Karadeniz Teknik Üniversitesi
Orman Fakültesi
Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü

OREN1000
TEKNİK FİZİK

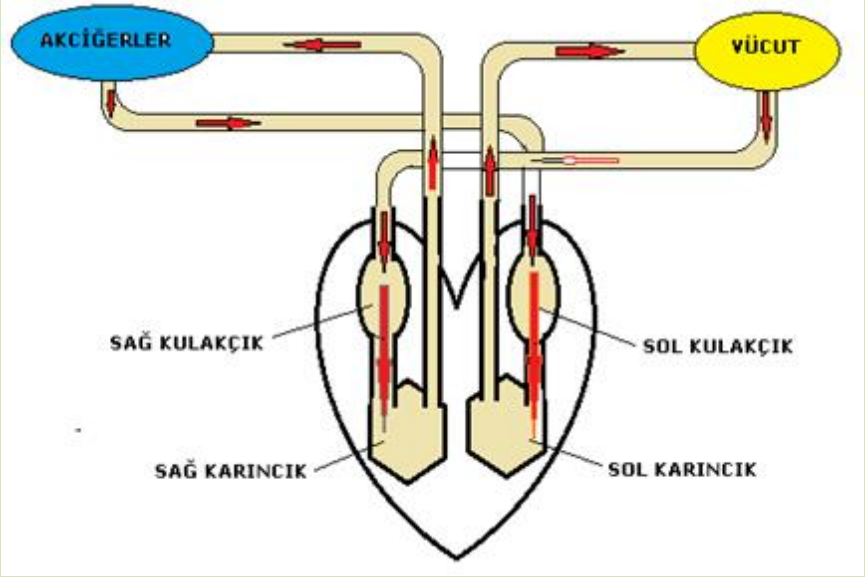
2. TERMODİNAMİK
2.1. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. TEMEL KAVRAMLAR

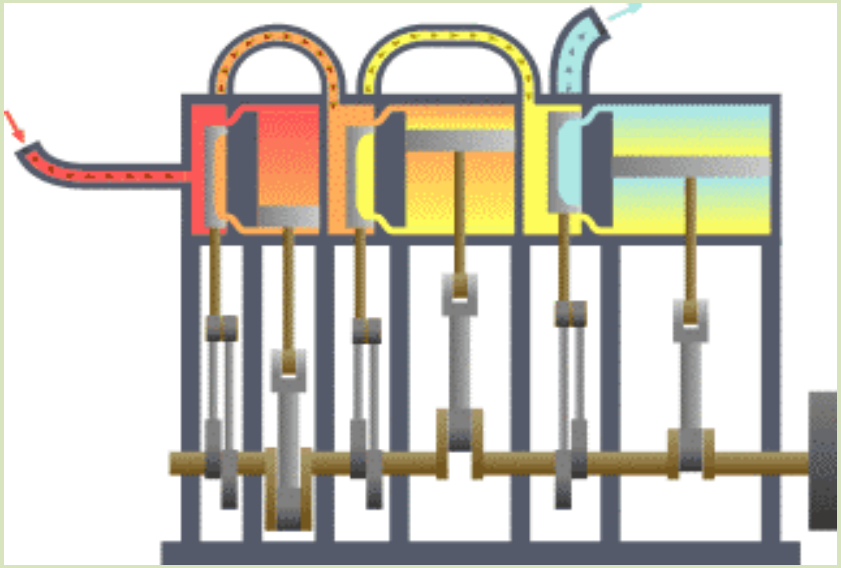
Termodinamiğin Kullanım Alanları:

- İnsan vücudu ve diğer ortamlar da termodinamiğin uygulama alanlarıdır.
  - Konutlar, evde kullanılan çoğu ev aletleri, elektrikli/gazlı fırın, ısıtma ve klima sistemleri, buzdolabı, hava nemlendirme cihazı, düdüklü tencere, termosifon, duş, ütü, bilgisayar, televizyon, otomobil motorları, roket ve jet motorları, termik ve nükleer güç santralleri, güneş kolektörleri termodinamik ilkelere göre tasarlanır.

- Kalp, vücudun her noktasına kanı sürekli olarak pompalamakta, vücuttaki hücrelerde enerji dönüşümleri meydana gelmekte, vücutta üretilen enerjinin bir kısmı iş yapmada kullanılmakta ve üretilen vücut ısısı devamlı olarak çevreye atılmaktadır. İnsanın yaşama konforu bu ısı atımıyla da doğrudan ilgili olup, ortam koşullarına uygun giysilerle ısı atımı kontrol altında tutulur.



Şekil 2.1. Kalp (Kan dolaşımı**)**



Şekil 2.2. Makina (Silindir-piston sistemi)

Enerji

Enerji, bir cismin çevresini etkileyerek özelliklerinde bir değişiklik meydana getirebilme ve iş yapabilme yeteneğidir.

