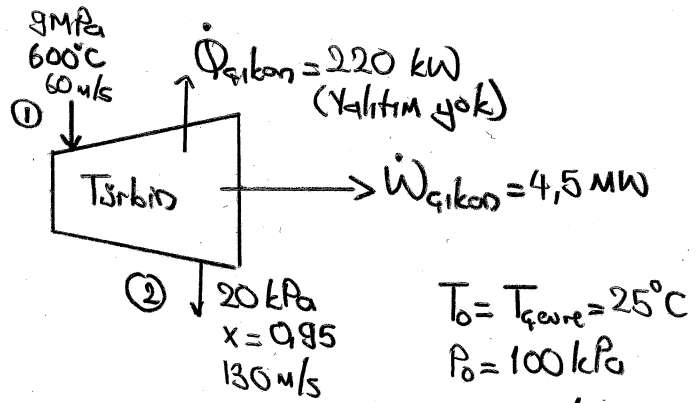


Ekserji Uygulaması:

Açık Sistem:

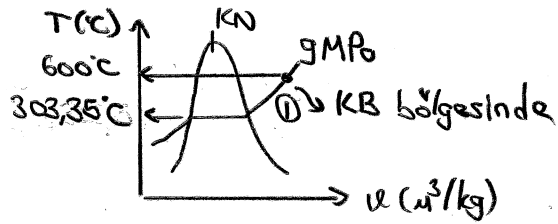
Buhar türbini:



Türbin için adım-adım termostatik süreç, giriş/çıkış yok oluşu/ikinci yasa verimi/güç çıkışındaki artış hesaplarını yapalım.

① Özelliklerin tablo A4/A5/A6'dan tespit edilmesi:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 9 \text{ MPa} \\ T_1 = 600^\circ\text{C} \end{array} \right\} \text{Türbin girişi kırılgan buhar olur. (Genelde)} \\ 9 \text{ MPa} \rightarrow T_{\text{doyma}} = 303,35^\circ\text{C} \\ T_1 > T_{\text{doyma}} \Rightarrow \text{Kırılgan buhar bölgesi}$$



$$h_1 = 3634,1 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 6,9605 \text{ kJ/kgK}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 20 \text{ kPa} \\ x_2 = 0,95 \end{array} \right\} 0 < x_2 < 1 \Rightarrow \text{Islak buhar bölgesi} \\ h_{2f} = 251,42 \text{ kJ/kg} \quad s_{2f} = 0,8320 \text{ kJ/kgK} \\ h_{2fg} = 2357,5 \text{ kJ/kg} \quad s_{2fg} = 7,0752 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_2 = h_{2f} + x_2 h_{2fg} = (251,42) + (0,95)(2357,5) \\ = 2491,1 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = s_{2f} + x_2 s_{2fg} = (0,8320) + (0,95)(7,0752) \\ = 7,5535 \text{ kJ/kgK}$$

Dikkat: Eğer türbin ① girişinden ölümlü hal çıkışına kadar çalıştırılırsa:

$$\begin{array}{l} T_0 = 25^\circ\text{C} \\ x_0 = 0 \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{Doymuş sıvı noktası (x=0)} \\ h_0 = h_{f,0} = 104,83 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{ölümlü hal} \\ \text{kuruluk derecesi koşulu.} \end{array}$$

①

② Termodinamiğin birinci yasası

Enerji dengesi eşitliği:

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \Delta \dot{E}_{sistem} \text{ (W)}$$

$\dot{E}_{kütleg}$        $\dot{E}_{kütleg}$   
 $\dot{W}_{çıkan}$   
 $\dot{Q}_{çıkan}$

Sürekli akışta  $\Delta \dot{E}_{sistem} = 0 \text{ W}$   
( $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ )

$$\dot{E}_{kütlegg} - \dot{E}_{kütlegç} - \dot{W}_{çıkan} - \dot{Q}_{çıkan} = 0 \text{ W}$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_1 \frac{V_1^2}{2} - \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_2 \frac{V_2^2}{2} - \dot{W}_{çıkan} - \dot{Q}_{çıkan} = 0 \text{ W}$$

Sürekli akış:  $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$  (kg/s)

$$\dot{m} \left[ (3634,1 \text{ kJ/kg}) + \frac{(60 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 1000} \right] = \dot{m} \left[ (2491,1 \text{ kJ/kg}) + \frac{(130 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 1000} \right] + 220 \text{ kW} + 4500 \text{ kW}$$

↳ Dikkat: kJ/kg'a çevirme katsayısı

$\dot{m} = 4,154 \text{ kg/s}$  → Enerji dengesi eşitliği yardımıyla kütleesel debi hesaplanmıştır.

