

Termodinamik I

Ders 09: Entropiyi Anlamak

- ① Bir GEVRİM sırasında sisteme transfer edilen ISININ TAMAMI işe GEVRİLEMEZ. $\downarrow$

$Q_{gibon} (Q_L)$ olduğu için.

(Isının işe çevrilmesi ısı makinaları ile olur)

Gevrim + Isının işe çevrilmesi $\Rightarrow$ ısı makinaları

Gevrim + Isıtma veya soğutma $\Rightarrow$ ısı pompaları
Soğutma makinaları

- ② SİSTEME transfer edilen işin TAMAMI ısıya GEVRİLERİLİR.

Elektrik işi (elektrikli dirençler) $\rightarrow$ ısıya çevrilir.
(tamamen)

- ③ İş ısıya çevrilmeye TERSİNMEZLİK geçirmekte ve ısı tekrar TAMAMEN işe GEVRİLEMEMEKTEDİR.

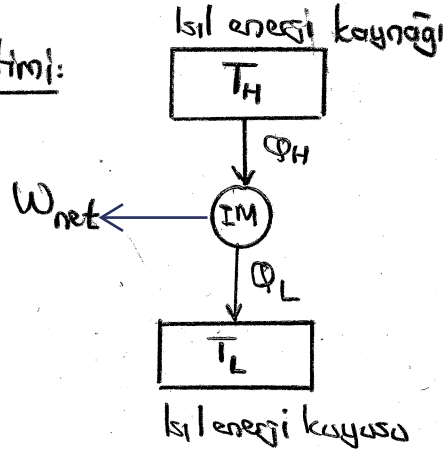
- ④ Isının işe çevrilebilirliğini ölçen ENTROPİ dır.

Entropi dır tersinmezlik varsa, vardır. (Gerçek durum).

Entropi; S (J/K) ve s (J/kgK) olarak gösterilir.

[$\dot{S}$ (W/K) ve $\dot{s}$ (W/kgK)]

Entropi Üretimi:



Isı makinesi için çevrim sırasında;

$$\left. \begin{array}{l} T_H \rightarrow \Phi_H \\ T_L \rightarrow \Phi_L \end{array} \right\} \text{ arasında gerçekleşir.}$$

Genel olarak sıcaklığı, T ve ısıyı, $\Phi \rightarrow \delta\Phi$ ile gösterelim.

Clausius eşitsizliği: $\oint \frac{\delta\Phi}{T} \leq 0$ (Termodinamiğin ikinci kanunu)

* Çevrim boyunca ısıya sıcaklığa göre değişimlerin integrali sıfır veya sıfırdan küçük olur.

$$\text{Entropi Üretimi, } S_{\text{üretim}} = - \int_{T_H}^{T_L} \frac{\delta\Phi}{T} = - \left(\frac{\Phi_L}{T_L} - \frac{\Phi_H}{T_H} \right) \text{ (J/K)}$$

$(T=T_H \text{ veya } T=T_L \text{ için}) \rightarrow$

- $\rightarrow S_{\text{üretim}} = 0$ ise, çevrim tersinirdir. (İdeal)
- $\rightarrow S_{\text{üretim}} > 0$ ise, çevrim tersinmezdir. (Gerçek)
- $\rightarrow S_{\text{üretim}} < 0 \rightarrow \text{OLMAZ}$

* Enerji dengesinde, $(E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}} = \Delta E_{\text{sistem}})$ $\Delta E_{\text{sistem}} = 0$ J olur. (Çevrim geçiren sistem için).

Çevrimlerde, ΔS_{sistem} (entropi değişimi - sistem için) de sıfırdır. ($\Delta S_{\text{sistem}} = 0$ J/K).

Bunun yanında gerçek çevrimlerde entropi ÜRETİMİ her zaman sıfırdan büyüktür.

$T \rightarrow$ sistem sınırının sıcaklığı ise,

$S_{\text{üretim}} = 0$ ise, çevrim **İÇ TERSİNİRDİR**.

$S_{\text{üretim}} > 0$ ise, çevrim tersinmezdir (İç tersinmez).

$S_{\text{üretim}} < 0$ ise, **OLMAZ**.

Seçilen sıcaklığa bağlı olarak entropi üretilen çevrimdeki tersinmezliklerin veya iç-tersinmezliğin (içten tersinmezliğin) bir ölçüsüdür.

Kapalı sistemlerde entropi değişimi:

Kapalı sistemlerde $\Delta E_{\text{sistem}} \neq 0$ ve $\Delta S_{\text{sistem}} \neq 0$ olur.

Entropi (S), termodinamik bir özelliktir.

