T.C.
MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI

MEGEP

(MESLEKÎ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ)

MOTORLU ARAÇLAR TEKNOLOJİSİ

TERMODİNAMİK KANUNLAR ve GAZLAR

ANKARA 2006

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).
- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.
- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.
- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşılabilirler.
- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.
- Modüller hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz ve ücret karşılığında satılamaz.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER i
AÇIKLAMALAR iv
GİRİŞ 1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 3
1. TERMODİNAMİK 3
1.1. Termodinamiğin Tanımı ve Enerji 3
1.1.1.Boyutlar ve Birimler 5
1.1.2.Termodinamik Sistem 7
1.1.3 Enerjinin Biçimleri 11
1.1.4 Sistemin Özellikleri 11
1.1.5. Hal (Durum), Denge, Hal Değişimi ve Çevrim 12
1.2 Isı ve Sıcaklık 14
1.2.1 Tanımı 14
1.2.2 Isı ve Özgül Isı 16
1.2.3 Isı Geçişi 20
1.2.4 Sıcaklık ve Mutlak Sıcaklık 26
1.2.5 Sıcaklık Ölçümü ve Termometreler 29
1.2.6 Isı Miktarının Ölçümü ve Kalorimetreler 31
UYGULAMA FAALİYETİ 34
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 42
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 47
2. AĞIRLIK 47
2.1. Tanımı 47
2.1.1 Birimleri 48
2.2 Özgül Ağırlık 49
2.2.1 Tanımı 49
2.3 Yerçekimi İvmesi 49
2.3.1 Tanımı 49
UYGULAMA FAALİYETİ 52
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 54
ÖĞRENME FAALİYETİ-3 56
3. KÜTLE 56
3.1. Tanımı 56
3.2 Birimleri 56
3.3 Özgül Kütle 57
3.3.1 Tanımı 57
UYGULAMA FAALİYETİ 60
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 62
ÖĞRENME FAALİYETİ-4 64
4. HACİM 64
4.1. Tanımı 64
4.1.1. Birimleri 64

4.2 Özgül Hacim 64
4.2.1 Tanımı 64
Uygulama Faaliyeti 67
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 69
ÖĞRENME FAALİYETİ-5 71
5. BASINÇ 71
5.1. Tanımı 71
5.1.2 Açık Hava Basıncı 72
5.1.3 Kapalı Kaplardaki Gaz Basıncı 73
5.1.4 Birimleri 76
UYGULAMA FAALİYETİ 79
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 85
ÖĞRENME FAALİYETİ–6 88
6. İDEAL GAZ KANUNLARI 88
6.1 Tanımı 88
6.1.1 Özellikleri 89
6.1.2 Gaz Sabiti 89
6.1.3 Mol Sayısı 91
6.1.4 Evrensel Gaz Sabiti 92
6.1.5 Özgül Isınma Isısı 92
6.1.6 Molekül kütlesi 92
6.2 Boyle-Mariotte Kanunu 94
6.2.1 Tanımı 94
UYGULAMA FAALİYETİ 97
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 101
ÖĞRENME FAALİYETİ-7 105
7. GAY-LUSSAC SABİT BASINÇ KANUNU 105
7.1 Tanımı 105
Uygulama Faaliyeti 108
Ölçme Ve Değerlendirme 111
ÖĞRENME FAALİYETİ-8 113
8 GAY-LUSSAC SABİT HACİM KANUNU 113
8.1. Tanımı 113
UYGULAMA FAALİYETİ 115
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 118
ÖĞRENME FAALİYETİ-9 119
9.1 GENEL GAZ DENKLEMİ 119
9.1. Tanımı 119
UYGULAMA FAALİYETİ 123
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 129
ÖĞRENME FAALİYETİ-10 131
10. İŞ 131
10.1. Tanımı 131
10.1.2 Birimleri 136
10.2 Güç 139

10.2.1 Tanımı 139
UYGULAMA FAALİYETİ 142
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 151
ÖĞRENME FAALİYETİ–11 154
11. TERMODİNAMİĞİN SIFIRINCI KANUNU 154
11. 1 Tanımı 154
11.2 Termodinamiğin Birinci Kanunu 155
11.2.1 Tanımı 155
11.2.2 Kapalı Sistem 156
11.2.3 Açık Sistem 163
11.3 Termodinamiğin İkinci Kanunu 165
11.3.1 Tanımı 165
11.3.2 Isı Makineleri 167
11.3.3 Isı Pompaları (Soğutma makineleri) 169
11.3.4 Entropi 171
11.4 Termodinamiğin Üçüncü Kanunu 174
11.4.1 Tanımı 174
11.5 P-v ve T-s Diyagramları 174
11.5.1 Tanımı 174
Uygulama Faaliyeti 179
Ölçme Ve Değerlendirme 186
ÖĞRENME FAALİYETİ-12 192
12. TERMİK MAKİNELERİN ÇEVRİMİ 192
12.1. Tanımı 192
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 200
ÖĞRENME FAALİYETİ-13 203
13.GAZLARIN DURUM DEĞİŞTİRMELERİ 203
13.1. Tanımı 203
13.1.1 Sabit Hacim (izohor) İşlemi 204
13.1.2 Sabit Basınç (İzobar) İşlemi 206
13.1.2.1.Tanımı 206
13.1.3 Sabit Sıcaklık (İzoterm) İşlemi 207
13.1.4 İzantropik (Tersinir adyabatik) İşlem 209
13.1.5 Politropik İşlem 210
UYGULAMA FAALİYETİ 212
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 221
KAYNAKÇA 231

AÇIKLAMALAR

KOD	**525MT0111**
ALAN	**Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı**
DAL/MESLEK	**Otomotiv Elektro Mekanikerliği**
MODÜLÜN ADI	**Termodinamik Kanunlar ve Gazlar**
MODÜLÜN TANIMI	Temel termodinamik kanunların, ısı, güç, basınç, kütle ve gaz kanunlarının verildiği bir öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/32
ÖN KOŞUL	10. sınıf modüllerini başarı ile tamamlaması gerekmektedir.
YETERLİK	Termodinamik temel kavramları ile ilgili uygulamalar yapmak.
MODÜLÜN AMACI	**Genel Amaç:** Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında; standart süre içerisinde, termodinamik kanunlarını referans alarak gazlar ve termodinamik olaylarla ilgi değişkenleri, birim ve sembol standartlarını kullanarak hatasız hesaplayabileceksiniz. **Amaçlar:** ➢ Isı geçişi,ısı ve sıcaklık ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ Ağırlık, kuvvet, özgül ağırlık ve yerçekimi ivmesi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ Kütle ve özgül kütle ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ Hacim ve özgül hacim kavramları ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ Basınç ve basınç kavramları ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ İdeal gaz kanunları ve Boyle mariotte kanunu ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ Gay Lussac Sabit Hacim Kanunu ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ Gay Lussac Sabit Basınç Kanunu ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz ➢ Gazların genel denklemi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ İş ve güç ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz ➢ Termodinamik kanunları ile ilgili olayları ve diyagramları kullanabilecek ve motor ile ilişkisini kurabilecek ve ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ Termik makinelerin çevrimleri ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz. ➢ Gazların hal değiştirmesi ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Bilimsel hesap makinesi, derslik, kimya laboratuvarı, termometreler,kalorimetre.
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	➢ Modülün içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra, verilen ölçme araçlarıyla kazandığınız bilgileri ölçerek kendinizi değerlendireceksiniz. ➢ Öğretmen, modül sonunda size ölçme aracı (test, problem, doğru yanlış vb) uygulayarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgileri ölçerek değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili öğrenci,

Termodinamik enerjiyle ilgilenen temel bir bilimdir.Enerji de evrenin yaradılışından beri yürürlüktedir.Dolayısıyla termodinamiği ilgilendirmeyen bir çalışma alanı düşünmekte zordur.

Termodinamiğin çok geniş uygulama alanları olmasına rağmen özellikle pistonlu içten yanmalı motorların (benzinli ve dizel) çevrimleri ve tasarımları termodinamik ilkelerinden yararlanılarak gerçekleştirilir.

Termodinamiği anlayabilmek temel termodinamik kanunları,ideal gazları,birimleri,birim çevirme çarpanlarını,değer tablolarını ve fiziksel sabitleri daha iyi anlamakla mümkündür.

Bu modülün sonunda termodinamik kanunları referans alarak ideal gazlar ve termodinamik olaylarla ilgili değişkenleri, ısı, güç, basınç, kütle gibi boyutları birim ve sembol standartlarını kullanarak rahatlıkla hesaplayabileceksiniz.

Bu modülü başarı ile tamamladığınız taktirde geleceğin elektro-mekanikerleri olarak gideceğiniz otomotiv fabrikalarında, özel ve yetkili otomotiv servis ve bakım işletmeleri ve atölyelerinde karşılaşacağınız çeşitli araçlarda arıza teşhisi, bakım, onarım ve ayar yaparken fikir yürütmenizde çok iyi analiz ve yorum yapabilmenizde ve sorun çözebilen kişiler olmanızda çok büyük katkılar sağlayacaktır.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda gerekli ortam ve materyaller sağlandığında termodinamiğin temel kavramları hakkında yorumlar yapabilecek, ısı geçişi,ısı ve sıcaklıkla ilgili hesaplamaları ve ölçümleri yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Termodinamik ne demektir, araştırınız.
- Sistem ne demektir, araştırınız..
- Temel hal (durum) özellikleri hangileridir, araştırınız.
- Hal (durum) ve hal değiştirme nedir, araştırınız.
- Bağımlı (yaygın yada ekstensif) özellik ve bağımsız (yeğin yada intensif) özellik ne demektir, araştırınız.
- Isı geçişi hangi yollarla olur, araştırınız.
- Sıcaklık nedir,sıcaklıklar ne ile ölçülür, araştırınız.
- Mutlak sıcaklıklar nasıl belirlenir, araştırınız.
- Isı ve sıcaklık arasında ne gibi bir ilişki vardır, araştırınız.
- SI ne demektir, araştırınız.

1. TERMODİNAMİK

1.1. Termodinamiğin Tanımı ve Enerji

Termodinamik, enerji ve çeşitli enerji şekilleri arasındaki ilişkiyi inceleyen temel bir bilim dalıdır. Termodinamik genelde iş ya da ısı uygulanan maddelerin davranışlarını inceler, belirli durum (hal) değiştirmelerini sağlamak için eklenmesi veya çıkarılması gerekli iş veya ısı miktarlarını hesaplama yollarını öğretir.

Otomobil teknolojisi alanında ise termodinamik özellikle ısı enerjisi ile mekanik enerji arasındaki ilişkiyi dikkate alır.

Termodinamiğin değişik birçok tanımları olmakla birlikte termodinamikte esas eleman enerji olduğu için termodinamiği enerjinin bilimi olarak tanımlayabiliriz.

Enerji ise iş görebilme, kendi veya komşu cisimler üzerinde bir etki oluşturabilme yeteneğidir.

Bir başka deyişle enerji, değişikliklere yol açan etken olarak düşünülebilir.

Enerji terimi 1807'de Thomas Young tarafından bulunmuş ve termodinamikte kullanımı 1852'de Lord Kelvin tarafından önerilmiştir.

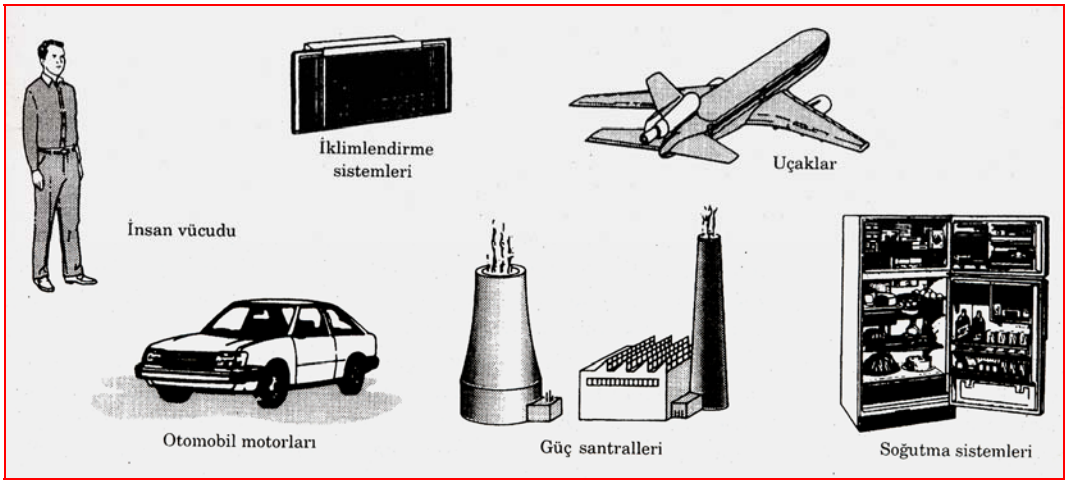
Biz enerjiyi en az iki büyüklüğün (kütle ve hız) çarpımı ile ifade ediyoruz. 20 yüzyılın başlarında Albert Einstein tarafından enerji denklemi şu şekilde ifade edilmiştir ;

$$E = m \cdot C^2 \text{ Joule (J)} \qquad (1.1)$$

m = Kütlesel madde, kg

C = Işığın boşluktaki hızı, m/s

Enerji ısıya, ışığa, harekete ve gerilime dönüştüğü için termodinamiğin uygulama alanları olarak otomobil motorlar, uçaklar, roket ve jet motorları, uzay araçları, buhar türbinleri, gaz türbinleri, iklimlendirme sistemleri ve bilgisayarların tasarımları sayılabilir. Hatta insan vücudu da termodinamiğin önemli bir uygulama alanı olarak gösterilebilir. Çünkü giren, çıkan ve depo edilen bir enerji söz konusudur (Resim 1.1).



Resim 1.1: Termodinamiğin uygulama alanları

Termodinamiğin temel günlük yaşantımızda karşılaştığımız olgulara ve deneysel gözlemlere dayandığı için iş yerlerimiz ve evlerimizin içindede birçok uygulama alanlarını görebiliriz.Örneğin, bilgisayar, televizyon, video seti, su ısıtıcısı, ütü, düdüklü tencere, gazlı ve elektrikli fırınlar ya da ısıtıcılar, klima ve benzerlerinin tasarımları termodinamik ilkelerinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.

Termodinamiğin kısa bir tarihçesine göz atalım:

18.yüzyılın başlarında tekstil endüstrisi hızlı bir gelişme gösterir. Artan güç ihtiyacı insan ve hayvan gücüyle karşılanamaz hale gelir. Bunun üzerine 1697 yılında Thomas Savery ve 1712 yılında Thomas Newcomen ilk buhar makinelerini yaparlar. 1765-1766 yıllarında James Watt[3] bu makineleri geliştirerek termodinamik bilimini ortaya çıkarmıştır.

Termodinamik sözcüğü Latince therme **(ısı)** ve dynamis (**güç**) sözcüklerinden türetilmiştir

Termodinamik terimini ilk kez Resim 1.2'de görülen İngiliz bilim adamı Lord Kelvin 1849 yılında yaptığı bir yayında kullanmıştır. İlk termodinamik kitabı ise 1859'da Glasgov üniversitesi öğretim üyelerinden William Rankine tarafından yazılmıştır.

Lord Kelvin

(Belfast 1824 – Netherhall, Strathclyde 1907)

Asıl adı Sir William Thomson olan Lord Kelvin, 1846 yılında Fizik öğretmenliğine başladı. 1852 yılında gazların genişlemesiyle elde edilen soğumayı buldu. Termodinamik üzerine yaptığı çalışmalarıyla, termodinamik sıcaklığın belirlenebilir ve ölçülebilir olmasını sağladı. Elektrostatik, jeofizik ve matematik alanında önemli çalışmalar yaptı.

Resim 1.2: Lord Kelvin

Konunun sağlam bir temele oturtulabilmesi için öncelikle termodinamiğin temel kavramları açıklanacaktır. Bu kavramların dikkatle incelenmesi daha sonraki bölümlerin iyi anlaşılması için gereklidir.

1.1.1. Boyutlar ve Birimler

Her hangi bir fiziksel büyüklük, boyutları ile ifade edilir. Boyutlar ise birimlerle ölçülür. Termodinamikte boyutları, ana boyutlar ve türemiş boyutlar diye ikiye ayırıyoruz.

Ana boyutlar: Kütle (m), uzunluk (L), zaman (t) ve sıcaklık (T) gibi boyutlar ana boyutlardır.

Türemiş boyutlar: Hız (C), enerji (E), hacim (V) gibi boyutlar ise ana boyutlar kullanılarak ifade edilirler.

Bugün dünyada Ağırlık ve Ölçüler Genel Konferansının (CGPM) aldığı karar ile yedi ana boyut ve birime dayanan uluslararası sistem adıyla da bilinen metrik **SI** sistemi kullanılmaktadır. Tablo 1.1'de ilk yedisi ana SI boyut ve birimlerini diğerleri ise bazı türetilmiş SI boyut ve birimlerini göstermektedir.

Boyut	Birim
Uzunluk	metre (m)
Kütle	kilogram (kg)
Zaman	saniye (s)
Sıcaklık	kelvin (K)
Elektrik akımı	amper (A)
Işık şiddeti	candela (c)
Madde miktarı	mol (mol)
Alan	metrekare (m^2)
Basınç	Pascal = (1 N/m^2) (Pa)
Enerji, iş, ısı	Joule = (1 Nm) (J)
Güç	Watt (W)
Hacim	metreküp (m^3)
Hız	metre/saniye (m/s)
Kuvvet	Newton = (1kgm/s^2)
Özgül ısı	kilojoule/kgK (kJ/kgK)

Tablo 1.1:Yedi ana boyut ve türetilmiş SI sistemindeki birimleri

SI sistemi (Le Systeme International d'Unites) birimlerin onlu sisteme göre düzenlendiği basit ve mantıklı bir sistem olup endüstrileşmiş ülkelerde bilim ve mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır. Tablo1.2'de SI birimlerinin 10'un katlarıyla çarpımını simgeleyen ön ekler verilmiştir

10'un katı	Örnek
10^{12}	Tera, T
10^{9}	Giga, G
10^{6}	Mega, M
10^{3}	Kilo, k
10^{-2}	santi, c
10^{-3}	mili, m
10^{-6}	mikro, µ
10^{-9}	nano, n
10^{-12}	piko, p

Tablo 1.2 SI birimlerinde standart ön ekler

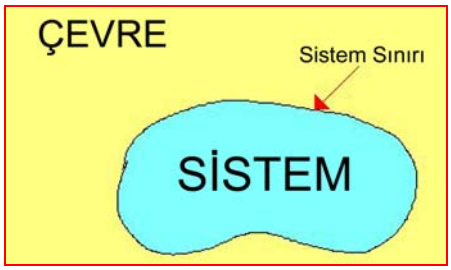
1.1.2.Termodinamik Sistem

Termodinamikte sıkça kullanılan bazı önemli terimleri açıklayalım.

Sistem : Üzerinde enerji (iş ve ısı) ve kütle giriş ve çıkışı incelenmek üzere göz önüne alınan uzayın maddesel parçasına sistem denir.

Çevre : Sistemin dışında kalan ve sistemin üzerinde etkisi olan her şeye çevre denir.

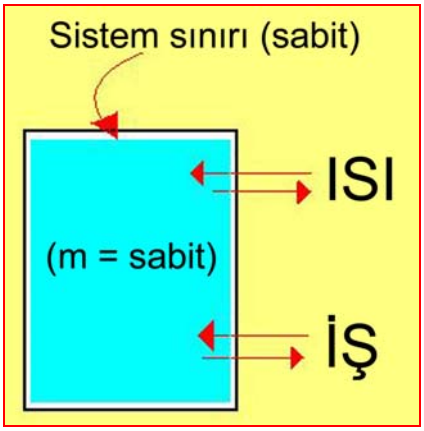
Sistem sınırı : Sistemi çevresinden ayıran gerçek veya hayali yüzeye sistem sınırı denir. Bir başka deyişle sistem ile çevrenin temas ettiği ortak yüzeydir. Sistemin sınırları sabit veya hareketli olabilir. Matematiksel açıdan sınırın kalınlığı sıfırdır, bu nedenle de kütlesi ve hacmi yoktur. Bahsedilen bu terimler Şekil 1.1'de açıklanmıştır.



Şekil 1.1: Sistem, çevre ve sistem sınırı

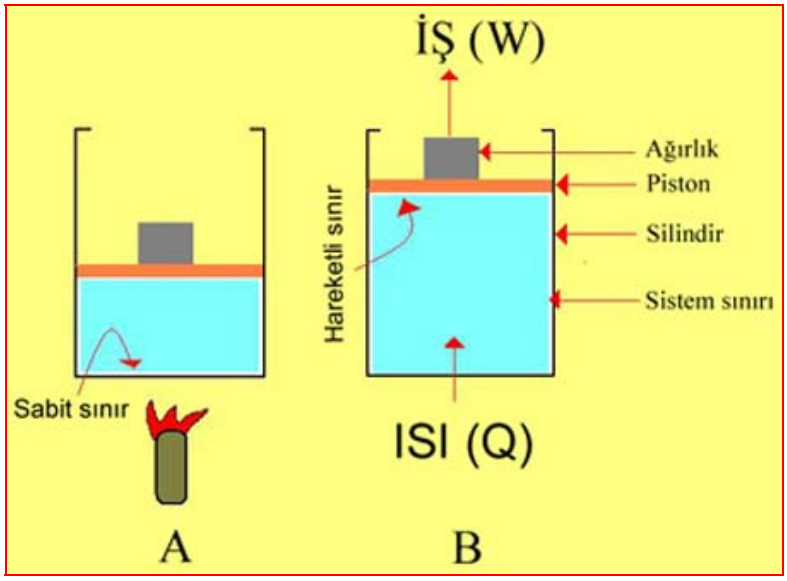
Sistemler kapalı veya açık olarak nitelendirilir.

Şekil 1.2'deki kapalı (kontrol kütlesi) sistemde, sistem sınırından kütle giriş ve çıkışı olmaz. Fakat enerji, iş ve ısı biçiminde kapalı sistemin sınırlarından geçebilir. Kapalı sistemi çevreden ayıran yüzeye sistem sınırı denir.



Şekil 1.2: Kapalı (kontrol kütlesi) sistem

Kapalı sistemin hacminin sabit kalması gerekmez, dolayısıyla sistem sınırı hareketli olabilir.Şimdi bu özelliğe uyan, kapalı sistemin bir örneği olarak Şekil 1.3'te gösterilen piston-silindir düzeneğini ele alalım.

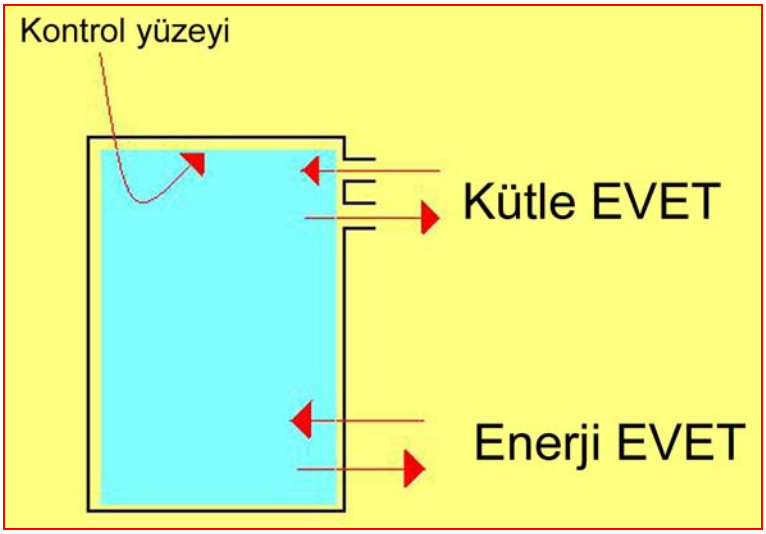


Şekil1.3: Hareketli sınıra sabit kapalı (kontrol kütlesi) sistem

Silindir içinde bulunan gaz kütlesi sistem olarak düşünülmüştür. Piston ve silindirin iç yüzeyleri sistem sınırları, gaz kütlesi dışındaki piston ve üzerindeki ağırlık,atmosfer basıncı ve silindir dahil her şey çevreyi oluşturmaktadır. Sistem sınırından kütle geçişi olmadığı için kapalı bir sistemdir.

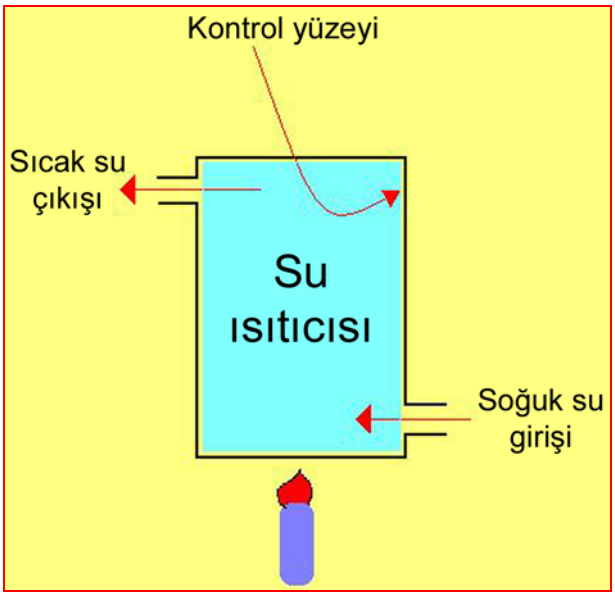
Şekil 1.3A'da silindir altına bir ısıtıcı yerleştirilirse gazın sıcaklık ve basıncı artacak ve pistonu Şekil 1.3B'de görüldüğü gibi yukarıya doğru itecektir. Pistonun hareketi ile sistem sınırları değişir fakat sistemin kütlesi değişmez. Isıtma ile sisteme ısı verilmiş, pistonun ağırlığı kaldırması ile de iş yapılmış olur.

Şekil 1.4'teki açık sistemde (kontrol hacmi) sistemi çevreden ayıran yüzeye kontrol yüzeyi denir. Açık sistem genellikle kompresör, türbin ve lüle gibi içinden kütle akışı olan bir makineyi içine alır. Açık sistemde, kontrol yüzeyinden kütle giriş ve çıkışı olduğu gibi enerji de iş ve ısı biçiminde açık sistemin sınırlarını geçebilir.



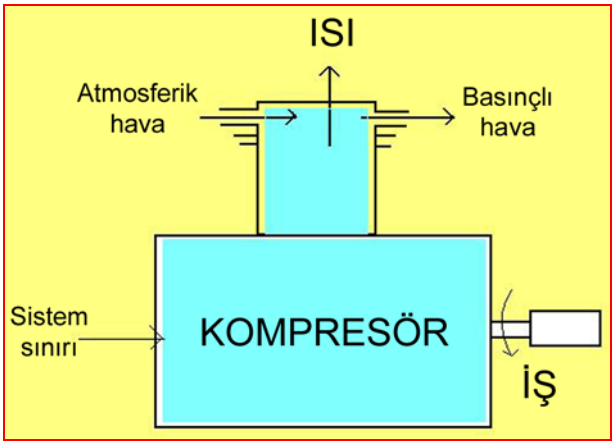
Şekil 1.4: Açık (kontrol hacmi) sistem

Açık sistemin bir örneği olarak Şekil 1.5'te gösterilen su ısıtıcısı verilebilir. Isıtıcıda sıcak suyun çıkıp yerine soğuk suyun girdiği sürekli bir akış olduğu için sistem olarak sabit bir kütleyi seçmek uygun olmaz. Çünkü kütle, iki noktada kontrol yüzeyini geçmektedir.



Şekil 1.5: Açık (kontrol hacmi) sistem

Bir başka örnekte Şekil 1.6'da gösterilen kompresör verilebilir. Bu sistemde de hava (kütle) iki noktada kontrol yüzeyini geçmektedir.



Şekil 1.6: Açık (kontrol hacmi) sistem

Açık ve kapalı sistemlere uygulanan termodinamik bağıntılar farklı olduğu için problem çözümlerine başlamadan önce mutlaka sistemin türü (açık veya kapalı) belirtilmelidir. Bu da karmaşık problemlerin çözümlerini büyük ölçüde kolaylaştırır.

1.1.3 Enerjinin Biçimleri

Enerji; ısıl, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer vb. gibi değişik biçimler alır.

Çok değişik enerji biçimleri olmasına rağmen bazıları ihmal edilerek termodinamik çözümlemelerde enerji biçimleri makroskopik ve mikroskopik diye iki grupta incelenir.

Makroskopik enerji : Sistemin tümü dış referans noktasına (hareket ile yerçekimi) göre sahip olduğu enerjidir. Örneğin kinetik ve potansiyel enerji gibi.

Kinetik enerji : Sistemin bir referans noktasına göre hareketinden dolayı sahip olduğu enerjidir. Sistemin her noktası aynı hızla hareket ettiği zaman kinetik enerji ;

$$KE = m \cdot \frac{C^2}{2} \text{ Joule (J)} \qquad (1.2)$$

Bağıntısı ile ifade edilir. Burada,
m kütle (kg), C vektörü de hızını (m/s) göstermektedir.

Potansiyel enerji : Sistemin bir yerçekimi alanındaki yüksekliğine bağlı olarak sahip olduğu enerjidir. Potansiyel enerji ;

$$PE = m \cdot g \cdot z \text{ Joule (J)} \qquad (1.3)$$

bağıntısıyla ifade edilir. Burada,
m kütle (kg), g yerçekimi ivmesi (m/s), z ise sistemin kütle merkezinin herhangi bir referans yüzeyine göre yüksekliği (m) dir.

Mikroskopik enerji : Sistemin moleküler yapısı ve moleküler hareketliliği ile ilgilidir ve dış referans noktalarından bağımsızdır. Örneğin iç enerji gibi.

İç enerji U ile gösterilir ve şu bağıntı ile ifade edilir;

$$U = Q - W \text{ Joule (J)} \qquad (1.4)$$

Burada, Q ısıyı, W işi ifade eder. Her ikisinin birimi de (J) veya (k J)'dür.

1.1.4 Sistemin Özellikleri

Sistemi nitelendiren büyüklüklere özellik denir.Özellikler bağımlı (yaygın ya da ekstensif) ve bağımsız (yeğin ya da intensif) özellikler diye ikiye ayrılır.

Bağımlı özellikler : Sistemin kütlesi veya hacmiyle orantılıdır. Örnek olarak, kütle, hacim ağırlık, iç enerji, toplam iç enerji, entalpi ve entropi verilebilir.

Bağımsız özellikler : Sistemin kütlesinden bağımsızdır. Örnek olarak, sıcaklık, basınç, yoğunluk, hız, ısı ve yükseklik verilebilir.

Termodinamikte en çok kullanılan özellikler basınç (P), hacim (V), sıcaklık (T) ve kütle m'dir. Bir sistemin durumunu belirtmek için bu özelliklerin hepsinin bilinmesi gerekmez. Sınırlı sayıda özelliğin belirtilmesi sistemin durumunu tanımlamak için yeterlidir. Ayrıca birim kütle için bağımlı özellikler vardır. Bunlar özgül ön eki ile ifade edilirler. Örnek olarak termodinamikte sık kullanılan bir özellik olan özgül hacim $v = \frac{V}{m}$ (m³/kg) verilebilir. Bunun haricinde özgül toplam enerji ($e = \frac{E}{m}$), özgül iç enerji ($u = \frac{U}{m}$), özgül entalpi ($h = \frac{H}{m}$), özgül entropi ($s = \frac{S}{m}$)'de örnek olarak verilebilir.

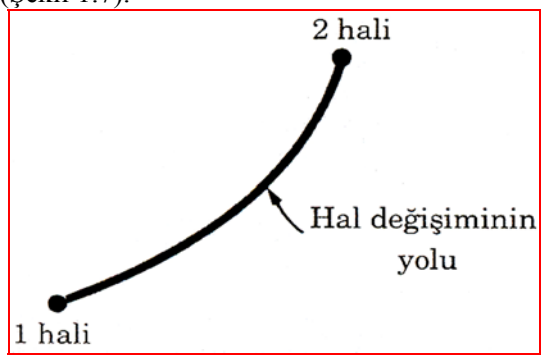
1.1.5. Hal (Durum), Denge, Hal Değişimi ve Çevrim

Hal : Termodinamik sistemin bir dizi özelliği (basınç, sıcaklık, hacim, kütle gibi) sistemin durumunu (katı, sıvı yada gaz hali) o an içinde bulunduğu şartları tanımlar özelliklerle belirtmesine sistemin hali denir.

Denge : Termodinamik bir sistemin her noktasındaki özellikleri aynıysa ve durumu çevreden bir etki olmaksızın kendiliğinden değişmiyorsa bu sistem dengededir, denir.

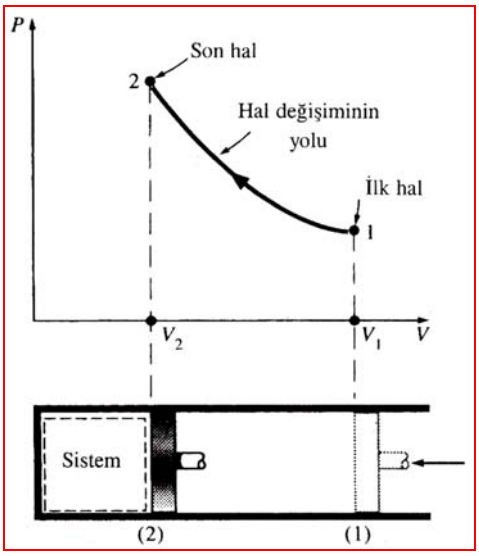
Hal değişimi : Termodinamik bir sistem bir dizi özellikle tanımlı bir denge halinden (durumundan), başka bir denge haline geçişi hal değişimi diye adlandırılır.

Maddenin özelliklerinden (basınç, hacim, sıcaklık gibi) en az biri değişiyorsa maddenin hali değişir. Hal değişimi sırasında sistemin geçtiği hallerden oluşan diziye de hal değişiminin yolu denir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7: 1.ve 2. halleri arasındaki hal değişimin yolu

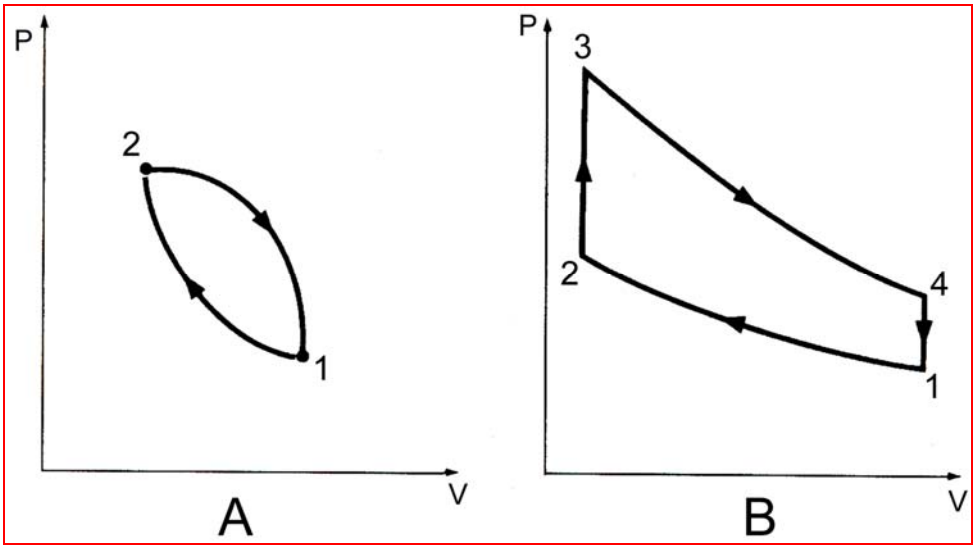
Termodinamik özelliklerin (basınç, hacim gibi) oluşturduğu hal değişimlerini, göz önünde canlandırmak bakımından biz diyagramlar da gösteriyoruz. Bu diyagrama P-V diyagramı diyoruz. Örnek olarak Şekil 1.8'de bir gazın sıkıştırılmasına ait hal değişiminin P-V diyagramında gösterilişi verilmiştir.



Şekil 1.8: Sıkıştırma işleminin P-V diyagramı

Çevrim : Termodinamik bir sistem, birçok hal (durum) değişimine uğradıktan sonra yine başlangıç haline (durumuna) geliyorsa bu hal değiştirme zincirine çevrim denir. Çevrimin ilk ve son halleri aynıdır.

Şekil 1.9 A'da gösterilen çevrim iki hal değişiminden, Şekil 1.9 B'de gösterilen çevrim ise dört hal değişiminden oluşmaktadır. Şekil 1.9 B'deki çevrim özellikle Termodinamik II modülünde incelenecek olan benzin motorları için ideal çevrimi göstermektedir.

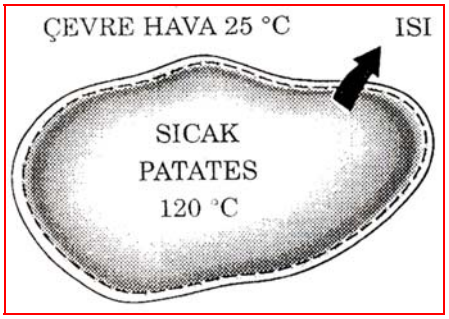


Şekil 1.9 : İki termodinamik çevrim

1.2 Isı ve Sıcaklık

1.2.1 Tanımı

Isı, sistemle çevresi arasında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen bir enerji türüdür. Bunu bir örnekle açıklamaya çalışalım. Şekil 1.10'da fırından çıkarılan sıcak bir patatesi ele alalım. Patatesin sıcaklığı 120 ºC, çevre havanın sıcaklığı ise 25 ºC'dir. Sıcak patatesin bir enerjisi vardır. Isı geçişi her hangi bir etki olmadan kendiliğinden daima sıcak cisimlerden soğuk cisimlere doğru olur. Sıcak patatesin kabuğundan (patatesin kabuğu sistem sınırı olarak düşünülebilir) çevre havaya her ikisinin sıcaklığı eşit olana kadar bir enerji geçişi olur. Enerji geçişi sıcaklık farkından dolayı meydana geldiği için sistem sınırından çevre havaya geçen enerji de ısı'dır.

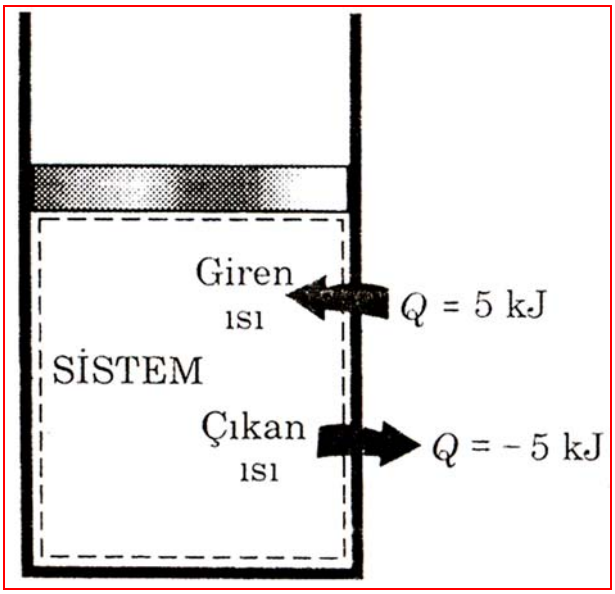


Şekil 1.10: Isı enerjisini akışı

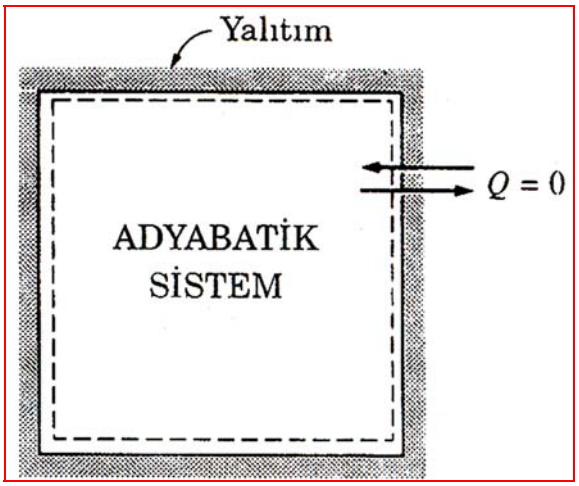
Açıklanan örnekten de anlaşılacağı gibi termodinamikte ısı, ısı geçişi anlamında kullanılır ve sistemin sınırını geçişi sırasında tanımlanır. Isı bir enerji türüdür fakat doğrudan ölçülemez. Ancak kalorimetre (ısı ölçer) adı verilen ölçme aygıtları ile ölçülür. Isı olayında sadece sisteme çevreden ne kadar **ısı verildiği** veya sistemden ne kadar **ısı çekildiği** sorulabilir.

Günümüzde kullanılan taşıt motorlarının hepside «ısı motorları»'dır. Kullanılan yakıtın yanması ile açığa çıkan ısı, piston, biyel ve krank mili mekanizmaları ile mekanik enerjiye dönüştürülür.

Isı geçişinin bir yönü vardır. Şekil 1.11'deki Q = 5kJ bağıntısı ısı geçişinin yönü hakkında bilgi vermez, bu nedenle bir **işaret kuralına** gerek duyulur. Genel olarak kabul edilen bu kural şöyledir: Eğer çevre havadan sisteme ısı girişi var ise yani giren enerji sistemin enerjisini arttırıyorsa ısı geçişi **artı** (+) işaretlidir. Eğer sistemden çevre havaya ısı çıkışı var ise yani çıkan enerji sistemin enerjisini azaltan yönde gerçekleşiyorsa ısı geçişi **eksi** (-) işaretlidir.



Şekil 1.11: Isı geçişi için işaret kuralı



Şekil 1.12: Adyabatik sistem

Isı geçişinin olmadığı sisteme de adyabatik sistem denir. Bir hal değişimi iki şekilde adyabatik olabilir. Ya sistem çok iyi yalıtılmıştır, dolayısı ile sistem sınırlarından ancak ihmal edilebilir ölçüde ısı geçebilir (Şekil 1.12) ya da sistem ve çevresi aynı sıcaklıktadır. Bu nedenle ısı geçişine etken olacak sıcaklık farkı yoktur.

Sıcaklık, ise ısının geçişine sebep olan bir etkendir. Sistem ile çevresi arasında sıcaklık eşit ise ısı geçişine etken olacak sıcaklık farkı yoktur. Sıcaklık bir enerji türü değil, sadece termodinamik bir özelliktir ve fiziksel olarak ölçülebilir (örneğin termometre ile).

1.2.2 Isı ve Özgül Isı

Isı bir enerji türü olduğu için ısının birimi de enerji birimi olan kJ'dür (kilojoule diye okunur). Sadece Q sembolü ile gösterilir ve şu bağıntı ile hesaplanır;

$$Q = m \cdot C_o \cdot \Delta T \text{ (kj)} \tag{1.5}$$

Burada,

Q = Isı, kJ

m = Kütle, kg

C_o = Ortalama özgül ısı, kJ/kgK

ΔT = Sıcaklık farkı, K'dir.

Problemlerde ilk ve son sıcaklık verilirse sıcaklık farkı şu bağıntı ile hesaplanır;

$$\Delta T = T_2 - T_1 \tag{1.6}$$

T_1= İlk sıcaklık (K)

T_2 = Son sıcaklık (K)'dir.

Gazların ısıtılması söz konusu olduğunda ısı iki farklı durumda hesaplanır. Sabit hacimde ısıtma ve sabit basınçta ısıtmadır.

Sabit hacimde ısıtma : Sabit hacimde ısıtma sırasında gazın sıcaklığı ve basıncı artmaktadır (örneğin teorik Otto çevriminde silindirdeki gazlara ısı verilmesi sabit hacimde olmaktadır). Sabit hacimde ısı şu bağıntı ile hesaplanır;

$$Q = m \cdot C_V \cdot \Delta T \text{ (kj)} \tag{1.7}$$

Burada,

C_v = sabit hacimde özgül ısı, kJ/kgK'dir. Diğer semboller yukarıdaki ısı formülünde açıklandığı gibidir.

Sabit basınçta ısıtma : Sabit basınçta ısıtma sırasında gazın sıcaklığı ve hacmi artmaktadır (örneğin teorik dizel çevriminde silindirdeki gazlara ısının verilmesi ve ön genişleme sabit basınçta olmaktadır). Sabit basınçta ısı şu bağıntı ile hesaplanır;

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \text{ (kj)} \tag{1.8}$$

Burada,

C_p = sabit basınçta özgül ısı kJ/kgK'dir. Diğer semboller yukarıdaki ısı formülünde açıklandığı gibidir.

Açık sistemlerde bazı durumlarda belirli bir zaman süresince geçen toplam ısı yerine birim zamanda geçen ısının bilinmesi istenir. Birim zamanda geçen ısı $Q^{'}$ ile gösterilir. Birimi de kJ/s veya eşdeğeri olan kw'tır. **kütlenin** yerini **kütlesel debi** almaktadır. $m^{'}$ = kütlesel debi,

kg/s şeklinde ifade edilir. Üstteki nokta «birim zamanda» anlamındadır. Birim zamanda geçen ısı şu bağıntı ile ifade edilir;

$$Q^{'} = m^{'} \cdot C_o \cdot \Delta T \quad \text{(kj/s)} \tag{1.9}$$

ΔT = Sıcaklık farkı K'dir.

Bir maddenin özgül ısısı ise bir maddenin 1 kg'lık kütlesinin sıcaklığını 1K(kelvin) arttırmak için gerekli enerjidir. Şu bağıntıyla hesaplanır;

$$C_0 = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \text{(kj/kgK)} \tag{1.10}$$

burada,
C_0 = Ortalama özgül ısı (kJ/kgK)
Q = Isı (kJ)
m = Kütle (kg)
ΔT= Sıcaklık farkı (K)

Tablo 1.3'te bilinen bazı **sıvı** ve **katı** maddeler için C_p değerleri verilmiştir. Tablo 1.4'te ise bilinen bazı **gazlar** için C_p ve C_v değerleri ile beraber bazı ideal gazların özellikleri verilmiştir.

Madde	**C_p (kJ/kgK)**
Su	4,20
Fuel-oil	1,90
Alüminyum	0,89
Demir	0,54
Çelik	0,46
Bakır	0,42

Tablo 1.3: Bazı sıvı ve katı maddelerin sabit basınçta özgül ısınma ısıları

Tablo 1.4:Bazı ideal gazların özellikleri

Gaz	Kimyasal Formül	Molekül Kütlesi	R kJ/kgK	Cp kJ/kgK	Cv kJ/kgK	k
Hava	-	28,97	0,28700	1,0035	0,7165	1,400
Argon	Ar	39,948	0,20813	0,5203	0,3122	1,667
Bütan	C_4H_{10}	58,124	0,14304	1,7164	1,5734	1,091
Karbon dioksit	CO_2	44,01	0,18892	0,8418	0,6529	1,289
Karbon monoksit	CO	28,01	0,29683	1,0413	0,7445	1,400
Etan	C_2H_6	30,07	0,27650	1,7662	1,4897	1,186
Etilen	C_2H_4	28,054	0,29637	1,5482	1,2518	1,237
Helyum	He	4,003	2,07703	5,1926	3,1156	1,667
Hidrojen	H_2	2,016	4,12418	14,2091	10,0849	1,409
Metan	CH_4	16,04	0,51835	2,2537	1,7354	1,299
Neon	Ne	20,183	0,41195	1,0299	0,6179	1,667
Azot (Nitrojen)	N_2	28,013	0,29680	1,0416	0,7448	1,400
Oktan	C_8H_{18}	114,23	0,07279	1,7113	1,6385	1,044
Oksijen	O_2	31,999	0,25983	0,9216	0,6618	1,393
Propan	C_3H_8	44,097	0,18855	1,6794	1,4909	1,126
Buhar		8,015	0,46152	1,8723	1,4108	1,327

Örnek Problemler :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmelerini modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek Problem 1 : Kütlesi 6 kg olan bir çeliğin sıcaklığını 120 K arttırmak için sabit basınç işleminde verilmesi gereken ısı ne kadardır? (C_p=0,46 kJ/kgK) (Problem katı bir madde içindir. Katı ve sıvı maddelerde basınç ile hacmin değişmediği kabul edilir. Bu yüzden ısı değişimi hesaplanırken sabit basınçta özgül ısı, C_p kullanılır.)

