

# TERMODİNAMİK

## TERMODİNAMİĞİN TANIMI VE AMACI:

18.yüzyılın başlarından itibaren tekstil endüstrisinde meydana gelen hızlı gelişmenin sonucu olarak artan güç ihtiyacı ve bunun insan veya hayvan gücüyle karşılanamaması, buhar makinelerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. İngiltere’de, 1697 yılında Thomas Savery ve 1712 yılında Thomas Newcomen tarafından yapılan başarılı ilk buhar makineleri, 1765-1766 yıllarında **James Watt**’ın bu makineleri geliştirmesi ve buharın o güne kadar bilinmeyen özellikleri üzerine yaptığı araştırmalar, bu alandaki çok önemli adımları oluşturmuştur. diğ er bir çok araştırmacının da bu alana yönelmesiyle termodinamik bilimi ortaya çıkmıştır.

Termodinamik terimi ilk kez, İngiliz bilim adamı **Lord Kelvin** tarafından, **1849** yılında yaptığı bir yayında kullanılmıştır. Termodinamik sözcüğü, Latince **therme (ısı)** ve **dynamis (güç)** sözcüklerinden türetilmiştir. **Termodinamik**, fiziğin enerji ve enerjinin şekil değiştirmesi ile uğraş an kolu olarak tanımlanabilir. Hatta termodinamik günümüzde “enerji ve entropi bilimi” olarak da tanımlanmaktadır.

Termodinamik, otomobillerden uçaklara ve uzay araçlarına, elektrik güç santrallerinden iklimlendirme sistemlerine ve bilgisayarlara kadar çok geniş uygulama alanlarına sahiptir.

## TERMODİNAMİK SİSTEM:

Herhangi bir değişim incelenmeden önce, değişimin katılımcıları olan kütle ve enerjinin bilinmesi ve analize edilmesi gerekir. **Sistem**, kütle ve enerji transferlerinin incelendiği bölge olarak tanımlanabilir.

İncelenen sistemin dışında kalan ve sistemin üzerinde etkisi olan her şeye de **çevre** denir. Sistemi çevreden ayıran yüzeye ise, **sistem sınırı** denir. Bir sistem **kapalı** ve **açık** olmak üzere iki biçimde olabilir. Sınırlarından kütle geçişi olmayan sisteme **kapalı sistem**, kütle geçişi olan sistemlere de **açık sistem** veya **kontrol hacmi** denir. Açık sistemi çevreden ayıran yüzeye ise **kontrol yüzeyi** denmektedir.

## ISI VE SICAKLIK:

**Sıcaklık**, bir maddeyi oluşturan moleküllerin kinetik enerjileri ile ilgili bir büyüklük olarak tanımlanabilmektedir. Sıcaklık kavramı **termodinamiğin sıfıncı yasası** ile ilgidir. Termodinamiğin sıfıncı yasası ilk defa **1931** yılında **R.H.Fawler** tarafından tanımlanmıştır. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasası ise sıfıncı yasanın 50 yıl önce verilmiştir. Bu yasa mantıksal olarak diğ erlerinden önce gelmesi gerektiğ inden, adına sıfıncı yasa denmiştir.

Sıcaklık maddelerin fiziksel özelliklerinden yararlanılarak yapılmış, **termometre** denilen araçlarla ölçülür. Termometreler genelde suyun donma ve kaynama noktasına göre ölçeklendirilmişlerdir. Bu ölçekler ş unlardır: **Celsius (C<sup>0</sup>)**, **Fahrenheit (F<sup>0</sup>)**, **Reomur (R<sup>0</sup>)** ve **Kelvin (K)** ölçekleri.

C <sup>0</sup>	F <sup>0</sup>	R <sup>0</sup>	K
100	212	80	373
0	32	0	273

Bu sıcaklık ölççekleri arasındaki dönüşüm formülleri ise;  
$$\frac{C-0}{100-0} = \frac{F-32}{212-32} = \frac{R-0}{80-0} = \frac{K-273}{373-273}$$
 şeklindedir.

Bir maddenin alabileceği en küçük sıcaklık değerine **mutlak sıcaklık** denir. Mutlak sıcaklık  $-273\text{ C}^0=0\text{ K}$  dir. Bu sıcaklığın altında bir sıcaklık yoktur.

### ISI MİKTARI VE ÖLÇÜLMESİ:

Bir maddeyi oluşturan moleküllerin kinetik enerjilerinin toplamına o maddenin **ısı** denir. Bir maddenin sıcaklığını değiştirmek için gerekli ısı; onun **kütlesine**, **cinsine** ve **sıcaklık farkına** bağlıdır,  $Q=m.c.\Delta T$ . Isı enerjisi **kalorimetre** ile ölçülür.

Bir maddenin 1kg'lık kütesinin sıcaklığını 1K artırmak için gerekli ısıya **özümlü ısı** denir,  $c$  ile gösterilir, birimi kJ/kgK'dir.

Gazların ısıtılması söz konusu olduğunda, özümlü ısı için iki farklı durum bulunmaktadır. Bunlar; 1) Sabit hacimde ısıtma ( $C_v$ ), 2) Sabit basınçta ısıtma ( $C_p$ ) dir. Örneğin ideal kuru hava için;  $C_v=0,717\text{ kJ/kgK}$ ,  $C_p=1,004\text{ kJ/kgK}$  dir.

### Örnek:

Bir motorun soğutma sistemindeki su, 0,2 litre/saniyelik debi ile devridaim yapmakta, sıcaklık  $45\text{ C}^0$  den  $90\text{ C}^0$  ye yükselmektedir. Suyun sabit basınç özümlü ısı  $4,187\text{ kJ/kgK}$  olduğuna göre, soğutma suyu tarafından bir dakikada taşınan ısı kaç kJ'dur?

### Çözüm:

Kütlesel debi,  $dm/dt=0,2\text{ litre/s}=0,2\text{ kg/s}$

Sıcaklık farkı,  $\Delta T=90-45=45\text{ K}$

$dQ/dt=(dm/dt).C_p.\Delta T \Rightarrow dQ/dt=(0,2).(4,187).45=37,61\text{ kJ/s}$  dir. Dakikada taşınan ısı ise;  $dQ/dt=(37,62).60=2257,2\text{ kJ/dak}$ , olarak bulunur.

### BASINÇ:

Bir akışkanın birim yüzeye uyguladığı dik kuvvete **basınç** denir,  $P=F/A$ . Burada P basınç ( $\text{N/m}^2$  ya da Pa), F normal (dik) kuvvet (N), A ise yüzey alanı ( $\text{m}^2$ ) dir. Bazı basınç birimleri;  $1\text{ bar}=10^5\text{ Pa}$ ,  $1\text{ atm}=101,325\text{ kPa}=1,033\text{ bar}$  şeklindedir.

Basınç, sadece sıvı ve gaz ortamlarda söz konusudur. Katı cisimlerde basınç ifadesinin yerini **gerilme** almaktadır.

Sıvılar için, statik basınç  $P=P_0\pm\rho.g.h$  şeklinde, dinamik basınç ise Bernoulli denklemiyle belirtilir.

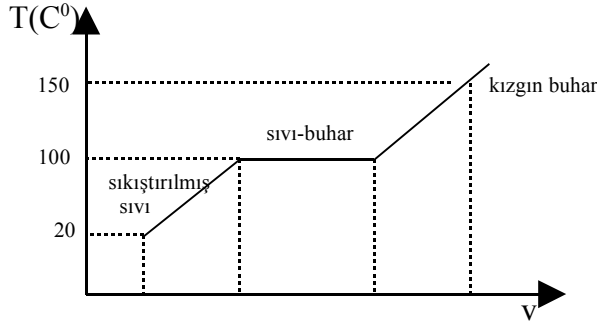
### SAF MADDENİN FAZ DEĞİŞİMLERİ:

Kimyasal yapısı her noktada aynı ve değişmeyen (homojen) maddelere saf madde denir. Su, azot, oksijen...vb birer saf maddedir. Bundan başka her hangi bir homojen karışım da saf madde tanımına uyabilir. Örneğin, çeşitli gazların homojen bir karışımı olan hava da, eğer tek bir faz söz konusu ise, saf maddedir. Termodinamik olarak; sıvı buhar karışımı saf madde, sıvı hava karışımı saf olmayan maddedir.

