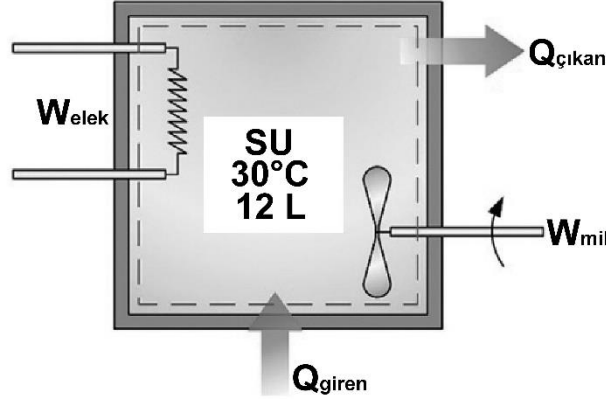


**Soru-Sabit Hacim Problemi:** Şekil ile verildiği gibi, elektrikle ısıtılan ve mekanik olarak karıştırılan rijit bir tanktaki su başlangıçta **1 atm** basınç, **30°C** sıcaklık ve **12 L** (litre) hacindedir. Tanktaki su, ısı girişi ile de ısıtmakta ve ısı girişinin %12 kadarı kaybedilmektedir. Suya olan toplam ısı girişi **65 kJ** değerindedir. Elektrikli ısıtıcı **120 V** gerilime ve **1 A** akıma sahiptir. Mekanik karıştırıcı ise tanktaki suya toplam olarak **110 kJ** değerinde iş girişi sağlamaktadır. Bu çerçevede su **14 s** boyunca ısıtılmak istenmektedir. Tanktaki suyun son sıcaklığını [°C] olarak hesaplayınız.



**Çözüm** Kapalı bir sistem olan rijit tankta; elektrik işi girişi, mil işi girişi (mekanik karıştırıcı işi girişi), ısı girişi ve ısı çıkışı (ısı kaybı) vardır. Yani sistem ısıtma işleminden geçirilmektedir. Bu çerçevede 14 s sonunda suyun sıcaklığındaki artış hesaplanacaktır.

**Verilenler**

- Sistemin başlangıç sıcaklığı:  $T_1 = 30^\circ\text{C}$
- Sistemin başlangıç basıncı:  $P_1 = 1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa} \approx 100 \text{ kPa}$
- Sistemin hacmi:  $V = 12 \text{ L} = 0.012 \text{ m}^3$
- Sisteme giren toplam ısı miktarı:  $Q_{\text{giren}} = 65 \text{ kJ}$
- Sistemden çıkan ısı miktarı:  $Q_{\text{çıkan}} = (\%12)Q_{\text{giren}} = (0.12)Q_{\text{giren}}$
- Elektrikli ısıtıcı gerilimi:  $E = 120 \text{ V}$
- Elektrikli ısıtıcı akımı:  $I = 1 \text{ A}$
- Sisteme toplam mil işi girişi:  $W_{\text{mil}} = 110 \text{ kJ}$
- Isıtma süresi:  $\Delta t = 14 \text{ s}$

**Kabuller**

- Rijit tankın boyutları (hacmi) basınç ile değişmemektedir.
- Sistemde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri göz önüne alınmayacaktır.

**Çözüm** Sistem, “su” olarak alınacaktır. Sistemin hacmi ve kütlesi değişmemekte ve çevreden sisteme ısı ve iş girişleri (ısıtma işlemi) ile sistemden ısı çıkışı olmakta ve sistem hal 1’den hal 2’ye gelmektedir. Sistemde başlangıçta  $30^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 1 atm basınçta sıkıştırılmış sıvı su bulunmaktadır. (1 atm basınç, yaklaşık olarak 100 kPa değerine eşittir ve bu basınca ait doyma sıcaklığı Tablo A5 yardımıyla  $99.61^\circ\text{C}$  olarak belirlenir. Hal 1’e ait  $30^\circ\text{C}$  sıcaklık değeri, doyma sıcaklığı olan  $99.61^\circ\text{C}$  değerinden küçük olduğu için hal 1 sıkıştırılmış sıvı bölgesindedir). Basınç 5 MPa değerinden küçük olduğu için  $30^\circ\text{C}$  sıcaklıkta özellikler doymuş sıvı özellikleri ( $x_1 = 0$ ) olarak alınabilir. Tablo A4 yardımıyla hal 1’e ait özellikler aşağıda verildiği gibi saptanır:

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 30^\circ\text{C} \\ x_1 = 0 \end{array} \right\} 30^\circ\text{C} \text{ için } \left\{ \begin{array}{l} v_1 \cong v_{f,1} = 0.001004 \text{ m}^3 / \text{kg} \\ u_1 \cong u_{f,1} = 125.73 \text{ kJ} / \text{kg} \end{array} \right.$$

Rijit tankın hacmi belli olduğu için suyun kütlesi aşağıda verildiği gibi bulunur:

$$V = mv \rightarrow V = mv_1 \rightarrow (0.012 \text{ m}^3) = m(0.001004 \text{ m}^3 / \text{kg}) \rightarrow m = m_1 = m_2 = 11.95 \text{ kg}$$