Veriler :

m = 6 kg

ΔT =120 K

C_p = 0,46 kJ/kgK

Q =?

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q = 6 \cdot 0{,}46 \cdot 120$$

Q = 331,2 kJ bulunur.

Örnek Problem 2 : Kütlesi 10 kg olan havanın sıcaklığını 100 K arttırmak için sabit hacim işleminde verilmesi gereken ısı ne kadardır? (C_v=0,7165) (Problem gaz bir madde içindir.)

Veriler :

m = 10 kg

ΔT = 100 K

C_v = 0,7165 kJ/kgK

Q =?

$$Q = m \cdot C_v \cdot \Delta T$$

$$Q = 10 \cdot 0{,}7165 \cdot 100$$

Q = 716,5 kJ bulunur.

Örnek Problem 3 **:** Bir motorun soğutma sistemindeki su, sabit basınçta 0,3 kg/s'lik debi ile devir daim yapmakta sıcaklık 40 K'den 80 K dereceye yükselmektedir. Soğutma suyu tarafından saniyede taşınan ısı kaç kJ'dür?

(C_p=4,20 kJ/kgK) (Problem sıvı bir madde içindir.)

Veriler :

$m' = 0{,}3$ kg/s

$T_1 = 40$ K

$T_2 = 80$ K

$C_p = 4{,}20$ kJ/kgK

Q' =?

$$Q' = m' \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$$Q' = 0{,}3 \cdot 4{,}20 \cdot 40$$

Q' = 50,4 kJ/s

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 80 - 40$$

ΔT = 40 K bulunur.

Örnek Problem 4 **:** Kütlesi 5kg olan bir metalin sıcaklığını 20 K'den 70 K dereceye yükseltebilmek için 115 kJ'lük ısı verildiğine göre bu metalin özgül ısısını bulunuz?

m = 5 kg

$T_1 = 20$ K

$T_2 = 70$ K

Q = 115 kJ

C_o= ?

$$C_0 = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

$$C_0 = \frac{115}{5 \cdot 50}$$

C_0 = 0,46 kJ/kgK bulunur.

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 70 - 20$$

ΔT = 50 K

1.2.3 Isı Geçişi

Isı geçişi üç farklı biçimde gerçekleşebilir.

- İletim (kondüksiyon)
- Taşınım (konveksiyon)
- Işınım (radyasyon)

Bahsedilen ısı geçişinin yollarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ısı transferi dersinin kapsamındadır. Biz bu modülde ısı geçişinin temel kavramlarını ve mekanizmaları hakkında bilgi vereceğiz. Isı geçişi hangi yolla gerçekleşirse gerçekleşsin bir sıcaklık farkı olmasını gerektirir ve her zaman ısı geçişinin yönü yüksek sıcaklıktaki ortamdan, düşük sıcaklıktaki ortama doğru olur. Bu olay termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarında detaylı bir şekilde incelenecektir.

İletim (kondüksiyon) :İletim, maddenin enerjisi çok olan moleküllerinden enerjisi daha az olan moleküllerine, yakın etkileşim sonucu geçen enerjidir. Birim zamanda iletimle geçen ısı şu bağıntı ile ifade edilir;

$$Q_{iletim} = \frac{-k \cdot A \cdot \Delta T}{\Delta x} \text{ (W), (kW)} \qquad (1.11)$$

Bağıntıdaki "eksi" işareti, ısı akışının, sıcaklığın azalma yönünde olduğunu gösterir. Problem çözümünde bu işaret "artı" olarak alınmalıdır. Bu denklemde;

k= Maddenin ısı iletim katsayısı (W/mK)'dir. Isı iletim katsayısı maddenin ısı iletme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Tablo 1.5'te bazı maddelerin ısı iletim katsayıları verilmiştir.

A= Isı geçişine dik yüzey alanı (m²)

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$ = Sıcaklık değişim oranı. (K/m)

ΔT = Sıcaklık farkı (K) $\Delta T = T_{iç} - T_{dış}$

$T_{iç}$ = İç yüzey sıcaklığı (K)

$T_{dış}$= Dış yüzey sıcaklığı (K)

Δx = Kalınlık (m)

Q_{iletim}= Birim zamanda iletimle geçen ısı gücü (W) veya (kW)

Madde	Isı iletim katsayısı (W/mK) k
Ticari bakır	372
Alüminyum	229
Demir	58
Kazan sacı	52
Cam	0,8-1,5
Su (sıvı)	0,5
Tahta	0,17
Hava	0,023

Tablo 1.5: Bazı maddelerin ıs iletim katsayılar

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmelerini modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem : 2cm kalınlığında bakır levhanın iç yüzey sıcaklığı 38 ºC ve dış yüzey sıcaklığı 35 ºC'dir. Levha 40cm×40cm'lik parçasından birim zamanda geçen ısı enerjisi ne kadardır?

Veriler :

$\Delta x = 2$ cm = 0,02m

$T_{iç} = 38$ ºC = 38 + 273 = 311 K

$T_{dış} = 35$ ºC = 35 + 273 = 308 K

$\Delta T = T_{iç} - T_{dıı} = 311 - 308 = 3$ K

A = 40cm × 40cm = 0,4m × 0,4m = 0,16 m²

k = 372 W/mK

Q_{iletim}=?

$$Q_{iletim} = \frac{+k \cdot A \cdot \Delta T}{\Delta x}$$

$$Q_{iletim} = \frac{372 \cdot 0{,}16 \cdot 3}{0{,}02}$$

$$Q_{iletim} = 8928W = 8{,}928kW$$

Taşınım (kondüksiyon) : Taşınım, katı bir yüzeyle onunla temas eden hareketli sıvı veya gaz kütlesi arasında gerçekleşir, iletimle akışkan hareketinin ortak bir sonucudur. Taşınıma neden olan akış, kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle oluşmuşsa taşınım doğal taşınım diye adlandırılır. Taşınıma neden olan akış eğer pompa, fan, rüzgar veya benzeri bir zorlayıcı etkene bağlı ise taşınım zorlanmış taşınım diye adlandırılır.

Birim zamanda taşınım ile geçen ısı şu bağıntı ile ifade edilir;

$$Q_{taşınım} = A \cdot h \cdot \left(T_y - T_a\right) \text{ (W), (kW)} \qquad (1.12)$$

Bu denklemde;

A = Yüzey alanı (m²)
h = Isı taşınım katsayısı (W/m²K)
Uygulamada karşılaşılan bazı h değerleri Tablo 1.6'da W/m²K birimlerinde verilmiştir.
T_y = Yüzey sıcaklığı (K)
T_a = Akışkan sıcaklığı (K)

Gazlarda doğal taşınım	2-25	**h (W/m²K)**
Sıvılarda doğal taşınım	50-1000	
Gazlarda zorlanmış taşınım	25-250	
Sıvılarda zorlanmış taşınım	50-20000	
Kaynama ve Yoğuşma	2500-100000	

Tablo 1.6: Isı taşınım katsayıları

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmelerini modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek Problem : Yüzey sıcaklığı 90 ºC olan bir radyatör peteği, 4 m²'lik bir ısıtma yüzeyine sahip olup yüzeye komşu olan ısıttığı havanın sıcaklığı da 18 ºC olduğuna göre, doğal taşınım için birim zamandaki ısı geçişini hesaplayınız?

Veriler :

T_y = 90 ºC = 90 + 273 = 363 K

A = 4 m²

T_a = 18 ºC = 18 + 273 = 291 K

h = 10 W/m²K

$Q_{taşınım}$=?

$$Q_{taşınım} = A \cdot h \cdot (T_y - T_a)$$

(W), (kW)

$$Q_{taşınım} = 4 \cdot 10 \cdot (363 - 291)$$

$$Q_{taşınım} = 2880 \text{ W} = 2{,}880 \text{ kW}$$

Işınım (radyasyon) : Işınım, atom veya moleküllerin elektron düzenlerindeki değişiklik sonucunda maddeden yayılan elektromanyetik dalgalar halinde enerji geçişidir. İletim ve taşınımdan farklı olarak, ışınımla ısı geçişi cisimler arasında boşluk olması durumunda da vardır. Işınımla ısı geçişi ışık hızında gerçekleşir. Güneş enerjisinin yeryüzüne erişimi ışınıma en güzel bir örnektir. Bu değer yaklaşık 1400 W/m²'ye eşdeğerdir.

Isıl ışınım, x ışınları, gama ışınları, mikro dalgalar, haberleşme dalgaları gibi diğer elektromanyetik ışınımdan farklıdır. Mutlak sıfır sıcaklığın üzerinde sıcaklığa sahip tüm cisimler ısıl ışınım yayarlar.

Belirli bir sıcaklıkta, birim zamanda en çok ışınımı yayan mükemmel yüzey siyah cisim diye bilinir ve bu yüzey tarafından yayılan ışınımda siyah cisim ışınımı diye adlandırılır (siyah cisim gerçek bir yüzey değildir) ve şu bağıntı ile ifade edilir;

$$Q_{ışınım} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \text{ (W), (kW)} \qquad (1.13)$$

Burada;

ε, yüzeyin yayma oranıdır. Yayma oranının değeri $0 \le \varepsilon \le 1$ aralığında olup bir yüzeyin yayma oranı, siyah cisme (ε =1) yakınlığının bir ölçüsüdür. Oran olduğu için birimsizdir. Bazı maddelerin yayma oranları Tablo 1.7'de verilmiştir.

σ = Stefan-boltzman sabitidir. Değeri, $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m²K^4 tür.

A = Yüzey alanı (m²)

T = Yüzey sıcaklığı (K)

Madde	Yayma katsayısı (ε)
Alüminyum fol yo	0,07
Parlatılmış bakır	0,03
Parlatılmış altın	0,03
Parlatılmış gümüş	0,02
Parlatılmış paslanmaz çelik	0,17
Siyah boya	0,98
Beyaz boya	0,90
Beyaz kağıt	0,92-0,97
Asfalt kaldırım	0,85-0,93
Kırmızı tuğla	0,93-0,96
İnsan derisi	0,96
Tahta	0,82-0,92
Toprak	0,96
Su	0,96
Bitki örtüsü	0,92-0,96

Tablo 1.7:Bazı maddelerin 300K'de yayma oranları

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan, birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan

sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem : Tahta bir cisim, 100 ºC'de 7 m × 5 m boyutlarında iken birim zamanda ne kadar ışınım enerjisi yayar?

Veriler :

T = 100 ºC = 100 + 273 = 373 K

A = 7m × 5m = 35m²

ε = 0,82

σ = 5,67 × 10^{-8} W/m²K^4

$Q_{ışınım}$=?

$$Q_{ışınım} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

$$Q_{ışınım} = 0{,}82 \cdot 5{,}67 \times 10^{-8} \cdot 35 \cdot 373^4$$

$$Q_{ışınım} = 31499 \text{ W} = 31{,}499 \text{ kW}$$

1.2.4 Sıcaklık ve Mutlak Sıcaklık

Sıcaklığı tanım olarak şöyle vermiştik; sıcaklık ısının geçişine sebep olan etkendir. Sıcaklık bir enerji türü değil, termodinamik bir özelliktir.

Genelde sıcak ve soğuk kavramlarını iyi bilmemize rağmen bu kavramları vücut duyularımıza dayanarak, sıcaklık düzeyini soğuk, dondurucu soğuk, ılık, sıcak ve ateş gibi sözcüklerle göreceli olarak ifada etmeye çalışırız. Fakat duyularımıza dayanarak sıcaklıklara sayısal değerler veremeyiz, çünkü duyularımız bizi yanıltabilir.

Örneğin aynı sıcaklıkta olmalarına rağmen metal bir masaya dokunduğumuzda, ahşap bir masaya oranla daha soğuk olduğunu hissederiz. Bu nedenle biz sıcaklıkları halk arasında derece diye bilinen cıvalı termometre ile ölçebiliriz.

Sıcaklık değerlerini ortak bir dille ifade edebilmek için sıcaklık ölçeklerine ihtiyaç duyulur. Günümüzde kullanılan tüm sıcaklık ölçekleri suyun donma ve kaynama noktaları gibi, kolayca elde edilebilir sıcaklık değerlerine dayanır.

Günümüzde SI birim sisteminde kullanılan sıcaklık ölçeği Celcius ölçeğidir. Biz bu ölçeği Santigrad ölçeği olarak da tanıyoruz.

İngiliz birim sisteminde kullanılan sıcaklık ölçeği ise Fahrenheit ölçeğidir.

Celcius (ºC) ölçeğinde suyun donma ve kaynama noktalarına sırasıyla 0 ve 100 ºC değerleri verilmiştir. Fahrenheit ölçeğinde bu noktalar 32 ve 212 F değerleri alır.

Termodinamikte ise madde veya maddelerin özelliklerinden bağımsız bir sıcaklık ölçeği kullanılması istenir. Bu da termodinamik mutlak sıcaklık ölçeğidir.

SI birim sisteminde termodinamik mutlak sıcaklık ölçeği Kelvin ölçeğidir. Bu ölçekte sıcaklık birimi kelvin olup kısaca K ile (ºK değil) gösterilir. Kelvin ölçeği şu bağıntı ile ifade edilir;

$$K = {}^{o}C + 273{,}15 \qquad (1.14)$$

(Not = Virgülden sonraki kısım hesaplamalarda dikkate alınmayabilir)

Kelvin ölçeğinde en düşük sıcaklık 0 K'dir.Bu sıfır noktasına mutlak sıfır denir.

İngiliz birim sisteminde termodinamik **mutlak sıcaklık** ölçeği **Rankine** ölçeğidir. Bu ölçekte sıcaklık birimi rankin olup kısaca R ile gösterilir. Rankine ölçeği şu bağıntı ile ifade edilir;

$$R = F + 459{,}67 \qquad (1.15)$$

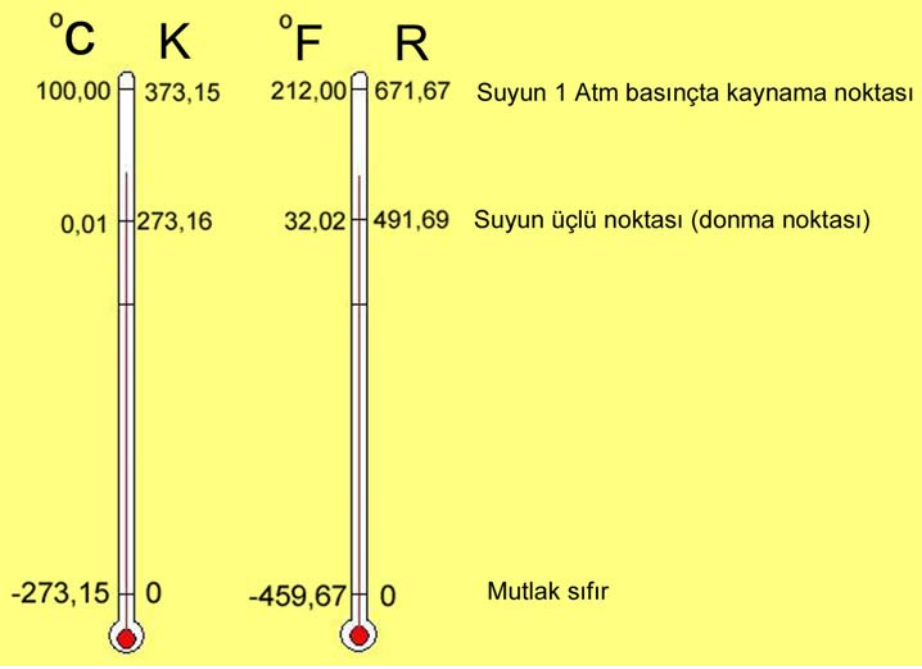
(Not = Virgülden sonraki küsuratlar alınmaya bilir)

Mutlak sıfırdan itibaren ölçülen değerlere mutlak sıcaklık denir. Mutlak sıcaklık doğrudan ölçülemez, termometrede okunan değere 273 ilave edilerek bulunur ve şu bağıntı ile ifade edilir;

$$T = t + 273 \text{ (K)} \qquad (1.16)$$

Celcius (ºC) derecesinde suyun donma sıcaklığı 0 kabul edilmiştir. Fakat bu sıcaklığın altında da sıcaklıklar mevcuttur. Daha düşük sıcaklığın mümkün olmadığı en düşük sıcaklık derecesi -273,15 ºC'dir. Bu değer yani -273,15 ºC derecesi ancak sabit hacim gaz termometresinde elde edilir. Bu sıcaklığa mutlak sıfır sıcaklık derecesi denir. İşte Kelvin derecesi bu en düşük sıcaklık derecesini başlangıç kabul eder.

Şekil 1.13'te sıcaklık ölçeklerinin karşılaştırılması verilmiştir. Yukarıdaki açıklamaları ve ifadeleri dikkatlice okuyup şekli öyle inceleyiniz.



Şekil 1.13: Sıcaklık ölçeklerinin karşılaştırılması

Celcius (ºC) ve Fahrenheit (F) ölçeklerinin birbirlerine dönüşümleri için şu bağıntılar kullanılır;

$$^{o}C = F - \frac{32}{1,8} \qquad (1.17)$$

$$F = {}^{o}C \cdot 1,8 + 32 \qquad (1.18)$$

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : İzmir'de hava sıcaklığının 35 °C olduğu bildirildiğine göre, bu değerin Fahrenheit (ºF) derece karşılığı nedir?

Veriler :

ºC = 35

F = ?

$$F = {}^{o}C \cdot 1,8 + 32$$

$$F = 35 \cdot 1,8 + 32$$

$$F = 63 + 32$$

$$F = 95 \text{ bulunur.}$$

Örnek problem 2 : Londra'da hava sıcaklığının 70 F olduğu bildirildiğine göre, bu değerin Celcius (ºC) derece karşılığı nedir?

Veriler :

F = 70

ºC = ?

$$^{o}C = F - \frac{32}{1,8}$$

$$^{o}C = 70 - \frac{32}{1,8} = 21,11 \text{ bulunur.}$$

Örnek problem 3 : Alkolün normal atmosferik koşullardaki donma sıcaklığı –115 ºC olduğuna göre bu değerin Kelvin derece karşılığı nedir?

Veriler :

ºC = –115 $K = {}^{o}C + 273$

K = ? $K = 115 + 273 = 158$ bulunur.

Örnek problem 4 : Oksijenin normal atmosferik koşullardaki kaynama sıcaklığı 90K olduğuna göre bu değerin Celcius derece karşılığı nedir?

Veriler :

K = 90 $K = {}^{o}C + 273$

ºC = ? $90 = {}^{o}C + 273$

$^{o}C = 90 - 273 = -183$ bulunur.

Örnek problem 5 : 80 F,ne kadar Rankine derecesi eder?

Veriler :

F = 80 $R = F + 459$

R = ? $R = 80 + 459 = 539$ bulunur

Örnek problem 6 : Bir cıvalı termometre ile egsoz gazının sıcaklığı 300 ºC okunmuştur. Bu sıcaklığın mutlak sıcaklık değeri kaç kelvin derecesi eder?

Veriler :

t = 300 ºC $T = t + 273$

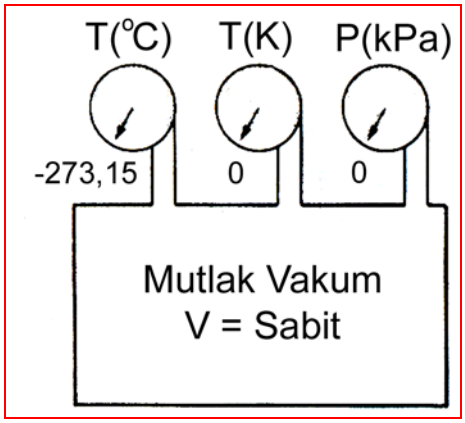
T = ? $T = 300 + 273 = 573K$ bulunur.

1.2.5 Sıcaklık Ölçümü ve Termometreler

Maddelerin fiziksel özellikleri sıcaklıkla değişir. Örneğin ısınan bir maddede genleşme, uzama, direncinde değişme ve renk değiştirme görülebilir. İşte maddelerin bu özelliklerinden faydalanılarak değişik termometreler yapılabilir.

Termodinamik mutlak sıcaklık ölçeği olan kelvin ölçeğini gösteren bazı termometreler kullanılmıştır. Bu termometreler düşük basınçta bir gaz doldurulmuş sabit hacimli bir kaptır. Hidrojen ve helyum gazı kullanılmıştır. Fakat bu termometreler çok düşük sıcaklıklarda (yoğuşma nedeniyle) ve çok yüksek sıcaklıklarda (ayrışma ve iyonizasyon nedeniyle) kullanılamazlar.

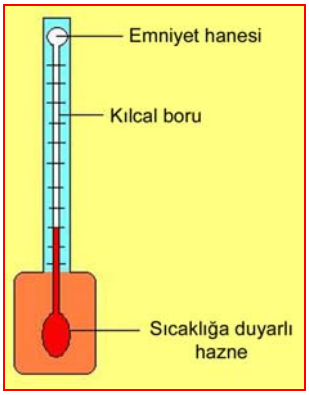
Tüm sıcaklıkların gösterilmesi ancak **mükemmel** veya **gerçek ötesi** bir gaz kullanan **sabit hacim gaz termometre**leri ile mümkün olabilirdi. Eğer böyle bir gaz termometresi olabilseydi, sıfır basınçta, Celcius (ºC) ölçeğinde karşılığı –273,15 ºC olan sıfır kelvin değerini gösterirdi (Şekil 1.14).



Şekil 1.14: Sabit hacim gaz temometresi

Bir de hepimizin bildiği Şekil 1.15'te gösterilen **cam tüplü sıvı genleşmeli termometre** vardır. Bu termometrelerin çalışması, sıvının sıcaklık artışı ile genleşme esasına dayanır. Cam tüpün geniş olan alt haznesine genleşme katsayısı yüksek olan alkol veya cıva doldurulmuştur. Bu sıvılarla hassas bir ölçme yapılabilir. Cam tüpte her yükseklik bir sıcaklığa karşılık gelecek şekilde kalibre edilerek derecelendirilmiştir. Cam tüpün geniş olan haznesi ölçüm yapılacak yere tutulursa bir müddet sonra cam tüp ile çevresi arasında ısıl denge sağlanır ve sıvı (alkol veya cıva) genleşerek kılcal boru içinde yükselir ve gösterdiği değer okunur.

Cıva ile –38 ºC ve 315 ºC'leri arasında ölçüm yapılabilir. Termometrede kılcal borunun en üst haznesine azot gazı doldurulursa 538 ºC'ye kadar ölçüm yapılabilir.



Şekil 1.15: Cam tüplü sıvı genleşmeli termometre

Bu bahsettiğimiz iki termometre dışında da termometreler vardır. Bunların adları şunlardır.

- Bi-metalik termometreler
- Akışkan genleşmeli termometreler
- Elektriksel direnç termometresi
- Termo elektrik etkili termometre (termokupl)
- Quartz–kristal termometreler
- Termistör termometreler
- Sıvı kristal termografisi
- Işınımla sıcaklık ölçmek

1.2.6 Isı Miktarının Ölçümü ve Kalorimetreler

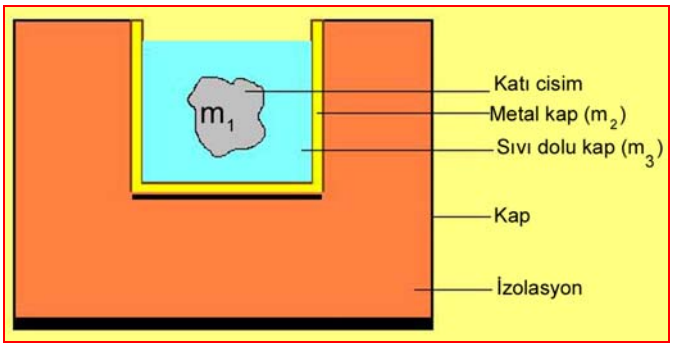
Isı miktarı kalorimetre adı verilen ölçme aygıtları ile ölçülür. Isı ölçümündeki temel zorluk, sistem ile çevresi arasında meydana gelen ısı alışverişidir. Bunu önlemek için sistem ile çevre arası çok iyi izole (yalıtım) edilir. Temel ısı ölçüm yöntemleri üç grupta toplanır ve bunlar;

- Sıcaklık değişimleri yöntemi,
- Faz değişimleri yöntemi,
- Elektriksel ısı ölçüm yöntemidir.

Şimdi bunlardan sıcaklık değişimleri yöntemine bir örnek verelim.

Şekil 1.16'da gösterilen, ısıl olarak izole edilmiş bir kap içersine (**T_1**) sıcaklığındaki (**m_1**) kütleye sahip katı bir cismi bırakalım. Başlangıçta (**T_2**) sıcaklığında metal kap (**m_2**) kütlesinde olsun ve **m_3** kütlesinde (yine **T_2** sıcaklığında) sıvı ile dolu olan kapta, ısı alış verişi sonucu ısıl denge oluşur ve (**m_1, m_2, m_3**) kütleleri (**T**) sıcaklığına ulaşır. Katı cisim daha sıcaksa (**T_1>T_2**) ısı verir ve sıcaklığı (**T**)'ye düşer. Onun verdiği ısıyı alan kap ve sıvı da (**T**) sıcaklığına ısınır. Olay sabit basınçta gerçekleştiği için ısıl denge denklemi şu bağıntı ile hesaplanır;

$$m_1 \cdot cp_1 \cdot (T_1 - T) = (m_2 \cdot cp_2 + m_3 \cdot cp_3) \cdot (T - T_2) \qquad (1.19)$$



Şekil 1.16: Kalorimetre

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Bakırdan yapılmış (cp=0,42kJ/kgK) 5kg kütleye sahip bir kap içinde 20 ºC sıcaklıkta 15kg su (**cp_3**=4,20kJ/kgK) bulunmaktadır. Bu kap içine 2,5kg kütleye sahip 85 ºC sıcaklıkta katı bir cisim atılıyor ve sistem 25 ºC sıcaklıkta dengeye ulaşıyor. Katı cismin özgül ısısını bulunuz? (Olay sabit basınçta meydana geliyor.)

Veriler :

cp_2 = 0,42 kJ/kgK

m_2 = 5 kg

T_2 = 20 ºC = 20 + 273 = 293 K

m_3 = 15 kg

cp_3 = 4,20 kJ/kgK

m_1 = 2,5 kg

T_1 = 85 ºC = 85 + 273 = 358 K

T = 25 ºC = 25 + 273 = 298

cp_1 = ?

Olay sabit basınçta meydana geldiği için ısıl denge denklemi yazılıp veriler yerine konup hesaplamaya geçilir.

$$m_1 \cdot cp_1 \cdot (T_1 - T) = (m_2 \cdot cp_2 + m_3 \cdot cp_3) \cdot (T - T_2)$$

$$2{,}5 \cdot cp_1 \cdot (358 - 298) = (5 \cdot 0{,}42 + 15 \cdot 4{,}20) \cdot (298 - 293)$$

$$2{,}5 \cdot cp_1 \cdot 60 = (2{,}1 + 63) \cdot 5$$

$$cp_1 \cdot 150 = 65{,}1 \cdot 5$$

$$cp_1 \cdot 150 = 325{,}5$$

$$cp_1 = \frac{325{,}5}{150} = 2{,}17 \text{ kj/kgK bulunur.}$$

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1: Kütlesi 12 kg olan havanın sıcaklığını 115 K arttırmak için,

a) Sabit basınç işleminde verilmesi gereken ısıyı hesaplayınız?

b) Sabit hacim işleminde verilmesi gereken ısıyı hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Havanın sabit basınç ve sabit hacimdeki özgül ısılarını Tablo 1.4'ten çekiniz.
3. (1.8) Bağıntısında verilerdeki değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
4. (1.7) Bağıntısında verilerdeki değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler

m = 12 kg

ΔT = 115 K

Hava için, C_p = 1,0035 kJ/kgK, C_v=0,7165kJ/kgK

a) Q = ?

b) Q = ?

a) $Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$

$Q = 12 \cdot 1{,}0035 \cdot 115$

$Q = 1384{,}83$ kj bulunur.

b) $Q = m \cdot C_V \cdot \Delta T$

$Q = 12 \cdot 0{,}7165 \cdot 115$

$Q = 988{,}77$ kj bulunur.

Problem 2 : Bir motorun soğutma sistemindeki su, sabit basınçta 0,4 kg/s'lik debi ile devir daim yapmakta, sıcaklık 30 K'den 70 K dereceye yükselmektedir. Bu durumda;

a) Soğutma suyu tarafından saniyede taşınan ısı kaç kJ'dür?

b) b) Bir dakikada taşınan ısı kaç kJ'dür.

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Suyun sabit basınçtaki özgül ısısını Tablo 1.3'ten çekiniz .
3. (1.6) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve ΔT'yi hesaplayınız.
4. (1.9) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve Q''yü hesaplayınız.
5. Bir dakikada taşınan ısı miktarını hesaplamak için (1.9) bağıntısında bulduğunuz sonucu 60 ile çarpınız.

Veriler:

m' = 0.4 kg/s

T_1 = 30 K

T_2 = 70 K

C_p = 4,20 kJ/kgK

a) Q' = ?

b) Q' = ?

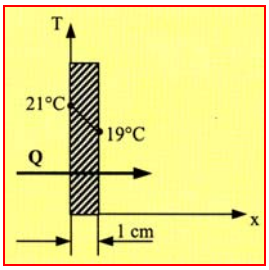
$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 70 - 30 = 40K$$

a) $Q' = m' \cdot Cp \cdot \Delta T$

$Q' = 0{,}4 \cdot 4{,}20 \cdot 40 = 67{,}2$ kJ/s bulunur.

$Q' = 67{,}2 \cdot 60 = 4032$ kJ/min bulunur.



Şekil 1.17

Problem 3 : 1 cm kalınlığında bakır levhanın iç yüzey sıcaklığı 21 ºC ve dış yüzey sıcaklığı 19 ºC'dir. Levha 20 cm × 20 cm'lik parçasından birim zamanda geçen ısı enerjisi ne kadardır?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Verilen levha kalınlığını 1 m = 100 cm eşitliğini kullanarak metre (m)'ye çevirin.
3. Soruda verilen iç yüzey ve dış yüzey sıcaklıklarını 273 ile toplayıp mutlak sıcaklığa dönüştürün.
4. Verilen levha boyutlarını 1 m = 100 cm eşitliğini kullanarak önce metre (m)'ye çevirin sonra iki boyutu birbiriyle çarparak dik yüzeyin alanını bulun.
5. Maddenin ısı iletim katsayı olan (k) değerini Tablo 1.5'den bakır madde için seçiniz.
6. (1.11) Bağıntısında verilen ve bulunan değerleri yerine koyarak hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$\Delta\times = 1$ cm = 0,01 m

$T_{iç} = 21$ ºC = 21 + 273 = 294 K

$T_{dış} = 19$ ºC = 19 + 273 = 292 K

$$Q_{iletim} = \frac{+k \cdot A \cdot \Delta T}{\Delta x}$$

$$Q_{iletim} = \frac{372 \cdot 0{,}04 \cdot 2}{0{,}01}$$

$$Q_{iletim} = 2976W = 2{,}976kW$$

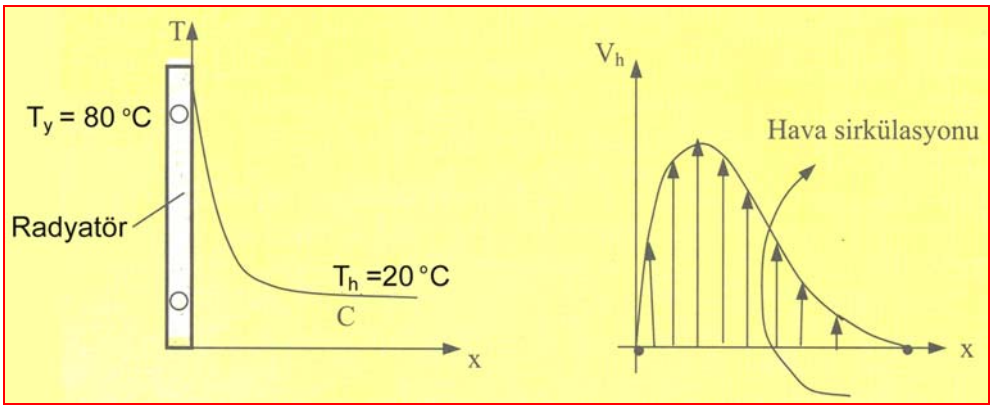
bulunur.

$\Delta T = T_{iç} - T_{dış} = 294 - 292 = 2$ K

A = 20 cm × 20 cm = 0,2 m × 0,2 m = 0,04 m²

k = 372 W/mK

Q_{iletim} = ?



Şekil 1.18

Problem 4 : Yüzey sıcaklığı 80 ºC olan bir radyatör peteği, 5m²'lik bir ısıtma yüzeyine sahip olup yüzeye komşu olan ısıttığı havanın sıcaklığı da 20 ºC olduğuna göre doğal taşınım için birim zamandaki ısı geçişini hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda verilen yüzey sıcaklığı ve akışkanın sıcaklığını 273 ile toplayıp mutlak sıcaklığa dönüştürün.
3. Taşınım hava (gaz) ile doğal taşınım olarak yapıldığı için ısı taşınım katsayısını (h), Tablo 1.6'dan gazlarda doğal taşınım değeri olan 2–25 değerleri arasından herhangi bir değeri tercih ediniz. (Ben h=7W/m²K değerini seçtim.)
4. (1.12)Bağıntısında verilen ve bulunan değerleri yerine koyarak hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

T_y = 80 ºC = 80 + 273 = 353 K

A = 5 m²

$$Q_{taşınım} = A \cdot h \cdot (T_y - T_a)$$

$$Q_{taşınım} = 5 \cdot 7 \cdot (353 - 293)$$

T_a = 20 ºC = 20 + 273 = 293 K h = 7 W/m²K $Q_{taşınım}$= ?	$Q_{taşınım}$ = 2100 W = 2,1 kW bulunur.

Problem 5 : Parlatılmış paslanmaz bir çelik, 500 K sıcaklıkta, 50 m²'lik yüzeye sahip iken birim zamanda ne kadar ışınım enerjisi yayar?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda verilmeyen yüzeyin yayma oranı (ε) Tablo 1.7'den parlatılmış paslanmaz çelik için çekiniz.
3. (1.13) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

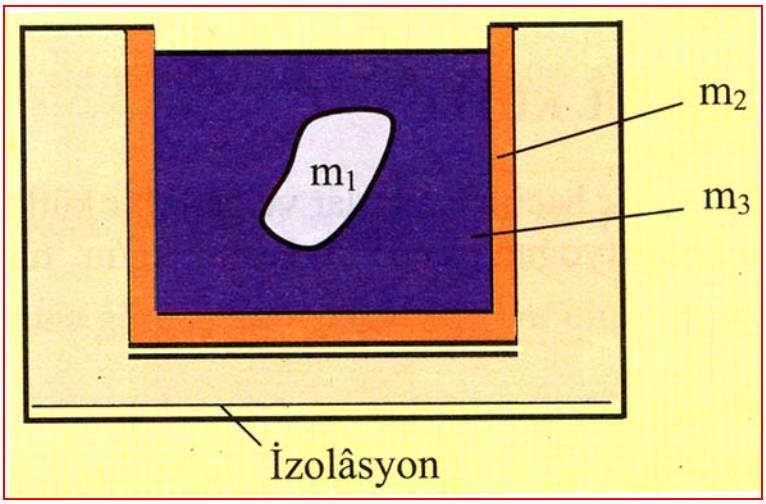
Veriler

T = 500 K A = 50 m² ε = 0,17 $\sigma = 5{,}67\times10^{-8}$ W/m²K^4 $Q_{ışınım}$=?	$Q_{ışınım} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$ $Q_{ışınım} = 0{,}17 \cdot 5{,}67 \times 10^{-8} \cdot 500^4$ $Q_{ışınım}$ = 30121 W = 30,121 kW bulunur.

Problem 6 : Ankara'da hava sıcaklığının 30 ºC olduğu bildirildiğine göre bu değerin fahrenheit (F) karşılığı nedir?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler: 1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız. 2. (1.18) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
Veriler ºC = 30 $F = {}^{o}C \cdot 1{,}8 + 32$ F = ? $F = {}^{o}30 \cdot 1{,}8 + 32 = 86$ bulunur.

Problem 7 : New York'ta hava sıcaklığının 80 F olduğu bildirildiğine göre bu değerin Celcius (ºC) karşılığı nedir?
Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler: 1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız. 2. (1.17) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
Veriler: F = 80 $^{o}C = F - \frac{32}{1{,}8}$ ºC = ? $^{o}C = 80 - \frac{32}{1{,}8} = 26{,}66$ bulunur.



Şekil 1.19

Problem 8 : Çelikten yapılmış 10 kg kütleye sahip bir kap içinde 25 ºC sıcaklıkta 18 kg su bulunmaktadır. Bu kap içine 3 kg kütleye sahip 90 ºC sıcaklıkta katı bir cisim atılıyor ve sistem 32 ºC sıcaklıkta dengeye ulaşıyor. Katı cismin özgül ısısını bulunuz? (Olay sabit basınçta meydana geliyor.)

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda verilmeyen çelik ve suyun özgül ısılarını (cp_2 ve cp_3) Tablo 1.3'ten çekiniz.
3. Soruda verilen T , T_1 ve T_2 sıcaklıklarını 273 ile toplayarak mutlak sıcaklığa dönüştürünüz.
4. (1.19) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

cp_2=0,46 kJ/kgK

$$m_1 \cdot cp_1 \cdot (T_1 - T) = (m_2 \cdot cp_2 + m_3 \cdot cp_3) \cdot (T - T_2)$$

m_2 = 10 kg

$$3 \cdot cp_1 \cdot (363 - 305) = (10 \cdot 0{,}46 + 18 \cdot 4{,}20) \cdot (305 - 298)$$

T_2 = 25 ºC = 25 + 273 = 298 K

m_3 = 18 kg

cp_3 = 4,20 kJ/kgK

m_1 =3 kg

T_1 = 90 ºC = 90 + 273 = 363 K

T = 32 ºC = 32 + 273 = 305 K

cp_1=?

$$3 \cdot cp_1 \cdot 58 = (4{,}6 + 75{,}6) \cdot 7$$

$$cp_1 \cdot 174 = 80{,}2 \cdot 7$$

$$cp_1 \cdot 174 = 561{,}4$$

$$cp_1 = \frac{561{,}4}{174} = 3{,}23 \text{ kJ/kgK bulunur}$$

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1) Aşağıdaki fiziksel büyüklüklerden hangisi ana boyuttur?

A) Kütle

B) Enerji

C) Hacim

D) Hız

2) Aşağıdaki fiziksel büyüklüklerden hangisi türemiş boyuttur?

A) Kütle

B) Sıcaklık

C) Hacim

D) Uzunluk

3) Aşağıdakilerden hangisi kapalı sistemin özelliğidir?

A) Kütle ve enerji giriş-çıkışı olmaz.

B) Kütle giriş-çıkışı olmaz, enerji giriş-çıkışı olur.

C) Kütle ve enerji giriş-çıkışı olur.

D) Kütle giriş-çıkışı olur, enerji giriş-çıkışı olmaz.

4) Aşağıdakilerden hangisi adyabatik sistemin özelliğidir?

A) Isı alış verişi olur.

B) Kütle sabittir.

C) Kütle geçişi olur.

D) Isı alış verişi olmaz.

5) Aşağıdakilerden hangisi bağımlı (yaygın) bir özelliktir?

A) Basınç

B) Hacim

C) Hız

D) Yoğunluk

6) Aşağıdakilerden hangisi bağımsız (yeğin) bir özelliktir?

A) Kütle

B) Hacim

C) Hız

D) Entropi

7) Aşağıdakilerden hangisi enerji birimidir?

A) Kg

B) m^3

C) Newton

D) kJ

8) Kütlesi 5 kg olan bir demirin sıcaklığını 100 K arttırmak için sabit basınç işleminde verilmesi gereken ısının değeri aşağıdakilerden hangisidir?

A) 270 kJ

B) 250 kJ

C) 230 kJ

D) 290 kJ

9) Kütlesi 8 kg olan argon gazının sıcaklığını 120 K arttırmak için sabit hacim işleminde verilmesi gereken ısı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 540,30 kJ

B) 320,15 kJ

C) 687,84 kJ

D) 299,712

10) Bir motorun soğutma sistemindeki su sabit basınç altında 0,4 kg/s'lik debi ile devir daim yapmakta, sıcaklık 50 K'den 80 K'e yükselmektedir. Soğutma suyu tarafından saniyede taşınan ısı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 60,2 kJ/s

B) 48,3 kJ/s

C) 50.4 kJ/s

D) 72,8 kJ/s

11) Kütlesi 7 kg olan bir metalin sıcaklığını 25 K'den 100 K'e yükseltmek için 120 kJ ısı verildiğine göre bu metalin özgül ısısı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 0,22 kJ/kgK

B) 0,32 kJ/kgK

C) 0,20 kJ/kgK

D) 0,25 kJ/kgK

12) SI birim sisteminde termodinamik sıcaklık ölçeği aşağıdakilerden hangisidir?

A) Fahrenheit

B) Celcius

C) Rankine

D) Kelvin

13) İngiliz birim sisteminde termodinamik sıcaklık ölçeği aşağıdakilerden hangisidir?

A) Rankine

B) Celcius

C) Kelvin

D) Fahrenheit

14) Bir termometre ile egzoz gazının sıcaklığı 425 ºC okunmuştur. Bu sıcaklığın mutlak sıcaklık değeri aşağıdakilerden hangisidir?

A) 697K

B) 696K

C) 698K

D) 699K

15) Ankara'da hava sıcaklığının 23 ºC olduğu bildirildiğine göre bu değerin fahrenheit (F) karşılığı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 82,6 F

B) 73,4 F

C) 53,5 F

D) 69,6 F

16) Newyork'ta hava sıcaklığının 80 F olduğu bildirildiğine göre bu değerin Celcius (ºC) karşılığı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 25,66 ºC

B) 29,67 ºC

C) 26,66 ºC

D) 27,57 ºC

17) 90 Fahrenheit (F) derecenin, Rankine derecesi karşılığı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 560,45 R

B) 549,67 R

C) 570 R

D) 640 R

18) Çelikten yapılmış 6 kg kütleye sahip bir kap içinde 22 ºC sıcaklıkta 16 kg su bulunmaktadır. Bu kap içine, 3 kg kütleye sahip 75 ºC sıcaklıkta katı bir cisim atılıyor ve sistem 27 ºC sıcaklıkta dengeye ulaşıyor. Katı cismin özgül ısısı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 2,42 kJ/kgK

B) 3,43 kJ/kgK

C) 2,75 kJ/kgK

D) 3,23 kJ/kgK

19) 1,5 cm kalınlığında alüminyum levhanın iç yüzey sıcaklığı 25 ºC ve dış yüzey sıcaklığı 21 ºC'dir. Levha 30 cm × 30 cm'lik parçasından birim zamanda geçen ısı enerjisi kaç kW'tır?

A) 3,874kW

B) 8,244kW

C) 7,249kW

D) 4,766kW

20) Yüzey sıcaklığı 85 ºC olan bir radyatör peteği, 4 m²'lik bir ısıtma yüzeyine sahip olup yüzeye komşu olan ısıttığı havanın sıcaklığı da 23 ºC, h=8W/m²K olduğuna göre doğal taşınım için birim zamandaki ısı geçişi kaç kW'tır?

A) 1,467 kW

B) 1,874 kW

C) 1,243 kW

D) 1,984 kW

21) Parlatılmış bakır 600K sıcaklıkta, 60m²'lik yüzeye sahip iken birim zamanda kaç kW ışınım enerjisi yayar?

A) 13,226 kW

B) 14,646 kW

C) 12,857 kW

D) 11,402 kW

22) Aşağıdakilerden hangisi ısının bir geçiş biçimidir?

A) Endüksiyon

B) Konfeksiyon

C) Kondüksiyon

D) Konjeksiyon

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir.

Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda, ağırlık, kuvvet, özgül ağırlık ve yerçekimi tanımlarını ve hesaplamalarını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Kuvvet nedir, araştırınız.
- Ağırlık nedir, kütle ile arasında ne fark vardır araştırınız.
- Dünyamızın ve ayın yerçekimi kuvvetini araştırınız.
- Newton kimdir araştırınız.

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınız kullanarak yapabilirsiniz.

2. AĞIRLIK

2.1. Tanımı

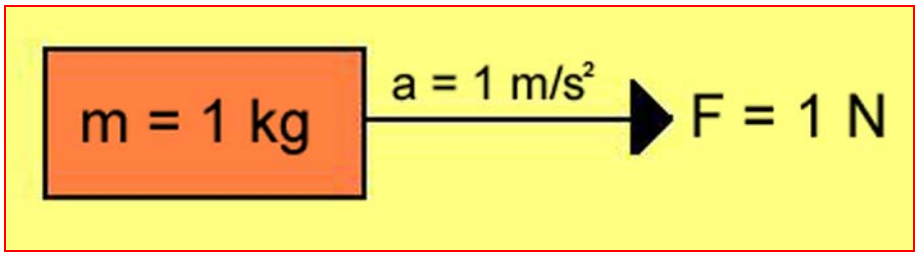
Ağırlık bir kuvvet olduğu için öncelikle kuvvet terimini bilmek gerekir. Kuvvet Şekil 2.1'de görüldüğü gibi 1 kg kütleye 1 m/s²'lik ivme kazandırmak için gerekli kuvvet olarak tanımlanır. Kuvvet şu bağıntı ile gösterilir;

$$F = m \cdot a \text{ (N)} \qquad (2.1)$$

Burada;

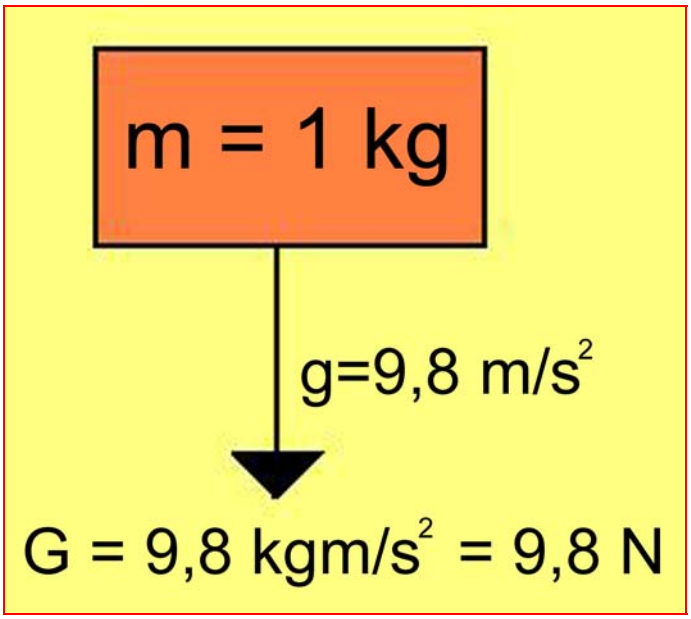
m = Kütle (kg)

a = Kütlenin İvmesi (m/s²)'dir.