Maddeler; katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç fazda bulunabilir (bunların dışında plazma denilen dördüncü bir faz da vardır). Tüm saf maddeler benzer genel davranışı gösterirler.

$20\text{ C}^0$  sıcaklık ve  $1\text{ atm}$  basınçta içinde su bulunan bir silindir-piston düzeneğini ele alalım. Su, bu koşullarda sıvı fazdadır ve sıkıştırılmış sıvı veya **soğutulmuş sıvı** diye adlandırılır. Isıtma sürdürülürse, sıcaklık artarken su çok az genişler ve piston biraz yükselir. Bu işlem sırasında suyun basıncı değişmez. Sıcaklık  $100\text{ C}^0$  ye geldiğinde, faz değişimi başlar. Buharlaştırmanın başlangıcı olan bu duruma **doymuş sıvı durumu** denir. Buharlaştırma başladıktan sonra, sıvının tamamı buhara dönüşüncüye kadar, sıcaklıkta herhangi bir artış olmaz. Isıtma sürdürülürse tüm sıvı buhara dönüşür. Bu durumda

silindirin içerisi, yoğuşmanın sınırında olan buharla doludur. Yoğuşma sınırında olan buhara **doymuş buhar** denir. Bundan sonra ısıtma sürdürülürse sıcaklık ve özgül hacmin arttığı görülür. Yoğuşma sınırında olmayan bu buhara da **kızgın buhar** denir. Bu durumlar için T-v (sıcaklık-özgül hacim) diyagramı şöyledir.

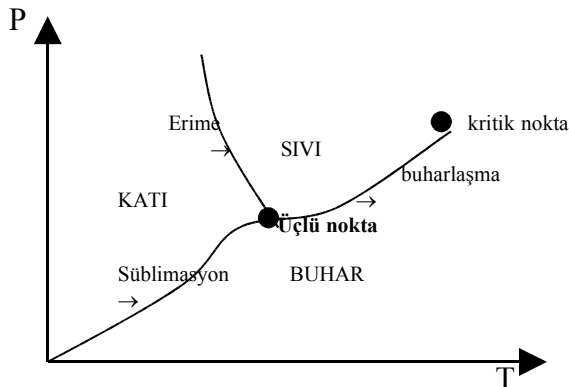


Görüldüğü gibi su, 1atm (101,35 kPa) basınçta 100 C<sup>0</sup>'de kaynar. Eğer ısıtma kabı kapatılarak basınç yükseltirirse, **kaynama sıcaklığı** da yükselir. Örneğin, su 200 kPa basınçta 120,23 C<sup>0</sup>'de, 1100 kPa basınçta ise 179,91 C<sup>0</sup>'de kaynar. Düdüklü tencerelerin daha kısa sürelerde pişirmelerinin sebebi de budur. Basınç azaldığında ise kaynama sıcaklığı azalmaktadır. Yükseklik arttıkça, atmosfer basıncı ve buna bağlı olarak suyun kaynama sıcaklığı azalır. Örneğin, 1000 m yükseklikte atmosfer basıncı 89,55 kPa ve buna karşılık gelen kaynama sıcaklığı 96,3 C<sup>0</sup>, 2000 m yükseklikte ise atmosfer basıncı 79,5 kPa ve buna karşılık gelen kaynama sıcaklığı 93,2 C<sup>0</sup>'dir. bu bakımdan, eğer düdüklü tencere kullanılmıyorsa, yüksek yerlerde yemekler daha uzun sürede pişer. Her 1000 m yükseklik için kaynama sıcaklığı yaklaşık 3,3 C<sup>0</sup> azalmaktadır.

Verilen bir basınçta saf maddenin kaynamaya başladığı sıcaklığa kaynama sıcaklığı ya da **doyma sıcaklığı (T<sub>s</sub>)**, bu durumdaki basınca da **doyma basıncı (P<sub>s</sub>)** denir.

Su sabit bir basınçta ısıtılırsa sıcaklığı yükselir ve özgül hacmi artar. Sıcaklık T<sub>s</sub> gibi bir değere ulaştığında, kaynamaya (buharlaşmaya) başlar. Isıtma sürdürüldüğünde, tüm sıvı buhar haline gelinceye kadar sıcaklık değişmezken özgül hacim yükselir (yükselme  $\Delta V = V_f - V_g$  kadar olur).

Suyu belirli basınçta katı, sıvı ve buhar fazlarında bir arada bulundurmak mümkündür. Diyagramlarda (P-T diyagramında) bu basınçtaki noktaya **üçlü nokta** denir. T-v diyagramında bu basınçtaki çizgiye de **üçlü doğru** denmektedir. Suyun üçlü doğrusunun basıncı **0,6113 kPa**, ve sıcaklığı **0,01 C<sup>0</sup>** dir.



## SAF MADDENİN ANA ÖZELLİKLERİ:

### 1)BUHARLAŞMA ISISI:

1 kg suyu kaynama noktasında buhar haline dönüştürmek için gerekli ısıya buharlaşma ısısı denir ve  $h_{fg}$  ile gösterilir. Sıcaklık ve basınç artırıldıkça,  $h_{fg}$ 'nin değeri küçülerek, kritik noktada sifıra eşit olmaktadır. Buharlaşma ısısı ( $h_{fg}$ ), iç potansiyel enerjiyi değiştirmek üzere, parçalama işi ve genişleme işi için harcanan ısıdır. Parçalama işine **buharlaşma iç ısısı**, genişleme işine de **buharlaşma dış ısısı** denir.

Buharlaşma ısısı  $h_{fg}=h_g-h_f$  bağıntısından hesaplanır. Burada  $h_g$ , doymuş buharın entalpisi (kJ/kg),  $h_f$  doymuş sıvının entalpisidir (kJ/kg)

## 2) KURULUK DERECEŐİ:

Buharlaşma sırasında suyun bir b6l6m6 sıvı fazında, diğer b6l6m6 ise buhar fazındadır. Bu karışım durumunda buhar k6tlesinin toplam k6tleye oranına **kuruluk derecesi** denir ve x ile g6sterilir.  $X=m_g/m_t$ . Burada  $m_t=m_f+m_g$  dir.  $1-x$  ise **rutubet derecesi** olarak tanımlanır. Islak buhar, P basıncı,  $t_s$  sıcaklığı ve x kuruluk derecesi ile tanımlanır. Bu durumda ıslak buharın 6zg6l hacmi  $v_x=v_f+x(v_g-v_f)$ , entalpisi ise  $h_x=h_f+xh_{fg}$  şeklindedir.

### 6rnek:

$1m^3$  hacimli bir depoda  $200\ C^0$  sıcaklıkta ıslak su buharı bulunmaktadır. Suyun kapladığı hacim kap hacminin %2 si olduğuna g6re, kuruluk derecesi nedir?

### 6z6m:

$V=1\ m^3$ ,  $V_s=0,02\ m^3$  t6r.  $V_g=V-V_s=1-0,02=0,98\ m^3$  bulunur.  $t=200\ C^0$  i6in doymuş buhar 6izelgesinden  $v_s=0,001157\ m^3/kg$ ,  $v_g=0,12736\ m^3/kg$  alınır. Buna g6re sıvı k6tlesi;  $m_s=V_s/v_s=(0,02)/(0,001157)=17,286\ kg$ , buhar k6tlesi ise  $m_g=V_g/v_g=(0,98)/(0,12736)=7,6947\ kg$  bulunur. Buradan da kuruluk derecesi  $x=m_g/m_t=(0,6947)/(17,286+7,6947)=0,308$  olarak bulunur.

### 6rnek:

$0\ C^0$  deki sudan,  $2400\ kJ/kg$  ısı harcanarak,  $15\ bar$  basıncında buhar elde edilmiştir. Buharın durumunu belirleyiniz.

