

**T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

**UÇAK BAKIM**

**TERMODİNAMİK HESAPLAMALAR  
440FB0006**

**Ankara, 2012**

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

# İÇİNDEKİLER

|  |     |
|--|-----|
| AÇIKLAMALAR .....                                  | iii |
| GİRİŞ .....  | 1   |
| ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....                          | 3   |
| 1. TERMODİNAMİK .....                              | 3   |
| 1.1. Sıcaklık ve Termometreler (°C,°F,°K,°R).....  | 4   |
| 1.2. Isı ve Özgül Isı .....                        | 5   |
| 1.3. Hacim ve Özgül Hacim.....                     | 5   |
| 1.4. Ağırlık ve Özgül Ağırlık .....                | 6   |
| 1.5. Basınç ve Mutlak Basınç.....                  | 6   |
| 1.6. Isı Transferi.....                            | 8   |
| 1.6.1. Kondüksiyon (Isı İletimi) .....             | 8   |
| 1.6.2. Konveksiyon (Isı Taşınımı) .....            | 9   |
| 1.6.3. Radyasyon (Isı Işınımı).....                | 10  |
| UYGULAMA FAALİYETİ .....                           | 11  |
| ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....                       | 13  |
| ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....                          | 15  |
| 2. TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ VE İKİNCİ KANUNLARI..... | 15  |
| 2.1. Termodinamiğin Birinci Kanunu .....           | 15  |
| 2.2. Termodinamiğin İkinci Kanunu.....             | 16  |
| UYGULAMA FAALİYETİ .....                           | 20  |
| ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....                       | 22  |
| ÖĞRENME FAALİYETİ-3 .....                          | 24  |
| 3. İDEAL GAZ VE İDEAL GAZ .....                    | 24  |
| 3.1. Gazların Durum Değişiklikleri.....            | 26  |
| 3.1.1. Sabit Hacim (İzohor) .....                  | 26  |
| 3.1.2. Sabit Basınç (İzobar) .....                 | 27  |
| 3.1.3. Sabit Sıcaklık (İzoterm).....               | 28  |
| 3.1.4. İzoentropik.....                            | 28  |
| 3.1.5. Politropik .....                            | 29  |
| 3.2. Motor Çevrimleri .....                        | 30  |
| 3.2.1. Otto (Sabit Hacim) Çevrimi.....             | 30  |
| 3.2.2. Dizel (Sabit Basınç) Çevrimi.....           | 33  |
| 3.2.3. Karma Çevrim .....                          | 35  |
| 3.3. Brayton Çevrimi.....                          | 36  |
| UYGULAMA FAALİYETİ .....                           | 39  |
| ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....                       | 41  |
| ÖĞRENME FAALİYETİ-4 .....                          | 43  |
| 4. SOĞUTUCULAR VE ISI POMPALARI.....               | 43  |
| 4.1. Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimi .....    | 44  |
| UYGULAMA FAALİYETİ .....                           | 47  |
| ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....                       | 49  |
| ÖĞRENME FAALİYETİ-5 .....                          | 51  |
| 5. BUHARLAŞMA .....                                | 51  |
| 5.1. Buharlaşma Isısı .....                        | 53  |
| 5.2. Buharlaşma Sürecinde İç Enerji Değişimi ..... | 54  |

---

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 5.3. Yanma Isısı .....       | 54 |
| UYGULAMA FAALİYETİ .....     | 56 |
| ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ..... | 58 |
| MODÜL DEĞERLENDİRME .....    | 60 |
| CEVAP ANAHTARLARI .....      | 62 |
| KAYNAKÇA .....               | 64 |

# AÇIKLAMALAR

|  |   |
|--|---|
| <b>KOD</b>                                     | <b>440FB0006</b>  |
| <b>ALAN</b>                                    | <b>Uçak Bakım</b>   |
| <b>DAL/MESLEK</b>                              | <b>Uçak Gövde-Motor</b>   |
| <b>MODÜLÜN ADI</b>                             | <b>Termodinamik Hesaplamalar</b>  |
| <b>MODÜLÜN TANIMI</b>                          | Uçak bakım alanında termodinamik birimler, termodinamiğin 1 ve 2. kanunu, ideal gaz kanunları, soğutucular, ısı pompaları ve buharlaşma ile ilgili hesaplamaların kazandırıldığı bir öğrenme materyalidir.  |
| <b>SÜRE</b>                                    | 40/24   |
| <b>ÖN KOŞUL</b>                                | Bu modülün ön koşulu yoktur.  |
| <b>YETERLİK</b>                                | Termodinamik hesaplamaları yapmak   |
| <b>MODÜLÜN AMACI</b>                           | <b>Genel Amaç</b><br>Gerekli ortam sağlandığında tekniğine uygun termodinamik hesaplamaları hatasız olarak yapabileceksiniz.<br><b>Amaçlar</b><br><ol style="list-style-type: none"><li>1. Termodinamik birimler arasındaki hesaplamaları tekniğine uygun hatasız olarak yapabileceksiniz.</li><li>2. Termodinamiğin I ve II. kanunu ile ilgili hesaplamaları tekniğine uygun hatasız olarak yapabileceksiniz.</li><li>3. İdeal gaz kanunları ile ilgili hesaplamaları tekniğine uygun hatasız olarak yapabileceksiniz.</li><li>4. Soğutucular ve ısı pompaları ile ilgili hesaplamaları tekniğine uygun hatasız olarak yapabileceksiniz.</li><li>5. Buharlaşma ile ilgili hesaplamaları tekniğine uygun hatasız olarak yapabileceksiniz.</li></ol> |
| <b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b> | <b>Ortam:</b> Sınıf, atölye, işletme, kütüphane, internet ortamı, ev, vb. öğrencinin kendi kendine veya grupta çalışabileceği tüm ortamlar<br><b>Donanım:</b> Projeksiyon, tepegöz, bilgisayar, okul kütüphanesi vb.  |
| <b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>                  | Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.  |



# GİRİŞ

## Sevgili Öğrenci,

Güç üreten makinelerin çoğu termodinamik işlemlere dayanır. Termodinamik hesaplamalar, üretilecek olan makineler için ideal bir model oluşturma imkânı verir. Bu modeller ile alınan sonuçlar gerçek makineler için uygulanır. Bu nedenle uçak motorlarının incelenmesi termodinamiğin önemli bir uygulama alanını oluşturur.

Termodinamik çoğunlukla dikkatli bir öğrencinin anlamakta güçlük çekmeyeceği, kolay bir derstir. Termodinamik ile ilgili ilke ve kavramlar hemen hemen her gün karşılaştığımız olgulardır. Bu modülde işlenen konularla günlük yaşantılarımız arasında bağ kurmak konuyu anlamamızı kolaylaştıracaktır.





# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

Bu faaliyetin sonunda uygun ortam sağlandığında termodinamik birimler arasındaki hesaplamaları tekniğine uygun, hatasız olarak yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

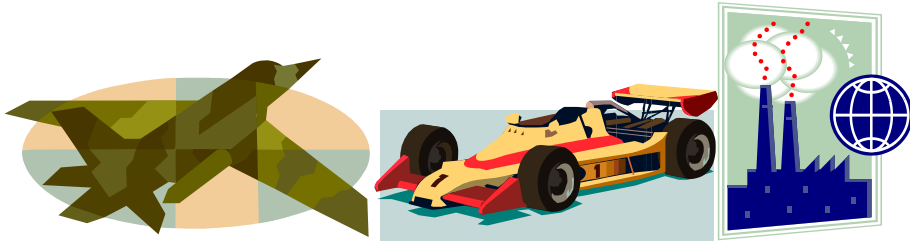
- Sıcaklık, ısı, basınç, hacim, ağırlık terimleri hakkında bilgi toplayınız.
- Denizde derinlere doğru dalan bir yüzücüye etki eden basınç artar. Nedenlerini araştırınız.
- Araştırma konusunda sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığınız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınızla paylaşınız.

## 1. TERMODİNAMİK

Termodinamik sözcüğü Latince therme (ısı) ve dynamics (güç) sözcüklerinden türemiştir. Eski zamanlardan günümüze kadar gelen ıyı işe dönüştürme çabalarının uygun bir tanımlaması olmaktadır.

Termodinamik, enerji bilimi olarak tanımlanır. Enerji de değişikliklere yol açan etken olarak düşünülmektedir. Doğanın en temel yasalarından biri enerjinin korunumu ilkesidir. Bu ilke enerjinin bir biçimden başka bir biçime dönüşebileceğini fakat toplam miktarının sabit kalacağını belirtir. Başka bir deyişle, enerji yaratılmaz veya yok edilemez. Örneğin, insan üzerinde enerji girişi (gıda) enerji çıkışından (hareket) fazla ise kişi kilo alacaktır. Enerji çıkışı enerji girişinden daha fazla olan kişi ise kilo kaybedecektir.

Termodinamiğin uygulama alanları çoğu yerde karşımıza çıkmaktadır. Hatta bu alanlar yaşamımızın içerisinde. Evimizde kullandığımız elektrikli fırın, düdüklü tencere, su ısıtıcısı ve buzdolabı gibi birçok eşyada termodinamik esaslarını görmek mümkündür. Termodinamik otomobil motorlarının, uçak motorlarının, termik veya nükleer güç santrallerinin tasarımında önemli bir rol oynamaktadır.



Resim 1.1: Termodinamiğin uygulama alanları

## 1.1. Sıcaklık ve Termometreler (°C,°F,°K,°R)

Sıcaklık günlük hayatımızda sıkça kullandığımız bir terimdir. Sıcaklık tanım olarak bir maddenin yapısındaki molekül veya atomların ortalama kinetik enerjilerinin ölçüm değeridir. Sıcaklık t veya T ile gösterilir. Termometre kullanılarak ölçülür. Termometre çeşitleri şunlardır: Celsius (°C), Fahrenheit (°F), Kelvin (°K), Reaumur (°R).

Termometre, Latincece thermos (kütle) ve metron (ölçü) anlamına gelmektedir. Termometreler, değişen sıcaklık karşısında sıvıların hacim değiştirmesi mantığına dayalı olarak çalışır. En fazla kullanılan termometreler cıvalı termometrelerdir. Sıcaklığın çok düşük olduğu yerlerde ise donma sıcaklığı daha düşük olan alkollü termometreler kullanılır.

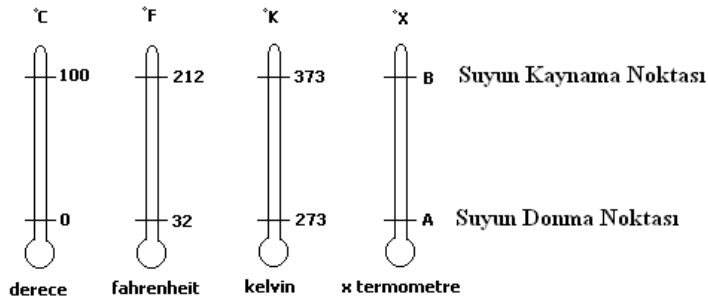


Resim 1.2: Termometre

Normal atmosfer basıncında (760 mm cıva basıncı) bu iki nokta arasındaki mesafe Celsius termometresinde 100 eşit parçaya bölünür. Bunların her biri bir Centigrad'ı (1°C) gösterir.

Fahrenheit ölçüsünde iki nokta arasındaki mesafe 180 eşit parçaya bölünür. Bunların her biri Fahrenheit'i (1°F) gösterir. Bu ölçümde suyun donma ve kaynama noktası sırayla 32°F ve 212°F olarak belirlenir.

Reaumur ölçümünde ise bu noktalar 0 °R ve 80 °R olarak isimlendirilir ve iki nokta arası 80 parçaya bölünür. Cıva -39 °C'de donduğu için çok düşük sıcaklıkların ölçümü için uygun değildir. Bu nedenle donma noktası düşük olan renkli alkolle doldurulmuştur. Ulaşılabilecek en düşük sıcaklık mutlak sıfır olup -273,16 °C'dir. Mutlak sıfırdan başlayan bir ölçü de Kelvin'dir yani -273,16 °C = 0 °K' dir.



Şekil 1.1: Sıcaklık ölçekleri

Bu termometreler arasındaki bağıntılar şunlardır:

- Celsius ile Kelvin arasındaki bağıntı:  $^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273$
- Celsius ile Fahrenheit arasındaki bağıntı:  $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$  veya  $^{\circ}\text{F} = 1,8(^{\circ}\text{C} + 32)$

## 1.2. Isı ve Özgül Isı

Bir maddenin sıcaklığını değiştirmek için gerekli ısı maddenin miktarına, cinsine ve sıcaklık farklarına bağlıdır.

- **Isı:** Maddeleri oluşturan molekül ve atomların, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına ısı denir. Isı Q ile gösterilir. Isı bir enerji şeklidir. Isı birimi kalori (Cal) veya joule (J) dir.

$$1 \text{ Cal} = 4,18 \text{ J} \quad \text{veya} \quad 1 \text{ J} = 0,24 \text{ Cal} \quad 1 \text{ kCal} = 1000 \text{ Cal}$$

- **Özgül ısı:** Genel olarak 1 gram maddenin sıcaklığını  $1^{\circ}\text{C}$  ya da SI birim sistemine göre 1 kg maddenin sıcaklığını  $1^{\circ}\text{K}$  artırmak için gerekli olan ısı enerjisi miktarıdır. Maddeden maddeye değişen bir özellik olduğu için ayırt edici bir özelliktir. Özgül ısı “ c ” ile gösterilir.

Kapalı sisteme verilen veya sistemden çekilen ısı;  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$  formülü ile hesaplanır. Açık sistemlerde ise kütle yerine kütleli debi kullanılır. Dolayısıyla formülde kütle yerine

kütleli debi kullanılır.  $\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$

Burada;

$$Q = \text{Isı (kj)},$$

$$\dot{Q} = \text{Birim zamanda geçen ısı (kj/sn.)},$$

$$m = \text{Kütle (kg)},$$

$$\dot{m} = \text{Kütleli debi (kg/sn.)},$$

$$c = \text{Özgül ısı (kj/kg}^{\circ}\text{K)},$$

$$\Delta T = \text{Sıcaklık farkı (}^{\circ}\text{K) demektir.}$$

## 1.3. Hacim ve Özgül Hacim

Hacim, bir maddenin uzayda kapladığı yerdir. Hacim sıcaklık ve basınçla değişir. Yaygın bir özelliktir. Birimi  $\text{m}^3$  veya litredir. Bir maddenin birim kütesinin hacmi ise özgül hacim olarak adlandırılır. Özgül hacim v ile gösterilir ve birimi  $\text{m}^3/\text{kg}$ 'dır. Formülü;

$$v = \frac{V}{m} \text{ 'dir. Burada;}$$

$$V = \text{Hacim (m}^3\text{)}$$

$$m = \text{Kütle (kg) dir.}$$

## 1.4. Ağırlık ve Özgül Ağırlık

Herhangi bir kütleye etkiyen yer çekimi kuvvetine ağırlık denir. Birimi Newton'dur. "G" ile gösterilir. Formülü;

$G = m \cdot g$  dir. Burada;  
m= Kütle (kg),  
g= Yer çekimi ivmesi ( $m/sn^2$ ) dir. Yer çekimi kuvveti deniz seviyesinde  $9,807 m/sn^2$  dir.

Ağırlık, yer çekimi ivmesine bağlı olarak değişir. Newton' un II. Hareket Kanunu'na göre bir kütleye uygulanan kuvvet, ivmesi ile orantılıdır.

$$F = m \cdot a \text{ dir.}$$

F= Uygulanan kuvvet (N),  
m= Kütle (kg),  
a= Kütlenin ivmesi (N/kg) dir.

Yer çekimi ivmesi, yüksekliğe bağlıdır. Örneğin, bir cismin deniz seviyesindeki ağırlığı, bir dağın tepesindeki ağırlığından daha fazladır.

➤ **Özgül ağırlık:** Maddenin birim hacminin ağırlığıdır. Birimi  $N/m^3$  tür. "γ" ile gösterilir. Formülü;

$$\gamma = G / V = \rho \cdot g = g / v \text{ dir.} \quad \text{Burada;}$$

G= Ağırlık (N)  
V= Hacim ( $m^3$ )  
 $\rho$  = Yoğunluk ( $kg/m^3$ )  
g = Yer çekimi ivmesi ( $m/sn^2$ )  
v = Özgül hacim ( $m^3/kg$ ) dir.

## 1.5. Basınç ve Mutlak Basınç

Basınç bir akışkanın birim alana uyguladığı kuvvettir. Birimi Pascal ( $Pa = N/m^2$ ) dir. "P" ile gösterilir. Formülü;

$$P = \frac{F}{A} \text{ dir.} \quad \text{Burada;}$$

F= Kuvvet (N),  
A= Yüzeysel alan ( $m^2$ ) dir.

Yaygın olarak kullanılan diğer basınç birimleri ise;  
1 bar=  $10^5 Pa = 100 kPa$ ,  
1 atm=  $101,325 kPa = 1,033 bar$  dir.

Basınç sadece sıvı ve gaz ortamlarda yani akışkan maddelerde söz konusudur. Katı cisimlerde ise basınç yerine gerilme ifadesi gelir.

Bir noktadaki gerçek basınç mutlak basınç olarak adlandırılır. Mutlak basınç  $P_{mutlak}$  veya  $P$  ile gösterilir. Termodinamikte mutlak basınç değerleri kullanılmaktadır. Bir yerdeki atmosferik (hava) basınç ( $P_{atm}$ ) barometre ile ölçülür.

