

1. MOTOR DENEYLERİNE İLİŞKİN GENEL BİLGİ

Motor deneyleri genel olarak

- a) Bir motorun; yapımcı firmanın garanti ettiği karakteristik özellikleri gerçekleyip gerçeklemediğinin kontrolü,
- b) Motorları gelişme çalışmalarında; çeşitli yapısal (konstrüktif) ve işletme özelliklerinin motor karakteristikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi,

amaçları ile yapılır.

Bu amaçlarla; motorların istenen bazı işletme büyüklüklerinin sabit tutulabildiği ve istenen bazı büyüklüklerin değiştirilebildiği bir deney düzeneğine bağlanmaları ve çalıştırılmaları gerekir. Böylece motor çeşitli koşullar altında çalışırken gerekli bilinmeyen büyüklükler ölçülür. Motor deneylerinde genellikle ölçülen büyüklükler; moment, devir sayısı, yakıt debisi, emme havası debisi, soğutma suyu debisi, ortam sıcaklığı ve nemi, eksoz gazlarının sıcaklığı, soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır.

Motor deneyleri sonunda ölçülen bu değerler kullanılarak efektif güç, ortalama efektif basınç, efektif verim, döndürme momenti, özgül yakıt tüketimi,...gibi büyüklükler hesaplanır ve ölçülen veya hesaplanan bu değerlerin (karakteristiklerin) devir sayısına, hava fazlalık katsayısına, güce, değiştirilen yapısal özelliklere (örneğin sıkıştırma oranına) göre değişimleri elde edilir. İstenirse bu sonuçlar eğriler şeklinde de değerlendirilir.

Klasik motor deneylerinde genellikle yalnızca yukarıda belirtilen büyüklükler, çeşitli çalışma koşulları için ölçülmektedir. İleri düzeydeki araştırma çalışmalarında bunların dışında motorların aşağıda bazı örnekleri verilen bir çok özellikleri de deneysel yollarla incelenmektedir.

a) İndikatör diyagramı: Silindir içindeki basınç değişimini gösteren indikatör diyagramı günümüzde elektronik yollarla duyarlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Elektronik yöntemle indikatör diyagramının belirlenmesinde, silindir içindeki basınç değişimi bir transducer ile elektrik sinyallerine dönüştürülmekte, daha sonra bu sinyaller bir amplifikatörde yükseltilerek bir bilgisayara aktarılabilenkte veya bir osiloskoba gönderilebilmektedir. Basıncın krank açısına veya silindir hacmine göre değişimi osiloskobun ekranında gözlenebilmekte, istenirse fotoğrafı da çekilebilmektedir. Bu yolla çeşitli motor karakteristiklerinde yapılacak değişikliklerin indikatör diyagramı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenebilmekte, ayrıca indikatör diyagramı ile teorik hesaplama yöntemlerinin doğruluk derecesi kontrol edilebilmektedir.

b) Eksoz gazları: Eksoz gazları çeşitli kimyasal, optik veya değişik yollarla analiz edilerek motor karakteristiklerinin eksoz gazları ve dolayısı ile yanma üzerindeki etkileri incelenenilmektedir.

c) Sıcaklık dağılımları: Değişik motor elemanları üzerine yerleştirilen elektronik temelli termometrelerle sıcaklık dağılımının, ısı yüklerin çeşitli karakteristiklere bağlı olarak nasıl değiştikleri incelenenilmektedir.

d) Gaz akışı olayları: Motorların emme ve eksoz kanallarındaki gaz akışı olayları ve silindir içindeki gaz hareketleri; kızgın tel anemometresi veya laser-doppler anemometresi yardımı ile deneysel olarak incelenenilmektedir. Böylece motorların emme ve eksoz donanımlarının ve yanma odalarının geliştirilmesine çalışılmaktadır.

2. MOTOR DENEYİ ÇEŞİTLERİ

Motorlar uygulamada çoğunlukla ya taşıtlarda, ya da stasyonier olarak (generatörlerde veya inşaat makinalarında) kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarına göre motorlardan beklenen özellikler farklı farklıdır. Örneğin; bir taşıt motoru sabit gaz durumunda motor yüküne göre belirli bir alt ve üst devir sayısı aralığında çalışmalı ve bu aralıkta özellikleri bilinmelidir. Öte yandan bir santral motoru; üretilen elektriğin belirli bir frekansta olması için, sabit devir sayısında çalışmalıdır. Motorların bu farklı tür çalışma koşullarına uygun olarak, motor deneyleri de farklı olabilir.

2.1 Taşıt Motorları Deneyleri

Taşıtlarda, motorun ürettiği güç, güç aktarma donanımı (kavrama, dişli kutusu, diferansiyel ve akslar) tarafından tekerleklerle iletilir ve taşıtın hareketini sağlar. Taşıtların kalkış ve duruşlarında ve çeşitli yol koşullarındaki hareketlerinde gerekli döndürme momentleri ve devir sayıları farklı farklıdır. Motorun, taşıtın çalışma koşullarına uyum sağlayabilmesi için , değişik gazlarda ve devir sayılarında çalışması gerekir. Bu nedenle taşıt motorları, sabit gaz durumlarında değişik devir sayılarında denenir.

Taşıt motorlarının değişik hızlarda denenebilmesi için; tam gaz, 3/4 gaz, 1/2 gaz, 1/4 gaz gibi istenen gaz durumlarında en düşük ve en yüksek hızların aralığında çalıştırılmaları gerekir. Bu amaçla motor çalıştırıldıktan sonra; bir taraftan gaz arttırılırken, ileride

açıklanacağı şekilde bir su freni veya generatör aracılığı ile yavaş yavaş yüklenir. Gaz kolu istenen konuma getirildiğinde motor uygun şekilde yüklenerek en düşük devirde kararlı çalışması sağlanır. Bu yük altında motorun devir sayısı en düşük (minimum) devir sayısıdır. Daha sonra yük yavaş yavaş azaltılarak motorun devir sayısının artması sağlanır. Her adımda; devir sayısı, döndürme momenti,... gibi motorun istenen karakteristikleri ölçülür. Her hızdaki ölçüm yapılırken motorun en az 1 dakika kararlı olarak çalışması gerekir. Böylece, belirli gaz konumunda, en düşük devirden en yüksek devire kadar motorun karakteristikleri belirlenmiş olur. Benzer işlemler istenirse değişik gaz konumlarında da yinelenir.

Ölçülen değerler kullanılarak efektif güç, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim,...gibi çeşitli teknik büyüklükler hesaplanır. Daha sonra hesaplanan bu değerler devir sayısına bağlı olarak eğriler şeklinde veya performans eğrileri biçiminde çizilir.

2.2 Stasyonier Motor Deneyleri

Elektrik santralleri, şantiye ve inşaatlar gibi alanlarda kullanılan stasyonier motorların yükleri en düşük değerden başlamak üzere yavaş yavaş artırılır ve her yükleme durumunda gaz ayarlanarak devir sayısının sabit kalması sağlanır. Böylece sabit devir sayısında çeşitli yüklerde motorun karakteristik değerleri belirlenir ve daha sonra gerekli işlemler yapılarak istenen büyüklükler hesaplanır. Ölçülen veya hesaplanan bu değerler motor gücüne bağlı eğriler şeklinde değerlendirilir.

2.3 Motorların Geliştirme Deneyleri

Motorları geliştirme çalışmalarında; motor belirli bir gaz konumunda çalışırken sıkıştırma oranı, ateşleme avansı, yakıt-hava oranı,...gibi teknik özelliklerden biri değiştirilir. Örneğin her sıkıştırma oranında yükleme ayarlanarak motorun devir sayısının sabit kalması sağlanır. Her adımda gerekli büyüklükler ölçülür. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile sıkıştırma oranının motorun çeşitli teknik özelliklerini nasıl etkilediği ve en uygun sıkıştırma oranının ne seçilmesi gerektiği belirlenmiş olur.

3. MOTOR DENEYLERİNDE ÇEŞİTLİ BÜYÜKLÜKLERİN ÖLÇÜLMESİ

Yukarıda genel olarak açıklanan motor deneylerinin gerçekleştirilmesi için üzerinde:

- 1) Motorun yüklenmesini ve döndürme momentinin ölçülmesini sağlayacak bir yükleme elmanı,

- 2) Devir sayısını ölçmeye yarayan bir takometre,
- 3) Yakıt tüketimini ölçmeyi sağlayan bir ölçekli kap,
- 4) Hava debisini ölçmeye yarayan bir orifis veya lüle ve bir sıvılı manometre düzeneği,
- 5) Soğutma suyunun debisini ölçmeye yarayan bir lüle ve manometre veya rotametre düzeneği,
- 6) Eksoz gazlarının sıcaklığını ölçmeye yarayan bir termokupl termometre ve göstergesi,
- 7) Emme havası giriş, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmeye yarayan termometre ve göstergeler

bulunan bir deney sistemi kullanılmalıdır. Şimdi bu düzenekleri, gerekli büyüklüklerin ölçülmesi ve hesaplanması yollarını inceleyelim:

3.1 Yükleme Elemanları ve Momentin Ölçülmesi

Motor deneylerinde üretilen gücü yutan ve yüklemeyi sağlayan başlıca iki tür yükleme elemanı kullanılır.