Örneğin: Hal 1: Entropi özeliği: s_1 olsun. } Entropi değişimi:
Hal 2: s_2 olsun. } $\Delta S_{\text{sistem}} = m(s_2 - s_1)$
olur.

Sistemdeki entropi değişimi ısıtımada pozitif, soğutımada negatif olabilir.

$$\Delta S = m(s_2 - s_1) \rightarrow dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{iç-tersinir}}$$

T : sistem sınırının sıcaklığı

Tersinir durumda

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_{s_1}^{s_2} dS = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{iç-tersinir}} \\ s_2 - s_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{iç-tersinir}} \end{array} \right.$$

Saf maddelerde entropi değişimi:

$$\Delta S_{\text{sistem}} = m \Delta s = m(s_2 - s_1) \quad (\text{J/K})$$

Özgül entropi (J/kgK)

Bazı sıvılar için tablolardan okunur.

(3)

$$\left. \begin{array}{l} \text{DS noktası için } s_f \\ \text{DB noktası için } s_g \end{array} \right\} \text{ IB bölgesi için}$$

$$s = s_f + x(s_g - s_f)$$

$$s = s_f + x s_{fg}$$

KB bölgesi için s (Basınç ve sıcaklık değerleri için)

SS bölgesi için $s \approx s_f$ (Sıcaklık değeri için)

s (Basınç 5 MPa ve 5 MPa'dan büyük
ise, basınç ve sıcaklık değeri için)
(SU için)

Örnek: Sıcaklığı 50°C olan 1 kg DS su, $x=0,5$ olana kadar sabit
basıncıta iç-terstirir olarak ısıtılıyor. $\dot{Q}_{giren}=?$ ve $\Delta S=?$

$$T_1 = 50^\circ\text{C}$$

$$x = 0,5$$

ISITMA

DS

sabit basınç

- ✓ Sabit basınç $\rightarrow$ Sınır işi yapılıyor.
- ✓ İç-terstirir $\rightarrow$ sonki-dengeli
- ✓ Isıtma $\rightarrow$ sıcaklık artıyor, özgül hacim artıyor (basınç sabit)

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 50^\circ\text{C} \\ \text{DS} \rightarrow \text{"f"} \end{array} \right\} \text{SU}$$

$$50^\circ\text{C için } P_1 = P_2 = 12,352 \text{ kPa}$$

$$h_1 = 209,34 \text{ kJ/kg}$$

$$u_1 = 209,33 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = 0,7038 \text{ kJ/kgK}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = P_1 = 12,352 \text{ kPa} \\ x_2 = 0,5 \end{array} \right\} \text{IB bölgesi}$$

$$h_{2f} = 209,34 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{2fg} = 2382 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{2f} = 0,7038 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_{2fg} = 7,3710 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{Enerji dengesi: } E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{\text{system}} \text{ (J)}$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ \dot{Q}_{giren} & W_{sınır} & m\Delta u \end{array}$$

$$\dot{Q}_{giren} - W_{sınır} = m\Delta u, \quad W_{sınır} = \int_1^2 P dV = mP\Delta u$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{giren} &= W_{sınır} + m\Delta u \\ &= m(P\Delta u + \Delta u) \\ &= m\Delta h \end{aligned}$$

$$(\Delta h = \Delta u + P\Delta u)$$

$$\begin{aligned}\Phi_{giren} &= m(h_2 - h_1) \\ &= (1 \text{ kg})(1400,34 - 209,34) \text{ kJ/kg} \\ &= 1191 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_2 &= h_{2f} + x_2 h_{2fg} \\ &= (209,34 \text{ kJ/kg}) + \\ &\quad (0,5)(2382 \text{ kJ/kg}) \\ &= 1400,34 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

İç terstinir: İzobarik (basınç sabit)
İzotermal (sıcaklık sabit)

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad (\text{İç-terstinir})$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q_{12}}{T} = \frac{\Phi_{giren}}{T} = \frac{1191 \text{ kJ}}{(23,15 + 50) \text{ K}} = 3,686 \text{ kJ/K}$$