Aşağıdaki resimde günümüzde yaygın olarak kullanılan bir meteoroloji barometresi görülmektedir.



**Resim 1.3: Barometre**

Gaz ve sıvıların basıncı ise manometreler ile ölçülür. Manometre içerisinde cıva, su, alkol veya yağ gibi sıvılar bulunur. Resim 1.4'te günümüzde yaygın olarak kullanılan bir manometre görülmektedir.



**Resim 1.4: Manometre**

Atmosfer basıncından daha düşük olan basınca vakum ve vakumun ölçülmesinde kullanılan aletlere de vakummetre denilir. Mutlak, gösterge (manometre) ve vakum basınçlarının tümü artı değerlerdir ve aralarındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

$$P_{gösterge} = P_{mutlak} - P_{atm} \quad (P_{atm} \text{ den daha büyük basınçlar için})$$

$$P_{vakum} = P_{atm} - P_{mutlak} \quad (P_{atm} \text{ den daha küçük basınçlar için})$$

## 1.6. Isı Transferi

Isı transferi sıcaklık farkından dolayı iki sistem arasındaki veya bir sistem ile çevresi arasındaki enerji transferini inceler.

Isı transferinde, termodinamik kanunlardan yararlanılıp birim zamanda transfer edilecek ısı miktarını belirleyebilmek için teoriler geliştirilerek eşitlikler türetilir. Isı transferi teorisi doğa kanunları üzerine bazı tanım ve özel kanunlar eklenerek oluşturulur. Isı transferi problemleri analizinde konuya özel üç kanun kullanılır. Bu kanunlar;

- Fourier Isı İletim Yasası,
- Newton Soğuma Kanunu,
- Stefan- Boltzmann Işıma Kanunu'dur.

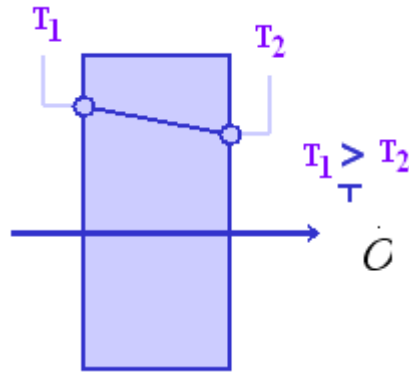
Bu kanunlar problemlerin uygulama alanına göre kullanıldıklarından dolayı özel kanunlardır.

Literatürde üç tür ısı transferi tanımlanır. Bunlar:

- Kondüksiyon (ısı iletimi)
- Konveksiyon (ısı taşınımı)
- Radyasyon (ısı ışınımı)

### 1.6.1. Kondüksiyon (Isı İletimi)

Farklı sıcaklıklarda olan bir yüzey ve hareketli bir akışkan arasında olan ısı transferi süreci taşınım (konveksiyon) terimi ile tanımlanır.



Şekil 1.2: Düzlem duvardan ısı akışı

Isı iletimi aynı katı, sıvı veya gaz ortamındaki farklı bölgeler arasında veya doğrudan fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasındaki moleküllerin doğrudan teması sonucunda oluşan ısı geçişi işlemidir.

Yüzey sıcaklıkları  $T_1$  ve  $T_2$ , kalınlığı  $L$  ve yüzey alanı  $A$  olan Şekil 1.1'deki duvarı düşünelim. Isı akımı formülümüz;

$$\dot{Q} = \lambda.A.\frac{(T_1-T_2)}{L} \text{ olur. Burada;}$$

$\dot{Q}$  = Isı akımı (Watt),

$\lambda$ = Isı iletim kat sayısı (W/mK),

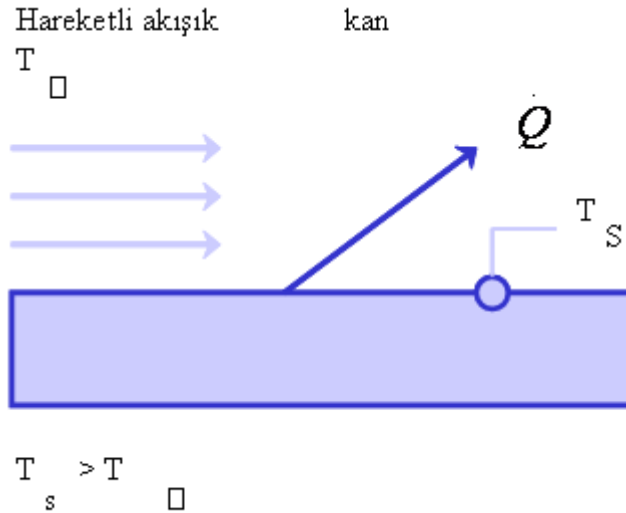
A= Yüzeysel alan (m<sup>2</sup>),

T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub>= Yüzey sıcaklıkları (K)dır.

Burada;  $\lambda$  sabit orantı kat sayısıdır, ısı iletim kat sayısı olarak da adlandırılır. Bu eşitlik Fourier Isı iletim Kanunu adını alır. Bu kanun ilk defa Fransız bilim adamı Joseph Fourier tarafından 1822 yılında önerilmiştir.

### 1.6.2. Konveksiyon (Isı Taşınımı)

Bir yüzey veya bir boru içerisinden akan akışkanın sıcaklığı yüzey sıcaklığından farklı ise akışkan hareketi sonucunda akışkan ile yüzey arasında ısı transferi gerçekleşir. Bu ısı transferine konveksiyon (ısı taşınımı) denir.



Şekil 1.3: Isı taşınımı

Yüzey sıcaklığı T<sub>s</sub> ve yüzey ile temasla bulunan akışkanın sıcaklığı T<sub>∞</sub> arasındaki ısı akımı;

$$\dot{Q} = \alpha.A.(T_s - T_\infty) \text{ ifadesi ile hesaplanır.}$$

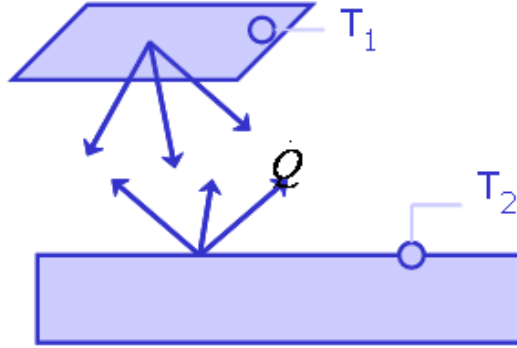
Bu ifade 1701 yılında Newton tarafından önerilmiş olup literatürde Newton Soğutma Kanunu olarak adlandırılır ve konveksiyonun (ısı taşınımının) özel kanunudur.  $\alpha$  ısı transferi kat sayısı olarak adlandırılır. Burada;

$\dot{Q}$  = Isı akımı (Watt),  
A = Yüzeysel alan (m<sup>2</sup>),  
 $\alpha$  = Isı transferi kat sayısı (W/m<sup>2</sup>K),  
T<sub>s</sub> = Yüzey sıcaklığı (K),  
T<sub>∞</sub> = Akışkan sıcaklığı (K)dir.

### 1.6.3. Radyasyon (Isı Işınımı)

Transfer ortamı olmaksızın yani elektromanyetik dalgalar hâlinde meydana gelen ısı transferi mekanizması radyasyon (ısı ışınımı) olarak adlandırılır. Işıma genelde bütün manyetik dalga olayları için kullanılır. Burada söz konusu olan bir cismin sıcaklığından meydana gelen ısı ışınımıdır.

Üzerine düşen bütün enerjii tamamen soğuran ideal cisimlere siyah cisim denir. Siyah cismin birim zamanda ışına ile yayınladığı enerji miktarı;



Şekil 1.4: Isı ışınımı

$\dot{Q} = A \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$  ifadesinden hesaplanır. Bu ifade Stefan-Boltzmann Işıma Kanunu olarak bilinir. Burada;

$\dot{Q}$  = Birim zamanda ışına (Watt),  
A = Yüzey alan (m<sup>2</sup>),  
T = Yüzey sıcaklıkları (K),  
 $\sigma$  = Stefan- Boltzmann sabiti (W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>) dir.

Siyah cisim olarak adlandırılan ideal cisimlerin ısı ışınımı ile birim zamanda yayınladığı enerji miktarı yukarıdaki eşitlikten hesaplanır. Gerçek cisimlerin yayınladıkları enerji aynı sıcaklıktaki ve aynı büyüklükteki siyah cismin yayınladığı enerjiden daha azdır. Gri cisim olarak adlandırılan gerçek cisimlerin ışına ile birim zamanda, birim alanda yayınladıkları enerji,

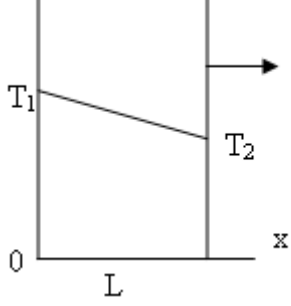
$\dot{Q} = A \cdot \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_1^4 - T_2^4)$  ifadesinden hesaplanır.

Burada;  $\epsilon$  yayınlama kat sayısı olarak adlandırılır. 1 ile 0 arasında değişir. Bütün gerçek cisimler (gri cisimler) için 1'den küçüktür.



## UYGULAMA FAALİYETİ

Termodinamik birimler ile ilgili verilen hesaplama işlemlerini yapınız.

| İşlem Basamakları  | Öneriler  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Suyun kaynama sıcaklığı 100 °C olduğuna göre bu sıcaklığın Kelvin karşılığını hesaplayınız.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li><math>K = ^\circ C + 273,15</math> formülünü kullanabilirsiniz.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Demlikteki 1,3 kg suyun sıcaklığını 30 °C'den 60 °C'ye çıkarmak için gerekli olan ısı miktarını hesaplayınız (Sabit basınçta suyun özgül ısısı <math>c_{psu} = 4,184 \text{ kJ/kgK}</math>).</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sıcaklık değerlerini K dereceye çeviriniz.</li> <li><math>\Delta T = T_2 - T_1</math></li> <li><math>Q = m \cdot c \cdot \Delta T</math> formülünü kullanabilirsiniz.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Ağırlığı 20 kg ve özgül hacmi 0,001 m<sup>3</sup>/kg olan suyun hacmini hesaplayınız.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li><math>v = \frac{V}{m}</math></li> <li>formülünü kullanabilirsiniz.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Bir motorun bir silindirindeki kompresyon basıncı 850 kPa okunmuştur. Okunan bu değer mutlak basınç karşılığı değerini hesaplayınız.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li><math>P_{gösterge} = P_{mutlak} - P_{atm}</math> formülünü kullanabilirsiniz.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Kalınlığı 0,01m, yüzey alanı <math>A = 0,3 \text{ m}^2</math> ve ısı iletim kat sayısı 110 W/mK olan bir çinko levhanın yüzey sıcaklıkları sırasıyla <math>T_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}</math> ve <math>T_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}</math>'dir. Bu levhadan geçen ısı akımını hesaplayınız.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\dot{Q} = \lambda \cdot A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{L}</math> formülünü kullanabilirsiniz.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Sıcaklığı 120 °C olan sıcak hava, 2 m<sup>2</sup>lik bir plaka üzerinden kaymaktadır. Plakanın yüzey sıcaklığı 40 °C'dir. Plaka ile hava arasındaki ısı transfer kat sayısı 40 W/m<sup>2</sup>K ise ısı akımını hesaplayınız.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)</math> formülünü kullanabilirsiniz.</li> </ul>   |

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

| Değerlendirme Ölçütleri |   | Evet | Hayır |
|-------------------------|---|------|-------|
| 1                       | Sıcaklık ve termometrelerle ilgili birim hesaplamalarını yapıp sonucunu $K= 373,15$ olarak hesaplayabildiniz mi?              |      |       |
| 2                       | Isı ve özgül ısı ile ilgili birim hesaplamalarını yapıp sonucunu $Q=163,17$ kJ olarak hesaplayabildiniz mi?                   |      |       |
| 3                       | Hacim ve özgül hacim ile ilgili birim hesaplamalarını yapıp sonucunu $V= 0,02$ m <sup>3</sup> olarak hesaplayabildiniz mi?    |      |       |
| 4                       | Ağırlık ve özgül ağırlık ile ilgili birim hesaplamalarını yapıp sonucunu $P_{mutlak}= 951,3$ kPa olarak hesaplayabildiniz mi? |      |       |
| 5                       | Basınç ve mutlak basınç ile ilgili birim hesaplamalarını yapıp sonucunu $Q = 44$ kW olarak hesaplayabildiniz mi?              |      |       |
| 6                       | Isı transferi ile ilgili hesaplamaları yapıp sonucunu $Q = - 6,4$ kW olarak hesaplayabildiniz mi?                             |      |       |

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

- 20 °C sıcaklığın °F karşılığı aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 60 °F  
B) 65 °F  
C) 68 °F  
D) 72 °F
- 12000 kg kapasiteli kapalı havuz içerisindeki suyun sıcaklığını 5 °C'den 20 °C'ye çıkarmak için verilmesi gereken ısı miktarı aşağıdakilerden hangisidir? (Sabit basınçta suyun özgül ısısı  $c_{psu}=4,184$  kJ/kgK)  
A) 60452 kJ  
B) 120000 kJ  
C) 404523 kJ  
D) 753120 kJ
- Hacmi 25 m<sup>3</sup> ve özgül hacmi 1,543 m<sup>3</sup>/kg olan metan gazının ağırlığı aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 16,2 kg  
B) 15,4 kg  
C) 14,5 kg  
D) 13,2 kg
- Yer çekimi ivmesi 9,3 m/sn<sup>2</sup> olan bir yerde 800 N gelen bir kişiye, 3 m/sn<sup>2</sup>lik bir ivme kazandırabilmek için gerekli olan kuvvet aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 240,56 N  
B) 258,06 N  
C) 262,36 N  
D) 265,54 N
- Bir motorun emme manifoldu vakumu 550 mmHg olduğu vakummetre ile ölçümünden anlaşılmıştır. Bu ölçülen değerın basınç karşılığı aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 27,92 kPa  
B) 25,06 kPa  
C) 26,36 kPa  
D) 28,40 kPa

6. Isı iletim kat sayısı 204 W/mK olan alüminyum levhanın kalınlığı 0,02 m ve yüzey sıcaklıkları 90 °C ve 40 °C'dir. Levhadan geçen ısı akım 51 kW olduğuna göre levhanın yüzey alanı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 0,2 m<sup>2</sup>  
B) 0,6 m<sup>2</sup>  
C) 0,8 m<sup>2</sup>  
D) 0,1 m<sup>2</sup>
7. 80 °C sıcaklığındaki sıvı, yüzey sıcaklığı 20 °C olan bir boru içerisinden akmaktadır. İlgili borunun yüzey alanı 2,5 m<sup>2</sup> ve boru ile akışkan arasındaki ısı transfer kat sayısı 75 W/m<sup>2</sup>K olduğuna göre ısı akımı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 8,45 kW  
B) 10,26 kW  
C) 11,25 kW  
D) 12,75 kW

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

Bu faaliyetin sonunda uygun ortam sağlandığında termodinamiğin I. ve II. Kanunu ile ilgili hesaplamaları tekniğine uygun, hatasız olarak yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Enerji hakkında gerekli bilgileri toplayınız.
- Enerjinin Korunumu Kanunu hakkında bilgi toplayınız.
- Genel enerji denkleminde hangi ifadeler bulunur?
- Araştırma konusunda sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığınız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınızla paylaşınız.

## 2. TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ VE İKİNCİ KANUNLARI

### 2.1. Termodinamiğin Birinci Kanunu

Termodinamiğin I. Kanunu veya diğer adıyla Enerjinin Korunumu İlkesi, enerjinin değişik biçimleri arasındaki ilişkileri ve genel olarak enerji etkileşimlerini incelemek için sağlam bir temel oluşturur.

Termodinamiğin I. Kanunu deneysel gözlemlere dayanarak enerjinin var veya yok edilemeyeceğini ancak bir biçimden diğerine dönüşebileceğini vurgular. Örneğin yüksekte bulunan bir taşın potansiyel enerjisi olduğu ve düştüğü zaman bu enerjinin bir bölümünün kinetik enerjiye dönüştüğü bilinir.

Termodinamiğin I. Kanunu'nda sistemden alınan ve verilen ısı, sistemde yapılan işe eşittir.

$Q_{\text{çevrim}} = W_{\text{çevrim}}$  Bu eşitlik Termodinamiğin I. Kanunu'nun matematiksel ifadesidir.

Sistemden alınan ısı, verilen ısı ve sistemde yapılan iş toplam enerji miktarına eşittir. Dolayısıyla yukarıdaki eşitlik;

$Q_{\text{çevrim}} - W_{\text{çevrim}} = \Delta E$  şeklini alır. Burada  $\Delta E$  toplam enerjidir. Eşitlik bir sistemdeki başlangıç (1) ve çıkış (2) noktaları arasındaki işlem için yazılacak olursa  $Q_{1,2} = E_2 - E_1 + W_{1,2}$  olur. Bu eşitlikte  $Q_{1,2}$ , 1 ve 2 noktalarındaki sisteme olan ısı transferini,  $E_2$  ve  $E_1$ ,

noktalarındaki sistemin bütün enerjilerini (iç enerji “U”+ kinetik enerji “KE” + potansiyel enerji “PE”) ve  $W_{1,2}$  sistem tarafından yapılan işi belirtir.

