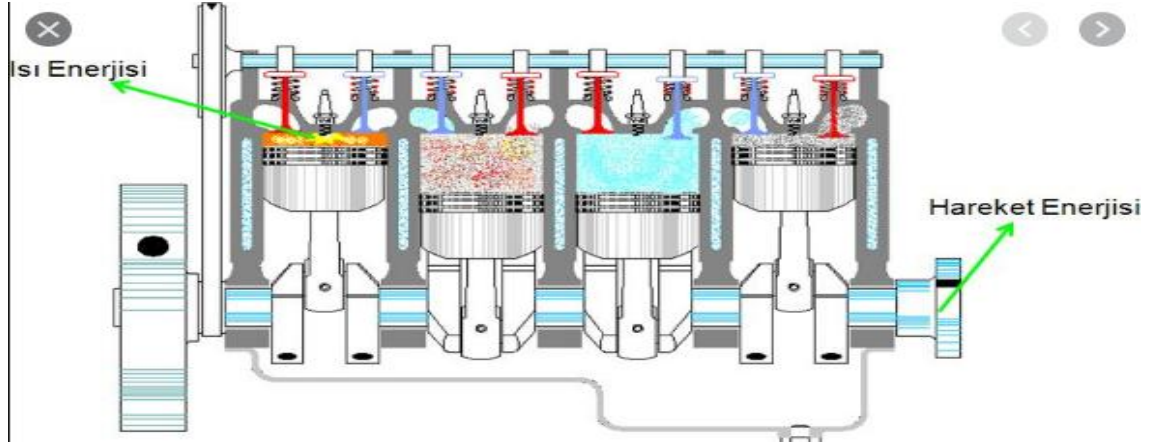


MOTORLAR:

Yakıtın Yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinalardır.

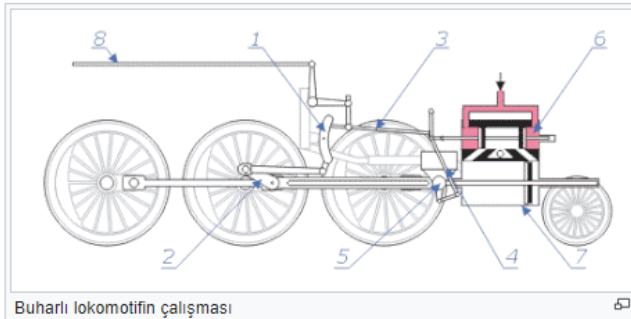


Motorların Sınıflandırılması		
Tip	İsim	Kullanıldığı yerler
Dıştan yanmalı	Pistonlu buhar makinası	Lokomotifler
	Buhar türbinleri	deniz araçları, elektrik santralleri
	Stirling motoru	
İçten Yanmalı motorlar	Buji ile ateşlemeli motor	Otomotiv araçları, küçük deniz araçları,
	Kompresyonla ateşlemeli motor	Otomotiv araçları, Lokomotifler, Elektrik santralleri
	Gaz türbini	Uçaklar, Deniz araçları, elektrik santralleri,
	Jet motorları	Uçaklar
	Roket motorları	Askeri ve uzay araçları

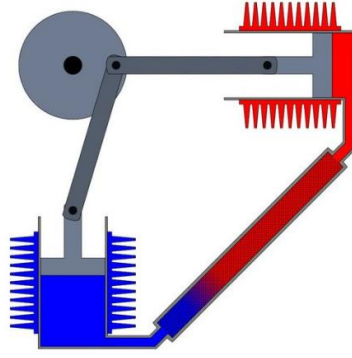
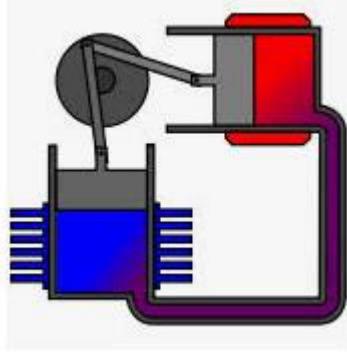
1. **Dıştan Yanmalı Motor:** yakıtın yanması ile sistemde çalışacak olan farklı bir akışkanı ısıtarak o akışkan aracılığı ile enerji dönüşümünü yapan bir motordur.



