

Termodinamik II

Ders 01: Ekserjisi Anlamak

Termodinamikte önemli denge eşitlikleri:

* Kütlenin korunumu: $\underbrace{\sum \dot{m}_{giren}}_{\text{Kontrol yüzeyinde}} - \underbrace{\sum \dot{m}_{çıkan}}_{\text{Kontrol hacminde}} = \frac{dm_{KH}}{dt} \quad (\text{kg/s})$

* Enerjinin korunumu:
(Enerji dengesi)

$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{sistem} \quad (\text{J})$$

$$\underbrace{\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan}}_{\text{Sistem sınırında}} = \underbrace{\frac{dE_{sistem}}{dt}}_{\text{Sistemde}} \quad (\text{W})$$

* Entropi dengesi:

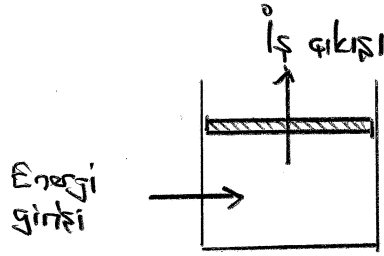
$$S_{giren} - S_{çıkan} + S_{iletim} = \Delta S_{sistem} \quad (\text{J/K})$$

$$\underbrace{\dot{S}_{giren} - \dot{S}_{çıkan} + \dot{S}_{iletim}}_{\text{Sistem sınırında}} = \underbrace{\frac{dS_{sistem}}{dt}}_{\text{Sistemde}} \quad (\text{W/K})$$

* Ekserji dengesi:

$$X_{giren} - X_{çıkan} - X_{yokolan} = \Delta X_{sistem} \quad (\text{J})$$

$$\underbrace{\dot{X}_{giren} - \dot{X}_{çıkan} - \dot{X}_{yokolan}}_{\text{Sistem sınırında}} = \underbrace{\frac{dX_{sistem}}{dt}}_{\text{Sistemde}} \quad (\text{W})$$



Enerji miktarının
ne kadar YARARLI işe
dönüştürülebilir?

Eksergi $\rightarrow$ Enerjinin iş potansiyeli (Yararlı işe dönüşme potansiyeli)
↓
Elde edilebilecek EN FAZLA yararlı iş potansiyeli

Hal değişimi $\rightarrow$ Hal 1 (Eksergi analizinde hal 1'e ait özellikler belli olmalıdır)

Hal değişim yolu $\rightarrow$ Tersinir hal değişimi

Hal 2 (Son hal)

ÖLÜ HAL (En çok iş eldesi için son hal,
ölü hal olmalıdır).

Ölü hal $\rightarrow$ Çevresi ile termodinamik denge olan durum.

↓
eksergi $\rightarrow$ sıfır
(uzak çevre)

Isıl denge $T = T_{\text{çevre}} = T_0$

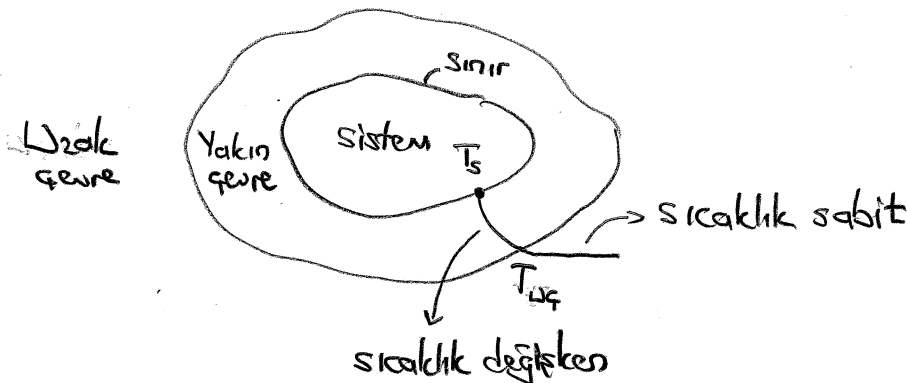
Mekanik denge $P = P_{\text{çevre}} = P_0$

Kinetik en. $V = 0$ m/s

Potansiyel en. $z = 0$ m

Çevre ile kimyasal tepkime yok.

$T_0 = 25^\circ\text{C}$, $P_0 \approx 100$ kPa



Isı makinası $\rightarrow$ İş eldesi

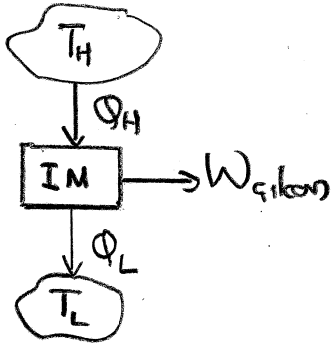
$$T_H \rightarrow T_0 \text{ (Max. iş eldesi)}$$

Sınır işi $\rightarrow$ İş eldesi

$$P_i \rightarrow P_o \text{ (Max. iş eldesi)}$$

Kinetik en. değişimi $\rightarrow$ İş eldesi

$$V_i \rightarrow V_o \text{ (Hız) (Max. iş eldesi)}$$



İki farklı sıcaklık değeri
arasında her zaman bir
ısı makinası çalıştırılabilir
"İŞ ELDESİ"

$$T_H \rightarrow T_0 \Rightarrow \text{Max. iş eldesi}$$

Ölü halde olan sistemde $\rightarrow$ İş YOK

Hal değişimi
(Tersinir)
İLK HAL $\rightarrow$ ÖLÜ HAL $\Rightarrow$ En fazla iş eldesi
(Gevre) (Ekserji)
LST SINIR

Gevreyi değiştirmek $\rightarrow$ ekserjiyi artırır.

