

به نام خدا



دانشگاه خلیج فارس

دانشکده مهندسی

دستور کار

آزمایشگاه ماشین‌های حرارتی

نسخه ۱

پاییز ۱۳۹۲

مقررات و نحوه ارزشیابی:

۱. حضور به موقع در آزمایشگاه ضروری است.
۲. مطالعه دستور کار آزمایشگاه و آمادگی قبلی جهت انجام آزمایش ضروری است. اول هر جلسه از آزمایش مربوطه کوییز گرفته می شود.
۳. هر گروه باید یک گزارش برای هر آزمایش، حداکثر تا دوهفته بعد تحویل دهد. عدم تحویل به موقع گزارش موجب کسر نمره از آن گزارش خواهد شد. برای گزارشهایی که بین چند گروه مشترک باشد یک نمره داده شده و آن نمره بین نفرات تقسیم خواهد شد.
۴. امتحان پایان ترم به صورت کتبی بوده و در بر گیرنده مطالب دستور کار و گزارش های دانشجویان خواهد بود

ترتیب انجام آزمایش توسط گروه ها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. ترتیب انجام آزمایش ها توسط هر گروه.

	آزمایش ۱	آزمایش ۲	آزمایش ۳	آزمایش ۴	آزمایش ۵
گروه ۱	جلسه ۱	جلسه ۲	جلسه ۳	جلسه ۴	جلسه ۵
گروه ۲	جلسه ۵	جلسه ۱	جلسه ۲	جلسه ۳	جلسه ۴
گروه ۳	جلسه ۴	جلسه ۵	جلسه ۱	جلسه ۲	جلسه ۳
گروه ۴	جلسه ۳	جلسه ۴	جلسه ۵	جلسه ۱	جلسه ۲

گزارش هر آزمایش بایستی شامل موارد زیر باشد:

- عنوان: شامل شماره آزمایش و گروه و تاریخ انجام آزمایش و تحویل گزارش.
- فهرست
- مقدمه: شامل موضوع آزمایش، ضرورت، کاربرد و هدف از انجام آن.
- تئوری آزمایش: به طور خلاصه اما جامع. به همراه شکل ها و روابط. برای تهیه مطالب این بخش، کمی به خود زحمت داده، سری به کتابخانه بزنید! مطالب جدید و خارج از کتاب درسی امتیاز اضافه دارد.
- شرح دستگاه آزمایش: با تأکید بر وسایل اندازه گیری و دقت آنها به همراه شکل شماتیک دستگاه.
- روش آزمایش: دقیقاً همان چیزی که عملاً انجام شد.
- نتایج: شامل داده های حاصل از آزمایش بصورت جدول، یک نمونه محاسبه، کمیت های خواسته شده در دستور کار به شکل جدول و منحنی، بحث در نتایج و تحلیل خطا
- نتیجه گیری
- مراجع: فقط مراجعی در انتهای کار می آید که در متن نیز با شماره (به صورت [1]) به آن ارجاع شده باشد. در نوشتن نشانی مرجع، استاندارد رعایت شود.

تذکرات:

- گزارشها باید دست نویس و خوانا روی برگه A4 نوشته شوند.
- برای روابط، جداول و شکل ها شماره بگذارید. هر شکل و جدول نیاز به عنوان (توضیح) دارد. عنوان شکل در زیر آن و برای جدول در بالای آن می آید.
- از فعل های اول شخص (مفرد یا جمع) استفاده نشود.

آزمایش شماره ۱

موتور بنزینی

هدف :

آشنایی با نحوه عملکرد یک موتور بنزینی تک سیلندر
به دست آوردن منحنی های مشخصه موتور بر حسب تغییرات گشتاور



شکل ۱ : دستگاه تست موتور بنزینی

شرح دستگاه :

به وسیله این دستگاه، عملکرد یک موتور بنزینی تک سیلندر بررسی شده و منحنی های مشخصه موتور بر حسب تغییرات گشتاور رسم می شود. حجم سوخت ورودی به موتور به واحد (ml) توسط لوله مدرج نشان داده شده است. مقدار هوای ورودی به موتور، توسط سرعت سنج هوا اندازه گیری می شود. موتور به یک ژنراتور با نسبت پولی ۲ به ۱ کوپل شده است تا توان خروجی موتور به ژنراتور منتقل شده و با تولید برق موجب روشن شدن هیتر شود. گشتاور ورودی ژنراتور به وسیله یک لودسل، و دور آن توسط یک سنسور دور اندازه گیری می شود. به منظور محاسبه درصد تلفات اگروز، خروجی موتور به یک مبدل حرارتی غیر همسو متصل شده است. دبی حجمی آب خروجی از مبدل، توسط یک ظرف مدرج و کرنومتر اندازه گیری می شود. گازها پس از عبور از مبدل، وارد صدا خفه کن (*Silencer*) می شوند.

روش کار با دستگاه :

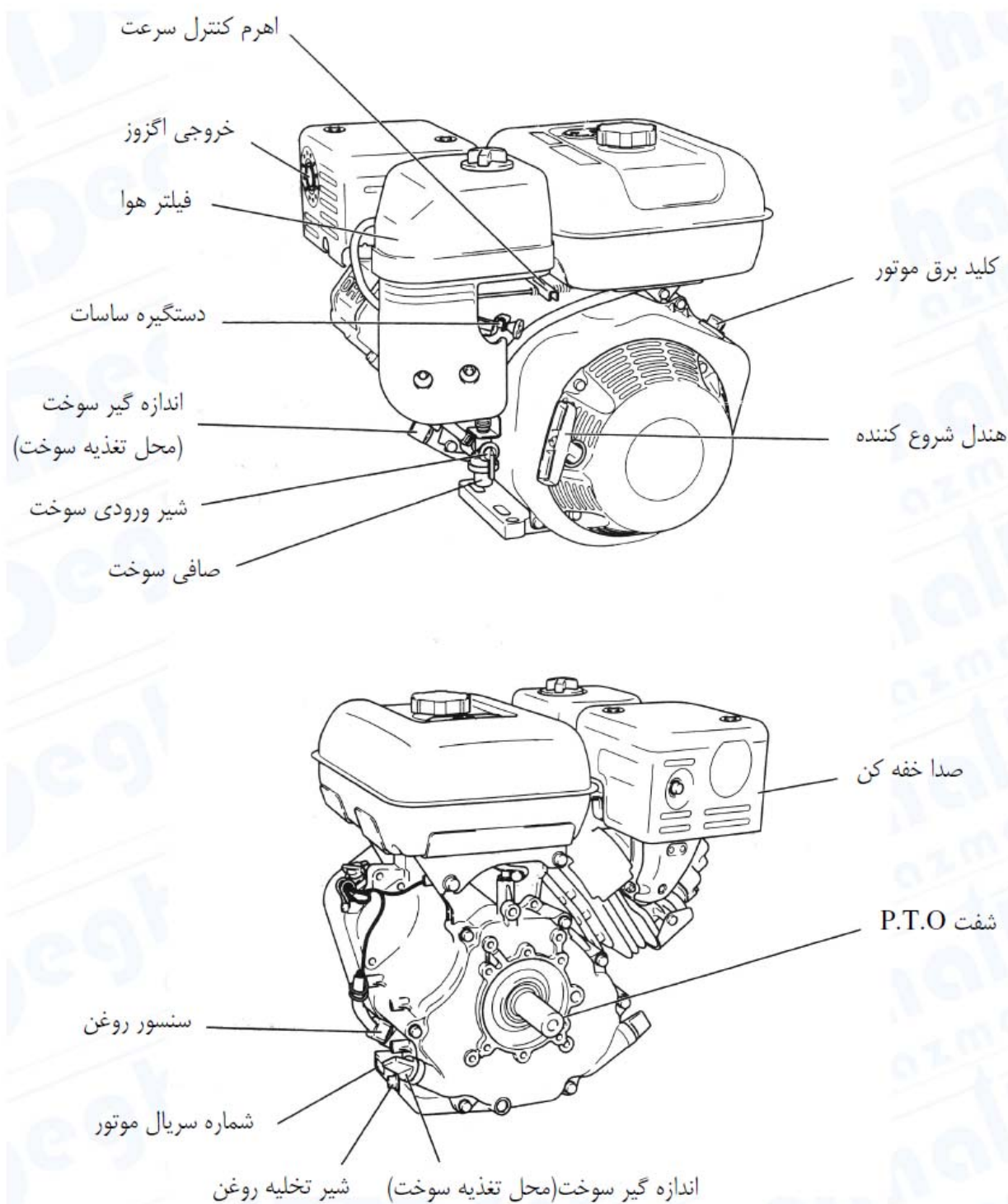
- دستگاه به وسیله کلید (روشن / خاموش)، روشن می شود.

- پس از باز کردن شیر خروجی منبع سوخت، سوخت از منبع سوخت وارد لوله مدرج می شود. از لوله مدرج، جهت اندازه گیری میزان سوخت مصرفی استفاده می شود. پس از پر شدن آن شیر خروجی منبع سوخت را ببندید.
- با باز کردن شیر دوم (شیر خروجی لوله مدرج)، سوخت راهی موتور می شود. با اندازه گیری مدت زمان مصرف حجم مشخصی از سوخت توسط کرنومتر، حجم سوخت مصرفی در واحد زمان، به دست می آید.
- دما و سرعت هوای ورودی به موتور، به وسیله سنسور دیجیتال دما و سرعت هوا اندازه گیری می شود.
- دبی حجمی آب خروجی از مبدل به وسیله ظرف مدرج و کرنومتر اندازه گیری می شود.
- جهت روشن شدن موتور، ابتدا کلید ساسات به سمت بیرون کشیده می شود. سپس کلید *on/off* روی موتور در حالت *on* قرار می گیرد. با کشیدن هندل، موتور روشن می شود. در نهایت، پس از گرم شدن موتور ساسات با کمی چرخاندن، به حالت اولیه برگردانده می شود.
- دور ژنراتور به وسیله سنسور دور نصب شده در کنار محور ورودی ژنراتور اندازه گیری شده و نمایشگر دور، آن را بر حسب *RPM* نمایش می دهد.
- گشتاور ژنراتور توسط لودسل اندازه گیری شده و به وسیله نمایشگر گشتاور ژنراتور، نمایش داده می شود.
- دمای دود ورودی به اگزوز و خروجی از آن و همچنین دمای آب ورودی به مبدل و خروجی از آن، توسط چهار سنسور دمایی اندازه گیری شده و توسط نمایشگر های دمای مربوطه، نمایش داده می شوند.
- یک هیتر الکتریکی برای ایجاد بار مقاوم روی موتور، در نظر گرفته شده است و میزان مصرف آن به وسیله یک ولوم قابل تنظیم است و **وات مصرفی** توسط نمایشگر دیجیتال نمایش داده می شود.
- در صورت نیاز به تعویض روغن موتور، این کار توسط شیر تخلیه روغن، صورت می گیرد.

