

T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



**MOTORLAR LABORATUVARI DENEY FÖYÜ**

**DENEY ADI**

İNDİKATÖR DİYAGRAMI VE ORTALAMA İNDİKE BASINÇ ÖLÇÜMÜ

**DERSİN ÖĞRETİM ÜYESİ**

Dr. Öğretim Üyesi Dinçer BURAN

**DENEYİ YAPTIRAN ÖĞRETİM ELEMANI**

Dr. Öğretim Üyesi Dinçer BURAN

**DENEY GRUBU:**

**DENEY TARİHİ:**

**TESLİM TARİHİ:**



T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
MOTORLAR LABORATUVARI DENEY FÖYÜ



**DENEYİN ADI:** İndikatör Diyagramı ve Ortalama İndike Basınç Ölçümü

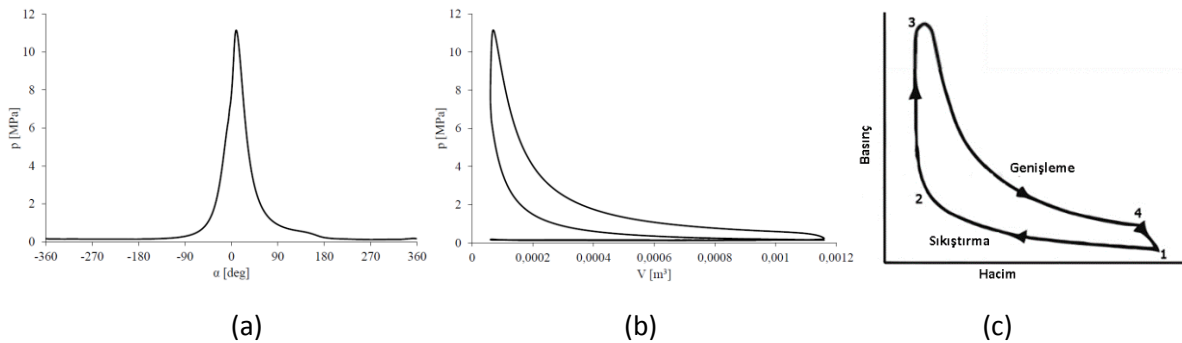
**DENEYİN AMACI:**İçten yanmalı motorlarda silindir içi basınç ölçümü yaparak, açık ve kapalı indikatör diyagramlarını çizmek, ortalama indike basıncı hesaplamak ve motor çalışma karakteristiklerine bağlı olarak çevrimler arasındaki farklılıkların sebeplerini, hesaplanan ortalama indike basınç verileri yardımıyla yorumlamak.

**TEORİK BİLGİ:**

Motor deneyleri genel olarak, bir motorun; yapımçı firmanın garanti ettiği karakteristik özellikleri gerçekleştirip gerçekleştirmediğinin kontrolü veya motorları geliştirme çalışmalarında; çeşitli yapısal (konstrüktif) ve işletme özelliklerinin motor karakteristikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçları ile yapılır.