Dolayısıyla Termodinamiğin I. Kanunu;

$$Q = \Delta U + \Delta(KE) + \Delta(PE) + \Delta W \text{ dir.}$$

Kinetik enerji, bir cismin hızı nedeniyle sahip olduğu enerjidir. İşlem sırasındaki kinetik enerji değişimi;

$$KE_2 - KE_1 = \frac{mc_2^2}{2} - \frac{mc_1^2}{2} \text{ eşitliği ile hesaplanır.}$$

Potansiyel enerji ise bir cismin bulunduğu konum nedeniyle sahip olduğu enerjidir. İşlem sırasındaki potansiyel enerji değişimi;

$$PE_2 - PE_1 = m.g.z_2 - m.g.z_1 \text{ eşitliği ile hesaplanır.}$$

Kinetik ve potansiyel enerji değerleri Termodinamiğin I. Kanunu’nda yerlerine konulacak olursa  $Q_{1,2} = U_2 - U_1 + \frac{m.(c_2^2 - c_1^2)}{2} + m.g.(z_2 - z_1) + W_{1,2}$  eşitliği elde edilir.

Potansiyel ve kinetik enerjilerde ihmal edilecek düzeyde değişme olduğundan değer,

$$Q_{1,2} = U_2 - U_1 + W_{1,2} \text{ şeklini alır.}$$

## 2.2. Termodinamiğin İkinci Kanunu

Termodinamiğin I. Kanunu veya Enerjinin Korunumu Kanunu sistemle arasındaki iş, ısı alışverişi ve sistemde depolanan enerji arasındaki ilişkileri belirler. Denilebilir ki bir hâl değişiminin gerçekleşebilmesi için birinci kanunun gerçekleşmesi zorunlu fakat yeterli değildir. Örneğin duran bir fincan sıcak kahvenin kısa sürede soğuduğu herkes tarafından bilinir. Kahvenin kaybettiği enerji, bulunduğu ortamdaki havanın kazandığı enerjiye eşittir. Bu durum değişimi Termodinamiğin I. Kanunu’na uygundur. Şimdi de bu hâl değişiminin tersini düşünelim yani kahvenin çevresindeki havadan aldığı enerji ile ısındığını düşünelim. Bu durum değişiminin gerçekleşemeyeceğini biliyoruz.

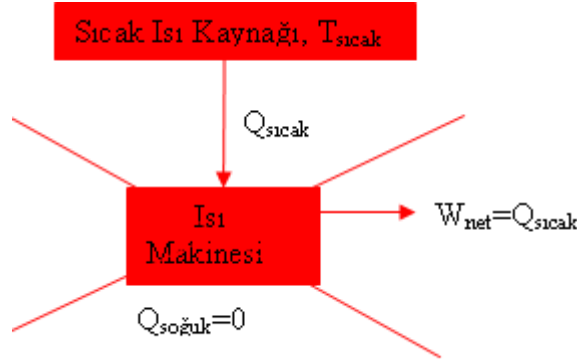


**Resim 2.1:** Sıcak kahve soğuk havadan ısı alamaz.

Bir yönde gerçekleşebilen bir hâl değişikliği ters yönde gerçekleşmeyebilir. Bu yetersizlikler Termodinamiğin II. Kanunu ile giderilmiştir.

Termodinamiğin II. Kanunu iki şekilde ifade edilir.

- Termodinamiğin II. Kanunu'nun Kelvin – Planck ifadesi, “ Periyodik olarak çalışan ve bir tek ısı kaynağı ile ısı alış verişi yaparak sürekli olarak iş üreten bir makinenin yapılması mümkün değildir.” şeklindedir (Şekil 2.1). Bu ifadeye göre hiçbir ısı makinesinin ısı verimi %100 olamaz.



Şekil 2.1: İkinci Kanun'un Kelvin- Planck ifadesi

- Termodinamiğin II. Kanunu'nun Clausius ifadesi ise “Çevrede hiçbir etki bırakmaksızın ısıyı soğuk ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına ileten bir ısı pompası (veya soğutma makinesi) yapmak mümkün değildir.” veya diğer bir anlatımla “Isı enerjisi kendiliğinden soğuk ortamdan sıcak ortama doğru akamaz.” şeklindedir. Şekil 2.1'de ısı enerjisinin alındığı depoya “sıcak kaynak”, ısı enerjisinin verildiği depoya da “soğuk kaynak” denilmektedir.

Bir termodinamik çevrime göre sürekli olarak çalışan, sıcak ısı kaynağından ısı alıp soğuk ısı kaynağına ısı terk ederken belirli bir miktarda net pozitif iş yapan makineye ısı makinesi denir.

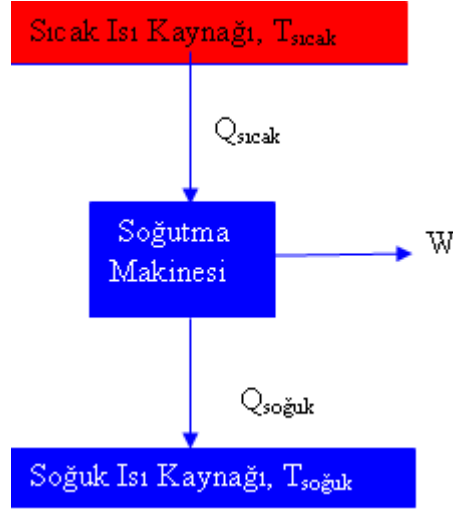
$W_{net} = Q_{sic} - Q_{soğ}$  formülü ile bir ısı makinesinin net işi hesaplanır. Isı

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{sic}} = 1 - \frac{Q_{soğ}}{Q_{sic}}$$

makinesinin ısı verimi

formülü ile hesaplanır.

Isı makinelerinin en çok bilinen ideal çevrimi Carnot çevrimidir. Carnot çevriminde ısı makinesi yüksek sıcaklık ( $T_{sic}$ ) ve düşük sıcaklık ( $T_{soğ}$ ) arasında çalışır. Şekil 2.3'te çevrim görülmektedir. Carnot çevrimi, ikisi sabit sıcaklıkta ve ikisi de izentropik dört tersinir hâl değişiminden oluşan tersinir bir çevrimdir.

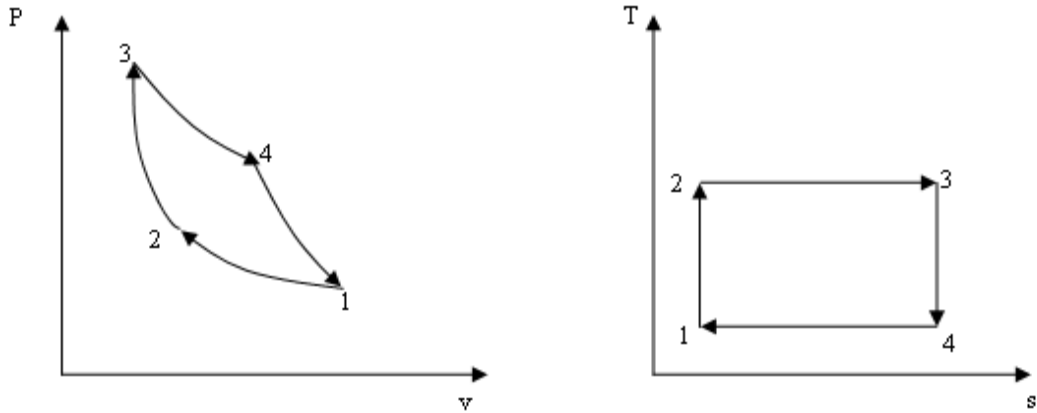


Şekil 2.2: Isı makinesi

➤ Carnot ilkeleri

- Aynı ısı depoları arasında çalışan tersinir ısı makinelerinin verimleri eşittir.
- Aynı ısı depoları arasında çalışan tersinir ısı makinelerinden en yüksek verime tersinir makine sahiptir.

Bu iki ilke termodinamiğin sıcaklık ölçeğinin veya diğer adıyla Kelvin ölçeğinin temelini oluşturur. Tersinir bir makinenin aldığı ve verdiği ısıyla ısı depolarının sıcaklıkları arasında şu ilişki vardır:



Şekil 2.3: Carnot çevrimi



$\left(\frac{Q_{su}}{Q_{soğ}}\right) = \frac{T_{su}}{T_{soğ}}$  dolayısıyla tersinir bir makine için  $\frac{Q_{su}}{Q_{soğ}}$  oranı,  $\frac{T_{su}}{T_{soğ}}$  oranı ile yer değiştirebilir. Burada  $T_{sic}$  ve  $T_{soğ}$  ısı enerji depolarının mutlak sıcaklıklarıdır (Kelvin).

Tersinir Carnot çevrimine göre çalışan ısı makinesi Carnot ısı makinesi diye adlandırılır. Carnot ısı makinesinin ısı verimi şu bağıntı ile hesaplanır:

$$\eta = 1 - \frac{T_{soğ}}{T_{su}}$$

Termodinamiğin II. Kanunu, entropi (S) olarak adlandırılan yeni bir özelliğin tanımlanmasına yol açmıştır. Entropi sistemdeki düzensizliğin bir ölçüsüdür. Düzensizlik arttıkça entropi de artar. Formülü, II. Kanun'un ortaya çıkardığı Clausius eşitsizliği olarak bilinen ifade entropi değişimini vermektedir.

$$\Delta S \geq \frac{Q}{T} \quad \text{şeklinde ifade edilir.}$$

Termodinamik hesaplamalarda diğer durum özellikleri gibi entropiden de faydalanılmaktadır.

## UYGULAMA FAALİYETİ

Termodinamiğin I.ve II. Kanunu ile ilgili verilen hesaplama işlemlerini yapınız.

| İşlem Basamakları   | Öneriler  |
|---|---|
| <p>➤ Kütleli 40 kg olan 70 °C sıcaklığındaki 400 kg ağırlığındaki bir demir külçesi, içerisinde 40 °C sıcaklığında su bulunan yalıtılmış bir kaba konulmuştur. Isıl denge sağlandığında sıcaklığın kaç °C olduğunu hesaplayınız (<math>c_{su}=4,184 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}</math> ve <math>c_{demir}=0,45 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}</math>).</p> | <p>➤ <math>\Delta U = \Delta U_{demir} + \Delta U_{su} = 0</math> eşitliğinden yararlanarak</p> <p>➤ <math>[m.C.(T_2 - T_1)]_{demir} + [m.C.(T_2 - T_1)]_{su} = 0</math> formülünü kullanabilirsiniz.</p> |
| <p>➤ Bir Carnot ısı makinesi 750 °K sıcaklıktaki ısı kaynağından 500 kJ ısı çekmekte ve 310 °K sıcaklıktaki soğuk kaynağa ısı vermektedir. Bu makinenin ısı verimini ve verilen ısı miktarını hesaplayınız.</p>   | <p>➤ Isıl verim için <math>\eta = 1 - \frac{T_{soğ}}{T_{su}}</math></p> <p>➤ Verilen ısı miktarı için <math>\frac{Q_{su}}{Q_{soğ}} = \frac{T_{su}}{T_{soğ}}</math> formüllerini kullanabilirsiniz.</p>    |
| <p>➤ Hâl değişimi esnasında 320 °K sıcaklıkta, havaya 300 kJ ısı geçmektedir. Çevrenin entropi değişimini hesaplayınız.</p>   | <p>➤ <math>\Delta S_{çevre} = \frac{Q_{çevre}}{T_{çevre}}</math> formülünü kullanabilirsiniz.</p>   |

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

| Değerlendirme Ölçütleri |  | Evet | Hayır |
|-------------------------|--|------|-------|
| 1                       | Termodinamiğin I. Kanunu ile ilgili hesaplamaları yaparak ısı denge sağlandığındaki sıcaklık değerini $T_2 = 40,31 \text{ °C}$ olarak hesaplayabildiniz mi?    |      |       |
| 2                       | Isıl verimi ve verilen ısı miktarını hesaplayarak ısı verimi $\eta = 0,58$ verilen ısı miktarını ise $Q_{soğ} = 206,6 \text{ kJ}$ olarak hesaplayabildiniz mi? |      |       |
| 3                       | Hâl değişimi esnasında çevrenin entropi değişimini hesaplayarak $\Delta S = 0,967 \text{ kJ/K}$ olarak hesaplayabildiniz mi?                                   |      |       |

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Kütlesi 40 kg olan bir bavulu 1 m yukarı kaldırmak için yapılması gereken iş miktarı aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 0,106 kJ  
B) 0,203 kJ  
C) 0,392 kJ  
D) 4,563 kJ
2. Sabit hacimde bir kaptaki sıcak sıvı soğutulurken ayrıca karıştırılmaktadır. Sıvının iç enerjisi 700 kJ'dur. Sıvıyı karıştırmak için 80 kJ harcanmaktadır. Sıvının son hâldeki iç enerjisi aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 150 kJ  
B) 320 kJ  
C) 440 kJ  
D) 500 kJ
3. İç enerjisi 275 kJ/kg olan bir hava kütlesi kompresörde yüksek sıcaklık ve basınç altında sıkıştırılarak iç enerjisi 400 kJ/kg olmuştur. Havanın debisi 0,02 kg/saattir. Potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilerek komprösörü çalıştırabilmek için gerekli olan güç aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 4,8 kW  
B) 3,6 kW  
C) 3,1 kW  
D) 2,1 kW
4. Bir ısı makinesinde gerçekleşen çevrimde, sisteme dakikada 400 kJ ısı verilmekte ve sistemden 200 kJ ısı atılmaktadır. Bu makinenin ısı verimi aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 0,5  
B) 0,4  
C) 0,3  
D) 2

5. 50 kW gücündeki bir otomobil motorunun ısı verimi % 25'tir. Motorun yaktığı yakıtın ısı değeri 44000 kJ/kg olduğuna göre motorun saatteki yakıt sarfiyatı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 15,5 kg/sa.  
B) 16,4 kg/sa.  
C) 17,8 kg/sa.  
D) 19,4 kg/sa.
6. Bir durum değişiminde 350 °K sıcaklığındaki çevre havasına 700 kJ ısı geçmektedir. Çevrenin entropi değişimi aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 1,35 kJ/K  
B) 1,95 kJ/K  
C) 2,33 kJ/K  
D) 2,85 kJ/K

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-3

## AMAÇ

Bu faaliyetin sonunda uygun ortam sağlandığında ideal gaz kanunları ile ilgili hesaplamaları tekniğine uygun, hatasız olarak yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- İdeal gaz hakkında bilgi toplayınız.
- İdeal gaz kanunları hakkında bilgi toplayınız.
- Motor çevrimleri hakkında bilgi toplayınız.
- Su buharı mükemmel bir gaz sayılabilir mi? Araştırarak değerlendiriniz.
- Araştırma konusunda sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığınız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınızla paylaşınız.

## 3. İDEAL GAZ VE İDEAL GAZ KANUNLARI

17. yüzyıldan 19. yüzyıla kadar gazlarla ilgili yapılan araştırmalar sonucunda önemli matematiksel ifadeler çıkarılmıştır. Bu ifadeleri sırayla inceleyelim:

- **Avogadro Kanunu:** Aynı basınç ve sıcaklıkta bütün ideal gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda molekül vardır. İfadesini 1811 yılında A. Avogadro ortaya atmış ve bu ifade Avogadro Kanunu olarak anılmıştır. Avogadro Kanunu'na göre normal şartlar altında 0 °C ve 76 cmHg basınç altında 1 mol gaz  $6,02 \cdot 10^{23}$  adet molekül içerir.

Avogadro Kanunu'nun matematiksel modeli:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \quad \Longrightarrow \quad P \text{ ve } T \text{ sabit ise Avogadro Kanunu; } \frac{V_2}{n_2} = \frac{V_1}{n_1}$$

P= Basınç (Pa)

V= Hacim (m<sup>3</sup>)

T= Sıcaklık (°C)

n= Mol sayısı (kmol)

- **Boyle- Mariotte Kanunu:** “Sıcaklığı sabit kalmak şartıyla kapalı bir kaptaki gazın basıncı ile hacminin çarpımı daima sabittir.” Bu ifade, sıcaklıkta bir değişme olmadığı zaman kapalı bir kaptaki gazın hacmi büyürse basıncının da aynı ölçüde küçüleceğini, hacmi küçülürse basıncının yine aynı oranda büyüyeceğini gösterir. Bu durumda basınç hacimle daima ters orantılıdır.

Sıcaklık sabit kalmak şartıyla kapalı bir kaptaki gaz için

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = \text{sabit}$$

- **Charles- Gay Lussac Kanunu:** Sabit basınçta ısıtılan bir gazın hacmi sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişir. Bu ifadeye Charles- Gay Lussac Kanunu denir.

