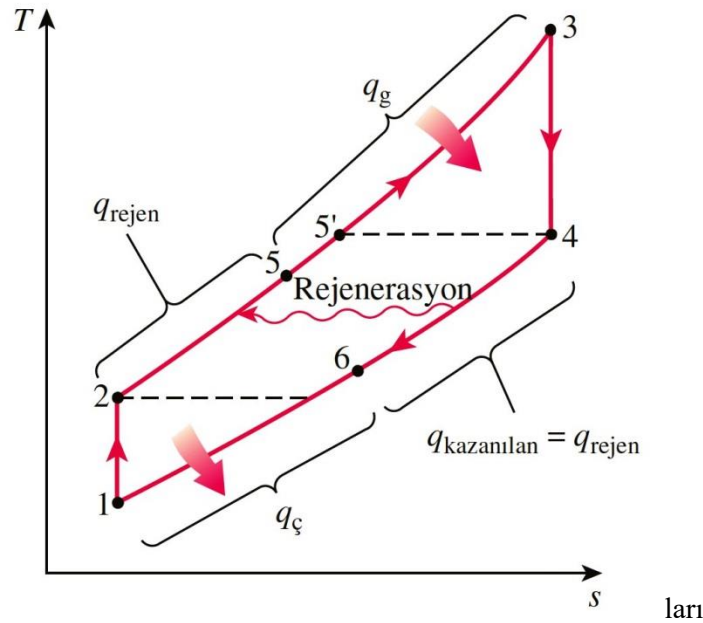
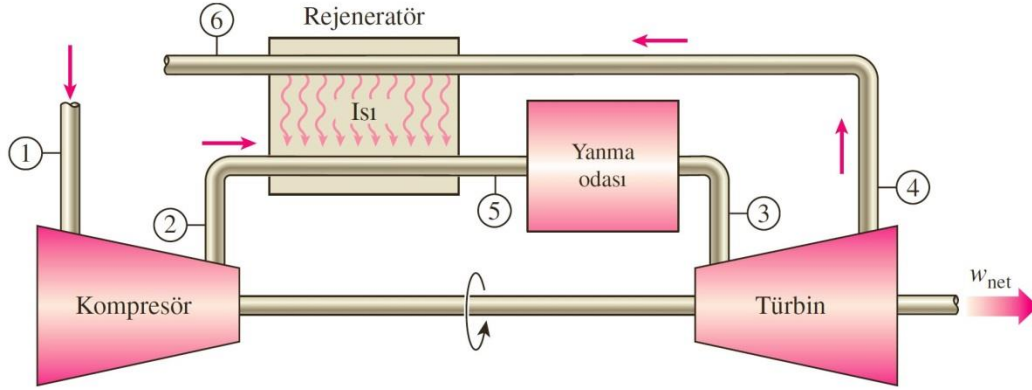
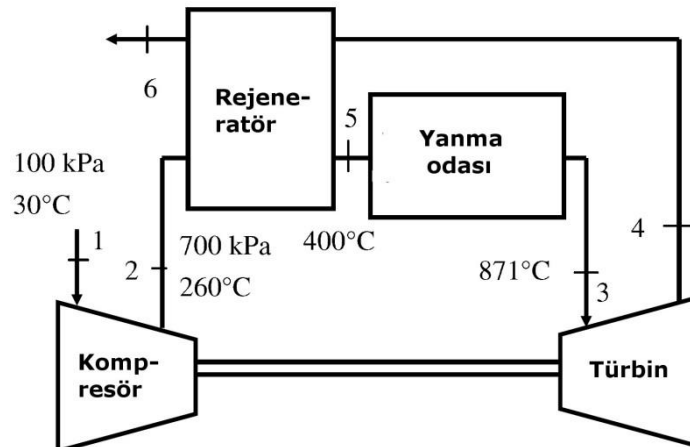


Rejeneratörlü Brayton Çevrimi

Gaz türbinlerinde türbinden çıkan egzoz gazlarının sıcaklığı, genellikle kompresörden çıkan havanın sıcaklığından çok daha yüksektir. Kompresörden çıkan yüksek basınçlı hava rejeneratör veya rekuperatör adı verilen ters akışlı bir ısı değiştiricisinde türbinden çıkan yanma sonu gazlarıyla ısıtılır. Brayton çevriminin ısıl verimi rejeneratör kullanımıyla artar.



