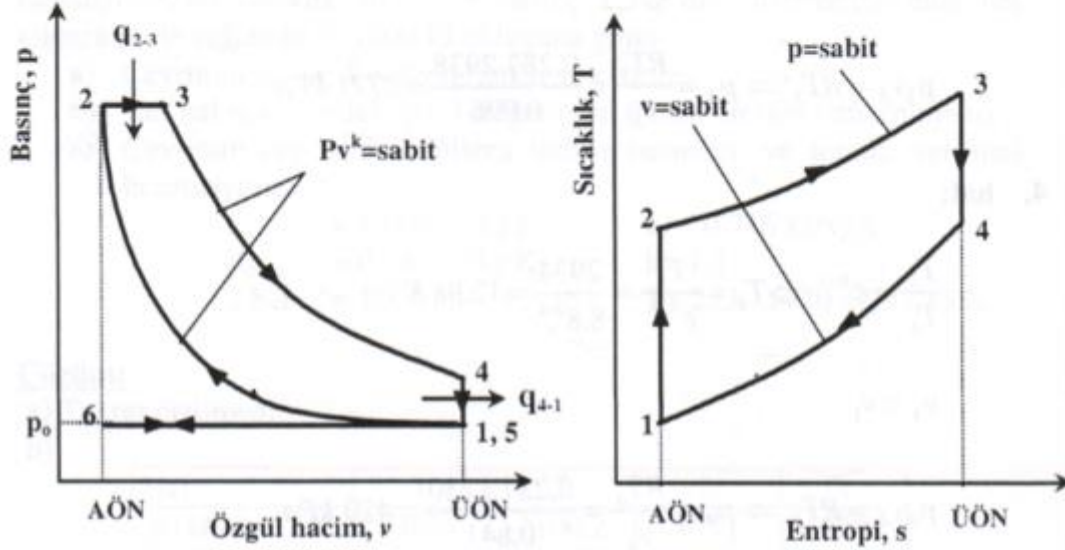


### 3.2.3. Sabit Basınç (Dizel) Çevrimi

Sabit basınç çevrimi, sıkıştırma ile ateşlemeli (dizel) motorların temel teorik çevrimidir. Çevrimin p-v ve T-s diyagramları Şekil 3.7 de görülmektedir. İzantropik sıkıştırma, sabit basınçta yanma, izantropik genişleme ve sabit hacimde egzoz safhalarından oluşan bu çevrimin analizi için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.



Şekil 3.7: Sabit basınç 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.

$$p_1 = p_6 = p_o \quad (3.65)$$

$${}_6w_1 = p_o (v_1 - v_6) \quad (3.66)$$

#### 1-2 İzantropik (Tersinir adyabatik) sıkıştırma:

Tüm supaplar kapalıdır.

$$T_2 = T_1 \left[ \frac{v_1}{v_2} \right]^{k-1} = T_1 \left[ \frac{V_1}{V_2} \right]^{k-1} = T_1 (\varepsilon)^{k-1} \quad (3.67)$$

$$p_2 = p_1 \left[ \frac{v_1}{v_2} \right]^k = p_1 \left[ \frac{V_1}{V_2} \right]^k = p_1 (\varepsilon)^k \quad (3.68)$$

${}_1q_2 = 0$  (Sıkıştırma izantropik olduğu için ısı değişimi sıfırdır).

$$\begin{aligned} {}_1w_2 &= (p_2 v_2 - p_1 v_1) / (1 - k) = R (T_2 - T_1) / (1 - k) \\ &= (u_1 - u_2) = c_v (T_1 - T_2) \end{aligned} \quad (3.69)$$

### 2-3 Sabit basınçta ısı girişi (yanma):

2-3 noktaları arasında çevrime verilen toplam ısı;

$$\begin{aligned} {}_2Q_3 = Q_{giren} &= m_y H_u \eta_y = m_{top} c_p (T_3 - T_2) \\ &= (m_h + m_y) c_p (T_3 - T_2) \end{aligned} \quad (3.70)$$

$$H_u \eta_y = \left( \frac{H}{Y} + 1 \right) c_p (T_3 - T_2) \quad (3.71)$$

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;

$${}_2q_3 = q_{giren} = c_p (T_3 - T_2) = (h_3 - h_2) \quad (3.72)$$

$${}_2w_3 = {}_2q_3 - (u_3 - u_2) = p_2 (v_3 - v_2) \quad (3.73)$$

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

$$p_2 v_2 = R T_2 \quad (3.74)$$

$$p_3 v_3 = R T_3 \quad (3.75)$$

$$T_3 = T_2 \frac{v_3}{v_2} \quad (3.76)$$

denklemini elde edilir. Burada  $(v_3 / v_2 = r_v)$  oranına hacim artış oranı veya kesme oranı denir.

