

MAK 212 - TERMODİNAMİK
CRN: 21688, 21689, 21690, 21691, 21692
2010-2011 BAHAR YARIYILI

ÖDEV 6b-ÇÖZÜM

- 1) Su buharı adyabatik bir türbine 6 MPa basınç, 600°C sıcaklık ve 80 m/s hızla girmekte, 50 kPa basınç, 100°C sıcaklık ve 140 m/s hızla çıkmaktadır. Türbinin gücü 5 MW'tır. (a) Türbinde akan buharın debisini, (b) türbinin adyabatik verimini hesaplayın. (Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Çengel ve Boles, çev. T. Derbentli, **Problem 6-110**)

- (a) Açık Sistem: Buhar Türbini (SASA)

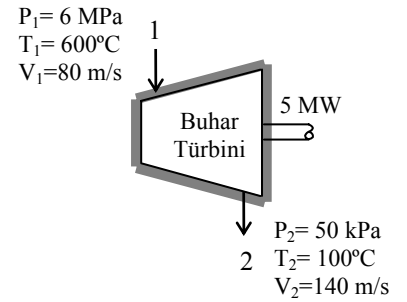
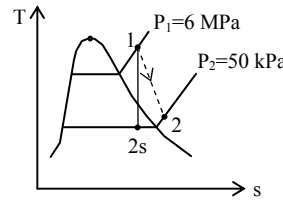
Giriş hali : $P_1 = 6 \text{ MPa}$, $T_1 = 600^\circ\text{C}$, $V_1 = 80 \text{ m/s}$

Çıkış hali : $P_2 = 50 \text{ kPa}$, $T_2 = 100^\circ\text{C}$, $V_2 = 140 \text{ m/s}$

Su buharı tablolarından,

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 6 \text{ MPa} \\ T_1 = 600^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 3658.4 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 7.1677 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 50 \text{ kPa} \\ T_2 = 100^\circ\text{C} \end{array} \right\} h_2 = 2682.5 \text{ kJ/kg}$$



$$(s_2 = 7.6947 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} > s_1 = 7.1677 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})$$

Bir giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için kütle korunumu: $\dot{m}_2 = \dot{m}_1 = \dot{m}$

Gerçek türbin gücü: $\dot{W} = 5000 \text{ kW}$

Bir giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için enerji korunumu:

$$\dot{Q}^{\text{neto}} - \dot{W} = \dot{m}(\Delta h + \Delta ke + \Delta pe^{\text{neto}}) \longrightarrow -\dot{W} = \dot{m} \left[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right]$$

$$-5000 = \dot{m}[(2682.5 - 3658.4) + \frac{(140^2 - 80^2)}{2}] \times 10^{-3}$$

$$\dot{m} = 5.16 \text{ kg/s}$$

- (b) Eğer türbinde tersinir adyabatik (izantropik) genişleme olsaydı $s_2 = s_1$ (s2s=s1) olacaktı.

$s_{f,50\text{kPa}} < s_{2s} < s_{g,50\text{kPa}}$ olduğundan izantropik genişleme sonunda su doymuş-sıvı buhar karışımı halinde olacaktır.

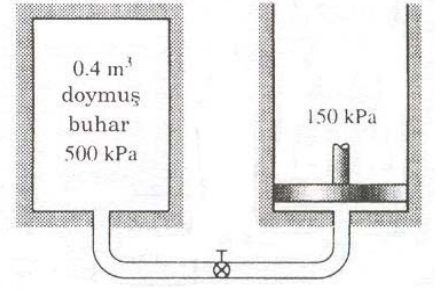
$$\left. \begin{array}{l} P_{2s} = 50 \text{ kPa} \\ s_{2s} = s_1 = 7.1677 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_{2s} = T_{\text{doyma}, 50 \text{ kPa}} = 81.33^\circ\text{C} \\ x_{2s} = \frac{s_{2s} - s_f}{s_{fg}} = \frac{7.1677 - 1.0910}{6.5029} = 0.934 \\ h_{2s} = h_f + x_{2s} h_{fg} = 340.49 + (0.934)(2305.4) = 2493.7 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$\dot{Q}_s^{\text{neto}} - \dot{W}_s = \dot{m}(\Delta h + \Delta ke + \Delta pe^{\text{neto}}) \longrightarrow \dot{W}_s = -\dot{m} \left[(h_{2s} - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right]$$

$$\text{İzantropik türbin gücü: } \dot{W}_s = -5.16 \times [(2493.7 - 3658.4) + \frac{(140^2 - 80^2)}{2}] \times 10^{-3} = 5976 \text{ kW}$$