3.1.1 Generatör ile Yükleme (Elektrik Dinamometresi)

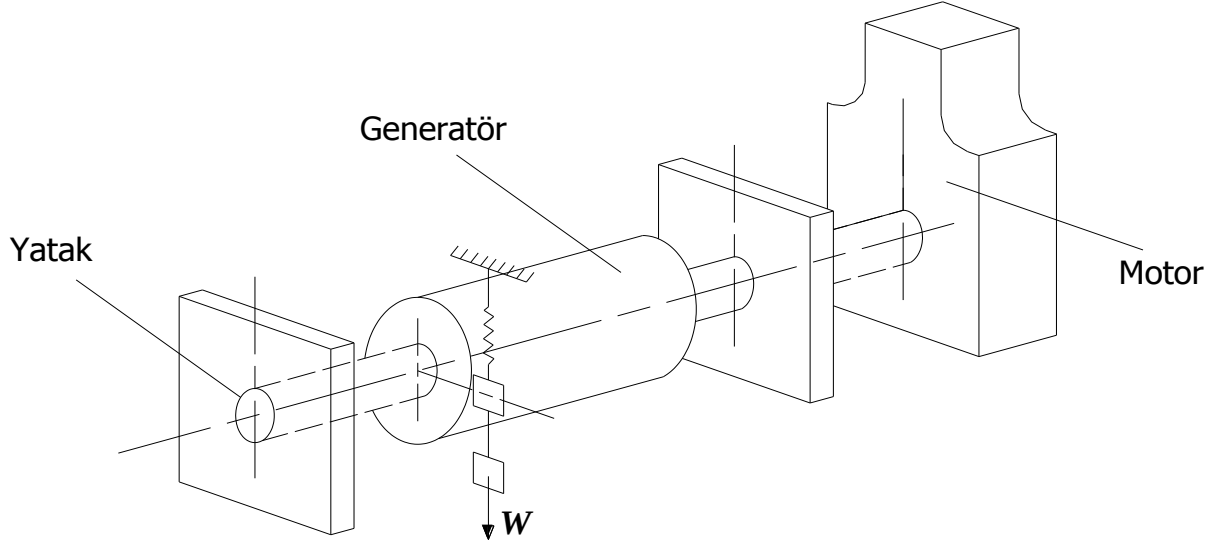
Motorun mili bir generatöre bağlanırsa, motorun ürettiği güç elektrik enerjisine çevrilmiş olur. Bu elektrik enerjisi paralel bağlı dirençlerde ısıya dönüştürülerek harcanabilir. Anahtarlarla kumanda edilen dirençlerden istenilen kadarı devreye sokularak motorun yükü ayarlanmış olur. Motor ile böyle bir dinamometrenin bağlantısı Şekil 1 ve Şekil 2’de şematik olarak gösterilmiştir.

Şekillerde görüldüğü gibi elektrik dinamometresinin rotoru denenecek motorun miline, statoru ise bir dengeleme düzeneğine bağlanmıştır. Dinamometre (generatör) çalışırken, yani elektrik üretirken statorda bir zıt elektromotor kuvvet oluşur ve stator rotorun dönme yönünde dönmek ister. Motorun mekanik gücü veya dinamometreden çekilen elektriksel güç arttıkça, etki eden döndürme momenti de büyür. Demek ki statorda bu şekilde oluşan moment; motor milindeki döndürme momentine eşittir. Dinamometrenin statoruna etki eden bu moment bir dengeleme sistemi ile dengelenebilir ve ölçülebilirse, motorun döndürme momenti belirlenmiş olur.

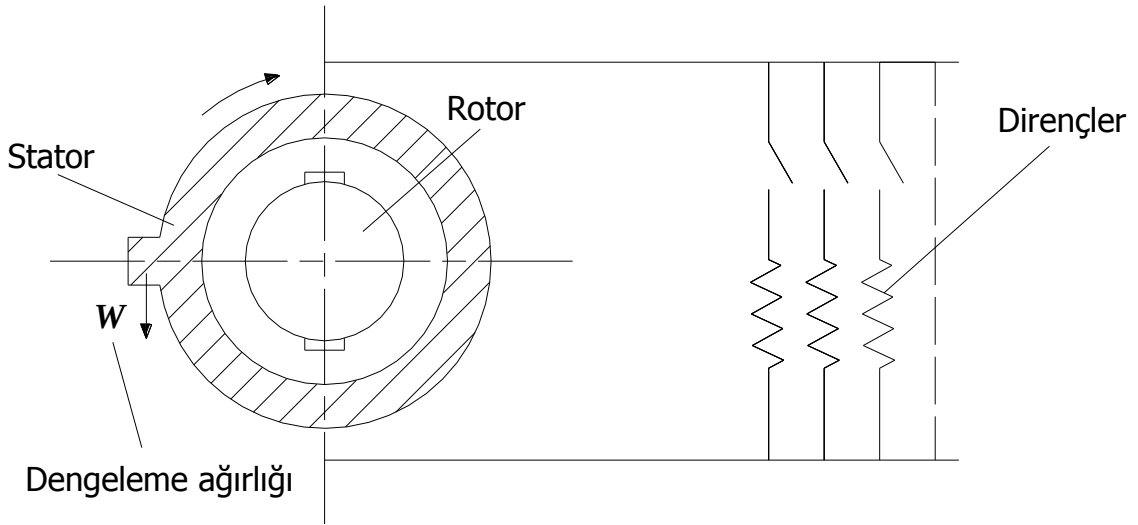
Bu amaçla stator, iki ucundan serbestçe dönmesine olanak sağlayan yataklar üzerine oturtulur. Öte yandan statora etki eden moment, bir ucu moment koluna bağlı ve diğer ucu

yere sabit olarak tutturulmuş bir yaylı terazi ve moment koluna asılan ağırlıklar tarafından dengelenir. Söz konusu bağlantının şekli Şekil 3b’de şematik olarak gösterilmiştir. Şimdi bu şekiller üzerinde motor dururken ve çalışırkenki kuvvet ve momentleri inceleyelim.

a) Motor dururken :



Şekil 1: Bir motor ve elektrik dinamometresinin bağlanması.



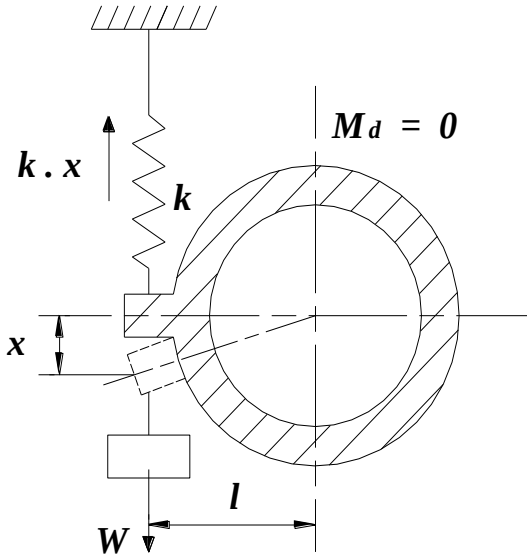
Şekil 2: Bir elektrik dinamometresi ve yükleme dirençlerinin şematik resmi.

Motor dururken döndürme momenti veya ona eşit olarak statora etki eden moment sıfırdır. Bu durumda moment koluna W ağırlığı asılmış ise; terazi yayı, yay katsayısı k olduğuna göre, $X = W / k$ kadar uzar. Yaylı terazi W ağırlığına karşı gelen bir rakamı gösterir. Denge durumunda aşağı doğru W ağırlık kuvveti, yukarı doğru kx yayın geri döndürücü kuvveti etki eder.

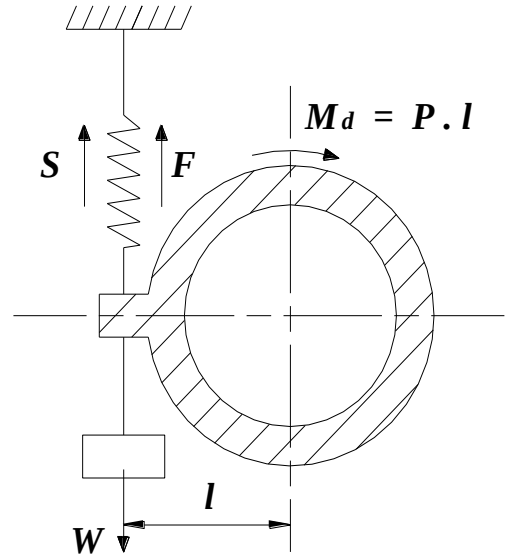
Motor çalışırken statora etki eden, motorun döndürme momentine eşit M_d momenti yaylı terazinin bağlı olduğu kuvvet kolunu döndürme momentinin büyüklüğüne bağlı olarak yukarı doğru bir miktar hareket ettirilir. Bu durumda terazi yayının etki ettirdiği geri döndürücü kuvvet, ibreden S olarak okunur. Denge durumunda sisteme etki eden kuvvetler.

aşağı doğru : W ağırlığı,

yukarı doğru : S geri döndürücü kuvveti ve statora etki eden M_d momentine karşı gelen F kuvveti



Şekil 3a: Motor dururken statora etki eden kuvvetler.



Şekil 3b: Motor çalışırken statora etki eden kuvvet ve momentler.

olur. Bu kuvvetler arasında

$$W = F + S$$

bağıntısı yazılabilir. Böylece motorun döndürme momenti, l moment kolu uzunluğu olmak üzere

$$F = W - S$$

$$M_d = F \cdot l \quad (3.1)$$

bağıntılarından kolaylıkla hesaplanır.

