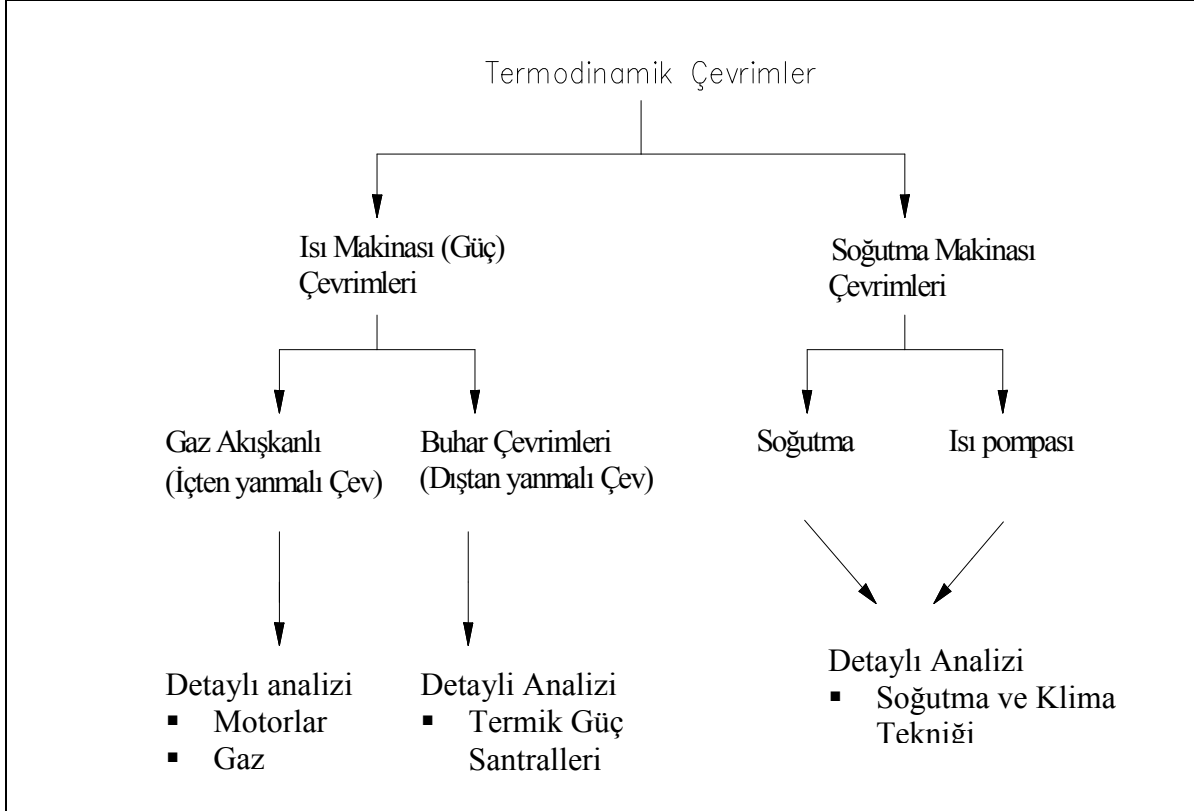


8. BÖLÜM

GAZ AKIŞKANLI GÜÇ ÇEVİRİMLERİ

Termodinamik çevrimlerin sınıflandırılması



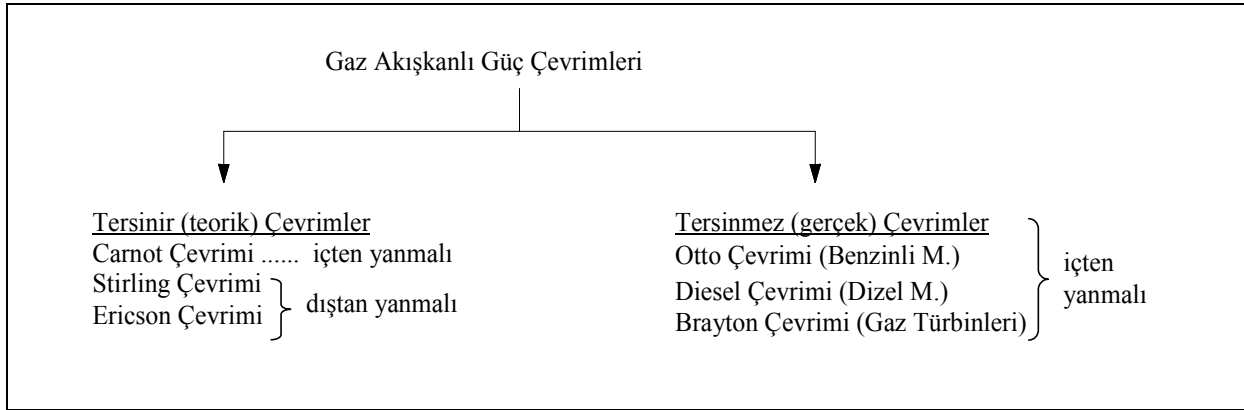
Isı Makinaları ve temel özellikleri

Isı makinaları, ısının aracı akışkana nasıl verdiğine bağlı olarak *içten yanmalı* veya *dıştan yanmalı* motorlar olarak ikiye ayrılır. Dıştan yanmalı motorlarda aracı akışkana verilen enerji kazan, nükleer reaktör veya güneş gibi bir dış kaynaktan sağlanır. İçten yanmalı motorlarda ise enerji sistem sınırları içerisinde yakıtın yanmasıyla aracı akışkana verilir.

Güç üreten makinelerin çoğunluğu daha önce de vurgulandığı gibi bir termodinamik çevrime göre çalışır. Gerçek ısı makinelerinin çözümlenmesini yapmak zordur, çünkü sürtünme gibi faktörler sözkonusudur. Bir çevrimin çözümlenmesini yapabilmek için bazı kabuller yapılır. Bunun için gerçek çevrime benzeyen fakat tamamen içten tersinir hal değişimlerinden oluşan bir çevrim elde edilir. Bu çevrim "*ideal çevrim*" diye adlandırılır. Güç çevrimlerinin çözümlenmesinde yapılan basitleştirmeler ve kabuller aşağıda kısaca verilmiştir:

- Çevrimde sürtünme yoktur. Bu nedenle aracı akışkan borulardan veya ısı değiştiricilerden geçerken basıncı düşmez.
- Sıkıştırılmaların ve genişlemelerin olduğu hal değişimleri sanki-dengeli bir biçimde gerçekleşir.
- Sistemin elemanlarını birleştiren borular iyice yalıtılmıştır. Bu nedenle planlanmayan bir ısı kaybı söz konusu değildir.

Gaz akışkanlı güç çevrimlerin sınıflandırılması



İçten yanmalı- pistonlu motorlarda temel kavramlar

Sürekli akışlı sistemlerle ilgili şimdiye dek incelenen çevrimlerde; çevrim boyunca bir sıkıştırma süreci, bir çevrime ısı verme süreci, bir genişleme süreci ve bir çevrimden ısı çekme süreci içerdikleri ve bu süreçlerin her birinin ayrı bir cihaz içerisinde gerçekleştiği görülür. Çevrimin gerçekleşmesinde pistonlu makineler kullanılırsa aynı silindiri biri diğeri ardına hem kompresör, hem de genişletici olarak kullanmak ve yakıtı da doğrudan doğruya silindir içerisine yakarak cihaz sayısını birleştirmek olanağı doğar. Akışın sürekli olmaması nedeniyle çok büyük güçler için elverişli olmayacağı hemen görülen böyle bir makine küçük güçler için gerçekleştirildiği zaman çok hafif olur ve çok az yer kaplar. Bu nedenle de bu güç için taşıtlarda hemen hemen sadece bu tip makineler kullanılmaktadır. Bunlar yakıtın silindir içerisine gönderilmesinde ve yakılmasında kullanılan yöntemlere göre benzin veya diesel motoru olarak bilinirler.