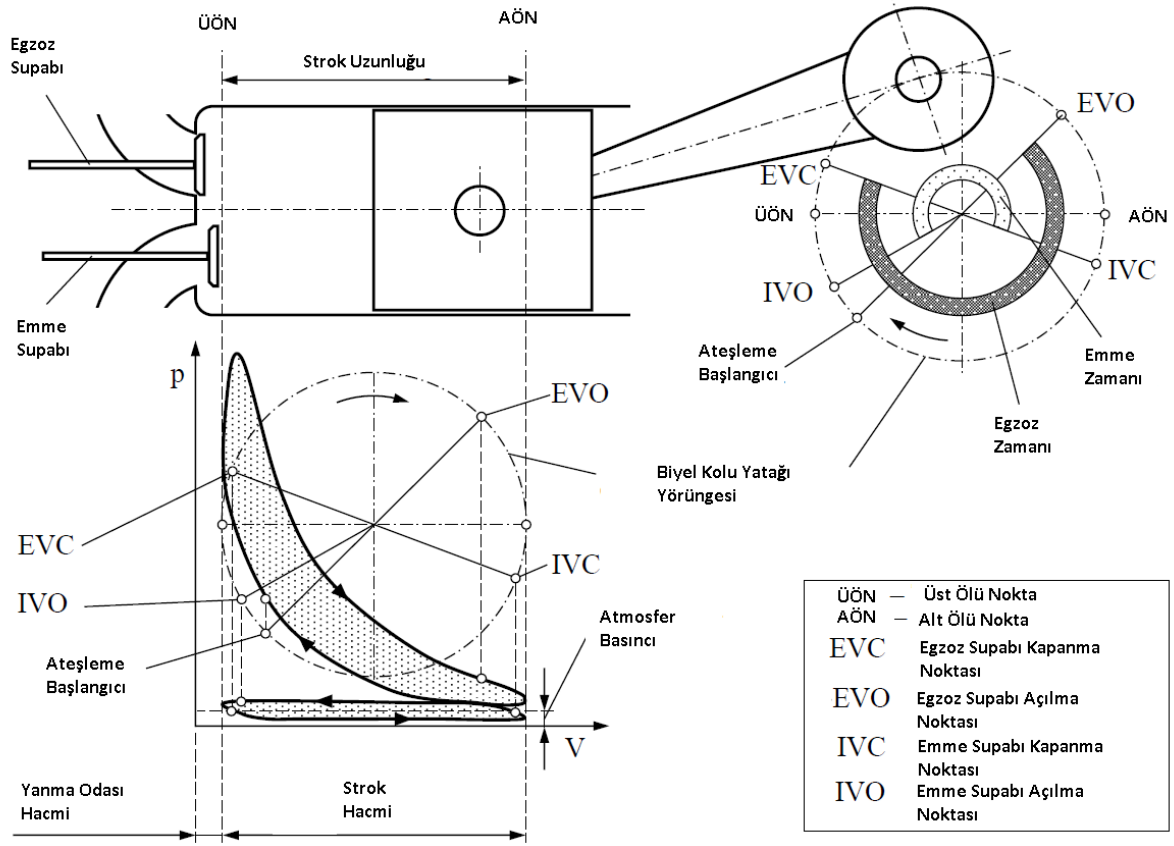
Bu amaçlarla; motorların istenen bazı işletme büyüklüklerinin sabit tutulabildiği ve istenen bazı büyüklüklerin değiştirilebildiği bir deney düzeneğine bağlanmaları ve çalıştırılmaları gerekir. Böylece motor çeşitli koşullar altında çalışırken gerekli bilinmeyen büyüklükler ölçülür. Motor deneylerinde genellikle silindir içi basıncı, moment, devir sayısı, yakıt debisi, emme havası debisi, soğutma suyu debisi, ortam sıcaklığı ve nemi, eksoz gazlarının içeriği ve sıcaklığı, soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları ve benzeri büyüklükler ölçülür. 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) krank açısına, devir sayısına, hava fazlalık katsayısına, güce, değiştirilen yapısal özelliklere (örneğin sıkıştırma oranına) göre değişimleri elde edilir.

İndikatör diyagramı, silindir içindeki basınç değişiminin bir basınç sensörü (transducer) ile elektrik sinyallerine dönüştürülmesi, daha sonra bu sinyallerin bir amplifikatörde yükseltilerek bir bilgisayara aktarılması ve bu basınç verilerinin krank açısı veya silindir hacmine bağlı olarak grafiğinin çizilmesiyle elde edilir. Bir içten yanmalı motora ait indikatör diyagramı, krank mili açısının veya ilgili silindir hacmindeki değişikliklere göre motor silindiri içerisindeki basıncın döngüsel değişimlerinin grafiksel bir gösterimidir. Açık indikatör diyagramı, silindir içi basıncının krank mili açısına göre değişimini gösterirken (Şekil 1a), kapalı indikatör diyagramı (Şekil 1b,c) basıncın silindir hacmine bağlı değişimini ifade eder.