Sabit basınç için  $P = \text{sabit}$  ise kanunun matematiksel ifadesi:  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

Sabit hacim için  $V = \text{sabit}$  ise kanunun matematiksel ifadesi:  $\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_1}{T_1}$

- **Dalton Kanunu:** Bir gaz karışımının basıncı, karışımı oluşturan gazların karışım sıcaklığında olmaları ve ayrı ayrı toplam hacmi kaplamaları durumunda sahip olacakları basınçların toplamına Dalton Kanunu denir. Bu kanuna göre hacim ve sıcaklık sabit için ( $T, V = \text{sabit}$ ).

$$P_{\text{karışım}} = P_1 + P_2 + \dots + P_i \text{ dir.}$$

- **Amagat Kanunu:** Bir gaz karışımının hacmi, karışımı oluşturan gazların karışım sıcaklığı ve basıncında olmaları durumunda, ayrı ayrı kaplayacakları hacimlerin toplamına Amagat Kanunu denir. Bu kanuna göre basınç ve sıcaklık sabit için ( $T, P = \text{sabit}$ ).

$$V_{\text{karışım}} = V_1 + V_2 + \dots + V_i \text{ dir.}$$

- **İdeal Gaz Denklemi:** Basit gaz yasalarından yararlanılarak hacim, basınç, sıcaklık ve gaz miktarı gibi dört gaz değişkenini içeren denkleme ideal gaz denklemi denir.
- Boyle Yasası, basıncın etkisini tanımlar:  $P = 1/V$
  - Charles Yasası, sıcaklık etkisini tanımlar:  $V = T$
  - Avogadro Yasası, gaz miktarının etkisini tanımlar:  $V = n$

Bu gaz yasalarına göre bir gazın hacmi, miktar ve sıcaklık ile doğru orantılı, basınç ile ters orantılıdır. Yani  $V = n \cdot R \cdot T / P$  dolayısıyla ideal gaz denklemi;

$$P \cdot V = n \cdot R_u \cdot T \text{ dir.}$$

İdeal gaz denklemine uyan bir gaza, ideal veya mükemmel gaz denilmektedir.

İdeal gaz denkleminde tüm gazlar için universal (evrensel) gaz sabiti değeri ideal şartlardaki birimlerden yararlanılarak bulunur.

$$R_u = P.V / n.T = 1 \text{ atm} \times 22,4140 \text{ litre} / 1 \text{ mol} \times 273,15 \text{ K} = 0,082057 \text{ litre atm/mol K}$$

$$R_u = 8,3143 \text{ kJ/kmolK}$$

$$R = R_u / Z$$

R = Gaz sabiti, kJ/kgK

$R_u$  = Üniversal gaz sabiti,  $R_u = 8,3143 \text{ kJ/kmolK}$

Z = Gazın mol kütlesi, kg/kmol

Dolayısıyla gazın kütlesi  $m = n.Z$  olur ve ideal gaz denkleminde  $v = V/m$ 'dir. Bir başka şekildeyle ideal gaz denklemini  $P.V = m.R.T$  şeklini alır.

### 3.1. Gazların Durum Değişiklikleri

Pistonlu motorlar, kompresörler vb. sistemlerin teorik çevrimleri, temel termodinamik durum değiştirme işlemlerinden oluşur. Bu makinelerin çalışma analizleri kapalı sistem kabulü ile yapılır. Kapalı sistem de kütlenin sabit olduğu, potansiyel ve kinetik enerji değişimlerinin olmadığı bir sistemdir. Yaygın olarak kullanılan durum değiştirme işlemleri şunlardır:

- Sabit hacim
- Sabit basınç
- Sabit sıcaklık
- İzoentropik
- Politropik

#### 3.1.1. Sabit Hacim (İzohor)

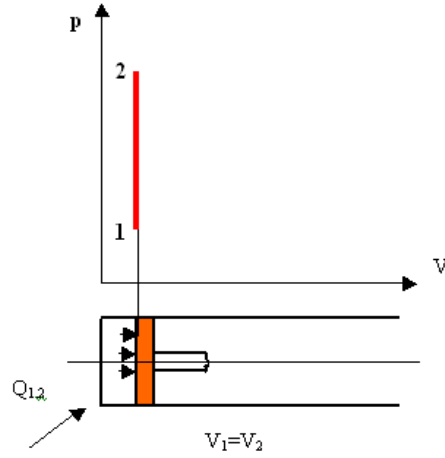
Termodinamik işlem esnasında hacim değişmiyorsa buna sabit hacim işlemi denir. Sabit hacimde ısı alışverişi olmakta, basınç ve sıcaklık değişmektedir.

$V_1 = V_2$  olduğundan Şekil 3.1'deki 1 ve 2. durum için ideal gaz denklemini,

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_1}{T_1} \text{ hâlini alır ki bu eşitlik Gay Lussac Kanunu olarak bilinir. Sabit hacimde}$$

yapılan iş  $W_{1,2} = 0$ 'dır.





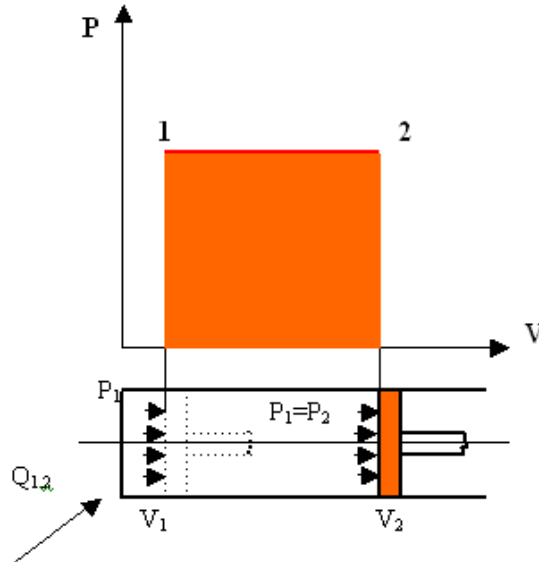
**Şekil 3.1: Sabit hacim işlemi P-V diyagramı**

Sabit hacimde sisteme verilen ısı, iç enerjiye eşittir:  $Q_{1,2} = U_2 - U_1$  dir.

$U_2 - U_1 = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$  olduğundan  $Q_{1,2} = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$  dir.

### 3.1.2. Sabit Basınç (İzobar)

Termodinamik işlem esnasında basınç değişmiyorsa buna sabit basınç işlemi denir. Sisteme ısı verilirse gazın genleşmesi ile piston yukarı çıkacak ve basınç değişmeyecektir.



**Şekil 3.2: Sabit basınç işlemi P-V diyagramı**

Burada  $P_1 = P_2$  olduğundan şekildeki 1 ve 2 durumu için ideal gaz denklemi  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$  olur.

Birim kütle için özgül hacim ise  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1}$  olur.

Sabit basınçta yapılan iş  $w_{1,2} = P_1 \cdot (v_2 - v_1)$  olur.

Birinci kanuna göre sabit basınçta verilen ısı,

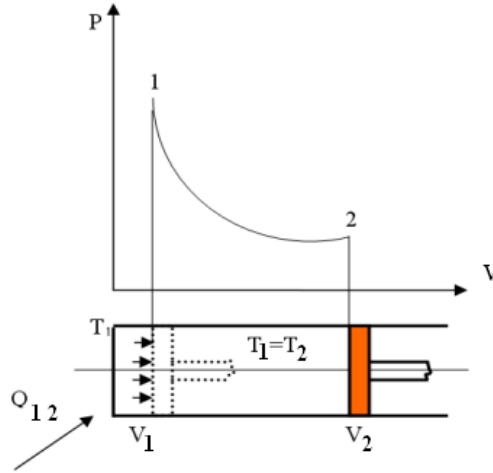
$Q_{1,2} = U_2 - U_1 + P \cdot (v_2 - v_1)$  ise  $Q_{1,2} = (U_2 + P v_2) - (U_1 + P v_1)$  ve  $Q_{1,2} = h_2 - h_1$ 'dir.

$h_2 - h_1 = c_p \cdot (T_2 - T_1)$  ise ısı  $Q_{1,2} = c_p \cdot (T_2 - T_1)$  olur.

### 3.1.3. Sabit Sıcaklık (İzoterm)

Termodinamik işlem esnasında sıcaklık değişmiyorsa buna sabit sıcaklık işlemi denir. İdeal gaz denkleminde göre sabit sıcaklık da  $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$  hâlini alır. Bu formül Boyle-Mariotte Kanunu olarak bilinir. Sabit hacimde yapılan iş  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$  olduğundan

$W_{1,2} = P_1 \cdot V_1 \ln \frac{P_1}{P_2}$  olur. Birim kütle için ise iş  $w_{1,2} = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$  olur.



Şekil 3.3: Sabit sıcaklık işlemi P-V diyagramı

Termodinamiğin Birinci Kanunu'ndan sabit sıcaklıkta verilen ısı, sıcaklıklar eşit olduğundan iş miktarına eşittir:  $Q_{1,2} = W_{1,2}$

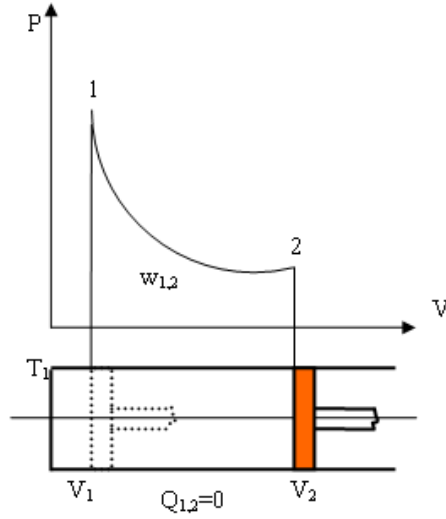
### 3.1.4. İzoentropik

$P \cdot v^k = \text{sabit}$  bağıntısına uygun olarak değişen ısı alışverişi olmayan işleme izoentropik veya tersinir adyabatik işlem denir. Eşitlikteki "k" üssü, sabit basınç ve sabit

hacimdeki özgül ısıların oranını ifade etmekte olup izoentropik veya adyabatik üs olarak adlandırılır. İzoentropik işlem için  $P_1.v_1^k = P_2.v_2^k$  eşitliği yazılır. Sistemde gerçekleşen ısı,  $Q_{1,2} = 0$  ve entropi,  $s_2-s_1 = 0$ 'dır. Yukarıdaki k üssü sabit basınçtaki özgül ısının sabit hacimdeki özgül ısıya oranıdır.

$$k = \frac{c_p}{c_v} \text{ dir. İdeal gaz denkleminde ise } R = c_p - c_v \text{ idi.}$$

İzoentropik işlem sırasında yapılan birim kütle için iş  $w_{1,2} = \frac{R.(T_2 - T_1)}{1 - k}$  formülü ile hesaplanabilir.



Şekil 3.4: İzoentropik işlemin P-V diyagramı

### 3.1.5. Politropik

$P.v^n = \text{sabit}$  bağıntısına uygun olarak değişen işlemlere politropik işlem, "n" üssü ise politropik üs olarak adlandırılır.

Politropik durum değiştirme işlemi için  $P_1.v_1^n = P_2.v_2^n = P.v = \text{sabit}$ .

Politropik durum değiştirme işleminde birim kütle için iş  $w_{1,2} = \frac{R.(T_2 - T_1)}{1 - n}$  olur.

Politropik durum değiştirme işlemi sırasındaki ısı transferi:

$Q_{1,2} = U_2 - U_1 + W_{1,2} = m.c_v.(T_2 - T_1) + W_{1,2}$  olur ve birim kütle için aynı formül,

$Q_{1,2} = u_2 - u_1 + w_{1,2} = c_v.(T_2 - T_1) + w_{1,2}$  şeklini alır.

## 3.2. Motor Çevrimleri

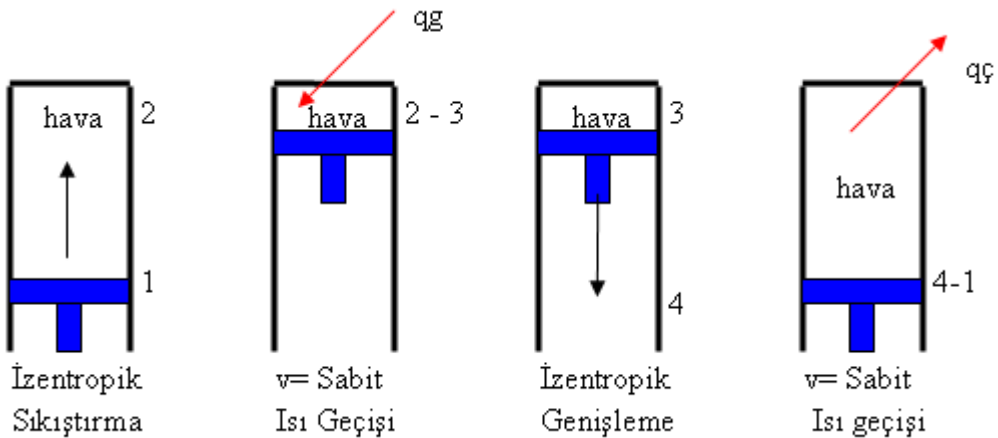
Pistonlu motorlar çok geniş bir uygulama alanı olan nadir buluşlardan biridir. Otomobiller, kamyonlar, küçük uçaklar, gemiler ve bazı santrallerde güç üretiminde kullanılır.

Piston, silindir içerisinde belirli iki konum arasında aşağı yukarı hareket eder. Bu konumlar ÜÖN (üst ölü nokta) ve AÖN (alt ölü nokta) diye adlandırılır. Piston üst ölü noktada iken silindirin içindeki hacim en küçük değerindedir, piston alt ölü noktada iken silindir içindeki hacim en büyük değerindedir. ÜÖN ve AÖN arasındaki uzunluk, pistonun bir yönde gidebileceği en uzun aralıktır ve motorun stroku olarak adlandırılır.

### 3.2.1. Otto (Sabit Hacim) Çevrimi

Otto çevrimi buji ile ateşlemeli motorlar için ideal bir çevrimdir. Fransız bilim adamı Beau de Rochas tarafından önerilen çevrimi kullanarak 1876'da ilk dört zamanlı motoru başarıyla gerçekleştiren Nikolaus August Otto'nun adını taşımaktadır. Buji ile ateşlemeli motorların çoğunda piston her termodinamik çevrim için silindir içerisinde dört strok yapar ve krank mili 2 tam devir yapmış olur.

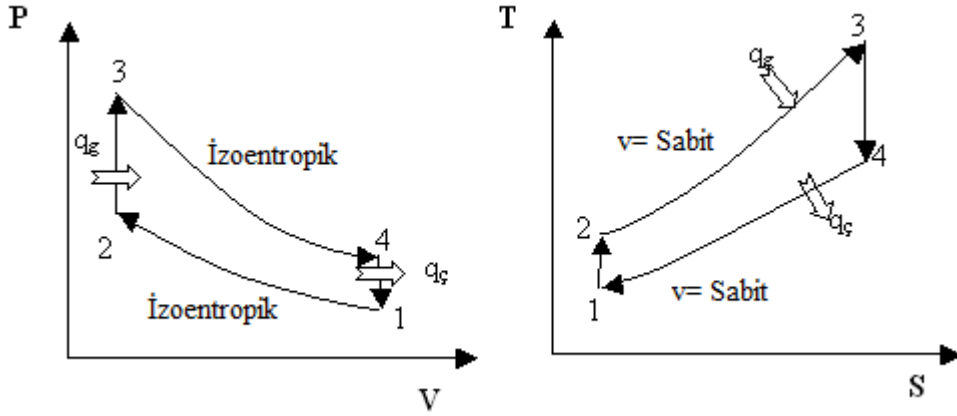
Sıkıştırma zamanında piston yukarıya hareket ederek yakıt-hava karışımını sıkıştırır. Piston ÜÖN'ya gelmeden önce buji tarafından karışım ateşlenir, yanma başlar ve hızla ilerler. Bu esnada basınç ve sıcaklık artar. Yüksek basınçlı gazlar pistonu aşağı doğru iter ve krank milinin dönmesini sağlayarak iş elde edilir. Bu zaman, iş zamanı veya ateşleme zamanı olarak bilinir. İş zamanı sonunda piston alt ölü noktadadır. Yanma sonucunda ortaya çıkan enerji ile piston AÖN'dan ÜÖN'ya çıkmaya başlar ve yanma sonucunda oluşan gazları egzoz supabından dışarı atar. Bu zaman da egzoz zamanıdır. Piston üst konumdan aşağıya inerken emme supabı açılır ve taze yakıt-hava karışımı silindire emilir. Bu strok emme zamanıdır. Bu sırada silindir içerisindeki basınç atmosfer basıncının biraz altındadır.



Şekil 3.5: İdeal Otto çevrimi

Yukarıda gerçek çalışma prensibi anlatılan Otto çevriminin termodinamik hesaplarını yapmak kolay değildir. Fakat hava standardı kabulleri yapıldığında çözümler önemli ölçüde kolaylaşacaktır. Bu kabullerle yapılan ideal çevrim gerçek çalışma koşullarına yaklaşacaktır. İdeal bir Otto çevrimi dört tersinir hâl değişiminden oluşur:

- 1-2 izoentropik sıkıştırma
- 2-3 sabit hacimde ( $v=\text{sabit}$ ) ısı geçişi
- 3-4 izoentropik genişleme
- 4-1 çevrimden sabit hacimde ( $v=\text{sabit}$ ) çıkan ısı geçişi



Şekil 3.6: İdeal Otto çevrimi P-v ve T-s diyagramları

Otto çevrimi kapalı sistemde gerçekleşir. Birim kütle için Termodinamiğin I. Kanunu:

$$q - w = \Delta u \quad (\text{kJ/kg})$$

Isı geçişinin olduğu hâl değişimi sırasında iş olmaz çünkü her iki hâl değişimi sabit hacimde gerçekleşir.

$$q_{\text{giren}} = q_{2,3} = u_3 - u_2 = c_v \cdot (T_3 - T_2) \quad \text{ve}$$

$$q_{\text{çıkan}} = -q_{4,1} = -(u_1 - u_4) = c_v \cdot (T_4 - T_1) \quad \text{Bu durum da otto çevriminin verimi,}$$

$$\eta_{\text{otto}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_g} = 1 - \frac{q_c}{q_g} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)} \quad \text{şeklini alır. 1-2 ve 2-3}$$

durum değişimleri izoentropik ve  $v_2=v_3$ ,  $v_4=v_1$  olduğuna göre

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \frac{T_4}{T_3} \quad \text{olur. Isıl verim denkleminde yerlerine konur ve}$$

denklem sadeleştirilirse

$$\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad \text{elde edilir ve burada } r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2} \text{ sıkıştırma oranı, } k \text{ ise özgül ısıların}$$

oranıdır ( $k = c_p / c_v$ ).