Elektrik işi girişi Denklem (2.20) yardımıyla aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$W_{\text{elek}} = EI\Delta t \rightarrow (120 \text{ V})(1 \text{ A})(14 \text{ s}) = 1680 \text{ J} = 1.68 \text{ kJ}$$

Hal 1 ve hal 2 için enerji dengesi eşitliği Denklem (4.1) yardımıyla aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

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

$$E_{\text{giren}} = Q_{\text{giren}} + W_{\text{elek}} + W_{\text{mil}}, E_{\text{çıkan}} = (0.12)Q_{\text{giren}} \text{ ve } \Delta E_{\text{sistem}} = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$Q_{\text{giren}} + W_{\text{elek}} + W_{\text{mil}} - (0.12)Q_{\text{giren}} = m(u_2 - u_1)$$

$$(65 \text{ kJ}) + (1.68 \text{ kJ}) + (110 \text{ kJ}) - (0.12)(65 \text{ kJ}) = (11.95 \text{ kg})[(u_2 - 125.73) \text{ kJ/kg}]$$

$$u_2 = 139.86 \text{ kJ/kg}$$

Enerji dengesi eşitliği yardımıyla hal 2 için özgül iç enerji değeri 139.86 kJ/kg olarak hesaplanmıştır. Su hal 2'de de sıkıştırılmış sıvı bölgesindedir ve Tablo A4 yardımıyla son sıcaklık saptanabilir. (Hal 1'de sıkıştırılmış sıvı bölgesinde olan su sabit hacimde ısıtılırsa, hal 2'de -gideceği başka bir bölge olamayacağı için- sıkıştırılmış sıvı bölgesinde yer alır). Bu çerçevede Tablo A4 yardımıyla doymuş sıvı özgül iç enerji değeri 139.86 kJ/kg olarak alınarak bu değer karşısındaki sıcaklık değeri aşağıda verildiği gibi interpolasyon ile belirlenebilir:

$$\frac{(T_2 - 30)^\circ\text{C}}{(35 - 30)^\circ\text{C}} = \frac{(139.86 - 125.73) \text{ kJ/kg}}{(146.63 - 125.73) \text{ kJ/kg}} \rightarrow T_2 = 33.38^\circ\text{C}$$

Doymuş sıvı için özgül iç enerji değeri olan 139.86 kJ/kg, 125.73 kJ/kg ile 146.63 kJ/kg arasında yer almaktadır. Bu iki özgül iç enerji değerlerinin karşısındaki sıcaklıklar ise 30°C ve 35°C değerlerinde olmaktadır. Bu kapsamda interpolasyon ile hal 2'ye ait sıcaklık değeri 33.38°C olarak belirlenmiştir.

**Tanktaki suyun son sıcaklığı 33.38°C olarak belirlenmiştir.**

**İkinci yol:** Rijit tanktaki suyun basıncı ve sıcaklığı düşük olduğu için sabit ortalama özgül ısılar yaklaşımıyla da son sıcaklık değeri saptanabilir. Sabit ortalama özgül ısılar yaklaşımında önce ortalama sıcaklığın hesaplanması gerekmektedir. Ortalama sıcaklık aşağıda verildiği gibi belirlenir:

$$T_{\text{ortalama}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{(30^\circ\text{C}) + T_2}{2}$$

$T_2$  sıcaklığı belli olmadığı için ortalama sıcaklık -düşük sıcaklıklar için- başlangıç sıcaklığına eşit olarak alınabilir veya bir ortalama sıcaklık tahmin edilebilir. Su gibi sıkıştırılamaz akışkanlarda  $c_v = c_p$  olduğu için, ortalama sıcaklık 30°C seçilerek ortalama özgül ısı değeri

Tablo A3 yardımıyla 4.18 kJ/kgK olarak alınabilir. (Tablo A3 incelendiğinde 25°C ile 50°C sıcaklık arası için  $c_o = c_{v,o} = c_{p,o} = 4.18$  kJ/kgK değerinde alınabileceği görülür). Denklem (4.1) yardımıyla enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

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

$$E_{giren} = Q_{giren} + W_{elek} + W_{mil} \text{ ve } E_{çıkan} = (0.12)Q_{giren}$$

$$\Delta E_{sistem} = \Delta U = m(u_2 - u_1) = mc_{v,o}(T_2 - T_1)$$

$$Q_{giren} + W_{elek} + W_{mil} - (0.12)Q_{giren} = mc_{v,o}(T_2 - T_1) = mc_o(T_2 - T_1)$$

$$(65 \text{ kJ}) + (1.68 \text{ kJ}) + (110 \text{ kJ}) - (0.12)(65 \text{ kJ}) = (11.95 \text{ kg})(4.18 \text{ kJ/kgK})[(T_2 - 30) \text{ } ^\circ\text{C}]$$

