

### 3.2. İçten Yanmalı Motorların Teorik Çevrimleri

İçten yanmalı motorlarda kullanılan iki temel çevrim vardır. Bunlar Otto ve dizel çevrimleridir. Isının kısmen sabit hacimde kısmen de sabit basınçta verildiği bir dizel çevrimi olan Seiliger çevrimi de üçüncü bir çevrim türü olarak düşünülebilir. Otto çevrimi ilk defa 1876 yılında 4-zamanlı motoru geliştiren Nikolaus Otto'nun (1832-1891) ismiyle anılır. Ayrıca yakıt-hava karışımını ateşlemek için bir bujiye ihtiyaç duyulduğu için buji ateşlemeli motorlar diye de isimlendirilir. Otto, hem modern içten yanmalı motorun mucidi hem de içten yanmalı motor endüstrisinin kurucusu kabul edilir. Dizel çevrimi ise ismini ilk direkt püskürtmeli dizel motorunun (1897) mucidi Rudolph Diesel'den (1858-1913) alır. Dizel motorlarında yakıt yanma odasına püskürtüldüğünde kendi kendine tutuştuğu için dizel çevrimli motorlar sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar diye de bilinir. Otto ve dizel çevrimler 2 ve 4-zamanlı olarak çalışabilirler [9].

#### TANIMLAR

Pistonların silindir içerisinde yön değiştirmek üzere bir an durakladığı yere ölü nokta denir.

**ÜÖN: Üst ölü nokta**, Pistonun silindir içerisinde çıkabileceği en üst noktada yön değiştirmek için bir an durakladığı yerdir.

**AÖN: Alt ölü nokta**, Pistonun silindir içerisinde inebileceği en alt noktada yön değiştirmek için bir an durakladığı yerdir.

**Kurs Hacmi:** Pistonun ÜÖN dan AÖN kadar silindirin içinde yaladığı hacme kurs hacmi (silindir hacmi) denir.

**Zaman:** Pistonun silindir içerisinde iki ölü nokta arasında yaptığı bir harekete zaman denir. Yani krank milinin 180 derece dönme hareketi ile pistonun iki ölü nokta arasında yaptığı bir harekettir.

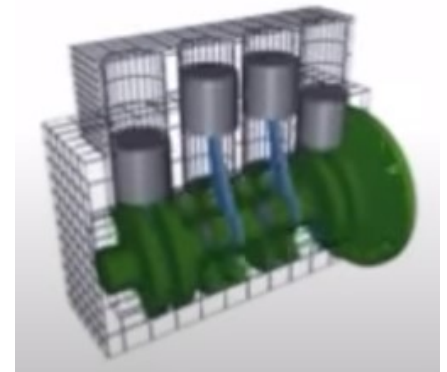
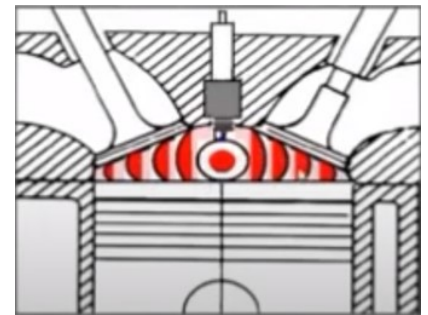
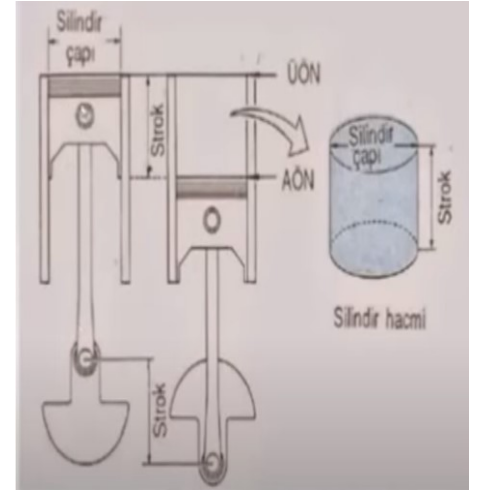
**Yanma Odası:** Pistonun ÜÖN da iken silindir kapağı ile pistonun üst yüzeyi arasında kalan hacimdir.