Şekil 1:a) Açık indikatör diyagramı b)Dört zamanlı motor kapalı indikatör diyagramı c)iki zamanlı motor kapalı indikatör diyagramı

Kapalı indikatör diyagramı ve dört zamanlı içten yanmalı bir motorun fiili çalışma çevrimi arasındaki ilişki Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekilde tipik bir motor için supap zamanlaması, yanma başlangıcı ve pistonun silindir içerisindeki konumu verilmiştir. Dört zamanlı bir motorda, bir çevrimi tamamlamak için, krank milinin iki tam tur ve dolayısıyla pistonun dört stroğu tamamlaması gerektiği unutulmamalıdır.

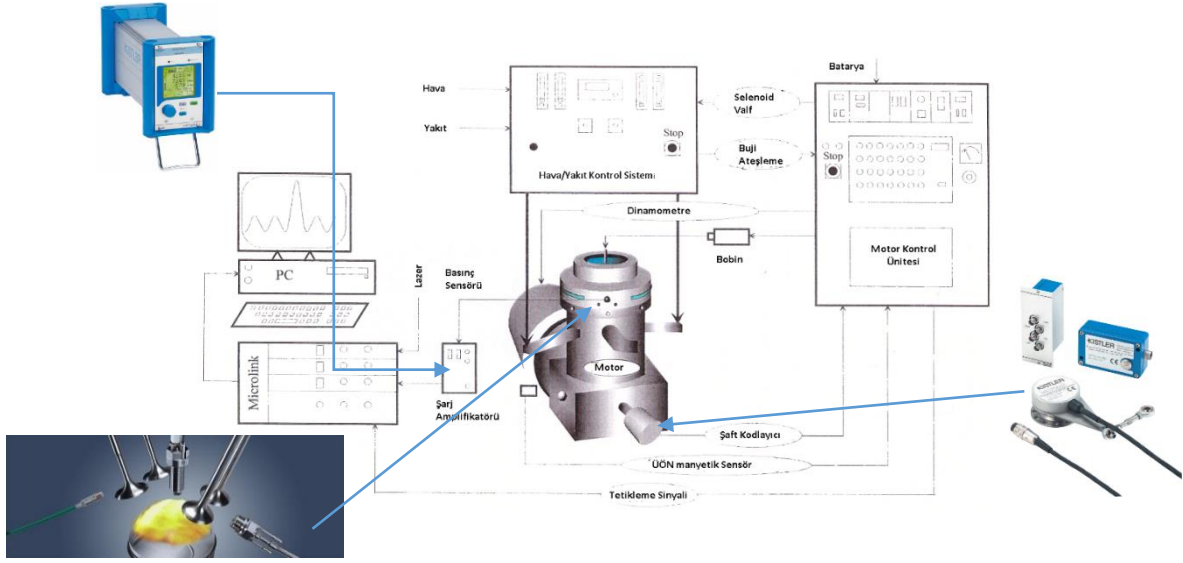


Şekil 2: Supap zamanlaması ile birlikte kapalı indikatör diyagramı

### SİLİNDİR İÇİ BASINÇ ÖLÇÜMÜ DENEY DÜZENEGİ

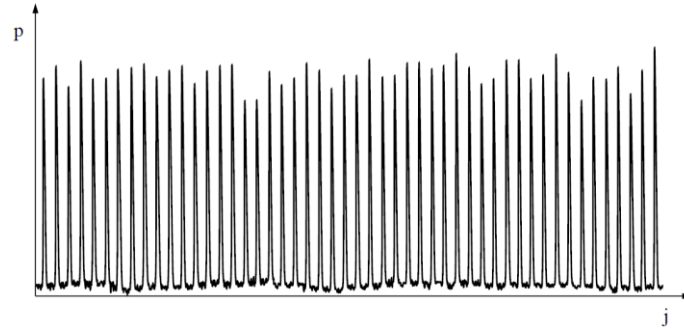
İndikatör diyagramını çizmek için gerekli olan veriler, deneysel olarak silindir içi anlık gaz basıncı ve motorun bir çalışma çevrimi üzerindeki anlık krank açısı ölçülerek elde edilir. Modern bir motorda indike basınç ölçüm sistemi, motor yanma odasının içindeki basıncı ölçen bir piezoelektrik basınç sensörü, sinyal yükseltmek ve filtrelemek için bir amplifikatör (charge amplifier), sıkıştırma stroğu Üst Ölü Noktası (ÜÖN) ile birlikte krank milinin açılma konumunu belirlemek için bir optik açılma kodlayıcı (shaft encoder) ve bir veri toplama sistemini içerir (Şekil 3).