$$T_2 = 33.38^\circ\text{C}$$

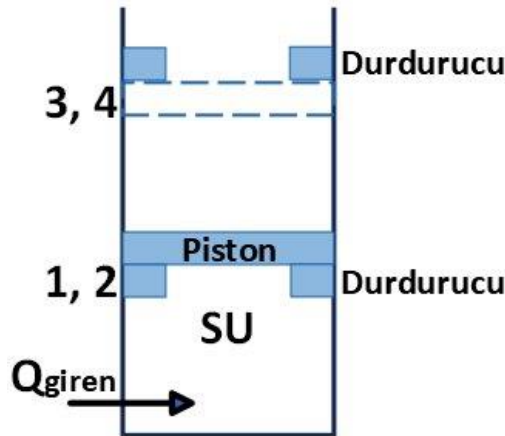
$T_1$  sıcaklığı ile  $T_2$  sıcaklığı birbirine yakın değerde olduğu için ortalama sıcaklık 25°C ile 50°C arasında kalmıştır. Yani seçilen  $c_o$  değeri uygundur. Bulunan son sıcaklık değeri de özgül iç enerji özeliği kullanılarak bulunan son sıcaklık değerine eşit çıkmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur. Sıkıştırılmaz sıvı ve doymuş sıvı için düşük basınç ve düşük sıcaklıklarda her iki yaklaşım da kullanılabilir. Düşük sıcaklıklarda ve düşük  $\Delta T$  değerlerinde özgül iç enerji yaklaşımı ile sabit ortalama özgül ısılar yaklaşımı birbirine yakın sonuçlar verecektir.

**Ek bilgiler [T (°C)-v (m<sup>3</sup>/kg) ve P (kPa)-v (m<sup>3</sup>/kg) diyagramları]:**

“<https://www.huseyingunerhan.com/nobel/c0402-ekbilgi.pdf>”



**Soru-Durduruculu Piston-Silindir Düzeneği Problemi:** Şekil ile verilen piston-silindir düzeneğinde sürtünmesiz piston iki durdurucu arasında serbestçe hareket edebilmektedir. Piston altta bulunan durdurucuya yapışmış şekilde durduğunda altındaki hacim **424 litre** olarak ölçülmüştür. Piston üst durdurucuya ulaştığında ise altında kalan hacim **626 litre** değerinde olmaktadır. Silindir başlangıçta **101.42 kPa** basınçta ve **%22** kalitede su içermektedir. Su, doymuş buhar olana kadar ısıtılıyor ve pistonu dış basınca karşı yukarı doğru hareket ettirebilmek için **325 kPa** basınca ihtiyaç olduğu görülüyor. Bu çerçevede silindirdeki son basıncı [**kPa**] olarak, yapılan işi [**kJ**] olarak ve ısı geçişini [**kJ**] olarak belirleyiniz.



**Çözüm** Kapalı bir sistem (kontrol kütlesi olan) olan sürtünmesiz piston-silindir düzeneği, durdurucuların etkisi olmadığı zaman sabit basınç işlemi altında hareket eder. Durdurucuların

etkisi sabit hacim işlemi olarak ele alınır. Bu soruda sistem “su” olarak alınacaktır. Başlangıç basıncı olan 101.42 kPa, pistonu hareket ettirebilecek basınç olan 325 kPa değerinden küçük olduğu için sorunun çözümü 4 adet halden oluşacaktır. Hal 1 ile hal 2 arası sabit hacim, hal 2 ile hal 3 arası sabit basınç ve hal 3 ile hal 4 arası ise sabit hacim işlemi içerecektir. Bu soru, önce Şekil 4.15 ve sonra Şekil 4.14 ile verilen düzeneklerin birleştirilmiş haline benzemektedir.

**Verilenler** Piston-silindir düzeneğindeki en az hacim:  $V_1 = V_2 = 424 \text{ litre} = 0.424 \text{ m}^3$   
Piston-silindir düzeneğindeki en fazla hacim:  $V_3 = V_4 = 626 \text{ litre} = 0.626 \text{ m}^3$   
Suyun başlangıçtaki basıncı:  $P_1 = 101.42 \text{ kPa}$   
Suyun başlangıçtaki kalitesi (kuruluk derecesi):  $x_1 = \%22 = 0.22$   
Pistonu hareket ettirebilecek basınç:  $P_2 = P_3 = 325 \text{ kPa}$

**Kabuller** Suyun kütlesi sabittir.  
Piston-silindir düzeneği sürtünmesizdir.  
Sanki-dengeli sistem yaklaşımı yapılacaktır.  
Sistemde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri göz önüne alınmayacaktır.

**Çözüm** Basınç P ve hacim V olarak alınıp, hal 1’den hal 4’e kadar suyun geçeceği işlemler için aşağıda verilen yaklaşım yapılabilir:

$P < 325 \text{ kPa} \Rightarrow V = 0.424 \text{ m}^3 \rightarrow$  Hal 1 ve hal 2 arası sabit hacim işlemi

$P = 325 \text{ kPa} \Rightarrow 0.424 \text{ m}^3 < V < 0.626 \text{ m}^3 \rightarrow$  Hal 2 ve hal 3 arası sabit basınç işlemi

$P > 325 \text{ kPa} \Rightarrow V = 0.626 \text{ m}^3 \rightarrow$  Hal 3 ve hal 4 arası sabit hacim işlemi