مشخصات موتور :

موتور بنزینی، هوا خنک، چهار زمانه، تک سیلندر	نوع
404 ml	جایجایی
(9 HP/3000 rpm)	خروجی ماکزیمم
بنزین بدون سرب	سوخت
۳/۶ لیتر	ظرفیت مخزن سوخت
روغن موتور معمولی (2050)	روغن
حدوداً ۱ لیتر	ظرفیت مخزن روغن

اجزای مختلف موتور بنزینی مورد آزمایش را در شکل (۱) مشاهده می نمایید.



شکل ۱: اجزای مختلف موتور بنزینی

هدف :

آشنایی با نحوه عملکرد یک موتور بنزینی تک سیلندر
به دست آوردن منحنی های مشخصه موتور بر حسب تغییرات گشتاور

روش آزمایش :

ابتدا موتور را روشن کنید و چند دقیقه صبر کنید تا گرم شود. دقت کنید هنگام گرم شدن بار روی موتور نباشد. در موقع گرم شدن و نیز در موقع بار دادن، دبی آب خنک کن را طوری تنظیم کنید تا درجه حرارت آب خروجی بین ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد باشد. سپس دور موتور را روی دور ماکزیمم قرار دهید. در این حالت دور ژنراتور در حدود ۱۵۰۰ دور بر دقیقه خواهد بود که توسط نمایشگر دور ژنراتور، نمایش داده می شود. بار روی موتور را در پنج مرحله توسط واریاک تغییر دهید. در هر مرحله با توجه به نتایج خواسته شده در جدول محاسبات، اطلاعات لازم (دور و گشتاور ژنراتور، دمای آب و گازهای ورودی و خروجی مبدل، دبی سوخت و هوای مصرفی) را یادداشت نمایید. توجه داشته باشید که در هر حالت به اندازه کافی صبر کنید تا سیستم به حالت تعادل برسد.

محاسبات :

$$\frac{\text{قطر}}{\text{کورس}} = \frac{B}{L} = 0.8 - 1.2$$

$S_p = 2LN$: سرعت متوسط پیستون

N : تعداد دور بر ثانیه

L : کورس

۱- تعیین دبی جرمی هوای ورودی به موتور

دبی جرمی هوای ورودی به موتور، با داشتن سرعت و دمای هوای ورودی به موتور از روی سرعت سنج دیجیتالی، به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\dot{m}_a = \rho VA$$

V سرعت هوای ورودی به موتور، $A = (0.255)(10^{-2}) \text{ m}^2$ مساحت لوله در قسمت ورودی هوا و ρ چگالی هوای ورودی است که با استفاده از معادله حالت گاز کامل، محاسبه می شود :

$$\rho = \frac{P}{RT}, \quad R = 0.287 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right)$$

P فشار هوای ورودی بر حسب پاسکال و T دمای هوای ورودی بر حسب کلوین می باشد.

۲- قدرت محوری

قدرت خروجی، همان قدرت ترمزی است که قدرت دریافت شده از موتور و جذب شده توسط ژنراتور است. قدرت ورودی حاصلضرب گشتاور و سرعت زاویه ای است که N سرعت دورانی میل لنگ است.

$$P = T \omega = \frac{2\pi}{60} N T$$

$$P(kW) = \frac{2\pi}{60} N \left(\frac{rev}{min} \right) T (N.m) \times 10^3$$

توجه کنید که گشتاور، سنجشی از توانایی موتور به انجام کار است. قدرت ترمزی، قدرت قابل تحویل از موتور به بار است که این قدرت موجب روشن شدن هیتر می شود.

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_i} \quad \text{بازده مکانیکی}$$

قدرت ورودی : P_i

قدرت ترمزی : P_b

از آنجا که قدرت اصطکاکی شامل قدرت لازم برای پمپاژ گاز به داخل و خارج از موتور می باشد، لذا بازده مکانیکی، علاوه بر طرح و سرعت موتور، به وضعیت پدال گاز نیز بستگی دارد. مقدار نوعی آن برای اتومبیل مدرن در حالت دریچه کاملاً باز در سرعت های پایین تر از $30 - 40 \frac{rev}{sec}$ ، 90% است و در سرعت ارزیابی ماکزیمم، به 75% کاهش می یابد. وقتی موتور خفه می شود بازده مکانیکی کاهش می یابد و بالاخره در حالت کار بی بار به صفر می رسد.

۳- فشار مؤثر متوسط (mean effective pressure) mep

گشتاور موتور یک فاکتور مهم از توانایی ویژه موتور به انجام کار است و بستگی به ابعاد موتور دارد. یک معیار نسبی مفید برای عملکرد موتور تقسیم کار بر سیکل موتور به حجم جابجا شده سیلندر محاسبه می شود. به این ترتیب پارامتر حاصله نیرو بر واحد سطح است و فشار مؤثر متوسط نامیده می شود.

$$\text{کار بر سیکل} = \frac{P}{N} = \frac{P n_R}{N}$$

$$mep = \frac{\text{کار بر سیکل}}{(\text{حجم جابجا شده})}$$

$$imep = \frac{P_i n_R}{v_d N} \quad \begin{cases} n_R = 1 & 2s \\ n_R = 2 & 4s \end{cases}$$

$$bmep(kPa) = \frac{P_b(kW) n_R \times 10^3}{v_d(d m^3) N \left(\frac{rev}{s} \right)}$$

$$mep(kPa) = \frac{6.28 n_R T (N.m)}{V_d(d m^3)}$$

۴- مصرف ویژه سوخت

برای به دست آوردن دبی سوخت مصرفی ($\dot{V}_f$) می توان میزان مصرف سوخت را برحسب mL در بازه زمانی مشخص (توسط کروномتر) بدست آورد.

$$\dot{m}_f = \rho_f \dot{V}_f$$

که چگالی بنزین ρ_f را می توان از هندبوک بدست آورد.

$$\rho \approx 0.74 \left(\frac{Kg}{lit} \right) \quad \text{جرم مخصوص بنزین}$$

مصرف ویژه سوخت عبارت است از مقدار سوخت مصرف شده برای ایجاد واحد قدرت در واحد زمان.

$$sfc = \frac{\dot{m}_f \left(\frac{gr}{s} \right)}{P(KW)} \quad \text{مصرف ویژه سوخت}$$

۵- نسبت هوا به سوخت

$$\left(\frac{A}{F} \right) = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad \text{نسبت هوا به سوخت}$$

۶- انرژی از دست داده شده توسط دود خروجی

با توجه به اینکه در قسمت خروجی موتور، یک مبدل حرارتی *Shell & Tube* جریان مخالف، قرار دارد. انرژی داده شده به آب را می توان توسط فرمول زیر بدست آورد. اندیس W مربوط به آب می باشد.

$$\dot{Q} = \dot{m}_W C_W \Delta T_W \quad \text{انرژی داده شده به آب}$$

که در آن $\dot{m}_W$ دبی جرمی آب، C_W گرمای ویژه آب و ΔT_W اختلاف دمای آب ورودی و خروجی مبدل می باشد. $\dot{m}_W$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\dot{m}_W = \rho_W \dot{V}_W$$

$\dot{V}_W$ دبی حجمی آب است که توسط روتامتر اندازه گیری می شود. از آنجا که انرژی داده شده به آب، برابر با انرژی از دست داده توسط دود خروجی می باشد، پس با داشتن این انرژی و C (گرمای ویژه دود خروجی)، می توان دبی دود خروجی را نیز بدست آورد.

$$\dot{Q}_{\text{خروجی}} = -\dot{Q}_W$$

۷- راندمان حجمی

بازده حجمی معیاری برسنجش سیستم ورودی (مسیر مکش)، به صورت زیر تعریف می گردد.

$$\eta_v = \frac{\text{دبی حجمی هوای ورودی}}{\text{دبی حجمی جابجا شده توسط پیستون}} \quad \text{بازده حجمی}$$

$$\eta_v = \frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_d} = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a \dot{V}_d}$$

: حجم هوایی که طبق تئوری باید مکیده می شد $\dot{V}_d = \frac{\pi}{4} D^2 l n N K$

: حجم جابجایی پیستون $\frac{\pi}{4} D^2 l = 404 (cc)$

: تعداد سیلندر n

: دور موتور در ثانیه N

: ضریب دو زمانه یا چهار زمانه بودن $K \begin{cases} 1 \\ 2 \end{cases}$

$$n=1, K=2 \Rightarrow \dot{V}_d = (808)(10^{-6})N$$

۸- راندمان حرارتی

$$\eta_{th} = \frac{\text{مقدار انرژی گرفته شده از موتور (قدرت مفید)}}{\text{مقدار انرژی داده شده به موتور (توسط سوخت)}} = \frac{P}{\dot{m}_f H_L}$$

: راندمان حرارتی

$$H_L = 42 - 44 \left(\frac{Mj}{kg} \right)$$

: ارزش حرارتی سوخت

۹- درصد تلفات اگزوز

$$\text{درصد تلفات اگزوز} = \frac{\text{تغییرات آنتالپی گازهای سوخته شده}}{\text{انرژی داده شده به موتور}} = \frac{\text{جرم گازهای سوخته شده} \times \text{گرمای ویژه دود} \times \text{اختلاف دمای ورودی و خروجی}}{\text{مقدار انرژی داده شده به موتور}}$$

$$\text{درصد تلفات اگزوز} = \frac{\dot{Q}_{\text{درد}}}{\dot{m}_f H_L}$$

جدول محاسبات

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴
سرعت (RPM)				
گشتاور (Nm)				
قدرت محوری (KW)				
سوخت	زمان مصرف (sec)			
	مقدار مصرف (cm ³)			
	دبی سوخت (Kg/s)			
	مصرف ویژه gr/Kws			
دبی هوای ورودی (Kg/s)				
دمای گاز ورودی (°C)				
دمای گاز خروجی (°C)				
دمای آب ورودی (°C)				
دمای آب خروجی (°C)				
نسبت هوا به سوخت A/F				
انرژی داده شده به آب				
درصد راندمان حجمی				
درصد راندمان حرارتی				
درصد تلفات اگرز				

خواسته های آزمایش:

۱- با استفاده از نتایج آزمایش، گشتاور، قدرت محوری، مصرف ویژه سوخت، راندمان حرارتی محوری، راندمان حجمی، درصد تلفات اگزوز، نسبت هوا به سوخت و انرژی داده شده به آب را محاسبه و منحنی تغییرات عوامل فوق را بر حسب دور رسم کنید.

