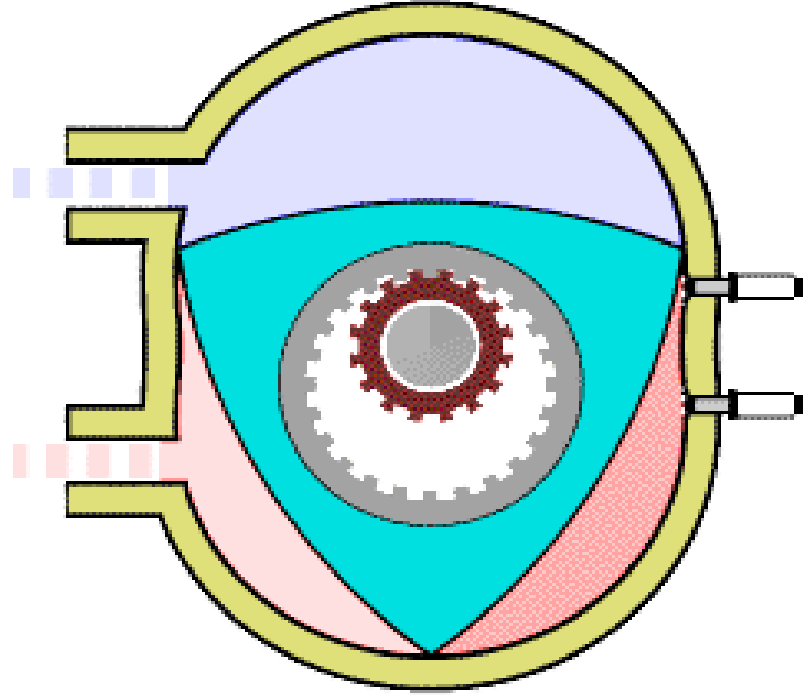


MOTORLAR-1.HAFTA



Yrd.Doç.Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Kaynaklar :

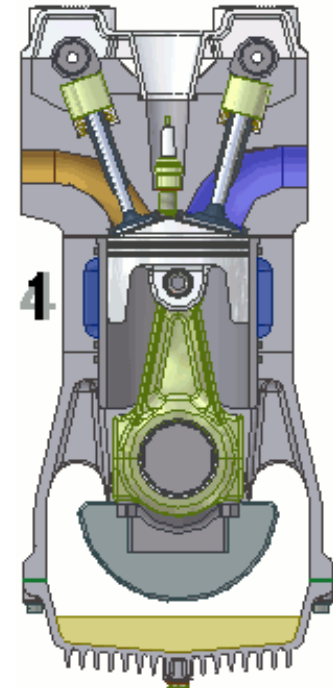
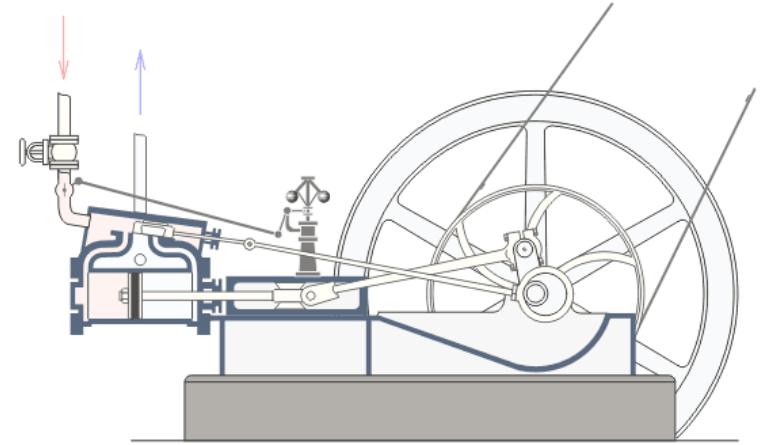
1. **Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, Newyork Heywood JB (1988)**
2. **İçten Yanmalı Motorlar Ders Notları**
<http://www.yildiz.edu.tr/~odeniz/>
3. **Internal Combustion Engines Applied Thermosciences. John Wiley&Sons Inc. NewYork Ferguson C.R, Kirkpatrick A.T (2001)**
4. **Internal Combustion Engines Applied Thermosciences. John Wiley&Sons Inc. NewYork Ferguson C.R, (1986)**

Dersin Amacı ve Hedefleri

İnsanoğlunun günlük yaşamını kolaylaştıran bir enerji dönüşüm makinesi olan İçten Yanmalı Motorlar ile ilgili teorik ve görsel bilginin mühendislik formasyonu temelinde verilmesi amacı ile bu bilginin etkin kullanımı alanlarının öğretilmesi hedeflenmektedir.