Potansiyel enerji: $E_{pot} = mg\,(z - z_0)$

Kinetik enerji: $E_{kin} = \frac{1}{2} mc^2$

Termik (ısıl) enerji: $E_{ter} = Q = m\,C_0\,(T - T_0)$

Basınç enerjisi: $E_p = m\,\frac{\Delta p}{\rho}$

§ Toplam : $E = m\left(C_p\,\Delta T + \frac{\Delta p}{\rho} + \frac{\Delta c^2}{2} + g\,\Delta z\right)$

Isı

- **Isı**, sıcaklığı yüksek olan bir sistemden sıcaklığı daha düşük olan bir sisteme madde alış verişi olmaksızın, sıcaklık farkı dolayısıyla iletilen enerji olarak tanımlanabilir.
- **Isı,** sürekli olarak hareket halinde olan veya hareket özelliğine sahip olan bir enerji türüdür.
- **Isı**, bir maddenin bütün moleküllerinin sahip olduğu potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamıdır.
- Diğer bir ifade ile ısı, bir enerji türüdür ve diğer enerjilere dönüşebilir.

- Sabit hacimde (V = sabit) ısıtma halinde ısı miktarı (ısıl kapasite):

  $$Q = m\,C_v\,(T_2 - T_1)$$

  C_v $[kJ/kgK]$ sabit hacimde özgül ısı

- Sabit basınçta (P = sabit) ısıtma halinde ısı miktarı (ısıl kapasite)

  $$Q = m\,C_p\,(T_2 - T_1)$$

  C_p $[kJ/kgK]$ sabit basınçta özgül ısı

Özgül ısı: Isıtma ve soğutma işlemlerinde akışkanın veya cismin aldığı veya verdiği ısı miktarını hesaplamak için, özgül ısının bilinmesi gerekir.

Bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını 1 ^{o}C arttırmak için gerekli olan ısı enerjisi miktarıdır.

Özgül ısı maddenin bulunduğu fiziksel hal, basınç ve sıcaklığa göre az da olsa değişkendir.

Pratik uygulamalarda genellikle sabit olarak alınır.

Akışkanın birim miktarına göre özgül ısının birimleri [kJ/kg^{o}C) şeklindedir.

- Sabit hacimde özgül ısı:

$$q_{12} = C_v \, \Delta T; \; \Delta T = 1 \, ℃ \text{ ise } C_v = q_{12}$$

TD1K:

$$q_{12} + w_{12} = u_2 - u_1; \; w_{12} = 0 \text{ ise } C_v = u_2 - u_1$$

- Sabit basınçta özgül ısı (TD1K):

$$C_p = u_2 - u_1 + p\,(v_2 - v_1)$$

$$C_p - C_v = p\,(v_2 - v_1) \rightarrow C_p > C_v$$

- Mayer eşitliği: $C_p - C_v = R$
- Adyabatik üs: $\frac{C_p}{C_v} = k$
  - ◊ Sabit basınçta özgül ısı: $C_p = \frac{k\,R}{k-1}$
  - ◊ Sabit hacimde özgül ısı: $C_v = \frac{R}{k-1}$

Tablo 2.3. Bazı maddelerin sabit basınçta özgül ısıları

Madde	C_p (kJ/kgK)
Su	4,186
Fuel-oil	1,90
Alüminyum	0,89
Demir	0,54
Çelik	0,46
Odun (kuru)	1,36

Isı birimi [Joule, Calori].

Sıcaklık

- Maddelerin hal ve sıcaklığında değişmeye neden olan etkinin kaynağı ısıdır.
- Sıcaklık enerji değildir; bir maddenin moleküllerinin ortalama kinetik enerjilerinin bir ölçüsüdür.
- Isı ile sıcaklık arasındaki ilişki, potansiyel enerji ile yükseklik arasındaki ilişkiye benzetilebilir.
- Isının büyüklüğü kalorimetre ile, sıcaklığın büyüklüğü ise termometre ve benzeri aygıtlarla ölçülür.
- Sıcaklık birimi [Celsius (°C), Kelvin (°K), Fahrenheit (°F)].

- **Mutlak sıfır:** Olabilecek en düşük sıcaklıktır [mutlak sıfır: -273,15 ^{o}C], bu sıcaklıkta maddenin iç enerjisi kalmaz; teorik olarak tüm maddelerin atom ve moleküllerinin titreşimi hemen hemen sıfır olmaktadır.

