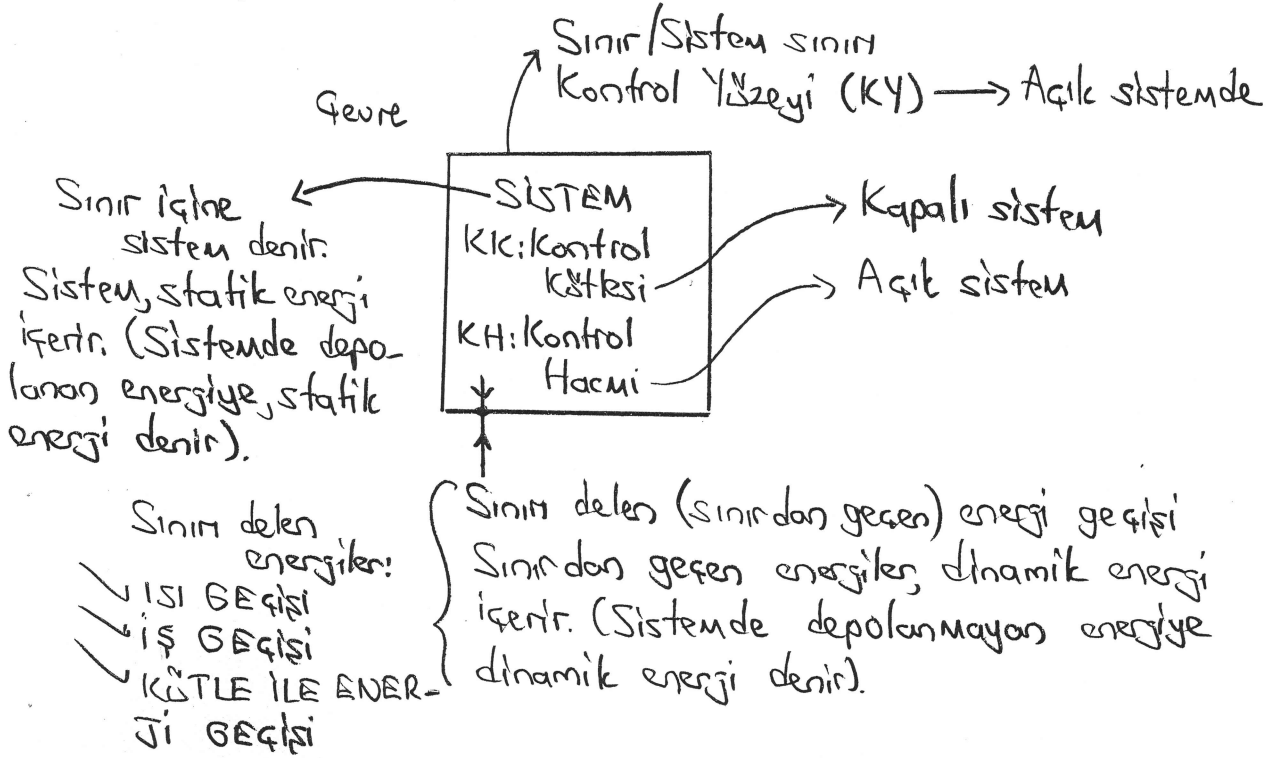


Termodinamik I

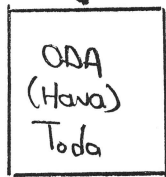
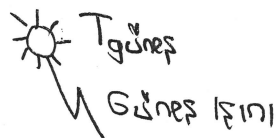
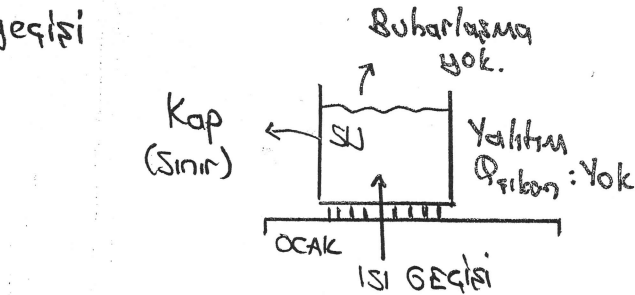
Ders 02