Buhar makinesi

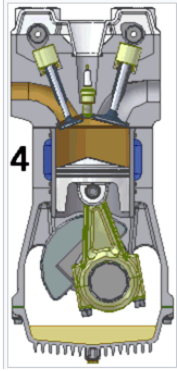


Buharlı lokomotifin çalışması



Stirling motor

2. **İçten Yanmalı Motor:** Yakıtın hava ile yakılmasıyla ortaya çıkan yanma ürünleri iş gören akışkan olur. Yanma olayları silindirin içinde gerçekleşir. İçten yanmalı motorlarda yanma ile oluşan sıcak gazların ısı enerjisi doğrudan mekanik enerjiye dönüşür.



MOTORLARIN SINIFLANDIRMASI

1. Strok Sayısına Göre

- 4 Stroklu- 2 Stroklu

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 Basıncıta Olduğu (Diesel)
- Yanmanın Kısmen Sabit Hacim Kısmende Sabit Basıncıta 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 Yerleştirme 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
- (h) H motor

7. Soğutma Şekline Göre

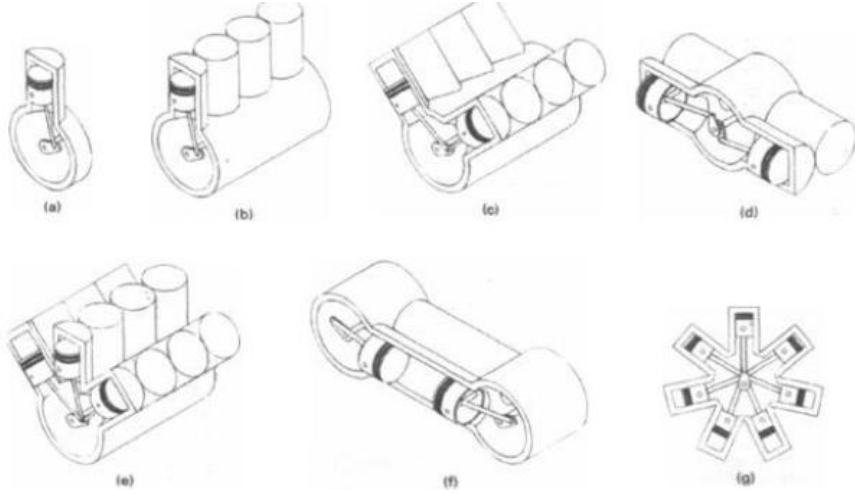
- Sıvı Soğutmalı
- Hava Soğutmalı

8. Piston Hızına Göre

- Düşük Hızlı
- Yüksek Hızlı

9. Kullanım Amaçlarına Göre

- Stasyonær (sabit)
- Gemi
- Lokomotif
- Taşıt
- Uçak
- Domestic (evsel)



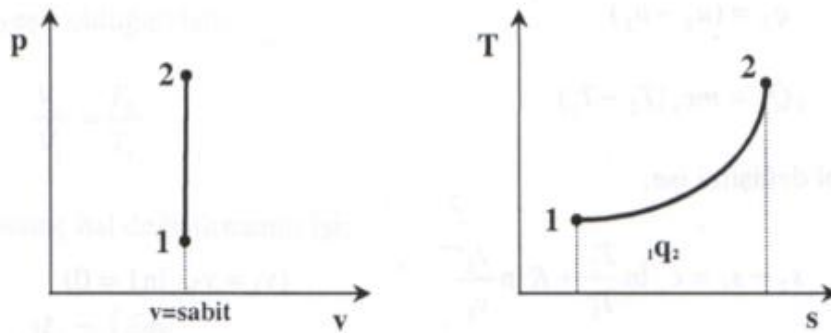
3. TEMEL HAL DEĞİŞTİRME İŞLEMLERİ ve TEORİK ÇEVİRİMLER

3.1. Termodinamik Hal Değişimleri

Motor termodinamiğine ve çevrim analizlerine başlamadan önce bu sistemlerin teorik çevrimlerini oluşturan temel hal (durum) değişimlerini bilmek gerekir. Motorlarda çevrim oluşumu kapalı sistem ve çalışma maddesinin hava olduğu kabulüyle yapılmaktadır. Diğer kabuller motor çevrimleri kısmında bahsedilecektir. Burada, en çok kullanılan, sabit hacim, sabit basınç, sabit sıcaklık, tersinir adyabatik ve politropik hal değişimleri incelenecektir.