**Çevrim:** Bir motorda iş üretebilmek için tekrarlanmadan meydana gelen olayların toplamına bir çevrim denir. Dört zamanlı motorlarda bir çevrimin tamamlanabilmesi için pistonun dört hareketine gerek vardır. Dört zamanlı motorlarda çevrim 720° tamamlanır.

**Sente:** Pistonun silindir içerisinde sıkıştırma zamanını bitirip ateşleme zamanı başlangıcında ÜÖN da bulunduğu anda her iki supabın kapalı olduğu duruma sente denir.

**Supap Bindirmesi:** Pistonun egzoz zamanını bitirip emme zamanına başlamak üzere ÜÖN da bulunduğu anda egzoz ve emme supaplarının beraberce bir müddet açık olduğu ana denir.

**Beraber Çalışma:** Çok silindirli motorlarda pistonlar ikiye ikiye beraber çalışır. Mesela dört silindirli bir motorda 1 ve 4, 2 ve 3 pistonları beraber çalışır.



## İçten Yanmalı Motorlar

- ✓ **Motor**, yakıtın kimyasal enerjisini yanma ile ısı enerjisine ve ardından açığa çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir **ısı makinasıdır**.
- ✓ **Isı makinası**, sıcaklıkları farklı sıcak kaynak ile soğuk kuyu arasında çalışan, sıcak kaynaktan aldığı **ısı enerjisinin** bir kısmını **net işe dönüştüren** ve bir kısmını da düşük sıcaklıktaki soğuk kuyuya aktaran makinadır. Isı makinası; ısı enerjisini, işe çeviren makinadır.

Isının aracı akışkana verilmesine yani yanmanın gerçekleştiği yere göre ısı makinasının/motorun sınıflandırması:

### 1) İçten yanmalı motor:

Yakıt motor içinde yakılarak kimyasal enerjisi ısı enerjisine dönüştürülür. Yanma ürünleri olan gazlar iş yapan akışkan olarak kullanılır.

Bu motorlarda açığa çıkan ısı enerjisi:

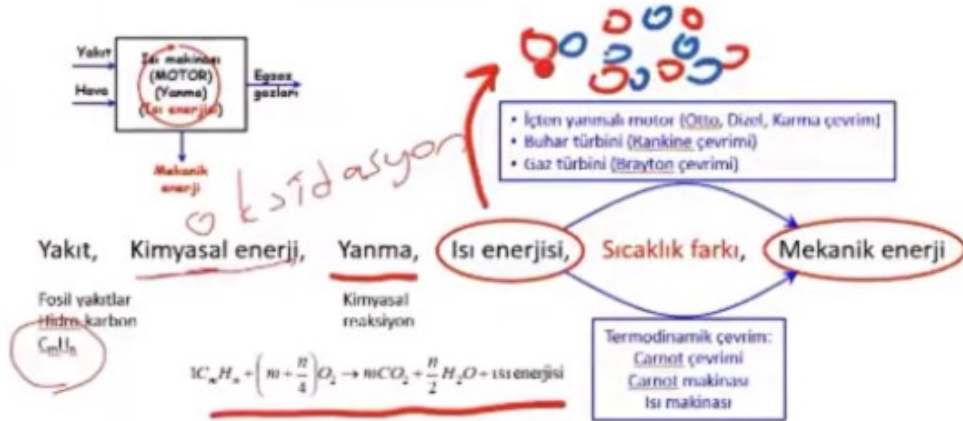
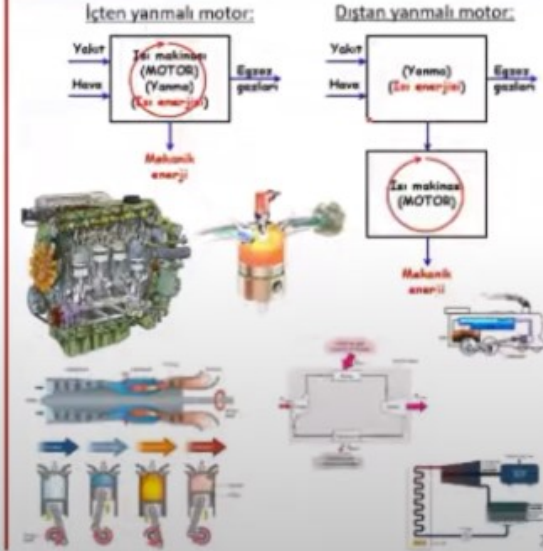
- öteleme hareketi yapan piston ile [Otto Motoru ve Dizel Motoru]
- dönme hareketi yapan rotor kanatları ile [Gaz Türbini (Brayton çevrimi)]
- İüle ile (Jet Motoru ve Roket Motoru)