“IB” ıslak buhar olmak üzere hal 1’e ait özellikler Tablo A5, özgül hacim (v) için Denklem (3.5) ve özgül iç enerji (u) için Denklem (3.7) yardımıyla aşağıda verildiği gibi saptanır:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 101.42 \text{ kPa} \\ x_1 = 0.22 \text{ (IB bölgesi)} \end{array} \right\} 101.42 \text{ kPa için } \left\{ \begin{array}{l} T_1 = T_{d,1} = 100^\circ\text{C} \\ v_{f,1} = 0.001043 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ ve } v_{g,1} = 1.6720 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_{f,1} = 419.06 \text{ kJ/kg} \text{ ve } u_{g,1} = 2506.0 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

$$v_1 = v_{f,1} + x_1 v_{fg,1} = (0.001043 \text{ m}^3/\text{kg}) + (0.22) [(1.6720 - 0.001043) \text{ m}^3/\text{kg}]$$

$$v_1 = 0.3687 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_1 = 0.424 \text{ m}^3 \text{ ise suyun kütlesi } m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.424 \text{ m}^3}{0.3687 \text{ m}^3/\text{kg}} = 1.15 \text{ kg} \text{ olarak elde edilir.}$$

$$u_1 = u_{f,1} + x_1 u_{fg,1} = (419.06 \text{ kJ/kg}) + (0.22) [(2506.0 - 419.06) \text{ kJ/kg}]$$

$$u_1 = 878.19 \text{ kJ/kg}$$

Hal 2’ye ait özellikler Tablo A5 yardımıyla aşağıda verildiği gibi belirlenir:

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 325 \text{ kPa} \\ v_2 = v_1 = 0.3687 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array} \right\} 325 \text{ kPa için } \left\{ \begin{array}{l} T_2 = T_{d,2} = 136.27^\circ\text{C} \\ v_{f,2} = 0.001076 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_{g,2} = 0.56199 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_{f,2} = 572.84 \text{ kJ/kg} \\ u_{g,2} = 2545.9 \text{ kJ/kg} \\ h_{f,2} = 573.19 \text{ kJ/kg} \\ h_{g,2} = 2728.6 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

$v_{f,2} < v_2 < v_{g,2}$  olduğu için hal 2 ıslak buhar bölgesindedir. Bu kapsamda özellikler, kuruluk derecesi (x) için Denklem (3.5), özgül iç enerji (u) için Denklem (3.7) ve özgül entalpi (h) için Denklem (3.8) yardımıyla aşağıda verildiği gibi saptanır:

$$\begin{aligned} v_2 &= v_{f,2} + x_2 v_{fg,2} \\ (0.3687 \text{ m}^3/\text{kg}) &= (0.001076 \text{ m}^3/\text{kg}) + x_2 [(0.56199 - 0.001076) \text{ m}^3/\text{kg}] \\ x_2 &= 0.655 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_2 &= u_{f,2} + x_2 u_{fg,2} = (572.84 \text{ kJ/kg}) + (0.655) [(2545.9 - 572.84) \text{ kJ/kg}] \\ u_2 &= 1865.19 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= h_{f,2} + x_2 h_{fg,2} = (573.19 \text{ kJ/kg}) + (0.655) [(2728.6 - 573.19) \text{ kJ/kg}] \\ h_2 &= 1984.98 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Hal 3'e ait özellikler Tablo A5 yardımıyla aşağıda verildiği gibi belirlenir:

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = P_2 = 325 \text{ kPa} \\ v_3 = \frac{V_3}{m} = \frac{0.626 \text{ m}^3}{1.15 \text{ kg}} = 0.5443 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array} \right\} 325 \text{ kPa için } \left\{ \begin{array}{l} T_2 = T_{d,2} = 136.27^\circ\text{C} \\ v_{f,3} = 0.001076 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_{g,3} = 0.56199 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_{f,3} = 572.84 \text{ kJ/kg} \\ u_{g,3} = 2545.9 \text{ kJ/kg} \\ h_{f,3} = 573.19 \text{ kJ/kg} \\ h_{g,3} = 2728.6 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

$v_{f,3} < v_3 < v_{g,3}$  olduğu için hal 3 ıslak buhar bölgesindedir. Bu kapsamda özellikler, kuruluk derecesi (x) için Denklem (3.5), özgül iç enerji (u) için Denklem (3.7) ve özgül entalpi (h) için Denklem (3.8) yardımıyla aşağıda verildiği gibi saptanır:

$$v_3 = v_{f,3} + x_3 v_{fg,3}$$

$$0.5443 \text{ m}^3/\text{kg} = (0.001076 \text{ m}^3/\text{kg}) + x_3 [(0.56199 - 0.001076) \text{ m}^3/\text{kg}]$$

$$x_3 = 0.9685$$

$$u_3 = u_{f,3} + x_3 u_{fg,3} = (572.84 \text{ kJ/kg}) + (0.9685) [(2545.9 - 572.84) \text{ kJ/kg}]$$

$$u_3 = 2483.75 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_{f,3} + x_3 h_{fg,3} = (573.19 \text{ kJ/kg}) + (0.9685) [(2728.6 - 573.19) \text{ kJ/kg}]$$