3.1.1. Sabit Hacim (İzohor) Hal Değiştirme

Termodinamik hal değişiminin sabit hacimde gerçekleştiği haldir. Bu işlemde entropi değişimi söz konusudur ve sistemdeki basınç ile sıcaklık değişmektedir. Sabit hacim hal değiştirmenin p-v ve T-s diyagramları Şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1: Sabit hacim hal değiştirmenin p-v ve T-s diyagramları

Sabit hacim hal değiştirme için genel gaz denkleminde hareketle aşağıdaki bağıntı yazılabilir;

$$p_1 V_1 = mRT_1 \rightarrow 1. \text{ Nokta}$$

$$p_2 V_2 = mRT_2 \rightarrow 2. \text{ Nokta}$$

V_1 ve V_2 eşit olduğundan;

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (3.1)$$

p-v diyagramının altındaki alan işi ve T-s diyagramının altındaki alan ısıyı verdiğine göre;

Sabit hacim hal değiştirme işi;

$${}_1w_2 = \int p dv \quad \text{ve} \quad (dv = 0) \text{ olduğundan,}$$

$${}_1w_2 = 0 \quad (3.2)$$

Sisteme verilen ısı;

$$\delta q = du + \delta v$$

$$\delta q = du$$

$${}_1q_2 = (u_2 - u_1) \quad (3.3)$$

$${}_1Q_2 = mc_v(T_2 - T_1)$$

Entropi değişimi ise;

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (v_1 = v_2, \ln 1 = 0)$$

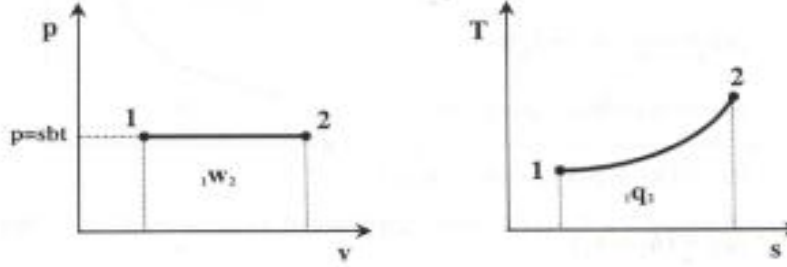
$$s_2 - s_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (3.4)$$

olacaktır [7, 8].

3.1.2. Sabit Basınç (İzobar) Hal Değiştirme

Termodinamik hal değişiminin sabit basınçta gerçekleştiği durumdur. Bu işlemde entropi değişimi söz konusudur ve sisteme ısı verilirken hacim

değişmekte basınç ise sabit kalmaktadır. Sabit basınç hal değiştirmenin p-v ve T-s diyagramları Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.2: Sabit basınç hal değiştirmenin p-v ve T-s diyagramları

Sabit basınç hal değiştirme için genel gaz denkleminde hareketle aşağıdaki bağıntı yazılabilir;

$$p_1 V_1 = mRT_1 \rightarrow 1. \text{ Nokta}$$

$$p_2 V_2 = mRT_2 \rightarrow 2. \text{ Nokta}$$

p_1 ve p_2 eşit olduğundan;

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (3.5)$$

Sabit basınç hal değiştirmenin işi;

$${}_1w_2 = \int p dv$$

$p_1=p_2$ sabit olduğundan,

$${}_1w_2 = p(v_2 - v_1) \quad (3.6)$$

$pV = RT$ olduğundan, sabit basınçta iş için aşağıdaki eşitlikte yazılabilir;

$${}_1w_2 = R(T_2 - T_1) \quad (3.7)$$

Sabit basınç hal değiştirmede sisteme verilen ısı;

$$\delta q = du + p dv$$

$${}_1q_2 = (u_2 - u_1) + ({}_1w_2)$$

$${}_1q_2 = (u_2 - u_1) + p(v_2 - v_1)$$

$${}_1q_2 = (u_2 + p_2v_2) - (u_1 + p_1v_1)$$

$${}_1q_2 = (h_2 - h_1) \quad (3.8)$$

İdeal gazlar için $dh = c_p dT$ olduğundan;

$${}_1q_2 = c_p(T_2 - T_1) \quad (3.9)$$

olur.

