

### 3. TERMODİNAMİK KANUNLAR

[\(Ref. e makaleleri\)](#)

#### Termodinamiğin Birinci Kanunu

Termodinamiğin Birinci Kanununa göre, enerji yoktan var edilemez ve varolan enerji yok olmaz, ancak şekil değiştirebilir. Kanun kararlı koşullar altında çalışan bir buhar kazanı, türbin veya benzeri bir sisteme uygulandığında, sisteme giren ve çıkan enerjiler eşittir. Bu enerji buhar veya mekanik iş olabilir. 1 lb akışkan için,

$$q + h_1 = W + h_2 \quad (2)$$

eşitliği yazılır.  $q$  = ısı,  $W$  = alınan iş,  $h_1$  = giren akışkanın entalpisi,  $h_2$  = çıkan akışkanın entalpisidir. Isı çıktığı veya iş yapıldığı durumda, değer işareti (-) dir.

#### ÖRNEK

Bir buhar kazanına  $93.3^\circ\text{C}$  da su verilmekte ve  $300^\circ\text{C}$  sıcaklıkta ve 30 atm basınçlı buhar alınmaktadır. Bir kg buhar için ilave edilen ısı ( $q$ ) ne kadardır?

#### Çözüm:

Kazana akan su buharlaşır ve kızgın hale geçer, fakat mekanik bir iş yapılmaz;

$$W = 0 \text{ dir.}$$

$$q = h_2 - h_1 \quad (3)$$

$$T = 90^\circ\text{C} \quad h_f = 376.9 \text{ kJ/kg} \quad (\text{tablo-1})$$

$$T = 100^\circ\text{C} \quad h_f = 419.0 \text{ kJ/kg} \quad (\text{tablo-1})$$

$$T = 93.3^\circ\text{C} \quad h_f = 390.8 \text{ kJ/kg} \quad (\text{hesapla})$$

$$p = 30 \text{ atm} = 30 \times 101.319 \text{ kPa} = 3.0 \text{ MPa}$$

$$T_2 = 300^\circ\text{C} \quad p = 3.0 \text{ MPa} \quad h_2 = 2993.5 \quad (\text{tablo-3})$$

$$q = h_2 - h_f = 2993 - 390.8 = 2602.2 \text{ kJ/kg}$$

## ÖRNEK

Bir buhar kazanına 200 °F (93.3 °C) da su girmekte ve 100 psia %97 lik buhar alınmaktadır. Bir pound buhar için ve bir kg buhar için, verilen ısı (q) miktarını,

a. US (ingiliz) sistemi ve b. SI sistemi birimleriyle hesaplayınız.

### Çözüm:

Buharın entalpisi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$h_2 = h_f + X h_{fg}$$

a. 1 lb buhar için verilen ısıyı, US sistemi buhar tablolarından hesaplayabiliriz.

$T_1 = 200$  °F daki doygun sıvı,

$$h_f = 168.07 \text{ Btu/lb} \quad (\text{tablo-4})$$

$p = 100$  psia değerindeki,

$$h_f = 298.61 \quad h_g = 1187.8 \quad h_{fg} = 889.2 \quad (\text{tablo-5})$$

%97 lik buhar alındığına göre,

$$h_2 = h_f + X h_{fg} = 298.61 + 0.97 \times 889.2 = 1161.1 \text{ Btu/lb}$$

$$q = h_2 - h_1 = 1161.1 - 168.07 = 993 \text{ Btu/lb}$$

1 lb buhar için: 993 Btu enerji gerekir.

1 Btu/lb<sub>m</sub> = 2326 J/kg (dönüşüm tablosundan)

$$q = 993 \times 2326 = 2309718 \text{ J/kg} = 2310.2 \text{ kJ/kg}$$

1 kg buhar için: 2310.2 kJ enerji gerekir.

b. 1 kg buhar için verilen ısıyı, metrik sistem buhar tablolarından yararlanarak da hesaplayabiliriz.

Tablodan,

$T_1 = 93.3$  °C daki doygun sıvı ( $h_f$ ) değeri hesaplanır.