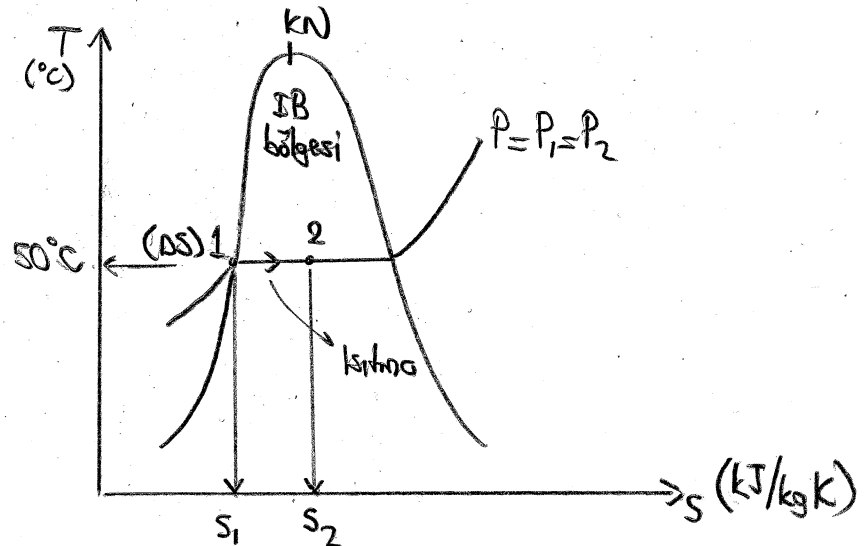
↓
Sistemin entropi değişimi

$$\begin{aligned}\Delta S &= m(s_2 - s_1) = (1 \text{ kg})(4,3893 - 0,7038) \text{ kJ/kgK} \\ &= 3,686 \text{ kJ/K}\end{aligned}$$

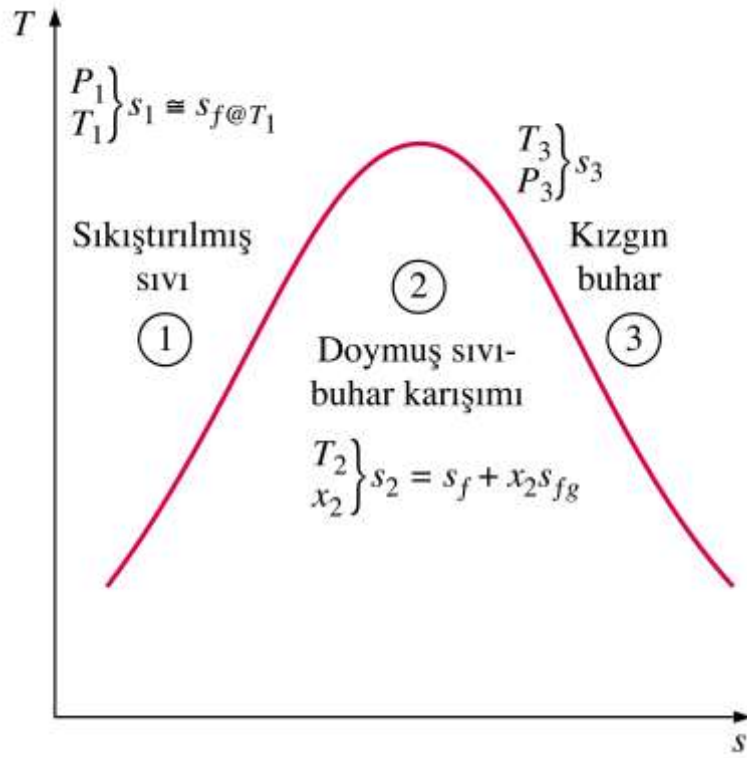
$$\begin{aligned}s_2 &= s_{2f} + x_2 s_{2fg} \\ &= (0,7038 \text{ kJ/kgK}) + \\ &\quad (0,5)(7,3710 \text{ kJ/kgK}) \\ &= 4,3893 \text{ kJ/kgK}\end{aligned}$$