$$h_3 = 2660.70 \text{ kJ/kg}$$

“DB” doymuş buhar olmak üzere hal 4 için  $x_4 = 1$  (DB hali) ve  $v_4 = v_3 = 0.5443 \text{ m}^3/\text{kg}$  özellikleri bellidir. Bu çerçevede Tablo A4 veya Tablo A5 yardımıyla  $v_4 = v_{g,4} = 0.5443 \text{ m}^3/\text{kg}$  değeri ile çakışan doymuş buhar özgül hacmi değerinin karşısındaki basınç değeri interpolasyonla  $P_4 = 336.71 \text{ kPa}$  ve özgül iç enerji değeri interpolasyonla  $u_4 = u_{g,4} = 2547.12 \text{ kJ/kg}$  olarak belirlenir.

**Silindirdeki son basınç 336.71 kPa olarak belirlenmiştir.**

Sabit hacim işleminde sınır işi olmayacağı için sabit basınç işleminin olduğu hal 2 ile hal 3 arasındaki sınır işi Denklem (4.21) yardımıyla aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$W_{\text{çıkan,sınır},23} = P_3 \int_2^3 dV = P_3 \Delta V_{23} = (325 \text{ kPa})(0.626 - 0.424) \text{ m}^3$$

$$W_{\text{çıkan,sınır},23} = 65.65 \text{ kJ}$$

**Yapılan iş (sınır işi) 65.65 kJ olarak belirlenmiştir.**

Sisteme giren ısı miktarını belirlemek için Denklem (4.1) yardımıyla enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}} = \Delta E_{\text{sistem}} \quad (\text{J})$$

$$E_{\text{giren}} = Q_{\text{giren},14}, \quad E_{\text{çıkan}} = W_{\text{çıkan-sınır},23} \quad \text{ve} \quad \Delta E_{\text{sistem}} = \Delta U_{14}$$

$$Q_{\text{giren},14} - W_{\text{çıkan-sınır},23} = \Delta U_{14} \rightarrow Q_{\text{giren},14} = \Delta U_{14} + W_{\text{çıkan-sınır},23}$$

$$Q_{\text{giren},14} = \Delta U_{14} + W_{\text{çıkan-sınır},23} \rightarrow Q_{\text{giren},14} = m(u_4 - u_1) + W_{\text{çıkan-sınır},23}$$

$$Q_{\text{giren},14} = (1.15 \text{ kg})[(2547.12 - 878.19) \text{ kJ/kg}] + (65.65 \text{ kJ}) = 1984.92 \text{ kJ}$$

**Isı geçişi (ısı girişi) 1984.92 kJ olarak belirlenmiştir.**

**Bilgi:** Denklem (4.1) yardımıyla hal 1 ile hal 2, hal 2 ile hal 3 ve hal 3 ile hal 4 arasındaki ısı girişi ayrı ayrı aşağıda verildiği gibi belirlenebilir:

$$Q_{\text{giren},12} = \Delta U_{12} = m(u_2 - u_1) = (1.15 \text{ kg})[(1865.19 - 878.19) \text{ kJ/kg}] = 1135.05 \text{ kJ}$$

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{giren},23} &= \Delta U_{23} + W_{\text{çıkan-sınır},23} = m(u_3 - u_2) + W_{\text{çıkan-sınır},23} \\ Q_{\text{giren},23} &= (1.15 \text{ kg})[(2483.75 - 1865.19) \text{ kJ/kg}] + (65.65 \text{ kJ}) = 777.00 \text{ kJ} \\ Q_{\text{giren},23} &= \Delta U_{23} + W_{\text{çıkan-sınır},23} = \Delta H_{23} \\ Q_{\text{giren},23} &= \Delta H_{23} = m(h_3 - h_2) = (1.15 \text{ kg})[(2660.70 - 1984.98) \text{ kJ/kg}] = 777.08 \text{ kJ} \end{aligned} \right\}$$

$$Q_{\text{giren},34} = \Delta U_{34} = m(u_4 - u_3) = (1.15 \text{ kg})[(2547.12 - 2483.75) \text{ kJ/kg}] = 72.88 \text{ kJ}$$

Yukarıda verildiği gibi hal 2 ile hal 3 arasında sabit basınçta sınır işi çıkışı olduğu için ısı girişi iki farklı şekilde hesaplanabilir. Sisteme giren toplam ısı miktarı ise aşağıda verildiği gibi bulunur:

$$Q_{\text{giren},14} = Q_{\text{giren},12} + Q_{\text{giren},23} + Q_{\text{giren},34}$$

$$Q_{\text{giren},14} = (1135.05 \text{ kJ}) + (777.08 \text{ kJ}) + (72.88 \text{ kJ}) = 1985.01 \text{ kJ}$$