Sıcaklık, T °C	$h_f$ , kJ/kg	
90	376.9	tablo-1
100	419.0	tablo-1
93.3	390.8	hesapla

Tablodan  $p = 100 \text{ psia} = 100 \times 6894.8 \text{ Pa} = 0.7 \text{ MPa}$  daki  $h_f$  ve  $h_g$  değerleri hesaplanır.

Basınç, Mpa	$h_f$ , kJ/kg	$h_g$ , kJ/kg	$h_{fg}$ , kJ/kg	
0.6	670.6	2756.8	2086.2	tablo-2
0.8	721.1	2769.1	2048.0	tablo-2
0.7	695.9	2763	2067.1	hesapla

$$h_2 = h_f + X h_{fg} = 695.9 + 0.97 \times 2067.1 = 2701 \text{ kJ/kg}$$

$$q = h_2 - h_1$$

$$q = 2701 - 390.8 = 2310.2 \text{ kJ/kg}$$

1 kg buhar için: 2310.2 kJ enerji gerekir.

### **Buharın Türbinler ve Motorlarda Genişlemesi ve Termodinamiğin Birinci Kanunu**

Bir motor veya türbinden geçen buharın davranışı bir Molier diyagramıyla gösterilebilir. Şekil-6(c)'deki diyagramda, Türbine verilen buhar a noktasıyla tanımlanmıştır. a nın diyagramdaki yeri, buhar kızgınsa sıcaklık ve basınç hatlarının kesiştiği nokta, ıslaksa basınç ve kalitesini gösteren hatların kesiştiği noktadır. Şekil-6(b)'de a noktasının bulunduğu konum buharın kızgın (aşırı ısınmış) olduğunu gösterir.

Bir türbin veya motor silindirinden akan ısı oldukça küçüktür ve ihmal edilebilir. Bu durumda Denklem(2) aşağıdaki gibi yazılır.

$$W = h_1 - h_2 \quad (4)$$

### **ÖRNEK**

Bir türbine giren buhar 1500 psia basınç ve 850 °F sıcaklıktadır ve 2 inç mutlak cıva (= 0.98.22 psia  $\cong$  1 psia) basıncına genişlemektedir. Genişlemenin isentropik olduğu varsayıldığına göre buharın hızı ne kadardır (lb/kW.sa)? (İsentropik genişleme adyabatiktir, yol boyunca sıcaklık değişmez, geçen yolun kesit alanı değişir.)

**Çözüm:**

$p = 1500$  psia ve  $T = 850$  °F da, tablodan,

$$h_1 = 1396 \text{ Btu/lb}$$

Çıkan buharın entalpisi ( $h_2$ ) Mollier diyagramından çıkış basıncı hattından (entropi sabit) okunur,

$$h_2 = 859 \text{ Btu/lb}$$

$$W = h_1 - h_2 = 1396 - 859 = 537 \text{ Btu/lb.}$$

Herbir pound buhar 537 Btu iş yapmaktadır.

1 kilowatt = 3413 Btu/sa olduğuna göre, buharın hızı,

$$537/3413 = 0.1573 \text{ kWsa/lb}$$

$h_2$  değeri bu örnekte olduğu gibi Mollier diyagramından okunabildiği gibi, buhar tabloları verilerinden de hesaplanabilir.

**Türbin ve Motorda Sürtünmenin Etkisi**

Türbin veya motorlarda buharın genişlemesi gerçekten ideal isentropik olmaz. Gerçek genişleme Şekil-6c deki a-c yoluna çok yakın bir yol izler ve ideal bir genişlemeye kıyasla daha az iş yapar; burada "motor verimi" faktörü ortaya çıkar.

$$\text{motor verimi} = \frac{\text{alınan (gerçek) iş/lb buhar}}{\text{alınması gereken (ideal) iş/lb buhar}}$$

Yukarıdaki örnekte motor verimi % 75 ise,

$$\text{gerçek iş: } 0.75 \times 506.8 = 380.1 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{buhar hızı: } 3413/380.1 = 8.98 \text{ lb/kWsa}$$

