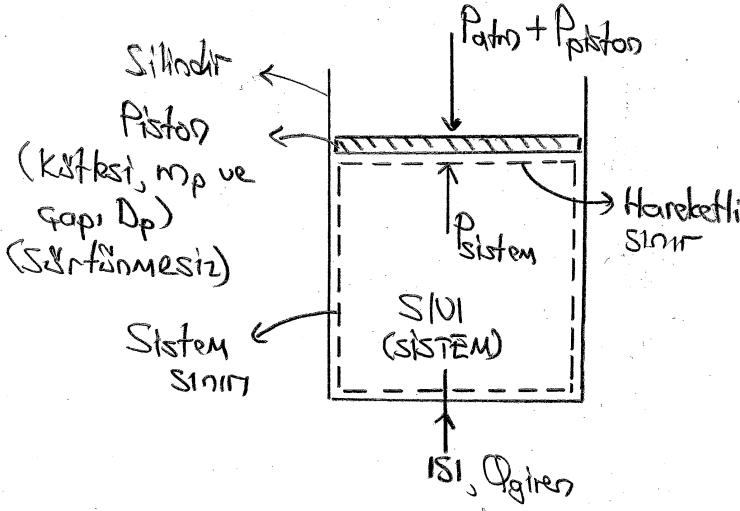


Kapalı Sistemler → Enerji Analizi  
Termodinamiğin Birinci Yasası



Pistonun ağırlığı:  $W_p = m_p \cdot g$  (N)

$$P_{piston} = \frac{W_p}{A_p} = \frac{m_p \cdot g}{\frac{\pi D_p^2}{4}} \quad (\text{Pa})$$

1. Hal →  $P_{piston} + P_{atm} = P_{sistem}$  (Sistem dengede)  
 $T_1, V_1, P_1 = P_{sistem}$  ( $Q_{giren} = 0 \text{ J}$ )

ISI Geçisi → Sanki dengeli (yanar yanar) genişleme işlemi  $V \rightarrow V \rightarrow$  artıyor  
( $Q_{giren} \neq 0 \text{ J}$ )

2. Hal →  $P_2 = P_1 = P_{sistem}$  (Sabit basınçta genişleme işlemi)  
 $T_2 \neq T_1$  ( $T_2 > T_1$ )  
 $V_2 \neq V_1$  ( $V_2 > V_1$ )  
(Sistem dengede) ( $Q_{giren} = 0 \text{ J}$ )

## Hareketli Sınır İş'i (Sınır İş'i)

$$W_{\text{Sınır}} = \int_1^2 P dV$$

$$\begin{aligned} \overset{\circ}{i} \text{ İş: } W &= Fx \quad (J \equiv N.m) \\ W_{\text{Sınır}} &= PAx \quad (J) \\ &= PV \quad (J) \end{aligned}$$

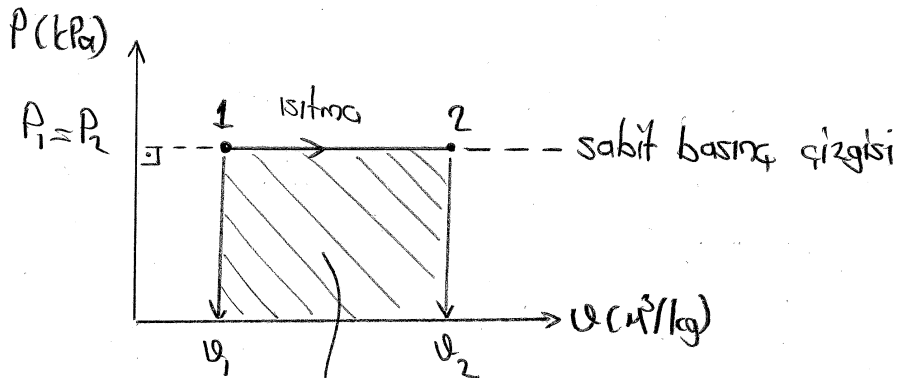
$$P \rightarrow \text{sabit ise} \rightarrow W_{\text{Sınır}} = P \int_1^2 dV$$

$$P = f(\omega) \rightarrow \text{ise } W_{\text{Sınır}} = \int_1^2 P(\omega) dV$$

$$\begin{aligned} \text{Sabit } P \text{ için: } W_{\text{Sınır}} = W_s &= P \int_1^2 dV = P(V_2 - V_1) \\ &= Pm(\omega_2 - \omega_1) \end{aligned}$$

