

**C.B.Ü MAK. MÜH. TERMODİNAMİK FORMÜLLERİ (Hazırlayan : Doç.Dr.Leyla ÖZGENER)**

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15 \quad \Delta P = P_2 - P_1 = \rho g \Delta z \quad P_{atm} = \rho g h \quad \frac{dP}{dz} = -\rho g$$

$$T(R) = T(^{\circ}F) + 459.67$$

$$\Delta T(K) = \Delta T(^{\circ}C)$$

$$x = m_{buhar} / m_{toplam}$$

$$m = \frac{V}{v}$$

$$y = y_f + xy_{fg}$$

$$y \cong y_f @ T$$

**Mükemmel gaz hal denklemi:**

$$Pv = RT$$

$$PV = mRT$$

**Sıkıştırılabilir Çarpanı:**

$$Z = \frac{Pv}{RT}$$

$$Z = \frac{v_{actual}}{v_{ideal}}$$

$$T_R = \frac{T}{T_{cr}}$$

$$P_R = \frac{P}{P_{cr}}$$

$$v_R = \frac{v_{actual}}{RT_{cr}/P_{cr}}$$

**Van der Waals denklemi:**

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \quad a = \frac{27R^2 T_{cr}^2}{64P_{cr}} \quad b = \frac{RT_{cr}}{8P_{cr}}$$

**Beattie-Bridgeman:**

$$P = \frac{R_u T}{v^2} \left(1 - \frac{c}{v T^3}\right) (\bar{v} + B) - \frac{A}{v^2} \quad A = A_0 \left(1 - \frac{a}{v}\right) \quad B = B_0 \left(1 - \frac{b}{v}\right)$$

**Benedict-Webb-Rubin:**

$$P = \frac{R_u T}{v} + \left(B_0 R_u T - A_0 - \frac{C_0}{T^2}\right) \frac{1}{v^2} + \frac{b R_u T - a}{v^3} + \frac{a \alpha}{v^6} + \frac{c}{v^3 T^2} \left(1 + \frac{\gamma}{v^2}\right) e^{-\gamma/v^2}$$

**İletimle Isı Transferi:**

$$\dot{Q}_{iletim} = -k_t A \frac{dT}{dx}$$

**Taşınım İle Isı Transferi:**

$$\dot{Q}_t = hA(T_s - T_f)$$

**İşinimle Isı Transferi:**

$$\dot{Q}_{ışınım} = \epsilon \sigma A(T_s^4 - T_{çevre}^4)$$

**Elektrik işi:**  $W_e = VI \Delta t$

**Sınır işi:**  $W_s = \int_1^2 P dv$

**Yerçekimi işi:**  $W_g = m g (z_2 - z_1)$

**İvme işi:**  $W_i = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2)$

**Mil işi:**  $W_{mil} = 2\pi n \tau$

**Yay işi:**  $W_{yay} = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2)$

**İzobarik sistem için sınır işi:**  $W_s = P_0 (V_2 - V_1) \quad (P_1 = P_2 = P_0 = \text{sabit})$

**Politropik sistem için sınır işi:**  $W_s = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n} \quad n \neq 1 \quad (P V^n = \text{sabit})$

**İdeal bir gaz için izotermal sistem için sınır işi:**  $W_s = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = mRT_0 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (P V = mRT_0 = \text{sabit})$

**Kapalı Sistemlerde Termodinamiğin I. Yasası:**  $Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$

$$W = W_{diger} - W_s \quad \Delta U = m(u_2 - u_1) \quad \Delta KE = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2) \quad \Delta PE = mg(z_2 - z_1)$$

**Sabit basınçta bir hal değişimi:**  $W_s + \Delta U = \Delta H$

$$Q - W_{diger} = \Delta H + \Delta KE + \Delta PE$$

**Özgül ısılar:**

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$$

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p$$

$$c_p = c_v + R$$

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

**İdeal gazlar için:**

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v(T) dT \cong c_{v,ort} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 c_p(T) dT \cong c_{p,ort} (T_2 - T_1)$$

**Sıkıştırılmayan maddeler için:**  $c_p = c_v = c$

$$\Delta u = \int_1^2 c(T) dT \cong c_{ort} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = \Delta u + v \Delta P$$

**Kütlesel Debi :**  $\dot{m} = \rho VA$

**Hacimsel Debi :**  $\dot{V} = VA = \frac{\dot{m}}{\rho}$

$\rho = \text{Yoğunluk}$

$V = \text{Ortalama akışkan hızı}$

$A = \text{Kesit alanı}$

**Akış İşi :**  $\theta = h + ke + pe = h + V^2/2 + gz$

**Sürekli Akışlı Açık Sistem :**  $\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\phi$        $q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$        $w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}}$

$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi \left( h_\phi + \frac{V_\phi^2}{2} + gz_\phi \right) - \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right)$

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \Rightarrow \frac{1}{v_1} V_1 A_1 = \frac{1}{v_2} V_2 A_2$        $\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[ h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right]$

$q - w = \Delta h + \Delta ke + \Delta pe$

**Zamanla Değişen Açık Sistem :**  $\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\phi = (\dot{m}_2 - \dot{m}_1)_{KH}$

$Q - W = \sum \int_{m_\phi} \left( h_\phi + \frac{V_\phi^2}{2} + gz_\phi \right) \delta m_\phi - \sum \int_{m_g} \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \delta m_g + \Delta E_{KH}$