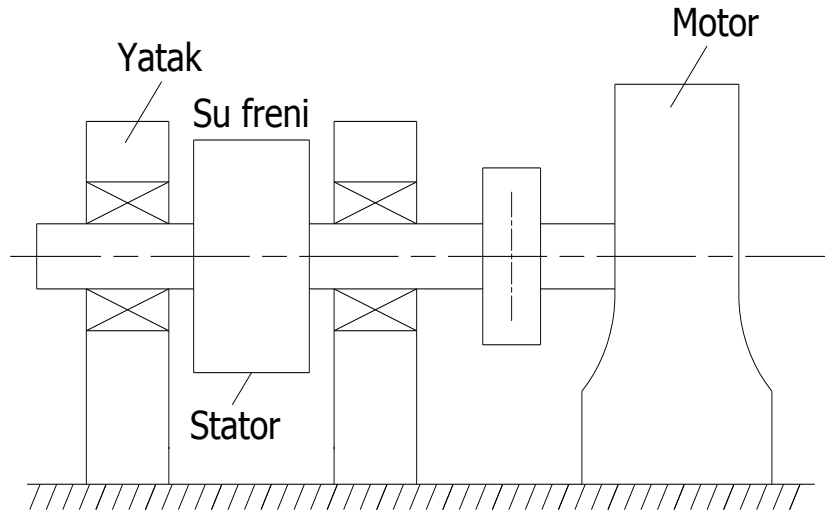
Motorun döndürme momenti, motor miline yapıştırılan ve uygun şekilde kalibre edilen strain-gage (streyngeyç) ler aracılığı ile de ölçülebilir.

3.1.2 Su Freni ile Yükleme

Motor deneylerinde yükleme ve moment ölçümü için uygulanan en yaygın yöntemlerden biri de su freni (hidrolik fren) dir. Hidrolik frenlerde genellikle sıvı olarak su kullanılır.

Su frenleri motor yüküne bağlı olarak çeşitli tiplerde yapılmakta ise de çalışma ilkeleri tümünde aynıdır. Su freni motor miline bağlı olarak dönen özel kanatlı bir rotor ve rotoru çevreleyen, yataklar üzerine oturtulmuş bir statordan oluşur. Statorun iç tarafında da kanatlar olabilir ve statora elektrik dinamometresindeki gibi bir moment ölçme düzeneği eklenir.

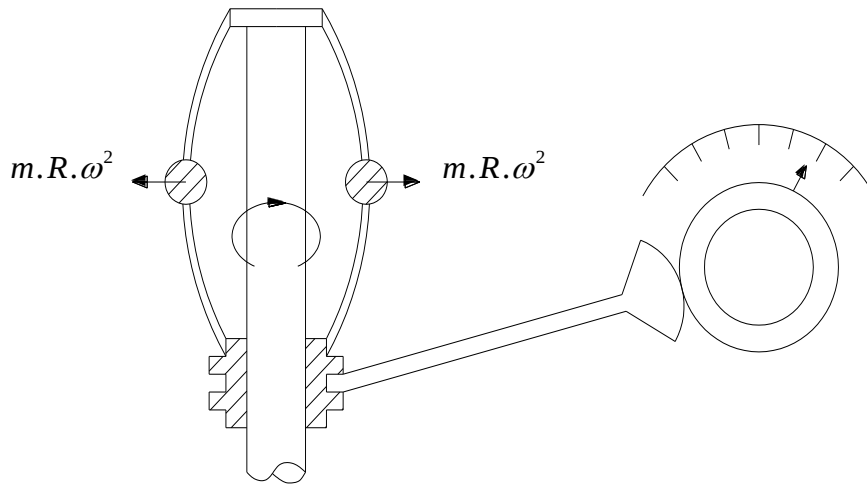
Şekil 5'te olduğu gibi statorun içi belirli bir düzeye kadar su ile doldurulur. Motor rotoru çevirmeye başladığında , rotorun kanatları suyu dışa doğru fırlatır ve çevrede girdap hareketleri yapan bir su tabakası oluşur. Böylece girdap, dönme hareketleri ve radyal hareketler gibi karmaşık hareketler yapan su bir taraftan ısınarak motorun ürettiği mekanik enerjiyi yutarken, öte yandan motorun döndürme momentine eşit bir momentle su freninin statorunu çevirmeye çalışır.



Şekil 4: Bir su freninin motora bağlanması.

3.2.1 Mekanik Takometreler

Mekanik takometrelerde takometrenin mili devir sayısı ölçülecek mile bağlanır. Dönme hareketinin yarattığı merkezkaç kuvvetinin etkisi ile, uygun şekilde yaylara bağlanmış dönen kütleler yanlara doğru açılır. Şekil 6’da böyle bir mekanik takometrenin şematik resmi görülmektedir. Devir sayısı arttıkça merkezkaç kuvvetler de artacağından, yukarıda sözü edilen kütlelerin açılma miktarı da artar. Uygun bir mekanizma ile bu hareket bir ibreye iletilerek, ibrenin sapma miktarı devir sayısını gösterecek şekilde kalibre edilir.



Şekil 6: Mekanik bir takometrenin şematik resmi

3.2.2 Optik Takometreler

Optik yolla devir sayısı ölçümü, gözün 1/20s’den daha kısa aralıkları olan olaylardaki süreksizliği fark edememesi özelliğine dayanır. Belirli aralıklarla ışık veren bir kaynak, üzerinde özel bir işaret bulunan dönen bir parçayı aydınlatsın. Dönen parçanın devir sayısına karşı gelen frekans ile ışık kaynağının çakma (ışık verme) frekansı eşit olduğunda, dönen cisim duruyormuş gibi görünür. Işık veren stroboskop’un çakma frekansı değiştirilebilsin ve bir göstergede okunabilsin. Bir cisim herhangi bir devirde dönerken stroboskop’un çakma frekansı değiştirilerek, cisim duruyormuş gibi gözüktüğündeki frekans belirlenir. Bu durumda cismin dönme frekansı ve stroboskop’un çakma frekansı birbirine eşittir. Buradan, stroboskop göstergesinden okunacak frekansa karşı gelen devir sayısı kolaylıkla bulunabilir.

3.2.3 Elektrikli Takometreler

Bir DC (doğru akım) veya AC (alternatif akım) generatörünün ürettiği elektrik akımının gerilimi devir sayısına bağlıdır. Bir generatör, devir sayısı değiştirilebilen ve başka bir ölçü cihazı ile ölçülebilen bir mile bağlansın. Çeşitli devir sayılarında generatörün çıkış gerilimi bir voltmetreden okunursa ve bu gerilimlere karşı gelen devir sayıları başka bir takometreden ölçülürse, generatör-voltmetre çifti kalibre edilmiş olur. Daha sonra aynı generatör, devir sayısı bilinmeyen dönen bir mile bağlandığında, kalibre edilmiş voltmetreden doğrudan doğruya devir sayısı ölçülebilir. Motor deney düzeneklerinde genellikle bu tür elektrikli takometreler kullanılır.

3.3 Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi

Bir motorun birim zamanda (örneğin 1 saatte) harcadığı yakıtın kütlesi $B [kg / h]$ olarak bilinirse, özgül yakıt tüketimi;

$$b_e = \frac{B}{N_e} \left[\frac{Kg \text{ yakıt}}{KWsaat} \right] \quad (3.2)$$

bağıntısından bulunabilir.

Bu amaçla motorun yakıt donanımına eklenen ölçekli bir kaptaki yakıtın kaç saniyede harcandığı bir kronometre ile ölçülür. Örneğin $\Delta v [cm^3]$ yakıt $\Delta t [s]$ 'de harcanmışsa, 1 saat'te motorun tüketeceği yakıtın kütlesi,

$$B = \frac{\Delta v \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{\Delta t} \rho_{yakıt} \left[\frac{kg \text{ yakıt}}{saat} \right] \quad (3.3)$$

olur. Yakıt yoğunluğu olarak,

$$\text{Dizel yakıtı için} \quad : \quad \rho_{yakıt} = 0,81 gr / cm^3 = 0,81 kg / lt$$

$$\text{Benzin için} \quad : \quad \rho_{yakıt} = 0,735 gr / cm^3 = 0,735 kg / lt$$

