

**SORU 2:** 12 litre hacmindeki rijit bir kapta başlangıçta %14 kuruluk derecesinde 110°C sıcaklıkta doymuş sıvı su ve doymuş buhar karışımı vardır. Karışıma sıcaklık 175°C olana kadar ısı girişi oluyor. Isı girişi miktarını [kJ] olarak hesaplayınız.

**ÇÖZÜM 2:** Rijit kap, sabit hacim işlemi içerir. Bu çerçevede hal 1 ve hal 2 için özgül hacim sabit kalacaktır. Sınırdan giren veya çıkan enerji etkileşimi olarak sadece ısı girişi vardır. Isı çıkışı ile iş girişi ve çıkışı yoktur. Hareketsiz duran rijit kap içindeki su sistem olarak alınacaktır ve sistemde kinetik enerji değişimi ve potansiyel enerji değişimi de ihmal edilecektir. Bu kapsamda Denklem (4.1) yardımıyla ısı girişi aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$(Q_{giren} + W_{giren}) - (Q_{çıkan} + W_{çıkan}) = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \rightarrow Q_{giren} = \Delta U$$

$$Q_{giren} = \Delta U \rightarrow Q_{giren} = m(u_2 - u_1) \text{ (J)}$$

Bu örnek için ısı girişi, iç enerji değişimine eşit olmuştur. Hal 1 ve hal 2 için özgül iç enerji değerleri aşağıda verildiği gibi saptanır:

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 110^\circ\text{C} \\ x_1 = 0.14 \end{array} \right\} \text{ (Tablo 6) } \rightarrow 110^\circ\text{C için } \left\{ \begin{array}{l} P_1 = P_{d,1} = 143.28 \text{ kPa} \\ v_{f,1} = 0.001052 \text{ m}^3 / \text{kg} \\ v_{g,1} = 1.2094 \text{ m}^3 / \text{kg} \\ u_{f,1} = 461.27 \text{ kJ} / \text{kg} \\ u_{fg,1} = 2056.4 \text{ kJ} / \text{kg} \\ u_{g,1} = 2517.7 \text{ kJ} / \text{kg} \end{array} \right.$$

Hal 1 için kuruluk derecesi verildiği için hal 1 ıslak buhar bölgesinde yer almaktadır. Hal 1'e ait özgül hacim ve özgül iç enerji değerleri Denklem (3.5) ve Denklem (3.7) yardımıyla aşağıda verildiği gibi belirlenir:

$$v_1 = v_{f,1} + x_1 v_{fg,1} \rightarrow v_1 = (0.001052 \text{ m}^3 / \text{kg}) + (0.14) [(1.2094 - 0.001052) \text{ m}^3 / \text{kg}]$$

$$v_1 = 0.17022 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$u_1 = u_{f,1} + x_1 u_{fg,1} \rightarrow u_1 = (461.27 \text{ kJ} / \text{kg}) + (0.14)(2056.4 \text{ kJ} / \text{kg}) \rightarrow u_1 = 749.17 \text{ kJ} / \text{kg}$$

Sistem sınırından ısı girişi olunca sabit hacimde sıcaklık artmıştır. Bu kapsamda hal 2 için özgül iç enerjinin değeri aşağıda verildiği gibi saptanır:

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 175^\circ\text{C} \\ v_2 = v_1 \end{array} \right\} \text{ (Tablo 6) } \rightarrow 175^\circ\text{C için } \left\{ \begin{array}{l} P_2 = 892.60 \text{ kPa} \\ v_{f,2} = 0.001121 \text{ m}^3 / \text{kg} \text{ ve } v_{g,2} = 0.21659 \text{ m}^3 / \text{kg} \\ u_{f,2} = 740.02 \text{ kJ} / \text{kg} \text{ ve } u_{g,2} = 2579.4 \text{ kJ} / \text{kg} \\ u_{fg,2} = 1839.4 \text{ kJ} / \text{kg} \end{array} \right.$$

$(v_{f,2} = 0.001121 \text{ m}^3 / \text{kg}) < (v_2 = 0.17022 \text{ m}^3 / \text{kg}) < (v_{g,2} = 0.21659 \text{ m}^3 / \text{kg})$  olduğu için hal 2'de ıslak buhar bölgesindedir. Bu çerçevede kuruluk derecesi Denklem (3.6) yardımıyla  $x_2 =$

0.7848 olarak ve Denklem (3.7) yardımıyla ise özgül iç enerji değeri  $u_2 = 2183.58 \text{ kJ/kg}$  olarak hesaplanır.