Ekserji $\Rightarrow$ sistem + gevre ile ilgilidir.

$$(\text{Gerçek iş}) < (\text{Ekserji})$$

Kinetik enerji: $KE = \frac{1}{2} m V^2$ (J) } En fazla iş miktarı ne olabilir?
 Potansiyel enerji: $PE = m g z$ (J)

$$\text{Ekserji} \rightarrow X_{ke} = k_e = \frac{V^2}{2} \text{ (J/kg)}$$

$$X_{pe} = p_e = g z \text{ (J/kg)}$$

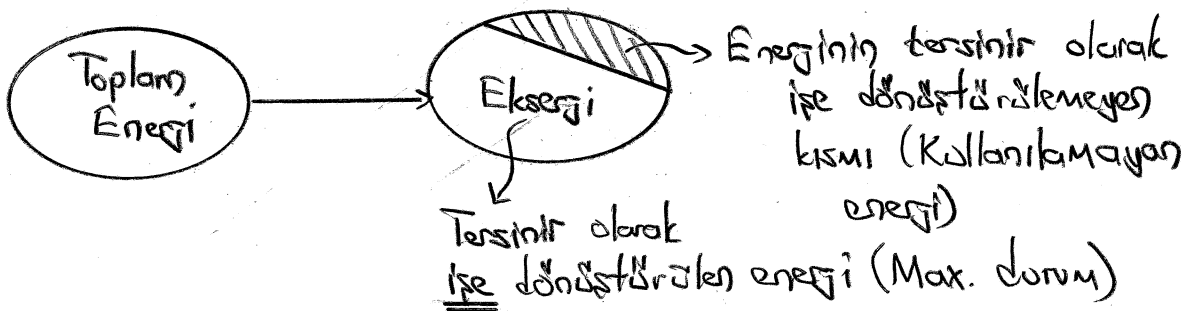
Kinetik ve potansiyel enerji eşitlikleri ideal eşitliklerdir, sürtünme gibi bozucu etkileri içermemektedirler. Bu nedenle k_e ve p_e , direkt olarak X_{ke} ve X_{pe} 'ye eşittir.

Örneğin; bir rüzgar türbininden elde edilebilecek max. güç nasıl hesaplanabilir?

(Hız) $V_{\text{rüzgar}} \rightarrow$  $k_e = \frac{V^2}{2} \rightarrow k_e = \frac{V_{\text{rüzgar}}^2}{2} \text{ (J/kg)}$

$$X_{ke} = k_e \Rightarrow \dot{W}_{\text{max}} = \dot{m} X_{ke} \text{ (W)}$$

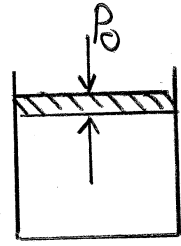
↓ rüzgar (hava)
debisi, (kg/s)



Gerçek sistemlerde terstomelik hesabı.

↓ Harcanmış iş potansiyeli
(Değerlendirilememiş iş miktarı)

Piston-silindir düzenğinde terstimerlik hesabı:



Önce çevre işini tanımlayalım:

Gevreye karşı yapılan iş } Çevre işi
Gevre tarafından yapılan iş }

$$W_{\text{gevre}} = \underbrace{P_0}_{P_a} (\underbrace{V_2 - V_1}_{m^3}) \quad (J)$$

$$\text{Sınır işi: } W_s = \int_1^2 P dV$$

$$\begin{aligned} \text{Gerçek iş: } W_{\text{yararlı, çıkan}} &= W_{s, \text{çıkan}} - W_{\text{gevre}} \\ &= W_{s, \text{çıkan}} - \underbrace{P_0 (V_2 - V_1)}_{\text{Atmosfer basıncının etkisi}} \quad V_2 > V_1 \quad (m^3) \end{aligned}$$

$$W_{\text{yararlı, giren}} = W_{s, \text{giren}} + P_0 (V_1 - V_2) \quad V_1 > V_2 \quad (m^3)$$

