

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Orman Fakültesi
Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü

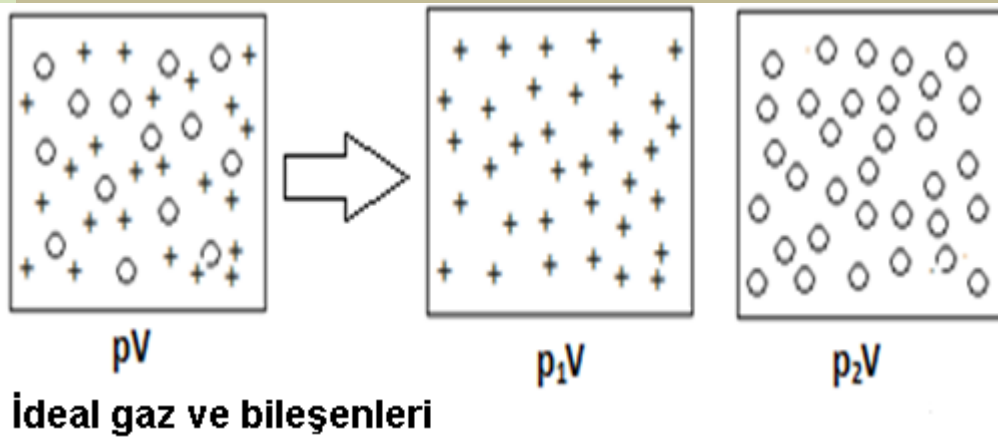
OREN1000 TEKNİK FİZİK

2. TERMODİNAMİK GAZLAR VE DURUM DEĞİŞMELERİ

2.3. GAZ KARIŞIMLARI

- Isı makinalarında ve bazı imalat işlerinde iş yapan akışkan olarak **gaz karışımları** kullanılır.
- Gaz karışımları, birden fazla gazın karışarak meydana getirdiği ortamlardır; hava, doğal gaz, yanma ürünleri.
- Bir gaz karışımını oluşturan elemanların her birine **karışımın bileşenleri** denir.
- Karışımındaki her bir gaz bağımsız olarak hareket eder ve bütün hacmi doldurarak kabın cidarlarına kısmi basınç denen kendi basıncını uygular.
- Bir gazın kısmi basıncı homojen gazlar gibi aynı kanuna uyar.

- Gaz karışımının özellikleri, karışımı meydana getiren gazlara ve bunların özelliklerine bağlı olarak değişir.
 - Burada, gazların ideal olduğu ve kimyasal reaksiyonlara girmedığı kabul edilir.
- V hacmindeki bir kabın içinde p basıncında iki ayrı gazdan oluşan bir karışım bulunsun.



- Gazlardan biri (+) diğeri (o) işaretiyle gösterilsin. Gaz karışımı ile gazların sıcaklıkları da T olsun.

- Karışım basıncı (Dalton kanunu):

$$p = p_1 + p_2 + \cdots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i$$

Bileşenlerin kısmi basınç oranları:

$$\frac{p_i}{p} = g_i \frac{R_i}{R}$$

$$\frac{p_i}{p} = \frac{n_i}{n} = r_i$$

- Dalton kanununa göre karışımın hacmi kısmi hacimlerin toplamına eşittir.

$$V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i$$

- Hacim oranları;

$$\frac{V_i}{V} = \frac{n_i}{n} = r_i$$

- Basınç ve hacim oranı ilişkisi;

$$\frac{p_i}{p} = \frac{V_i}{V} = \frac{n_i}{n} = r_i$$

- Karışımın kütlesi;

$$m = m_1 + m_2 + \cdots + m_n = \sum_{i=1}^n m_i$$

- Gaz karışımlarındaki gazların oranları, kütlesele veya hacimsel olarak gösterilebilir.
- Kütlesele oranı (g);

$$g_1 = \frac{m_1}{m}, g_2 = \frac{m_2}{m}, \dots \dots, g_n = \frac{m_n}{m}$$
$$1 = g_1 + g_2 + \dots + g_n = \sum_{i=1}^n g_i$$

- Hacimsel oran (r);

$$r_1 = \frac{V_1}{V}, r_2 = \frac{V_2}{V}, \dots \dots, r_n = \frac{V_n}{V}$$
$$1 = r_1 + r_2 + \dots \dots + r_n = \sum_{i=1}^n r_i$$

- Kütlesel ve hacimsel oranlar arasındaki ilişki;

$$g_i = \frac{r_i m_i}{\sum_{i=1}^n (g_i / m_i)}$$

$$r_i = \frac{g_i / m_i}{\sum_{i=1}^n (g_i / m_i)}$$

2.4. GAZ KANUNLARI

- Gaz kanunları, sıcaklık (T), basınç (P) ve hacim (V) gibi termodinamik değişkenlerin aralarındaki ilişkileri açıklayan bir takım kanunlardır.
- ✓ **Boyle-Mariotto Kanunu:** Sabit sıcaklıkta durum değiştiren bir gazın, basıncı ve hacminin çarpımı sabittir.

$$P V = \text{Sabit}$$

Sabit sıcaklıkta durum değişmesi:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

✓ **Gay-Lussac ve Charles Kanunları:** Sabit basınçta, ideal gazın hacminin azalıp çoğalması, sıcaklığında da aynı oranda azalma veya çoğalma sağlar.

$$\frac{V}{T} = \text{Sabit}$$

Sabit basınçta durum değişmesi:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

- **Gay-Lussac Kanunu:** Sabit hacimde, ideal gazın basıncının azalıp çoğalması, aynı oranda sıcaklığının da azalıp çoğalması sonucunu ortaya koyar.

$$\frac{P}{T} = \text{Sabit}$$

- Sabit hacimde durum değişmesi:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

- **İdeal Gaz Denklemi:** Bir ideal gaz ile ilgili bütün parametreler değişken olduğu zaman bu parametreler arasındaki bağıntıyı veren ifadeye durum denklemi denir.
- Boyle-Mariotte, Gay-Lussac ve Charles ile Gay-Lussac kanunları kullanılarak bu bağıntı elde edilebilir. Basınç, özgül hacim ve sıcaklık arasında

$$\frac{p v}{T} = \text{Sabit}$$

ilişkisi geçerlidir. Burada, R [J/kgK] ideal gaz sabitidir. 1 kg ideal gaz için durum denklemi

$$p v = R T$$

$v = V/m$ olduğundan m [kg] gaz için ideal gaz denklemi

$$p V = m R T$$

olarak ifade edilir.

- **Avogadro Kanunu ve Gaz Sabiti:** Bütün ideal gazlar aynı basınç ve aynı sıcaklıkta eşit hacimlerde aynı miktarda molekül içerirler.

