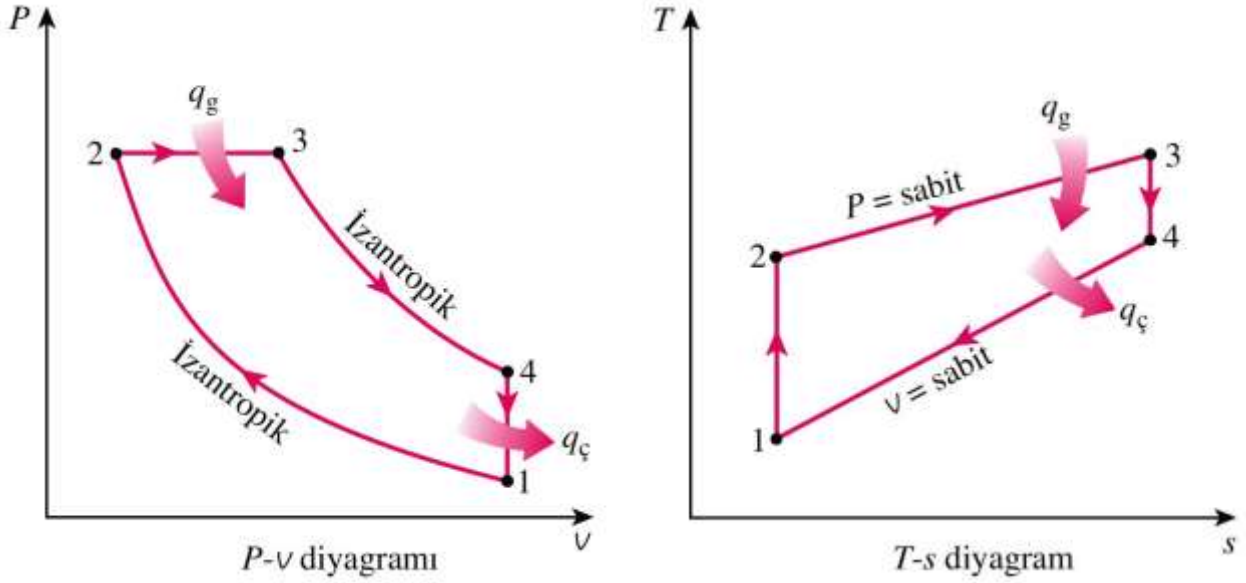


## DIESEL ÇEVİRİMİ

Diesel çevrimi; sıkıştırma-ateşlemeli pistonlu motorların ideal çevrimidir. Diesel motorları olarak da bilinen sıkıştırma-ateşlemeli motorlarda hava, yakıtın kendiliğinden tutuşma sıcaklığının üzerindeki bir değere kadar sıkıştırılır ve yanma işlemi, püskürtülen yakıtın sıcak havayla teması sonucu kendiliğinden başlar. Bu nedenle Diesel motorlarında karbüratör ve bujinin yerini yakıt enjektörü alır. Diesel motorlarında sıkıştırma stroku süresince yalnızca hava sıkıştırıldığından, kendiliğinden tutuşma olasılığı yoktur. Bu yüzden Diesel motorları çok daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışacak şekilde tasarlanırlar. Kendiliğinden tutuşma sorunu olmamasının bir başka yararı daha vardır. Vuruntu dayanımını artırmak için benzine katılan bir çok katkı maddesi Diesel yakıtı için gereksizdir ve daha az rafine edilmiş yakıtlar Diesel motorlarında kullanılabilir. Diesel motorlarında yakıt enjeksiyonu, sıkıştırma işlemi sonlarına doğru, piston üst ölü noktaya (ÜÖN) yaklaşırken başlar ve güç strokunun ilk kısmı süresince devam eder. Bu nedenle Diesel motorlarında yanma işlemi daha uzun bir zaman alır. Sürenin uzunluğu nedeniyle yanma işlemi, ideal Diesel çevriminde, sabit basınçta ısı girişi şeklinde ele alınır. Diesel çevrimi, kapalı bir sistem oluşturan bir piston-silindir düzeneği içinde gerçekleşir. Diesel çevrimine ait  $P$  (kPa)- $v$  ( $m^3/kg$ ) diyagramı ile  $T$  ( $^{\circ}C$  veya  $K$ )- $s$  ( $kJ/kgK$ ) diyagramı aşağıda verildiği gibidir:

