای ریلی، زیر دریای یها و هواپیماها می باشد از اوایل قرن بیستم موتورهای بخار برای به حرکت در آوردن کشتی ها و لوکوموتیوها مورد استفاده قرار گرفته شد، ولی امروزه از موتورهای دو و چهارزمانه دیزلی به این منظور استفاده م یشود همچنین تا پیش از سال ۱۹۵۰ وسایل نقلیه هوایی از موتورهای پیستونی برای پرواز سود می جستند، این در حالی است که امروزه از توربین های گازی برای رانش هواپیماهای جت استفاده می شود و در هواپیماهای کوچک تر کماکان موتورهای پیستونی مورد استفاده قرار می گیرد استفاده پیوسته از موتورهای احتراق داخلی در زمینه های مختلف، عمدتاً ناشی از هزینه پا یین، بازده بالا و مشخصه های عملکردی ساده و مقاوم آن ها می باشد از سال ۱۹۷۰ با پر اهمیت شدن نقش کیفیت هوا در سلامت انسان، فعالیت های عمده ای در زمینه کاهش آلاینده های موتورهای درون سوز صورت گرفته است، به طوری که امروزه تجهیزات و سیستم های کنترل آلایندگی موتور، یکی از فاکتورهای اساسی در طراحی و عملکرد موتورهای درونسوز به شمار می روند. با توجه به افزایش تقاضای جهانی انرژی و به تبع آن بالا رفتن هزینه های سوخت، تغییرات اساسی در عملکرد موتور به منظور کاهش مصرف سوخت آن صورت گرفته است تعریف پروژه یورو موتور به صورت مشترک توسط برخی از کشورهای اروپایی به منظور ایجاد تغ ییرات جدی در نحوه کارکرد موتور به طور مثال تبدیل حرکت دورانی میل لنگ به حرکت خطی نمونه ای از تحولات در این بخش می باشد توسعه موتورهای دیزل به ویژه در بخش خودروهای سواری و موارد بسیار زیادی که شتاب بیش از پیش تغییرات این صنعت را نشان می دهد.

۱-۳-۱- انواع موتورهای احتراق داخلی

- **موتورهای درون سوز اتو**

این موتورها را به دسته کلی موتور چهارزمانه و موتورهای دوزمانه می‌توان تقسیم کرد. اصول کاری این موتورها مشابه‌است. لیکن نحوه عمل آنها به علت تفاوت‌های ساختاری اندکی متفاوت است.

موتور چهارزمانه: این موتورها برای هر انفجار (مرحله تبدیل انرژی سوخت به انرژی مکانیکی) می‌بایست چهار مرحله مکش، تراکم، انفجار و تخلیه را انجام دهند.

موتورهای دوزمانه: این موتورها در هر دور چرخش دارای یک انفجار هستند. این کار با ترکیب کردن مراحل انفجار و دم و بازدم به عنوان یک مرحله و ترکیب تخلیه و تراکم به عنوان مرحله بعدی صورت می‌گیرد.

- **موتور درون سوز دیزل**

موتور دیزل گونه‌ای موتور درون‌سوز است که در آن از چرخه دیزل برای ایجاد حرکت استفاده می‌شود. فرق اصلی آن با موتور اتو ایجاد احتراق در اثر تراکم است.

- **موتور درون سوز وانکل**

موتور دورانی که مخترع آن دکتر فلیکس وانکل بود، گاهی موتور وانکل یا موتور دورانی وانکل نامیده می شود. اجزائ اصلی آن روتور، محفظه روتور، محور خروجی، شمع جرقه زنی، قطعات آبندی می باشد.در موتور وانکل مانند موتور های بنزینی چهار زمانه مخلوط هوا و بنزین وارد محفظه ی بزرگی از موتور می شود سپس با کو چک شدن حجم آن مخلوط هوا و بنزین تحت فشار قرار گرفته و با ایجاد جرقه به وسیله شمع انفجار حاصل می شود، مولکول های گاز دراثر احتراق منبسط می گردند و فشار محفظه ی تراکم به شدّت بالا می رود و نیروی حاصل از آن به رو تور اعمال شده وبه علّت اختلاف مرکز دوران بین روتور و میل لنگ نیروی چرخشی در روتور ایجاد می گردد. این نیروی چرخشی به بادامک محور لنگ که در داخل روتور قرار دارد، وارد شده و به فلایویل و سیستم انتقال قدرت می رسد.