Motorlar ve Türleri

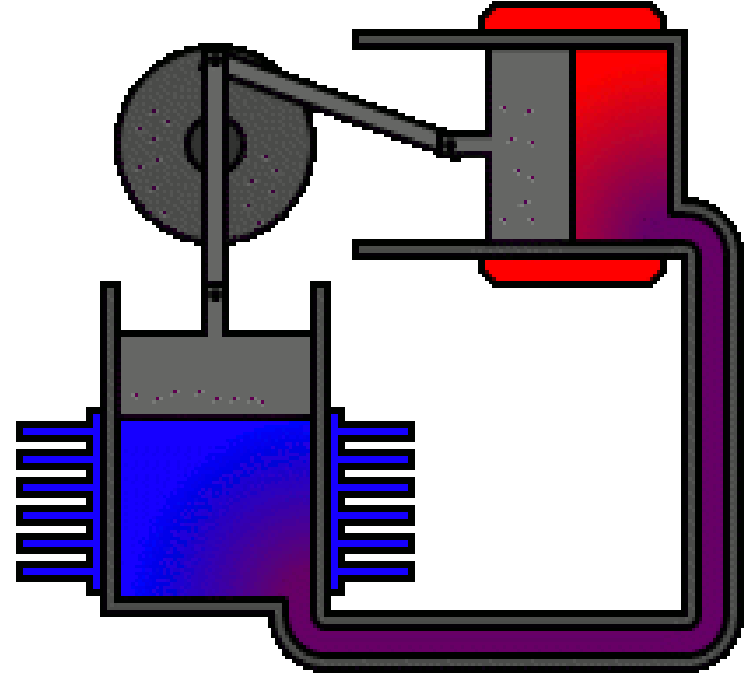
- Motorlar, yakıtın yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir.
- Enerji dönüştürme yöntemine göre iki grupta toplanırlar.
 - İçten yanmalı motorlar
 - Dıştan yanmalı motorlar



Dıştan yanmalı motorlar

- Yanma olayı, motorun dışında oluşturuluyor ve iş gazlarına enerji iletimi ayrıca bir ısı değiştirici ile yapılıyorsa bunlara dıştan yanmalı motor denilir.

- Bu gruba pistonlu buhar makinesi, buhar türbini ve stirling motoru girmektedir.

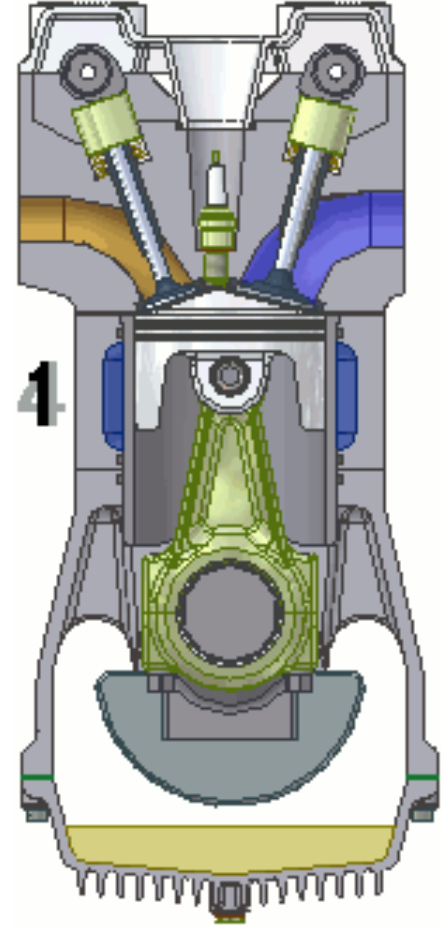


İÇTEN YANMALI MOTOR

- İçten yanmalı motorlar yakıtın barındırdığı kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren bir “ENERJİ DÖNÜŞÜM MAKİNASIDIR”
- İçten yanmalı motorları, dıştan yanmalı motorlardan ayıran en temel fark yakıtın yanması veya oksitlenmesinin silindir içersinde gerçekleşmesidir.
- Günümüzde yakıt tipine bağlı olarak iki tip içten yanmalı motor yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.OTTO motoru

2.DİESEL motoru



MOTOR SINIFLANDIRMASI

1. Strok Sayısına Göre

- 4 Stroklı
- 2 Stroklı

2. Karışım Teşkiline Göre

- Hava Yakıt Karışımının Silindir Dışında Oluşturulması
- Hava Yakıt karışımının Silindir İçinde Oluşturulması

3. Çalışma Çevriminin Karakterine Göre

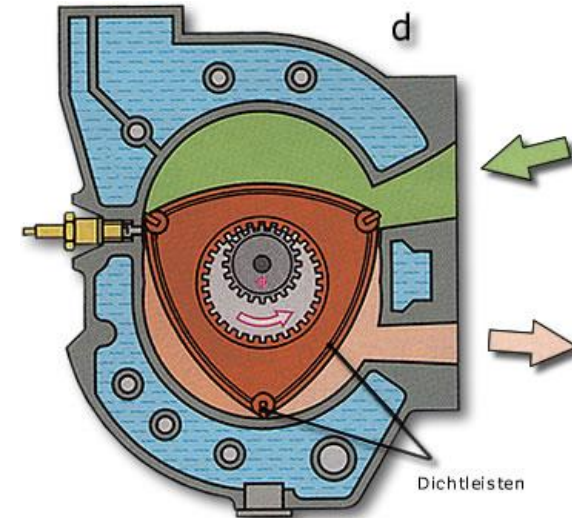
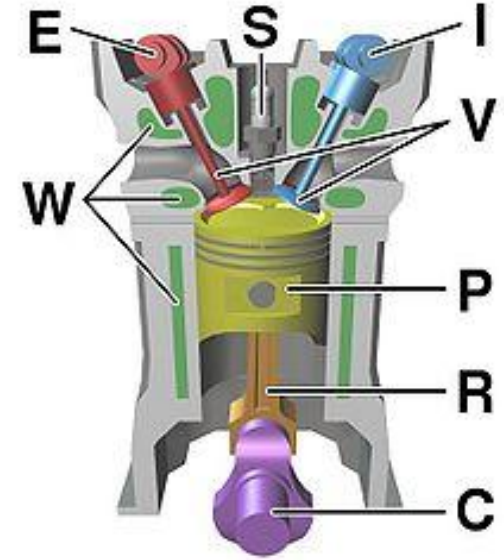
- Yanmanın Sabit Hacimde Olduğu (Otto)
- Yanmanın Sabit Basıncda Olduğu (Diesel)
- Yanmanın Kısmen Sabit Hacim Kısmende Sabit Basıncda Olduğu (Seilinger)