③ Termodinamiğin ikinci yasası:

Entropi dengesi eşitliği:

$$\dot{S}_{giren} - \dot{S}_{çıkan} + \dot{S}_{üretim} = \Delta \dot{S}_{sistem} \text{ (W/K)}$$

$\dot{S}_{kütlegg}$        $\dot{S}_{ısı,çıkan}$   
 $\dot{S}_{kütlegç}$

$= 0 \text{ W/K}$  (Sürekli akış)

$$-\dot{S}_{kütlegg} + \dot{S}_{kütlegç} + \dot{S}_{ısı,çıkan} = \dot{S}_{üretim}$$

$$-\dot{m}_1 s_1 + \dot{m}_2 s_2 + \dot{\Phi}_{\text{çıkış}} / T_0 = \dot{S}_{\text{üretim}}$$

$$-(4,154 \text{ kg/s}) (6,9605 \text{ kJ/kgK}) + (4,154 \text{ kg/s}) (7,5535 \text{ kJ/kgK}) + (220 \text{ kW}) / (25+273,15) \text{K} = \dot{S}_{\text{üretim}}$$

↳ Dikkat: Kontrol yüzeyi sıcaklığı çevre sıcaklığında alındı.

$$\boxed{\dot{S}_{\text{üretim}} = 3,2012 \text{ kW/K}} \rightarrow \text{Entropi dengesi eşitliğinden entropi üretimi bulundu.}$$

③ Termodinamiğin birinci ve ikinci yasasının birleşimi:  
Ekserji dengesi eşitliği:

$$\dot{X}_{\text{giren}} - \dot{X}_{\text{çıkış}} - \dot{X}_{\text{yok olan}} = \Delta \dot{X}_{\text{system}} (\text{W})$$

$\downarrow$   $\dot{X}_{\text{kütleg}}$        $\downarrow$   $\dot{X}_{\text{kütleg}}$   
 $\dot{X}_{\text{kütleg}}$        $\dot{X}_{\text{ısı,çıkış}}$   
 $\dot{X}_{\text{ısı,çıkış}}$

$\downarrow = 0 \text{ W}$  (Sürekli akış)

$$\dot{X}_{\text{kütleg}} - \dot{X}_{\text{kütleg}} - \dot{X}_{\text{ısı,çıkış}} - \dot{X}_{\text{ısı,çıkış}} = \dot{X}_{\text{yok olan}}$$

$$\dot{m}_1 \psi_1 - \dot{m}_2 \psi_2 - \dot{\Phi}_{\text{çıkış}} \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) - \dot{W}_{\text{çıkış}} = \dot{X}_{\text{yok olan}}$$

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

$$\dot{m} (\psi_1 - \psi_2) - \dot{\Phi}_{\text{çıkış}} \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) - \dot{W}_{\text{çıkış}} = \dot{X}_{\text{yok olan}}$$

$$\dot{m} \left[ (h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} \right] - \dot{\Phi}_{\text{çıkış}} \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) - \dot{W}_{\text{çıkış}} = \dot{X}_{\text{yok olan}}$$

③

$$(4,154 \text{ kg/s}) \left[ (3634,1 - 2491,1) \text{ kJ/kg} - (25 + 273,15) \text{ K} (6,9605 - 7,5535) \text{ kJ/kgK} \right. \\ \left. + \frac{(60 \text{ m/s})^2 - (130 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 1000} \text{ kJ/kg} \right] - \left( 1 - \frac{(25 + 273,15) \text{ K}}{(25 + 273,15) \text{ K}} \right) - (4500 \text{ kW}) = \dot{X}_{\text{gokolon}}$$

↓  
 Dikkat: J/kg  
kJ/kg'ya çevirildi.