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

Tüm supaplar kapalıdır.

$$T_4 = T_3 \left[ \frac{v_3}{v_4} \right]^{k-1} = T_3 \left[ \frac{V_3}{V_4} \right]^{k-1} \quad (3.77)$$

$$p_4 = p_3 \left[ \frac{v_3}{v_4} \right]^k = p_3 \left[ \frac{V_3}{V_4} \right]^k \quad (3.78)$$

$${}_3q_4 = 0 \quad (3.79)$$

$$\begin{aligned} {}_3w_4 &= (p_4 v_4 - p_3 v_3) / (1 - k) = R(T_4 - T_3) / (1 - k) \\ &= (u_3 - u_4) = c_v(T_3 - T_4) \end{aligned} \quad (3.80)$$

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

Egzoz supabı açık, emme supabı ise kapalıdır.

$$v_5 = v_4 = v_1 \quad (3.81)$$

$${}_4w_5 = 0 \quad (3.82)$$

4-5 noktaları arasında çevrimden atılan toplam ısı;

$${}_4Q_5 = Q_{\text{çıkan}} = m_{\text{top}} c_v (T_5 - T_4) = m_{\text{top}} c_v (T_1 - T_4) \quad (3.83)$$

İş gazlarının birim kütlesi başına atılan ısı ise;

$${}_4q_5 = q_{\text{çıkan}} = c_v (T_5 - T_4) = (u_5 - u_4) = c_v (T_1 - T_4) \quad (3.84)$$

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

$$p_5 = p_6 = p_o \quad (3.85)$$

$${}_5w_6 = p_o (v_6 - v_5) = p_o (v_6 - v_1) \quad (3.86)$$

**Çevrimin ısı verimi:**

$$\eta_t = \frac{|w_{net}|}{|q_{giren}|} = \frac{|q_{giren} - q_{çıkan}|}{|q_{giren}|} = 1 - \frac{|q_{çıkan}|}{|q_{giren}|} \quad (3.87)$$
$$= 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{k(T_3 - T_2)}$$

$$\eta_t = 1 - \left( \frac{T_1}{T_2} \right) \left[ \frac{(T_4/T_1 - 1)}{k(T_3/T_2 - 1)} \right] \quad (3.88)$$

Eşitlik yeniden düzenlenirse;

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \left[ \frac{r_v^k - 1}{k(r_v - 1)} \right] \quad (3.89)$$

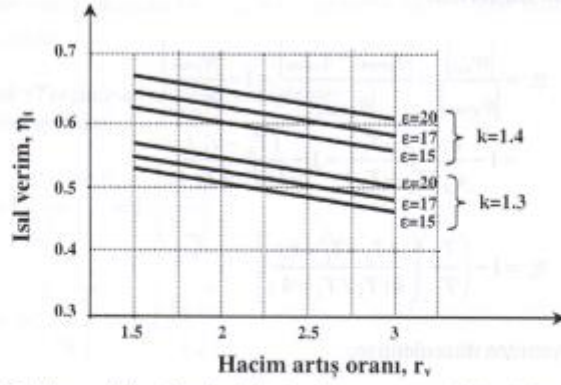
denklemini elde edilir. Yukarıdaki denklemin elde edilmesinde  $k = c_p / c_v$ ,  $(T_1/T_2) = (1/\varepsilon^{k-1})$  ve  $(T_4/T_1) = (T_3/T_2) = r_v$  eşitlikleri kullanılmıştır.

Burada;

$$\left[ \frac{r_v^k - 1}{k(r_v - 1)} \right]$$

terimi daima birden büyüktür. Bu nedenle aynı sıkıştırma oranında dizel çevriminin verimi Otto çevriminden daha küçüktür. Bununla birlikte dizel motorları daha yüksek sıkıştırma oranlarında (12-26) imal edildikleri için uygulamada dizel çevriminin verimi daha yüksektir. Benzinli motorlarda ise sıkıştırma oranı aralıkları (8-12) arasında değişir.

Dizel çevriminin ısı verimi sıkıştırma oranına, adyabatik üs katsayısına ve Otto çevriminin ısı veriminden farklı olarak hacim artış oranına ( $r_v$ ) bağlıdır. Hacim artış oranının ısı verim üzerindeki etkisi Şekil 3.8 de iki farklı adyabatik üs katsayısı değerinde gösterilmiştir. Grafikte hacim artış oranına bağlı olarak ısı verimin azaldığı görülür. Çünkü genişleme sırasındaki basınç düşüşünü karşılamak için sisteme verilen ek ısı ısı verimin azalmasına neden olur.