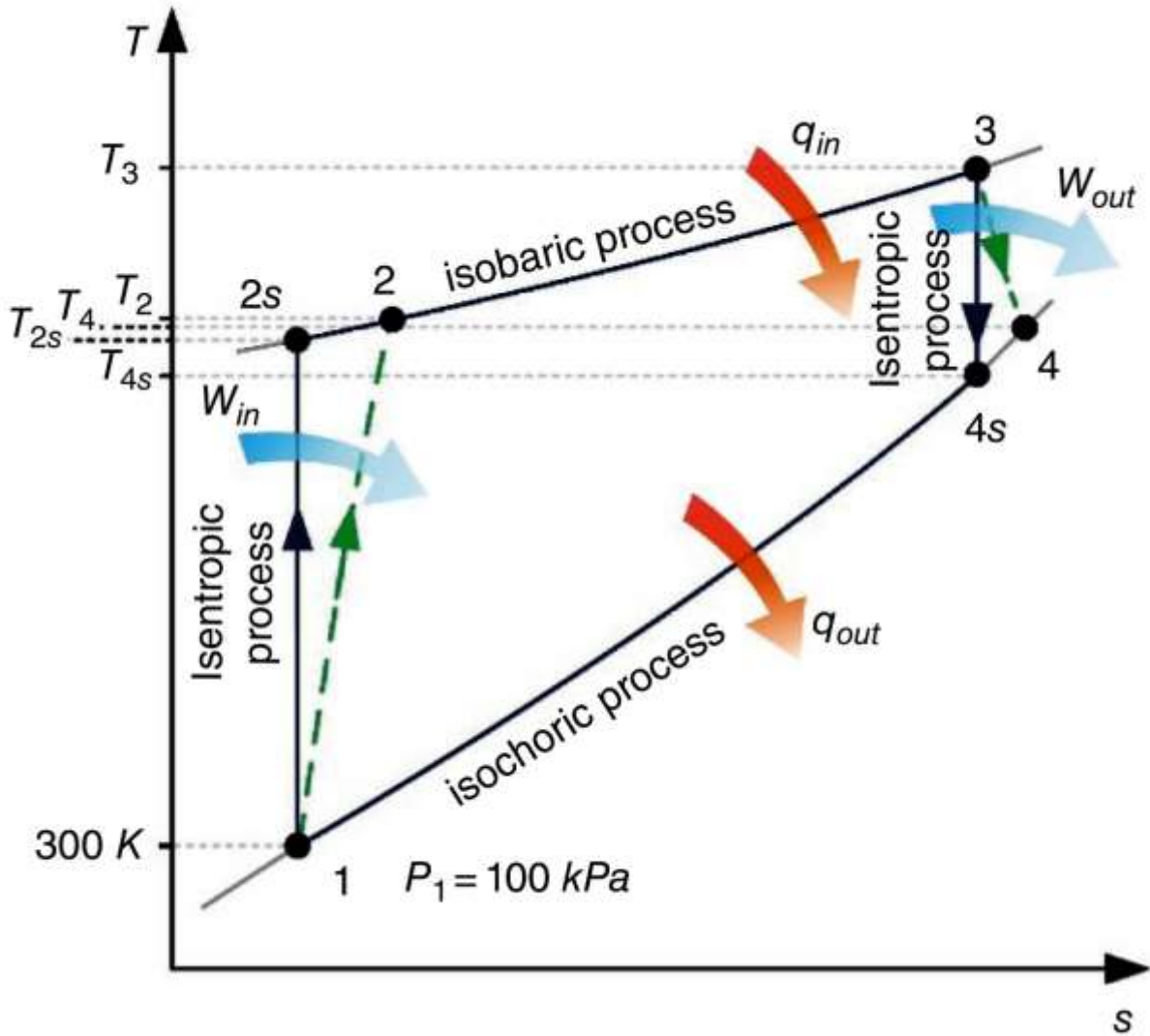


**Soru:** Bir Diesel çevriminin sıkıştırma oranı **16** ve kesme oranı **2** olarak verilmiştir. Sıkıştırma işleminin başlangıcında, basınç **100 kPa**, sıcaklık **27°C** ve çalışma akışkanının hacmi **2 L (litre)** değerindedir. Diesel çevrimi için izantropik sıkıştırma verimi **%80**, izantropik genişleme verimi **%85**, ısı girişine ait ısı kaynak sıcaklığı **2000 K** ve ölü hal sıcaklığı **300 K** olarak belirtilmiştir. Çalışma akışkanı da hava olarak alınabilir.

- Her işlem için kütle, enerji, entropi ve ekserji denge eşitliklerini yazınız.
- Her işlem için havanın sıcaklığını [K] olarak ve basıncını [kPa] olarak hesaplayınız.
- Net iş çıktısını [kJ] olarak belirleyiniz.
- Isı girişi işlemi için entropi üretimini [kJ/K] olarak ve ekserji yıkımını (yok oluşunu) [kJ] olarak hesaplayınız.
- Enerji ve ekserji verimlerini [%] olarak belirleyiniz.
- Ortalama efektif basınç (OEB) değerini [kPa] olarak hesaplayınız.