↓  
 Dikkat:  
 $T_0 = T_k = (25 + 273,15) \text{ K}$   
 alındı.

↓  
 Dikkat: MW,  
kW'ya çevirildi

$\dot{X}_{\text{gokolon}} = \dot{I} = 954,84 \text{ kW}$

(Ekserji dengesi eşitliği ile ekserji yitimi hesaplandı)

Ekserji yitimi:  $\dot{X}_{\text{gokolon}} = T_0 \cdot \dot{S}_{\text{iretim}}$  eşitliği ile de hesaplanabilir.

$$\dot{X}_{\text{gokolon}} = (25 + 273,15) \text{ K} (3,2012 \text{ kW/K}) \\ = \underline{\underline{954,44 \text{ kW}}}$$

Dikkat: Bu sonuç, ekserji dengesi eşitliği ile bulunan sonuca çok yakın değerdedir. Aradaki küçük fark yuvarlatma hatalarından kaynaklanmaktadır.

Tersinir güç faktörü hesabı:

$$\text{Tersinir} \rightarrow \dot{S}_{\text{iretim}} = 0 \text{ W/K} \\ \dot{X}_{\text{gokolon}} = 0 \text{ W}$$

Ekserji dengesi eşitliği:

$$\dot{X}_{\text{giren}} - \dot{X}_{\text{çıkan}} - \dot{X}_{\text{yo}} = \Delta \dot{X}_{\text{istem}} \text{ (W)}$$

↓ = 0 W (Sıradaki akış)  
 ↓ = 0 W (Tersinir işlem)

$\dot{X}_{\text{giren}}$   
 $\dot{X}_{\text{çıkan}}$   
 $\dot{X}_{\text{ısıtılan}}$   
 $\dot{X}_{\text{soğutulan}}$

→ Dikkat: Tersinir işlemde  $\dot{W}_{\text{çıkan}} = \dot{W}_{\text{çıkan, tr}}$  olur.

$$\dot{X}_{k\u00fctle,g} - \dot{X}_{k\u00fctle,s} = \dot{W}_{\text{c\u00fckon, tr}} \quad (W)$$

$$\dot{m}(\psi_1 - \psi_2) = \dot{m}(h_1 - h_2) - \dot{m}T_0(s_1 - s_2) + \dot{m} \frac{V_1^2 - V_2^2}{2}$$

$$= 5454,84 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{c\u00fckon, tr}} = 5454,84 \text{ kW} \rightarrow \text{Bir t\u00fcrb\u00fcn i\u00e7in termodinamik g\u00f6\u00e7 \u00e7\u00fck\u00fcs\u00fc, } \dot{m}(\psi_1 - \psi_2) \text{ 'ye e\u015fitir.}$$

Dikkat:  $\dot{X}_{\text{isb, c\u00fckon}} = 0 \text{ W}$  ( $T_0 = T_k$  alındığı için)

S\u00fcrekli tek akışta:  $\dot{W}_{\text{tr}} = \dot{m}(\psi_1 - \psi_2) + \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{\Phi}_k \quad (W)$

S\u00fcrekli tek adyabatik akışta:  $\dot{W}_{\text{tr}} = \dot{m}(\psi_1 - \psi_2) \quad (W)$

Eksjerji yok olgusu:  $\dot{X}_{\text{yokolan}} = \dot{W}_{\text{tr, c\u00fckon}} - \dot{W}_{\text{c\u00fckon}}$  eşitliğinden de hesaplanabilir.

$$\dot{X}_{\text{yokolan}} = 5454,84 - 4500$$

$$= \underline{\underline{954,84 \text{ kW}}}$$

Enerji dengesi eşitliğinden:  $\dot{E}_{k\u00fctle,g} - \dot{E}_{k\u00fctle,s} = \dot{\Phi}_{\text{c\u00fckon}} + \dot{W}_{\text{c\u00fckon}}$

$$= 220 + 4500$$

$$= 4720 \text{ kW}$$

T\u00fcrb\u00fcn i\u00e7in termodinamiğin birinci yasası verimini;  $\eta_I = \frac{\dot{W}_{\text{c\u00fckon}}}{\dot{E}_{k\u00fctle,g} - \dot{E}_{k\u00fctle,s}}$

olarak tanımlayabiliriz. Bu gerçevede;

$$\eta_I = \frac{4500 \text{ kW}}{4720 \text{ kW}} = \underline{\underline{0,95}} \text{ olur.}$$