Doymuş sıvı-doymuş buhar karışımının kütlesi, hal 1 ile saptanan özgül hacim değerinden yararlanarak aşağıda verildiği gibi belirlenir:

$$V_1 = mv_1 \rightarrow (12 \text{ litre}) / (1000 \text{ litre} / \text{m}^3) = m(0.17022 \text{ m}^3 / \text{kg}) \rightarrow m = 0.07 \text{ kg}$$

Termodinamik tablolar yardımıyla belirlenen özelliklerden sonra ısı girişi aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$Q_{\text{giren}} = m(u_2 - u_1) \rightarrow Q_{\text{giren}} = (0.07 \text{ kg})[(2183.58 - 749.17) \text{ kJ/kg}]$$

$$Q_{\text{giren}} = 100.41 \text{ kJ}$$

Doymuş sıvı su-doymuş buhar karışımını sabit hacimde  $110^\circ\text{C}$  sıcaklıktan  $175^\circ\text{C}$  sıcaklığa getirmek için  $100.41 \text{ kJ}$  değerinde ısı girişi (veya enerji girişi) gerekmektedir.

**SORU 3:**  $4 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 6 \text{ m}$  boyutlarındaki bir oda rezistanslı bir ısıtıcı ile ısıtılacaktır. Rezistanslı ısıtıcının odadaki hava sıcaklığını **20 dakika** içinde  $15^\circ\text{C}$  sıcaklıktan  $30^\circ\text{C}$  sıcaklığa çıkarması istenmektedir. Odadan **10 kJ** değerinde ısı kaybı olduğunu ve atmosfer basıncının da **101.325 kPa** olduğunu varsayarak, rezistanslı ısıtıcı için gerekli güç değerini [**kW**] olarak belirleyiniz.

**ÇÖZÜM 3:** Oda, sabit hacimli-sabit kütleli kapalı bir sistem olarak alınacaktır. Odaya elektrik işi girişi ve odadan ısı çıkışı (ısı kaybı) vardır. Sistem ısıtma işleminden geçirilmektedir. Bu çerçevede 20 dakika sonunda havayı istenen sıcaklığa getirmek için gerekli ısıtıcı gücünün değeri hesaplanacaktır.

**Verilenler** Odanın boyutları:  $V = 4 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 144 \text{ m}^3$   
Isıtma süresi:  $\Delta t = 20 \text{ dakika} = 1200 \text{ s}$   
Sistemin başlangıç sıcaklığı:  $T_1 = 15^\circ\text{C}$   
Sistemin son sıcaklığı:  $T_2 = 30^\circ\text{C}$   
Odadan olan ısı kaybı:  $Q_{\text{çıkan}} = 10 \text{ kJ}$   
Sistemin başlangıç basıncı:  $P_1 = 101.325 \text{ kPa}$

**Kabuller** Odanın boyutları (hacmi) basınç ile değişmemektedir.  
Sistemde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri göz önüne alınmayacaktır.

**Çözüm** Sistem, “hava” olarak alınacaktır. Tablo A1 yardımıyla bir ideal gaz olan havanın gaz sabiti  $R = 0.287 \text{ kJ/kgK}$  olarak alınır. Sistemin hacmi ve kütlesi değişmemekte ve çevreden sisteme elektrik işi (rezistanslı ısıtıcı işi) girişi (ısıtma işlemi) ile sistemden ısı çıkışı olmakta ve sistem hal 1’den hal 2’ye gelmektedir. Sistemde başlangıçta  $15^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $101.325 \text{ kPa}$  basınçta hava bulunmaktadır. Bu çerçevede Denklem (3.12) yardımıyla sistemin kütlesi aşağıda verildiği gibi saptanır:

$$P_1 V = mRT_1 \rightarrow (101.325 \text{ kPa})(144 \text{ m}^3) = m(0.287 \text{ kJ/kgK})[(15 + 273.15) \text{ K}]$$

$$m = 176.43 \text{ kg}$$

Denklem (4.1) yardımıyla enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

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

$$E_{giren} = W_{elek}, E_{çıkan} = Q_{çıkan} \text{ ve } \Delta E_{sistem} = \Delta U = m(u_2 - u_1) = mc_{v,o} (T_2 - T_1)$$

$$W_{elek} - Q_{çıkan} = mc_{v,o} (T_2 - T_1) \rightarrow W_{elek} = mc_{v,o} (T_2 - T_1) + Q_{çıkan} \text{ (J)}$$