۲- سیکل تئوری آزمایش را در محورهای P-V و T-S رسم نموده، در هر قسمت تحول ترمودینامیکی مربوطه را توضیح دهید.

۳- عوامل مؤثر برای بالا بردن راندمان یک موتور را با ذکر دلیل بیان کنید.

۴- در مورد تفاوت احتراق در موتور بنزینی و دیزل بحث کنید.

۵- سوخت موتور بنزینی چه تفاوت هایی با سوخت موتور دیزل دارد؟

۶- دلیل خنک کردن موتورهای احتراق داخلی را شرح دهید. چرا نباید بیش از حد خنک شوند؟

۷- حدود نسبت تراکم در موتورهای دیزل و بنزینی چقدر است؟ علت تفاوتشان را شرح دهید.

آزمایش شماره ۲

موتور دیزل

هدف

آشنایی با نحوه عملکرد یک موتور دیزلی تک سیلندر
به دست آوردن منحنی های مشخصه آن بر حسب تغییرات گشتاور موتور



شکل ۱: دستگاه تست موتور دیزل

شرح دستگاه

قسمت های مختلف دستگاه عبارت اند از:

- ۱- موتور دیزلی تک سیلندر مدل $f186$
- ۲- ژنراتور برای اعمال بار مقاوم روی موتور
- ۳- مخزن سوخت
- ۴- لوله مدرج جهت اندازه گیری حجم سوخت مصرفی
- ۵- سرعت سنج دیجیتال جهت اندازه گیری دبی هوای مصرفی
- ۶- مبدل حرارتی غیر هم سو (shell & tube)

۷- واریاب جهت تغییر ولتاژ هیتر

۸- هیتر جهت اعمال بار مقاوم

۹- نمایشگرهای دیجیتالی دما

به وسیله این دستگاه، عملکرد یک موتور بنزینی تک سیلندر بررسی شده و منحنی های مشخصه موتور بر حسب تغییرات گشتاور رسم می شود. حجم سوخت ورودی به موتور به واحد (ml) توسط لوله مدرج نشان داده شده است. مقدار هوای ورودی به موتور، توسط سرعت سنج هوا اندازه گیری می شود. موتور به یک ژنراتور با نسبت پولی ۲ به ۱ کوپل شده است تا توان خروجی موتور به ژنراتور منتقل شده و واریاب آن را به قسمت های مختلف تقسیم کرده و موجب روشن شدن هیتر شود. گشتاور ورودی ژنراتور به وسیله یک لودسل، و دور آن توسط یک سنسور دور اندازه گیری می شود. به منظور محاسبه درصد تلفات اگزوز، خروجی موتور به یک مبدل حرارتی غیر همسو متصل شده است. دبی حجمی آب خروجی از مبدل، توسط یک روتامتر اندازه گیری می شود. گازها پیش از ورود به مبدل از صدا خفه کن ($Silencer$) عبور می کنند.

مشخصات موتور دیزل

مدل: ۱۸۶f

تک سیلندر: نوع

 $86 \times 70 \text{ (mm)}$ کورس $\times$ قطر

جابجایی: ۴۰۶ cc

سرعت (rpm): ۳۰۰۰توان خروجی پیوسته (kw): ۵/۷توان خروجی ماکزیمم (kw): ۶/۳سرعت متوسط پیستون (m/s): ۸/۴فشار موثر متوسط (Kpa): ۵۴۳/۵مصرف سوخت ویژه ($g/kw.h$): ≤ 285.7 ظرفیت مخزن سوخت (L): ۵/۵وزن (kg) ($recoil$): ۴۸وزن (kg) ($electric$): ۵۳ابعاد (mm): ۴۱۷ $\times$ ۴۴۱ $\times$ ۴۹۴

روش کار با دستگاه:

- دستگاه به وسیله کلید (روشن / خاموش)، روشن می شود.
- پس از باز کردن شیر واقع در قسمت پایین لوله مدرج، سوخت از منبع سوخت وارد لوله مدرج می شود. از لوله مدرج، جهت اندازه گیری میزان سوخت مصرفی استفاده می شود. پس از پر شدن آن شیر ربع گرد را ببندید.

- با باز کردن شیر دوم واقع در قسمت پایین لوله مدرج، سوخت راهی موتور می شود. با اندازه گیری مدت زمان مصرف حجم مشخصی از سوخت توسط کرنومتر، حجم سوخت مصرفی در واحد زمان، به دست می آید.
- دما و سرعت هوای ورودی به موتور، به وسیله سنسور دیجیتال دما و سرعت هوا اندازه گیری می شود.
- دبی حجمی آب خروجی از مبدل به وسیله روتامتر بر حسب lit/min اندازه گیری می شود.
- جهت روشن شدن موتور، ابتدا کلید ساسات به سمت بیرون کشیده می شود. سپس کلید *on/off* روی موتور در حالت *on* قرار می گیرد. با کشیدن هتدل، موتور روشن می شود. در نهایت، پس از گرم شدن موتور ساسات با کمی چرخاندن، به حالت اولیه برگردانده می شود.
- دور ژنراتور به وسیله سنسور دور نصب شده در کنار محور ورودی ژنراتور اندازه گیری شده و نمایشگر دور، آن را بر حسب *RPM* نمایش می دهد.
- گشتاور ژنراتور توسط لودسل اندازه گیری شده و به وسیله نمایشگر گشتاور ژنراتور، نمایش داده می شود.
- دمای دود ورودی به اگزوز و خروجی از آن و همچنین دمای آب ورودی به مبدل و خروجی از آن، توسط چهار سنسور دمایی اندازه گیری شده و توسط نمایشگر های دمای مربوطه، نمایش داده می شوند.
- یک هیتر الکتریکی برای ایجاد بار مقاوم روی موتور، در نظر گرفته شده است و میزان مصرف آن به وسیله واریاب قابل تنظیم است.
- در صورت نیاز به تعویض روغن موتور، این کار توسط شیر تخلیه روغن، صورت می گیرد.

هدف :

آشنایی با نحوه عملکرد یک موتور دیزل تک سیلندر
به دست آوردن منحنی های مشخصه موتور دیزل تک سیلندر بر حسب تغییرات گشتاور موتور

روش آزمایش :

موتور را روشن کنید و چند دقیقه صبر کنید تا گرم شود ، دقت کنید هنگام گرم شدن بار روی موتور نباشد. چه در موقع گرم شدن و چه در موقع بار دادن ، دبی آب خنک کن را طوری تنظیم کنید تا درجه حرارت آب خروجی بین ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد باشد. سپس موتور را روی سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه قرار دهید. بار روی موتور را در پنج مرحله توسط واریاک تغییر دهید. در هر مرحله با توجه به نتایج خواسته شده اطلاعات لازم را یادداشت کنید. توجه داشته باشید که در هر حالت به اندازه کافی صبر کنید تا سیستم به حالت تعادل برسد.
پس از اتمام آزمایش کم کم شیر دینامو متر را ببندید و سرعت موتور را به دور آرام برسانید و چند دقیقه صبر کنید تا موتور در این حالت کار کند. سپس موتور را خاموش و شیرهای منبع سوخت را ببندید.

محاسبات :

$$\frac{\text{قطر}}{\text{کورس}} = \frac{B}{L} = 0.8 - 1.2$$

$$S_p = 2LN \quad \text{: سرعت متوسط پیستون}$$

$$N \quad \text{: تعداد دور بر ثانیه}$$

$$L \quad \text{: کورس}$$

۱- تعیین دبی جرمی هوای ورودی به موتور

دبی جرمی هوای ورودی به موتور، با داشتن سرعت و دمای هوای ورودی به موتور از روی سرعت سنج دیجیتالی، به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\dot{m} = \rho VA$$

V سرعت هوای ورودی به موتور، $A = (0.255)(10^{-2}) \text{ m}^2$ مساحت لوله در قسمت ورودی هوا و ρ چگالی هوای ورودی است که با استفاده از معادله حالت گاز کامل، محاسبه می شود :

$$\rho = \frac{P}{RT}, \quad R = 0.287 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right)$$

P فشار هوای ورودی بر حسب پاسکال و T دمای هوای ورودی بر حسب کلونین می باشد.

۲- قدرت محوری

قدرت محوری، همان قدرت ترمزی است که قدرت دریافت شده از موتور و جذب شده توسط ژنراتور است.

$$P = \omega T$$

قدرت محوری :

$$P(kw) = \frac{2\pi}{60} N \left(\frac{rev}{min} \right) T(N.m) \times 10^{-3}$$

توجه کنید که گشتاور سنجشی از توانایی موتور به انجام کار است. قدرت ترمزی، قدرت قابل تحویل از موتور به بار است که این قدرت موجب روشن شدن هیتر می شود.

قدرت ترمزی : P_b

قدرت ورودی : P_i

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_i}$$

بازده مکانیکی

از آنجا که قدرت اصطکاکی شامل قدرت لازم برای پمپاژ گاز به داخل و خارج از موتور می باشد، لذا بازده مکانیکی، علاوه بر طرح و سرعت موتور، به وضعیت پدال گاز نیز بستگی دارد. مقدار نوعی آن برای اتومبیل مدرن در حالت دریچه کاملاً باز در سرعت های زیر حدود $30 - 40 \frac{rev}{sec}$ ، 90% است و در سرعت ارزیابی ماکزیمم به 75% کاهش می یابد. وقتی موتور خفه می شود بازده مکانیکی کاهش می یابد و بالاخره در حالت کار بی بار به صفر می رسد.

۳- مصرف ویژه سوخت

برای به دست آوردن دبی سوخت مصرفی می توان میزان مصرف سوخت را برحسب mL در بازه زمانی مشخص (توسط کروномتر) بدست آورد.

$$\dot{m}_f = \rho_f \dot{V}_f$$

که چگالی ρ را می توان از هندبوک بدست آورد.

$$\rho \approx 0.86 \left(\frac{Kg}{lit} \right) \quad \text{جرم مخصوص گازوئیل}$$

$$\rho \approx 0.74 \left(\frac{Kg}{lit} \right) \quad \text{جرم مخصوص بنزین}$$

مصرف ویژه سوخت عبارت است از مقدار سوخت مصرف شده برای ایجاد واحد قدرت در واحد زمان.

$$sfc = \frac{\dot{m}_f \left(\frac{gr}{s} \right)}{P(Kw)} \quad \text{مصرف ویژه سوخت}$$

۴- نسبت هوا به سوخت

$$\left(\frac{A}{F} \right) = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad \text{نسبت هوا به سوخت}$$

برای موتورهای CI با سوخت دیزلی :

$$0.014 \leq F/A \leq 0.056$$

$$18 \leq A/F \leq 70$$

۵- انرژی از دست داده شده توسط دود خروجی

با توجه به اینکه در قسمت خروجی موتور ، یک مبدل حرارتی *Shell & Tube* جریان مخالف قرار دارد.