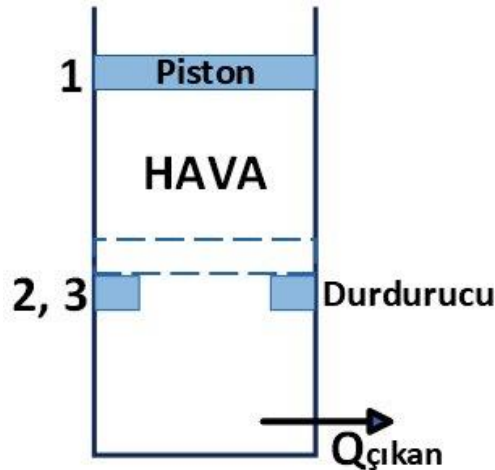
Giren ısı miktarını bulmak için yapılan yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar (1984.92 kJ ile 1985.01 kJ) birbirine çok yakın çıkmıştır. Gerçekte iki değerinde aynı olması gerekir ama tablolarda ve hesaplamalarda yapılan yuvarlatmalardan dolayı iki değer arasında çok az da olsa bir fark olmuştur. Termodinamik açıdan bu fark önemsizdir.

**Ek bilgiler [T (°C)-v (m³/kg) diyagramı]:**

“<https://www.huseyingunerhan.com/nobel/c0411-ekbilgi.pdf>”



**Soru-Durduruculu Piston-Silindir Düzeneği Problemi:** Şekil ile verilen sürtünmesiz piston-silindir düzeneği içinde **2200 kPa** basınç ve **926.85°C** sıcaklıkta **0.75 kg** hava vardır. Başlangıçta piston durdurucunun üzerinde belli bir mesafede durmaktadır. Durdurucunun altındaki en az hacim **0.035 m³** olarak verilmiştir. Hava düzenekten olan ısı çıkışı ile (soğutma işlemiyle) **26.85°C** sıcaklığa soğutulmaktadır. Bu çerçevede pistonun durdurucu üzerine çarpıp-çarpmadığını saptayınız. Havanın son basıncını [**kPa**] olarak belirleyiniz. Soğutma işlemi sonunda gerçekleşen iş miktarını [**kJ**] ve ısı geçişi miktarını [**kJ**] olarak hesaplayınız.



**Çözüm** Kapalı bir sistem (kontrol kütlesi olan) olan sürtünmesiz piston-silindir düzeneği, durdurucuların etkisi olmadığı zaman sabit basınç işlemi altında hareket eder. Durdurucuların etkisi ise sabit hacim işlemi olarak ele alınır. Bu soruda sistem “hava” olarak alınacaktır. Soğutma işlemi çerçevesinde -başlangıçta piston durdurucunun üzerinde belli bir mesafede durduğu için- piston sabit basınçta yerçekimi ivmesi yönünde aşağıya doğru hareket edecektir. Soğutma işlemi devam ettikçe ve sıcaklık düştükçe piston durdurucuya çarpıp duracak ve sabit basınç işleminden sabit hacim işlemine geçilecektir. Bu soru, Şekil 4.13 ile verilen düzeneğe benzetilmektedir.

**Verilenler** Havanın başlangıçtaki basıncı:  $P_1 = 2200$  kPa  
Havanın başlangıçtaki sıcaklığı:  $T_1 = 926.85^\circ\text{C} = 1200$  K  
Havanın kütlesi:  $m = 0.75$  kg  
Havanın en az hacmi:  $V_2 = 0.035$  m<sup>3</sup>  
Havanın son sıcaklığı:  $T_3 = 26.85^\circ\text{C} = 300$  K

**Kabuller** Hava ideal gazdır.  
Havanın kütlesi sabittir.  
Piston-silindir düzeneği sürtünmesizdir.  
Sanki-dengeli sistem yaklaşımı yapılacaktır.  
Sistemde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri göz önüne alınmayacaktır.

**Çözüm** Başlangıçta pistonun altındaki hacim en büyük değerine sahiptir, soğutma işlemi ile birlikte piston sabit basınçta aşağıya doğru yerçekimi ivmesi yönünde hareket edecek ve durdurucuya çarpıp-durduğunda hacim en küçük değerini alacaktır. Soğutma işlemi devam ettikçe sabit hacim işlemi altında havanın basıncı dış basıncın değerinden daha küçük olacaktır. Tablo A1 yardımıyla havanın gaz sabiti  $R = 0.287$  kJ/kgK olarak alınıp, hal 1 için havanın başlangıçtaki hacmi Denklem (3.12) yardımıyla aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$P_1 V_1 = mRT_1 \rightarrow (2200 \text{ kPa})V_1 = (0.75 \text{ kg})(0.287 \text{ kJ/kgK})(1200 \text{ K})$$
$$V_1 = 0.11741 \text{ m}^3$$

Hal 2, pistonun durdurucuya çarpıp-durduğu durum olarak alınacaktır. Bu kapsamda hal 2 için havanın sıcaklığı,  $P_2 = P_1 = 2200$  kPa için Denklem (3.12) yardımıyla aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$P_2 V_2 = mRT_2 \rightarrow (2200 \text{ kPa})(0.035 \text{ m}^3) = (0.75 \text{ kg})(0.287 \text{ kJ/kgK})T_2$$
$$T_2 = 357.72 \text{ K}$$

Hal 2 için havanın sıcaklığı 357.72 K olarak belirlenmiştir. Soruda verilen havanın son sıcaklık değeri 300 K olarak verildiği ve hal 2'deki havanın sıcaklığı son sıcaklık değerinden büyük olduğu için piston durdurucu üzerine çarpıp-duracaktır çünkü soğutma işlemi devam ettiğinden dolayı sıcaklıktaki azalma devam etmektedir ve piston durdurucu nedeniyle daha da aşağıya inemediği için piston üzerine yapışmış şekilde duracaktır.