4. Kullanılan Yakıtı Göre

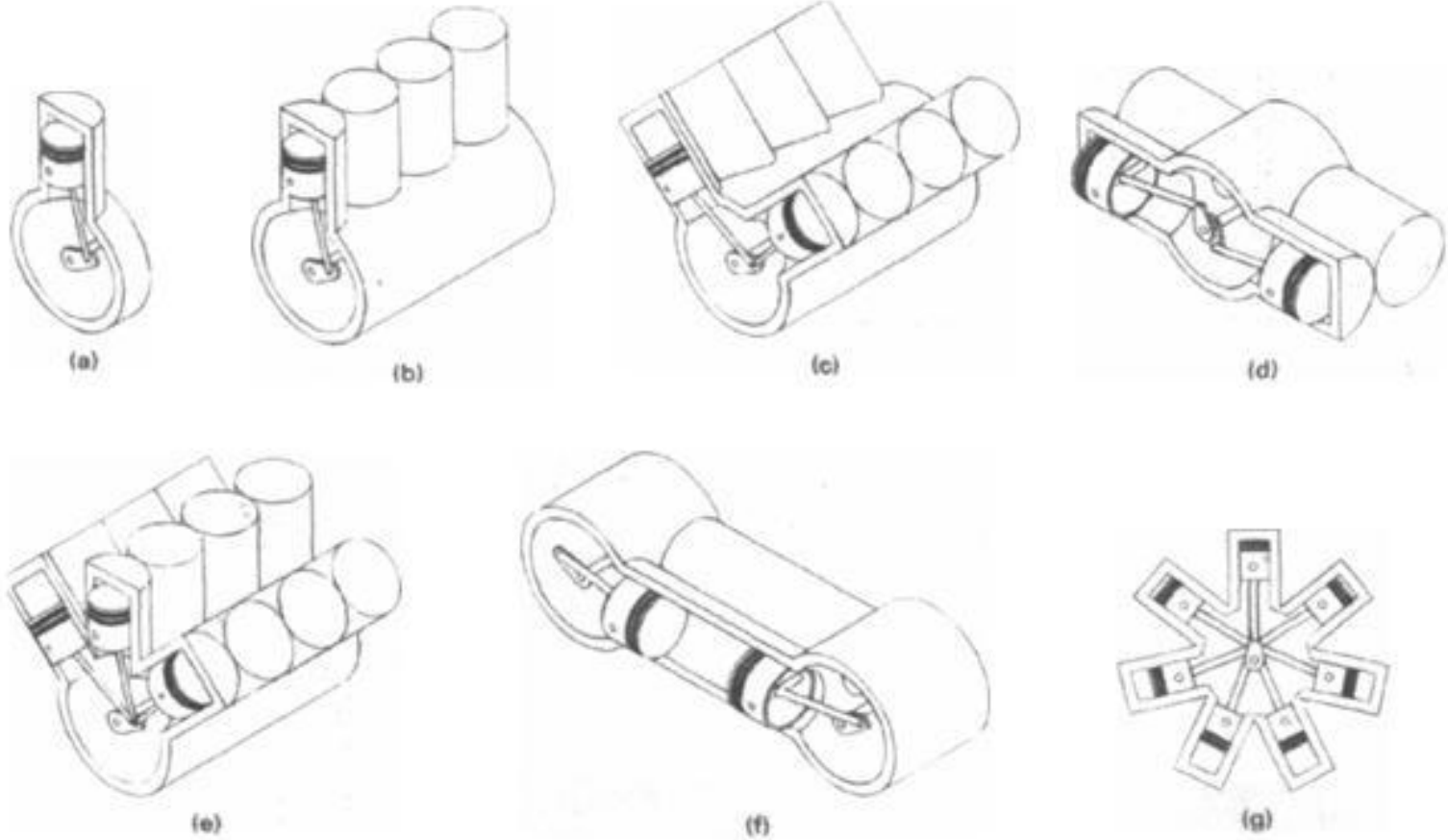
- Sıvı Yakıtlı (Benzin, Motorin, Kerozen, Alkol, Bitkisel Yağ)
- Gaz Yakıtlı (Doğal Gaz CNG, LPG)

