دانشگاه گلپایگان - دانشکده فنی مهندسی		شرکت فنی و مهندسی سازه پردازان مروارید جنوب

آزمایش موتور دیزلی

(Diesel Engine)

هدف آزمایش

هدف این آزمایش، بررسی عملکرد موتور تک سیلندر چهار زمانه و تأثیر توان خروجی موتور بر روی پارامترهای مصرف سوخت، دور موتور، گرمای اتلافی از اگزوز سیلندر، راندمان ترمزی، راندمان اسمی و راندمان مکانیکی موتور می باشد.

تئوری آزمایش

ماشین حرارتی داخلی، امروزه منبع اصلی جنبش برای کاربردهای زیادی مثل رانش وسایل نقلیه، رانش کشتی‌ها، مجموعه ژنراتورها و ... است. دو طبقه اصلی ماشین‌های احتراق داخلی وجود دارد.

- در نوع اول، احتراق از طریق یک جرقه آغاز می‌شود و ماشین‌های بنزینی و جرقه‌ای را در برمی‌گیرد.

- در نوع دوم، احتراق به وسیله افزایش دما در اثر فرآیند تراکم و خود به خود شروع می‌شود و موتورهای دیزلی را در بر-می‌گیرد.

موتورهای درون سوز یا احتراق داخلی به موتورهایی گفته می‌شود که در آن‌ها مخلوط سوخت و اکسید کننده (معمولاً هوا و اکسیژن) در داخل محفظه بسته‌ای واکنش داده و محترق می‌شوند. در اثر احتراق، گازهای داغ با دما و فشار بالا حاصل می‌گردند و در اثر انبساط این گازها، قطعات متحرک موتور به حرکت در آمده و کار انجام می‌دهند. نخستین موتور درون سوز چهارزمانه توسط نیکلاس اوگوست اتو، مخترع آلمانی و در سال ۱۸۷۶ ساخته شد.

انواع موتورهای درون سوز به دسته‌های زیر تقسیم می‌گردند :

- موتور درون سوز اتو
- موتور درون سوز دیزل

- موتور درون سوز وانکل
- موتورهای دوار بدون پیستون
- موتور شبه توربین
- موتورهای احتراق پیوسته
- موتورهای احتراق ناپیوسته
- توربین گازی
- موتور جت

موتور درون سوز اتو

این موتورها را به دو دسته کلی موتورهای چهار زمانه و دو زمانه می‌توان تقسیم کرد.

- ✓ موتور چهار زمانه : این موتورها برای هر انفجار (مرحله تبدیل انرژی سوخت به مکانیکی) می‌بایست چهار مرحله مکش، تراکم، انفجار و تخلیه را انجام دهند.
- ✓ موتور دو زمانه : 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 درون سوز است که در آن از چرخه دیزل برای ایجاد حرکت استفاده می‌شود. فرق اصلی آن با موتور اتو، ایجاد احتراق در اثر تراکم است. یعنی انفجار بر اثر تراکم سوخت و هوا بدون نیاز به جرقه‌زنی است.

موتورهای دوار بدون پیستون

به موتورهایی که پیستون ندارند و به جای آن روتور دارند که به صورت دورانی حرکت می‌کنند، اطلاق می‌شود؛ مانند موتور وانکل و شبه توربین.

موتور درون سوز وانکل

موتور دورانی که مخترع آن دکتر فلیکس وانکل بود، گاهی موتور وانکل یا موتور دورانی وانکل نامیده می‌شود. در موتور وانکل مانند موتورهای بنزینی چهارزمانه مخلوط هوا و بنزین وارد محفظه بزرگی از موتور می‌گردد، سپس با کوچک شدن حجم آن مخلوط هوا و بنزین تحت فشار قرار گرفته و با ایجاد جرقه و به وسیله شمع انفجار حاصل می‌گردد. مولکول‌های گاز در اثر احتراق منبسط می‌گردند و فشار محفظه تراکم به شدت بالا می‌رود و نیروی حاصل از آن به روتور اعمال شده و به علت اختلاف مرکز دوران بین روتور و میل لنگ، نیروی چرخشی در روتور ایجاد می‌گردد. این نیروی چرخشی به بادامک محور لنگ که در داخل روتور قرار دارد وارد شده و به فلایویل و سیستم انتقال قدرت می‌رسد.