- Bu ifade Avogadro kanunu olarak bilinir.

$$M_1 v_1 = M_2 v_2 = M v = \text{sabit}$$

- $P_i V = m_i R_i T$ ideal gaz denklemi ideal gazın her durumu için ayrı ayrı yazılarak taraf tarafa toplanırsa aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$m R = m_1 R_1 + m_2 R_2 + \dots + m_n R_n$$

$$R = g_1 R_1 + g_2 R_2 + \dots + g_n R_n = \sum_{i=1}^n g_i R_i$$

Bir karışımın gaz sabiti;

$$R = \frac{R_g}{M}$$

Burada; M [kg/kmol] karışımın mol kütlesi ve R_g [J/kmol K] genel gaz sabiti

$$\begin{aligned} R_g &= 8,314 \text{ [kJ/kmolK]} = 8,314 \text{ [kPam}^3\text{/kmolK]} \\ &= 0,08314 \text{ [Bar m}^3\text{/kmolK]} \end{aligned}$$

Tablo 2.11. Bazı gazların özellikleri

Gaz	Kimyasal Formül	Molekül Kütlesi	R kJ/kgK	Cp kJ/kgK	Cv kJ/kgK	k
Argon	Ar	39.948	0.20813	0.5203	0.3122	1.667
Azot (Nitrojen)	N ₂	28.013	0.29680	1.0416	0.7448	1.400
Bütan	C ₄ H ₁₀	58.124	0.14304	1.7164	1.5734	1.091
Etan	C ₂ H ₆	30.07	0.27650	1.7662	1.4897	1.186
Etilen	C ₂ H ₄	28.054	0.29637	1.5482	1.2518	1.237
Hava	-	28.97	0.28700	1.0035	0.7165	1.400
Helyum	He	4.003	2.07703	5.1926	3.1156	1.667
Hidrojen	H ₂	2.016	4.12418	14.2091	10.0849	1.409
Karbondiyoksit	CO ₂	44.01	0.18892	0.8418	0.6529	1.289
Karbonmonoksit	CO	28.01	0.29683	1.0413	0.7445	1.400
Metan	CH ₄	16.04	0.51835	2.2537	1.7354	1.299
Neon	Ne	20.183	0.41195	1.0299	0.6179	1.667
Oksijen	O ₂	31.999	0.25983	0.9216	0.6618	1.393
Oktan	C ₈ H ₁₈	114.23	0.07279	1.7113	1.6385	1.044
Propan	C ₃ H ₈	44.097	0.18855	1.6794	1.4909	1.126
Su buharı	-	18.015	0.46152	1.8723	1.4108	327

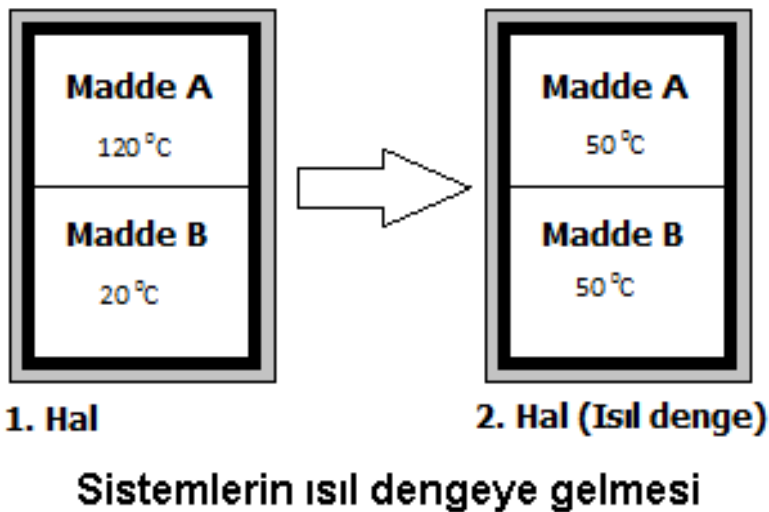
2.5. TERMODİNAMİĞİN KANUNLARI

- Termodinamik kanunlar, ısıнын ve maddenin yapısı dikkate alınmadan;
 - basınç,
 - hacim,
 - sıcaklık ve
 - ısı miktarı

gibi doğrudan ölçülebilen büyüklükler yardımı ile tecrübelerle dayanılarak çıkarılmıştır.

Termodinamiğin Sıfıncı Kanunu (TD0K)

- Bir cismin sıcaklığını ölçmek üzere, termometrenin cisme temas etmesinden belirli bir süre sonra termometre cismin sıcaklığını gösteren sabit bir değere ulaşır.



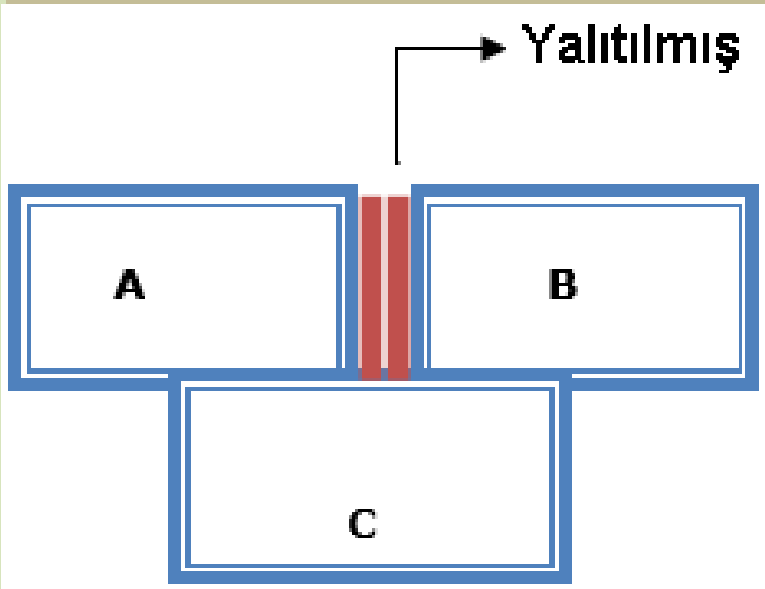
- Yalıtımlı bir ortamda farklı sıcaklıkta ve birbirini ile temas halindeki iki cismin sıcaklığı, belirli bir süre sonra aynı değere ulaşır.
- Bu ifadeler termodinamiğin birinci kanununun ifadesidir.

Buna göre termodinamiğin sıfıncı kanunu;

Eğer iki sistem ayrı ayrı üçüncü bir sistemle termik dengede ise, bu iki sistem birbirleriyle termik (ısı) dengededir.

- Isıl dengedeki iki cismin sıcaklıkları aynıdır.

$$T_A = T_C \text{ ve } T_B = T_C \text{ ise; } T_A = T_B$$



- Sıcaklık ölçümleri TDOK'ya dayanılarak yapılır.

