



BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
MAKİNE LABORATUVAR DERSİ

İçten Yanmalı Motorlarda Performans ve Enerji Dağılımı
Deneyi

Laboratuvar Tarihi:

Laboratuvarı Yöneten:

Laboratuvar Yeri:

Laboratuvar Adı:

Öğrencinin Adı-Soyadı :

Numarası:

İmza :

1. AMAÇ

Bir motorun belirli gaz keleşi konumlarında karakteristik büyüklüklerinin hesaplanması ve bu büyüklüklerin devir sayısı ile değişimlerinin grafiksel gösterilmesidir.

2. GİRİŞ

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneyin bu raporunda, bir taşıt motoruna etkiyen faktörlerin neler olduğu, bunların hangi iç veya dış etkenlerle değiştiiğini, hangi yöntemlerle ölçülebileceğini ve üzerinde ne tür hesaplamaların yapılabileceğini irdelenecektir.

Deney sonunda arzu edilen değerlere ulaşabilmek için taşıt motorları ile ilgili bir çok büyüklük ve değer karşımıza çıkacaktır.

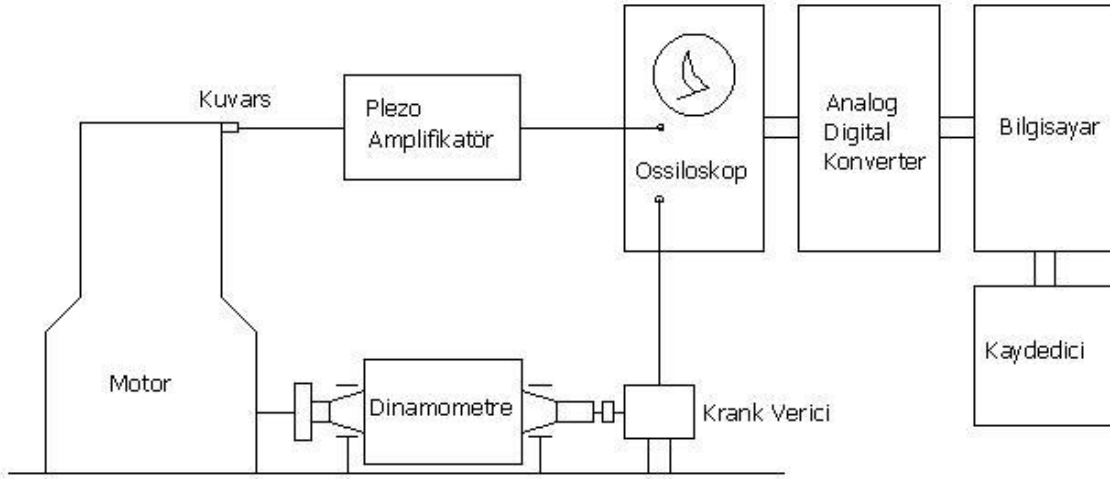
3. TEORİ

Motor Güçleri : Motorlarda iki çeşit güç ölçümü yapılır.

1. İndike Güç (İç Güç) :

Silindire girmiş oaln karışımın yanması ile meydana gelen ısı enerjisinin, mekanik enerjiye dönüşmesi motorun silindirleri içinde olmaktadır. Bu nedenle, motorun silindirleri içinden veya piston üzerinden alınan güce indike güç (İç Güç) denir. İndike gücün ölçümü indikatör adı verilen cihazlarla yapılmaktadır. Motorlarda gerçek p-V diyagramına indikatör diyagramı adı verilmektedir. İndikatörler mekanik, optik veya elektrikli tip olabilirler.

Genellikle elektrikselsel indikatörlerden Piezo-elektrik basınç sensörü (Kuars kristali), amplifikatör (Yükseltici), krank verici ve ossilaskop veya ossilograf grubu indikatör diyagramı çıkarmak için kullanılmaktadır. Şekil.1`de kuars kristali, basınç değişimini, krank verici ise hacim değişimini elektrik gerilimine dönüştürmektedir. Elektrik gerilimleri mekanik titreşimlere göre yüksek frekanslı analog işaretlerdir. Bu gerilimleri dijital hale çeviren konvertör (Dönüştürücü) kullanılarak bir küçük tip bilgisayar ve yazıcı yardımıyla p-V diyagramına ait değerlendirmeler programlanabilir.