### 6z6m:

$0\ C^0$  deki suyun entalpisi  $h_0=0\ kJ/kg$  kabul edilirse, 6retilen buharın entalpisi  $h=2400\ kJ/kg$  olacaktır. Doymuş buhar basın6 6izelgesinden  $15\ bar$  basın6taki kuru doymuş buharın entalpisi  $h_g=2792,2\ kJ/kg$  olarak bulunur.  $h_g>h$  olduğundan **buhar ıslaktır**.  $h_x=h_f+h_{fg}x$  bağıntısından  $x=(h_x-h_f)/h_{fg}=0,798$  bulunur.

## 3) DİĞER 6ZELLİKLER:

Basit sıkıştırılabilir maddenin belirlenmesinde yararlı g6r6len 6zelliklerinden ikisi de **sabit basın6 6zg6l ısı** ve **sabit hacim 6zg6l ısı** değerleridir. Bunlar

$C_p = \left( \frac{\delta h}{\delta T} \right)_p$ ,  $C_v = \left( \frac{\delta u}{\delta T} \right)_v$  bağıntılarıyla belirlenir. Ayrıca 6zg6l ısılarla

sıkıştırılabilirlik değerleri arasında  $C_p - C_v = \frac{Tv\beta^2}{K}$  bağıntısı vardır. Burada T sıcaklık,

v hacim, K sabit sıcaklık ya da izotermal sıkıştırılabilirlik ( $K = \frac{-1}{v} \left( \frac{\delta v}{\delta P} \right)_T$ ),  $\beta$  ise sabit

basın6 ya da izobarik sıkıştırılabilirlik ( $\beta = \frac{1}{v} \left( \frac{\delta v}{\delta T} \right)_p$ ) dir.

### 6rnek:

Basıncı  $10\ Mpa$ , sıcaklığı  $450\ C^0$  olan  $H_2O$  nun sabit basın6 6zg6l ısısı ile sabit basın6 sıkıştırılabilirlik değerlerini hesaplayınız.

### 6z6m:

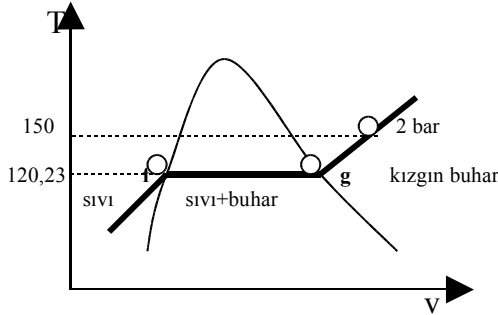
Kızgın buhar 6izelgesinden  $10\ Mpa$  basın6ta,  $400\ C^0$ ,  $450\ C^0$  ve  $500\ C^0$  deki 6zg6l hacim ve entalpiler ;  $V_{400}=0,02641\ m^3/kg$ ,  $V_{500}=0,03279\ m^3/kg$ ,  $V_{450}=0,02975\ m^3/kg$ ,

$h_{400}=3096,5\ kJ/kg$ ,  $h_{500}=3373,7\ kJ/kg$  bulunur. Bu durumda 6zg6l ısı ;  $C_p = \left( \frac{\delta h}{\delta T} \right)_p =$

$(3373,7-3096,5)/(500-400)=2,772$  kJ/kgK, sıkıştırılabilirlik ise  $\beta = \frac{1}{v} \left( \frac{\delta v}{\delta T} \right)_p = (1/0,02975)[(0,03279-0,02641)/(500-400)]=0,002145$  1/K olarak bulunur.

#### 4)KIZGIN BUHAR:

Buhar, verilen bir basınçta doymuş buhar sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılırsa, **kızgın buhar** olarak tanımlanır. 1 kg kuru buharı, sabit bir basınçta, gerekli sıcaklığa yükseltmek için verilen ısıya, **kızdırma ısısı** denir. Kuru buhara sabit basınçtaki kızdırma sırasında verilen ısı  $q_s=C_{pm}(t_s-t_g)$  şeklindedir. Burada  $C_{pm}$  kızgın buharın  $t_g$ 'den  $t_s$ 'ye olan sıcaklık aralığındaki ortalama ısı kapasitesidir. Kızdırma ısısı buhara sabit basınçta verildiğinden, **entalpi** için;  $h=h_f+h_{fg}+C_{pm}\Delta t$  bağıntısı yazılabilir. Aşağıda, 2 bar basınçta ve 150 C<sup>0</sup>'de suyun özelliklerini belirleyen T-v grafiği verilmiştir.



## İDEAL GAZ YASALARI

### 1)AVOGADRO YASASI:

1811 yılında A.Avogadro, “**Aynı basınç ve sıcaklıkta, bütün ideal gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda molekül bulunur**” hipotezini ortaya atmış ve bu ifade daha sonra **Avogadro yasası** olarak anılmıştır. Avogadro yasasına göre, standart koşullardaki (0 C<sup>0</sup> ve 101,325 kPa) bütün ideal gazların **6,022.10<sup>26</sup>** tane molekülün kapladığı hacim **22,4** litredir. 6,022.10<sup>26</sup> sayısına **Avogadro sayısı**, 22,4 litreye de **mol hacmi** denir.

Maddenin bir molünün gram olarak kütlesine **mol kütlesi** denir ve gr/mol ya da kg/kmol birimleriyle ifade edilir. Örneğin CO<sub>2</sub> gazının mol kütlesi M=44 gr/mol dür. Mol kütlesi ile özgül hacmin çarpımı  $M.v=22,4$  m<sup>3</sup>/kmol dur. Aynı koşullarda iki farklı gazın mol

sayıları ile hacimleri arasında  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{V_2}{V_1}$  bağıntısı vardır. Mol hacmi aynı zamanda yoğunluğa  $V_m=M/\rho$  şeklinde bağlıdır.

### 2)BOYLE-MARIOTTE YASASI:

1662 yılında R.Boyle ve 1676 yılında E.Mariotte, Boyle'den bağımsız olarak “**sabit sıcaklıkta ısıtılan bir gazın basınç ve hacimlerinin çarpımı sabittir**” özelliğini belirlemişlerdir. Bu özelliğe Boyle-Mariotte Yasası denmektedir. **P.V=sabit** (T=sabit iken)

### 3)CHARLES-GAY LUSSAC YASASI:

1802 yılında J.Charles ve J.L.Gay Lussac, “**sabit basınçta ısıtılan bir gazın hacmi sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişir**” özelliğini belirlemişlerdir. Bu özelliğe Charles-Gay Lussac Yasası denmektedir. Matematiksel olarak  $V=V_0(1+\alpha t)$  şeklindedir. Burada V: t sıcaklığında gazın hacmi, V<sub>0</sub>: 0 C<sup>0</sup>'de gazın hacmi,  $\alpha$ :gazın hacimsel genleşme katsayısı ( $\alpha=1/273=0,00366$ ) dır.

Sabit basınç için,  $V_1$  ve  $V_2$ , sırası ile  $T_1$  ve  $T_2$  sıcaklıklarındaki gaz hacimleri ise,  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$  eşitliği yazılabilir.

#### Örnek:

Sıcaklığı 1200 K, hacmi 2 m<sup>3</sup> olan bir gaz, sabit basınçta 1800 K sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Gazın son hacmi kaç m<sup>3</sup> olur?

#### Çözüm:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ eşitliğinden } V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 2 \frac{1800}{1200} = 3 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

#### 4)DALTON YASASI:

“Bir gaz karışımının basıncı, karışımı oluşturan gazların karışım sıcaklığında olmaları ve ayrı ayrı toplam hacmi kaplamaları durumunda sahip

olacakları basınçların toplamına Dalton Yasası”denir.  $P_{kanarı} = \sum_{i=1}^n P_i$  ( $t, V = \text{sabit}$ ).

