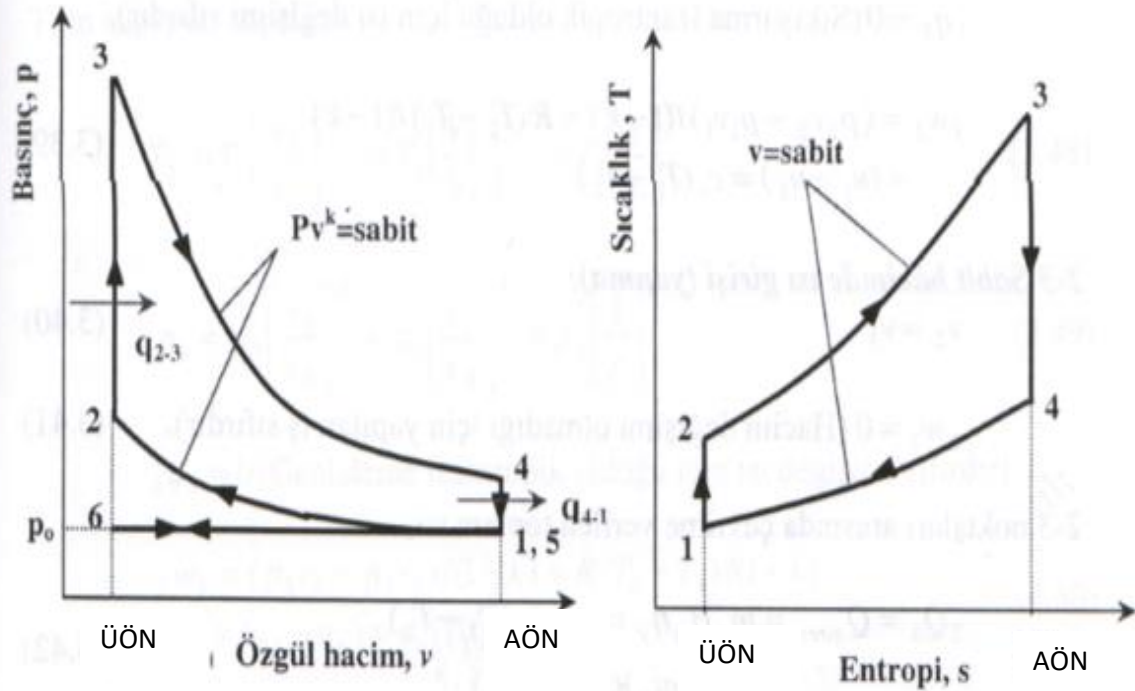


### 3.2.2. Sabit Hacim (Otto) Çevrimi

Sabit hacim çevrimi, Otto motorlarının temel teorik çevrimi olarak kabul edilmektedir. Çevrimin p-v ve T-s diyagramları Şekil 3.5 de görülmektedir. İzantropik sıkıştırma, sabit hacimde ısı girişi, izantropik genişleme ve sabit hacimde egzoz safhalarından oluşan bu çevrimin analizi için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.



6-1: emme

1-2: izantropik sıkıştırma

2-3: sabit hacimde ısı girişi

3-4: izantropik genişleme

4-1: sabit hacimde ısı çıkışı

5-6: egzoz

$p_o$ : referans basıncı

Şekil 3.5: Sabit hacim çevriminin p-v ve T-s diyagramları [9].

**6-1 Havanın sabit basınçta ( $p_o$ ) emilmesi:**

Bu süreçte emme supabı açık, egzoz supabı ise kapalıdır.

$$p_1 = p_6 = p_o \quad (3.35)$$

$${}_6 w_1 = p_o(v_1 - v_6) \quad (3.36)$$

**1-2 İzantropik (Tersinir adyabatik) sıkıştırma:**  
Tüm supaplar kapalıdır.

$$T_2 = T_1 \left[ \frac{v_1}{v_2} \right]^{k-1} = T_1 \left[ \frac{V_1}{V_2} \right]^{k-1} = T_1 (\varepsilon)^{k-1} \quad (3.37)$$

$$p_2 = p_1 \left[ \frac{v_1}{v_2} \right]^k = p_1 \left[ \frac{V_1}{V_2} \right]^k = p_1 (\varepsilon)^k \quad (3.38)$$

