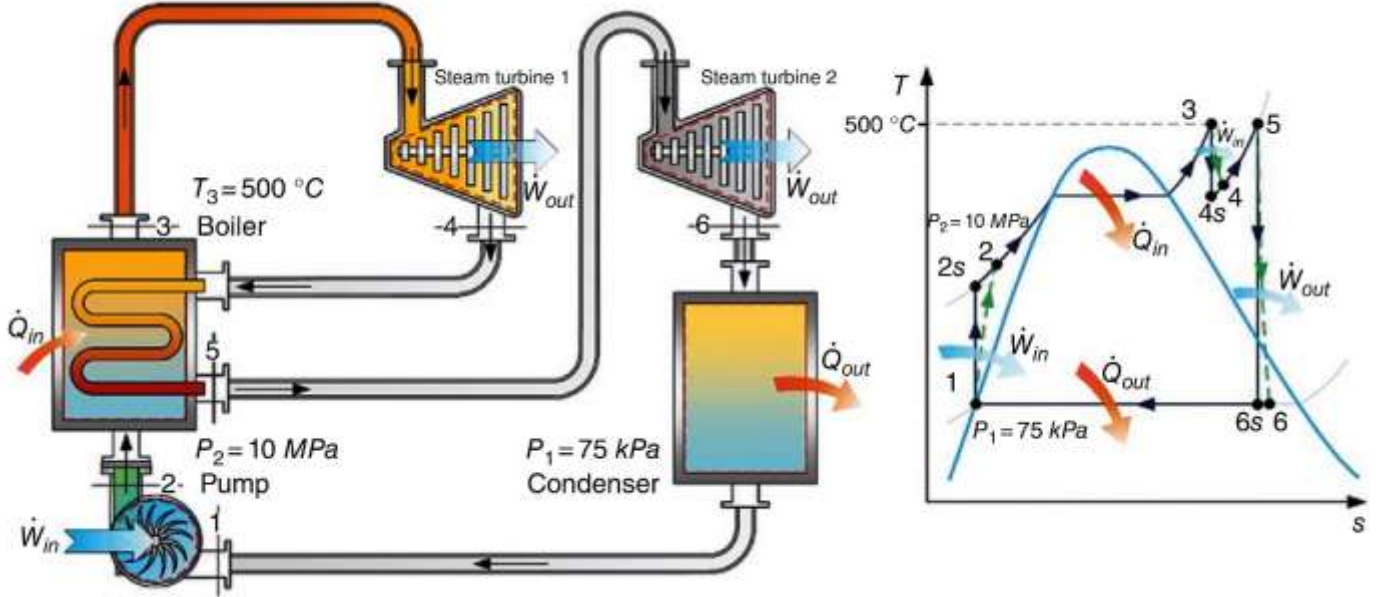


## ARA ISITMALI RANKINE ÇEVİRİMİ

**Soru:** Şekil ile verilen ara ısıtmalı Rankine çevriminde yer alan pompa **10 MPa** basınçta çalışırken çevrimde yer alan kazan, çalışma akışkanını **500°C** sıcaklığa ısıtmaktadır. Yoğuşturucu ise **75 kPa** basınçta çalışacak şekilde ayarlanmıştır ve ısı kaynağı sıcaklığı da **500°C** olarak verilmiştir. Yüksek basınçlı ve düşük basınçlı türbinlerin izantropik verimleri **%75** olarak kabul edilebilir. Düşük basınçlı türbinden çıkan akışkanın kuruluk derecesi (kalitesi) **%91** oranındadır ve düşük basınçlı türbine giren çalışma akışkanının sıcaklığı, yüksek basınçlı türbine giren akışkan giriş sıcaklığı ile aynı değerdedir.

- Ara ısıtmalı Rankine çevrimine ait tüm bileşenler için kütle, enerji, entropi ve ekserji dengesi denklemlerini yazınız.
- Düşük basınçlı türbinin girişindeki basıncı [MPa] olarak belirleyiniz.
- Düşük ve yüksek basınçlı türbinlerin ürettiği net işi [kJ/kg] hesaplayınız.
- Kazanın entropi üretimini [kJ/kgK] olarak ve ekserji yıkımını [kJ/kg] olarak hesaplayınız.
- Çevrimin izantropik verimini [%] olarak hesaplayınız.
- Genel enerji ve ekserji verimliliklerini [%] olarak hesaplayınız.