#### 5)AMAGAT YASASI:

“Bir gaz karışımının hacmi, karışımı oluşturan gazların karışım sıcaklığı ve basıncında olmaları durumunda, ayrı ayrı kaplayacakları hacimlerin toplamıdır” ifadesi,

Amagat Yasası olarak bilinir.  $V_{kanarı} = \sum_{i=1}^n V_i$  ( $T, P = \text{sabit}$ ).

#### İDEAL GAZ DURUM DENKLEMİ:

Bir maddenin basıncı, sıcaklığı ve özgül hacmi arasındaki ilişkiyi veren her hangi bir bağıntıya **durum denklemi** adı verilir.

İdeal bir gaz için durum denklemi Boyle-Mariotte yasası ve Charles-Gay Lussac kanunları kullanılarak bulunur.  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{sabit}$ , bu sabit değer **gaz sabiti** olarak

adlandırılır ve R ile gösterilir.  $P \cdot v = R \cdot T$  eşitliği **Clapeyron eşitliği** veya **ideal gaz durum denklemi** olarak bilinir.  $v = V/m$  olduğundan ideal gaz denklemi  **$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$**  olarak da yazılabilir.

Buradaki R değeri  $R = R_u/M = (8,3143)/M$  şeklindedir. Burada M, gazın moleküler kütlesi (kg/kmol).  $R_u = 8,3143 \text{ kJ/kmolK}$  değerine ise **üniversal gaz sabiti** denir ve bütün gazlar için aynıdır. Her hangi bir gazın kütlesi mol kütlesi ile mol sayısının çarpımına eşittir,  $m = n \cdot M$ . Bu durumda mol sayısına bağlı olarak ideal gaz denklemi;  **$P \cdot V = n \cdot R_u \cdot T$**  şeklinde yazılabilmektedir.

#### Örnek:

Çapı 30 cm olan bir borudan CO<sub>2</sub> gazı geçmektedir. Boru içerisindeki gazın basıncı 275 kPa, sıcaklığı 500 K, hızı 60 m/s olduğuna göre, kütleli debisini;

a) kg/s olarak, b) kmol/s olarak hesaplayınız. ( $\pi = 3,14$ ,  $M = 44 \text{ kg/kmol}$ )

#### Çözüm:

$$\text{a) } P \cdot \dot{V} = m \cdot R \cdot T, \quad \dot{V} = A \cdot C = \pi \cdot (0,15)^2 \cdot 60 = 4,241 \text{ m}^3/\text{s}, \quad R = R_u/M = (8,3143)/44 = 0,189$$

$$\text{kJ/kgK, } m = \frac{P \cdot \dot{V}}{R \cdot T} = \frac{275 \cdot (4,241)}{(0,189) \cdot 500} = 12,344 \text{ kg/s}$$

$$\text{b) } \dot{n} = \frac{m}{M} = \frac{12,344}{44} = 0,28056 \text{ kmol/s} \text{ olarak bulunurlar.}$$

## TERMODİNAMİĞİN YASALARI

## TERMODİNAMİĞİN SIFIRINCI YASASI:

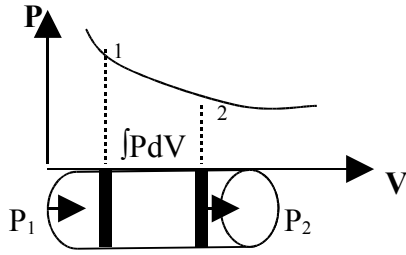
“iki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkça eşdeğerde ise, bu iki cisim birbirleriyle de sıcaklıkça eşdeğerdedir”. Buna termodinamiğin sıfıncı yasası denmektedir. 1931 yılında R.H.Fowler tarafından temel bir fizik ilkesi olarak ortaya konmuştur.

## TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI:

**A) İŞ:** İş, bir kuvvetin bir sisteme belirli bir yol boyunca etki etmesi sırasında aktarılan enerjidir.  $W = \int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{x}$  şeklinde formülize edilir.

Termodinamik açıdan iş ise, sistemle çevresi arasında bir enerji alışverişidir. Eğer sistemin çevresindeki yegane etki, bir ağırlığın kaldırılması şeklinde olabilirse, sistem iş yapmış olur. Isı makinelerinde sistem tarafından yapılan iş pozitif, sisteme verilen iş ise negatif olarak alınır. İş depo edilemez, ancak geçiş halinde ve sistem sınırında görülür. İşin birimi Joule, N.m ya da  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$  dir. Birim zamanda yapılan işe ise **güç** denir.

## B) BASİT SIKIŞTIRILABİLİR BİR SİSTEMİN SINIRINDAKİ İŞ:



Şekilde bir silindir ve bir pistondan oluşan gaz için, piston çekildiği durumda P-V grafiği görülmektedir. Bu durumda yapılan iş  $W = \int PdV$  bağıntısından bulunur. T=sabit için  $P_1V_1 = P_2V_2$  dir. Pistonu 1.durumdan 2.duruma getirmek için yapılan iş

$$W_2 = P_1V_1 \int \frac{dV}{V} = P_1V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ olur.}$$

$PV^n = \text{sabit}$ , yani  $P_1V_1^n = P_2V_2^n$  olan **politropik** durum değiştirme için yapılan iş;

$$W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1 - n} \text{ olarak bulunur.}$$

## C) ISI:

Isı, belirli sıcaklıktaki bir sistemin sınırlarından, daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme, sıcaklık farkı nedeniyle transfer edilen enerjidir. Isı ve iş sistemde geçiş halindeki enerjilerdir. İşin tersine ısı makinelerinde sisteme verilen ısı pozitif, sistemden atılan ısılar ise negatif olarak değerlendirilir. Isı birimi de Joule'dur. Eski bir alışkanlık olarak **kalori** de ısı birimi olarak kullanılır. 1 kalori, 1 gr suyun sıcaklığını  $14,5^\circ\text{C}$ 'den  $15,5^\circ\text{C}$ 'ye çıkarmak için gerekli ısı miktarıdır. 1 kalori = 4,187 Joule dır.

## D) ENERJİNİN KORUNUMU:

### 1) POTANSİYEL ENERJİ:

Herhangi bir kütlenin, bulunduğu konum itibarıyla sahip olduğu enerjiye, potansiyel enerji denmektedir. Burada enerjinin kaynağı, yer çekiminin kütle üzerindeki etkisidir. Potansiyel enerji  $E_p = m \cdot g \cdot h$  ya da  $\int dE_p = m \cdot g \cdot \int dz$  formülünden hesaplanabilir.

### Örnek:

Kütlesi 30 kg olan bir bavulu 50 cm yükseğe çıkarmak için harcanan enerji kaç J dur? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$  alınır)

### Çözüm:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 30 \cdot 10 \cdot (0,5) = 150 \text{ J}$$

### 2) KİNETİK ENERJİ:

Hareket halindeki bir kütle kinetik enerjiye sahiptir. Yani kinetik enerji cismin hareket enerjisidir.  $E_k = \frac{1}{2}mC^2$  ya da  $\int dE_k = m\int C.dC$  bağıntısından bulunur. Burada m, kütle, C ise hızdır.

#### Örnek:

Durmakta olan 1000 kg lık bir otomobili 90 km/sa hıza ulaştırmak için kaç J enerji gereklidir? (sürtünmeler önemsiz)

#### Çözüm:

$$E_k = (1/2)mC^2 = (1/2).1000.(90000/3600)^2 = 500.(25)^2 = 500.625 = 312,5 \text{ kJ}$$

### 3)İÇ ENERJİ:

Bir sistemin moleküler yapısı ve moleküler hareketliliği ile ilgili enerjilerinin tümüne **İÇ ENERJİ** denir. İç enerji U ile gösterilir ve sistemin dış referans noktalarından bağımsızdır. Bütün maddeler kimyasal ve moleküler biçimde iç enerji içermektedir.

İdeal gazlar için iç enerji sadece sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Birim kütle için iç enerji değişimi;  $\int du = C_v \int dT$  ve iki durum arasındaki işlem sırasında  $u_2 - u_1 = C_v(T_2 - T_1)$  olur.