Terstimerlik: I (J) $\rightarrow$ Ekserji yok oluşu: $X_{\text{yok olan}}$

$$I_{\text{çıkan}} = W_{tr, \text{çıkan}} - W_{\text{yararlı, çıkan}}$$

$$I_{\text{giren}} = W_{\text{yararlı, giren}} - W_{tr, \text{giren}}$$

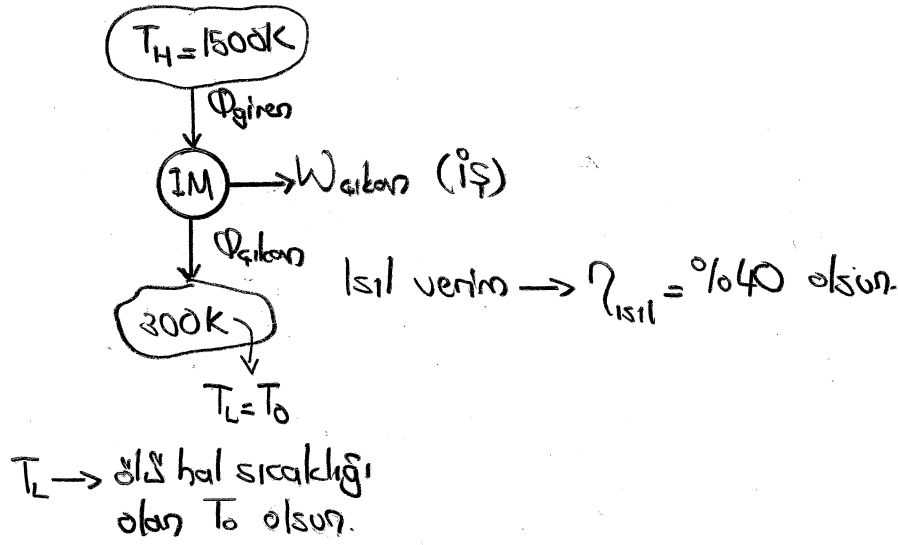
(Hal değişiminin de üretilebilen en fazla işi $W_{tr, \text{çıkan}}$)

Sınır işi dışındaki iş etkileşimi için: $W_{\text{yararlı}} = W_{\text{dışarı}}$

$$W_{tr, \text{çıkan}} > W_{\text{yararlı}} \quad \text{İş üreten düzenekler}$$

$$W_{tr, \text{giren}} < W_{\text{yararlı}} \quad \text{İş tüketen düzenekler}$$

Isı makinası örneği:



Isı makinasını termodinamiğin birinci ve ikinci yasası yönünden değerlendirelim.

Enerji dengesi: $E_g - E_c = \Delta E_s$ (J)

$\swarrow$ $\downarrow$ $\searrow$
 Q_{giren} $Q_{\text{çıkar}}$ "0" (Gevrim için)
 $W_{\text{çıkar}}$

$$Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkar}} - W_{\text{çıkar}} = 0$$

$$W_{\text{çıkar}} = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çıkar}} \rightarrow \eta_I = \eta_{\text{ısıl}} = \frac{W_{\text{çıkar}}}{Q_{\text{giren}}}$$

Birinci yasa verimi

Tersinir durumda $\rightarrow$ Carnot ısı makinası

$$\eta_{\text{ısıl, tr}} = 1 - \frac{T_0}{T_H} = 1 - \frac{300 \text{ K}}{1500 \text{ K}} = 0,8 \text{ } (\%80)$$

$\searrow$
 $= \eta_{\text{ısıl, max}}$

İkinci yasa verimi: $\eta_{II} = \frac{\eta_{\text{ısıl}}}{\eta_{\text{ısıl, tr}}} = \frac{0,4}{0,8} = 0,5 \text{ } (\%50)$

Yani, ideal ısı makinasından %80 oranında ideal (max) verim elde edilebilecekten gerçekte bu değerin ancak %50 kadarı elde edilmiştir.

$$\eta_I = \eta_{Isil} = \frac{W_{Isil,kan}}{\Phi_{giren}} \rightarrow \eta_{Isil,tr} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_0}{T_H}$$

$$\eta_{Isil,tr} = \frac{W_{tr,Isil,kan}}{\Phi_{giren}} = \frac{W_{max,Isil,kan}}{\Phi_{giren}}$$

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{Isil}}{\eta_{Isil,tr}}$$

$$W_{max,Isil,kan} = W_{tr,Isil,kan} = \eta_{Isil,tr} \cdot \Phi_{giren} \quad (J)$$

Max. iş eldesi

$$W_{tr,Isil,kan} = \eta_{Isil,tr} \cdot \Phi_{giren} \quad (\text{Isi maddesi için})$$

$$W_{tr,Isil,kan} = \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) \cdot \Phi_{giren}$$

= $\underbrace{\text{Isının işe dönüştürülebilecek max. miktarı}}_{X_{Isil,giren}}$

Ekserji yok oluşu $\rightarrow$ Tersinmezlik $\rightarrow I$
(Ekserji kısımlı,
ekserji yıkımı)

$$X_{y0} = I = \underbrace{W_{tr,Isil,kan}}_{= X_{Isil,giren}} - \underbrace{W_{yanarlı,Isil,kan}}_{\text{Birinci yasadan hesaplanan}} \\ W_{Isil,kan} = W_{yanarlı,Isil,kan}$$

Ekserji dengesi:

$$X_{giren} - X_{Isil,kan} - X_{y0} = \Delta X_{sistem} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ X_{Isil,giren} \quad X_{Isil,Isil,kan} \quad X_{Isil,y0} \\ \downarrow \\ X_{Isil,Isil,kan}$$