### Çözüm:



Ara ısıtmalı Rankine çevriminin şematik gösterimi ve T (°C)-s (kJ/kgK) diyagramı

Pump: Pompa, Boiler: Kazan, Steam turbine: Buhar türbini, Condenser: Yoğuşturucu  
 $W_{in}$ :  $W_{giren}$ ;  $W_{out}$ :  $W_{çıkan}$ ;  $Q_{in}$ :  $Q_{giren}$ ;  $Q_{out}$ :  $Q_{çıkan}$

Gözlem:

a) Pompa için:

\* Kütçe Dengesi Eşitliği:  
(KDE)

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = \frac{dm_{sistem}}{dt} \quad (\text{kg/s})$$

$\downarrow$   $\dot{m}_1$                        $\downarrow$   $\dot{m}_2$                        $\downarrow$  0 (sürekli akış)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

\* Enerji Dengesi Eşitliği:  
(ENDE)

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

$\downarrow$   $\dot{E}_{kütçe, giren}$                        $\downarrow$   $\dot{E}_{kütçe, çıkan}$                        $\downarrow$  0 (sürekli akış)

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{kütçe, giren} &= \dot{m} \left( h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) \\ \dot{E}_{kütçe, çıkan} &= \dot{m} \left( h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \text{Debi: } \dot{m} &= \rho VA \quad (\text{kg/s}) \\ &\downarrow \text{yoğunluk} \quad \downarrow \text{kesitimi} \\ & \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad h_{12} \end{aligned}$$

$$\dot{E}_{kütçe, giren} = \dot{m} h_1$$

$$\dot{E}_{kütçe, çıkan} = \dot{m} h_2$$

Sıkıştırılmamış akışkan için:

$$\rho_1 = \rho_2 \quad (\text{kg/s})$$

Giriş/Çıkış boru çapları aynı ise:

$$V_1 = V_2 \quad (\text{m/s})$$

Giriş/Çıkış kot farkı:

$$z_1 \approx z_2 \quad (\text{m})$$

$$\dot{W}_{giren} + \dot{m} h_1 - \dot{m} h_2 = 0$$

$$\dot{W}_{giren} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$\dot{W}_{giren} = \dot{m} v (P_2 - P_1)$$

$$\text{Entalpi: } h = u + Pv \quad (\text{J/kg})$$

$$\text{Pompa için: } u_1 \approx u_2 \quad (\text{J/kg})$$

Sıkıştırılmamış akışkan için:

$$v = v_1 = v_2 \quad (\text{m}^3/\text{kg})$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = u_2 + P_2 v_2 - u_1 - P_1 v_1 = v (P_2 - P_1)$$

\* Entropi Dengesi Eşitliği:  
(ETDE)

$$\dot{S}_{giren} - \dot{S}_{çıkan} + \dot{S}_{iretim} = \frac{dS_{sistem}}{dt} \quad (\text{W/K})$$

$\downarrow$   $\dot{S}_{kütçe, giren}$                        $\downarrow$   $\dot{S}_{kütçe, çıkan}$                        $\downarrow$  0 (sürekli akış)

$$\dot{S}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e, gires} = \dot{m} s_1, \quad \dot{S}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e, sikon} = \dot{m} s_2$$

$$\dot{m} s_1 - \dot{m} s_2 + \dot{S}_{drehm} = 0 \rightarrow \boxed{\dot{S}_{drehm} = \dot{m} (s_2 - s_1)}$$

⊗ Eksejji Dengesi Eqsitligi:  
(EKDE)

$$\dot{X}_{gires} - \dot{X}_{sikon} - \dot{X}_{yikim} = \frac{dX_{sistem}}{dt} \quad (w)$$

↘ 0 (S\ddot{a}rekli ak\ddot{t}is)

↙  $\dot{X}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e, gires}$

↘  $\dot{X}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e, sikon}$

$\dot{X}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e, gires} = \dot{\omega}_{gires}$

$$\boxed{\dot{X}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e} = \dot{m} \Psi = \dot{m} [(h-h_0) - T_0 (s-s_0) + \frac{V^2}{2} + gz]}$$

$$\dot{\omega}_{gires} + \dot{X}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e, gires} - \dot{X}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e, sikon} - \dot{X}_{yikim} = 0$$

$$\dot{X}_{yikim} = \dot{X}_{y_0} = \dot{I} = \dot{\omega}_{gires} + \dot{X}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e, gires} - \dot{X}_{k\ddot{a}t\ddot{t}e, sikon}$$

$$\dot{m} [(h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)]$$

$$\boxed{\dot{m} (h_1 - h_2) - \dot{m} T_0 (s_1 - s_2)}$$

$$V_1 = V_2 \quad (m/s)$$

$$z_1 = z_2 \quad (m)$$

$$\boxed{\dot{X}_{yikim} = \dot{\omega}_{gires} + \dot{m} (h_1 - h_2) - \dot{m} T_0 (s_1 - s_2)}$$