Not: İç-terstinir işlemlerde $S_{sistem} = 0 \text{ J/K}$

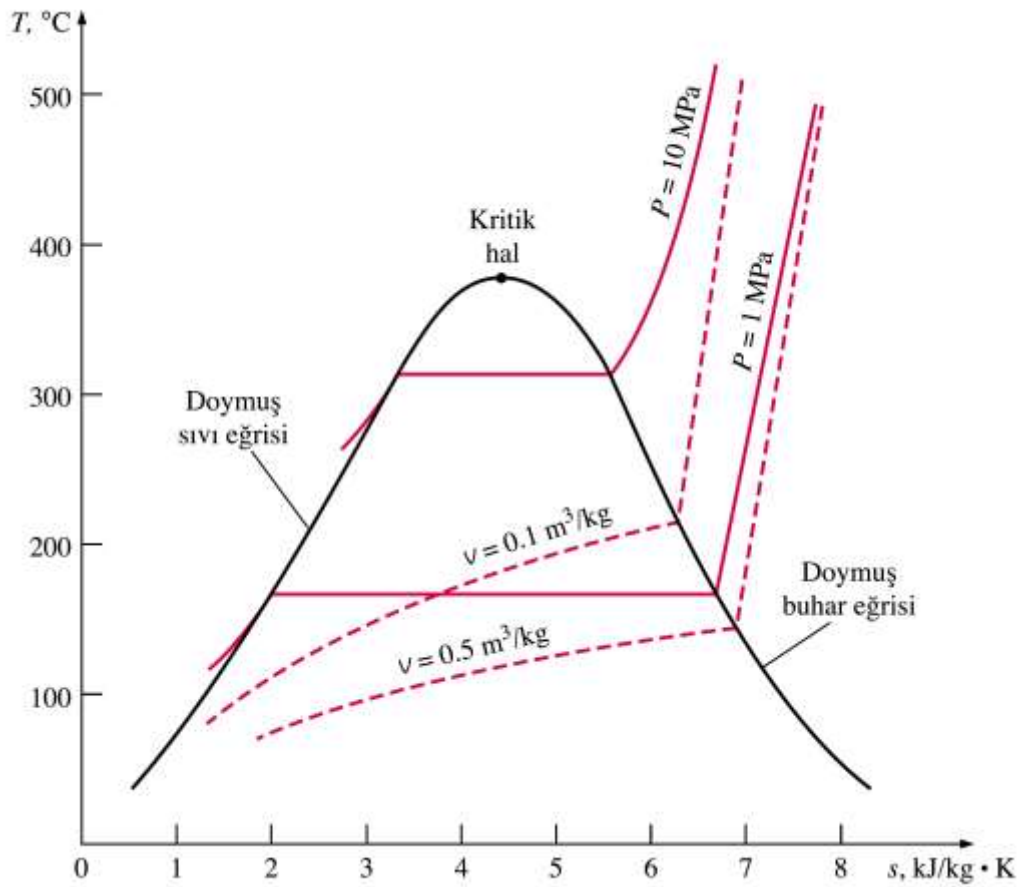
T-s diyagramı



Saf maddenin entropisi tablolardan belirlenir:



Su için T-s diyagramının genel gösterimi:



Termodinamiğin birinci ve ikinci yasasının birleşimi

Gibbs eşitliği (Tds eşitlikleri)

Basit sıkıştırılabilir saf madde için; $dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{i\text{-}ter}$ yazılabilir.

↓ sistemdeki entropi değişimi

↘ sistem sınırından giren / çıkan ısı ve sınır sıcaklığı oranı

$$\delta Q_{i\text{-}ter} = T dS \quad (J)$$

iç-terstir (sanki-denge) sistemin yaptığı sınır işi: $W = \int_1^2 P dV$

$$\delta W_{i\text{-}ter} = P dV \quad (J)$$

iç-terstir için diferansiyel formda enerji dengesi:

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

↓ ↓ ↓

δQ δW dU

Sınır işi çıkışı için ısı girişi olması gerekiyor.

$$\delta Q - \delta W = dU \quad (i\text{-}terstir)$$

↓ ↓ ↓

$T dS$ $P dV$ dU

$$T dS = dU + P dV \quad \text{Gibbs eşitliği}$$

Entalpi

$$H = U + PV \rightarrow \text{törvi} \rightarrow dH = dU + P dV + V dP$$

$$dU = dH - P dV - V dP$$

$$T dS = dH - P dV - V dP + P dV$$

$$T dS = dH - V dP \quad \text{2. Gibbs eşitliği}$$

$$\left. \begin{aligned} T dS &= dU + P dV \\ T dS &= dH - V dP \end{aligned} \right\} \text{özgül gösterim} \quad (J/kg)$$

$$\left. \begin{array}{l} Tds = du + PdV \\ Tds = dh - vdp \end{array} \right\} \text{Bu iki eşitlik irreversibil ve tersinmez hal değişimleri için geçerlidir.$$

Entropi bir özellik olduğundan; iki durum arasındaki entropi değişimi, bu iki durum arasındaki işlemden bağımsızdır.

Tds eşitlikleri, ölçülebilen özellikler cinsinden entropi değişimi hesaplamalarında kolaylık sağlar.

İdeal gazlarda entropi değişimi

İç enerji değişimi: $du = c_v dT$, $c_v = f(T)$

Entalpi değişimi: $dh = c_p dT$, $c_p = f(T)$

İdeal gaz denklemi: $Pv = RT \rightarrow P = \frac{RT}{v}$ (P_0)

$$v = \frac{RT}{P} \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

$$Tds = du + PdV \quad (\text{J/kg})$$

$$Tds = du + \frac{RT}{v} dv \rightarrow ds = \frac{du}{T} + \frac{R}{T} \cdot \frac{dv}{v}$$

$$ds = \frac{du}{T} + R \frac{dv}{v}$$

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v}$$

$$\int_1^2 ds = \int_1^2 c_v \frac{dT}{T} + R \int_1^2 \frac{dv}{v}$$

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$s_1 \text{ ve } s_2 \rightarrow f(T, v) \\ c_v \rightarrow f(T)$$

1. yaklaşım:

"Ortalama özgül ısılar"

$$\frac{T_1 + T_2}{2} = T_{ort} \text{ için tablodan}$$

sabit $c_{v,ort}$ alınır.