Silindir içerisine sürekli olarak hareket eden pistonun belirli bir konumda silindir içerisindeki gazın hacmi maksimumdur. Bu takdirde piston alt ölü noktada bulunuyor denir. Pistonun üst ölü nokta adı verilen diğeri bir konumda ise silindir içerisindeki gazın hacmi minimumdur. Bu hacme ölü hacim, alt ölü nokta ve üst ölü nokta uzaklığı strok, alt ölü nokta ile üst ölü nokta arasında kalan silindir hacmine ise strok hacmi adı verilir. Maksimum hacmin minimum hacme oranı sıkıştırma oranı denilen;

$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_{AÖN}}{V_{ÜÖN}}$$

eşitlikle tanımlanır. Ortalama efektif basınç ise;

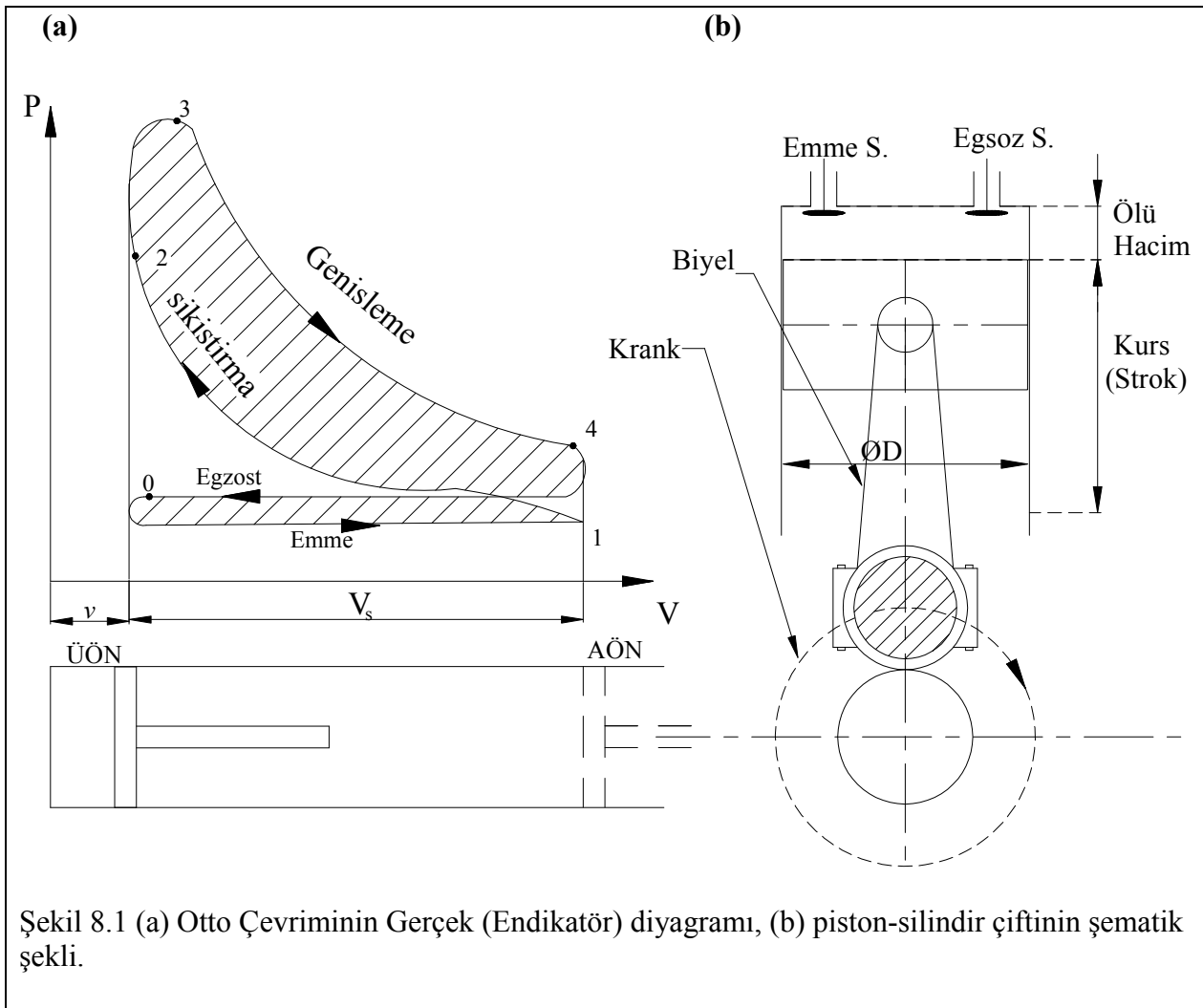
$$P_m = \frac{W_{net}}{V_{max} - V_{min}}$$

şeklinde. Pistonlu makineler ile ilgili değinilen bu temel kavramlar Şekil 8.1’de şematik olarak gösterilmiştir.

Pistonlu makineler bir çevrim tamamlanabilmesi için pistonun stroklar boyunca hareket sayısına göre iki ve dört zamanlı makineler olmak ikiye ayrılır: İki zamanlı motorlarda çevrim boyunca piston iki strok uzunluğunda yer değiştirirken dört zamanlı motorlarda dört strok uzunluğunda yer değiştirme hareketi yapar. Gerçek çevrimleri birbirinden farklı olmakla beraber iki ve dört zamanlı motorlar için aynı ideal çevrim söz konusudur.

Pistonlu makinelerin gerçek (endikatör) $P-V$ diyagramı Şekil 8.1’de gösterilmiştir. Piston üst ölü noktadan alt ölü noktaya doğru hareket ederken emme supabı açıktır ve silindir

içerisine 0-1 eğrisi boyunca benzin motorlarında yakıt hava karışımı, diesel motorlarda ise sadece hava emilir. Piston ters yönde hareket ederken subaplar kapalıdır ve emiliş olan karışım veya hava 1-2 eğrisi boyunca sıkıştırılır. Benzin motorların bujide çıkan bir kıvılcım 2 noktasında karışımı tutuştururken diesel motorlarda ise sıkıştırma oranı çok büyük olduğundan sıkıştırma süreci sonunda havanın sıcaklığı yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığının üzerine çıkar ve 2 noktasında silindir içerisine püskürtülen yakıt kendiliğinden tutuşur. Yanma dolayısıyla 2-3 eğrisi boyunca basınç artar. 3-4 eğrisi boyunca genişleyerek iş yapan gazların basıncı düşer ve 4 noktasında egzoz supabı açılır. Gazların hızla dışarı çıkması nedeniyle silindir içerisindeki basınç düşer. Pistonun üst ölü noktaya doğru hareketi ile 4-0 eğrisi boyunca gazlar silindirden dışarıya atılır ve böylece çevrim tamamlanmış olur.



Tersinir Çevrimlerin Termodinamik Analizi

i) Carnot çevrimi

Çevrim iki izotermik, iki sabit basınç durum değişiminden meydana gelir. Önceki bölümlerde değinildiği gibi tersinir durum değişimlerinde ısı geçişi sonlu sıcaklık farkında gerçekleşiyorsa;

$$\frac{Q_{su}}{Q_{soğ}} = \frac{T_{su}}{T_{soğ}}$$

olur. Bundan dolayı Carnot Çevriminin verimi; arasında çalıştığı ısı enerji depolarının sıcaklıklarını bir fonksiyonu olup matematiksel açılımı;

$$\eta_{isil} = 1 - \frac{T_{soğ}}{T_{su}} = 1 - \frac{T_4}{T_1} = 1 - \frac{T_3}{T_2}$$