### Çözüm:

Diesel çevriminin T (K)-s (kJ/kgK) diyagramı:



Isentropic process: İzantropik işlem

Isobaric process: İzobarik işlem (Eşbasınç işlemi)

Isochoric process: İzokorik işlem (Eşhacim işlemi)

$W_{in}$ :  $W_{giren}$ ;  $W_{out}$ :  $W_{çıkan}$ ;  $Q_{in}$ :  $Q_{giren}$ ;  $Q_{out}$ :  $Q_{çıkan}$

## Diesel Çevrimi:

1) Kütle (KDE), Enerji (ENDE), Entropi (ETDE) ve Ekserji (EKDE) dengesi eşitlikleri:

### İşler 1-2, Sıkıştırma:

$$\text{KDE: } \underbrace{\sum m_{giren}}_{\text{Sınırdan}} - \underbrace{\sum m_{çikan}}_{\text{Sınır içi}} = \Delta m_{\text{sistem}} \text{ (kg)}$$

$$m_{giren} = m_1, m_{çikan} = m_2, \Delta m_{\text{sistem}} = 0$$
$$\underline{m_1 = m_2 = m \text{ (kg)}}$$

$$\text{ENDE: } \underbrace{E_{giren}}_{\text{Sınırdan}} - \underbrace{E_{çikan}}_{\text{Sınır içi}} = \Delta E_{\text{sistem}} \text{ (J)}$$

$$E_{giren} = W_{giren} \quad \Delta E_{\text{sistem}} = m \Delta u + \Delta KE + \Delta PE$$
$$E_{çikan} = 0 \quad \cong m \Delta u$$

$$\underline{W_{giren} = m(u_2 - u_1) \text{ (J)}}$$
$$\underline{= m c_v (T_2 - T_1)}$$

$$\text{ETDE: } \underbrace{S_{giren}}_{\text{Sınırdan}} - \underbrace{S_{çikan}}_{\text{Sınır içi}} + S_{\text{öretim}} = \Delta S_{\text{sistem}} \text{ (J/K)}$$

$$S_{giren} = 0, S_{çikan} = 0$$

$$\Delta S_{\text{sistem}} = m(s_2 - s_1)$$
$$= m(c_v \ln T_2/T_1 + R \ln v_2/v_1)$$
$$= m(c_p \ln T_2/T_1 - R \ln P_2/P_1)$$

$$R = c_p - c_v$$

$$\underline{S_{\text{öretim}} = m(s_2 - s_1) \text{ (J/K)}}$$

$$\text{EKDE: } \underbrace{X_{giren}}_{\text{Sınırdan}} - \underbrace{X_{çikan}}_{\text{Sınır içi}} - X_{\text{yıkım}} = \Delta X_{\text{sistem}} \text{ (J)}$$

$$X_{giren} = W_{\text{yararlı}}, X_{çikan} = 0$$

$$\Delta X_{\text{sistem}} = m(x_2 - x_1)$$
$$= m(u_2 - u_1) + m P_0 (v_2 - v_1) - m T_0 (s_2 - s_1) + m \Delta ke + m \Delta pe$$

$$\underline{X_{\text{yıkım}} = X_{\text{çık}} = I = W_{\text{yararlı}} - m(x_2 - x_1) \text{ (J)}}$$

İşlem 2-3, İzobarik ( $P_2 = P_3$ ) Isı Girişi:

KDE:  $m_2 = m_3 = m$  (kg)

ENDE:  $E_{giren} - E_{çikan} = \Delta E_{sistem}$  (J)

$E_{giren} = \dot{Q}_{giren}$ ,  $E_{çikan} = W_{sınır}$

$\Delta E_{sistem} = m \Delta u$

$(W_{sınır} = \int P dV)$

$\dot{Q}_{giren} - W_{sınır} = m(u_3 - u_2)$

$\dot{Q}_{giren} = W_{sınır} + m(u_3 - u_2)$

$= m(P_3 u_3 - P_2 u_2) + m(u_3 - u_2)$

$(h = u + Pv)$

$= m(h_3 - h_2)$

$= m c_p (T_3 - T_2)$  (J)

ETDE:  $S_{giren} - S_{çikan} + S_{öretim} = \Delta S_{sistem}$  (J/K)

$S_{giren} = S_{isi}$ ,  $S_{çikan} = 0$

$\Delta S_{sistem} = m \Delta s = m(s_3 - s_2) = m(c_p \ln T_3 / T_2)$

$S_{öretim} = m(s_3 - s_2) - S_{isi}$

$= m(s_3 - s_2) - \dot{Q}_{giren} / T_k$  (J/K)

EKDE:  $X_{giren} - X_{çikan} - X_{yıkım} = \Delta X_{sistem}$  (J)