Veya oda sıcaklığında

$c_{v,ort}$ tablodan okunur.

(Küçük sıcaklık farkları için)

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_{v,ort} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

2. yaklaşım: "Değişken özgül ısılar"

c_p kapsamında ele alınacaktır.

$$Tds = dh - udp$$

$$Tds = dh - \frac{RT}{p} dp \rightarrow ds = c_p \frac{dT}{T} - \frac{R}{\gamma} \cdot \frac{dp}{p}$$

$$ds = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p}$$

$$\int_1^2 ds = \int_1^2 c_p \frac{dT}{T} - R \int_1^2 \frac{dp}{p}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

S_1 ve $S_2 \rightarrow f(T, p)$

$c_p \rightarrow f(T)$

$$\frac{T_1 + T_2}{2} = T_{ort} \rightarrow c_{p,ort} \text{ için}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_{p,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

Değişken özgül ısılar

$c_p = f(T)$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \underbrace{\int_{ok}^{T_2} c_p \frac{dT}{T}}_{S_2^o} - \underbrace{\int_{ok}^{T_1} c_p \frac{dT}{T}}_{S_1^o} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

(Mutlak entropiler)

$$\Delta S = S_2 - S_1 = S_2^o - S_1^o - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

S_1 ve $S_2 \rightarrow f(T, p)$

S_1^o ve $S_2^o \rightarrow f(T)$

(8)

S_1^o ve S_2^o , $T_1(K)$ ve $T_2(K)$ için ilgili tablolardan alınır.

$c_p - c_v = R$ eşitliği çerçevesinde; c_p için yazılan değişken özgül ısılar yaklaşımı c_v için de uygulanabilir.

Sıkıştırılabilir sıvıların ve katıların entropi değişimi:

$\left. \begin{array}{l} \text{Özgül hacim değişimi} \rightarrow \text{nsabit} \\ \text{Yoğunluk değişimi} \rightarrow \text{nsabit} \end{array} \right\} \text{Katı ve sıkıştırılabilir sıvılarda.}$

$$du = c dt \rightarrow c = f(T)$$

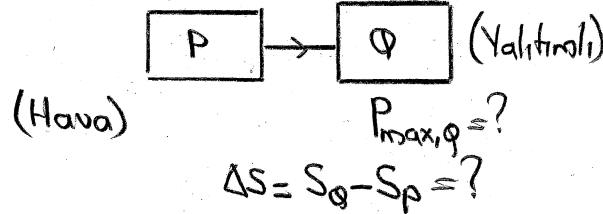
$$p du \approx 0 \text{ J/kg}$$

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} c \frac{dT}{T} \rightarrow \Delta s = s_2 - s_1 = c \ln \frac{T_2}{T_1}$$

↓
tablolardan okunur.
 $c = f(T)$

ÖRNEK: P ve Q olarak iki adet hava istasyonu vardır. P ve Q istasyonları ile istasyonlar arasındaki bağlantıyı sağlayan elemanlar iyice yalıtılmış olduğundan, hava akışı adyabatik olarak alınabilir. Hava akışının yönü, P ve Q istasyonlarının basınç ve sıcaklık koşullarına bağlıdır. P istasyonundaki koşullar, 150 kPa basınç ve 350 K sıcaklık olarak verilmiştir. Q istasyonundaki sıcaklık ise 300 K değerindedir. Bu çerçevede, (a) havanın P istasyonundan Q istasyonuna akması gerekiyorsa, Q istasyonundaki maksimum basınç değerini [kPa] olarak hesaplayınız. (b) Q istasyonundaki basınç 50 kPa değerinde ise, entropi değişimini [kJ/kgK] olarak belirleyiniz.

ÇÖZÜM:



Maksimum basınç değeri için TERSİNİR sistem kabulü yapılmalıdır.

Tds eşitliği:

$$Tds = dh - vdp$$

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{R}{T} \frac{dp}{p}$$

$$ds = \frac{dh}{T} - R \frac{dp}{p} \rightarrow ds = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p}$$

$$\Delta S = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

0 J/kg

ortalama özgül ısı
sabit özgül ısı kabulü
300 K için $c_p = 1,005 \text{ kJ/kgK}$

Maksimum basınç hesabında,

adyabatik işlemden sınırda ısı girişi/çıkışı olmayacağından

dolayısı $\Delta S = 0 \text{ J/kg}$ olur.