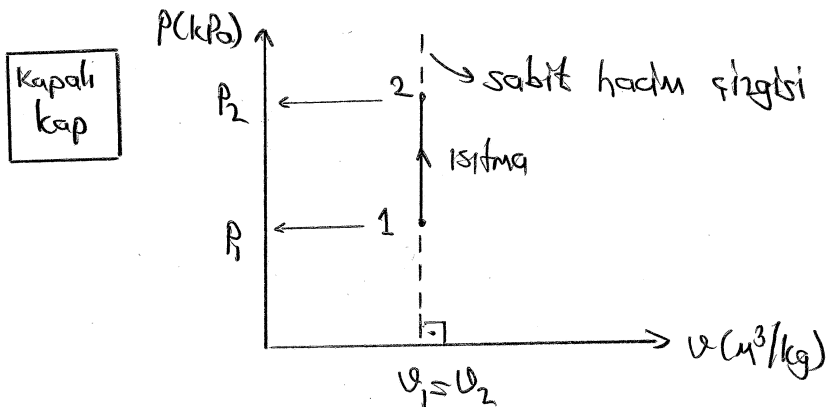
$$\begin{aligned} V &= m\omega \quad (m^3) \\ &\swarrow \quad \searrow \\ &\text{kg} \quad m^3/\text{kg} \end{aligned}$$

Sabit basınç işleminin



$$W_s = \text{Alan} = P_1 m (\omega_2 - \omega_1) = \int_1^2 P dV \quad (J)$$

Sabit hacim işleminin



$$W_s = \text{Alan} = \int_1^2 P dV = 0 \text{ J} \quad (dV = 0 \text{ m}^3)$$

Akışkan → GAZ

İdeal gaz eşitliği:  $PV = mRT$  (J)

basınç  $(P_a = N/m^2)$  ←

hacim  $(m^3)$  ↓

→ sıcaklık (K)  
→ gaz sabiti (J/kgK) (tablodan okunur)  
→ kütle (kg)

$$Pv = RT \text{ (J/kg)}, v: \text{özgül hacim (m}^3/\text{kg)}$$

$$P = \rho RT \text{ (Pa)}, \rho: \text{yoğunluk (kg/m}^3)$$

İdeal gaz sıkıştırılması:

$$PV = mRT \rightarrow P = f(v)$$

$$P = \frac{mRT}{V} = mR \frac{T}{V} = R \frac{T}{v} \text{ (Pa)}$$

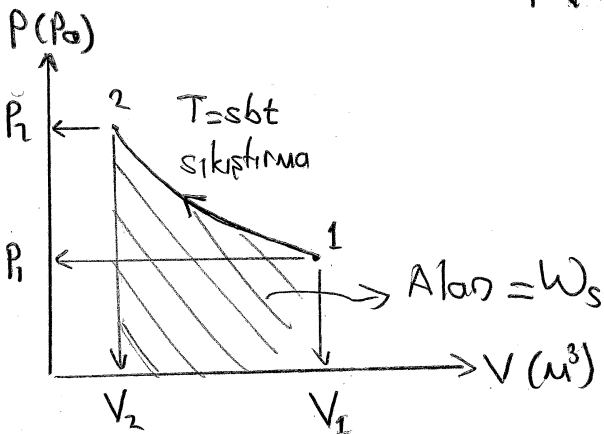
$$W_s = \int_1^2 P dV = \int_1^2 mR \frac{T}{V} dV = \underbrace{mR}_{\text{sabit}} \int_1^2 \frac{T}{V} dV$$