Bir ideal gaz olan havanın iç enerjisindeki değişim, sabit ortalama özgül ısılar yaklaşımı altında yukarıda verildiği gibi ortalama sabit hacim özgül ısı ifadesi kullanılarak belirlenebilir. Bu kapsamda önce ortalama sıcaklık;  $T_{ortalama} = (T_1 + T_2) / 2 = (15+30)^\circ\text{C} / 2 = 22.5^\circ\text{C} = 295.65 \text{ K} \approx 300 \text{ K}$  için Tablo A2 yardımıyla  $c_{v,o} = 0.718 \text{ kJ/kgK}$  olarak alınabilir ve elektrik işi girişi akımı aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$(\dot{W}_{elek})(\Delta t) = mc_{v,o} (T_2 - T_1) + Q_{çıkan} \text{ (J)}$$

$$\dot{W}_{elek} (1200 \text{ s}) = (176.43 \text{ kg})(0.718 \text{ kJ/kgK})[(30 - 15) \text{ K}] + (10 \text{ kJ})$$

$$\dot{W}_{elek} = 1.59 \text{ kW}$$

**Rezistanslı ısıtıcı için gerekli güç değeri 1.59 kW olarak belirlenmiştir.**

**Bilgi:** Hava için sabit ortalama özgül ısılar yaklaşımı altında rezistanslı ısıtıcı gücü 1.59 kW olarak hesaplanmıştır. Hava için değişken özgül ısılar yaklaşımı altında aynı soru ele alınırsa Tablo A17 yardımıyla  $T_1 = 15^\circ\text{C} = 288.15 \text{ K}$  için interpolasyonla özgül iç enerji değeri  $u_1 = 205.59 \text{ kJ/kg}$  ve  $T_2 = 30^\circ\text{C} = 303.15 \text{ K}$  için interpolasyonla özgül iç enerji değeri  $u_2 = 216.34 \text{ kJ/kg}$  olarak alınabilir. Bu kapsamda Denklem (4.1) yardımıyla rezistanslı ısıtıcı gücü aşağıda verildiği gibi belirlenir:

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

$$E_{giren} = W_{elek}, E_{çıkan} = Q_{çıkan} \text{ ve } \Delta E_{sistem} = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$W_{elek} - Q_{çıkan} = m(u_2 - u_1) \rightarrow W_{elek} = m(u_2 - u_1) + Q_{çıkan} \text{ (J)}$$

$$(\dot{W}_{elek})(\Delta t) = m(u_2 - u_1) + Q_{çıkan}$$

$$\dot{W}_{elek} (1200 \text{ s}) = (176.43 \text{ kg})[(216.34 - 205.59) \text{ kJ/kg}] + (10 \text{ kJ})$$

$$\dot{W}_{elek} = 1.59 \text{ kW}$$

Sıcaklıklar ve sıcaklık farkı düşük değerlerde olduğu için aynı sayısal sonuç elde edilmiştir. Bunun yanında değişken özgül ısılar yaklaşımı gerçeğe daha yakın sonuçlar verecektir. Hava için değişken özgül ısılar tablosu olduğundan dolayı, hava ile ilgili problemlerin çözümünde öncelikle değişken özgül ısılar yaklaşımı tercih edilebilir.

İnterpolasyon işlemi yapılmadan,  $T_1 \approx 290 \text{ K}$  ve  $T_2 \approx 305 \text{ K}$  olarak alınabilir ve bu yaklaşımda özgül iç enerji değerleri  $u_1 = 206.91 \text{ kJ/kg}$  ve  $u_2 = 217.67 \text{ kJ/kg}$  için elektrik gücü girişi yine yaklaşık olarak 1.59 kW değerinde bulunabilir.

Bu soruda **sabit hacim işlemi** göz önüne alınarak çözüm yapılmıştır. Gerçekte bu işlem sırasında hacim yerine odadaki basınç sabit kalacak, hava ısındıkça genişleyecek ve odadan bir miktar hava dışarı sızıntı ile çıkacaktır. Sonuç olarak, odadaki hava **sabit basınç işlemi** altında genişleme işleminden geçecektir. Bu nedenle, özellikle ısıtma ve iklimlendirme uygulamalarında  $\Delta U$  yerine  $\Delta H$  kullanmak daha uygun olacaktır.