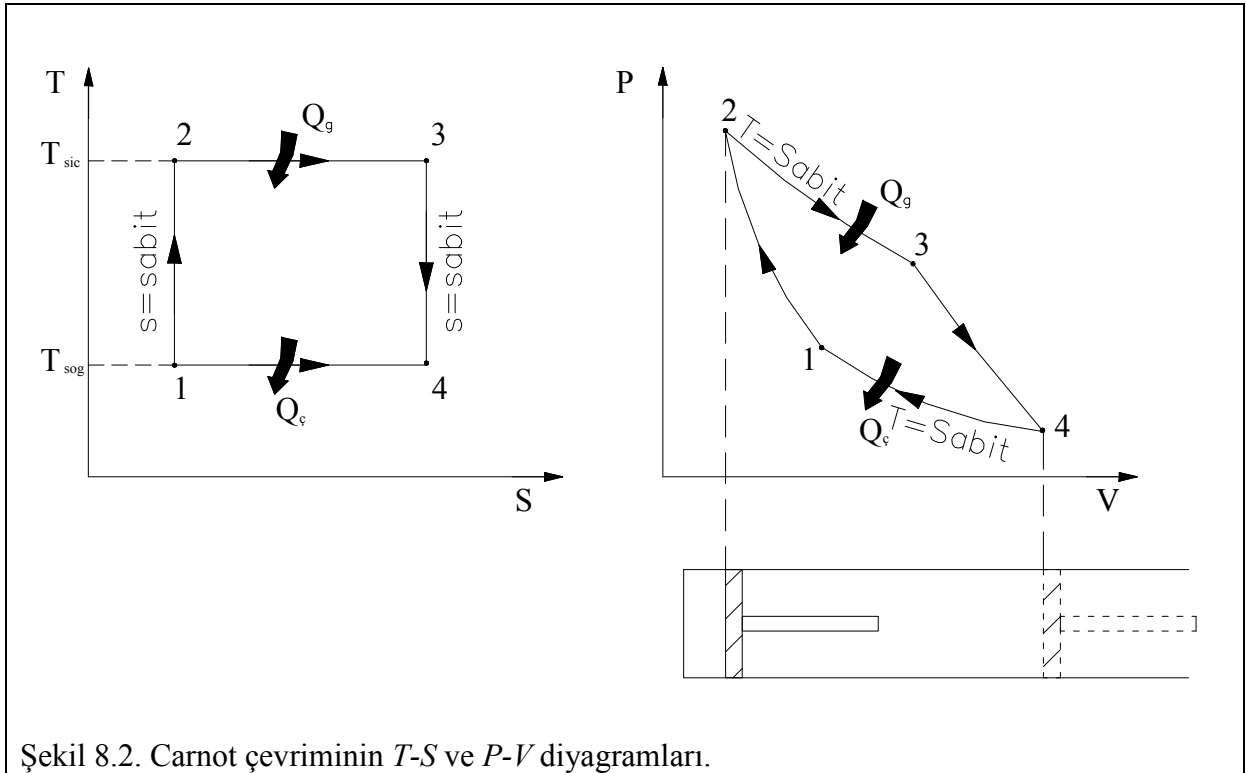
şeklindedir. İzentropik durum değişimleri göz önünde bulundurursa; izentropik sıkışma oranı ve sıcaklıklar arasında;

$$r_v = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3} = \left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{1/(1-k)}$$

bağıntısı mevcuttur. Bu bağıntıdan verim sıkışma oranının bir fonksiyonu şeklinde;

$$\eta_{isil} = 1 - r_v^{1-k}$$

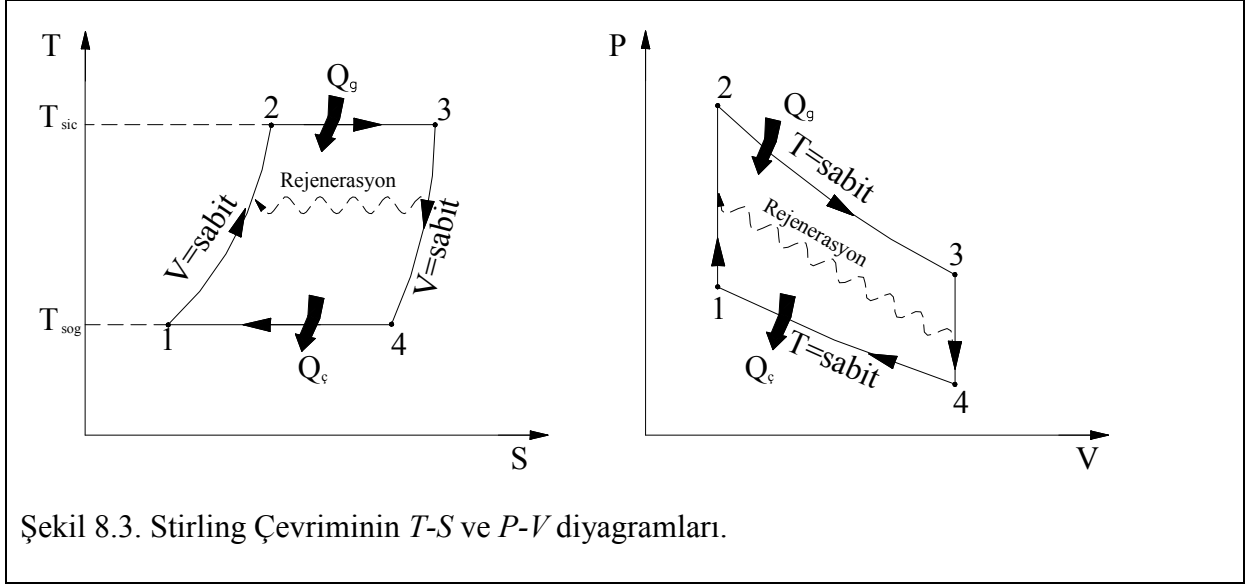
tanımlanabilir. Carnot çevriminin T - S ve P - V diyagramları Şekil 8.2’de gösterilmiştir.



Şekil 8.2. Carnot çevriminin T - S ve P - V diyagramları.

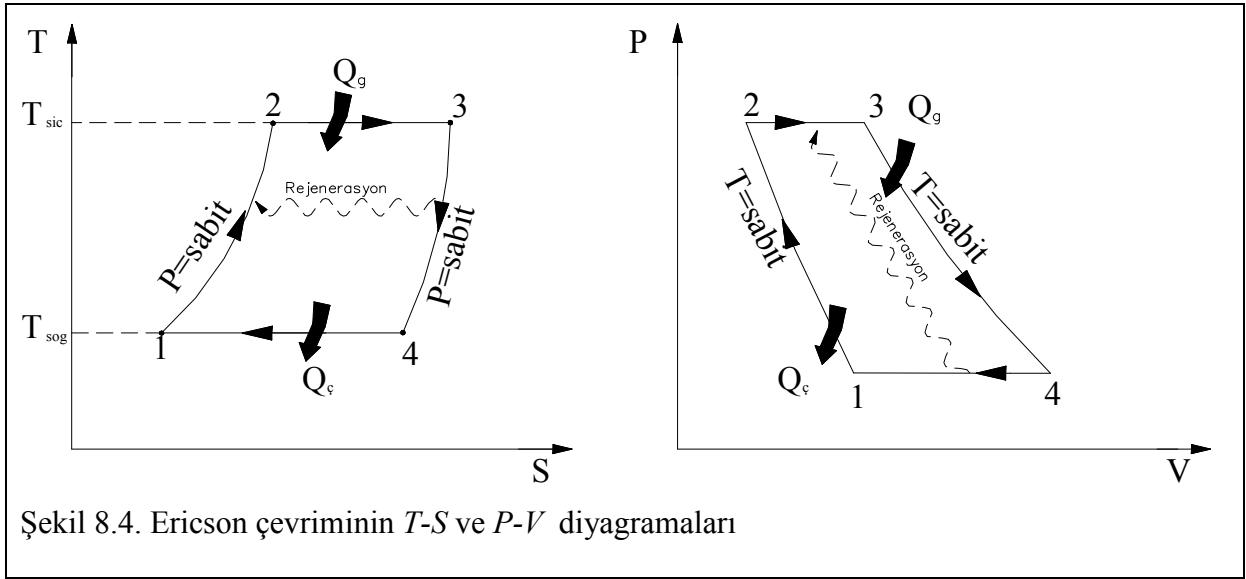
ii) Stirling çevrimi

Carnot çevrimine benzemekle birlikte, çevrim iki izotermik ($T = \text{sbt}$) iki izohor ($V = \text{sbt}$) durum değişiminden meydana gelmiştir. Bu çevrimin T - S ve PV diyagramları Şekil 8.3’de gösterilmiştir.



iii) Ericson çevrimi

T - S ve P - V diyagramları Şekil 8. 4'de gösterilen Ericson Çevrimi iki izoterm ($T=st$), iki izobar ($P=st$) durum değişiminden meydana gelir.



