

ÖRNEK:

Ara ısıtmalı Rankine Çevrimi/Kapalı besleme suyu ısıtıcısı + Karışım odası problemi.
(Regenerative Rankine Cycle/Closed feedwater heater + Mixing chamber)

Çevrimin net güç çıkışı: 80 MW

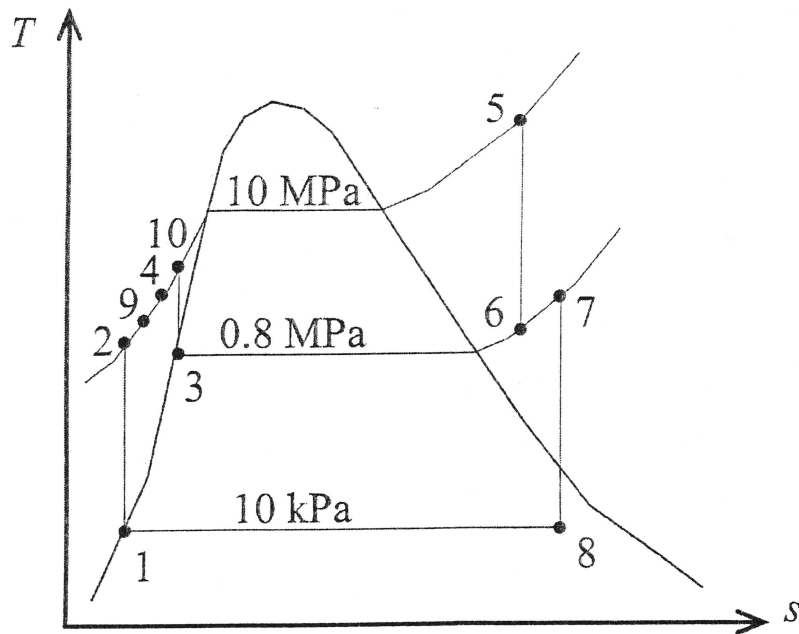
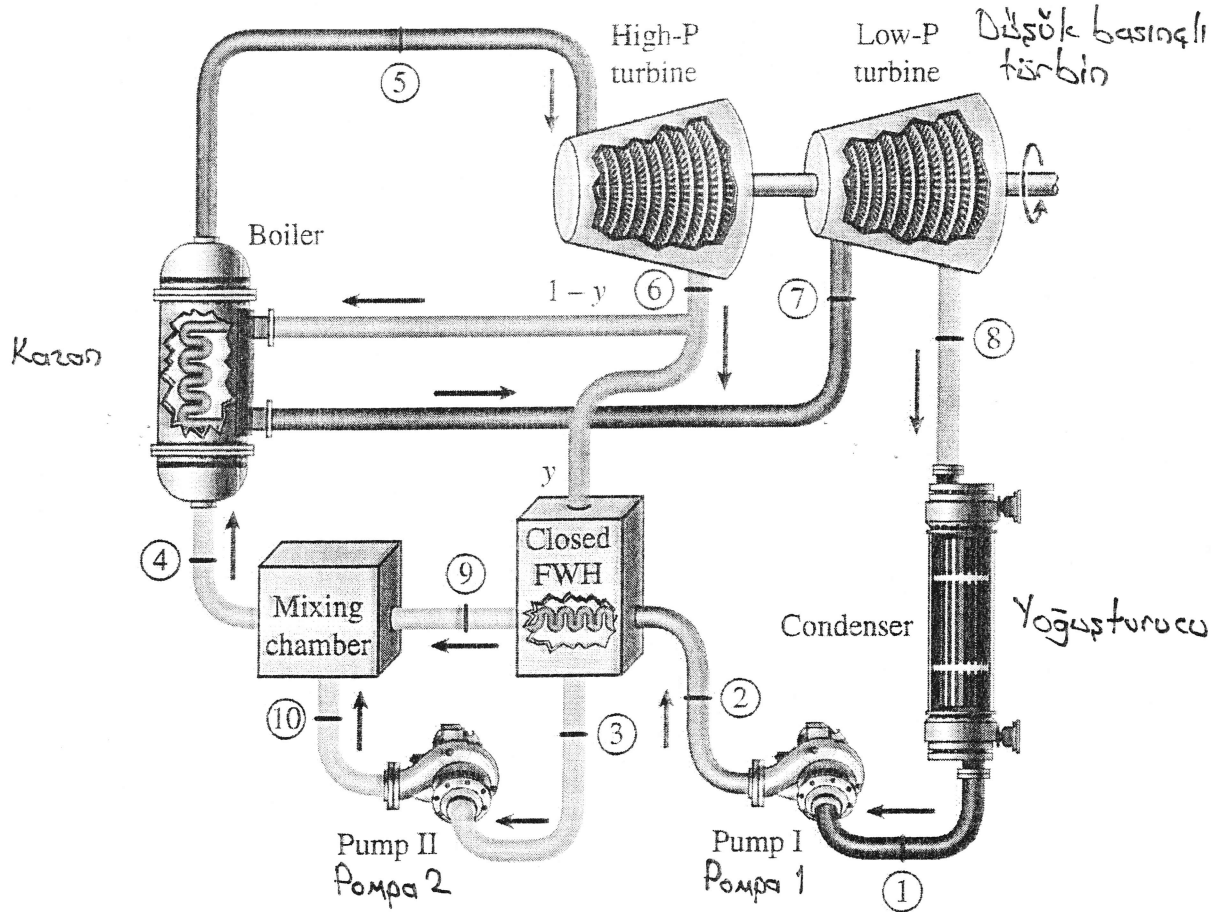
Yüksek basınçlı türbine (high-P türbine) giren buharın basıncı 10 MPa ve sıcaklığı 550°C.