Şekil 3.8: Dizel çevrimi ısı veriminin hacim artış oranıyla değişimi [11]

Ortalama indike basınç;

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

formülü ile verilir.

$$P_{mi} = Mep = P_1 \left[ \frac{k r_c^k (r_v - 1) - (r_v^k - 1) r_c}{(k - 1)(r_c - 1)} \right]$$

**Problem 3.2:**

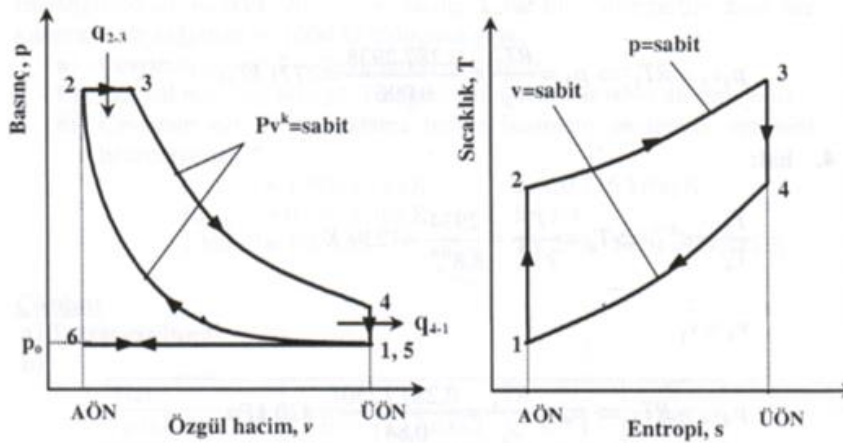
Hava standart sabit basınç çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı  $\epsilon=16/1$  dir. Çevrimdeki maksimum sıcaklık 1650 K, sıkıştırma başlangıcındaki basınç 98 kPa ve sıcaklık 290 K dir.

- Çevrimin p-v ve T-s diyagramlarını çiziniz .
- Hal cetvelini düzenleyiniz.
- Sıkıştırma ve genleşme işlerini ;
- İndike ortalama basınç ve termik verimini hesaplayınız.

**Cözüm:**

- Tekrar çizilmedi.
- 

Hal	1	2	3	4
$p(kPa)$	98	4753.2	4753.2	234.9
$v(m^3 / kg)$	0.849	0.053	0.099	0.849
$T(K)$	290	879.1	1650	695





1. hal:

$$p_1 v_1 = RT_1 \Rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{0,287 \cdot 290}{98} = 0,849 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

2. hal:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,849}{16} = 0,053 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$p_2 = p_1 \cdot \varepsilon^k = 98 \cdot 16^{1,4} = 4753,2 \text{ kPa}$$

$$p_2 v_2 = RT_2 \Rightarrow T_2 = \frac{p_2 v_2}{R} = \frac{1694,0,110}{0,287} = 649,2 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} = 290 \cdot 16^{0,4} = 879,1 \text{ K}$$

3. hal:

$$p_2 = p_3 = 4753,2 \text{ kPa}$$

$$r_v = \frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} \Rightarrow \frac{1650}{879,1} = \frac{v_3}{0,053} \Rightarrow v_3 = 0,099 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$r_v = \frac{v_3}{v_2} = \frac{0,099}{0,053} = 1,867$$

4. hal:

$$r_v^k = \frac{T_4}{T_1} \Rightarrow T_4 = T_1 r_v^k = 290 \cdot 1,867^{1,4} = 695 \text{ K}$$

$$v_4 = v_1$$

$$p_4 v_4 = RT_4 \Rightarrow p_4 = \frac{RT_4}{v_4} = \frac{0,287 \cdot 695}{0,849} = 234,9 \text{ kPa}$$

$$\frac{T_3}{T_1} = \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^{k-1} = \left( \frac{v_3}{v_2} \cdot \frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1} = \left( r_v \cdot \frac{1}{\varepsilon} \right)^{k-1}$$

$$r_v = \frac{v_3}{v_2} \rightarrow v_3 = r_v v_2$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \left( \frac{v_4}{v_1} \right)^{k-1} = \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^{k-1} = \left( r_v \right)^{k-1}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^{k-1} = \left( r_v \right)^{k-1}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^{k-1} = \left( r_v \right)^{k-1}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^{k-1} = \left( r_v \right)^{k-1}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^{k-1} = \left( r_v \right)^{k-1}$$

c)

$${}_1w_2 = \frac{R(T_2 - T_1)}{1 - k} = \frac{0,287 \cdot (879,1 - 290)}{-0,4} = -422,67 \text{ kJ / kg}$$

$${}_2w_4 = {}_2w_3 + {}_3w_4 = p_2(v_3 - v_2) + \frac{R(T_4 - T_3)}{k - 1}$$

$${}_2w_4 = 4753,2 \cdot (0,099 - 0,053) + \frac{0,287 \cdot (695 - 1650)}{-0,4} = 903,8 \text{ kJ / kg}$$

$$w_{net} = 903,8 - 422,7 = 481,1 \text{ kJ / kg}$$

d)

$$p_{mi} = \frac{w_{net}}{v_1 - v_2} = \frac{481,1}{0,849 - 0,053} = 604,5 \text{ kPa}$$

$$\eta_t = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = \frac{481,1}{1,004 \cdot (1650 - 879,1)} = 0,62$$

### 3.2.4. Karma Çevrim (Seiliger)

Isının kısmen sabit hacimde, kısmen de sabit basınçta verildiği bir dizel çevrimidir. Yüksek devirli dizel motorlarının indikatör diyagramı daha ziyade Seiliger çevrimine benzer.