$\Delta T = 350 - 300 = 50 \text{ K}$ gibi düşük ΔT için özgül ısılar sabit alınabilir. Sonuç çok etkilemez. Ortalama sıcaklık ise 325 K değerindedir. c_p değeri hava için 300 K'de alınabilir.

$$c_p \ln \frac{T_Q}{T_P} - R \ln \frac{P_Q}{P_P} = 0$$

$$(1,005 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{300\text{K}}{350\text{K}} - (0,287 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{P_g}{150 \text{ kPa}} = 0$$

$$\textcircled{a} \quad P_g = P_{\max, g} = \underline{\underline{87,43 \text{ kPa}}}$$

$$\begin{aligned} S_g - S_p &= c_p \ln \frac{T_g}{T_p} - R \ln \frac{P_g}{P_p} \\ &= (1,005 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{300\text{K}}{350\text{K}} \\ &\quad - (0,287 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{50 \text{ kPa}}{150 \text{ kPa}} \\ &= \underline{\underline{0,16 \text{ kJ/kgK}}} \end{aligned}$$

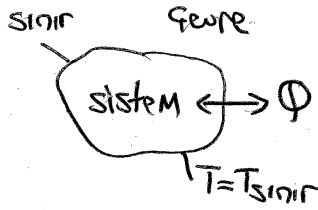
Termodinamiğin ikinci yasasının matematiksel ifadesi:
Entropi dengesi:

İçten terstir (İç-terstir): $dS = \frac{\delta Q}{T}$

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

sistemindeki
entropi
değişimi

sınırdaki olan ısı girişi/çıkışı-
nın toplamı bölü sıcaklık
(T: sınır sıcaklığı)
(sıcaklık değişirse ve
 $Q=f(T)$ ise, integral ona
göre alınır).



Enerji dengesi: $E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{sistem} \text{ (J)}$

Terstir hal değişimi

İçten entropi dengesi: $\frac{Q_{giren}}{T} - \frac{Q_{çıkan}}{T} = \Delta S_{sistem} \text{ (J/K)}$
 $\downarrow \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow$
 $\frac{Q_{giren}}{T} \quad \quad \frac{Q_{çıkan}}{T} \quad \quad m(S_2 - S_1)$

Terstirmez hal değişimi

İçten entropi dengesi:

$\xrightarrow{\text{Kapalı sistem içten.}} \frac{Q_{giren}}{T_k} - \frac{Q_{çıkan}}{T_k} + S_{üretim} = \Delta S_{sistem} \text{ (J/K)}$
 $\downarrow \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow$
 $\frac{Q_{giren}}{T_k} \quad \quad \frac{Q_{çıkan}}{T_k} \quad \quad m(S_2 - S_1)$

(T_k : sınır sıcaklığı, ısı deposu sıcaklığı, ... olabilir).

Sisteme çevre arasında ısı alış-veriş yoksa, sisteme çevre arasında entropi akışı da yoktur.

Entropi üretimi yola bağlıdır.

Terstirmezlikler nedeni ile sistem entropi üretir.

$S_{\text{üretim}} > 0$ (İşlem anında sistemde iç tersinmezlikler varsa)

$S_{\text{üretim}} = 0$ (Sistemde iç tersinmezlikler yoksa)

$S_{\text{üretim}} < 0$ (OLMAZ)

⊛ $\Delta S_{\text{sistem}} > 0, < 0, = 0$ olabilir

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

Sistem sınırları dışarıdaki entropi geçişleri

$$\begin{cases} S_{\text{ısı}} = \frac{Q}{T} \text{ (ısı geçişi yoluyla entropi geçişi), } T = \text{sabit} \\ S_{\text{iş}} = 0 \text{ J/K (iş geçişi yoluyla entropi geçişi)} \\ S_{\text{kütle}} = mS \text{ (kütle geçişi yoluyla entropi geçişi)} \end{cases}$$

$$S_{\text{ısı}} = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \sum \frac{Q_k}{T_k}$$

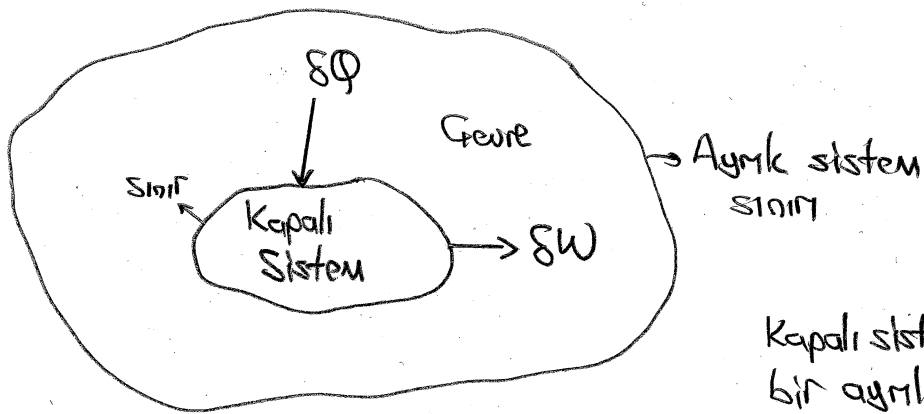
Q_k : k kompartımanında T_k sıcaklığında ki sınır üzerinde ısı geçişi.