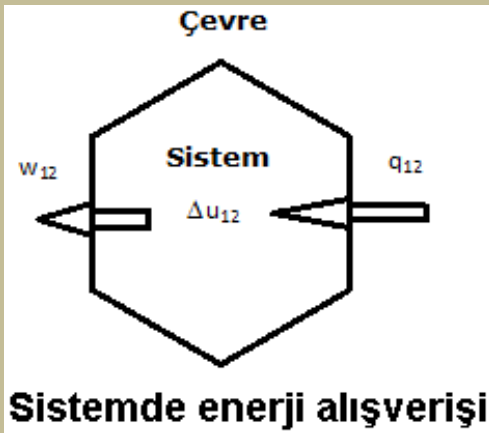
Termodinamiğin Birinci Kanunu (TD1K)

- Bir etkileşim sırasında, enerji bir biçimden başka bir biçime dönüşebilir.
 - Ancak toplam enerji miktarı değişmez;
 - enerjinin korunumu ilkesi: enerji yaratılamaz veya yok edilemez.
- Örneğin, uçurumdan aşağı düşen bir kaya parçasının hızı, potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüşmesine bağlı olarak artar, ancak aynı oranda potansiyel enerjisi azalır ve sonuçta toplam enerjisi sabit kalır.

- Enerjinin korunumu ilkesi aynı zamanda beslenme rejiminin de esasını oluşturur.
- Enerji girişi (gıda alımı) enerji çıkışından (hareket, iş, ısı) fazla olan bir kişi kilo (yağ olarak enerji depolaması) alacaktır.
 - Benzer şekilde, enerji çıkışı enerji girişinden fazla olan kişi kilo kaybeder.
- Termodinamiğin birinci kanunu, enerjinin korunumu ilkesini ifade eder.
- Vücudun ya da herhangi bir sistemin enerjisindeki değişim, enerji girişi ile enerji çıkışı arasındaki farka eşit olup, iç enerji olarak ifade edilir.

Isı bir enerji çeşididir ve enerjinin diğer şekillerine çevrilebilir. Ancak, enerji yaratmak ve yok etmek mümkün olmadığına göre herhangi bir değişimde toplam enerji miktarı sabit kalır (Helmholtz).

$$q_{12} + w_{12} = \Delta u_{12} \text{ (Kapalı sistem)}$$



Burada; q_{12} çevre ile yapılan ısı alışverişi, w_{12} çevre ile yapılan iş alışverişi, Δu_{12} sistemin iç enerjisindeki değişimdir.

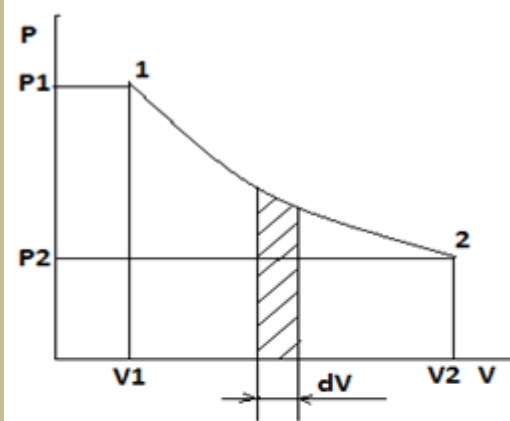
Kapalı sistem:

$$q_{12} + w_{12} + p_1 v_1 - p_2 v_2 = u_2 - u_1 + \frac{(c_2^2 - c_1^2)}{2} + g(z_2 - z_1)$$

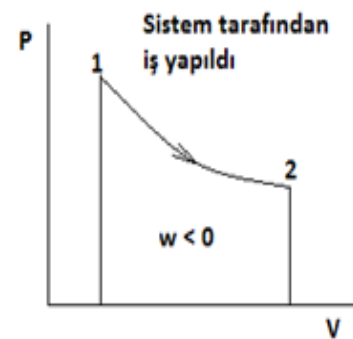
Hacim Değiştirme İşi

- Bir sistemin hacmini kltmek için iř sarf edilmesi, sistemin hacmi büyürken de sistemden iř alınması gerekir. Bu şekilde bir sistemin hacmini değiştirmek için yapılan işe hacim değiştirme işi denir.

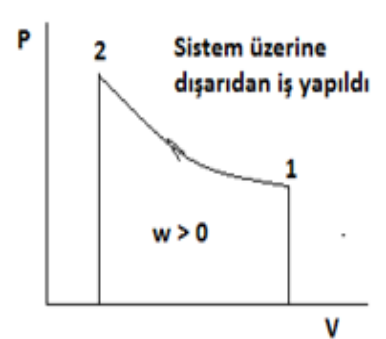
$$w = - \int_1^2 p \, dv$$



**Hacim değiştirme işi
(Silindir-piston sistemi)**



Negatif hacim değiştirme işi



Pozitif hacim değiştirme işi

İç Enerji: İç enerji de bir durum büyüklüğüdür. İç enerji, hacimle az da olsa değişir. Sıcaklık ve özgül hacim iç enerjinin parametresi olup, $u = u(v, T)$ iç enerji

$$u_2 - u_1 = C_v(T_2 - T_1)[\text{kJ/kg}]$$

Entalpi: Entalpi, iç enerji ile hacim değiştirme işinin toplamına eşittir.

$$h_2 - h_1 = C_p(T_2 - T_1)$$

Entropi: İki nokta arasındaki durum değişmesinde entropi

$$ds = ds/dQ$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Termodinamiğin İkinci Kanunu (TD2K)

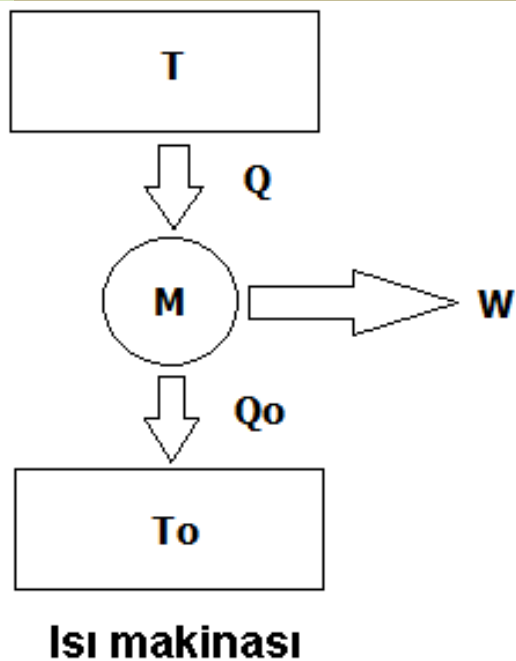
- Enerjinin niceliğinin/miktarının yanında niteliğinin/kalitesinin de dikkate alınması gerektiği üzerinde durur.
- Termodinamiğin ikinci kanunu, doğadaki değişimlerin enerjinin niteliğinin azalan yönde gerçekleştiğini belirtir.
- Örneğin, masaya bırakılan bir fincan sıcak kahve zamanla soğur, aynı odadaki bir fincan soğuk kahve hiçbir zaman kendiliğinden ısınmaz.

Isı soğuk bir kaynaktan daha sıcak bir kaynağa kendiliğinden geçemez. Bu işlem ancak dışarıdan bir enerji verilmesi halinde gerçekleşir (Clausius).

- Isı, daima yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru akar.
- Yalıtılmış bir sistem, maksimum düzensizliğe sahip olan bir durumu tercih eder.
- Yalıtılmış bir sistem değişime uğradığında, sistemin entropisindeki değişim sıfırdan büyük ya da sıfır olur.
- Bir ısı makinasının ısı enerjisi %100 verimle işe çevirmesi mümkün değildir.