${}_1 q_2 = 0$  (Sıkıştırma izantropik olduğu için ısı değişimi sıfırdır).

$$\begin{aligned} {}_1 w_2 &= (p_2 v_2 - p_1 v_1) / (1 - k) = R(T_2 - T_1) / (1 - k) \\ &= (u_1 - u_2) = c_v(T_1 - T_2) \end{aligned} \quad (3.39)$$

**2-3 Sabit hacimde ısı girişi (yanma):**

$$v_2 = v_3 \quad (3.40)$$

$${}_2 w_3 = 0 \text{ (Hacim değişimi olmadığı için yapılan iş sıfırdır).} \quad (3.41)$$

2-3 noktaları arasında çevrime verilen toplam ısı;

$$\begin{aligned} {}_2 Q_3 &= Q_{giren} = m_y H_u \eta_y = m_{top} c_v (T_3 - T_2) \\ &= (m_h + m_y) c_v (T_3 - T_2) \end{aligned} \quad (3.42)$$

$$H_u \eta_y = \left( \frac{H}{Y} + 1 \right) c_v (T_3 - T_2) \quad (3.43)$$

Burada  $\eta_y$  = yanma verimi,  $H_u$ : yakıtın alt ısı değeri,  $m_{top}$ : çevrime giren toplam kütle (yakıt+hava kütlesi),  $m_h$ : havanın kütlesi,  $m_y$ : yakıtın kütlesini temsil eder.

İş gazlarının birim kütlesi başına verilen ısı ise;

$${}_2 q_3 = q_{giren} = c_v (T_3 - T_2) = (u_3 - u_2) \quad (3.44)$$

2 ve 3 noktaları için ideal gaz denklemleri yazılıp  $T_3$  sıcaklığı çekilirse;

$$p_2 v_2 = RT_2 \quad (3.45)$$

$$p_3 v_3 = RT_3 \quad (3.46)$$

$$T_3 = T_2 \frac{p_3}{p_2} \quad (3.47)$$

denklemleri elde edilir. Burada ( $p_3 / p_2 = r_p$ ) oranına basınç artış oranı denir.

### 3-4 İzantropik (Tersinir adyabatik) genişleme:

Tüm supaplar kapalıdır.

$$T_4 = T_3 \left[ \frac{v_3}{v_4} \right]^{k-1} = T_3 \left[ \frac{V_3}{V_4} \right]^{k-1} = T_3 \left[ \frac{1}{\varepsilon} \right]^{k-1} \quad (3.48)$$

$$p_4 = p_3 \left[ \frac{v_3}{v_4} \right]^k = p_3 \left[ \frac{V_3}{V_4} \right]^k = p_3 \left[ \frac{1}{\varepsilon} \right]^k \quad (3.49)$$

${}_3 q_4 = 0$  (Genişleme izantropik olduğu için ısı değişimi sıfırdır).

$$\begin{aligned} {}_3 w_4 &= (p_4 v_4 - p_3 v_3) / (1 - k) = R (T_4 - T_3) / (1 - k) \\ &= (u_3 - u_4) = c_v (T_3 - T_4) \end{aligned} \quad (3.50)$$

### 4-5 Sabit hacimde ısı atılması (egzoz blowdown):

Egzoz supabı açık, emme supabı ise kapalıdır.

$$v_5 = v_4 = v_1 \quad (3.51)$$

$${}_4 w_5 = 0 \text{ (Hacim değişimi olmadığı için yapılan iş sıfırdır).} \quad (3.52)$$

4-5 noktaları arasında çevrimden atılan toplam ısı;

$${}_4 Q_5 = Q_{\text{çıkan}} = m_{\text{top}} c_v (T_5 - T_4) = m_{\text{top}} c_v (T_1 - T_4) \quad (3.53)$$

İş gazlarının birim kütlesi başına atılan ısı ise;

$${}_4q_5 = q_{\text{çıkan}} = c_v(T_5 - T_4) = (u_5 - u_4) = c_v(T_1 - T_4) \quad (3.54)$$