"0" (Geçirimsiz için)

$$X_{Isil,giren} = \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) \Phi_{giren}, \quad X_{Isil,Isil,kan} = \left(1 - \frac{T_0}{T_0}\right) \Phi_{Isil,kan} = 0 J$$

$$X_{ısı, ısıkan} = W_{çıkan}$$

$$\left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) \Phi_{giren} - W_{çıkan} - X_{y0} = 0$$

$$X_{y0} = \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) \Phi_{giren} - W_{çıkan}$$

$$X_{y0} = X_{ısı, giren} - W_{çıkan}$$

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{ısııl}}{\eta_{ısııl, tr}} = \frac{\frac{W_{yararlı, ısıkan}}{\Phi_{giren}}}{\frac{W_{tr, ısıkan}}{\Phi_{giren}}} = \frac{W_{yararlı, ısıkan}}{W_{tr, ısıkan}} \quad (\text{iş üretimi})$$

İkinci yasa (ekserji) verimi:

$$\eta_{ısııl, IM} = \frac{W_{net, ısıkan}}{\Phi_H} = 1 - \frac{\Phi_L}{\Phi_H} \rightarrow \eta_{tr, IM} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$COP_{SM} = \frac{\Phi_L}{W_{net, giren}} = \frac{1}{\Phi_H/\Phi_L - 1} \rightarrow COP_{tr, SM} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$COP_{IP} = \frac{\Phi_H}{W_{net, giren}} = \frac{1}{1 - \Phi_L/\Phi_H} \rightarrow COP_{tr, IP} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

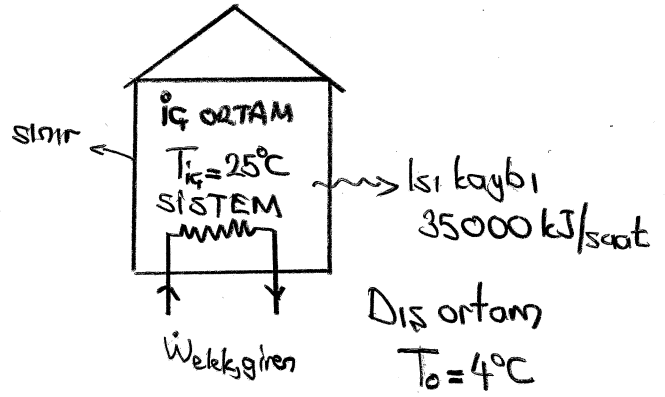
$$\eta_{II} = \frac{W_{yararlı}}{W_{tr}} \quad (\text{iş üretimi}) \quad \eta_{II} = \frac{W_{tr}}{W_{yararlı}} \quad (\text{iş tüketimi})$$

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{tr}}$$

$$\eta_{II} = \frac{\text{Elde edilen ekserji}}{\text{Saglanan ekserji}} = 1 - \frac{X_{y0}}{\text{Saglanan ekserji}}$$

Örnek:

- ⊛ 35000 kJ/saat
olan sabit ısı kaybı
kapsamında sabit iç
ortam sıcaklığı olan
25°C değerini koruya-
bilmek için $\dot{W}_{\text{elek,giren}}$ ne olmalıdır?
 $\eta_{\text{II}} = ?$



Gözüm: Önce her zaman enerji dengesi:

$$\begin{aligned} E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}} &= \Delta E_{\text{sistem}} \quad (\text{J}) \\ \downarrow \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow \\ \dot{W}_{\text{elek,giren}} \quad \quad \dot{Q}_{\text{çıkan}} \quad \quad m\Delta u \\ &\quad \quad \quad m(u_2 - u_1) \\ &\quad \quad \quad mc_v(T_2 - T_1) \rightarrow \text{Dikkat iç ortam} \\ &\quad \quad \quad \text{sıcaklığı sabit.} \\ &\quad \quad \quad T_i = T_1 = T_2 \end{aligned}$$

$$\dot{W}_{\text{elek,giren}} - \dot{Q}_{\text{çıkan}} = 0$$

$$\dot{W}_{\text{elek,giren}} = \dot{Q}_{\text{çıkan}}, \quad \dot{Q}_{\text{çıkan}} = 35000 \text{ kJ/saat} \\ = 9,72 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{elek,giren}} = 9,72 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{yararlı,giren}} = \dot{W}_{\text{elek,giren}} = 9,72 \text{ kW}$$

Dikkat: Birinci yasa eşitliğinden bulunan giren iş değeri;
YARARLI iş girişi değeridir.

Elektrikli ısıtma $\rightarrow$ ısı pompası olarak değerlendirilebilir.

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{\dot{Q}_{\text{çıkan}}}{\dot{W}_{\text{yararlı,giren}}} = \frac{9,72 \text{ kW}}{9,72 \text{ kW}} = 1 \rightarrow \text{Beklenen sonuç.}$$

Elektrik enerjisinin
tamamı ısıtmaya
harcanıyor. Elektrik
işisi tamamen ısıya
dönüşüyor.

$$\text{COP}_{\text{IP, tr}} = \frac{1}{1 - T_0/T_{\text{tr}}} = \frac{1}{1 - \frac{(4+273,15)\text{K}}{(25+273,15)\text{K}}} = 14,20 \rightarrow \text{ısı pompası}$$

tersinir olarak çalıştırılabilseydi ısıtma etkinlik katsayısı 14,20 olacaktı.

