

Termodinamik I

Ders 06

Kapalı Sistemlerde Enerji Analizi Özgöl Isılar

Madde $\rightarrow 1 \text{ kg}$
 $\rightarrow 20^\circ\text{C} \rightarrow 21^\circ\text{C}$ 'ye getirmek için ne kadar enerji gerekir?
 $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ için ne kadar enerji gerekir?

Yapılan deneysel çalışmalar;

E (enerjinin), kütle (m) ve sıcaklık farkı (ΔT) ile orantılı olduğu görülmüştür.

$$E \propto m \cdot \Delta T$$

$m = 1 \text{ kg}$ ve $\Delta T = 1 \text{ K}$ için deneyler tekrarlandığında farklı maddeler için farklı E değerleri elde edilmiştir. Sonuçta eşitlik için bir orantı sabiti bulunmuş ve bu değere özgül ısı denilmiştir.

$$E = c \cdot m \cdot \Delta T \text{ (J)}$$

$\swarrow \quad \downarrow \quad \searrow$
 $\text{J/kgK} \quad \text{kg} \quad \text{K, } ^\circ\text{C}$
 $(\text{J/kg}^\circ\text{C})$

" c " değeri her madde ve her ortalama sıcaklık için farklı değerdedir.

Sabit hacim ve sabit basınçta tekrarlanan deneylerde aynı madde için farklı değerler elde edilmiştir.

Sabit hacimde hal değişimi (Kapalı kap),

$$c_v$$

Sabit basınçta hal değişimi (Piston-silindir düzeni),

$$c_p$$

$c_p \neq c_v \rightarrow c_p > c_v$ neden?

Kapalı kapı:

$$\begin{array}{l}
 \text{Sistem} \left\{ \begin{array}{l} V = \text{sabit} \\ m = 1 \text{ kg} \\ \Delta T = 1^\circ \text{C} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} E_{g\text{in}} - E_{g\text{kon}} = \Delta E_{\text{sistem}} \\ \downarrow \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow \\ Q_{g\text{in}} \quad 0 \quad \Delta U \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} Q_{g\text{in}} = \Delta U \\ = m(u_2 - u_1) \\ = m c_v (T_2 - T_1) \text{ (J)} \\ \quad \quad \quad \downarrow \text{sabit hacim} \\ \quad \quad \quad \text{özgül ısı} \end{array} \right.
 \end{array}$$

$$\Delta U = c_v \Delta T \text{ [J/kg} \equiv \text{J/kg} \cdot \text{K]}$$

$$(dU = c_v dT)$$

Piston-silindir d Dengeli:

$$\begin{array}{l}
 \text{Sistem} \left\{ \begin{array}{l} P = \text{sabit} \\ m = 1 \text{ kg} \\ \Delta T = 1 \text{ K} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} E_g - E_f = \Delta E_s \\ \downarrow \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow \\ Q_g \quad W_s \quad \Delta U \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} Q_g = W_s + \Delta U \\ Q_g = P \Delta V + \Delta U \\ Q_g = m(h_2 - h_1) \\ = m c_p (T_2 - T_1) \text{ (J)} \\ \quad \quad \quad \downarrow \text{sabit basınca} \\ \quad \quad \quad \text{özgül ısı} \end{array} \right.
 \end{array}$$

Entalpi:

$$H = U + PV$$

$$\Delta H = \Delta U + P \Delta V$$

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

$$\Delta h = c_p \Delta T$$

$$(dh = c_p dT)$$

Su buharı için: $c_p = 2,010 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

Sıvı su için: $c_p = 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ (300 K)

Akışkanlarda $c_p \neq c_v$

$$\left\{ \begin{array}{l} c_v = f(T) \\ c_p = f(T) \end{array} \right\} \begin{array}{l} c_v \rightarrow u \\ c_p \rightarrow h \end{array}$$

İdeal Gazlar

$$PV = mRT \rightarrow v = \frac{V}{m} \rightarrow Pv = RT$$

$$\left. \begin{array}{l} h = u + Pv \\ Pv = RT \end{array} \right\} \underline{\underline{h = u + RT}}$$

$$u \rightarrow c_v \rightarrow u_2 - u_1 = c_{v,\text{ort}} (T_2 - T_1) \text{ (J/kg)}$$