Şekil.1 (İndikatör diyagramının analog-dijital değerlendirme sistemi)

Düşük basınç ve yüksek basınç indikatörlerindeki hacim ölçeği $\ddot{O}_{x1}, \ddot{O}_{x2}$ ($m^3/cm.$); basınç ölçeklerinin birisi \ddot{O}_{y1} , diğeri \ddot{O}_{y2} ($N/m^2/cm.$) olsun. Çevrim başına net indike iş :

$$W_i =_2 \ddot{O}_{x2} \cdot \ddot{O}_{y2} -_1 \ddot{O}_{x1} \cdot \ddot{O}_{y1} \quad [Nm] \text{ veya } [J]$$

Böylece indike güç, n_ζ (Çevrim/s) olmak üzere

$$p_i = n_\zeta W_i / 10^3 \quad [kj/s.] \text{ veya } [kW] \quad \text{olur.}$$

İndike gücün % 15-30`u sürtünmeleri yenmek için harcanır. Motorlarda iyi bir yağlama yapılmasına rağmen yine de sürtünme kayıpları ihmal edilemeyecek kadar fazladır. Krank mili, muylu ve yataklarında, piston, sekman, silindir cidarları, krank mili aksenal gezintisini sınırlayan kılavuz yatak yüzeyleri, kam mili yatakları ve iteceklerde meydana gelen sürtünmeler, hayli güç yutar. Sürtünmeye harcanan gücün büyük bir bölümü sekmanlarla silindir cidarları arasındaki sürtünmeyi yenmek için harcanır. Genellikle sürtünme gücünün % 75`i sekmanlarla silindir cidarları arasındaki sürtünmeler için sarfedilir. İndike güçten, sürtünmeye giden güç çıkarılırsa, geriye efektif (Faydalı) güç kalır. Efektif güç, motorun krank mili ucundan ölçülen gerçek güçtür. Efektif güç p_e sembolü ile gösterilirse ;

$$p_i = p_i - p_m \quad \text{olur. Buradaki } p_m \text{ sürtünmelere harcanan güçtür.}$$

2. Efektif Güç :

Efektif güce, faydalı güç, etkin güç veya fren gücü de denilmektedir. Bu güç motorun gerçek gücüdür. Silindirler içinde elde edilen indike güçten; motorun çalışması için gerekli olarak harcanan güçler çıktıktan sonra, motorun volanından veya kasnağından ölçülen güçtür. İndike güçten % 25 oranında daha küçüktür.

Güç ölçümünde kullanılan cihazlara genel olarak dinamometre denir. Ancak dinamometreler direkt olarak gücü değil, gücün hesaplanmasına yarayan kuvveti veya momenti ölçerler. Motorun ürettiği efektif gücü veya döndürme momentini iş veya elektrik enerjisine dönüştürerek yutan iş makinesine fren (Brake, bramse) adı verilir.

Efektif güç bulunurken şu mekanizmalar kullanılır.

- a) Prony Freni
- b) Elektrikli Dinamometre
- c) Hidrolik (Su) Frenleme Sistemi

Bunlardan başka taşıtlar üzerindeki motor gücünü doğrudan doğruya ölçebilen şasi dinamometreleri de vardır. Ancak bu cihazlar, gücü tekerlekten ölçerler. Bu nedenle vites kutusu, kardan mili ve diferansiyelde kayıplara uğrayan güç, motor volanından ölçülen güçten daha küçüktür.

Yukarıdaki mekanizmalardan biraz bahsedecek olursak ;

a) Prony Freni ile efektif gücün ölçülmesi :

En eski ve en basit güç ölçme cihazıdır. Azami gücü 100 BG`e kadar ve devir sayısı da 1000 dev/dk.`yı geçmeyen motorlara uygulanabilir. Bu sistemde motor volanını saran frenleme şeridinin içinde sürtünme katsayısı yüksek frenleme pabuçları, frenleme miktarını saptayan baskül ve bağlantı kolları vardır. Motor tam gazda ve yüksüz olarak en yüksek devire çıkarılır. Sıkma vidaları yavaş yavaş sıkılarak motor yüklenir. Motorun devri düşmeden çıkabileceği en fazla yük baskülde bulunur.

b) Elektrikli dinamometre ile efektif gücün ölçülmesi :

