

Prof. Dr. Mustafa Akdağ

TEMEL KAVRAMLARI İLE
MÜHENDİSLİK TERMODİNAMIĞI

TEMEL KAVRAMLARI İLE
MÜHENDİSLİK TERMODİNAMIĞI



Prof. Dr. Mustafa AKDAĞ

**TEMEL KAVRAMLARI
İLE
MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ**



Qafqaz Üniversitesi Yayınları

Bakü - 2009



Qafqaz Üniversitesi Yayınları

Yayın №: 34

Prof. Dr. Mustafa AKDAĞ

**TEMEL KAVRAMLARI
İLE
MÜHENDİSLİK TERMODİNAMIĞI**

Reyçiler

Prof. Dr. Niftalı Qocayev,
Dos. Halil İsmayılov

Redaktör

Prof. Dr. Niftalı Qocayev

Dizayn

Sahib Kazimov

*Qafqaz Üniversitesi Yayın Komisyonunun 03.10.2008 tarihli
Ç-QU-15010-000/011 sayılı teklifi ve Senatonun 20.11.2008 tarix, 2008/69.03 sayılı
kararıyla Üniversite yayını olarak basılmasına karar verilmiştir.*

ÖNSÖZ

Endüstride enerjinin kullanılmadığı bir alandan bahsetmek mümkün değildir. Endüstrinin üretime yönelik bütün üniteleri enerji tüketen veya enerji üreten –bazen de her ikisinin birlikte ortaya konduğu - pozisyonları itibariyle mühendislik mesleğinin ilgi alanı içerisindedirler. Enerji, kavram itibariyle ya bir hareket ve fiili ortaya koyan veya bir hareket ve fiili ortaya koyacak olan bir özellik taşımaktadır. Çünkü, kainatta hiç bir değişim yoktur ki, enerjinin bir türüne ihtiyaç olmasın veya değişimin sonunda enerjinin bir türü ortaya çıkmış olmasın.

Nasıl ki hemen bütün mühendislik alanlarında mutlaka enerjinin bir-veya bir kaç-türü mühendislerin ilgi alanları içerisindedir, aynen bunun gibi, mühendislik alanlarının hemen hepsinde de endüstri mühendislerine ait mutlaka bir veya birkaç ilgi alanı mevcuttur. Bunun daha açık bir ifadesi olarak, endüstri mühendislerinin mutlaka enerjinin kullanımına ve bununla ilgili olan temel kurallara yabancı olmamaları gerekmektedir.

Enerji-iş ilişkileri üzerine geliştirilen temel kurallar üzerinde daha çok makina mühendisleri çalışıyor olsalar bile,yukarıda da ifade edildiği üzere, endüstri mühendislerinin de bu ilişkilere dair temel kural ve kavramlar hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir. Bu çerçevede hazırlanan bu ders materyalinin endüstri mühendisliği öğrencileri için faydalı olacağı ümidini taşımaktayım.

Saygılarımla,

Prof. Dr.Mustafa AKDAĞ

Bakü, 26.11.2008

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM I

TEMEL KAVRAMLARI İLE TERMODİNAMİK	5
Giriş.....	5
1.1. Termodinamik Sistem.....	6
1.2. Enerji.....	7
1.3. Isı ve sıcaklık.....	9
1.4. Maddenin hal değişimi.....	12
1.5. Basınç ve iş.....	16
1.6. Saf madde ve hal değişimi.....	22
1.7. Gaz yasaları ve ideal gaz yasası.....	27
1.8. Genel uygulamalar.....	34

BÖLÜM II

TERMODİNAMİĞİN SIFIRINCI YASASI	38
--	-----------

BÖLÜM III

TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI	39
3.1. Entalpi.....	39
3.2. İç enerji.....	40
3.3. Özgül ısı-entalpi-iç enerji ilişkisi.....	44
3.4. Termodinamiğin birinci yasasına göre işin tanımı.....	45
3.5. Açık dönüşümün tanımı ve açık dönüşüm türleri.....	47
3.6. Tipik bir termodinamik sistem ve çevrim örneği.....	57
3.7. Kimyasal termodinamik.....	59
3.8. Genel uygulamalar.....	63

BÖLÜM IV

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASI	66
4.1. Termodinamiğin ikinci yasasının tanımı.....	66
4.2. Tersinir ve tersinmez süreçler.....	67
4.3. İkinci yasa-entropi ilişkisi.....	68
4.4. İkinci yasa ile ilgili uygulamalar.....	71