mekanik enerjiye dönüştürülür.

### 2) Dıştan yanmalı motor:

Yakıt motor dışında yakılır ve açığa çıkan ısı enerjisi iş yapacak akışkana aktarılır.

- Pistonlu buhar makinası,
- Buhar türbini (Rankine çevrimi)
- Stirling motoru.



- ✓ **Sıcaklık**, maddenin sahip olduğu iç enerji seviyesinin göstergesidir.
- ✓ Termodinamikte **ısı**, sistem ile çevresi arasındaki sıcaklık farkından dolayı transfer edilebilen bir enerji şekli olarak tarif edilir. Isı, sistem sınırında transfer edilebilen enerjidir. Sıcaklık farkı ise, transferi sağlayan sürücü potansiyel farkıdır.
- ✓ Termodinamik, **ısı ve işin** sistem ile **çevresi** arasındaki değişimini inceler. Ancak ısı veya işin nasıl transfer edileceği ile ilgilenmez.
- ✓ **Isı transferi**, sıcaklık farkından dolayı oluşan ısı enerjisi transferidir.
- ✓ Isı transferi ise, öngörülen ısı geçişinin nasıl gerçekleşebileceğini inceler. Gerekli geometrik ve fiziksel parametreleri belirler.

Otto ve dizel çevrimleri ileride Şekil 3.5 ve 3.7 de gösterileceği gibi teorik olarak aşağıda açıklanan termodinamik süreçleri takip ederler.

### Otto Çevrimi

**1. Emme Zamanı:** Piston ÜÖN'dan AÖN'ya doğru hareket ederken silindir içerisinde oluşturulan vakum sayesinde yakıt-hava karışımı gaz keleşi ve açık olan emme supabından geçerek silindire dolar. Teorik olarak bu zaman piston AÖN'ya geldiğinde sona erer.

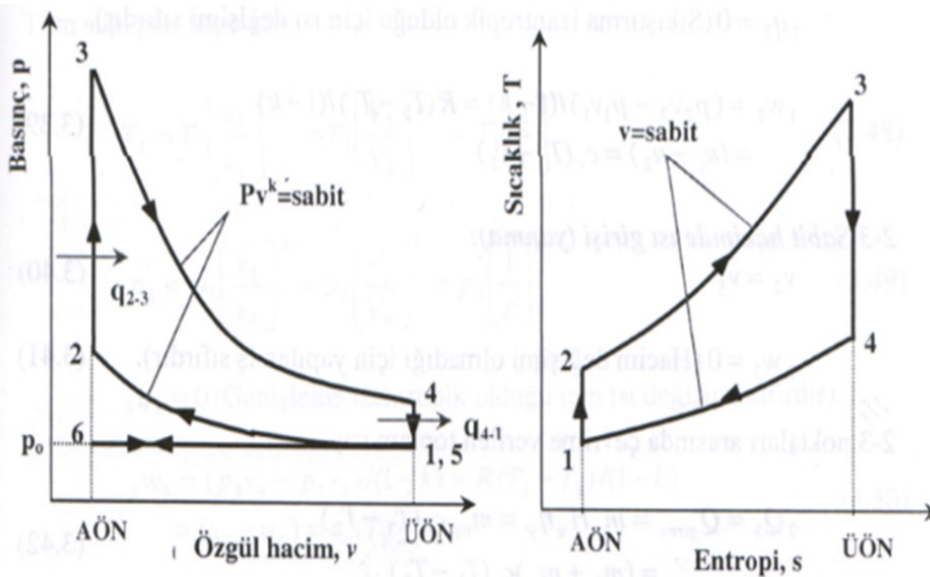
**2. Sıkıştırma Zamanı:** Piston AÖN'dan ÜÖN'ya geri döndüğünde her iki supap kapalı olduğundan silindire alınan karışım piston tarafından sıkıştırılarak sıcaklık ve basıncı artırılır. Sıkıştırma stroğunun sonuna doğru karışım bir buji ile ateşlenir. Teorik olarak sıkıştırma zamanı ÜÖN'da sona erer.