$$\dot{W}_{\text{tr, giren}} = ?$$

$$\text{COP}_{\text{IP, tr}} = \frac{\dot{Q}_{\text{çıkon}}}{\dot{W}_{\text{tr, giren}}} \rightarrow 14,20 = \frac{9,72 \text{ kW}}{\dot{W}_{\text{tr, giren}}}$$

$$\dot{W}_{\text{tr, giren}} = 0,685 \text{ kW}$$

Tersinirlik $\rightarrow \dot{I} = \dot{X}_{\text{yo}} = \dot{W}_{\text{yanarlı, giren}} - \dot{W}_{\text{tr, giren}}$

$$= (9,72 \text{ kW}) - (0,685 \text{ kW})$$

$$= 9,04 \text{ kW}$$

Eksanji dengesi: $\dot{X}_{\text{giren}} - \dot{X}_{\text{çıkon}} - \dot{X}_{\text{yo}} = \Delta \dot{X}_{\text{sistem}}$

$\downarrow$ $\dot{X}_{\text{ısı, giren}}$ $\downarrow$ $\dot{X}_{\text{ısı, çıkon}}$ $\downarrow$ "0" (Sistem sıcaklığı sabit)

$$\dot{X}_{\text{ısı, giren}} = \dot{W}_{\text{ek, giren}} = \dot{W}_{\text{yanarlı, giren}} = 9,72 \text{ kW}$$

$$\dot{X}_{\text{ısı, çıkon}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{tr}}}\right) \dot{Q}_{\text{çıkon}} = \left(1 - \frac{(4+273,15)\text{K}}{(25+273,15)\text{K}}\right) 9,72 \text{ kW}$$

$$= 0,685 \text{ kW}$$

$$(9,72 \text{ kW}) - (0,685 \text{ kW}) - \dot{X}_{\text{yo}} = 0$$

$$\dot{X}_{\text{yo}} = 9,04 \text{ kW}$$

ikinci yasa verimi:

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\dot{X}_{qo}}{\dot{X}_{saglam}} = 1 - \frac{9,04 \text{ kW}}{9,72 \text{ kW}} = 0,07$$

$\rightarrow$ Isı pompasını bir elektrikli ısıtıcı olarak kullandığımızda ikinci yasa verimi çok düşük oluyor.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{tr, giren}}{\dot{W}_{gıranlı, giren}} = \frac{0,685 \text{ kW}}{9,72 \text{ kW}} = 0,07$$

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{tr}} = \frac{1}{14,20} = 0,07$$

Kütle dengesi
Enerji dengesi
Entropi dengesi
Eksergi dengesi

} istendi.

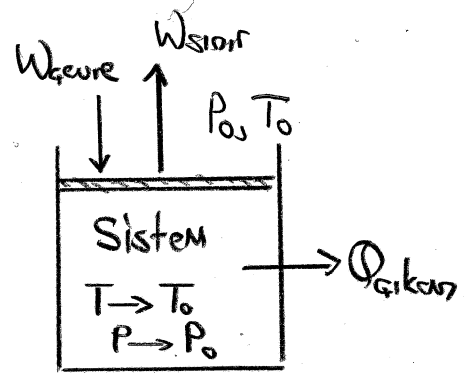
$$\text{Eksergi dengesi} \rightarrow \text{Enerji dengesi} + \text{Entropi dengesi}$$

(J) (J) (J/K) $\cdot T_0$ (K)

Kapalı bir sistemin ekserjisi:

Bir kapalı sistemden elde edilebilecek max. iş potansiyeli hesabı:

Kapalı sistem, hareketli bir sınır içeren piston-silindir düzeni olsun.



Gevre (ölüş hal) koşulları P_0 ve T_0 ise; sistemin başlangıçtaki sıcaklığı T ve basıncı P olsun.

(Sistem P basıncında sınır işi gerçekleştirirken T sıcaklığına gelmiş olsun. $P > P_0$ ve $T > T_0$ olmak üzere sınır işi çıkışı ile $T \rightarrow T_0$ 'a ve $P \rightarrow P_0$ 'a gelinceye kadar olan ısı çıkışını değerlendirelim).

Gevrenin sisteme yaptığı iş: $W_{\text{gevre}} = P_0 \Delta V$ (J)

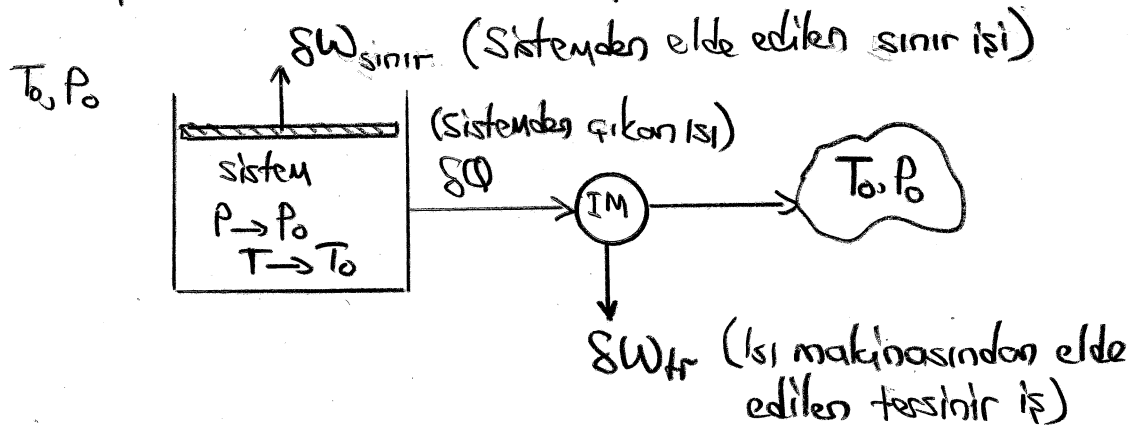
Bu sistemden elde edilebilecek max. iş potansiyeliniz