Seiliger çevriminin termodinamik analizi incelendiğinde ısı girişi süreci (yanma) hariç dizel çevrimine benzediği görülür. Çevrime ait p-v ve T-s diyagramları Şekil 3.9 da gösterilmiştir.

**2-x Sabit hacimde ısı girişi (yanmanın birinci kısmı):**

$$v_x = v_2 \quad (3.91)$$

$${}_2w_x = 0 \quad (3.92)$$

2-x noktaları arasında çevrime verilen toplam ısı;

$$\begin{aligned} {}_2Q_x = Q_{giren} &= m_{top} c_v (T_x - T_2) \\ &= (m_h + m_y) c_v (T_x - T_2) \end{aligned} \quad (3.93)$$

İş gazlarının birim kütlesi başına verilen ısı ise;

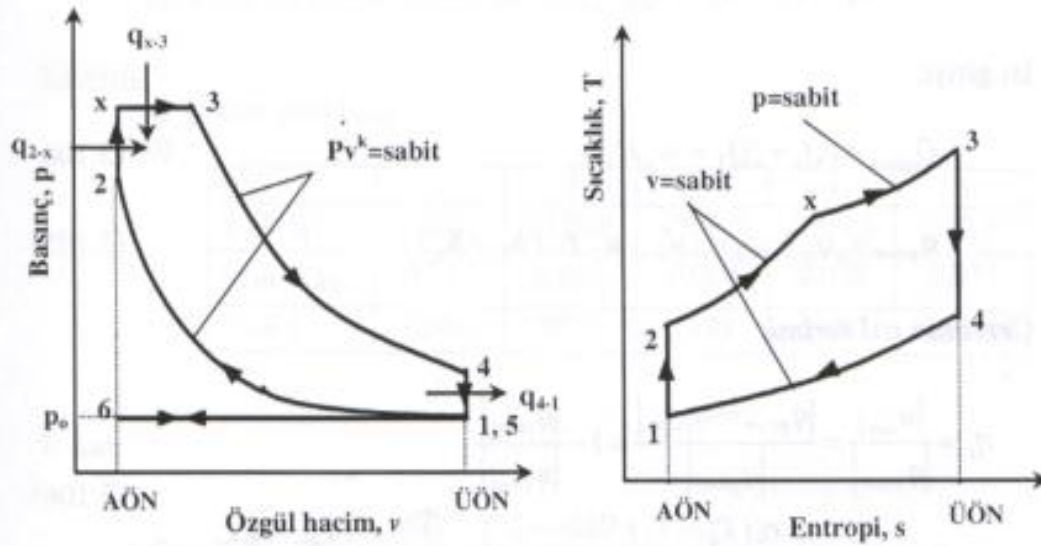
$${}_2q_x = c_v(T_x - T_2) = (u_x - u_2) \quad (3.94)$$

2 ve x noktaları için ideal gaz denklemleri yazılıp  $p_x$  basıncı çekilirse;

$$p_2 v_2 = RT_2 \quad (3.95)$$

$$p_x v_x = RT_x \quad (3.96)$$

$$p_x = p_2 \frac{T_x}{T_2} \quad (3.97)$$



Şekil 3.9: Karma çevriminin p-v ve T-s diyagramları [9]

Yanma süresi içerisinde basınçtaki artış oranı ( $r_p$ );

$$r_p = \frac{p_x}{p_2} = \frac{p_3}{p_2} = \frac{T_x}{T_2} = \frac{1}{\epsilon^k} \left( \frac{p_3}{p_1} \right) \quad (3.98)$$

**x-3 Sabit basınçta ısı girişi (yanmanın ikinci kısmı):**

$$p_3 = p_x = p_{maks} \quad (3.99)$$



x-3 noktaları arasında çevrime verilen toplam ısı;

$${}_x Q_3 = m_{top} c_p (T_3 - T_2) = (m_h + m_y) c_p (T_3 - T_x) \quad (3.100)$$

İş gazlarının birim kütlesi başına verilen ısı ve iş ise;

$${}_x q_3 = c_p (T_3 - T_x) = (h_3 - h_x) \quad (3.101)$$

$${}_x w_3 = {}_x q_3 - (u_3 - u_x) = p_x (v_3 - v_x) = p_3 (v_3 - v_x) \quad (3.102)$$

Hacim artış oranı ( $r_v$ );

$$r_v = \frac{v_3}{v_x} = \frac{v_3}{v_2} = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_x} \quad (3.103)$$

Isı girişi;

$$Q_{giren} = {}_2 Q_x + {}_x Q_3 = m_y H_u \eta_y \quad (3.104)$$

$$q_{giren} = {}_2 q_x + {}_x q_3 = (u_x - u_2) + (h_3 - h_x) \quad (3.105)$$

**Çevrimin ısı verimi:**

$$\begin{aligned} \eta_t &= \frac{|w_{net}|}{|q_{giren}|} = \frac{|q_{giren} - q_{çıkan}|}{|q_{giren}|} = 1 - \frac{|q_{çıkan}|}{|q_{giren}|} \\ &= 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{[c_v (T_x - T_2) + c_p (T_3 - T_x)]} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{[(T_x - T_2) + k(T_3 - T_x)]} \end{aligned} \quad (3.106)$$