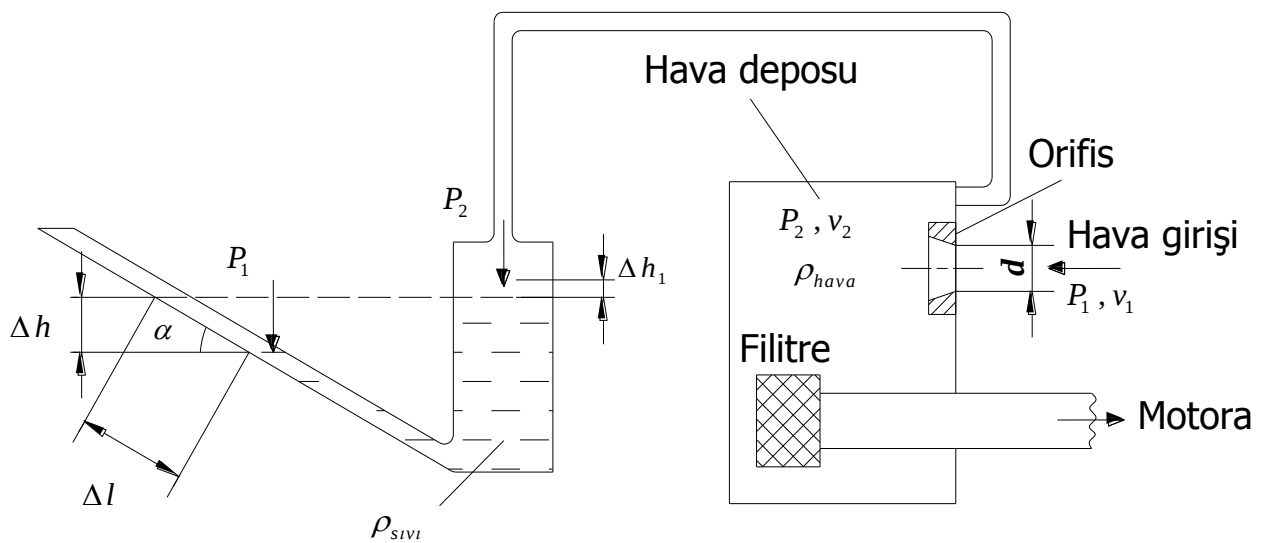
alınabilir. Motorun 1 saat'te tükettiği yakıt böylelikle bulunduğundan sonra özgül yakıt tüketimi (3.2) bağıntısından hesaplanır. Son zamanlarda motor deney düzeneklerinde yakıt tüketimini ağırlık esasına göre ölçmeyi sağlayan sistemler de kullanılmaktadır.

3.4 Hava Debisinin Ölçülmesi

Motor deneylerinde hava fazlalık katsayısının hesaplanabilmesi için motorun emdiği havanın debisi bilinmelidir. Motor düzeneklerinde emme havasının debisi, genellikle, emme sistemine eklenen bir orifis ve manometre sistemi ile ölçümlüktedir. Bu amaçla kullanılan deney düzeneği Şekil 7'de şematik olarak verilmiştir.

Bir iş periyodunun yalnızca bir strokunda emme yapıldığından, özellikle tek silindirli dört zamanlı motorlarda emilen havanın akımında süreksizlikler, titreşimler görülür. Bu titreşimlerin etkisini azaltmak için motorun emme sistemine büyük bir hava deposu eklenir. Hava bu depoya keskin kenarlı bir orifisten geçerek girer. Orifisin çapı, deney motorunun her türlü çalışma koşullarına uygun hava gereksinimini karşılayacak şekilde seçilmelidir. Orifisteki basınç düşüşünü ölçmek üzere orifis girişine bir manometre bağlanır. Böylece orifisteki basınç düşüşü eğik manometrede yükseklik değişimi olarak okunur. Buradan, Bernoulli kanunu uygulanarak orifisten geçen havanın hızı hesaplanabilir.

Orifis girişindeki hava basıncı P_1 , hava hızı v_1 ve hava deposu tarafındaki hava basıncı P_2 , hava hızı v_2 ise, Bernoulli kanunundan v_2 hava hızı ;



Şekil 7: Emme havasının debisini ölçmek için bir orifis-eğik manometre düzeneği

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot H_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot H_2$$

$\rho_1 \cong \rho_2 \cong \rho_{hava}$: ortam koşullarında havanın yoğunluğu,

$H_1 \cong H_2$

$P_1 = P_0$: açık hava basıncı,

$v_1 \cong 0$

$$\frac{P_1}{\rho_h} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_h}} \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilir. Orifisteki $(P_1 - P_2)$ basınç düşüşü bir eğik borulu sıvılı manometre aracılığı ile belirlenebilir. Şekilde görüldüğü gibi manometrenin bir ucu hava deposuna, eğik ucu da ortam havasına açılmaktadır.

Manometrenin hava deposuna bağlanan bölümünün kesiti, eğik bölümünün kesitine göre çok büyük yapılır. Motor çalışırken manometrenin hava deposu tarafına P_2 , eğik tarafının ucuna $P_1 = P_0$ ortam basıncı etki eder. $(P_1 - P_2)$ basınç farkı nedeni ile eğik uçtaki sıvı aşağı doğru hareket eder. Manometrenin diğer kolu çok büyük kesitli yapıldığından, eğik kolda Δh yükseklik değişimi görüldüğünde diğer kolda $\Delta h \cong 0$ yükseklik değişimi olur. Çünkü,

$$\Delta h \cdot A = \Delta h_1 \cdot A_1$$

$$\Delta h_1 = \Delta h \frac{A}{A_1}$$

$A \ll A_1$ olduğundan

$$\Delta h_1 \cong 0$$

alınabilir. Demek ki basınç farkı için

$$P_1 - P_2 = \Delta h \cdot \rho_{sivi} \cdot g$$

yazılabilir. Burada

ρ_{sivl} : eğik manometredeki sıvının yoğunluğunu,

g : yerçekimi ivmesini

göstermektedir. Manometrenin eğik kolunun yatayla yaptığı açı α ve eğik uçtaki sıvının sapması Δl ise,

$$\Delta h = \Delta l \cdot \sin \alpha$$

$$P_1 - P_2 = \Delta l \cdot \rho_{sivl} \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (3.5)$$

elde edilir.

Uygulamada kullanılan eğik manometrelerde, manometrenin eğik kolu üzerine eklenen uygun ölçekli bir cetvelden $\Delta l \cdot \rho_{sivl} \cdot g \cdot \sin \alpha$ çarpımı doğrudan doğruya $\Delta h [mmSS]$ olarak okunur. Böylece bu tür manometrelerde okunacak sapma $(P_1 - P_2)$ basınç farkını mmSS (mm su sütunu) olarak verir. Fakat bu durumda manometreye üzerinde yazılı yoğunluktaki bir sıvı (genellikle renkli ispiroto) doldurulmalıdır. Eğer farklı yoğunlukta bir sıvı kullanılırsa

$$\Delta h' = \frac{\rho'_{sivl}}{\rho_{sivl}} \Delta h [mmSS] \quad (3.6)$$

alınmalıdır. Burada

ρ'_{sivl} : manometreye konulan sıvının yoğunluğu

ρ_{sivl} : manometrenin ölçeklendirildiği sıvının yoğunluğu (manometrenin üzerinde yazılı olur) dur. Buradan, uygun birimler kullanılarak emilen havanın v_2 hızı

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{su} \cdot g}{\rho_h}} [m/s]$$

$$\rho_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_h [kg/m^3]$$

şeklinde elde edilir.

Orifisin çapı $d [m]$ ise ve Reynolds sayısına bağlı bir C_D orifis katsayısı da göz önüne alınırsa orifisten geçen, yani motorun emdiği havanın debisi,

$$\dot{m}_h = v_2 \cdot C_D \cdot A_O \cdot \rho_h$$

$$\dot{m}_h = C_D \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_h \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h \cdot 10^{-3} \cdot \rho_{su} \cdot g}{\rho_h}}$$

$$\begin{aligned} \rho_{su} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ C_D &= 0,6 \end{aligned}$$

$$\dot{m}_h = 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta h \cdot g \cdot \rho_h}$$

$$\dot{m}_h = 2,0873 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\Delta h \cdot \rho_h} \quad [kg/s] \quad (3.7)$$

olur. ρ_h hava yoğunluğu dış ortam koşullarına bağlıdır. Dış ortamda basınç P_0 [mmHg], sıcaklık T [K] ise, gazların genel denkleminde

$$P_0 V_0 = m R T_0$$

$$R = 8314,34 \left[\frac{J}{Kmol \cdot K} \right] = \frac{8314,34}{28,97} \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$R = 287 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$\rho_h = \frac{m}{V_0} = \frac{P_0}{R \cdot T_0} \quad (3.8)$$

$$\rho_h = \frac{P_0 \cdot 10^{-3} \cdot 13,6 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \cdot 9,81}{287 \cdot T_0}$$

yazılır. Örneğin

$$P_0 = 772,5 \text{ mmHg}$$

$$T_0 = 18 + 273 = 291. \text{ K}$$

ise

Belirli bir akım durumunda topaca; yukarı doğru sıvının direnç kuvveti ve kaldırma kuvveti, aşağı doğru ise topacın ağırlık kuvveti etki eder. Denge oluştuğunda;

$$F_d + \rho_s \cdot V_t \cdot g = \rho_t \cdot V_t \cdot g \quad (3.9)$$

yazılabilir. Burada sıvının topaca uyguladığı direnç kuvveti

$$F_d = \frac{1}{2} C_D \cdot A_t \cdot \rho_s \cdot u_m^2 \quad (3.10)$$

dir. Ayrıca

- ρ_s : sıvının yoğunluğu,
- V_t : topacın hacmi,
- ρ_t : topaç malzemesinin yoğunluğu,
- C_D : topacın direnç katsayısı,
- A_t : topacın sıvı akımına dik en büyük kesit alanı ve
- u_m : topaç ile silindir arasındaki akımın ortalama hızı

dır.