Kozon iqis:

⊗ KDE:

$$\sum \dot{m}_{gires} - \sum \dot{m}_{sikon} = \frac{d m_{sistem}}{dt} \quad (kg/s)$$

$$\downarrow$$

$$\dot{m}_2$$

$$\dot{m}_4$$

$$\downarrow$$

$$\dot{m}_3$$

$$\dot{m}_5$$

↘ 0 (S\ddot{a}rekli ak\ddot{t}is)

$$\boxed{\dot{m}_2 + \dot{m}_4 = \dot{m}_3 + \dot{m}_5}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_4 = \dot{m}_3 = \dot{m}_5 = \dot{m}$$

$$\textcircled{\otimes} \text{ ENDE: } \dot{E}_{giren} - \dot{E}_{cikar} = \frac{dE_{sistem}}{dt} \quad (W)$$

$$\begin{array}{l} \dot{\Phi}_{giren} \\ \dot{E}_{küttele,giren,2} \\ \dot{E}_{küttele,giren,4} \end{array} \quad \begin{array}{l} \dot{E}_{küttele,cikar,3} \\ \dot{E}_{küttele,cikar,5} \end{array} \rightarrow 0 \quad (\text{Sürekli akış})$$

$$\dot{E}_{küttele} = \dot{m} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \rightarrow \text{KE ve PE} \rightarrow \text{ihmal edilebilir.}$$

(Sonucu önemli ölçüde etkilemiyorlar).

$$\dot{E}_{küttele} = \dot{m} h$$

$$\dot{\Phi}_{giren} + \dot{E}_{küttele,giren,2} + \dot{E}_{küttele,giren,4} - \dot{E}_{küttele,cikar,3} - \dot{E}_{küttele,cikar,5} = 0$$

$$\dot{\Phi}_{giren} + \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_5 h_5 = 0$$

$$\dot{\Phi}_{giren} = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_4 h_4$$

$$\textcircled{\otimes} \text{ ETDE: } \dot{S}_{giren} - \dot{S}_{cikar} + \dot{S}_{iretim} = \frac{dS_{sistem}}{dt} \quad (W/K)$$

$$\begin{array}{l} \dot{S}_{giren,küttele,2} \\ \dot{S}_{giren,küttele,4} \\ \dot{S}_{giren,ısı} \end{array} \quad \begin{array}{l} \dot{S}_{cikar,küttele,3} \\ \dot{S}_{cikar,küttele,5} \end{array} \rightarrow 0 \quad (\text{Sürekli akış})$$

$$\dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_4 s_4 + \frac{\dot{\Phi}_{giren}}{T_{kaynak}} - \dot{m}_3 s_3 - \dot{m}_5 s_5 + \dot{S}_{iretim} = 0$$

$$\dot{S}_{iretim} = \dot{m}_3 s_3 + \dot{m}_5 s_5 - \dot{m}_2 s_2 - \dot{m}_4 s_4 - \frac{\dot{\Phi}_{giren}}{T_{kaynak}}$$

$$\dot{S}_{iretim} = \dot{m} (s_3 + s_5 - s_2 - s_4) - \frac{\dot{\Phi}_{giren}}{T_{kaynak}}$$

\* EKDE:  $\dot{X}_{giren} - \dot{X}_{çikan} - \dot{X}_{yo} = \frac{dX_{sistem}}{dt}$  (W)

$\dot{X}_{giren, k\ddot{a}t\ddot{a}le, 2}$      $\dot{X}_{çikan, k\ddot{a}t\ddot{a}le, 3}$   
 $\dot{X}_{giren, k\ddot{a}t\ddot{a}le, 4}$      $\dot{X}_{çikan, k\ddot{a}t\ddot{a}le, 5}$   
 $\dot{X}_{giren, ISI}$

0 (Sürekli akış)

$$\dot{X}_{k\ddot{a}t\ddot{a}le} = \dot{m}\psi = \dot{m}(h-h_0) - \dot{m}T_0(s-s_0) + \dot{m}\frac{V^2}{2} + \dot{m}gz$$

$$= \dot{m}[(h-h_0) - T_0(s-s_0)]$$

KE ve PE ihmal edilebilir.

$$\dot{m}_2\psi_2 + \dot{m}_4\psi_4 + \dot{X}_{giren, ISI} - \dot{m}_3\psi_3 - \dot{m}_5\psi_5 - \dot{X}_{yo} = 0$$

$$\dot{X}_{yo} = \dot{X}_{yıkın} = \dot{I} = \dot{m}_2\psi_2 + \dot{m}_4\psi_4 + \dot{Q}_{giren} \left(1 - \frac{T_0}{T_{kaynak}}\right) - \dot{m}_5\psi_5 - \dot{m}_3\psi_3$$

$$\dot{X}_{yıkın} = \dot{m}(\psi_2 + \psi_4 - \psi_3 - \psi_5) + \dot{Q}_{giren} \left(1 - \frac{T_0}{T_{kaynak}}\right)$$

