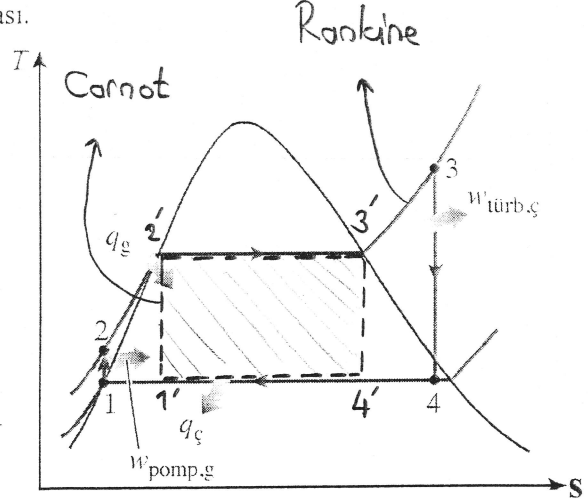
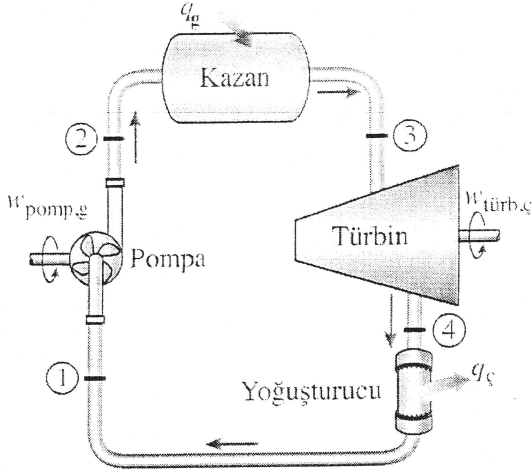


Rankine Çevrimi

İş akışkanının çevrimde dönüşümlü olarak buharlaştırıldığı ve yoğuşturulduğu buharlı güç çevrimleri kapsamında, ideal Rankine çevrimi, hiçbir içten tersinmezliğin olmadığı aşağıda verilen dört hal değişiminden oluşur:

- 1-2 Pompada izantropik sıkıştırma (Su pompaya 1 halinde doymuş sıvı olarak girer)
- 2-3 Kazanda sabit basınçta ısı girişi (Su kazana 2 halinde sıkıştırılmış sıvı olarak girer ve kazandan 3 halinde kızgın buhar olarak çıkar)
- 3-4 Türbinde izantropik genişleme
- 4-1 Yoğuşturucuda sabit basınçta ısı atılması.

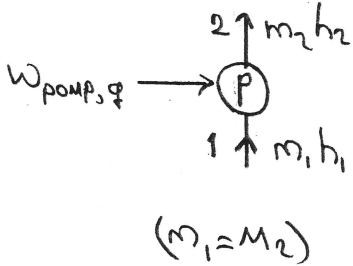


Soru: İş akışkanı su buharı olan ideal Rankine çevrimi ile Carnot çevriminin net güçleri ve ısı verimleri hesaplanacak ve karşılaştırılacaktır. Her iki durumda da iş akışkanı türbine 5 MPa basınçta doymuş buhar olarak girmekte olup, yoğuşturucu basıncı 50 kPa değerindedir. Rankine çevriminde yoğuşturucu çıkış hali doymuş sıvı; Carnot çevriminde kazan giriş hali doymuş sıvıdır. Her iki çevrimi T-s diyagramında çiziniz.

Çözüm:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 50 \text{ kPa} \\ (P_1 = P_4) \\ \text{Doymuş Sıvı} \\ \text{Rankine} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_{1,f} = 340,54 \text{ kJ/kg} \\ v_1 = v_{1,f} = 0,001030 \text{ m}^3/\text{kg} \\ (v_1 \approx v_2) \end{array}$$

Pompa için enerji analizi:



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

\downarrow $m_1 h_1$ \downarrow $m_2 h_2$ \downarrow "0" (Açık sistem, sürekli akış)

$$w_{pomp,g}$$

$$w_{pomp,g} + m h_1 - m h_2 = 0$$

$$w_{pomp,g} = m (h_2 - h_1) \quad (\text{J})$$

$$\text{Entalpi, } h = u + Pv, \quad h_1 = u_1 + P_1 v_1, \quad h_2 = u_2 + P_2 v_2$$

$$\text{Pompada, } W_1 \approx W_2 \text{ (J/kg), (iş enerjisi)}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{pomp,g}} &= m (u_2 + P_2 v_2 - u_1 - P_1 v_1) \\ &= m (P_2 v_2 - P_1 v_1) \\ &= m v_1 (P_2 - P_1) \text{ (J)} \end{aligned}$$

$$\textcircled{*} W_{\text{pomp,g}} = v_1 (P_2 - P_1) = (0,001030 \text{ m}^3/\text{kg}) (5000 - 50) \text{ kPa} = 5,10 \text{ kJ/kg}$$

$$(P_2 = P_3 = 5 \text{ MPa} = 5000 \text{ kPa})$$

$$W_{\text{pomp,g}} = h_2 - h_1 \rightarrow h_2 = h_1 + W_{\text{pomp,g}}$$

$$h_2 = (340,54 \text{ kJ/kg}) + (5,10 \text{ kJ/kg})$$

$$\textcircled{*} h_2 = 345,64 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 5 \text{ MPa} \\ x_3 = 1 \\ \text{Rankine} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Doymuş buhar} \\ h_3 = h_{3,g} = 2794,2 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = s_{3,g} = 5,9737 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 50 \text{ kPa} \\ s_4 = s_3 \\ \text{(izantropik)} \\ \text{Rankine} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \rightarrow \left. \begin{array}{l} s_f = 1,0912 \text{ kJ/kgK} \\ s_g = 7,5931 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\} \underbrace{s_f < s_4 < s_g}_{\text{Islak buhar}} \\ s_4 = s_f + x_4 s_{fg} \end{array}$$