$T \rightarrow$  sabit ise  $\rightarrow$  izotermal sıkıştırma  
sabit sıcaklıkta sıkıştırma

$$W_s = mRT \int_1^2 \frac{dV}{V} \rightarrow W_s = mRT \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ (J)}$$

$$W_s = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$W_s = P_2 V_2 \ln \frac{V_2}{V_1}$$



$$P_1 V_1 = mRT$$

$$P_2 V_2 = mRT$$

Poltropik hal deęisi:

Bazı gurlarda hal deęisi

$$P=f(w) \rightarrow P=CV^{-n} \text{ sekinde olabilir.}$$

$n$ : poltropik ds

$$W_s = \int_1^2 P dV = \int_1^2 CV^{-n} dV = C \frac{V_2^{1-n} - V_1^{1-n}}{1-n} \quad (J)$$

$$P=CV^{-n} \text{ ise,}$$

$$PV^n = C \rightarrow C = P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

$$V_2^{1-n} = V_2 \cdot V_2^{-n} = \frac{V_2}{V_2^n} = \frac{V_2}{\frac{C}{P_2}} = \frac{P_2 V_2}{C}$$

$$V_1^{1-n} = V_1 \cdot V_1^{-n} = \frac{V_1}{V_1^n} = \frac{V_1}{\frac{C}{P_1}} = \frac{V_1 P_1}{C}$$

$$W_s = C \cdot \frac{\frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{C}}{1-n} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} \quad (n \neq 1)$$

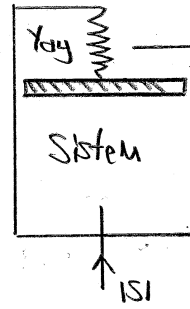
$$\left. \begin{array}{l} \text{Poltropik sınıır} \\ \text{isi } (n \neq 1) \end{array} \right\} W_s = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} \quad (J)$$

$$\begin{aligned} n=1 \text{ ise, } W_s &= \int_1^2 P dV = \int_1^2 CV^{-1} dV = C \int_1^2 \frac{dV}{V} \\ &= C \ln \frac{V_2}{V_1} \\ &= P_1 V_1 \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \\ &= P_2 V_2 \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \end{aligned}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = C = mRT \quad (T_1 = T_2 \text{ isin})$$

(4)

Yaylı piston silindir düzeniği:



Yay sabitli  
 $k = (N/m)$   
 Doğrusal yay  
 $F_{yay} = k \cdot x \text{ (N)}$   
 $= k \Delta x \text{ (N)}$

Hal 1:  $P_1, V_1$

Yay pistonu kuvvet uyguluyor.

Isi GEÇİŞİ  $\rightarrow$  Hacim artışı

Hal 2:  $P_2, V_2$  (Genişleme)

$$V_2 > V_1, P_2 \neq P_1 \rightarrow P_2 > P_1$$

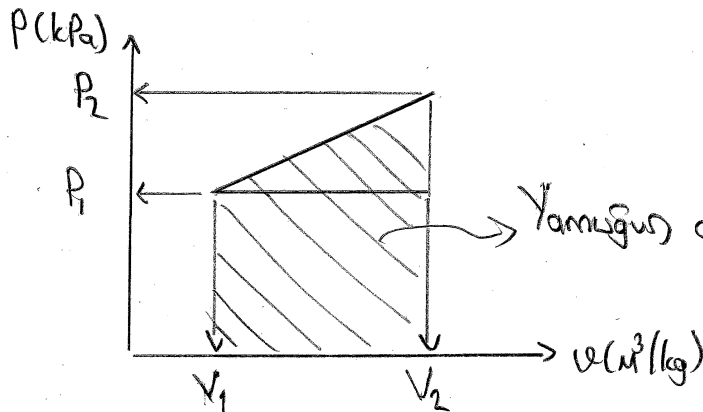
$$P_2 = P_1 + P_{yay}$$

$$P_{yay} = \frac{F_{yay}}{A_{piston}}$$

Yaydaki sıkışma:  $\Delta x = \frac{\Delta V}{A_{piston}} = \frac{V_2 - V_1}{\frac{\pi D_{piston}^2}{4}} \text{ (m}^3/\text{m}^2)$