Soru: Bir gaz türbinli güç santrali Brayton çevrimine göre 100 kPa ve 700 kPa basınç sınırları arasında çalışmaktadır. Hava kompresöre 30°C sıcaklıkta 12.6 kg/s debiyle girmekte ve kompresörden 260°C sıcaklıkta çıkmaktadır. Türbinden çıkan sıcak yanma gazları tarafından rejeneratörde ısıtılan hava, rejeneratörden 400°C sıcaklıkta çıkmaktadır. Isıl değeri 42000 kJ/kg olan Diesel yakıtı yanma odasında %97 yanma verimiyle yanmakta ve yanma gazları yanma odasından 871°C sıcaklıkta çıkarak %85 izantropik verime sahip türbine girmektedir. Yanma gazlarını hava olarak ele alıp, 500°C sıcaklıkta özgül ısıların sabit olduğunu varsayarak, (a) kompresörün izantropik verimini, (b) rejeneratörün etkinlik katsayısını, (c) yanma odasındaki hava/yakıt oranını, (ç) çevrimin net gücünü ve geri iş oranını, (d) ısıl verimi, (e) ikinci-yasa verimini, (f) kompresörün, türbinin ve rejeneratörün ikinci yasa verimlerini ve (g) rejeneratör çıkışındaki yanma gazlarının ekserji akımını hesaplayınız.



Çözüm:

Özellikler $500^{\circ}\text{C} = 773,15 \text{ K}$
 $c_p = 1,093 \text{ kJ/kgK}$
 $c_w = 0,806 \text{ kJ/kgK}$
 $R = 0,287 \text{ kJ/kgK}$
 $\rightarrow k = 1,357$

⊕ İzantropik kompresör için ($s = \text{sabit}$)

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} \rightarrow T_{2s} = \underbrace{(30 + 273,15)}_{303,15 \text{ K}} \left(\frac{700 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}}\right)^{\frac{1,357-1}{1,357}}$$

\downarrow Basınç oranı (r_p)

$$T_{2s} = 505,81 \text{ K}$$

$$\eta_{\text{komp}} = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \rightarrow \frac{505,81 - 303,15}{(260 + 273,15) - 303,15} = 0,881$$

ⓐ Komp. izantropik verimi, $\eta_{\text{komp}} = \%88,1$

⊕ İzantropik türbin için ($s = \text{sabit}$)

$$\frac{T_{4s}}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{(k-1)/k} \rightarrow P_3 = P_2 \text{ (Regeneratör ve yanma odasında basınç değişmez)}$$

\downarrow $1/r_p$

$$T_{4s} = \underbrace{(871 + 273,15)}_{1144,15 \text{ K}} \left(\frac{1}{7}\right)^{(1,357-1)/1,357}$$
$$T_{4s} = 685,73 \text{ K}$$

$$\eta_{\text{Tür}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}} \rightarrow 0,85 = \frac{(1144,15 - T_4)}{(1144,15 - 685,15)}$$

$$T_4 = 754 \text{ K (Türbin çıkış sıcaklığı)}$$

⊕ Regeneratörün etkinlik katsayısı

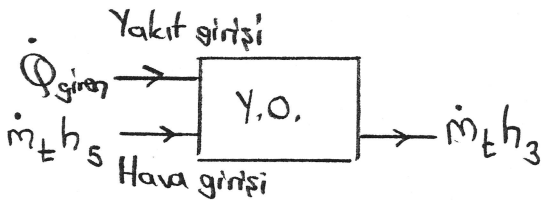
$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{regen., gerçek}}}{Q_{\text{regen., max}}} = \frac{h_5 - h_2}{h_5' - h_2} = \frac{h_5 - h_2}{h_4 - h_2} \approx \frac{T_5 - T_2}{T_4 - T_2}$$

①

$$\epsilon = \frac{T_5 - T_2}{T_4 - T_2} = \frac{(400 + 273,15) - (260 + 273,15)}{(754 - 260 - 273,15)}$$