Genel Enerji Analizi



Örnek:

Isı geçişi



$$T_{\text{güneş}} > T_{\text{oda}}$$

Güneşten odaya ısı geçişi

$$\Delta T = T_{\text{güneş}} - T_{\text{oda}} \neq 0$$

Odanın havası: sistem

Odanın iç yüzeyi: sınır

Ocak ateşinin sıcaklığı, T_1
Sistemin (suyun) sıcaklığı, T_2

$T_1 > T_2 \Rightarrow$ Ocaktan sisteme ısı geçişi olur.

$$\Delta T = T_1 - T_2 \neq 0$$

↑
Isı geçişinin gerçekleşme şartı.

Sistemin enerjisi, statik enerjiden oluşur.

Sistemin sahip olduğu enerji; mikroskopik ve makroskopik enerji olarak ele alınır.

Enerjinin biçimleri (Sistem için):

* Mikroskopik enerjiler:
Sistemin moleküler yapısı ve moleküler hareketliliği ile ilgili enerjiler.

{ ISIL ENERJİ
MEKANİK ENERJİ
ELEKTRİK ENERJİSİ
MANYETİK ENERJİ
KİMYASAL ENERJİ
NÜKLEER ENERJİ
POTANSİYEL ENERJİ
KİNETİK ENERJİ }

* Makroskopik enerjiler:
Dış referans noktasına göre sahip olunan enerjiler.

Potansiyel enerji: $\underline{PE} = mgh$ (J)

← Kütle (m) ↓ Yüseklik (m): Dış referans noktası
gereklerinde yükseklik belirtilir
Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

Kinetik enerji: $\underline{KE} = \frac{1}{2} mV^2$ (J)

↓ Hız (m/s): Dış referans noktasına göre hız
Kütle (kg) şekillenir.

Toplam enerji (E), ısı, mekanik, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer, potansiyel, kinetik, ... enerjilerin tümünün toplamıdır.

Sistemin toplam enerjisi: E (J)

e (J/kg) (Özgül enerji)

Dikkat! Toplam enerjideki değişim (dönüşüm), termodinamiğin birinci yasası ile analiz edilir.

③
Mikroskopik enerjilerin tümünün toplamına sistemin iç enerjisi denir.

İç enerji: U (J), u (J/kg)

Sistemin toplam enerjisi:

$$E_{\text{sistem}} = E = U + KE + PE + \dots \text{ (J)}$$

Manyetik, elektrik, yüzey gerilmesi, ... gibi bu eşitlikte yer almayan enerjiler bazı özel durumlarda geçerlidir.

Termodinamik I dersi kapsamında özel durumlarda karşılaşılacak sistemlerin toplam enerjisi; iç enerji, kinetik enerji ve potansiyel enerjiden oluşacaktır.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kapalı} \\ \text{sistem} \end{array} \right\} \begin{array}{l} E_{\text{sistem}} = U + KE + PE \text{ (J)} \\ \Delta E_{\text{sistem}} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \text{ (J)} \end{array} \quad \text{(Birinci yasa)}$$

↓
Sistemdeki enerji değişimi

Hareketsiz kapalı sistemlerde: $\Delta KE = 0$, $\Delta PE = 0$ olur.

$$\Delta E_{\text{sistem}} = \Delta U \text{ (J)} \text{ (Kapalı sistem)}$$

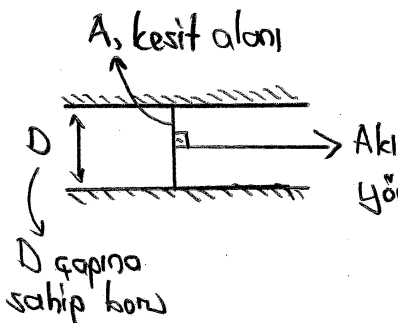
Sınırından kütle giriş/sıkışının olduğu sisteme açık sistem denir. Kütle hareketi varsa (akışkan hareketi) bu hareket kütleli debi ile modellenir.

$$\dot{m} = \rho \cdot A_k \cdot V_{\text{ort}} \text{ (kg/s)}$$

Kütleli debi

→ Boru/kanal içi ortalama hız (m/s)
→ Boru/kanal kesit alanı (m²)
→ Yoğunluk (kg/m³)

Sıvılarda sıcaklık değerine göre tablolardan okunur.
Gazlarda basınç ve sıcaklık değerlerine göre ilgili eşitliklerden hesaplanır.