°F = °C × 1.8 + 32

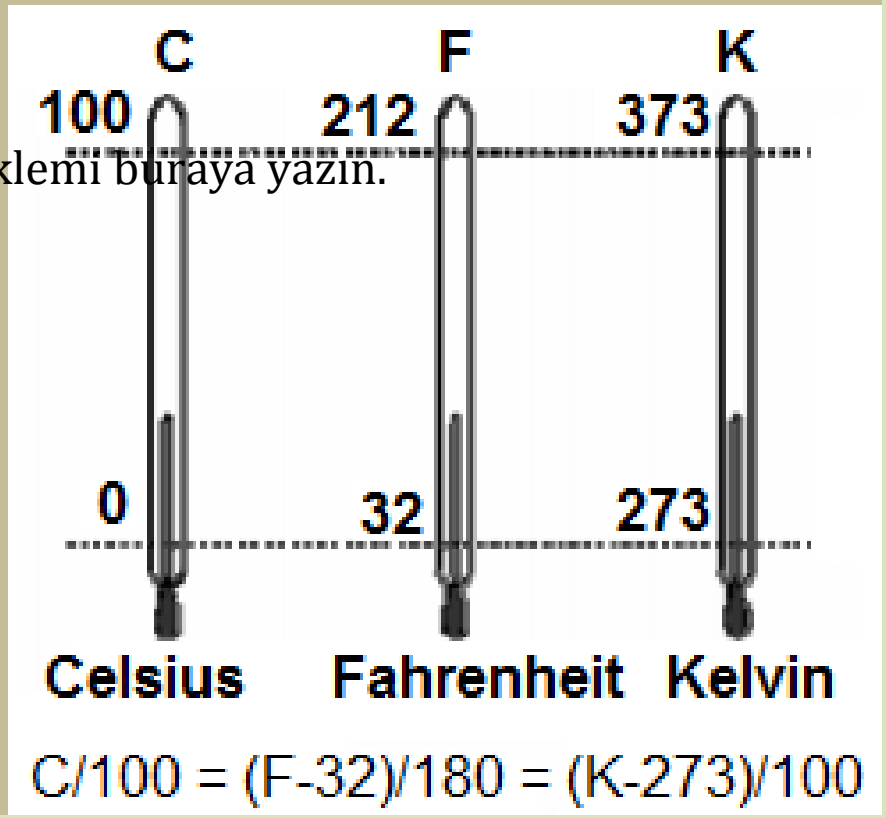
°C = (°F – 32) / 1.8

K = °C + 273.15

°C = K – 273.15

$$\frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180} = \frac{K - 273}{100}$$

Denklemi buraya yazın.



Basınç

- Birim yüzeye dik olarak etki eden kuvvete basınç denir.

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{A}} \left[\frac{\mathbf{N}}{\mathbf{m^2}} = \mathbf{Pa}\right]$$

- Kapalı ortamların basıncı manometre, açık ortamların (hava) basıncı barometre ile ölçülür.

İş

- Bir sistem ile onun çevresi arasında, bunlardan biri diğeri üzerinde bir kuvvet tatbik ettiği zaman, bu kuvvetin tatbik noktası bir mesafe kat ediyorsa, iş alışverişi olmuştur denir.
  - Bu tarife göre iş bir enerji türü değil, enerji taşıma şeklidir.
- Bir sistemde hacim değiştirme işi:

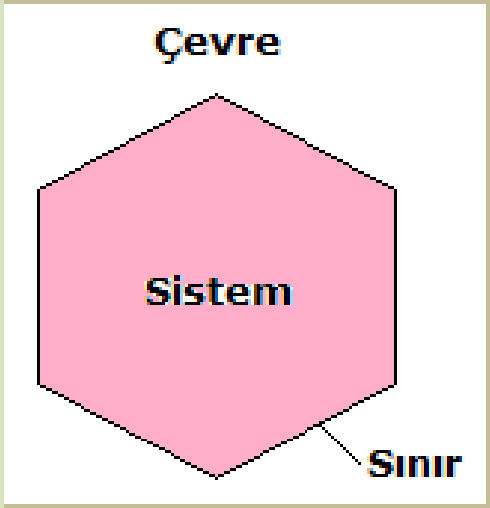
$$W = p\, dV$$

Sabit basınçta iş:

$$W = P\, \Delta V$$

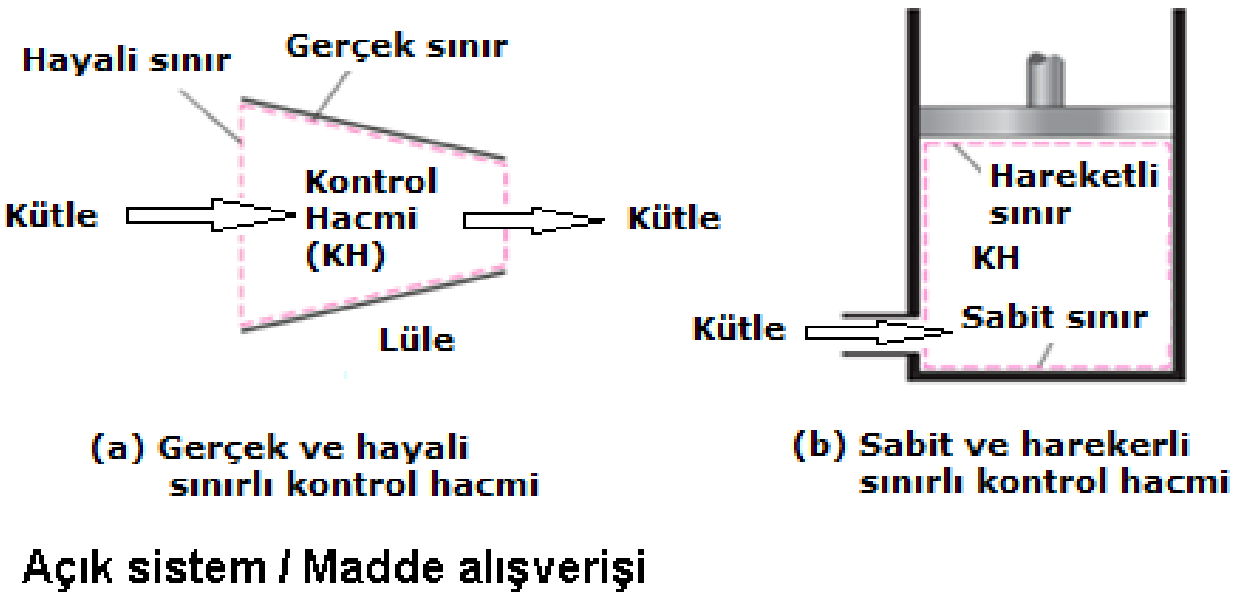
Termodinamik Sistem

- Sistem, birbiriyle etkileşen veya ilişkili olan, bir bütünü oluşturan cisim veya varlıkların toplamıdır.
  - Diğer bir ifade ile termodinamikte, kütle ve enerjinin incelenmek üzere çevreden bir sınırla ayrılmış madde veya bölgeye **sistem** denir.



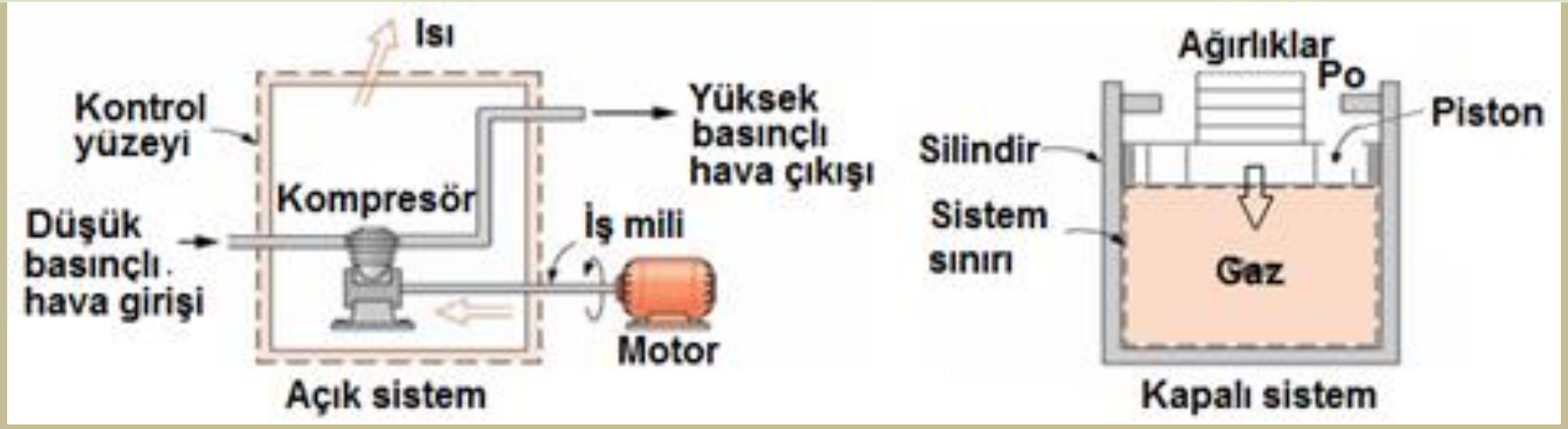
- Sistemi çevreden ayıran yüzeylere **sistem sınırı** denir.
  - Sistemin sınırları sabit veya hareketli olabilir.
- Sistemin dışında kalan kütle veya bölgeye ***çevre*** denir.

- Çevresiyle madde alışverişi olan sistemlere ***açık sistem veya kontrol hacmi*** denir (kompresör, türbin, lüle vb.).



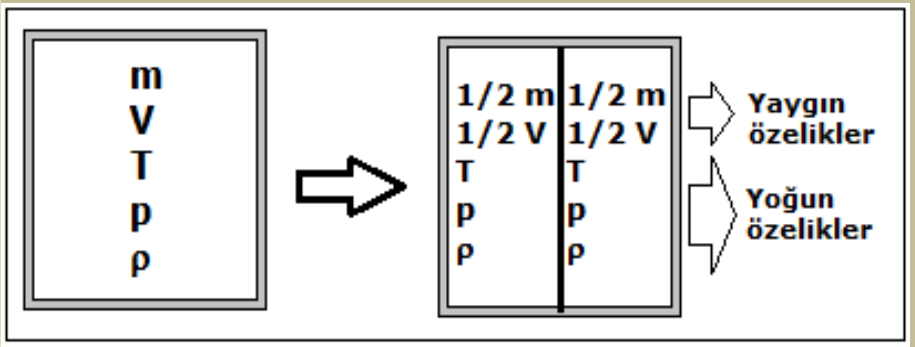
Kontrol hacminin sınırlarına *kontrol yüzeyi* adı verilir ve gerçek ya da hayali olabilirler.

- Madde alışverişi olmayan sistemlere ***kapalı sistem*** denir (kapalı silindir-piston sistemi).



- Sistemin her noktasında kimyasal yapısı ve fiziksel özellikleri değişmiyorsa, böyle sistemlere ***homojen sistem*** denir.
- Sistem özellikleri bölgesel olarak değişiyorsa ***heterojen sistem*** denir.
- Sistem sınırından ısı alışverişi olmadan iş alışverişi olabilen sistemlere ***adyabatik sistem*** denir.
- **Sistemin temel özelikleri;** basınç P, sıcaklık T, hacim V, kütle m'dir.