**3. Genişleme veya Güç Zamanı:** Sıkıştırma stroğu sonunda sıcaklık ve basıncı artan hava ile yakıtın oluşturduğu karışımın yanması, yanma odasında yüksek basıncın meydana gelmesini sağlar. Elde edilen yüksek basıncın piston yüzeyine yaptığı itme tesiri ile piston ÜÖN'dan AÖN'ya doğru hareket ederken iş elde edilmiş olur.

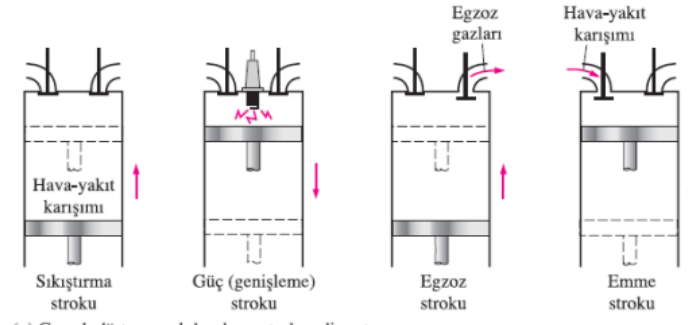
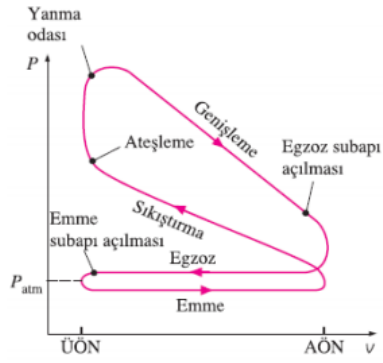
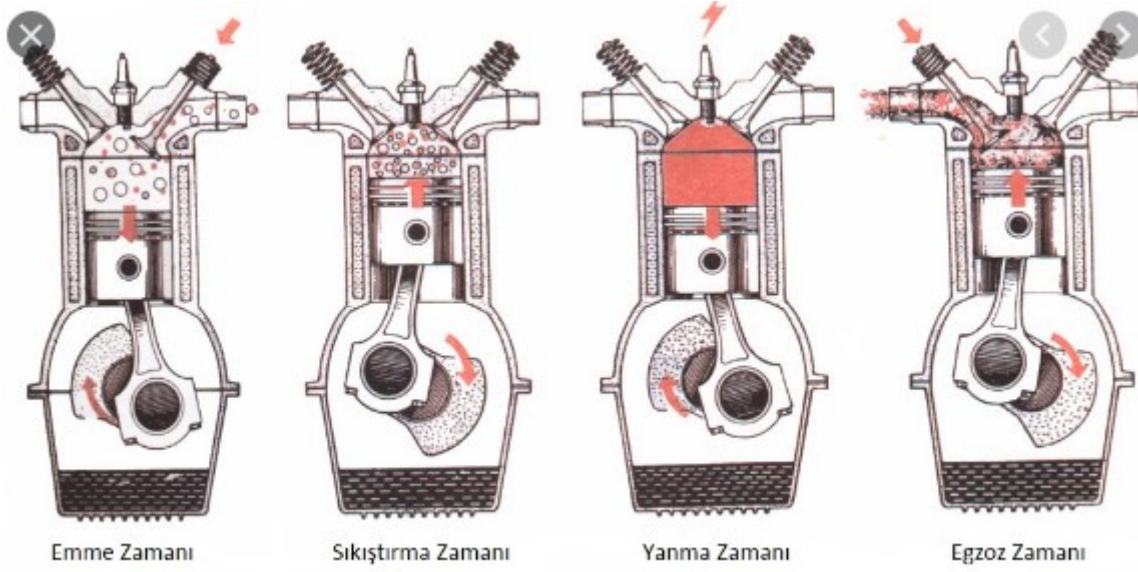
**4. Egzoz Zamanı:** Teorik olarak piston AÖN'ya vardığında egzoz supabı açılır. Piston AÖN'da ÜÖN'ya doğru hareket ederken, açık olan egzoz supabından, egzoz gazları dışarıya süpürülür.