(b) $\epsilon = 0,6339 = \%63,39$ (ideal rejeneratöre yaklaşma oranı)

⊕ Yanma odası enerji analizi



$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{ciksan} = \Delta \dot{E}_{sistem}$$

\downarrow \downarrow \downarrow "0"
 \dot{Q}_{giren} $\dot{m}_t h_3$
 $\dot{m}_t h_5$

$$\dot{Q}_{giren} = \dot{m}_t (h_3 - h_5) \quad (w)$$

Yakıtın debisi: \dot{m}_y
 Havanın debisi: \dot{m}_h } Toplam debi: $\dot{m}_t = \dot{m}_y + \dot{m}_h \rightarrow c_p (T_3 - T_5)$

$$\dot{m}_h = 12,6 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{giren} = \dot{m}_y \cdot \eta_{iz} \cdot \eta_{yanma} = \dot{m}_y \cdot (42000 \text{ kJ/kg}) \cdot (0,97) \quad (w)$$

\swarrow Yanma verimi
 \rightarrow Yakıtın ısı değeri
 \searrow Yakıtın debisi

$$\dot{m}_y (42000 \text{ kJ/kg}) (0,97) = (\dot{m}_y + 12,6) \text{ kg/s} (1,093 \text{ kJ/kgK}) \cdot (871 - 400) \text{ K}$$

$$\dot{m}_y = 0,1613 \text{ kg/s}$$

Hava-yakıt oranı: $HY = \frac{\dot{m}_h}{\dot{m}_y}$

(c) $HY = \frac{12,6 \text{ kg/s}}{0,1613 \text{ kg/s}} = 78,14$

$$\dot{Q}_{giren} = (0,1613 \text{ kg/s}) (42000 \text{ kJ/kg}) (0,97) = 6571,36 \text{ kW} \quad (2)$$

$$\dot{m}_t = \dot{m}_h + \dot{m}_y = (12,6 \text{ kg/s}) + (0,1613 \text{ kg/s}) \\ = 12,7613 \text{ kg/s}$$

⊗ Net güç çıkışı

$$\dot{W}_{\text{net}} = \dot{W}_{\text{Türbin}} - \dot{W}_{\text{Komp.}}$$

$$\dot{W}_{\text{Türbin}} = \dot{m}_t c_p (T_3 - T_4) \\ = (12,7613 \text{ kg/s})(1,093 \text{ kJ/kgK})(1144,15 - 754) \text{ K} \\ = 5441,85 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{Komp.}} = \dot{m}_h c_p (T_2 - T_1) \\ = (12,6 \text{ kg/s})(1,093 \text{ kJ/kgK})[(260 + 243,15) - (303,15)] \text{ K} \\ = 3167,51 \text{ kW}$$

$$\text{④ } \dot{W}_{\text{net}} = 5441,85 - 3167,51 = 2274,34 \text{ kW}$$

$$\text{Geri iş oranı, } \text{GİO} = \frac{\dot{W}_{\text{Komp.}}}{\dot{W}_{\text{Türbin}}} = \frac{3167,51 \text{ kW}}{5441,85 \text{ kW}} = 0,582 \\ (\%58,20)$$

⊗ Gevrimin ısı verimi

$$\text{① } \eta_{\text{ısı}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{\dot{Q}_{\text{girm}}} = \frac{2274,34 \text{ kW}}{6571,36 \text{ kW}} = 0,346 \\ (\%34,6)$$

⊗ Gevrimin ikinci yasa verimi

$$\eta_{\text{II}} = \frac{\eta_{\text{ısı}}}{\eta_{\text{max}}} \rightarrow \text{Burada max. verim, Carnot verimidir.}$$

$$T_1 = T_{\text{min}}, T_3 = T_{\text{max}} \text{ ise,}$$

$$\eta_{\text{max}} = \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}} = 1 - \frac{303,15 \text{ K}}{1144,15 \text{ K}}$$

$$\eta_{\text{max}} = 0,735 = \%73,5$$

$$\text{② } \eta_{\text{II}} = \frac{0,346}{0,735} = 0,47 (\%47)$$

⊗ Kompresör için ikinci yasa verimi:

$$\eta_{II, \text{Komp}} = \frac{\Delta \dot{X}_{\text{Komp}}}{\dot{W}_{\text{Komp}}} \rightarrow \text{Akış ekserjisi farkı } (\dot{W}_{\text{giren, min}})$$