BÖLÜM V

TERMODİNAMİĞİN ÜÇÜNCÜ YASASI	95
---	-----------

BÖLÜM I

TEMEL KAVRAMLARI İLE TERMODİNAMİK

GİRİŞ

18.yüzyılın başlarından itibaren tekstil endüstrisinde meydana gelen hızlı gelişmenin sonucu olarak artan güç ihtiyacı ve bunun insan veya hayvan gücüyle karşılanamaması, buhar makinelerinin keşfedilmesine yol açmıştır. İngiltere’de, 1697 yılında Thomas Savery ve 1712 yılında Thomas Newcomen tarafından yapılan başarılı ilk buhar makineleri, 1765-1766 yıllarında ise James Watt’ın bu makineleri geliştirmesi ve buharın o güne kadar bilinmeyen özellikleri üzerine yaptığı araştırmalar, bu alanda çok önemli gelişmelere neden olmuştur. İşte, Termodinamik ilmi diğer bir çok araştırmacının da bu alana yönelmesiyle çıkmıştır.

Termodinamik terimi ilk kez, İngiliz bilim adamı Lord Kelvin tarafından, 1849 yılında yaptığı bir yayında kullanılmıştır. ‘‘*Termodinamik*’’ sözcüğü, Latince **therme (ısı)** ve **dynamis (güç)** sözcüklerinden türetilmiştir. Termodinamik, fiziğin enerji ve enerjinin şekil değiştirmesi ile uğraşan bilim dalı olarak tanımlanabilir. Hatta günümüzde Termodinamik, “enerji, ısı, iş ve entropi bilimi” olarak da tanımlanmaktadır. Termodinamik, ısı ile diğer enerji şekilleri arasındaki bağıntıları tetkik eden bir ilimdir. Mesela, ısının mekanik enerjiye döndürülmesinin bir uygulaması olan içten yanmalı motorlar, termodinamik ilminin sahası içine girer. Muayyen bir işi elde etmek için sisteme ne kadar ısı verilmesi veya çıkarılması gerektiğinin hesap usulleri, termodinamik ilminde verilir. Termodinamiğin temel kanunlarından birincisini Helmutz; "Isı, bir enerji nev'idir ve enerjinin diğer şekillerine çevrilebilir" şeklinde ifade etmiştir.

Termodinamik, otomobillerden uçaklara ve uzay araçlarına, elektrik güç santrallerinden iklimlendirme sistemlerine ve bilgisayarlara kadar çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. 1824 senesinde Sadi Carnot, (*Sadi Carnot- 1837-1894- termodinamik biliminin kurucusu olarak kabul edilir*) kendisinden evvel Watt tarafından keşfedilmiş olan buhar makinasının verimini arttırmaya çalıştı. Carnot, bu makinada, su buharı yerine civa buharı kullanılırsa, verimin artacağına inanmaktaydı. Çalışmaları sonunda, buhar makinasının veriminin makinada iş gören maddeye tabi olmadığı neticesine

vardı; ve makinanın veriminin, çalışmakta olduğu iki sınır sıcaklığa (dış ortamın ve buharın sıcaklığı) bağlı olduğunu buldu. Bu çalışmalardan elde edilen neticelere göre, termodinamiğin ikinci kanunu şöyle ifade edilebilir: **"Isı, sıcak bir yerden daha soğuk bir yere doğru kendiliğinden akar. Akan ısı miktarının bir kısmını işe çevirme imkanı mevcuttur."**

Veya Clausius'un ifadesiyle: **"Dışarıdan iş almadan soğuk kaynaktan ısı alarak, sıcak kaynağa ısı taşımak mümkün değildir."**

Günlük tecrübelerimiz bize gösterir ki ısı; çeşitli ısı kaynaklarından, çeşitli yollarla alçak sıcaklık bölgelerine geçer. (Termodinamiğin ikinci kanunu). Bunun neticesinde ısı kaynaklarının sıcaklıkları eşit hale gelir. Kainatın her tarafında bu olaylar meydana gelmektedir. Yani kainatta birçok güneş (ısı kaynağı) vardır. Bunlar, termodinamiğin ikinci kanununa göre, etraflarına devamlı ısı yayarlar. Yani kainat, (bir sistem olarak) devamlı ısı almaktadır. Dolayısıyla kainatın entropisi daima artmaktadır. Başka bir ifade ile, "Kainatın entropisi, bir maksimum değere doğru çoğalıyor." denir. Bu nedenle, bir gün kainatta sıcaklık eşit hale gelecektir. Kainatta sıcaklık eşit olduğu zaman, potansiyel bir enerji olsa bile, hayat olmayacaktır. Çünkü **hayat, birbirine zıt kutupların varlığı ile devam eder.** Rüzgarın esmesi, yağmurun yağması, hayatın devamı, farklı ısı kaynaklarına bağlıdır.