$X_{giren} = X_{isi}$ ,  $X_{çikan} = X_{ip} = W_{yararlı, 23}$

$\Delta X_{sistem} = m(x_3 - x_2)$

$= m(u_3 - u_2) + m P_0 (u_3 - u_2) - m T_0 (s_3 - s_2)$

$X_{yıkım} = X_{yo} = I = X_{isi} - X_{ip} - \Delta X_{sistem}$

$= \dot{Q}_{giren} \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) - W_{yararlı, 23} - m(x_3 - x_2)$  (J)

### İşlem 3-4, Genişleme:

$$\text{KDE: } m_3 = m_4 = m \text{ (kg)}$$

$$\text{ENDE: } E_{gires} - E_{sikon} = \Delta E_{sistem} \text{ (J)}$$

$$E_{gires} = 0, E_{sikon} = W_{sikon}$$

$$\Delta E_{sistem} = m \Delta U$$

$$- W_{sikon} = m(U_4 - U_3)$$

$$W_{sikon} = m(U_3 - U_4) \\ = m c_v (T_3 - T_4) \text{ (J)}$$

$$\text{ETDE: } S_{gires} - S_{sikon} + S_{siretim} = \Delta S_{sistem} \text{ (J/K)}$$

$$S_{gires} = 0, S_{sikon} = 0$$

$$\Delta S_{sistem} = m(S_4 - S_3) = m(c_v \ln T_4/T_3 + R \ln U_4/U_3)$$

$$S_{siretim} = m \Delta S = m(S_4 - S_3) \text{ (J/K)}$$

$$\text{EKDE: } X_{gires} - X_{sikon} - X_{yikim} = \Delta X_{sistem} \text{ (J)}$$

$$X_{gires} = 0, X_{sikon} = X_{is} = W_{sikon} - W_{cevre} = W_{yoran/1,34}$$

$$\Delta X_{sistem} = m(X_4 - X_3)$$

$$= m(U_4 - U_3) + m P_0 (U_4 - U_3) - m T_0 (S_4 - S_3)$$

$$X_{yikim} = X_{y0} = I = -W_{yoran/1,34} - m(X_4 - X_3)$$

$$= m(X_3 - X_4) - W_{yoran/1,34} \text{ (J)}$$

İşlem 4-1 İzokorik ( $U_1=U_4$ ) / Sı Gıksı:

KDE:  $m_1=m_2=m$  (kg)

ENDE:  $E_{giren} - E_{çıkon} = \Delta E_{sistem}$  (J)

$E_{giren} = 0, E_{çıkon} = Q_{çıkon}$

$\Delta E_{sistem} = m \Delta U = m (U_1 - U_4)$

$-Q_{çıkon} = m (U_1 - U_4)$

$Q_{çıkon} = m (U_4 - U_1) = m c_u (T_4 - T_1)$  (J)

ETDE:  $S_{giren} - S_{çıkon} + S_{süretim} = \Delta S_{sistem}$  (J/K)

$S_{giren} = 0, S_{çıkon} = S_{sı}$

$\Delta S_{sistem} = m \Delta s = m (s_1 - s_4)$   
 $= m (c_u \ln T_1/T_4)$

$S_{süretim} = S_{sı} + m (s_1 - s_4)$   
 $= \frac{Q_{çıkon}}{T_{sı}} + m (s_1 - s_4)$  (J/K)

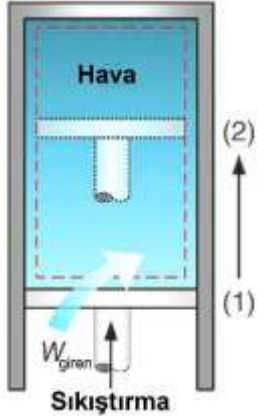
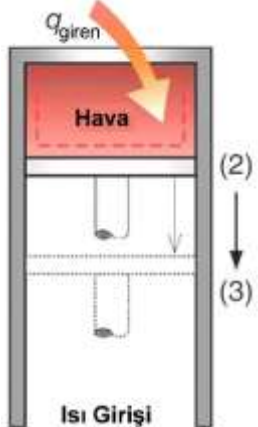
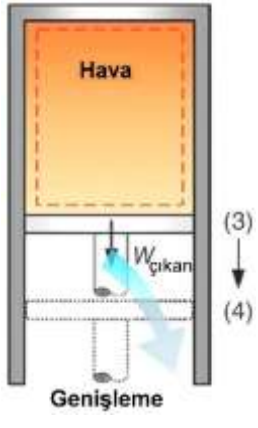
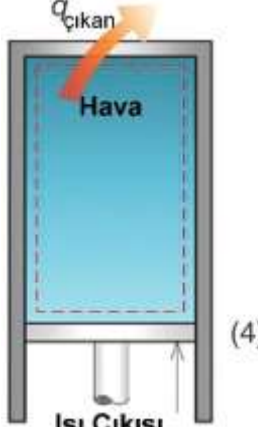
EKDE:  $X_{giren} - X_{çıkon} - X_{yıkın} = \Delta X_{sistem}$  (J)