**SORU 4:** Sürekli çalışan bir elektrikli ısıtıcı, gerilimi **120 V** olan bir kaynaktan **10 A** değerinde bir akım tüketmektedir ve elektrikli ısıtıcının yüzey sıcaklığı da zamanla değişmemektedir. Bu kapsamda (a) elektrikli ısıtıcıdan çıkan ısı akımını [**kW**] olarak ve (b) ısıtıcının enerji verimliliğini [%] olarak hesaplayınız.

**ÇÖZÜM 4:** Elektrikli ısıtıcı kapalı bir sistemdir. Sistem sınırından kontrol kütlelerine (sisteme) elektrik enerjisi girişi (iş girişi) ve kontrol kütlelerinden ısı çıkışı vardır. Bu çerçevede sistem için enerji dengesi eşitliği kullanılarak ısıtıcıdan çıkan ısı akımı hesaplanacaktır.

**Verilenler** Kaynak gerilimi:  $V = 120 \text{ V}$   
Elektrik akımı:  $I = 10 \text{ A}$

**Kabuller** Gerilim ve akım değerleri sabittir.  
Elektrikli ısıtıcı yüzey sıcaklığı sabit olarak alınacaktır.

**Çözüm** Kapalı bir sistem olan elektrikli ısıtıcının yüzey sıcaklığı değişmediği için elektrikli ısıtıcı kararlı bir sistem olarak ele alınacaktır. Bu çerçevede Denklem (2.28) ile verilen enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi düzenlenebilir:

$$\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}} = \frac{dE_{\text{sistem}}}{dt}$$

$$\dot{E}_{\text{giren}} = \dot{W}_{\text{elektrik, giren}}, \quad \dot{E}_{\text{çıkan}} = \dot{Q}_{\text{elek. ısıtıcı, çıkan}} \quad \text{ve} \quad \frac{dE_{\text{sistem}}}{dt} = 0 \text{ W (Kararlı durum)}$$

Elektrikli ısıtıcının yüzey sıcaklığı sabit olduğu için kontrol kütlelerinin (sistemin) iç enerjisi de değişmeyecektir. Sistemin iç enerjisi değişmiyorsa, sistemin enerjisinin zamana göre değişimi de “0 W” olacaktır. Yani sistem, kararlı bir sistemdir. Kararlı sistem için enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi olacaktır:

$$(\dot{W}_{\text{elektrik, giren}}) - (\dot{Q}_{\text{elek. ısıtıcı, çıkan}}) = 0 \text{ W}$$

$$\dot{W}_{\text{elektrik, giren}} = \dot{Q}_{\text{elek. ısıtıcı, çıkan}}$$

$$\dot{W}_{\text{elektrik, giren}} = VI = (120 \text{ V})(10 \text{ A}) = 1200 \text{ W} = 1.2 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{elek. ısıtıcı, çıkan}} = 1.2 \text{ kW}$$

**(a) Elektrikli ısıtıcıdan çıkan ısı akımı 1.2 kW olarak belirlenmiştir.**

Elektrikli ısıtıcıya giren elektrik gücü kadar elektrikli ısıtıcıdan ısı çıkışı olacaktır. Yani elektrik enerjisinin tamamı ısı enerjisine dönüşecektir. Kaliteli bir enerji olan elektrik enerjisinin (elektrik işinin) tamamı ısıya dönüştüğü için ısıtıcının enerji verimi de %100 olacaktır.

$$\text{Isıl verim, } \eta_{\text{Isıl}} = \frac{\text{İstenen çıktı}}{\text{Gerekli girdi}} = \frac{\dot{Q}_{\text{elek. ısıtıcı, çıkan}}}{\dot{W}_{\text{elektrik, giren}}} = \frac{1.2 \text{ kW}}{1.2 \text{ kW}} = 1 (\%100)$$

**(b) Elektrikli ısıtıcının enerji verimliliği %100 olarak hesaplanmıştır.**

**Yorum:** Termodinamiğin birinci yasası verimi; ısı verim, enerji verimliliği ve enerjetik verim olarak da isimlendirilir. Burada elektrikli ısıtıcının birinci yasa verimi %100 olarak bulunmuştur ama termodinamik bir sistemin mutlaka hem termodinamiğin birinci yasası hem de termodinamiğin ikinci yasası ile değerlendirilmesi ve enerjetik verim yanında ekserjetik verime de bakılması gerekmektedir. Ekserjetik verim ilerleyen konular içinde yer alacaktır.