Yalnız bir sıcak kaynaktan ısı almak ve bu ısıyı eşdeğer miktarda iş vermekten başka bir şey yapmadan devresini tamamlayan bir akışkan makinası mevcut değildir (Kelvin-Plank).

- Sıcaklıkları farklı olan iki ısı kaynağı (sonsuz) arasında bir termik makina çalıştırılabilir.



- Böyle bir sistemde sıcak kaynaktan Q ısını çekerek soğuk kaynağa Q_0 ısını veren makina aşağıdaki işi yapar.

$$W = Q - Q_0$$

- Bütün termodinamik olaylar tersinmezdirler.
- Sürtünmenin meydana geldiği bütün olaylar tersinmez olaylardır.
- Isı, sıcaklığı yüksek olan bir ortamdan sıcaklığı düşük olan bir ortama doğru kendiliğinden geçer.
- İkinci tip devri-daim makinasının, çevresinde, etrafındı soğutmaktan başka bir tesir yapmayan ve periyodik olarak çalışarak iş üreten bir makina yapmak imkansızdır.

Termodinamiğin ikinci kanunu **entropi** ile tanımlanır.

$$\Delta s = Q/T$$

Entropi, düzensizliğin bir ölçüsüdür.

Entropi, bir adyabatik sistemde durum değişmesinin olup olmayacağını, eğer olacaksa değişimin tersinir mi ya da tersinmez mi olacağını gösterir.

- Sürtünmesiz adyabatik sistemlerde entropi değişmesi daima sıfırdır.
- Sürtünmeli adyabatik sistemlerde entropi sürekli olarak artar.
- Tabiattaki bütün olaylar tersinmez olduğuna, yani sürtünme ile gerçekleştiğine göre entropinin mutlak değeri sürekli olarak artar.

- Bir olaya katılan sistemlerin toplam entropisi artarken, bu sistemlerden birinin veya birkaçının entropisindeki artış daha yüksek olabileceği gibi, sistemlerin birinde veya bir kaçında entropinin düştüğü görülebilir.
- Gerçekte ise sonuç olarak bu ortamların meydana getirdiği sistemin entropisinde artma olur.
- Entropi için aşağıdaki iki değişme sözkonusudur:
 - Isınan bir ortamın entropisi daima artar.
 - Soğutulan sistemlerin entropisi azalır.
- Bir ısı değiştiricisinde ısının geçtiği ortamın entropisi artarken, ısı kaybeden akışkanın entropisi azalır; sonuç olarak bu iki ortamın toplam entropisinde artma olur.

Termodinamiğin Üçüncü Kanunu (TD3K)

- **Mükemmel kristal bünyeli saf bir maddenin entropisi mutlak sıfırda sıfır olarak alınabilir. Böylece bu maddenin her sıcaklıkta pozitif ve belirli bir entropisi vardır (Nernst, Planck, Lewis).**
- Mutlak sıfır, bir cismin keyfi olarak yaklaşabileceği, ancak asla erişemeyeceği bir sıcaklıktır. Laboratuvarlarda 2.0×10^{-8} K kadar düşük sıcaklıklar elde edildi, ancak mutlak sıfıra ulaşılamadı. Termodinamiğin üçüncü kanunu budur:

Bir nesnenin sıcaklığını sonlu sayıda aşamada mutlak sıfıra indirmek olanaksızdır.

2.6. TERMODİNAMİK DURUM DEĞİŞMELERİ

Bir nicelik sabit kalırken meydana gelir.

Bu değişimler;

- İzobarik (sabit basınç) $Q = \Delta U + P \Delta V$
- İzokorik (sabit hacim) $Q = \Delta U \quad (W = 0)$
- İzotermik (sabit sıcaklık) $Q = W \quad (\Delta U = 0)$
- Adyabatik (ısı transferi yok) $\Delta U = -W \quad (Q = 0)$

Termodinamiğin birinci kanunu herhangi bir hal değişiminde sistemle çevresi arasında alınan ve verilen iş ve ısı ile iç enerjide meydana gelen değişme arasındaki bağıntıyı vermektedir. Bununla birlikte, hal değişmesinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği hakkında bir bilgi vermez.

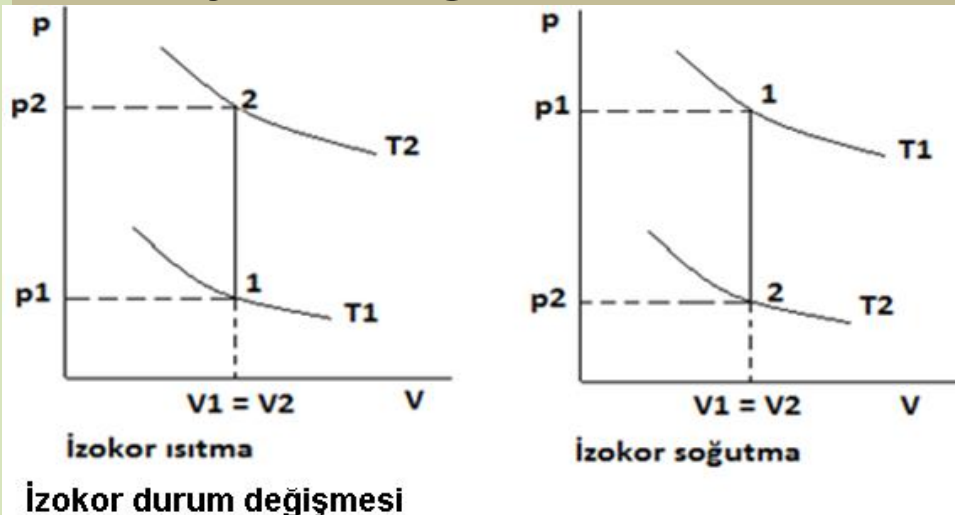
- Dengeli – Dengesiz Durum Değişmeleri

- ✓ Bir durum değişmesine (DD) uğrayan sistem veya gaz, durum değişmesinin herhangi bir noktasında iken, kendi haline bırakıldığında, çevrede hiç bir etki yapmadan, daha önce denge durumlarından geçerek ilk durumuna kendiliğinden dönebiliyorsa, bu tür durum değişmelerine “**tersinir durum değişmesi**”, sisteme de “**tersinir sistem**” denir.
- ✓ Durum değişmesine uğrayan bir sistem, çevrede etki bırakarak ilk durumuna dönüyorsa, böyle durum değişmesine “**tersinmez durum değişmesi**” denir.

- ✓ Gerçekte durum değişimleri sürekli dengeli olamazlar.
- ✓ Ancak durum değişmesini hesaplamak yalnız dengeli durum değişmesinde mümkündür.
- ✓ Denge termodinamiğinde durum değişimleri dengeli olarak kabul edilir ve hesaplar yapılır.
- ✓ Gerçek durum değişmesi ile hesaplanan durum değişmesi arasındaki fark deneylerle bulunur.