(5)

Türbin için izotropik verimin kullanılması daha uygun olacaktır:

$s_1 = s_2$  ise, izotropik durum

$$s_{2s} = s_1 = 6,9605 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_{2s} = 6,9605 \text{ kJ/kgK için } x_{2s} = (s_{2s} - s_{2f}) / s_{2fg}$$

$$x_{2s} = (6,9605 - 0,8320) / (7,0752)$$

$$x_{2s} = 0,8662$$

$$h_{2s} = (251,42) + (0,8662)(2357,5) \\ = 2293,47 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{\text{izon.}} = \frac{\dot{W}_{\text{çıkın}}}{\dot{W}_{\text{çıkın,s}}} = \frac{h_1 - h_2 + \frac{V_1^2}{2} - \frac{V_2^2}{2} - \frac{\dot{Q}_{\text{çıkın}}}{\dot{m}}}{h_1 - h_{2s} + \frac{V_1^2}{2} - \frac{V_2^2}{2} - \frac{\dot{Q}_{\text{çıkın}}}{\dot{m}}} \approx \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$

$$\eta_{\text{izon.}} = \frac{3634,1 - 2491,1}{3634,1 - 2293,47} = \underline{\underline{0,85}}$$

İkinci yasa (eksergi) verimi:  $\eta_{\text{II}} = \frac{\dot{W}_{\text{çıkın}}}{\dot{W}_{\text{pot,çıkın}}} = \frac{4500}{5454,84} = \underline{\underline{0,825}}$

$$\eta_{\text{II}} = 1 - \frac{\dot{X}_{\text{çıkın}}}{\dot{X}_{\text{sağlanon}}} = 1 - \frac{\dot{X}_{\text{çıkın}}}{\dot{m}(\psi_1 - \psi_2)} = 1 - \frac{954,84}{5454,84}$$

$$\eta_{\text{II}} = \underline{\underline{0,825}}$$

Türbin girişindeki buhar ölü hal noktasına kadar getirilebilseydi, elde edilebilecek ısı enerjisi (güçü) aşağı verildiği gibi olacaktı:

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_1 - h_0) \quad (\text{Kinetik enerji değiştirmisi } 665 \text{ kW} \\ \text{gibi küçük bir değerde olduğu} \\ \text{için dikkate alınmamıştır})$$

$$\dot{Q} = (4,154 \text{ kg/s})(3634,1 - 104,83) \text{ kJ/kg} \\ = \underline{\underline{14660,59 \text{ kW}}}$$

(6)

Bu enerjinin gce (iř çıktısına) gevrilebilen oranı:

$$f = \frac{W_{\text{çıktır}}}{\dot{Q}} = \frac{4500 \text{ kW}}{14660,59 \text{ kW}} = \underline{\underline{0,307}} \text{ (\%30,7)}$$

$\dot{Q}$ 'nın ancak %30,7 kadar iř çıktısına gevrilebilmektedir.

Tbin yalıtımlı olsaydı;

$$W_{\text{arıtıs}} = f \dot{Q}_{\text{çıktır}} \text{ kadar olacaktı.}$$

$$W_{\text{arıtıs}} = (0,307)(220 \text{ kW}) \\ = \underline{\underline{67,53 \text{ kW}}}$$

Yalıtımsız tbinden olan ısı kaybının ancak %30,7 kadar yalıtımlı tbinde gce gevrilebilir. Bu durumda toplam gç çıktısı;

$$4500 + 67,53 = 4567,53 \text{ kW kadar olabilirdi.}$$

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

Thermodynamics: An Engineering Approach , 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

Sonntag, Richard E.

, SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

Termodinamik -M , Yedinci , Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme 2015.

, 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro , John Wiley , 2014.

<https://www.huseyingunerhan.com/termo2/termo2.html> -  
II /veya arak

II

**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).