Otto çevrimli motorlarda yakıt olarak genellikle benzin kullanılır. Benzin bir yakıt enjektörü veya bir karbüratörle emme manifoldunda hava ile karıştırılır veya direkt yanma odası içerisine püskürtülür. Karışım buji ile ateşlendiğinde bir türbülanslı alev cephesi gelişir ve karışım içerisine yayılır. Bunun sonucu olarak silindir içi basınç ve sıcaklığı yükselir. Alev silindir cidarlarına ulaştığı anda söner. Silindirin son gaz bölgesindeki karışımın alev henüz o bölgeye ulaşmadan artan silindir içi basınç ve sıcaklığın etkisiyle kendi kendine tutuşması olayı benzin motoru vuruntusu olarak bilinir. Vuruntu, Otto çevriminin maksimum sıkıştırma oranını sınırladığı için istenmeyen bir durumdur.

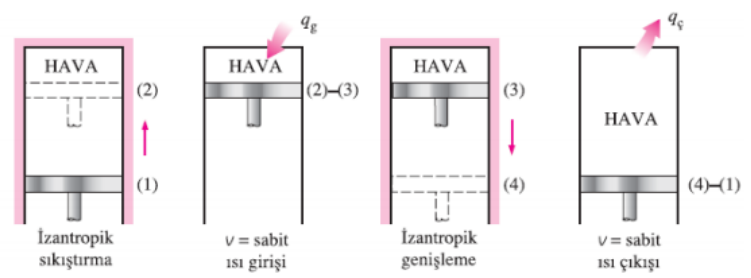
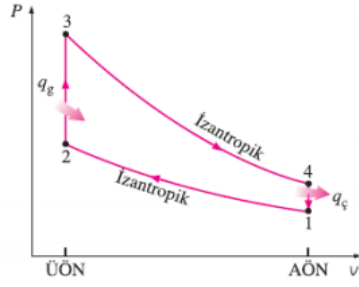
Otto çevriminde silindir içerisine alınan havanın kontrolünde bir keleş (gaz keleşi) kullanılır. Gaz keleşi kapalı iken silindire giren hava miktarı azalır. Bu da keleşin kapalılık miktarıyla orantılı olarak silindir içi basıncın düşmesini sağlar. Otto çevriminde motora gönderilen yakıt







(a) Gerçek dört zamanlı kıvılcım ateşlemeli motor



(b) İdeal otto çevrimi

Buji-ateşlemeli motorların ideal ve gerçek çevrimleriyle  $P$ - $v$  diyagramları

debisi hava miktarıyla orantılı olduğu için gaz keleşbeği gücün kontrolünde büyük öneme sahiptir.

#### **Dizel Çevrimi**

**1. Emme Zamanı:** Pistonun ÜÖN'dan AÖN'ya doğru hareketiyle silindir içerisinde oluşturulan vakum sayesinde sadece hava açık olan emme supabından geçerek silindir içerisine alınır.

**2. Sıkıştırma Zamanı:** Piston AÖN'dan ÜÖN'ya geri döndüğünde her iki supap kapalı olduğu için silindir içerisinde sıkıştırılan havanın sıcaklığı ve basıncı artar. Sıkıştırma sonunda havanın sıcaklığı püskürtülecek yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığının üstündedir. Sıkıştırma stroğunun sonlarına doğru dizel yakıtı silindir içerisine püskürtülür.