- Özelikler iki gruba ayrılır:
  - **Bağımlı (yaygın/ekstensif) özellikler:** Sistemin kütlesi veya hacmiyle orantılı olarak değişirler. Örneğin; kütle, hacim, iç enerji, toplam iç enerji, entalpi ve entropi.
  - **Bağımsız (yoğun/intensif) özellikler:** Sistemin kütlesinden bağımsızdırlar. Örneğin; sıcaklık, basınç, yoğunluk, hız, ısı ve yükseklik.



Özelik ifadesi

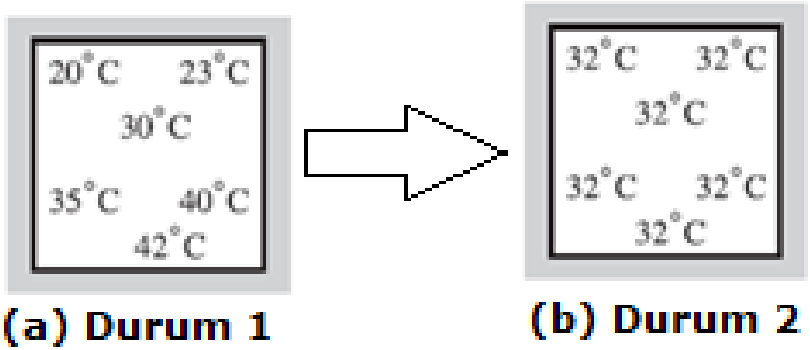
Özgül özelikler: Birim kütle için yaygın özelikler "özgül" ön eki ile ifade edilir. Örneğin; özgül hacim, özgül ağırlık.

Termodinamik Durum ve Denge

- **Durum**, sistemin içinde bulunduğu şartlardır.
- Bir sistem dış tesirler altında durumunu değiştirmiyorsa, yani sistemin durum büyüklükleri/ termodinamik koordinatları değişmiyorsa, sistem "**termodinamik denge**"dedir denir.
- Termodinamikte bir sistemin durumunun belirlenebilmesi için, ölçülebilen özelliklerinin (basınç, sıcaklık, kütle, madde cinsi) bilinmesi gerekir.
- Bunlar biliniyorsa diğer özellikler (hacim, iç enerji, vb.) sabit olup, kesin olarak hesaplanabilirler.

Denge tipleri: Isıl denge, mekanik denge, faz dengesi, kimyasal denge.

- Bu dengeler bir arada gerçekleşmedikçe termodinamik denge oluşmaz.
- Dış etkilerle sıcaklıkta değişme olduğunda sistem termik dengede olmayacak, fakat bir süre sonra tekrar denge durumuna gelecektir.



Isıl denge oluşumu/kapalı sistem

Isı Alış-Verişi

- Farklı sıcaklıktaki iki sistem arasında, çevre ile ısı alış verişi olmayan ortamda ısı alış verişi olur.
- Isı, sıcak sistemden soğu sisteme doğru akar.
- İki sistemin sıcaklıkları eşit olduğu anda ısı alışverişi durur ve bu duruma ısıl denge denir.
- Isıl denge halinde: $\mathrm{Q}_1 = \mathrm{Q}_2$

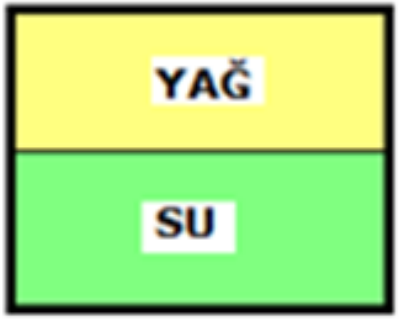
$$Q_1 = m_1 C_1 \Delta T_1$$

$$Q_2 = m_2 C_2 \Delta T_2$$

2.2. SAF MADDE

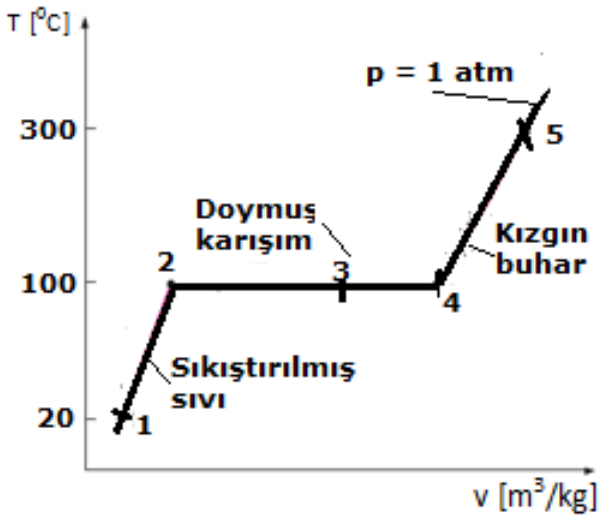
- Bileşimi bakımından homojen olan ve kimyasal yapısı değişmeyen maddeye **saf madde** denir.
- Saf maddenin sadece tek bir kimyasal element veya bileşimden oluşması gerekmez.
  - Örneğin, hava değişik gazlardan oluşan bir karışımdır; kimyasal bileşimi her noktada aynı ve değişmez olduğu için saf maddedir.
  - Benzer şekilde sıvı, buhar ve katı (buz) halinde bulunan ve bunların bir karışımını içeren su kütlesi bir saf madde oluşturur.