5. Taze Dolgunun Silindirlere Doldurulma Şekline Göre

- Doğal Emişli
- Aşırı Doldurmalı



6. Silindir Yerleşime Tarzına Göre

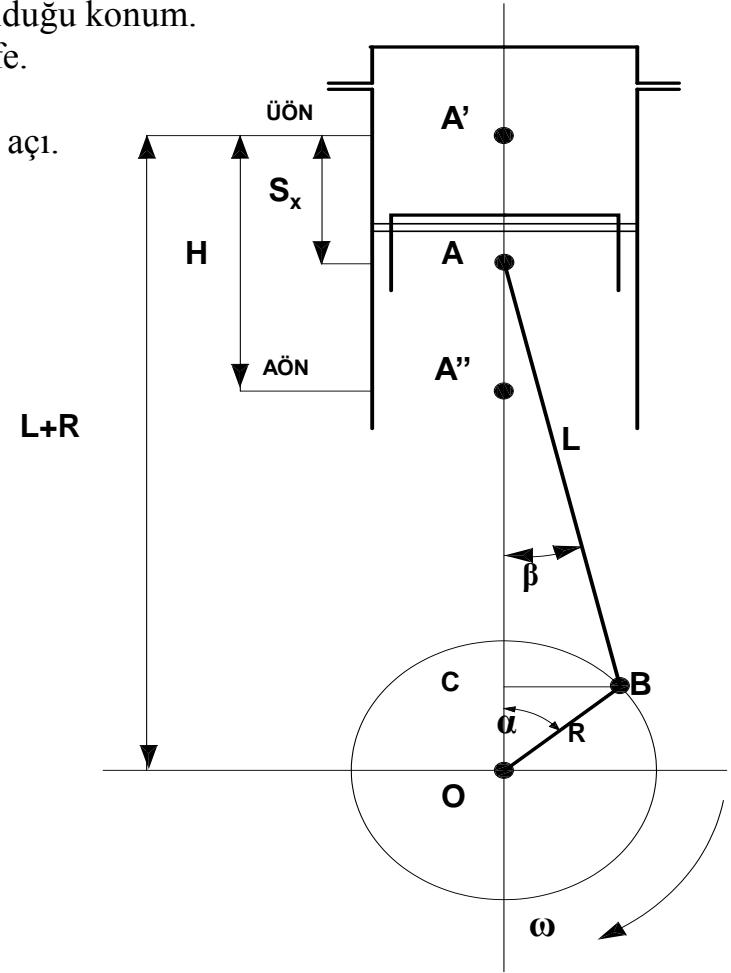


- (a) Tek silindirli motor (b) Sıra Tipi motor
- (c) V motor
- (d) Karşı silindirli (Boxer) motor
- (e) W motor
- (f) Karşı pistonlu motor
- (g) Yıldız (radial) motor

Tanımlar

- Biyel boyu** : Biyel büyük başı merkezi ile biyel küçük başı merkezi arasındaki mesafe.
Krank yarıçapı : Krank mili eksenine ile biyel muylusu eksenine arasındaki mesafe.
Alt ölü nokta : Perno ekseninin krank mili eksenine en yakın olduğu konum.
Üst ölü nokta : Perno ekseninin krank mili eksenine en uzak olduğu konum.
Strok : Alt ölü nokta ile üst ölü nokta arasındaki mesafe.
Piston yolu : Perno eksenin üst ölü noktaya olan uzaklığı.
Krank açısı : Krank kolu ekseninin silindir eksenine yaptığı açı.
Biyel açısı : Biyel ekseninin silindir eksenine yaptığı açı.
Krankın açısal hızı : Krankın kendi eksenine etrafında dönüş hızı.

- L** : Biyel boyu
R : Krank yarıçapı
H : Strok
 α : Krank açısı ($^{\circ}$)
 β : Biyel açısı ($^{\circ}$)
 ω : Krankın açısal hızı (rad/s)
A' : Üst ölü nokta
A'' : Alt ölü nokta
 S_x : Piston yolu

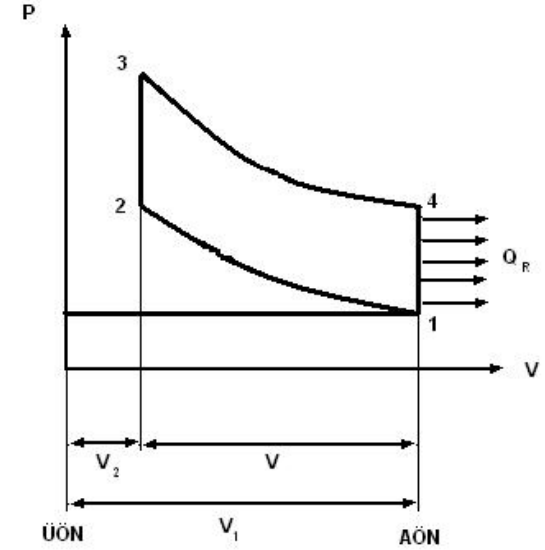


Krank-Biyel Mekanizmasının şematik resmi

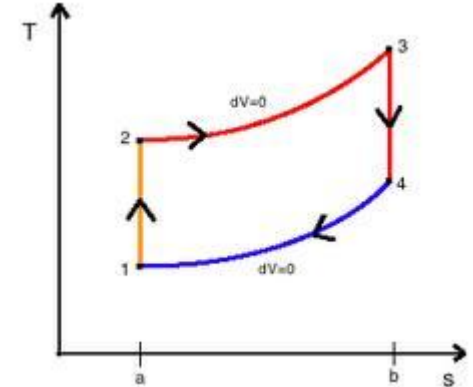
MOTOR ÇEVİRİMLERİ

1-Sabit Hacim Çevrimi (Otto çevrimi)