Eşitlik yeniden düzenlenirse karma çevrimin ısı verimi;

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \left[ \frac{r_p r_v^k - 1}{(r_p - 1) + k r_p (r_v - 1)} \right] \quad (3.107)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

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

$r_v=1$  konularak Otto çevriminin ısı verim ifadesi  $r_p=1$  konularak Dizel çevriminin ısı verim ifadesi elde edilebilir.

Denklemden de görüldüğü üzere Seiliger çevriminin ısı verimi sıkıştırma oranına, adyabatik üs katsayısına, basınç ve hacim artış oranına bağlıdır ve değeri Otto ve Dizel çevrimlerinin verimleri arasındadır.

**Problem 3.3:**

Hava standart karma çevrimine göre çalışan bir motorda izantropik sıkıştırma sonundaki özgül hacim  $0,068 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Çevrimin maksimum sıcaklığı  $1650 \text{ K}$ , sabit hacimde verilen ısı  $250 \text{ kJ/kg}$ , sıkıştırma başlangıcındaki basınç  $100 \text{ kPa}$ , sıcaklık da  $290 \text{ K}$ ' dir.

- a) p-v ve T-s diyagramlarını çiziniz.
- b) Hal cetvelini düzenleyiniz.
- c) Net işi ve termik verimi hesaplayınız.

**Cözüm:**

a) Tekrar çizilmedi.

b)

Hal	1	2	X	3	4
$p (\text{kPa})$	(100)	3329.6	4799.8	4799.8	240.5
$v (\text{m}^3 / \text{kg})$	0.832	0.068	0.068	0.098	0.832
$T (\text{K})$	(290)	789.5	1138	1650	697.4

1. hal:

$$p_1 v_1 = RT_1 \Rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{0,287 \cdot 290}{100} = 0,832 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

2. hal:

$$\epsilon = \frac{v_1}{v_2} = \frac{0,832}{0,068} = 12,23$$

$$p_2 = p_1 \cdot \epsilon^k = 100 \cdot 12,23^{1,4} = 3329,6 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \epsilon^{k-1} = 290 \cdot 12,23^{0,4} = 789,5 \text{ K}$$

3. hal:

$$v_2 = v_3 = 0,068 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$${}_2q_x = c_v(T_x - T_2) \Rightarrow 250 = 0,716(T_x - 789,5) \Rightarrow T_x = 1138,1 \text{ K}$$

$$\frac{T_x}{T_2} = \frac{p_x}{p_2} \Rightarrow \frac{1138,1}{789,5} = \frac{p_x}{3329,6} \Rightarrow p_x = 4799,8 \text{ kPa}$$

$$r_p = \frac{T_x}{T_2} = \frac{p_x}{p_2} \Rightarrow r_p = \frac{4799,8}{3329,6} = 1,442$$

4. hal :

$$p_3 = p_x = 4799,8 \text{ kPa}$$

$$p_3 v_3 = RT_3 \Rightarrow v_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{0,287 \cdot 1650}{4799,8} = 0,098 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$r_v = \frac{v_3}{v_x} = \frac{T_3}{T_x} = 1,441$$

5. hal:

$$v_4 = v_1 = 0,832 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = r_p r_v^k \Rightarrow \frac{T_4}{290} = 1,442 \cdot 1,441^{1,4} \Rightarrow T_4 = 697,4 \text{ K}$$

$$p_4 v_4 = RT_4 \Rightarrow p_4 = \frac{RT_4}{v_4} = \frac{0,287 \cdot 697,4}{0,832} = 240,5 \text{ kPa}$$

c)  ${}_xq_3 = c_p(T_3 - T_x) = 1,004(1650 - 1138,1) = 513,9 \text{ kJ} / \text{kg}$

$$q_{giren} = {}_2q_x + {}_xq_3 = 250 + 513,9 = 763,9 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$q_{çıkan} = {}_4q_1 = c_v(T_4 - T_1) = 0,717(697,4 - 290) = 292,1 \text{ kJ / kg}$$

$$q_{net} = w_{net} = 763,9 - 292,11 = 471,79 \text{ kJ / kg}$$

$$\eta_t = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = \frac{471,79}{763,9} = 0,61$$