- Sıvı su ve buz karışımı saf bir maddedir.
  - Çünkü her iki fazın da kimyasal bileşimi aynıdır ve homojen dağılıma sahiptir.
- Su ve yağ karışımı saf bir madde sayılamaz.
  - Çünkü böyle bir karışımda, yağ suda çözülmeyip üstte toplandığından, kimyasal olarak birbirine benzemeyen ve homojenlik özelliği göstermeyen iki bölge meydana gelir.

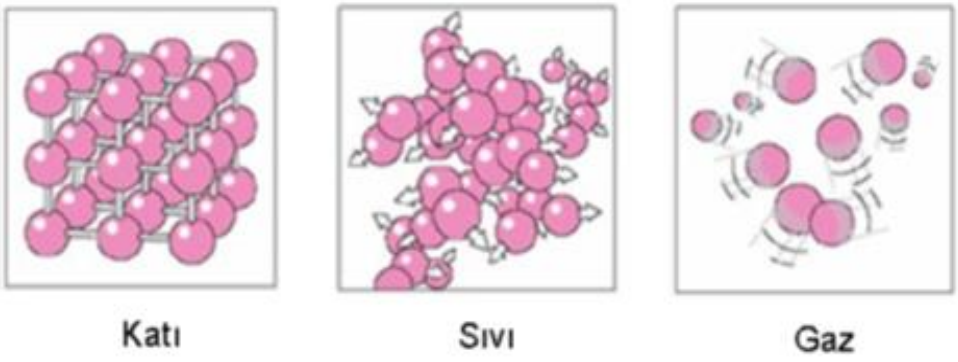


Su-yağ karışımı
(Saf madde değil)

- Sıvı 1 halinde ısıtılırsa sıcaklığı artar, hacmi genişler. 2 halinde sıvı buharlaşmaya başlar, sıcaklık değişmez. 3 halinde sistem buhar ve sıvı karışımıdır.
- 4 noktasında buharlaşma tamamlanır ve bundan sonra ısıtma ile buhar sıcaklığı artarak 5 noktasında kızgın buhar oluşur.

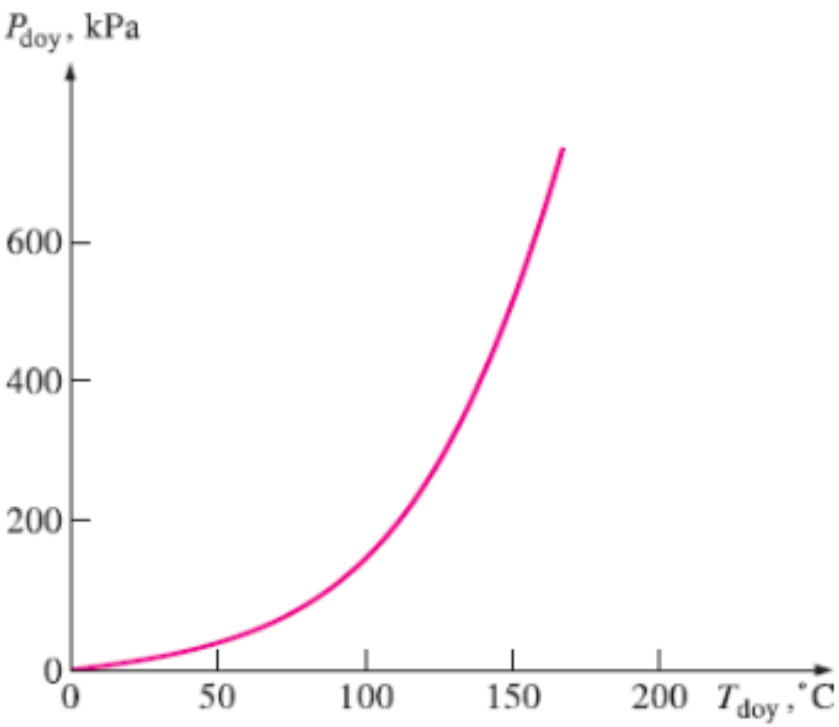


Sabit basınçta suyun ısıtılması/Tv -diyagramı



Saf maddenin fazları

- **Doyma sıcaklığı** (T_d): Belirli bir basınçta saf maddenin faz değişimlerine başladığı sıcaklıktır.
- **Doyma basıncı** (P_d): Belirli bir sıcaklıkta, saf maddenin faz değişimlerine başladığı basınçtır.



Saf madde sıvı-buhar doyma eğrisi

Her sıcaklık değerine bir basınç değeri, aynı şekilde her basınç değerine de bir sıcaklık değeri karşılık gelir.