SABİT HACİMDE DURUM DEĞİŞMESİ (İZOKOR)

- ✓ Örnek olarak, buhar kazanları, gaz tüpleri genleşmeleri ihmal edilirse, hacimlerini değiştirmezler. Diğer özellikleri dışarıdan gelen etkilerle değişebilir.
- ✓ Sabit hacimde durum değişmesi iki şekilde meydana gelir: izokor ısıtma, izokor soğutma



- ✓ Sabit hacimde durum değişmesi farklı iki sıcaklık arasında gerçekleşir.

- 1 ve 2 konumları arasında durum değiştiren bir sistem için aşağıdaki durum denklemleri yazılabilir.

$$p_1 v = RT_1$$

$$p_2 v = RT_2$$

- Bu iki denklem arasında

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

bağıntısı vardır (Gay Lussac – Charles).

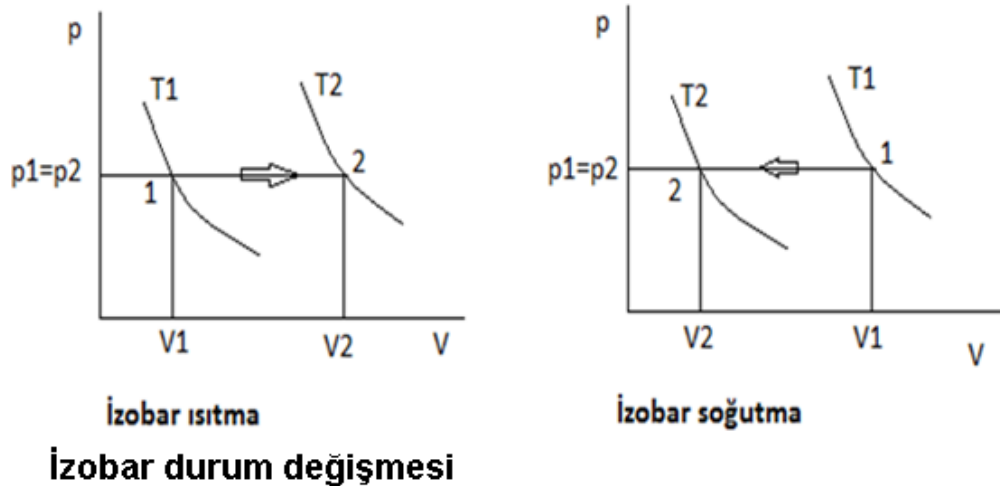
- Sabit hacimde durum değişmesinde ($V = \text{sb}$), hacim değiştirme işi sıfırdır.

$$w_{12} = - \int_1^2 p dv = 0$$

- **Teknik iş:** $w_{t12} = v(p_2 - p_1) + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1)$
- **İç enerji değişimi (TD1K; W=0):** $\Delta u_{12} = C_v(T_2 - T_1)$
- Alınan bütün ısı gazın iç enerjisini artırmakta kullanılır.
- **Entalpideki değişme:** $\Delta h_{12} = C_p(T_2 - T_1)$
- **Isı alışverişi (TD1K):** $q_{12} = \Delta u_{12} = C_v(T_2 - T_1)$
- **Entropi değişimi:** $s_2 - s_1 = C_v \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$

SABİT BASINÇTA DURUM DEĞİŞMESİ (İZOBAR)

- ✓ Isı eşanjörleri, yoğuşturucular, buharlaştırıcılar bu durum değişimleri için örnek olarak gösterilebilir. Sabit basınç altında durum değiştirme, sabit yük altında pistonu serbest hareket eden bir silindir içinde meydana getirilebilir. Gazın ısıtılması sıcaklığının ve hacminin artmasına sebep olur. Sistemden ısı çekildiğinde ise sıcaklık ve hacim azalır.



- ✓ Pv- diyagramında izobar bir işlem v- eksenine paralel bir doğrudur. Bu doğru izobar ısıtma ve izobar soğutma şeklinde olabilir.

P = sabit için $\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_2}{T_1}$ (Gay Lussac-Charles).

- **Hacim değiştirme işi:** $w_{12} = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$
- **Teknik iş:** Durum değişmesinde $p = \text{sbt}$ olduğu için

$$\int_1^2 v dp = 0$$

olup, teknik iş, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri toplamıdır.

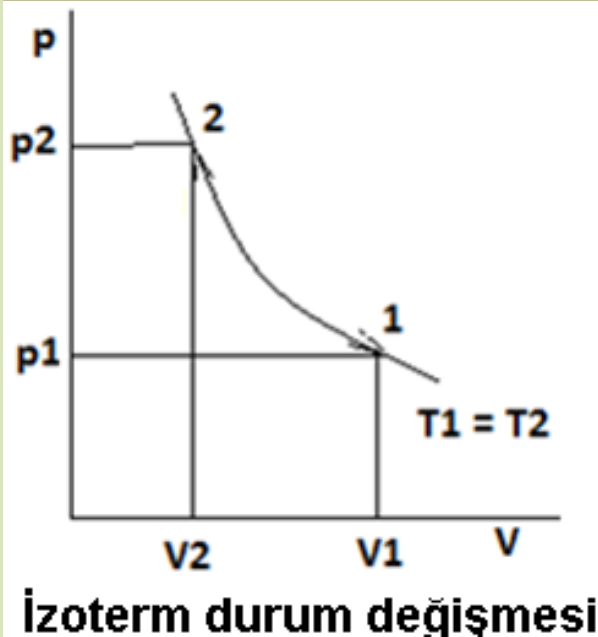
$$w_{t12} = \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

- **İç enerji değişimi:** $\Delta u_{12} = C_v(T_2 - T_1)$
- **Entalpi değişimi:** $\Delta h_{12} = C_p(T_2 - T_1)$
- **Isı alışverişi:** $q_{12} = C_v(T_2 - T_1) + p(v_2 - v_1)$
 $q_{12} = h_2 - h_1$
- **Entropi:** $s_2 - s_1 = C_p \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$

SABİT SICAKLIKTA DURUM DEĞİŞMESİ (İZOTERM)

- Sistemin sınırları sürekli olarak aynı sıcaklıkta tutularak sağlanır. Bu tür durum değişimlerine kimyasal reaktörler örnek olarak gösterilebilir.

$$T = \text{sabit için } \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \text{ (Boyle Mariotte)}$$



Şekilde görüldüğü gibi izokor durum değişmesi izoterm sıkıştırma ve izoterm genişleme şeklinde meydana gelmektedir.