### 4) TERMODİNAMİĞİN I.YASASININ ANLAM VE ÖNEMİ:

Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumu ve dönüşümü yasasını ifade etmekte ve enerjinin termodinamik ile ilgili bir özellik olduğunu vurgulamaktadır. **Enerjinin korunumu ve dönüşümü yasasına göre, enerji yok edilemez veya yokken var edilemez, ancak değişik fiziksel ve kimyasal işlemlerle bir enerji biçiminden diğer enerji biçimine dönüşür.**

**Termodinamiğin birinci yasası, şöyle ifade edilebilir: "Kapalı bir sistemin belirli bir durumu arasında gerçekleşebilecek tüm adyabatik durum değişimleri sırasında yapılan net iş, sisteme veya durum değişimlerine bağlı olmaksızın aynıdır."**

Bir çevrimde iş ve ısı değerleri arasındaki fark  $\delta Q - \delta W = dE$  diferansiyeli ile ifade edilir. Burada ilk iki terim eğri fonksiyonu, üçüncü terim nokta fonksiyonudur.

Kapalı bir sistemde Termodinamiğin Birinci Yasası;  $\delta Q = dU + d(E_k) + d(E_p) + \delta W$  şeklinde yazılabilmektedir. Bu, şu anlama gelir: Bir sistem termodinamik durum değişikliğine uğradığında enerji, ısı veya iş olarak sistem sınırlarını geçebilir, ısı ve iş pozitif veya negatif olabilir, sistemin sahip olduğu enerjideki net değişim tam olarak sistemin sınırlarını geçen net enerjiye eşittir.

#### Örnek:

Bir depoda bulunan sıvı, elektrik motoruyla döndürülen bir palet yardımıyla karıştırılmıştır. Paleti çevirmek için 4500 kJ luk bir iş harcanmış ve bu sırada depodan çevreye 2000 kJ luk ısı transfer edilmiştir. Sıvı ve depoyu sistem olarak düşünerek, sistemin iç enerji değişimini bulunuz.

#### Çözüm:

Potansiyel ve kinetik enerjilerde değişim olmadığından,  $Q_2 = U_2 - U_1 + W$  olur.  $-2000 = U_2 - U_1 - 4500$ , burada da  $U_2 - U_1 = 2500 \text{ kJ}$  bulunur.

### 5)ENTALPİ, İÇ ENERJİ VE ÖZGÜL ISILAR:

İç enerji, özgül ısılar ve entalpi "kalografik durum" özellikleridir.

**Bir sistemin iç enerjisiyle, basınç ile hacmin çarpımının toplamına "entalpi" denmektedir.  $H = U + P.V$  bağıntısıyla ifade edilir. Birim kütle için  $h = u + P.v$  olarak yazılabilmektedir. Termodinamiğin birinci yasasına göre  $dq = dh - v.dP$  yazılıp, sabit basınç için (izobarik)  $dP = 0$  olduğundan,  $dq = dh$  olur. Yani, sabit basınçta sisteme verilen ısı, sistemin entalpi değişimine eşittir.**

İdeal gazlar için entalpi sadece sıcaklığa bağlıdır. Aynı zamanda iç enerji de sadece sıcaklığın bir fonksiyonudur,  $u = f(T)$ .



İdeal gazlarda entalpi ile sabit basınçtaki özgül ısı arasında  $[dh]=[C_p \cdot dT]$  bağıntısı vardır. sabit basınçtaki özgül ısı ile sabit hacimdeki özgül ısı arasındaki önemli bağıntı, entalpinin tanımı yardımıyla geliştirilmiştir. Bu bağıntıya **Mayer Bağıntısı** denir ve  $C_p - C_v = R$  olarak ifade edilir.

#### Örnek:

Bir piston ve silindir düzeninde ilk hacim  $0,1 \text{ m}^3$  olup, içerisinde  $150 \text{ kPa}$  basınç ve  $25 \text{ C}^0$  sıcaklıkta azot (nitrojen) bulunmaktadır. Piston, azotun basıncı  $1 \text{ Mpa}$  ve sıcaklığı  $150 \text{ C}^0$  oluncaya kadar hareket ettirilmiş ve bu sırada  $30 \text{ kJ}$ 'lük iş yapılmıştır. Bu işlem sırasındaki ısı transferini hesaplayınız. ( $C_p=1,0416 \text{ kJ/kgK}$ ,  $C_v=0,7448 \text{ kJ/kgK}$ )

#### Çözüm:

Azot ideal gaz olarak varsayılır, potansiyel ve enerjideki değişimler ihmal edilirse, ısı enerjisi  $Q_2 = m \cdot C_v (T_2 - T_1) + W_2$  dır.  $R = C_p - C_v = 1,0416 - 0,7448 = 0,2968 \text{ kJ/kgK}$ ,  $T = 25 + 273,15 = 298,15 \text{ K}$ ,  $PV = mRT$  den  $m = (150 \cdot 0,1) / (0,2968 \cdot 298,15) = 0,1695 \text{ kg}$  şeklinde kütle bulunur. Buradan da ısı transferi;  $Q_2 = 0,1695 \cdot 0,7448 (150 - 25) + 30 = -14,2 \text{ kJ}$  bulunur.

#### Örnek:

Bir aşırı kızdırma ünitesinde,  $P_1=80 \text{ bar}$ ,  $X_1=0,95$  başlangıç koşullarındaki  $1 \text{ kg}$  buhar,  $P_2=80 \text{ bar}$ ,  $t=500 \text{ C}^0$  koşullarına kızdırılmıştır. Buhar için harcanan ısıyı bulunuz. ( $80 \text{ bar}$ 'da doymuş buhar için  $h_f=1316,64 \text{ kJ/kg}$ ,  $h_{fg}=1441,3 \text{ kJ/kg}$ ,  $500 \text{ C}^0$ de kızgın buharın entalpisi  $h=3398,3 \text{ kJ/kg}$ )

#### Çözüm:

Başlangıç koşullarında ıslak buharın entalpisi;  $h_x = h_f + x \cdot h_{fg} = 1316,64 + (1441,3 \cdot 0,95) = 2685,88 \text{ kJ/kg}$  dır.

Kızdırıcı da harcanan ısı ise;  $q = h - h_x = 3398,3 - 2685,88 = 712,43 \text{ kJ/kg}$  olarak bulunur.

#### Örnek:

Bir gaz türbininin santrifüj kompresörüne giren atmosferik havanın basıncı  $1 \text{ bar}$ , sıcaklık  $480 \text{ K}$  ve hava hızı  $100 \text{ m/s}$  dir. Kompresörün bastığı havanın debisi  $5 \text{ kg/s}$  dir. Kompresörden dışarıya ısı transferi olmadığına göre, kompresörü çevirmek için gerekli olan gücü hesaplayınız. (Hava için  $C_p=1,0035 \text{ kJ/kgK}$ )

#### Çözüm:

Kontrol yüzeyi kompresöre girişin açığından geçirilerek, havanın giriş hızı çıkış hızına göre ihmal edilebilir. Bu durumda enerjinin korunumundan  $h_1 = h_2 + \frac{1}{2} C_2^2 + w_1$

bağıntısı yazılabilir. Entalpi değişimi;  $h_2 - h_1 = C_p (T_2 - T_1) = 1,0035 (480 - 300) = 180,63 \text{ kJ/kg}$ , kinetik enerji ise  $(1/2) C_2^2 = 100^2 / 2 = 5000 \text{ J/kg} = 5 \text{ kJ/kg}$  dır. Buradan da yapılan iş;  $-dw/dt = (180,63) + 5 = 185,63 \text{ kJ/kg}$  olarak olarak bulunur. Gerekli hava gücü ise;  $-dW/dt = 5 \cdot (185,63) = 928,15 \text{ kWatt}$  olarak bulunur.

## TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASI

**“Termodinamiğin ikinci yasası, işlemlerin belirli bir yönde gerçekleşebileceğini, ters yönde olamayacağını ifade eder.”**

**Bir durum değişimi ancak, termodinamiğin hem birinci ve hem de ikinci yasasını sağlıyorsa gerçekleşebilir.**

Örneğin yakıt tüketerek bir yokuşu çıkan bir otomobil düşünelim. Otomobilde depodan eksilen benzin, otomobilin yokuş aşağıya kendiliğinden inmesiyle tekrar depoya dolamaz. Yani durum değişimi tek yönlüdür.