Türbinin adyabatik verimi: $\eta_T = \frac{\dot{W}}{\dot{W}_s} = \frac{5000}{5976} = 0.837 = \%83.7$

- 2) İçinde 500 kPa basınçta doymuş su buharı bulunan 0.4 m³ hacminde yalıtılmış bir depo, Şekil P6-125'te görüldüğü gibi vana aracılığıyla bir piston silindir düzeneğine bağlanmıştır. Silindir ve piston yalıtılmış olup, başlangıçta piston silindirin tabanına dokunmaktadır. Pistonu hareket ettirmek için silindir içindeki basıncın 150 kPa olması gerekmektedir. Daha sonra vana biraz açılmakta ve su buharı silindire akmaktadır. Depo içindeki basınç 150 kPa'e düştüğünde vana kapatılmaktadır. Depoda kalan buharın tersinir adyabatik bir hal değişimi geçirdiğini kabul ederek, (a) depo içindeki, (b) silindir içindeki buharın son sıcaklığını hesaplayın. (Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Çengel ve Boles, çev. T. Derbentli, Problem 6-125)



ŞEKİL P6-125

- (a) A depoyu B silindiri gösterebiliriz. A deposunda kalan buhar tersinir adyabatik hal değişiminden geçeceğinden dolayı $s_{2,A} = s_{1,A}$ olacaktır. Bütün su sistem olarak göz önüne alınırsa:

Kapalı sistem : H₂O

İlk hal : (A) $P_{1,A} = 500 \text{ kPa}$, $x_{1,A} = 1.0$, $V_{1,A} = 0.4 \text{ m}^3$
(B) $P_{1,B} = 150 \text{ kPa}$, $V_{1,B} = 0$, ($m_{1,B} = 0$)

Son hal : (A) $s_{2,A} = s_{1,A}$, $V_{2,A} = V_{1,A} = V_A = 0.4 \text{ m}^3$
(B) $P_{2,B} = P_{1,B} = P_B = 150 \text{ kPa}$

1-2 Dengesiz hal değişimi

Kütlenin korunumu $m_2 = m_1 \Rightarrow m_{2,A} + m_{2,B} = m_{1,A} + m_{1,B}^{\text{0}}$ $m_{2,B} = m_{1,A} - m_{2,A}$

$$\left. \begin{array}{l} P_{1,A} = 500 \text{ kPa} \\ x_{1,A} = 1.0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_{1,A} = v_{g,500\text{kPa}} = 0.3749 \text{ m}^3 / \text{kg} \\ u_{1,A} = u_{g,500\text{kPa}} = 2561.2 \text{ kJ} / \text{kg} \\ s_{1,A} = s_{g,500\text{kPa}} = 6.8213 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{2,A} = 150 \text{ kPa} \\ s_{2,A} = s_{1,A} \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_f < s_{2,A} < s_g \text{ olduğundan ıslak buhar} \quad T_{2,A} = T_{\text{doyma},150\text{kPa}} = 111.37^\circ \text{C} \\ x_{2,A} = \frac{s_{2,A} - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.8213 - 1.4336}{5.7897} = 0.9306 \\ v_{2,A} = v_f + x_{2,A} v_{fg} = 0.001053 + (0.9306)(1.1593 - 0.001053) = 1.079 \text{ m}^3 / \text{kg} \\ u_{2,A} = u_f + x_{2,A} u_{fg} = 466.94 + (0.9306)(2052.7) = 2377.2 \text{ kJ} / \text{kg} \end{array}$$

A deposundaki ilk haldeki ve son haldeki kütleler:

$$m_{1,A} = \frac{V_A}{v_{1,A}} = \frac{0.4}{0.3749} = 1.067 \text{ kg} \quad \text{ve} \quad m_{2,A} = \frac{V_A}{v_{2,A}} = \frac{0.4}{1.079} = 0.371 \text{ kg}$$