Yüksek basınçlı türbinden (high-P türbine) çıkan buharın basıncı 0.8 MPa

7 noktasındaki sıcaklık 500°C.

8 Noktasındaki basınç 10 kPa.

İstenen: 5 noktasındaki kütleli debi [kg/s] ve çevrimin ısı verimi [%].



Çözüm: Rankine çevrimi ideal olarak alınmıştır.

Tüm noktaların özelliklerini bulalım:

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad h_1 &= h_f @ 10 \text{ kPa} = 191,81 \text{ kJ/kg} \\ u_1 &= u_f @ 10 \text{ kPa} = 0,00101 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{1 noktası pompa girişidir ve} \\ \text{pompa girişinde su, doymuş sıvı} \\ \text{olarak alınır.} \end{array} \right\}$$

Kuruluk derecesi: $x=0$

* Yoğusturucu sabit basınçta çalıştığı için;

$P_3 = P_1 = 10 \text{ kPa}$ ve basınca göre Tablo A-5'den h_1 ve u_1 okunur.

Pompa gücü hesabı:

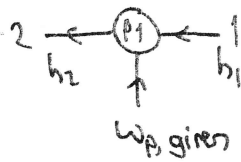
Enerji Dengesi:

$$E_g - E_f = \Delta E_s$$

$L_3 = 0$ (Sürekli akış)

$$h_1 + w_{p,giren} - h_2 = 0$$

$$\boxed{w_{p,giren} = h_2 - h_1} \quad (\text{J/kg})$$



$$\begin{aligned} h_1 &= u_1 + P_1 u_1 \\ h_2 &= u_2 + P_2 u_2 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Pompada: } u_1 = u_2 \\ h_2 - h_1 = P_2 u_2 - P_1 u_1 \end{array} \right\} \text{Pompada: } \boxed{u_1 \approx u_2}$$
$$h_2 - h_1 = u_1 (P_2 - P_1) \quad (\text{J/kg})$$

$$\begin{aligned} \textcircled{*} \quad w_{p,giren} &= h_2 - h_1 = u_1 (P_2 - P_1) \quad (\text{J/kg}) \\ &= (0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}) (10000 - 10) \text{ kPa} \\ &= 10,09 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$(\text{Dikkat: } P_2 = P_5 = 10 \text{ MPa} = 10000 \text{ kPa})$$

Dikkat: Yoğusturucu, besleme suyu ısıtıcısı, karışım odası, kızan, ısı değıştirtici, buharlaştırıcı gibi düzenekler sabit basınçta çalışır. 2 ile 5 noktası arasında da sabit basınçta çalışan düzenekler vardır.

(2)

$$(2) \quad w_{P1, \text{giren}} = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = h_1 + w_{P1, \text{giren}}$$

$$* h_2 = 191.81 + 10.09 = 201.90 \text{ kJ/kg}$$

$$P_2 = 10000 \text{ kPa} \Rightarrow h_f = 1407.8 \text{ kJ/kg} \text{ (Tablo A-5)}$$

* $h_2 < h_f$ ise, 2 noktası sıkıştırılmış sıvıdır (SS).

$$(3) \quad \left. \begin{array}{l} P_3 = P_6 = P_7 = 0.8 \text{ MPa} \\ \text{D.S. (x=0)} \\ \text{(Pompa girişini doymuş sıvıdır)} \end{array} \right\}$$

$$h_3 = h_f @ 0.8 \text{ MPa} = 720.87 \text{ kJ/kg}$$

$$v_3 = v_f @ 0.8 \text{ MPa} = 0.001115 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} w_{P2, \text{giren}} &= v_3 (P_4 - P_3) = h_4 - h_3 \\ &= (0.001115 \text{ m}^3/\text{kg}) (10000 - 800) \text{ kPa} \\ &= 10.26 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