Termodinamiğin birinci yasası durum değişiminin yönü üzerine bir kısıtlama koymamaktadır. Birinci yasaya göre bir çevrimde ısı tamamen işe dönüştürülebilir,  $Q_{\text{çevrim}} = W_{\text{çevrim}}$ . Yani birinci yasaya göre, sistemden çevreye ısı vermeksizin iş yapabilen

bir ısı motoru, yani %100 verimli bir motor, yapmak mümkündür. İşte İkinci Yasa buna kısıtlama getirmektedir. Termodinamiğin ikinci yasasının **Kelvin-Planck** ifadesi bu durumu açıklar:”**periyodik olarak çalışan bir tek ısı kaynağı ile ısı alış verişi yaparak sürekli olarak iş üreten bir makinenin yapılması mümkün değildir.**”

Isıtma ve soğutma makinelerinin (klima, buzdolabı...) termodinamiğin ikinci yasasıyla ilişkisini ise **Clausius** şöyle açıklamıştır:”**çevrede hiçbir etki bırakmaksızın ısıyı soğuk ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına ileten bir ısı pompası (veya soğutma makinesi) yapmak mümkün değildir.**”ya da başka bir deyişle “ ısı enerjisi kendiliğinden soğuk ortamdan sıcak ortama doğru akamaz”.

Termodinamiğin ikinci yasası, doğada bulunmayan tersinir işlemler için sakınım yasasıdır. Bu yasa, sistemin termodinamik özelliklerinden biri olan ve **entropi** olarak adlandırılan yeni bir ifadenin tanımlanmasına yol açmıştır.

## ENTROPİ:

“**Entropi, sistemdeki düzensizliğin bir ölçüsü olarak tanımlanabilmektedir**”. Sistemde düzensizlik arttıkça entropi de artar. Örneğin bir gaz ısıtıldığında moleküllerinin hareketleri hızlandığından ve düzensizleştiğinden, entropisi artar. Eğer bir sistem tam olarak düzenli ise, entropisi sıfır olabilir. Enerjinin aksine, entropi korunan bir özellik değildir ve gerçek tüm işlemlerde sistemin ve çevrenin entropi değişimlerinin toplamı daima pozitifdir.

Entropi,  $dS = \frac{dQ}{T}$  bağıntısından hesaplanabilir. Bir sistem için entropi değişimi

ise  $S_2 - S_1 = \int_{ter} \left( \frac{\delta Q}{T} \right)$  integrali alınarak bulunabilir. Bunun için T ile Q arasındaki

ilişkinin bilinmesi gerekir. Sistemde toplam entropi değişimi  $\Delta S_{toplam} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre} \geq 0$  dır.

Burada eşitlik durumu tersinir durumlar, eşitsizlik durumu ise tersinmez durumlar için geçerlidir. Gerçek işlemler tersinmez işlemlerdir. Bu sonuca göre termodinamiğin yasaları şöyle özetlenebilir:”**Evrenin enerjisi sabit kaldığı halde, evrendeki entropi sürekli olarak artmaktadır.**”

### Örnek:

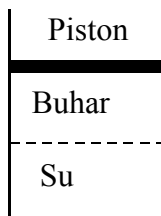
Bir durum değişimi sırasında 300 K sabit sıcaklıktaki çevre havaya, 100 kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu durum değişimi sırasında çevresin entropi değişimini hesaplayınız.

### Çözüm:

Çevre hava, ısı alış verişi yaparken sıcaklığı değişmemektedir. O halde entropi değişimi:

$$\Delta S_{çevre} = \frac{Q_{çevre}}{T_{çevre}} = \frac{100}{300} = 0,333 kJ / K \text{ dır.}$$

### Örnek:



Şekilde gösterildiği gibi, bir silindir-piston düzeneğinde 100 C<sup>0</sup> sıcaklıkta su-buhar karışımı bulunmaktadır. Daha sonra 300 K sabit sıcaklıktaki çevre havaya, sabit basınçtaki bir durum değişimiyle 500 kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu durum değişimi sırasında suyun ve çevre havanın entropi değişimleri ile toplam entropi değişimini hesaplayınız.

### Çözüm:

$$\Delta S_{su} = \frac{Q_{su}}{T_{su}} = \frac{-500}{100 + 273} = -1,340 kJ / K \text{ şeklinde suyun entropisi azalır.}$$

$\Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = \frac{+500}{300} = +1,667 \text{ kJ/K}$  şeklinde çevrenin entropisi artar. Toplam entropi değişimi ise;  $\Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{su}} + \Delta S_{\text{çevre}} = -1,340 + 1,667 = +0,327$  olur.

### İDEAL GAZLAR İÇİN ENTROPİ DEĞİŞİMİ:

Termodinamiğin birinci yasasına göre;  $\delta Q = dU + \delta W$  ve tersinir işlem için  $\delta Q = T \cdot ds$  ve  $\delta W = P \cdot dV$  yazılabilir. P yerine  $RT/v$ , dU yerine  $C_v dT$  alınarak denklemler birleştirilirse;  $ds = C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v}$  diferansiyel denklemi elde edilir.  $C_v$  sıcaklığa göre sabit kabul edilir, her iki tarafın integrali alınarak çözüm yapılırsa, **ideal gaz için entropi değişimi**  $s_2 - s_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$  olarak bulunur. Bu değişim sıcaklık sabit ise  $s_2 - s_1 = R \ln(v_2/v_1)$  ya da  $s_2 - s_1 = -R \ln(P_2/P_1)$ , hacim sabit ise  $s_2 - s_1 = C_v \ln(T_2/T_1)$  olur.

Gazlarda sabit basınçtaki özgül ısının sabit hacimdeki özgül ısıya oranı “**izentropik (veya adyabatik) üs**” olarak adlandırılmakta ve **k** ile gösterilmektedir. Bu durumda  $k = (C_p/C_v)$  olup  $C_p - C_v = R$  ‘de yerine konulursa,  $C_v = R/(k-1)$  ve  $C_p = kR/(k-1)$  bağıntıları bulunur.  $T \cdot ds = C_v \cdot dT + P \cdot dv$  diferansiyel denklemi  $ds=0$  koşulu için çözülmüşse  $\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^k$  eşitliği elde edilir. Bu eşitliğe **Poisson eşitliği** denir. Poisson eşitliği

sıcaklık ve hacme bağlı olarak da,  $\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$  şeklinde yazılabilir. Bu durumda

sistemi 1 durumundan 2 durumuna götürmek için yapılan iş  $W_2 = \frac{R(T_2 - T_1)}{1 - k}$  dır.

### Örnek:

Sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindir-piston düzeninde bulunan, 100 kPa basınç ve 27 C° sıcaklıktaki 1kg azot (nitrojen),  $PV^{1,4} = \text{sabit}$  olacak biçimde 587 C° sıcaklığa kadar sıkıştırılmaktadır. Bu işlem sırasında yapılan iş ne kadardır? ( $R=0,2968 \text{ kJ/kgK}$ )

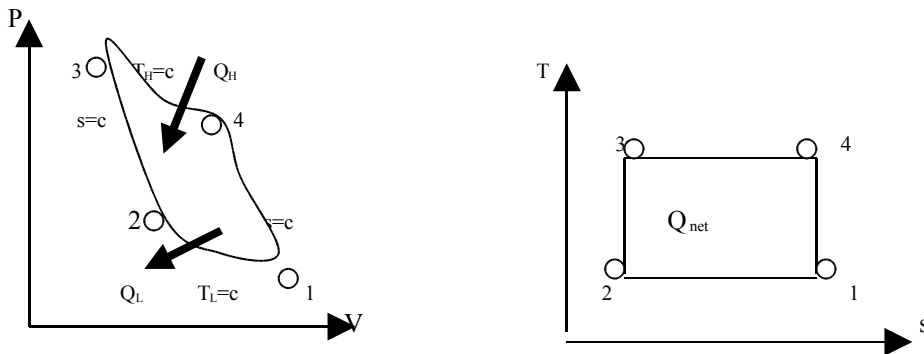
### Çözüm:

$$W_2 = \frac{R(T_2 - T_1)}{1 - k} = \frac{0,2968(860 - 300)}{1 - (1,4)} = \frac{112,784}{-0,4} = -281,96 \text{ kJ/kg dır.}$$

## ÇEVİRİMLER

### A)CARNOT ÇEVİRİMİ:

Bu çevrim 1824 yılında Fransız bilim adamı Nicolas Leonard Sadi **Carnot** tarafından ortaya atılan çevrimdir. Isı makinelerinin **ideal çevrimi** olarak kabul edilmektedir. Carnot çevriminin P-v ve T-s diyagramı şekildeki gibidir.