→ $(T_1 + T_2)/2$ için tablodan alınır. (Tablo A2b)

$$h \rightarrow c_p \rightarrow h_2 - h_1 = c_{p,\text{ort}} (T_2 - T_1) \text{ (J/kg)}$$

→ $(T_1 + T_2)/2$ için tablodan alınır. (Tablo A2b)

(2)

Sıvı ve gazlarday

Δu ve Δh için

- sıvı ve gaz için { 1. Önce u ve h değerleri için tablo var mı? diye bakacağız.
2. Tablo yoksa $\rightarrow T_{ortalama} = \frac{T_1 + T_2}{2}$ için c_u ve c_p tablodan

alınacaktır. (Küçük sıcaklık değerleri için)

Tablo A2a

Tablo A2b

Tablo A3

$$\left. \begin{array}{l} T_1 \gg T_2 \\ T_2 \gg T_1 \end{array} \right\} \text{olmamalı.}$$

- gaz için { 3. Tablo yoksa $\rightarrow \left. \begin{array}{l} c_u = f(T) \\ c_p = f(T) \end{array} \right\} \bar{c}_p = a + bT + cT^2 + dT^3$
şeklinde bağıntılar kullanılabilir.
Tablo A2c

$$h = u + RT \rightarrow \text{türevi } dh = du + RdT + \overset{=0}{T}dR$$

$$dh = du + RdT$$

$$c_p dT = c_u dT + RdT \rightarrow c_p = c_u + R \quad (\text{Gazlarda})$$

$$k = c_p / c_u \rightarrow k = 1,667 \quad (\text{Tek atomlu gazlar için})$$

Ne, Ar, He gibi

$$(300K \text{ için}) \rightarrow k = 1,4 \quad (\text{İki atomlu gazlar için})$$

H₂, N₂ gibi

Katı ve sıvılarday

(Sıkıştırılmaz maddeler)

$v \rightarrow \text{sabit}$

$g \rightarrow \text{sabit}$

$$c = c_u = c_p \quad (\text{J/kgK})$$

$$\Delta u = c_{ort} (T_2 - T_1) \quad (\text{J/kg})$$

$$h = u + Pv$$

$\rightarrow \text{sabit}$

$$dh = du + v dP + \underbrace{P dv}_{=0}$$

(3)

$$\underline{dh = du + v dp}$$

$$\Delta h = \Delta u + v \Delta P \quad (\text{J/kg})$$

sabit sıcak-
lıkta $\Delta T = 0$
ve $\Delta u = 0$

Katılarda $v \Delta P \approx 0$

Sıvılarda $\Delta P = 0$ (sabit basınçta)

} $\Delta h = \Delta u$

$$\Delta u = c_{\text{ort}} \Delta T \quad (\text{Katı ve sıvılarda})$$

$\Delta T = 0$ ise; $\Delta h = v \Delta P$ (Bu duruma genellikle sıvılı pompalarda rastlanır).

↓
DS
SS

* Sıkıştırılmış Sıvı:

(SU) 100°C
 15 MPa için h değeri bulalım/hesaplayalım.

$P = 15 \text{ MPa}$ } SS. tablosu (Tablo A7)
 $T = 100^\circ\text{C}$ } $h = 430,39 \text{ kJ/kg}$ $(100^\circ\text{C}$ için $P_d = 101,42 \text{ kPa}$
 $P > P_d$ ise, SS)

100°C için $h \approx h_f = 419,17 \text{ kJ/kg}$ (Tablo A4)
 $P > 5 \text{ MPa}$ (Hata: %2,6)

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

$$h - h_f = (u - u_f) + v_f (P - P_d)$$

$$u - u_f \approx 0 \text{ J/kg} \text{ ise;}$$

$$h = h_f + v_f (P - P_d)$$

$$h = (419,17 \text{ kJ/kg}) + (0,001 \text{ m}^3/\text{kg}) (15000 - 101,42) \text{ kPa}$$

$$h = 434,07 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Hata: \%1})$$

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).