**Basıncı Azaltma (Trotil) İşlemi ve Termodinamiğin Birinci Kanunu**

Akımın basıncının bir orifis veya trotil vanasıyla azaltıldığı (veya kısıldığı) proseslerde ısı kaybı çok azdır ve ihmal edilebilir; bu durumda dışarı iş yapılmaz. Basıncı azaltılan buharın enerjisi değişmez ve enerji eşitliği,

$$h_1 = h_2 \quad (5)$$

Orta basınçlardaki ıslak buhar atmosfer basıncı dolayına düşürüldüğünde, çok fazla ıslak değilse, kızgın buhar haline dönüşür. Bu durum Mollier diyagramında, buharın başlangıçtaki özelliğini tanımlayan noktadan (a), çıkış basınç hattına yatay bir hat (ad, sabit entalpi) çizilerek gösterilir. Kızgın buharın entalpisi tablolardan veya grafiklerden bulunabilir, kalitesi ya diyagramdan okunur veya hesaplanabilir.

### ÖRNEK

Buhar 100 psia'dan 20'psia ve 250 °F'a getirilmektedir; başlangıçtaki kalitesi nedir?

#### Çözüm:

Kızgın buhar tablolarından (veya Mollier diyagramından) 20 psia ve 250 °F da buharın entalpisi bulunur;

$$20 \text{ psia ve } 240 \text{ }^{\circ}\text{F da: } h_2 = 1162 \text{ Btu/lb} \quad (\text{tablo-6})$$

$$20 \text{ psia ve } 280 \text{ }^{\circ}\text{F da: } h_2 = 1182 \text{ Btu/lb} \quad (\text{tablo-6})$$

$$20 \text{ psia ve } 250 \text{ }^{\circ}\text{F da: } h_2 = 1167 \text{ Btu/lb (hesapla)}$$

100 psia da,

$$h_f = 298.61, \quad h_g = 1187.8 \quad h_{fg} = 889.2 \text{ Btu/lb} \quad (\text{tablo-5})$$

$$h_1 = h_f + X h_{fg} \quad h_1 = h_2 \text{ olduğundan,}$$

$$1167 = 298.61 + X.889.2 \quad X = (1167 - 298.61) / 889.2 = 0.986$$

100 psia buharın kalitesi % 98.6 dır.

Buhar basıncının azaltılmasının etkisi Şekil-6c de görülmektedir. a noktasındaki buhar b noktasına kadar isentropik olarak genişletilebilir; veya önce basıncı azaltılarak entalpide d noktasına, sonra genişletilerek e noktasına getirilir. Diyagramda görüldüğü gibi, ikinci halde buhardan alınan iş daha azdır. Bu nedenle büyük türbinlerde trotil vanalar kullanılmaz.

### Termodinamiğin İkinci Kanunu

Termodinamiğin İkinci Kanunu bilimin temel ilkelerinden biridir ve enerjinin tüm doğal işlemlerde, az bir kısmı işe dönüşen, çeşitli şekillere girdiği kavramını kabul eder (bak: Entropi ve Serbest Enerji). Bir ısı kaynağı için, iki farklı sıcaklığın oranı

(Kelvin skalasında), tersinir bir Carnot çevrimiyle yapılan işde absorblanan ve verilen ısılardan oranına eşittir.

$$\frac{q_2}{-q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Bu ideal koşullarda ısının işe dönüşmesindeki teorik veya maksimum verim ( $\eta$ ), uygulanan çalışma ortamına bağlı değildir ve aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_1} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (6)$$

Bu eşitlik termodinamiğin İkinci Kanunu olarak bilinir. Eşitliğe göre başlangıç sıcaklığı  $T_1$  in artırılması veya çıkış sıcaklığı  $T_2$  nin azaltılmasıyla teorik verim artar. Örneğin soğutma suyu  $70^\circ\text{F}$  da ( $70 + 460 = 530 \text{ R}$ ) ve ısı kaynağı  $700^\circ\text{F}$  da ( $700 + 460 = 1160 \text{ R}$ ) ise, maksimum verim,

$$\eta = 1 - \frac{530}{1160} = 0.543 \text{ tür.}$$