***Pistonun durdurucu üzerine çarptığı yukarıda verildiği gibi saptanmıştır.***

Hava son sıcaklık değeri olan  $T_3 = 300$  K sıcaklığına ulaştığında hal 3 noktasına gelmiş olacaktır. Hal 3 için havanın son basıncı,  $V_3 = V_2 = 0.035$  m<sup>3</sup> için Denklem (3.12) yardımıyla aşağıda verildiği gibi hesaplanır:



$$P_3 V_3 = mRT_3 \rightarrow P_3(0.035 \text{ m}^3) = (0.75 \text{ kg})(0.287 \text{ kJ/kgK})(300 \text{ K})$$

$$P_3 = 1845 \text{ kPa}$$

**Havanın son basıncı 1845 kPa olarak belirlenmiştir.**

Sabit basınç işleminin olduğu hal 1 ile hal 2 arasındaki sınır işi Denklem (4.21) yardımıyla aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$W_{\text{sınır},12} = P_1(V_2 - V_1) = (2200 \text{ kPa})[(0.035 - 0.11741) \text{ m}^3] = -181.30 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{sınır-giren},12} = P_1(V_1 - V_2) = (2200 \text{ kPa})[(0.11741 - 0.035) \text{ m}^3] = 181.30 \text{ kJ}$$

Soğutma işlemi olduğu için sınır işinin değeri negatif olarak elde edilmiştir. Negatif değer sadece hacmin azaldığını yani sistemden ısı çıkışı olduğunu göstermektedir. Enerji dengesi eşitliğinde iş girişi ve iş çıkışı için pozitif değer kullanılır.

**Soğutma işlemi sonunda gerçekleşen iş miktarı 181.30 kJ olarak belirlenmiştir.**

Soğutma işlemi sonunda gerçekleşen ısı geçişi hesabı için birinci yaklaşım: Sistemden çıkan ısı miktarını belirlemek için Denklem (4.1) yardımıyla enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

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

$$E_{\text{giren}} = W_{\text{sınır-giren},12}, E_{\text{çıkan}} = Q_{\text{çıkan}} \text{ ve } \Delta E_{\text{sistem}} = \Delta U$$

$$W_{\text{sınır-giren},12} - Q_{\text{çıkan}} = \Delta U \rightarrow Q_{\text{çıkan}} = W_{\text{sınır-giren},12} - \Delta U$$

$$Q_{\text{çıkan}} = W_{\text{sınır-giren},12} - m(u_3 - u_1) \rightarrow Q_{\text{çıkan}} = W_{\text{sınır-giren},12} - mc_{v,o}(T_3 - T_1) \text{ (J)}$$

Hava için ortalama sabit hacim özgül ısısının ( $c_{v,o}$ ) saptanması için ortalama sıcaklık  $T_{\text{ortalama}} = (T_1 + T_3) / 2 = (1200 + 300) \text{ K} / 2 = 750 \text{ K}$  olarak alınıp, hava için Tablo A2 yardımıyla  $c_{v,o} = 0.800 \text{ kJ/kgK}$  olarak belirlenir. Bu kapsamda çıkan ısı miktarı aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$Q_{\text{çıkan}} = W_{\text{sınır-giren},12} - mc_{v,o}(T_3 - T_1)$$

$$Q_{\text{çıkan}} = (181.30 \text{ kJ}) - (0.75 \text{ kg})(0.800 \text{ kJ/kgK})[(300 - 1200) \text{ K}] = 721.30 \text{ kJ}$$

Yukarıda verilen eşitlikte; sınır işinin hal 1 ile hal 2 arasında geçerli olduğu, özgül iç enerji değişiminin ise hal 1 ile hal 3 arasında olduğuna dikkat edilmelidir.

**Birinci yaklaşım altında soğutma işlemi sonunda gerçekleşen ısı geçişi miktarı 721.30 kJ olarak hesaplanmıştır.**

Soğutma işlemi sonunda gerçekleşen ısı geçişi hesabı için ikinci yaklaşım: Sabit basınçtaki sınır işi ve iç enerji değişiminin toplamı entalpi değişimi ile ifade edilebilir ve bu kapsamda ortalama sabit basınç özgül ısısı kullanılarak da çıkan ısı miktarı bulunabilir.  $T_{\text{ortalama}} = (T_1 + T_2) / 2 = (1200 + 357.72) \text{ K} / 2 = 778.86 \text{ K}$  için Tablo A2 yardımıyla ve interpolasyonla  $c_{p,o} = 1.094 \text{ kJ/kgK}$  olarak belirlenir. Hal 2 ile hal 3 arası sabit hacim işlemidir ve hal 2 ile hal 3 arası için