Deney motoru çalıştırılmadan önce tüm güvenlik tedbirleri, bağlantılar, yağlama yağı ve soğutma suyu kontrol edilir. Eksiklik varsa giderilir. Motorun incelenecek olan teknik özelliği (örneğin sıkıştırma oranı, avans, buji konumu, karışım oranı v.s.) için yükleme durumu, devir sayısı veya diğer parametrelerin sabit kalması sağlanır. Motor ve düzenekte bulunan bütün ekipmanlar normal çalışma sıcaklıklarına getirilir. Ortam sıcaklığı ve atmosfer basıncı kayıt altına alınıp motor çalıştırıldıktan sonra, deneysel olarak silindir içi anlık gaz basıncı ve anlık krank açısı ölçümü gerçekleştirilir. Motor performansına etkisi incelenmek istenen motor çalışma şartları değiştirilerek deneyler tekrarlanır.

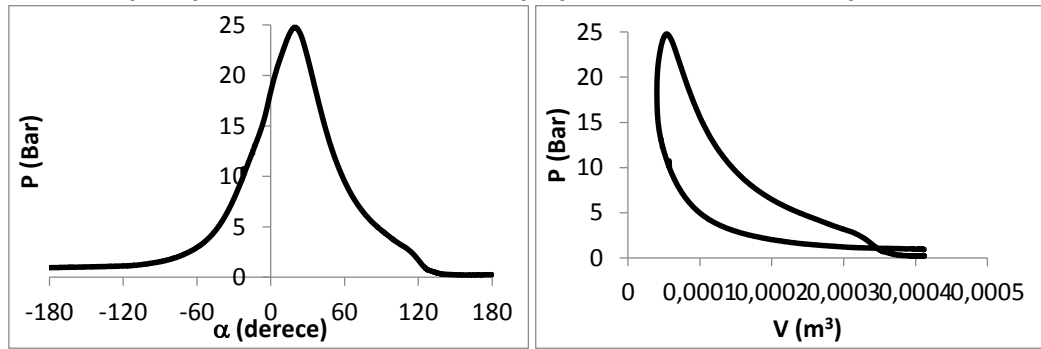


Şekil 3: Silindir içi basınç ölçümü deney düzeneği

Bir motorun ardışık birkaç çalışma çevrimi için gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması, çevrimler arası silindir içi basınçtaki önemli değişimleri ortaya koymaktadır (Şekil 4). Bu durum, esas olarak gaz akış düzenindeki farklılıklardan, silindire beslenen hava ve yakıt miktarlarındaki değişimlerden ve bunun sonucu olarak da her çevrimde benzersiz karışım oluşumundan kaynaklanır. Sonuç olarak, her bir yanma işlemi farklı şekilde gelişir ve bu yüzden indikatör diyagramının şekli bir çevrimden diğerine farklılık gösterir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, genellikle ölçüm sonuçlarının istatistiksel ortalamasına karşılık gelen tipik bir çevrime ait veriler kullanılarak, verilen motor çalışma koşulları için temsili bir indikatör diyagramı belirlenir (Şekil 5).