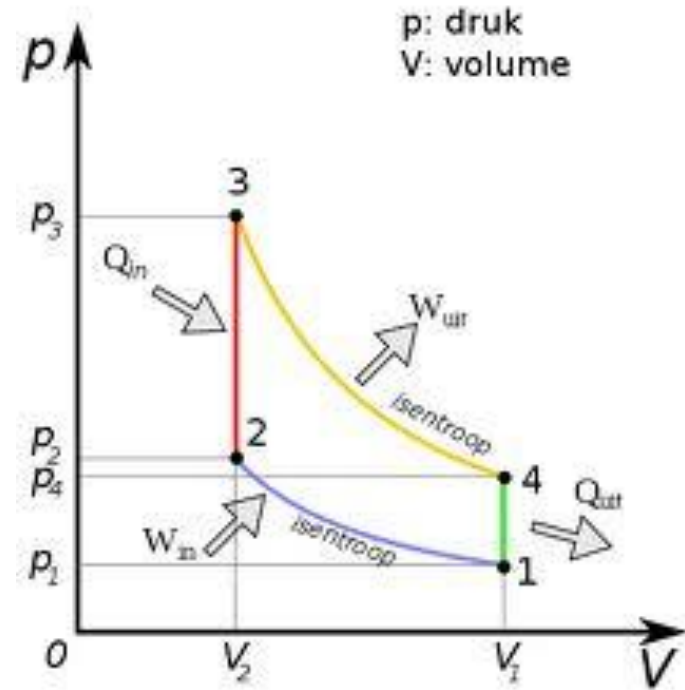
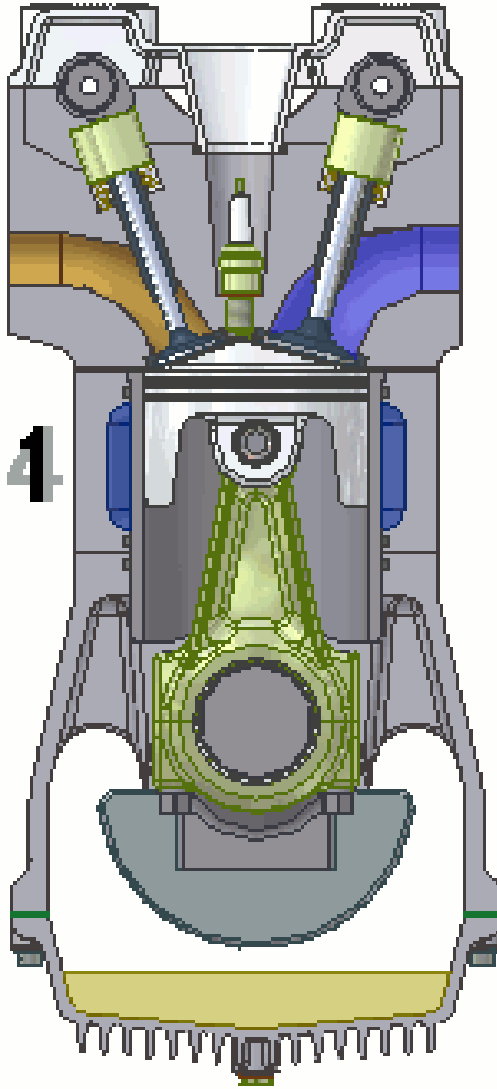
- **Sıkıştırma (1-2)**
- Bu safhada, piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket eder. Bu sırada emme ve egzoz valfleri kapalıdır, dolayısıyla içerdeki hava sıkışır ve basıncı grafikte görüldüğü gibi artar.
- **Sabit Hacimde Yanma (2-3)**
- Piston üst ölü noktaya ulaştığı sırada bujiden kıvılcım çaktırılarak sıkışarak ısınmış hava – yakıt karışımı yanmaya başlar, bunun sonucunda basınç P2'den P3 değerine sıçrama yapar.
- **Genleşme (3-4)**
- Bu safhada piston aşağı doğru hareketine başlar . Bu durum 4 nolu noktaya kadar böyle devam eder. Piston aşağı doğru hareketine devam ettiğinden silindirdeki basınç da düşmeye başlar.
- **Egzoz (4-1) [**
- Sistem 4 nolu noktaya (AÖN) geldiğinde egzoz valfi açılır. Silindir egzoz sistemi ile dışarıya açıldığından silindirdeki basınç atmosferik basınca düşer. Sistemden ısının atılması bu safhada gösterilmiştir. Gerçekte, dışarıya ısının atılması pistonun egzoz stroğunu yapmasıyla olur (grafikte yatay çizgiyle gösterilen strok), ancak ideal bir çevrimde egzoz stroğunda negatif veya pozitif bir iş yapılmadığından çevrimde incelenmez, ısının atılması da egzoz valfi açıldığında bir anda olmuş gibi gösterilir.



V_2 = Yanma odası hacmi
 V = Kurs hacmi
 P_3 = Maksimum basınç

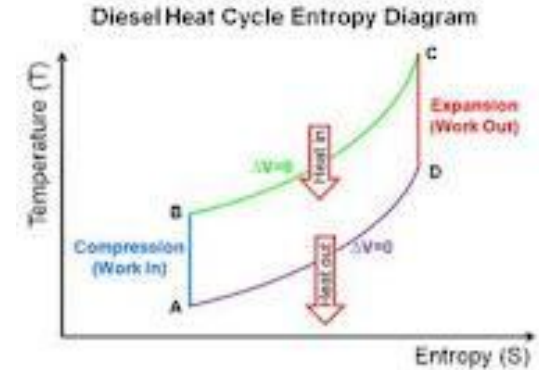
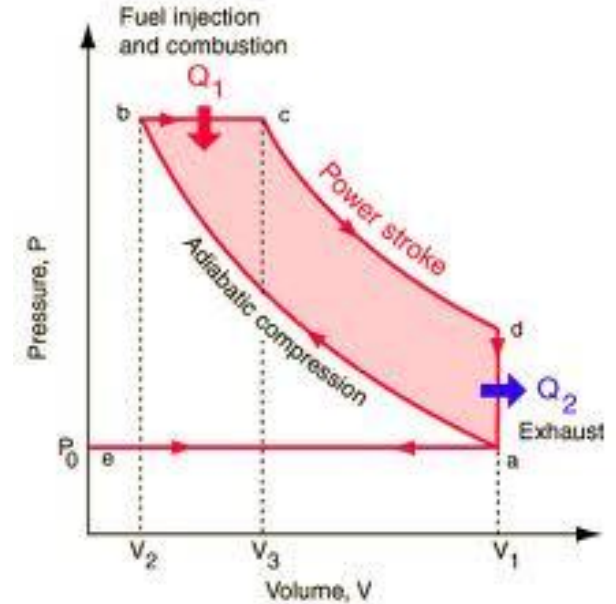