موتور شبه توربین

موتور شبه توربین، خیلی شبیه موتور دورانی است که در آن یک روتور درون بدنه تقریباً بیضی شکل می‌چرخد. موتور شبه توربین روتور چهار جزئی دارد. گوشه‌های روتور با بدنه به خوبی آب بندی شده‌اند و نیز گوشه‌های روتور نسبت به بخش داخلی آب بندی هستند. در نتیجه چهار محفظه مجزا تشکیل می‌گردد.

موتور احتراق پیوسته

به موتورهایی گویند که عمل احتراق به صورت منظم و پیوسته انجام می‌گیرد؛ مانند موتورهای پیستونی و پالس جت و موتور وانکل.

موتور احتراق ناپیوسته

به موتورهایی گفته می‌شود که عمل احتراق به صورت متناوب صورت می‌گیرد؛ مانند موتورهای پیستونی و پالس جت و موتور وانکل.

در آزمایش ارائه شده موتور از نوع درون سوز اتو، چهار زمانه و دارای احتراق ناپیوسته است.

سامانه جرقه زنی موتور اتو

سامانه جرقه‌زنی وظیفه دارد در زمان معین یک جرقه الکتریکی برای سوختن مخلوطی از سوخت و هوا در موتورهای احتراق داخلی ایجاد کند. در موتور درون سوز نوع رفت و برگشتی یا همان پیستونی، جرقه در انتهای کورس تراکم کمی پیش از رسیدن پیستون به نقطه مرگ بالا زده می‌شود. اجزای این سامانه شامل شمع، وایر شمع، دلکو، کویل و باتری است.

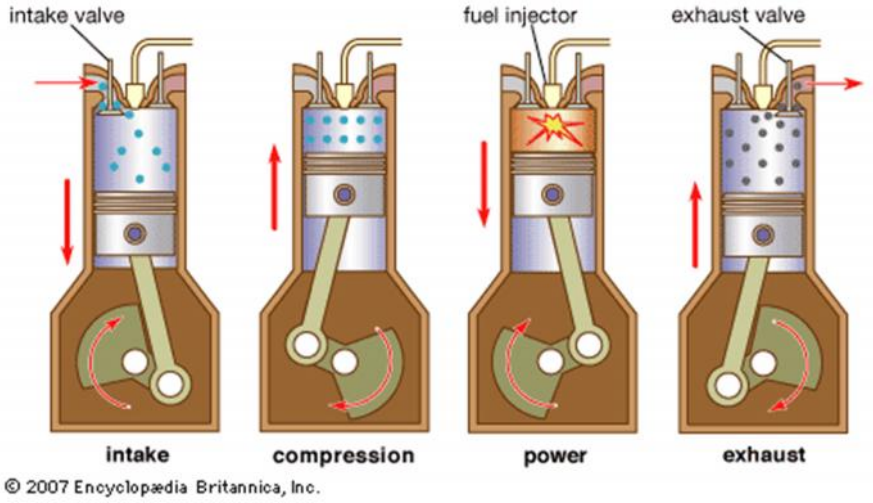
برخلاف موتورهای خودروی برقی، موتور درون سوز دارای صدها قطعه متحرک است. مواد مصرفی موتورهای درون سوز نیز مانند روغن، روغن گیربکس و مایع خنک کننده آلاینده‌ها هستند.