Şekil 2.1

Ağırlık ise Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bir cisme (kütleye) etki eden yerçekimi kuvvetine o cismin ağırlığı denir.



Şekil 2.2

Ağırlık yerçekimi ivmesine göre değiştiği için Dünya'nın kutup ve ekvator bölgelerinde de farklı olur. Bir cismin ağırlığı yerden yükseldikçe azalır. Yeryüzünde ise ekvatordan kutuplara gidildikçe artar. Ay'ın kütlesi Dünya'nın kütlesinin altıda biri kadardır. Bu yüzden bir cismin Ay'daki ağırlığı Dünya'daki ağırlığının 1/6'i kadardır. Ağırlık dinamometre ile ölçülür. Ağırlık şu bağıntı ile ifade edilir;

$$G = m \cdot g \ \text{(N)} \qquad (2.2)$$

Burada

m = Kütle (kg),

g = Yerçekimi İvmesi 9,8 m/s² alınabilir.

Bir problemde farklı bir bölgedeki ağırlık veya ay yüzeyindeki ağırlık istendiğinde ağırlık formülü şu bağıntı ile ifade edilir;

$$G' = m \cdot g' \ \text{(N)} \qquad (2.3)$$

2.1.1 Birimleri

Ağırlık bir kuvvet olduğu için birimi de kuvvet birimidir. Kullanılan ağırlık birimleri,

N (Newton), kgf (kg-kuv.), dyn (dyne)'dir. Ağırlık birimlerinin çevirme çarpanları da şunlardır,

1N = 1kg·m/s² 1N = 10^5 1kgf = 9,8N 1dyn = 1gr·cm/s²

SI birim sisteminde ağırlık ve kuvvet birimi Newton (N)'dur.

2.2 Özgül Ağırlık

2.2.1 Tanımı

Bir cismin birim hacminin ağırlığına özgül ağırlık denir. Şu bağıntı ile ifade edilir;

$$\gamma = \frac{G}{V} = \rho \cdot G = \frac{g}{v} \tag{2.4}$$

Burada,

γ = Özgül ağırlık (N/m³)

G = Ağırlık (N)

ρ = Yoğunluk (kg/m³)

g = Yerçekimi ivmesi (m/s²)

v = Özgül hacim (m³/kg)

2.3 Yerçekimi İvmesi

2.3.1 Tanımı

Elimize aldığımız bir taşı serbest bıraktığımızda taşı yere düşüren kuvvet yerçekimidir. Bu ifadeden giderek serbest düşmede bir cisim kendi ağırlığı kadar bir kuvvetle yere doğru çekilir. Bu durumda yerçekimi cisimde bir ivme meydana getirir, bu ivmeye yerçekimi ivmesi denir.

Yer çekimi ivmesi yükseklikle azalır. Örneğin deniz seviyesinde yerçekimi ivmesi 9.807m/s² olup, 1000, 2000, 5000, 10000 ve 20000 metre yüksekliklerde sırasıyla 9.804, 9.800, 9.791, 9.776 ve 9.745 m/s² değerlerini alır. Biz termodinamik hesaplamalarda yerçekimi ivmesini ortalama 9.8 m/s² alabiliriz.

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 **:** Bir parçanın yerçekimi ivmesinin 9,6 m/s²olduğu bölgedeki ağırlığı 100N olduğuna göre;

a) Kütlesi kaç kg'dır?

b) Yerçekimi ivmesi 2,2 m/s² olan bölgedeki ağırlığı kaç Newton'dur?

Veriler :

G = 9,6 m/s²

a) $G = m \cdot g \longrightarrow m = \frac{G}{g} = \frac{100}{9,6} = 10,41$ kg bulunur

G = 100N

b) $G' = m \cdot g' \longrightarrow G' = m \cdot g' = 10,41 \cdot 2,2 = 22,902$ N bulunur.

a) m=?

b) g'= 2,2 m/s²

G' = ?

Örnek problem 2 **:** Yer çekimi ivmesinin 9,8 m/s² olduğu bir bölgedeki ağırlığı 50 N gelen bir parçaya 5 m/s²'lik ivme kazandırabilmek için uygulanması gereken kuvvet kaç Newton (N)'dur?

Veriler

g = 9,8 m/s²

$G = m \cdot g \longrightarrow m = \frac{G}{g} = \frac{50}{9,8} = 5,1$ kg

G = 50N

$F = m \cdot a \longrightarrow F = 5,1 \cdot 5 = 25,5$ N bulunur.

a = 5 m/s²

F = ?

Örnek problem 3 **:** Ay çekim ivmesi 1,627 m/s² olduğuna göre yerçekimi ivmesinin 9,81 m/s² olduğu bir yerdeki ağırlığı 600 N olan bir kimsenin aydaki ağırlığı kaç Newton'dur?

Veriler :

g' = 1,627 m/s²

$$G = m \cdot g \longrightarrow m = \frac{G}{g} = \frac{600}{9{,}81} = 61{,}16207951 \text{ kg}$$

g = 9,81 m/s²

$$G' = m \cdot g' \longrightarrow G' = 61{,}16207951 \cdot 1{,}627 = 99{,}51 \text{ N bulunur.}$$

G = 600N

G' = ?

Örnek problem 4 **:** Özgül hacmi 15 m³/kg olan bir cisim, yerçekimi ivmesinin 9,81m/s² olduğu bir yerdeki özgül ağırlığı ne kadardır?

Veriler :

V = 15 m³/kg

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{9{,}81}{15} = 0{,}654 \text{ N/m}^3 \text{ bulunur.}$$

g = 9,81 m/s²

γ = ?

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1: Bir parçanın yerçekimi ivmesinin 9,7 m/s²olduğu bölgedeki ağırlığı 110 N olduğuna göre,

a) Kütlesi kaç kg'dır?

b) Yerçekimi ivmesi 2,3 m/s² olan bölgedeki ağırlığı kaç Newton'dur?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (**2.2**) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. m'yi çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
3. (**2.3**) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. G''nü çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

g = 9,7 m/s²

a) $G = m \cdot g \longrightarrow m = \dfrac{G}{g} = \dfrac{110}{9,7} = 11,34$ kg bulunur.

G = 110N

b) $G' = m \cdot g' \longrightarrow G' = 11,34 \cdot 2,3 = 26,082$ N bulunur.

a) m =?

b) g' = 2,3 m/s²

G' = ?

Problem 2: Yer çekimi ivmesinin 9,8 m/s² olduğu bir bölgedeki ağırlığı 60N gelen bir parçaya 7 m/s²'lik ivme kazandırabilmek için uygulanması gereken kuvvet kaç Newton (N)'dur?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (2.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. m'yi çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
3. (2.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

g = 9,8 m/s²

$$G = m \cdot g \longrightarrow m = \frac{G}{g} = \frac{60}{9{,}8} = 6{,}12 \text{ kg}$$

G = 60N

$$F = m \cdot a \longrightarrow F = m \cdot a = 6{,}12 \cdot 7 = 42{,}84 \text{ N}$$

a = 7m/s²

Problem 3: Özgül hacmi 18 m³/kg olan bir cisim, yerçekimi ivmesinin 9,81 m/s² olduğu bir yerdeki özgül ağırlığı ne kadardır?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (2.4) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz

Veriler:

V = 18 m³/kg

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{9{,}81}{18} = 0{,}545 \text{ N/m}^3 \text{ bulunur.}$$

g = 9,81 m/s²

γ = ?

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Aşağıdakilerden hangisi ağırlığın tanımıdır?

   A) Bir cismin birim kütlesinin hacmidir.

   B) Bir cisimdeki madde miktarıdır.

   C) Bir cismin birim hacminin kütlesidir.

   D) Bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir.

2) Aşağıdakilerden hangisi kuvvetin tanımıdır?

   A) Bir cismin birim kütlesinin hacmidir.

   B) 1 kg kütleye 1 m/s^2'lik ivme kazandırmak için gerekli olan kuvvettir.

   C) Bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir.

   D) Bir cismin birim hacminin ağırlığıdır.

3) Aşağıdakilerden hangisi özgül ağırlığın tanımıdır?

   A) 1kg kütleye 1 m/s^2'lik ivme kazandırmak için gerekli olan kuvvettir.

   B) Bir cisimdeki madde miktarıdır.

   C) Bir cismin birim hacminin ağırlığıdır.

   D) Bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir.

4) Yerçekimi ivmesi, yeryüzünden yukarılara çıktıkça nasıl bir değişiklik gösterir?

   A) Azalır

   B) Artar

   C) Değişmez

   D) Hız kazanır

5) Bir parçanın yerçekimi ivmesinin 9,8 m/s^2olduğu bölgedeki ağırlığı 90N olduğuna göre kütlesi aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 9,18 kg

   B) 9,20 kg

   C) 10,18 kg

   D) 10,20 kg

6) Özgül hacmi 12 m^3/kg olan bir cisim, yerçekimi ivmesinin 9,8 m/s^2 olduğu bir yerdeki özgül ağırlığı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 0,95 N/m^3

B) 0,81 N/m^3

C) 0,85 N/m^3

D) 0,92 N/m^3

7) Aşağıdakilerin hangisi ağırlık birimidir?

A) Kg

B) J

C) N

D) m/s

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir.

Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

ÖĞRENME FAALİYETİ-3

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyeti sonunda kütle ve özgül kütle tanımlarını ve hesaplamalarını yapabileceksiniz

ARAŞTIRMA

- Kütle nedir,ağırlık ile arasında ne fark vardır, araştırınız.
- Gazların kütlesi nasıl hesaplanır, araştırınız.

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınızdan faydalanarak yapabilirsiniz.

3. KÜTLE

3.1. Tanımı

Cismin değişmeyen madde miktarına kütle denir. Kütle, eşit kollu terazi ile ölçülür. Bulunulan yere ve sıcaklığa göre değişmez. Bir cismin kütlesini bulunduğu yerdeki ağırlığının, o yerin yerçekimi ivmesine bölünmesiyle hesaplarız. Buna göre bir cismin kütlesi şu bağıntı ile ifade edilir;

$$m = \frac{G}{g} \tag{3.1}$$

Herhangi bir gazın kütlesi, mol kütlesi (M veya μ) ile mol miktarının (n) çarpımı ile elde edilir.

Şu bağıntı ile gösterilir;

$$m = M \cdot n \tag{3.2}$$

3.2 Birimleri

Kütle formülünde,
G = Ağırlık (N)
g = Yerçekimi ivmesi (m/s^2)'dir. Buna göre kütle birimi de kg'dır.
Gazın kütlesini veren formülde,
M = Gazın mol veya moleküler kütlesi, kg/kmol
n = Mol miktarı (mol veya kmol) buna göre kütle birimi de kg'dır.
Dönüşüm çarpanları da şöyledir,
1 kg = 1000 g 1 ton = 1000 kg

3.3 Özgül Kütle

3.3.1 Tanımı

Bir cismin birim hacminin kütlesine özgül kütle veya yoğunluk denir. Özgül kütle maddenin büyüklüğünden bağımsız bir özelliktir. Şu bağıntı ile ifade edilir;

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{3.3}$$

Burada,
m = Kütle (kg)
V = Hacim (m^3)'tür.
Buradan özgül kütle birimi de kg/m^3'tür. Dönüşüm çarpanları da şöyledir,
1 g/cm^3 = 1kg/L = 1000 kg/m^3
Tablo 1.8'de bazı maddelerin özgül kütleleri verilmiştir

Madde	Özgül kütle (g/cm^3)
Su	1,00
Alkol	0,78
Zeytinyağı	0,92
Cıva	13,65
Cam	2,5
Buz	0,91
Aseton	0,79
Bakır	8,9

Tablo 3.1: Bazı maddelerin özgül kütleleri

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Yerçekimi ivmesinin 9,8m/s² olduğu bir ortamda ağırlığı 700 N olan bir cismin kütlesi kaç kg'dır?

Veriler :

g = 9,8m/s²

G = 700 N

m = ?

$$m = \frac{G}{g} \longrightarrow m = \frac{700}{9,8} = 71,42$$ m=700/9,8=71,42 kg bulunur.

Örnek problem 2 : Bir cismin kütlesi 80 kg, hacmi de 0,6 m³ ise bu cismin özgül kütlesini (yoğunluk) hesaplayınız?

Veriler :

m = 80 kg

V = 0,6 m³

ρ = ?

$$\rho = \frac{m}{V} \longrightarrow \rho = \frac{80}{0,6} = 133,33$$ kg/m³ bulunur.

Örnek problem 3 : Özgül kütlesi 2,5 g/cm³ olan bir cam tabakasının 54 gramının hacmi kaç cm³'tür?

Veriler :

ρ = 2,5 g/cm³

m = 54 g

V = ?

$$\rho = \frac{m}{V}$$ 'den $\longrightarrow 2,5 = \frac{54}{V} \longrightarrow V = \frac{54}{2,5} = 21,6$ cm³ bulunur.

Örnek problem 4 **:** Herhangi bir karışımın mol miktarı 0,22 kmol, mol kütlesi 35,15 kg/kmol ise bu karışımın kütlesini bulunuz?

Veriler :

n = 0,22 kmol

M = 35,15 kg/kmol

m = ?

$m = M \cdot n \longrightarrow m = 0{,}22 \cdot 35{,}15 = 7{,}733$ kg bulunur.

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1: Yer çekimi ivmesinin 9,81 m/s² olduğu bir ortamda ağırlığı 720 N olan bir cismin kütlesi kaç kg'dır?
Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler : Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız. (3.1) Bağıntısında,verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz
Veriler: g = 9,81 m/s² $m = \frac{G}{g} \longrightarrow m = \frac{720}{9{,}81} = 73{,}39$ kg bulunur. G = 720 N m = ?

Problem 2: Bir cismin kütlesi 75 kg, hacmi de 0,8 m³ ise bu cismin özgül kütlesini hesaplayınız?
Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler: 1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız. 2. (3.3) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz
Veriler: m = 75 kg $\rho = \frac{m}{V} \longrightarrow \rho = \frac{75}{0{,}8} = 93{,}75$ kg/m³ bulunur. V = 0,8 m³ ρ = ?

Problem 3: Bir buz tabakasının 35 gramının hacmi kaç cm³'tür?
Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler : 1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız. 2. Tablo 3.1'de madde kısmından önce buz bulunur, sonra buzun özgül kütlesi çekilir 3. (3.3) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz
Veriler: m = 35 g $\rho = \frac{m}{V}$'den $\longrightarrow$ $0{,}91 = \frac{35}{V}$ $\longrightarrow$ $V = \frac{35}{0{,}91} = 38{,}46$ cm³ bulunur. ρ = 0,91 g/cm³ V = ?

Problem 4: Herhangi bir karışımın mol miktarı 0,25 kmol, mol kütlesi 36,45 kg/kmol ise bu karışımın kütlesi kaç kg'dır?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (3.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz

Veriler:

n = 0,25 kmol

$m = M \cdot n \longrightarrow m = 0{,}25 \cdot 36{,}45 = 9{,}1125$ kg bulunur.

M = 36,45 kg/kmol

m = ?

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Aşağıdakilerden hangisi kütlenin tanımıdır?

   A) Cismin değişmeyen madde miktarıdır.

   B) Bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir.

   C) Bir cismin birim hacminin kütlesidir.

   D) Bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir.

2) Aşağıdakilerden hangisi özgül kütlenin tanımıdır?

   A) Bir cismin birim kütlesinin hacmidir.

   B) 1 kg kütleye 1 m/s^2'lik ivme kazandırmak için gerekli olan kuvvettir.

   C) Bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir.

   D) Bir cismin birim hacminin kütlesidir.

3) Aşağıdakilerden hangisi kütle birimidir?

   A) N(Newton)

   B) Kg

   C) m/s

   D) kg.m

4) Aşağıdakilerden hangisi ivme'nin birimidir?

   A) N/m^2

   B) kg.m

   C) m/s

   D) m/s^2

5) Yer çekimi ivmesinin 9,81 m/s^2 olduğu bir ortamda ağırlığı 680 N olan bir cismin kütlesi aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 69,31 kg

   B) 70,15 kg

   C) 68,45 kg

   D) 71,41 kg

6) Bir cismin kütlesi 85 kg, hacmi ise 0,6m³ ise bu cismin özgül kütlesi aşağıdakilerden hangisidir?

A) 150 kg/m³

B) 145,45 kg/m³

C) 141,66 kg/m³

D) 139,23 kg/m³

7) Özgül kütlesi 2,5g/cm³ olan bir cam tabakasının 45 gramının hacmi aşağıdakilerden hangisidir?

A) 20 cm³

B) 15 cm³

C) 18 cm³

D) 19 cm³

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir.

Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

ÖĞRENME FAALİYETİ-4

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda, hacim ve özgül hacim kavramlarını tanımlayabilecek ve ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Hacim nedir, hacimler ne ile ölçülür, araştırınız.
- Özgül hacim ve yoğunluk arasında nasıl bir ilişki vardır, araştırınız.

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi veya geçmiş dönemlerdeki ders notlarınız kullanarak yapabilirsiniz.

4. HACİM

4.1. Tanımı

Maddenin uzayda kapladığı boşluğa hacim denir. Hacim (V) ile ifade edilir. Katı ve sıvıların belirli hacimleri vardır. Gazların ise belirli hacimleri yoktur, bulundukları kabı tamamen doldururlar.

Hacim sıcaklık ve basıncın etkisiyle değiştiğinden, maddelerin standart atmosferik koşullardaki hacimleri verilir ya da sıcaklık ve basınçla birlikte verilir. Hacim yaygın (bağımlı) bir özelliktir.

4.1.1. Birimleri

Hacim m^3, dm^3, cm^3 ve Litre gibi birimlerle ölçülür. Hacim çevirme çarpanları şunlardır,

$1\ m^3 = 1000\ L$ $\quad$ $1\ L = 1000\ cm^3$ $\quad$ $1\ L = 1\ dm^3 = 10^{-3} m^3$

4.2 Özgül Hacim

4.2.1 Tanımı

Bir maddenin birim kütlesinin hacmine özgül hacim denir. Özgül hacim (v) ile ifade edilir ve şu bağıntı ile gösterilir;

$$v = \frac{V}{m} \qquad (4.1)$$

Burada,
V = Hacim (m3)
m = Kütle (kg)'dır.

Buradan özgül hacim birimi de m^3/kg'dır. Özgül hacim yoğunluğun tersidir ve aralarında $v = \frac{1}{\rho}$ gibi bir bağıntı vardır. Özgül hacim, maddenin büyüklüğünden bağımsız, yani yeğin bir özelliktir.

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Özgül hacmi 0,75m³/kg olan 20 kg gazın hacmi,

a) Kaç m³'tür?

b) Kaç litredir?

Veriler :

v = 0,75 m³/kg

a) $v = \frac{V}{m} \longrightarrow 0{,}75 = \frac{V}{20} \longrightarrow V = 0{,}75 \cdot 20 = 15$ m³ bulunur.

m = 20 kg

b) 1 m³ = 1000 L ise $V = 15 \cdot \frac{1000}{1} = 15000$ L bulunur.

a) V = ? m³

b) V = ? L

Örnek problem 2 **:** Hacmi 16 m³ olan 22 kg gazın özgül hacmi ne kadardır?

Veriler :

V = 16 m³

m = 22 kg

v = ?

$v = \frac{V}{m} \longrightarrow v = \frac{16}{22} = 0{,}72$ m³/kg bulunur.

Örnek problem 3 **:** Hacmi 200 L olan 0,25 kg gazın özgül hacmi ne kadardır?

Veriler :

V = 200 L

m = 0,25kg

v = ?

1 m³ = 1000 L ise $V = 200 \cdot \frac{1}{1000} = 0{,}2$ m³

$v = \frac{V}{m}$ 'den $\longrightarrow$ $v = \frac{0{,}2}{0{,}25} = 0{,}8$ m³/kg bulunur.

Örnek problem 4 **:** Özgül hacmi 0,65 m³/kg olan 15 kg gazın hacmi kaç m³'tür?

Veriler :

v = 0,65 m³/kg

m = 15 kg

V = ?

a) $v = \frac{V}{m} \longrightarrow 0{,}65 = \frac{V}{15} \longrightarrow V = 0{,}65 \cdot 15 = 9{,}75$ m³ bulunur.

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1: Özgül hacmi 0,78 m³/kg olan 25 kg gazın hacmi

a) Kaç m³'tür?

b) Kaç litredir?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (4.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. V'yi çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
3. Çıkan sonuç litre istendiği için (4.1) bağıntısında bulunan sonucu hacim çevirme çarpanı olan 1 m³ = 1000 L ile içler dışlar çarpımı yapınız ve sonucu litre olarak bulunuz.

Veriler:

v = 0,78 m³/kg

m = 25kg

a) V = ? m³

b) V = ? L

a) $v = \frac{V}{m} \longrightarrow 0{,}78 = \frac{V}{25} \longrightarrow V = 0{,}78 \cdot 25 = 19{,}5$ m³ bulunur.

b) 1 m³ = 1000 L ise $V = 19{,}5 \cdot \frac{1000}{1} = 19500$ L bulunur.

Problem 2: Hacmi 14 m³ olan 20 kg gazın özgül hacmi ne kadardır?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (4.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

V = 14 m³

m = 20 kg

v = ?

$v = \frac{V}{m} \longrightarrow v = \frac{14}{20} = 0{,}7$ m³/kg bulunur.

Problem 3: Hacmi 300 L olan 0,45 kg gazın özgül hacmi ne kadardır?
Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler : 1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız. 2. Soruda hacim birimi litre verildiği için 300 L, hacim çevirme çarpanı olan 1m³=1000L ile içler dışlar çarpımı yapınız ve hacim birimini m³ olarak bulunuz. 3. (4.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak hesaplama işlemini gerçekleştiriniz .
Veriler: V = 300 L 1 m³ = 1000 L ise $V = 300 \cdot \frac{1}{1000} = 0{,}3\,\text{m}^3$ m = 0,45 kg $v = \frac{V}{m}$ 'den $v = \frac{0{,}3}{0{,}45} = 0{,}66$ m³/kg bulunur. v = ?

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Aşağıdakilerden hangisi hacmin tanımıdır?

   A) Cismin değişmeyen madde miktarıdır.

   B) Bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir.

   C) Maddenin uzayda kapladığı yerdir.

   D) Bir cismin birim hacminin kütlesidir.

2) Aşağıdakilerden hangisi özgül hacmin tanımıdır?

   A) Cismin değişmeyen madde miktarıdır.

   B) Bir maddenin birim kütlesinin hacmidir.

   C) Bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir.

   D) Bir cismin birim hacminin kütlesidir.

3) Aşağıdakilerden hangisi hacim birimidir?

   A) m^2

   B) kg

   C) m/s

   D) m^3

4) Aşağıdakilerden hangisi özgül hacmin birimidir?

   A) N/m^2

   B) kg/m^3

   C) m^3/kg

   D) m/s^2

5) Hacmi 15 m^3 olan 32 kg gazın özgül hacmi aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 0,46 m^3/kg

   B) 0,48 m^3/kg

   C) 0,50 m^3/kg

   D) 0,52 m^3/kg

6) Özgül hacmi 0,77 m^3/kg olan 26 kg gazın hacmi aşağıdakilerden hangisidir?

A) 21,05 m^3

B) 20,02 m^3

C) 23.05 m^3

D) 22,04 m^3

7) Hacmi 100 L olan 0,15 kg gazın özgül hacmi aşağıdakilerden hangisidir?

A) 0.016 m^3/kg

B) 0,017 m^3/kg

C) 0,019 m^3/kg

D) 0,015 m^3/kg

8) Özgül hacmi 0,74 m^3/kg olan 23 kg gazın hacminin litre karşılığı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 17020 L

B) 18080 L

C) 16035 L

D) 15098 L

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir.

Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

ÖĞRENME FAALİYETİ-5

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda, basınç, mutlak basınç, efektif basınç, atmosferik basınç kavramları ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz

ARAŞTIRMA

- Basınç nedir, basınçlar ne ile ölçülür, araştırınız.
- Pascal kimdir, araştırınız.
- Gösterge basıncı ile mutlak basınç arasındaki fark nedir, araştırınız.

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi veya geçmiş dönemlerdeki ders notlarınızı kullanarak yapabilirsiniz.

5. BASINÇ

5.1. Tanımı

Yeryüzündeki bütün maddeler ağırlıklarından dolayı temas ettikleri yüzeylere basınç uygular.Basınç, sadece sıvı ve gaz ortamlarda söz konusudur.

Katı cisimlerde basınç **:** Katı cisimler bulundukları yüzeye ağırlıkları kadar kuvvet uygular. Dolayısı ile katılar üzerlerine uygulanan kuvvetin değerini değiştirmeden kuvvet doğrultusunda aynen iletirler ve G=F şeklinde ifade edilirler. Katılarda basınç ifadesinin yerine **gerilme** ifadesi kullanılır.

Sıvılarda basınç **:** Sıvılarda basınç ifadesi şu şekilde kullanılır.

Basınç (P), bir akışkanın birim alana (yüzeye) uyguladığı normal kuvvettir. Şu bağıntı ile ifade edilir;

$$P = \frac{F_n}{A} \qquad (5.1)$$

Burada,

F_n = Normal kuvvet (N)

A = Yüzey alanı (m^2)

Sıvılarda basınç derinlikle artar. Bunun sebebi alt tabakalardaki sıvının üst tabakalara oranla daha fazla ağırlık taşıyor olmasıdır. Sıvılarda basınç dikey yönde yerçekimi etkisinden dolayı değişir fakat yatay yönde bir değişiklik göstermez. Şekil 5.1'de gösterilen A kabında sıvının (su) kabın tabanına yaptığı basınç değeri sıvının derinliğine ve sıvının cinsine bağlıdır. Sıvı basıncı kabın şekline bağlı değildir.

Sıvının kabın tabanına yaptığı basınç şu bağıntı ile ifade edilir;

$$P = \rho \cdot g \cdot h \qquad (5.2)$$

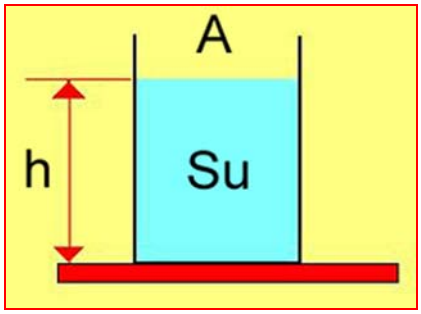
Burada,

ρ = Sıvının yoğunluğu (kg/m³)

g = Yerçekimi ivmesi (m/s²)

h = Sıvının yüksekliği (m)'dir.

Buradan basınç (P) birimi de N/m²'dir.



Şekil 5.1: Sıvılarda basınç iletimi

Gazlarda basınç : Gazlardaki basıncı iki başlık altında inceleyeceğiz. Atmosferdeki gazlar ağırlıkları sebebi ile temas ettikleri yüzeylere basınç uygularr. Ayrıca kapalı kaplarda bulunan gazlar serbest hareket ettiklerinden kabın çeperleri (iç yüzeyleri) ne basınç uygular. Buna göre gazlarda basınç iki başlık altında incelenir. Bunlar,

1. Açık hava basıncı
2. Kapalı kaplardaki gazların basınçları

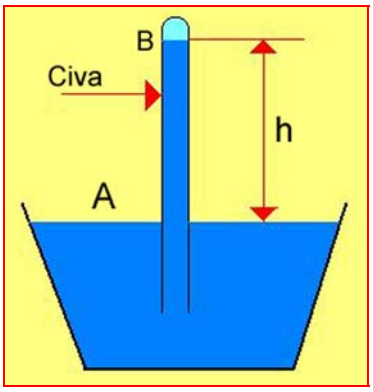
5.1.2 Açık Hava Basıncı

Açık hava, yeryüzüne ve kendi içindeki tüm yüzeylere ağırlığı nedeni ile kuvvet uygular. Birim yüzeye etki eden bu kuvvete açık hava basıncı veya atmosfer basıncı denir. Açık hava basıncını veya herhangi bir yerdeki atmosferik (P atm) basıncı ölçen araçlara barometre denir. Atmosferik basınçlara barometre basıncı da denilmektedir. Şekil 5.2'de basit bir barometre görülmektedir.

Şekil 5.2'de içi cıva dolu bir tüp, içi cıva dolu bir kaba, ters çevrilerek daldırılmış durumdadır. A noktasındaki basınç atmosfer basıncıdır. B noktasındaki basınç ise sıfır alınabilir, çünkü bu noktanın üzerindeki boşlukta sadece basıncı ihmal edilecek kadar düşük olan cıva buharı bulunmaktadır.

Açık hava basıncını ilk defa Toriçelli 0 ºC'de deniz seviyesinde yaptığı deney ile ispatladı. Toriçelli, tüpte cıvanın yüksekliğini **h** 76 cm olarak ölçmüştür. Buradan atmosfer basıncı civa sütunu cinsinden,

1atm = 76 cm = 760 mm'dir.



Şekil 5.2 Basit bir barometre

Şekil 5.2'de düşey doğrultudaki kuvvetlerin eşitliği yazılırsa, atmosfer basıncı şu bağıntı ile hesap edilir;

$$P_{atmosfer} = \rho \cdot g \cdot h \qquad (5.3)$$

Burada;

ρ = Barometre sıvısının yoğunluğu (kg/m³) (cıva için $\rho_{hg} = 13650$ kg/m³ alınabilir.)

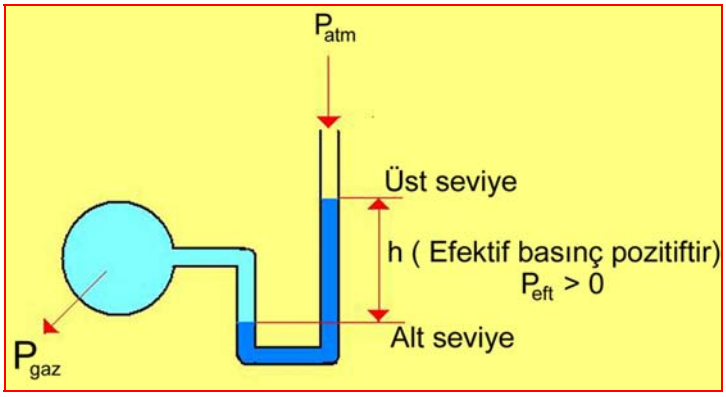
g = Yerçekimi ivmesi (m/s²) (genellikle 9,8 m/s² alınabilir)

h = Sıvı sütununun yüksekliği (m)'dir.

Burada atmosfer basıncının birimi (N/m²=Pa)'dır.

5.1.3 Kapalı Kaplardaki Gaz Basıncı

Kapalı kaplardaki küçük ve orta büyüklükteki basınç farkları manometre adı verilen cihazla ölçülür. Manometre, bir ucu içinde gaz bulunan cam bir balonun diğer ucu içinde cıva (su, alkol veya yağ da olabilir) gibi sıvı bulunan U biçiminde ucu açık cam borunun birleştirilmesi ile yapılan cam bir kaptır (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4).



Şekil 5.3

Cıva,bir koldan cam boru içindeki gaz basıncının etkisi, diğer ucu da açık olan koldan açık hava (**P atmosfer**) basıncının etkisi altındadır.

Manometrede okunan değere (**h seviyesi**) efektif basınç (**P efektif**) denir. Bu basınca, gösterge basıncı (**P gösterge**) veya manometre basıncı (**P manometre**) da denilmektedir.

Pgaz basıncına da P mutlak basınç olarak ifade edilir. Mutlak basınç, herhangi bir noktadaki gerçek basınçtır. Mutlak basınç, mutlak boşluğa veya mutlak sıfır basınca göre ölçülen basınçtır. Açık hava basıncı atmosferik şartlara bağlı olarak değiştiği için termodinamikte mutlak basınç değerleri kullanılmaktadır.

Şekil 5.3'teki durum **Pgaz >Patm** veya **P mutlak > Patm** halidir. Bu manometrede gazın basıncı (P gaz veya P mutlak), atmosfer(açık hava basıncı) basıncından (P atmosfer) büyük ise cıva açık uçta şekilde de görüldüğü gibi yükselir. Cıvanın alt seviyesindeki basınçlar eşit olduğuna göre gaz basıncı (P gaz) şu bağıntı ile bulunur;

$$P_{gaz} = P_{atmosfer} + h \tag{5.4}$$

Bu formül şu iki şekilde de yazılabilir;

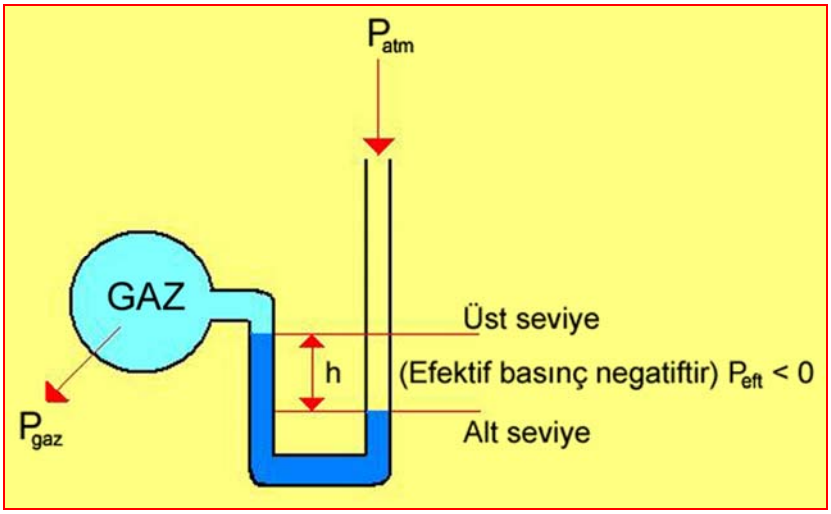
$$P_{mutlak} = P_{atmosfer} + P_{efektif} \text{ veya } P_{mutlak} = P_{atmosfer} + P_{gösterge} \tag{5.5}$$

Burada, $P_{mutlak} = P_{gaz}$ $\qquad P_{efektif} = h = \rho \cdot g \cdot h$ dır. (5.6)

Şekil 5.3'e ait kullanılan diğer formüller de şunlardır;

$$P_{atmosfer} = P_{mutlak} - P_{efektif} \text{ veya } P_{atmosfer} = P_{mutlak} - P_{gösterge} \tag{5.7}$$

$$P_{efektif} = P_{mutlak} - P_{atmosfer} \text{ veya } P_{gösterge} = P_{mutlak} - P_{atmosfer} \tag{5.8}$$



Şekil 5.4

Şekil 5.4'teki durum **Pgaz < Patm** veya **P mutlak < Patm** halidir. Yani atmosfer basıncı (P atmosfer) manometredeki gazın (P mutlak veya P gaz) basıncından büyük ise cıva gazın bağlı olduğu kolda şekilde görüldüğü gibi yükselir.Bu durum şu bağıntı ile ifade edilir,

$P_{gaz} + h = P$ atmosfer olur. Buradan P gaz çekilirse şu bağıntı elde edilir;

$$P_{gaz} = P_{atmosfer} - h \tag{5.9}$$

Bu formül şu iki şekilde de yazılır;

$$P_{mutlak} = P_{atmosfer} - P_{vakum} \text{ veya } P_{mutlak} = P_{atmosfer} - P_{efektif} \tag{5.10}$$

Burada, $P_{vakum} = \rho \cdot g \cdot h$ dır. (5.11)

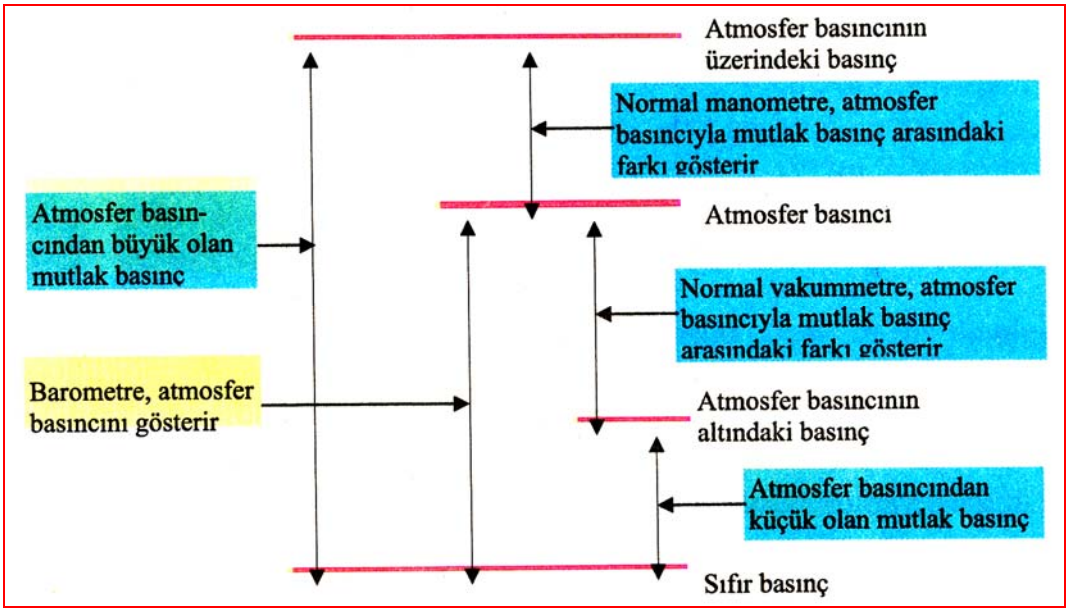
Şekil 5.4'e ait kullanılan diğer formüller de şunlardır;

$$P_{atmosfer} = P_{mutlak} + P_{vakum} \text{ veya } P_{atmosfer} = P_{mutlak} + P_{efektif} \tag{5.12}$$

$$P_{vakum} = P_{atmosfer} - P_{mutlak} \text{ veya } P_{efektif} = P_{atmosfer} - P_{mutlak} \tag{5.13}$$

Atmosfer basıncından düşük basınçlara da vakum (negatif basınç) denir. Vakumların ölçülmesinde kullanılan aletlere de vakummetre denir.

Basınç değerlerinin kullanıldığı durumlarda verilen bir basınç değerinin **mutlak basınç** veya **efektif basınç** olup olmadığı mutlaka belirtilmelidir. Şekil 5.5'te basınç ölçüm terimleri arasındaki ilişki açıklanmıştır, dikkatlice inceleyiniz.



Şekil 5.5: Basınç ölçüm terimleri arasındaki ilişki

5.1.4 Birimleri

Basınç birimi N/m²'dir. Bu değere pascal (Pa)'da denilmektedir. Pratikte karşılaşılan basınçlar için pascal çok küçük bir değer ifade ettiği için Pascal'ın kolları olan Kilopascal (1kPa = 10^3Pa) ve Megapascal (1MPa = 10^6Pa) yaygın olarak kullanılır. Bunlardan başka sıkça kullanılan iki basınç değeri daha vardır. Bunlar bar ve standart atmosfer olup şu şekillerde tanımlanırlar,

1 bar = 10^5 Pa = 0,1 MPa = 100 kPa	1 atm = 101325 Pa = 101,325 kPa = 1,01325 bar
1 bar = 750 mmHg	1 atm = 760 mmHg
1 bar = 0,987 atm	1 atm = 14,6 Psi
1 bar = 14,5 Psi	

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Barometrede 740 mmHg değerinin okunduğu bir yerdeki yerçekimi ivmesi 9,8 m/s²olduğuna göre bu yerin atmosfer basıncını hesaplayınız?

(Cıvanın yoğunluğu = 13650 kg/m³'tür)

<u>Veriler :</u>

h = 740 mmHg = 0,74 m

g = 9,8 m/s²

ρ = 13650 kg/m³

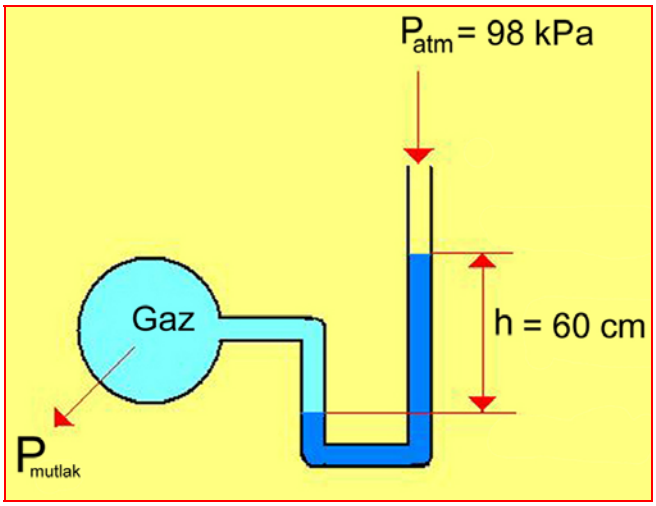
$P_{atmosfer}$ = ?

$$P_{atmosfer} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_{atmosfer} = 13650 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}74$$

$P_{atmosfer} = 98989{,}8$ N/m² (Pa) bulunur.

Örnek problem 2 : Şekil 5.6'daki manometre sıvısının yoğunluğu 800 kg/m³olup, h yüksekliği (sütun farkı) 60 cm olarak ölçülmüştür. Standart yerçekimi ivmesi 9,8 m/s² ve atmosfer basıncı 98 kPa olduğuna göre kap içindeki mutlak basınç kaç kPa dır?



Şekil 5.6

Veriler :

$\rho = 800$ kg/m³

$P_{efektif} = 800 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}6 = 4704 Pa = \dfrac{4704}{1000} = 4{,}704 kPa$

h = 60 cm = 0,6 m

g = 9,8 m/s²

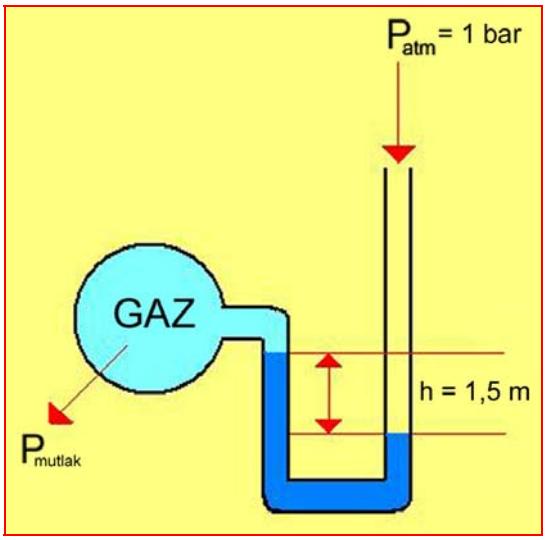
$P_{atmosfer}$ = 98 kPa

P_{mutlak} = ?

$P_{mutlak} = P_{atmosfer} + P_{efektif}$

$P_{mutlak} = 98 + 4{,}704 = 102{,}704$ kPa bulunur.

Örnek problem 3 : Şekil 5.7'deki manometre sıvısının yoğunluğu 1000 kg/m³olup, h yüksekliği (sütun farkı) 1,5 m olarak ölçülmüştür. Standart yerçekimi ivmesi 9,8 m/s² ve atmosfer basıncı 1 bar olduğuna göre kap içindeki basınç kaç bar'dır?



Şekil 5.7

Veriler :

$\rho = 1000$ kg/m³

$h = 1{,}5$ m

$g = 9{,}8$ m/s²

$P_{atmosfer} = 98$ kPa

$P_{mutlak} = ?$

$$P_{vakum} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_{vakum} = 1000 \cdot 9{,}8 \cdot 1{,}5$$

$$P_{vakum} = 14700 N/m^2 (Pa) = \frac{14700}{100000} = 0{,}147 bar$$

$$P_{mutlak} = P_{atmosfer} - P_{vakum}$$

$$P_{mutlak} = 98 - 0{,}147 = 0{,}853 \text{ bar bulunur.}$$

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1: Barometrede 750 mmHg değerinin okunduğu bir yerdeki yerçekimi ivmesi 9,8m/s²olduğuna göre, bu yerin atmosfer basıncını hesaplayınız?

(Cıvanın yoğunluğu = 13650 kg/m³'tür)

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda h mesafesi mm olarak verildiği için mutlaka metre (m) ye çevirin. Çevirme çarpanı olarak 1 m = 1000 mm eşitliğinden yararlanabilirsiniz.
3. (5.3) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

h = 750 mmHg

1 m = 1000 mm ise $h = \frac{750}{1000} = 0{,}75$ m

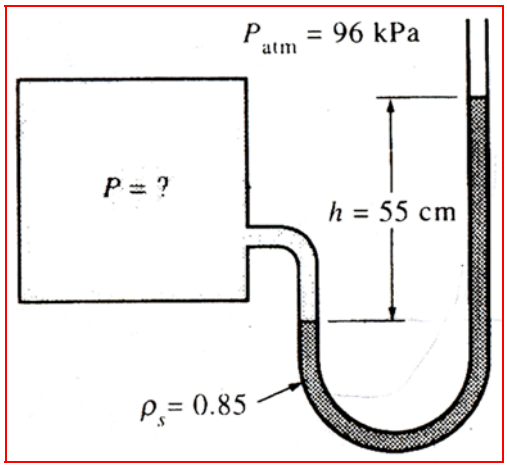
g = 9,8 m/s²

$P_{atmosfer} = \rho \cdot g \cdot h$

ρ = 13650 kg/m³

$P_{atmosfer} = 13650 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}75 = 100327{,}5$ N/m² (Pa) bulunur.

$P_{atmosfer}$ = ?



Şekil 5.8

Problem 2: Şekil 5.8'deki manometre sıvısının özgül ağırlığı 0,85olup, h yüksekliği (sütun farkı) 55 cm olarak ölçülmüştür. Standart yerçekimi ivmesi 9,8 m/s².ve atmosfer basıncı 96 kPa olduğuna göre,kap içindeki mutlak basınç kaç pascal'dır?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Manometre sıvısının yoğunluğu problemde verilmediği zaman manometre sıvısının yoğunluğunu, verilen sıvının özgül ağırlığını suyun yoğunluğu olan 1000 kg/m³ ile çarparak bulunuz.
3. Soruda h mesafesi cm olarak verildiği için mutlaka metre (m)' ye çevirin. Çevirme çarpanı olarak 1 m = 100 cm eşitliğinden yararlanabilirsiniz.
4. Sonuç pascal (Pa) olarak istendiği için problemde kPa olarak verilen

atmosfer basıncı değerini Pascal'a (Pa) çeviriniz. Çevirme çarpanı olarak 1 kPa = 10^3 Pa eşitliğinden yararlanabilirsiniz.

5. Şekildeki manometreye baktığımızda P mutlak > Patmosfer halidir. Buna göre,
6. (5.5) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.Formüldeki efektif basınç değerini (5.6) bağıntısından alınız.

Veriler:

$\gamma_{sıvı}$ = 0,85

$$\rho = (\gamma_{sıv}) \cdot (\rho_{H_2O}) = (0{,}85) \cdot (1000 kg/m^3) = 850 kg/m^3$$

h = 55 cm

1 m = 100 cm ise, $h = \frac{55}{100} = 0{,}55m$

g = 9,8 m/s²

1 kPa =10^3 Pa ise, $P_{atmosfer} = 96 \cdot 1000 = 96000Pa$

$P_{atmosfer}$ = 96 kPa

P_{mutlak} = ?