(4)

Özgül enerji değişimi: $\Delta e_{\text{sistem}} = \Delta u + \Delta ke + \Delta pe \text{ (J/kg)}$

$$\Delta E_{\text{sistem}} = m \Delta e_{\text{sistem}} \text{ (J)} \left. \begin{array}{l} \downarrow \text{kg} \quad \downarrow \text{J/kg} \end{array} \right\} \text{Kapalı sistem}$$

İç enerji: $U \text{ (J)} \Rightarrow \text{Mikroskopik enerji}$

* Moleküler kinetik enerji (Duyulur enerji) } ISIL ENERJİ

* Faz değişimi (Gizli enerji)

* Bir molekülün atomları arasındaki kuvvetler ile ilgili iç enerji (Kimyasal enerji)

* Atom çekirdeği içindeki parçacıklar arasındaki bağlarla ilgili iç enerji (Nükleer enerji)

* Küçük elektrik atomlarının ve elektronların birleşmesi kutuplarda bölünmelere neden olur ve manyetik alan oluşur. Atomlar hacmi elektrik akımı ve manyetik alan elektrik ve manyetik kutuplu moment enerjisine sahip olurlar.

Dikkat: Isı geçişi sistem sınırında olur. Sistem sınırını delen enerji geçişidir. Sistemin iç enerjisini duyulur ve gizli ısı oluştuyorsa bunlara ısı enerjisi denir.

Isı geçişi ve ısı enerjisi birbirinden farklı kavramlardır.

İç enerji termodinamik bir özelliktir.

Mekanik enerji: Türbin, pompa ve fan gibi mekanik bir düzeneğe doğrudan ve ideal olarak tamamen mekanik işe dönüşebilen enerji biçimidir.

④ ek

m kütleli debisindeki bir hareketli akışkanın (kütle ile enerji geçişinin) ifadesi:

$$\dot{E}_{\text{kütle}} = \dot{E} = \dot{m} e_{\text{kütle}} \quad (\text{J/s} \equiv \text{W})$$

$\swarrow$ $\searrow$
 kg/s J/kg

$$e_{\text{kütle}} = e = v + k + p_e + P_v \quad (\text{J/kg})$$

$\swarrow$ $\swarrow$ $\swarrow$ $\swarrow$
 J/kg J/kg J/kg m^3/kg

$\left. \begin{array}{l} P_v \\ P_g \end{array} \right\} \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{kg}} \equiv \text{J}$
 $\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 \equiv \text{Nm} \equiv \text{J}$

$$e_{\text{mekanik}} = k + p_e + P_v \quad (\text{Sınırdan giren/çıkan mekanik enerji})$$

$$e_{\text{mekanik}} = k + p_e + \frac{P}{\rho} \quad (\text{J/kg})$$

(5)

$$e_{mekanik} = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \quad (J/kg)$$

$\downarrow$ Akış ışı $\downarrow$ Kinetik enerji $\downarrow$ Potansiyel enerji

$$\dot{E}_{mekanik} = \dot{m} e_{mekanik} \quad (W)$$

$$\Delta \dot{E}_{mekanik} = \dot{m} \Delta e_{mekanik} \quad (W)$$

$$= \dot{m} \left(\frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + gz_2 - gz_1 \right)$$

Mekanik enerji, ideal Bernoulli denklemidir.

Sınırdan ısı geçişi, (ısı enerjisi):

Sıcaklık farkı varsa ısı geçişi ile enerji geçişi olur.