Şekilde görüldüğü gibi çevrim, iki izentropik ve iki izotermik işlemten meydana gelmektedir. Çalışma maddesine dışarıdan iş verilerek 1-2 noktaları arasında izotermik

( $T_L$ =sabit) ve 2-3 noktaları arasında izentropik olarak sıkıştırılmakta; sıcaklığı ve basıncı artan çalışma maddesi, 3-4 noktaları arasında izotermik ( $T_H$ =sabit) ve 4-1 noktaları arasında da izentropik olarak genişleyerek iş yapmaktadır. Bilindiği gibi, sıkıştırılan bir gazın basıncı ve sıcaklığı artmakta, bunun aksine, genişleyen bir gazın da basınç ve sıcaklığı azalmaktadır. 1-2 noktaları arasında sıkıştırmaya bağlı olarak artma eğiliminde olan sıcaklığın ( $T_L$ ) sabit kalabilmesi için, sistemin soğutulması yani sistemden ısı atılması, 3-4 noktaları arasında ise, genişlemeye bağlı olarak azalma eğiliminde olan sıcaklığın ( $T_H$ ) sabit kalmasını sağlamak için de sisteme ısı verilmesi gerekmektedir. Carnot çevrimi, teorik olarak, kapalı veya sürekli akışlı açık bir sistemde gerçekleştirilebilir.

Sistemden atılan ısı miktarı  $-Q_L = Q_2 = mRT_L \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$ , sisteme verilen ısı miktarı

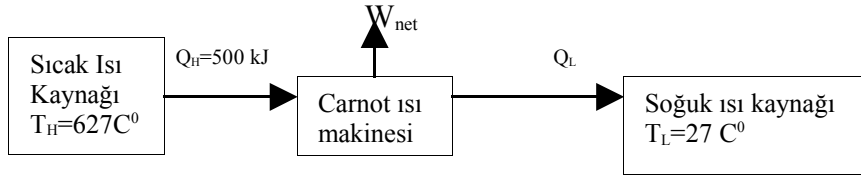
da  $Q_H = Q_4 = mRT_H \ln\left(\frac{v_4}{v_3}\right)$  eşitlikleriyle hesaplanabilir. Çevrimin ısı verimi de

$n_t = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$  bağıntısından bulunur. Buradan da izentropik durum için **Carnot**

**çevriminin ısı verimi**  $n_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$  bağıntısı elde edilir.

### Örnek:

Şekilde şematik olarak gösterilen Carnot ısı makinesi,  $627\text{ C}^0$  sıcaklıktaki bir sıcak kaynaktan  $500\text{ kJ}$  ısı almakta ve  $27\text{ C}^0$  sıcaklıktaki soğuk kaynağa ısı vermektedir. Bu makinenin ısı verimini ve soğuk kaynağa verilen ısı miktarını hesaplayınız.



### Çözüm:

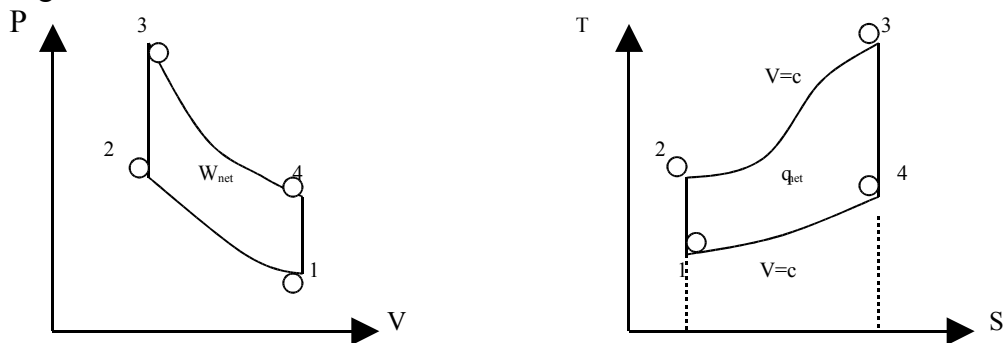
$n_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{27 + 273}{627 + 273} = 0,667$  veya %66,7 bulunur. Buradan da ısı miktarı

$Q_L = Q_H(T_L/T_H) = 500(300/900) = 166,67\text{ kJ}$  olur.

## B)PİSTONLU MOTORLARIN TEORİK ÇEVİMLERİ:

### 1)SABİT HACİM (OTTO) ÇEVİRİMİ:

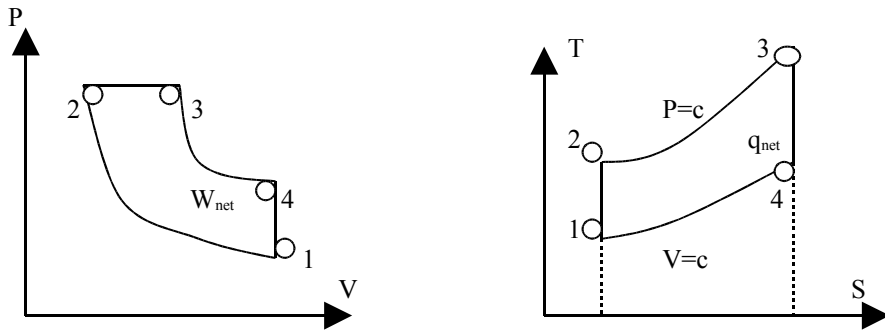
Sabit hacim çevrimi, ilk defa 1862 yılında Beau de **Rochas** tarafından açıklanmış olmakla birlikte, çevrimin uygulaması ilk olarak 1876 yılında **Nikolaus August Otto** tarafından yapılmıştır. Otto, aynı yılda, sıkıştırmalı, dört zamanlı, pistonlu içten yanmalı ilk motoru piyasaya sürmüştür. Otto çevriminin P-v ve T-s grafiği şekildedir.



Otto motorunun ısı (termik) verimi  $n_t = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}$  bağıntısından bulunabilir. Verim sıkıştırma oranına ( $\epsilon$ ) bağlı olarak  $n_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$  şeklinde de belirtilebilmektedir. Burada  $v_1/v_2 = \epsilon$  dur. Buna göre sıkıştırma oranı arttığında verim artmaktadır.

## 2) SABİT BASINÇ (DİSEL) ÇEVİRİMİ:

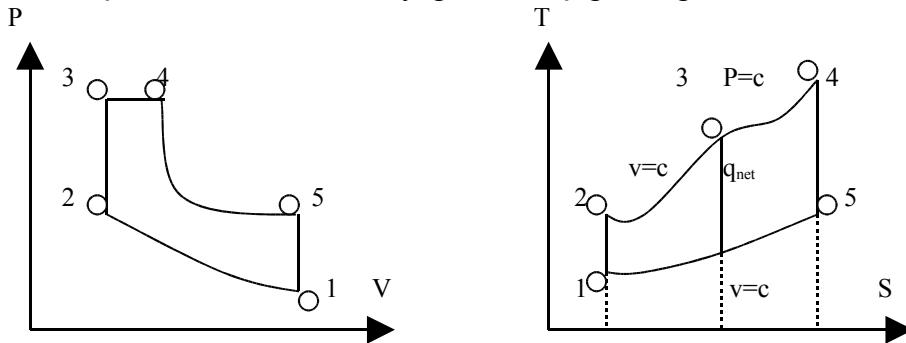
Rudolf **Deisel** 1892 yılında kendi adıyla anılan bir motor üretmiş ve patent almıştır. Bu motorun çevrimine **Deisel çevrimi** denmektedir. Otto motorunda hava ve yakıtın birlikte sıkıştırılması verimi düşürmekte idi. Dizel motorunda hava ve yakıt ayrı ayrı sıkıştırılarak verim artışı sağlanmaktadır. Bu motor  $\epsilon=24/1$  sıkıştırma oranına kadar olanak sağlamaktadır. Bu çevrim, bir sabit basınç, bir sabit hacim ve iki izentropik işlemden meydana gelmektedir. Çevrimin P-v ve T-s diyagramı aşağıdadır.