İdeal Otto çevriminin ısı verimi, sıkıştırma oranı ve özgül ısıların oranı yükseldikçe artar. Gerçek çevrim verimi daima ideal verimden daha düşük olur. Bunun nedeni sürtünme, eksik yanma vb. tersinmezliklerdir.

Benzinli motorlarda sıkıştırma oranı yaklaşık  $r = 12'$  ye kadardır. Oda sıcaklığında  $k$  değeri hava için 1,4'tür. Karbondioksit için 1,3 ve etan için 1,2'dir. Buji ile ateşlemeli motorların ısı verimleri % 25-30 arasındadır.

**Örnek:** İdeal bir Otto çevrimi ile ilgili olarak verilen aşağıdaki değerlere göre

a) Çevrimin P-v ve T-s diyagramlarını çiziniz.

b) Motorun sıkıştırma oranını ( $r$ ), çevrimin net işini, çevrimin ısı verimini hesaplayınız.

$$P_1=100 \text{ kPa}$$

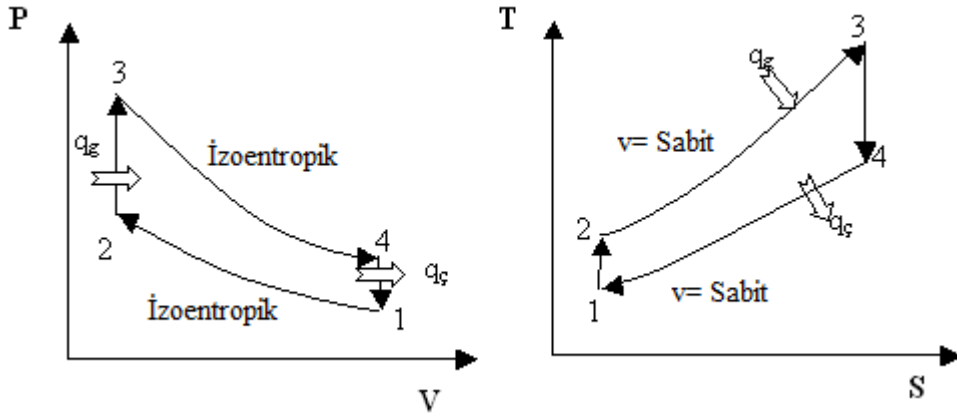
$$T_1=290 \text{ °K}$$

$$P_2=1300 \text{ kPa}$$

$$P_4=200 \text{ kPa}$$

$$(c_v=0,717 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}, R=0,287 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}, k=1,4)$$

**Çözüm:** P- V ve T- s diyagramları



1. hâl;  $P_1 \cdot V_1 = R \cdot T_1$   $V_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{0,287 \cdot 290}{100} \Rightarrow V_1 = 0,83 \text{ m}^3 / \text{kg}$  olur.

2. hâl; sıkıştırma oranı  $\frac{P_2}{P_1} = r^k \Rightarrow r = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1/k} = \left(\frac{1300}{100}\right)^{1/1,4} \Rightarrow r = 6,24$

2. durumdaki hacim;

$$r = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{r} = \frac{0,83}{6,24} \Rightarrow V_2 = 0,13 \text{ m}^3 / \text{kg}$$
 olur. Bu durumdaki sıcaklık;

$$P_2 \cdot V_2 = R \cdot T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{P_2 \cdot V_2}{R} = \frac{1300 \cdot 0,13}{0,287} \Rightarrow T_2 = 589 \text{ K}$$

3. hâl;  $V_3 = V_2 = 0,13 \text{ m}^3 / \text{kg}$ 'dir.

$$\frac{P_3}{P_4} = r^k \Rightarrow P_3 = P_4 \cdot r^k = 200 \cdot 6,24^{1,4} \Rightarrow P_3 = 2596 \text{ kPa} \text{ olur.}$$

$$T_3 = T_2 \cdot \frac{P_3}{P_2} = 589 \cdot \frac{2596}{1300} \Rightarrow T_3 = 1176,2 \text{ K}$$

$$4. \text{ hâl; } V_4 = V_1 = 0,83 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_4 = \frac{P_4 \cdot V_4}{R} = \frac{200 \cdot 0,83}{0,287} \Rightarrow T_4 = 578,4 \text{ K}$$

Net iş,  $w_{\text{net}} = q_g - q_c$  formülünden

$$q_g = c_v \cdot (T_3 - T_2) = 0,717 \cdot (1176,2 - 589) \Rightarrow q_g = 421,1 \text{ kJ/kg} \text{ olur.}$$

$$q_c = c_v \cdot (T_4 - T_1) = 0,717 \cdot (578 - 290) \Rightarrow q_c = 288 \text{ kJ/kg} \text{ olur. Dolayısıyla net iş,}$$

$$w_{\text{net}} = q_g - q_c = 421,1 - 288 = 133,1 \text{ kJ/kg}$$

Isıl verim,

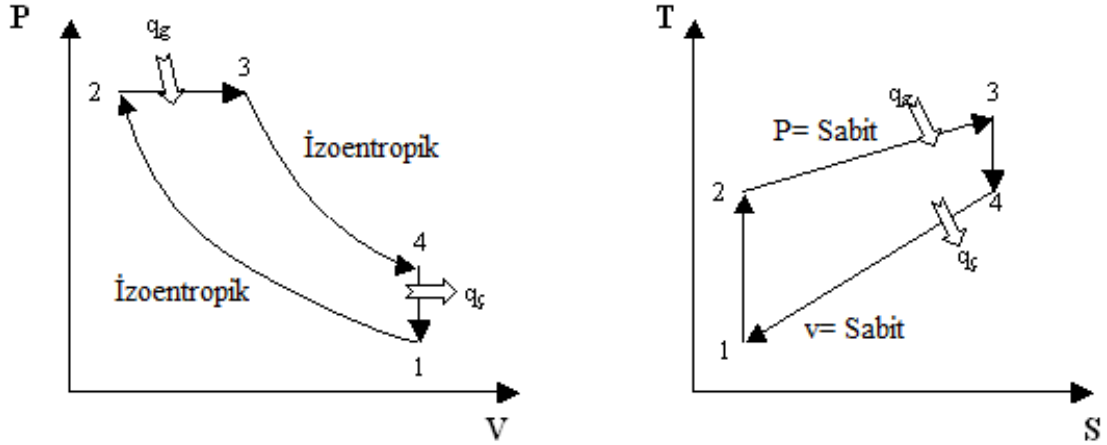
$$\eta_{\text{otto}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_g} = \frac{133,1}{421,1} = 0,32 = \%32 \text{ olarak hesaplanır.}$$

### 3.2.2. Dizel (Sabit Basınç) Çevrimi

Dizel motorları 1890 yılında Rudolph Diesel tarafından geliştirilmiştir. Benzinli motorlara benzer sadece yanmanın başlatılması farklıdır. Dizel motorlarda hava, yüksek sıcaklıkta sıkıştırılır ve püskürtülen dizel yakıtı ile sıcak havanın teması sonucunda yanma başlar. Dizel motorlarında sadece hava sıkıştırıldığından sıkıştırma oranları daha yüksektir. Çoğunlukla 12 ile 24 arasındadır.

Dizel motorlarında yakıt püskürtmesi, piston ÜÖN'ya gelmeden önce başlar ve iş strokunun ilk bölümlerine kadar devam eder. Yanma bundan dolayı daha uzundur ve dizel çevriminde yanma işlemi, sisteme sabit basınçta ısı verildiği şeklinde düşünülebilir. Bu durum değişimi Otto ve Dizel çevrimler arasındaki tek farklı durum değişimidir.

- 1-2 izoentropik sıkıştırma,
- 3-4 izoentropik genişleme,
- 4-1 sistemden çevreye sabit hacimde ısı geçiştir.



Şekil 3.7: İdeal dizel çevrimi P-v ve T-s diyagramları

Dizel çevrimi içinde kapalı sistem uygulaması olarak düşünülebilir. Bundan dolayı kapalı sistem için çıkarılan denklemler kullanılır. Soğuk hava standartları kabulü ile (oda sıcaklığında sabit özgül ısılar), sisteme sabit basınçta verilen ısı ve sistemden sabit hacimde atılan ısı,

$$q_{giren} = q_{2,3} = w_{2,3} + (\Delta u)_{2,3} = P_2(v_3 - v_2) + (u_3 - u_2) = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2) \text{ ve}$$

$$q_{çıkan} = -q_{4,1} = -w_{4,1} - (\Delta u)_{4,1} \text{ ve iş sıfır olduğundan}$$

$q_{çıkan} = -q_{4,1} = 0 - (u_1 - u_4) = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1)$  dolayısıyla bu denklemlerle dizel çevrimi ısı verimi,

$$\eta_{dizel} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_c}{q_g} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{kT_2(T_3/T_2 - 1)}, \text{dir.}$$

Sabit basınçta genişleme oranı, yani silindir hacminin yanma işleminden önce ve sonraki değerleri oranıdır.

$$\rho = \frac{V_3}{V_2} = \frac{v_3}{v_2} \text{ dolayısı ile bu değerden faydalanarak yukarıda verilen dizel çevrimi}$$

sadeleştirilirse dizel çevrimi ısı verimi,

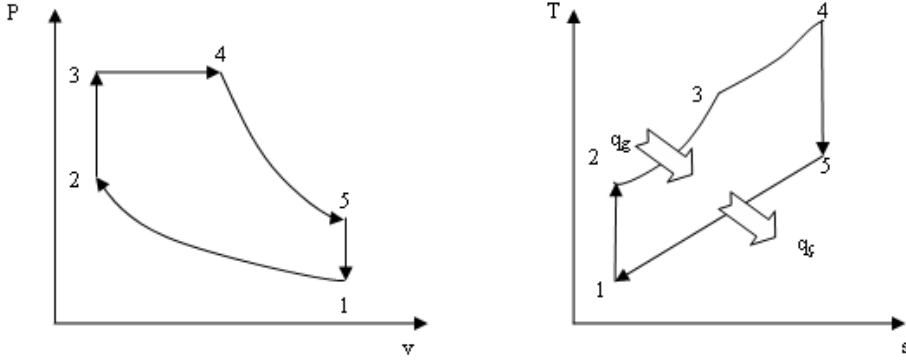
$$\eta_{Dizel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[ \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)} \right] \text{ olur.}$$

Genişleme oranı en küçük  $\rho=1$ 'dir. Dizel motorlarının verimi % 35-40 arasındadır.



### 3.2.3. Karma Çevrim

Yanma olayının bir kısmı sabit basınçta bir kısmı sabit hacimde gerçekleşir. Günümüz yüksek devirli dizel motorlarında kullanılan çevrimler bu çevrime göre çalışır.



Şekil 3.8: İdeal karma çevrimi P-v ve T-s diyagramları

Sıkıştırma işi:  $-w_{1,2} = u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1)$  veya  $-w_{1,2} = R(T_2 - T_1)/1-k$

Sabit hacimde verilen ısı:  $q_{2,3} = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2)$

Sabit hacimde basınç artış oranı:  $\sigma = \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2}$

Sabit basınçta verilen ısı:  $q_{2,3} = h_4 - h_3 = c_p(T_4 - T_3)$

Sisteme verilen ısı ise  $q_{giran} = q_{3,4} + q_{2,3}$  ise  $q_{giren} = (u_3 - u_2) + (h_4 - h_3)$  ise

$q_{giren} = c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)$  formülü ile hesaplanır.

Sabit basınçta ön genişleme oranı,

$\rho = \frac{v_4}{v_3} = \frac{T_4}{T_3}$  olur ve izentropik genişleme işi ise  $w_{4,5} = u_4 - u_5 = c_v(T_4 - T_5)$  veya

$w_{4,5} = R(T_4 - T_5)/1-k$  olur.

Sistemden atılan ısı ise  $-q_{çıkan} = q_{1,5} = u_5 - u_1 = c_v(T_5 - T_1)$  olur ve net iş,

$W_{net} = -w_{3,4} + w_{4,5} - |w_{1,2}|$  veya  $w_{net} = q_{giren} - |q_{çıkan}|$  eşitliği ile bulunur. Isıl verimi ise

$$\eta_{karma} = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = \frac{q_{net}}{q_{giren}} = 1 - \frac{|q_c|}{q_{giren}}$$

Sıcaklıklar cinsinden yazılırsa

$$\eta_{karma} = 1 - \frac{c_v(T_5 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)}$$

pay ve paydalar  $c_v$ 'ye bölünürse ve  $T_1/T_2$

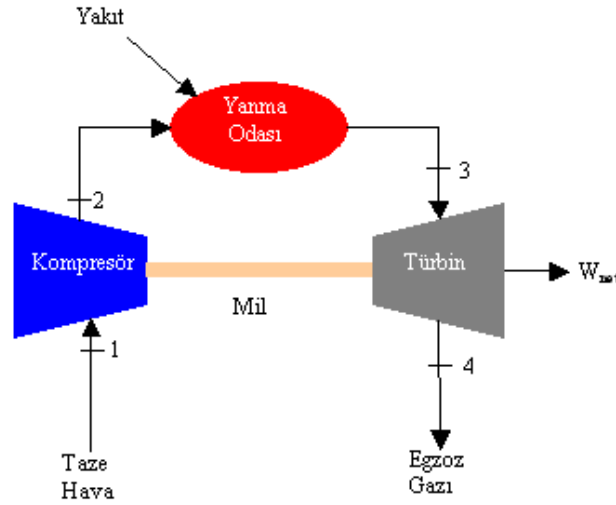
parantezine alırsak

$$\eta_{karma} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \left( \frac{\frac{T_5}{T_1} - 1}{\frac{T_3}{T_2} - 1 + k \left( \frac{T_4}{T_2} - \frac{T_3}{T_2} \right)} \right) \text{ formülü ile karma çevrimin ısı verimi,}$$

$\eta_{karma} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[ \frac{\sigma^k - 1}{(\sigma - 1) + k\sigma(\rho - 1)} \right]$  olur. Karma çevrim verimi diğer iki çevrim arasındadır.

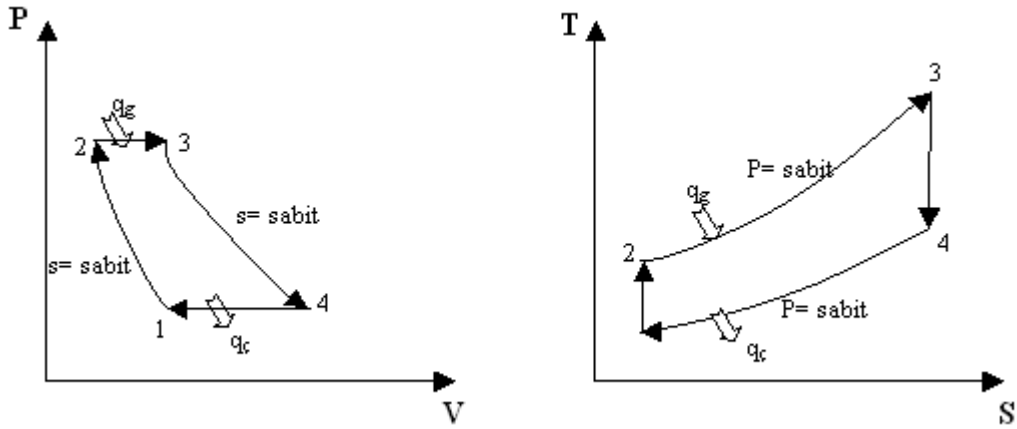
### 3.3. Brayton Çevrimi

Brayton 1873 yılında yağ yakıt ile çalışmak üzere sabit basınçta yanma, genişleme gibi özelliklere sahip bir motor geliştirmiştir. Brayton çevrimi günümüz gaz türbinlerinin teorik çevrimi olarak kullanılmaktadır. Termodinamik olarak ısı makinesi çevrimidir. Sistem içerisinde dolaşan basıncı düşürülmüş sıcak gazlar çevrimde sabit basınçta soğutulur ve tekrar 1. duruma getirilir ve 4 ile 1 arasında bir soğutucu vardır. Bu tip sistemler kapalı sistemlerdir. Bir diğeri ise açık sistemlerdir. Açık sistemler aşağıda Şekil 3.9'da görülmektedir. En basit çevrimdir.



Şekil 3.9: Açık sisteme göre çalışan gaz türbini

Basit bir gaz türbini, ortak bir mile monte edilmiş olan kompresör, türbin, yanma odası, ilk hareket düzeni ve çıkış gücünün iletilmesi için kullanılan bağlantılardan oluşur. Kompresör 1 numaralı noktadan atmosferik havayı alıp 2 noktasındaki basınca kadar yükselterek yanma odasına gönderir. Yanma odasında hava içerisine püskürtülen yakıtın yanması sabit basınçta ve sürekli olmaktadır. Yanma ürünü 3 numaralı kısımdan türbine girdikten sonra burada genişleyerek türbin kanatçıklarına çarpıp iş üretir. Daha sonra türbini terk eden gazlar 4 noktasından atmosfere atılır.