Sürekli akış: $\Delta S_{\text{sistem}} = 0 \text{ J/K}$
(Açık sistem)

Sürekli akış: $\Delta S_{\text{sistem}} = m_2 s_2 - m_1 s_1 \text{ (J/K)}$

Kütle korunumu: $\sum m_{\text{giren}} - \sum m_{\text{çıkan}} = \Delta m_{\text{sistem}} \text{ (kg)}$

Entropinin artışı ilkesi:



Kapalı sistem + çevresi
bir ayrık sistem
oluşturur.

Kapalı sistem
için enerji dengesi: $E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{sistem}$

$$\Delta E_{sistem} = \delta Q - \delta W$$

Çevre için enerji
dengesi:

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

$$\Delta E_{çevre} = \delta W - \delta Q$$

Ayrık sistem için enerji dengesi:

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

$\downarrow \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow$
 $0 \quad \quad 0 \quad \quad \Delta E_{sistem} + \Delta E_{çevre}$

$$\begin{aligned} \Delta E_{ayrık} &= \Delta E_{sistem} + \Delta E_{çevre} \\ &= \delta Q - \delta W + \delta W - \delta Q \\ &= \underline{\underline{0 \text{ J}}} \Rightarrow \text{Enerjinin korunumu} \end{aligned}$$

Herhangi bir işlem sırasında sistem ile çevresinin
enerjileri toplamı sabittir. (Termodinamiğin birinci
yasası).

Kapalı sistem için entropi dengesi:

$$S_{giren} - S_{çıkan} + S_{iretim} = \Delta S_{sistem}$$

$\downarrow$ $\downarrow$
 $\frac{\delta Q}{T}$ 0

$$S_{iretim} = \Delta S_{sistem} - \frac{\delta Q}{T}$$

Çevre için entropi dengesi:

$$S_{giren} - S_{çıkan} + S_{iretim} = \Delta S_{çevre}$$

$\downarrow$ $\downarrow$
 0 $\frac{\delta Q}{T}$

$$S_{iretim} = \Delta S_{çevre} + \frac{\delta Q}{T}$$

Ayrık sistem için entropi dengesi:

$$S_{giren} - S_{çıkan} + S_{iretim} = \Delta S_{ayrık}$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 0 0 $S_{iretim} + \frac{\delta Q}{T} + S_{iretim} - \frac{\delta Q}{T}$

$$S_{iretim} = \left[S_{iretim} + \frac{\delta Q}{T} \right] + \left[S_{iretim} - \frac{\delta Q}{T} \right]$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\Delta S_{sistem}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\Delta S_{çevre}}$

$$S_{iretim} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre}$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
> 0 İşlem sırasında sistem ile çevresinin entropi değişimlerinin TOPLAMI pozitif olur.

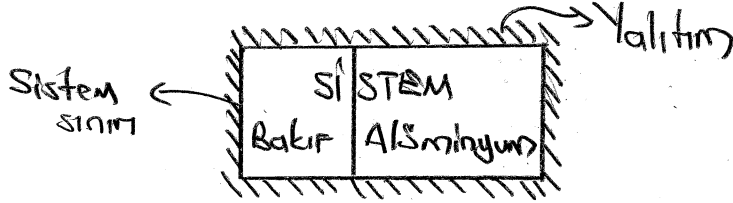
Gerçek işlemler sırasında her zaman $S_{iretim} > 0$ olur.

"Entropinin ARTIŞI ilkesi".

Dikkat: Sistemin ve çevresinin

entropi değişimlerinin ayrı ayrı pozitif olması gerekli değildir. Toplam pozitif olacaktır.

Örnek: Sıcaklığı 325°C , kütlesi 10 kg olan bakır çubuk, sıcaklığı 27°C kütlesi 20 kg olan alüminyum çubukla ısı temas ettiriliyor. Bakır ve alüminyum çubuklar ısı dengeye ulaştıktan sonra ortak sıcaklıklarını ve işlemin entropi değişimini hesaplayınız.