Yüksek basınçlı türbin (T1) için:

\* KDE:  $\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çikan} = \frac{dm_{sistem}}{dt}$  (kg/s)

$\dot{m}_3$      $\dot{m}_4$     0 (Sürekli akış)

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}$$

\* ENDE:  $\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çikan} = \frac{dE_{sistem}}{dt}$  (W)

$\dot{m}_3 h_3$      $\dot{m}_4 h_4$     0 (Sürekli akış)  
 $\dot{W}_{çikan, T1}$

$$\dot{E}_{\text{k\u00e4ttele, giren, 3}} - \dot{E}_{\text{k\u00e4ttele, \u00e4rken, 4}} - \dot{W}_{\text{\u00e4rken, T1}} = 0$$

$$\dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_4 h_4 - \dot{W}_{\text{\u00e4rken, T1}} = 0$$

$$\boxed{\dot{W}_{\text{\u00e4rken, T1}} = \dot{m} (h_3 - h_4)}$$

⊛ ETOE:  $\dot{S}_{\text{giren}} - \dot{S}_{\text{\u00e4rken}} + \dot{S}_{\text{\u00e4rken}} = \frac{dS_{\text{system}}}{dt} \quad (\text{W/K})$

$\downarrow$   $\dot{m}_3 s_3$        $\downarrow$   $\dot{m}_4 s_4$        $\downarrow$  0 (S\u00e4rekli ak\u0131s)

$$\dot{S}_{\text{giren, k\u00e4ttele, 3}} - \dot{S}_{\text{\u00e4rken, k\u00e4ttele, 4}} + \dot{S}_{\text{\u00e4rken}} = 0$$

$$\dot{m}_3 s_3 - \dot{m}_4 s_4 + \dot{S}_{\text{\u00e4rken}} = 0$$

$$\boxed{\dot{S}_{\text{\u00e4rken}} = \dot{m} (s_4 - s_3)}$$

⊛ EKOE:  $\dot{X}_{\text{giren}} - \dot{X}_{\text{\u00e4rken}} - \dot{X}_{\text{y\u00fckem}} = \frac{dX_{\text{system}}}{dt} \quad (\text{W})$

$\downarrow$   $\dot{m}_3 \psi_3$        $\downarrow$   $\dot{m}_4 \psi_4$        $\downarrow$  0 (S\u00e4rekli ak\u0131s)

$\dot{W}_{\text{\u00e4rken, T1}}$

$$\dot{X}_{\text{giren, k\u00e4ttele, 3}} - \dot{X}_{\text{\u00e4rken, k\u00e4ttele, 4}} - \dot{W}_{\text{\u00e4rken, T1}} - \dot{X}_{\text{y\u00fckem}} = 0$$

$$\dot{m} \psi_3 - \dot{m} \psi_4 - \dot{W}_{\text{\u00e4rken, T1}} - \dot{X}_{\text{y\u00fckem}} = 0$$

$$\dot{X}_{\text{y\u00fckem}} = \dot{X}_{\text{y\u00f6}} = \dot{I} = \dot{m} (\psi_3 - \psi_4) - \dot{W}_{\text{\u00e4rken, T1}}$$

$$\boxed{\dot{X}_{\text{y\u00fckem}} = \dot{m} [(h_3 - h_4) - T_0 (s_3 - s_4)] - \dot{W}_{\text{\u00e4rken, T1}}}$$

## Düşük basınçlı türbin (T2) için:

$$\textcircled{*} \text{ KDE: } \sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = \frac{dm_{sistem}}{dt} \quad (\text{kg/s})$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{m}_5$   $\dot{m}_6$   $0$  (Sürekli akış)

$$\boxed{\dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}}$$

$$\textcircled{*} \text{ ENDE: } \dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE_{sistem}}{dt} \quad (\text{W})$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{m}_5 h_5$   $\dot{m}_6 h_6$   $0$  (Sürekli akış)  
 $\dot{W}_{çıkan, T2}$

$$\dot{E}_{kütlesiz, giren, 5} - \dot{E}_{kütlesiz, çıkan, 6} - \dot{W}_{çıkan, T2} = 0$$

$$\dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_6 h_6 - \dot{W}_{çıkan, T2} = 0$$