Diesel çevriminde hacimsel sıkıştırma oranı  $\epsilon = v_1/v_2$ , sabit basınçta genişleme oranı (ön genişleme oranı)  $\rho = (v_3/v_2) = (T_3/T_2)$  şeklindedir. Diesel çevriminin ısı verimi ise  $n_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \left[ \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)} \right]$  bağıntısıyla bulunur.

## 3) KARMA ÇEVİRİMİ:

günümüz modern dizel motorlarında yanmanın ilk aşaması sabit hacime yakın olurken, son aşaması yaklaşık olarak sabit basınçta gerçekleşmektedir. Siteme ısının bir kısmının sabit hacimde, geri kalanının da sabit basınçta verildiği çevrime **karma çevrim** denir. Bu çevrimin P-V ve T-S diyagramları aşağıdaki gibidir.

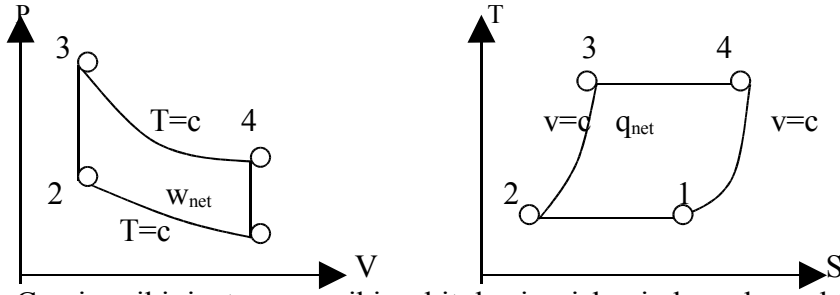


Karma çevrimde hacimsel sıkıştırma oranı  $\epsilon = v_1/v_2$ , sabit hacimde basınç artış oranı  $\lambda = (P_3/P_2) = (T_3/T_2)$  ve sabit basınçta genişleme (ön genişleme) oranı  $\rho = (v_4/v_3) = (T_4/T_3)$  dür.

Bu durumda ısı verim  $n_t = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \left[ \frac{\lambda \rho^k - 1}{(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)} \right]$  şeklindedir.

## 4) STİRLİNG ÇEVİRİMİ:

R.Stirling (1816) tarafından tasarlanan, dıştan ısı vermeli Stirling motorunun teorik çevrimine ait P-v ve T-s diyagramları , şekildeki gibidir.

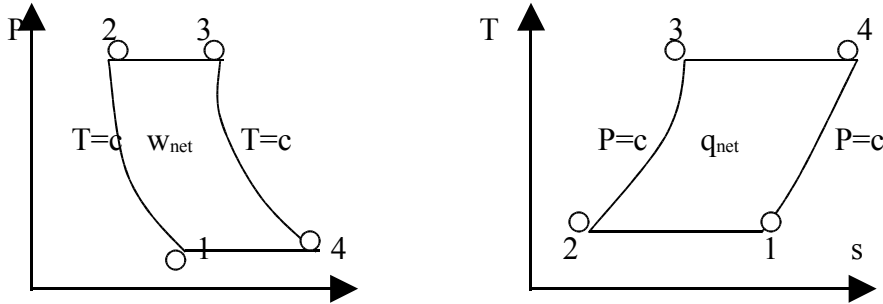


Çevrim, iki izoterm ve iki sabit hacim işleminden oluşmaktadır. Kapalı bir silindir içerisinde bulunan çalışma maddesine ısı, özel bir ısı eşanjörü-ısıtıcı tarafından verilir. Isının dışarıya atılması ise diğer bir ısı eşanjöründen-soğutucudan olmaktadır. Motor için gerekli olan ısı, silindirin dışındaki özel bir yanma odasından sağlanmakta ve burada kesintisiz bir yanma sürdürülmektedir. Bu sisteme verilen toplam ısı  $q_s = C_v(T_H - T_L) + RT_a \ln(P_2/P_1)$ , sistemde işe çevrilen net ısı ise  $q_{net} = (T_H - T_L)R \ln(P_2/P_1)$  dir. Bu durumda basit (regeneratörsüz) Stirling çevriminin ısıl verimi de  $\eta = q_{net}/q_s$  oranından bulunur. Regeneratörlü Stirling çevriminde ise dışarıya atılan ısı, regeneratör yardımıyla tekrar sisteme kazandırılır.

Bu çevrimde sisteme verilen toplam ısı  $q_s = C_v(T_H - T_L) + RT_a \ln(P_2/P_1)$ , işe çevrilen net ısı ise,  $q_{net} = (T_H - T_L)R \ln(P_2/P_1)$  dır.

### 5)ERICSSON ÇEVİRİMİ:

Ericsson çevrimi, izohorların yerini izobarların alması dışında, Stirling çevriminden farksızdır. Bu çevrim günümüz gaz türbinlerinin ideal çevrimi olarak değerlendirilmektedir. Ericsson çevriminin P-V ve T-s diyagramı aşağıdaki gibidir.



Ericsson çevrimine regereatör eklenirse, bu regereatör 4-1 izobarı boyunca dışarıya atılan ısıyı bünyesinde depolayarak, 2-3 izobarı boyunca tekrar sisteme verir.

İsveçli **John Ericsson**'un yaptığı motorlar, 19. Yüzyılda, dikkate değer sayıda imal edilmiş ve kullanılmıştır. Bu motorlarda, her çevrim için taze hava alınıyor ve dolaylı yoldan ısıtılıyordu (dıştan yanmalı). Başka bir deyimle sistem açık sistemdi. Ericsson, 1853 yılında, yaptığı motorlardan dört tanesini 2200 tonluk bir gemiye dizayn ederek, bu konuda bir ilki başarmıştır.

### TERMODİNAMİĞİN ÜÇÜNCÜ YASASI VE MUTLAK ENTROPİ:

Değişik maddelerin entropisi için, başlangıç oluşturma konusu, Termodinamiğin 3.Yasası'nı ortaya çıkarmıştır. Bu yasayla ilgili ilk çalışmalar **W.H Nernst** (1864-1941) ve **Max Planck** (1858-1947) tarafından yapılmıştır. Termodinamiğin üçüncü yasası mutlak sıfır sıcaklığındaki maddelerin entropisi ile ilgilidir. Buna göre termodinamiğin üçüncü yasası: “**mükemmel bir kristalin, mutlak sıfır sıcaklığındaki entropisi sıfırdır**” şeklindedir. Bu durum istatistiksel olarak, kristal yapının en yüksek derecede olduğunu belirtir ve burada ısıl enerji **minimum**dur.

### KAYNAK:

1)“**Termodinamik**”, Dç Dr Selim Çetinkaya, Ankara,1999, Nobel Yayın dağ.

2)“**Termodinamik**”cilt-2, Prf.Dr A.Rasim Büyüktür, Bursa,1991, Uludağ Üniversitesi.

3)“**Physics**” part-1, Prf Dr D.Halliday-Prf Dr R.Resnick, Pittsburgh Unv-Rensselaer Polytechnic Inst, New York-London-Sydney, Toppan Company Ltd.-Tokyo, Japan.

**Mehmet TAŞKAN**