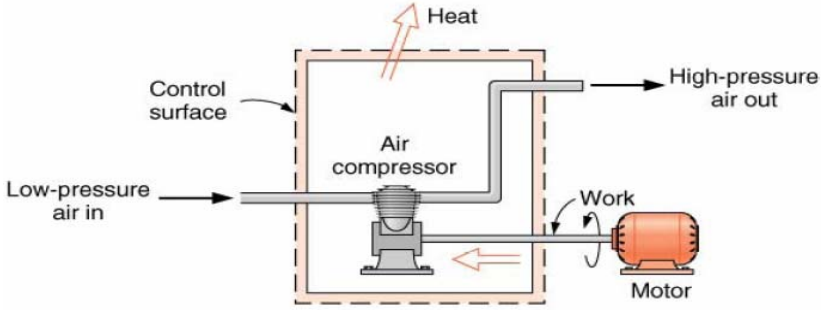
1.1. Termodinamik Sistem

Herhangi bir değişim incelenmeden önce, değişimin katılımcıları olan kütle ve enerjinin bilinmesi ve analiz edilmesi gerekir. **Termodinamik sistem** (veya kısaca sistem), kütle ve enerji transferlerinin incelendiği bölge olarak tanımlanabilir. İncelenen sistemin dışında kalan ve sistemin üzerinde etkisi olan her şeye de **çevre** denir. Çevre bizim ölçümlerimizi gerçekleştirdiğimiz yerdir. Sistemin tipi çevre ile arasındaki sınıra bağlı olarak tanımlanabilir. Sistemi çevresinden ayıran gerçek veya hayali yüzeye ise, **sistemin sınırı** denir. Sınırın, sistem ile çevresinin temas ettiği ortak yüzey olduğu unutulmamalıdır. Sistemin sınırları hareketli veya sabit olabilir.

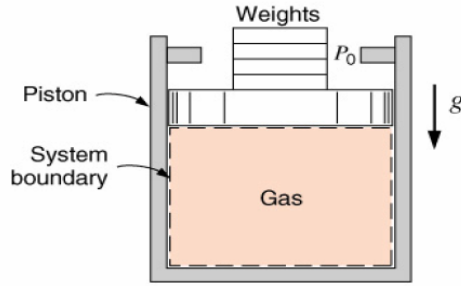
Kontrol hacmi, problemin çözümüne uygun olarak uzayın seçilmiş bir bölgesidir. Kontrol hacmi genellikle kompresör, türbin, lüle gibi içinden kütle akışı olan bir makineyi içine alabilir (Şekil 1.1 a). Bu makinelerin içindeki akışın termodinamik çözümlemesinde, makinanın fiziksel sınırları sistem sınırları olarak ele alınır.

Bir sistem kapalı ve açık olmak üzere iki biçimde olabilir. Açık sistemde kütle ve enerji, **kontrol yüzeyi** adı verilen kontrol hacmi sınırlarını

geçebilir. Sınırlarından kütle geçişi olmayan ancak enerji, iş veya ısı biçiminde geçişe izin veren sisteme ise **kapalı sistem** (Şekil 1.1 b) adı verilir. Sistem ile çevresi arasında madde ve enerji alışverişi yok ise bu türlü sistemler **izole sistem** olarak adlandırılmaktadır.