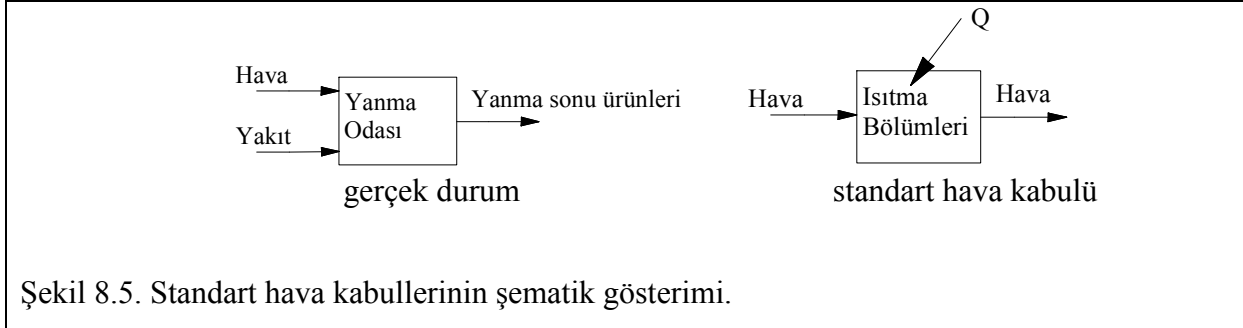
Tersinmez Çevrimlerin Termodinamik Analizi

i) Otto (benzinli motorlar) çevrimi

Otto çevrimini gerçek haliyle incelenmesi çok zor olduğundan aşağıda belirtilen standart hava kabulleri doğrultusunda hesaplamalar yapılır:

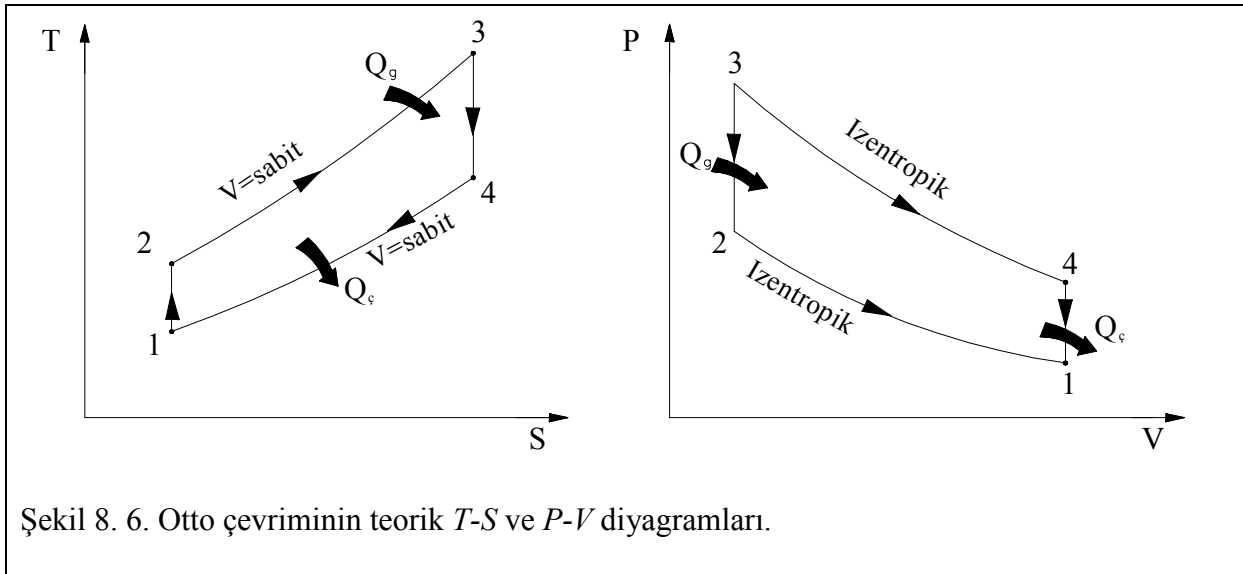
- Çevrime verilen ısı, yakıtın sistem sınırları içinde yanmasıyla sağlanır,
- Çevrim sırasında kullanılan akışkan çevrim boyunca gaz fazındadır. Akışkanın çevrim boyunca kimyasal bileşimi değişmesine rağmen, çevrim akışkanı hava kabul edilir,

- Çevrim sonunda yanma gazları dışarıya atılıp, silindire yeni dolgu alındığı için çevrim açık bir çevrim olmasına rağmen, zamansal sınırlar nedeniyle kapalı çevrim hesaplamalarının kullanımı uygundur,
- Çevrim sırasında kullanılan gazın (yani havanın) özelliklerinin oda sıcaklığındaki değerlerden sapmadığı kabul edilir



Şekil 8.5. Standart hava kabullerinin şematik gösterimi.

Bu varsayımlar doğrultusunda, $P-V$ ve $T-S$ diyagramları Şekil 8.6’de gösterilen teorik Otto çevrimi elde edilir. İki izentropik, iki izohor ($V=\text{sabit}$) durum değişiminden meydana gelen ideal Otto Çevrimi benzinli motorların çalışma prensibini oluşturur. İdeal Otto çevrimi ve gerçek Otto çevrimi $P-V$ diyagramları bazında karşılaştırırsa, ideal otto çevriminde emme ve eksozst eğrileri boyunca ki işlemlerin ortadan kalktığı görülür.



Şekil 8. 6. Otto çevriminin teorik $T-S$ ve $P-V$ diyagramları.

Otto çevriminin ısı verimi

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{|q_c|}{q_g}$$

$T-s$ veya $P-V$ diyagramından görüleceği gibi çevrimdeki ısı geçişlerinin büyüklüğünün matematiksel ifadesi;

$$q_c = q_{41} = mc_v dT = mc_v (T_1 - T_4) \rightarrow |q_{41}| = mc_v dT = mc_v (T_4 - T_1)$$

$$q_g = q_{23} = mc_v (T_3 - T_2)$$

şeklinde olur. Çevrimin verimi:

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{mc_v(T_4 - T_1)}{mc_v(T_3 - T_2)} \rightarrow \eta_{otto} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

Adyabatik durum değişim için;

$$\left. \begin{array}{l} P_3 V_3^k = P_4 V_4^k \\ P_2 V_2^k = P_1 V_1^k \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} V_3 = V_2 \\ V_4 = V_1 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Taraf tarafa bölünürse; } \frac{P_3}{P_2} = \frac{P_4}{P_1}$$

V=sbt durum değişimi için;

$$\left. \begin{array}{l} P_3 V_3 = RT_3 \\ P_2 V_2 = RT_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \quad \text{ve} \quad \left. \begin{array}{l} P_4 V_4 = RT_4 \\ P_1 V_1 = RT_1 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$$

olduğundan verim;

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

ii) Diesel (dizel motorlar) çevrimi

Diesel motorlarının çalışma prensibini oluşturan Diesel çevrimi iki izentropik, bir izohor (V=sbt), bir izobar (P=sbt) durum değişiminden meydana gelir. Otto çevriminden başlıca şu farkları vardır:

- Silindir içerisinde karışım yerine yalnızca hava sıkıştırılır.
- Ateşleme donanımı yoktur. Bunun yerine sıkıştırma işlemi sonucunda istenilen sıcaklığa ulaşmış yanmaya hazır hava üzerine enjektör denen bir araç vasıtasıyla yalıt püskürtülerek sabit basınçta yanma sağlanır.

Otto çevrimi için yapılan standart hava kabulleri Diesel çevrimi için de yapılırsa P-V ve T-S diyagramları Şekil 8. 7'de gösterilmiş teorik Diesel çevrimine ulaşılır.