**Şekil 3.10: İdeal Brayton çevrimi P-v ve T-s diyagramları**

Brayton çevriminde iki izoentropik durum değiştirme ve iki de sabit basınçta durum değiştirme süreci bulunur. Brayton çevriminin ısı verimi,

$$\eta_B = \frac{W_{net}}{q_g} = \frac{q_g - q_c}{q_g} = 1 - \frac{q_c}{q_g} \text{ , dir veya } \eta_B = 1 - \frac{c_p (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} \text{ olur.}$$

$$\eta_B = 1 - \frac{T_1}{T_2} \text{ Bu formüle göre çevrimin verimi çıkış sıcaklığına (T}_2\text{) bağlıdır.}$$

$$\eta_B = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}} \text{ şeklinde de ifade edilebilir. Bu formüle göre ise çevrimin ısı}$$

verimi komple sıkıştırma oranına bağlıdır.

1-2 noktasında izoentropik işlem boyunca kompresörün işi,

$$-w_{kom} = -w_{1,2} = h_2 - h_1$$

Yanma odasında verilen ısı,

$$q_{giren} = q_{2,3} = h_3 - h_2$$

3-4 noktaları arasında türbin işi,

$$w_{türbin} = w_{3,4} = h_3 - h_4$$

Dışarıya atılan ısı,

$$q_{çıkış} = -q_{4,1} = h_4 - h_1 \text{ olur.}$$

Pozitif türbin işi ile negatif kompresör işi arasındaki fark net işi, sisteme verilen ısı ile sistemden alınan ısı arasındaki fark ise net ısıyı verir.

$$w_{net} = (h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)$$

$$q_{net} = (h_3 - h_2) - (h_4 - h_1)$$

$w_{net} = q_{net}$  ve çevrimin ısı verimi,

$$\eta_B = \frac{w_{net}}{q_g} = \frac{q_{net}}{q_g} \quad \text{veya} \quad \eta_B = 1 - \frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \text{ olur.}$$

Örneğin; Basit ideal Brayton çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma oranı  $P_2/P_1=10$ , kompresör girişinde havanın sıcaklığı  $288 \text{ }^\circ\text{K}$ , çevrimin maksimum sıcaklığı  $T_3=1300 \text{ }^\circ\text{K}$  olduğuna göre hava için verilen değerler doğrultusunda ( $C_p=1,0035\text{kJ/kgK}$ ,  $k=1,4$ )

a) Çevrimin net işini, Çevrimin verimini hesaplayınız.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k} = 10^{0,4/1,4} = 1,93 \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot 1,93 = 288 \cdot 1,93 \Rightarrow T_2 = 555,8\text{K}$$

$T_4 = \frac{T_3}{1,93} = \frac{1300}{1,93} \Rightarrow T_4 = 673,5\text{K}$  olur. Net iş türbin ve kompresör işlerine bağlı olduğundan

$$w_k = h_1 - h_2 = c_p \cdot (T_1 - T_2) = 1,0035 \cdot (288 - 555,8) \Rightarrow w_k = -268,7\text{kJ/kg}$$

Kompresöre bir hareket verebilmek için iş harcandığından sonuç negatiftir. Türbin işi,

$w_t = h_3 - h_4 = c_p \cdot (T_3 - T_4) = 1,0035 \cdot (1300 - 673,5) \Rightarrow w_t = 628,6\text{kJ/kg}$  olur ve net iş,

$$w_{net} = w_t + w_k = 628,6 + (-268,7) \text{ ise } w_{net} = 359,9 \text{ kJ/kg olur.}$$

Çevrimin verimi ise

$$\eta_{brayton} = 1 - \frac{1}{\left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k}} = 1 - \frac{1}{0,93} \Rightarrow \eta_{brayton} = 0,48 = \%48 \text{ bulunmuş olur.}$$

## UYGULAMA FAALİYETİ

İdeal gaz kanunları ile ilgili verilen hesaplama işlemlerini yapınız.

| İşlem Basamakları  | Öneriler   |
|--|--|
| <p>➤ Sıcaklığı 500 °K, hacmi ise 15 m<sup>3</sup> olan bir gaz, sabit basınçta 700 °K sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Gazın son hacmini hesaplayınız.</p>  | $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ <p>➤ formülünü kullanabilirsiniz.</p>  |
| <p>➤ 700 kPa basınçlı bir ortamda 30 m<sup>3</sup> gaz toplanmıştır. Bu gazın sıcaklığının ve miktarının aynı kalması koşulu ile 800 kPa'lık bir basınçta kaplayacağı hacmi hesaplayınız.</p>  | <p>➤ <math>P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2</math> formülünü kullanabilirsiniz.</p>   |
| <p>➤ Ölçüleri 4 m, 4,5 m ve 5 m olan bir odayı dolduran 150 kPa basınç ve 20 °C sıcaklıktaki havanın kütesini (m) hesaplayınız (Havanın gaz sabiti R= 0,287 kPam<sup>3</sup>/kgK).</p>   | <p>➤ T= °C+K<br/>         ➤ V= a.b.h<br/>         ➤ P.V= m.R.T formüllerini kullanabilirsiniz.</p>   |
| <p>➤ Bir otomobil lastiği şişirildiğinde gösterge basıncının 35 °C' de 130 kPa olduğu görülüyor. Hacmin sabit olduğu varsayılarak sıcaklık 20°C'ye düşürülürse (c<sub>v</sub> = 0,717 kJ/kgK) a) Isı kaybını, b) 20 °C'ye göre gösterge basıncını hesaplayınız.</p>                        | <p>➤ Sıcaklık değerlerini Kelvin cinsine çeviriniz.<br/>         ➤ <math>Q_{1,2} = c_v \cdot (T_2 - T_1)</math><br/>         ➤ <math>P_2 = P_1 \cdot \frac{T_2}{T_1}</math><br/>         ➤ <math>P_{\text{gösterge}} = P_{\text{mutlak}} - P_{\text{atm}}</math> formüllerini kullanabilirsiniz.</p> |
| <p>➤ Sürtünmeleri ve sızdırmaları yok sayılan bir piston silindir düzeneğinde 300 kPa basınçta bulunan 213 °K sıcaklıktaki 1 kg hava, izentropik olarak 623 °K sıcaklığa kadar sıkıştırıldığına göre bu işlem esnasında yapılan işi hesaplayınız (Hava için R= 0,287 kJ/ kg K, k=1,4).</p> | <p>➤ <math>w_{1,2} = \frac{R(T_2 - T_1)}{1 - k}</math> formülünü kullanabilirsiniz.</p>  |

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

| Değerlendirme Ölçütleri |  | Evet | Hayır |
|-------------------------|--|------|-------|
| 1                       | İdeal gaz kanunları ile ilgili hesaplamaları yaparak gazın son hacmini $V_2= 21 \text{ m}^3$ olarak hesaplayabildiniz mi?                    |      |       |
| 2                       | Gazların durum değişiklikleri ile ilgili hesaplamaları yaparak gazın kaplayacağı hacmi $V_2= 26,25 \text{ m}^3$ olarak hesaplayabildiniz mi? |      |       |
| 3                       | Havanın kütesini $m= 160,54 \text{ kg}$ olarak hesaplayabildiniz mi?   |      |       |
| 4                       | Isı kaybını $Q_{1,2}=10,75 \text{ kJ/kg}$ , gösterge basıncını $P_{\text{gösterge}}= 118,74 \text{ kPa}$ olarak hesaplayabildiniz mi?        |      |       |
| 5                       | Yapılan işi $w_{1,2} = -294,2 \text{ kJ/kg}$ olarak hesaplayabildiniz mi?  |      |       |

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Bir miktar helyum gazı bir balona 308 °K'de doldurulduğunda balonun hacmi 25 m<sup>3</sup> oluyor. Basıncın sabit olduğu bu ortamda sıcaklık 290 °K olduğunda balonun hacmi aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 21,25 m<sup>3</sup>  
B) 22,40 m<sup>3</sup>  
C) 23,54 m<sup>3</sup>  
D) 24,35 m<sup>3</sup>
2. Miktarı sabit bir gazın sabit bir hacimde sıcaklığı 25 °C'den 50 °C'ye çıkarıldığında basıncı ilk basınca göre değişimi aşağıdakilerden hangisidir?  
A) İki kat artar.  
B) Bir kat artar.  
C) Yarıya düşer.  
D) Değişmez.
3. Bir ideal gaz karışımının 500 kPa basınç ve 40 °C sıcaklıktaki hacmi 1,5 m<sup>3</sup>tür. Karışımın mol miktarı aşağıdakilerden hangisidir? ( $R_u=8,3143$  kJ/kmol K)  
A) 0,023 kmol  
B) 0,288 kmol  
C) 0,476 kmol  
D) 0,789 kmol
4. Hacmi 1,5 m<sup>3</sup> olan CO<sub>2</sub> gazı sabit basınçta 1400 °K sıcaklıktan 1900 °K sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Sistem verilen ısı ( $q_{1,2}$ ) aşağıdakilerden hangisidir? ( $C_p=0,8418$  kJ/kg°K)  
A) 226 kJ/kg  
B) 342 kJ/kg  
C) 394 kJ/kg  
D) 421 kJ/kg
5. Bir piston silindir düzeninde 200 kPa basınç, 303 °K sıcaklık ve 0,5 m<sup>3</sup> karbonmonoksit (CO) bulunan sistemin basıncı 900 kPa'ya ve sıcaklığı 800 °K'e kadar arttırılmaktadır. Sıkıştırma esnasında verilen iş 30 kJ olduğuna göre çevreye olan ısı transferi aşağıdakilerden hangisidir? (CO için  $c_v= 0,7445$ kJ/kgK,  $R= 0,29683$ )  
A) 324 kJ  
B) 412 kJ  
C) 548 kJ  
D) 642 kJ

6. İdeal bir Otto çevriminde  $P_1=100$  kPa,  $T_1=290$  °K,  $P_2=1300$  kPa,  $P_4=200$  kPa  $k=1,4$  olduğuna göre bu motorda sıkıştırma oranı ( $r$ ) aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 6,24  
B) 4,12  
C) 5,48  
D) 8,42
7. İdeal bir Otto çevriminde, net iş  $w_{net}=133,1$  kJ/kg ve giren ısı miktarı  $q_g = 421,1$  kJ/kg olduğuna göre bu çevrimin ısı verimi ( $\eta_{otto}$ ) aşağıdakilerden hangisidir?
- A) % 39  
B) % 48  
C) % 32  
D) % 62
8. İdeal bir dizel çevriminde  $P_1=100$  kPa,  $T_1=350$  °K,  $r = 20$ ,  $\rho = 2$  olduğuna göre çevrimin ısı verimi aşağıdakilerden hangisidir? ( $k=1,4$ )
- A) % 55  
B) % 80  
C) % 70  
D) % 65

**9 ve 10. soruları aşağıda verilen değerleri kullanarak çözünüz.**

Brayton çevrimine göre çalışan bir makinede kompresör girişinde havanın sıcaklığı  $T_1=300$  °K, kompresör ön sıkıştırma oranı  $P_2/P_1= 6$ , çevrimin max sıcaklığı  $T_3=1200$  °K'dir. ( $c_p=1,0035$ kJ/kgK,  $k=1,4$ )

9. Brayton çevriminin net işi aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 278,71 kJ/kg  
B) 325,43 kJ/kg  
C) 482,48 kJ/kg  
D) 542,63 kJ/kg
10. Brayton çevriminin verimi aşağıdakilerden hangisidir?
- A) % 30  
B) % 40  
C) % 50  
D) % 60

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.



# ÖĞRENME FAALİYETİ-4

## AMAÇ

Bu faaliyetin sonunda uygun ortam sağlandığında soğutucular ve ısı pompaları ile ilgili hesaplamaları tekniğine uygun, hatasız olarak yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Buzdolabı veya bir klimanın çalışma şeklini araştırınız.
- Isı kendiliğinden düşük sıcaklıktaki bir ortamdan daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama akabilir mi? Araştırınız.
- Otomobillerin içerisi yaz aylarında nasıl serinletilir? Araştırınız.
- Araştırma konusunda sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığınız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınızla paylaşınız.

## 4. SOĞUTUCULAR VE ISI POMPALARI

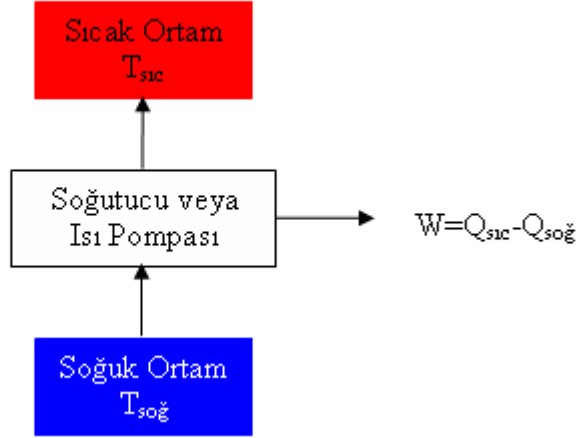
Termodinamiğin önemli uygulama alanlarından biri de soğutmadır. Soğutma, soğutma makineleri veya ısı pompaları ile gerçekleşir. Soğutmada kullanılan çevrimler ise soğutma çevrimleridir. Soğutma, düşük sıcaklıktaki bir ortamdan, yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçiştir. Isının, sıcaklığı düşük bir ortamdan çekilerek sıcaklığı daha yüksek bir ortama pompalamak için kullanılan makinelere soğutma makinesi, sıcaklığı yüksek bir ortamdan sıcaklığı daha düşük bir ortama pompalamak için kullanılan makinelere de ısı pompası denir. Her ikisi de aynı çevrime göre çalışır.

Soğutma çevriminde kullanılan çalışma maddesine **soğutucu akışkan** denir. En yaygın olarak kullanılan soğutma çevrimi buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimidir. Bu çevrimde aracı akışkan dönüşümlü olarak buharlaşır, yoğunur ve buhar fazındayken sıkıştırılır. En çok kullanılan soğutucu akışkanlar; Freon (Kloroflorokarbon), Freon-11 (R-11), R-12, R-22, R-134a ve R-502 gibi gazlardır.

Bir soğutma makinesi veya ısı pompasının ısıl değerlendirme tesir kat sayısı (etkinlik kat sayısı) ile yapılır.

Bu modül içerisinde soğutma makinesi için soğutma tesir kat sayısı kısaca  $\beta$  ve ısı pompası için ısıtma tesir kat sayısı kısaca  $\beta'$  ile gösterilir.

$W_{net} = -Q_{sic} + Q_{soğ}$  formülü ile bir ısı pompası ve soğutma makinesinin net işi hesaplanır (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1: Soğutma çevrimi uygulaması**

Soğutma makinesi ve ısı pompaları için etkinlik kat sayıları,

$$\beta = \frac{Q_{soğ}}{W_{net}} = \frac{Q_{soğ}}{Q_{su} - Q_{soğ}} \quad \text{ve} \quad \beta' = \frac{Q_{su}}{W_{net}} = \frac{Q_{su}}{Q_{su} - Q_{soğ}} \quad \text{eşitlikleri ile hesaplanır.}$$

Modülümüzün ikinci faaliyetinde ısı makinesi için Carnot çevrimi kullanılmıştı çünkü verilen sıcaklıklar arasında en yüksek ısı verime sahip bir çevrimdi.

Carnot çevrimi tersinir bir çevrim olduğundan hâl değişimleri ters yönde de olabilir. Bu da ısı ve iş etkileşimlerinin yönlerinin değişmesi anlamına gelir. Sonuç olarak bu çevrime de ters Carnot çevrimi denir.

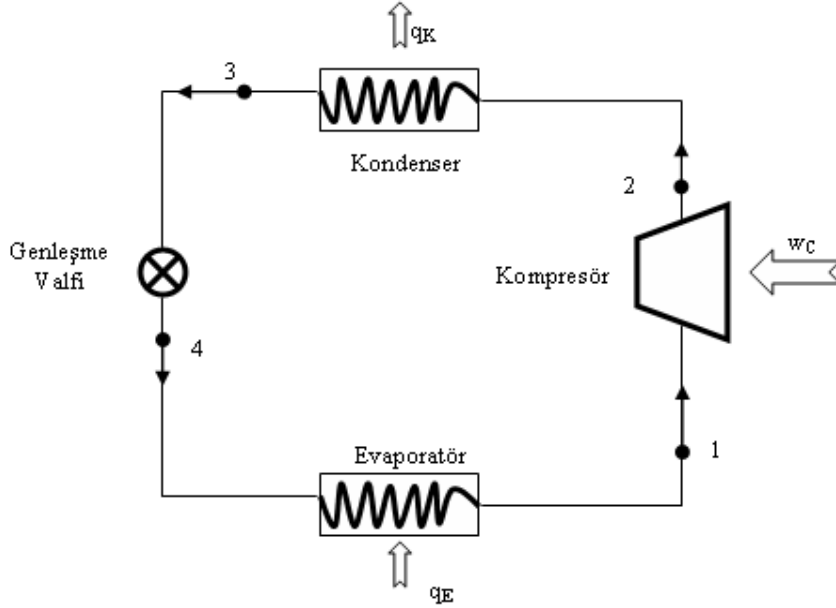
Ters Carnot çevrimine göre çalışan bir soğutma makinesi ve ısı pompasının etkinlik kat sayıları,

$$\beta = \frac{1}{\frac{T_{su}}{T_{soğ}} - 1} \quad \text{ve} \quad \beta' = \frac{1}{1 - \frac{T_{soğ}}{T_{su}}} \quad \text{olur.}$$

Carnot çevrimi soğutma çevrimleri için ideal bir model olamamıştır çünkü çevrimde iki fazlı akışkan ile çalışan kompresör gerektirir. Dolayısıyla Carnot çevrimi uygulamada gerçekleştirilememiştir.