Tablo 2.3. Suyun sıcaklığa bağlı kaynama basıncı

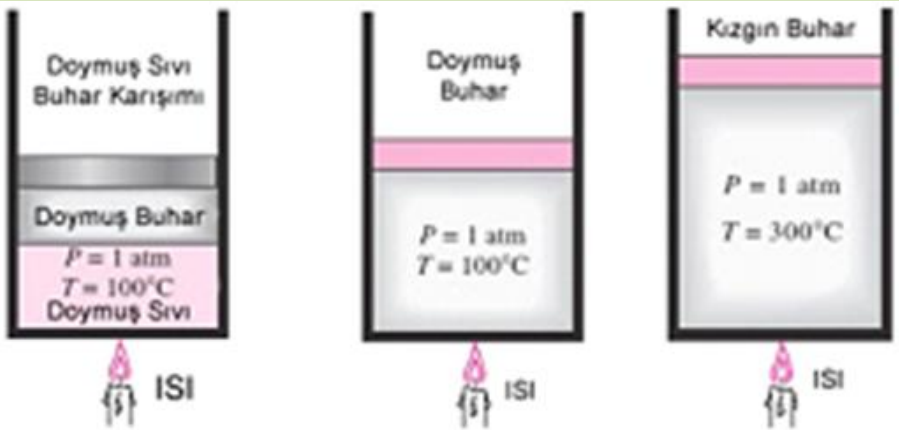
Sıcaklık T [^{0}C]	Doyma basıncı P_d [kPa]
-10	0,26
-5	0,40
0	0,61
5	0,87
10	1,23
15	1,71
20	2,34
25	3,17
30	4,25
40	7,39
50	12,35
100	101,4
150	476,2
200	1555
250	3976
300	8588

- **Gizli ısı:** Faz değişimi süreci boyunca alınan veya verilen enerjinin miktarı.
- **Gizli füzyon/erime ısısı:** Erime süresince emilen enerjinin miktarına denir ve donma süresince ortama verilen enerjiye eşittir.
- **Gizli buharlaşma ısısı:** Buharlaşma süresince çekilen enerjiye gizli buharlaşma ısısı denir ve yoğunlaşma sırasında açığa çıkan enerjiye eşittir.
- Gizli ısının büyüklüğü faz değişimlerinin oluştuğu sıcaklığa veya basınca bağlıdır.
- 1 atm basınçta suyun gizli/füzyon ısısı 333,7 kJ/kg ve gizli buharlaşmanın ısısı 2256,5 kJ/kg'dır.

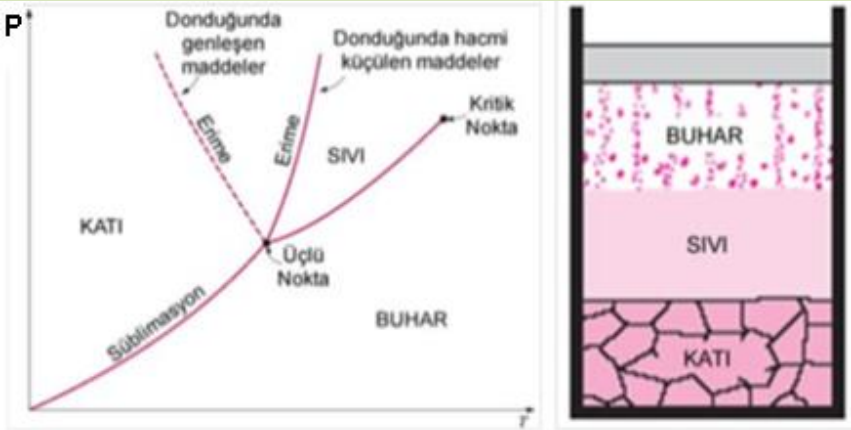
Tablo 2.4. Basınç ve sıcaklığın yükseklikle değişimi

Yükseklik [m]	Atmosfer basıncı [kPa]	Kaynama sıcaklığı [^{0}C]
0	101.33	100.0
1000	89.55	96.5
2000	79.50	93.3
5000	54.05	83.3
10000	26.50	66.3
20000	5.53	34.7

Atmosfer basıncı ve dolayısıyla suyun kaynama sıcaklığı yükseklikle azalır.