**3. Genişleme veya Güç Zamanı:** Sıkıştırma stroğunun sonlarına doğru püskürtülen dizel yakıtının buharlaşması, hava ile karışması, kendi kendine tutuşması ve yanması sonucu açığa çıkan yüksek basınç pistonu ÜÖN'dan AÖN'ya doğru iter.

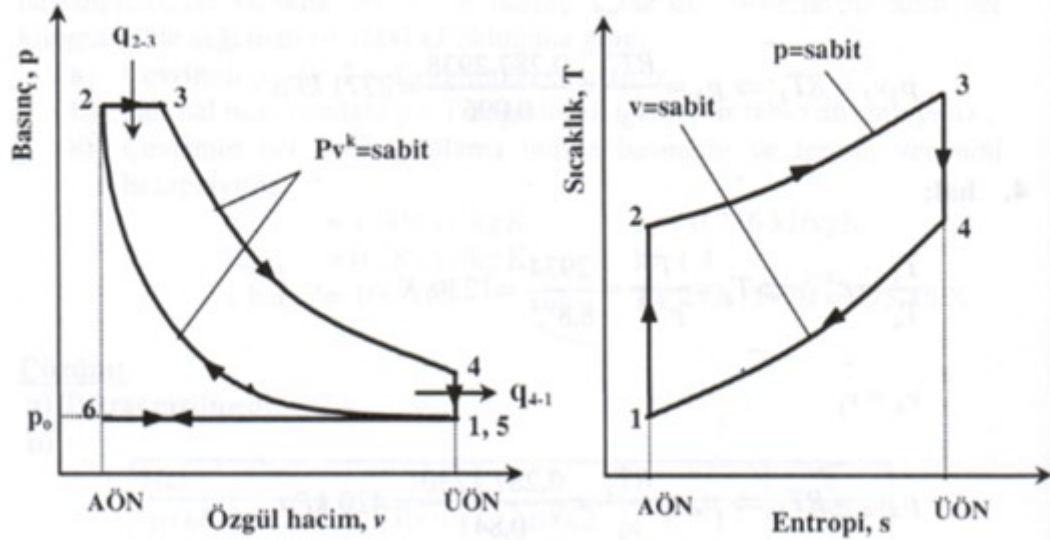
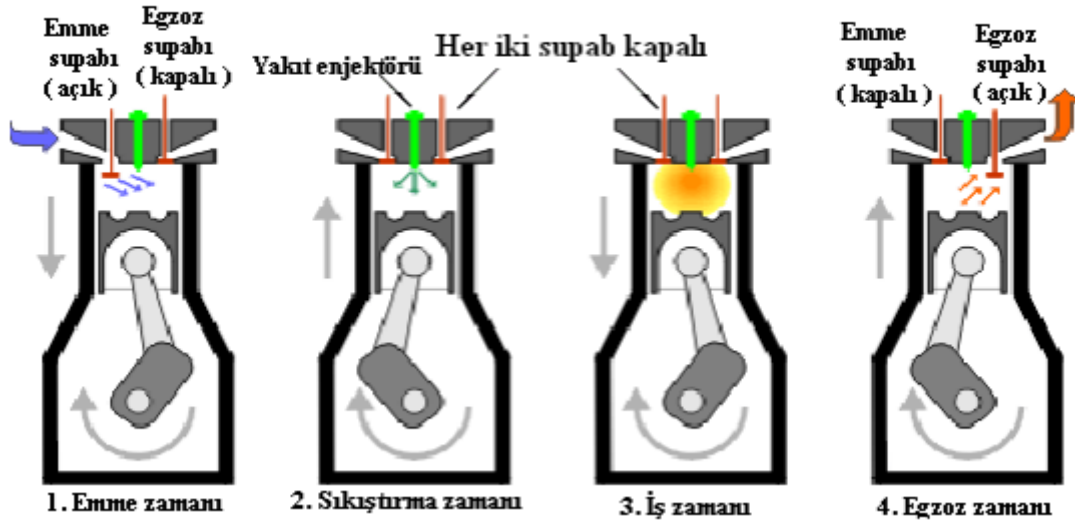
**4. Egzoz Zamanı:** Pistonun AÖN'dan ÜÖN'ya doğru hareketiyle silindir içerisindeki egzoz gazları açık olan egzoz supabından geçerek silindirin dışına gönderilir.