(b) $m_{2,B} = m_{1,A} - m_{2,A} = 1.067 - 0.371 = 0.696 \text{ kg}$

Bu işlem esnasındaki sınır işi: $W_s = \int_1^2 P_K dV = P_B (V_{2,B} - V_{1,B}^{\text{0}}) = P_B V_{2,B} = P_B m_{2,B} v_{2,B}$

Toplam iş: $W = W_{\text{sınır}} + W_{\text{diğer}}^{\text{0}} = P_B m_{2,B} v_{2,B}$

Enerjinin Korunumu: $Q^{\text{0}} - W = \Delta U + \Delta KE^{\text{0}} + \Delta PE^{\text{0}} \longrightarrow W + (\Delta U)_A + (\Delta U)_B = 0$

$$P_B m_{2,B} v_{2,B} + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_A + (m_2 u_2 - m_1^{\circ} u_1)_B = 0$$

$$m_{2,B} h_{2,B} + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_A = 0$$

$$h_{2,B} = \frac{(m_2 u_2 - m_1 u_1)_A}{m_{2,B}} = \frac{(1.067)(2561.2) - (0.371)(2377.2)}{0.696} = 2659.3 \text{ kJ/kg}$$

150 kPa'da $h_f = 467.11 \text{ kJ/kg}$ ve $h_g = 2693.6 \text{ kJ/kg}$ 'dır. $h_f < h_{2,B} < h_g$ olduğundan son halde B silindirindeki su doymuş sıvı-buhar karışımı (ıslak buhar) halindedir. Bu yüzden,

$$T_{2,B} = T_{\text{doyma}, 150 \text{ kPa}} = 111.37^\circ \text{C} \quad (x_{2,B} = 0.985)$$

- 3) Hava, sürekli akışlı bir kompresörde 100 kPa basınç ve 17°C sıcaklıktan, 700 kPa basınca sıkıştırıl-maktadır. Havanın debisi 2 kg/dakikadır. Sıkıştırmanın (a) adyabatik, (b) sabit sıcaklıkta olması durumunda kompresörü çalıştırmak için gerekli en az gücü hesaplayın. Hava'yı mükemmel gaz, özgül ısıları sıcaklığa bağlı kabul edin. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal edin. (*Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Çengel ve Boles, çev. T. Derbentli, Problem 6-139*).

Kompresöre en az güç, sıkıştırmanın tersinir olması durumunda, verilecektir. Bu nedenle (a) şıkında kompresördeki sıkıştırma tersinir adyabatik, (b) şıkında ise tersinir sabit sıcaklıkta olacaktır.

Açık Sistem: Kompresör (SASA)

Giriş hali : $P_1 = 100 \text{ kPa}$, 17°C

Çıkış hali : $P_2 = 700 \text{ kPa}$

Kütlenin Korunumu (Bir giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için):

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 = \dot{m} = 2/60 = 0.0333 \text{ kg/s}$$

- (a) Havanın kompresörde tersinir adyabatik ($s_2 = s_1$) sıkıştırılması:

$$T_1 = 290 \text{ K} \longrightarrow \begin{aligned} P_{\eta} &= 1.2311 \\ h_1 &= 290.16 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Mükemmel gazın izantropik ($s_2 = s_1$) hal değişimi için, özgül ısıların sıcaklığa bağlı olduğu kabul edilirse:

$$\left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{s=\text{sabit}} = \frac{P_{\eta}}{P_{r2}}$$

$$P_{r2} = \frac{P_2}{P_1} P_{\eta} = \frac{700}{100} (1.2311) = 8.6177 \longrightarrow \begin{aligned} T_2 &= 503.3 \text{ K} \\ h_2 &= 506.57 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Enerjinin Korunumu (Bir giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için)

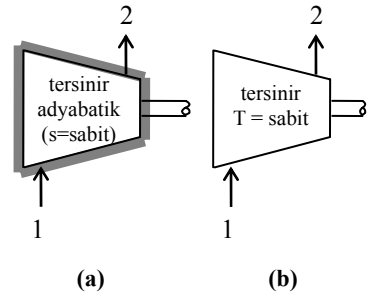
$$\dot{Q}^{\circ} - \dot{W} = \dot{m}(\Delta h^{\circ} + \Delta ke^{\circ} + \Delta pe^{\circ}) \longrightarrow \dot{W} = -\dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{W} = -(0.0333) \times (506.57 - 290.16) = -7.21 \text{ kW}$$