$$\boxed{\dot{W}_{çıkan, T2} = \dot{m}(h_5 - h_6)}$$

$$\textcircled{*} \text{ ETDE: } \dot{S}_{giren} - \dot{S}_{çıkan} + \dot{S}_{düretim} = \frac{dS_{sistem}}{dt} \quad (\text{W/K})$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{m}_5 s_5$   $\dot{m}_6 s_6$   $0$  (Sürekli akış)

$$\dot{S}_{kütlesiz, giren, 5} - \dot{S}_{kütlesiz, çıkan, 6} + \dot{S}_{düretim} = 0$$

$$\dot{m}_5 s_5 - \dot{m}_6 s_6 + \dot{S}_{düretim} = 0$$

$$\boxed{\dot{S}_{düretim} = \dot{m}(s_6 - s_5)}$$

$$\textcircled{*} \text{ EKDE: } \dot{X}_{giren} - \dot{X}_{çıkan} - \dot{X}_{yıkım} = \frac{dX_{sistem}}{dt} \quad (\text{W})$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{m}_5 \psi_5$   $\dot{m}_6 \psi_6$   $0$  (Sürekli akış)  
 $\dot{W}_{çıkan, T2}$

$$\dot{X}_{giren, kütle, 5} - \dot{X}_{çıkan, kütle, 6} - \dot{W}_{çıkan, T2} - \dot{X}_{yıkım} = 0$$



$$\dot{X}_{girikim} = \dot{X}_{go} = \dot{I} = \dot{X}_{girikim, k\u00fctle, 5} - \dot{X}_{cikim, k\u00fctle, 6} - \dot{W}_{cikim, T2}$$

$$\dot{X}_{girikim} = \dot{m} [(h_5 - h_6) - T_0 (s_5 - s_6)] - \dot{W}_{cikim, T2}$$

Yagusturucu igin:

⊛ KDE:  $\sum \dot{m}_{girikim} - \sum \dot{m}_{cikim} = \frac{d m_{sistem}}{dt}$  (kg/s)

$\downarrow$   $\dot{m}_6$                        $\downarrow$   $\dot{m}_1$                        $\downarrow$  0 (S\u00fcrekli akis)

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_1 = \dot{m}$$

⊛ ENDE:  $\dot{E}_{girikim} - \dot{E}_{cikim} = \frac{d E_{sistem}}{dt}$  (W)

$\downarrow$   $\dot{m}_6 h_6$                        $\downarrow$   $\dot{m}_1 h_1$                        $\downarrow$  0 (S\u00fcrekli akis)  
 $\dot{Q}_{cikim}$

$$\dot{E}_{k\u00fctle, girikim, 6} - \dot{E}_{k\u00fctle, cikim, 1} - \dot{Q}_{cikim} = 0$$

$$\dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_1 h_1 - \dot{Q}_{cikim} = 0$$

$$\dot{Q}_{cikim} = \dot{m} (h_6 - h_1)$$

⊛ ETOE:  $\dot{S}_{girikim} - \dot{S}_{cikim} + \dot{S}_{s\u00fcretim} = \frac{d S_{sistem}}{dt}$  (W/K)

$\downarrow$   $\dot{m}_6 s_6$                        $\downarrow$   $\dot{m}_1 s_1$                        $\downarrow$  0 (S\u00fcrekli akis)  
 $\dot{S}_{cikim, T2}$

$$\dot{S}_{girikim, k\u00fctle, 6} - \dot{S}_{cikim, k\u00fctle, 1} - \dot{S}_{cikim, T2} + \dot{S}_{s\u00fcretim} = 0$$

$$\dot{m}_6 s_6 - \dot{m}_1 s_1 - \frac{\dot{Q}_{cikim}}{T_{s\u00fcretim}} + \dot{S}_{s\u00fcretim} = 0$$

$$\dot{S}_{s\u00fcretim} = \frac{\dot{Q}_{cikim}}{T_{s\u00fcretim}} + \dot{m} (s_1 - s_6)$$



$$\textcircled{*} \text{ EKDE: } \dot{X}_{\text{gires}} - \dot{X}_{\text{çıkış}} - \dot{X}_{\text{yıkım}} = \frac{dX_{\text{sisitem}}}{dt} (W)$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $\dot{m}_6 \psi_6$   $\dot{m}_1 \psi_1$   $0$  (sürekli akış)  
 $\dot{X}_{\text{ısı, çıkış}}$

$$\dot{X}_{\text{gires, kütlesel}} - \dot{X}_{\text{çıkış, kütlesel}} - \dot{X}_{\text{ısı, çıkış}} - \dot{X}_{\text{yıkım}} = 0$$

$$\dot{m}_6 \psi_6 - \dot{m}_1 \psi_1 - \dot{Q}_{\text{çıkış}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{sisim}}}\right) - \dot{X}_{\text{yıkım}} = 0$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = \dot{X}_{\text{gö}} = \dot{I} = \dot{m} (\psi_6 - \psi_1) - \dot{Q}_{\text{çıkış}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{sisim}}}\right)$$

$$\dot{X}_{\text{yıkım}} = \dot{m} \left[ (h_6 - h_1) - T_0 (s_6 - s_1) \right] - \dot{Q}_{\text{çıkış}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{sisim}}}\right)$$

b) Düşük basınçlı türbin girişindeki basıncın hesabı:

5 nok. → Türbin girişi

6 nok. → Türbin çıkışı / Yoğusturucu girişi

1 nok. → Yoğusturucu çıkışı

$$P_6 = P_1 = 75 \text{ kPa (verilmiş)}$$

Yoğusturucu bir ısı değiştiricidir ve ısı değiştiricilerinde basınç "değişmez" olarak kabul edilir. Isı değiştiricileri giriş ve çıkışlarındaki basınç eşit alınır. (Gerçekte bir miktar değişim  $P_{\text{giriş}} > P_{\text{çıkış}}$  olur).

Türbin çıkışı basıncı,  $P_6 = 75 \text{ kPa}$

Türbin çıkışı kuruluk derecesi,  $x_6 = 0,91$  (verilmiş)

$P_6 = 75 \text{ kPa}$  } IB bölgesi (Islak buhar / doymuş sıvı - doymuş buhar bölgesi)  
 $X_6 = 0,91$

75 kPa için  $h_f = 384,44 \text{ kJ/kg}$   
 $h_{fg} = 2278 \text{ kJ/kg}$   
 $s_f = 1,2132 \text{ kJ/kgK}$   
 $s_{fg} = 6,2426 \text{ kJ/kgK}$  } Tablo A5

İzotropik durum için  $h_{6,5} = h_f + X_6 h_{fg} = (384,44 \text{ kJ/kg}) + (0,91)(2278 \text{ kJ/kg})$   
 $= 2457,42 \text{ kJ/kg}$   
 $s_{6,5} = s_f + X_6 s_{fg} = (1,2132 \text{ kJ/kgK}) + (0,91)(6,2426 \text{ kJ/kgK})$   
 $= 6,893966 \text{ kJ/kgK}$

İzotropik durum için  $s_5 = s_{6,5} = 6,893966 \text{ kJ/kgK}$  }  $6,893966 \text{ kJ/kgK}$  için  
 $T_5 = 500^\circ\text{C}$  (veri/mf) }  $T_{\text{doyma}} = 401,95^\circ\text{C}$   
(Tablo A5, interpolasyon ile)

$T_5 > T_{\text{doyma}}$  ise, KB bölgesi (Kıyın buhar bölgesi)

Tablo A6  $\rightarrow T_5 = 500^\circ\text{C}$  ve  $P_a = 5 \text{ MPa}$  için  $s_a = 6,9781 \text{ kJ/kgK}$

$T_5 = 500^\circ\text{C}$  ve  $P_b = 6 \text{ MPa}$  için  $s_b = 6,8826 \text{ kJ/kgK}$

$s_b < s_5 < s_a$  ise, interpolasyon ile

$P_5 = 5,88 \text{ MPa}$  bulunur.

Tablo A6  $\rightarrow T_5 = 500^\circ\text{C}$  ve  $P_a = 5 \text{ MPa}$  için  $h_a = 3434,7 \text{ kJ/kg}$

$T_5 = 500^\circ\text{C}$  ve  $P_b = 6 \text{ MPa}$  için  $h_b = 3423,1 \text{ kJ/kg}$

$P_a < P_5 < P_b$  ise, interpolasyon ile

$h_5 = 3424,49 \text{ kJ/kg}$

c) Düşük/Yüksek basınçlı türbinin gücü ve net güç hesabı:

$P_1 = 75 \text{ kPa}$  (verilmiş)  $\rightarrow$  Pompa girişi basıncı

$P_1 = 75 \text{ kPa}$  } Pompa girişi D.S. (doğru sıvı) olarak  
D.S. } alınabilir.

75 kPa için  $h_1 = h_f = 384,44 \text{ kJ/kg}$   
 $v_1 = v_f = 0,001037 \text{ m}^3/\text{kg}$   
 $s_1 = s_f = 1,2132 \text{ kJ/kgK}$  } Tablo A5

$P_2 = 10000 \text{ kPa}$  (verilmiş)  $\rightarrow$  Pompa çıkışı basıncı

İzotropik }  $P_2 = 10000 \text{ kPa}$  } 10000 kPa için  $s_f = 3,3603 \text{ kJ/kgK}$   
durum }  $s_1 = s_{2s} = 1,2132 \text{ kJ/kgK}$  }  $s_g = 5,6159 \text{ kJ/kgK}$

(Tablo A5)

$s_{2s} = s_1 < s_g \rightarrow$  SS (sıkıştırılmış sıvı) bölgesi

$\Rightarrow$  Dikkat: 5 MPa basınçtan büyük basınçlar için Tablo A7'nin kullanılması zorunludur. (5 MPa basınç dahil).