$X_{giren} = 0, X_{çıkon} = X_{sı}$

$\Delta X_{sistem} = m \Delta x = m (x_1 - x_4)$   
 $= m (U_1 - U_4) + m P_0 (U_1 - U_4) - m T_0 (s_1 - s_4)$   
 $= m (U_1 - U_4) - m T_0 (s_1 - s_4)$

$X_{yıkın} = X_{yo} = I = -X_{sı} - \Delta X_{sistem}$   
 $= m (x_4 - x_1) - \left(1 - \frac{T_0}{T_{sı}}\right) Q_{çıkon}$  (J)

Diesel çevrimi için kütle (KDE), enerji (ENDE), entropi (ETDE) ve ekserji (EKDE) dengesi eşitlikleri

İşlem	Denge Eşitlikleri
	<p>KDE: <math>m_1 = m_2 = m</math></p> <p>ENDE: <math>W_{giren} = m(u_2 - u_1)</math></p> <p>ETDE: <math>S_{üretim} = m(s_2 - s_1)</math></p> <p>EKDE: <math>X_{yıkım} = W_{yararlı,12} - m(x_2 - x_1)</math></p>
	<p>KDE: <math>m_2 = m_3 = m</math></p> <p>ENDE: <math>Q_{giren} - W_{sınır,23} = m(u_3 - u_2) \rightarrow Q_{giren} = m(h_3 - h_2)</math></p> <p>ETDE: <math>S_{üretim} = m(s_3 - s_2) - \frac{Q_{giren}}{T_k}</math></p> <p>EKDE: <math>X_{yıkım} = Q_{giren} \left(1 - \frac{T_o}{T_k}\right) - W_{yararlı,23} - m(x_3 - x_2)</math></p>
	<p>KDE: <math>m_3 = m_4 = m</math></p> <p>ENDE: <math>W_{çıkan} = -m(u_4 - u_3)</math></p> <p>ETDE: <math>S_{üretim} = m(s_4 - s_3)</math></p> <p>EKDE: <math>X_{yıkım} = -W_{yararlı,34} - m(x_4 - x_3)</math></p>
	<p>KDE: <math>m_4 = m_1 = m</math></p> <p>ENDE: <math>Q_{çıkan} = m(u_4 - u_1)</math></p> <p>ETDE: <math>S_{üretim} = -m(s_4 - s_1) + \frac{Q_{giren}}{T_k}</math></p> <p>EKDE: <math>X_{yıkım} = -Q_{çıkan} \left(1 - \frac{T_o}{T_{sınır}}\right) + m(x_4 - x_1)</math></p>

b) Sıcaklık ve Basınç Değerleri:

Verilen:  $V_1 = 2$  litre (L)

$V_1 = V_4$  (İzokorik işlem)

$$\text{Sıkıştırma oranı, } r = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_1}{V_2} = 16 \rightarrow V_2 = \frac{V_1}{16} = \frac{2 \text{ litre}}{16} = 0,125 \text{ litre}$$

$$\text{Öngensleme (kesme) oranı: } r_k = \frac{V_3}{V_2} = 2 \rightarrow V_3 = 2 V_2 \\ V_3 = 2 (0,125 \text{ litre}) \\ = 0,250 \text{ litre}$$

(Yanma işlemleri sonundaki ve basınçtaki silindirik hacimleri oranı)

$$T_1 = 300 \text{ K}, P_1 = 100 \text{ kPa} \text{ (Verilen)}$$

Oda sıcaklığı olan 300 K için havanın özellikleri:

$$C_p = 1,005 \text{ kJ/kgK}, C_v = 0,718 \text{ kJ/kgK}, k = 1,4$$

$$R = 0,287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{İzotropik işlem: } \frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \rightarrow T_{2s} = (300 \text{ K}) \left(\frac{2 \text{ L}}{0,125 \text{ L}}\right)^{1,4-1} = \underline{\underline{909,43 \text{ K}}}$$

Sıkıştırma izotropik verimi,  $\eta_k = 0,8$

$$\eta_k = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \rightarrow 0,8 = \frac{909,43 \text{ K} - 300 \text{ K}}{T_2 - 300 \text{ K}} \rightarrow \underline{\underline{T_2 = 1061,79 \text{ K}}}$$

$$\text{İzotropik işlem: } \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \rightarrow P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k$$

$$P_2 = (100 \text{ kPa}) (16)^{1,4} = 4850,29 \text{ kPa}$$

$$P_3 = P_2 = \underline{\underline{4850,29 \text{ kPa}}} \text{ (İzobarik işlem)}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 V_3 = RT_3 \\ P_2 V_2 = RT_2 \end{array} \right\} \frac{P_3 V_3}{P_2 V_2} = \frac{T_3}{T_2} \rightarrow \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$T_3 = T_2 (2) = (1061,79 \text{ K}) (2)$$

$$\underline{\underline{T_3 = 2123,58 \text{ K}}}$$



Isotropik işlem:  $\frac{T_{45}}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1} \rightarrow T_{45} = (2123,58 \text{ K}) (0,25 \text{ L}/2 \text{ L})^{1,4-1}$   
 $T_{45} = \underline{\underline{924,34 \text{ K}}}$