Elektrik dinamosu ile bir motorun efektif gücünü ölçmek oldukça kolaydır. Gücü ölçülecek motor, kavrama ile jeneratöre bağlanır. Jeneratör motor tarafından döndürüldüğü için bir akım üretecektir. Jeneratörün kutupları arasından ölçülen akım şiddeti ve voltajın çarpımı motorun efektif gücünü verecektir. Ayrıca jeneratör verimi de çarpıma dahil edilir.

c) Hidrolik (Su) frenleme sistemi ile efektif gücün ölçülmesi :

Bir su freni sistemi genel hatlarıyla stator, rotor, moment kolu ve terazi gibi elemanlardan müteşekkildir. Rotor, hareketini motordan alan mile yataklanmıştır ve mille birlikte döner. Stator da sabit gövdeye dönme hareketi yapacak şekilde yataklanmıştır. Ancak bu hareket rotordaki gibi sürekli bir devir yapma hareketi olmayıp eksen etrafında bağlı bulunduğu kolla aktarabilecek kısmi bir açisal dönme hareketidir.

Şekil.2`de stator-rotor-terazi grubunun çalışma prensibi verilmiştir. Motorun verdiği M_d döndürme momenti önce rotora tesir etmektedir. Rotor ise statora bir devirde $2\pi r$ yolu olan bir kuvvet çifti ($f/2$) ile etkimektedir. Bu, motora karşı bir direnç oluşturmaktadır. Frenin (Elektrikli, manyetik, yüzey sürtünmeli gibi) çalışma prensibine göre bir direnç oluşturma ve moment yutma karakteristiği vardır. Bu sayede laboratuvarlarda motorun gücünü ölçmek mümkün olmaktadır.

Statoru döndürmeye çalışan f kuvvet çiftinin hasil ettiği moment

$M_d = f \cdot r$ terazi tarafından l mesafede uygulanan F kuvveti ile dengelenecektir.

$M_d = f \cdot r = F \cdot l$ [Nm] Dolayısı ile rotor bir devir yapınca sürtünme kuvvetlerinin işi,

$$W_f = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot l \quad [\text{Nm/devir}]$$

Devir sayısı takometre veya strobotak denen devir ölçücü aletler yardımıyla ölçülür. Devir sayısı n [devir/s.] olarak alındığında,

$$P_e = W_f \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot l \cdot n \quad [\text{Nm/s.}] \text{ veya } [\text{W}] \text{ bulunur.}$$

Güç değeri [kW] olarak bulunmak istenirse

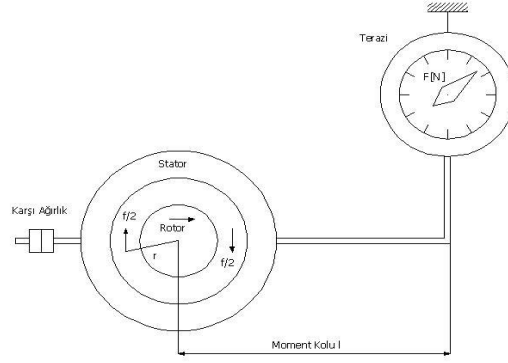
$$P_e = W_f \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot l \cdot n / 10^3 = F \cdot l \cdot n / 159,1549 \quad [\text{kW}] \text{ olarak hesaplanır.}$$

Bu motorun frende bulunan efektif gücüdür. Motorun momenti için yukarıdaki ifadeden,

$$M_d = F \cdot l = 159,15 \cdot P_e / n \quad [\text{Nm}] \text{ yazılabilir. Eğer } l = 1,59 \text{ [m.]} \text{ seçilirse}$$

$$P_e = F \cdot n / 10^2 \quad \text{formülü elde edilir.}$$

Tablo.1`de fren terazilerinde kullanılan bazı basitleştirilmiş güç formülleri verilmiştir.