- **Hacim değiştirme işi:** İzoterm durum değişmesinde $pv = \text{sabit}$ olduğundan

$$w_{12} = p_1 v_1 \ln(v_2/v_1)$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \text{ olup, hacim değiştirme işi; } w_{12} = p_1 v_1 \ln(p_1/p_2)$$

$$pv = RT \text{ ve } T = \text{sb olduğundan; } w_{12} = RT \ln(p_1/p_2)$$

- **Teknik iş:** Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri sıfır olarak dikkate alındığında, yani $d\left(\frac{c^2}{2} + gz\right) = 0$ olduğunda teknik iş aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$w_{t12} = -RT \ln(p_2/p_1)$$

- Sabit sıcaklıkta durum değişmesinde, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri sıfır olduğunda, hacim değiştirme işi ile teknik iş birbirine eşittir.

$$w_{12} = w_{t12}$$

- ***İç enerji değişimi:*** $\Delta u_{12} = C_v(T_2 - T_1) = 0$

- ***Entalpi değişimi:*** $\Delta h_{12} = C_p(T_2 - T_1) = 0$

- ***Isı alışverişi:*** $q_{12} = -w_{12} = -w_{t12}$

$$q_{12} = RT \ln(p_1/p_2)$$

- p_1 basıncı p_2 basıncından büyük ise izoterm genişleme söz konusudur. Bu durumda sisteme ısı verilirken iş alınır.

- p_2 basıncı p_1 basıncından büyük ise izoterm sıkıştırma söz konusudur. Böyle durumda sistemden ısı çekilirken sisteme iş verilir.

- **Entropi değişimi:**

$$s_2 - s_1 = \frac{q}{T}$$

ADYABATİK DURUM DEĞİŞMESİ

- Sistemin çevresi ile ısı alışverişi olmadan, durum değiştirmesine adyabatik durum değişmesi denir.
- Böyle bir işlem cidarları tamamen yalıtılmış silindir – piston sisteminde gerçekleşebilir.
- Motorlar adyabatik durum değişmesine örnek olarak gösterilebilir.
- Adyabatik durum değişmesinde bütün parameteler değişkendir.
- Parametreler arasında aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$p v^k = \text{sabit}$$

Adyabatik durum değişmesinde $dq = 0$ olur.

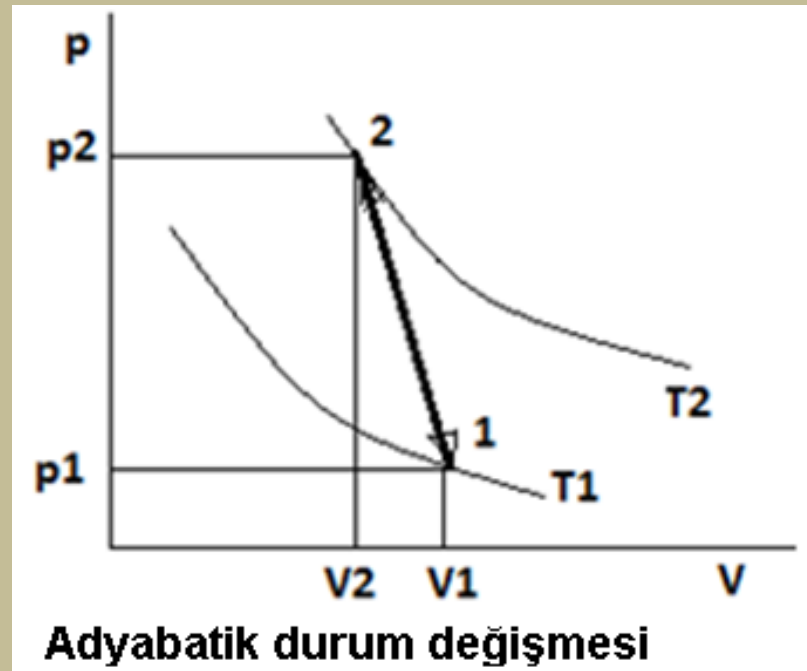
$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_s = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right)_s = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$



- ***Hacim değiştirme işi:***

Parametreler arasındaki bağıntılar dikkate alınarak, hacim değiştirme işi için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$W_{12} = \frac{p_2 v_2 - p_1 v_1}{k-1}$$

$$W_{12} = \frac{RT_1}{k-1} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

- ***Teknik iş:*** Parametreler arasındaki bağıntılar yardımı ile teknik iş için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$W_{t12} = \frac{k}{k-1} RT_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

$$dq = 0 \text{ ise; } s_2 - s_1 = 0 \text{ (entropi değişmez)}$$

POLİTROPİK DURUM DEĞİŞMESİ

Yukarıda açıklanan durum değişmelerini pratikte gerçekleştirmek mümkün değildir. Politropik durum değişmelerinde $\frac{\Delta u}{q} = \text{sabit}$ olduğu kabul edilmiştir.

Gazlarda politropik durum değişmesi sırasında

$$pv^n = \text{sabit}$$

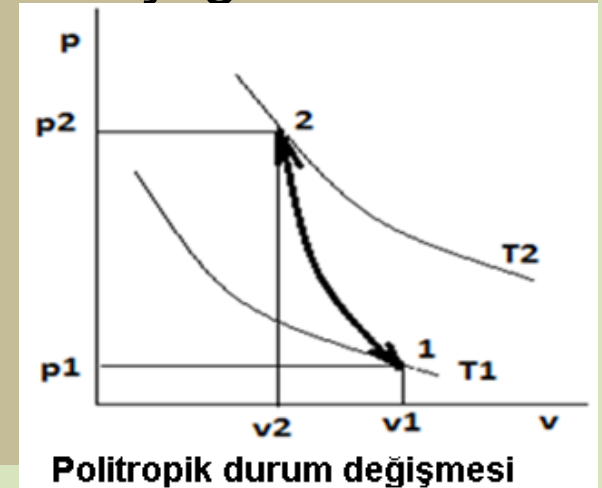
eşitliği geçerlidir. Politropik üs (n) şartlara göre 0 ile $+\infty$ arasında değerler alabilir. Bu değerlere göre aşağıdaki durum değişmeleri gerçekleşir.

n = 0 ise: p = sabit (izobar dd)

n = 1 ise: T = sabit (izoterm dd)

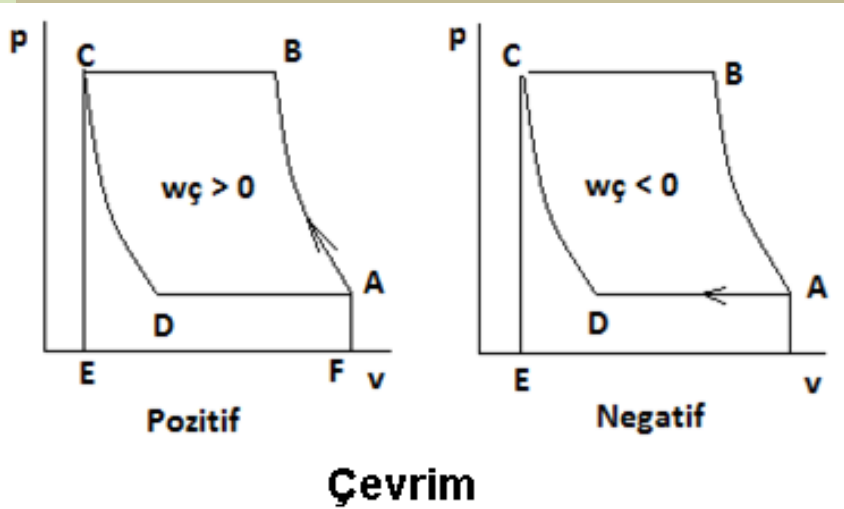
n = k ise: $pv^k = \text{sabit}$ (adyabatik dd)

n = $+\infty$ ise: v = sabit (izokor dd)