Yayın uyguladığı basınç  $\left\{ \begin{aligned} P_{yay} &= \frac{F_{yay}}{A_{piston}} = \frac{k \cdot \Delta x}{\frac{\pi D_{piston}^2}{4}} = \frac{k m (V_2 - V_1)}{\left(\frac{\pi D_{piston}^2}{4}\right)^2} \text{ (Pa)} \end{aligned} \right.$

$$\begin{aligned} W_{siniriyay} &= \int_1^2 P(u) dV \text{ (J)} \\ &= \frac{P_1 + P_2}{2} (V_2 - V_1) \text{ (J)} \\ &= \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2) \text{ (J)} \end{aligned}$$



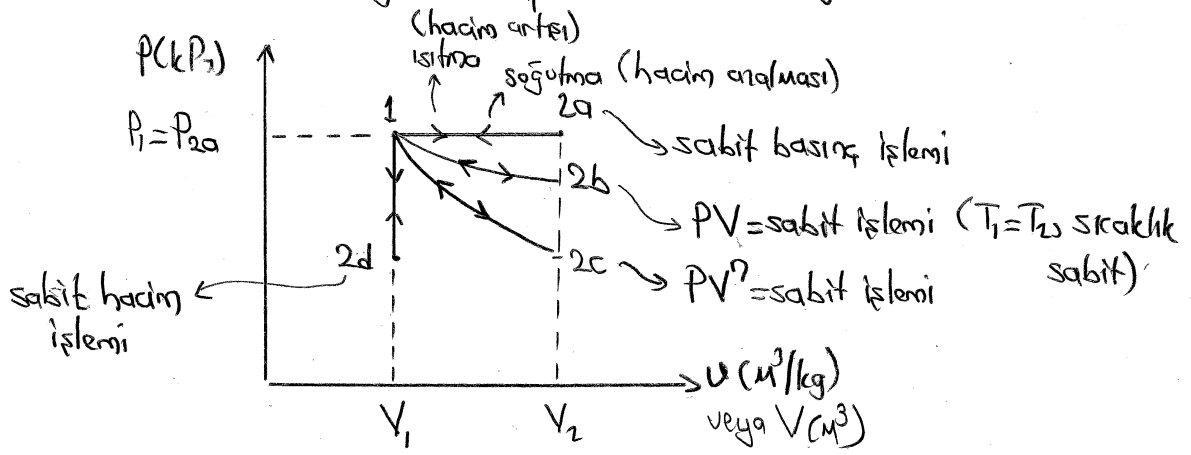
(5)

Sınır İşi → Bir kütlenin (veya ağırlığın) kaldırılması veya ağırlığın sistemi sıkıştırması gerekir.

Ağırlık → basınç oluşturur.

Sistemin üzerinde ağırlık (YÜK) varsa sınır işi söz konusu olur.

Sınır işi dış basınca göre hesaplanır → dengersiz işlemlerde.



$$W_{12} = \int_1^2 P dV = \int_1^2 m P dV = m \int_1^2 P dV \quad (\text{J})$$

$$1-2a \rightarrow W_{12} = P(V_2 - V_1) = mP(u_2 - u_1)$$

$$1-2b \rightarrow W_{12} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad PV = mRT \rightarrow P = \frac{mRT}{V} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Gazlar} \\ \text{işin} \end{array}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = mRT$$

$$1-2c \rightarrow W_{12} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}, \quad PV^n = mRT \rightarrow P = \frac{mRT}{V^n} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Gazlar} \\ \text{işin} \end{array}$$