Genleşme isotropik verimi,  $\eta_G = 0,85$

$$\eta_G = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{45}} \rightarrow \frac{2123,58 \text{ K} - T_4}{2123,58 \text{ K} - 924,34 \text{ K}} = 0,85$$

$$T_4 = \underline{\underline{1104,23 \text{ K}}}$$

Isotropik işlem:  $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma} \rightarrow P_4 = P_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma}$   
 $= (4850,29 \text{ kPa}) (0,25 \text{ L}/2 \text{ L})^{1,4}$   
 $= \underline{\underline{263,90 \text{ kPa}}}$

Kütle hesabı:  $PV = mRT \rightarrow P_1 V_1 = mRT_1$

$$(100 \text{ kPa}) (0,002 \text{ m}^3) = m (0,287 \text{ kJ/kgK}) (300 \text{ K})$$

$$(V_1 = 2 \text{ litre} = 0,002 \text{ m}^3)$$

$$m = \underline{\underline{2,3229 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}}$$

c) Net iş çıkışı:

Gevrim için enerji dengesi eşitliği:

$$E_{\text{giren}} - E_{\text{çikan}} = \Delta E_{\text{sistem}} \text{ (J)}$$

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $W_{\text{giren}}$   $W_{\text{çikan}}$   $= 0 \text{ (Gevrim için)}$   
 $Q_{\text{giren}}$   $Q_{\text{çikan}}$

$$W_{\text{giren}} - W_{\text{çikan}} = Q_{\text{çikan}} - Q_{\text{giren}}$$

$$W_{\text{çikan}} - W_{\text{giren}} = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çikan}}$$

$$W_{\text{net, çikan}} = Q_{\text{giren}} - Q_{\text{çikan}}$$

Oda sıcaklığında sabit özgül ısılar yaklaşımı:

$$\begin{aligned} Q_{giren} &= m(h_3 - h_2) \\ &= m c_p (T_3 - T_2) \\ &= (2,3229 \cdot 10^{-3} \text{ kg}) \underbrace{(1,005 \text{ kJ/kgK})}_{300\text{K için } c_p} (2123,58 - 1061,79) \text{ K} \\ &= \underline{\underline{2,479 \text{ kJ}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{çıkan} &= m(u_4 - u_1) \\ &= m c_v (T_4 - T_1) \\ &= (2,3229 \cdot 10^{-3} \text{ kg}) (0,718 \text{ kJ/kgK}) (1104,23 - 300) \text{ K} \\ &= \underline{\underline{1,341 \text{ kJ}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{net,çıkan} &= 2,479 - 1,341 \\ &= \underline{\underline{1,138 \text{ kJ}}} \end{aligned}$$

Değişken özgül ısılar yaklaşımı:

$$T_1 = 300 \text{ K için } u_1 = 214,07 \text{ kJ/kg (Tablo A17)}$$

$$T_4 = 1104,23 \text{ K için } u_4 = 849,02 \text{ kJ/kg (İnterpolasyon ile)}$$

$$T_2 = 1061,79 \text{ K için } h_2 = 1120,38 \text{ kJ/kg (İnterpolasyon ile)}$$

$$T_3 = 2123,58 \text{ K için } h_3 = 2407,22 \text{ kJ/kg (İnterpolasyon ile)}$$

$$\begin{aligned} Q_{giren} &= m(h_3 - h_2) \\ &= (2,3229 \cdot 10^{-3} \text{ kg}) (2407,22 - 1120,38) \text{ kJ/kg} \\ &= \underline{\underline{2,99 \text{ kJ}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{çıkan} &= m(u_4 - u_1) \\ &= (2,3229 \cdot 10^{-3} \text{ kg}) (849,02 - 214,07) \text{ kJ/kg} \\ &= \underline{\underline{1,47 \text{ kJ}}} \end{aligned}$$

$$W_{net,çıkan} = 2,99 - 1,47 = \underline{\underline{1,52 \text{ kJ}}} \quad (\text{Gerçeğe daha yakın değer})$$

4) Isı girişi işlemi için: Entropi Dışımı ve Ekseji Yıkımı:

Oda sıcaklığında sabit özgül ısılar yaklaşımı:

$$\begin{aligned}m(s_3 - s_2) &= m c_p \ln(T_3/T_2) \\ &= (2,3229 \cdot 10^{-3} \text{ kg})(1,005 \text{ kJ/kgK}) \ln \frac{2123,58 \text{ K}}{1061,79 \text{ K}} \\ &= 1,618162144 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{\text{netin}} &= m(s_3 - s_2) - \frac{Q_{\text{giren}}}{T_k} \quad (T_k = 2000 \text{ K, verilmiş}) \\ &= (1,618162144 \cdot 10^{-3} \text{ kg}) - \frac{2,479 \text{ kJ}}{2000 \text{ K}} \\ &= \underline{\underline{3,7866 \cdot 10^{-4} \text{ kJ/K}}}\end{aligned}$$

Değişken özgül ısılar yaklaşımı:

$$T_2 = 1061,79 \text{ K için } s_2^0 = 3,0364 \text{ kJ/kgK (Tablo A17, interpolasyon ile)}$$

$$T_3 = 2123,58 \text{ K için } s_3^0 = 3,8747 \text{ kJ/kgK (interpolasyon ile)}$$

$$\begin{aligned}s_3 - s_2 &= s_3^0 - s_2^0 - R \ln(P_3/P_2) \\ &\quad \underbrace{P_3 = P_2 \text{ için } \ln 1 = 0}\end{aligned}$$

$$s_3 - s_2 = 3,8747 - 3,0364 = 0,8383 \text{ kJ/kgK}$$

$$\begin{aligned}m(s_3 - s_2) &= (2,3229 \cdot 10^{-3} \text{ kg})(0,8383 \text{ kJ/kgK}) \\ &= 1,94728707 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{\text{netin}} &= (1,94728707 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/K}) - \frac{2,99 \text{ kJ}}{2000 \text{ K}} \\ &= \underline{\underline{4,52287 \cdot 10^{-4} \text{ kJ/K}}}\end{aligned}$$

Oda sıcaklığında sabit özgül ısılar yaklaşımı:

$$X_{\text{yıkım}} = X_{\text{ısı,giren}} - W_{\text{yararlı,23}} - m(x_3 - x_2)$$

$$X_{\text{ısı,giren}} = Q_{\text{giren}} \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right)$$

$$W_{\text{yararlı,23}} = \int_2^3 P dV - m P_0 (u_3 - u_2) = m P_3 (u_3 - u_2) - m P_0 (u_3 - u_2)$$

$\uparrow$   
 $P_2 = P_3 = \text{sabit}$

$$\Delta X_{\text{sistem}} = m(x_3 - x_2) = m(u_3 - u_2) + m P_0 (u_3 - u_2) - m T_0 (s_3 - s_2)$$

$$X_{\text{yıkım}} = X_{\text{ısı,giren}} - \underbrace{m P_3 (u_3 - u_2) - m(u_3 - u_2) + m T_0 (s_3 - s_2)}_{-m(P_3 u_3 - P_2 u_2 + u_3 - u_2) - m(h_3 - h_2)}$$

$$X_{\text{yıkım}} = X_{\text{ısı,giren}} - m(h_3 - h_2) + m T_0 (s_3 - s_2)$$

$$= Q_{\text{giren}} \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) - m c_p (T_3 - T_2) + m T_0 (s_3 - s_2)$$

$$= 2,479 \text{ kJ} \left(1 - \frac{300 \text{ K}}{2000 \text{ K}}\right) - (2,3229 \cdot 10^3 \text{ kg}) (1,005 \text{ kJ/kgK})$$

$$(2123,58 - 1061,79) \text{ k} + (300 \text{ K}) (1,618162144 \cdot 10^{-3} \text{ J/K})$$

$$= \underline{\underline{0,11383 \text{ kJ}}}$$

Değişken özgül ısılar yaklaşımı:

$$m(h_3 - h_2) = (2,3229 \cdot 10^3 \text{ kg}) (2467,22 - 1120,38) \text{ kJ/kg}$$

$$= 2,9892 \text{ kJ}$$

$$m(s_3 - s_2) = (2,3229 \cdot 10^3 \text{ kg}) (0,8383 \text{ kJ/kgK})$$

$$= 1,94728707 \cdot 10^3 \text{ kJ/K}$$

$$X_{\text{yıkım}} = 2,99 \text{ kJ} \left(1 - \frac{300 \text{ K}}{2000 \text{ K}}\right) - 2,9892 \text{ kJ} + (1,94728707 \cdot 10^3 \text{ kJ/K}) (300 \text{ K})$$

$$= \underline{\underline{0,13649 \text{ kJ}}}$$

Oda sıcaklığında sabit özgül ısılar yaklaşımı:

$$X_{\text{yıkım}} = X_{\text{ısı,giren}} - W_{\text{yararlı,23}} - m(x_3 - x_2)$$