$P_{mutlak} = P_{atmosfer} + P_{efektif}$ $\quad$ $P_{efektif} = h = \rho \cdot g \cdot h$ ise

$$P_{mutlak} = P_{atmosfer} + \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_{mutlak} = 96000 + 850 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}55$$

$$P_{mutlak} = 96000 + 4581{,}5$$

$P_{mutlak} = 100581{,}5$ Pa bulunur.

Problem 3: Manometre sıvısının yoğunluğu 900 kg/m³olup, h yüksekliği (sütun farkı) 0,65m olarak ölçülmüştür. Standart yerçekimi ivmesi 9,8 m/s². ve atmosfer basıncı 1 bar olduğuna göre kap içindeki mutlak basınç kaç bar dır? ($P_{mutlak} < P_{efektif}$ olma halidir)

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Problem, P mutlak< Pefektif olma hali olduğu için (5.11) bağıntısından faydalanarak P vakum değerini hesaplayınız.
3. P vakum değeri hesaplandığında sonuç Pa (N/m²) çıkacaktır. Fakat sonuç bar olarak istendiği için çıkan sonucu, 1 bar = 10^5 Pa (N/m²) eşitliği kullanarak içler dışlar çarpımı yaparak bar'a çeviriniz.
4. (5.10) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

ρ = 900 kg/m³

h = 0,65 m

g = 9,8 m/s²

$P_{atmosfer}$ = 1 bar

P_{mutlak} =?

$$P_{vakum} = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_{vakum} = 900 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}65 = 5733\,65 \text{ Pa (N/m}^2\text{) bulunur.}$$

1 bar = 10^5 Pa = 100000 Pa (N/m²) ise,

$$P_{vakum} = \frac{5733}{100000} = 0{,}05733 \text{ bar}$$

$$P_{mutlak} = P_{atmosfer} - P_{vakum}$$

$$P_{mutlak} = 1 - 0{,}05733$$

$$P_{mutlak} = 0{,}94267 \text{ bar bulunur.}$$

Problem 4: Bir manometrede mutlak basınç 860 mmHg atmosfer basıncıda 760 mmHg ise cıva seviyeleri arasındaki fark (h) kaç metre (m) dir?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Problemde verilen mutlak basınç, atmosfer basıncından büyük olduğu için manometredeki gazın durumu $P_{mutlak}>P_{atmosfer}$ olma halidir. Buna göre (5.4) bağıntısından faydalanarak problemi çözünüz.
3. (5.4) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. h'i çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
4. h değeri mm olarak çıkar. Sonuç metre (m) istendiği için 1 m = 1000 mm çevirme çarpanından faydalanınız.

Veriler:

P_{mutlak} = 860 mmHg

$P_{atmosfer}$ = 760 mmHg

h = ?

$$P_{mutlak} = P_{atmosfer} + h$$

$$860 = 760 + h$$

$$h = 860 - 760 = 100 \text{ mm}$$

1 m = 1000 mm ise $h = \frac{100}{1000} = 0{,}1$ m bulunur.

Problem 5: Basınç göstergesi bir tekerleğin hava basıncını 250 kPa göstermektedir. Atmosfer basıncıda 101,325 kPa olduğuna göre bu basıncın mutlak değerini bulunuz?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Basınç göstergesini (P gösterge) biz aynı zamanda P efektif veya P manometre olarak da biliyoruz.
3. Basınç göstergesinde(P efektif) okunan değer pozitif bir değer olduğu için şekil 5.6'daki durum yani $P_{efektif}>0$ hali geçerlidir ve buna göre,
4. (5.5) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$P_{efektif} = 250$ kPa

$P_{atmosfer} = 101{,}325$ kPa

$P_{mutlak} = ?$

$$P_{mutlak} = P_{atmosfer} + P_{efektif}$$

$$P_{mutlak} = 101{,}325 + 250$$

$P_{mutlak} = 351{,}325$ kPa bulunur.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Sıvılardaki basınç ifadesi aşağıda hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

   A) Bir akışkanın birim alana uyguladığı normal kuvvettir.

   B) Bir cismin birim hacminin kütlesidir.

   C) Cismin değişmeyen madde miktarıdır.

   D) Bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir.

2) Açık hava basıncını ölçen alet aşağıdakilerden hangisidir?

   A) Vakummetre

   B) Manometre

   C) Barometre

   D) Dinamometre

3) Kapalı kaplardaki gaz basıncını ölçen alet aşağıdakilerden hangisidir?

   A) Barometre

   B) Manometre

   C) Dinamometre

   D) Vakummetre

4) Atmosfer basıncından küçük basınçlara ne ad verilir?

   A) Açık hava basıncı

   B) Mutlak basınç

   C) Pozitif basınç

   D) Vakum

5) Mutlak boşluğa veya mutlak sıfır basınca göre ölçülen basınç aşağıdakilerden hangisidir?

   A) Atmosfer basıncı

   B) Efektif basınç

   C) Mutlak basınç

   D) Manometre basıncı

6) Aşağıdakilerden hangisi basınç birimidir?

A) N.m

B) Joule(J)

C) N/m^3

D) Pa

7) Aşağıdakilerden hangisi basınç birimidir?

A) M

B) Atm

C) $kg.m/s^2$

D) N/m

8) Barometrede 750 mmHg değerinin okunduğu bir yerdeki yerçekimi ivmesi 9,8 m/s^2 cıvanın yoğunluğu 13650 kg/m^3 olduğuna göre, bu yerin atmosfer basıncının değeri aşağıdakilerden hangisidir?

A) 100327,5 Pa

B) 102345 Pa

C) 101446,5 Pa

D) 103587 Pa

9) Manometre sıvısının yoğunluğu 950 kg/m^3olup, h yüksekliği (sütun farkı) 0,85 m olarak ölçülmüştür. Standart yerçekimi ivmesi 9,8 m/s^2 ve atmosfer basıncı 1 bar olduğuna göre, kap içindeki mutlak basınç kaç bar dır? ($P_{mutlak} < P_{efektif}$ olma halidir) buna dikkat ederek problemi çözünüz.

A) 0,831745 bar

B) 0,893426 bar

C) 0,920865 bar

D) 0,764598 bar

10) Basınç göstergesi bir tekerleğin hava basıncını 230 kPa göstermektedir. Atmosfer basıncıda 101,325 kPa olduğuna göre bu basıncın mutlak değeri aşağıdakilerden hangisidir?

A) 331,325 kPa

B) 425.987 kPa

C) 350,425 kPa

D) 421,523 kPa

11) Bir manometrede mutlak basınç 950 mmHg atmosfer basıncıda 760 mmHg ise cıva seviyeleri arasındaki fark (h) kaç metre (m) dir?

A) 0,20 m

B) 0,25 m

C) 0,19 m

D) 0,18 m

12) Atmosfer basıncı 101 kPa olarak ölçülürken, bir deney odasına bağlanmış vakum göstergesinde 40 kPa değeri okunmaktadır. Odanın mutlak basıncı kaç kPa'dır?

A) 61 kPa

B) 75 kPa

C) 82 kPa

D) 46 kPa

ÖĞRENME FAALİYETİ-6

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda gerekli ortam ve materyaller sağlandığında ideal gaz ile ilgili değişkenleri kullanarak basınç, hacim, kütle, sıcaklık, özgül ısınma ısısı ve Boyle-Mariotte kanununu kullanarak basınç ve hacim hesaplayabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- İdeal gaz ne demektir,ideal gaz var mıdır, araştırınız.
- Termodinamikte kullanılan standart atmosferik basınç ve sıcaklık değerleri kaçtır, araştırınız.
- Gaz sabiti ile moleküler(mol) kütle arasında nasıl bir ilişki vardır, araştırınız.
- Mol kütlesi ne demektir, araştırınız.
- Üniversal gaz sabiti ne demektir, araştırınız.
- Özgül ısı ne demektir, araştırınız.
- Avagadro kanunu neyi tanımlamaktadır, araştırınız.
- Boyle-Mariotte kanunu hangi bağıntıyı tanımlamaktadır, araştırınız.

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınızı kullanarak yapabilirsiniz.

6. İDEAL GAZ KANUNLARI

6.1 Tanımı

Bir gazın basıncı çok düşük bu yüzden moleküller arasındaki uzaklık çok büyük ise komşu moleküllerin birbirleri üzerindeki etkileri ihmal edilebilecek kadar az ise bu duruma ideal durum ve bu gazada ideal gaz denir.

Bir başka deyişle moleküller arasındaki çekim kuvveti sıfır kabul edilen gazlara ideal gaz denir. Bütün gazlar düşük basınç ve yüksek sıcaklıkta ideal duruma yaklaşırlar. Gerçekte ideal gaz yoktur fakat biz türetilen denklemlerde ve hesaplamalarda Hidrojen, Azot, Hava, Oksijen, Karbondioksit vb gazları ideal gaz gibi düşünebiliriz.

6.1.1 Özellikleri

İdeal gaz aşağıdaki özelliklere sahiptir,

- Gazlar, sürekli olarak ve gelişigüzel hareket eden taneciklerden oluşur.
- Gaz molekülleri, bulundukları kabın duvarlarına çarparl ve birbiri ile çarpışır. Bu çarpmalar elastik karakterde olup, gazın kinetik enerjisi ısı haline dönüşmez
- Sıcaklıkları aynı olan gazların ortalama kinetik enerjileri de aynıdır.
- İdeal gaz taneciklerinin kendi öz hacimleri yoktur. Yani bu tanecikler geometrik bir nokta olarak kabul edilmektedir.
- Gaz molekülleri birbirinden bağımsız olup tanecikler arasında hiçbir çekme ve itme kuvveti yoktur.

6.1.2 Gaz Sabiti

Herhangi bir gazın 0 ºC'da 1 atmosfer basınç altında 1 m³ ağırlığına gaz sabiti denir. Gaz sabiti R sembolü ile gösterilir ve **birinci yol** olarak şu bağıntıdan bulunabilir;

$$R = P \cdot \frac{v}{T} \tag{6.1}$$

Burada;

P = Atmosfer basıncı (N/m² = Pa)

v = Özgül hacim (m³/kg)

T = Mutlak sıcaklık (K)

Gaz sabiti her gazın cinsine göre ayrı bir değer alır. Verilen bu formülle normal şartlar altında (0 ºC ve 1 atm basınç altında) özgül hacmi (v) bilinen bütün gazların gaz sabiteleri hesaplanabilir. Tablo 6.1'de bazı bilinen gazların özgül hacim (v) değerleri verilmiştir.

Gaz	Özgül hacim (v) değeri
Hava	$v = \frac{1}{1{,}293}$ (m³/kg)
Hidrojen	$v = \frac{1}{0{,}0896}$ (m³/kg)
Azot	$v = \frac{1}{1{,}256}$ (m³/kg)
Oksijen	$v = \frac{1}{1{,}43}$ (m³/kg)
Karbondioksit	$v = \frac{1}{1{,}917}$ (m³/kg)

Tablo 6.1: Bazı gazların özgül hacim değerleri

Örneğin normal şartlar altında havanın gaz sabitini hesaplayalım,

Normal şartlar altında 1 atm = 101325 N/m² = Pa'dır. Yani P = 101325 N/m²

t = 0 ºC ise $T = t + 273 = 0 + 273 = 273K$

$v = \frac{1}{1{,}293} = 0{,}773395205$ m³/kg değerleri formülde yerine koyarsak,

$R = P \cdot \frac{v}{T} = 101325 \cdot \frac{0{,}773395205}{273} = 287{,}04$ J/kgK veya 0,28704 kJ/kgK bulunur.

Gaz sabitini **ikinci yol** olarak şu bağıntıdan bulabiliriz;

$$R = \frac{R_u}{M} \tag{6.2}$$

R_u = Evrensel gaz sabiti (bütün gazlar için sabittir ve 8,3143 kJ/kmolK olarak alınır)

M = Mol kütlesi (kg/kmol), Problemde gaz karışımı olarak ya doğrudan verilir yada gazın adı belli ise Şekil 1.18'den ilgili gazın mol kütlesi çekilir.

Gaz sabitini **üçüncü yol** olarak şu bağıntıdan bulabiliriz;

$$R = C_p - C_v \tag{6.3}$$

C_p = Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kgK)

C_v = Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kgK)

C_p ve C_v değerleri problemde ya doğrudan verilir yada gazın adı belli ise Şekil 1.18'den ilgili gazın özgül ısıları çekilir.

6.1.3 Mol Sayısı

Bir gazın mol sayısı veya miktarı n tane mol miktarı için genel gaz denkleminden faydalanılarak bulunur. Genel gaz denklemi şu şekilde ifade edilir,

$P \cdot V = n \cdot R_u \cdot T$ denkleminden mol sayısı (n) çekilirse, mol miktarı şu bağıntı ile hesaplanır;

$$n = \frac{P \cdot V}{R_u \cdot T} \tag{6.4}$$

Burada;

P = Basınç (N/m² = Pa veya kPa)

V = Hacim (m³)

R_u = Evrensel gaz sabiti, (Bütün gazlar için sabittir ve 8,3143 kJ/kmolK olarak alınır.)

T = Mutlak sıcaklık (K)

Buradan mol sayısı (n)'nın birimi de (mol veya kmol)'dür.

Eğer gazın kütlesi ve molekülsel (mol) kütlesi biliniyorsa o zaman gazın mol sayısı veya mol miktarı şu bağıntı ile hesaplanır;

$$n = \frac{m}{M} \tag{6.5}$$

Burada,

m = Kütle (kg)

M = Molekül (mol) kütlesi (kg/kmol)

6.1.4 Evrensel Gaz Sabiti

Evrensel gaz sabiti (R_u), 1 kmol ideal gazın, sabit basınçta ve 1 K sıcaklık değişimi sırasında yaptığı iştir. Evrensel gaz sabitinin değeri bütün gazlar için aynıdır ve R_u = 8,3143 kJ/kmolK olarak alınır.

6.1.5 Özgül Isınma Isısı

Farklı iki maddenin eşit kütlelerinin sıcaklığını bir derece arttırabilmek için farklı miktarlarda enerji gerektirir. Örneğin, 1kg demirin sıcaklığını 20 ºC'den 30 ºC'ye yükseltmek için 4,5 kJ enerjiye gerek duyulurken, 1 kg suyun sıcaklığını aynı aralıkta arttırmak için bunun 9 katı olan 40,5 kJ enerjiye gerek duyulur. Bu nedenle maddelerin enerji depolama yeteneklerini belirten bir özelliğin tanımlanmasına gerek duyulmuştur. Bu özellik özgül ısı dır.

Özgül ısı, bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece arttırmak için gerekli enerji diye tanımlanır. Termodinamikte iki özgül ısı tanımı yaygın olarak kullanılır.

- Sabit hacimde özgül ısı C_v
- Sabit basınçta özgül ısı C_p

Sabit hacimde özgül ısı (C_v), maddenin birim kütlesinin sıcaklığını sabit hacimde bir derece yükseltmek için gerekli enerjidir.

Sabit basınçta özgül ısı (C_p), maddenin birim kütlesinin sıcaklığını sabit basınçta bir derece yükseltmek için gerekli enerjidir.

Her zaman C_p>C_v'dir.Bunun nedeni, sistemin sabit basınçta genişlerken yaptığı iş için fazladan bir enerjinin gerekli olmasıdır.

C_p ve C_v'nin birimi (kJ/kgK)'dir.

C_p ve C_v'nin farkı gaz sabitini verir, yani $C_p - C_v = R$'dir.

6.1.6 Molekül kütlesi

Molekül kütlesi, maddenin bir mol'ünün gram olarak kütlesidir. M sembolü ile gösterilir. Termodinamikte birimi kg/kmol'dür. Bazı durumlarda g/mol olarak da alınabilir. Avagadro kanununa göre, aynı basınç ve sıcaklıkta, bütün ideal gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda molekül bulunur. Bu kanuna göre, standart koşullardaki (0 ºC ve 101,325 kPa) bütün gazların 1 mol gramı 6,022.1026 kadar molekül ifade eder. Bu sayıya Avagadro sayısı denir. Bu kadar molekülün kapladığı hacim de 22,4 litre (dm³)'dir. Buna mol hacmi denir. Avagadro kanununa göre bütün gazların mol kütlesi (molekülsel kütle) M ile özgül hacim çarpımı sabittir. Yani,

$$M \cdot v = sabit = 22{,}4 \text{ m}^3\text{/kmol'dür.}$$

Burada,

M = Molekül (mol) kütlesi (kg/kmol) veya (g/mol)

v = Özgül hacim, (m³/kg)'dır.

Avagadro kanunu şu bağıntılarla ifade edilir;

$$\frac{V}{n} = V_m = sabit \quad \text{veya} \quad V_m = \frac{M}{\rho} \tag{6.6}$$

Burada ;

V = (n) Mol gazın hacmi (m³)

n = Mol miktarı (kmol)

V_m = Herhangi bir durumdaki mol hacmi (m³/kmol)'dür.

M = Molekül (mol) kütlesi (kg/kmol)

ρ = Yoğunluk (kg/m³)

İki farklı gazın eşitliği ise şöyle ifade edilir;

$$\frac{M_1}{\rho_1} = \frac{M_2}{\rho_2} \tag{6.7}$$

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Standart koşullarda oksijen ve bir başka gaz bileşiğinin yoğunlukları sırasıyla 1,43 kg/m³ ve 3,33 kg/m³' tür. Oksijenin molekül (mol) kütlesi 32kg/kmol' dür. Bu bileşiğin molekül (mol) kütlesini hesaplayınız?

Veriler :

M_1 = 32 kg/kmol

ρ_1 = 1,43 kg/m³

$$\frac{M_1}{\rho_1} = \frac{M_2}{\rho_2}$$

$$\frac{32}{1{,}43} = \frac{M_2}{3{,}33} \rightarrow M_2 = \frac{32 \cdot 3{,}33}{1{,}43} = 74{,}51 \text{ kg/kmol bulunur.}$$

$\rho_2 = 3{,}33$ kg/m³

$M_2 = ?$

Örnek problem 2 **:** Bir ideal gaz karışımının 450 kPa ve 30 ºC sıcaklıktaki hacmi 1,2m³ tür. Karışımın molekül (mol) kütlesi 36,14 kg/kmol olduğuna göre;

a) Kütlesini,

b) Mol sayısını (miktarını) bulunuz.

Veriler :

P = 450 kPa

t = 30 ºC $\longrightarrow$ $T = t + 273 = 30 + 273 = 303K$

V = 1,2 m³

M=36,14 kg/kmol

a) m = ? b) n = ?

a)

$$R = \frac{R_u}{M} = \frac{8{,}3143}{36{,}14} = 0{,}230 \text{ kj/kgK}$$

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \longrightarrow m = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{450 \cdot 1{,}2}{0{,}230 \cdot 303} = 7{,}75 \text{ kg bulunur.}$$

b)

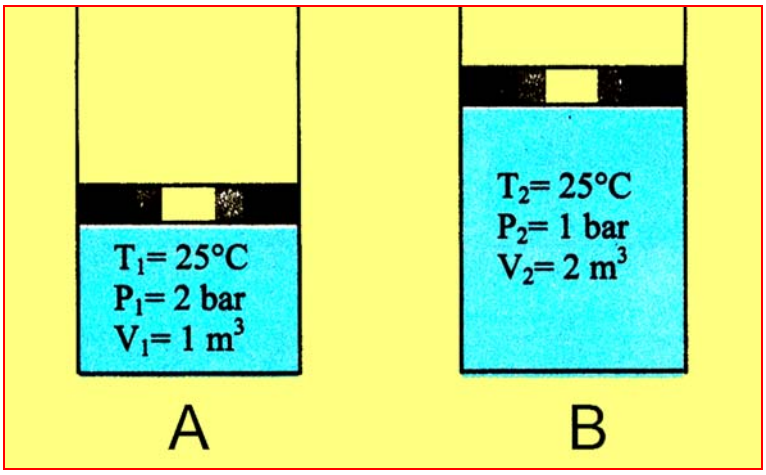
$$n = \frac{m}{M} = \frac{7{,}75}{36{,}14} = 0{,}2144 \text{ kmol}$$

6.2 Boyle-Mariotte Kanunu

6.2.1 Tanımı

Kütlesi sabit ve sabit sıcaklıkta ısıtılan bir gazın basınç ve hacimlerinin çarpımı sabittir.

$P \cdot V = sabit$ (T = sabit için) eşitliği Boyle-mariotte kanununun matematiksel ifadesidir. Şekil 6.1'de bir örnekle açıklanmıştır.



Şekil 6.1: Sabit sıcaklıktaki basınç- hacim ilişkisi

Şekil 6.1 A'da görüldüğü gibi sıkıştırılan gazın hacmi küçülürken basıncı artıyor. Şekil 6.1 B'de ise hacim büyürken basıncı azalır.

A konumundaki gaz için $P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1$,

B konumundaki gaz için $P_2 \cdot V_2 = m \cdot R \cdot T_2$ yazılır. $T_1 = T_2 = sabit$ olduğu için iki eşitlik alt alta yazılıp bölünürse, Boyle-Mariotte kanunu şu bağıntı ile hesap edilir;

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \tag{6.8}$$

Eğer üçüncü veya daha fazla konum var ise o zaman şu bağıntıdan faydalanılır;

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_3 \cdot V_3 = P_n \cdot V_n = sabit \tag{6.9}$$

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Bir bisiklet pompası içindeki havayı 3 atmosfer basınçta sıkıştırdığımızda hacmi 400 cm³ oluyor. Sıcaklık sabit kalmak şartı ile pistonu daha da itersek hacmi 200 cm³ oluyor. Gazın son basıncını hesaplayınız?

Veriler :

$P_1 = 3$ atm

$V_1 = 400$ cm³

T = sabit

$V_2 = 200$ cm³

P = ?

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$3 \cdot 400 = P_2 \cdot 200$ 3.400= P2.200

$P_2 = \dfrac{1200}{200} = 6$ atm bulunur.

Örnek problem 2 **:** 1 bar basıncında 1 m³ hacmindeki hava 0,5 m³ hacmine sıkıştırılırsa;

a) Basıncı kaç bar olur,

b) Hava üçüncü konumda V_3 =0,05 m³ hacmine sıkıştırılırsa basıncı kaç bar olur?

c)

Veriler :

$P_1 = 1$ bar

$V_1 = 1$ m³

$V_2 = 0,5$ m³

$P_3 = ?$

a) $P_2 = ?$

b) $V_3 = 0,05$ m³

a) $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \longrightarrow 1 \cdot 1 = P_2 \cdot 0,5 \longrightarrow P_2 = \dfrac{1}{0,5} = 2$ bar bulunur.

b) $P_2 \cdot V_2 = P_3 \cdot V_3 \longrightarrow 2 \cdot 0,5 = P_3 \cdot 0,05 \longrightarrow P_3 = 20$ bar bulunur.

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1: Standart koşullarda oksijen ve bir başka gaz bileşiğinin yoğunlukları sırasıyla 1,43 kg/m³ ve 3,45 kg/m³ tür. Bu bileşiğin molekülsel (mol) kütlesini hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Oksijenin molekül (mol) kütlesini Tablo 1.4'ten alınız.
3. (6.7) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve M_2'yi çekip hesaplama işlemini gerçekleştiriniz

Veriler:

M_1 = 32 kg/kmol

ρ_1 = 1,43 kg/m³

ρ_2 = 3,45 kg/m³

M_2 = ?

$$\frac{M_1}{\rho_1} = \frac{M_2}{\rho_2}$$

$$\frac{32}{1{,}43} = \frac{M_2}{3{,}45} \rightarrow M_2 = \frac{32 \cdot 3{,}45}{1{,}43} = 77{,}20 \text{ kg/kmol}$$

bulunur.

Problem 2: Bir ideal gaz karışımı 200 kPa ve 60 ºC durumunda 5 m³ hacim işgal etmektedir.

Karışımın molekül (mol) kütlesi 35,4 kg/kmol olduğuna göre;

a) Kütlesini,

b) Mol sayısını (miktarını) bulunuz.

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (1.16) Bağıntısından (ºC) olarak verilen sıcaklığı mutlak sıcaklığa çevirin.
3. (6.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve gaz sabitini hesaplayınız.
4. (9.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve m'yi çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
5. (6.5) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz

Veriler:

P = 200 kPa t = 60 ºC

V = 5 m³ M = 35,4 kg/kmol

a) m = ? b) n = ?

a) t = 60 ºC $\longrightarrow$ $T = t + 273 = 60 + 273 = 333K$

$$R = \frac{R_u}{M} = \frac{8{,}3143}{35{,}4} = 0{,}234867231 \text{ kJ/kgK bulunur.}$$

$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$ 'den;

$$m = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{200 \cdot 5}{0{,}234867231 \cdot 303} = 14{,}05 \text{ kg bulunur.}$$

b) $n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{14{,}05}{35{,}4} = 0{,}396$ kmol

Problem 3: Bir bisiklet pompası içindeki havayı 5 atmosfer basınçta sıkıştırdığımızda hacmi 450 cm³ oluyor. Sıcaklık sabit kalmak şartı ile pistonu daha da itersek hacmi 150 cm³ oluyor. Gazın son basıncını hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (6.8) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. P_2'yi çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz

Veriler:

P_1 = 5 atm.

V_1 = 450 cm³

T = sabit

V_2 = 150 cm³

P =?

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$5 \cdot 450 = P_2 \cdot 150$$

$$P_2 = \frac{2250}{150} = 15 \text{ atm. bulunur.}$$

Problem 4: 2 bar basıncında 1 m³ hacmindeki hava 0,6 m³ hacmine sıkıştırılırsa;

a) Gazın son basıncı kaç bar olur?
b) Hava üçüncü konumda V_3 = 0,04 m³ hacmine sıkıştırılırsa basıncı kaç bar olur?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (6.8) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. P_2'yi çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
3. (6.9) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. P_3'ü çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$P_1 = 2$ bar a) $P_2 = ?$ b) $V_3 = 0{,}04$ m³

$V_1 = 1$ m³ $P_3 = ?$

$V_2 = 0{,}6$ m³

a) $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \longrightarrow 2 \cdot 2 = P_2 \cdot 0{,}6 \longrightarrow P_2 = \dfrac{2}{0{,}6} = 3{,}33$ bar bulunur.

b) $P_2 \cdot V_2 = P_3 \cdot V_3 \longrightarrow 3{,}33 \cdot 0{,}6 = P_3 \cdot 0{,}04 \longrightarrow P_3 = \dfrac{1998}{0{,}04} = 49{,}95$ bar bulunur.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Moleküller arasındaki çekim kuvveti sıfır kabul edilen gaz aşağıdakilerden hangisidir?

   A) İdeal gaz

   B) Kötü gaz

   C) Zayıf gaz

   D) Normal gaz

2) Gaz sabitinin tanımı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

   A) Moleküller arasındaki çekim kuvveti sıfır kabul edilen gazdır.

   B) Her hangi bir gazın 0 ºC ta 1 atmosfer basınç altında 1 m^3 ağırlığıdır.

   C) 1 kmol ideal gazın, sabit basınçta ve 1K sıcaklık değişimi sırasında yaptığı iştir

   D) Bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece arttırmak için gerekli enerjidir.

3) Evrensel gaz sabitinin tanımı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

   A) Bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece arttırmak için gerekli enerjidir.

   B) Her hangi bir gazın 0 ºC ta 1 atmosfer basınç altında 1 m^3 ağırlığıdır.

   C) Maddenin bir mol'ünün gram olarak kütlesidir.

   D) 1 kmol ideal gazın, sabit basınçta ve 1K sıcaklık değişimi sırasında yaptığı iştir.

4) Özgül ısının tanımı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

   A) 1 kmol ideal gazın, sabit basınçta ve 1K sıcaklık değişimi sırasında yaptığı iştir.

   B) Her hangi bir gazın 0 ºC ta 1 atmosfer basınç altında 1 m^3 ağırlığıdır.

   C) Bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece arttırmak için gerekli enerjidir.

   D) Maddenin bir mol'ünün gram olarak kütlesidir.

5) Molekül kütlesinin tanımı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

A) 1 kmol ideal gazın, sabit basınçta ve 1K sıcaklık değişimi sırasında yaptığı iştir.

B) Maddenin bir mol'ünün gram olarak kütlesidir.

C) Bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece arttırmak için gerekli enerjidir.

D) Herhangi bir gazın 0 ºC da 1 atmosfer basınç altında 1 m^3 ağırlığıdır.

6) Termodinamikteki iki özgül ısının sembolleri aşağıdaki hangi şıkta doğru verilmiştir?

A) Cp, Cz

B) Cv, Cr

C) Co, Cn

D) Cp,Cv

7) $6{,}022.10^{26}$ sayısının neyi ifade ettiği aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

A) Mol hacmi

B) Molekül kütlesi

C) Avagadro sayısı

D) Işığın boşluktaki hızı

8) Boyle-Mariotte kanununun tanımı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

A) Kütlesi sabit ve sabit basınçta tutulan bir gazın hacminin, mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

B) Kütlesi sabit ve sabit sıcaklıkta ısıtılan bir gazın basınç ve hacimlerinin çarpımı sabittir.

C) Kütlesi sabit ve sabit hacimde tutulan bir gazın mutlak basıncının,mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

D) Aynı basınç ve sıcaklıkta, bütün ideal gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda molekül bulunur.

9) Evrensel gaz sabitinin birimi aşağıdakilerden hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

A) kJ/kgK

B) kg/kmol

C) kmol/kJ

D) kJ/kmolK

10) Özgül ısının birimi aşağıdakilerden hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

A) kJ/kgK

B) kJ/kmolK

C) kmol/kJ

D) kg/kmol

11) Molekül (mol) kütlesinin birimi aşağıdakilerden hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

A) kg/kmol

B) kJ/kgK

C) kJ/kmolK

D) kmol/kJ

12) Standart koşullarda oksijen ve bir başka gaz bileşiğinin yoğunlukları, sırasıyla 1,43 kg/m³ ve 3,55 kg/m³ tür. Bu bileşiğin molekül (mol) kütlesini hesaplayınız?

A) 79,44 kg/kmol

B) 86,44 kg/kmol

C) 82,45 kg/kmol

D) 83,99 kg/kmol

13) Bir ideal gaz karışımı 250 kPa ve 50 ºC durumunda 6 m³ hacim işgal etmektedir. Karışımın moleküler (mol) kütlesi 38,46 kg/kmol olduğuna göre, kütlesi kaç kg'dır?

A) 20,88 kg

B) 21,48 kg

C) 22,45 kg

D) 25,98 kg

14) Bir ideal gaz karışımının kütlesi 22,24 kg, molekül (mol) kütlesi de 42,55 kg/kmol olduğuna göre mol sayısını (miktarı) hesaplayınız?

A) 0,488 kmol

B) 0,843 kmol

C) 0,522 kmol

D) 0,673 kmol

15) Bir bisiklet pompası içindeki havayı 3 atmosfer basınçta sıkıştırdığımızda hacmi 260 cm^3 oluyor. Sıcaklık sabit kalmak şartı ile pistonu daha da itersek hacmi 130 cm^3 oluyor. Gazın son basıncı kaç atmosfer olur, hesaplayınız.

A) 7 atm

B) 8 atm

C) 10 atm

D) 6 atm

16) 3 bar basıncında 1 m^3 hacmindeki hava 0,5 m^3 hacmine sıkıştırılırsa gazın son basıncı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 6 bar

B) 5 bar

C) 4 bar

D) 7 bar

17) 4 bar basıncında 1 m^3 hacmindeki hava 0,3 m^3 hacmine sıkıştırılırsa basıncı 13,33 bar oluyor. Hava üçüncü konumda 0,02 m^3 hacmine sıkıştırılırsa gazın son basıncı aşağıdakilerden hangisidir?

A) 200,45 bar

B) 199,95 bar

C) 175,78 bar

D) 125,64 bar

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Cevaplarınızın hepsi doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçebilirsiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-7

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyeti sonunda, Gay-Lussac Sabit Hacim Kanunu ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Gay-Lussac sabit hacim kanunu hangi bağıntıyı tanımlamaktadır, araştırınız.

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınız ve kimya kitaplarınızdan, faydalanarak yapabilirsiniz.

7. GAY-LUSSAC SABİT BASINÇ KANUNU

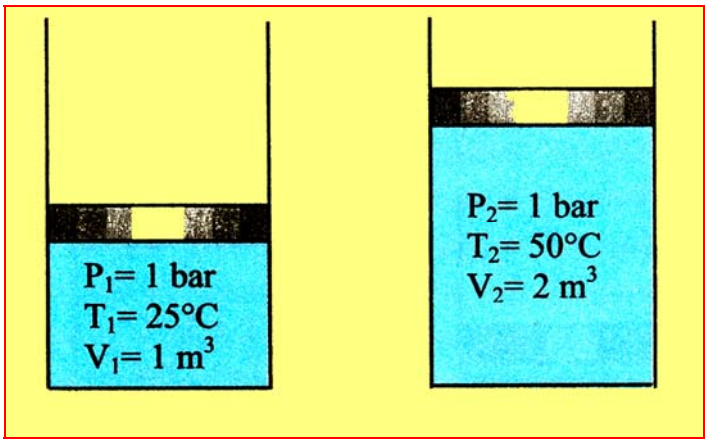
7.1 Tanımı

Kütlesi sabit ve sabit basınçta tutulan bir gazın hacminin, mutlak sıcaklığa oranı daima sabit kalır.

Gay-lussac sabit hacim kanunu şu bağıntı ile ifade edilir;

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \qquad (7.1)$$

Bu yazılan eşitlik Şekil 7.1'de bir örnekle açıklanmıştır.



Şekil 7.1 Sabit basınçtaki sıcaklık – hacim ilişkisi

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : İlk sıcaklığı 27 ºC, hacmi 4 m³ olan bir gaz sabit basınçta 400 ºC sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Gazın son hacmini hesaplayınız?

Veriler :

$t_1 = 27$ ºC $\longrightarrow$ $T_1 = t_1 + 273 = 27 + 273 = 300K$

$t_2 = 400$ ºC $\longrightarrow$ $T_2 = t_2 + 273 = 400 + 273 = 673K$

P = sabit

$V_1 = 4$ m³

$V_2 = ?$ $\quad \dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_2}{T_2} \longrightarrow \dfrac{4}{300} = \dfrac{V_2}{673} \longrightarrow V_2 = \dfrac{4 \cdot 673}{300} = 8{,}97$ m³

Örnek problem 2 : İlk sıcaklığı 500 K, hacmi 25 m³'olan bir gaz sabit basınçta 800 K sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Gazın son hacmini hesaplayınız?

Veriler :

$T_1 = 500$ K $\quad \dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_2}{T_2} \longrightarrow \dfrac{25}{500} = \dfrac{V_2}{800} \longrightarrow V_2 = \dfrac{25 \cdot 800}{500} = 40$ m³

$V_1 = 25$ m³

P = sabit

$T_2 = 800$K

$V_2 = ?$

Örnek problem 3 **:** İlk sıcaklığı 300 K, hacmi 5 m³ olan bir gaz sabit basınçta hacmi 10 m³ oluncaya kadar ısıtılıyor. Bu gazın son sıcaklığı kaç kelvin olur?

Veriler :

$T_1 = 300$ K

$V_1 = 5$ m³

$V_2 = 10$ m³

P = sabit

$T_2 = ?$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{5}{300} = \frac{10}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{300 \cdot 10}{5} = 600K$$

Örnek problem 4 **:** İlk sıcaklığı 600 K olan kapalı bir kaptaki gazın hacmi sabit basınçta 20 m³'den 8 m³'e düşürülüyor. Gazın son sıcaklığı kaç ºC olur?

Veriler :

$T_1 = 600$K

P = sabit

$V_1 = 20$ m³

$V_2 = 8$m³

$t_2 = ?$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{20}{600} = \frac{8}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{600 \cdot 8}{20} = 240K$$

$$T_2 = t_2 + 273 \rightarrow 240 = t_2 + 273 \rightarrow t_2 = 240 - 273 = -33\,^{\circ}\mathrm{C}$$

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1: Sıcaklığı 1200 K, hacmi 2 m³ olan bir gaz sabit basınçta 1800 K sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Gazın son hacmini hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.

(7.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. V_2'yi çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$T_1 = 1200$ K

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{2}{1200} = \frac{V_2}{1800} \rightarrow V_2 = \frac{2 \cdot 1800}{1200} = 3 \text{ m}^3$$

bulunur.

$V_1 = 2$ m³

P = sabit

$T_2 = 1800$ K

$V_2 = ?$

Problem 2 : İlk sıcaklığı 300 K, hacmi 4 m³ olan bir gazın basıncı değişmemek şartı ile hacmi 6 m³ oluncaya kadar ısıtılıyor. Gazın son sıcaklığı kaç C° olur?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (7.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz.T_2'yi çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
3. (1.16) Bağıntısında verilen değerleri yerine yazınız. t_2'yi çekiniz ve hesaplama işlemine geçiniz.

Veriler:

$T_1 = 300$ K $\qquad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{4}{300} = \frac{6}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{300 \cdot 6}{4} = 450$ K bulunur.

P = sabit $\qquad T_2 = t_2 + 273$ $T_2 \rightarrow 450 = t_2 + 273 \rightarrow t_2 = 450 - 273 = 177$ °C bulunur.

$V_1 = 4$ m³

$V_2 = 6$ m³ $\qquad t_2 = ?$

Problem 3: İlk sıcaklığı 32 ºC, hacmi 5 m³ olan bir gaz sabit basınçta 300 ºC sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Gazın son hacmini hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (1.16) Bağıntısından (ºC) olarak verilen t_1 ve t_2 sıcaklıklarını, mutlak sıcaklığa çevirin.
3. (7.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. V_2'yi çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$t_1 = 32$ ºC $\longrightarrow$ $T_1 = t_1 + 273 = 32 + 273 = 305K$

$t_2 = 300$ ºC $\longrightarrow$ $T_2 = t_2 + 273 = 300 + 273 = 573K$ T2= t_2+273=300+273=573K

P = sabit

$V_1 = 5$ m³

$V_2 = ?$ $\quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \longrightarrow \frac{5}{305} = \frac{V_2}{573} \longrightarrow V_2 = \frac{5 \cdot 573}{305} = 9{,}39$ m³ bulunur.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Gay-Lussac sabit hacim kanununun tanımı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

   A) Kütlesi sabit ve sabit basınçta tutulan bir gazın hacminin, mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

   B) Kütlesi sabit ve sabit sıcaklıkta ısıtılan bir gazın basınç ve hacimlerinin çarpımı sabittir.

   C) Kütlesi sabit ve sabit hacimde tutulan bir gazın mutlak basıncının, mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

   D) Aynı basınç ve sıcaklıkta, bütün ideal gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda molekül bulunur.

2) Sıcaklığı 1100 K, hacmi 3 m^3 olan bir gaz, sabit basınçta 1700 K sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Gazın son hacmi aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 5;75 m^3

   B) 4,63 m^3

   C) 6,48 m^3

   D) 7,36 m^3

3) İlk sıcaklığı 200 K, hacmi 3 m^3 olan bir gazın basıncı değişmemek şartı ile hacmi 5m^3oluncaya kadar ısıtılıyor. Gazın son sıcaklığı kaç ºC olur?

   A) 60,33 ºC

   B) 55,36 ºC

   C) 46,62 ºC

   D) 27,47 ºC

4) İlk sıcaklığı 35 ºC, hacmi 6 m^3 olan bir gaz sabit basınçta 350 ºC sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Gazın son hacmini hesaplayınız.

   A) 8,37 m^3

   B) 11,85 m^3

   C) 12,13 m^3

   D) 13,73 m^3

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Cevaplarınızın hepsi doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçebilirsiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-8

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyeti sonunda Gay-Lussac Sabit basınç Kanunu ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Gay-Lussac sabit basınç kanunu hangi bağıntıyı tanımlamaktadır, araştırınız?

Araştırmalarınızı okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınız ve kimya kitaplarınızdan faydalanarak yapabilirsiniz.

8 GAY-LUSSAC SABİT HACİM KANUNU

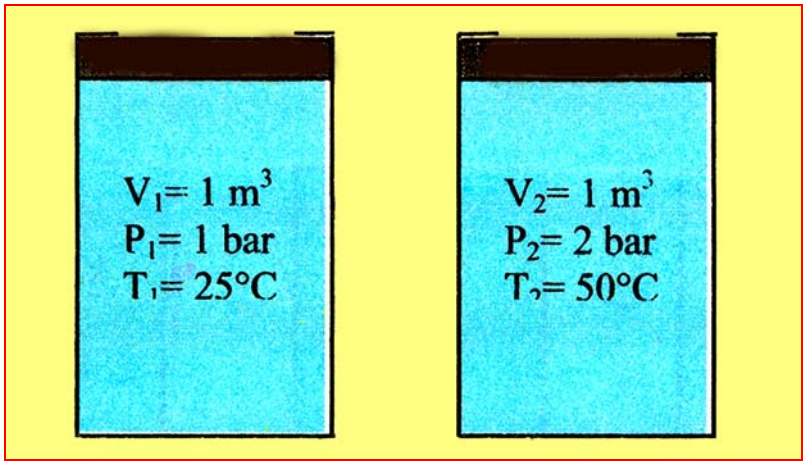
8.1. Tanımı

Kütlesi sabit ve sabit hacimde tutulan bir gazın mutlak basıncının, mutlak sıcaklığa oranı daima sabit kalır.

Gay-lussac sabit basınç kanunu şu bağıntı ile ifade edilir;

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \tag{8.1}$$

Bu yazılan eşitlik Şekil 8.1'de bir örnekle açıklanmıştır.



Şekil 8.1: Sabit hacimdeki basınç-sıcaklık ilişkisi

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : İlk sıcaklığı 30 ºC basıncı 6 atmosfer olan bir gaz sabit hacimde 300 ºC sıcaklığa kadar ısıtılıyor. Gazın son basıncını hesaplayınız.

Veriler :

$t_1 = 30$ ºC $\rightarrow$ $T_1 = t_1 + 273 = 30 + 273 = 303K$

$t_2 = 300$ Cº $\rightarrow$ $T_2 = t_2 + 273 = 300 + 273 = 573K$

V = sabit $\quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow \frac{6}{303} = \frac{P_2}{573} \rightarrow P_2 = \frac{6 \cdot 573}{303} = 11{,}34$ m³ bulunur.

$P_1 = 6$ m³

$P_2 = ?$

Örnek problem 2 : Bir doğal gaz tüpünün basıncı 18 ºC'de 500 kPa'dır. Tüp hacminin sıcaklıkla değişmediğini varsayarak sıcaklığın 45 ºC'ye artması durumundaki gösterge basıncını hesaplayınız.

Veriler :

$t_1 = 18$ ºC $\rightarrow$ $T_1 = t_1 + 273 = 18 + 273 = 291K$

$t_2 = 45$ ºC $\rightarrow$ $T_2 = t_2 + 273 = 45 + 273 = 318K$

$P_1 = 500$ kPa $\rightarrow$ $P_1 = 500 + 101{,}325 = 601{,}325$ kPa

V = sabit $\quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow \frac{601{,}325}{291} = \frac{P_2}{318} \rightarrow$

$$P_2 = \frac{601{,}325 \cdot 318}{291} = 657{,}118 \text{ kPa}$$

$P_{gösterge} = ?$ $\quad P_{mutlak} = P_{atmosfer} + P_{gösterge}$

$$657{,}118 = 101{,}325 + P_{gösterge}$$

$P_{göstege} = 657{,}118 - 101{,}325 = 555{,}793$ kPa bulunur.

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1: İlk sıcaklığı 34 ºC basıncı 5 atmosfer olan bir gaz sabit hacimde 400 ºC sıcaklığa kadar ısıtılıyor. Gazın son basıncını hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. 1.Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (1.16) Bağıntısından (ºC) olarak verilen t_1 ve t_2 sıcaklıklarını, mutlak sıcaklığa çevirin.
3. (8.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. P_2 basıncını çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$t_1 = 34$ ºC $\longrightarrow$ $T_1 = t_1 + 273 = 34 + 273 = 307K$

$t_2 = 400$ ºC $\longrightarrow$ $T_2 = t_2 + 273 = 400 + 273 = 673K$

V=sabit $\quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \longrightarrow \frac{6}{307} = \frac{P_2}{673} \longrightarrow P_2 = \frac{5 \cdot 673}{307} = 10{,}96$ m³ bulunur.

$P_1 = 5$ m³

$P_2 = ?$

Problem 2 : Bir doğal gaz tüpünün basıncı 16 ºC'de 500 kPa dır. Tüp hacminin sıcaklıkla değişmediğini varsayarak sıcaklığın 46 ºC'ye artması durumundaki gösterge basıncını hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (1.16) Bağıntısından (ºC) olarak verilen t_1 ve t_2 sıcaklıklarını, mutlak sıcaklığa çevirin.
3. Basınç değerini, mutlak basınç cinsinden bulacağımız için soruda verilen tüpün basıncını (P_1) aynı basınç birimden olan normal şartlar altında kabul edilen basınç değeri olan 101,325 kPa ile toplayarak mutlak basınç değerine dönüştürün. Eğer sonuç Pa (pascal) istenseydi basınç değeri olarak 101325 Pa değerini seçecektik. (Bu basınç değerlerini 5. Öğrenme faaliyetinde birimler başlığı altında verilen, basınç birimlerinden seçiniz).
4. (8.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. P_2 basıncını çekiniz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz. Bulduğunuz P_2 basıncı zaten P mutlak basıncı olacaktır.
5. (5.5) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyunuz. P gösterge değerini çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$t_1 = 16$ ºC $\longrightarrow$ $T_1 = t_1 + 273 = 16 + 273 = 289K$ $\qquad$ $P_{atmosfer} = 101.325$ kPa

$t_2 = 46$ ºC $\longrightarrow$ $T_2 = t_2 + 273 = 46 + 273 = 319K$ $\qquad$ $P_{mutlak} = P_2$ olacaktır.

$P_1 = 500$ kPa $\longrightarrow$ $P_1 = 500 + 101{,}325 = 601{,}325$ kPa

V = sabit $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow \frac{601{,}325}{289} = \frac{P_2}{319} \rightarrow$

$$P_2 = \frac{601{,}325 \cdot 319}{289} = 663{,}746 \text{ kPa}$$

$P_{gösterge}$ = ? $P_{mutlak} = P_{atmosfer} + P_{gösterge}$

$$663{,}746 = 101{,}325 + P_{gösterge}$$

$P_{gösterge} = 663{,}746 - 101{,}325 = 562{,}421$ kPa bulunur.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Gay-Lussac sabit basınç kanununun tanımı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

   A) Kütlesi sabit ve sabit basınçta tutulan bir gazın hacminin, mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

   B) Kütlesi sabit ve sabit sıcaklıkta ısıtılan bir gazın basınç ve hacimlerinin çarpımı sabittir.

   C) Kütlesi sabit ve sabit hacimde tutulan bir gazın mutlak basıncının, mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

   D) Aynı basınç ve sıcaklıkta, bütün ideal gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda molekül bulunur.

2) İlk sıcaklığı 35 ºC basıncı 4 atmosfer olan bir gaz sabit hacimde 250 ºC sıcaklığa kadar ısıtılıyor. Gazın son basıncı aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 5,97 m^3

   B) 7,69 m^3

   C) 6,79 m^3

   D) 8,64 m^3

3) Bir doğal gaz tüpünün basıncı 17 ºC'de 400 kPa'dır. Tüp hacminin sıcaklıkla değişmediğini varsayarak sıcaklığın 47 ºC'ye artması durumundaki gösterge basıncı aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 522,648 kPa

   B) 451,861 kPa

   C) 578,972 kPa

   D) 466,613 kPa

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Cevaplarınızın hepsi doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçebilirsiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-9

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda gerekli ortam ve materyaller sağlandığında gazların genel denklemi ile ilgili değişkenleri hesaplayabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Genel Gaz Denklemi neyi tanımlamaktadır, araştırınız?
- Ne gibi gaz denklemleri vardır, araştırınız?