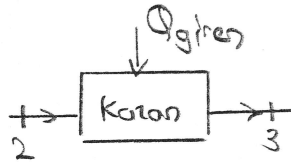
$$5,9737 \text{ kJ/kgK} = 1,0912 \text{ kJ/kgK} + x_4 \cdot$$

$$(7,5931 - 1,0912) \text{ kJ/kgK}$$

$$x_4 = 0,7509$$

$$\begin{aligned} \textcircled{*} h_4 &= h_f + x_4 h_{fg} \\ &= (340,54 \text{ kJ/kg}) + (0,7509)(2304,7 \text{ kJ/kg}) \\ &= 2071,2 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kazan için enerji analizi:



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

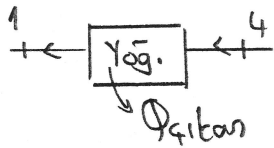
\downarrow \downarrow \downarrow
 $m_2 h_2$ $m_3 h_3$ "0" (Sürekli akış)
 Q_{giren}

($m = m_2 = m_3$)

$$Q_{giren} = m(h_3 - h_2) \text{ (J)}$$

$$\otimes \quad q_g = h_3 - h_2 \rightarrow q_g = 2794,2 - 345,64 = 2448,6 \text{ kJ/kg (Rankine)}$$

Yoğuşturucu için enerji analizi:



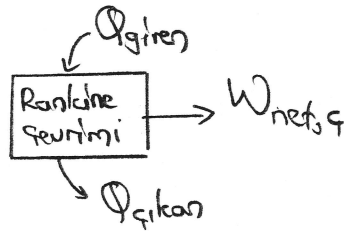
$$E_{giren} - E_{cikar} = \Delta E_{sistem}$$

\downarrow \downarrow \downarrow
 $m_4 h_4$ $m_1 h_1$ "0"
 Q_{cikar}

($m = m_1 = m_4$)

$$\otimes \quad q_c = h_4 - h_1 \rightarrow q_c = 2071,2 - 304,54 = 1730,7 \text{ kJ/kg (Rankine)}$$

Genlik için enerji analizi:



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

\downarrow \downarrow \downarrow
 Q_{giren} $W_{net,g}$ Q_{cikar} "0" (Genlik)

$$\otimes \quad W_{net,g} = Q_{giren} - Q_{cikar} \text{ (J)}$$

$$\begin{aligned}
 W_{net,g} &= q_g - q_c \text{ (J/kg)} \\
 &= 2448,6 - 1730,7 \\
 &= 717,9 \text{ kJ/kg (Rankine)}
 \end{aligned}$$

$$\eta_{isil, Rankine} = 1 - \frac{q_c}{q_g} = 1 - \frac{1730,7}{2448,6} = \underline{\underline{\%29,3}}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 5 \text{ MPa} \\ X_3 = 1 \text{ (DB)} \\ \text{Carnot} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = h_{3,g} = 2794,2 \text{ kJ/kg} \\ T_3 = 263,9^\circ\text{C} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = T_3 = 263,9^\circ\text{C} \\ \text{(Sabit sıcaklıkta} \\ \text{for değişimi)} \\ X_2 = 0 \text{ (DS)} \\ \text{Carnot} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = h_{2,f} = 1154,5 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = s_{2,f} = 2,9207 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 50 \text{ kPa} \\ s_1 = s_2 = 2,9207 \text{ kJ/kgK} \\ \text{(izotropik)} \\ \text{Carnot} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 50 \text{ kPa} \rightarrow s_f = 1,0912 \text{ kJ/kgK} \\ s_g = 7,5931 \text{ kJ/kgK} \\ s_f < s_1 < s_g \rightarrow \text{IB} \end{array}$$

$$s_1 = s_f + X_1 s_{fg}$$

$$2,9207 = 1,0912 + (X_1)(7,5931 - 1,0912)$$

$$X_1 = 0,2814$$

$$h_1 = h_f + X_1 h_{fg} \rightarrow h_1 = 340,54 + (0,2814)(2304,7)$$

$$= 989,05 \text{ kJ/kg}$$

$$q_g = h_3 - h_2 = 2794,2 - 1154,5 = 1639,7 \text{ kJ/kg}$$

$$q_f = h_4 - h_1 = 2071,2 - 989,05 = 1082,2 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{\text{net},f} = q_g - q_f = 1639,7 - 1082,2$$

$$= 557,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{\text{ısı}, \text{Carnot}} = 1 - \frac{q_f}{q_g} = 1 - \frac{1082,2}{1639,7} = \underline{\underline{\%34}}$$

İdeal çevrim olan Carnot çevriminin verimi,
ideal Rankine çevriminden büyüktür.

(4)