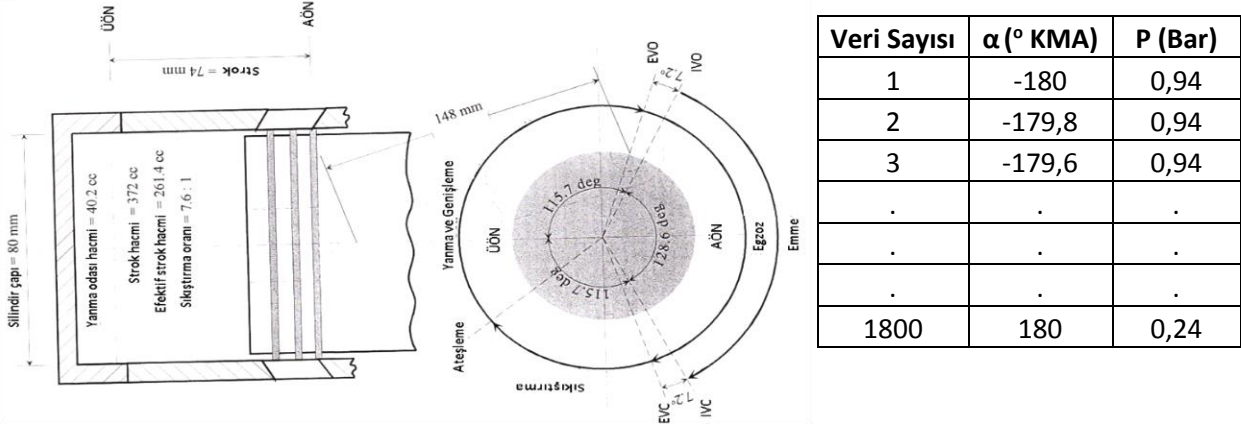
Şekil 4: Buji ateşlemeli bir motorda elli ardışık çevrime ait silindir basınç verileri



Şekil 5: Buji ateşlemeli iki zamanlı bir motorun tipik bir çevrimine ait açık ve kapalı indikatör diyagramları.

## İNDİKATÖR DİYAGRAMINA DAYALI OLARAK MOTOR ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN HESABI

İndikatör diyagramının analizi, motor silindirinde meydana gelen yanma işleminin araştırılmasında kullanılan temel bir analizdir. Silindir içindeki gazlar ile piston arasındaki iş aktarımının belirlenmesinde anahtar rol oynar. İndikatör diyagramının analizi, yanma işleminin karakteristik evrelerinin yanı sıra, ortalama indike basınç, indike iş ve güç, maksimum yanma basıncı, sıkıştırma basıncı, maksimum basınç artışı, ısı transfer oranı ve maksimumların meydana geldiği krank açıları hakkında bilgi sağlar. Ayrıca, motor krank mili dönüş hızı, motor torku ve yakıtın ısı değeri bilindiği takdirde, motorun indike, mekanik, teorik, ısıl ve genel verimlerini hesaplamak mümkündür.



Şekil 6:Deney motoruna ait teknik özellikler

Açık indikatör diyagramı, bir motor çalışma çevrimi (dört zamanlı motor için  $720^\circ$  , iki zamanlı motor için  $360^\circ$ ) için krank açısına ( $\alpha$ ) bağlı olarak basınç (P) verilerinin (yukarıdaki çizelge) grafiği çizilerek oluşturulabilir. Çizelgedeki basınç verileri her  $0,2^\circ$  KMA (Krank mili açısı)'nda ölçülmüş olup, bir çevrim 1800 adet veri içermektedir.