Şekil.2 (Rotor-Stator grubunun çalışma prensibi)

| Birimler | Güç Formülü | Moment Kolu l [m.] | Formül |
|--|-------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Pe [kW] n [dev/s.] F [N] Md [Nm.] | $P_e = \frac{F l n}{159,15}$ | 1,592 [m.] | $P_e = F \cdot n / 10^2$ |
| Pe [kW] n` [dev/s.] F [N] Md [Nm.] | $P_e = \frac{F l n'}{9549,3}$ | 0,955 [m.] | $P_e = F \cdot n' / 100^2$ |
| Pe [PS] n` [dev/dak.] F [kp] Md [kpm] | $P_e = \frac{F l n'}{716,2}$ | 0,716 [m.] | $P_e = F \cdot n' / 10^3$ |

Tablo.1 (Güç Formülleri)

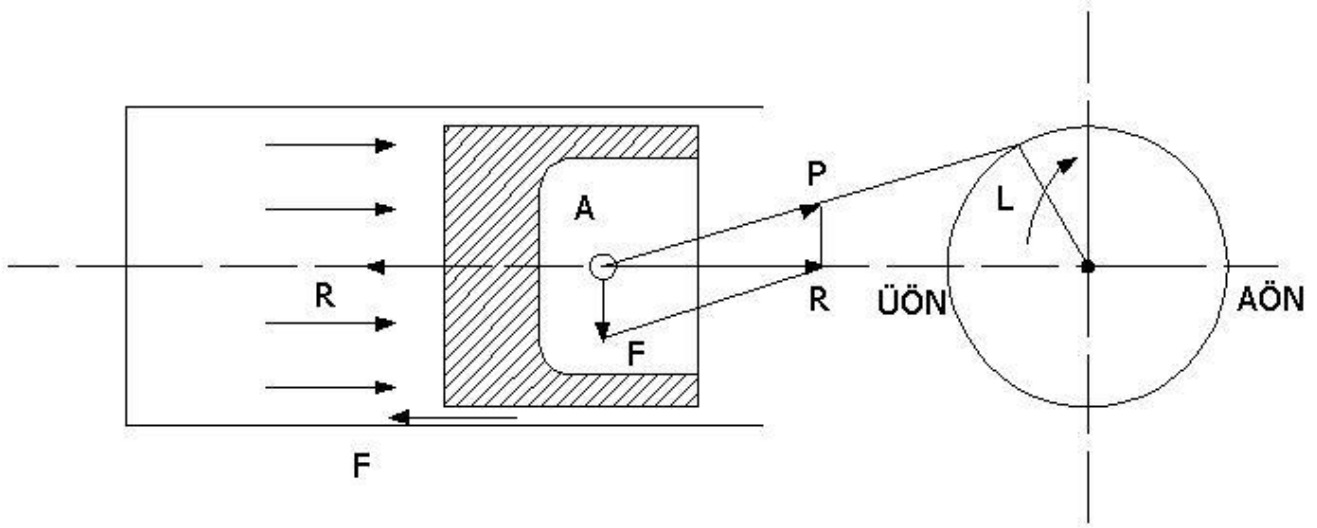
Motorlarda Momentin Oluşması :

Moment; millere, dişlilere ve tekerleklere uygulanan ve onların bir eksen etrafında dönmelerini sağlayan döndürme ve burma çabasıdır. Güç ise, motorun iş yapma hızıdır. İş veya güç elde etmek için kesinlikle hareket olması gerekir.

Yanma başlangıcında, piston ÜÖN`da iken, yanan karışımın basıncı ile krank kolu ve biyel ekseni, aynı doğrultuda bulunduğundan moment sıfır olur.

Moment olabilmesi için, kuvvet doğrultusu ile bu kuvvetin uyguladığı piston kolu ekseni arasındaki açı, 180°`den küçük olması gerekir. Yanma sonunda (Piston ÜÖN`yı 20-25° kadar geçince) oluşan maksimum basınç ile piston AÖN`ya doğru itilmektedir.