انرژی داده شده به آب را می توان توسط فرمول زیر بدست آورد:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{آب}} C_{\text{آب}} \Delta T_{\text{آب}} \quad \text{: انرژی داده شده به آب}$$

و از آنجا که این انرژی برابر با انرژی از دست داده توسط دود خروجی می باشد، پس با داشتن این انرژی و C (گرمای ویژه دود خروجی) ، می توان دبی دود خروجی را نیز بدست آورد.

$$\dot{Q}_{\text{دودخروج}} = -\dot{Q}_{\text{آب}}$$

۶- راندمان حجمی

بازده حجمی معیاری برسنجش سیستم ورودی (مسیرمکش)، به صورت زیر تعریف می گردد.

$$\eta_v = \frac{\text{دبی حجمی هوای ورودی}}{\text{دبی حجمی جابجا شده توسط پیستون}}$$

$$\eta_v = \frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_d} = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a \dot{V}_d}$$

$$\dot{V}_d = \frac{\pi}{4} D^2 l . n . N . K \quad \text{: حجم هوایی که طبق تئوری باید مکیده می شد}$$

$$\frac{\pi}{4} D^2 l = 406(cc) \quad \text{: حجم جابجایی پیستون}$$

$$n \quad \text{: تعداد سیلندر}$$

$$N \quad \text{: دور موتور در ثانیه}$$

$$K = \begin{cases} 1 & \text{دور زمانه} \\ 2 & \text{چهار زمانه} \end{cases} \quad \text{: ضریب دو زمانه یا چهار زمانه بودن}$$

$$n=1, K=2 \rightarrow \dot{V}_d = (812)(10^{-6})N$$

۷- راندمان حرارتی

$$\eta_{th} = \frac{\text{مقدار انرژی گرفته شده از موتور (قدرت مفید)}}{\text{مقدار انرژی داده شده به موتور (توسط سوخت)}} = \frac{P}{\dot{m}_f H_L} \quad \text{: راندمان حرارتی}$$

$$H_L = 42 - 44 \left(\frac{Mj}{Kg} \right) \quad \text{: ارزش حرارتی سوخت}$$

۸- درصد تلفات اگزوز

$$\text{درصد تلفات اگزوز} = \frac{\text{تغییرات آنتالپی گازهای سوخته شده}}{\text{انرژی داده شده به موتور}} = \frac{\text{جرم گازهای سوخته شده} \times \text{گرمای ویژه دود} \times \text{اختلاف دمای ورودی و خروجی}}{\text{مقدار انرژی داده شده به موتور}}$$

$$\text{درصد تلفات اگزوز} = \frac{\dot{Q}_{\text{دود}}}{\dot{m}_f H_L}$$

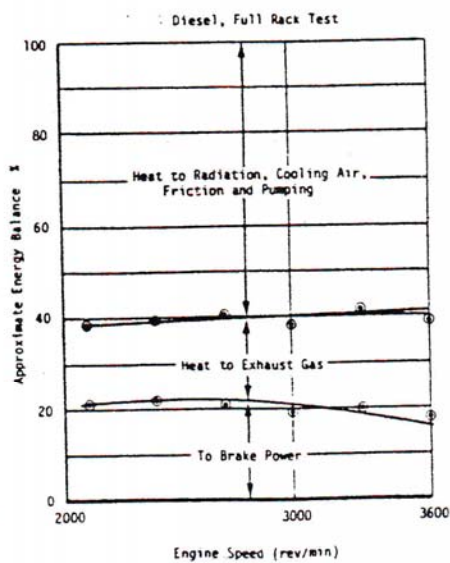
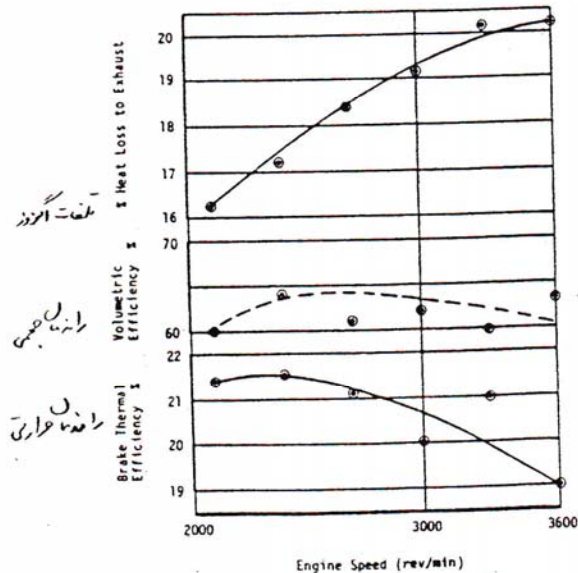
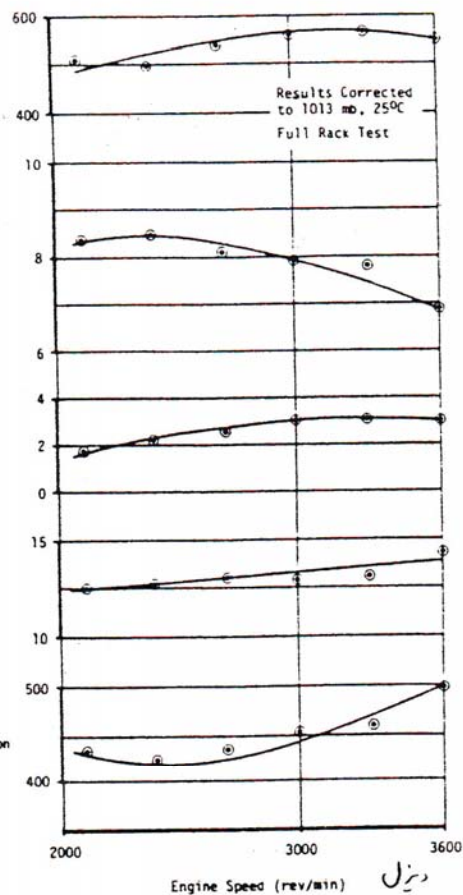
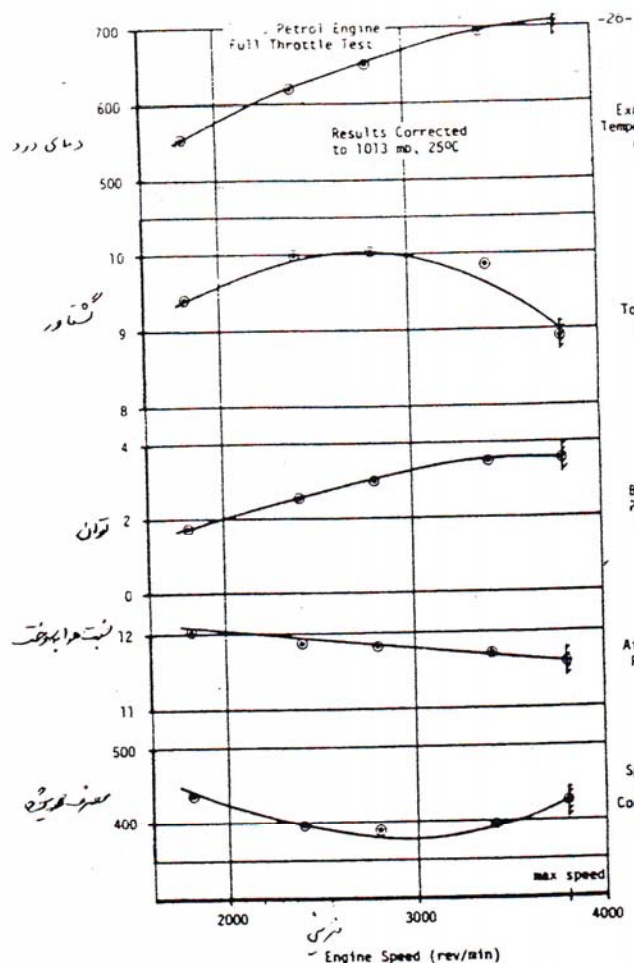
خواسته های آزمایش:

- ۱- با استفاده از نتایج آزمایش ، گشتاور ، قدرت محوری ، مصرف ویژه سوخت، راندمان حرارتی محوری، راندمان حجمی، درصد تلفات اگزوز، نسبت هوا به سوخت و انرژی داده شده به آب و درجه حرارت اگزوز را محاسبه و منحنی تغییرات عوامل فوق را بر حسب دور رسم کنید.
- ۲- سیکل تئوری آزمایش را در محورهای P-V و T-S رسم نموده، در هر قسمت تحول ترمودینامیکی مربوطه را توضیح دهید.
- ۳- عوامل مؤثر برای بالا بردن راندمان یک موتور را با ذکر دلیل بیان کنید.
- ۴- در مورد تفاوت احتراق در موتور بنزینی و دیزل بحث کنید.
- ۵- سوخت موتور بنزینی چه تفاوت هایی با سوخت موتور دیزل دارد؟
- ۶- دلیل خنک کردن موتورهای احتراق داخلی را شرح دهید. چرا نباید بیش از حد خنک شوند؟
- ۷- حدود نسبت تراکم در موتورهای دیزل و بنزینی چقدر است؟ علت تفاوتشان را شرح دهید.

جدول محاسبات

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵
سرعت (RPM)					
گشتاور (N.M)					
قدرت مجموعی (KW)					
سوخت	زمان مصرف (sec)				
	مقدار مصرف (cm ³)				
	دبی سوخت (Kg/s)				
	مصرف ویژه gtr/Kws				
دبی هوای ورودی (Kg/s)					
دمای گاز ورودی (°C)					
دمای گاز خروجی (°C)					
دمای آب ورودی (°C)					
دمای آب خروجی (°C)					
نسبت هوا به سوخت A/F					
انرژی داده شده به آب					
درصد راندمان ججمی					
درصد راندمان حرارتی					
درصد تلفات اگزوز					

نمونه منحنی های مشخصه موتور دیزل



آزمایش شماره ۳

موتور استرلینگ

هدف :

بررسی عملکرد موتور استرلینگ



شکل ۱: دستگاه سیکل استرلینگ

مقدمه :

موتور استرلینگ ماشینی است که در یک سیکل بسته ترمودینامیکی کار کرده و انرژی گرمایی را به حرکت مکانیکی تبدیل می کند. طرز کار موتور استرلینگ را اولین بار *Robert Stirling* در سال ۱۸۱۶ بیان کرد. مطابق با تعریف او، این دستگاه قادر است انرژی حرارتی را مستقیماً به انرژی مکانیکی تبدیل کند، که این تبدیل بدون استفاده از فرآیندهای شیمیایی صورت می گیرد.