موتورهای احتراق داخلی موتورهای گرمایی هستند که در آن‌ها انرژی شیمیایی موجود در سوخت، در یک محفظه به نام محفظه احتراق آزاد می‌گردد و به وسیله محور خروجی در دسترس قرار می‌گیرد. انرژی شیمیایی سوخت، ابتدا توسط احتراق یا اکسیداسیون با هوا در داخل موتور، به انرژی حرارتی تبدیل می‌گردد. این انرژی حرارتی باعث افزایش دما و فشار گازهای داخل موتور می‌گردد، سپس گاز با فشار زیاد در برابر مکانیزم‌های مکانیکی موتور، به حرکت یک میل لنگ دوار تبدیل می‌گردد، که خروجی موتور است. این میل لنگ به یک مجموعه انتقال قدرت متصل است که این انرژی را به خروجی مورد نظر تبدیل می‌کند.

معمولاً نیروی تولید شده توسط یک موتور احتراق داخلی به عنوان نیروی مورد استفاده در خودروهای سواری، لوکوموتیوها، شناورهای دریایی، هواپیماها و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. سایر کاربردهای آن نیز در به حرکت درآوردن توربین‌ها و ژنراتورها و ... است.

چرخه دیزل

موتورهایی که دارای چرخه دیزل و یا یک مرحله قدرت برای هر چهار مرحله زمانی هستند، بسیار آرام‌تر، کاراتر وبزرگ‌تر از همتای دو زمانه خود هستند. مراحل موتورهای ۴ زمانه دیزلی به صورت شکل ۱ می باشد.



شکل ۱- موتور احتراق داخلی چهار زمانه دیزلی

- مکش : پیستون هوا را به داخل سیلندر می کشد.
- تراکم : با بالا آمدن پیستون، هوا متراکم می شود.
- احتراق : به هوای متراکم شده، سوخت دیزل پاشیده می شود؛ مخلوط مشتعل گردیده و پیستون به طرف پایین می‌آید.

تخلیه : گازهای حاصل از احتراق به خارج از محفظه سیلندر تخلیه می‌شود.

عملیات موتورهای چهارزمانه در اکثر موتورهای دیزلی

مکش

در مرحله مکش چرخه احتراق هنگامی که پیستون سیلندر را به طرف پایین می‌آورد، بخش ورودی باز می‌شود و هوای تازه وارد سیلندر می‌گردد. نسبت حجم اولیه در سیلندر به حجم درون سیلندر در ماکزیمم تراکم، نسبت تراکم گفته می‌شود. نسبت تراکم از این نظر حائز اهمیت است که از احتراق غیر عادی سوخت در محفظه احتراق قبل از دوره احتراق جلوگیری می‌نمایند.

تراکم

هر جابه‌جایی رو به بالا و رو به پائین سیلندر یک مرحله از کارایی موتورهای چهارزمانه با چرخه دیزل می‌باشد. در طول مرحله مکش، شیر ورودی در بالای سیلندر باز می‌گردد و با پایین آمدن پیستون، هوا به داخل سیلندر کشیده می‌شود. هنگامی که پیستون به پایین‌ترین موقعیت خود می‌رسد، شیر ورودی بسته می‌شود و پیستون به طرف بالا رفته و هوا را فشرده می‌سازد.

احتراق

وقتی پیستون به بالاترین نقطه خود می رسد، هوا که در ماکزیمم فشردگی خود قرار دارد، توسط پاشش سوخت دیزل محترق می‌گردد. در موتورهای دیزلی، فشار و دما برای احتراق به حد کافی و مورد نیاز بالا می رود.