Yukarıdaki (3.9) denge bağıntısından direnç kuvveti çekilerek (3.10) ifadesinde yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa, ortalama akımın hızı;

$$u_m = \frac{2}{C_D} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot V_t}{A_t} \cdot \left(\frac{\rho_t}{\rho_s} - 1 \right)}$$

olur. Bu durumda topaç ile silindir arasından u_m hızı ile geçen sıvının debisi

$$\dot{m} = u_m \cdot A \cdot \rho_s$$

şeklinde kolaylıkla bulunabilir. Burada

$$A = \frac{\pi}{4} \left[(D + a \cdot y)^2 - d^2 \right]$$

α : silindirin konikliğine bağlı bir katsayı

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 + 2 \cdot D \cdot a \cdot y + a^2 y^2 - d^2)$$

$D - d$ çok küçük olduğundan,

$$D^2 + a^2 y^2 - d^2 \cong 0$$

alınabilir. Böylece

$$A = \frac{\pi}{4} 2.D.a.y$$

$$\dot{m}_s = \frac{\pi}{2}.D.a.y.\rho_s \cdot \sqrt{\frac{2}{C_D} \cdot \frac{g.V_t}{\frac{\pi}{4}.d^2}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_s} - 1}$$

$$c_1 = \frac{\pi}{2}.D.a \cdot \sqrt{\frac{8}{C_D} \cdot \frac{g.V_t}{\pi.d^2}} = \text{sabit}$$

$$\dot{m}_s = c_1.y \cdot \sqrt{\rho_s(\rho_t - \rho_s)} \quad [kg/s] \quad (3.11)$$

bağıntısı bulunur. Buradan görüldüğü gibi, rotametreden geçen sıvının debisi, topacın y yükselme miktarı ile yaklaşık olarak doğru orantılıdır.

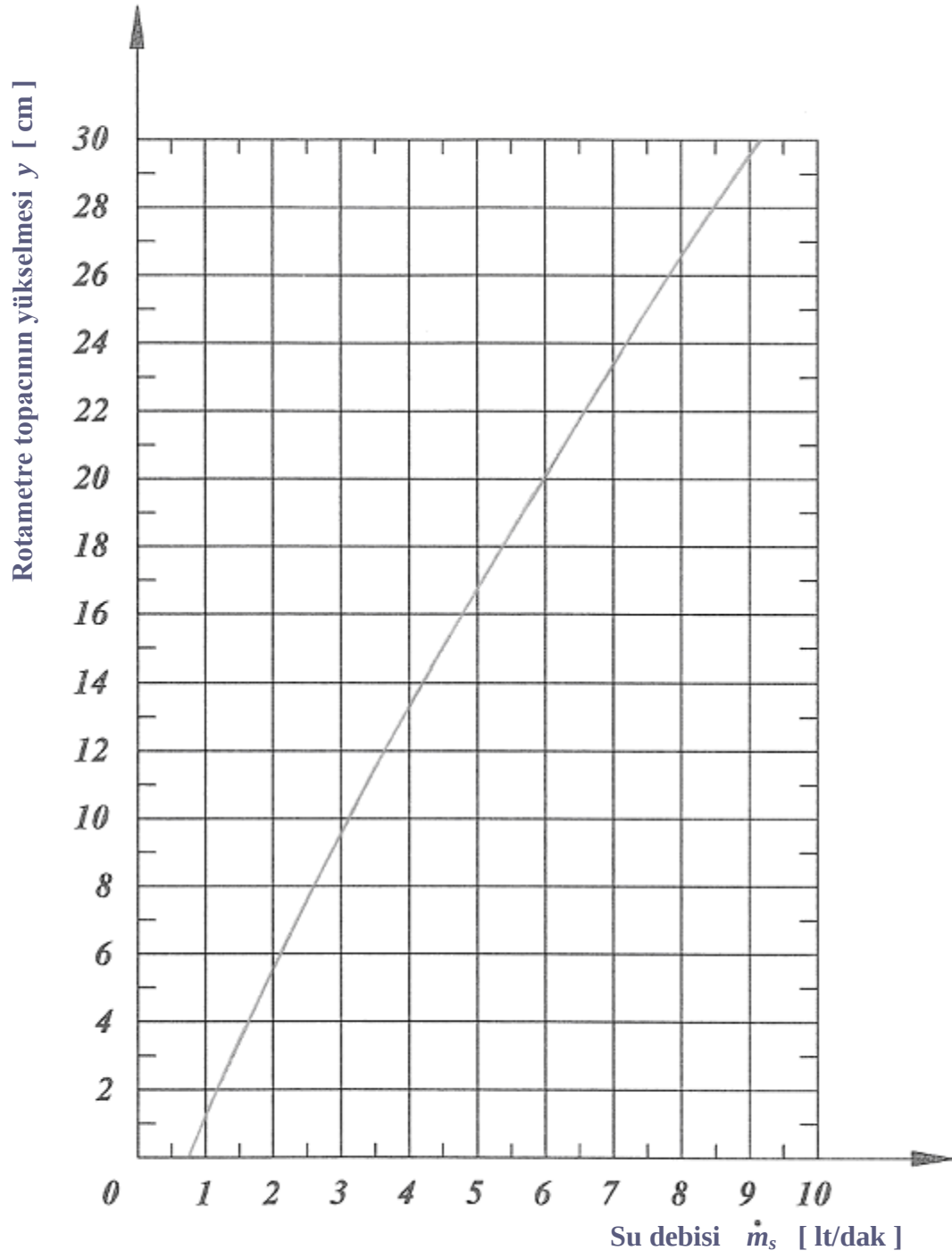
Rotametre yapımcıları debiyi, y [cm] yükselmesine bağlı olarak doğrudan doğruya veren kalibrasyon eğrileri verirler. Motor deneylerinde de $\dot{m}_s$ soğutma suyu debisi, topacın okunan yükselme miktarından, bu tür kalibrasyon eğrisi kullanılarak bulunmaktadır. Böyle bir kalibrasyon eğrisi Şekil 9'da gösterilmiştir.

4. TEK SİLİNDİRLİ, DEĞİŞKEN SIKIŞTIRMA ORANLI MOTOR DENEY DÜZENEGİ

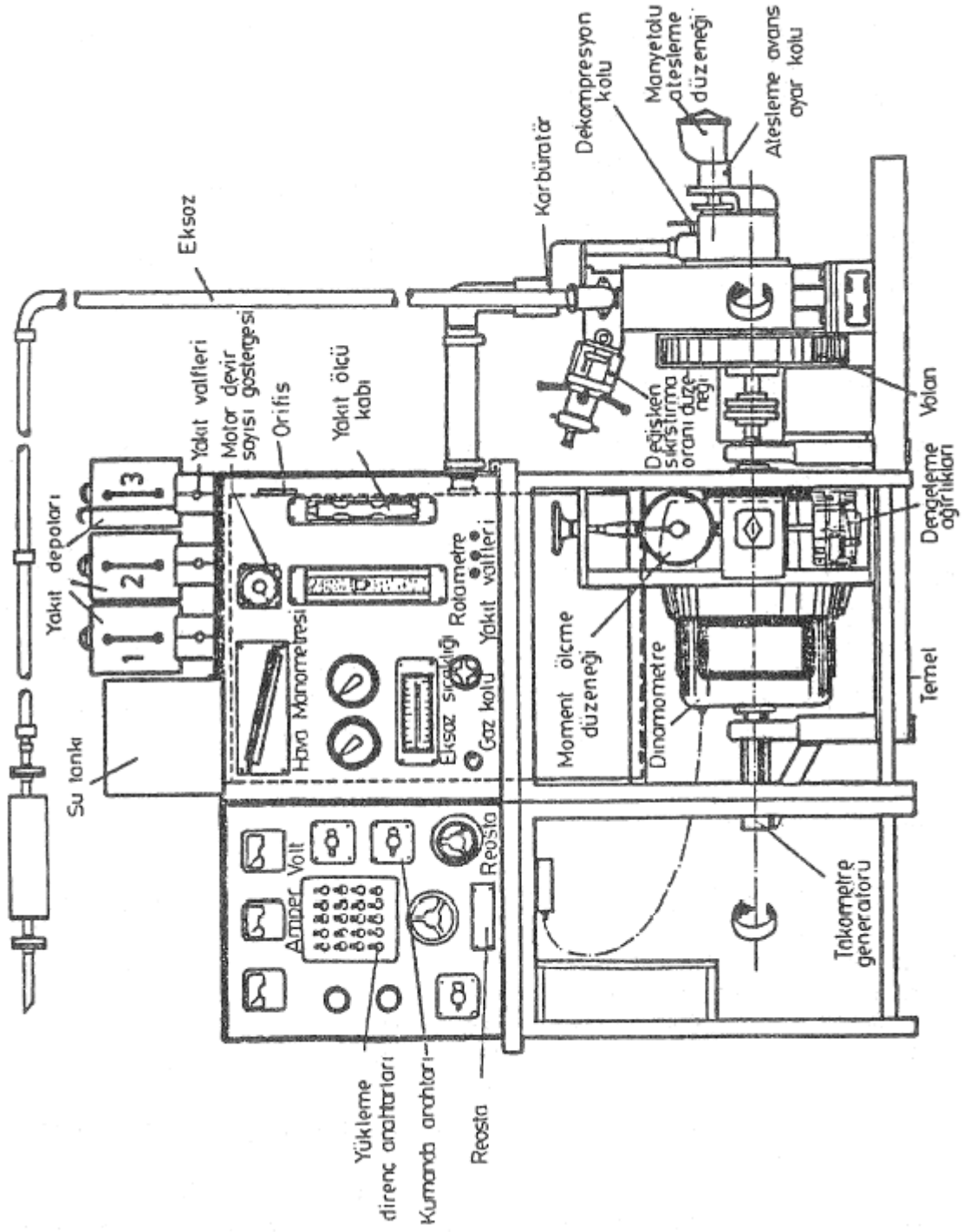
Burada örnek olarak, K.T.Ü. Makine laboratuvarı Motor Deney'lerinde kullanılan Teckuipment firmasının üretmiş olduğu, Tek silindirli, Değişken Sıkıştırma Oranlı Motor Deney Düzeneği tanıtılacaktır. Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 10'da görülmektedir. Deney düzeneğinin ve ana elemanlarının genel özellikleri aşağıda kısaca sıralanmıştır.