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınızı kullanarak yapabilirsiniz.

9.1 GENEL GAZ DENKLEMİ

9.1. Tanımı

Termodinamikte çok karmaşık olan bir çok hal (durum) denklemi olmasına rağmen bu denklemlerin en basit ve en çok bilineni ideal gaz hal denklemidir. Bu denklem şu bağıntı ile ifade edilir;

$$P \cdot v = R \cdot T \qquad (9.1)$$

Bu denklemde;
P = Mutlak basınç (N/m²=Pa)
v = Özgül hacim (m³/kg)
R = Gaz sabiti (kJ/kgK)
T = Mutlak sıcaklık (K)'dir.

Burada bilinmesi gereken gaz sabiti R'nin her gaz için farklı bir değeri vardır ve şu bağıntılardan hesap edilir;

$$R = \frac{R_u}{M} \quad \text{veya} \quad R = C_p - C_V$$

Bu denklemlerde;

R_u = Evrensel gaz sabiti (bütün gazlar için 8,3143 kJ/kmolK'tür).
M = Molekül (mol) kütlesi (kg/kmol).
C_p = Sabit basınçta özgül ısı kJ/kgK.
C_v = Sabit hacimde özgül ısı kJ/kgK'dir.

Özgül hacim,

$v = \frac{V}{m}$ bağıntısından hesaplanır.

Burada;
V = Hacim (m³)
m = Kütle (kg)'dır.

Özgül hacim denklemi ($v = \frac{V}{m}$), $P \cdot v = R \cdot T$ denkleminde yerine konursa bir gazın (m) kütlesi için genel gaz denklemi elde edilir ve şu bağıntı ile gösterilir;

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \tag{9.2}$$

Bu denklemde;

P = Mutlak basınç (N/m²=Pa)

V = Hacim (m³)

m = Kütle (kg)

R = Gaz sabiti (kJ/kgK)

T = Mutlak sıcaklık (K)'dir.

(m) kütlesi için genel gaz denklemi $P \cdot v = m \cdot R \cdot T$ iki kez yazılıp sadeleştirilirse ideal gazların özellikleri arasında her konum için ifade edilen gazların genel denklemi elde edilir. Bu denklem şu bağıntı ile ifade edilir;

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \tag{9.3}$$

Daha genel anlamda da şöyle gösterilebilir;

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{P \cdot V}{T} = m \cdot R \tag{9.4}$$

Genel gaz denklemi şöyle tanımlanır; kütlesi değişmeyen bir gazın mutlak basıncı ile hacminin çarpımının mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

Bu bahsettiğimiz bütün gaz denklemlerine uyan gazlara ideal gaz denir. Bu denklemler sanal bir maddedir, gerçek gazlara uygulanamaz. Hava, azot, oksijen, hidrojen, helyum, argon, neon, kripton, karbondioksit vb gibi gazlar hesaplamalarda ideal gaz olarak alınabilir. Fakat buharlı güç santrallerindeki su buharı ve buz dolaplarındaki soğutucu akışkan buharı gibi yoğun gazlar ideal gaz kabul edilmemelidir. Bu maddeler için özellik tabloları (buhar tabloları) kullanılmalıdır.

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : 4 m x 5 m x 6 m boyutlarındaki bir odada bulunan 100 kPa basınç ve 25 ºC sıcaklıktaki havanın kütlesini hesaplayınız (havanın gaz sabiti R = 0,287kJ/kgK'dir).

Veriler :

$V = 4 \cdot 5 \cdot 6 = 120$ m³

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \longrightarrow 100 \cdot 120 = m \cdot 0{,}287 \cdot 298 \longrightarrow m = \frac{12000}{85{,}526} = 14{,}3 \text{ kg}$$

P = 100 kPa

t = 25 ºC $\longrightarrow T = 25 + 2730298K$

R = 0,287 kJ/kgK

m = ?

Örnek problem 2 : Kapalı bir kapta 1 bar basınçta, 0,1 m³ hacminde 0,1 kg kütleye sahip hava bulunmaktadır. Havanın sıcaklığı kaç kelvin (K) derece olur (havanın gaz sabiti R=0,287 kJ/kgK'dir)?

Veriler :

P =1 bar $\longrightarrow P = 1 \cdot 100 = 100$ kPa

V = 0,1 m³ $P \cdot V = m \cdot R \cdot T \longrightarrow 100 \cdot 0{,}1 = 0{,}1 \cdot 0{,}287 \cdot T \longrightarrow$

$$T = \frac{10}{0{,}0287} = 348{,}432K$$

m = 0,1 kg

R = 0,287 kJ/kgK

T = ?

Örnek problem 3 : Sürtünmesiz bir silindir-piston sisteminde bulunan gazın hacmi 480cm³, basıncı 96 kPa ve sıcaklığı da 100 ºC'dir. Bu gaz hacmi 80 cm³, sıcaklığı 200 ºC oluncaya kadar sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma sonu basıncı kaç kPa olur?

Veriler :

$V_1 = 480\ cm^3$ $\quad t_1 = 100\ ºC \longrightarrow T_1 = 100 + 273 = 373K$

$P_1 = 96\ kPa$ $\quad t_2 = 200\ ºC \longrightarrow T_2 = 200 + 273 = 473K$

$V_2 = 80\ cm^3$

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$P_2 = ?$

$$\frac{96 \cdot 480}{373} = \frac{P_2 \cdot 80}{473}$$

$$P_2 = \frac{96 \cdot 480 \cdot 473}{373 \cdot 80} = \frac{21795840}{29840} = 730{,}42\ \text{kPa}$$

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1 : Bütan gazı 35 bar basınç ve 18 ºC sıcaklıkta 12 litrelik bir kap içinde bulunmaktadır. Gazın kütlesi kaç kg'dır.

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda bar olarak verilen basınç değerini, 5. öğrenme faaliyeti basınç birimleri kısmındaki çevirme çarpanı olan 1 bar = 100 kPa eşitliğini kullanarak kPa birimine dönüştürün.
3. (1.16) Bağıntısından (ºC) olarak verilen t sıcaklığını mutlak sıcaklığa çevirin.
4. Soruda litre olarak verilen hacim değerini, 4. öğrenme faaliyeti hacim birimleri kısmındaki çevirme çarpanı olan 1 m³ = 1000 L eşitliğini kullanarak m³ birimine dönüştürün.
5. Soruda verilmeyen R gaz sabitini Tablo 1.4'ten bütan gazı için çekin.
6. (9.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun ve m'i çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

P = 35 bar $\longrightarrow$ $P = 35 \cdot 100 = 3500$ kPa

t = 18 ºC $\longrightarrow$ $T = t + 273 = 18 + 273 = 291K$

V = 12 L $\longrightarrow$ $V = \dfrac{12}{1000} = 0{,}012$ m³

R = 0,14304 kJ/kgK

m = ?

$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$ 'den

$3500 \cdot 0{,}012 = m \cdot 0{,}14304 \cdot 291$

$m = \dfrac{42}{41{,}62464} = 1$ kg olarak bulunur.

Problem 2 : 5m x 6m x 7m boyutlarındaki bir odada bulunan 100 kPa basınç ve 27 ºC sıcaklıktaki havanın kütlesini hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Bahsedilen oda boyutlarından anlaşılacağı gibi dikdörtgenler prizması şeklinde olduğu için odanın hacmini bulmak için verilen üç boyutu birbiriyle çarpın.
3. (1.16) Bağıntısından (ºC) olarak verilen t sıcaklığını mutlak sıcaklığa çevirin.
4. Soruda verilmeyen R gaz sabitini Tablo 1.4'ten hava için çekin.
5. (9.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun ve m'i çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$V = (5m)\cdot(6m)\cdot(7m) = 210$ m³

t = 27 ºC $\longrightarrow$ $T = t + 273 = 27 + 273 = 300K$

P = 100 kPa

R = 0,287 kJ/kgK

m = ? $P\cdot V = m\cdot R\cdot T$ 'den

$100\cdot 210 = m\cdot 0{,}287\cdot 300$

$m = \dfrac{21000}{86{,}1} = 243{,}9$ kg olarak bulunur.

Problem 3 : Kapalı bir kapta 2 bar basınçta, 0,2 m³ hacminde, 0,2 kg kütleye sahip hava bulunmaktadır. Havanın sıcaklığı kaç kelvin (K) derece olur?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda bar olarak verilen basınç değerini 5. öğrenme faaliyeti basınç birimleri kısmındaki çevirme çarpanı olan 1 bar = 100 kPa eşitliğini kullanarak kPa birimine dönüştürün.
3. Soruda verilmeyen R gaz sabitini Tablo 1.4'den hava için çekin.
4. (9.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun ve T'yi çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

P = 2 bar $\longrightarrow$ $P = 2 \cdot 100 = 200\,\text{kPa}$

V = 0,2 m³ $P \cdot V = m \cdot R \cdot T$ $\longrightarrow$ $200 \cdot 0{,}2 = 0{,}2 \cdot 0{,}287 \cdot T$ $\longrightarrow$

$T = \dfrac{40}{0{,}0574} = 696{,}86K$ olarak bulunur.

m = 0,2 kg

R = 0,287 kJ/kgK

T = ?

Problem 4 : 0,3 kg kütleye sahip oksijen gazı 3 bar basınçta 400 K sıcaklıkta bir tüp içersinde bulunmaktadır. Oksijenin hacmini hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler :

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda bar olarak verilen basınç değerini 5. öğrenme faaliyeti basınç birimleri kısmındaki çevirme çarpanı olan 1 bar = 100 kPa eşitliğini kullanarak kPa birimine dönüştürün.
3. Soruda verilmeyen R gaz sabitini Tablo 1.4'den oksijen gazı için çekin.
4. (9.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun ve V'yi çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

m = 0,3 kg

P = 3 bar $\longrightarrow$ $P = 3 \cdot 100 = 300$ kPa

R = 0,25983 kJ/kgK

T = 400 K

V =? $P \cdot V = m \cdot R \cdot T \;\rightarrow\; 300 \cdot V = 0{,}3 \cdot 0{,}25983 \cdot 400$

$V = \dfrac{31{,}1796}{300} = 0{,}103$ m³ olarak bulunur.

Problem 5 : Sürtünmesiz bir silindir-piston sisteminde bulunan gazın hacmi 490 cm³, basıncı 98 kPa ve sıcaklığı da 120 ºC'dir. Bu gaz hacmi 90 cm³, sıcaklığı 220 ºC oluncaya kadar sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma sonu basıncı kaç kPa olur?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (1.16) Bağıntısından (ºC) olarak verilen t_1 ve t_2 sıcaklıklarını, mutlak sıcaklığa çevirin.
3. (9.3) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun ve P_2'yi çekerek hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$V_1 = 490\ cm^3$ $\quad t_1 = 120\ ºC \longrightarrow T_1 = t_1 + 273 = 120 + 273 = 393K$

$P_1 = 98\ kPa$ $\quad t_2 = 220\ ºC \longrightarrow T_2 = t_2 + 273 = 220 + 273 = 493K$

$V_2 = 90\ cm^3$

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$P_2 = ?$

$$\frac{98 \cdot 490}{393} = \frac{P_2 \cdot 90}{493}$$

$$P_2 = \frac{98 \cdot 490 \cdot 493}{393 \cdot 90} = \frac{23673860}{35370} = 669{,}32\,\text{kPa}$$ olarak bulunur.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Gazların genel kanununun tanımı aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

   A) Kütlesi sabit ve sabit basınçta tutulan bir gazın hacminin mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

   B) Kütlesi sabit ve sabit sıcaklıkta ısıtılan bir gazın basınç ve hacimlerinin çarpımı sabittir.

   C) Kütlesi sabit ve sabit hacimde tutulan bir gazın mutlak basıncının mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

   D) Kütlesi değişmeyen bir gazın mutlak basıncı ile hacminin çarpımının mutlak sıcaklığa oranı daima sabittir.

2) Bütan gazı 30 bar basınç ve 17 ºC sıcaklıkta 10 litrelik bir kap içinde bulunmaktadır. Gazın kütlesi aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 0,46 kg

   B) 0,72 kg

   C) 0,64 kg

   D) 0,35 kg

3) Sürtünmesiz bir silindir-piston sisteminde bulunan gazın hacmi 495 cm^3, basıncı 99 kPa ve sıcaklığı da 130 ºC'dir. Bu gaz hacmi 95 cm^3, sıcaklığı 230 ºC oluncaya kadar sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma sonu basıncı aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 643,84 kPa

   B) 670,44 kPa

   C) 658,67 kPa

   D) 666,85 kPa

4) 0,4 kg kütleye sahip oksijen gazı 4 bar basınçta 500 K sıcaklıkta bir tüp içerisinde bulunmaktadır. Oksijenin hacmi aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 0,13 m^3

   B) 0,11 m^3

   C) 0,14 m^3

   D) 0,12 m^3

5) Kapalı bir kapta 3 bar basınçta 0,2 m^3 hacminde 0,1 kg kütleye sahip hava bulunmaktadır. Havanın sıcaklığı aşağıdakilerden hangisidir?

   A) 351,88 K

   B) 696,86 K

   C) 2090,59 K

   D) 1869,96 K

6) Bütan gazı 15 bar basınç ve 20 ºC sıcaklıkta 10 litrelik bir kap içinde bulunmaktadır. Gazın kütlesi kaç kg'dır?

   A) 0,425 kg

   B) 0,357 kg

   C) 0,282 kg

   D) 0,562 kg

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Cevaplarınızın hepsi doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçebilirsiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-10

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda gerekli ortam ve materyaller sağlandığında iş ve güç ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Mekanikte ve termodinamikte iş kavramını araştırınız?
- Güç kavramını araştırınız?

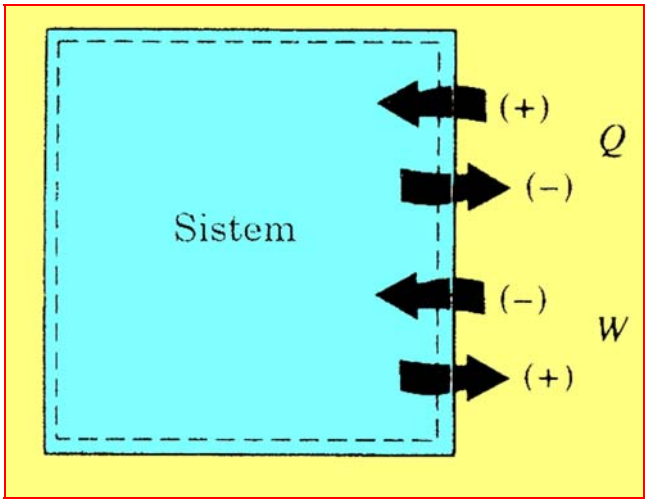
Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi veya geçmiş dönemlerdeki ders notlarınızı kullanarak yapabilirsiniz.

10. İŞ

10.1. Tanımı

Termodinamikte iş, ısı geçişi gibi bir hal değişimi sırasında sistemle çevresi arasındaki bir enerji alışverişidir. Daha önce birinci öğrenme faaliyetinde Şekil 1.2'de bahsettiğimiz gibi enerji, kapalı bir sistemin sınırlarını iş veya ısı olarak geçebiliyordu. Isı geçişi kolaylıkla belirlenebiliyordu. Çünkü ona neden olacak etken sistemle çevresi arasındaki sıcaklık farkı idi.

Bu durumda, kapalı bir sistemle çevresi arasında sıcaklık farkının neden olmadığı enerji alışverişi, **iş** olarak tanımlanır. İş de ısı gibi bir enerji geçişinin biçimidir. Sistem tarafından yapılan iş artı, sistem üzerine yapılan iş eksi kabul edilir (Şekil 10.1).

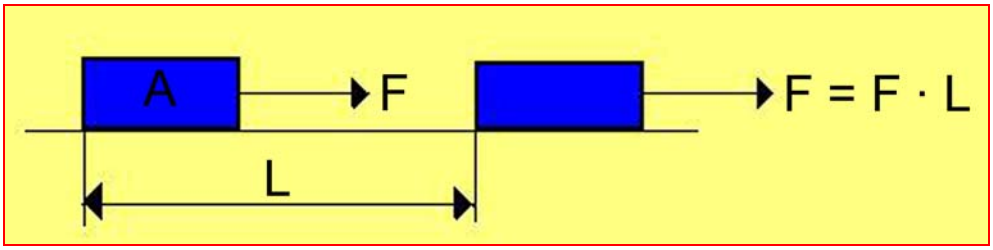


Şekil 10.1: Isı ve iş için işaret kuralı

Bu kurala göre iş, bir sistem sınırını dönen bir mil, hareketli sınır, elektrik akımı vb şeklinde geçebilir. Bu durumda bir otomobil motoru, su, buhar ve gaz türbini tarafından yapılan iş artı, bir kompresör, pompa veya elektrikli karıştırıcı (mikser) tarafından tüketilen iş de eksi olacaktır.

Başka bir deyişle, bir işlem sırasında **üretilen** iş artı, **tüketilen** iş eksi alınacaktır. Termodinamikte problemlerin çoğunda yapılan iş mekanik iştir.

Mekanik iş : Mekanik iş sistemin sınırının yer değiştirmesi veya sistemin bir bütün olarak hareket etmesi sonucu gerçekleşir. İş değişik biçimlerde gerçekleşebilir. Fakat hangi görünümde olursa olsun, iş bir kuvvetin belirli bir yer değiştirme sürecinde etkide bulunmasını gerektirir (Şekil 10.2).



Şekil 10.2: Mekanik iş

Mekanikte, F sabit kuvvetin etkide bulunduğu bir cisim, kuvvetin etkidiği yönde L uzunluğunda yer değiştiriyorsa, yapılan iş;

$$W = F \cdot L \ \ (\mathrm{J}) \qquad (10.1)$$

Bağıntısı ile ifade edilir. Burada;

F : Kuvvet (Newton) (N)

L : Yol (metre) (m)'dir.

İş birimi de J çıkar. Sonucun kJ olması için 1 kJ = 1000 J eşitliğinden yararlanarak J olarak çıkan sonucun $\frac{1}{1000}$ ile çarpılması gerekir.

Eğer kuvvet yol boyunca değişiyorsa toplam iş, diferansiyel miktarlarda işi yol boyunca toplayarak yani integrali alınarak hesaplanır.

Değişik mekanik iş biçimleri vardır. Bunlardan üzerinde duracağımız iş biçimleri şunlardır.

- Hareketli sınır işi
- Yerçekimi işi
- İvme işi
- Elektrik işi (11. öğrenme faaliyetinde örnek verirken kısaca değinilecektir).
- Mil işi (11. öğrenme faaliyetinde anlatılacaktır).

Hareketli sınır işi :Hareketli sınır işinde, bir gazın piston-silindir düzeneğinde genişlemesi veya sıkıştırılması sırasında gerçekleşir. Bu işlem sırasında sınırın bir bölümü ileri-geri hareket eder.

Hareketli sınır işi, otomobil motorlarında yapılan en önemli iş türüdür. Genişleme sırasında yanma sonu gazları pistonu hareket ettirir, buda krank milinin dönmesini sağlar.

Gerçek motorlarda veya kompresörlerde hareketli sınır işi, sadece termodinamik çözümlemeyle tam olarak hesaplanamaz, çünkü pistonun hızlı hareket etmesi denge hallerinin oluşumunu zorlaştırır. Bu durumda hal değişimi sırasında sistemin geçtiği haller belirli değildir ve hal değişiminin izlediği P-V diyagramı çizilemez. İş de yola bağımlı bir fonksiyon olduğu için yol bilinmeden analitik olarak hesaplanamaz. Bu nedenle gerçek motorlarda sınır işi doğrudan yapılan ölçümlerle saptanır.

Biz termodinamikte sistemin her an dengeli bir hal değişimi gerçekleştirdiğini kabul ederek hareketli sınır işini inceleyeceğiz.

Şimdi hareketli sınır işi olarak Şekil 10.3'te basit sıkıştırılabilir bir sistemin sınırındaki işe örnek verelim. Şekil 10.3'te bir silindir ve pistonla sınırlandırılmış gazdan oluşan bir sistem görülmektedir. Yapılan işlem ideal bir işlem olarak kabul edilirse, pistonun (Δx) kadar hareket etmesi sırasında sistem tarafından yapılan iş şu şekilde hesaplanır;

Denklem

$W_{1,2} = P \cdot A \cdot \Delta x$ veya $W_{1,2} = P \cdot A \cdot (x_2 - x_1)$ şeklinde yazılır.

$A \cdot \Delta x = \Delta V$ olduğundan denklemde yerine yazılacak olursa;

$$W_{1,2} = P \cdot \Delta V \text{ veya } W_{1,2} = P \cdot (V_2 - V_1) \qquad (10.2)$$

Bağıntısı ile sistem tarafından yapılan iş hesaplanabilir. Burada;

P : Basınç, (Pa veya kPa)'dır. V_1 ve V_2 hacimleri ise şu bağıntılardan hesaplanır;

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_1 \text{ (m}^3\text{)}, \quad V_2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_2 \qquad (10.3)$$

Burada;

V_1 = Piston ile Ü.Ö.N arasındaki hacimdir ve birimi (m^3)'tür.

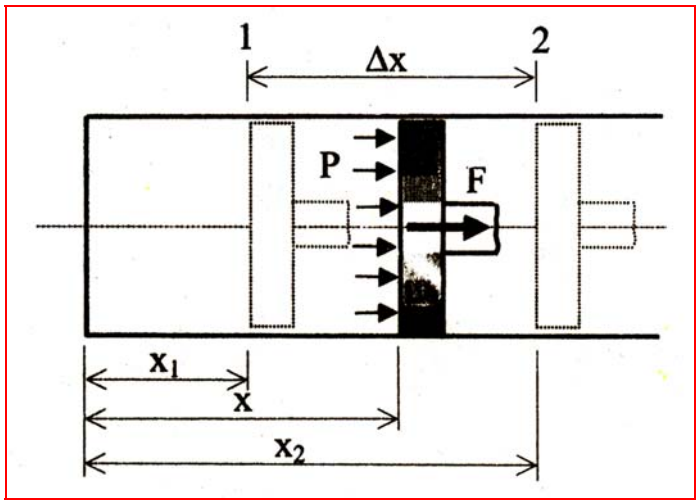
V_2 = Piston ile A.Ö.N arasındaki hacimdir ve birimi (m^3)'tür.

d = Piston çapıdır ve birimi (m)'dir.

L_1 = Piston ile Ü.Ö.N arasındaki mesafe (kurs)'dir ve birimi (m)'dir.

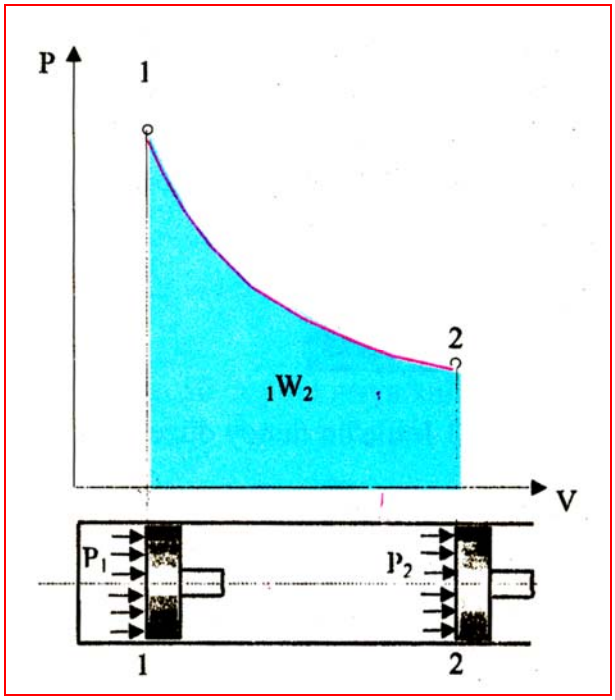
L_2 = Piston ile A.Ö.N arasındaki mesafe (kurs)'dir ve birimi (m)'dir.

Burada iş birimi de J veya kJ'dür.



Şekil 10.3: Hacim değişim işi

Şimdi yine hareketli sınır işi olarak Şekil 10.4'da bir gazın genleşmesine ilişkin hacim değişim işinin P-V diyagramında gösterilişi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bir gazın 1. durumdan 2. duruma genişlemesine ilişkin P-V diyagramında, işlem sırasında basınçta değişmiştir. Bu işlem sırasında yapılan iş, 1-2 eğrisinin altında kalan alanla ifade edilir.



Şekil 10.4: Hacim değişim işinin P – V diyagramı

Yer çekimi işi **:**Yer çekimi işi, yer çekimi tarafından veya ona karşı yapılan iş olarak tanımlanır.Yer çekimi alanında bir cisim üzerinde etkiyen kuvvet;

$F = m \cdot g$ bağıntısı ile verilir. Burada m cismin kütlesi, g ise sabit kabul edilen yerçekimi ivmesidir. Bu cismi Şekil 10.5'te olduğu gibi z_1 düzeyinden z_2 düzeyine yükseltmek için yapılması gereken iş şu bağıntı ile gösterilir;

$$W_y = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1) \text{ (J) veya (kJ)} \qquad (10.4)$$

Burada (z_2- z_1) dikey yer değiştirmedir, birimi metre (m) olarak alınır,

z_1 = Başlangıçtaki yer değiştirmenin ilk halidir (m)

z_2 = Yer değiştirme sonrası son halidir, (m) olarak alınır.

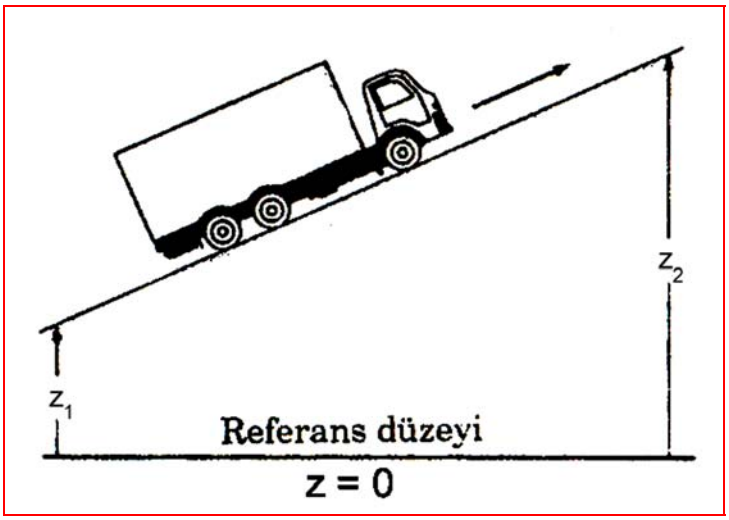
m = Kütle (kg)

g = Yerçekimi ivmesi (m/s²)'dir.

Bu ifade potansiyel enerji değişimini gösterdiği için bu bağıntı şu şekilde de gösterilebilir;

$$PE = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1) \text{ (J) veya (kJ)} \qquad (10.5)$$

Yerçekimi işinin işareti, gözlemle belirlenebilir. Eğer sistem iş yapıyorsa (sistem aşağıya doğru hareket ediyorsa) iş artıdır. Eğer sistem üzerinde iş yapılıyorsa (sistem yükseliyorsa) iş eksidir. Sistem üzerinde yer çekimi işi yapıldığı zaman sistemin potansiyel enerjisi artar.



Şekil 10.5: Yer çekimi işinin referans düzeyinde gösterilişi

İvme işi **:** Sistemin hızındaki değişmeyle ilgili işe ivme işi adı verilir. Kütlesi m olan bir cismi başlangıçtaki C_1 hızından C_2 hızına getirmek için gerekli ivme işi, ivmenin tanımından ve Newton'un ikinci kanunundan belirlenir ve şu bağıntı ile ifade gösterilir;

$$W_i = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (C_2^2 - C_1^2) \text{ (J) veya (kJ)} \quad (10.6)$$

Bir cismi hızlandırmak veya yavaşlatmak için yapılması gerekli iş, izlenen yoldan bağımsızdır ve cismin kinetik enerjisindeki değişime eşittir. Bu ifade şu bağıntı ile gösterilir;

$$KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (C_2^2 - C_1^2) \text{ (J) veya (kJ)} \quad (10.7)$$

Burada;

m = Kütle (kg)

C_1 = Başlangıçtaki ilk hız'dır (m/s)

C_2 = Son hız'dır (m/s) olarak alınır.

Sistem iş yapıyorsa (sistem hızlanıyorsa), ivme işi artıdır. Sistem üzerinde iş yapılıyorsa (sistem yavaşlıyorsa), ivme işi eksidir.

10.1.2 Birimleri

Enerji, iş ve ısı birimlerinin çevirme çarpanları şunlardır;

1 J = 1 Nm

1 kJ = 1000 J = 1000 Nm = 1 kPa.m³

1 kJ/kg = 1000 m²/s

1 kWh = 3600 kJ 1kWh = 102 kpm 1 kWh =860 kcal

1 Cal = 4,1868 kJ 1 cal = 4,184 J

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Bir A cismi 40 N'luk bir kuvvetle 8m hareket ettiriliyor. Uygulanan kuvvet yol doğrultusunda ve sürtünmesiz bir ortamdadır. Yapılması gereken iş (enerji) kaç kJ'dür?

Veriler :

F = 40 N

$$W = F \cdot L = 40 \cdot 8 \cdot \frac{1}{1000} = 0{,}32 \text{ kJ}$$

L=8m

W=?

Örnek problem 2 : 3 kg havanın hacmi 900 kPa sabit basınç altında 0,3 m³'den, 0,175 m³'e indirilmiştir. Sisteme verilen iş kaç kJ'dür?

Veriler :

m = 3kg

$$W = P \cdot (V_2 - V_1)$$

P = 900 kPa

$$W = 900 \cdot (0{,}175 - 0{,}3)$$

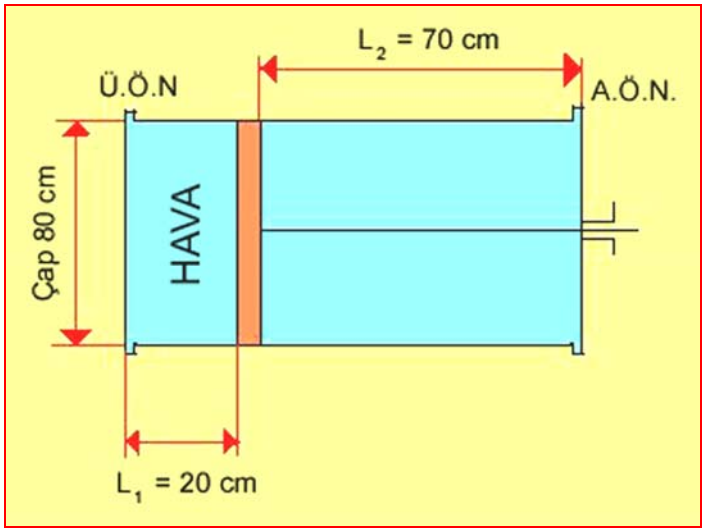
$V_1 = 0{,}3$ m³

$$W = -112{,}5 \text{ kJ}$$

$V_2 = 0{,}175$ m³

W = ?

Örnek problem 3 : Şekil 10.6'da görülen piston-silindir düzeneğinde piston Ü.Ö.N'dan 20 cm uzaklaşıncaya kadar 0 ºC sıcaklıkta ve atmosferik basınçta (atm) hava ile doldurulmuştur. Sabit basınçta tutulan hava daha sonra piston AÖN'ya gelinceye kadar genleştirilmiştir. Buna göre genleşme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini hesaplayınız.



Şekil 10.6

Veriler :

$L_1 = 20$ cm = 0,2 m

t = 0 ºC

1 atm = 101325 Pa

P = sabit

$L_2 = 70$ cm = 0,7 m

d = 80 cm = 0,8 m

W = ?

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3{,}14 \cdot 8^2}{4} \cdot 0{,}2 = 0{,}10048 \text{ m}^3$$

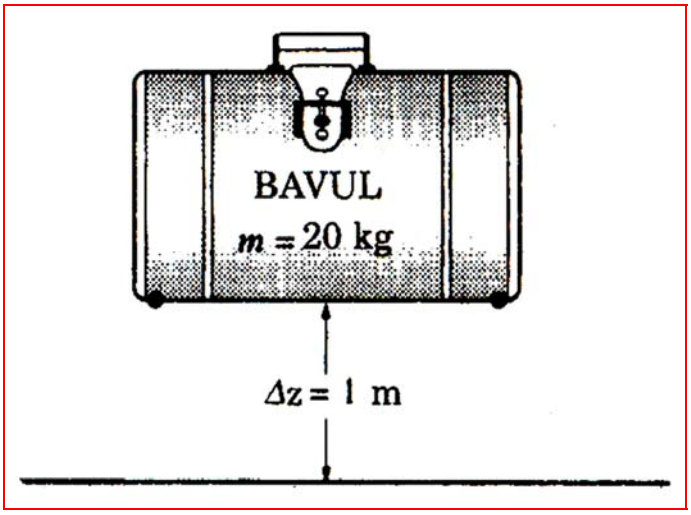
$$V_2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_2 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}8^2}{4} \cdot 0{,}7 = 0{,}35168 \text{ m}^3$$

$$W = P \cdot (V_2 - V_1)$$

$$W = 101325 \cdot (0{,}35168 - 0{,}10048)$$

W = 25452,84 J = 25,45284 kJ

Örnek problem 4 **:** Şekil 10.7'de görülen 20 kg olan bir bavulu 1 m yukarı kaldırmak için yapılması gereken iş (enerji) kaç J'dür?



Şekil 10.7

Veriler :

m = 20kg

g = 9,8 m/s²

$z_2 = 1$ m

$z_1 = 0$

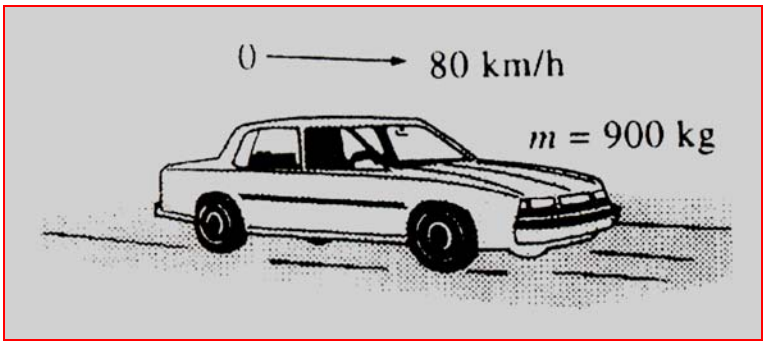
PE = ?

$$PE = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1)$$

$$PE = 20 \cdot 9{,}8 \cdot (1 - 0)$$

PE = 196 J

Örnek problem 5 **:** Şekil 10.8'de görülen 900 kg kütlesi olan bir arabayı duruştan 80 km/h hıza ulaştırmak için yapılması gereken iş (enerji) kaç kJ'dür?



Şekil 10.8

Veriler :

m = 900 kg

$C_1 = 0$

$C_2 = 80$ km/h

KE = ?

$$C_2 = \frac{80 \cdot 1000}{3600} = 22{,}22 \text{ m/s}$$

$$KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (C_2^2 - C_1^2)$$

$$KE = \frac{1}{2} \cdot 900 \cdot (22{,}22^2 - 0^2) \cdot \frac{1}{1000}$$

KE = 222,17 kJ

10.2 Güç

10.2.1 Tanımı

Birim zamanda yapılan işe güç denir. Güç N sembolü ile gösterilir ve şu bağıntı ile ifade edilir;

$$N = \frac{W}{t} \text{ (W), (kW)} \qquad (10.8)$$

Burada;

W = İş (J) veya (kJ)

t = Zaman (s)

Güç birimi de watt (W) veya (kW)'tır. Güç birimi olarak beygir gücü (hp)'de kullanılır. İki birim arasında çevirme çarpanı olarak;

1 kW = 1,36 hp kullanılır. Watt (W) birimini kW'a dönüştürmek içinde, 1 kW = 1000 W çevirme çarpanı kullanılır. Güç ile ilgili diğer çevirme çarpanı da şudur;

1 BG = 0,7355 kW = 735,5 W

Motorlarda çeşitli motor güçleri olmasına rağmen biz iki güç üzerinde duracağız. Bunlar motor indike gücü ile motor efektif gücü

Motor indike gücü : Motor silindirleri içersinde meydana gelen, piston üzerinden alınan güce indike güç denir. İndike güç şu bağıntı ile ifade edilir;

$$N_i = \frac{P_i \cdot L \cdot A \cdot f \cdot n \cdot z}{60} \text{ (kW)} \qquad (10.9)$$

Bu formülde;

P_i = Ortalam indike basınç, (kPa)' dir. Net işin kurs hacmine bölünmesi ile hesaplanır.

$$P_i = \frac{W_{net}}{V_{kurs}} \text{ (kPa)}$$

L = Pistonun aldığı yol (kurs) (m)

A = Alan (m²)'dir. Burada alan şu bağıntı ile hesaplanır;

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \qquad (10.10)$$

Burada

d = Piston çapıdır (m)

n = Devir sayısı (dev/dak)

z = Silindir sayısı

f= iş yapan çevrim sayısı (iki zamanlı motorlarda f=1; dört zamanlı motorlarda f=1/2=0.5 alınır.

Motor efektif gücü : Motorun ana milinden (krank mili) alınan güce efektif güç denir. Efektif güç şu bağıntı ile ifade edilir;

$$N_e = \frac{P_e \cdot L \cdot A \cdot n \cdot f \cdot z}{60} \text{ (kW)} \qquad (10.11)$$

Burada;

Pe = Ortalama efektif basınç (kPa)'dir. Diğer semboller indike güçteki gibidir.

Motor içersinde meydana gelen indike gücün (N_i) hepsini ana milden (krank mili) almamız mümkün değildir. Çünkü mekanik kayıplara uğrar. İndike güçten mekanik kayıpları çıkardığımız zaman efektif güç elde edilir. Bu ifadelere göre her zaman;

$N_i > N_e$ ve $P_i > P_e$'dir

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Piston çapı 80 mm, kursu 70 mm, ortalama indike basıncı 700 kPa, ortalama efektif basıncı 640 kPa, devir sayısı 6000 dev/dak, silindir sayısı 4 ve dört zamanlı bir motorun indike gücünü ve efektif gücünü bulunuz?

Veriler :

d = 80 mm = 0,08 m L = 70 mm = 0,07 m P_i = 700 kPa P_e = 640 kPa

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}08^2}{4} = 0{,}005026 \text{ m}^2$$

$$N_i = \frac{P_i \cdot L \cdot A \cdot n \cdot f \cdot z}{60} = \frac{700 \cdot 0{,}07 \cdot 0.00502 \cdot 6000 \cdot (1/2) \cdot 4}{60} = 49{,}26 \text{ kW (67,38 BG)}$$

$$N_e = \frac{P_e \cdot L \cdot A \cdot f \cdot n \cdot z}{60} = \frac{640 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}005026 \cdot (1/2) \cdot 6000 \cdot 4}{60} = 45{,}03 \text{ kW (61,22 BG)}$$

n = 6000d/dak

z = 4 Dört zamanlı

Ni = ?

Ne = ?

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1 : Bir A cismi 50 N'luk bir kuvvetle 9 m hareket ettiriliyor. Uygulanan kuvvet yol doğrultusunda ve sürtünmesiz bir ortamdadır. Yapılması gereken iş (enerji) kaç kJ'dür?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.

(10.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Sonucun kJ çıkması için çıkan sonucu 1 kJ = 1000 J çevirme çarpanından yararlanarak $\frac{1}{1000}$ ile çarpın.

Veriler:

F = 50 N

L = 9 m

W = ?

$W = F \cdot L = 50 \cdot 9 = 450$ J bulunur, buradan da,

$W = 450 \cdot \frac{1}{1000} = 0{,}45$ kJ bulunur.

Problem 2 : 5 kg havanın hacmi 800 kPa sabit basınç altında 0,4 m³'den, 0,185 m³'e indirilmiştir. Sisteme verilen iş kaç J'dür?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.

(10.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Soruda sonuç J (Joule) istendiği için, çıkan sonucu 1 kJ = 1000 J çevirme çarpanından yararlanarak 1000 ile çarpın.

Veriler:

m = 5kg

P = 800 kPa

V_1 = 0,4 m³

V_2 = 0,185 m³

W = ?

$$W = P \cdot (V_2 - V_1)$$

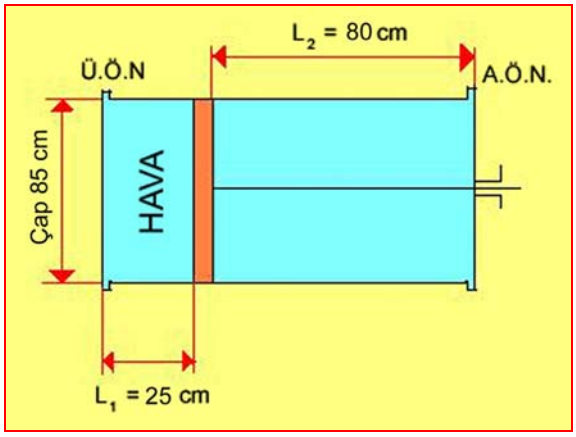
$$W = 800 \cdot (0{,}185 - 0{,}4)$$

$W = -172$ kJ bulunur. Buradan,

$W = -172 \cdot 1000 = -172000$ J bulunur.

Örnek problem 3:

Şekil 10.9'da görülen piston-silindir düzeneğinde piston ÜÖN'dan 25 cm uzaklaşıncaya kadar 0 ºC sıcaklıkta ve atmosferik basınçta (atm) hava ile doldurulmuştur. Sabit basınçta tutulan hava daha sonra piston AÖN'ya gelinceye kadar genleştirilmiştir. Buna göre genleşme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini kJ olarak hesaplayınız?



Şekil 10.9

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Verilen L_1 ve L_2 kurslarını ve piston çapını 1 m = 100 cm eşitliğinden faydalanarak metreye (m) çevirin.
3. Problemde geçen basınç atmosferik basınç olarak söylendiği için ve sonucunda kJ çıkması için basınç değerini 5.öğrenme faaliyetinde birimler konusu altında verilen basınç birimlerinden 1 atm = 101,325 kPa basınç değerini seçiniz.
4. (10.3) Bağıntısından V_1 ve V_2 kurs hacimlerini hesaplayınız.
5. (10.2) Bağıntısında verilen ve bulunan değerleri yerine koyunuz ve hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

L_1 = 25 cm = 0,25m $\quad V_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}85^2}{4} \cdot 0{,}25 = 0{,}14179$ m³

t = 0 ºC $\quad V_2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_2 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}85^2}{4} \cdot 0{,}8 = 0{,}4537$ m³

1 atm = 101,325 Pa $\quad W = P \cdot (V_2 - V_1)$

P = sabit

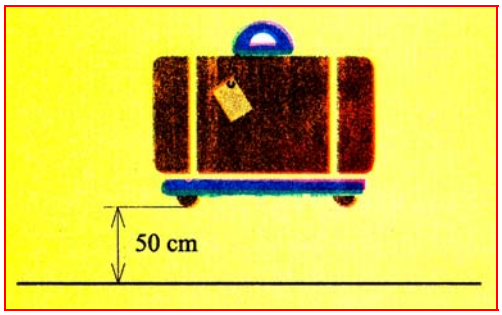
$W = P \cdot (V_2 - V_1) = 101{,}325 \cdot (0{,}4537 - 0{,}14179)$

L_2 = 80 cm = 0,8 m $\quad$ W = 31,6 kJ bulunur.

d = 85 cm = 0,85 m

W = ?

Örnek problem 4 : Şekil 1.10'da 40kg olan bir bavulu 50cm yukarı kaldırmak için yapılması gereken iş (enerji) kaç kJ'dür?



Şekil 10.10

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda yerçekimi ivmesi verilmemiştir. Bu gibi durumlarda her zaman kabul edilen standart değer olan $g = 9{,}8 m/s^2$ değerini alınız.
3. Soruda cm olarak verilen yer değiştirme değerlerini 1 m = 100 cm eşitliğinden faydalanarak metreye (m) çevirin.
4. (10.5) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
5. Sonucun kJ çıkması için, çıkan sonucu 1 kJ = 1000 J çevirme çarpanından yararlanarak $\frac{1}{1000}$ ile çarpın.

Veriler:

m = 40kg

g = 9,8 m/s²

z_2 = 50 cm = 0,5 m

z_1 = 0'dır (çünkü yer değiştirme yoktur)

PE = ?

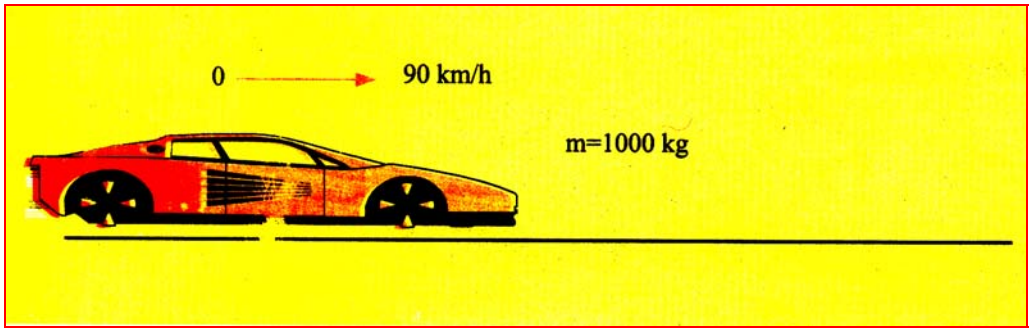
$$PE = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1)$$

$$PE = 40 \cdot 9{,}8 \cdot (0{,}5 - 0)$$

PE = 196 J bulunur, buradan da,

$$PE = 196 \cdot \frac{1}{1000} = 0{,}196 \text{ kJ bulunur.}$$

Örnek problem 5: Şekil 10.11'de 1000 kg kütlesi olan bir arabayı duruştan 90 km/h hıza ulaştırmak için yapılması gereken iş (enerji) kaç kJ'dür?



Şekil 10.11

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda hız birimi km/h verilmiştir. Hız birimi m/s olduğu için soruda

verilen hız değerini 1000 ile çarparak metreye, 3600'e bölerek saniyeye çevirin.

3. (10.7) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

4. Sonucun kJ çıkması için, çıkan sonucu 1 kJ = 1000 J çevirme çarpanından yararlanarak $\frac{1}{1000}$ ile çarpın.

Veriler:

m = 1000 kg

$C_1 = 0$

$C_2 = 90$ km/h

KE = ?

$$C_2 = \frac{90 \cdot 1000}{3600} = 25 \text{ m/s}$$

$$KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (C_2^2 - C_1^2)$$

$$KE = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot (25^2 - 0^2)$$

KE = 312500J bulunur,buradan,

$$KE = 312500 \cdot \frac{1}{1000} = 312{,}5 \text{ J bulunur.}$$

Problem 6 : Piston çapı 90 mm, kursu 80 mm, indike basıncı 750 kPa, efektif basıncı 700 kPa, devir sayısı 5000 d/dak, silindir sayısı 4 ve dört zamanlı bir motorun indike gücünü ve efektif gücünü bulunuz.

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.

2. Soruda piston çapı mm verilmiştir. Verilen değeri 100'e bölerek m'ye

çevirin.

3. Soruda piston kursu mm verilmiştir. 1 m = 1000 mm eşitliğinden faydalanarak verilen değeri 1000'e bölerek metreye (m) çevirin.
4. (10.10)Bağıntısından alanı hesaplayınız.
5. (10.9)Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak N_i'yi hesaplayınız.
6. (10.11)Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak N_e'yi hesaplayınız.