Diesel çevriminin ısı verimi

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{|q_c|}{q_g}$$

T-s veya P-V diyagramından görüleceği gibi çevrimdeki ısı geçişlerinin büyüklüğünün matematiksel ifadesi;

$$q_c = q_{41} = mc_v dT = mc_v (T_1 - T_4) \rightarrow |q_{41}| = mc_v dT = mc_v (T_4 - T_1)$$

$$q_g = q_{23} = mc_p (T_3 - T_2)$$

şeklinde olur. Çevrimin verimi:

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{mc_v(T_4 - T_1)}{mc_p(T_3 - T_2)} \rightarrow \eta_{otto} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{\frac{c_p}{c_v}(T_3 - T_2)}$$

$$\frac{c_p}{c_v} = k \Rightarrow \eta_{Diesel} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)} = \frac{T_1\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{kT_2\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}$$

Bu matematiksel ifadede ki; $\frac{T_3}{T_2}$, $\frac{T_1}{T_2}$ ve $\frac{T_4}{T_1}$ bulunuşu sırasıyla aşağıda verilmiştir:

2-3 durum değişimlerinde basınç sabit olduğundan;

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} = r_c \dots\dots\dots r_c : \text{kesme oranı}$$

3-4 durum değişimleri izentropik olduğundan;

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{k-1}$$

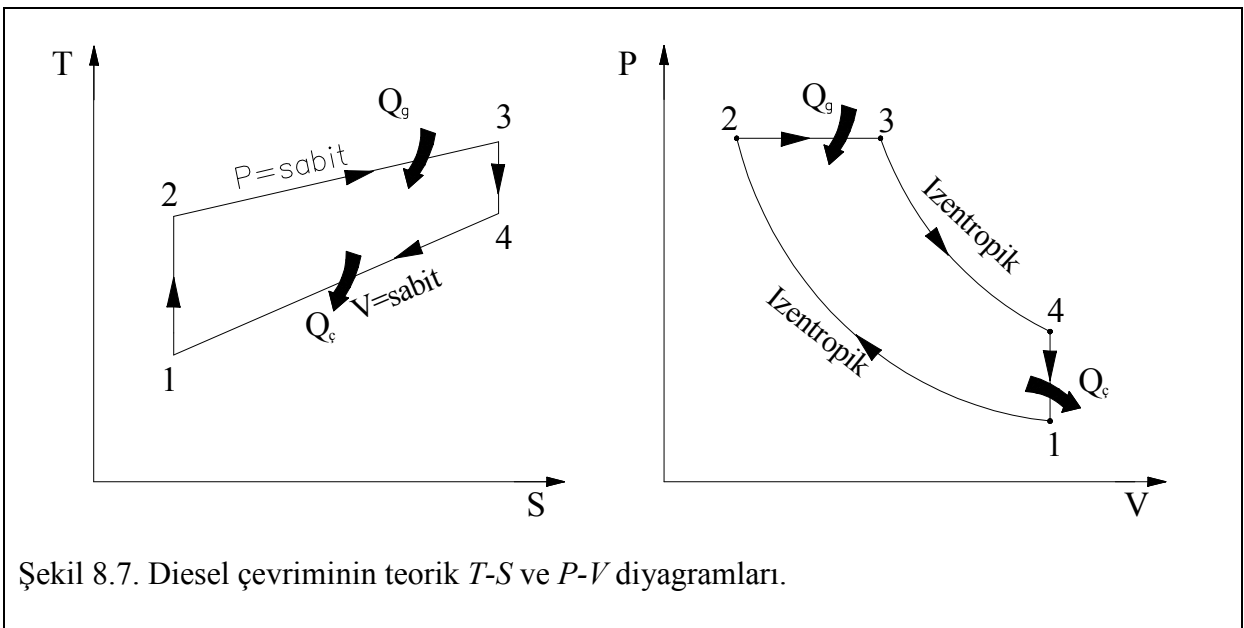
$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{V_3}{V_2} \frac{V_2}{V_1} \text{ ve } \frac{V_2}{V_1} = r_v \Rightarrow \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{r_c}{r_v}\right)^{k-1}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_4}{T_3} \frac{T_3}{T_2} \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \left(\frac{r_c}{r_v}\right)^{k-1} * r_c * r_v^{k-1} = r_c^k$$

Türetilen bu ifadeler denkleme yerleştirilirse ısı verim için,

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{1}{k} \frac{(r_c^k - 1)}{r_v^{k-1}(r_c - 1)}$$

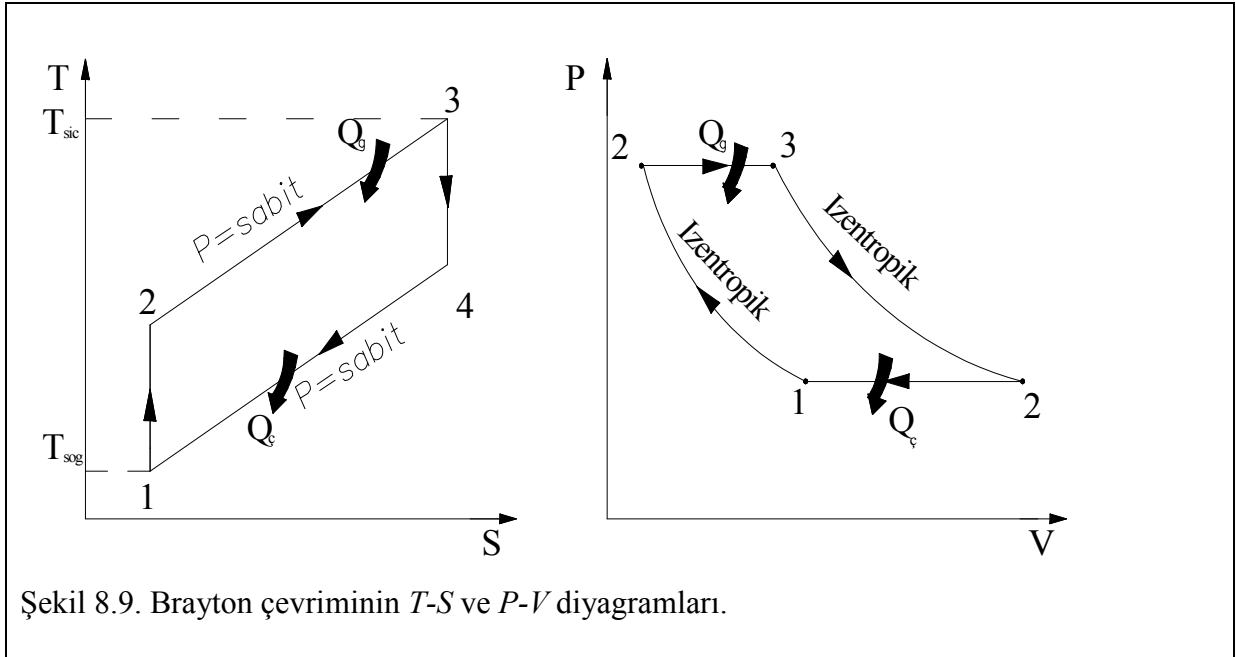
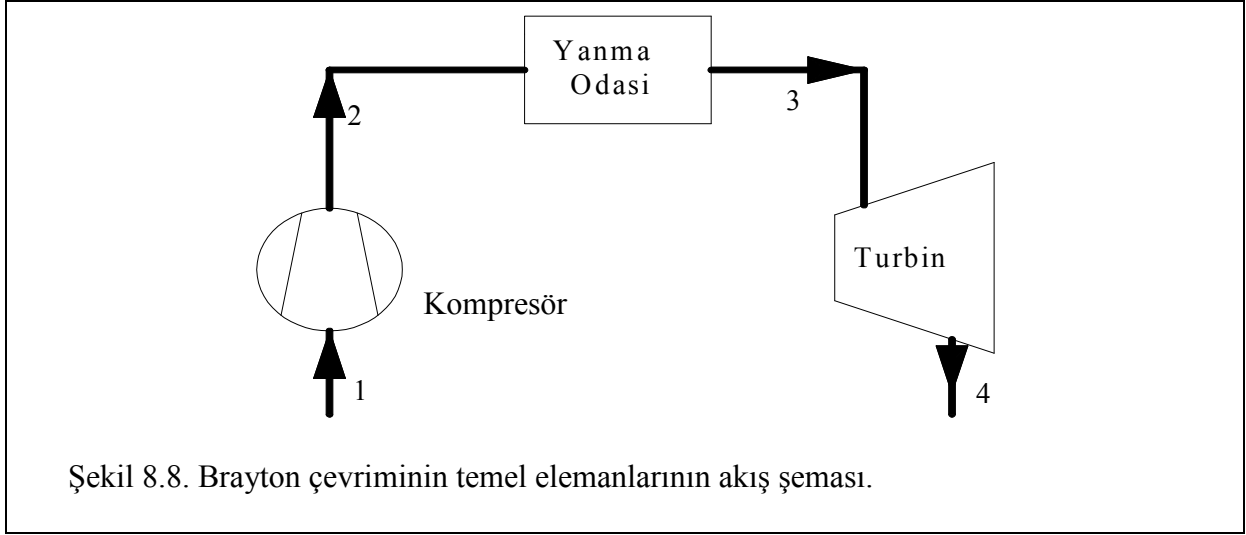
denklemini elde edilir.