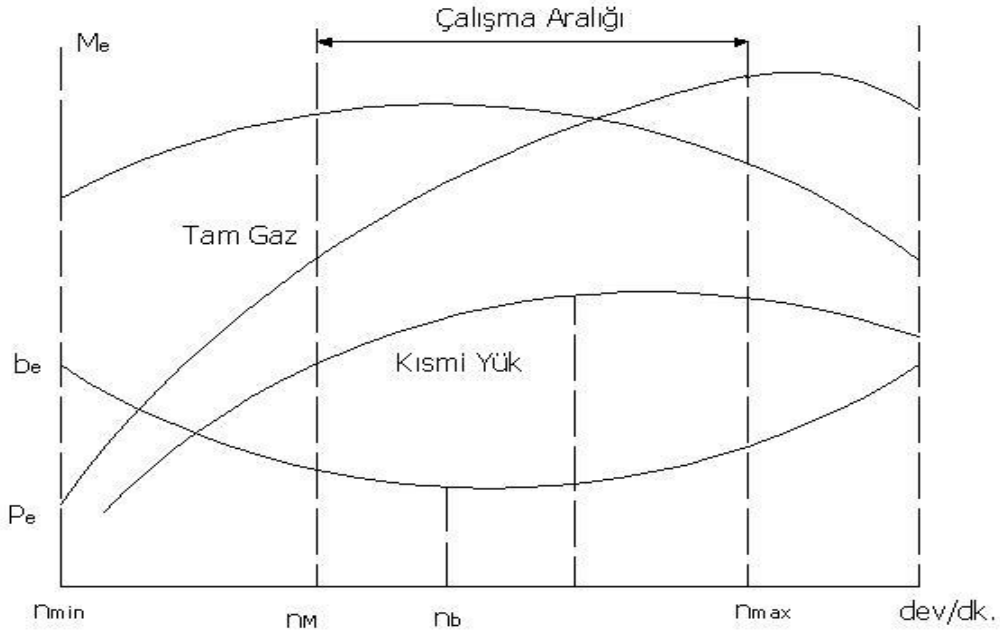
A noktasında; piston, piston pimi vasıtasıyla üzerindeki basıncı piston koluna iletir. Krank mili piston koluna uygulanan bu kuvvet ile dönmeye başlar. Krank mili dirseğine etki eden kuvvet Şekil.3`de görüldüğü gibi piston kursunun her noktasında aynı değildir.



Şekil.3 (Yanma sonunda basıncın oluşturduğu kuvvetlerin dağılımı)

Yanma sonunda elde edilen yanma basıncı, pistonu AÖN`ya hareket ettirirken, bu basıncın meydana getirdiği kuvvetin tümü krank mili dirseğine etki etmez. Şekil.3`te olduğu gibi toplam kuvvet A noktasında bileşenlerine ayrılır. R kuvveti, pistonun hareket yönünün aksine gitmeye zorlayan eylemsizlik kuvvetinin karşılanmasında, F kuvveti ise piston-sekman ve piston-silindir yüzeyleri arasındaki sürtünmelere harcanır. Yanma sonu oluşan toplam kuvvetten bu kuvvetler çıkarıldıktan sonra geriye kalan P kuvveti, piston kolu eksenini doğrultusunda krank mili dirseğine etki eder. Bu kuvvet en büyük değere, biyel eksenini ile krank mili dirseğinin eksenini arasındaki açı 90° den büyüdükçe veya küçüldükçe, momenti meydana getiren (P) kuvveti azalır. Moment, anayatak muylusu eksenini ile biyel muylusu eksenini arasındaki "L" uzaklığı ile "P" kuvvetine bağlıdır.

Benzinli motorlarda gaz keleşinin, dizel motorlarında pompa kramayerinin konumunun, yağ ve soğutucu akışkan sıcaklıklarının sabit tutulduğu deney şartlarında krank mili devrine bağlı olarak güç, moment ve yakıt sarfiyatı değişimlerine motor karakteristikleri veya karakteristik eğrileri denir. Motor karakteristiklerinin belirlenmesi motor deneylerinin esasını teşkil eder ve sadece motorun çıplak olarak ve statik performansının bilinmesini sağlamayıp aynı zamanda motorun taşıt üzerinde gerçek hizmet şartlarındaki performansı hakkında da önemli bilgiler verir. Şekil.4`de bir motora ait karakteristikler görülmektedir.



Şekil.4 (Bir motorun karakteristik eğrileri)

Şekil.4'teki moment eğrisinde; moment, devir sayısı artışı ($n > n_M$ için) ile azalmaktadır. Devir sayısının artışı ile emme zamanı kısalır. Dolayısı ile silindirlere girecek karışım miktarı azalır ve motorun volumetrik (Hacimsel) verimi düşer. Düşük devirlerde ($n < n_M$ için) ise silindirlere daha fazla karışım girer. Emme zamanı daha uzundur ve moment n_M devir sayısına kadar artmaktadır. Şekil.4'teki "Çalışma Aralığı"nda momentin artan devirle azaldığı, gücün ise arttığı görülmektedir. Motor n_{min} devrin altında çalışırken oluşturduğu moment çok düşüktür. Düşük devirlerde, emme sübabının AÖN'den sonra kapatılması, hacimsel verime olumsuz yönde etki eder. Düşük devirlerde sübap bindirmesi anında yanma odasında daha çok egzoz gazı kalır. Diğer bir durum ise düşük devirlerde karbüratör boğazından geçen havanın hızının azalması nedeni ile yakıtın hava ile karışması iyi olmaz ve karışım oranı bozulacağından iyi bir yanma gerçekleşmez.