$P_2 = 10000 \text{ kPa} = \underline{10 \text{ MPa}} > 5 \text{ MPa}$

Tablo A7 } 10 MPa için  $s_a = 1,0691 \text{ kJ/kgK} \rightarrow h_a = 342,94 \text{ kJ/kg}$   
}  $s_b = 1,2996 \text{ kJ/kgK} \rightarrow h_b = 426,62 \text{ kJ/kg}$

$s_a < s_1 < s_b \rightarrow$  interpolasyon ile

$s_{2s} = s_1 = 1,2132 \text{ kJ/kgK}$  için  $\underline{h_2 = 395,25 \text{ kJ/kg}}$

$\Rightarrow$  Pompa için  $w_{giren} = v_1 (P_2 - P_1)$  eşitliği de kullanılabilir.

$$w_{giren} = (0,001037 \text{ m}^3/\text{kg}) (10000 - 75) \text{ kPa}$$
$$= 10,292225 \text{ kJ/kg}$$

Aynı zamanda;  $w_{giren} = h_2 - h_1$  (kJ/kg)

$$10,292225 \text{ kJ/kg} = h_2 - 384,44 \text{ kJ/kg}$$

$$\underline{h_2 = 394,73 \text{ kJ/kg}}$$

Pompa için gereken veriler iki yaklaşımdan uygun olan bir tanesi kullanılarak  $h_2$  bulunabilir.

$$\left. \begin{aligned} w_{giren} &= 10,29 \text{ kJ/kg} \\ h_2 &= 395,25 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \right\} \text{ olarak bulundu.}$$

$P_2 = P_3 = 10000 \text{ kPa} \rightarrow$  Karan bir ısı değiştiricidir ve karanda basınç değişmez.

verilen değerler  $\left\{ \begin{aligned} P_3 &= 10000 \text{ kPa} \\ T_3 &= 500^\circ\text{C} \end{aligned} \right\}$  10000 kPa için  $T_{\text{doyma}} = 311^\circ\text{C}$   
 $T_3 > T_{\text{doyma}} \rightarrow$  KB (kıymın buhar) bölgesi

Tablo A6  $\rightarrow$   $h_3 = 3375,1 \text{ kJ/kg}$   
 $s_3 = 6,5995 \text{ kJ/kgK}$

izentropik durum  $\left\{ \begin{aligned} P_4 = P_5 &= 5,88 \text{ MPa} \\ s_{45} = s_3 &= 6,5995 \text{ kJ/kgK} \end{aligned} \right\}$  5,88 MPa için  $s_g = 5,96022 \text{ kJ/kgK}$   
 $s_{45} > s_g \rightarrow$  KB bölgesi

Tablo A6  $\rightarrow$   $T_4 = 412,37^\circ\text{C}$   
 $h_{45} = 3211,26 \text{ kJ/kg}$  } interpolasyon ile.

$$w_{\text{cikar,T1}} = h_3 - h_{45} = 3375,1 - 3211,26 = 163,84 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{\text{cikar,T2}} = h_5 - h_{65} = 3424,49 - 2457,42 = 967,07 \text{ kJ/kg}$$

Tüm çevrim için enerji dengesi eşitliği:

$$\begin{array}{ccc} E_{giren} - E_{cikar} = \Delta E_{\text{system}} \text{ (J)} \\ \downarrow \quad \quad \downarrow \quad \quad \downarrow \\ w_{giren} \quad \quad w_{cikar,T1} \quad \quad 0 \text{ (Çevrim için)} \\ q_{giren} \quad \quad w_{cikar,T2} \\ \quad \quad \quad q_{cikar} \end{array}$$

$$w_{giren} + q_{giren} - w_{cikar,T1} - w_{cikar,T2} - q_{cikar} = 0$$

$$\underbrace{q_{gires} - q_{sikon}}_{q_{net}} = \underbrace{w_{sikon,T1} + w_{sikon,T2} - w_{gires}}_{w_{net}}$$

$$\begin{aligned} w_{net} &= w_{sikon,T1} + w_{sikon,T2} - w_{gires} \\ &= 163,84 + 967,07 - 10,29 \\ &= \underline{\underline{1120,62 \text{ kJ/kg}}} \quad (\text{izotropik durum için}) \end{aligned}$$