**5-6 Egzoz gazlarının sabit basınçta ( $p_o$ ) atılması:**

$$p_5 = p_6 = p_o \quad (3.55)$$

$${}_5w_6 = p_o(v_6 - v_5) = p_o(v_6 - v_1) \quad (3.56)$$

**Çevrimin ısı verimi:**

$$\begin{aligned} \eta_t &= \frac{|w_{\text{net}}|}{|q_{\text{giren}}|} = \frac{|q_{\text{giren}} - q_{\text{çıkan}}|}{|q_{\text{giren}}|} = 1 - \frac{|q_{\text{çıkan}}|}{|q_{\text{giren}}|} \\ &= 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \end{aligned} \quad (3.57)$$

Görüldüğü gibi sadece sıcaklıkların bilinmesiyle ısı verim hesaplanabilir. Bu ifade sıkıştırma ve genişleme süreçleri için ideal gaz denklemleri kullanılarak daha da basitleştirilebilir.  $v_1 = v_4$  ve  $v_2 = v_3$  olduğuna göre;

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_4}{v_3}\right)^{k-1} = \frac{T_3}{T_4} \quad (3.58)$$

Sıcaklık terimleri kendi aralarında yeniden düzenlenirlerse;

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad (3.59)$$

(3.57) eşitliği tekrar düzenlenirse;

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} \left\{ \frac{\frac{T_4}{T_1} - 1}{\frac{T_3}{T_2} - 1} \right\} \quad (3.60)$$

(3.59) eşitliği kullanılırsa;

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (3.61)$$

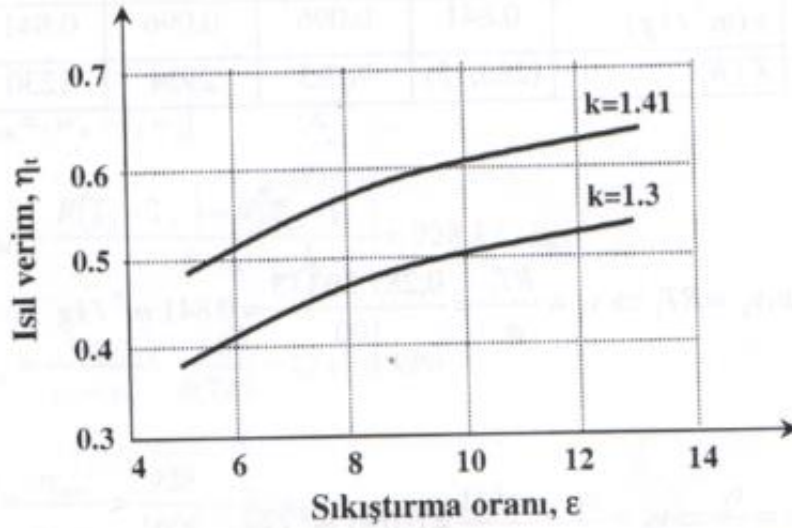
olarak bulunur.  $(T_1/T_2)$  ifadesi (3.37) eşitliğine göre yazılırsa;

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}} \quad (3.62)$$

$(v_1/v_2)$  oranı yerine sıkıştırma oranı  $(\varepsilon)$  yazılırsa;

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (3.63)$$

(3.63) eşitliğine göre Otto çevriminin ısı verimini bulabilmek için sadece sıkıştırma oranı ve adyabatik üs katsayısı yeterli olmaktadır. Sıkıştırma oranı arttıkça ısı verim de artar. Şekil 3.6 da sıkıştırma oranına bağlı olarak farklı adyabatik üs katsayılarında ısı verimin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Otto çevrimi ısı verimin sıkıştırma oranına bağlı olarak değişimi



Çevrim boyunca piston üzerine etki ettiği varsayılan ortalama indike basınç değeri ise aşağıda verilen formül ile hesaplanır.

$$P_{mi} = \frac{W_{net}}{v_1 - v_2} = \frac{W_{net}}{V_h}$$

$$P_{mi} = Mep = \frac{1}{k-1} \frac{P_1 \cdot r_c^k}{r_c - 1} (r_p - 1) \left( 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}} \right)$$

### Problem 3.1:

Hava standart bir sabit hacim çevriminde, sıkıştırma oranı 8.8/1, sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklık 20 °C ve basınç 1 bar'dır. Sisteme havanın her kilogramı ile sağlanan ısı 1600 kJ olduğuna göre;