- (b) Havanın kompresörde tersinir sabit sıcaklıkta sıkıştırılması:

Mükemmel gaz için $h = h(T)$ olduğundan, $T_2 = T_1$ olması durumunda $h_2 = h_1$ olacaktır.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(\Delta h^{\circ} + \Delta ke^{\circ} + \Delta pe^{\circ}) \longrightarrow \dot{W} = \dot{Q}$$



(İkinci yasadana) $\Delta S = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{içten, tr}}$ olması nedeniyle, tersinir sabit sıcaklıktaki hal değişimi için ısı geçişi:

$$\dot{Q} = \dot{m}T(s_2 - s_1)$$

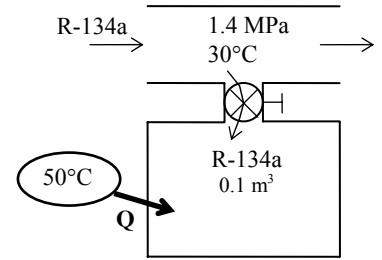
$$s_2 - s_1 = (s_2^\circ - s_1^\circ) - R \ln \frac{P_2}{P_1} = -R \ln \frac{P_2}{P_1} = -(0.287) \times \ln \frac{700}{100} = -0.5585 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Mükemmel gaz için $s^\circ = s^\circ(T)$ olduğundan, $T_2 = T_1$ olması durumunda $s_2^\circ = s_1^\circ$ 'dir. Hesaplanan $(s_2 - s_1)$ değeri yerine konulacak olursa:

$$\dot{Q} = 0.0333 \times 290 \times (-0.5585) = -5.40 \text{ kW}$$

$$\dot{W} = -5.40 \text{ kW}$$

- 4) Hacmi 0.1 m^3 olan sabit hacimli kapalı bir kapta başlangıçta 1 MPa basınç ve yüzde 100 kuruluk derecesinde soğutucu akışkan-134a bulunmaktadır. Kap bir vanayla içinden 1.4 MPa basınç ve 30°C sıcaklıkta soğutucu akışkan-134a akan bir boruya bağlanmıştır. Daha sonra vana açılmakta, soğutucu akışkan-134a kaba akmakta, kap içinde 1.2 MPa basınçta doymuş sıvı haline erişildiğinde vana kapatılmaktadır. (a) Kaba giren soğutucu akışkan-134a kütlesini, (b) 50°C sıcaklıktaki çevreyle olan ısı alışverişini, (c) doldurma işlemi sırasındaki entropi üretimini hesaplayın. (Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Çengel ve Boles, çev. T. Derbentli, **Problem 6-131**).



- (a) Açık Sistem : Kap+vana (DADA)
 İlk hal : $P_1 = 1 \text{ MPa}$, $x_1 = 1.0$ (doymuş buhar)
 Son hal : $P_2 = 1.2 \text{ MPa}$, $x_2 = 0.0$ (doymuş sıvı), $V_2 = V_1 = V$
 Giriş hali : $P_i = 1.4 \text{ MPa}$, $T_i = 30^\circ\text{C}$

SA-134a (R-134a) tablolarından

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 1 \text{ MPa} \\ x_1 = 1.0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_1 = v_{g,1\text{MPa}} = 0.0202 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_1 = u_{g,1\text{MPa}} = 247.77 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_{g,1\text{MPa}} = 0.9043 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array} \quad (\text{g : doymuş buhar})$$

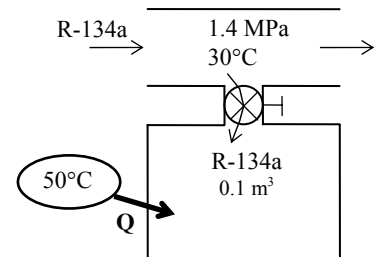
$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1.2 \text{ MPa} \\ x_2 = 0.0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_2 = v_{f,1.2\text{MPa}} = 0.0008928 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_2 = u_{f,1.2\text{MPa}} = 114.69 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = s_{f,1.2\text{MPa}} = 0.4164 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_i = 1.4 \text{ MPa} \\ T_i = 30^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_i \cong h_{f,30^\circ\text{C}} = 91.49 \text{ kJ/kg} \\ s_i \cong s_{f,30^\circ\text{C}} = 0.3396 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