izotropik verim:  $\eta_{T1} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} = \frac{3375,1 - h_4}{3375,1 - 3211,26} = 0,75$  verim

$$h_4 = 3252,22 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{T2} = \frac{h_5 - h_6}{h_5 - h_{6s}} = \frac{3424,49 - h_6}{3424,49 - 2457,42} = 0,75$$

$$h_6 = 2699,19 \text{ kJ/kg}$$

Gercek durum için:  $w_{sikon,T1} = h_3 - h_4 = 3375,1 - 3252,22 = 122,88 \text{ kJ/kg}$

$$w_{sikon,T2} = h_5 - h_6 = 3424,49 - 2699,19 = 725,30 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} w_{net} &= 122,88 + 725,30 - 10,29 \\ &= \underline{\underline{837,89 \text{ kJ/kg}}} \quad (\text{Gerçek durum için}) \end{aligned}$$

Dikkat: Pompanın izotropik verimi %100 olarak alınmıştır.  
(Verim değeri için)

$$\begin{aligned} q_{gires} &= (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4) \\ &= (3375,1 - 395,25) + (3424,49 - 3252,22) \\ &= \underline{\underline{3152,12 \text{ kJ/kg}}} \end{aligned}$$

$$q_{sikim} = h_6 - h_1 = 2699,16 - 384,44$$

$$= \underline{\underline{2314,72 \text{ kJ/kg}}}$$

ç) Kızın için entropi üretimi ve ekserji yıkımı hesabı:

$$S_{\text{üretim}} = S_3 + S_5 - S_2 - S_4 - \frac{q_{\text{giren}}}{T_{\text{kaynak}}}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 5,88 \text{ kPa} \\ T_4 = 423,7^\circ\text{C} \end{array} \right\} \text{ için } s_4 = 6,5998 \text{ kJ/kgK (Tablo A6, interpolasyon ile)}$$

$$T_{\text{kaynak}} = 500^\circ\text{C} \rightarrow 500 + 273,15 = 773,15 \text{ K (verilmiştir)}$$

$$S_{\text{üretim}} = 6,5995 + 6,893966 - 1,2132 - 6,5998 - \frac{3152,12}{773,15}$$

$$= \underline{\underline{1,6035 \text{ kJ/kgK}}}$$

Dikkat: Gerçek bir sistemin veya çevrenin gerçekleşmesi için  $S_{\text{üretim}} > 0$  olmalıdır.

$$T_0 = 300 \text{ K olsun}$$

$$X_{\text{yıkım}} = \psi_2 + \psi_4 - \psi_3 - \psi_5 + X_{\text{giren,151}}$$

$$= (\psi_2 - \psi_3) + (\psi_4 - \psi_5) + X_{\text{giren,151}}$$

$$= (h_2 - h_3) - T_0 (s_2 - s_3) + (h_4 - h_5) - T_0 (s_4 - s_5) + q_{\text{giren}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{kaynak}}}\right)$$

$$= (395,25 - 3375,1) - (300)(1,2132 - 6,5995)$$

$$+ (3252,22 - 3424,49) - (300)(6,5998 - 6,893966)$$

$$+ (3152,12) \cdot \left\{1 - \left[\frac{300}{773,15}\right]\right\}$$

$$= \underline{\underline{481,04 \text{ kJ/kg}}}$$

d) Gerilim izotropik verimi:

$$\eta_{\text{ger. izotrop.}} = \frac{W_{\text{net, izotrop.}}}{q_{\text{gires}}} = \frac{1120,62 \text{ kJ/kg}}{3152,12 \text{ kJ/kg}} = 0,3555 \quad (\%35,55)$$

e) Gerilim enerji ve ekserji verimi:

$$\eta_{\text{enerji}} = \eta_I = \frac{W_{\text{net}}}{q_{\text{gires}}} = \frac{837,89 \text{ kJ/kg}}{3152,12 \text{ kJ/kg}} = 0,2658 \quad (\%26,58)$$

$$\eta_{\text{ekserji}} = \eta_{II} = \frac{W_{\text{net}}}{X_{\text{isl, gires}}} = \frac{837,89 \text{ kJ/kg}}{(3152,12 \text{ kJ/kg})(1 - 300\text{K}/773,15\text{K})}$$
$$= 0,4344$$
$$= \%43,44$$



## **YARARLANILAN KAYNAKLAR:**

**“Thermodynamics: A Smart Approach”**, Ibrahim Dincer, John Wiley, 2021.

**“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 yardımcılar 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 yardımcılar 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/termo2/termo2.html> sayfasında verilen “Termodinamik II” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

*“Termodinamik II” 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).*