$\dot{W}_{\text{Komp}} \rightarrow \text{Kompresör gücü}$

Eksanjeri Dengesi $\rightarrow \dot{X}_g - \dot{X}_c - \dot{X}_{y0} = \Delta \dot{X}_{\text{sistem}}$

$\dot{m}_h \cdot \psi_1$ $\dot{m}_h \cdot \psi_2$ "0" "0" (Sürekli akış)
 $\dot{W}_{\text{giren, min}}$ (Min. akış ekserjisi farkı alındığı için)

$$\dot{W}_{\text{giren, min}} = \Delta \dot{X}_{\text{Komp}} = \dot{m}_h (\psi_2 - \psi_1) \quad (\text{W})$$

$$= \dot{m}_h [(h_2 - h_1) - T_0 (s_2 - s_1)]$$

$$h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1) = (1,093 \text{ kJ/kgK}) (533,15 - 303,15) \text{ K}$$

$$= 251,39 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= (1,093 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{533,15 \text{ K}}{303,15 \text{ K}} - (0,287 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{700 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}}$$

$$= 0,0586 \text{ kJ/kgK}$$

$$\Delta \dot{X}_{\text{Komp}} = (12,6 \text{ kg/s}) [(251,39 \text{ kJ/kg}) - (303,15 \text{ K}) (0,0586 \text{ kJ/kgK})]$$

$$= 2943,66 \text{ kW}$$

(Törbhal = Tgiriş = T₁)

$$\eta_{II, \text{Komp}} = \frac{2943,66 \text{ kW}}{3167,51 \text{ kW}} = 0,929 \quad (\%92,9)$$

⊗ Türbin için ikinci yasa verimi

$$\eta_{II, \text{Türbin}} = \frac{\dot{W}_{\text{Türbin}}}{\Delta \dot{X}_{\text{Tür}}}$$

$\dot{W}_{\text{Türbin}} \rightarrow \text{Türbin gücü}$
 $\Delta \dot{X}_{\text{Tür}} \rightarrow \text{Akış ekserjisi farkı } (\dot{W}_{\text{çıkan, max}})$

Eksanjeri Dengesi $\rightarrow \dot{X}_g - \dot{X}_c - \dot{X}_{y0} = \Delta \dot{X}_{\text{sistem}}$

$\dot{m}_t \cdot \psi_3$ $\dot{m}_t \cdot \psi_4$ "0" "0"
 $\dot{W}_{\text{çıkan, max}}$

$$\dot{W}_{\text{filcom, max}} = \dot{\Delta X}_{\text{Tür.}} = \dot{m}_t (\psi_3 - \psi_4) \quad (\text{W})$$

$$= \dot{m}_t [(h_3 - h_4) - T_0 (s_3 - s_4)]$$

$$h_3 - h_4 = c_p (T_3 - T_4)$$

$$= (1,093 \text{ kJ/kgK}) (1144,15 - 754) \text{ K}$$

$$= 426,43 \text{ kJ/kg}$$

$$s_3 - s_4 = c_p \ln(T_3/T_4) - R \ln(P_3/P_4)$$

$$= (1,093 \text{ kJ/kgK}) \ln(1,51744) - (0,287 \text{ kJ/kgK}) \ln(7)$$

$$= -0,1027 \text{ kJ/kgK}$$

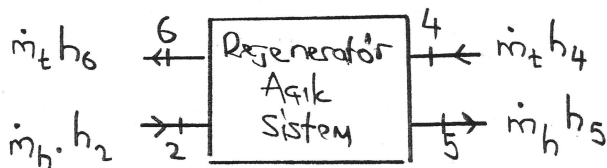
$$\dot{\Delta X}_{\text{Tür.}} = (12,7613 \text{ kg/s}) [426,43 \text{ kJ/kg} - (303,15 \text{ K}) (-0,1027 \text{ kJ/kgK})]$$

$$= 5839,16 \text{ kW}$$

$$\textcircled{f} \quad \eta_{\text{it, Türbin}} = \frac{5441,85 \text{ kW}}{5839,16 \text{ kW}} = 0,932 \quad (\%93,2)$$