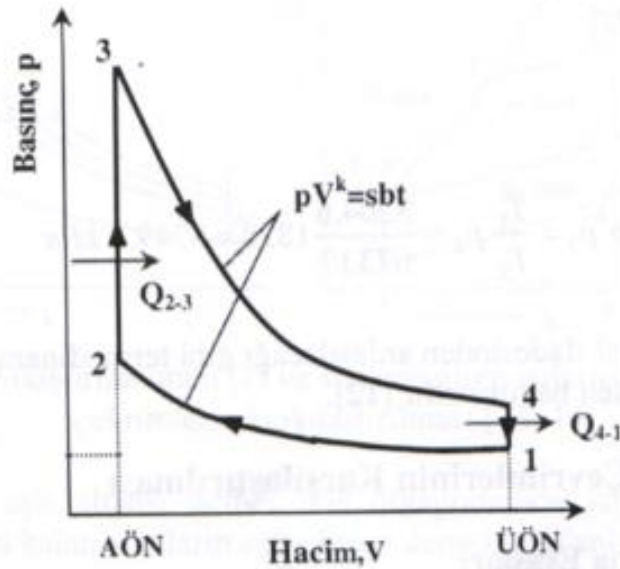
### **Problem 3.4:**

Sıkıştırma oranı 8 olan bir motorda hava giriş sıcaklığı 20 °C, atmosfer basıncı ise 100 kPa'dır. Y/H = 0,06 için teorik otto çevrimine ait sıkıştırma ve yanma sonu basınç ve sıcaklıklarını bulunuz.

$$c_v = 1,05 \text{ kJ / kgK} \quad k = 1,4 \quad Hu = 44300 \text{ kJ / kg}$$

$$p_1 = 100 \text{ kPa} \quad T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad Y / H = 0,06$$

### **Cözüm:**



1-2 arası izantropik sıkıştırma

$$p_1 V_1^k = p_2 V_2^k \Rightarrow p_2 = p_1 \epsilon^k \Rightarrow p_2 = 100 \cdot 8^{1,4} = 1838 \text{ kPa}$$

$$p_1 V_1 = mRT_1$$

$$p_2 V_2 = mRT_2$$

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} T_1 = \frac{1838}{100} \left( \frac{1}{8} \right) (273 + 20) = 673,17 \text{ K}$$

2-3 arasında sabit hacimde ısı verme olayı vardır. Burada;

${}_2Q_3 = m_h c_v (T_3 - T_2)$  olur. Bu enerji verilen yakıt tarafından karşılanır. O halde;

$$m_h c_v (T_3 - T_2) = m_y H_u = m_h (Y/H) H_u$$

$$T_3 = T_2 + \frac{(Y/H) H_u}{c_v} = 673,17 + \frac{0,06.44300}{1,05} = 3204,6 \text{ K}$$

$$p_2 V_2 = mRT_2$$

$$p_3 V_3 = mRT_3$$

$$V_2 = V_3$$

$$\frac{p_2}{p_3} = \frac{T_2}{T_3} \Rightarrow p_3 = \frac{T_3}{T_2} p_2 = \frac{3204,6}{673,17} 1838 = 8749,7 \text{ kPa}$$

Yukarıda ısı dengesi ifadesinden anlaşılacağı gibi termodinamik büyüklükler iş gazının kütlelerinden bağımsızdır [12].

### 3.3. İdeal Hava Çevrimlerinin Karşılaştırılması

#### 3.3.1. Karşılaştırma Esasları

ideal çevrimleri aynı koşullar içinde karşılaştırmak fazla anlamlı değildir. Ancak, geliştirme yönleri hakkında önemli bilgiler verme açısından, belirli kısıtlamaları kullanarak bu karşılaştırmaların yapılmasında yarar vardır. Çevrim karşılaştırmalarında izlenecek yöntem ve örnek karşılaştırmalar aşağıda verilmiştir.

- İki kısıtlamayı belirleyiniz.
- Çevrimlerden birinin p-V ve T-s diyagramlarını çizin.
- Bu çevrimdeki 1 noktasından başlamak üzere ve verilen kısıtlamalara uygun diğer çevrimleri çiziniz. (Karma çevrim sabit basınç ve sabit hacim çevrimleri arasında yer alır.)