" ΔT önemli"

$$|Q| \rightarrow Q \quad (J), \quad q = \frac{Q}{m} \quad (J/kg)$$

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q} dt \quad (J) \rightarrow Q = \dot{Q} \Delta t = \underbrace{\dot{Q}}_W \underbrace{(t_2 - t_1)}_S \quad (J)$$

Dikkat: Adyabatik sistemde, sıcaklık farkı olsa dahi sınırdan ısı geçişi ideal durumda sıfır alınır.



(6)

Sınırdan iş geçişi:

Bir sistemin sınırını geçen enerji, sıcaklık farkı ve kütle ile enerji geçişi şartlarını sağlamıyorsa bu enerji geçişi iştir.

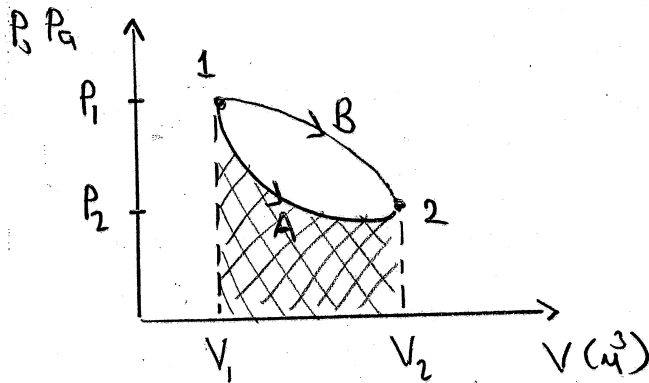
$$\dot{q} \rightarrow W(J), \quad w = \frac{W}{m} \quad (J/kg)$$

Matematik olarak ısı ve iş geçişleri yola bağlı fonksiyonlardır.

$$\left. \begin{array}{l} \text{1 hali ile 2} \\ \text{hali arasında-} \\ \text{ki enerji} \\ \text{geçiş} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \int_1^2 \delta W = W_{12} \quad (\Delta W \text{ olarak yazılamaz}) \\ \int_1^2 \delta Q = Q_{12} \quad (\Delta Q \text{ olarak yazılamaz}) \end{array} \right\} \text{Sınırdan.}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{1 hali ile 2 hali} \\ \text{arasındaki ha-} \\ \text{cim değişimi} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \int_1^2 dV = \Delta V = V_2 - V_1 \quad (m^3) \quad (\text{Hacim ise yola bağlı} \\ \text{fonksiyon değildir}) \end{array} \right\} \text{Sistemde}$$

Örnek:



Herhangi bir sistem hal 1'den hal 2'ye A ve B işlem yolları ile getirilsin. Eğer A yolunu izlerse eğrinin altında kalan alan taralı bölge kadar olacaktır. Eğer B yolunu izlerse eğrinin altında kalan alan A'dan büyük olacaktır.

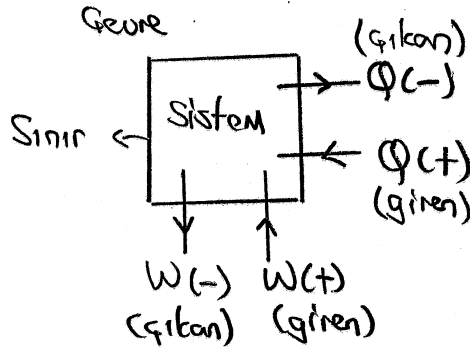
$$\int_{1A}^2 \delta W = W_{1A2} \neq \int_{1B}^2 \delta W = W_{1B2} \quad (\text{Sınırdan geçen iş, eğrinin altında kalan alana eşittir}).$$

(7)

Hacim değişimi ise yola bağlı değildir.

$$\int_1^2 dV = \Delta V = V_2 - V_1 \text{ (m}^3\text{)} \rightarrow \Delta V_A = \Delta V_B \text{ (m}^3\text{)}$$

İşaret anlaşması:



Sınırdan giren ve çıkan
iş ve ısı geçişleri, yönle-
rine göre (+) ve (-) olarak
işaret alırlar.