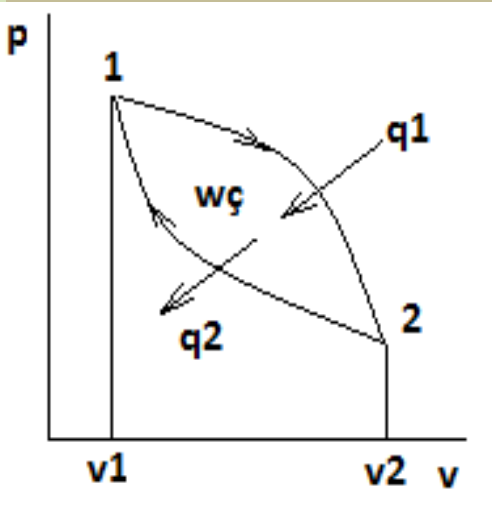
Termodinamik Çevrim

- İş ve kuvvet makinaları sürekli olarak çalışan ve amacı iş yapmak veya enerji üretmek olan makinalardır.
- Bu makinaların verimli olması önemli olduğu kadar belli büyüklüktekilerinin ürettikleri işin de bazı sınırların altına düşmemesi gerekir.



- Bu nedenle periyodik olarak verimleri mümkün olduğu oranda yüksek tutularak çalıştırılmalıdırlar.

- Bir sistem, birbirini takip eden durum değişmelerinden geçerek ilk durumuna geliyorsa, bu sistem bir çevrim yapmıştır denir. Bu tür çevrimler “**kapalı çevrim**” ya da sadece “**çevrim**” adıyla belirtilmektedir.
 - Bir çevrim saat ibrelerinin ters yönünde gerçekleşiyorsa, çevrimin tamamlanabilmesi için sisteme dışarıdan iş verilmesi gerekir. Bu nedenle çevrim işi pozitif işaretlidir.
 - Çevrimden elde edilen veya çevrimde sarfedilen iş çevrimi meydana getiren durum değişmesi eğrilerinin sınırladığı alana eşdeğerdir.
 - Saat ibreleri yönünde gerçekleşen bir çevrimden iş kazanılır. Sistemden iş alındığı için negatif işaretlidir.



- Enerji üretmek için, yani iş elde etmek için bir makina yapılmak isteniyorsa, bu makinada çevrimin saat ibreleri yönünde gerçekleşmesi gerekir.
- Eğer enerji sarfederek bir iş yapılmak isteniyorsa bunun için imal edilecek bir makinada çevrimin saat ibrelerinin ters yönünde gerçekleşmesi gerekir.
- Enerji verilen makinalara kuvvet makinaları denir. Bunlar; içten patlamalı pistonlu motorlar (benzin ve diesel motorları), gaz türbinleri, gemi tahrik motorları, jet motorları, buhar türbinleridir.
- Enerji sarfedilerek iş yapılan makinalara iş makinaları denir. Bunlar; kompresör, soğutma makinaları vb. dir.

- Bir çevrimin en önemli karakteristiği onun termik verimidir. Çevrimden elde edilen işin veya sarfedilen işin çevrimi gerçekleştirmek için verilen toplam ısıya oranı olarak tarif edilir. Termik verim η_{th} ile gösterilir ve yukarıdaki tarife göre

$$\eta_{th} = \frac{|w_{\dot{\varsigma}}|}{q_1}$$

şeklinde ifade edilir. Çevrim işi

$$w_{\dot{\varsigma}} = q_1 - q_2$$

olarak verildiğine göre termik verimin ısı miktarı cinsinden ifadesi

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

olarak elde edilir.

CARNOT ÇEVİRİMİ

- Çevrimler farklı durum değişimleri ile elde edilirler.
- Carnot çevrimi, verimi en yüksek çevrim olması dolayısıyla bir karşılaştırma çevrimi olarak kullanılır.
- Teorik bir çevrim olup, pratikte uygulaması yoktur.
- İlk defa Fransız bilim adamı

Sadi Carnot

- tarafından düşünülmüş ve uygulanabileceği gösterilmiştir.

- Carnot çevrimi ideal bir silindir-piston sisteminde gerçekleştirilir.
- Silindir cidarları ve piston tamamen yalıtılmıştır.
- Silindir cidarları bir an t_1 bir an t_2 sıcaklığına gelecektir.
- Bu tür ideal makinaların gerçeklenemeyeceği açıktır. Ancak teorik incelemelerde son derece önem taşır.
- **Gerçek bir makinanın verimi hakkında, teorik Carnot çevriminin verimi ile karşılaştırılarak, bir fikir sahibi olunabilir.**

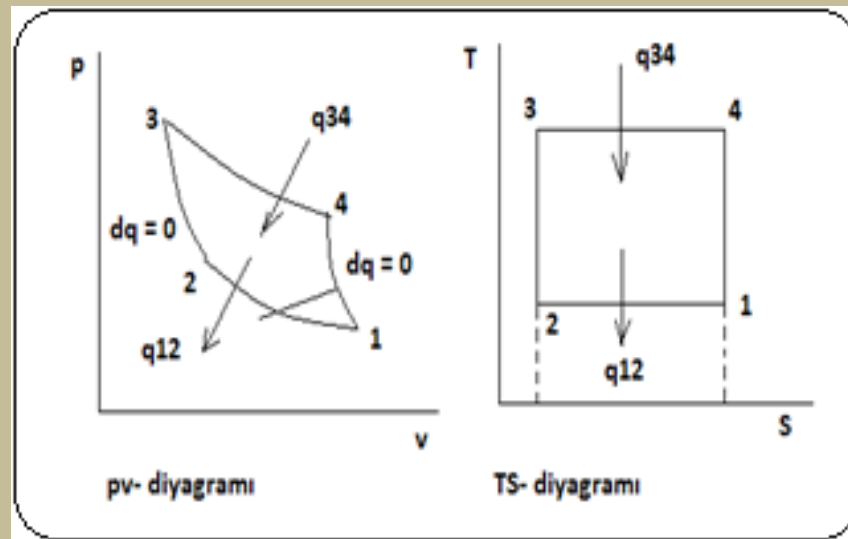
- **Carnot çevrimi;**

- # (1-2) izeoterm sıkıştırma ile başlar.

- # Bunu (2-3) adyabatik sıkıştırma takip eder.

- # Çevrimden (3-4) izoterm genişleme esnasında iş elde edilir ve

- # çevrim (4-1) adyabatik genişleme ile ilk duruma gelir.



Şekil 2.44. Carnot çevrimi

- Adyabatik genişleme esnasında çevrimden elde edilen iş adyabatik sıkıştırma ile çevrime verilen işe eşittir.
- Çevrimden kazanılan iş izoterm genişleme esnasında elde edilen işten sıkıştırma için sarfedilen işi çıkarmak suretiyle elde edilir.
- Carnot çevrimi en düşük basınç ve sıcaklıkla başlar.
- Başlangıç noktası izoterm sıkıştırmanın başladığı noktadır.
- Carnot çevriminde durum değişimleri aşağıda incelenmiştir.