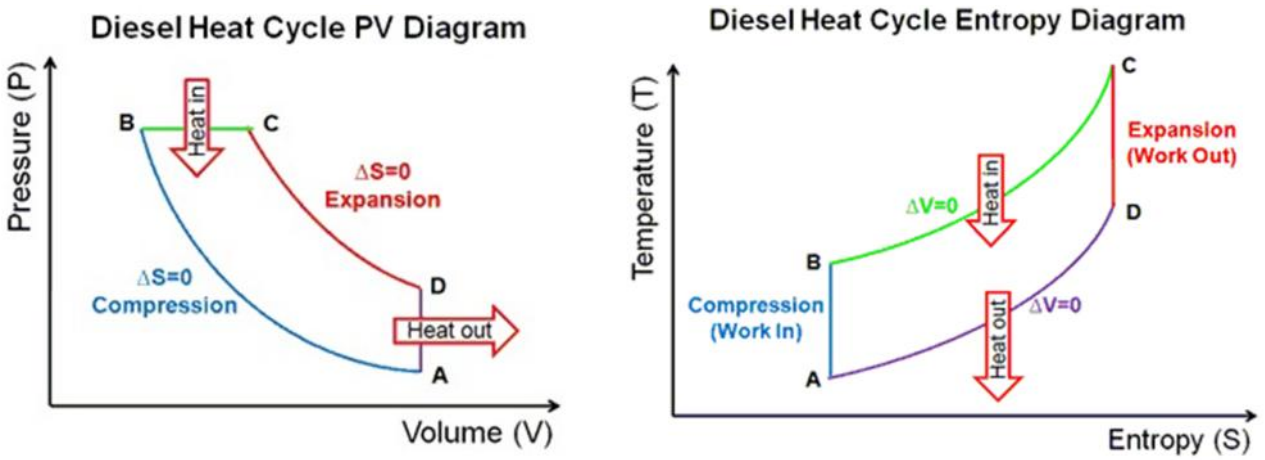
تخلیه

با احتراق سریع گاز، فشار زیاد شده و نیروی ایجاد شده، پیستون را به سمت پایین می‌آورد. هنگامی که سیلندر به پایین‌ترین قسمت خود می‌رسد، بخش خروجی باز شده و پیستون با بالا آوردن سیلندر، گازها را به طرف خارج می‌راند.

در موتورهای دیزلی فشار و دما برای احتراق کافی می‌باشد و نیازی به جرقه نمی‌باشد. معمولاً خروجی گازها شامل اکسیژن، نیتروژن، بخار آب، کربن دی اکسید کربن، هیدروژن، اکسید نیتروژن و ذرات و هیدروکربن‌های نسوخته می-باشد.

چرخه دیزل دارای ۴ فرآیند می‌باشد. نمودارهای فشار به حجم و دما به آنتروپی چرخه اتو در شکل ۲ نشان داده شده است.

- فرایند A-B : تراکم ایزونتروپیک
- فرایند B-C : احتراق در فشار ثابت
- فرایند C -D : انبساط ایزونتروپیک
- فرایند D-A : تخلیه در حجم ثابت