Kapalı sistem: $Q_g - Q_f + W_g - W_f = \Delta E_{\text{sistem}}$
 $Q_g + W_g - (Q_f + W_f) = \Delta E_{\text{sistem}}$
 $\underbrace{Q_g + W_g}_{\sum E_{\text{giren}}} - \underbrace{(Q_f + W_f)}_{\sum E_{\text{çıkan}}} = \Delta E_{\text{sistem}}$

Sınırdan elektrik işi geçişi:

Elektrik işi: $W_e = VI \Delta t \text{ (J)}$

Gerilim (V) Zaman farkı (s)
Akım (A)

$$\dot{W}_e = VI \text{ (W)}$$

$$\dot{W}_e = VI = I^2 R = V^2 / R \text{ (W)}$$

Direnç (ohm)

Sınırdan geçen mekanik iş bilgileri için bilgi notuna bakınız.

Mil işi (Döner pervane işi)

Yay işi

⋮

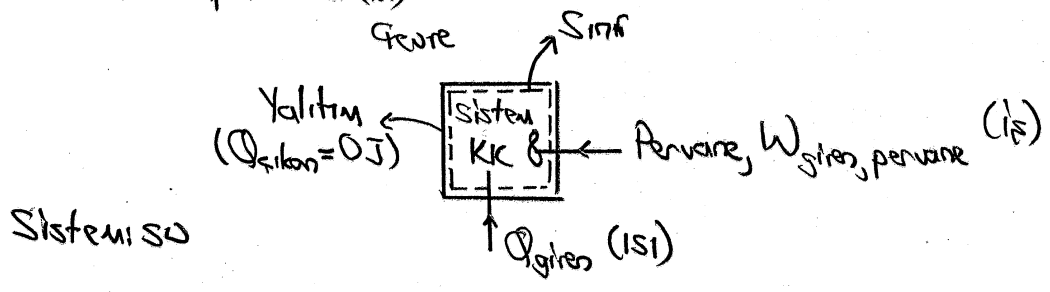
8

Termodinamiğin birinci yasası $\rightarrow$ Toplam enerji miktarı sabittir
Enerjinin korunumu ve toplam enerji miktarı sabit
Enerji dengesi kalmakla birlikte enerji dönüşümleri olabilir. (Sistem işin).
Enerji eşitliği

Sistem sınırından $Q, W, E_{küt}$ ile enerji girişleri/çıkışları olabilir. Enerji geçişleri sonucu sistemin hali değişir.

Sistemin enerjisi; genel olarak W, KE ve PE 'den oluşur.

Örnek: (Kapalı sistem)



Gevre: 20°C

Hal 1: Su, 20°C, 2.3 kPa $\rightarrow Q_{giren} = 0 J, W_{giren, pervane} = 0 J$
(Başlangıçta sınırdan giren enerji yok), (Sistem dengede)

Sınırdan enerji girişi
(Denge bozuluyor)
 $Q_{giren} \neq 0 J$
 $W_{giren, pervane} \neq 0 J$

Hal 2: Su, 30°C, 4.2 kPa $\rightarrow Q_{giren} = 0 J, W_{giren, pervane} = 0 J$
(2 hale gelince girişler durduruldu). (Sistem dengede)

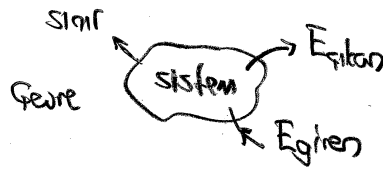
Sıcaklık arttı, iş enerji arttı.

$$\Delta U \neq 0 J$$

Sabit hacimli kapalı sistemde iş basıncı arttı.

$\Delta KE = 0 J, \Delta PE = 0 J$ (hareketsiz sistem-sabit duruyor) $\rightarrow \Delta U$ hesaplanır.