Ortak sıcaklığın hesabı:

Enerji dengesi: $E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}} = \Delta E_{\text{sistem}} \text{ (J)}$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 0 0 $\Delta U_{\text{Cu}} + \Delta U_{\text{Al}}$

Burada sistem, Cu+Al çubuktan oluşmaktadır. Sistem yalıtılmış olduğu için sınırdan ısı girişi/gişi olmamaktadır.

$$\Delta E_{\text{sistem}} = \Delta U_{\text{Cu}} + \Delta U_{\text{Al}} = 0 \text{ J}$$

$$m_{\text{Cu}} (U_2 - U_1)_{\text{Cu}} = m_{\text{Al}} (U_1 - U_2)_{\text{Al}}$$

Katı maddeler için: $m_{\text{Cu}} C_{\text{Cu}} (T_2 - T_1)_{\text{Cu}} = m_{\text{Al}} C_{\text{Al}} (T_1 - T_2)_{\text{Al}}$

Isıl dengede, $T_{2,\text{Cu}} = T_{2,\text{Al}}$ olacaktır.

$$T_2 = T_{2,\text{Cu}} = T_{2,\text{Al}} \text{ ise}$$

$$T_2 = \frac{m_{\text{Al}} C_{\text{Al}} T_{1,\text{Al}} + m_{\text{Cu}} C_{\text{Cu}} T_{1,\text{Cu}}}{m_{\text{Cu}} C_{\text{Cu}} + m_{\text{Al}} C_{\text{Al}}}$$

$$m_{\text{Al}} = 20 \text{ kg}, m_{\text{Cu}} = 10 \text{ kg}$$

$$T_{1,\text{Al}} = 27^{\circ}\text{C}, T_{1,\text{Cu}} = 325^{\circ}\text{C}$$

Ortalama sıcaklık belli değildir.

350 K için;

$$C_{\text{Al}} = 0,929 \text{ kJ/kgK}$$

$$C_{\text{Cu}} = 0,393 \text{ kJ/kgK}$$

Bu değerler kapsamında $T_2 = 79,03^\circ\text{C}$ (352,18 K) olarak bulunur.

C_{cu} ve C_{Al} değerlerinin sıcaklıkla değişimleri sonucu çok etkilemeyeceği için 350 K'de tablodan alınmışlardır.

Entropi dengesi:

$$\underbrace{S_{giren}}_0 - \underbrace{S_{çıkan}}_0 + S_{iretim} = \Delta S_{sistem} \text{ (J/K)}$$

$\downarrow$
 $\Delta S_{cu} + \Delta S_{Al}$

$$S_{iretim} = \Delta S_{cu} + \Delta S_{Al} \text{ (Entropinin artışı ilkesi)}$$

Katı malzemelerin için:

$$\begin{aligned} \Delta S_{cu} &= m_{cu} C_{cu} \ln \frac{T_2}{T_1} \Big|_{cu} \\ &= (10 \text{ kg}) (0,393 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{352,18 \text{ K}}{598,15 \text{ K}} \\ &= -2,0817 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{Al} &= m_{Al} C_{Al} \ln \frac{T_2}{T_1} \Big|_{Al} \\ &= (20 \text{ kg}) (0,929 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{352,18 \text{ K}}{300,15 \text{ K}} \\ &= 2,970 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{iretim} &= -2,0817 + 2,970 \\ &= 0,8885 \text{ kJ/K} (>0) \end{aligned}$$

Entropi üzerine son yorumlar:

1.Hal değişimleri herhangi bir yönde değil, sadece belirli bir yönde gerçekleşebilir. Hal değişimi, entropinin artışı ilkesi ile uyumlu yönde ilerlemek zorundadır. Yani hal değişimi sırasında entropi üretimi sıfırdan büyük olmalıdır. Bu ilkeyi sağlamayan bir hal değişimi gerçekleşemez.

2.Entropinin korunumu söz konusu değildir, bu nedenle entropinin korunumu ilkesi diye bir kavram yoktur. Entropi, sadece ideal bir durum olan tersinir hal değişimleri sırasında korunur ve gerçek bütün hal değişimleri sırasında artar. Bu nedenle evrenin entropisi sürekli olarak artmaktadır.

3.Tersinmezliklerin varlığı mühendislik sistemlerinin verimlerini azaltır ve entropi üretimi, hal değişimi sırasında görülen tersinmezliklerin bir ölçüsüdür. Tersinmezlikler arttıkça, entropi üretimi de artar. Bu bakımdan entropi üretimi, hal değişimi ile ilişkili tersinmezliklerin nicel bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Aynı zamanda, entropi üretimi mühendislik sistemlerinin verimlerini saptamak için bir kriter olarak da kullanılır.

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 sunumlarından 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).