Sabit basınç hal değiştirme esnasındaki entropi değişimi ise;

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (p_2 = p_1, \ln 1 = 0)$$

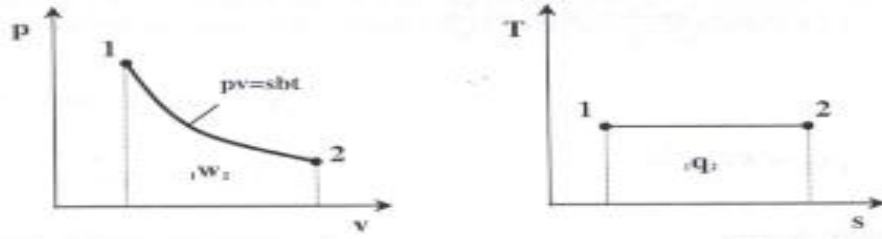
olduğundan,

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (3.10)$$

şeklinde elde edilir [7].

3.1.3. Sabit Sıcaklık (İzoterm) Hal Değiştirme

Bu termodinamik hal değişiminde sıcaklık değişmemektedir. Sabit sıcaklık hal değiştirmenin p-v ve T-s diyagramları Şekil 3.3 de verilmiştir.



Şekil 3.3: Sabit sıcaklık hal değiştirmenin p-v ve T-s diyagramları

Boyle-Mariotte yasasına göre, sabit sıcaklıkta;

$$\begin{aligned} p_1 V_1 &= mRT_1 \\ p_2 V_2 &= mRT_2 \end{aligned}$$

ve sıcaklık sabit olduğundan,

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (3.11)$$

dir. Eşitlik düzenlenirse;

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} \quad (3.12)$$

elde edilir. Sabit sıcaklık hal değiştirmesi esnasında sistemdeki iş;

$${}_1w_2 = \int p dv$$

pv sabit olduğundan;

$${}_1w_2 = p_1 v_1 \int \frac{dv}{v}$$

$${}_1w_2 = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_2 v_2 \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (3.13)$$

ya da;

$${}_1w_2 = RT \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (3.14)$$

yazılabilir. Ayrıca;

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{p_1}{p_2}$$

olduğundan iş eşitliği;

$${}_1w_2 = p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = p_2 v_2 \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (3.15)$$

ya da;

$${}_1w_2 = RT \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (3.16)$$

şeklinde yazılabilir.

Sabit sıcaklıkta sisteme verilen ısı;

$${}_1q_2 = (u_2 - u_1) + ({}_1w_2)$$

ve, $du = c_v dT$ olduğundan;

$${}_1q_2 = c_v (T_2 - T_1) + {}_1w_2$$

ve $T_2 = T_1$ olduğundan;

$${}_1q_2 = {}_1w_2 \quad (3.17)$$

olacaktır.

Bu durumda sabit sıcaklık hal değişiminde sistemin işi, ısı transferine eşittir. Sisteme verilen ısı; $dq = Tds$ olduğundan ve T sabit olduğundan;

$$\int_1^2 dq = T \int_1^2 ds \quad \text{ve,} \quad (3.18)$$

$$q_2 = T(s_2 - s_1)$$

olacaktır. Entropi değişimi ise;

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \quad \text{ve,} \quad (T_2 = T_1, \ln 1 = 0)$$

$$s_2 - s_1 = -R \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (3.19)$$

Ya da;

$$s_2 - s_1 = R \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (3.20)$$

olur.

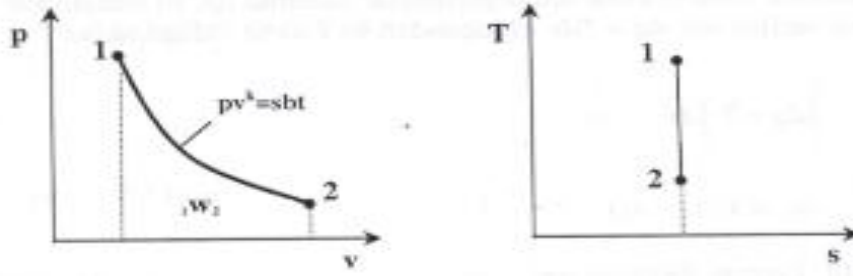
$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{p_1}{p_2} \quad \text{olduğundan entropi eşitliği;}$$

$$s_2 - s_1 = R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (3.21)$$

şeklinde de yazılabilir [7].