موتور استرلینگ دارای پنج زیر سیستم اصلی است: فضای انبساط، فضای تراکم، خنک کننده، بازیاب حرارتی و هیتر. همچنین موتور یک مکانیزم رانش دارد که در طول سیکل کاری تغییرات حجم را کنترل نموده و حرکت خطی متناوب پیستون ها را به شکل حرکت زاویه ای به محور محرکه منتقل می کند. سیال عامل در طول یک سیکل بین فضای انبساط (گرم) و فضای تراکم (سرد) جابجا می شود. این جابجایی توسط یک پیستون که جابجا کننده نامیده می شود انجام می پذیرد. هنگامی که سیال عامل در فضای گرم قرار دارد در اثر حرارت فشارش افزایش می یابد. هنگامی که گاز پرفشار منبسط می شود، دومین پیستون که پیستون قدرت نام دارد به سمت بیرون رانده می شود. بعد از حرکت گاز به فضای سرد و افت فشار آن، با برگشت پیستون قدرت، گاز به حجم اول خود برمی گردد. به دلیل اینکه میزان فشار پایین است، مقدار نیروی داخلی پشت پیستون قدرت در هنگام برگشت آن در مرحله تراکم از مقدرا نیرویی که باعث بیرون راندن پیستون قدرت در مرحله انبساط می شود، کمتر است. بنابراین در هنگام تراکم گاز کاری کمتر نسبت به کار تولید شده در مرحله انبساط، مصرف می شود و این به معنی تولید یک کار مکانیکی خالص است.

بازیاب حرارتی در زمانی که سیال عامل از قسمت گرم به قسمت سرد می رود، انرژی را از آن در خود ذخیره می کند. به محض برگشت جریان، سیال سرد در هنگام عبور از بازیاب انرژی ذخیره شده در آن را باز پس می گیرد و گرم می شود. این ذخیره سازی و بازپس دهی حرارت، یک مرتبه در هر سیکل رخ می دهد و نتیجه آن کاهش در اتلاف گرما و بنابراین افزایش بازده موتور است. وجود این بازیاب در موتور استرلینگ سبب می شود که بازده این موتور گرمایی نزدیک به بازده سیکل ایده آل کارنو گردد.

شرح دستگاه:

این دستگاه بر اساس سیکلی نزدیک به سیکل استرلینگ عمل می کند. موتور دارای یک سیلندر اولیه است که در آن کار انجام می گیرد و پیستون آن تحت کنترل میل لنگ عمودی و میله های رابط می باشد. همچنین دارای یک سیلندر ثانویه نیز می باشد که در آن پیستون (بازیاب) تحت کنترل یک خروج از مرکز، که روی میل لنگ انجام می شود می باشد. این دو سیلندر به یکدیگر راه دارند. پیستون بازیاب نسبت به پیستون سیلندر اصلی ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد.

بنابراین سرعت آن زمانیکه سرعت پیستون اصلی حداقل است، حداکثر می باشد. از آنجایی که این موتور دارای یک سیلندر کار می باشد، چرخ طیار (Flywheel) آن سنگین ساخته شده است ولی در سرعت های پایین نیز می تواند کار کند.

حرارت توسط یک المنت ولتاژ کم که در انتهای سیلندر ثانویه قرار دارد تأمین می شود. برای سرد کردن هوا تا درجه حرارت T_1 گرما از طریق جداره های اصلی به محیط منتقل می شود (هدایت حرارتی). گشتاور ترمزی به وسیله قرار دادن وزنه های استاندارد روی کفه بارگذاری، و عددی که نیروسنج نشان می دهد، محاسبه می شود. قدرت ورودی به دستگاه، توسط ولوم کنترل کننده دور قابل تنظیم بوده و مقدار آن توسط نمایشگر دیجیتال بر حسب watt نمایش داده می شود. یک سنسور الکترونیکی، دور موتور را اندازه گیری نموده و نمایش دهنده دیجیتال، آن را بر حسب RPM نمایش می دهد. به منظور اندازه گیری گشتاور ترمزی در دستگاه از یک سنسور بار الکترونیکی (لودسل) استفاده شده است.

اجزای دستگاه :

اجزای دستگاه عبارت اند از:

- ۱- بخش مکانیکی موتور
- ۲- هیتر
- ۳- چرخ طیار
- ۴- کفه بارگذاری و وزنه های استاندارد
- ۵- سنسور بار الکترونیکی
- ۶- نمایش دهنده مقدار نیروی اندازه گیری شده توسط سنسور بار الکترونیکی
- ۷- نمایش دهنده توان ورودی بر حسب $watt$
- ۸- نمایش دهنده دور موتور بر حسب RPM
- ۹- کلید ON/OFF برای روشن و خاموش کردن دستگاه

روش کار با دستگاه :

- ۱- دستگاه پس از اتصال به منبع قدرت، به وسیله کلید ON/OFF روشن می شود.
- ۲- توان ورودی دستگاه، به وسیله ولوم کنترل دور و نمایشگر توان بر حسب $watt$ ، قابل تنظیم بوده و مقدار ولتاژ و آمپر مصرفی هیتر توسط نمایشگر مربوطه نمایش داده می شود.
- ۳- به منظور فعال نمودن نمایشگر نیروی لودسل، به آرامی لودسل را از قسمت زیر آن فشار دهید.
- ۴- به منظور صفر نمودن مقادیر نمایش داده شده توسط نمایشگر نیروی لودسل، کلید صفر نمایشگر را به مدت ۳ ثانیه فشرده و سپس دوبار پشت سر هم آن را فشار دهید تا مقادیر صفر شوند.
- ۵- گشتاور ترمزی به وسیله قرار دادن وزنه های استاندارد روی کفه بارگذاری، و عددی که نیروسنج نشان می دهد، محاسبه می شود.
- ۶- نمایشگر دور، تعداد دور موتور را بر حسب RPM نمایش می دهد.

هدف :

بررسی عملکرد موتور استرلینگ

تئوری آزمایش :

سیکلی که موتور بر مبنای آن عمل می کند، از دو فرآیند دما ثابت (*Isothermal*) و دو فرآیند حجم ثابت (*Isovolume*) تشکیل می شود. (دو فرآیند حجم ثابت به کمک بازایاب انجام می شود).

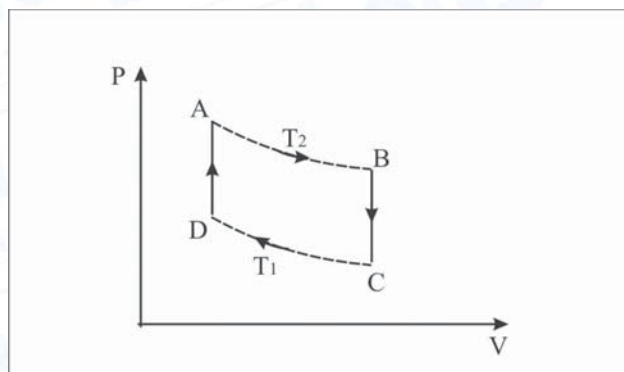
در شکل (۱) به هوای داغ داخل سیلندر در نقطه A با درجه حرارت T_2 نیرو وارد می شود. سپس به صورت همدمایا ایزوترم تا نقطه B منبسط می شود. البته گرمای موردنیاز برای موتور از طریق منبع حرارتی (المنت) تامین می شود.

سپس هوا از بازایاب عبور کرده و طی یک تحول حجم ثابت از B تا C ، تا درجه حرارت T_1 خنک می شود. سپس به صورت ایزوترم تا نقطه D متراکم می گردد. در این حالت حرارت از موتور منتقل می شود. سرانجام هوا در حجم ثابت داغ شده تا به درجه حرارت T_2 برسد. (داغ شدن هوا بوسیله عبور هوا از بازایاب و در جهت عکس فرآیند BC است).

باید توجه کرد گرمایی که از بازایاب در طول فرآیند حجم ثابت BC عبور می کند، معادل گرمای جذب شده از بازایاب در طول فرآیند حجم ثابت DA می باشد. بنابراین تنها تبادل حرارتی به یک منبع خارجی یا از یک منبع در طی دو فرآیند دما ثابت یا ایزوترم صورت می گیرد. بنابراین:

حرارت جذب شده در طی انبساط ایزوترم (AB) = حرارت تولید شده در منبع خارجی
 حرارت انتقال یافته در طول تراکم ایزوترم (CD) = حرارتی که به منبع خارجی منتقل می شود
 حرارت دفع شده - حرارت تولید شده = کار انجام شده
 $100 \times (\text{حرارت تولید شده} / \text{کار انجام شده}) = \text{راندمان}$

به خاطر برگشت پذیر (*Reversible*) بودن عملکرد بازایاب، سیکل استرلینگ از نظر ترمودینامیکی برگشت پذیر بین دو دمای حداکثر و حداقل مشخص، راندمان یکسانی دارند.



شکل (۱)

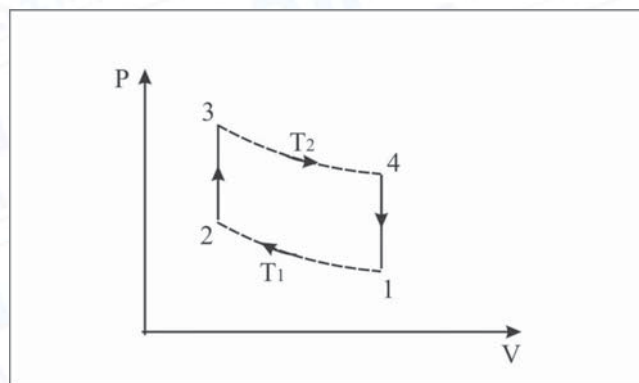
اصول کار موتور :

وقتی پیستون کار در نقطه مرگ بالا و پائین قرار دارد، بازیاب با سرعت حداکثر از میان سیال (هوا و یا سایر گازها) می گذرد. بنابراین عمل مبدل حرارتی، منحصر به نقطه مرگ بالا و پائین پیستون می شود.