Enerji dengesi:



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{sisteme, sistem} \\ \text{sınırdan giren enerji} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{sistemden, sistem} \\ \text{sınırdan çıkan enerji} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Sistemin toplam} \\ \text{enerjisindeki değişim} \end{array} \right\}$$

$$\Downarrow \quad \Downarrow \quad \Downarrow$$

$$E_{giren} \quad E_{çıkan} \quad \Delta E_{sistem}$$

Dikkat: Herhangi bir halde (dengede) sistemin toplam enerjisi sabittir.

$$\overbrace{E_{giren} - E_{çıkan}}^{\text{sınırdan}} = \overbrace{\Delta E_{sistem}}^{\text{sınır ki}} \quad (J) \quad (\text{Termodinamik birinci yasası})$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$\text{Kapalı sistem} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_{giren} \\ W_{giren} \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_{çıkan} \\ W_{çıkan} \end{array} \right\} \quad \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

$$\rightarrow Q_{giren} + W_{giren} - (Q_{çıkan} + W_{çıkan}) = m(u_2 - u_1) + \left(\frac{1}{2}\right)m(V_2^2 - V_1^2) + mg(z_2 - z_1)$$

$$\quad \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$\quad \quad \quad \text{kg} \quad \quad \text{J/kg} \quad \text{J/kg}$$

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

Açık sistem: $\dot{Q}_{giren} + \dot{W}_{giren} + \dot{E}_{küttele, giren} -$

$$(\dot{Q}_{çıkan} + \dot{W}_{çıkan} + \dot{E}_{küttele, çıkan}) = 0 \quad (\text{Sürekli Akış})$$

$$= \frac{dE_{sistem}}{dt} \quad (\text{Sürekli Akış})$$

Sınırdan birim zamanda geçen enerjiler

$\dot{Q}, \dot{W}, \dot{E}_{küttele}$

Sınır içinde (sistemde)

birim zamanda gerçekleşen enerji değişimi

* Açık sistemde sürekli (kararlı) akış

$$\text{koşullarında: } \Delta E_{sistem} = 0 \text{ J}$$

* Gevrim geçiren sistemde: $\Delta E_{sistem} = 0 \text{ J}$

$$(1. \text{ hal} \rightarrow 2. \text{ hal} \rightarrow 3. \text{ hal} \rightarrow 1. \text{ hal})$$

Sınırdaki: $Isi \rightarrow Q \rightarrow \Delta T$ varsa ısı geçişi var.

$Isi \rightarrow W \rightarrow$ Hareketli sınır işi (Piston-silindir düzeniği)

Milî dönmeleri (Pervane işi)

Elektrik akımının sınırdan geçmesi ve
bir ısıtıcıyı veya başka bir düzeniği
çalıştırması (Elektrik işi)

Yay işi

Akışkan akımının olmadığı sistem için:

$$E = E_{\text{sistem}} = U + KE + PE \text{ (J)} \text{ (Kapalı sistem)}$$

Akışkan akımının (kütle ile enerji geçişinin) olduğu sistem için:

$$\dot{E} = \dot{E}_{\text{kütle}} = \dot{U} + \left(\frac{1}{2}\right) \dot{m} V^2 + \dot{m} g z + P \dot{V} \text{ (W)}$$

Açık sistemde
sisteme giren/çıkan
akışkanın enerjisi

$\dot{U} = \dot{m} u$
kg/s $\downarrow$ J/kg

$\dot{V}$ Hacimsel debi (m^3/s)
Baskı (Pa)
Akış işi
Akış enerjisi

$$\text{Kütleli debi: } \dot{m} = \rho V A \text{ (kg/s)}$$

$\rightarrow$ kesit alanı (m^2)
 $\rightarrow$ hız (m/s)
 $\rightarrow$ yoğunluk (kg/m^3)

$$\text{Hacimsel debi: } \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = V A \text{ (m}^3/s\text{)}$$

Enerji dönüşüm verimleri } Verim tanımı
için bilgi notuna bakınız } Termodinamiğin birinci yasası verimi

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.

Bu bilgi notunun bazı bölümleri, yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

“Termodinamik 1” 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).