$T_{ortalama} = (T_2 + T_3) / 2 = (357.72 + 300) \text{ K} / 2 = 328.86 \text{ K}$  olarak belirlenir. Belirlenen sıcaklık için Tablo A2 yardımıyla ve interpolasyonla  $c_{v,o} = 0.720 \text{ kJ/kgK}$  olarak saptanır. Bu çerçevede çıkan ısı miktarı aşağıda verildiği gibi belirlenir.

$$Q_{\text{çıkan}} = W_{\text{sınır-giren, 12}} - m(u_3 - u_2)$$

$$\left[ \text{Bilgi: } m(u_3 - u_1) = m(u_2 - u_1) + m(u_3 - u_2) \text{ ise;} \right]$$

$$Q_{\text{çıkan}} = \left[ mP_1(v_1 - v_2) - m(u_2 - u_1) \right] - m(u_3 - u_2) \text{ olarak yazılabilir.}$$

$$Q_{\text{çıkan}} = m \left[ (P_1v_1 + u_1) - (P_2v_2 + u_2) \right] - m(u_3 - u_2)$$

$$Q_{\text{çıkan}} = m(h_1 - h_2) - m(u_3 - u_2)$$

$$Q_{\text{çıkan}} = m \left[ c_{p,o} (T_1 - T_2) - c_{v,o} (T_3 - T_2) \right]$$

$$Q_{\text{çıkan}} = (0.75 \text{ kg}) \left\{ (1.094 \text{ kJ/kgK}) [(1200 - 357.72) \text{ K}] - (0.720 \text{ kJ/kgK}) [(300 - 357.72) \text{ K}] \right\} \rightarrow Q_{\text{çıkan}} = 722.26 \text{ kJ}$$

***İkinci yaklaşım altında soğutma işlemi sonunda gerçekleşen ısı geçişi miktarı 722.26 kJ olarak hesaplanmıştır.***

Birinci yaklaşım ile ikinci yaklaşım arasındaki önemsiz fark; yuvarlatılmış tablo değerlerinden ve yuvarlatma hatalarından kaynaklanmıştır.

***Bilgi:*** Ortalama özgül ısılar yaklaşımında hata oranı, sıcaklıklar büyüdükçe ve sıcaklık farkı arttıkça yükselmektedir. Bu çerçevede hata oranı daha düşük olan değişken özgül ısılar yaklaşımı da hava için kullanılabilir. Tablo A13 yardımıyla sıcaklık değerlerine göre özgül iç enerji ve özgül entalpi değerleri aşağıda verildiği gibi saptanır.

$$T_1 = 1200 \text{ K için } u_1 = 933.33 \text{ kJ/kg ve } h_1 = 1277.79 \text{ kJ/kg}$$

$$T_2 = 357.72 \text{ K için } u_2 = 255.59 \text{ kJ/kg ve } h_2 = 358.28 \text{ kJ/kg}$$

$$T_3 = 300 \text{ K için } u_3 = 214.07 \text{ kJ/kg ve } h_3 = 300.19 \text{ kJ/kg}$$

Değişken özgül ısılar yaklaşımı altında sistemden çıkan ısı miktarını belirlemek için Denklem (4.1) yardımıyla enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi yazılabilir ve çıkan ısı miktarı iki farklı yaklaşım altında bulunabilir.

Birinci yaklaşım :

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

$$E_{\text{giren}} = W_{\text{sınır-giren, 12}}, E_{\text{çıkan}} = Q_{\text{çıkan}} \text{ ve } \Delta E_{\text{sistem}} = \Delta U$$

$$W_{\text{sınır-giren, 12}} - Q_{\text{çıkan}} = \Delta U \rightarrow Q_{\text{çıkan}} = W_{\text{sınır-giren, 12}} - \Delta U$$

$$Q_{\text{çıkan}} = W_{\text{sınır-giren, 12}} - m(u_3 - u_1)$$

$$Q_{\text{çıkan}} = (181.30 \text{ kJ}) - (0.75 \text{ kg}) [(214.07 - 933.33) \text{ kJ/kg}] = 720.75 \text{ kJ}$$

İkinci yaklaşım:

$$Q_{\text{çıkan}} = [P_1(V_1 - V_2) - m(u_2 - u_1)] - m(u_3 - u_2)$$

$$Q_{\text{çıkan}} = m[(P_1v_1 + u_1) - (P_2v_2 + u_2)] - m(u_3 - u_2)$$

$$Q_{\text{çıkan}} = m[(h_1 - h_2) - (u_3 - u_2)]$$

$$Q_{\text{çıkan}} = (0.75 \text{ kg}) \{[(1277.79 - 358.28) \text{ kJ/kg}] - [(214.07 - 255.59) \text{ kJ/kg}]\}$$

$$Q_{\text{çıkan}} = 720.77 \text{ kJ}$$

***Birinci yaklaşım altında soğutma işlemi sonunda gerçekleşen ısı geçişi miktarı 720.75 kJ olarak ve ikinci yaklaşım altında ise 720.77 kJ olarak hesaplanmıştır.***

***Ek bilgiler [P (kPa)-V (m<sup>3</sup>) diyagramı]:***

***“<https://www.huseyingunerhan.com/nobel/c0412-ekbilgi.pdf>”***