Şekil 8.7. Diesel çevriminin teorik T-S ve P-V diyagramları.

iii) Brayton (gaz türbin motorları) çevrimi

Gaz türbinlerin çalışma esaslarını içeren Brayton çevriminin temel elemanlarını oluşturan akış şeması Şekil 8.8’de gösterilmiştir. Brayton çevrimi de Otto ve Diesel çevrimi gibi açık devreli çevrim olmasına rağmen Otto çevrimi için yapılan kabuller yapılarak, hesaplamalarda bu çevrim de kapalı devre bir çevrim gibi düşünülür. Teorik $P-V$ ve $T-S$ diyagramları Şekil 8.9’da gösterilen Brayton çevrimi, iki izobar ve iki izotermik durum değişiminden meydana gelir.



Braytonçevriminin ısı verimi

$$\eta_{Brayton} = 1 - \frac{|q_c|}{q_g}$$

T-s veya P-V diyagramından görüleceği gibi çevrimdeki ısı geçişlerinin büyüklüğünün matematiksel ifadesi;

$$q_c = q_{41} = mc_p dT = mc_p (T_1 - T_4) \rightarrow |q_{41}| = mc_p dT = mc_p (T_4 - T_1)$$

$$q_g = q_{23} = mc_p (T_3 - T_2)$$

şeklinde olur. Bu durumda çevrimin ısı verimi:

$$\eta_{Brayton} = 1 - \frac{mc_p (T_4 - T_1)}{mc_p (T_3 - T_2)} \rightarrow \eta_{otto} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

denlemleri ifade edilebilir. Ancak, adyabatik durum değişimi için;

$$\left. \begin{array}{l} P_3 V_3^k = P_4 V_4^k \\ P_2 V_2^k = P_1 V_1^k \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \\ \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} \end{array} \right\} \text{ve } \begin{array}{l} P_1 = P_4 \\ P_2 = P_3 \end{array}$$

olduğundan, ısı verim için daha kullanışlı ve daha basit formdaki,

$$\eta_{Brayton} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

denklemini elde edilir.

ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER

8.1. Otto çevrimine göre çalışan dört silindri bir motorun silindir çapı 80mm, strok (süpürme uzunluğu) 75 mm. Sıkıştırma oranı 6.6'tür. Havanın ($k=1.4$, $R= 0.287$ kJ/kgK) silindire giriş şartları 1 bar, 51^0 C ve çevrimin maksimum basıncı 45 bar olduğuna göre;

- Çevrimin P-V diyagramındaki her noktadaki basınç sıcaklık ve hacim değerleri
- 1 kg hava tarafından yapılan iş
- Çevrimin verimini bulunuz

Çözüm

$$a) V_1 = V_4 = V_s + V_2 = (V_1 - V_2) + V_2$$

$$V_s = \frac{\pi d^2}{4} h = \frac{\pi (80 * 10^{-2})^2 * 75 * 10^{-3}}{4} = 3.77 * 10^{-4} m^3 \text{ ve}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{\epsilon_v} \Rightarrow V_1 = \frac{3.77 * 10^{-4}}{1 - \frac{1}{\epsilon_v}} = 4.468 * 10^{-4} m^3$$

$$V_2 = \frac{V_1}{\epsilon_v} = \frac{4.468 * 10^{-4}}{6.4} = 7 * 10^{-5} m^3$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = (6.4)^{1.4} \rightarrow P_2 = 13.44 \text{ bar}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4} \rightarrow P_4 = \frac{P_3}{13.44} = 3.346 \text{ bar}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = (13.44)^{\frac{0.4}{1.4}} = 2.1 \rightarrow T_2 = 680.4 \text{ K}$$

$$T_3 = T_2 \frac{P_3}{P_2} = 680.4 \frac{45}{13.44} = 2276 \text{ K}$$

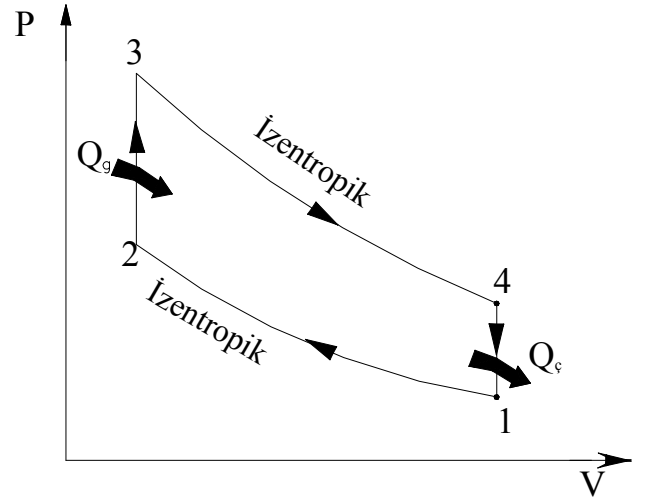
$$T_4 = T_1 \frac{P_4}{P_1} = 324 * 3.346 = 1084 \text{ K}$$

$$b) |q_c| = c_v (T_4 - T_1) = 0.717 (1084 - 324) = 544.92 \text{ kJ / kg}$$

$$q_g = c_v (T_3 - T_2) = 0.717 (2276 - 680) = 1144.33 \text{ kJ / kg}$$

$$W_{net} = q_g - |q_c| = 1144.33 - 544.92 = 600 \text{ kJ / kg}$$

$$c) \eta_{otto} = 1 - \frac{1}{\epsilon_v^{k-1}} = 1 - \frac{1}{(6.4)^{0.4}} = 0.524$$



8.2. İzentropik sıkıştırma oranı 9 olan bir ideal otto çevriminde maksimum sıcaklık 2800 K ve maksimum basınç 8 MPa'dır. Çevrimde 1 kg havaya 1500 kJ ısı verilmektedir.

- Çevrimin ısıl verimini bulunuz?
- Çevrimin her bir noktasındaki basınç ve sıcaklığı bulunuz?
- Çevrimin 1 kg hava için yaptığı işi hesaplayınız?

Çözüm

$$\text{a)} \quad \eta_{otto} = 1 - \frac{1}{\epsilon_v^{k-1}} = 1 - \frac{1}{9^{1.4-1}} = 1 - 9^{-0.4} = 0.584$$

$$\text{b)} \quad q_{23} = q_g = c_v(T_3 - T_2) \Rightarrow T_2 = T_3 - \frac{q_{23}}{c_v} = 2800 - \frac{1500}{0.717} \rightarrow T_2 = 708K$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{(\epsilon_v)^{k-1}} = 9^{-0.4} \rightarrow T_1 = 294K$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1} \Rightarrow T_4 = T_1 \frac{T_3}{T_2} \rightarrow T_4 = 1162K$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow P_2 = P_3 \frac{T_2}{T_3} \rightarrow P_2 = 2.019MPa$$

$$\frac{P_2}{P_1} = (\epsilon_v)^k \rightarrow P_1 = 63.13kPa$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{P_4}{P_1} \rightarrow P_4 = 369.11kPa$$

$$\text{c)} \quad q_\zeta = c_v(T_4 - T_1) \rightarrow q_\zeta = 622.87kJ/kg$$

$$W_{net} = q_g - q_\zeta \rightarrow W_{net} = 877.13kJ/kg$$

8.3. Sıkıştırma oranı 8 olan bir Otto çevriminde sıkıştırma başlangıcındaki basınç 100 kPa, sıcaklık 300 K olup üst ölü noktada çevrime verilen ısının miktarı 2000 kJ/kg'dır. Çevrimde gerçekleşen süreçlerin her birinin sonunda silindir içerisindeki basıncı ve sıcaklığın değerini, çevriminin ısıl verimini ve ortalama efektif basıncı hesaplayınız.