**Düzgün Akışlı Dengeli Açık Sistem :**

$Q - W = \sum \dot{m}_\phi \left( h_\phi + \frac{V_\phi^2}{2} + gz_\phi \right) - \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) + (\dot{m}_2 e_2 - \dot{m}_1 e_1)_{KH}$

**Kontrol Hacmine Giren ve Çıkan Akışların Kinetik Enerji Değişimleri İhmal Edilirse :**

$Q - W = \sum \dot{m}_\phi h_\phi - \sum \dot{m}_g h_g + (\dot{m}_2 u_2 - \dot{m}_1 u_1)_{KH}$

**Bir Isı Makinasının Isıl Verimi :**  $\eta_{th} = 1 - (Q_L/Q_H)$        $\eta_{th,tersinir} = 1 - (T_L/T_H)$

$COP_{SM} = \frac{1}{(Q_H/Q_L) - 1} = \frac{Q_L}{W_{net,giren}}$        $COP_{IP} = \frac{1}{1 - (Q_L/Q_H)} = \frac{Q_H}{W_{net,giren}}$

$COP_{SM,tersinir} = \frac{1}{(T_H/T_L) - 1}$        $COP_{IP,tersinir} = \frac{1}{1 - (T_L/T_H)}$

$\left( \frac{Q_H}{Q_L} \right)_{tr} = \frac{T_H}{T_L}$

Clausius eşitsizliği :  $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$   $dS = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{içten, tersinir}$   $\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{\Delta Q}{T} \right)_{içten, tersinir}$   $\Delta S = \frac{Q}{T_0}$

Entropinin Artışı İlkesi :  $dS \geq \frac{\delta Q}{T}$   $\Delta S_{yalıtılmış} \geq 0$   $S_{üretilen} = \Delta S_{toplam} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre} \geq 0$

Kapak Sistem İçin:

$S_{üretilen} = \Delta S_{toplam} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre} \geq 0$   $\Delta S_{sistem} = m(s_2 - s_1)$   $\Delta S_{çevre} = \sum \frac{Q_R}{T_R}$

1. Genel İfade :  $\dot{S}_{üretilen} = \sum \dot{m}_f s_f - \sum \dot{m}_g s_g + \frac{dS_{KH}}{dt} + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R}$

2. Düzgün Akışlı Dengeli Açık Sistem:

$\dot{S}_{üretilen} = (m_2 s_2 - m_1 s_1)_{KH} + \sum \dot{m}_f s_f - \sum \dot{m}_g s_g + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \geq 0$

3. Sürekli Akışlı Açık Sistem :  $\dot{S}_{üretilen} = \sum \dot{m}_f s_f - \sum \dot{m}_g s_g + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \geq 0$

• Bir Hal Değişimi İçin Entropi Değişimi Bağlantıları ve İzentropik Bağlantılar

1. Saf Maddeler :

Herhangi Bir Hal Değişimi :  $\Delta s = s_2 - s_1$  İzentropik Hal Değişimi :  $s_2 = s_1$

2. Sıkıştırılmaz Maddeler :

Herhangi Bir Hal Değişimi :  $s_2 - s_1 = c_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1}$  İzentropik Hal Değişimi :  $T_2 = T_1$

3. Mükemmel Gazlar :

a) Sabit Özgül Isılar ( Yalıtık Çözüm) :

Herhangi Bir Hal Değişimi :  $s_2 - s_1 = c_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$   $s_2 - s_1 = c_{p,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{P_2}{P_1}$

İzentropik Hal Değişimi:

$\left( \frac{T_2}{T_1} \right)_{s=sbt} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{\gamma-1}$   $\left( \frac{P_2}{P_1} \right)_{s=sbt} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^\gamma$   $\left( \frac{T_2}{T_1} \right)_{s=sbt} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(1-\gamma)/\gamma}$

b) Değişken Özgül Isılar (Tan Çözüm) :

Herhangi Bir Hal Değişimi :  $s_2 - s_1 = \overset{\circ}{s}_2 - \overset{\circ}{s}_1 - R \ln \frac{P_2}{P_1}$

İzentropik Hal Değişimi :  $\overset{\circ}{s}_2 = \overset{\circ}{s}_1 + R \ln \frac{P_2}{P_1}$

• Tersinir Hal Değişimi İçin sürekli akış işi :  $w_r = - \int_1^2 v dP - \Delta ke - \Delta pe$

Sıkıştırılmaz Maddeler İçin (v=sbt) :  $w_r = v(P_2 - P_1) - \Delta ke - \Delta pe$

• Mükemmel Gazlarda Sıkıştırma İşlemi :

İzentropik Durum :  $w_{komp,g} = \frac{kR(T_1 - T_2)}{k-1} = \frac{kRT_1}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \right]$

Pollotropik Durum :  $w_{komp,g} = \frac{nR(T_1 - T_2)}{n-1} = \frac{nRT_1}{n-1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(1-\gamma)/\gamma} \right]$

İzotermal :  $w_{komp,g} = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$

• Türbin, Kompresör ve Lale İçin Adyabatik Bağlantılar

$\eta_r = \frac{\text{gerçek türbin işi}}{\text{izantropik türbin işi}} = \frac{w}{w_s} \approx \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$  ( $\Delta ke = \Delta pe = 0$  olursa)

$\eta_c = \frac{\text{izantropik kompresör işi}}{\text{gerçek kompresör işi}} = \frac{w_s}{w} \approx \frac{h_{2s} - h_2}{h_2 - h_1}$  ( $\Delta ke = \Delta pe = 0$  olursa)