* Regeneratörün ikinci yasa verimi:

Enerji Dengesi:



$$\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkın}} = \Delta \dot{E}_{\text{sistem}}$$

↙ "0" (Sürekli akış)

$$\begin{matrix} \dot{m}_h h_2 \\ \dot{m}_t h_4 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \dot{m}_h h_5 \\ \dot{m}_t h_6 \end{matrix}$$

$$\dot{m}_h h_2 + \dot{m}_t h_4 - \dot{m}_h h_5 - \dot{m}_t h_6 = 0$$

$$\dot{m}_t (h_4 - h_6) = \dot{m}_h (h_5 - h_2)$$

$$\dot{m}_t c_p (T_4 - T_6) = \dot{m}_h c_p (T_5 - T_2) \quad (\text{W})$$

$$(12,7613 \text{ kg/s})(1,093 \text{ kJ/kgK})(754 - T_6) = (12,6 \text{ kg/s})(1,093 \text{ kJ/kgK})(673,15 - 533,15)$$

$$T_6 = 614,14 \text{ K}$$

$$\eta_{II, \text{Reg.}} = \frac{\dot{\Delta X}_{\text{rej., soğuk}}}{\dot{\Delta X}_{\text{rej., sıcak}}}$$

$$\dot{\Delta X}_{\text{rej., sıcak}} = \dot{m}_t \left\{ c_p (T_4 - T_6) - T_0 \left[c_p \ln \frac{T_4}{T_6} - R \ln \frac{P_4}{P_6} \right] \right\} \quad (P_4 = P_6)$$

$$= (12,7613 \text{ kg/s}) \left\{ (1,093 \text{ kJ/kgK})(754 - 614,14) \text{ K} - (303,15 \text{ K}) \left[(1,093 \text{ kJ/kgK}) \left(\ln \frac{754}{614,14} \right) - 0 \right] \right\}$$

$$= 1083,25 \text{ kW}$$

$$\dot{\Delta X}_{\text{rej., soğuk}} = \dot{m}_h \left\{ c_p (T_5 - T_2) - T_0 \left[c_p \ln \frac{T_5}{T_2} - R \ln \frac{P_5}{P_2} \right] \right\} \quad (P_5 = P_2)$$

$$= (12,6 \text{ kg/s}) \left\{ (1,093 \text{ kJ/kgK})(673,15 - 533,15) \text{ K} - (303,15 \text{ K}) \left[(1,093 \text{ kJ/kgK}) \left(\ln \frac{673,15}{533,15} \right) - 0 \right] \right\}$$

$$= 954,60 \text{ kW}$$

$$\textcircled{F} \quad \eta_{II, \text{Reg.}} = \frac{954,60 \text{ kW}}{1083,25 \text{ kW}} = 0,88 \quad (\%88)$$

*Regeneratör çıkışındaki yanma gazlarının ekserji akımı:

Regeneratör çıkışı: 6 noktasıdır.

Açık sistem için,

$$\dot{X}_6 = \dot{m}_6 \psi_6 = \dot{m}_6 \left[(h_6 - h_0) - T_0 (s_6 - s_0) \right] \quad (\text{kW})$$

Dikkat!

⑥

$$\dot{X}_G = \dot{m}_t \left\{ c_p (T_6 - T_0) - T_0 \left[c_p \ln \frac{T_6}{T_0} - R \ln \frac{P_6}{P_0} \right] \right\} \quad (P_6 = P_0)$$

$$= (12,7613 \text{ kg/s}) \left\{ (1,093 \text{ kJ/kgK}) (614,14 - 303,15) \text{ K} \right.$$

$$\left. - (303,15 \text{ K}) \left[(1,093 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{614,14}{303,15} - 0 \right] \right\}$$

$$\textcircled{4} \quad \dot{X}_G = 1352,51 \text{ kW}$$

6 noktasından ölü hal bölgesine
çıkan gazların ekserjisi akımı