4.1 Motor

Deney motorunun kafası değiştirilerek benzin veya dizel motoru olarak çalışması sağlanabilmektedir. Ayrıca motor kafasında bulunan vidalı silindirik bir parçanın çevrilerek



Şekil 9: Bir rotametrenin kalibrasyon eğrisi.



Şekil 10: Deney düzeneğinin genel görünüşü.

yanma odasına sokulup çıkarılması sonunda sıkıştırma oranı ($7,5 \div 24,5$) aralığında ayarlanabilmektedir.

Deney motoru tek silindirli, dört zamanlı ve su soğutmalıdır. Sıkıştırma oranı 22 iken (dizel motoru durumunda) 1800 d / dak'da $\approx 6,6$ KW (9 BG) güç üretebilmektedir. Silindir çapı 90 mm, strok uzunluğu 120 mm ve strok hacmi $763,4 \text{ cm}^3$ (= 0,763 lt)dir. Dönme yönü, volan tarafından bakıldığında saat ibrelerinin tersi yönündedir. Motor, benzin motoru olarak çalıştırılmak istendiğinde emme sistemine bir karbüratör eklenmekte ve manyetolu bir ateşleme düzeneği kullanılmaktadır. Motor, dizel motoru olarak çalıştırıldığında ise yakıt bir püskürtme pompası ile enjektöre gönderilmektedir.

Motorun ilk hareketinde volan ve diğer hareketli elemanların kolaylıkla kinetik enerji kazanabilmeleri için bir dekompresyon kolu kullanılmaktadır. Dekompresyon kolu ileriye itilip tutulduğunda eksoz subabı sürekli açık kalır, sıkıştırma yapılmaz. Böylece ilk harekette motorun kolaylıkla hızlanması sağlanmış olur.

4.2 Elektrik Dinamometresi

Motor miline bağlı bir elektrik makinası; yapılan kumandaya bağlı olarak deneyin başlangıcında marş motoru, daha sonra ise motoru yüklemeye yarayan generatör görevini yapmaktadır.

Söz konusu elektrik makinası, marş motoru olarak çalıştığında gerekli doğru akım şebekedeki alternatif akımın bir redresör tarafından doğru akıma çevrilmesi ile sağlanır. Ateşleme başladıktan, yani motor çalıştıktan sonra kumanda anahtarı generatör konumuna getirilerek elektrik makinasının bir generatör olarak görev yapması sağlanır. 3. bölümde açıklandığı gibi; generatör çıkışına bağlı bir dizi direncin devreye sokulup çıkartılması ile motor istenilen şekilde yüklenir. Ayrıca generatörün statoruna bağlı olan yaylı terazi ve ağırlık düzeneği aracılığı ile motorun milindeki döndürme momenti belirlenir.

4.3 Ölçü Aletleri ve Kumanda Panosu

Ölçü aletleri ve kumanda panosu hava, yakıt, su ve eksoz ile ilgili ölçü göstergelerini ve kumanda elemanlarını bulundurur. Ölçü cihazları 3. bölümde ayrıntılı şekilde açıklanmış olan ölçme işlemlerini gerçekleştirir. Söz konusu ölçü ve kumanda cihazları şunlardır.

- Yakıt tüketimini belirlemeye yarayan ölçekli, şeffaf bir kap,
- Soğutma suyu debisini belirlemeye yarayan rotametre,
- Soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları termometrelerinin göstergeleri,

- Eksoz sıcaklığı termometresinin göstergesi,
- Generatörün ürettiği elektrik akımının gerilim ve şiddetini gösteren bir voltmetre ve ampermetre,
- Dışarıdan sağlanan elektrik akımının gerilimini gösteren bir voltmetre,
- Motora dizel yakıtı, benzin veya süper benzin göndermeyi sağlayan yakıt valfleri,
- Gaz kolu,
- Elektrik makinasını motor veya generatör olarak çalıştırmayı sağlayan kumanda anahtarı,
- Motoru yükleyen dirençleri devreye sokup çıkarmaya yarayan anahtarlar.

Motoru yüklemeyi sağlayan direnç telleri motor kumanda panosunun arkasında bulunmaktadır.

5. DENEY DÜZENİĞİNİN ÇALIŞTIRILMASI

Deney düzeneğinin çalıştırılması ve deney süresince yapılacak başlıca işlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Deney motoru çalıştırılmadan önce yağlama yağı ve soğutma suyu kontrol edilir. Eksiklik varsa giderilir. Ayrıca yakıt valfi açılarak ölçekli kabın yakıtla dolması sağlanır.
- 2) Değişken sıkıştırma oranı düzeneği aracılığı ile sıkıştırma oranı belirli bir değere ayarlanır. Sıkıştırma oranı, benzin motoru olarak çalıştırmada (7,5÷11,5) aralığında, dizel motoru olarak çalıştırmada (14 ÷ 24) aralığında seçilir.
- 3) Şebekeden elektrik akımının gelmesini sağlayan ana şalter ve bu alternatif akımı doğru akıma çevirmeyi sağlayan redresörün şalteri kapatılır.
- 4) Elektrik dinamometresinin kumanda anahtarı “ Off ” tan “Motor” konumuna çevrilir. Böylece elektrik dinamometresi marş motoru olarak görev yapar ve motoru çevirmeye başlar. Bu işlem yapılırken başlangıçta dekompresyon kolu ileri doğru itilerek tutulur ve böylece sıkıştırma olmadan motorun kolayca hız kazanması sağlanır.
- 5) Motor hızlanıp yaklaşık 200 d / dak hızına ulaştıktan sonra dekompresyon kolu bırakılır. Gaz kolu yarım gaz konumuna getirilir. Bu anda ateşleme veya püskürtme başlar ve motor çalışır duruma geçer.
- 6) Motor çalışmaya başlayınca kumanda anahtarı önce “Motor”dan “ Off ” konumuna ve daha sonra “Generatör” konumuna çevrilir. Böylece çalışmakta

yani güç üretmekte olan motor generatörü çevirmiş ve motorun ürettiği mekanik enerji generatörde elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur.

- 7) Daha önceden de açıklandığı gibi, generatörün ürettiği elektrik enerjisi kumanda panosunun arkasında bulunan ve panodaki bir dizi anahtarla devreye sokulup çıkarılabilen elektrik dirençlerinde ısıya dönüştürülerek harcanır. Panodaki anahtarlar uygun şekilde kapatılarak ve gaz kolu ayarlanarak motorun devir sayısı ve yüklenmesi istenildiği gibi değiştirilir. Burada deney türüne göre uygun ayarlama yapılmalıdır.

a) Sabit gaz durumunda deney (Taşıt motorları deneyi): Devreye daha fazla direnç sokulursa motorun yüklenmesi artacağından devir sayısı düşer, veya tersine olarak başlangıçta motor tam yüklenir, yani ilk ölçümler en düşük devir sayısında yapılır. Daha sonra dirençler aşama aşama devreden çıkarılarak motorun yükü azaltılır ve devir sayısının artması sağlanır.

b) Sabit devir sayısında deney (Stasyon motor deneyi): Motor boşta çalışırken gaz kolu ayarlanarak istenilen devire gelmesi sağlanır. Daha sonra motor biraz yüklenir ve gaz da, devir sayısını baştaki değere getirecek şekilde biraz arttırılır. Bu işlem yükleme adım adım arttırılarak tekrarlanır ve her durumda devir sayısının sabit kalması sağlanarak gerekli ölçümler alınır. Böylece motorun sabit devir sayısında değişik yükleme durumlarında denenmesi gerçekleştirir.

c) Motor geliştirme deneyleri: Geliştirme deneyi yapılıyorsa sabit gaz durumunda motorun incelenecek olan teknik özelliğinin (örneğin sıkıştırma oranının) çeşitli değerleri için yükleme durumu ayarlanarak devir sayısının sabit kalması sağlanır. Bu yolla değişik sıkıştırma oranlarında ve sabit devir sayısında çeşitli büyüklükler deneysel olarak belirlenir.

- 8) Motor deneyi süresince ölçülecek büyüklükler: Genel olarak açıklanan ölçümlerin tümü yukarıda tanıtılan deney düzeneğinde yapılabilmektedir. Deneyin her adımında ölçülecek büyüklükler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a. Elektrik dinamometresine bağılı yaylı teraziden S [N] kuvveti ve teraziye asılan W [N] ağırlığı,
- b. Δv [cm³] yakıtın Δt [s] harcanma süresi,
- c. Rotametrenin y [cm] yükselmesi,
- d. Eğik manometredeki sıvının Δh [mm] sapması,
- e. Soğutma suyunun t_g [°C], t_c [°C] giriş, çıkış sıcaklıkları,
- f. Eksoz gazlarının t_e [°C] sıcaklığı,
- g. Direnç tellerindeki akımın V , I gerilim ve şiddeti,
- h. Motorun n [d / dak] devir sayısı.