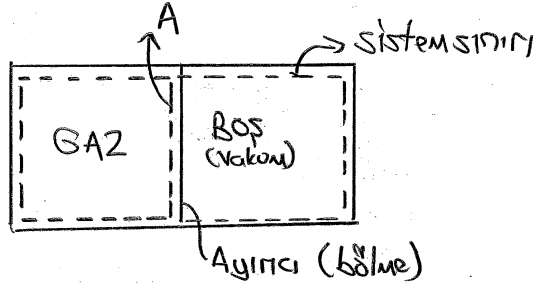
$$1-2d \rightarrow W_{12} = \int_1^2 P dV = 0 \text{ J}$$

$$1-2a \rightarrow P_1 = P_{2a} \rightarrow \text{sanki - dengeli sınır işi (kerstör)}$$

$$\text{Dengersiz hal değişimi} \rightarrow W = \int_1^2 P_{\text{dış}} dV, \quad P_{\text{dış}} \neq P(V)$$

(6)

Dirençsiz genişleme işlemi:



Ayrıcı kaldırılınca A ile gösterilen sınır, hareketli sınır oluyor. Genişleme gerçekleşiyor.

$$P_{dış} = 0 \text{ Pa} \rightarrow W_{sınır} = \int P_{dış} dV = 0 \text{ J}$$

iş yapılmaz

(Ağırlık kaldırılmadı)

Sabit dış basınç:  $W = P_{dış} (V_2 - V_1) \text{ (J)}$

Örnek: Sönük bir balon hava ile şişirilecektir.  $P_{atm} = 100 \text{ kPa}$ , balonun son hacmi  $4 \text{ m}^3$  oluyor. Balon içindeki havanın atmosfere karşı yaptığı işi "kJ" olarak hesaplayınız.

$$P_{atm} = 100 \text{ kPa} = P_{dış}$$

$$V_2 = 4 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 0 \text{ m}^3$$

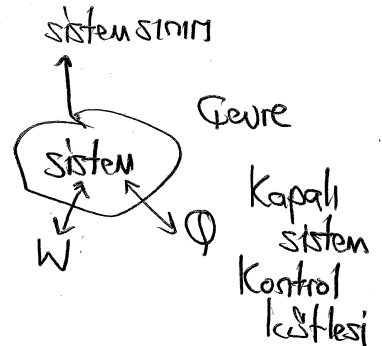
$$\begin{aligned} W &= \int P_{dış} dV = P_{atm} (V_2 - V_1)_{balon} \\ &= (100 \text{ kPa}) (4 - 0) \text{ m}^3 \\ &= 400 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Kapalı Sistemlerde Enerji Dengesi  
 Enerji Analizi  
 Termodinamiğin Birinci Yasası  
 Enerji Eşitliği

\* Hal değişimi varsa sınırdaki sınırları

$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{sistem}$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\Phi_{giren}$   $\Phi_{çıkan}$   $\Delta U + \Delta KE + \Delta PE$   
 $W_{giren}$   $W_{çıkan}$



$$\Phi_{giren} + W_{giren} - (\Phi_{çıkan} + W_{çıkan}) = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \text{ (J)}$$

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE_{sistem}}{dt} \text{ (J/s} \equiv \text{W)}$$

$$Q = \int \dot{Q} dt \rightarrow Q = \dot{Q} \Delta t$$

$$W = \int \dot{W} dt \rightarrow W = \dot{W} \Delta t$$

$$\Delta E_{sistem} = \left( \frac{dE_{sistem}}{dt} \right) \Delta t$$

\* Geçirgen sistem

(1-2-3-1)

$$\Delta E_{sistem} = 0 \text{ J} \rightarrow E_{giren} = E_{çıkan}$$



## 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/termo1/termo1.html> sayfasında verilen “Termodinamik I” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunularından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

*“Termodinamik I” 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).