Veriler:

d = 90 mm = 0,09 m

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}09^2}{4} = 0{,}006362 \text{ m}^2$$

L = 80 mm = 0,08 m

P_i = 700 kPa

$$N_i = \frac{P_i \cdot L \cdot A \cdot f \cdot n \cdot z}{60} = \frac{750 \cdot 0{,}08 \cdot 0{,}006362 \cdot (1/2) \cdot 5000 \cdot 4}{60} = 63{,}62\,\text{kW}$$ bulunur.

P_e = 700 kPa

$$N_e = \frac{P_e \cdot L \cdot A \cdot f \cdot n \cdot z}{60} = \frac{700 \cdot 0{,}08 \cdot 0{,}006362 \cdot (1/2) \cdot 5000 \cdot 4}{60} = 59{,}38\,\text{kW}$$

bulunur.

n = 5000 d/dak

z = 4 dört zamanlı

N_i= ? N_e = ?

Problem 7 : 1000 kg kütlesi olan bir arabayı düz yolda 20 saniyede, duruştan 90 km/h hıza ulaştırmak için gerekli güç kaç kW'tır?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda hız birimi km/h verilmiştir. Hız birimi m/s olduğu için soruda verilen hız değerini 1000 ile çarparak metreye, 3600'e bölerek saniyeye çevirin.
3. (10.7) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyun hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.
4. Sonucun kJ çıkması için, çıkan sonucu 1 kJ = 1000 J çevirme çarpanından yararlanarak $\frac{1}{1000}$ ile çarpın.
5. (10.8) Bağıntısında verilen ve bulunan değerleri yerine koyun hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

m = 1000 kg $\qquad C_2 = \frac{90 \cdot 1000}{3600} = 25$ m/s

$C_1 = 0$	$KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (C_2^2 - C_1^2)$
$C_2 = 90$ km/h	$KE = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot (25^2 - 0^2)$
t = 20 s	KE = 312500 J
KE = ?	$KE = 312500 \frac{1}{1000} = 312{,}5$ kJ
N = ?	$N = \frac{W}{t} = \frac{KE}{t} = \frac{312{,}5}{20} = 15{,}625$ kW bulunur.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Aşağıdaki şıklardan hangisinde sistem tarafından yapılan ve sistem üzerine yapılan işin işaret kuralı doğru verilmiştir?

   A) eksi-artı

   B) artı-eksi

   C) artı-artı

   D) eksi-eksi

2) Birim zamanda yapılan işe ne ad verilir?

   A) İş

   B) Kuvvet

   C) Hız

   D) Güç

3) Motor silindirleri içersinde meydana gelen piston üzerinden alınan güce ne ad verilir?

   A) Efektif basınç

   B) İndike basınç

   C) İndike güç

   D) Efektif güç

4) Motorun ana milinden (krank mili) alınan güce ne ad verilir?

   A) İndike güç

   B) Efektif güç

   C) Efektif basınç

   D) İndike basınç

5) Bir A cismi 30N'luk bir kuvvetle 10m hareket ettiriliyor. Uygulanan kuvvet yol doğrultusunda ve sürtünmesiz bir ortamdadır. Yapılması gereken iş (enerji) kaç kJ'dür?

   A) 1,8kJ

   B) 2,9kJ

   C) 0,3kJ

   D) 0,7kJ

6) 8 kg havanın hacmi 700 kPa sabit basınç altında 0,4 m³'den, 0,190 m³'e indirilmiştir. Sisteme verilen iş kaç J'dür?

A) -147000 J

B) 147000 J

C) -149000 J

D) 149000 J

7) Örnek problem 3. Şekil'de görülen piston-silindir düzeneğinde piston ÜÖN'dan 25 cm uzaklaşıncaya kadar 0 ºC sıcaklıkta ve atmosferik basınçta (atm) hava ile doldurulmuştur. Sabit basınçta tutulan hava daha sonra piston AÖN'ya gelinceye kadar genleştirilmiştir. Piston çapı 50 cm, L_1 = 20 cm, L_2 = 70 cm olduğuna göre genleşme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini kJ olarak hesaplayınız.

A) 9,942 kJ

B) 12,465 kJ

C) 10,642 kJ

D) 6,739 kJ

8) 20 kg olan bir bavulu 20 cm yukarı kaldırmak için yapılması gereken iş (enerji) kaç kJ'dür?

A) 0,0854 kJ

B) 0,0457 kJ

C) 0,0529 kJ

D) 0,0392 kJ

9) 1250 kg kütlesi olan bir arabayı duruştan 90 km/h hıza ulaştırmak için yapılması gereken iş (enerji) kaç kJ'dür?

A) 400,425 kJ

B) 390,625 kJ

C) 581,876 kJ

D) 125,363 kJ

10) Piston çapı 90 mm, kursu 90 mm, indike basıncı 10 kp/cm², devir sayısı 5500 d/dak, silindir sayısı 4 ve dört zamanlı bir motorun, indike gücünü bulunuz.

A) 140,356 BG

B) 125.972 BG

C) 139,876 BG

D) 115,643 BG

11) Piston çapı 90 mm, kursu 90 mm, indike basıncı 8 kp/cm², devir sayısı 6000 d/dak, silindir sayısı 4 ve dört zamanlı bir motorun, indike gücünü bulunuz.

A) 113 BG

B) 118 BG

C) 120 BG

D) 122BG

12) 900 kg kütlesi olan bir arabayı düz yolda 20 saniyede, duruştan 80 km/h hıza ulaştırmak için gerekli güç kaç kW'tır?

A) 12,8 kW

B) 11,1 kW

C) 13,8 kW

D) 14,9 kW

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Cevaplarınızın hepsi doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçebilirsiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-11

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda, gerekli, ortam ve materyaller sağlandığında, termodinamiğin sıfırıncı, birinci, ikinci ve üçüncü kanunlarıyla ilgili hesaplamaları yapabilecek, entalpi ve entropi kavramlarını yorumlayabilecek ve ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Isı ve enerji nedir, araştırınız.
- Termodinamiğin sıfırıncı kanunu neyi açıklar, araştırınız.
- Termodinamiğin birinci kanunu neyi açıklar, araştırınız.
- Entalpi ne demektir araştırınız.
- Termodinamiğin ikinci kanunu neyi açıklar, araştırınız.
- Tersinir işlem ve tersinmez işlem ne demektir, araştırınız.
- Entropi ne demektir, araştırınız.
- Isıl (termik) verim ne demektir, araştırınız.
- Isı makinelerinin ideal çevrimi hangi çevrimdir, araştırınız.
- Isı enerjisi kendiliğinden soğuk ortamdan sıcak ortama geçer mi, araştırınız.
- Termodinamiğin üçüncü kanunu neyi açıklar, araştırınız.
- P-v ve T-s diyagramları neyi açıklar, araştırınız.

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınız kullanarak ve bilimsel hesap makinesi kullanan bir işletmeden, iş makinesi operatörlerinden faydalanarak yapabilirsiniz.

11. TERMODİNAMİĞİN SIFIRINCI KANUNU

11. 1 Tanımı

Bir cisim, farklı sıcaklıktaki bir cisimle bir araya getirildiği zaman, yüksek sıcaklıktaki cisimden diğerine her iki cismin sıcaklığı eşitlenene kadar ısı geçişi olur ve bu noktada ısı geçişi son bulur ve cisimler ısıl dengede olurlar. Isıl denge için tek koşul sıcaklıkların eşit olmasıdır.

Termodinamiğin sıfırıncı kanunu, iki ayrı cismin bir üçüncü cisimle ısıl dengede olmaları durumunda kendi aralarında da ısıl dengede olacaklarını belirtir.

Sıcaklık ölçüm sonuçlarının gerçekliği bu kanuna dayanır. Üçüncü cisim bir termometre olarak alınırsa termodinamiğin sıfırıncı kanunu şu şekilde ifade edilir;

Sıcaklıkları aynı değer olarak ölçülen iki cisim birbirleriyle temas etmesellerde ısıl dengededirler.

Bir başka deyişle;

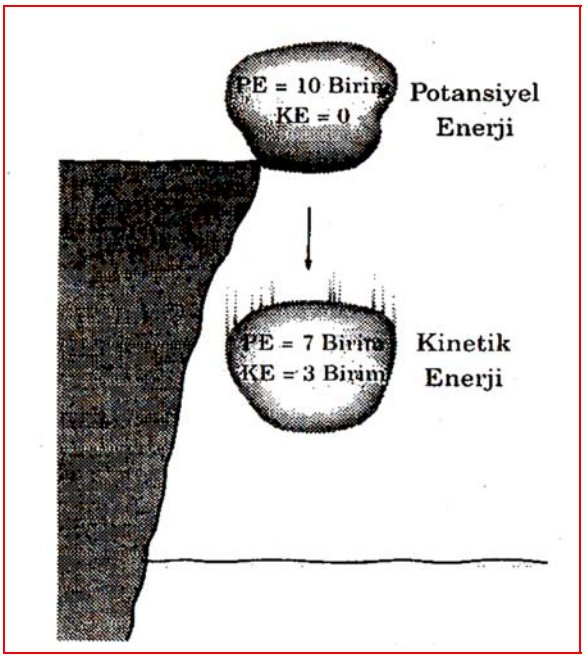
İki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkça eş değerde ise bu iki cisim birbirleriyle de sıcaklıkça eş değerdedir.

Adından da anlaşılacağı gibi temel bir fizik ilkesi olarak değeri; termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarının ortaya konmasından yarım yüzyılı aşkın bir süre sonra anlaşılabilmiştir. Birinci ve ikinci kanundan önce gelmesi gerektiği için adı **sıfırıncı kanun** diye konmuştur. Bu kanun ilk olarak 1931 yılında R. H. Fowler tarafından ortaya konmuştur.

11.2 Termodinamiğin Birinci Kanunu

11.2.1 Tanımı

Termodinamiğin birinci kanunu veya diğer adıyla enerjinin korunumu ilkesi deneysel gözlemlere dayanarak enerjinin var veya yok edilemeyeceğini ancak bir enerji biçimden diğerine dönüşebileceğini vurgular. Birinci kanunu matematiksel olarak kanıtlamak olanaksızdır, fakat doğadaki hal değişimlerinin tümünün birinci kanuna uyduğu bilinir. Bu da yeterli bir kanıt olarak sayılabilir. Örneğin, dağın üzerinde bulunan bir taşın potansiyel enerjiye sahip olduğu ve düştüğü zaman bu enerjinin bir bölümünün kinetik enerjiye dönüştüğü bilinen bir olgudur. Fakat toplam enerji sabit kalır. Birinci kanunun özü toplam enerji adı verilen özelliğin ortaya konmasıdır (Şekil 11.1).



Şekil 11.1: Temodinamiğin birinci kanunu

Termodinamiğin birinci kanunu şöyle ifade edilir;

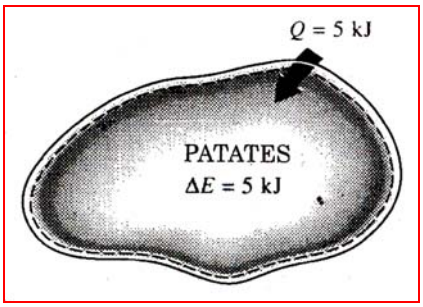
«Enerjinin korunumu ilkesini ifade eder ve enerjinin termodinamikle ilgili bir özellik olduğunu vurgular.»

11.2.2 Kapalı Sistem

Kapalı bir sistem Şekil 1.2'de anlatılmıştı. Kapalı bir sistemde kütle sabittir. Enerji ise sistem sınırını ısı veya iş olarak terk ediyordu. Enerji geçişi sıcaklık farkından dolayı gerçekleşiyorsa sistem sınırından geçen enerji ısıdır, eğer sıcaklık farkı söz konusu değilse veya sistem adyabatikse(Q=O ise) sistem sınırından geçen enerji iştir.

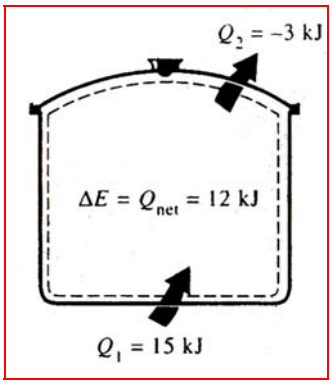
Şimdi önce işin yapılmadığı, sadece ısı geçişinin olduğu birkaç hal değişimini inceleyelim.

Örnek 1 **:** Şekil 11.2'de gösterilen fırındaki patates örneğini ele alalım. Patatese olan ısı geçişi sonunda patatesin enerjisi artacaktır. Kütle geçişinin, başka bir deyişle patatesin nem kaybının olmadığını kabul edersek, patatesin toplam enerjisindeki artış ısı geçişine eşit olacaktır. Eğer patatese 5 kJ ısı geçişi olmuşsa, patatesin enerjisi de 5 kJ artacaktır. Böylece, bu örnek için enerjinin korunumu ilkesi **Q=ΔE** şeklinde yazılabilir.



Şekil 11.2: Isı geçişine ait hal değişimi

Örnek 2 : Şekil 11.3'teki, ocakta çaydanlıkla su ısıtılması örneğini inceleyelim. Ocaktan suya 15 kJ ısı geçişi olur ve bunun 3 kJ kadarı sudan çevre havaya geçerse suyun enerji artışı 12 kJ olur. Bu da net ısı geçişine eşittir. Yani $Q=Q_{net}=\Delta E$ şeklinde yazılabilir.



Şekil 11.3: Isı geçişine ait hal değişimi

Şimdi verdiğimiz iki örneğe göre varılan sonuçlar şöyle özetlenebilir:

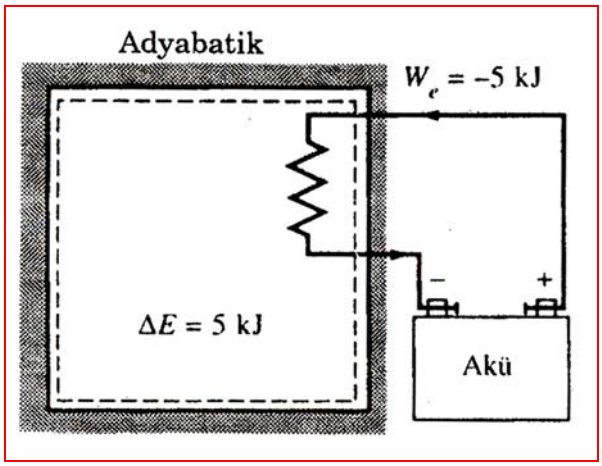
Sistemle çevresi arasında iş etkileşimlerinin olmadığı durumlarda, kapalı sistemin bir hal değişimi sırasındaki toplam enerji değişimi, sistemle çevresi arasındaki net ısı geçişine eşittir. Matematiksel olarak;

W = 0 olması durumunda **Q=ΔE** şeklinde yazılır.

Şimdi ısı geçişinin olmadığı, sadece iş geçişinin olduğu birkaç hal değişimini inceleyelim.

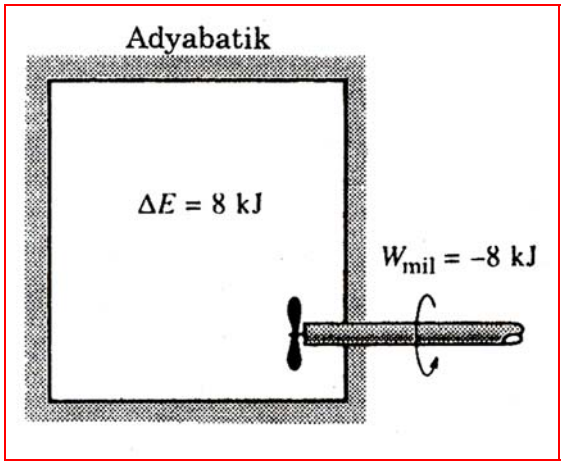
Örnek 1 : Şekil 11.4'te sistem olarak elektrikli ısıtıcıyla ısıtılan, iyi yalıtılmış (bu nedenle adyabatik) bir odayı ele alalım. Yapılan elektrik işinin sonunda sistemin enerjisi artacaktır. Sistem adyabatik olduğundan çevreyle ısı alış verişi yoktur. Yani Q=0'dır. Enerjinin korunumu ilkesine göre, sistemin enerji artışının, sistem üzerinde yapılan elektrik işine eşit olması gerekir. Başka bir deyişle;

$-W_e=\Delta E$ şeklinde yazılır. Bu eşitlikteki eksi işaretinin yer alması, sistem üzerinde yapılan işin eksi kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Böylece sistem üzerinde yapılan işin sistemin enerjisini arttırması, sistem tarafından yapılan işinde sistemin enerjisini azaltması matematiksel olarak sağlanmış olur.



Şekil 11.4: Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (elektrik işi)

Örnek 2 : Şekil 11.5'te bu kez elektrik ısıtıcısını bir pervaneyle değiştirelim. Karıştırma işleminin sonunda sistemin enerjisi artacaktır. Sistem ve çevresi arasında ısı geçişi olmadığı için (Q=0), pervanenin sistem üzerinde yaptığı iş, sistemin enerji artışı olarak kendini gösterecektir. Başka bir anlatımla; $-W_p = \Delta E$ şeklinde yazılır.



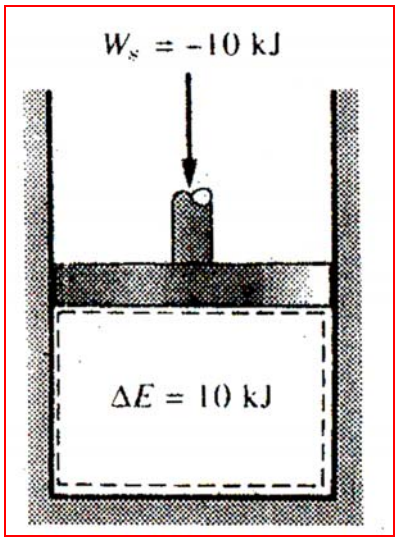
Şekil 11.5: Adyabatik bir sistem üzerinde yapılan iş (mil işi)

Örnek 3 : Şekil 11.6'da piston tarafından sıkıştırılan havanın durumunu ele alalım. Sıkıştırılan havanın sıcaklığının arttığını genelde biliyoruz. Bunun nedeni yapılan sınır işi sonunda havanın enerjisinin artmasıdır. Her hangi bir ısı geçişinin olmaması durumunda (Q=0) yapılan tüm iş, havanın toplam enerjisinin bir bölümü olarak depolanacaktır. Gene enerjinin korunumu ilkesine göre, $-W_e = \Delta E$ olacaktır.

Bahsedilen örneklerden varılan sonuçlar şöyle özetlenebilir;

Kapalı bir sistemde adyabatik bir hal değişimi sırasında yapılan bir iş, sistemin toplam enerji değişimine eşittir, sonucuna varılabilir. Matematiksel olarak;

Q=0 olması durumunda, -W= ΔE şeklinde yazılır.

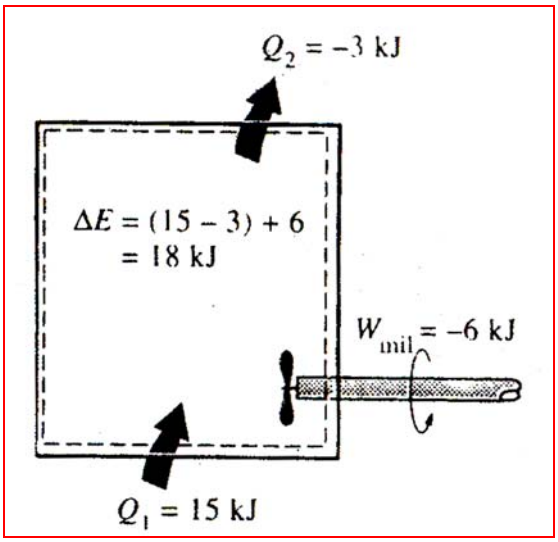


Şekil 11.6: Adyabatik bir sitem üzerinde yapılan net iş (sınır işi)

Şimdi artık hem **iş** hem de **ısı** etkileşimlerinin olduğu hal değişimlerini inceleyelim.

Eğer bir hal değişimi sırasında hem iş hem de ısı etkileşimi oluyorsa bu durumda sonuç için her birinin katkısı toplanarak elde edilir.Bunu bir örnekle açıklamaya çalışalım.

Şekil 11.7'de bir sistemin hal değişimi sırasında, sisteme 15 kJ ısı geçişi oluyor, ayrıca sistem üzerinde pervane tarafından 6 kJ iş yapılıyorsa, sistemin bu hal değişimi sırasındaki net enerji artışı 18 kJ olacaktır.



Şekil 11.7: Hal değişimi sırasında sistemin enerji değişimi

Bütün incelediğimiz örneklerin sonuçlarını genelleştirirsek; **kapalı sistem** olarak tanımlanan, belirli sınırlar içinde bulunan sabit kütle için **termodinamiğin birinci kanunu** veya **enerjinin korunumu ilkesi** şu şekilde ifade edilir;

Sistem veya sistemden ısı veya iş olarak net enerji geçişi = Sistemin toplam enerjisindeki net artış veya azalma. Bunun matematiksel ifadesi ise şöyledir;

$$Q - W = \Delta E \tag{11.1}$$

Burada;

Q = Sistem sınırlarından net ısı geçişini $(= \Sigma Q_g - \Sigma Q_ç)$

W = Değişik biçimleri kapsayan net işi $(= \Sigma W_g - \Sigma W_ç)$

ΔE = Sistemdeki toplam enerji değişimini (E_2- E_1) göstermektedir.

g ve **ç** indisleri sistem sınırlarından **giren** veya **çıkan** ısıyı veya işi göstermektedir.

Sistemin toplam enerjisi E , üç parçadan oluşmaktadır. Bunlar;

İç enerji **U** , kinetik enerji **KE** ve potansiyel enerji **PE**'dir.

Bu nedenle bir hal değişimi sırasında sistemin toplam enerjisinin değişimi, iç enerji, kinetik enerji ve potansiyel enerjisindeki değişimlerin toplamı olarak ifade edilir ve şu bağıntı ile gösterilir.

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad \text{(kJ)} \tag{11.2}$$

Bu bağıntıyı 1.63 numaralı denklemde yerine koyarsak;

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad \text{(kJ)} \tag{11.3}$$

Bağıntısı elde edilir.Burada;

$$\Delta U = m \cdot (U_2 - U_1)$$

$$\Delta KE = \left(\frac{m}{2}\right) \cdot \left(V_2^2 - V_1^2\right)$$

$$\Delta PE = m \cdot g\left(z_2 - z_1\right)$$ olmaktadır.

Uygulamalarda karşılaşılan sistemlerin çoğu hareketsizdir, bu nedenle hızlarında veya kütle merkezlerinin bulunduğu noktada hal değişimi sırasında bir değişiklik olmaz. Böylece **hareketsiz kapalı sistemler**in kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişimler göz ardı edilebilir (ΔKE = ΔPE = 0) ve birinci kanun sadeleştirilerek şu bağıntı şeklinde yazılabilir;

$$Q - W = \Delta U \qquad (11.4)$$

Eğer ilk ve son haller verilmişse, bu hallerdeki iç enerjiler $\Delta U = (U_2 - U_1)$ şeklinde denkleme yazılır.

Eğer sistemde sadece kütle hesaba katılacak, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilecekse birinci kanun şu şekilde ifade edilir;

$$Q - W = m \cdot (u_2 - u_1) \qquad (11.5)$$

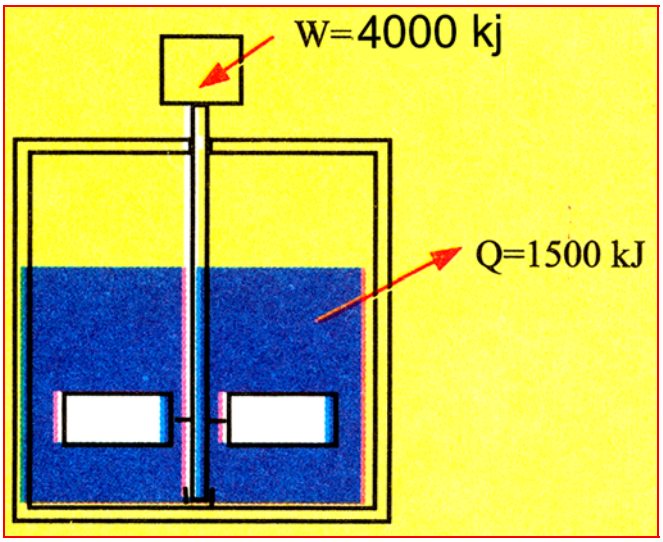
$$U_2 - U_1 = m \cdot C_v \cdot \left(T_2 - T_1\right)$$ olur.

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Şekil 11.8'de görüldüğü gibi sıvı, elektrik motoruyla döndürülen bir palet yardımıyla karıştırılmıştır. Paleti çevirmek için 4000 kJ'lük bir iş harcanmış ve bu sırada depodan çevreye 1500 kJ'lük ısı transfer edilmiştir.Sıvı ve depoyu kapalı bir sistem olarak düşünerek, sistemin iç enerji değişimini bulunuz?



Şekil 11.8

Veriler :

Q_g = yok

$Q_ç$ = - 1500kJ

W_g = - 4000kJ

$W_ç$ = yok

ΔU = ?

$$Q - W = \Delta U$$

$$(Q_g - Q_ç) - (W_g - W_ç) = \Delta U$$ buradan,

$\Delta KE = \Delta PE = 0$'dır. $Q_g = 0$ ve $W_ç = 0$ olduğu için;

$$Q_ç - W_g = \Delta U$$

$$-1500 - (-4000) = \Delta U$$

$$-1500 + 4000 = \Delta U$$

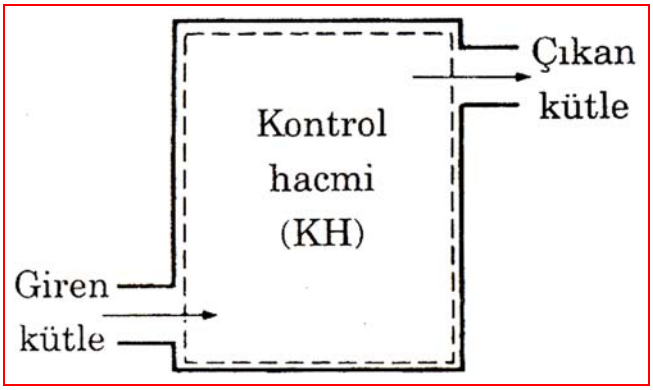
$\Delta U = 2500 kj$ olarak bulunur.

11.2.3 Açık Sistem

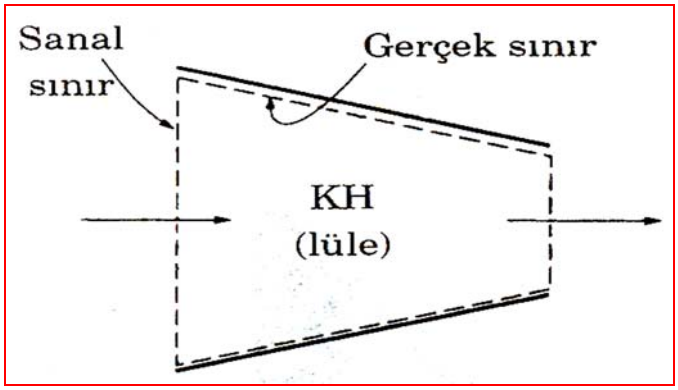
Su ısıtıcısı, otomobil radyatörü, lüle, kompresör içinden kütle akışının olduğu sistemlerdir. Bu sistemler incelenirken kabul edilecek sistem kapalı sistem (kontrol kütlesi) değilse açık sistem (kontrol hacmi) olarak ele alınmalıdır.

Açık sistemin (kontrol hacmi) sınırlarından kütle giriş ve çıkışı vardır (Şekil 11.9). Açık sisteme kütle girdiği zaman sistemin enerjisi artar, kütle çıktığı zaman sistemin enerjisi azalır. Çünkü çıkan kütle kendisiyle birlikte bir miktar enerjiyi de dışarı taşır.

Açık sistemin sınırları **kontrol yüzeyi** olarak adlandırılır. Kontrol yüzeyi gerçek veya sanal olabilir. Lüle örneğine bakıldığı zaman (Şekil 11.10) lülenin iç yüzeyi sınırın gerçek bölümünü giriş ve çıkıştaki yüzeyler ise sınırın sanal bölümünü oluşturur çünkü giriş ve çıkışta elle tutulur veya gözle görülür bir yüzey yoktur.



Şekil 11.9: Açık sistem



Şekil 11.10: Açık sistemin gerçek ve sanal sınırları

Açık sistemde akışkanın sisteme girmesi veya çıkması için yapılması gereken işe **akış enerjisi** denir. **P.v** ile gösterilir.

Bir girişli ve bir çıkışlı açık sistemlerde giriş ve çıkış halleri 1 ve 2 indisleri ile gösterilir.Açık sistemler için termodinamiğin birinci kanunu veya enerjinin korunumu denklemi şu şekilde ifade edilir;

$$Q - W = \Delta E + P \cdot v \tag{11.6}$$

Bu denklem hakkında bazı açıklamalar ve kabuller yaparak açık sistemde, akış olan bir ortamda bir akışkanın giriş ve çıkış enerjilerinin aynı anda yazıldığı birim kütle için toplam enerji (genel enerji) denklemini ortaya çıkaracağız.

1. Açık sistem, kapalı sistemden fazla olarak akış enerjisine (**P.v**) sahiptir.
2. Toplam enerji, akış olmadığı bir ortamda **ΔE = U + PE + KE** şeklinde, akış olan bir ortamda ise **ΔE = P.v + U + PE + KE** şeklinde ifade edilir. Burada PE potansiyel enerji $PE = m \cdot g \cdot z$, KE kinetik enerji $KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot C^2$ 'dir.
3. **U + P·v = entalpi'**dir. Birim kütle için entalpi h ile gösterilir. Burada kısaca entalpiye değinelim. Entalpi (H) bir durum özelliğidir. Yaygın (bağımlı) bir özelliktir. Entalpi sistemin iç enerjisi ile basınç ve hacminin çarpımının toplamıdır. **H = U + P·V** bağıntısı ile ifade edilir. Birim kütle için ise **h = U + P·v** şeklinde yazılır. Entalpi sadece sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklıkla entalpi arasındaki bağıntı sabit basınçtaki özgül ısı (C_p) ile ifade edilir.
4. Kütlesel debinin **m'** değişmediği düşünülür.
5. Birim kütle için ısı **q** şeklinde ifade edilir.

Tüm bu açıklanan bu ifadeler 1.68 bağıntısında yerine yazılacak olursa birim kütlenin toplam enerjisini veren bağıntı şu şekilde ifade edilir;

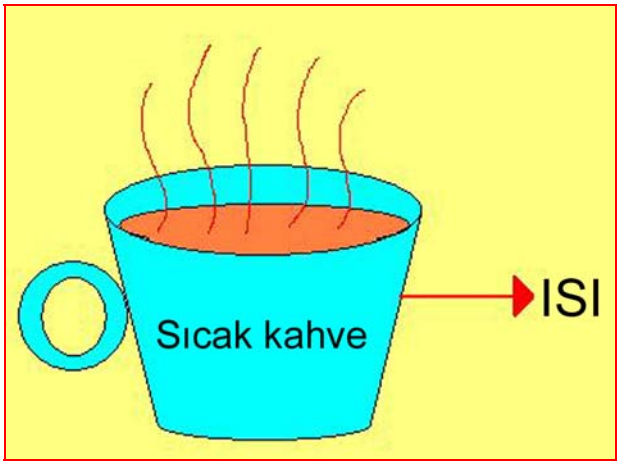
$${}_1q_2 + h_1 + \frac{C_1^2}{2} + g \cdot Z_1 = h_2 + \frac{C_2^2}{2} + g \cdot Z_2 + {}_1w_2 \tag{11.7}$$

11.3 Termodinamiğin İkinci Kanunu

11.3.1 Tanımı

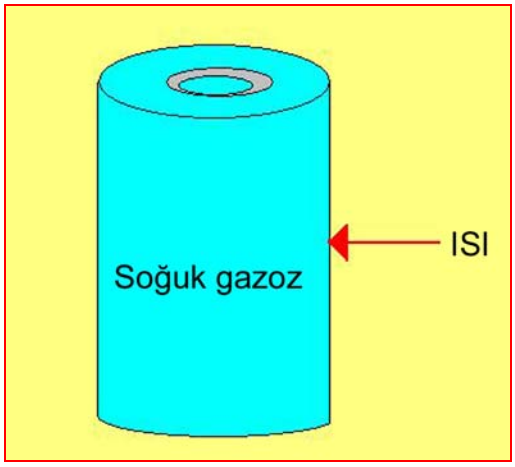
Termodinamiğin ikinci kanununu iyi anlayabilmek için basit birkaç örnek verelim.

Örnek 1 : Bir odada masaya bırakılan sıcak bir fincan kahveyi inceleyelim (Şekil 11.11). Sıcak kahveden çevre havaya ısı geçişi olacak, kahve bir süre sonra soğuyacaktır fakat hiçbir zaman kendiliğinden ısınmayacaktır.



Şekil 11.11: Isı geçişi

Örnek 2 : Bir odada buzdolabından çıkarılıp masaya bırakılan soğuk bir kutu gazozu inceleyelim (Şekil 11.12). Çevrenin ılık havasından soğuk gazoza ısı geçişi olacak, gazoz bir süre sonra ısınacaktır fakat hiçbir zaman kendiliğinden başlangıç sıcaklığına dönemeyecektir.



Şekil 11.12: Isı geçişi

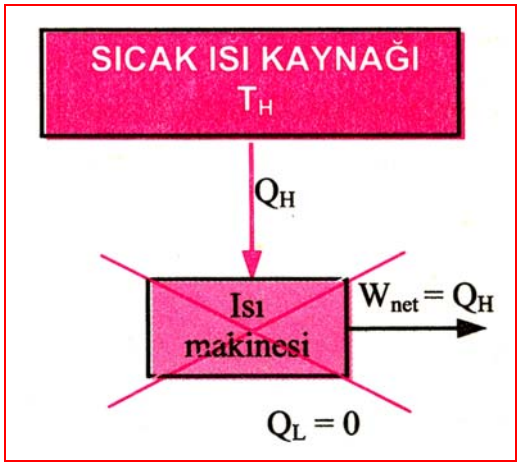
Bahsettiğimiz bu iki örnek açıklamalardan da anlaşılacağı gibi termodinamiğin ikinci kanunu, hal değişimlerinin belirli bir yönde gerçekleşebileceğini, tersi yönde olmayacağını ifade eder.

Buradan termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, ancak sıcak bir kaynaktan daha soğuk bir kaynağa doğru kendiliğinden akar ve akan ısı miktarının bir kısmını işe çevirmek mümkündür.

Termodinamiğin ikinci kanunu **ısı makineleri (motorlar)** ve **ısı pompaları (soğutma makineleri)** gibi sistemlerin ısıl verimleri ve kimyasal reaksiyonların hangi oranda tamamlanacaklarını belirtir.

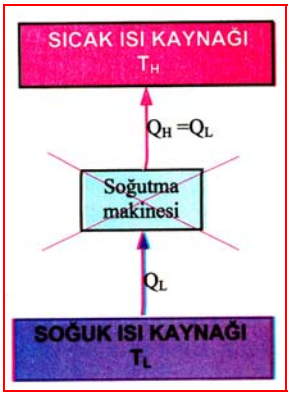
Termodinamiğin ikinci kanunu için en yaygın iki görüş vardır. Bunlar **Kelvin-Planck** ifadesi ile **Clausius** ifadesidir.

Kelvin-Planck ifadesine; hiçbir ısı makinesi sadece bir ısıl enerji deposuyla ısı alış verişinde bulunup net iş üretemez (Şekil 11.13).



Şekil 11.13: Kelvin-Planck ifadesi

Clausius ifadesine göre; soğuk bir cisimden daha sıcak bir cisme çevreden iş almadan ısıl enerji aktaran bir makine yapılamaz (Şekil 11.14).



Şekil 11.14: Clausius ifadesi

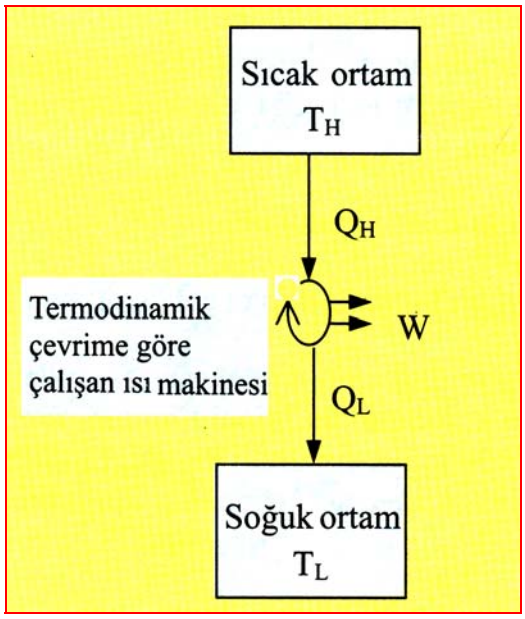
11.3.2 Isı Makineleri

11.3.2.1 Tanımı

Isı makinesi, ısı enerjisini kullanıp bu enerjinin bir miktarını mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir (Şekil 11.15). İkinci kanuna göre, sisteme verilen ısı enerjisinin tamamı mekanik enerjiye dönüştürülemez, sadece belirli bir yüzdesi dönüştürülebilir. Geri kalan kısmı ise ısı enerjisi şeklinde çevre havaya atılmak mecburiyetindedir. İşe dönüştürme yüzdesine **ısıl** (**termik**) verim denir.

Günümüzde iş yapan makinelerin ısıl verimleri çok düşüktür. Örneğin benzinli motorların ısıl verimi %20'dir. Yani bir otomobil motoru benzinin kimyasal enerjisinin yaklaşık %20'sini mekanik işe dönüştürür. Dizel motorları ve büyük gaz türbinlerinde ısıl verim yaklaşık %30, buharlı güç santrallerinde ise %40 civarındadır.

Açıklamalardan da görüldüğü gibi bu gün kullanılan en verimli ısı makineleri bile aldıkları enerjinin yarıdan çoğunu çevre havaya, akarsulara, denizlere ve göllere atık kullanılmaz ısı olarak vermektedirler.



Şekil 11.15: Isı makinesi

Burada;

T_H = Sıcak ısı kaynağı (sıcak ortam) (K)

T_L = Soğuk ısı kaynağı (soğuk ortam) (K)

Q_H = Sisteme verilen veya sıcak kaynaktan çekilen ısı (kJ)

Q_L = Sistemden atılan veya soğuk kaynağa verilen ısı (kJ)

W = İş (kJ)

Sıcak ısı kaynağı (T_H) diye bahsedilen yanma odası, kazan, güneş enerjisi, nükleer reaktör vb. ısıl enerji depolarıdır.

Soğuk ısı kaynağı (T_L) diye bahsedilen atmosfer, çevre hava, akarsu, deniz, göl vb düşük sıcaklıktaki ısıl enerji depolarıdır.

Enerji çıkışının zamana oranı güç olarak bilindiği için açık sistemlerde $\mathbf{Q_H}$ ve $\mathbf{Q_L}$ değerlerinin birimleri **kJ/s** alınacaktır.

Isı makinelerinin ısıl (termik) verimi şu bağıntı ile ifade edilir;

$$\eta_t = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H} \tag{11.8}$$

Burada;

Q_H = Sisteme verilen ısı (kJ)

Q_L = Sistemden atılan ısı (kJ)'dür.

Sistemden atılan ısı negatiftir. Bunun için atılan ısının değer işaretlemesiyle $|Q_L|$ biçiminde yazılması ile işaretleme hatası önlenmiş olur.

Açık sistemlerde verilen ve sistemden atılan ısıların, birim zamanda verilen ve atılan ısılar olduğunu ifade etmek üzere Q harfinin üzerine bir çizgi veya nokta koyulur ve şu bağıntı ile ifade edilir;

$$\eta_t = 1 - \frac{|\dot{Q}_L|}{\dot{Q}_H} \tag{11.9}$$

Isıl (termik) verim, çevrimin mükemmelliğinin bir derecesidir. Yüksek ısıl verim daha iyi makineyi ifade eder. Isı makinelerinde en yüksek verime daha sonra 12.öğrenme faaliyetinde açıklanacak olan **carnot çevrimi** ile ulaşılır.

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Bir ısı makinesinde gerçekleşen çevrim sırasında sisteme saniyede 190 kJ ısı verilmekte ve sistemden çevreye saniyede 140 kJ ısı atılmaktadır. Buna göre bu makinenin ısıl verimini hesaplayınız?

Veriler :

$Q'_H = 190\ k/s (= 190\ kW)$

$Q'_L = 140 kJ/s (= 140 kW)$

$\eta_t = ?$

$\eta_t = 1 - \frac{|Q'_L|}{Q'_H} \rightarrow \eta_t = 1 - \frac{140}{190}$

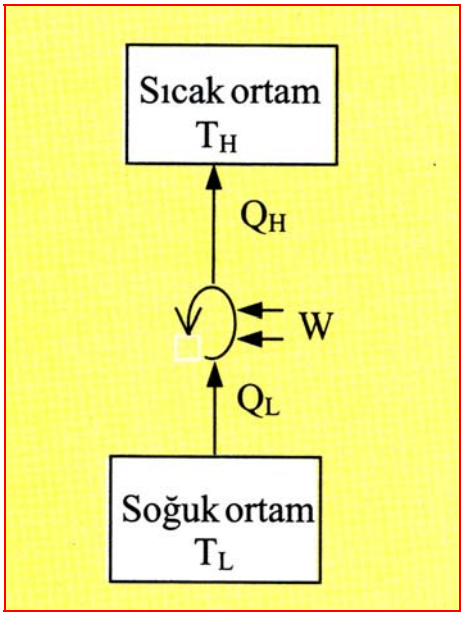
$\eta_t = 0{,}263$ (veya %26,3)olarak bulunur.

11.3.3 Isı Pompaları (Soğutma makineleri)

11.3.3.1 Tanımı

Isı pompası veya soğutma makineleri, düşük sıcaklıktaki ortamdan ısı çekip daha yüksek sıcaklıktaki ortama ısı pompalarlar (Şekil 11.16).

Isı makineleri sıcak ısı kaynağından, soğuk ısı kaynağına ısı naklediyordu. Isı pompaları ise ısı makinelerinin tersi bir çevrimle dışarıdan iş yapılması ile soğuk ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına ısı naklederler. Termodinamiğin ikinci kanununa göre de bunu gerçekleştirmek için mutlaka dışarıdan bir müdahale gerekir. Bu müdahale genelde bir kompresör veya elektrik işinin harcanması şeklindedir.



Şekil 11.16: Isı pompası

Burada;

T_L = Soğuk ısı kaynağı (soğuk ortam) (K)

T_H = Sıcak ısı kaynağı (sıcak ortam) (K)

Q_L = Sisteme verilen veya soğuk kaynaktan çekilen ısı (8kJ)

Q_H = Sistemden atılan veya sıcak kaynağa verilen ısı (kJ)

W = İş (kJ)'dir.

Açık sistemlerde verilen ve sistemden atılan ısıların, birim zamanda verilen ve atılan ısılar olduğunu ifade etmek üzere Q harfinin üzerine bir çizgi veya nokta koyulur.

Düşük sıcaklıktaki ortamdan $\mathbf{Q_L}$ ısısının çekilmesinde **soğutma çevrimi**, sıcak ortama $\mathbf{Q_H}$ ısısının basılmasında ise **ısı pompası** çevrimi söz konusudur. Daha açık bir ifade ile bir yerin soğutulmasında **soğutma makinesi**, bir yerin ısıtılmasında ise **ısı pompası** kullanılır.

Çevrimde dolaşan soğutucu akışkan olarak kolay buharlaşabilen, buharlaşma gizli ısısı yüksek, tehlikesiz bir madde olan **Freon gazı** tercih edilir. Otomobil klima sistemlerinde, buzdolaplarında ve dondurucularda Freon-12 veya kısaca R-12, bina soğutma sistemlerinde ve büyük kapasiteli su soğutucularında R-11, pencere tipi iklimlendirme sistemlerinde, ısı pompalarında, büyük binaların ve endüstriyel kuruluşların soğutma sistemlerinde R-22, R-115 ve R-22'nin bir karışımı olan R-502'de süper marketler gibi büyük ticari kuruluşlarda kullanılan soğutucu akışkanlardır. Çok kullanılan soğutucu bir akışkan da **amonyak gazıdır**.Amonyak, endüstriyel ve ticari kesimlerde kullanılır. Zehirli olduğu için evlerde kullanılmaz. Daha ziyade meyve, sebze, et, balık gibi ürünlerin saklandığı soğutma depolarında, süt, peynir, bira ve şarap depolarında, düşük sıcaklıklarda soğutmanın gerektiği ilaç ve diğer endüstriyel soğutma uygulamalarında kullanılır.

Isı pompalarının veya soğutma makinelerinin etkinliği, tesir (etkinlik) katsayıları ile değerlendirilir.**COP** veya **β** sembolleri ile gösterilir. Buna göre;

Isı pompasında, ısıtma tesir katsayısı;

$$COP_{IM} = \frac{Q'_H}{W'_{netgiren}} \tag{11.10}$$

Soğutma çevriminde, soğutma tesir katsayısı;

$$COP_{SM} = \frac{Q'_L}{W'_{netgiren}} \tag{11.11}$$

söz konusudur.Bu değerler pratikte, örneğin mutfak buzdolaplarında 2,5-3,5 civarındadır.

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin

termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 **:** Bir buzdolabının iç ortamından saniyede 9 kJ ısı çekilerek iç ortam 4°C sıcaklıkta tutulmaktadır. Buzdolabını çalıştırmak için gerekli güç 3 kW olduğuna göre buzdolabının etkinlik katsayısını hesaplayınız?

Veriler :

$Q_L^{'} = 9kJ/s$

T_L = 4 °C (yiyecek bölmesi soğuk ısı kaynağı olarak düşünülebilir).

$W_{netgiren}^{'} = 3kW$

COP_{SM} = ?

$$COP_{SM} = \frac{Q_L^{'}}{W_{netgiren}^{'}}$$

$$COP_{SM} = \frac{9}{3} = 3$$

11.3.4 Entropi

11.3.4.1 Tanımı

1865'de Clasius yeni bir termodinamik özellik buldu. Bu özellik termodinamiğin ikinci kanunun matematiksel bir ifadesi olarak da sayılır. Clasius eşitsizliği olarak da tanımlanan bu özelliğe Entropi (S) adı verilir.

Bir madde katı fazında iken molekülleri hareket edemez, gaz fazında ise molekülleri rast gele bir hareket içinde oldukları için birbirleriyle çarpışarak yön değiştirirler, yani düzensizlikleri artar. İşte bu noktada entropinin fiziksel bir açıklamasını yapmak zor olmasına rağmen şu şekilde bir tanımlama yapılabilir;

«Entropi, sistemdeki moleküler düzensizliğin bir ölçüsüdür». Entropi sistemin kötülük derecesini belirtir. Düzensizlik (belirsizlik) arttıkça entropide artar. Örneğin bir madde erirken veya buharlaşırken moleküllerinin hareketleri hızlandığında ve düzensizleştiğinde entropisi artar. Eğer bir sistem tam olarak düzenli ise entropisi sıfır olabilir.