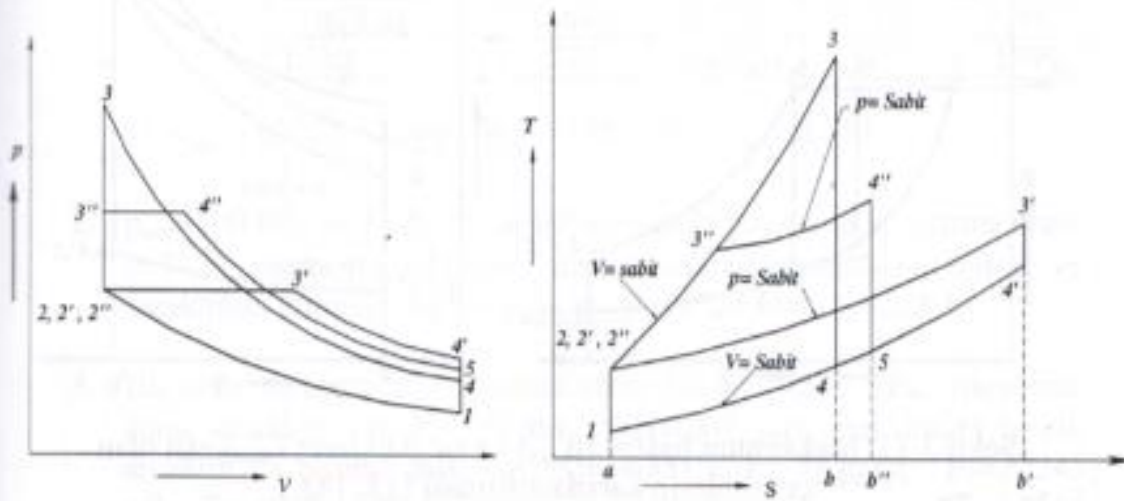


- d) Termik verim formülünü karşılaştırmada sabit tutulan değerlerden biri türünde yazınız.

$$\eta_t = \frac{W_{net}}{Q_{giren}} = \frac{Q_{net}}{Q_{giren}} = 1 - \frac{Q_{çikan}}{Q_{giren}} = \dots$$

- e) T-s diyagramında belirleyeceğiniz dışarıya atılan ısı alanlarından küçük olan çevrimin verimi yada net iş alanlarından büyük olan çevrimin verimi daha yüksektir.

### 3.3.2. Sıkıştırma Oranı ( $\epsilon$ ) ve Sisteme Giren Isıları ( $q_{giren}$ ) Eşit Olan Çevrimler



Şekil 3.10: Sıkıştırma oranı ( $\epsilon$ ) ve sisteme giren ısıların ( $q_{giren}$ ) eşit olan çevrimlerin karşılaştırılması [13, 14]

Giren ısıların eşit olması demek T-s diyagramında ısı verme esnasında eğrilerin altında kalan alanların eşit olması demektir. Yani;

$$q_{giren} (Otto) = q_{giren} (Karma) = q_{giren} (Dizel)$$

$$\text{Alan; } a - 2 - 3 - b - a = a - 2 - 3'' - 4'' - b'' - a = a - 2' - 3' - b' - a$$

Çevrimden atılan ısılar da benzer şekilde ısı atılması sırasında eğrilerin altında kalan alanlar kadardır. Buna göre;

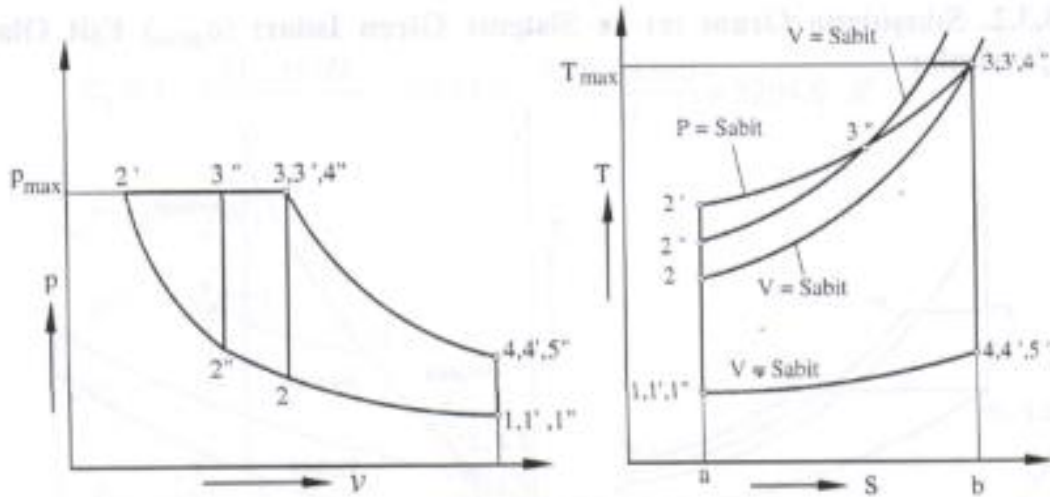
$$\text{Alan; } a - 1 - 4 - b - a < a - 1 - 5 - b'' - a < a - 1 - 4' - b' - a$$

$$q_{çikan} (Otto) < q_{çikan} (Karma) < q_{çikan} (Dizel)$$

$$\eta_t = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = \frac{q_{net}}{q_{giren}} = 1 - \frac{q_{cikan}}{q_{giren}} = ....$$

Yukarıdaki ısı verim eşitliğine göre  $q_{cikan}$  değeri büyük olan çevrimin ısı verimi daha küçüktür. O halde;  $\eta_t (Otto) > \eta_t (Karma) > \eta_t (Dizel)$  dir. Yani bu şartlardaki Otto çevriminin verimi en yüksek dizelinki de en düşüktür.