- Çevrimin p-v ve T-s diyagramlarını çiziniz .
- Her hal noktasındaki p,v,T değerlerini içeren bir tablo düzenleyiniz .
- Çevrimin net işini, ortalama indike basıncını ve termik verimini hesaplayınız.

$$c_p = 1.004 \text{ kJ/kg K}$$

$$R_{hava} = 0.287 \text{ kJ/kg K}$$

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$$

$$c_v = 0.716 \text{ kJ/kg K}$$

$$k = 1.4$$

$$T = 273,15 + 20 = 293,15 \text{ K}$$

### Cözüm:

a) Tekrar çizilmedi.

b)

Hal	1	2	3	4
$p \text{ (kPa)}$	(100)	2100.2	8771	420
$v \text{ (m}^3 / \text{kg)}$	0.841	0.096	0.096	0.841
$T \text{ (K)}$	(293,15)	702.5	2934	1230

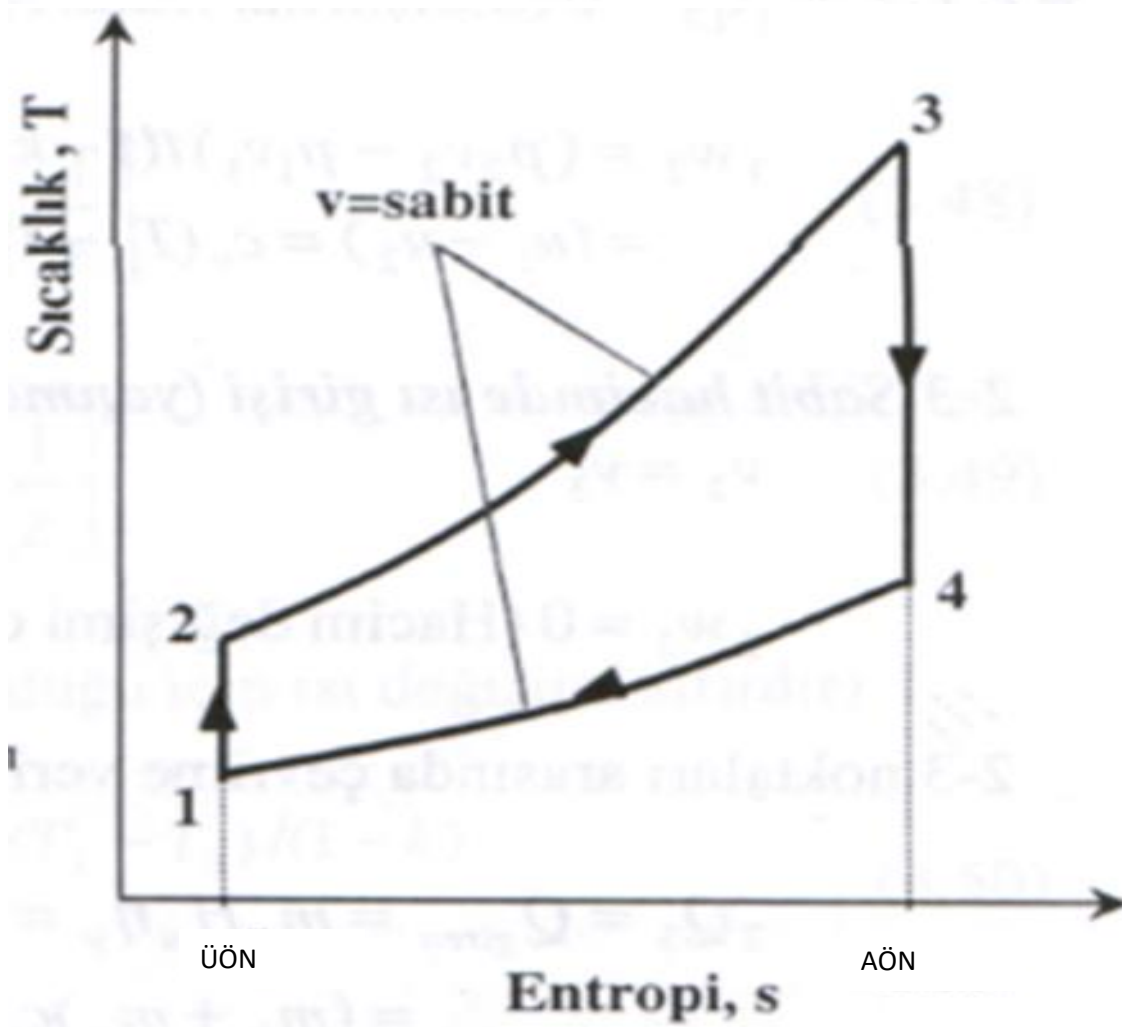
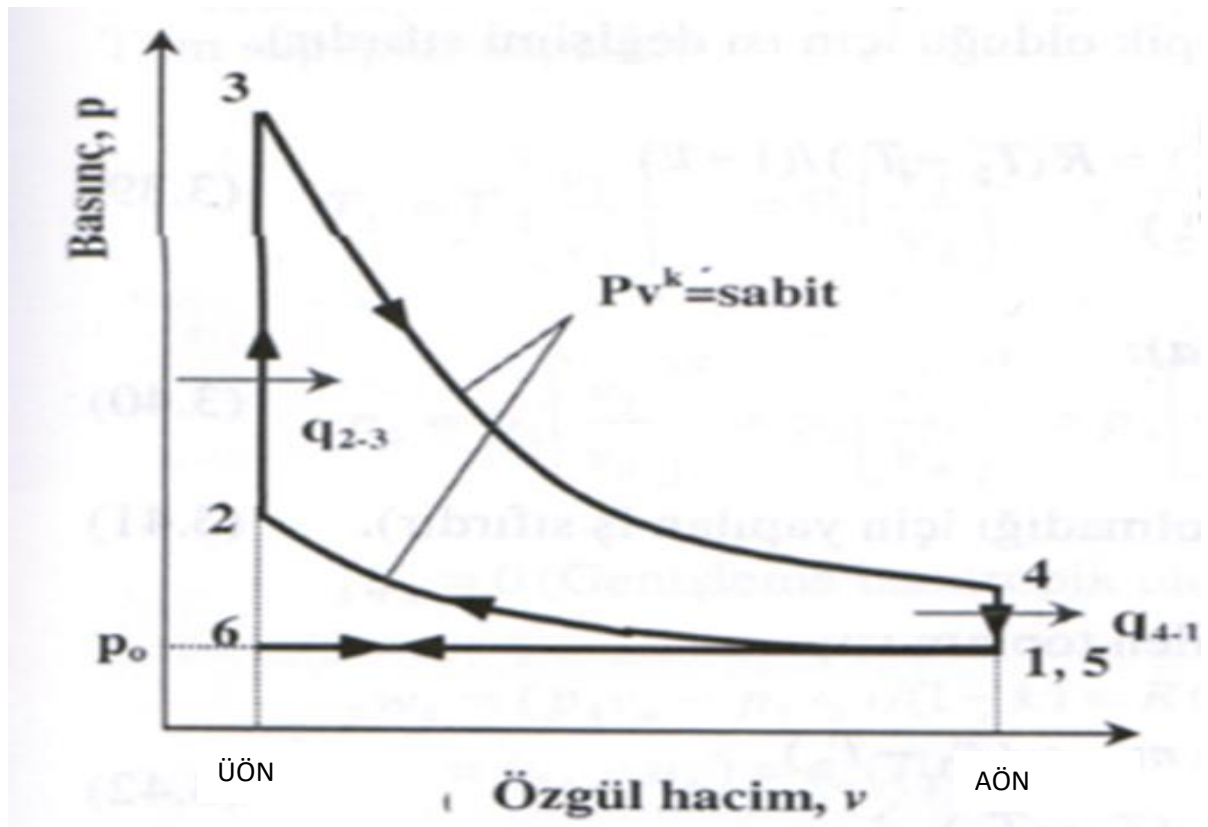
1. hal;

$$p_1 v_1 = RT_1 \Rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{0,287 \cdot 293,15}{100} = 0,841 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

2. hal;