OTTO ÇEVİRİMİ



2- Sabit Basınç Çevrimi (Diesel çevrimi)

- **Sıkıştırma (a-b)**
- Bu safhada, piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket eder. Bu sırada emme ve egzoz valfleri kapalıdır, dolayısıyla içerdeki hava sıkışır ve basıncı grafikte görüldüğü gibi artar.
- **Sabit Basınçta Yanma (b-c)**
- Piston üst ölü noktaya ulaştığı sırada ısınmış hava üzerine enjektörden yakıt püskürtülerek yanma başlar.
- **Genleşme (c-d)**
- Bu safhada piston aşağı doğru hareketine başlar . Bu durum d noktasına kadar böyle devam eder. Piston aşağı doğru hareketine devam ettiğinden silindirdeki basınç da düşmeye başlar.
- **Egzoz (d-e)**
- Sistem d noktasına (AÖN) geldiğinde egzoz valfi açılır. Silindir egzoz sistemi ile dışarıya açıldığından silindirdeki basınç atmosferik basınca düşer. Sistemden ısının atılması bu safhada gösterilmiştir. Gerçekte, dışarıya ısının atılması pistonun egzoz stroğunu yapmasıyla olur (grafikte yatay çizgiyle gösterilen strok), ancak ideal bir çevrimde egzoz stroğunda negatif veya pozitif bir iş yapılmadığından çevrimde incelenmez, ısının atılması da egzoz valfi açıldığında bir anda olmuş gibi gösterilir.



3-Karma Çevrim (Seilinger)

• Sıkıştırma (1-2)

Bu safhada, piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket eder. Bu sırada emme ve egzoz valfleri kapalıdır, dolayısıyla içerdeki hava sıkışır ve basıncı grafikte görüldüğü gibi artar.

• Sabit Hacimde Yanma (2-3)

Piston üst ölü noktaya ulaştığı sırada silindire enjektör tarafından yakıt püskürtülmeye başlar. Sıkışarak ısınmış havayla karşılaşan yakıt yanmaya başlar, bunun sonucunda basınç P2'den P3 değerine sıçrama yapar. Sisteme ısı girişinin olduğu ilk safha bu safhadır.

• Sabit Basınçta Yanma (3-4)

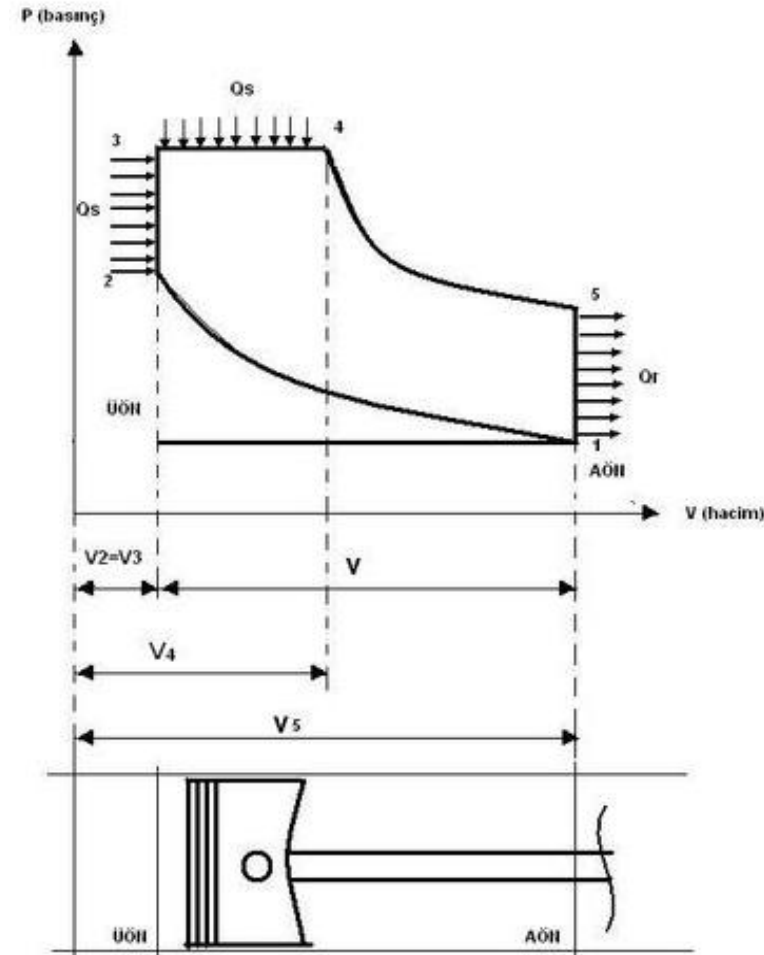
Bu safhada piston aşağı doğru hareketine başlar fakat yanma devam ettiğinden basınç düşmez. Bu durum 4 nolu noktaya kadar böyle devam eder. Böylece bu safhada da sisteme ısı girişi devam etmiş olur.

• Genleşme (4-5)

Artık silindire yakıt püskürtülmemektedir ve yanma durmuştur. Piston aşağı doğru hareketine devam ettiğinden silindirdeki basınç da düşmeye başlar.

• Egzoz (5-6)

Sistem 5 nolu noktaya (AÖN) geldiğinde egzoz valfi açılır. Silindir egzoz sistemi ile dışarıya açıldığından silindirdeki basınç atmosferik basınca düşer. Sistemden ısının atılması bu safhada gösterilmiştir. Gerçekte, dışarıya ısının atılması pistonun egzoz stroğunu yapmasıyla olur (grafikte yatay çizgiyle gösterilen strok), ancak ideal bir çevrimde egzoz stroğunda negatif veya pozitif bir iş yapılmadığından çevrimde incelenmez, ısının atılması da egzoz valfi açıldığında bir anda olmuş gibi gösterilir.