$W_{\text{sınır, yararlı}} = W_{\text{sınır}} - W_{\text{gevre}}$ ile sistem sınırından çıkan, $Q_{\text{çıkan}}$ 'dan elde edilebilecek iş potansiyeli miktarı olacaktır.

Yani sistemden çıkan ısı ($Q_{\text{çıkan}}$); T ile T_0 arasında oluşan tersinir bir ısı makinasına aktarıldığında, ısı makinasından W_{tgrm} işi elde edilebilir.

Böylece bu kapalı sistemden elde edilebilecek max. toplam iş miktarı; $W_{\text{sınır, yararlı}} + W_{\text{tgrm}}$ kadar olacaktır. Ekserji, enerjinin iş potansiyeli olduğu için piston-silindir düzeninden oluşan kapalı sistemin ekserjisi; $W_{\text{sınır, yararlı}} + W_{\text{tgrm}}$ 'a eşit olacaktır.

0 halde kapalı sistemi, diferansiyel formda yeniden ele alalım:



Enerji dengesi:
(Piston-sil.
düzenergi için)

$$\delta E_{giren} - \delta E_{çıkan} = dE_{sistem} \quad (J)$$

δW_{sinir} δQ $dU + dKE + dPE$

$$-\delta W_{sinir} - \delta Q = dU + dKE + dPE$$

$$\boxed{\delta W_{sinir} + \delta Q = -dU - dKE - dPE}$$

Tersinir ısı makinası için: $\eta_{IM,tr} = 1 - \frac{T_0}{T}$, $\eta_{IM,tr} = \frac{\delta W_{tr}}{\delta Q}$

$$\delta W_{tr} = \delta Q \cdot \eta_{IM,tr}$$

$$\begin{aligned} \delta W_{tr} &= \delta Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) = \delta Q - \delta Q \cdot \frac{T_0}{T} \\ &= \delta Q - T_0 \left(\frac{\delta Q}{T}\right) \end{aligned}$$

Geçirilen tersinir ısı makinası için entropi değişimi

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \text{ olarak yazılır.}$$

Burada $dS = -\frac{\delta Q}{T}$ olarak alınacaktır. Sistem sınırından çıkan δQ , entropi değişimi içinde $-\delta Q$ olarak alınmalıdır.

$$\delta W_{fr} = \delta Q - (-T_0 dS)$$

$$\delta W_{fr} = \delta Q + T_0 dS$$

Genre işi: $\delta W_{genre} = P dV$
 Sınır işi: $\delta W_{sınır} = P dV$ } Bu iki eşitlikten yararlanarak
 aşağıda verilen eşitlik elde
 edilebilir:

$$\begin{aligned}\delta W_{sınır} &= P dV - P_0 dV + P_0 dV \\ &= \underbrace{(P - P_0) dV}_{\delta W_{sınır, yararlı}} + P_0 dV\end{aligned}$$

$$\delta W_{sınır} = \delta W_{sınır, yararlı} + P_0 dV$$

$$\delta W_{\text{toplam}} = \underbrace{\delta W_{sınır}}_{\delta W_{sınır} = P_0 dV} + \underbrace{\delta W_{fr}}_{\delta Q + T_0 dS}$$

$$\begin{aligned}\delta W_{\text{toplam}} &= \underbrace{\delta W_s + \delta Q - P_0 dV + T_0 dS}_{-dW - dKE - dPE} \\ &\quad \text{(Enerji dengesinden)}\end{aligned}$$

$$\delta W_{\text{toplam}} = -dW - P_0 dV + T_0 dS - dKE - dPE$$

sistem 1 halinden 0 haline gitsin.

$$\int_1^0 \delta W_{\text{toplam}} = -\int_1^0 dW - P_0 \int_1^0 dV + T_0 \int_1^0 dS - \int_1^0 dKE - \int_1^0 dPE$$

$$\begin{aligned}W_{\text{toplam}} &= -(W_0 - W_1) - P_0 (V_0 - V_1) + T_0 (S_0 - S_1) - \frac{1}{2} m (V_0^2 - V_1^2) \\ &\quad - mg (z_0 - z_1)\end{aligned}$$

W_0, V_0, S_0 : 0/1 hal koşullarındaki özellikler
 Hız $V_0 = 0$ m/s ve yükseklik $z_0 = 0$ m alınmalıdır.