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,841}{8,8} = 0,096 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$p_2 = p_1 \cdot \varepsilon^k = 100 \cdot 8,8^{1,4} = 2100,2 \text{ kPa}$$



$$p_2 v_2 = RT_2 \Rightarrow T_2 = \frac{p_2 v_2}{R} = \frac{2100 \cdot 2,0 \cdot 0,096}{0,287} = 702,5 \text{ K}$$

3. hal;

$$q_{\text{giren}} = c_v (T_3 - T_2) \Rightarrow 1600 = 0,717 (T_3 - 702,5) \Rightarrow T_3 = 2934 \text{ K}$$

$$v_2 = v_3$$

$$p_3 v_3 = RT_3 \Rightarrow p_3 = \frac{RT_3}{v_3} = \frac{0,287 \cdot 2938}{0,096} = 8771 \text{ kPa}$$

4. hal;

$$\frac{T_3}{T_4} = \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_4 = \frac{T_3}{\varepsilon^{k-1}} = \frac{2934}{8,8^{0,4}} = 1230 \text{ K}$$

$$v_4 = v_1$$

$$p_4 v_4 = RT_4 \Rightarrow p_4 = \frac{RT_4}{v_4} = \frac{0,287 \cdot 1230}{0,841} = 420 \text{ kPa}$$

c)

$$w_{\text{net}} = {}_3w_4 - |{}_1w_2|$$

$$w_{\text{net}} = \frac{R(T_4 - T_3) - R(T_2 - T_1)}{1 - k} = 928 \text{ kJ / kg}$$

$$p_{\text{mi}} = \frac{w_{\text{net}}}{v_1 - v_2} = \frac{928}{0,745} = 1245,6 \text{ kPa}$$

$$\eta_t = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{giren}}} = \frac{928}{1600} = 0,58$$



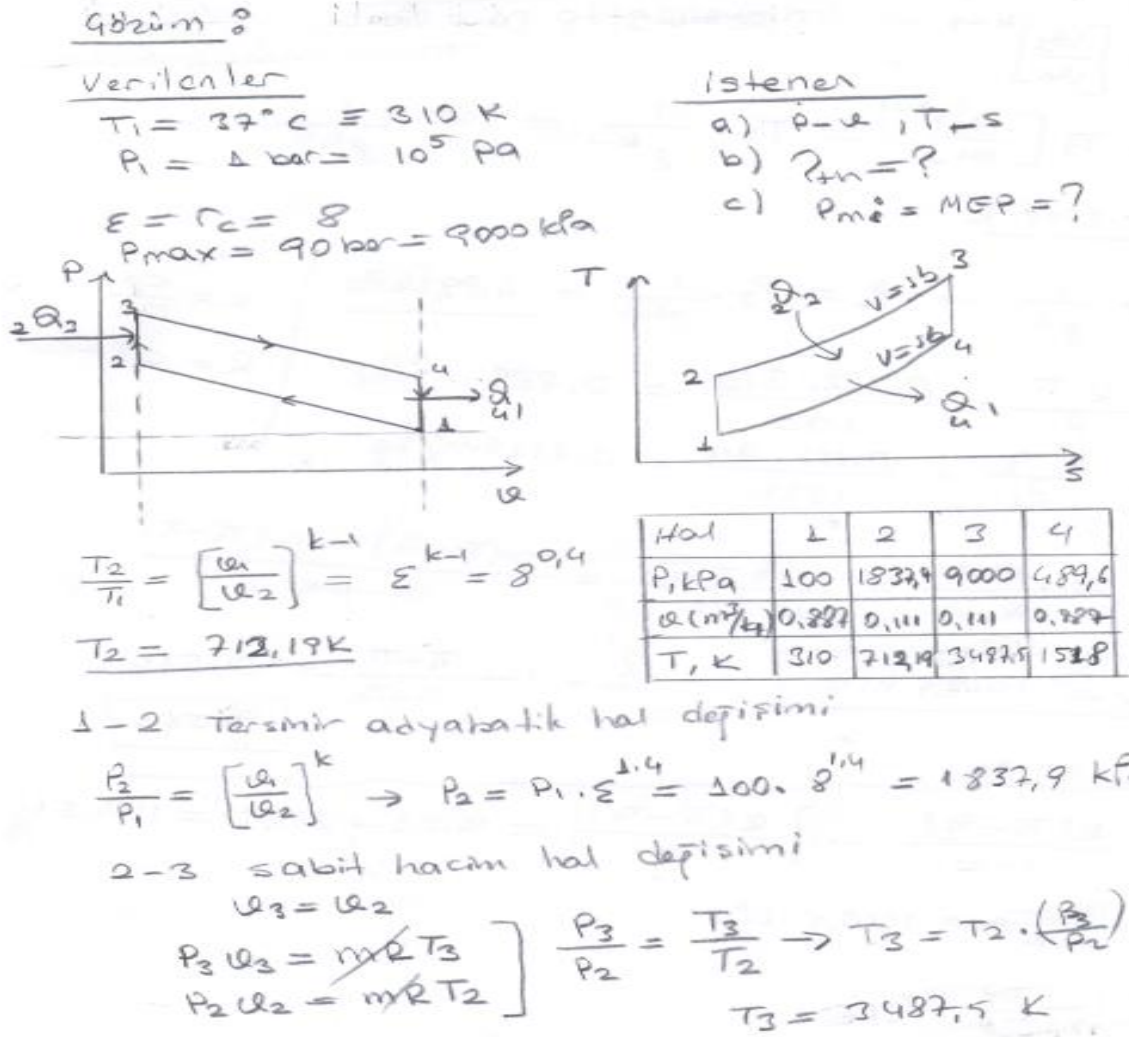
### Örnek:

ideal bir otto çevriminde sıkıştırma başlangıcında havanın sıcaklığı  $37^\circ\text{C}$  ve basıncı 1 bar dır. Sıkıştırma oranı 8 ve çevrimin maksimum basıncı 90 bar olduğuna göre ,

a) çevrimin P-v ve T-s diyagramlarını çiziniz.

b) Çevrimin ısı verimini bulunuz.

c) Ortalama efektif basıncı bulunuz.



$$\frac{T_4}{T_3} = \left[ \frac{v_3}{v_4} \right]^{k-1} \quad v_2 = v_3, \quad v_1 = v_4$$

$$T_4 = T_3 \left[ \frac{v_3}{v_1} \right]^{k-1} = T_3 \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 3487,5 \cdot \frac{1}{8^{0,4}} =$$

$$T_4 = 1518 \text{ K}$$

$$\frac{P_4}{P_3} = \frac{1}{\varepsilon^k} \rightarrow P_4 = P_3 \cdot \frac{1}{8^{1,4}} = 489,6 \text{ kPa} \quad \left. \begin{array}{l} k = \frac{c_p}{c_v} \\ R = c_p - c_v \end{array} \right\}$$

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{0,287 \cdot 310}{100} = 0,889 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 = \frac{R \cdot T_2}{P_2} = \frac{0,287 \cdot 712}{1837} = 0,1122 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_{mi} = \frac{W_{net}}{v_1 - v_2} = \frac{2Q_3 - Q_1}{v_1 - v_2} = \frac{c_v(T_3 - T_2) - c_v(T_4 - T_1)}{v_1 - v_2}$$

$$P_{mi} = 1448,5 \text{ kPa}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 0,564$$

$$\%56,4$$

$$W_{net} = \frac{R(T_4 - T_2)}{1 - k} - \left| \frac{R(T_1 - T_3)}{1 - k} \right| = 1413,5 - 288,52 = 1124,5 \text{ kJ/kg}$$

$$P_{mi} = \frac{W_{net}}{v_1 - v_2} = 1448,5 \text{ kPa}$$

Ödev:

İdeal bir otto çevriminde yanma sonu maksimum sıcaklık 2820 K ve basınç 94 bar.

- Çevrimin T-s ve P-v diyagramlarını çiziniz.
- Sıkıştırma oranı 10 ve alt ısı değeri 30000 kJ/kg olan yakıttan 0,05 kg yakılarak sabit hacimde ısı veriyor.  $c_p = 1,05 \text{ kJ/kgK}$  ve  $k = 1,4$  alarak bütün noktaların sıcaklık ve basınçları bulunuz. T-s ve P-v diyagramlar üzerinde gösteriniz.
- Termik verim ve ortalama efektif basıncı bulunuz.

Cevap termik verim = %60

$P_{mi} = OEB = MEP = 11,16 \text{ bar}$