3.1.4. Tersinir Adyabatik (İzantropik) Hal Değişirme

Hal değişirme işlemi esnasında ısı alışverişi olmuyorsa, yani entropi "s" sabit ise, bu tür bir hal değiştirmeye tersinir adyabatik ya da izantropik hal değişirme denir. Tersinir adyabatik hal değiştirmenin p-v ve T-s diyagramları Şekil 3.4 deki gibidir.



Şekil 3.4: Tersinir adyabatik hal değiştirmenin p-v ve T-s diyagramları

T-s, diyagramının altında kalan alan '0' olduğundan,

$$dq = 0 \quad (3.22)$$

$$dq = Tds \quad \text{ve} \quad dq = 0 \quad \text{ise};$$

$$ds = 0 \quad (s_2 - s_1 = 0) \quad (3.23)$$

olur.

Sabit hacimdeki özgül ısıнын sabit hacimdeki özgül ısıya oranı (adyabatik üs);

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad (3.24)$$

dir. Özgül ısıların farkı ise gaz sabitini vermektedir,

$$c_p - c_v = R \quad (3.25)$$

İdeal gazlar için özgül ısılar sabit kabul edildiğinden, k da sabit olmaktadır. Bu durumda;

$$Tds = dq$$

$$Tds = du + pdv = c_v dT + pdv = 0 \quad (3.26)$$

yazılabilir. Genel gaz denkleminde;

$$pv = RT$$

$$p dv + v dp = R dT$$

$$dT = \frac{1}{R} (p dv + v dp) \quad (3.27)$$

elde edilir. Bu durumda;

$$c_v \frac{1}{R} (p dv + v dp) + p dv = 0$$

olur, c_v yerine eşdeğeri yazılırsa;

$$\frac{R}{k-1} \frac{1}{R} (p dv + v dp) + p dv = 0$$

elde edilir ve gerekli düzenlemelerle;

$$v dp + k p dv = 0$$

elde edilir. $1/pv$ ile çarpılırsa;

$$\frac{dp}{p} + k \frac{dv}{v} = 0$$

elde edilir. k sabit kabul edilerek integral alınırsa;

$$\int_1^2 \frac{dp}{p} = \int_1^2 -k \frac{dv}{v}$$

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = -k \ln \frac{v_2}{v_1}$$

ya da;

$\ln \frac{p_2}{p_1} = k \ln \frac{v_1}{v_2}$ bulunur. Buradan;

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k \text{ veya;}$$

$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k = p v^k = \text{sabit} \quad (3.28)$$

eşitliği elde edilir ve bu eşitlik temel adyabatik bağıntısı olarak bilinir.

Genel gaz denkleminde hareketle aynı eşitlik;

$$\left[\frac{RT_1}{v_1} \right] v_1^k = \left[\frac{RT_2}{v_2} \right] v_2^k$$

$$T_1 v_1^{k-1} = T_2 v_2^{k-1} \quad (3.29)$$

Şeklinde de yazılabilir. Buradan;

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \text{ ve,} \quad (3.30)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} \quad (3.31)$$

elde edilir.

Tersinir adyabatik hal değiştirmede iş için, p-v diyagramının altında kalan alandan hareketle;

$${}_1w_2 = \int p dv \quad \text{ve;}$$

$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k = p v^k = \text{sabit} \Rightarrow p = \frac{\text{sabit}}{v^k}$$

3. Temel Durum Değiştirme İşlemleri ve Teorik Çevrimler

51

Yukarıdaki basınç ifadesi iş eşitliğinde yerine yazılırsa;

$${}_1w_2 = \text{sabit} \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v^k} = \text{sabit} \int v^{-k} dv = \text{sabit} \left[\frac{v^{-k+1}}{-k+1} \right] = \frac{\text{sabit}}{1-k} (v_2^{1-k} - v_1^{1-k})$$

$${}_1w_2 = \frac{p_2 v_2 - p_1 v_1}{1-k} \quad (3.32)$$

ya da eşdeğerleri cinsinden;

$${}_1w_2 = \frac{R(T_2 - T_1)}{1-k} \quad (3.33)$$

yazılabilir.

Tersinir adyabatik hal değiştirmede entropi değişimi olmadığından ısı değişimi;

$${}_1q_2 = (u_2 - u_1) + ({}_1w_2) = 0 \quad (3.34)$$

olacaktır [7].