Çözüm:

Şekil 8.7.'deki diyagramlar baz alınarak yapılacaktır

1-Durum

$$P_1=100 \text{ kPa}, T_1=300K, v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = 0.861m^3/kg$$

2-Durum

1-2 durum değişimleri izentropik olduğundan;

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = 8^{0.4} \rightarrow T_2 = 689.22K, \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k = 8^{1.4} \rightarrow P_2 = 1837.92kPa$$

$$v_2 = \frac{v_1}{r} = 0.1076m^3/kg$$

3-Durum

$$q_{23} = c_v(T_3 - T_2) \rightarrow T_3 = 689.22 + \frac{2000}{0.7165} = 3480.56K$$

2-3 durum değişimleri sabit hacimde gerçekleştiğinden;

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \frac{3480.56}{689.22} \rightarrow P_3 = 9.281MPa$$

4-Durum

3-4 durum değişimleri izentropik olduğundan;

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{v_4}{v_3} \right)^k = 8^{1.4} \rightarrow P_4 = 504.9 \text{ kPa}, \quad \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{v_4}{v_3} \right)^{k-1} = 8^{0.4} \rightarrow T_4 = 1515.26 \text{ K}$$

Çevrimin verimi:

$$\eta_{isil} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} = 1 - \frac{1}{8^{0.4}} = 0.565$$

Net iş:

$$W_{net} = \eta_{isil} * q_{23} = 0.565 * 2000 = 1130 \text{ kJ / kg}$$

Ortalama efektif basınç:

$$P_{ef} = \frac{W_{net}}{v_1 - v_2} = \frac{1130}{0.861 - 0.1076} = 1499.86 \text{ kPa}$$

8.4. Sıkıştırma oranı 7 olan bir otto çevriminde 101.35 kPa basınç ve 21⁰C'deki 1 kg hava-yakıt karışımı emilerek izentropik sıkıştırılmaktadır. Yanma işlemi sırasında akışkana aktarılan ısı enerjisi 953.66 kJ'dur. Soğutma suyu ile çevreye aktarılan ısı enerjisi egzost gazları ile aktarılanın %30'u, silindir cidarlarından çevreye aktarılan ısı ise egzost gazlarıyla aktarılanın %8'i kadardır.

a) Net işi ve çevrimin termik verimini bulunuz?

b) Ortalama efektif basınç, $P_{ef} = W_{net} / (V_{max} - V_{min})$ denklemi ile verildiğine göre " P_{ef} " basıncını bar olarak tespit ediniz?

Çözüm

$$a) W_{net} = \sum q_g - \sum |q_c| + |q_{sil}| = |q_{41}| + 0.30|q_{41}| + 0.08|q_{41}|$$

$$q_{41} = c_v(T_4 - T_1)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = (7)^{1.4-1} \Rightarrow T_2 = 640.3 \text{ K}$$

$$q_{23} = c_v(T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{953.66}{0.717} + 640.3 \rightarrow T_3 = 1970.36 \text{ K}$$

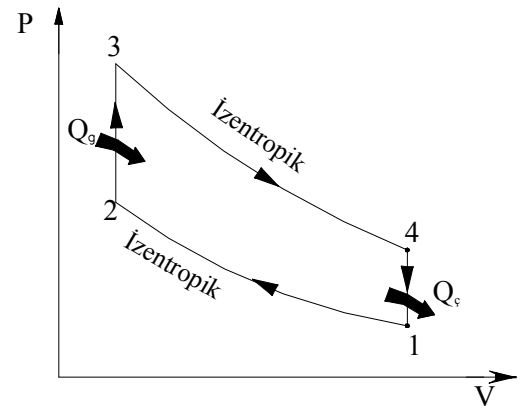
$$T_4 = T_1 \frac{T_3}{T_2} = 294 \frac{1970.36}{640.3} = 904.36 \text{ K}$$

$$|q_{41}| = 0.717(904.36 - 294) = 437.88 \text{ kJ / kg}$$

$$\sum |q_{41}| = 1.38|q_{41}| = 604.27 \text{ kJ}$$

$$W_{net} = 953.66 - 604.27 = 349.39 \text{ kJ}$$

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{W_{net}}{q_g} = 1 - \frac{349.39}{953.66} = 0.366$$



b)

$$P_1 V_1 = mRT_1 \Rightarrow V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{0.287 * 294}{101.35} = 0.832 m^3 \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = 7 \Rightarrow V_2 = 0.1189 m^3$$

$$P_{ef} = \frac{349.39}{0.832 - 0.1189} = 489.95 kPa$$

8.5. Sıkıştırma oranı 16 olan bir Diesel çevriminde sıkıştırma başlangıcındaki basınç $P_1 = 100$ kPa, sıcaklık $T_1 = 300$ K olup çevrime verilen ısının miktarı 1800 kJ/kg'dır. Çevrimde gerçekleşen süreçlerin her birisinin sonunda silindir içerisindeki basıncın ve sıcaklığın değerini, çevrimin ısı verimini ve ortalama efektif basıncını hesaplayınız.

Çözüm

1-Durum

$$P_1 = 100 \text{ kPa}, T_1 = 300 \text{ K}, v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = 0.861 m^3 / kg,$$

2-Durum

1-2 durum değişimi izentropik olduğundan

$$\frac{T_2}{T_1} = r^{k-1} \rightarrow T_2 = 300 * 16^{0.4} = 909.43 \text{ K}, \quad \frac{P_2}{P_1} = r^k \rightarrow P_2 = 4850.3 \text{ kPa},$$

$$v_2 = \frac{v_1}{r} = 0.0538 m^3 / kg$$

3-Durum

$$q_{23} = c_p (T_3 - T_2) \rightarrow T_3 = 909.43 + \frac{1800}{1.0035} = 2703.15 \text{ K},$$

2-3 durum değişimlerinde basınç sabit olduğundan

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{T_3}{T_2} \rightarrow v_3 = \frac{2703.5}{909.43} * 0.0538 = 0.1599 m^3 / kg$$

4-Durum

3-4 durum değişimi izentropik olduğundan

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} \rightarrow T_4 = \left(\frac{0.1599}{0.861} \right)^{0.4} * 2703.15 = 1378.5 \text{ K}$$

4-1 durum değişimi hacim sabit olduğundan

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} \rightarrow P_4 = \frac{1378.5}{300} * 100 = 459.5 \text{ kPa}$$

Kesme oranı (r_c):

$$r_c = \frac{v_3}{v_2} = \frac{0.1599}{0.0538} = 2.972$$

Çevrimin verimi:

$$\eta_{isil} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} = 1 - \frac{1}{16^{0.4}} \frac{3.595}{1.4 * 1.972} = 0.57$$

Net iş:

$$W_{net} = \eta_{isil} * q_{23} = 0.57 * 1800 = 1026.8 \text{ kJ / kg}$$

Ortalama efektif basınç:

$$P_{ef} = \frac{W_{net}}{v_1 - v_2} = \frac{1026.8}{0.861 - 0.0538} = 1272 \text{ kPa}$$

8.6. Brayton çevrimine göre çalışan tersinir bir makinada kompresör girişinde havanın sıcaklığı 300 K, kompresörün sıkıştırma oranı 6, çevrimin maksimum sıcaklığı 1200 K'dir

- Kompresör ve türbini çıkışındaki sıcaklık değerlerini,
- Kompresörün çektiği işin türbinin yaptığı işe oranını ve çevriminin verimini,

Çözüm

a)

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{2}} = 6^{0.4} = 1.6685 \Rightarrow T_2 = 500.55 \text{ K}, \quad T_4 = 719.2 \text{ K}$$

b)

$$w_k = h_1 - h_2 = c_p(T_1 - T_2) = 1.0035 * (300 - 500.55) = -201.25 \text{ kJ/kg}$$

$$w_t = h_3 - h_4 = c_p(T_3 - T_4) = 1.0035 * (1200 - 719.2) = 482.48 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{|w_k|}{w_T} = \frac{201.25}{482.48} = 0.417$$

$$\eta_{\text{Brayton}} = \frac{w_{net}}{q} = \frac{c_p(T_3 - T_4) + c_p(T_1 - T_2)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}} = 0.40$$

8.7. Bir dizel motorunda sıkıştırma başlangıç basıncı 100 kPa, sıcaklığı 15°C, sıkıştırma oranı 15 ve çevrime verilen ısı miktarı 1600 kJ/kg'dır.