- Qs : Sisteme verilen ısı
- Or : Sistemden atılan ısı
- AÖN : Alt ölü nokta
- ÜÖN : Üst ölü nokta
- V : Kurs hacmi
- V2 : Yanma odası hacmi
- V3 : Maksimum basıncın olduğu hacim
- V4 : Isı verimeye devam edilen hacim
- V5 : Silindir hacmi

OTTO ÇEVİRİMİ TERMODİNAMİĞİ

$$L_{\zeta} = Q_1 - Q_2$$

Q_1 =Sisteme giren ısı

Q_2 =Sistemden çıkan ısı

$$\eta_t = \frac{L_{\zeta}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$Q_1 = m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)$$

$$Q_2 = m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1)}{m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 \left(1 - \frac{T_1}{T_4}\right)}{T_3 \left(1 - \frac{T_2}{T_3}\right)}$$

$$\frac{P_4 V_4}{P_3 V_3} = \frac{m R T_4}{m R T_3} = \frac{P_4 \cdot V_4}{P_3 \cdot V_3} = \frac{T_4}{T_3}$$

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_2 + V_H}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

$$V_4 = V_1, V_3 = V_2$$

$$P_3 \cdot V_3^k = P_4 \cdot V_4^k$$

OTTO ÇEVİRİMİ TERMODİNAMİĞİ

$$\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^k = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^k$$

$$\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^k \cdot \frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^k \cdot \varepsilon$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{mRT_1}{mRT_2} = \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1}{P_2} \cdot \varepsilon = \frac{T_1}{T_2}$$

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k, \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^k = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^k$$

$$\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^k \cdot \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^k \cdot \varepsilon$$

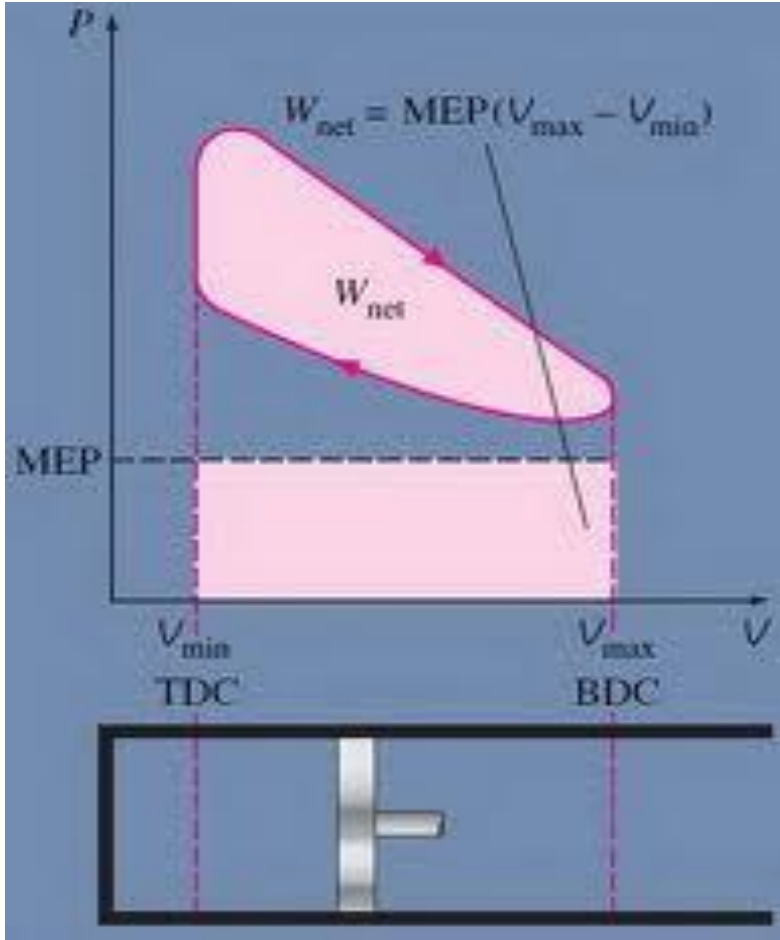
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

OTTO ÇEVİRİMİ TERMODİNAMIĞI

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3}, \frac{T_1}{T_4} = \frac{T_2}{T_3}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 \left(1 - \frac{T_1}{T_4}\right)}{T_3 \left(1 - \frac{T_2}{T_3}\right)} = 1 - \frac{T_4 \left(1 - \frac{T_2}{T_3}\right)}{T_3 \left(1 - \frac{T_2}{T_3}\right)} = 1 - \frac{T_4}{T_3} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

OTTO ÇEVİRİMİ ORTALAMA İNDİKE BASINCI



$$L_{\zeta} = Q_1 - Q_2 \quad \eta_t = \frac{L_{\zeta}}{Q_1}; L_{\zeta} = \eta_t \cdot Q_1$$

$$Q_1 = m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2) \quad L_{\zeta} = \eta_t \cdot m \cdot c_v \cdot T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)$$

$$\frac{c_p}{c_v} = k \quad c_p = k \cdot c_v$$

$$c_p - c_v = R \rightarrow c_v \cdot k - c_v = R \rightarrow c_v = \frac{R}{k-1}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

$$\frac{P_3 V_3}{P_2 V_2} = \frac{m R T_3}{m R T_2} \rightarrow V_3 = V_2 \rightarrow \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \rho: \text{patlama oranı}$$