6. DENEY SONUNDA HESAPLARIN YAPILMASI

Deney süresince her adımda yukarıdaki büyüklükler ölçüldükten sonra, gerektiğinde kalibrasyon eğrileri de kullanılarak, motorun çeşitli karakteristikleri aşağıdaki gibi belirlenebilir:

1) Döndürme Momenti (M_d [N.m]) :

Elektrik dinamometresine bağılı yaylı teraziden S [N] kuvveti okunduktan sonra, teraziye asılı W [N] ağırlığı da bilindiğine göre, bu duruma karşı gelen döndürme momenti (3.1) bağıntısından

$$M_d = F \cdot l$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada;

$$F = W - S$$

ve kullanılan deney düzeneğindeki moment kolu uzunluğu

$$l = 0,3 [m]$$

dir.

2) Efektif Güç (N_e [KW]) :

n [d / dak] devir sayısı ve M_d [N.m] döndürme momenti bu şekilde bilindiğine göre, efektif güç

$$N_{e,1} = \frac{M_d \cdot w}{1000} [KW] = 0,001359 \cdot M_d \cdot w [BG]$$

$$w = \frac{\pi \cdot n}{30} \left[\frac{1}{s} \right]$$

bağıntısından bulunur. Motor deneyinin yapıldığı P_0 , T_0 dış ortam koşulları ve havanın nemi motor performansını etkileyebilir. Farklı koşullarda yapılan motor deneylerinin sonuçlarının birbiriyle sağlıklı biçimde karşılaştırılabilmesi için standart koşullara dönüştürülmeleri ve nem açısından düzeltilmeleri gerekir.

Standart atmosfer koşulları : **20 °C ; 1,013 . 10⁵ Pa**

Deney yapılırkenki koşullar : **P_0 [MPa] ; T_0 [°K]**

olduğuna göre , deney sonunda belirlenen $N_{e,1}$ efektif gücü, benzin motorları için

$$N_{e,2} = N_{e,1} \cdot \frac{0,1013}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{T}{293}} ,$$

dizel motorları için

$$N_{e,2} = N_{e,1} \cdot \frac{0,1013}{P_0} \cdot \frac{T}{293}$$

bağıntısı kullanılarak standart koşullara düzeltilebilir.

Ayrıca deney yapılırkenki bağıl nem w_b ve kuru termometre sıcaklığı t_k veya; kuru ve yaş termometre sıcaklıkları t_k ve t_y şeklinde ölçülmüşse, Şekil 11’de verilen eğri kullanılarak x_{nem} nem düzeltme katsayısı belirlenebilir. Böylece standart koşullara dönüştürülmüş ve nem düzeltmesi uygulanmış efektif güç

$$N_{e,2} = N_{e,2} \cdot x_{nem}$$

olur.

3) Ortalama Efektif Basıncı (P_{me} [MPa]) :

Efektif güç, devir sayısı ve motorun diğer özellikleri bilindiğine göre;

$$N_e = \frac{P_{me} \cdot V_H \cdot Z \cdot n}{k \cdot 60}$$

bağıntısı kullanılarak ve

$$\begin{aligned}
V_H &= 763,4 \text{ [cm}^3\text{]} = 0,7634 \text{ [lt]} \\
Z &= 1 \\
k &= 2
\end{aligned}$$

alınarak,

$$P_{me} = \frac{120}{0,7634 \cdot 1} \cdot \frac{N_e}{n}$$

$$P_{me} = 157,1915 \cdot \frac{N_e}{n} \text{ [MPa]}$$

dan hesaplanır.

4) Özgül Yakıt Tüketimi (b_e [kg yakıt / KW . saat]) :

$\Delta v \text{ [cm}^3\text{]}$ yakıtın $\Delta t \text{ [s]}$ harcanma süresi bilindiğine göre, saatlik toplam yakıt tüketimi (3.3) bağıntısından

$$B = \frac{\Delta v \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{\Delta t} \cdot \rho_{yakıt} \text{ [kg yakıt / saat]}$$

şeklinde hesaplanır ve buradan özgül yakıt tüketimi

$$b_e = \frac{B}{N_e}$$

olarak bulunur.

Psikrometrik Diyagram

(Basınç 101,3 kPa = 1013 m bar = 760 mm Hg)

t = Kuru termometre sıcaklığı

tv = Yaş termometre sıcaklığı

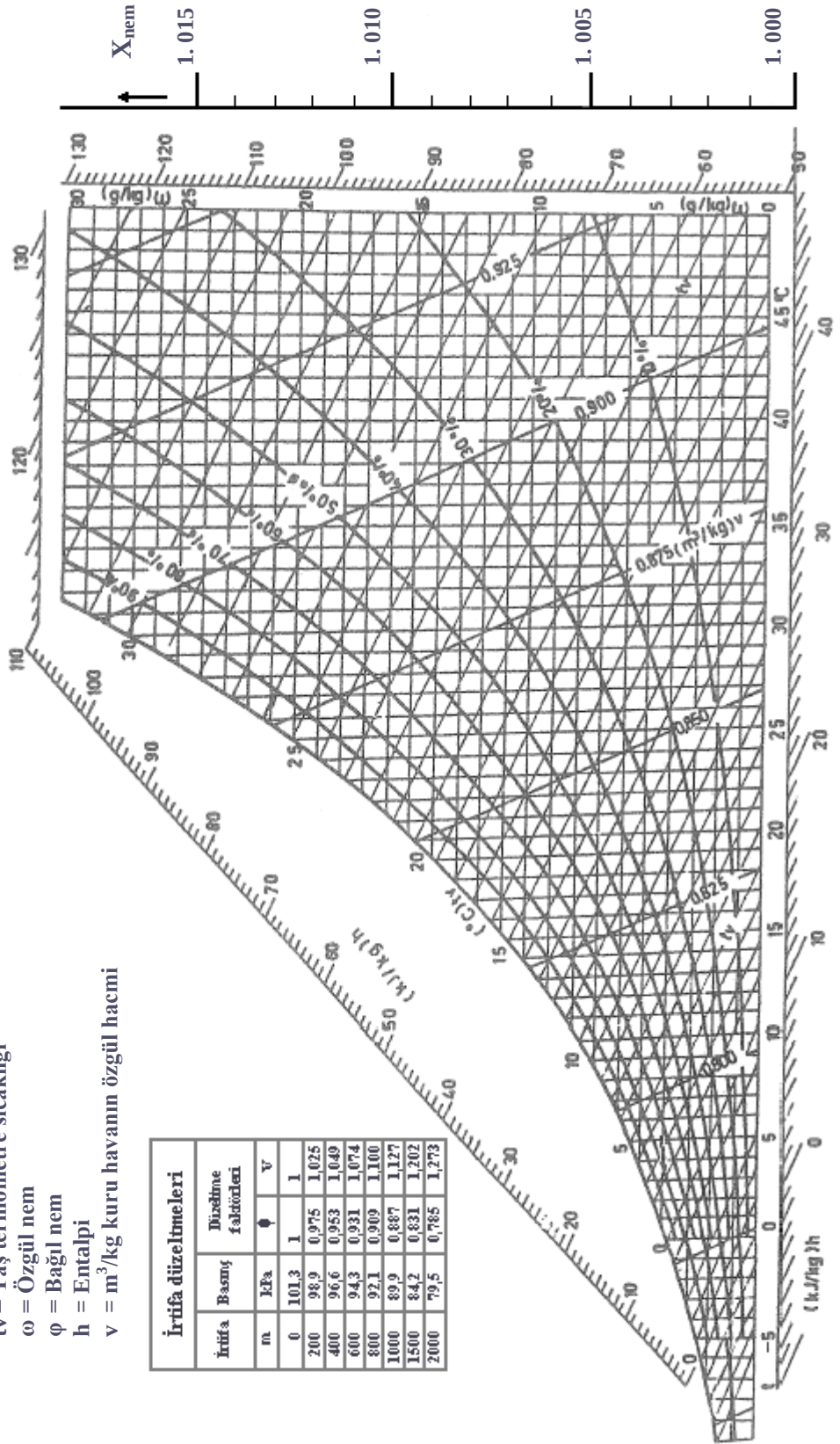
ω = Özgül nem

ϕ = Bağıl nem

h = Entalpi

v = m³/kg kuru havanın özgül hacmi

İrtifa düzeltmeleri			
İrtifa	Basınç	Düzeltilme faktörleri	
m	kPa	ϕ	v
0	101,3	1	1
200	98,9	0,975	1,025
400	96,6	0,953	1,049
600	94,3	0,931	1,074
800	92,1	0,909	1,100
1000	89,9	0,887	1,127
1500	84,2	0,831	1,202
2000	79,5	0,785	1,273



Şekil 11: Motor deneylerinde x_{nem} nem düzeltme katsayısı.

5) Efektif Verim (η_e) :

Özgöl yakıt tüketimi ile efektif verim arasındaki bilinen bağıntı kullanılarak, özgül yakıt tüketimi

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot b_e}$$

Benzin için : $H_u = 43930$ [kJ / kg]

Dizel yakıt için : $H_u = 42440$ [kJ / kg]

den hesaplanır.