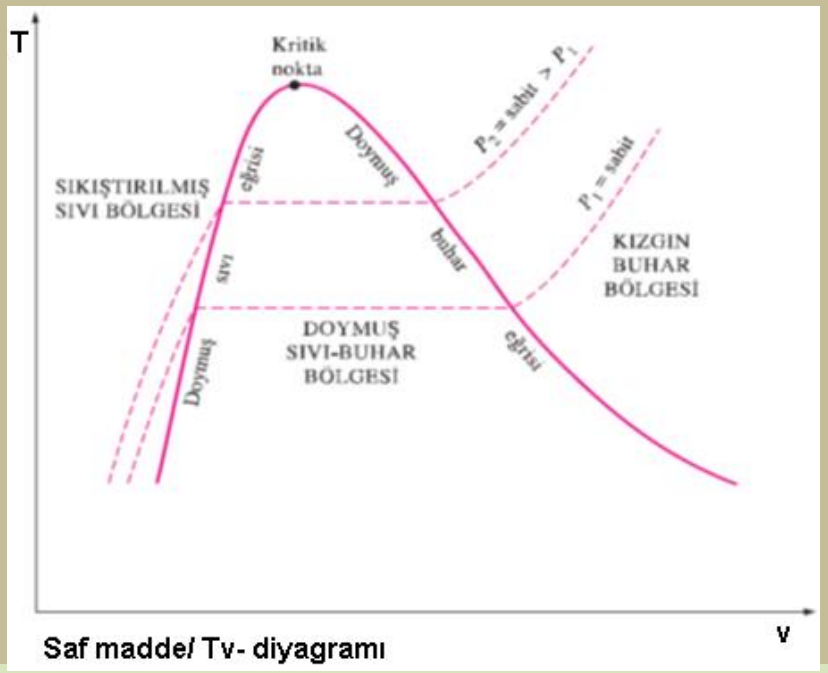


Suyun hal değişimi

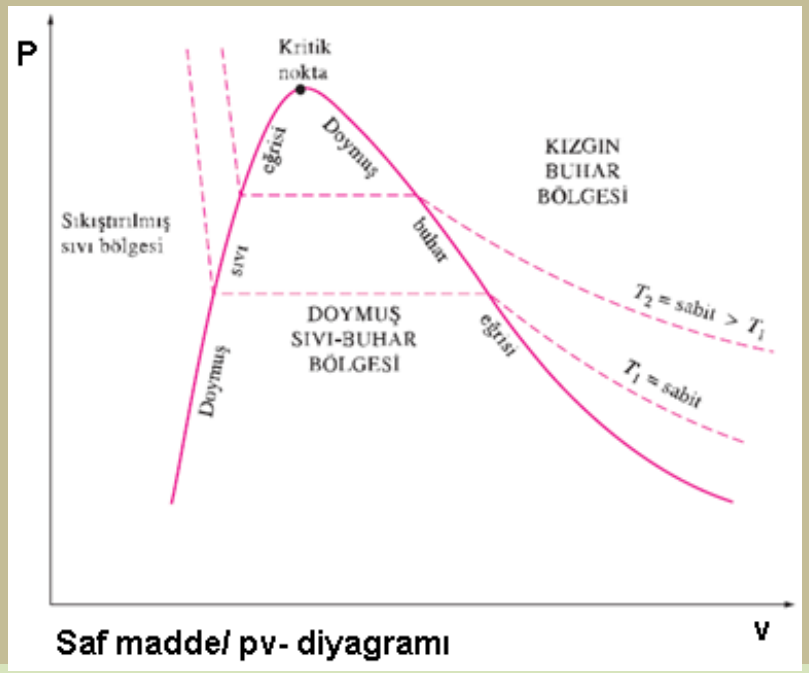


Saf madde/ PT-diyagramı ve üçlü nokta

- Bir madde üçlü nokta basınç ve sıcaklığında üç fazı dengededir.
- Buharlaşma sırasında maddenin bir kısmı sıvı fazında, diğer bir kısmı da buhar fazında; madde, doymuş sıvı ile doymuş buharın bir karışımıdır.
- Bu karışımın özeliklerinin belirlenmesi için sıvı ve buhar fazlarının karışım oranlarından yararlanılır.



Saf madde/ Tv- diyagramı



Saf madde/ pv- diyagramı

Kuruluk derecesi (x): Buhar kütlesinin toplam kütleye oranıdır.

$$x = \frac{m_b}{m}$$

$$m = m_{sıvı} + m_{buhar} = m_s + m_b$$

- Doymuş sıvı-buhar karışımının hacmi:

$$V = V_s + V_b$$

$$V = mv \rightarrow mv_{ort} = m_s v_s + m_b v_b$$

$$m_s = m - m_b \rightarrow mv_{ort} = (m - m_b)\, v_s + x\, v_b$$

- Son bağıntı m ile bölünürse ve $x = m_b/m$ olduğundan, özgül hacim

$$v_{ort} = (1 - x)v_s + xv_b$$

elde edilir.

Tablo 1.5. Bazı maddelerin üçlü nokta sıcaklık ve basınç değerleri

Madde	Formül	$T_{ÜN}$ [K]	$P_{ÜN}$ [kPa]
Amonyak	NH_3	195,40	6,076
Argon	A	83,81	68,9
Asetilen	C_2H_2	182,4	120
Azot	N_2	63,18	12,6
Azotoksit	N_2O	182,34	87,85
Civa	Hg	234,2	$1,65 \times 10^{-7}$
Çinlo	Zn	692,65	0,065
Helyum	He	2,19	5,1
Hidojen	H_2	13,84	7,04
Hidojen klorür	HCl	158,96	13,9
Karbon	C	3900	10100
Karbondioksit	CO_2	216,55	517
Karbonmonoksit	CO	68,10	15,37
Kükürtdioksit	SO_2	197,69	1,67
Metan	CH_4	90,68	11,7
Neon	Ne	24,57	43,2
Nitritoksit	NO	109,50	21,92
Oksijen	O_2	54,36	0,152
Platin	Pt	2045	$2,0 \times 10^{-4}$
Su	H_2O	273,16	0,61
Titanyum	Ti	1941	$5,3 \times 10^{-3}$

2h:20.02.2020