(Dikkat: $P_4 = P_5$)

$$(4) \quad h_4 = h_3 + w_{P2, \text{giren}} = 720.87 + 10.26 = 731.13 \text{ kJ/kg}$$

$$P_4 = 10000 \text{ kPa} \Rightarrow h_f = 1407.8 \text{ kJ/kg} \text{ (Tablo A-5)}$$

$h_4 < h_f$ ise, 4 noktası sıkıştırılmış sıvıdır (SS).

$$* h_4 = h_g = h_{10} = 731.12 \text{ kJ/kg} \text{ (Karışım odasına giren ve çıkan akışkanın entalpisi aynıdır).}$$

$$(5) \quad \left. \begin{array}{l} P_5 = 10 \text{ MPa} \\ T_5 = 550^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 10 \text{ MPa için } T_{\text{doyma}} = 311^\circ\text{C} \\ T_5 > T_{\text{doyma}} \Rightarrow \text{Kıymın buhar bölgesi} \\ \text{Tablo A-6: } h_5 = 3502 \text{ kJ/kg} \\ s_5 = 6.7585 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

⑥ Türbin izantropiktir (tersinir ve adyabatik):

$$\left. \begin{array}{l} P_6 = 0,8 \text{ MPa} \\ S_6 = S_5 = 6,7585 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0,8 \text{ MPa} \rightarrow T_{\text{doyma}} = 170,41^\circ\text{C} \\ S_g = 6,6616 \text{ kJ/kgK} \\ S_6 > S_g \Rightarrow \text{Kıvrın buhar bölgesi} \end{array}$$

Tablo A-6: $h_6 = 2812,7 \text{ kJ/kg}$

⑦ $\left. \begin{array}{l} P_7 = P_6 = 0,8 \text{ MPa} \\ T_7 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0,8 \text{ MPa} \rightarrow T_{\text{doyma}} = 170,41^\circ\text{C} \\ T_7 > T_{\text{doyma}} \Rightarrow \text{Kıvrın buhar bölgesi} \end{array}$

Tablo A-6: $h_7 = 3481,3 \text{ kJ/kg}$
 $S_7 = 7,8692 \text{ kJ/kgK}$

⑧ $\left. \begin{array}{l} P_8 = 10 \text{ kPa} \\ S_8 = S_7 = 7,8692 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 10 \text{ kPa} \rightarrow S_g = 8,1488 \text{ kJ/kgK} \\ S_f = 0,6492 \text{ kJ/kgK} \\ S_{fg} = 7,4996 \text{ kJ/kgK} \end{array}$

$S_f < S_8 < S_g \Rightarrow \text{Islak buhar bölgesi}$

$S_8 = S_f + X_8 S_{fg} \Rightarrow 7,8692 = 0,6492 + X_8 (7,4996)$

$X_8 = 0,9627$ (Kıvrılık derecesi)

$h_8 = h_f + X_8 h_{fg} \Rightarrow h_8 = (191,81) + (0,9627)(2392,1)$
 $h_8 = 2494,7 \text{ kJ/kg}$

Dikkat: Pompalar ve türbinler izantropik olarak alınmıştır.
(Pompa, kompresör, türbin gibi düzenekler ideal alınacaksa, izantropik alınır).

* Kapalı besleme suyu ısıtıcısının incelenmesi:

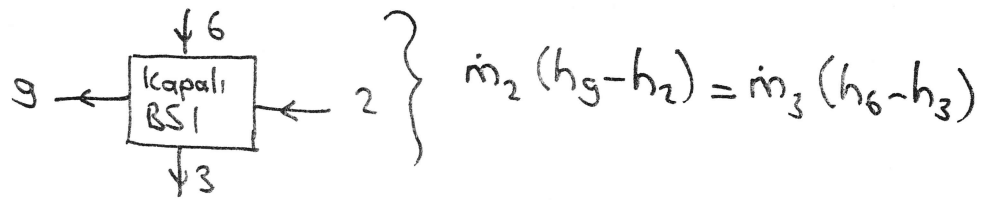
Sürekli akış için enerji dengesi:

$\dot{Q} \approx \dot{W} \approx \Delta ke \approx \Delta pe \approx 0$ alınır. (Yalıtılmış kabul edilir).