Kapalı bir sistemin ekserjisi:

$$W_{\text{yararlı toplam}} = m\phi \quad (\text{J})$$

$$\phi = (u_1 - u_0) + p_0(v_1 - v_0) - T_0(s_1 - s_0) + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \quad (\text{J/kg})$$

$$X = m\phi$$

$$\Delta X_{\text{kapalı sistem}} = (X_2 - X_1) = m(\phi_2 - \phi_1)$$

$$\Delta X_{\text{kapalı sistem}} = (U_2 - U_1) + P_0(V_2 - V_1) - T_0(S_2 - S_1) + m \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + mg(z_2 - z_1)$$

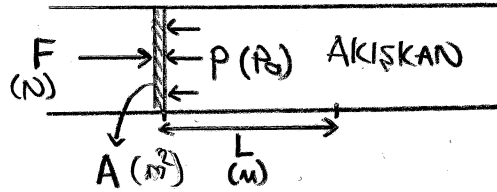
↓
Kapalı bir sistemde
ekserji değişimi (Hal 1 ile Hal 2 arasında)

Sabit hacimli bir sistemde ($V_1 = V_2$ iken) $p_0(V_2 - V_1) = 0$ J olur.

Bir akışkan akımının enerjisi ve ekserjisi:

Akış enerjisi ve akış ekserjisi:

Bir boru ve kanal içinde sürtünmesiz ve ırmesiz hareket eden sanal bir piston olsun. Bu pistonun sağ tarafı ise hareketsiz akışkan ile dolu olsun. Akışkanı L kadar ilerletmek için F kadar kuvvete gereksinim olacaktır.



Akışkana uygulanan F kuvvetine karşılık, akışkan P basıncı ile karşılık verecektir. Böylece F kuvveti;

$$F = P \cdot A \text{ (N) olarak yazılabilir. (A: Piston yüzey alanı)}$$

Akış işi (akış enerjisi) ise, aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir:

$$F = P \cdot A \rightarrow W_{\text{akış}} = F \cdot L \text{ (J)}$$

$$= P \cdot A \cdot L$$

$$= P \cdot V$$

(alan ile uzunluğun çarpımı hacmi verir)

$$W_{\text{akış}} = P \cdot V \text{ (J) veya } \boxed{w_{\text{akış}} = P \cdot v} \text{ (J/kg)}$$

Durgun (hareketsiz) akışkanın sahip olduğu enerji:

$$e = u + ke + pe \text{ (J/kg)}$$

Bir kontrol hacmine giren veya çıkan hareketli akışkanın sahip olduğu enerji:

$$\Theta = w_{\text{akış}} + e$$

$$= P \cdot v + u + ke + pe$$

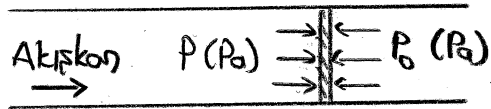
(entalpi, $h = u + P \cdot v$ ise)

$$= h + ke + pe \text{ (J/kg)}$$

Akan akiskan energisi: $\Theta = h + \frac{v^2}{2} + gz$ (J/kg)

Kütle ile enerji geçişi: $E_{\text{kütle}} = m\Phi$
 $= m \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \quad (J)$

Boru veya kanal içinde P basıncı ile hareket eden akışkana karşı atmosfer P_0 basıncı ile karşılık verir ($P > P_0$).



Akış hızı, Wakiş akış akşegisi olarak aşığıda verildiğı gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} X_{akf} &= W_{akf} - W_{atm} \\ &= P_v - P_o v \\ &= (P - P_o) v \quad (\text{J/kg}) \end{aligned}$$

Durgun (hareketsiz) ısıtkanın etkisizli:

$$X_{\text{durğun}} = (U - U_0) + P_0 (V - V_0) - T_0 (S - S_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

Akan alirannya eksegisi: $X_{\text{alir.}} = X_{\text{dugun alir.}} + X_{\text{akir}}$

$$X_{\text{akan}} = \underbrace{(U - U_0)}_1 + \underbrace{P_0 (V - V_0)}_1 - T_0 (S - S_0) + \frac{V^2}{2} + gz + \underbrace{(P - P_0) V}_1$$

$$u - u_0 + \cancel{p_0 u} - \cancel{p_0 u_0} + p_u - p_0 u \leftarrow$$

$$W - W_0 = P_0 V_0 + P_{\text{ext}}$$

$$(u + p_v) - (u_0 + p_0 u_0) = h - h_0$$

$$X_{\text{aliran}} = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{J/kg})$$

Akış ekserjisi: $\Psi = (h-h_0) - T_0(s-s_0) + V^2/2 + gz$ (J/kg)

Bir akışkan akımının ekserji değişimi:

$$\Delta\Psi = \Psi_2 - \Psi_1 = (h_2 - h_1) + T_0(s_2 - s_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \text{ (J/kg)}$$

Ekserji dengesi:

Bir hal değişimi sırasında bir sistemin ekserji değişimi, sistem sınırlarındaki hal değişimi sırasında yok olan ekserjiye eşit miktardaki bir ekserji geçişinden daha azdır. Böylece ekserjinin azalması ilkesi aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\underbrace{X_{giren} - X_{çıkan}}_{\text{Sınırdaki}} - X_{yokolan} = \underbrace{\Delta X_{\text{sistem}}}_{\text{sistemde}} \quad (J)$$

Isı iş ve
kütle ile
ekserji
giriş/çıkışı

$\left\{ \begin{array}{l} X_{ısı} \\ X_{iş} \\ X_{kütle} \end{array} \right.$

$X_{y0} = T_0 \cdot S_{reflin}$

$X_{y0} > 0$ Tersinmez hal değişimi

$X_{y0} = 0$ Tersinir hal değişimi

$X_{y0} < 0$ OLMAZ

Kapalı / Açık sistem için
farklı yaklaşımlar
yapılacaktır.