Dizel motorlarında benzinli motorlarda olduğu gibi giriş havasını kontrol eden bir keleşbek bulunmaz. Güç silindirlere gönderilen yakıt miktarı ayarlanarak kontrol edilir. Yakıt-hava karışımını tutuşturmak için daha yüksek sıkıştırma oranlarına çıkmak gerekir. Dolayısıyla dizel motorunun termik verimi buji ateşlemeli motorlarla karşılaştırıldığında daha yüksektir. Benzinli motorlarda sıkıştırma oranı 6-12, dizel motorlarında ise 12-26 arasındadır. Dizel yakıtı yanmanın başlamasından çok kısa süre önce silindir içerisindeki hava ile karıştığı için, vuruntu riski benzinli motorlarda olduğu gibi dizel motorunun sıkıştırma oranına bir sınırlama getirmez. Dizel motorunun performansı yakıt ile havanın birbirleriyle iyi karışmaması yüzünden ortaya çıkan is oluşumuyla sınırlanır. Bu yüzden yeterli karışımı sağlayabilmek için bir çok yanma odası tasarımı geliştirilmiştir.

#### **3.2.1. Kabuller**

İçten yanmalı motorlarda, termodinamik çevrimin gerçekleştirilmesi sırasında oluşan olayların çokluğu ve bunların karşılıklı etkileşimi

- Dört zamanlı dizel motorların çevrimi



mühendisleri, termodinamik incelemeleri kolaylaştırabilmek için bazı basitleştirici kabuller yapmaya zorlamıştır. Zorluklar daha ziyade olayların kararsızlığından kaynaklanır. Zorlukları aşmada ilk adımı, ideal çevrim kabulü teşkil eder. Bu bölümde öteleme pistonlu, içten yanmalı motorları ilgilendiren ideal çevrimler irdelenecektir.

Teorik hava çevrimleri incelenirken aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

1. Çalışma akışkanı mükemmel gaz farz edilen havadır.
2. 300 K ve 1 atm şartlarındaki havanın özgül ısıları ve mol kütlesi değişmemektedir.

$$c_p = 1,0035 \text{ kJ / kgK} , \quad c_v = 0,716 \text{ kJ / kgK}$$

3. Çevrimin içinde cereyan ettiği silindir cidarlarına ısı transferi yoktur.
4. Çevrime ısı ilavesi veya çevrimden ısı çekilmesi dışarıdaki bir kaynak yardımıyla gerçekleşmektedir.
5. İzantropik bir olayda,  $k = \frac{c_p}{c_v} = 1,4$  sabit olup ayrıca,

$$pv^k = sbt , \quad pT^{\frac{k}{k-1}} = sbt , \quad vT^{1/(k-1)} = sbt \text{ dir.}$$

6. Sıkıştırma oranı  $\varepsilon = \frac{v_3}{v_2} = \frac{v_e + v_h}{v_c}$  eşitliği ile hesaplanır.
7. Sabit hacimde ısı girişine ait basınç artış oranı  $r_p = \frac{p_3}{p_2}$  dir.
8. Sabit basınçta ısı girişine ait hacim artış oranı  $r_v = \frac{v_3}{v_2}$  tür.
9. Enerji denklemi  $\Delta e = q - w$  olup, kinetik ve potansiyel enerji terimleri ihmal edilecektir.  $\Delta u = q - w$  ifadesinde iç enerji terimi için mükemmel gazlarda,  $\Delta u = c_v (T_{son} - T_{ilk})$  eşitliği yazılabilir.

10. Çevrim başladığı noktada bittiği için enerjideki değişme  $\Delta e = 0$  olacağından çevrim boyunca yapılan iş değişimi ısı değişimine eşit olacaktır ( $\oint q = \oint w$ ) [10].