شکل ۲- چرخه استاندارد هوایی اتو برای موتور دیزلی

شرح دستگاه

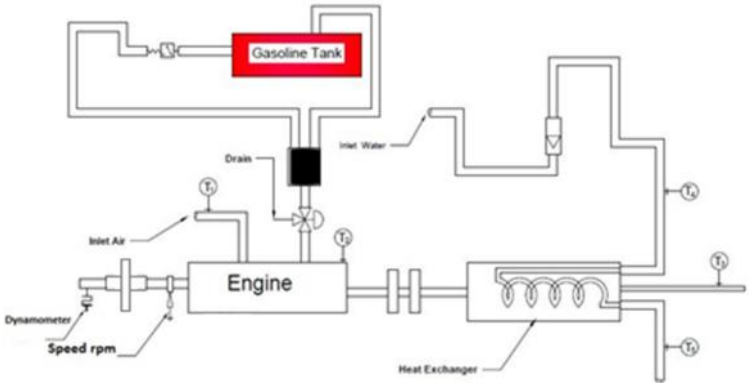
همان طور که در شکل ۳ مشخص است، هسته مرکزی دستگاه، موتور تک‌سیلندر و چهار زمانه است. سوخت موتور از مخزنی که در پشت بدنه اصلی تعبیه شده است، تأمین می‌گردد. مسیر طی شده از مخزن به موتور بدین صورت است که پس از باز کردن شیر پمپ مخزن، سوخت وارد لوله مدرج می‌گردد. در بالای موتور مسیری تعبیه شده است تا اضافه سوخت به مخزن گازوئیل بازگردانده شود. در پایین لوله مدرج یک شیر قرار داده شده است که در مسیر موتور می‌باشد. خروجی اگزوز موتور به یک مبدل پوسته و لوله وصل شده است که گاز حاصل از موتور از آن عبور می‌کند. آب نیز در مسیر گاز در درون لوله‌های مبدل حرکت می‌کند تا مقداری از گرمای دود را جذب کند و سپس دود از مبدل خارج شده و وارد محیط آزاد می‌گردد. آب درون مبدل از یک روتامتر تابلویی شیردار عبور می‌کند تا مقدار دبی آب مشخص گردد. در شفت خروجی موتور یک عدد دینامومتر جهت اندازه‌گیری گشتاور موتور تعبیه شده است. به دینامومتر یک نیروسنج

دیجیتالی وصل شده است که با تغییر میزان کشیدگی تسمه، بار بر روی موتور بیش‌تر شده و باعث کاهش دور موتور و افزایش گشتاور تولیدی آن است. دور موتور نیز توسط یک دورسنج پورتابل قابل اندازه گیری می باشد. شکل ۴، نمایی از دستگاه آزمایش را نشان می دهد. بنابراین اجزای کلی دستگاه، عبارتند از :

- موتور تک سیلندر چهارزمانه دیزلی
- مبدل پوسته و لوله شامل پوسته (با قطر داخلی ۱۰۶ میلیمتر و طول ۵۳۰ میلیمتر، کویل به مساحت ۱/۵ مترمربع)
- تابلو برق و کنترل و ادوات ابزار دقیق
- مجموعه دینامومتر اصطکاکی
- ترموکوپل ها
- مخزن گازوئیل
- استوانه مدرج
- روتامتر

همچنین ادوات تابلوی برق عبارتند از :

- ✓ سیستم On/Off دستگاه
- ✓ پنج عدد نمایشگر دما



شکل ۳- شماتیک دستگاه

شکل ۴- نمایی از دستگاه آزمایش

مقادیری که باید اندازه گیری شوند، عبارتند از :

T_1 : دمای هوای ورودی به موتور بر حسب درجه سانتی‌گراد (^oC) (**Air Temperature**)

T_2 : دمای گاز خروجی از موتور (ورودی مبدل) بر حسب درجه سانتی‌گراد (^oC) (**Gas Temperature1**)

T_3 : دمای گاز خروجی از مبدل بر حسب درجه سانتی‌گراد (^oC) (**Gas Temperature 2**)

T_4 : دمای آب ورودی به مبدل بر حسب درجه سانتی‌گراد (^oC) (**Water Temperature 1**)

T_5 : دمای آب خروجی از مبدل بر حسب درجه سانتی‌گراد (^oC) (**Water Temperature 2**)

N : دور موتور بر حسب دور بر دقیقه (rpm)

T : گشتاور موتور بر حسب نیوتن متر (N.m)

Q_w : دبی حجمی آب عبوری از مبدل بر حسب لیتر بر دقیقه (Lit/min)

V : حجم گازوئیل اندازه‌گیری شده در لوله مدرج بر حسب cc

t : زمان اندازه‌گیری شده هنگام مصرف حجم V بر حسب ثانیه (s)

روش انجام آزمایش

آزمایش اول : بررسی عملکرد موتور تک سیلندر ۴ زمانه در حالت UNLOAD

کلید اصلی دستگاه را بر روی حالت ON قرار دهید.