- **İzoterm sıkıştırma (1-2):**

- **Yapılan iş:** İzoterm sıkıştırma esnasında teknik iş ile hacim değiştirme işi birbirine eşittir.

$$W_{t12} = W_{12}$$

$$W_{12} = -RT \ln(v_2/v_1)$$

- **İç enerji değişimi:** Durum değişmesi sabit sıcaklıkta gerçekleştiğinden, iç enerjide değişme olmadığı görülür.

$$\Delta u_{12} = 0$$

- **Entalpi değişimi:** İç enerjiye benzer şekilde

$$\Delta h_{12} = 0$$

olduğu görülür.

- **Isı alışverişi:** TD1K'dan

$$q_{12} = -RT \ln(p_2/p_1)$$

eşitliği elde edilir.

- **Adyabatik sıkıştırma (2-3):**
 - **Yapılan iş:** Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimler ihmal edilirse, yapılan iş aşağıdaki gibi ifade edilir.
- $$w_{t12} = \frac{k}{k-1} RT_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)$$
- **Isı alışverişi:** Adyabatik durum değişmesinde ısı alışverişi yoktur.

$$q_{23} = 0$$

- **Entalpi değişimi:**

$$\Delta h_{23} = C_p (T_3 - T_2)$$

- **İç enerji değişimi:**

$$\Delta u_{23} = C_v (T_3 - T_2)$$

- **İzoterm genişleme (3-4):**

- **Yapılan iş:**

$$W_{t34} = W_{34}$$

$$W_{34} = -RT_3 \ln(p_3/p_4)$$

- **İç enerji değişimi:**

$$\Delta u_{34} = 0$$

- **Entalpi değişimi:**

$$\Delta h_{12} = 0$$

- **Isı alışverişi: TD1K;**

$$q_{34} = RT_3 \ln(p_3/p_4)$$

- **Adyabatik genişleme (4-1):**

- **Yapılan iş:**

$$W_{t41} = \frac{k}{k-1} RT_4 \left(\frac{T_1}{T_4} - 1 \right)$$

- **Isı alışverişi:**

$$q_{41} = 0$$

- **İç enerji değişimi:**

$$\Delta u_{41} = C_v(T_1 - T_4)$$

- **Entalpi değişimi:**

$$\Delta h_{41} = C_p(T_1 - T_4)$$

- Adyabatik sıkıştırma ile adyabatik genişleme esnasında harcanan işler, mutlak değer olarak birbirine eşittir. Çevrimden elde edilen iş, izoterm genişleme esnasında elde edilen işten izoterm sıkıştırma esnasında sarfedilen işi çıkarmakla elde edilir. Buna göre çevrim işi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$w_{\text{ç}} = R (T_1 - T_3) \ln(p_3/p_1)$$

- Termik verim çevrim işinin sisteme verilen ısıya $Q_H = Q_{34}$ oranı olarak tanımlanmıştır. Buna göre Carnot çevriminin termik verimi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\eta_{\text{th}} = \frac{|w_{\text{ç}}|}{q_{34}}$$

- Buna göre termik verim sadece maksimum ve minimum sıcaklıklara bağlıdır.

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_1}{T_3}$$

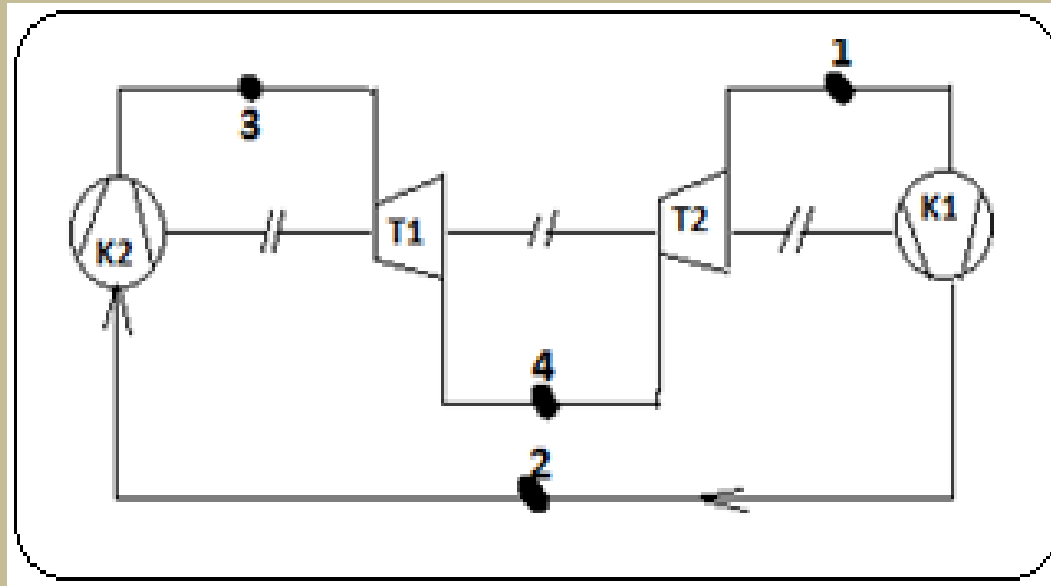
- Bu eşitlikten basınç oranlarının termik verimi etkilemediği görülmektedir.
- Burada, T_1 en düşük sıcaklık T_L , T_3 ise en yüksek sıcaklık T_H olarak gösterilmektedir.
- Carnot çevriminde soğuk kaynağa verilen ısı miktarı ise $Q_L = Q_{12}$ olup,
$$Q_L = Q_H \frac{T_L}{T_H}$$
- bağıntısı geçerlidir.

K_1 : İzoterm sıkıştırma için kullanılan kompresör

K_2 : İzanropik sıkıştırma için kullanılan kompresör

T_1 : İzoterm genişleme için kullanılan türbin

T_2 : İzanropik genişleme için kullanılan türbin



Şekil 2.45. Carnot çevrimi sistem şeması

SOĞUTMA MAKİNALARINDA VERİM

- Soğutma makinalarında verim için etkinlik (performans) terimi kullanılır ve COP_{SM} ile gösterilir. Bir buzdolabında taşıyıcı akışkanın düşük sıcaklık ortamından (buzdolabının iç atmosferinden) çektiği ısı miktarı Q_L ve bunu taşımak ve yüksek sıcaklık ortamına (oda atmosferine) atmak için harcanan iş enerjisi W , çevrim esnasında taşıyıcı akışkandan yüksek sıcaklık ortamına transfer olan ısı miktarı ise Q_H olsun. Bu durumda bu çevrime ait etkinlik için,

$$COP_{SM} = \frac{\text{Çekilen ısı enerjisi}}{\text{Harcanan iş enerjisi}}$$

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{W}$$

eşitliği geçerlidir.

$Q_H = Q_L + W$ eşitliğinden; $W = Q_H - Q_L$ yazılabileceğinden;

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$