OTTO ÇEVİRİMİ ORTALAMA İNDİKE BASINCI

$$L_{\zeta} = \eta_t \cdot m \cdot \frac{R}{k-1} \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} (\rho - 1) = \eta_t \cdot \frac{1}{k-1} \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot P_1 \cdot V_1 (\rho - 1)$$

$$V_H = V_1 - V_2 = V_1 \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) = V_1 \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right) = V_1 \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}\right)$$

$$P_{mi} = \frac{L_{\zeta}}{V_H} = \frac{\eta_t \cdot \frac{1}{k-1} \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot P_1 \cdot V_1 (\rho - 1)}{V_1 \cdot \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}\right)} = \eta_t \cdot \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{(\varepsilon - 1)} \cdot (\rho - 1)$$

DİSEL ÇEVİRİMİ TERMODİNAMİĞİ

$$L_{\zeta} = Q_1 - Q_2$$

$$Q_1 = m.c_p.(T_3 - T_2)$$

$$\eta_t = \frac{L_{\zeta}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$Q_2 = m.c_v.(T_4 - T_1)$$

$$\frac{P_3 V_3}{P_2 V_2} = \frac{mRT_3}{mRT_2} \rightarrow P_3 = P_2 \rightarrow \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} = \varepsilon_g : \text{ön.geniş.oranı}$$

$$\frac{P_4 V_4}{P_1 V_1} = \frac{mRT_4}{mRT_1} \rightarrow V_4 = V_1 \rightarrow \frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_4}{\frac{T_2}{\varepsilon^{k-1}}} = \frac{T_4}{T_2} \cdot \varepsilon^{k-1}$$

$$\frac{P_4 V_4^k}{P_1 V_1^k} = \frac{P_3 V_3^k}{P_2 V_2^k} \rightarrow V_4 = V_1 \rightarrow P_3 = P_2 \rightarrow \frac{P_4}{P_1} = \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^k = \varepsilon_g^k$$

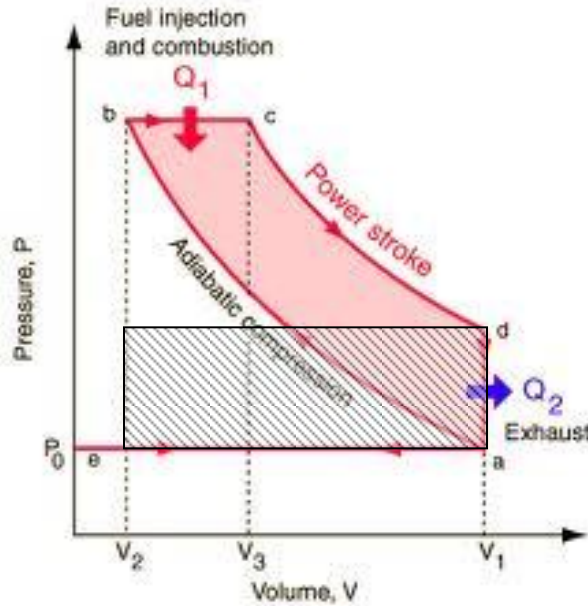
DİSEL ÇEVİRİMİ TERMODİNAMIĞI

$$\frac{P_4}{P_1} = \varepsilon_g^k = \frac{T_4}{T_2} \cdot \varepsilon^{k-1} \Rightarrow \frac{T_4}{T_2} = \frac{\varepsilon_g^k}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1)}{m \cdot c_p \cdot (T_3 - T_2)} \Rightarrow \frac{c_v}{c_p} = \frac{1}{k} \Rightarrow \eta_t = 1 - \frac{1}{k} \cdot \frac{T_2 \left(\frac{T_4}{T_2} - \frac{T_1}{T_2} \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} = 1 - \frac{1}{k} \cdot \frac{\left(\frac{T_4}{T_2} - \frac{T_1}{T_2} \right)}{\left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{k} \cdot \frac{\left(\frac{\varepsilon_g^k}{\varepsilon^{k-1}} - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \right)}{(\varepsilon_g - 1)} = 1 - \frac{1}{k} \cdot \frac{(\varepsilon_g^k - 1)}{\varepsilon^{k-1} \cdot (\varepsilon_g - 1)}$$

DİSEL ÇEVİRİMİ ORTALAMA İNDİKE BASINCI



$$L_{\zeta} = Q_1 - Q_2 \quad \eta_t = \frac{L_{\zeta}}{Q_1}; L_{\zeta} = \eta_t \cdot Q_1$$

$$Q_1 = m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2) \quad \frac{c_p}{c_v} = k \quad c_p = k \cdot c_v$$

$$L_{\zeta} = \eta_t \cdot m \cdot c_p \cdot T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right) \quad T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

$$c_p - c_v = R \rightarrow c_v \cdot k - c_v = R \rightarrow c_v = \frac{R}{k-1}$$

$$L_{\zeta} = \eta_t \cdot m \cdot \frac{k \cdot R}{k-1} \cdot T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right) = \eta_t \cdot m \cdot \frac{k \cdot R}{k-1} \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} (\varepsilon_g - 1) = \eta_t \cdot \frac{k}{k-1} \cdot P_1 \cdot V_1 \cdot \varepsilon^{k-1} (\varepsilon_g - 1)$$

$$P_{mi} = \frac{L_{\zeta}}{V_H} = \frac{\eta_t \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot P_1 \cdot V_1 (\varepsilon_g - 1)}{V_1 \cdot \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \right)} = \eta_t \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1 \cdot \varepsilon^k}{(\varepsilon - 1)} \cdot (\varepsilon_g - 1)$$