اکنون موتور را به وسیله کلید تعبیه شده روی تابلو برق روشن کنید؛ ولی قبل از استارت موتور رعایت نکاتی به شرح ذیل الزامی است.

- ✓ چک کنید که لوله مدرج پر باشد و مخزن گازوئیل دارای حداقل مقدار سوخت لازم برای تست باشد.
- ✓ در صورت خالی بودن لوله مدرج، کلید پمپ گازوئیل را فشار دهید و لوله مدرج را پر از سوخت نمایید.
- ✓ از باز بودن شیر ورودی سوخت به موتور که در پایین لوله مدرج قرار می‌گیرد، اطمینان پیدا کنید.
- ✓ شیر روتامتر را باز کنید تا آب درون مبدل جریان یابد.
- ✓ روغن موتور را چک کرده و از کافی بودن آن مطمئن شوید؛ ولی نباید بیش از حد به موتور روغن وارد شود؛ چرا که امکان دارد روغن اضافی وارد صافی و یا فیلتر هوا گردد.
- ✓ چک کنید که نیروسنج دیجیتالی بدون بار باشد.
- ✓ موتور را به وسیله کلید روی تابلو برق یا اهرم موجود روی موتور خاموش کنید.

نحوه محاسبات

مقدار انرژی گرمایی کل اعمال شده توسط سوخت بدین صورت محاسبه می‌گردد :

$$Q_{total} = m_f \times C_f \quad (Kw)$$

C_f : ارزش حرارتی سوخت (گازوئیل) می‌باشد و برابر (kj/Kg) ۳۸۶۵۰ است.

m_f : دبی جرمی سوخت ورودی به موتور بر حسب کیلوگرم بر ثانیه (Kg/s)

$$m_f = (\rho \times (V/t)) / 10^6$$

ρ چگالی گازوئیل و برابر با Kg/m^3 ۸۳۲ است.

قدرت خروجی یا توان ترمزی موتور بدین ترتیب محاسبه می‌گردد :

$$b.p = W = (2 \times \pi \times N \times T) / 60000 \ (Kw)$$

برای محاسبه مصرف ویژه سوخت (Specific Fuel Consumption) داریم :

$$SFC = (m_f / W) \times 3600$$

با در نظر گرفتن معادله تعادل برای مبدل گاز خروجی از موتور و صرف‌نظر از اتلافات گرمای از دست رفته از بدنه موتور داریم :

$$m_g \times C_{pg} \times (T_3 - T_2) = m_w \times C_{pw} \times (T_5 - T_4)$$

که m_w دبی جرمی آب در حال جریان درون مبدل و بر حسب Kg/s است.

$$m_w = (Q_w / 60)$$

گرمای ویژه آب C_{pw} برابر (Kj/Kg.K) ۴.۱۸ است و C_{pg} گرمای ویژه گاز خروجی از اگزوز موتور است که در محاسبات نیازی به دانستن آن نمی‌باشد.

گرمای اتلافی موتور برابر گرمای جذب شده توسط آب درون مبدل و گرمای آزاد شده به محیط آزاد است و بدین طریق قابل محاسبه است :

$$Q_{Waste} = m_g \times C_{pg} \times (T_3 - T_2) + m_g \times C_{pg} \times (T_1 - T_3)$$

با استفاده از روابط قبل، می‌توان نوشت :

$$Q_{waste} = m_w \times C_{pw} \times (T_5 - T_1) + (m_w \times C_{pw} \times (T_5 - T_4) \times (T_1 - T_3)) / (T_3 - T_2)$$

توان اسمی، معرف میزان کار انجام شده توسط سوخت بر روی پیستون است و تقریباً معادل اختلاف بین حرارت تولید شده حاصل از سوخت و گرمای هدر رفته از موتور می‌باشد.

$$i.p = Q_{total} - Q_{waste}$$

اختلاف بین توان اسمی و توان ترمزی، توان اصطکاکی نامیده می‌شود و بیانگر میزان توانی است که صرف غلبه بر مقاومت اصطکاکی اجزای موتور می‌گردد.