با توجه به شکل (۲) مراحل سیکل موتور استرلینگ به شرح زیر می باشد:

- ۱ : تراکم ایزوترم (هم دما) در درجه حرارت T_1 در سیلندر کار (اصلی)، گرما به محیط منتقل می شود.
- ۲ : فرآیند حجم ثابت که طی آن درجه حرارت از T_1 به T_2 افزایش می یابد، گرما از بازیاب تامین می شود.
- ۳ : فرآیند انبساط همدمما در درجه حرارت T_2 در سیلندر کار، حرارت از منبع گرما تامین می شود (حرارت به سیال فعال انتقال می یابد).
- ۴ : فرآیند حجم ثابت که طی آن درجه حرارت از T_2 به T_1 کاهش می یابد، حرارت توسط بازیاب جذب می شود.

وقتی پیستون کار در نقطه مرگ بالا باشد (*Top Dead Center*) یا (*T.D.C*)، پیستون بازیاب در حال دور شدن از المان حرارتی و گذشتن از میان سیال داخل سیلندر با حداکثر سرعت خود می باشد. سیال از دمای T_1 تا T_2 گرم می شود و به دلیل ازدیاد دما، فشار از P_2 به P_3 افزایش می یابد و در طی ضربه انبساط پیستون اصلی فشار از P_3 به P_4 افت می کند (*Expansion Stroke*).



شکل (۲)

زمانیکه پیستون کار در حال حرکت طی ضربه انبساط می باشد، بازیاب در پائین ترین نقطه خود در سیلندر است. بنابراین قسمت اصلی سیال در معرض المان حرارتی قرار گرفته و گرم می شود. وقتی پیستون کار در نقطه مرگ پائین (*Bottom Dead Center*) یا (*B.D.C*) قرار می گیرد، پیستون مبدل حرارتی به سمت المان حرارتی از میان سیال با سرعت حداکثر عبور می کند و در نتیجه سیال از دمای T_2 به دمای T_1 سرد می شود و فشار نیز به دلیل افت درجه حرارت از P_4 به P_1 کاهش پیدا می کند.

در طی ضربه تراکم پیستون کار فشار از P_1 تا P_2 افزایش می یابد و چون پیستون بازیاب در بالاترین نقطه سیلندر قرار دارد، قسمت عمده و اصلی سیال در تماس با سطح سرد سیلندر می باشد و در نتیجه سرد می شود. در هر موقعیت پیستون کار، فشار طی ضربه انبساط بیشتر از ضربه تراکم است و این بدان معنی است که این فرآیند کار خالص دارد. با کاربرد گازهایی با خواص سیالی و ترمودینامیکی متفاوت با هوا یعنی مانند هیدروژن، هلیوم و دی اکسید کربن به عنوان سیال، در بازده سیکل استرلینگ تغییر حاصل می شود.

روش انجام آزمایش :

المان حرارتی برای استفاده با منابع ولتاژی کم در نظر گرفته شده است. برای راه اندازی موتور، ابتدا منبع قدرت را به موتور وصل کرده و توان مصرفی را روی 500(watt) تنظیم کنید. بعد از حدود ۲ دقیقه چرخ طیار را در جهت عقربه های ساعت بگردانید. موتور باید به حرکت خود ادامه دهد. با گذاشتن وزنه های مختلف روی کفه بارگذاری و خواندن عدد نیروسنج و عدد دور، می توان قدرت خروجی را محاسبه کرد. همین آزمایش را برای یک توان مصرفی دیگر نیز انجام داده و جدول (۱) را کامل نمایید.

جدول (۱)

$N(RPM)$	عدد نیروسنج (kgf)	وزن وزنه ها (gr)	توان ورودی ($watt$)

محاسبات :

قدرت ورودی: $P_1(Watt)$

قدرت خروجی: $P_2 = T\omega$

سرعت زاویه ای: $\omega = \frac{2\pi}{60} N$ و $N = (R.P.M)$

گشتاور: $T = fR(N.m)$

قطر پولی چرخ طیار: $D = 2R = 27\text{ mm}$

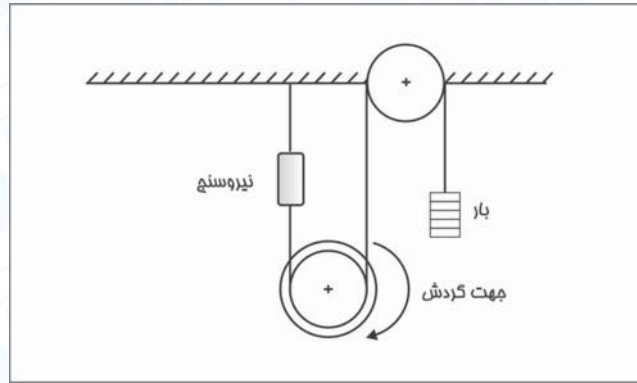
نیروی اصطکاک: $f = mg - F(N)$

نیروی خوانده شده توسط نیروسنج: F

وزن وزنه های روی کفه: mg

راندمان: $\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \times 100$

محاسبات مربوط به آزمایش را مطابق روابط فوق انجام داده و جدول (۲) را کامل کنید.



شکل (۳)

جدول (۲)

جرم وزنه (Kg)	نیروی اصطکاکی $f(N)$	گشتاور $T(N.m)$	سرعت زاویه‌ای $\omega \text{ Rad/Sec}$	توان ورودی $P_1(\text{watts})$	توان خروجی $P_2(\text{watts})$	راندمان $\eta\%$

سوالات :

- ۱- نقش بازیاب را توضیح دهید.
- ۲- علت تغییرات زمان رفت و برگشت را توضیح دهید.
- ۳- منحنی‌های $(P - N)$ ، $(\eta\% - N)$ و $(T - N)$ را رسم نمایید.
- ۴- چرا برآمدگی میل‌لنگ نباید به گردو خاک و چربی آغشته باشد؟
- ۵- درباره نتایج بدست آمده و راندمان دستگاه بحث کنید.

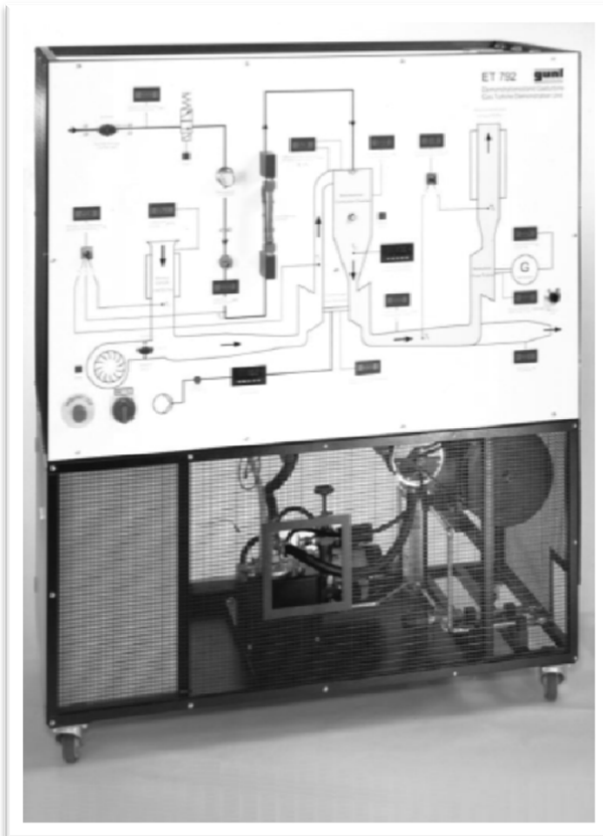
آزمایش شماره ۴

توربین گاز

توجه: لطفاً قبل از شروع آزمایش، دستور کار را بطور کامل بخوانید.

✓ مقدمه

معمولاً در جاهایی که نیاز به توان بالا، وزن کم و راه اندازی سریع می باشد از توربین های گازی استفاده می شود. برخلاف موتورهای پیستونی که سیال عامل موجب ساییده شدن آنها می شود، در توربین گازی امکان جریان مواد در ابعاد کوچک نیز امکان پذیر می باشد.

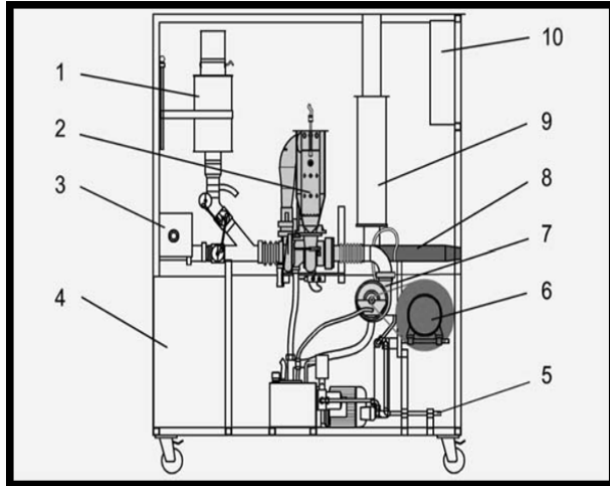


شکل ۱. نمای جلویی دستگاه آزمایش.

چونکه اجزاء متحرک توربین گازی فقط حرکت دایره ای دارند، می توان با بالانس کردن توربین، اثر ارتعاش را حذف کرد. از مزایای توربین گازی می توان به وزن کم و تولید نیرو زیاد نسبت وزن که سبب شده از آن در هواپیما ها و هلیکوپتر ها و سیکل های ترکیبی استفاده شود، اشاره کرد. از معایب آن می توان به سروصدای زیاد آن و مصرف بالای سوخت و ایجاد نیرو در دور بالا که سبب می شود در هنگام طراحی حتماً یک گیربکس تعبیه شود که آن نیز به نوبه خود موجب اتلاف انرژی می شود را نام برد.

در مقایسه با توربین های بخار، توربین های گازی در دماهای بالاتری، ولی در فشار کمتری کار می کنند. به دلیل دماهای بالا، مواد داخل توربین باید مقاومت بالایی نسبت به گرما داشته باشند.