Entropi şu bağıntı ile ifade edilir;

$$\Delta S \geq \frac{Q}{T} \text{ (kJ/K)} \qquad (11.12)$$

Entropi S simgesiyle gösterilir. Burada $\Delta S = S_2 - S_1$ sistemin entropi değişimini temsil eder. Bu bağıntıda;

Q = Isı (kJ)

T = Mutlak sıcaklık (K)'tır.

Entropi sistemin yaygın (bağımlı) bir özelliğidir. Birimi de kJ/K'dir.

Birim kütlenin entropisi yani özgül entropi yeğin (bağımsız) bir özelliktir, **s** simgesi ile gösterilir, birimi de kJ/kgK'dir.

Entropi bağıntısındaki aradaki eşitsizlik (≥) işareti tersinir işlemler için eşitlik (=) halini alır.Tersinmez işlemler için ise eşitsizlik (≥) halini alır.

Tersinir işlem : Eğer bir hal değişimi gerçekleştikten sonra hem sistem, hem de çevre ilk hallerine döndürülebilirse hal değişimi tersinirdir.

Tersinmez işlem : Tersinir olmayan hal değişimi de tersinmez hal değişimidir.

Gerçekte sürtünme, hızlı genişleme veya sıkıştırma ve sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi her zaman entropi artmasına neden olduğu için hal değişimlerinin tersinmez olmasına yol açar. Gerçek işlemler tersinmez işlemlerdir. Bu sonuca göre termodinamiğin kanunlarını şöyle özetleyebiliriz: Evrenin enerjisi sabit kaldığı halde, evrendeki entropi sürekli olarak artmaktadır.

Tersinir işlem, gerçekte olmayan fakat analizleri basitleştirmek amacıyla yapılan teorik kabuldür. Entropi değişimi tersinir veya tersinmez bütün çevrimler için geçerlidir.

Enerji geçişi ısı ve iş olarak gerçekleşiyordu. Entropi geçişi ısı geçişi (kapalı sistemlerde) ile olur.Entropi geçişinin olmadığı enerji etkileşimi iş'tir.

Çevreden sisteme doğru olan ısı geçişi sistemin entropisini arttırır. Sistemden çevreye doğru olan ısı geçişi de sistemin entropisini azaltır. Entropi değişimine neden olan ısı etkeninden başka iki etken daha vardır. Bunlar sistemden kütle akışı (açık sistemlerde) ve tersinmezlikler (açık sistemlerde)'dir.

$\frac{Q}{T}$ terimindeki **T** sistem sınırındaki mutlak sıcaklıktır.Bu nedenle de her zaman artı değere sahiptir.Böylece entropi geçişinin işareti ısı (**Q**) geçişinin işaretiyle aynı olacaktır.

Entropi geçişi çevreden sisteme doğru oluyorsa artı (+), sistemden çevreye doğru oluyorsa eksi (-) alınacaktır.Adyabatik sistemler (Q=0) için entropi geçişi sıfırdır.

Bir hal değişiminin tersinir mi, tersinmez mi, yoksa olanaksız mı olduğunu belirtmek için, **toplam entropi değişimi**ni bulmak gerekir.Toplam entropi değişimi şu bağıntı ile ifade edilir;

$$\Delta S_{toplam} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre} \geq 0 \quad \text{(kJ/K)} \qquad (11.13)$$

Entropi artışı ilkesi şu şekilde özetlenebilir (Tablo 11.1)

$\Delta S_{toplam} > 0$ tersinmez hal değişimi
$\Delta S_{toplam} = 0$ tersinir hal değişimi
$\Delta S_{toplam} < 0$ gerçekleşmesi olanaksız

Tablo 11.1 : Entropi artışı ilkesi

Entropiye günlük hayattan da bir örnek verelim;

Verimli insanlar; düşük entropide (oldukça düzenli) yaşarlar. Çünkü onlar için her şeyin yeri bellidir (en az kararsızlık) ve bir şeyi bulmak için en az enerjiyi harcarlar. Diğer yandan verimsiz insanlar; düzensiz ve yüksek entropili bir yaşam sürdürürler. Bulmak istedikleri bir şeyi dakikalarca, hatta saatlerce ararlar ve arama işlemini düzenli bir biçimde yapamadıkları için büyük olasılıkla daha başka düzensizliklere yol açarlar (Şekil 11.17). Yüksek entropili bir yaşam sürdüren insanlar her zaman bir koşturmaca içindedirler.

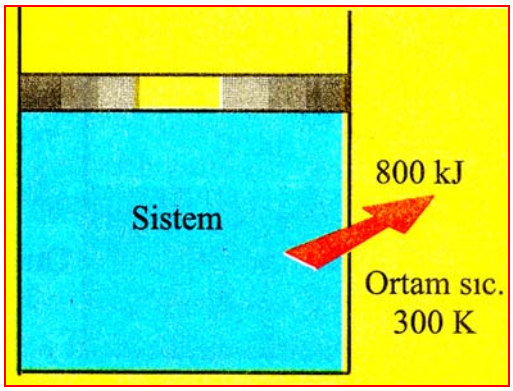
Şekil 11.17

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Bir durum değişimi sırasında 300K sabit sıcaklıktaki çevre havaya Şekil 11.18'de gösterildiği gibi 800kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu durum değişimi sırasında çevrenin entropi değişimini hesaplayınız?



Şekil 11.18

Veriler :

$T_{çevre} = 300$ K

$Q_{çevre} = +800$ kJ (çevreye ısı girişi olduğu için işareti artıdır)

$\Delta S_{çevre} = ?$ $\Delta_{çevre} = \dfrac{Q_{çevre}}{T_{çevre}} \longrightarrow \Delta_{çevre} = \dfrac{+800}{300} = +2{,}66$ kJ/K bulunur.

11.4 Termodinamiğin Üçüncü Kanunu

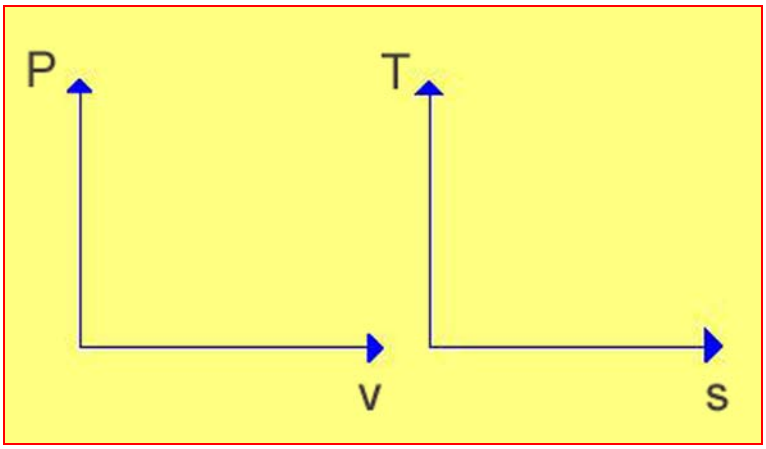
11.4.1 Tanımı

Termodinamiğin üçüncü kanunu, mutlak sıfır sıcaklığındaki maddelerin entropisi ile ilgilidir ve esas olarak mükemmel bir kristal maddenin mutlak sıfır sıcaklığındaki (-273C°) entropisinin sıfır olduğunu ifade eder. Bu kanunla entropi için başlangıç değer şartları belirlenir.

11.5 P-v ve T-s Diyagramları

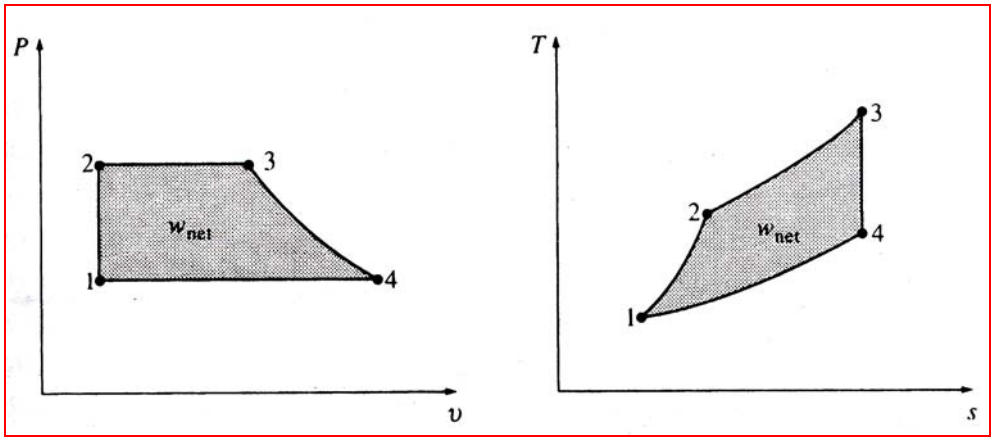
11.5.1 Tanımı

Termodinamik çözümlemeyi kolaylaştırmak amacıyla P-v ve T-s diyagramları gibi özellik diyagramlarından yararlanılır. Bu diyagramlar düşey ve yatay çizgilerden oluşan bir koordinat sisteminde gösterilir (Şekil 11.19). Bu koordinat sisteminde basınç ve özgül hacim değişkenlerinin meydana getirdiği sisteme P-v diyagramı, mutlak sıcaklık ve entropi değişimini inceleyen koordinat sistemine de T-s diyagramı denir.



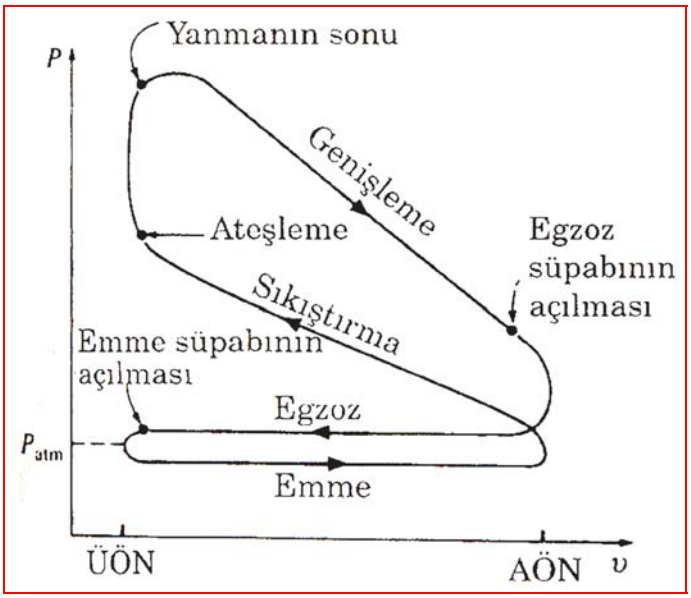
Şekil 11.19: P-v ve T-s diyagramları

P-v ve T-s diyagramları çizildiği zaman, hal değişimlerini gösteren eğrilerin çevrelediği alan çevrimin net işini simgeler (Şekil 11.20).

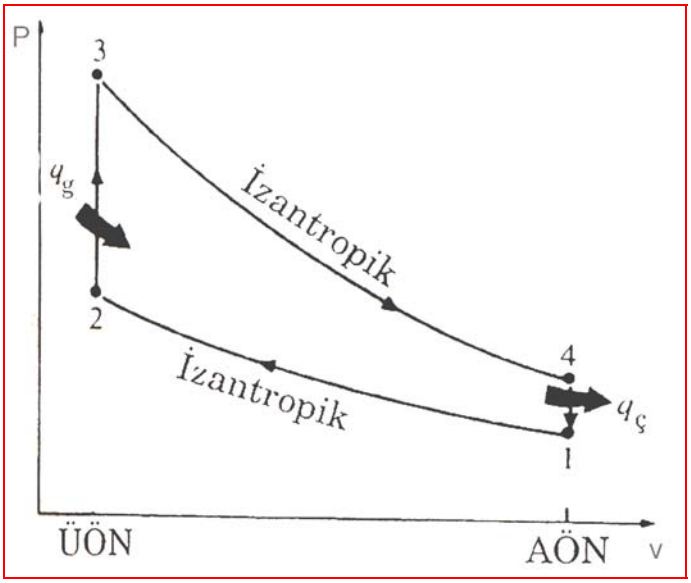


Şekil 11.20: P-v ve T-s diyagramlarında net iş

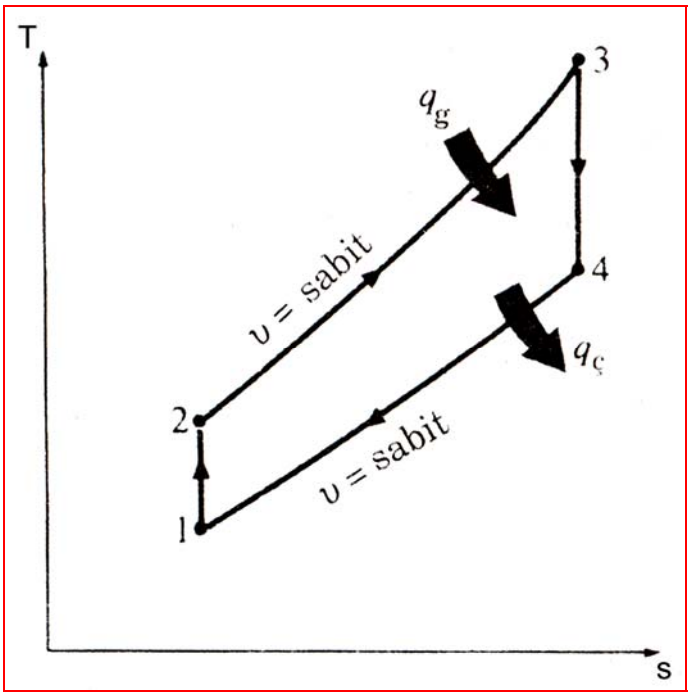
Şekil 11.21'de benzinli motorların (otto) gerçek P-v diyagramı, Şekil 11.22'de benzinli motorların (otto) ideal P-v diyagramı, Şekil 11.23'de benzinli motorların ideal otto çevriminin T-s diyagramları verilmiştir.



Şekil 11.21: Gerçek OTTO çevriminin P-v diyagramı

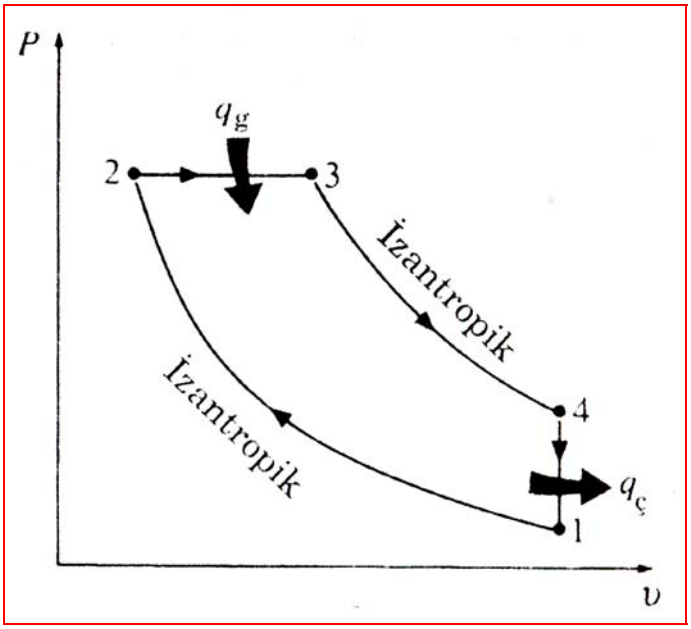


Şekil 11.22: İdeal OTTO çevriminin P-v diyagramı

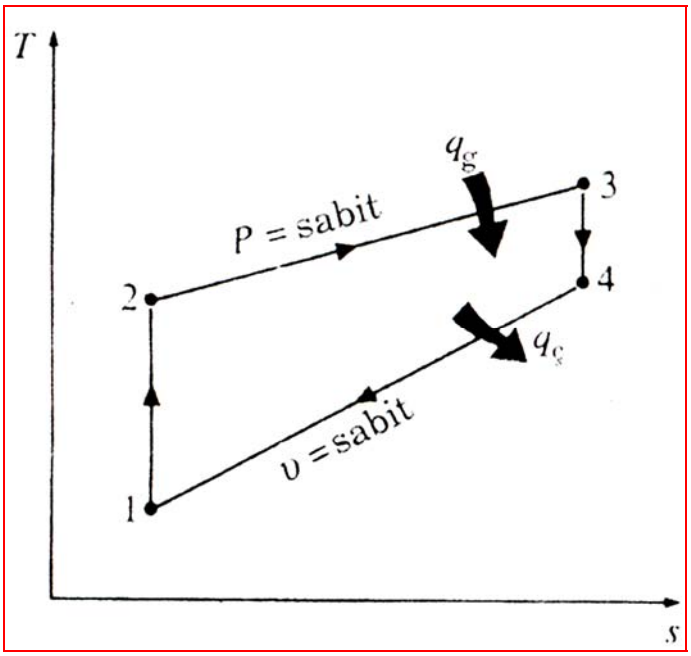


Şekil 11.23: İdeal OTTO çevriminin T-s diyagramı

Şekil 11.24'te dizel motorlarının ideal P-v diyagramı, Şekil 11.25'te dizel motorlarının ideal T-s diyagramları verilmiştir.



Şekil 11.24 : İdeal DİZEL çevriminin P-v diyagramı

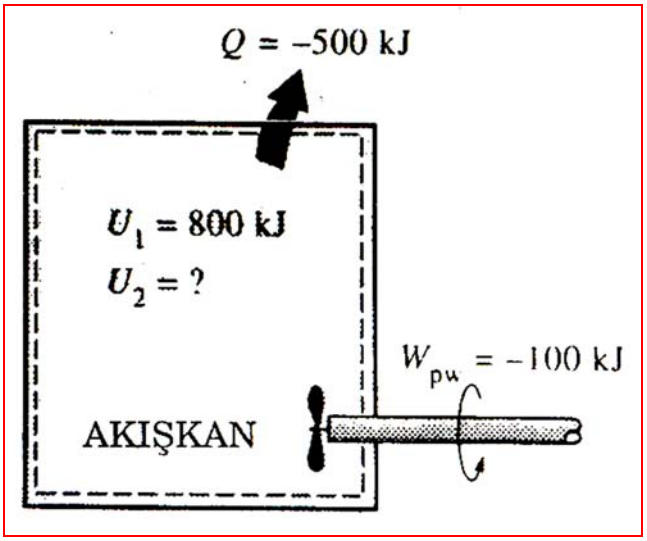


Şekil 11.25: İdeal DİZEL çevriminin T-s diyagramı

P-v ve T-s diyagramları ile ilgili açıklamalar ve problemler size termodinamik çevrimler ve yakıtlar modülünde verilecektir.

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1 : Şekil 11.26'da görüldüğü gibi sabit hacimli kapalı bir kapta bulunan sıcak bir sıvı soğutulurken, bir taraftan da karıştırılmaktadır. Başlangıçta sıvının toplam iç enerjisi 800kJ'dür. Soğutma işlemi sırasında çevreye 500kJ ısı geçişi olmaktadır. Sıvıyı karıştırmak için 100kJ iş yapılmaktadır. Sıvının son haldeki toplam iç enerjisini hesaplayınız.



Şekil 11.26

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Sistem olarak kabın içindeki sıvıyı seçin, sistem sınırları da şekilde kesik çizgilerle gösterilmiştir. Sistem sınırlarından kütle geçişi olmadığı için

sistem kapalı bir sistemdir ve ayrıca hareketsizdir. Bu nedenle potansiyel ve kinetik enerji değişimleri sıfırdır. Bu durumda problemi, (11.3) bağıntısında verilen enerjinin korunumu denklemini uygulayarak sıvının son haldeki toplam iç enerjisi olan (U_2)'yi hesaplayınız.

3. Sistemden çevreye ısı geçişi olduğu için çıkan ısının işareti eksi (-), sistem üzerinde iş yapıldığı için giren işin işareti de eksi (-) olarak alınız.

Veriler:

Q_g = yok $\quad Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad \Delta KE = \Delta PE = 0$ olduğu için,

$Q_ç$ = -500kJ $\quad Q - W = \Delta U$ yazılır. Buradan,

W_g = -100kJ $\quad Q - W = U_2 - U_1$'den

$W_ç$ = yok $\quad (Q_g - Q_ç) - (W_g - W_ç) = U_2 - U_1$ yazılır. Q_g = 0 ve $W_ç$ = 0 olduğu için;

U_1 = 800kJ $\quad Q_ç - W_g = U_2 - U_1$

U_2 = ? $\quad -500 - (-100) = U_2 - (+800)$

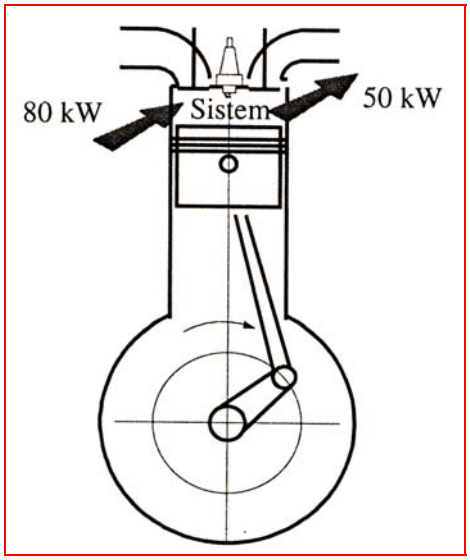
$$-500 + 100 = U_2 - 800$$

$$-400 = U_2 - 800$$

$$U_2 = 800 - 400$$

U_2 = 400kJ

Problem 2 : Bir ısı makinesinde gerçekleşen çevrim sırasında Şekil 11.27'de gösterildiği gibi sisteme saniyede 80kJ ısı verilmekte ve sistemden çevreye saniyede 50kJ ısı atılmaktadır.Bu makinenin ısıl verimini hesaplayınız.



Şekil 11.27

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (11.9) Bağıntısında verilen değerleri yerine yazarak hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$Q_H^{'} = 800$ kJ/s (=80kW)

$Q_L^{'} = 50$ kJ/s (=50kW)

$\eta_t = ?$

$$\eta_t = 1 - \frac{|Q_L^{'}|}{Q_H^{'}} \rightarrow \eta_t = 1 - \frac{50}{80}$$

$\eta_t = 0{,}375$ (veya %37,5) olarak bulunur.

Problem 2 : Bir buzdolabının iç ortamından saniyede 8 kJ ısı çekilerek iç ortam 5°C sıcaklıkta tutulmaktadır. Buzdolabını çalıştırmak için gerekli güç 2 kW olduğuna göre buzdolabının etkinlik katsayısını hesaplayınız.

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Buzdolabının iç ortamından yani düşük sıcaklıktaki ortamdan ısı çekildiği için soğutma makinesi kullanılmış demektir (ısı pompası değil).
3. (11.11)Bağıntısında verilen değerleri yerine yazarak hesaplama işlemini gerçekleştiriniz.

Veriler:

$Q_L^{'} = 8\,Q'_L$ kJ/s

T_L = 5 °C (yiyecek bölmesi soğuk ısı kaynağı olarak düşünülebilir).

$W'_{netgiren}$ = 2 kW

$COP_{SM} = ?$ $\qquad COP_{SM} = \dfrac{Q'_L}{W'_{netgiren}}$

$COP_{SM} = \dfrac{8}{2} = 4$ bulunur. Böylece, buzdolabına giren her 1 kJ iş için buzdolabının iç kısmından 4 kJ ısı çekilmektedir.

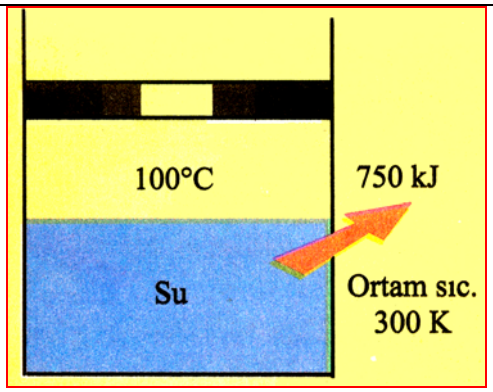
Problem 3 : Şekil 11.28'de gösterildiği gibi sürtünmesiz bir piston-silindir düzeneğinde 100°C sıcaklıkta su-buhar karışımı bulunmaktadır. Daha sonra 300 K sabit sıcaklıktaki çevre havaya, sabit basınçta bir hal değişimiyle 750 kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu hal (durum) değişimi sırasında;

a. Suyun entropi değişimini,

b. Çevre havanın entropi değişimini,

c. Toplam entropi değişimini hesaplayınız.

d. Hal değişiminin tersinir, tersinmez veya gerçekleşebilir olup olmadığını belirleyiniz.



Şekil 11.28

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. a Şıkkında sistem (su) çevreye doğru ısı verdiği için suyun (sistemin) entropi değişimini hesaplarken Q suyun işaretini eksi olarak alınız.
3. b Şıkkında sistemin verdiği ısıyı çevre hava aldığı için çevre havanın entropi değişimini hesaplarken Q çevre işaretini artı olarak alınız.
4. (11.12) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak önce suyun sonra çevre havanın entropi değişimlerini hesaplayın.
5. (11.13) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak toplam entropi değişimini hesaplayın.
6. (11.13) Bağıntısından çıkan sonuca bakarak, Tablo 11.1'deki entropi artışı tablosundan hal değişiminin tersinir, tersinmez veya gerçekleşebilir olup olmadığını belirleyin.

Veriler:

$T_{su} = 100 + 273 = 373$ K

$T_{çevre} = 300K$

P = sabit

$Q_{su} = -750kJ$

a) $\Delta S_{su} =$?

b) $\Delta S_{çevre} =$?

c) $\Delta S_{toplam} =$?

a) $\Delta S_{su} = \dfrac{Q_{su}}{T_{su}}$

$\Delta S_{su} = \dfrac{-750}{373} = -2{,}01$ kJ/K bulunur.

b) $\Delta S_{çevre} = \dfrac{Q_{çevre}}{T_{çevre}}$

$\Delta S_{çevre} = \dfrac{+750}{300} = +2{,}5$ kJ/K

c) $\Delta S_{toplam} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre}$

$\Delta S_{toplam} = 2{,}01 + 2{,}5 = +0{,}49$ kJ/K

d)Toplam entropi değişimi artı olduğu için hal değişimi tersinmezdir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Termodinamiğin sıfırıncı kanununun tanımı hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

   A) İki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkça eş değerde ise, bu iki cisim birbirleriyle de sıcaklıkça eş değerdedir.

   B) Enerjinin korunumu ilkesini ifade eder ve enerjinin termodinamikle ilgili bir özellik olduğunu vurgular.

   C) Hal değişimlerinin belirli bir yönde gerçekleşebileceğini, tersi yönde olmayacağını ifade eder.

   D) Mükemmel bir kristalin mutlak sıfır sıcaklığındaki (-273 °C) entropisinin sıfır olduğunu ifade eder.

2) Termodinamiğin birinci kanununun tanımı hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

   A) Hal değişimlerinin belirli bir yönde gerçekleşebileceğini, tersi yönde olmayacağını ifade eder.

   B) İki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkça eş değerde ise bu iki cisim birbirleriyle de sıcaklıkça eş değerdedir.

   C) Enerjinin korunumu ilkesini ifade eder ve enerjinin termodinamikle ilgili bir özellik olduğunu vurgular.

   D) Mükemmel bir kristalin mutlak sıfır sıcaklığındaki (-273 °C) entropisinin sıfır olduğunu ifade eder.

3) Termodinamiğin ikinci kanununun tanımı hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

   A) Mükemmel bir kristalin mutlak sıfır sıcaklığındaki (-273 °C) entropisinin sıfır olduğunu ifade eder.

   B) İki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkça eş değerde ise bu iki cisim birbirleriyle de sıcaklıkça eş değerdedir.

   C) Enerjinin korunumu ilkesini ifade eder ve enerjinin termodinamikle ilgili bir özellik olduğunu vurgular.

   D) Hal değişimlerinin belirli bir yönde gerçekleşebileceğini, tersi yönde olmayacağını ifade eder.

4) Termodinamiğin üçüncü kanununun tanımı hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

   A) Enerjinin korunumu ilkesini ifade eder ve enerjinin termodinamikle ilgili bir özellik olduğunu vurgular.

   B) Mükemmel bir kristalin mutlak sıfır sıcaklığındaki (-273 °C) entropisinin sıfır olduğunu ifade eder.

   C) Hal değişimlerinin belirli bir yönde gerçekleşebileceğini, tersi yönde olmayacağını ifade eder.

   D) İki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkça eş değerde ise bu iki cisim birbirleriyle de sıcaklıkça eş değerdedir.

5) Sistemin iç enerjisi ile basınç ve hacminin çarpımının toplamı neyi ifade eder?

   A) Entropi

   B) Entalpi

   C) İç enerji

   D) İş

6) Hiçbir ısı makinesi sadece bir ısıl enerji deposuyla ısı alış verişinde bulunup net iş üretemez, ifadesi kime aittir?

   A) Kelvin-Planck

   B) Clausius

   C) Rankin

   D) Otto

7) Soğuk bir cisimden daha sıcak bir cisme çevreden iş almadan ısıl enerji aktaran bir makine yapılamaz ifadesi kime aittir?

   A) Carnot

   B) Arşimet

   C) Kelvin-Planck

   D) Clausius

8) Isı enerjisini kullanıp bu enerjinin bir miktarını mekanik enerjiye dönüştüren makineye ne ad verilir?

   A) Isı pompası

   B) Soğutma makinesi

   C) Kompresör

   D) Isı makinesi

9) Düşük sıcaklıktaki ortamdan ısı çekip daha yüksek sıcaklıktaki ortama ısı pompalayan makineye ne ad verilir?

   A) Isı makinesi

   B) Kompresör

   C) Soğutma makinesi

   D) Vantilatör

10) Soğutma makinelerinde çevrimde dolaşan soğutucu akışkan nedir?

   A) Freon gazı

   B) Hidrojen gazı

   C) Azot gazı

   D) Oksijen gazı

11) Bir hal değişimi gerçekleştikten sonra hem sistem hem de çevre ilk hallerine döndürülebiliyorsa bu sisteme ne ad verilir?

   A) Adyabatik

   B) Tersinir

   C) Tersinmez

   D) Açık

12) Entropi geçişi çevreden sisteme doğru oluyorsa ısı işareti ne olmalıdır?

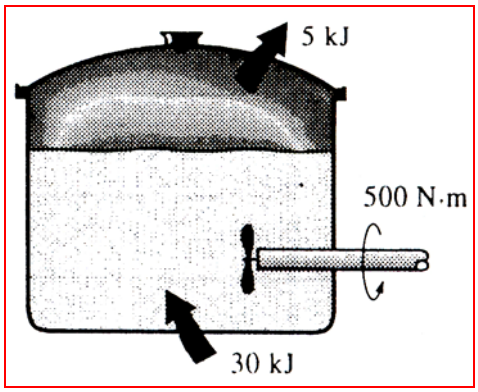
   A) Artı

   B) Eksi

   C) Eşit

   D) Nötr

13) Şekil 11.29'da görüldüğü gibi su, üstü kapalı bir tencerede bir taraftan ısıtılırken bir taraftan da karıştırılmaktadır. Hal değişimi sırasında ocaktan suya 30 kJ, sudan çevreye ise 5 kJ ısı geçmektedir. Karıştırma yoluyla yapılan iş 0,5 kJ'dür. Sistemin başlangıçtaki enerjisi 10 kJ olduğuna göre son haldeki toplam enerjisi (ΔE) kaç kJ olur?



Şekil 11.29

A) 38,5 kJ

B) 33,5 kJ

C) 32,5 kJ

D) 35,5 kJ

14) Bir ısı makinesinde gerçekleşen çevrim sırasında sisteme saniyede 180 kJ ısı verilmekte ve sistemden çevreye saniyede 130 kJ ısı atılmaktadır. Bu makinenin ısıl verimi aşağıdaki hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

A) %27,8

B) %37,7

C) %27,7

D) %32,7

15) Bir buzdolabının iç ortamından saniyede 6 kJ ısı çekilerek iç ortam 4 °C sıcaklıkta tutulmaktadır. Buz dolabını çalıştırmak için gerekli güç 2 kW olduğuna göre buzdolabının etkinlik kat sayısını aşağıdaki hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

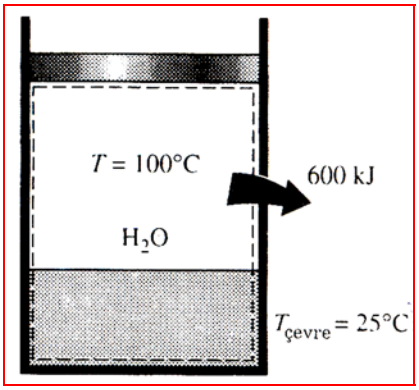
A) 2

B) 3

C) 4

D) 5

16) Şekil 11.30'da gösterildiği gibi sürtünmesiz bir piston-silindir düzeneğinde 100 °C sıcaklıkta su-buhar karışımı bulunmaktadır. Daha sonra 25 °C sabit sıcaklıktaki çevre havaya, sabit basınçta bir hal değişimiyle 600 kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu hal (durum) değişimi sırasındaki suyun entropi değişimi kaç kJ/K'dir?



Şekil 11.30

A) -1,61kJ/K

B) -2,75

C) -3,44

D) -4,11

17) Dördüncü sorudaki verilere göre çevre havanın entropi değişimi kaç kJ/K'dir?

A) +2,01 kJ/K

B) +3,56

C) +1,99

D) +4,76

18) Dördüncü sorudaki verilere göre toplam entropi değişimi kaç kJ/K'dir?

A) +0,5kJ/K

B) +0,6kJ/K

C) +0,7kJ/K

D) +0,4kJ/K

19) Dördüncü sorudaki toplam enerji değişimi sonucuna göre hal değişimi tersinir, tersinmez ya da gerçekleşebilir olup olmadığı aşağıdakilerden hangi şıkta doğru olarak verilmiştir?

A) Tersinir

B) Tersinmez

C) İmkansız

D) Olamaz

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Cevaplarınızın hepsi doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçebilirsiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-12

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda, gerekli, ortam ve materyaller sağlandığında termik verim hesaplayabilecek, PV ve TS diyagramlarını yorumlayabilecek, izantropik ısıda ve genişlemede iş, izotermik soğutmada ısı, iş ve verim hesaplayabileceksiniz.

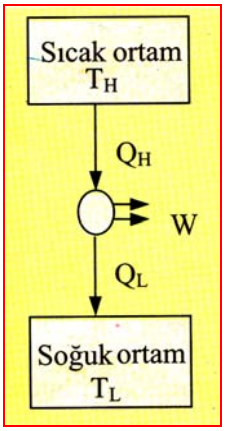
ARAŞTIRMA

- Carnot çevrimini araştırınız.

Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınızı kullanarak ve bilimsel hesap makinesi kullanan bir işletmeden, faydalanarak yapabilirsiniz.

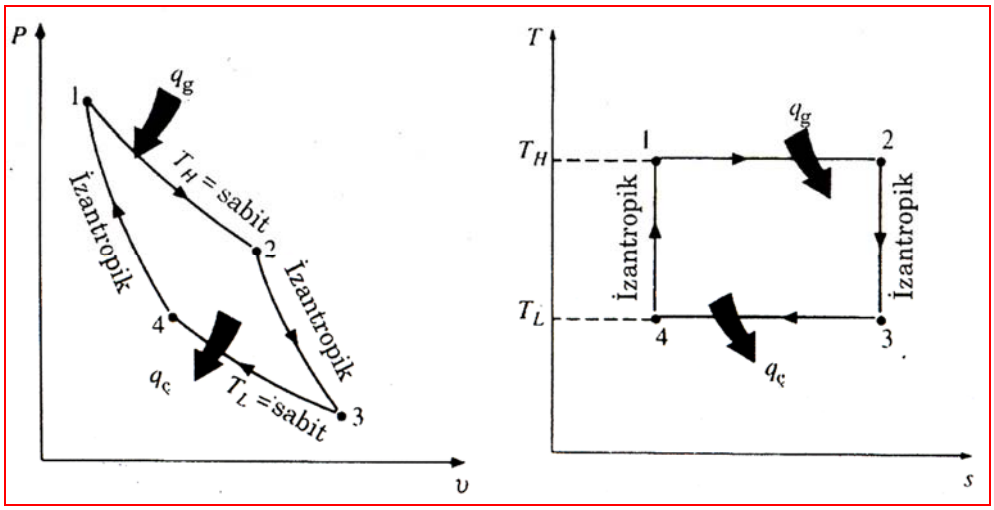
12. TERMİK MAKİNELERİN ÇEVRİMİ

12.1. Tanımı



Şekil 12.1: Carnot ısı makinesi

Carnot çevrimi sıcak ısı kaynağı T_H ve soğuk ısı kaynağı T_L sıcaklıklarında bulunan iki ısıl enerji deposu arasında gerçekleşen en yüksek verimli çevrimdir. Bu çevrim Fransız mühendis ve bilim adamı Sadi Carnot tarafından ifade edilmiştir. Carnot çevrimine göre çalışan ısı makinesine de carnot ısı makinesi denir. Carnot ısı makinesi, buharlaşabilen bir akışkanla veya gaz ile çalışabilir.

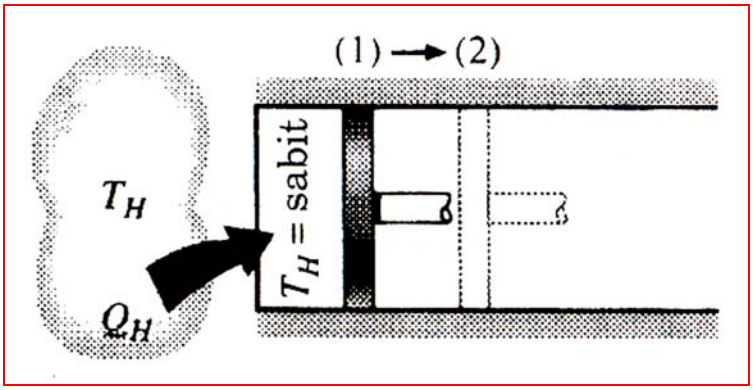


Şekil 12.2: Carnot çevrimi P-v ve T-s diyagramları

Carnot çevrimi ikisi sabit sıcaklıkta ikisi de adyabatik olmak üzere dört tersinir hal değişiminden oluşur. Piston sürtünmesiz, hal değişimleri de ilk hallerine dönebildiği için dört hal değişimi de adyabatiktir.

Şimdi carnot çevriminin dört tersinir hal değişimini açıklayan adyabatik silindir-piston düzeneğinde bulunan bir gazın oluşturduğu kapalı bir sistemde gerçekleştirilişini inceleyelim.

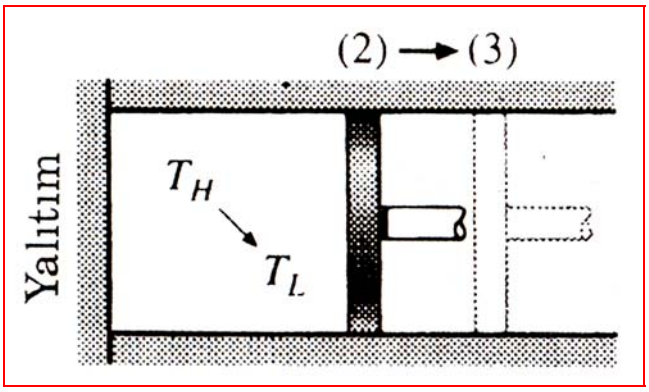
<u>Tersinir sabit sıcaklıkta genişleme</u> (1-2 hal değişimi, T_H =sabit), (Şekil 12.3)



Şekil 12.3: 1-2 hal değişimi

İlk halde (1 hali) gazın sıcaklığı T_H'dir.Silindirin ön tarafı T_H sıcaklığında bir ısıl enerji deposuyla etkileşim halindedir. Daha sonra gaz yavaşça genişlemekte ve çevreye karşı iş yapmaktadır. Genişleyen gazın basınç ve sıcaklığı azalacağından sıcaklığın sabit kalabilmesi için sisteme T_H sıcak ısı kaynağından Q_H ısısı verilir. Gazın sıcaklığı genişleme esnasında sabit tutulduğu için 1-2 eğrisine izotermik genişleme de denir.

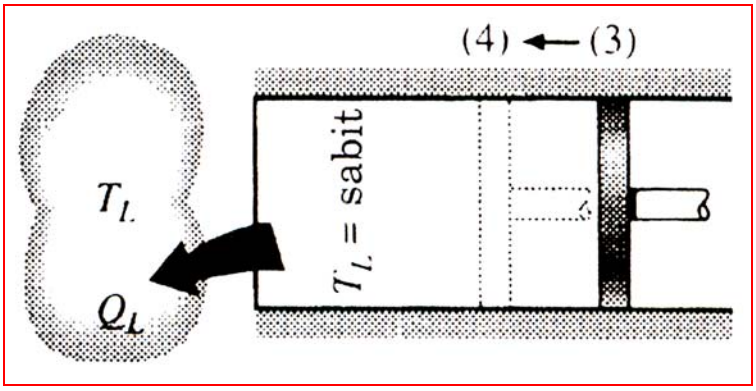
Tersinir adyabatik genişleme (2-3 hal değişimi, sıcaklık T_H'den T_L'ye düşmektedir), (Şekil 12.4)



Şekil 12.4: 2-3 hal değişimi

2 Haline gelindiğinde silindirin ön tarafı yalıtılmakta ve ısıl enerji deposuyla etkileşimi kesilmektedir.2-3 hal değişimi sırasında gaz, genişlemeyi sürdürmekte ve sıcaklığı T_H'den T_L'ye düşmektedir. Pistonun sürtünmesiz ve hal değişiminin de içten tersinir olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda sistem de hem tersinir hem de adyabatiktir. 2-3 eğrisine izantropik genişleme de denir. Carnot çevriminin pozitif işi 2-3 tersinir adyabatik genişleme esnasında yapılır.

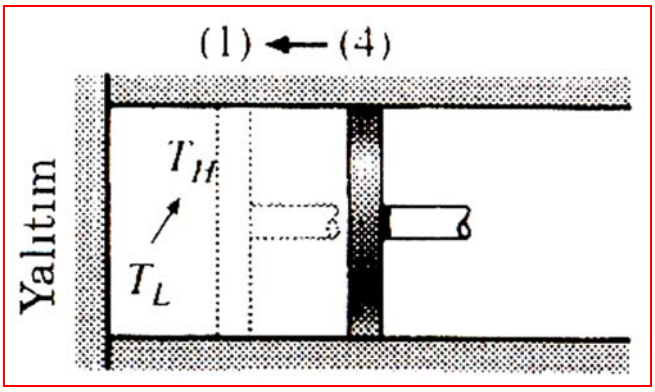
Tersinir sabit sıcaklıkta sıkıştırma (3-4 hal değişimi, T_L=sabit), (Şekil 12.5)



Şekil 12.5: 3-4 hal değişim

3 Haline gelindiğinde silindirin ön tarafındaki yalıtım kaldırılmakta ve silindir T_L sıcaklığındaki ısıl enerji deposuyla etkileşimde bulunabilmektedir. Daha sonra piston yavaşça içeri doğru itilmekte ve gaz üzerinde iş yapılmaktadır. Gazın sıkışmasından dolayı artma eğiliminde olan sıcaklığın sabit kalabilmesi için sistemin soğutulması gerekir ve bunun için bu esnada T_L soğuk ısı kaynağına Q_L ısısı atılır. Gazın sıkıştırılması 4 haline kadar sürmektedir. Gazın sıcaklığı sıkıştırma esnasında sabit tutulduğu için 3-4 eğrisine izotermik sıkıştırma da denir.

<u>Tersinir adyabatik sıkıştırma</u> (4-1 hal değişimi, sıcaklık T_L'den T_H'ye yükselmektedir, (Şekil 12.6)



Ş3kil 12.6 : 4-1 hal değişimi

4 Haline gelindiğinde silindirin ön tarafı yalıtılmakta ve ısıl enerji deposuyla etkileşimi kesilmektedir.4-1 hal değişimi sırasında gaz tersinir bir biçimde sıkıştırılmakta ve ilk hale (1 hali) gelinmektedir. Tersinir adyabatik sıkıştırma sırasında gazın sıcaklığı T_L'den T_H'ye yükselmekte ve çevrim tamamlanmaktadır. 4-1 eğrisine izantropik sıkıştırma da denir.

Gerçek motorlarda çevrim çok kısa sürede gerçekleşir. Carnot çevrimlerinde büyük ısı değiştiricilerine ve uzun sürelere gerek vardır. Bunun için carnot çevrimi uygulamada gerçekleştirilemez fakat gerçek çevrimlerin verimlerini carnot çevriminin verimiyle karşılaştırmak ve gerçek çevrimlerde buna göre iyileştirmeler yapmak mümkündür. Şekil 12.1'de yukarıda anlattığımız carnot çevrimine göre çalışan carnot ısı makinesinin şematik gösterilişi, Şekil 12.2'de ise yine yukarıda anlattığımız carnot çevriminin P-v ve T-s diyagramları gösterilmiştir.

Carnot çevriminde atılan ısı;

$Q_L = Q_{1,2} = m \cdot R \cdot T_L \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$ sisteme verilen ısı miktarı da;

$Q_H = Q_{3,4} = m \cdot R \cdot T_H \cdot \ln\cdot\left(\frac{v_4}{v_3}\right)$ eşitlikleriyle hesaplanır. Çevrimin ısıl verimi (11.8) nu'lu bağıntıda;

$\eta_t = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$ olduğundan, değeri yerine yazılırsa;

$$\eta_t = 1 - \frac{\left| m \cdot R \cdot T_L \cdot \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \right|}{m \cdot R \cdot T_H \cdot \ln\left(\frac{v_4}{v_3}\right)}$$ elde edilir.

Çevrimin izantropik 2-3 ve 4-1 işlemleri için aşağıdaki şu bağıntılar yazılabilir;

$$\frac{T_L}{T_H} = \left(\frac{v_3}{v_2}\right)^{k-1} \qquad \frac{T_L}{T_H} = \left(\frac{v_4}{v_1}\right)^{k-1}$$

Bu eşitliklerden yararlanarak ; $\frac{v_3}{v_1} = \frac{v_4}{v_1}$ ve içler, dışlar yer değiştirmesi ile; $\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_4}{v_3}$ yazılabilir. Bu sonuca göre, ısıl verim eşitliğinin pay ve paydasında yer alan m ve R terimleri ile birlikte bu ifadelerde sadeleşecektir. Böylece ısıl verim;

$$\eta_{cannot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \tag{12.1}$$

olacaktır.Diğer yandan, (1.70) ve (1.76) no'lu ısıl verim eşitlikleri yardımıyla da;

$$\frac{T_L}{T_H} = \frac{Q_L}{Q_H} \tag{12.2}$$

Şeklinde bir eşitlikte elde edilebilir.

Carnot çevrimi, aynı ısıl enerji depoları arasında çalışan tüm ısı makinelerinin en yüksek verime sahip olanıdır. Bu yüzden, ısı makinelerinin «**ideal çevrimi**» olarak bilinir.

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 **:** Bir carnot ısı makinesi 550 °C ile 45 °C sıcaklıklarındaki iki ısı kaynakları arasında çalışan bir ısı makinesinin ısıl verimini bulunuz.

Veriler :

$T_H = 550$ °C = 550 + 273 = 823 K

$T_L = 45$ °C = 45 + 273 = 318 K

$\eta_{carnot} = ?$

$$\eta_{cannot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta_{cannot} = 1 - \frac{318}{823}$$

$\eta_{carnot} = 0{,}61$ (veya % 61)

Örnek problem 2 **:** Bir carnot ısı makinesi 580 °C sıcaklığındaki bir sıcak kaynaktan 460 kJ ısı almakta ve 30 °C sıcaklıktaki soğuk kaynağa ısı vermektedir. Bu makinenin;

a. Isıl verimini

b. Soğuk kaynağa verilen ısı miktarını hesaplayınız.