Güç eğrisinde, güç n_{max} devir sayısına kadar artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Çünkü yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı hacimsel verim azalmakta, sürtünmeler artmaktadır.

Son yıllarda bir motorun gücünden ziyade momentine önem verilmektedir. Bir taşıtın daha çabuk hızlanıp ilerlemesini sağlayan durum, motordan tekerleklere iletilen, döndürme momentinin büyük oluşudur. Yeni geliştirilen motorların silindir çapları kurslarından büyük olanlarda moment eğrileri eski motorlara göre daha düz olur. Düşük devirlerde, moment daha yüksek olduğu gibi devir yükselince fazla düşmez. Çünkü silindir çapları ve sübaplar daha büyük olduğu için, silindirlere fazla karışım alınarak, hacimsel verim arttırılır. Diğer taraftan kurs boyu kısa olduğu için, piston ve sekman sürtünmelerine harcanan güç daha az olur.

Ortalama Efektif Basınç :

Ortalama efektif basınç motorun gerçek çevrimdekine eşdeğer bir P_e gücünü vermesi için bir strok boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınç olarak tariflenmiştir. Motor gücü, bir çevrimdeki W_e [Nm/çevrim] işi ve iş yapan devir sayısı n_ζ [çevrim/s.] cinsinden ;

$$P_e = W_e \cdot n_\zeta \quad [W] \text{ dir.} \quad V_H = Z \cdot V_h \quad [m^3] \text{ toplam strok hacmi olmak üzere,}$$

$$P_{me} = \frac{W_e}{V_H} = \frac{P_e}{V_H \cdot n_\zeta \cdot i} \quad [N/m^2] \quad \text{olarak bulunur.}$$

İki zamanlı motorlarda $i = 1$ [çevrim/devir], dört zamanlı motorlarda $i = 1/2$ [çevrim/devir] olmaktadır.

Motorun aynı indikatör diyagramında eşdeğer P_i gücünü vermesi için bir strok boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınçtır. Başka bir ifadeyle bu basınç iş zamanı anında ÜÖN`dan AÖN`ya kadar piston yüzeyinin her cm^2 `sine aynı değerde etki eden kuvvettir diye tanımlanabilir. Birimi [kg/cm^2 veya N/m^2] dir. Ortalama efektif basınç eşitliklerindeki W_e ve P_e değerleri yerine sırasıyla W_i ve P_i değerleri alınarak benzer eşitlikler ortalama indike basınç için de yazılabilir. Sonuç olarak ;

$$P_i = W_i \cdot n_\zeta \quad [W]$$

$$P_{mi} = \frac{W_i}{V_H} = \frac{P_i}{V_H \cdot n_\zeta \cdot i} \quad [N/m^2] \quad \text{elde edilir.}$$

Efektif Yakıt Sarfiyatı :

Laboratuvar şartlarında bir motorun yakıt sarfiyatını deney tesisatında hacimsel olarak tespit etmek mümkündür. Belli çalışma şartlarında motorun Δt [s.] zaman aralığında tükettiği yakıtın hacmi ΔV [cm^3] olsun. Yakıtın yoğunluğu ρ_y [gr/cm^3] ise, özgül yakıt sarfiyatı ;

$$b_e = \frac{3600 \cdot \Delta V \cdot \rho_y}{P_e \cdot \Delta t} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Motor gücü P_e 'nin [kW] olarak alındığı açıktır. Kütlesel yakıt debisi \dot{m}_y [gr/s.] cinsinden bu eşitliği

$$b_e = \frac{3600 \cdot \dot{m}_y}{P_e} \quad [\text{gr/kWh}] \quad \text{şeklinde yazabiliriz.}$$

İster hacimsel ister kütleli ölçüm yapılsın, hata oranını azaltmak için ΔV veya Δm değerlerini mümkün mertebe yüksek tutmak gerekir.