## 4.1. Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimi

Carnot çevrimindeki güçlükler buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi ile aşılmıştır. Buhar sıkıştırılmalı çevrim soğutma makinelerinde, iklimlendirme sistemlerinde ve ısı pompalarında en çok kullanılan çevrimdir. Şekil 4.2'de soğutma ve ısıtma çevrimleri sisteminin çalışması için çevrimdeki hareketin ters yönde olduğu görülmektedir.



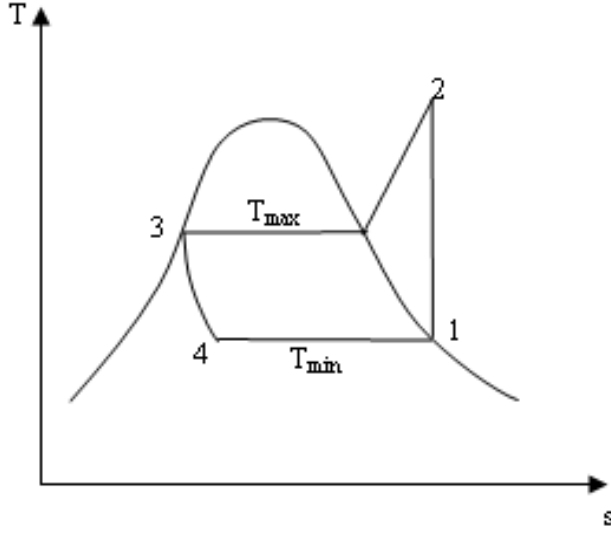
Şekil 4.2: Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi şeması

Bu çevrimde kullanılan elemanlar şunlardır:

- **Evaporatör (buharlaştırıcı):** Soğutucu akışkan, evaporatörden geçerken soğutulacak ortamın veya maddenin ısını çekerek buharlaştırır ve kompresöre gönderir.
- **Kompresör:** Soğutucu akışkan evaporatörde buharlaştıktan sonra kompresör tarafından basıncı ve sıcaklığı artırılarak kondensere basılır.
- **Kondenser (yoğuşturucu):** Soğutma sisteminde basıncı ve sıcaklığı yüksek olan soğutucu akışkanın ısının dış ortama atıldığı ısı değiştiricisidir.
- **Genleşme valfi:** Evaporatörde sabit basınç sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Bu çevrimde hâl değişiklikleri:

- 1–2 kompresörde izoentropik sıkıştırma
  - 2–3 yoğuşturucuda çevreye sabit basınçta ısı geçişi
  - 3–4 genişleme basıncının düşmesi
  - 4–1 buharlaştırıcıda akışkana sabit basınçta ısı geçişi
- Şekil 4.3'te soğutma çevrimi T-s diyagramı görülmektedir.



**Şekil 4.3: Buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin T-s diyagramı**

Soğutma çevriminde içinde sürekli akışın olduğu elemanlar yer alır. Dolayısıyla çevrimi oluşturan dört hâl değişimi de sürekli akışlı açık sistemdir. Soğutucu akışkanın kinetik ve potansiyel enerjileri iş ve ısı miktarına göre ihmal edilebilir. Buna göre çevrim için Termodinamiğin I. Kanunu yazılırsa  $q_{gç} + h_g = w_{gç} + h_ç$  eşitliği elde edilir.

$$\begin{aligned} \text{Kompresör için:} \quad w_C &= h_2 - h_1 \\ \text{Kondenser için:} \quad q_k &= h_3 - h_2 \\ \text{Genleşme valfi için:} \quad h_4 &= h_3 \\ \text{Evaporatör için:} \quad q_E &= h_1 - h_4 \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{q_{soğ}}{w_{net}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Bu eşitliklere göre çevrime göre soğutma tesir kat sayısı için eşitliği elde edilir.

$$\beta' = \frac{q_{su}}{w_{net}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \text{ eşitliği elde edilmiş olur.}$$

Buhar sıkıştırımlı ideal soğutma çevrimleri ile ilgili hesaplamalar yapılırken soğutucu akışkanın verilen şartlara göre hâl değişimlerindeki entalpileri, entropileri, iç enerji değerleri ilgili akışkana ait tablolardan elde edilir.

## UYGULAMA FAALİYETİ

Soğutucular ve ısı pompaları ile ilgili verilen hesaplama işlemlerini yapınız.

| İşlem Basamakları   | Öneriler  |
|---|---|
| <p>➤ Bir evi ısıtmak için ısı pompası kullanılmaktadır. Dış sıcaklığın <math>-2^{\circ}\text{C}</math> olduğu bir zamanda evin ısı kaybı <math>80000\text{ kJ/saattir}</math>. Evin iç sıcaklığı <math>20^{\circ}\text{C}</math>'dir. Isı pompasının etkinlik kat sayısı bu koşullarda <math>2,5</math> ise ısı pompasının tükettiği gücü hesaplayınız.</p>   | <p>➤ <math>\beta = \frac{Q_{soğ}}{W_{net}}</math><br/>formülünü kullanabilirsiniz.</p>  |
| <p>➤ Bir buzdolabının iç ortamından dakikada <math>360\text{ kJ}</math> ısı çekilerek iç ortam sıcaklığı <math>4^{\circ}\text{C}</math>'de tutulmaktadır. Buzdolabını çalıştırmak için gerekli güç <math>2\text{ kW}</math> olduğuna göre buzdolabının soğutma tesir kat sayısını ve buzdolabından mutfığa olan ısı geçişini hesaplayınız.</p>  | <p>➤ <math>\beta = \frac{Q_{soğ}}{W_{net}}</math><br/>➤ <math>Q_{soğ} = Q_{sic} - W_{net}</math><br/>formüllerini kullanabilirsiniz.</p>  |
| <p>➤ İdeal soğutma çevriminde kompresöre <math>-30^{\circ}\text{C}</math>'da giren doymuş Freon-12, <math>800\text{ kPa}</math> basınca kadar izoentropik sıkıştırılarak kondenserde sabit sıcaklıkta yoğuşturulmakta ve ardından genişleme valfinden geçerek evaporatöre gitmektedir. Akışkanın debisi <math>0,07\text{ kg/sn}</math>. olduğuna göre çevrimin soğutma tesir kat sayısını hesaplayınız.</p> | <p>➤ <math>-30^{\circ}\text{C}</math>'deki doymuş soğutucu akışkan Freon-12 sıcaklık tablolarından <math>P_1=100,41\text{ kPa}</math>, <math>h_1=174,20\text{ kJ/kgK}</math>, <math>s_1=0,7170\text{ kJ/kg}</math> <math>s_2=s_1</math> olduğundan <math>P_2=800\text{ kPa}</math>'da <math>s_2=0,7170\text{ kJ/kgK}</math> için kızgın Freon-12 tablolarından yaklaşık olarak <math>T \approx 40^{\circ}\text{C}</math> ve <math>h_2=206,07\text{ kJ/kg}</math> bulunur. <math>P_3=800\text{ kPa}</math>'daki doymuş sıvının sıcaklığı ve entalpisi; <math>T_3=32,74^{\circ}\text{C}</math>, <math>h_3=67,30\text{ kJ/kg}</math> olur. Genleşme sürecinde entalpi sabit olduğundan <math>h_4=h_3=67,30\text{ kJ/kg}</math> olduğunu kontrol ediniz.</p> <p>➤ <math>\beta = \frac{q_{soğ}}{w_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}</math><br/>formülünü kullanabilirsiniz.</p> |
| <p>➤ Evaporatörden birim zamanda çekilen ısıyı hesaplayınız.</p>  | <p>➤ <math>q_{4,1} = h_1 - h_4</math><br/>➤ <math>\dot{Q}_{soğ} = \dot{m} \cdot q_{4,1}</math><br/>formüllerini kullanabilirsiniz.</p>  |

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

| Değerlendirme Ölçütleri |   | Evet | Hayır |
|-------------------------|---|------|-------|
| 1                       | Isı pompasının tükettiği gücü $W_{net} = 8,9kW = 32000kJ / saat$ olarak hesaplayabildiniz mi?   |      |       |
| 2                       | Buzdolabının soğutma tesir kat sayısı $\beta = 3$ ve buzdolabından mutfığa olan ısı geçişini $Q_{soğ} = 48000 kJ/saat$ olarak hesaplayabildiniz mi? |      |       |
| 3                       | Soğutucu akışkan tablolarına gerekli kaynaklardan ulaşabildiniz mi?   |      |       |
| 4                       | İdeal soğutma çevriminin soğutma tesir kat sayısını $\beta = 3,35$ olarak hesaplayabildiniz mi?   |      |       |
| 5                       | Evaporatörden birim zamanda çekilen ısıyı $\dot{Q}_{soğ} = 7,48kW$ olarak hesaplayabildiniz mi?   |      |       |

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

- 450 watt gücünde ve soğutma tesir kat sayısı 2,5 olan bir buzdolabı her biri 10 kg ağırlığında olan 5 karpuzu 8 °C sıcaklığa kadar soğutacaktır. Karpuzların başlangıçtaki sıcaklığı 20 °C olduğuna göre istenen sıcaklığa ne kadar zamanda getirilebilir? (Karpuzun özgül ısısı suyun özgül ısısına eşit alınabilir.  $c_{su} = 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ ).  
A) 1200 sn.  
B) 1670 sn.  
C) 2050 sn.  
D) 2240 sn.
- Bir evi ısıtmak için ısı pompası kullanılmaktadır. Evin içi sürekli olarak 21°C sıcaklıkta tutulmaktadır. Dışarıdaki sıcaklık -5 °C iken evin ısı kaybı 135000 kJ/saattir. Verilen şartlarda ısı pompasını çalıştırmak için gerekli olan güç aşağıdakilerden hangisidir?  
A) 3,32 kW  
B) 3,40 kW  
C) 3,02 kW  
D) 4,42 kW
- Carnot soğutma çevrimine göre kompresöre -15 °C’de giren Freon-12 akışkanı 25°C’ye kadar izoentropik olarak sıkıştırıldıktan sonra kondenserde yoğunlaştırılmakta ve genleşme valfinden geçerek evaporatöre gitmektedir. Çevrimin soğutma tesir kat sayısı nedir?  
A) 4,23  
B) 6,70  
C) 6,45  
D) 5,45
- Isının sıcaklığı düşük bir ortamdan çekilerek sıcaklığı daha yüksek bir ortama pompanlaması için kullanılan makine aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Isı pompası  
B) Kompresör  
C) Soğutma makinesi  
D) Isı makinesi
- Aşağıdakilerden hangisi buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde kullanılan elemanlardan biri değildir?  
A) Genleşme valfi  
B) Türbin  
C) Evaporatör  
D) Kondenser

**6 ve 7. soruları aşağıda verilen bilgi ve verilerden yararlanarak doğrultusunda çözüünüz.**

İdeal buhar sıkıştırımalı çevrime göre çalışan bir soğutma makinesinde soğutucu akışkan olarak Freon-12 kullanılmaktadır. Sistemde buharlaştırıcı basıncı 0,14 MPa, yoğuşturucu basıncı 0,8 MPa, soğutucu akışkanın kütle debisi 0,05 kg/saattir.

6. Soğutulan ortamdan çekilen ısı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 5,53 kW
  - B) 6,12 kW
  - C) 6,78 kW
  - D) 7,25 kW
7. Soğutma makinesinin tesir kat sayısı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 1,4
  - B) 2,5
  - C) 2,8
  - D) 3,6

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.



# ÖĞRENME FAALİYETİ-5

## AMAÇ

Bu faaliyetin sonunda uygun ortam sağlandığında buharlaşma ile ilgili hesaplamaları tekniğine uygun, hatasız olarak yapabileceksiniz.

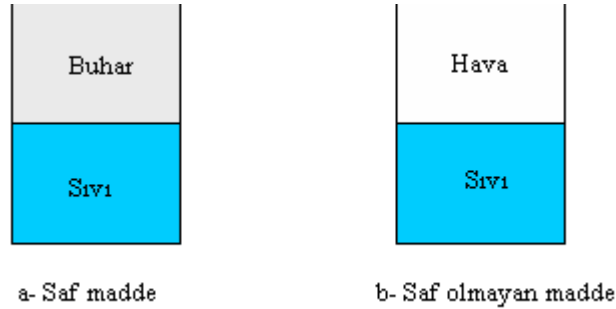
## ARAŞTIRMA

- Saf madde ve saf madde fazları ile ilgili bilgi toplayınız.
- Buharlaşma ile ilgili bilgi toplayınız.
- Kolonya dökülen elin serinlemesi, karpuzun kesilip güneşe bırakıldığında daha soğuk olması, toprak testide suyun uzun süre soğuk kalması vb. olayların nedenlerini araştırınız.
- Araştırma konusunda sanal ortamda ve ilgili sektörde kaynak taraması yapınız.
- Yaptığınız araştırmayı rapor hâline getiriniz.
- Hazırladığınız raporu sınıftaki arkadaşlarınızla paylaşınız.

## 5. BUHARLAŞMA

Sıvı fazdaki moleküller arasında bir çekim kuvveti vardır. Dışarıdan yeterli miktarda enerji verilmek suretiyle sıvı fazdaki moleküller arası çekim kuvvetleri zayıflar ve bu moleküller buhar fazına geçer. Bu olaya buharlaşma denir.

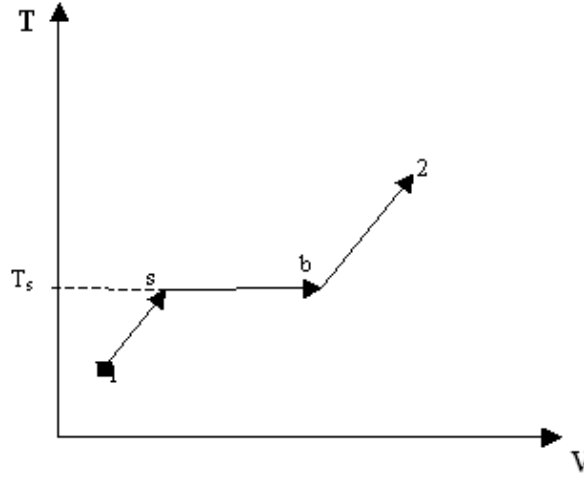
Kimyasal yapısı her noktasında aynı ve değişmeyen maddelere saf madde denir. Su, azot, helyum, karbondioksit birer saf maddedir.



Şekil 5.1: Saf ve saf olmayan madde

Şekil 5.1’de saf ve saf olmayan maddelere ilişkin karışım örnekleri verilmiştir. Maddeler değişik sıcaklıklarda katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç fazda bulunur.

Kapalı bir kapta bulunan suyu sabit basınçta ısıtma işlemine tabi tutarsak özelliklerdeki değişmeyi Şekil 5.2’deki T-v diyagramından görebiliriz. Dışarıdan ısı verildiğinde suyun sıcaklığı ve daha sonra az da olsa özgül hacmi artar. Bu, buhar üretimi başlayıncaya kadar devam eder. Buhar üretimi başladığında (s) sıcaklık artışı durur. Özgül hacim artar ve verilen ısı buhar üretimine gider. Sıvının tamamı buhar oluncaya kadar sıcaklık sabit kalır (b). Isı verilmeye devam ederse sıcaklık tekrar yükselir.

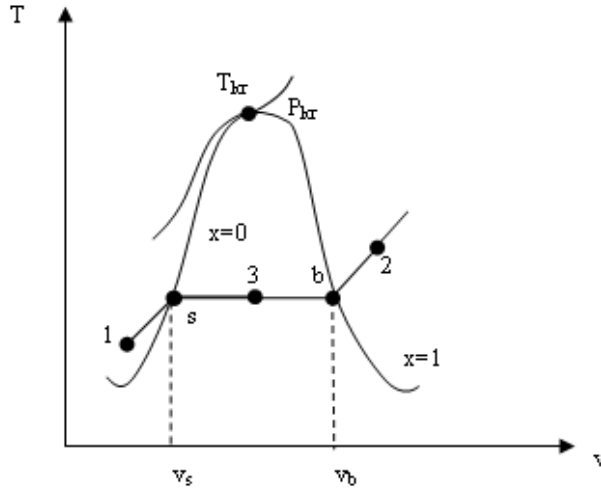


Şekil 5.2: Sabit basınçta ısıtma işlemi

Sahip olduğu basınca göre tam buharlaşmaya hazır olan sıvıya (s) doymuş sıvı, buharlaşmanın henüz tamamlandığı andaki buhara (b) doymuş buhar, aynı basınçta buharlaşmanın başladığı sıcaklık ( $T_s$ ) doyma sıcaklığıdır. Isı verilmeye devam edilirse sahip olduğu basınçta doyma sıcaklığından daha sıcak buhara kızgın buhar (2) denir.

1 noktasındaki sıvı aşırı soğutulmuş sıvıdır. Basıncı değişmeden sıcaklığı artırılırsa doymuş sıvı hâline gelir. (s), (b) arasında sıvı ve buhar bir arada bulunur. Sıvı, doymuş sıvı ve buhar da doymuş buhar özelliğindedir. (s), (b) arası ıslak buhar bölgesidir.

Basınç artırılırsa doyma sıcaklığı yükselir. Basınç çok daha fazla artırılırsa yani sıvının buharlaştırılamayacağı kadar artırılırsa bu basınca kritik basınç ( $P_{kr}$ ) denir. Şekil 5.3’te görülmektedir.