$\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}} = \Delta \dot{E}_{\text{sistem}}$
 $\rightarrow 0$ (Sürekli akış)

$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{çıkan}$$

$$\sum \dot{m}_{giren} h_{giren} = \sum h_{çıkan} \cdot \dot{m}_{çıkan}$$



Geçerimde: $\dot{m}_6 = \dot{m}_5 = \dot{m}_4$

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 = \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_3 + \dot{m}_7$$

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_3 + \dot{m}_2 \rightarrow \dot{m}_2 = \dot{m}_6 - \dot{m}_3$$

$$y = \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_6} \text{ olsun.}$$

$$\dot{m}_3 = y \dot{m}_6$$

$$\dot{m}_2 (h_9 - h_2) = \dot{m}_3 (h_6 - h_3) \text{ ise;}$$

$$(\dot{m}_6 - \dot{m}_3) (h_9 - h_2) = (y \dot{m}_6) (h_6 - h_3)$$

Her tarafı $\dot{m}_6$ 'ya bölelim.

$$\left(\frac{\dot{m}_6}{\dot{m}_6} - \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_6} \right) (h_9 - h_2) = \left(y \frac{\dot{m}_6}{\dot{m}_6} \right) (h_6 - h_3)$$

$$(1 - y) (h_9 - h_2) = y (h_6 - h_3)$$

$$h_9 - y h_9 - h_2 + y h_2 = y h_6 - y h_3$$

$$y (h_9 - h_2 + h_6 - h_3) = h_9 - h_2$$

$$y = \frac{(h_9 - h_2)}{(h_6 - h_3) + (h_9 - h_2)} = \frac{(731.13 - 201.90)}{(2812.7 - 720.87 + 731.13 - 201.90)}$$

$$y = 0,2019$$

Karana giren ısı enerjisi:

$$q_{giren} = (h_5 - h_4) + (1 - y) (h_7 - h_6) \quad (\text{kJ/kg})$$

↳ karana giren kısım.
($h_6 = h_6'$)

Karana giren ısı enerjisi için enerji dengesi:

$$\dot{Q}_{giren} = \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_{6'} h_{6'} \quad (W)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_4 ; \quad \dot{m}_7 = \dot{m}_{6'}$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_{6'} ; \quad \dot{m}_7 = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_{6'} - \dot{m}_3$$

$$\dot{Q}_{giren} = \dot{m}_6 (h_5 - h_4) + \dot{m}_2 (h_7 - h_{6'}) \quad (W)$$

$$= \dot{m}_6 (h_5 - h_4) + (\dot{m}_6 - \dot{m}_3) (h_7 - h_{6'}) \quad (W)$$

Her tarafı $\dot{m}_6$ 'ya bölelim. ($y = \dot{m}_3 / \dot{m}_6$)

$$\frac{\dot{Q}_{giren}}{\dot{m}_6} = (1)(h_5 - h_4) + (1-y)(h_7 - h_{6'}) \quad (J/kg)$$

$$q_{giren} = (h_5 - h_4) + (1-y)(h_7 - h_{6'})$$

$$= (3502 - 731.13) + (1 - 0.2019)(3481.3 - 2812.7)$$

$$= 3304.5 \text{ kJ/kg}$$

Yoğuşturucudan çıkan ısı enerjisi için enerji dengesi kurulup, yukarıdaki hesaplara benzer hesaplama yapılırsa, aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$q_{çıkan} = (1-y)(h_8 - h_1)$$

$$= (1 - 0.2019)(2494.7 - 191.81)$$

$$= 1837.9 \text{ kJ/kg}$$

Net güç: (Türbinlerden çıkan net güç eldesi için çevrime enerji dengesi uygulanır):

$$w_{net} = q_{giren} - q_{çıkan}$$

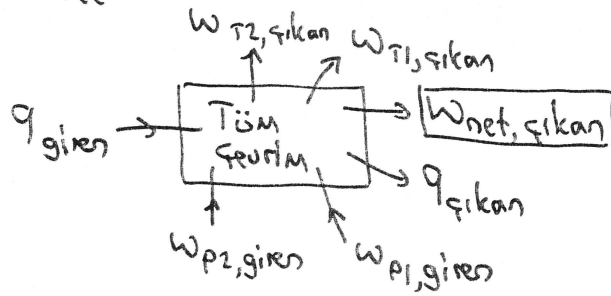


$$w_{net} \text{ içinde } \underbrace{w_{\text{türbin, çıkan}}}_{2 \text{ türbin}} - \underbrace{w_{\text{pompa giren}}}_{2 \text{ pompa}}$$

vardır.

(6)

$$\textcircled{*} w_{\text{net}} = 3304.5 - 1837.8 = 1466.6 \text{ kJ/kg}$$



$$w_{T1,çıkan} + w_{T2,çıkan} - w_{P1,giren} - w_{P2,giren} = q_{giren} - q_{çıkan}$$

$$w_{\text{net,çıkan}} = w_{\text{net}}$$

$$\textcircled{*} \dot{m} = \dot{m}_s = \frac{\dot{w}_{\text{net}}}{w_{\text{net}}} = \frac{80000 \text{ kW}}{1467.1 \text{ kJ/kg}} = 54.5 \text{ kg/s} \quad \text{(Verilmek)}$$

$$\textcircled{*} \eta_{\text{ısı}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_{giren}} = \frac{1466.6 \text{ kJ/kg}}{3304.5 \text{ kJ/kg}} = \%44.4$$