Depodaki ilk ve son haldeki kütleler:

$$m_1 = \frac{V}{v_1} = \frac{0.1}{0.0202} = 4.95 \text{ kg}$$

$$m_2 = \frac{V}{v_2} = \frac{0.1}{0.0008928} = 112.01 \text{ kg}$$



Kütlenin Korunumu (DADA için)

$$\sum m_i - \sum m_e^{z0} = (m_2 - m_1)_{KH} \quad (i \equiv g : \text{giriş hali}, \quad e \equiv \varphi : \text{çıkış hali})$$

$$m_i = m_2 - m_1 = 112.01 - 4.95 = \mathbf{107.06 \text{ kg}}$$

(b) Enerjinin Korunumu (DADA için, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edildiği zaman),

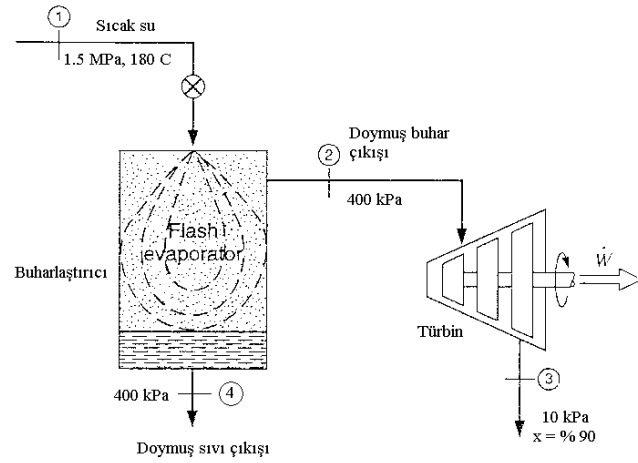
$$Q - W^{z0} = \sum m_e h_e^{z0} - \sum m_i h_i + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{KH} \longrightarrow Q = -m_i h_i + m_2 u_2 - m_1 u_1$$

$$Q = -(107.06) \times (91.49) + (112.01) \times (114.69) - (4.95) \times (247.77) = \mathbf{1825.05 \text{ kJ}}$$

(c) Entropi Üretimi (DADA için):

$$\begin{aligned} S_{\text{üretim}} &= \sum m_e s_e^{z0} - \sum m_i s_i + (m_2 s_2 - m_1 s_1) + \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = -m_i s_i + (m_2 s_2 - m_1 s_1) + \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} \\ &= -(107.06)(0.3396) + (112.01)(0.4164) - (4.95)(0.9043) + \frac{-1825.05}{323} \\ &= \mathbf{0.1568 \text{ kJ/K}} \end{aligned}$$

5) Şekilde görüldüğü gibi, bir buhar türbinini çalıştırmak için jeotermal sıcak suyun kullanılması teklif edilmektedir. 1.5 MPa ve 180°C'daki yüksek basınçlı su, 400 kPa basınçta sıvı ve buhar oluşturan buharlaşma odasına kısılmaktadır. Buharlaşma odasından sıvı atılmaktadır, doymuş buhar ise türbine girmekte ve türbinden 10 kPa ve %90 kuruluk derecesinde çıkmaktadır. Türbinin 1 MW güç üretmesi gereklyse, (a) sıcak jeotermal suyun kütle debisini (kg/h) bulunuz. (b) Tüm sistem için birim zamandaki entropi üretimini hesaplayınız. Buharlaştırıcı ve türbini adiabatik kabul ediniz. Çevre sıcaklığı 25°C'tır.