**Şekil 5.3: Su buharının T- v diyagramı**

Şekil 5.3'teki 3 noktasında ıslak buhar vardır. Islak buhar bölgesinde buhar kütesinin toplam kütleyle oranı kuruluk derecesi olarak tanımlanır. Kuruluk derecesi,

$$x = \frac{m_b}{m} \text{ eşitliği ile hesaplanır.}$$

Özgül hacim ise  $v = \frac{V}{m}$  dir. Dolayısıyla sıvının ve buharın hacmi,

$$V_b = m_b \cdot v_b \quad \text{ve} \quad V_s = m_s \cdot v_s \text{ olur. Dolayısı ile hacim,}$$

$$V = m \cdot v = x \cdot m \cdot v_b + (1-x) \cdot m \cdot v_s \quad \text{eşitliğinden}$$

$v = v_s + x \cdot (v_b - v_s)$  denklemini elde edilir. Bu denklemde doymuş sıvı ( $v_s$ ) ve doymuş buhar ( $v_b$ ) değerleri buhar tablolarından alınabilir.

## 5.1. Buharlaşma Isısı

1 kg suyu kaynama noktasında buhar hâline dönüştürmek için gerekli olan ısıya buharlaşma ısısı denir. Buharlaşma ısısı,

$$h_{sb} = h_b - h_s \quad \text{formülü ile hesaplanır.}$$

Burada  $h_b$ , doymuş kuru buhar entalpisidir;  $h_s$ , doymuş suyun entalpisidir.

## 5.2. Buharlaşma S¼recinde İç Enerji Değişimi

Verilen bir basınçta kaynama noktasına kadar ısıtılmış olan suya ısı verilmeye devam edilirse buharlaşmanın başlayacağını belirtmiştik. Buharlaşma sırasında son damla su da buharlaşıncaya kadar sıcaklık sabit kalır. Bu son durumda kuru doymuş buhar elde edilmiş olur.

Kuru doymuş buharın i enerjisi,

$u_b = u_s + u_{sb}$  eşitliği ile hesaplanır.

Entalpisi,  $h_b = h_s + h_{sb}$  eşitliği ile hesaplanır.

Entropisi,  $s_b = s_s + s_{sb}$  eşitliği ile hesaplanır.

Islak buharın (doymuş su- buhar karışımı) i enerjisi,

$u_x = u_s + u_{sb} \cdot x$  eşitliği ile hesaplanır.

Entalpisi,  $h_x = h_s + h_{sb} \cdot x$  eşitliği ile hesaplanır.

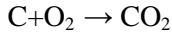
Entropisi,  $s_x = s_s + s_{sb} \cdot x$  eşitliği ile hesaplanır.

## 5.3. Yanma Isısı

Yandığı zaman çevreye enerji veren maddelere yakıt denir. Yakıtın oksijenle birleştiği ve b¼y¼k miktarda enerjinin açığa çıktığı kimyasal reaksiyona yanma denir. Yanma sırasında yakıtı oluşturan hidrojen ve karbon, havanın oksijeni ile birleşerek ısı açığa çıkarır. Oksijenin yeterli derecede olması h¼linde tam yanma olur.

Yakıtlardaki esas yanıcı elementler karbon (C) ve hidrojen (H<sub>2</sub>)dir. Az miktarda k¼k¼rt de (S) bulunabilir. Yanmayan elementler ise azot (nitrojen), su ve k¼ld¼r.

Yanma işlemi sırasında kimyasal reaksiyondan ¼nce var olan maddelere yanma işlemine girenler, reaksiyon sonrası oluşan maddelere de yanma işleminden çıkanlar veya yanma sonu ¼r¼nleri denir. ¼rneđin 1 kmol karbonun 1 kmol oksijenle yanması sonucunda karbondioksit (CO<sub>2</sub>) oluşur.



Burada C ve O<sub>2</sub>ye yanma işlemine girenler, CO<sub>2</sub> ise yanma işleminden çıkanlar denir. Bir kimyasal reaksiyon sırasında her elementin k¼tlesi sabit kalır. Yukarıdaki denklemin her iki tarafında 12 kg C ve 32 kg oksijen vardır. Ayrıca yanma işlemine girenlerin toplam k¼tlesi 44 kg'dır. Yanma sonu ¼r¼nlerinin toplam k¼tlesine eşitir.

Yanma işlemlerinde hava ve yakıtın miktarlarını belirlemek için sıklıca kullanılan oran, hava yakıt oranıdır (HY). Yanma işleminde hava k¼tlesinin yakıt k¼tlesine oranı olarak

tanımlanır. Matematiksel olarak  $HY = \frac{m_{yakt}}{m_{hava}}$  şeklinde ifade edilir. Bir maddenin k¼tlesi m

ile mol miktarı n arasındaki ilişki  $m = n \cdot M$  ifadesi ile verilir. M, mol k¼tlesidir.

H¼l değişimleri sırasında kimyasal reaksiyonlar mevcut ise sistemin ilk h¼ldeki kimyasal bileşimiyle son h¼ldeki bileşimi farklıdır. Bu durumda t¼m maddeler için standart

bir referans hâlinin belirlenmesi gerekir. Bu hâl, standart referans hâli diye bilinen 25 °C ve 1 atmosferdir.

Yanma işlemi esnasında çevreye ısı geçişi olur. Yanma kimyasal bir olaydır ve kimyasal tepkimelerde yanma ısısı, yanma entalpisine eşittir.

$Q = H_{yic} - H_{yig}$  eşitliği ile ifade edilir. Burada  $H_{yic}$  yanma işleminden çıkanların entalpisini ve  $H_{yig}$  yanma işlemine girenlerin entalpisidir.

Yanma entalpisini, belirli bir basınç ve sıcaklıkta, 1 kmol (veya 1 kg) yakıtın sürekli akışlı bir açık sistemde yanması sonunda açığa çıkan ısı enerjisiyle eşittir ve belirtilen entalpiler ise  $H_{yic} = n_{yic}$  ve  $H_{yig} = n_{yig} \cdot h_{sb}$  formülleri ile hesaplanır. Burada “n” 1 kg yakıt için yanma sonu ürünleri içerisindeki mol miktarını ve “ $h_{sb}$ ” ise suyun verilen sıcaklıktaki buharlaşma entalpisini göstermektedir.

#### 5.4. Termal Enerji, Füzyon ve Buharlaşma Gizli Isıları

Buharlaşma sabit basınçta yapılan bir işlem olduğundan 1 kg sıvı için Termodinamiğin 1. Kanunu uygulanırsa  $\Delta q = \Delta h - v \cdot \Delta P = \Delta h$  olur.

Doymuş sıvının doymuş buhar olması sırasında ısı verilmesine rağmen sıcaklık sabit kalmıştır. Dolayısıyla “ $q_{sb}$ ” gizli ısıdır (Şekil 5.3). Buharlaşma gizli ısısı ise  $q_{bs} = h_b - h_s = h_{sb}$  formülü ile hesaplanır.

Buharlaşma esnasındaki toplam ısı miktarı  $q_{1,2} = h_2 - h_1 = c_{ps} \cdot (T_s - T_1) + h_{sb} + c_{pb} \cdot (T_2 - T_s)$  eşitliği ile hesaplanır.

## UYGULAMA FAALİYETİ

Buharlaştırma ile ilgili verilen hesaplama işlemlerini yapınız.

| İşlem Basamakları   | Öneriler   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hacmi 0,5 m<sup>3</sup> olan ıslak buharın kuruluk derecesi 0,9 ve basıncı da 10 bar'dır. Islak buharın kütleini hesaplayınız.</li> <li>➤ <math>v_s = 0,001127 \text{ m}^3/\text{kg}</math>, <math>v_b = 0,19444 \text{ m}^3/\text{kg}</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Doymuş buhar basınç tablosunu kullanınız.</li> <li>➤ Doymuş buhar basınç tablolarından 10 bar basınç için <math>v_s</math> ve <math>v_b</math> değerlerini kontrol ediniz.</li> <li>➤ <math>v_{sb} = v_b - v_s</math></li> <li>➤ <math>v_x = v_s + x \cdot v_{sb}</math></li> <li>➤ <math>m = \frac{V}{v_x}</math></li> </ul> <p>formüllerini kullanabilirsiniz.</p>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Islak buharın entalpisini hesaplayınız.</li> <li>➤ <math>h_s = 762,81 \text{ kJ/kg}</math>, <math>h_{sb} = 2015,3 \text{ kJ/kg}</math></li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Doymuş buhar basınç tablolarından 10 bar basınç için <math>h_s</math> ve <math>h_{sb}</math> değerlerini kontrol ediniz.</li> <li>➤ <math>h_x = m \cdot (h_s + x \cdot h_{sb})</math> formülünü kullanabilirsiniz.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bir aşırı kızdırma ünitesindeki buharın basıncı <math>P_1 = 80 \text{ bar}</math>, kuruluk derecesi 0,95 koşullarında iken sabit basınçta ısıtılarak 500 °C sıcaklığa getirilmiştir. 1 kg buhar için harcanan ısıyı hesaplayınız.</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Doymuş buhar basınç tablolarından 80 bar basınç için <math>h_s = 1316,64 \text{ kJ/kg}</math> ve <math>h_{sb} = 1441,3 \text{ kJ/kg}</math> kızgın buhar tablolarından 80 bar basınçta ve 500 °C sıcaklığındaki buharın entalpisinin <math>h = 3398,3 \text{ kJ/kg}</math> olduğunu kontrol ediniz.</li> <li>➤ Islak buhar entalpisini</li> <li>➤ <math>h_x = h + x \cdot h_{sb}</math> ve harcanan ısıyı</li> <li>➤ <math>q = h - h_x</math></li> <li>➤ formüllerini kullanabilirsiniz.</li> </ul> |

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

| Değerlendirme Ölçütleri |   | Evet | Hayır |
|-------------------------|---|------|-------|
| 1                       | Buhar tablolarına gerekli kaynaklardan ulaşabildiniz mi?                  |      |       |
| 2                       | Islak buhar kütleini $m = 2,85$ kg olarak hesaplayabildiniz mi?           |      |       |
| 3                       | Islak buharın entalpisini $h_x = 7358,7$ kJ olarak hesaplayabildiniz mi?  |      |       |
| 4                       | Buhar için harcanan ısıyı $q = 712,43$ kJ/kg olarak hesaplayabildiniz mi? |      |       |

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Kimyasal yapısı her noktasında aynı ve değişmeyen maddeler aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Katı madde  
B) Sıvı madde  
C) Saf madde  
D) Gaz
2. Sahip olduğu basınca göre tam buharlaşmaya hazır olan sıvı aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Doymuş sıvı  
B) Doymuş buhar  
C) Kızgın buhar  
D) Aşırı soğumuş sıvı
3. Islak buhar bölgesinde buhar kütlelerinin toplam kütleyle oranı aşağıdakilerden hangisi ile tanımlanır?  
A) Kritik basınç  
B) Doyma sıcaklığı  
C) Gizli ısı  
D) Kuruluk derecesi
4. 1 kg suyu kaynama noktasında buhar hâline dönüştürmek için gerekli olan ısı aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Yanma ısısı  
B) Buharlaşma ısısı  
C) Erime ısısı  
D) Kaynama ısısı
5.  $T=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $v = 0,17\text{ m}^3/\text{kg}$  olan doymuş buharın aşağıda verilen tablo değerleri doğrultusunda kuruluk derecesi aşağıdakilerden hangisidir? ( $T=1800\text{ }^{\circ}\text{C}$  için doymuş buhar – sıcaklık tablolarından  $v_s= 0,001127\text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $v_b= 0,19405\text{ m}^3/\text{kg}$ )  
A) 0,88  
B) 0,84  
C) 0,80  
D) 0,76



**6 ve 7. soruyu aşağıda verilen değerler doğrultusunda çözünüz.**

Başlangıçta 2 bar basınç ve 60 °C’de bulunan 2,5 kg su sabit basınçta ısıtılarak kızgın buhar hâline getiriliyor.

(2 bar basınçta kızgın buhar tablolarından  $h_1= 251,2$  kJ/kg ve  $h_2= 2910,8$  kJ/kg, 2 bar basınç için doymuş buhar tablolarından  $h_s=504,7$  kJ/kg ve  $h_b=2706,3$  kJ/kg şeklinde verilmektedir.).

6. Verilen ısı miktarı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 1403,4 kJ/kg
  - B) 2147,8 kJ/kg
  - C) 2659,6 kJ/kg
  - D) 2986,5 kJ/kg
7. Buharlaşma gizli ısısı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 1387,2 kJ/kg
  - B) 2201,6 kJ/kg
  - C) 3457,5 kJ/kg
  - D) 3758,6 kJ/kg

**DEğERLENDİRME**

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme”ye geçiniz.

# MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Bir otomobilin egzoz gazı sıcaklığı 500 0C okunmuştur. Bu sıcaklığın °K karşılığı kaçtır?  
A) 227 K  
B) 273 K  
C) 773 K  
D) 823 K
2. Bir motorda yakıtın yanması ile sağlanan ısı enerjisi 400 kW'dır. Egzoz ve soğutma suyundan oluşan ısı kayıpları 150 kW'dır. Sistemde iç enerji değişimi yoktur. Sürtünme kayıpları ise ihmal edilebilir. Buna göre motordan alınan güç ne kadardır?  
A) 200 kW  
B) 250 kW  
C) 300 kW  
D) 350 kW
3. Bir Carnot ısı makinesi yüksek sıcaklıktaki bir ısı enerjisi deposundan 500 kJ ısı almakta ve 17 °C sıcaklıktaki bir ısı enerjisi deposuna 200 kJ ısı vermektedir. Isı makinesinin ısı verimi nedir?  
A) % 60  
B) % 65  
C) % 70  
D) % 75
4. Bir Brayton çevriminde gazın kompresöre giriş basıncı 1 bar ve sıcaklığı 27 °C'dir. Bu gaz kompresörde 5 bar basınca kadar sıkıştırılıyor. Çevrimin en büyük sıcaklığı 627 °C olduğuna göre çevrimin ısı verimi ( $\eta_b$ ) aşağıdakilerden hangisidir? (Hava için  $c_p=1$  kJ/kg K,  $c_v=0,7$  kJ/kgK,  $k=1,4$ )  
A) % 32  
B) % 34  
C) % 36  
D) % 38
5. Tesir kat sayısı 1,8 olan bir ısı pompası bir eve 75000 kJ/h ısı vermektedir. Isı pompasının çevre havadan çektiği ısı kaçtır?  
A) 25536 kJ/h  
B) 33348 kJ/h  
C) 38367 kJ/h  
D) 41666 kJ/h

6. Kapalı bir kap içinde 2 bar basınçta, 120 °C sıcaklıkta 2 kg su (su-buhar karışımı) bulunmaktadır. Kapın hacmi 20 litre olduğuna göre aşağıda verilen tablo değerleri doğrultusunda entalpisi ne olur? (Doymuş buhar basınç tablolarından 2 bar basınç için  $T=120\text{ °C}$ ,  $v_s=0,00106\text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $v_b=0,885\text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $h_s=504,7\text{ kJ/kg}$  ve  $h_b=2706,3\text{ kJ/kg}$  değerleri verilmiştir.).
- A) 526,7 kJ/kg  
B) 458,6 kJ/kg  
C) 346,3 kJ/kg  
D) 216,6 kJ/kg

### DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

|   |   |
|---|---|
| 1 | C |
| 2 | D |
| 3 | A |
| 4 | B |
| 5 | A |
| 6 | D |
| 7 | C |

## ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

|   |   |
|---|---|
| 1 | C |
| 2 | B |
| 3 | D |
| 4 | A |
| 5 | B |
| 6 | C |

## ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARI

|    |   |
|----|---|
| 1  | C |
| 2  | A |
| 3  | B |
| 4  | D |
| 5  | B |
| 6  | A |
| 7  | C |
| 8  | D |
| 9  | A |
| 10 | B |

## ÖĞRENME FAALİYETİ-4'ÜN CEVAP ANAHTARI

|   |   |
|---|---|
| 1 | D |
| 2 | A |
| 3 | C |
| 4 | C |
| 5 | B |
| 6 | A |
| 7 | D |

### ÖĞRENME FAALİYETİ-5'İN CEVAP ANAHTARI

|   |   |
|---|---|
| 1 | C |
| 2 | A |
| 3 | D |
| 4 | B |
| 5 | A |
| 6 | C |
| 7 | B |

### MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

|   |   |
|---|---|
| 1 | C |
| 2 | B |
| 3 | A |
| 4 | D |
| 5 | B |
| 6 | A |

## KAYNAKÇA

- ÇENGEL Yunus, A. MICHAEL, A. BOLES, **Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik**, Mc Graw Hill- Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1999.
- ÇETİNKAYA Selim, **Termodinamik ve İçten Yanmalı Motorlar**, Genç Büro Basımevi, Ankara, 2000.
- DAĞSÖZ Alpin Kemal, **Isı Geçişi**, Beta Basım Yayın, İstanbul, 1995.
- UYARER Yücel Ali, Mehmet ÖZKAYMAK, **Termodinamik**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 2003.
- YÜNCÜ Hafit, Sadık KAKAÇ, **Temel Isı Transferi**, Özkan Matbaacılık, Ankara, 1999.
- <http://tr.wikipedia.org> (04.10.2011/13.00)
- <http://www.aof.edu.tr/kitap/EHSM/1222/unite05.pdf> (04.10.2011/13.00)
- [www.obitet.gazi.edu.tr](http://www.obitet.gazi.edu.tr) (04.10.2011/13.00)