$$f.p = i.p - b.p$$

برای محاسبه بازده مکانیکی موتور داریم :

$$\eta_m = b.p / i.p$$

بازده کلی یا ترمزی موتور برابر خواهد بود با :

$$\eta_b = b.p / Q_{total}$$

بازده اسمی موتور برابر نسبت توان اسمی موتور به مقدار حرارت تولید شده توسط سوخت می‌باشد.

$$\eta_i = i.p / Q_{total}$$

راندمان حرارتی ایده آل چرخه دیزل بدین صورت قابل محاسبه است :

$$\eta_{th,Diesel} = 1 - (1/ (r^{k-1}))$$

K نسبت گرماهای ویژه C_p/C_v و r نسبت تراکم (۲۰:۱) است و بدین ترتیب محاسبه می گردد :

$$r = (V_{max} / V_{min}) = (V_1 / V_2)$$

درواقع نسبت تراکم، نسبت بین ماکزیمم حجم در سیلندر به مینیمم حجم در سیلندر، حین انجام چرخه دیزل است.

گشتاور ترمزی در محل دینامومتر برابر است با :

$$M = F \times R$$

که در آن F ، عدد نشان داده شده در نیروسنج دیجیتالی و R ، شعاع دیسک (۲۰ سانتی‌متر) می باشد.

توان ترمزی موتور نیز برابر خواهد شد با :

$$P = M \times \omega$$

که ω ، دور موتور بر حسب رادیان بر ثانیه می باشد.

آزمایش دوم : بررسی عملکرد موتور تک سیلندر ۴ زمانه در حالت LOAD

۱. موتور را روشن کرده و اجازه دهید موتور گرم گردد.

۲. با بیشتر کردن میزان کشیدگی تسمه، نیروسنج دیجیتالی را بر روی حداقل بار دلخواهی قرار دهید.

۳. هنگامی که مقدار بار تنظیم می‌گردد، پنج دقیقه تا رسیدن به شرایط ثابت صبر نمایید.

۴. مقدار دماها، گشتاور موتور، دور موتور، مقدار سوخت و زمان مصرف سوخت و دبی آب عبوری از مبدل را در جدول ۱ یادداشت نمایید.

۵. بار روی دینامومتر را افزایش داده و آزمایش را برای چهار مقدار دیگر تنظیم نمایید و هر دفعه برای ثابت شدن پارامترهای اندازه‌گیری و ثبت در جدول پنج دقیقه زمان در نظر بگیرید.

۶. بعد از خاتمه آزمایش، موتور را در حالت بدون بار قرار دهید و اجازه دهید موتور کمی در حالت درجا کار کند و سپس ساسات را ببندید تا موتور خاموش گردد.

تذکر: برای محاسبه مقدار سوخت مصرفی یک بازه دلخواه مثلاً ۳۰۰ cc تا ۲۸۰ cc را در نظر گرفته و مقدار زمان مصرف این مقدار سوخت را به وسیله تایمر ثبت نمایید.

جدول ۱- مقادیر اندازه گیری شده در حالت Load

Sr.No.	***Force***	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	N	T	m_f	t	Q_w
۱											
۲											
۳											
۴											
۵											

خواسته ها و سؤالات

۱- مطلوبست محاسبه دبی سوخت مصرفی، انرژی گرمایی کل تولید شده توسط سوخت، توان ترمزی موتور.

۲- مطلوبست اتلافات انرژی توسط گاز خروجی از اگزوز موتور.

۳- مطلوبست محاسبه راندمان ترمزی، راندمان اسمی و راندمان مکانیکی موتور.

۴- مطلوبست محاسبه راندمان ایده‌آل موتور، اگر ماکزیمم حجم سیلندر ۲۲۰ cc و مینیمم حجم سیلندر ۱۱ cc باشد.