Deney motoruna ait teknik özellikler Şekil 6'da verilmiş olup, kapalı indikatör diyagramını elde etmek için, krank açısının bir fonksiyonu olarak anlık silindir hacmi,  $V(\alpha)$ , aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$V(\alpha) = V_{ch} + \frac{\pi D^2}{4} r \left[ (1 - \cos\alpha) + \frac{1}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2\alpha} \right) \right] \quad (1)$$

burada:

$V_{ch}$  = yanma odası hacmi,

D - silindir çapı,

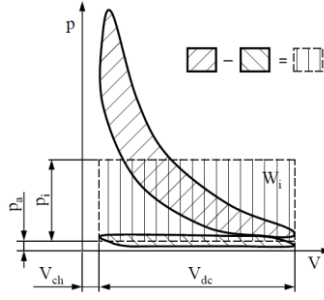
S – strok uzunluğu,

$r = S / 2$  - krank yarıçapı,

$\lambda = r / l$  - biyel kolu katsayısı,

l - biyel kolu uzunluğudur.

Kapalı indikatör diyagramındaki basınç-hacim (p-V) eğrisinin çevrelediği alan, çevrim sırasında yapılan işi gösterir (Şekil 7). Daha analitik olarak, sıkıştırma ve genişleme eğrilerinin arasındaki alan, gazdan pistonu iletilen işi yansıtır ve bu nedenle pozitif olarak kabul edilir. Silindire dolgu girişi ve silindirden egzoz gazı çıkışı eğrileri arasındaki alan, piston ile gaz arasındaki "pompalama işi" olarak adlandırılan iş transferini kapsar ve negatif olarak kabul edilir.



Şekil 7: Kapalı indikatör diyagramında gösterilen indike iş ve indike basınç.  $p_a$  - atmosferik basınç,  $p_i$  - ortalama indike basınç,  $W_i$  – indike iş.

Her çevrim için indike iş, P-V diyagramındaki eğrinin altında kalan alan hesaplanarak bulunur:

$$W_i = \oint p dV \quad (2)$$

Alternatif olarak, indike iş, p-V eğrisi her stroğa karşılık gelen dört ayrı eğriye bölündükten sonra, integral yöntemiyle her eğri altındaki alanlar hesaplanıp bu alanları uygun işaretlerle toplayarak indikatör diyagramından da elde edilebilir:

$$W_i = |W_{is}| - |W_{cs}| + |W_{ps}| - |W_{es}| \quad (3)$$

burada:

$W_{is}$  – emme stroğu işi,  $W_{cs}$  - Sıkıştırma stroğu işi,  $W_{ps}$  - genişleme (güç) stroğu işi,  $W_{es}$  - egzoz stroğu işidir.

Ortalama indike basınç  $P_i$ , pistonu yalnızca genişleme (güç) stroğu sırasında etki ettiği takdirde, motorun tüm çalışma döngüsü boyunca piston üzerinde etkili olan değişken basınçla aynı işi yapan sabit bir basınç olduğu kabul edilir. Ortalama indike basınç aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$p_i = \frac{W_i}{V_{dc}} \quad (4)$$

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ:

Deney Sonuç Raporu Excel çalışma sayfası olarak hazırlanacak olup, aşağıda verilen başlıkları içermesi gerekmektedir.

- 1- Deneyin amacını ve kapsamını kısaca açıklayınız.
- 2- Ölçülen iki farklı çevrime ait **P -  $\alpha$**  verilerini kullanarak karşılaştırmalı açık indikatör diyagramını çiziniz.
- 3- Motor geometrik verileri ve yukarıda açıklanan teorik bilgiler ışığında,  $-180^\circ$ 'den  $+180^\circ$ 'ye kadar her  $0,2^\circ$  KMA için silindir hacmi değerlerini hesaplayarak her iki çevrime ait kapalı indikatör (**P – V**) diyagramını karşılaştırmalı olarak çiziniz.
- 4- (**P – V**) diyagramındaki eğrinin altında kalan alanı hesapladıktan sonra efektif strok hacmine bölerek ortalama indike basınç değerini hesaplayınız. (Not: Eğri altında kalan alanı hesaplamak için Origin programında **P – V** diyagramını çizerek, Analysis-Calculus-Integrate menüsünü kullanabilirsiniz).
- 5- İndikatör diyagramlarını ve bulduğunuz sonuçları ilgili çevrimlere ait motor çalışma şartlarını göz önünde bulundurarak yorumlayınız.