Veriler :

$T_H = 580$ °C = 580 + 273 = 853 K

$T_L = 30$ °C = 30 + 273 = 303 K

$Q_H = 460$ kJ

a) η_{carnot}=?

b) Q_L=?

a) $$\eta_{cannot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta_{cannot} = 1 - \frac{303}{853}$$

$\eta_{carnot} = 0{,}64$ (veya % 64)

b) $$\frac{T_L}{T_H} = \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$Q_L = \frac{Q_H \cdot T_L}{T_H}$$

$$Q_L = \frac{460 \cdot 303}{853}$$

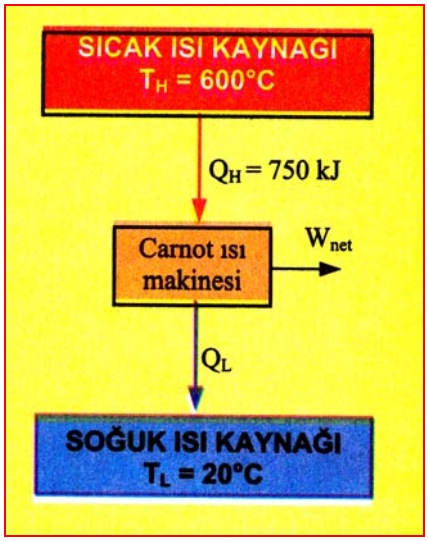
$Q_L = 163{,}39$ kJ

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1 : Şekil 12.7'de şematik olarak gösterilen carnot ısı makinesi, 600 °C sıcaklıktaki bir sıcak kaynaktan 750 kJ ısı almakta ve 20 °C sıcaklıktaki soğuk kaynağa ısı vermektedir. Bu makinenin;

a. Isıl verimini

b. Soğuk kaynağa verilen ısı miktarını hesaplayınız?



Şekil 12.7

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.

2. Soruda TH ve TL değerleri °C verilmiştir. Bu değerleri 273 ile

toplayarak mutlak sıcaklığa çevirin.

3. (12.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak ısıl verimi hesaplayın.

4. (12.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak Q_L'yi çekerek hesaplayın.

Veriler:

TH = 600 °C = 600 + 273 = 873 K

TL = 20 °C = 20 + 273 = 293 K

Q_H = 750 kJ

a) η_{carnot} = ?

b) Q_L=?

a) $$\eta_{cannot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta_{cannot} = 1 - \frac{293}{873}$$

η_{carnot} = 0,664 (veya % 66,4) bulunur.

b) $$\frac{T_L}{T_H} = \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$Q_L = \frac{Q_H \cdot T_L}{T_H}$$

$$Q_L = \frac{750 \cdot 23}{873}$$

Q_L = 251,71 kJ bulunur.

Carnot ısı makinesi aldığı ısıl enerjinin yüzde 66.4'ünü işe dönüştürmektedir. Sonuç olarak da incelenen carnot ısı makinesi her çevrimde aldığı 750 kJ'lük ısının 251,71 kJ'lük bölümünü düşük sıcaklıktaki ısıl enerji deposuna vermektedir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1) Carnot çevrimine göre çalışan ısı makinesine ne ad verilir?
   - A) Carnot soğutma çevrimi
   - B) Carnot ısı pompası
   - C) Carnot ısı makinesi
   - D) Carnot sıkıştırma makinesi

2) Carnot ısı çevriminde sıcak ısı kaynağı hangi sembolle gösterilir?
   - A) T_H
   - B) T_C
   - C) T_M
   - D) T_L

3) Carnot ısı çevriminde soğuk ısı kaynağı hangi sembolle gösterilir?
   - A) T_M
   - B) T_L
   - C) T_H
   - D) T_C

4) Carnot çevrimi kaç tersinir hal değişiminden oluşur?
   - A) 3
   - B) 5
   - C) 4
   - D) 2

5) Carnot çevriminin faydalı (pozitif) işi hangi hal değişiminde meydana gelir?
   - A) Tersinir sabit sıcaklıkta genişleme
   - B) Tersinir adyabatik sıkıştırma
   - C) Tersinir sabit sıcaklıkta sıkıştırma
   - D) Tersinir adyabatik genişleme

6) Bir carnot ısı makinesi 500 °C ile 40 °C sıcaklıklarındaki iki ısı kaynakları arasında çalışan bir ısı makinesinin ısıl verimini hesaplayınız.

A) %59

B) %60

C) %63

D) %64

7) Bir carnot ısı makinesi 600 °C ile 30 °C sıcaklıklarındaki iki ısı kaynakları arasında çalışan bir ısı makinesinin ısıl verimini hesaplayınız.

A) %59

B) %65

C) %63

D) %64

8) Bir carnot ısı makinesi 627 °C sıcaklığındaki bir sıcak kaynaktan 500 kJ ısı almakta ve 27 °C sıcaklıktaki soğuk kaynağa ısı vermektedir. Bu makinenin ısıl verimini hesaplayınız.

A) %66

B) %61

C) %63

D) %68

9) Sekizinci sorudaki verilere göre soğuk kaynağa verilen ısı miktarını hesaplayınız.

A) 186,88kJ

B) 177,54kJ

C) 166,67kJ

D) 155,83kJ

10) Bir carnot ısı makinesi 650 °C sıcaklığındaki bir sıcak kaynaktan 520 kJ ısı almakta ve 25 °C sıcaklıktaki soğuk kaynağa ısı vermektedir. Bu makinenin ısıl verimini hesaplayınız.

A) %66

B) %61

C) %63

D) %67

11) Onuncu sorudaki verilere göre soğuk kaynağa verilen ısı miktarını hesaplayınız.

A) 186,88 kJ

B) 177,54 kJ

C) 167,88 kJ

D) 155,83 kJ

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Cevaplarınızın hepsi doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçebilirsiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-13

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetinde edineceğiniz bilgiler sonucunda, gerekli, ortam ve materyaller sağlandığında gazların hal değişimi ile ilgili hesaplamaları yapabilecek, gazları hal değişimi ile ilgili PV ve TS diyagramları motora uygun çizebilecek, izohor, izobar, izoterm, izantropik ve politropik dönüşüm durumundaki değerleri hesaplayabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Sabit hacim işlemi nedir, araştırınız.
- Sabit basınç işlemi nedir, araştırınız.
- Sabit sıcaklık işlemi nedir, araştırınız.
- İzantropik işlem nedir, araştırınız.
- Politropik işlem nedir, araştırınız.

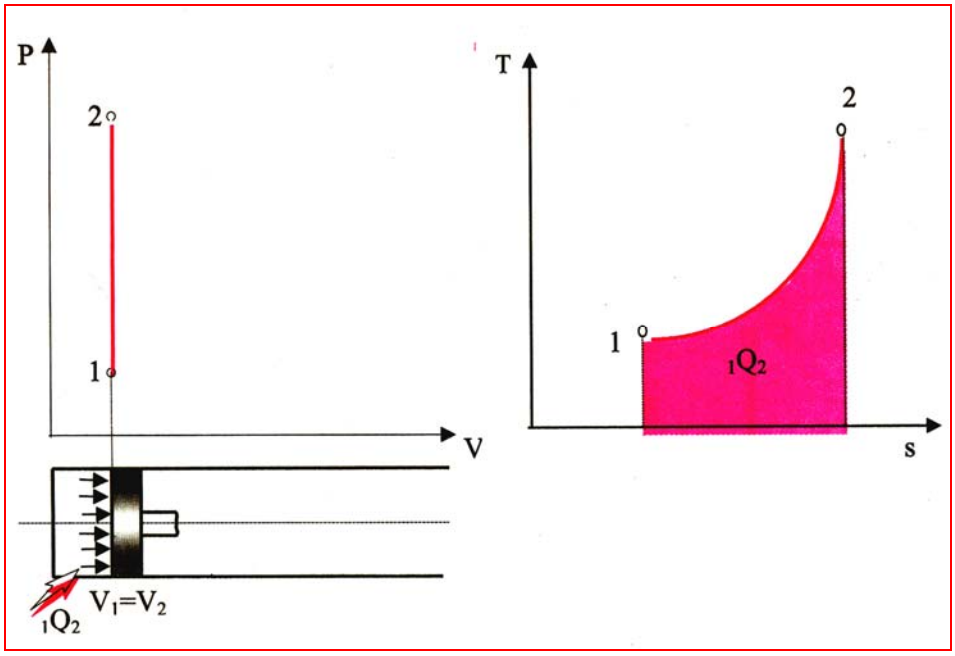
Araştırmalarınızı, okul kütüphanesi, geçmiş dönemlerdeki ders notlarınız kullanarak ve bilimsel hesap makinesi kullanan bir işletmeden, iş makinesi operatörlerinden faydalanarak yapabilirsiniz.

13.GAZLARIN DURUM DEĞİŞTİRMELERİ

13.1. Tanımı

Günümüzde kullanılan pistonlu motorlar, pistonlu kompresörler vb gibi karmaşık ve basit sistemlerin hepsinin teorik çevrimleri, termodinamik koordinatlarla belirlenir. En çok bilinen koordinatlar basınç, hacim (P-V) veya (P-v) ile sıcaklık, entropi (T-s) koordinatlarıdır. Termodinamikte analizleri kolaylaştırmak için makinelerde kullanılan çalışma maddesini ideal gaz, hal değişimlerinin de sabit olduğu kabul edilerek hesaplamaları basitleştireceğiz.

13.1.1 Sabit Hacim (izohor) İşlemi



Şekil 13.1: Sabit hacim işleminin P-v ve T-s diyagramları

13.1.1.1 Tanımı

Bir termodinamik işlem sırasında **hacim** değişmiyorsa bu işleme **sabit hacim** işlemi denir. Sabit hacim işleminin P-v ve T-s diyagramları Şekil 13.1'de görülmektedir. Sabit hacim işleminde kullanılan bağıntılar;

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \tag{13.1}$$

$$İŞ = W = 0 \tag{13.2}$$

P-v diyagramında 1-2 eğrisinin alt kısmında alan olmadığı için yapılan iş sıfırdır.

İç enerji sisteme verilen ısıysa eşittir (q=u). Birim kütle için ısı ise;

$$q_{1,2} = C_v \cdot (T_2 - T_1) \tag{13.3}$$

Entropi de;

$$s_2 - s_1 = C_v \cdot \ln \cdot \frac{T_2}{T_1} \tag{13.4}$$

Eşitlikleri ile hesaplanabilir.

Örnek Problem :

Tavsiyeler :

Önce veriler başlığı altında soruda verilen tüm boyutları birimleriyle birlikte yazın. Sorularda verilmeyen bazı değerleri ve gereken birim dönüştürmeleri modül kitabında verilen ilgili tablolardan,birim çevirme çarpanlarından ve fiziksel sabitlerden çekip kullanarak yapın. Daha sonra mantıksal bir çözüm sırası takip ederek problem çözümüne geçin. Problem çözümlerinde birimlerin doğru kullanılmasına özel bir önem verin. Çıkan sonucun biriminin doğru olup olmadığını ispat için mutlaka birim analizi yapın. Bu da sizin termodinamik kavramları daha iyi anlamanızı sağlayacaktır. Sayısal işlem kolaylığı için mutlaka hesap makinesi kullanınız.

Örnek problem 1 : Basınç göstergesi, yeni şişirilen bir lastiğin basıncını 50 °C'de 250 kPa göstermektedir. **Hacmin** sıcaklıkla değişmediğini varsayarak sıcaklığın 20 °C'ye azalması durumundaki gösterge basıncını ve soğumaya bağlı ısı kaybını hesaplayınız. (Cv=0,7165kJ/kgK alınız).

Veriler :

$P_1 = 250 + 101{,}325 = 351{,}325$ kPa

$T_1 = 50 + 273 = 323$ K

$T_2 = 20 + 273 = 293$ K

$P_2 = ?$

$q = ?$

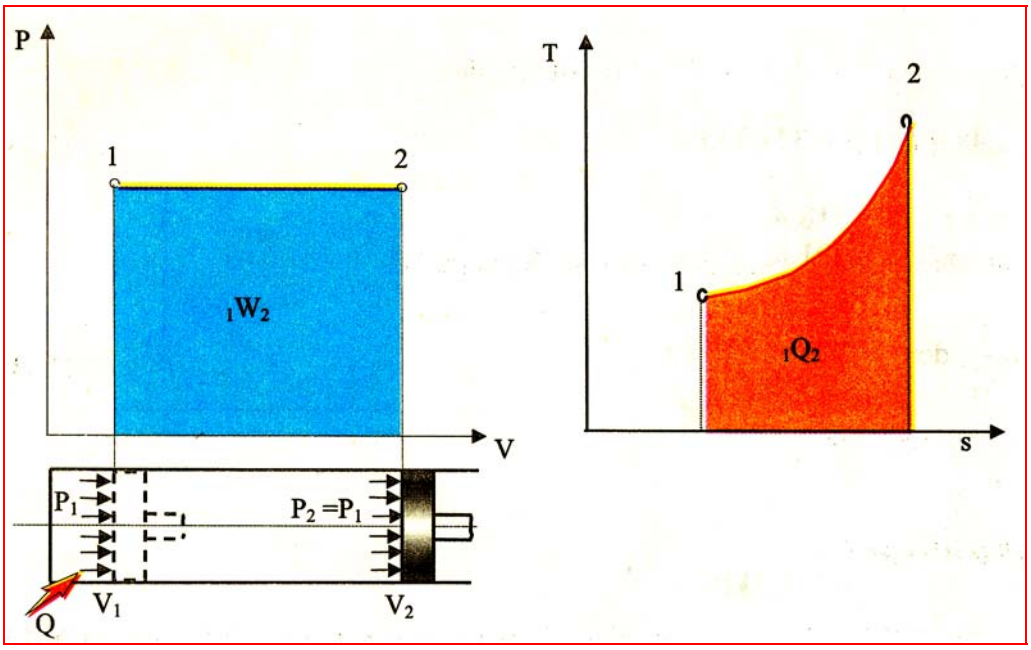
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \rightarrow \frac{P_2}{351{,}325} = \frac{293}{323} \rightarrow P_2 = \frac{351{,}325 \cdot 293}{323} = 318{,}69 \text{ kPa bulunur.}$$

$$P_{gösterge} = p_{mutlak} - P_{atmosfer}$$

$$P_{gösterge} = 318{,}69 - 101{,}325 = 217{,}365 \text{ kPa bulunur.}$$

$$q_{1,2} = C_v \cdot (T_2 - T_1) \rightarrow q_{1,2} = 0{,}7165 \cdot (293 - 323) = -21{,}495 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

13.1.2 Sabit Basınç (İzobar) İşlemi



Şekil 13.2: Sabit basınç işleminin P-v ve T-s diyagramları

13.1.2.1.Tanımı

Bir termodinamik işlem sırasında **basınç** değişmiyorsa bu işleme **sabit basınç** işlemi denir. Sabit basınç işleminin P-v ve T-s diyagramları Şekil 13.2'de görülmektedir. Sabit basınç işleminde kullanılan bağıntılar;

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \tag{13.5}$$

İş;

$$W_{1,2} = R(T_2 - T_1) \tag{13.6}$$

Birim kütle için ısı;

$$q_{1,2} = C_p(T_2 - T_1) \tag{13.7}$$

Entropi;

$$s_2 - s_1 = C_p \cdot \ln \cdot \frac{T_2}{T_1} \tag{13.8}$$

Eşitlikleri ile hesaplanabilir.

Örnek problem : Sıcaklığı 1000 °C, hacmi 20 litre olan bir gaz, **sabit basınçta** 1600°C sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır (Cp=1,04 kJ/kgK, Cv=0,749 kJ/kgK alınacaktır).

1. Gazın son hacmini, b)Sisteme verilen ısıyı , c)Yapılan işi hesaplayınız?

Veriler :

$T_1 = 1000 + 273 = 1273$ K a) $V_2 = ?$ b) $q_{1,2} = ?$ c) $W_{1,2} = ?$

$T_2 = 1600 + 273 = 1873$ K

$V_1 = 20$ L $= 20.10^{-3} = 0{,}02$ m³

a)

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \rightarrow \frac{V_2}{0{,}02} = \frac{1873}{1273} \rightarrow V_2 = \frac{0{,}02 \cdot 1873}{1273} = 0{,}0294 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

b)

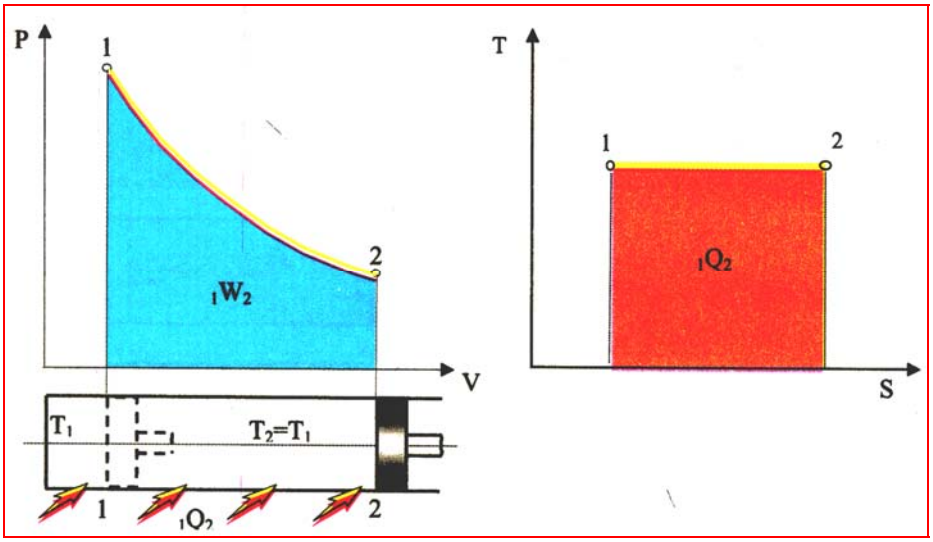
$$q_{1,2} = C_p(T_2 - T_1) \rightarrow q_{1,2} = 1{,}04(1873 - 1273 = 624) \text{ kJ/kg bulunur.}$$

c)

$$R = C_p - C_v = 1{,}04 - 0{,}749 = 0{,}291 \text{ kJ/kgK}$$

$$W_{1,2} = R(T_2 - T_1) \rightarrow W_{1,2} = 0{,}291(1873 - 1273) = 174{,}6 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

13.1.3 Sabit Sıcaklık (İzoterm) İşlemi



Şekil 13.3: Sabit sıcaklık işleminin P-v ve T-s diyagramları

13.1.3.1 Tanımı

Bir termodinamik işlem sırasında **sıcaklık** değişmiyorsa bu işleme **sabit sıcaklık** işlemi denir. Sabit sıcaklık işleminin P-v ve T-s diyagramları, Şekil 13.3'te görülmektedir. Sabit sıcaklık işleminde kullanılan bağıntılar;

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \tag{13.9}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \tag{13.10}$$

İş,

$$W_{1,2} = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln\frac{P_1}{P_2} \qquad W_{1,2} = m \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln\cdot\frac{V_2}{V_1} \tag{13.11}$$

Sabit sıcaklıkta bir hal değişiminde $\Delta u = 0$ olur ve $q_{1,2} = w_{1,2}$ sistemin işi sistemin ısı transferine eşittir. Sisteme verilen ısı şu bağıntı ile de hesaplanabilir;

$$q_{1,2} = T \cdot (s_2 - s_1) \tag{13.12}$$

Entropi;

$$s_2 - s_1 = R \cdot \ln\cdot\frac{V_2}{V_1} \tag{13.13}$$

eşitlikleriyle hesaplanabilir.

Örnek problemler :

Örnek problem 1 : 12 bar basınçtaki 0,3 m³ hava, sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindir piston düzeninde hacmi 0,9 m³ oluncaya kadar genişletilmektedir. İşlem sırasında **sıcaklık sabit** kaldığına göre, havanın son basıncı kaç bar olur?

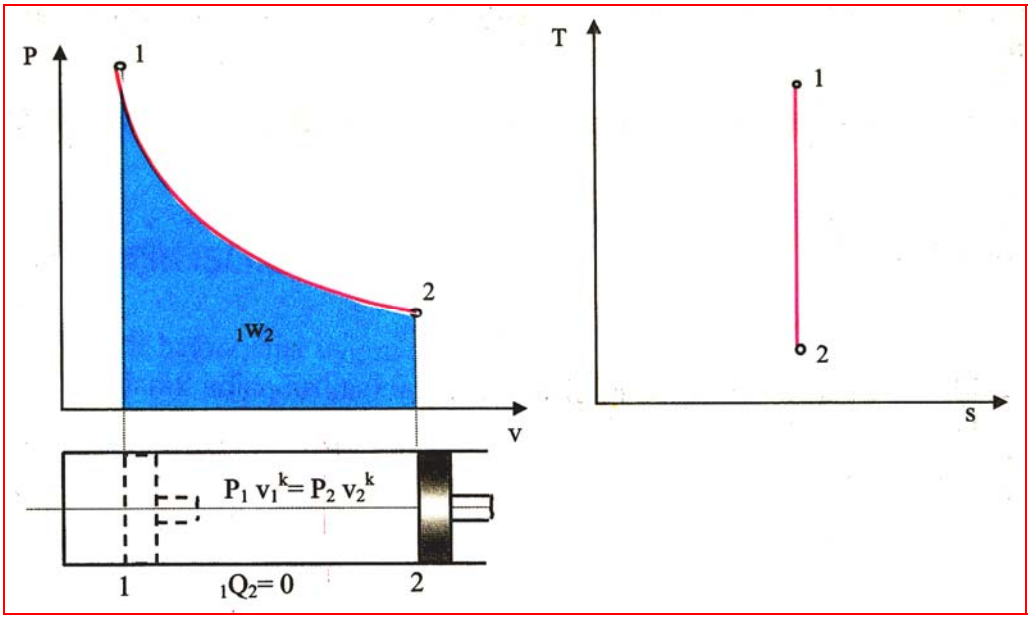
Veriler :

$P_1 = 12$bar $P_2 = ?$ $\quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \rightarrow \frac{0,9}{0,3} = \frac{12}{P_2} \rightarrow P_2 = \frac{12 \cdot 0,3}{0,9} = 4$ bar bulunur.

$V_1 = 0,3$ m³

$V_2 = 0,9$ m³

13.1.4 İzantropik (Tersinir adyabatik) İşlem



Şekil 13.4: İzantropik işlemin P-v ve T-s diyagramı

13.1.4.1 Tanımı

$P.V^k$ = sabit bağıntısına uygun olarak değişen, **ısı alış verişi olmayan** işleme **izantropik** (veya tersinir adyabatik) işlem denir. Eşitlikteki k üssü, sabit basınç ve sabit hacimdeki özgül ısıların oranıdır ($k = \frac{C_p}{C_v}$) ve adyabatik üs olarak adlandırılır. Tablo 1.4'te bazı çeşitli ideal gazlar için k değerleri verilmiştir. İzantropik işlemin P-v ve T-s diyagramları, Şekil 13.4'te görülmektedir. İzantropik işlemde kullanılan bağıntılar;

$$P_1 \cdot V_1^k = P_2 \cdot V_2^k \tag{13.14}$$

İş;

$$W_{1,2} = \frac{R \cdot (T_2 - T_1)}{1 - k} \tag{13.15}$$

Isı;

$$q_{1,2} = 0 \tag{13.16}$$

Entropi;

$$s_2 - s_1 = 0 \tag{13.17}$$

eşitlikleriyle hesaplanabilir.

Örnek problemler :

Örnek problem 1 : Sızdırmasız ve sürtünmesiz bir silindir piston düzeneğinde bulunan 100 kPa basınç ve 30 °C sıcaklıktaki 2 kg hava **izantropik** olarak 600 °C sıcaklığa kadar sıkıştırılmaktadır. Bu işlem sırasında yapılan iş ne kadardır (R=0,287 kJ/kgK , k=1.4 alınacaktır)?

Veriler :

P = 100 kPa

T_1 = 30 (°C) + 273 = 303 K

m = 2kg

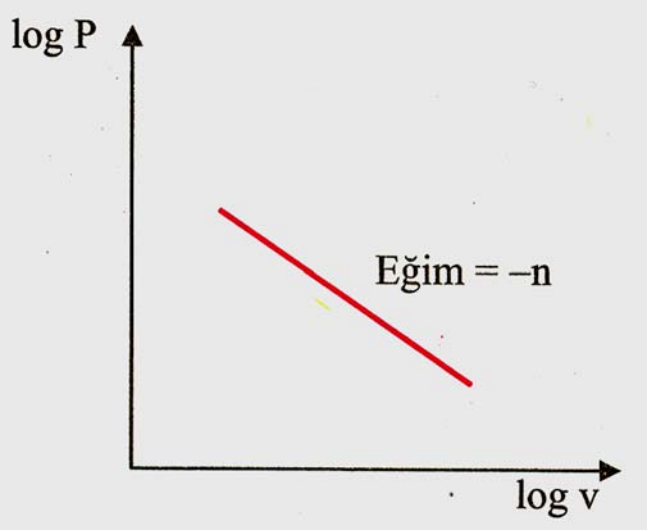
T_2 = 600 (°C) + 273 = 873 K

R = 0,287 kJ/kgK

k = 1.4

W=? $$W_{1,2} = \frac{R \cdot (T_2 - T_1)}{1-k} \longrightarrow W_{1,2} = \frac{0{,}287 \cdot (873-303)}{1-1{,}4} = -408{,}975 \text{ kJ/kg}$$

13.1.5 Politropik İşlem



Şekil 13.5: Politropik işlem

13.1.5.1 Tanımı

P.Vn = sabit bağıntısına uygun olarak değişen işlemlere politropik işlem denir. Politropik işlem en genel ifadedir. Bu işlemde basınç, hacim ve sıcaklık sabit kalmadığı gibi ısı alışverişi de olabilir. Eşitlikteki n üssü politropik üs olarak adlandırılır. Politropik işlemde n 1'den 1,4'e kadar değişir. n=1 ise hal değişimi sabit sıcaklıkta ve n=1,4 ise hal değişimi adyabatiktir. Bir gaz ısı transferi olan tersinir bir işlemde durum değiştiriyorsa, $P.V^n$ =sabit

olmakta ve log P ve log v koordinatlarındaki görünümü şekil 13.5'de görüldüğü gibi, eğimi n olan bir doğru olmaktadır. Doğrunun eğimi;

$$\frac{\Delta \log P}{\Delta \log v} = n \tag{13.18}$$

Bağıntısıyla ifade edilir. Politropik işlemde kullanılan bağıntılar;

$$P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n = P \cdot V^n = sabit \tag{13.19}$$

Tersinir politropik işlem sırasında yapılan iş;

$$W_{1,2} = \frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{1-n} \tag{13.20}$$

Tersinir politropik işlem sırasındaki ısı transferi;

$$Q_{1,2} = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) + W_{1,2} \tag{13.21}$$

eşitlikleriyle hesaplanabilir.

Örnek problem 1 **:** Bir silindir-piston düzeneğinde bulunan, 160 kPa basınç ve 27°C sıcaklıktaki 0,2 m³ azot gazı sistemin basıncı 1 MPa, sıcaklığı 160°C oluncaya kadar sıkıştırılmakta, işlem sırasında sisteme 30 kJ iş verilmektedir. İşlem sırasında çevreye olan ısı transferi ne kadardır (Cv=0,7448kJ/kgK R=0,2968kJ/kgK alınacaktır)?

Veriler :

P_1 = 160kPa T_1 =27 (°C) + 273 = 300K V_1 = 0,2 m³

P_2 = 1 MPa T_2 = 160 (°C) + 273 = 433 K W = -30 kJ Q=?

$$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \quad \rightarrow \quad 160 \cdot 0{,}2 = m \cdot 0{,}2968 \cdot 300 \quad \rightarrow \quad m = \frac{160 \cdot 0{,}2}{0{,}2968 \cdot 300} = 0{,}3593\,\text{kg}$$

bulunur.

$$Q_{1,2} = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) + W_{1,2}$$

$$Q_{1,2} = 0{,}3593 \cdot 0{,}7448 \cdot (433 - 300) + (-30)$$

$Q_{1,2}$ = 5,59 kJ bulunur.

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1 : Basınç göstergesi, yeni şişirilen bir lastiğin basıncını 45°C'te 248kPa göstermektedir. Hacmin sıcaklıkla değişmediğini varsayarak, sıcaklığın 18 °C'ye azalması durumundaki gösterge basıncını ve soğumaya bağlı ısı kaybını hesaplayınız?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda verilmeyen sabit hacimdeki özgül ısı (Cv) değerini, Tablo 1.4'den hava için çekiniz.
3. Soruda verilen lastiğin basıncını 101,325 kPa ile toplayarak mutlak basınç değerine dönüştürün.
4. Soruda °C olarak verilen sıcaklıkları 273 ile toplayarak mutlak sıcaklığa dönüştürün.
5. (13.1) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak mutlak basıncı (Pmutlak) bulunuz.
6. Soruda basınç birimi kPa verildiği için P atmosfer basıncı değerini de 5.öğrenme faaliyetinde birimler başlığı altında verilen basınç birimlerinden 1atm=101,325kPa değerini seçin.
7. (5.8)Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak gösterge basıncını (P gösterge) hesaplayınız.
8. (13.3)Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak ısı kaybını hesaplayınız.

Veriler:

$P_1 = 248 + 101{,}325 = 349{,}325$ kPa

$T_1 = 45$ (°C) + 273 = 318 K

$T_2 = 18$ (°C) + 273 = 291K

$C_v = 0{,}7165$kJ/kgK

$P_{gösterge}$ =? q=?

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \rightarrow \quad \frac{P_2}{349{,}325} = \frac{291}{318} \quad \rightarrow \quad P_2 = \frac{349{,}325 \cdot 291}{318} = 319{,}66 \text{ kPa}$$

bulunur.

$$P_{gösterge} = p_{mutlak} - P_{atmosfer}$$

$$P_{gösterge} = 319{,}66 - 101{,}325 = 218{,}335 \text{ kPa bulunur.}$$

$$q_{1,2} = C_v \cdot (T_2 - T_1) \quad \rightarrow \quad q_{1,2} = 0{,}7165 \cdot (291 - 318) = -19{,}34 \text{ kJ/kg bulunur.}$$

Problem 2 : Sıcaklığı 1227 °C, hacmi 20 litre olan azot gazı, sabit basınçta 1727 °C sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır.

a. Gazın son hacmini,

b. Sisteme verilen ısıyı,

c. Sistem tarafından yapılan işi hesaplayınız.

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda °C olarak verilen sıcaklıkları 273 ile toplayarak mutlak sıcaklığa dönüştürün.
3. Soruda litre olarak verilen hacim değerini, 4.öğrenme faaliyeti hacim birimleri kısmındaki çevirme çarpanı olan $1L = 10^{-3}$ m³ eşitliğini kullanarak m³ birimine dönüştürünüz.
4. Soruda verilmeyen sabit basınçtaki özgül ısı (Cp) ile gaz sabiti (R) değerlerini Tablo 1.4'ten azot gazı için çekiniz.
5. (13.5)Bağıntısında verilen değerleri yerine yazıp, V_2 değerini çekerek, gazın son hacmini hesaplayınız.
6. (13.7) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak sisteme verilen ısıyı hesaplayınız.(13.6) bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak sistem tarafından yapılan işi hesaplayınız.

Veriler:

T_1 = 1227 (°C) + 273 = 1500 K a) V_2 = ? b) $q_{1,2}$ = ? c) $W_{1,2}$ = ?

T_2 = 1727 (°C) + 273 = 2000 K

$V_1 = 20\ L = 20.10^{-3} = 0{,}02\ m^3$

Cp=1,0416kJ/kgK

R=0,29680kJ/kgK

a)

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{T_2}{T_1} \rightarrow \frac{V_2}{0{,}02}=\frac{2000}{1500} \rightarrow V_2=\frac{0{,}02\cdot 2000}{1500}=0{,}0266\ \text{m}^3 \text{ bulunur.}$$

b)

$$q_{1,2}=C_p(T_2-T_1) \rightarrow q_{1,2}=1{,}0416(2000-1500)=520{,}8\ \text{kJ/kg bulunur.}$$

c)

$$W_{1,2}=R(T_2-T_1) \rightarrow W_{1,2}=0{,}29680(2000-1500)=148{,}4\ \text{kJ/kg bulunur.}$$

Problem 3 : 10 bar basınçtaki 0,2 m³ hava, sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindir piston düzeninde hacmi 0,8 m³ oluncaya kadar genişletilmektedir. İşlem sırasında sıcaklık sabit kaldığına göre, havanın son basıncı kaç bar olur hesaplayınız.

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. (13.10) Bağıntısında verilen değerleri yerine yazıp, P_2 değerini çekerek, gazın son basıncını hesaplayınız.

P_1 = 10bar P_2=? $\frac{V_2}{V_1}=\frac{P_1}{P_2} \rightarrow \frac{0{,}8}{0{,}2}=\frac{10}{P_2} \rightarrow P_2=\frac{10\cdot 0{,}2}{0{,}8}=2{,}5$ bar bulunur.

V_1 = 0,2 m³

V_2 = 0,8 m³

Problem 4 : Sızdırmasız ve sürtünmesiz bir silindir piston düzeneğinde bulunan 100kPa basınç ve 27 °C sıcaklıktaki 1kg hava **izantropik** olarak 600 °C sıcaklığa kadar sıkıştırılmaktadır. Bu işlem sırasında yapılan iş ne kadardır?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda °C olarak verilen sıcaklıkları 273 ile toplayarak mutlak sıcaklığa dönüştürün.
3. Soruda verilmeyen k üssü ile gaz sabiti (R) değerlerini Tablo 1.4'den hava için çekiniz.
4. (13.15)Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak yapılan işi hesaplayınız.

Veriler:

P = 100 kPa

T_1 = 27 (°C) + 273 = 300K

m = 1kg

T_2 = 600 (°C) + 273 = 873 K

R = 0,287 kJ/kgK

k = 1.4

W = ?

$$W_{1,2} = \frac{R \cdot (T_2 - T_1)}{1-k}$$

$$W_{1,2} = \frac{0{,}287 \cdot (873-300)}{1-1{,}4} = -411{,}13$$

kJ/kg

Problem 5 : Bir silindir-piston düzeninde bulunan, 150kPa basınç ve 25°C sıcaklıktaki 0,1m³ azot gazı sistemin basıncı 1MPa, sıcaklığı 150°C oluncaya kadar sıkıştırılmakta, işlem sırasında sisteme 20kJ iş verilmektedir. İşlem sırasında çevreye olan ısı transferi ne kadardır?

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda °C olarak verilen sıcaklıkları 273 ile toplayarak mutlak sıcaklığa dönüştürün.
3. Soruda verilmeyen özgül ısı (Cv) ile gaz sabiti (R) değerlerini Tablo 1.4'den azot gazı için çekiniz.
4. (9.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine yazıp,m değerini çekerek, azot gazının kütlesini hesaplayınız.
5. (13.21) Bağıntısında verilen değerleri yerine koyarak çevreye olan ısı transferini hesaplayınız.

Veriler:

P_1 = 150 kPa T_1 = 25(°C) + 273 = 298 K V_1 = 0,1 m³

P_2 = 1 MPa T_2 = 150(°C) + 273 = 423 K W = -20 kJ

Q=?

Cv = 0,7448 kJ/kgK

R = 0,29680 kJ/kgK

$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \quad \rightarrow \quad 150 \cdot 0{,}1 = m \cdot 0{,}29680 \cdot 298$

$\rightarrow m = \dfrac{150 \cdot 0{,}1}{0{,}29680 \cdot 298} = 0{,}1695$ kg bulunur.

$Q_{1,2} = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) + W_{1,2}$

$Q_{1,2} = 0{,}1695 \cdot 0{,}7448 \cdot (423 - 298) + (-20)$

$Q_{1,2}$ = - 4,21 kJ bulunur.

Problem 6 : Bir motorun silindirindeki ideal havanın sıkıştırma başlangıcındaki basıncı 100kPa, sıcaklığı 110°C ve hacmi 0,000375 m³'tür. Sıkıştırma, $P.V^{1,27}$ =sabit özelliğine göre gerçekleştiğine göre, hacmin 0,000075 m³ olduğu andaki;

a. Basıncı,

b. Sıcaklığı,

c. İş,

d. Isı transferini hesaplayınız.

Problem çözümü sırasında uyulması gereken tavsiyeler:

1. Soruda verilen tüm boyutları birimleriyle beraber yazınız.
2. Soruda °C olarak verilen T_1 sıcaklığını 273 ile toplayarak mutlak sıcaklığa

dönüştürün.

3. Soruda verilmeyen özgül ısı (Cv) ile gaz sabiti (R) değerlerini Tablo 1.4'ten hava için çekiniz.
4. Politropik işlemde n üssü 1,27 alınır.
5. (13.19) Bağıntısında verilen değerleri yerine yazıp, P_2 değerini hesaplayınız.
6. (9.3) Bağıntısında verilen değerleri yerine yazıp, T_2 değerini hesaplayınız.
7. (13.20) Bağıntısında verilen değerleri yerine yazıp, $W_{1,2}$ değerini hesaplayınız.
8. (9.2) Bağıntısında verilen değerleri yerine yazıp,m değerini çekerek, havanın kütlesini hesaplayınız.
9. (13.21) Bağıntısında verilen değerleri yerine yazıp, $Q_{1,2}$ değerini hesaplayınız.

Veriler:

P_1 = 100kPa T_1 = 110 (°C) + 273 = 383K V_1 = 0,000375 m³ V_2 = 0,000075 m³

a) P_2=? b)T_2=? c)$W_{1,2}$=? d)$Q_{1,2}$=?

a) $P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n$

$$P_1 \cdot V_1^{1,27} = P_2 \cdot V_2^{1,27} \longrightarrow P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1,27}$$

$$P_2 = 100 \cdot \left(\frac{0,000375}{0,000075}\right)^{1,27}$$

P_2 = 772.1 kPa bulunur.

b) $\dfrac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \dfrac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$

$$T_2 \frac{T_1 \cdot P_2 \cdot V_2}{P_1 \cdot V_1}$$

$$T_2 \frac{383 \cdot 772{,}1 \cdot 0{,}000075}{100 \cdot 0{,}000375}$$

T_2 = 591,4 K bulunur.

c) $$W_{1,2} = \frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{1-n}$$

$$W_{1,2} = \frac{772{,}1 \cdot 0{,}000075 - 100 \cdot 0{,}000375}{1-1{,}27}$$

$$W_{1,2} = \frac{0{,}0579075 - 0{,}0375}{-0{,}27}$$

$$W_{1,2} = \frac{0{,}0204075}{-0{,}27}$$

$W_{1,2}$ = - 0,076kJ bulunur.

d) $$P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \longrightarrow m = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1}$$

$$m = \frac{100 \cdot 0{,}000375}{0{,}287 \cdot 383}$$

$$m = \frac{0{,}0375}{109{,}921}$$

m = $3{,}41.10^{-4}$ = 0,000341 kg bulunur.

$$Q_{1,2} = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) + W_{1,2}$$

$$Q_{1,2} = 0{,}000341 \cdot 0{,}7165 \cdot (591{,}4 - 383) + (-0{,}076)$$

$Q_{1,2}$ = - 0,025kJ bulunur.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

PROBLEMLER

1. $P.V^k$=sabit bağıntısına uygun olarak değişen, ısı alış verişi olmayan işlem hangi işlemdir?

   A) İzobar

   B) İzantropik

   C) İzohor

   D) Politropik

2. Basınç göstergesi, yeni şişirilen bir lastiğin basıncını 40 °C'de 235kPa göstermektedir. Hacmin sıcaklıkla değişmediğini varsayarak, sıcaklığın 17 °C'ye azalması durumundaki gösterge basıncını hesaplayınız.

   A) 216,543 kPa

   B) 211,836 kPa

   C) 210,285 kPa

   D) 213,819 kPa

3. İkinci sorudaki verilere göre soğumaya bağlı ısı kaybını hesaplayınız.

   A) -16,47 kJ/kg

   B) -15,55 kJ/kg

   C) 15,55 kJ/kg

   D) 16,47 kJ/kg

4. Sıcaklığı 800 °C, hacmi 10 litre olan azot gazı, sabit basınçta 1200 °C sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Gazın son hacmini hesaplayınız.

   A) 0,0167 m^3

   B) 0,0137 m^3

   C) 0,0157 m^3

   D) 0,0267 m^3

5. Dördüncü sorudaki verilere göre sisteme verilen ısıyı hesaplayınız.

   A) 427,66 kJ/kg

   B) 416,64 kJ/kg

   C) 486,91 kJ/kg

   D) 445,81 kJ/kg

6. Dördüncü sorudaki verilere göre sistem tarafından yapılan işi hesaplayınız.

   A) 120,36 kJ/kg

   B) 125,55kJ/kg

   C) 136,77kJ/kg

   D) 118,72kJ/kg

7. 11 bar basınçtaki 0,2 m³ hava, sızdırmaz ve sürtünmesiz bir silindir piston düzeninde hacmi 0,7 m³ oluncaya kadar genişletilmektedir. İşlem sırasında sıcaklık sabit kaldığına göre, havanın son basıncı kaç bar olur hesaplayınız.

   A) 3,14 bar

   B) 4,19 bar

   C) 5,78 bar

   D) 2,35 bar

8. Sızdırmasız ve sürtünmesiz bir silindir piston düzeneğinde bulunan 100 kPa basınç ve 27°C sıcaklıktaki 1 kg azot izantropik olarak 587°C sıcaklığa kadar sıkıştırılmaktadır. Bu işlem sırasında yapılan iş ne kadardır.

   A) -419,55 kJ/kg

   B) -444,45 kJ/kg

   C) -415,52 kJ/kg

   D) 465,22 kJ/kg

9. Bir silindir-piston düzeninde bulunan, 130kPa basınç ve 26°C sıcaklıktaki 0,1 m³ azot gazı sistemin basıncı 1MPa, sıcaklığı 152°C oluncaya kadar sıkıştırılmakta, işlem sırasında sisteme 25kJ iş verilmektedir.İşlem sırasında çevreye olan ısı transferi ne kadardır.

   A) -13,53kJ

   B) -15,66kJ

   C) -18,92kJ

   D) -11,26kJ

10. Bir motorun silindirindeki ideal havanın sıkıştırma başlangıcındaki basıncı 100kPa, sıcaklığı 110°C ve hacmi 0,000375 m³'tür. Sıkıştırma, $P.V^{1,27}$ =sabit özelliğine göre gerçekleştiğine göre, hacmin 0,000075 m³ olduğu andaki basıncı hesaplayınız.

    A) 805,2 kPa

    B) 923,6 kPa

    C) 775,3 kPa

    D) 665,1 kPa

11. Onuncu sorudaki verilere göre sıcaklığı hesaplayınız.

    A) 684,4 K

    B) 594,2 K

    C) 724,2 K

    D) 982,9K

12. Onuncu sorudaki verilere göre işi hesaplayınız.

    A) -0,178kJ

    B) -0,251kJ

    C) -0,072kJ

    D) 0,362kJ

13. Onuncu sorudaki verilere göre ısı transferini hesaplayınız.

    A) -0,023kJ

    B) -0,033kJ

    C) -0,045kJ

    D) -0,055kJ

14. Bir termodinamik işlem sırasında sıcaklık değişmiyorsa bu işleme ne ad verilir?

    A) Politropik

    B) Tersinir adyabatik

    C) İzoterm

    D) İzohor

15. $P.V^n$=sabit bağıntısına uygun olarak değişen işleme ne ad verilir?

A) Politropik

B) İzobar

C) İzoterm

D) İzohor

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Cevap anahtarları modülün sonunda verilmiştir. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevapladığınız konularla ilgili öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Cevaplarınızın hepsi doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçebilirsiniz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	C
3	B
4	D
5	B
6	C
7	D
8	A
9	D
10	C
11	A
12	D
13	A
14	C
15	B
16	C
17	B
18	A
19	B
20	D
21	A
22	C

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	**D**
2	**B**
3	**C**
4	**A**
5	**A**
6	**B**
7	**C**

ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	**A**
2	**D**
3	**B**
4	**D**
5	**A**
6	**C**
7	**C**

ÖĞRENME FAALİYETİ-4'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	**C**
2	**B**
3	**D**
4	**C**
5	**A**
6	**B**
7	**D**
8	**A**

ÖĞRENME FAALİYETİ-5'İN CEVAP ANAHTARI

1	**A**
2	**C**
3	**B**
4	**D**
5	**C**
6	**D**
7	**B**
8	**A**
9	**C**
10	**A**
11	**C**
12	**A**

ÖĞRENME FAALİYETİ-6'NIN CEVAP ANAHTARI

1	**A**
2	**B**
3	**D**
4	**C**
5	**B**
6	**D**
7	**C**
8	**B**
9	**D**
10	**A**
11	**A**
12	**A**
13	**B**
14	**C**
15	**D**
16	**A**
17	**B**

ÖĞRENME FAALİYETİ-7'NİN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	B
3	A
4	C

ÖĞRENME FAALİYETİ-8'İN CEVAP ANAHTARI

1	C
2	C
3	B

ÖĞRENME FAALİYETİ-9'UN CEVAP ANAHTARI

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

ÖĞRENME FAALİYETİ-10'UN CEVAP ANAHTARI

1	B
2	D
3	C
4	B
5	C
6	A
7	A
8	D
9	B
10	C
11	D
12	B

ÖĞRENME FAALİYETİ-11'İN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	C
3	D
4	B
5	B
6	A
7	D
8	D
9	C
10	A
11	B
12	A
13	D
14	C
15	B
16	A
17	A
18	D
19	B

ÖĞRENME FAALİYETİ-12'NİN CEVAP ANAHTARI

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

ÖĞRENME FAALİYETİ-13'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	**B**
2	**C**
3	**A**
4	**B**
5	**B**
6	**D**
7	**A**
8	**C**
9	**D**
10	**A**
11	**B**
12	**C**
13	**A**
14	**C**
15	**A**

KAYNAKÇA

- BALCI Mustafa, Ali SÜRMEN, Oğuz BORAT, **İçten Yanmalı Motorlar I,** Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2, Ankara, İstanbul, Bursa, 1995.
- BOLES Michael, A., Yunus, A., ÇENGEL, **Mühendislik Yaklaşımı ile Termodinamik,** McGraw-Hill, Çevirsi; DERBENTLİ, Taner, Literatür: Yayınları, İstanbul, 1996.
- ÇETİNKAYA Selim, **Termodinamik Yasalar İşlemler Uygulamalar,** Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 1999.
- SÜRMEN Ali, M.,İhsan, KARAMANLIGİL, Rıdvan, ARSLAN, **Motor Termodinamiği,** Aktüel, İstanbul, 2004.
- UYAREL Ali Yücel, Mehmet ÖZKAYMAK, **Termodinamik**, Milli Eğitim Basımevi İstanbul, 2003.
- YÜNCÜ Hafit, **Klasik Termodinamik Prensipleri,** Feryal matbaacılık,Ağustos 2000
- YALÇIN Hayri, Metin GÜRÜ, **Mühendislik Termodinamiği,** Palme yayıncılık, Ankara 2004
- ZORKUN Mehmet Emin, **Termodinamik**, Devlet Kitapları MEB, Ankara, 1979.
- EROL Yılmaz, **Termodinamik Ders Notları**, Motor Meslek Lisesi, İzmir.