### 3.3.3. Maksimum Basınç ve Sıcaklıkları Eşit Olan Çevrimler



Şekil 3.11: Maksimum basınç ( $p_{max}$ ) ve sıcaklıkları ( $T_{max}$ ) eşit olan çevrimlerin karşılaştırılması [13, 14]

T-s diyagramına göre;

$$\text{Alan; } a - 2 - 3 - b - a < a - 2'' - 3'' - 4'' - b - a < a - 2' - 3' - b - a$$

$$\text{Yani; } q_{giren} (Otto) < q_{giren} (Karma) < q_{giren} (Dizel)$$

Ancak alan;  $a - 1 - 4 - b - a$  her üçünde de aynı olduğuna göre;

$$\eta_t = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = \frac{q_{net}}{q_{giren}} = 1 - \frac{q_{cikan}}{q_{giren}} = ....$$

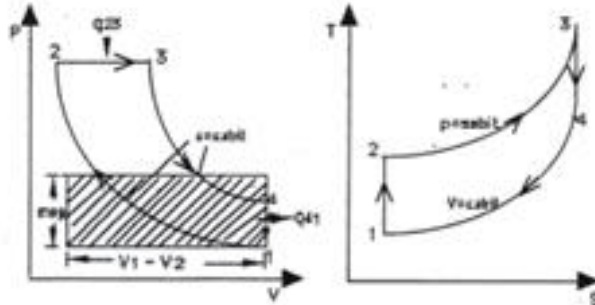
ifadesinden  $q_{giren}$  büyüdükçe verimin arttığı görülür. Buna göre;

$$\eta_t (Dizel) > \eta_t (Karma) > \eta_t (Otto)$$

dur.

## Örnek

Hava standart bir dizel çevriminde sıkıştırma oranı 20 dir. Sıkıştırmanın başlangıcında basınç 95 kPa ve sıcaklık 25 °C dir. Çevrimdeki maksimum sıcaklık 2800 K ise termik verimi ve ortalama efektif basıncı hesaplayınız.



Hava standart dizel çevrimi

Çözüm :

İzentropik sıkıştırma sonunda sıcaklık ve basınç;

$$T_2 = T_1 (V_1/V_2)^{\gamma-1} = T_1 r_c^{\gamma-1} = 298 (20)^{1.4-1} = 987.7 \text{ K}$$

$$p_2 = p_1 (V_1/V_2)^{\gamma} = p_1 r_c^{\gamma} = 95 (20)^{1.4} = 62.97 \text{ bar}$$

$$\text{Kesme oranı, } r_v = (V_3/V_2) = (T_3/T_2) = 2800/987.7 = 2.835 \text{ bulunur.}$$

Termik verim;

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{(r_c)^{\gamma-1}} \left[ \frac{r_v^{\gamma} - 1}{\gamma(r_v - 1)} \right] = 1 - \frac{1}{(20)^{1.4-1}} \left[ \frac{2.835^{1.4} - 1}{1.4(2.835 - 1)} \right]$$

$$\eta_{th} = \%61.23$$

Ortalama efektif basınç, dizel çevrimi için :

$$mep = p_1 \left[ \frac{k r_c^{\gamma} (r_v - 1) - (r_v^{\gamma} - 1) r_c}{(k-1)(r_c - 1)} \right]$$

$$mep = 95 \left[ \frac{1.4 (20)^{1.4} (2.835 - 1) - (2.835^{1.4} - 1) 20}{(1.4-1)(20-1)} \right] = 1303.44 \text{ kPa olur.}$$

Diğer bir çözüm:

Sıkıştırmanın başlangıcında ve sonundaki özgül hacimler;

$$v_1 = (R T_1) / p_1 = (0.287 \text{ kJ/kgK } 298 \text{ K}) / 95 \text{ kPa} = 0.9 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$v_2 = v_1 / r_c = 0.045 \text{ m}^3 / \text{kg} \text{ ve } v_3 = r_v \cdot v_2 = 2.835 \cdot 0.045 = 0.127575 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\text{Çevrime verilen ısı, } q_{23} = c_p (T_3 - T_2) = 1.005 \text{ kJ/kgK } (2800 - 987.7) \text{ K} = 1807.36 \text{ kJ/kg} \text{ bulunur. (1807.36)}$$

İzentropik genişleme sonundaki sıcaklık ;

$$T_4 = T_3 (V_3/V_4)^{\gamma-1} = 2800 (0.127575 / 0.9)^{1.4-1} = 1281.64 \text{ K olur.}$$

$$\text{Çevrimden çıkan ısı, } q_{41} = c_v (T_4 - T_1) = 0.718 \text{ kJ/kgK } (1281.64 - 298) \text{ K} = 706.25 \text{ kJ/kg} \text{ olur.}$$

$$\text{Çevrimin termik verimi ; } \eta_{th} = \frac{q_{23} - q_{41}}{q_{23}} = \frac{1807.36 - 706.25}{1807.36} = \%61.22$$

Çevrimin ortalama efektif basıncı;

$$mep = \frac{q_{23} - q_{41}}{v_1 - v_2} = \frac{1807.36 - 706.25}{0.9 - 0.045} \frac{\text{kJ/kg}}{\text{m}^3 / \text{kg}} = 1303.835 \text{ kPa bulunur.}$$