6) Hava Fazlalık Katsayısı (α) :

Motora emilen havanın debisi, eğik manometredeki yükseklik değişimi Δh [mmSS] olarak okunduktan sonra, deney anındaki ortam sıcaklığı ve basıncı T_0 [K] ve P_0 [mmHg] olarak bir termometre ve bir barometreden ölçülürse; (3.7) ve (3.8) bağıntılarından

$$\dot{m}_h = 2,0873 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\Delta h \cdot \rho_{hava}} \quad [kg/s]$$

$$\rho_{hava} = \frac{P_0 \cdot 13,6 \cdot 9,81}{287 \cdot T_0} \quad [kg/m^3]$$

hesaplanır. Kullanılan deney düzeneğindeki orifisin çapı $d = 0,25$ [m] ve eğik manometredeki sıvının yoğunluğu $0,784$ gr / cm³ olarak belirtilmiştir. Manometreye doldurulan renkli ispirtonun yoğunluğu da ölçülmüş ve aynı değerde çıkmıştır.

Bir saatte harcanan toplam yakıt B olarak bilindiğine göre hava fazlalık katsayısı

$$\alpha = \frac{h}{h_{min}}$$

$$h = \frac{\dot{m}_h \cdot 3600}{B} \frac{[kg \text{ hava} / \text{saat}]}{[kg \text{ yakıt} / \text{saat}]} = \frac{\dot{m}_h \cdot 3600}{B} \left[\frac{kg \text{ hava}}{kg \text{ yakıt}} \right]$$

Benzin için : $h_{\min} = 14,957$ [kg hava / kg yakıt]

Dizel yakıt için : $h_{\min} = 14,452$ [kg hava / kg yakıt]

bağıntısından bulunur.

7) Soğutma Suyuna Giden Isı Oranı ($Q_{su} / Q_{yakıt}$) :

Soğutma suyunun debisi $\dot{m}_{su}$, rotametrenin y [cm] yükselmesine bağlı olarak kalibrasyon eğrisinden [lt / dak] cinsinden bulunduktan sonra, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları ilgili termometreden okunduğuna göre, soğutma suyuna giden ısı

$$Q_{su} = \dot{m}_{su} \cdot \rho_s \cdot C_s \cdot (t_{\phi} - t_g) \quad [J / dak]$$

$$\rho_s = 1 \quad [gr / cm^3] = 1 \quad [kg / lt]$$

$$\dot{m}_{su} \quad [lt / dak]$$

$$C_s = 4,187 \quad [KJ / kg . K]$$

$$Q_s = 60 \cdot \dot{m}_s \cdot (t_{\phi} - t_g) \quad [J / saat]$$

bağıntısından bulunur. Buna karşılık 1 saatte B [kg/h] yakıtın yanması sonunda harcanan ısı

$$Q_{yakıt} = B_e \cdot H_u \quad [J / saat]$$

tir. Böylece soğutma suyuna giden ısı oranı $Q_{su} / Q_{yakıt}$ şeklinde kolaylıkla hesaplanabilir.

8) Elektriksel Güç (N_{el} [W]) :

Direnç tellerinde harcanan akımın gerilim ve şiddeti ile ilgili voltmetre ve ampermetreden okunduğuna göre, güç çarpanı ile elektriksel verim bir arada $\sim \%80$ alınarak, motorun efektif gücüne karşılık gelen elektriksel güç

$$N_{el} = V \cdot I \cdot 0,80 \quad [W]$$

bağıntısından bulunur.

$$1 \text{ Watt} = 0,0013596 \text{ BG}$$

olduğuna göre, efektif güç, kontrol için buradan

$$N_e = 0,80 \cdot V \cdot I \cdot 0,0013596 \quad [BG]$$

şeklinde de hesaplanabilir.

KAYNAKLAR

1. ÖZ, İ. Hakkı, “ Kuvvet Makinalarında Ölçü Tekniği ”, İ.T.Ü., 1964.
2., “ Motor laboratuvarı Notları ”, İ.T.Ü., Makina Fakültesi, Motorlar Kürsüsü, 1978.
3., “ The Tecquipment Variable Compression Engine Test Rig ”, Tecquipment Limited, Nottingham.
4. FOSS, P. W., “ Mini Engine Test Rigs and Instrumentation ”, Tecquipment Limited, Nottingham, 1980.
5. COLLET, C. V., A. D. HOPE, “ Engineering Measurements ”, Pitman Boks Limited, Massachusetts, Second Edition, 1983.
6. HOLMAN, J. P., “ Experimental Methods for Engineers ”, Mc Graw-Hill, Kogakusha Ltd., 1978.
7., “ Automotive Handbook ”, Ed. U. ADLER, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 1986.
8. HEYWOOD, J. B., “ Internal Combustion Engine Fundamentals ”, Mc Graw-Hill, 1988.
9. PUNT, M. ve MARTYR, A., “ Engine Testing, Theory and Practice”, Butterworth, 2001.

EK 1:

Deney yapılırken ölçülen değerlerin ve daha sonra yapılan hesapların sonuçlarının deney türüne göre aşağıdaki gibi tablolardan birine doldurulması, karışıklığı önlemek ve gerekli eğrilerin kolayca çizilmesini sağlamak için yararlıdır.

1. Sabit gaz durumunda deney (Taşıt motorlatı deneyi) :Ortam sıcaklığı T_0 =Ortam basıncı P_0 =Sıkıştırma oranı ε =Ateşleme avansı **A.A.** =

Yakıt cinsi :

Gaz kolu konumu :

n [d/dak]	n_1 =	n_2 =	n_3 =	n_4 =	n_5 =
W [N]					
S [N]					
F [N]					
Δt [s]					
y [cm]					
h [mm]					
t_g [°C]					
t_{ϕ} [°C]					
t_e [°C]					
V [N]					
I [A]					

n [d/dak]	$n_1 =$	$n_2 =$	$n_3 =$	$n_4 =$	$n_5 =$
M_d [N.m]					
N_e [KW]					
N_e [BG]					
P_{me} [MPa]					
B [kg/h]					
b_e [kg/KW.h]					
η_e					
$\dot{m}_h$ [kg/h]					
α					
$\dot{m}_{su}$ [lt/dak]					
Q_{su} [KJ/h]					
Q_y [KJ/h]					
Q_{su} / Q_y					
N_{el} [W]					
N_{el} [BG]					

2. Sabit devir sayısında deney (Stasyonere motor deneyi) :

Ortam sıcaklığı T_0 =

Ortam basıncı P_0 =

Sıkıştırma oranı ε =

Ateşleme avansı $A.A.$ =

Yakıt cinsi :

Devir sayısı n =

Deney No	1	2	3	4	5
W [N]					
S [N]					

3. Motor geliştirme deneyi :

Ortam sıcaklığı T_0 =

Ortam basıncı P_0 =

Sıkıştırma oranı ε =

Ateşleme avansı $A.A.$ =

Yakıt cinsi :

Devir sayısı n =

Gaz kolu konumu :

Değiştirilen Tekn. özellik					
W [N]					
S [N]					

EK 2:

Deneyde ölçülen değerler ve hesap sonuçları, deney türüne göre aşağıdaki gibi çeşitli eğriler şeklinde değerlendirilebilir.

1. Taşıt motorları deneyi :

M_d , N_e , P_{me} , b_e , η_e , α , Q_{su} / Q_1 gibi karakteristiklerin devir sayısına göre değişimleri,

2. Stasyon motor deneyi :

M_d , N_e , P_{me} , b_e , η_e , α , Q_{su} / Q_1 gibi karakteristiklerin % (Güç / Tam güç) yüzdesine göre değişimleri,

3. Geliştirme deneyleri :

M_d , N_e , P_{me} , b_e , η_e , α , Q_{su} / Q_1 gibi karakteristiklerin değiştirilen teknik özelliğe (örneğin sıkıştırma oranına) bağlı değişimleri.

4. Performans eğrileri (Yumurta eğrileri) :

Motorların değişik gaz ve devirlerdeki karakteristiklerini göstermek üzere, çeşitli gazlarda elde edilen deney sonuçları kullanılarak ve yatay eksen devir sayısı (veya ortalama

piston hızı), düşey ekseninde ortalama efektif basınç alınarak “ sabit özgül yakıt tüketimi eğrileri ” çizilebilir. Bu tür eğrilere iç içe çizilmiş haritalardaki eş yükselti eğrilerine benzediklerinden ve genellikle oval yapıda olduklarından performans eğrileri (performans haritaları) veya yumurta eğrileri diye de adlandırılırlar.

EK 3:

Makina Laboratuvarı Motor Deneyi sonunda hazırlanacak deney raporunda aşağıdaki bilgilerin bulunması istenmektedir:

1. Deneyin amacı, yapılışı ve türüne ilişkin kısa bilgi,
2. Ölçülen ve hesaplanan değerlerin doldurulmuş olduğu tablolar,
3. Her deney için ayrıntılı birer hesap örneği,
4. Her deney için deney türüne göre uygun eğriler,
5. Elde edilen deney sonuçlarının (eğrilerin) neden-sonuç ilişkisini de göz önüne alarak yorumlanması.
6. Deney grubu takım halinde deneyde kullanılan ölçüm aletleri ile farklı bir ısı/mekanik deney düzeneği tasarımı yaparak basit bir şema üzerinde gösterecektir.