Isı ile ekserji geçişi: $X_{ısı} = \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) Q$ (J)

İş ile ekserji geçişi: $X_{iş} = W_{\text{yararlı}}$ (J)

Sınır işi: $W_{\text{yararlı}} = W_s - W_{\text{sevre}}$

Diğer: $W_{\text{yararlı}} = W_{\text{diğer}}$

Kütle ile ekserji geçişi:

$$X_{kütle} = m \Psi \quad (J)$$

$$= m(h-h_0) - T_0 m(s-s_0) + \frac{m V^2}{2} + m g z$$

Birim zaman için, (Kapalı sistem için):

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{\Phi}_k - \left(\dot{W} - P_0 \frac{dV_{\text{sistem}}}{dt}\right) - \underbrace{T_0 \dot{S}_{\text{iretim}}}_{\dot{X}_{y0}} = \frac{dX_{\text{sistem}}}{dt} \quad (W)$$

(Burada k konumunda, T_k sıcaklığındaki sınırdan geçen Φ_k 'dir).

(Açık sistem için):

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{\Phi}_k - \left(\dot{W} - P_0 \frac{dV_{KH}}{dt}\right) + \sum_g \dot{m} \Psi - \sum_g \dot{m} \Psi - \dot{X}_{y0} = \frac{dX_{KH}}{dt} \quad (W)$$

$$X_{y0} = T_0 \cdot \dot{S}_{\text{iretim}} = 0 \text{ J ise, } W_{\text{yararlı}} = X_{if} = W_{tr} \text{ olur.}$$

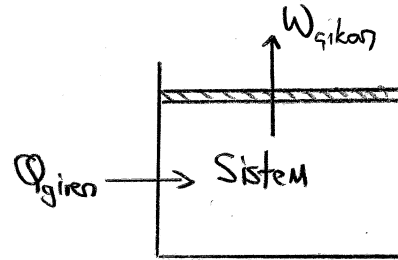
$X_{y0} = 0 \text{ J}$ ise, hal değişimi ikten tersinirdir. (Yakın çevre için)

$X_{y0} = 0 \text{ J}$ ise, hal değişimi tersinirdir. (Uzak çevre için)

$$T_0 = T_{\text{uzak çevre}} \rightarrow \text{ölçü hal sıcaklığı}$$

Kapalı sistemde tersinmezlik hesabı:

Kapalı sistem, piston-silindir düzeniği olsun.



Giren ısı: Q_{giren}

Giren ekserji: X_{isi}

Gıkan sınır ışı: $W_{gıkan}$

Gıkan ekserji: X_{is} ($W_{yararlı}$) işi

Ekserji dengesi:

$$\begin{array}{c} X_g - X_f - X_{go} = \Delta X_{sistem} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ X_{isi} \quad X_{is} \quad I \text{ (tersinmezlik)} \end{array}$$

Tersinmezlik: $I = X_{isi} - X_{is} - \Delta X_{sistem} \quad (J)$

Aynı sistemi tersinir olarak alalım.

$$\begin{array}{c} X_g - X_f - X_{go} = \Delta X_{sistem} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ X_{isi} \quad X_{is,ir} \quad I = 0 \text{ (tersinir hal değişimi)} \end{array}$$

Tersinmez hal değişimi ile tersinir hal değişimi arasındaki

Fark: $I_{tersinmez} > 0 \quad X_f = X_{is} \text{ (tersinmez)}$
 $I_{tersinir} = 0 \quad X_f = X_{is,ir} \text{ (tersinir)}$

Tersinir: $X_{is,ir} = X_{isi} - \Delta X_{sistem}$

Tersinmezlik: $I = X_{is,ir} - X_{is}$ olur.

$I = W_{tr} - W_{yararlı}$ İş üreten sistem için

$I = X_{go} = W_{tr} - W_{yararlı}$

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

“Thermodynamics: An Engineering Approach”, 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

“Termodinamiğin Temelleri”, SI Basım, Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Sekizinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, çeviri editörü yardımcıları arasında yer almaktadır), Palme Yayıncılık, 2018, Ankara.

“Principles of Engineering Thermodynamics”, SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

“Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla”, Yedinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, editör yardımcıları arasında yer almaktadır), Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.

“Engineering Thermodynamics”, 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, John Wiley, 2014.

<https://www.huseyingunerhan.com/termo2/termo2.html> sayfasında verilen “Termodinamik II” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

“Termodinamik II” derslerine ait bilgi notları; Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN tarafından çeşitli kaynaklardan da yararlanılarak ve emek ve zaman harcanarak hazırlanmış özgün bir eserdir. İzin alınmadan çoğaltılması ve kullanılması telif hakları gereği yasaktır.

(Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu, Kanun Numarası: 5846, Kabul Tarihi: 5/12/1951, Yayımlandığı Resmi Gazete: 13/12/1951 Sayı: 7981, Yayımlandığı Düstur: Tertip 3 Cilt 33 Sayfa 49).