✓ شرح دستگاه



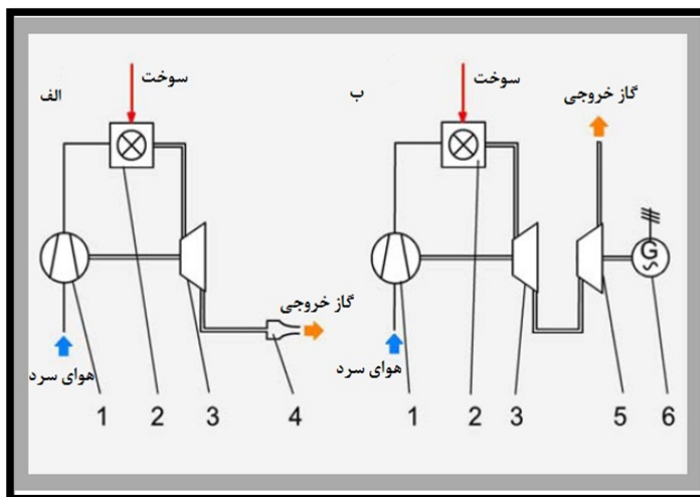
دستگاه آموزشی ET 792 رفتار یک سیستم دو شفتی (راه انداز وسیله نقلیه، پیشرانش کشتی یا راه انداز ژنراتور) و موتور جت (پیشرانش هواپیما) را بررسی می کند.

در هسته دستگاه، ژنراتور گاز و توربین قدرت وجود دارند. ژنراتور گاز شامل یک کمپرسور شعاعی، محفظه احتراق و توربین شعاعی است. کمپرسور و توربین بر روی یک شفت نصب شده اند.

شکل ۲. ۱ سوپاپ (مدخل) هوا همراه با صدا خفه کن، ۲ ژنراتور گاز (کمپرسور، محفظه احتراق، توربین)، ۳ دمنده راه انداز، ۴ جعبه کلید، ۵ انشعاب آب خنک کن، ۶ ژنراتور، ۷ توربین قدرت، ۸ لوله جت همراه با نازل پیشران، ۹ صدا خفه کن اگزوز، ۱۰ مقاومت های ترمزی

بسته به نوع طرح و آرایش، انرژی بخار گاز خروجی می تواند در توربین قدرت یا به انرژی مکانیکی تبدیل شود یا اینکه بوسیله نازل شتابدار شده و به نیروی پیشران تبدیل شود.

سوخت مورد استفاده پروپان می باشد که از ویژگی های آن می توان به تمیز بودن گاز خروجی و دارا بودن بوی کمتر در حین کار اشاره کرد.

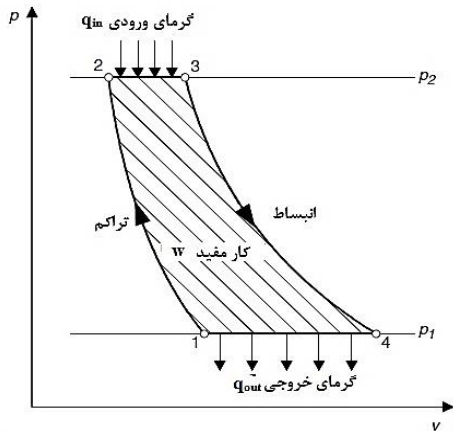


یک دستگاه دو شفتی دارای دو توربین مستقل است. اولین توربین فقط برای راه اندازی کمپرسور است. توربین دوم همان توربین قدرت می باشد که توان مفید را تولید می نماید.

مزیت این نوع طرح در این است که با تغییر در بار یا سرعت توربین قدرت، اثر کمی یا هیچ اثری بر روی کمپرسور نداشته و کمپرسور با سرعت بهینه در بهترین ناحیه کارایی به کار خود ادامه می دهد. همچنین با اغتشاش در توربین قدرت به دستگاه آسیبی وارد نمی شود.

شکل ۳. الف) دستگاه تک شفتی، ب) دستگاه دو شفتی؛ ۱ کمپرسور، ۲ محفظه احتراق، ۳ توربین، ۴ نازل پیشران، ۵ توربین قدرت، ۶ ژنراتور

✓ فرایندهای توربین گازی سیکل باز

شکل ۴. نمودار $p-v$ فرایندهای توربین گاز

مدل توربین گاز اصلی از فرایند سیکل باز که واسطه کار(هوا) از بیرون استخراج شده و سپس به آن بر می گردد، استفاده می کند.

در هنگام انجام این فرایندها، هوا در معرض تغییر حالت های زیر می باشد:

- **تراکم آدیاباتیکی** هوای سرد، بوسیله کمپرسور از فشار محیط p_1 تا فشار p_2 و همچنین دما از T_1 به T_2 افزایش می یابد.
 - **گرمایش فشار ثابت** هوا از T_2 تا T_3 به دلیل گرمای ورودی. گرما از طریق سوختن سوخت همراه با اکسیژن موجود در هوا در محفظه احتراق بدست می آید.
 - **انبساط آدیاباتیکی** هوای داغ در توربین از فشار p_2 تا p_1 با افت دما از T_3 تا T_4 .
- در فرایند سیکل بسته، هوا باید بصورت هم فشار سرد شود تا اینکه به دمای ورودی T_2 برسد. در فرایند سیکل باز گرمای باقیمانده به محیط اطراف داده می شود.

✓ مراحل آزمایش:

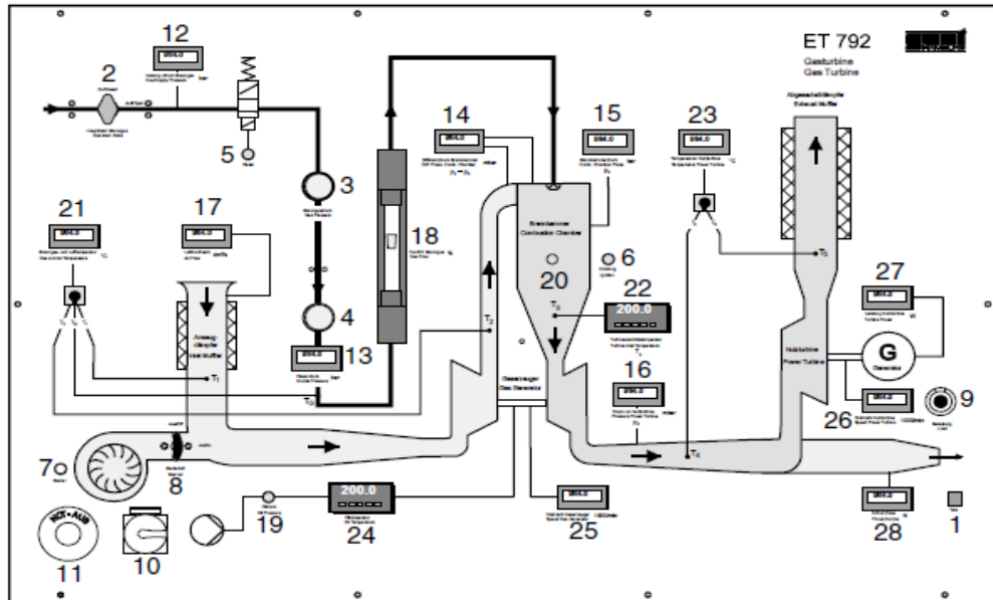
راه اندازی توربین گاز:

قبل از راه اندازی کارهای زیر را انجام دهید:

- ۱- سطح روغن را بررسی کنید؛ اگر سطح روغن خیلی پایین بود، به مقدار لازم روغن اضافه کنید.
- ۲- شیر کپسول گاز را باز نمایید.
- ۳- شیر آب خنک کن را باز نمایید.
- ۴- پتانسیومتر بار ژنراتور را به حالت صفر تنظیم کنید.
- ۵- کلید اصلی را بزنید.

۶- طرزکار نمایشگر سرعت و دما را بررسی نمایید.

۷- شیر گاز اصلی را باز کنید و فشار گاز رفت را بررسی نمایید. بسته به دمای کپسول گاز فشار باید بین ۳ bar و ۱۵ bar می باشد.



شکل ۵. فرآیند و شماره اجزای دستگاه.

- پتانسیومتر بار ژنراتور (۹) را به حالت صفر تنظیم نمایید.
- شیر رگولاتور گاز (۴) را ببندید.
- برای ورود هوای اولیه دمپر (۸) را به حالت باز تغییر دهید.
- فن راه انداز (۷) را روشن نمایید.
- لامپ نشان دهنده روغن (۱۹) روشن می شود.
- سرعت ژنراتور گازی n_1 (۲۴) افزایش می یابد.
- محفظه احتراق تخلیه شده است.
- فقط با عملکرد توربین قدرت:

بوسیله پتانسیومتر بار ژنراتور (۹) توربین قدرت با دور 10000...12000 rpm می چرخد. به این

شیوه توربین قدرت بطور آرام شروع به کار کرده و از ژنراتور محافظت می شود.

- بعد از ۱۰ s احتراق (۶) انجام می شود.

در این زمان جریان گاز (۱۸) بوسیله شیر رگولاتور (۴) افزایش یافته تا اینکه احتراق اتفاق بیفتد (T_3) افزایش می یابد.

- پس از احتراق دکمه احتراق را فشار دهید تا اینکه دمای ورودی توربین تا بیشتر از $T_3=500^{\circ}\text{C}$ (۲۲) افزایش یابد. حال دکمه احتراق (۶) را رها کنید.

اگر دکمه احتراق در کمتر از 500°C رها شود شیر توقف سریع گاز فرض می کند که احتراق با موفقیت انجام نشده و بسته می شود. بنابراین مراحل راه اندازی دوباره تکرار می شود. قبل از شروع احتراق جدید، محفظه احتراق باید حدود 10 s تهویه شود.

- توربین را در سرعت خود کفای $n_1=70000\text{rpm}$ روشن نمایید. با انجام این کار نرخ جریان گاز به گونه ای تنظیم می شود که دمای ورودی توربین T_3 حداکثر 1000°C باشد.

- در سرعت $n_1=70000\text{rpm}$ دمپر هوای راه اندازی را ببندید. اگر سرعت به شدت کاهش یافت و توربین از حرکت باز داشته شد، مقدار گاز کم بوده است. در این موقع دمپر راه انداز را دوباره باز کنید و با افزایش مقدار گاز، سرعت را به 70000rpm برسانید.

توجه: اگر هوای راه انداز در سرعت کمتر از 70000rpm قطع شود، توربین حتی با تغذیه گاز زیاد هم اجرا نمی شود. در این حالت خطر over-heating، حرارت بیش از حد ($T_3>1000^{\circ}\text{C}$) وجود دارد.

- با تنظیم مقدار گاز، سرعت توربین به سرعت بی باری حدود $n_1=80000\text{rpm}$ می رسد.

- فن راه انداز را خاموش نمایید.