$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 1.5 \text{ MPa} \\ T_1 = 180^\circ \text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 \cong h_{f,180^\circ \text{C}} = 763.22 \text{ kJ/kg} \\ s_1 \cong s_{f,180^\circ \text{C}} = 2.1396 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 400 \text{ kPa} \\ x_2 = 1.0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = h_{g,400 \text{ kPa}} = 2738.6 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = s_{g,400 \text{ kPa}} = 6.8959 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 400 \text{ kPa} \\ x_4 = 0.0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = h_{f,400 \text{ kPa}} = 604.74 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = s_{f,400 \text{ kPa}} = 1.7766 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 10 \text{ kPa} \\ x_3 = 0.9 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 191.83 + 0.90 \times (2584.7 - 191.83) = 2345.4 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 0.6493 + 0.90 \times (8.1502 - 0.6493) = 7.4 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \end{array}$$

(a) Açık Sistem: Türbin (SASA)

Giriş hali : $P_2 = 400 \text{ kPa}$, $x_2 = 1.0$

Çıkış hali : $P_3 = 10 \text{ kPa}$, $x_3 = 0.90$

Kütlenin Korunumu (bir girişli bir çıkışlı SASA için): $\dot{m}_3 = \dot{m}_2 = \dot{m}$

Enerjinin Korunumu (bir girişli bir çıkışlı SASA için kinetik ve potansiyel enerji değişimi ihmal edilirse):

$$\dot{Q}^{\text{ş0}} - \dot{W} = \dot{m}(h_3 - h_2)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{(h_2 - h_3)} = \frac{1000}{2738.6 - 2345.4} = \mathbf{2.543 \text{ kg/s}} \quad (\dot{m}_3 = \dot{m}_2 = 2.543 \text{ kg/s})$$

(b) Açık Sistem : Vana ve Buharlaştırıcı (SASA)

Giriş hali : $P_1 = 1.5 \text{ MPa}$, $T_1 = 180^\circ\text{C}$

Çıkış halleri : $P_4 = 400 \text{ kPa}$, $x_4 = 0.0$

$P_3 = 400 \text{ kPa}$, $x_3 = 1.0$

Kütlenin Korunumu (SASA için): $\sum \dot{m}_\phi = \sum \dot{m}_g$ $\dot{m}_4 + \dot{m}_2 = \dot{m}_1$

Enerjinin Korunumu (SASA için, kinetik ve potansiyel enerji değişimi ihmal edilirse):

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi h_\phi - \sum \dot{m}_g h_g \quad \dot{Q}^{\text{ş0}} - \dot{W}^{\text{ş0}} = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_1 h_1$$

$$\dot{m}_2 h_2 + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) h_4 - \dot{m}_1 h_1 = 0 \quad \dot{m}_2 (h_2 - h_4) - \dot{m}_1 (h_1 - h_4) = 0$$

$$\dot{m}_1 = \frac{(h_2 - h_4)}{(h_1 - h_4)} \dot{m}_2 = \frac{(2738.6 - 604.74)}{(763.22 - 604.74)} \times 2.543 = 34.24 \text{ kg/s} \quad (\mathbf{123265 \text{ kg/h}})$$

(c) Tüm sistem (vana, buharlaştırıcı, türbin) açık sistem olarak seçilirse:

Açık Sistem : Vana+Buharlaştırıcı+Türbin (SASA)

Giriş hali : $P_1 = 1.5 \text{ MPa}$, $T_1 = 180^\circ\text{C}$

Çıkış halleri : $P_3 = 10 \text{ kPa}$, $x_3 = 0.9$

$P_4 = 400 \text{ kPa}$, $x_4 = 0.0$

Kütlenin Korunumu (SASA için): $\sum \dot{m}_\phi = \sum \dot{m}_g$ $\dot{m}_3 + \dot{m}_4 = \dot{m}_1$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 - \dot{m}_3 = 34.24 - 2.543 = 31.7 \text{ kg/s}$$

Tüm sistem için entropi üretimi $\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\phi s_\phi - \sum \dot{m}_g s_g + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R}$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}_3 s_3 + \dot{m}_4 s_4 - \dot{m}_1 s_1 + \frac{\dot{Q}_{\text{ş0}}^{\text{şevre}}}{T_{\text{şevre}}}$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = 2.543 \times 7.4 + 31.7 \times 1.7766 - 34.24 \times 2.1396 = \mathbf{1.877 \text{ kW/K}}$$