İndike Yakıt Sarfiyatı :

Burada da P_e hariç, b_e eşitliğinde esas alınan veriler ve birimler aynen kullanılmakta, sadece P_e efektif güç değeri yerine P_i indike güç değeri esas alınmaktadır. Dolayısı ile ;

$$b_i = \frac{3600 \cdot \Delta V \cdot \rho_y}{(P_i \Delta t)} = \frac{3600 \cdot \dot{m}_y}{P_i} \quad [\text{gr/kWh}] \quad \text{yazılabilecektir.}$$

Burada ΔV [cm^3], ρ_y [gr/cm^3], Δt [s.] ve P_i [kW] cinsinden birimleri olan ifadelerdir.

Verimler :

1 - Efektif Verim :

Motor milinden alınan işin verilen toplam enerjiye oranı şeklinde tarif edilen efektif verim (veya genel verim) iş veya güç oranları şeklinde yazılırsa,

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{W_e / t}{Q_T / t} = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot H_u} \quad \text{eşitliği ile ifade edilir.}$$

2 - İndike Verim :

İndikatör diyagramında bulunan işin verilen toplam enerjiye oranı şeklinde tarif edilebilir. İş veya güç oranları cinsinden ;

$$\eta_i = \frac{W_i}{Q} = \frac{W_i / t}{Q / t} = \frac{P_i}{\dot{m}_y \cdot H_u} = \frac{3,6 \times 10^6}{b_i \cdot H_u} \quad \text{ifade edilir.}$$

Burada b_i [gr/kWh] ve H_u [kJ/kg] birimlerine sahip değerlerdir.

3 – Mekanik Verim :

Mekanik verim, silindirdeki sürtünme ve pompalama kayıplarını ihtiva eden bir verim olduğuna göre efektif büyüklükler arasında tarifleniyor demektir. O zaman mekanik verim ;

$$\eta_m = \frac{W_e}{W_i} = \frac{P_e}{P_i} = \frac{b_i}{b_e} = \frac{\eta_e}{\eta_i} \quad \text{olarak yazılabilir.}$$

4. DENEYİN YAPILIŞI

Motor çalıştırılır. Rejime girdikten sonra gaz keleşi belli bir konum için ayarlanır. Su freni vasıtasıyla yükleme yapılır. Bu durumda frenleme kuvveti, harcanan yakıtın hacmi ve geçen süre ölçülür. Her defasında yükleme miktarı arttırılarak ölçümler tekrarlanır.

Aynı ölçümler değişik gaz keleşi konumları için tekrar edilir.

5. DENEY DÜZENEGİ, KULLANILAN ALET VE CİHAZLAR

| | | |
|---|------------------------|---------------------------|
| a) Motor : | Motor tipi | : Ford XLD 418T |
| | Zamanı | : 4 Zamanlı |
| | Yakıt tipi | : Dizel |
| | Silindir sayısı | : 4 |
| | Silindir çapı | : 82,5 [mm.] |
| | Silindir kursu | : 82 [mm.] |
| | Toplam strok hacmi | : 1753 [cm ³] |
| | Motor maks. Gücü | : 47 [kW] 3600 [d/dak] |
| | Maks. döndürme momenti | : 143 [Nm.] 2200 [d/dak.] |
| b) Hidrolik su freni (Motoru yüklemek için) | | |
| c) Yakıt ölçme sistemi, kronometre | | |
| d) Motor devrini ölçmek için takometre | | |

Deney tesisatındaki frenlemenin yapıldığı moment kolu 0,955 [m.]`dir.

6. VERİLER

| | t [s.] | F [N] | n [devir/dk.] |
|----|--------|-------|---------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |

Tablo.2 (Deney Verileri)

7. SORULAR

1. Rotor-stator grubunda kullanılan Strain-gage (yük hücresi)'in çalışma prensibini açıklayınız.

2. Her bir ölçüm için, a) Tablo2'yi doldurunuz

b) M_d , P_e , b_e değerlerini hesaplayınız.

3. Tüm bu ölçüm sonucunda elde edeceğiniz verilerle

a) $P_{me} - n$ grafiğini,

b) $b_e - n$ grafiğini,

c) $M_d - n$ grafiğini,

d) $P_e - n$ grafiğini çiziniz.

4. Deney sonuçlarından hareketle, elde edilen grafikleri yorumlayınız.