۱-۳-۲- اساس کار موتورهای چهار زمانه اتو

در موتور چهارزمانه، یک دوره (سیکل) کار در چهار زمان (کورس) انجام می شود. یعنی برای انجام کار مکانیکی در هر سیکل، چهار مرتبه پیستون به طرف بالا و پایین حرکت می کند (دو حرکت به بالا و دو حرکت به پایین).

- **مرحله (کورس) مکش**

در کورس تنفس، پیستون از بالا به طرف پایین حرکت می کند.به علت آب بندی بودن پیستون در سیلندر و سریع پایین رفتن آن و بزرگ شدن ناگهانی حجم بالای پیستون، فشار این منطقه کمتر از فشار هوای محیط می شود(خلاء نسبی به وجود می آید)و با باز شدن سوپاپ

گاز (دریچه ورودی)، مخلوطی از سوخت و هوا وارد سیلندر می شود و فضای خالی پیستون را پر می کند. از نظر تئوری چون سوپاپ گاز باز می شود و قسمت داخلی سیلندر با هوای محیط مرتبط می گردد، بنابرین عمل تنفس در فشار ثابت به وقوع می پیوندد .اما از نظر عملی، سرعت پیستون بیشتر از سرعت هوای ورودی است .زیرا ذرات سوخت و هوا دارای اینرسی بوده و تمایل به حرکت کردن ندارند. لذا خلائی در داخل سیلندر ایجاد می شود و فشار داخل سیلندر کمتر از فشار جو می گردد و در نتیجه سوخت و هوا از موضع پرفشارتر به سیلندر جریان می یابد.

- **مرحله (کورس) تراکم**

در این مرحله، پیستون از پایین به بالا حرکت می کند و هر دو سوپاپ بسته می ماند .در نتیجه مخلوط هوا و سوخت در محفظه احتراق فشرده می شود و فشار درون سیلندر در پایان زمان تراکم به ۸ تا ۱۶ آتمسفر می رسد. اندازه فشار نهایی گاز در پایان کورس تراکم به عوامل گوناگونی مانند فضای اطاق احتراق، حجم کل سیلندر، درجه حرارت موتور، فشار هوا، راندمان حجمی موتور و غیره بستگی دارد. در نزدیکی رسیدن پیستون به بالاترین نقطه حرارت خود، شمع جرقه می زندو مخلوط سوخت و هوای تراکم شده را که به علت کوچک شدن فضای سیلندر مولکول هایش بیشتر با هم تصادف کرده و گرم شده اند، می سوزاند. از نظر عملی درصد پر شدن سیلندر کمتر می باشد زیرا به علّت اینرسی گاز، نمی توان در زمان مکش، تمام فضای سیلندر را از سوخت و هوا اشباع کرد .به علاوه حرارت ایجاد شده در اثر تراکم گاز از دیواره به هوا و آب و روغن، انتقال پیدا می کند.

- **مرحله (کورس) قدرت**

پس از انفجار گاز فشار در فضای کوچک شده بالای پیستون، به شدت افزایش می یابد و گاهی تا ۴۰ آتمسفر می رسد که وقتی بر سطح پیستون تأثیر کند نیروی قابل توجّهی را به پیستون وارد می سازد.

- **مرحله (کورس) تخلیه**

پیستون از پایین ترین نقطه به طرف بالا حرکت می کند و با باز شدن سوپاپ دود پس مانده های حاصل از احتراق، موتور را ترک می کنند. از نظر عملی سوپاپ دود کمی قبل از رسیدن به نقطه مرگ پایین، شروع به باز شدن می کند (در زمان قدرت) تا عمل تخلیه در فرصت بیشتری انجام شود .به طوری که وقتی پیستون تغییر جهت داده و به طرف بالا حرکت می کند مقدار دود خروجی به حدّاکثر می رسد .همچنین زمان بسته شدن سوپاپ دود را طوری طراحی می کنند که پس از کورس تخلیه کمی باز بماند تا عمل تخلیه کامل تر صورت پذیرد.