- Çevrimin P-V diyagramının her noktasındaki basınç ve sıcaklıkları
- Çevrimin verimini bulunuz

a)

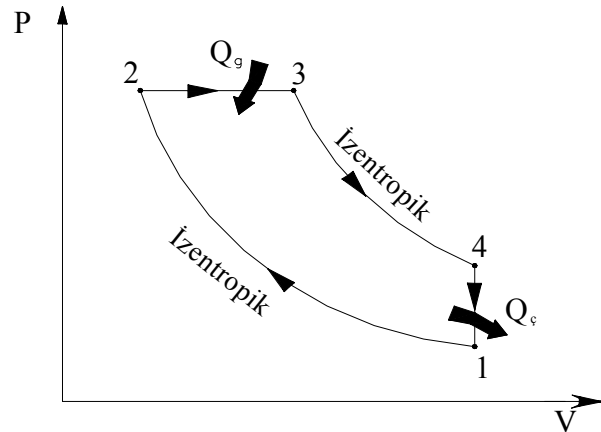
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = (15)^{1.5} \rightarrow P_2 = 44.31 \text{ bar}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = (15)^{1.4} \rightarrow T_2 = 850 \text{ K}$$

$$q_g = c_p(T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{q_g}{c_p} + T_2 \rightarrow$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{k-1} = \left(\frac{V_3}{V_2} \frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1} = \left(\frac{T_3}{T_2} \frac{r_2}{V_1} \right) \rightarrow T_4 = 1262 \text{ K}$$

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} \Rightarrow P_4 = P_1 \frac{T_4}{T_1} \rightarrow P_4 = 4.382 \text{ bar}$$



b)

$$\eta_{\text{diesel}} = 1 - \frac{1}{k} \frac{1}{\epsilon_v^{k-1}} \left(\frac{r_c^k - 1}{r_c - 1} \right)$$

$$r_c = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} = 2.875$$

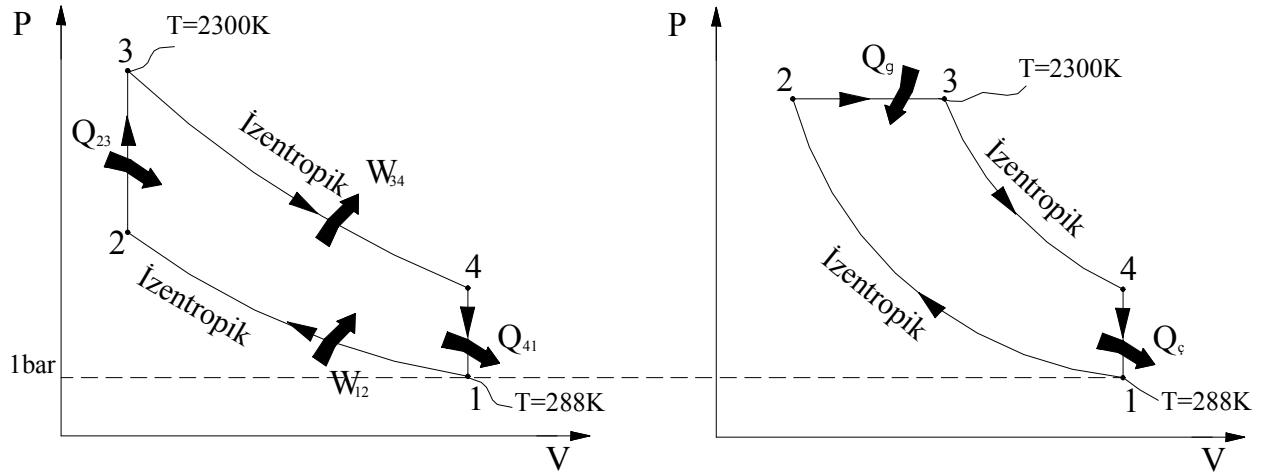
$$\eta_{diesel} = 1 - \frac{1}{1.4} \frac{1}{15^{0.4}} \frac{(2.875^{1.4} - 1)}{(2.875 - 1)} = 0.563$$

8.8. Sıkıştırma başlangıcı basınç ve sıcaklıkları 100kPa ve 15°C, maksimum sıcaklığı 2300 K olan ve çevrime verilen ısı 1400 kJ/kg olan ideal otto ve diesel çevriminde iş yapan akışkan olarak hava kullanılmaktadır.

a) Her iki çevrim için her P-V diyagramındaki her noktanın basınç ve sıcaklık değerlerin bulunuz

b) Her iki çevrimin için sıkıştırma oranlarını ve çevrim verimlerini bulunuz (k=1.4, R=0.287 kJ/kgK)

Çözüm



Otto çevrimi için

a) $q_g = c_v(T_3 - T_2) \Rightarrow T_2 = T_3 - \frac{q_g}{c_v} \rightarrow T_2 = 347K$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \Rightarrow P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \rightarrow P_2 = 1.919bar$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2} \rightarrow P_3 = 12.71bar$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow T_4 = T_1 \frac{T_3}{T_2} \rightarrow T_4 = 1909K$$

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow P_4 = P_1 \frac{T_3}{T_2} \rightarrow P_4 = 6.62bar$$

$$\text{b) } \varepsilon_v = \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{k-1}} = 1.592$$

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{\varepsilon_v^{k-1}} = 1 - \frac{1}{(1.592)^{0.4}} = 0.17$$

$$\frac{|q_\zeta|}{q_g} = 0.83 \rightarrow |q_\zeta| = 1162 \text{ kJ / kg}$$

$$W_{net} = 1400 - 1162 = 238 \text{ kJ / kg}$$

Diesel çevrimi için

$$\text{a) } q_g = c_v(T_3 - T_2) \Rightarrow T_2 = T_3 - \frac{q_\zeta}{c_v} \rightarrow T_2 = 905 \text{ K}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \Rightarrow P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \rightarrow P_2 = 55 \text{ bar}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^{k-1} = \left(\frac{V_3 V_2}{V_2 V_1} \right)^{k-1} = \left[\frac{T_3}{T_2} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \rightarrow T_4 = 1063 \text{ K}$$

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} \Rightarrow P_4 = P_1 \frac{T_4}{T_1} \rightarrow P_4 = 3.69 \text{ bar}$$

$$\text{b) } \varepsilon_v = \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \rightarrow \varepsilon_v = 17.5$$

$$r_c = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} \rightarrow r_c = 2.54$$

$$\eta_{diesel} = 1 - \frac{1}{k} \frac{1}{\varepsilon_v^{k-1}} \frac{(r_c^k - 1)}{(r_c - 1)} \rightarrow \eta_{diesel} = 0.60$$

$$W_{net} = \eta_{diesel} q_g \rightarrow W_{net} = 840 \text{ kJ / kg}$$

$$q_\zeta = q_g - W_{net} \rightarrow q_\zeta = 560 \text{ kJ / kg}$$