$$X_{\text{ısı,giren}} = Q_{\text{giren}} \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \quad P_2 = P_3 = \text{sabit}$$

$$W_{\text{yararlı,23}} = \int_2^3 P dV - m P_0 (u_3 - u_2) = m P_3 (u_3 - u_2) - m P_0 (u_3 - u_2)$$

$$\Delta X_{\text{sistem}} = m(x_3 - x_2) = m(u_3 - u_2) + m P_0 (u_3 - u_2) - m T_0 (s_3 - s_2)$$

$$X_{\text{yıkım}} = X_{\text{ısı,giren}} - \underbrace{m P_3 (u_3 - u_2) - m(u_3 - u_2) + m T_0 (s_3 - s_2)}_{-m(P_3 u_3 - P_2 u_2 + u_3 - u_2) - m(h_3 - h_2)}$$

$$X_{\text{yıkım}} = X_{\text{ısı,giren}} - m(h_3 - h_2) + m T_0 (s_3 - s_2)$$

$$= Q_{\text{giren}} \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) - m c_p (T_3 - T_2) + m T_0 (s_3 - s_2)$$

$$= 2,479 \text{ kJ} \left(1 - \frac{300 \text{ K}}{2000 \text{ K}}\right) - (2,3229 \cdot 10^3 \text{ kg}) (1,005 \text{ kJ/kgK})$$

$$(2123,58 - 1061,79) \text{ k} + (300 \text{ K}) (1,618162144 \cdot 10^{-3} \text{ J/K})$$

$$= \underline{\underline{0,11383 \text{ kJ}}}$$

Değişken özgül ısılar yaklaşımı:

$$m(h_3 - h_2) = (2,3229 \cdot 10^3 \text{ kg}) (2467,22 - 1120,38) \text{ kJ/kg} = 2,9892 \text{ kJ}$$

$$m(s_3 - s_2) = (2,3229 \cdot 10^3 \text{ kg}) (0,8383 \text{ kJ/kgK}) = 1,94728707 \cdot 10^3 \text{ kJ/K}$$

$$X_{\text{yıkım}} = 2,99 \text{ kJ} \left(1 - \frac{300 \text{ K}}{2000 \text{ K}}\right) - 2,9892 \text{ kJ} + (1,94728707 \cdot 10^3 \text{ kJ/K}) (300 \text{ K})$$

$$= \underline{\underline{0,13649 \text{ kJ}}}$$

d) Enerji ve Eksergi Verimleri:

Oda sıcaklığında sabit özgül ısılar yaklaşımı:

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{giren}}} = \frac{1,138 \text{ kJ}}{2,479 \text{ kJ}} = 0,459 \text{ (\%45,9)}$$

İzotropik olmayan işlem için

$$\eta_{\text{ısı}} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[ \frac{r^k - 1}{k(r-1)} \right] = 1 - \frac{1}{16^{1,4-1}} \left[ \frac{2^{1,4} - 1}{1,4(2-1)} \right] = 0,614 \text{ (\%61,4)}$$

İzotropik işlem için

$$\eta_{\text{eksergi}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{giren}} \left( 1 - \frac{T_0}{T_k} \right)} = \frac{1,138 \text{ kJ}}{2,479 \text{ kJ} \left( 1 - \frac{300 \text{ K}}{2000 \text{ K}} \right)} = 0,54 \text{ (\%54)}$$

Değişken özgül ısılar yaklaşımı:

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{1,52 \text{ kJ}}{2,99 \text{ kJ}} = 0,508 \text{ (\%50,8)}$$

$$\eta_{\text{eksergi}} = \frac{1,52 \text{ kJ}}{2,99 \text{ kJ} \left( 1 - \frac{300 \text{ K}}{2000 \text{ K}} \right)} = 0,598 \text{ (\%59,8)}$$

e) OEB hesabı:

Oda sic.  
sabit  
özgül  
ısılar  
yaklaşımı

$$\left\{ \begin{aligned} \text{OEB} &= \frac{W_{\text{net}}}{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}} = \frac{W_{\text{net}}}{V_1 - V_2} = \frac{1,138 \text{ kJ}}{\frac{(2 - 0,125) \text{ litre}}{1000 \text{ litre/m}^3}} = 606,93 \text{ kPa} \\ \text{OEB} &= \frac{W_{\text{net}}}{V_1 (1 - 1/r)} = \frac{1,138 \text{ kJ}}{(2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3) (1 - 1/16)} = 606,93 \text{ kPa} \\ r &= v_1/v_2 \rightarrow v_1 - v_2 = v_1 (1 - 1/r) \end{aligned} \right.$$

Değişken özgül  
ısılar yaklaşımı

$$\left\{ \text{OEB} = \frac{1,52 \text{ kJ}}{1,875 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 810,6 \text{ kPa} \right.$$

## **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).*