توجه:

- سرعت بار کامل نباید از مقدار 120000rpm افزایش یابد.

- در هنگام کار با موتور جت، دمای گازهای خروجی حدود 700°C می باشد، پس باید در فاصله 10m از جت مواد اشتعال پذیری وجود نداشته باشد.

- اگر توربین در حالت جت قرار دارد، توربین قدرت نباید کار کند. پتانسیومتر بار ژنراتور (۹) باید در حالت صفر قرار داشته باشد.

- در هنگام وقوع حالت بحرانی (سرعت بالا، دمای بالا ، نشتی و غیره) ابتدا دریچه مسدود کننده (۵) را ببندید.

- اگر موتور جت بدون صدا خفه کن کار می کند، استفاده از محافظ گوش ضروری است.

- توان الکتریکی جریان P_{el} از نمایشگر توان (۲۷) خوانده می شود:

- در حالت ژنراتور، نمایشگر منفی است.
- در حالت موتور، نمایشگر مثبت است.
- اگر نمایشگر توان مقدار صفر را نشان دهد، توربین در سرعت بی باری است.

✓ تعاریف و اصطلاحات

راندمان حرارتی

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\Pi^{0.285}}$$

که در فرمول بالا $\Pi = \frac{P_2}{P_1}$ می باشد. P_1 فشار هوای محیط می باشد.

فشار خروجی (P_2) باید از اختلاف فشار ورودی توربین و فشار محفظه احتراق محاسبه شود:

$$p_2 = p_3 - (p_3 - p_2) \quad ; \quad (p_3 \succ p_2)$$

$$\eta_{TV} = \frac{P_t}{P_{GT}}$$

راندمان توربو کمپرسور

P_{GT} و P_t به ترتیب نشان دهنده توان انتقالی به گاز توسط کمپرسور و توانی که توسط گاز در توربین گازی برای به کار اندازی کمپرسور اعمال می شود، می باشند که با حاصلضرب دبی در اختلاف آنتالپی خروجی و ورودی بدست می آیند.

P_{Te} توان خروجی موثر توربین قدرت، بواسطه توان خروجی الکتریکی می باشد.

مطابق با ISA باید توان خروجی نسبت به سطح دریا و دمای 15°C کاهش یابد. این مقدار در نرم افزار بصورت P_{Tred} نمایش داده شده است. این گفته برای تراست نیز برقرار می باشد.

مصرف سوخت ویژه (b) با استفاده از مقدار سوخت عرضه شده و توان مفید خروجی محاسبه می شود. این مقدار بسته به نوع آرایش (توربین قدرت یا موتور جت) بوسیله نرم افزار گزارش داده می شود.

نسبت هوا (λ) برابر با خارج قسمت مقدار واقعی هوای کشیده شده به مقدار هوای لازم برای احتراق استوکیومتری سوخت می باشد.

✓ خواسته ها:

۱- نتایج حاصل از آزمایش را برای دو حالت توربین قدرت و تراست (هرکدام ۲ بار) در جدول ۱ ثبت نمایید.

توجه: مقادیر را در حالت پایا بخوانید.

۲- با وارد کردن سه حالت مختلف نقطه کار در جدول ۲، منحنی نقاط کاری کمپرسور در نقشه کمپرسور رسم نمایید. آیا کمپرسور در حالت بهینه قرار دارد؟

۳- مقادیر بدست آمده مصرف سوخت ویژه در آزمایش برای دو حالت توربین قدرت و تراست با یکدیگر مقایسه کنید. این مقادیر نسبت به اندازه دستگاه و دیگر راه اندازه های حرارتی چگونه اند؟

۴- رابطه راندمان حرارتی را اثبات نمایید.

۵- چه پارامترهایی روی راندمان حرارتی و قدرت یک توربین گازی موثرند ؟ بحث کنید که چگونه این پارامترها روی راندمان حرارتی موثرند.

۶- منحنی تغییرات بازده حرارتی بر حسب نسبت فشار:

الف: با افزایش درجه حرارت ورودی به توربین

ب: با افزایش درجه حرارت ورودی به کمپرسور

ج: با افزایش بازده آیزنتروپیک کمپرسور و توربین را بطور کلی رسم نمایید.

۷- مزایا و معایب یک توربین گازی با سیکل بسته را نسبت به یک توربین گازی ساده (سیکل باز) بیان کنید.

۸- برای طراحی کمپرسور و توربین چه پارامترهایی از نظر طراحی ترمودینامیکی، مقاومت مصالح و ارتعاشات باید در نظر گرفت؟

۹- توربین و کمپرسور استفاده شده در این دستگاه از نوع شعاعی اند. تفاوت های توربین و کمپرسور از نوع شعاعی نسبت به نوع محوری را بیان کنید.

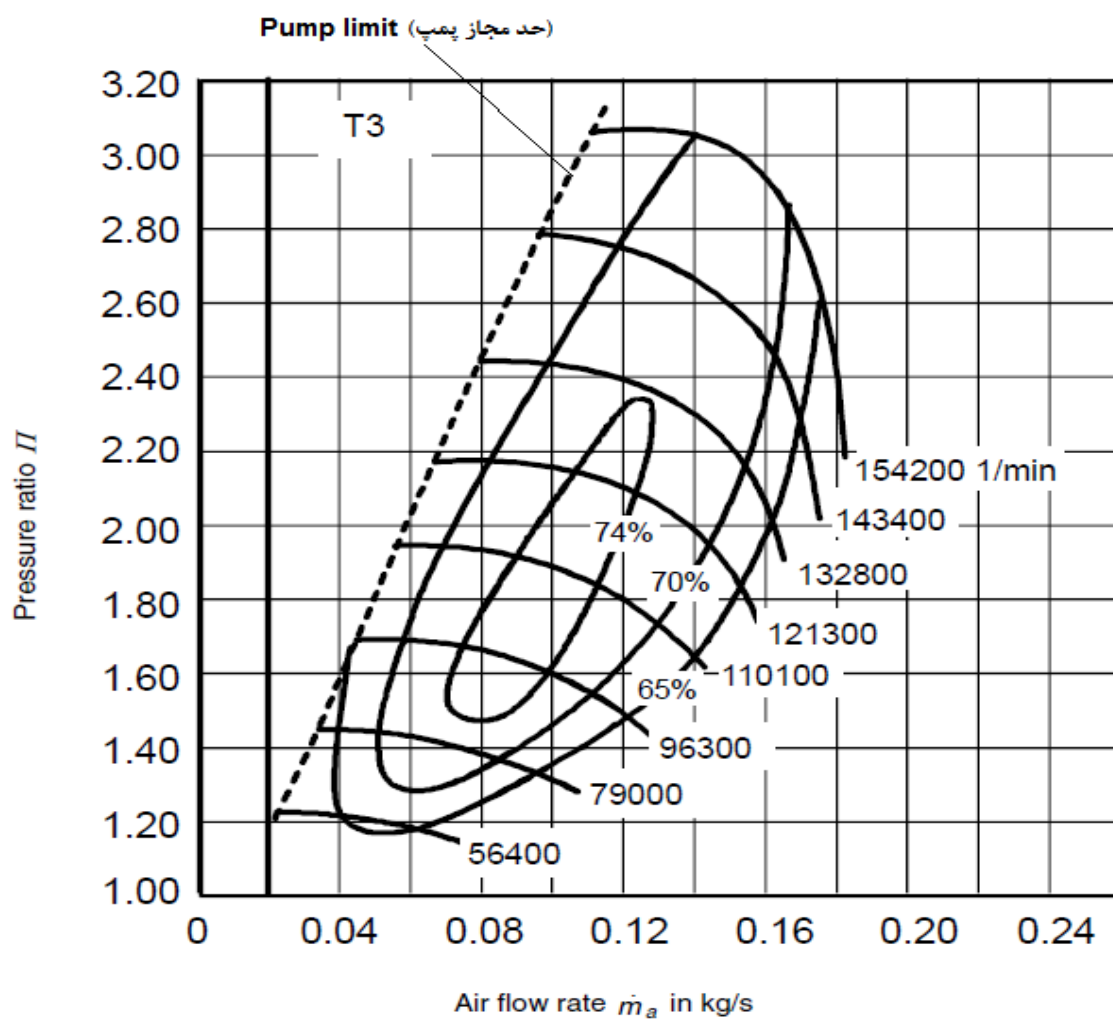
جدول ۱. جدول ثبت داده های آزمایش

آزمایش توربین گازی						دمای محیط، °C : فشار هوا، bar : رطوبت نسبی، % :	تاریخ:				
شماره آزمایش :						۱	۲	۳	۴	۵	۶
گاز T_G °C											
نازل گاز p_D bar relative											
ورودی کمپرسور T_1 °C											
خروجی کمپرسور T_2 °C											
افت فشار محفظه احتراق $p_2 - p_3$ mbar											
ورودی کمپرسور T_3 °C											
ورودی توربین p_3 bar relative											
ورودی توربین p_3 bar											
ورودی توربین قدرت T_4 °C											
ورودی توربین قدرت p_4 mbar relative											
ورودی توربین قدرت p_4 bar											
خروجی توربین قدرت T_5 °C											
نرخ جریان هوا ltr/s											
نرخ جریان هوا $\dot{m}_a$ kg/s											
نرخ جریان گاز (2bar; 0°C) kg/h											
نرخ جریان گاز $\dot{m}_G$ g/s											
سرعت n_1 ۱/min											
سرعت n_2 ۱/min											
توان الکتریکی P_{el} W											
تراست S N											
دمای روغن T_{oil} °C											
توضیح											

- p_D در نرم افزار بصورت p_N گزارش داده می شود.
- $p_2 - p_3$ در نرم افزار بصورت $dp1$ گزارش داده می شود. ($p_3 > p_2$)
- $\dot{m}_a$ و $\dot{m}_G$ در نرم افزار به ترتیب بصورت $dm1/dt$ و $dm2/dt$ گزارش داده می شوند.
- منظور از bar relative فشار نسبت به محیط می باشد. (در نازل گاز باید عینا مقدار نرم افزار گزارش شود).
- در حالت توربین قدرت باید مقدار S و در حالت تراست مقادیر p_{el} ، n_2 و T_5 خالی گذاشته شوند.

جدول ۲. جدول ثبت داده های آزمایش

نقطه کار	نرخ دبی جرمی $\dot{m}_a$ in kg/s	فشار خروجی p_2 in bar	نسبت فشار Π
۱			
۲			
۳			



شکل ۶. نمودار عملکرد کمپرسور. از نکات قابل توجه، بازده و فاصله از حد مجاز پمپ می باشند.