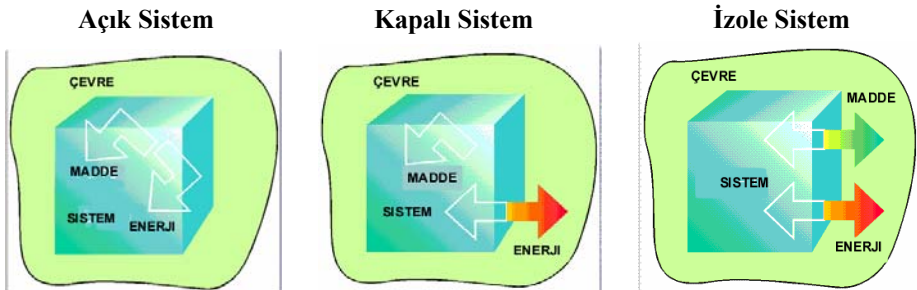


Şekil 1.1-a. Açık Sistem Örneği



Şekil.1.1-b. Kapalı Sistem Örneği

Yukarıda yapılan tanımlar ve çevre ile sistem arasındaki ilişkiler ayrıca şekil 1.2’de gösterilmiştir. Sistem, kabüle bağlı olarak, bir hava kompresörü, piston-silindir düzeneği içinde bir gaz, reaksiyon kabı, bir motor, elektrokimyasal bir pil, biyolojik bir hücre veya benzerleri olabilir.



Şekil 1.2. Sistem ile Çevre Arasındaki İlişki

Sistem ile çevresi arasında denge hali mevcut ise ,yani sistemin özellikleri zamana bağlı olarak değişim göstermiyorsa bu hal **Termodinamik Denge Hali** olarak adlandırılır. Termodinamik denge hali dinamik bir denge halidir. Çünkü, sistemin özellikleri belki zamana bağlı olarak değişmez, ancak sistemi meydana getiren moleküllerin özellikleri zaman içerisinde değişim gösterebilir.

1.2. Enerji

Enerji değişikliklere yol açan bir etken olarak veya başka bir ifade ile,iş yapma yeteneği olarak tanımlanabilir. Enerji ısı, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer gibi değişik biçimler alabilir; bunların tümünün toplamı, sistemin toplam enerjisini (E) oluşturur.

Termodinamik çözümlemede, sistemin toplam enerjisini oluşturan değişik enerji biçimlerini makroskopik ve mikroskopik olarak iki grupta ele almak yararlı olur.

Makroskopik enerji, sistemin tümünün bir dış referans noktasına göre sahip olduğu enerjidir, kinetik ve potansiyel enerji gibi. **Mikroskopik enerji** ise, sistemin molekül hareketliliğiyle ilgilidir ve dış referans noktalarından bağımsızdır.

İlginç enerji eşdeğerlikleri:

$$1 \text{ kg kömür} = 42.000.000 \text{ J}$$

$$1 \text{ kg uranyum} = 2.000.000 \text{ kg kömür}$$

Manyetik, elektrik ve yüzey gerilmesiyle ilişkili enerjiler sadece bazı özel durumlarda önem kazanır. Bu enerjilerin etkisiz olması durumunda, sistemin toplam enerjisi kinetik, potansiyel ve iç enerjilerin toplamından oluşur.

POTANSİYEL ENERJİ

Herhangi bir kütlenin, bulunduğu konum itibarıyla sahip olduğu enerjiye, potansiyel enerji denmektedir. Kısaca **konum enerjisi** de denilebilir. Bu enerji türünde enerjinin kaynağı, yer çekiminin kütle üzerindeki etkisine dayanır ve,

$$E_p = m \cdot g \cdot h \text{ ya da } dE_p = m \cdot g \cdot dz$$

ifadesi yardımı ile hesaplanabilir.

KİNETİK ENERJİ

Bir sistemin **hareket enerjisi** olarak da tanımlanabilir. Yani, ancak hareket halindeki bir sistem kinetik enerjiye sahiptir. Bu nedenle, bir sisteme ait kinetik enerji,

$$E_k = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

ifadesi yardımı ile hesaplanabilir. Burada m - kütle, v ise hızdır.

1.3. Isı ve Sıcaklık

ISI

Maddelerin hal ve sıcaklığında değişmeye neden olan ısıdır. Sıcak bir ortama bırakılan buz parçasını bir müddet sonra tamamen su haline dönüştüren, ocağın üstünde bulunan suyun ısınmasına ve sonunda kaynamasına sebep olan, yazın elektrik tellerinin uzamasına ve onların sarkık hale gelmesine sebep olan hep ısıdır. Daha teknik bir ifade ile, **Isı, bir maddenin bütün moleküllerinin sahip olduğu potansiyel enerjileri ile kinetik enerjilerinin toplamıdır.** Başka bir ifade ile, ısı bir enerji türüdür ve diğer enerjilere dönüşebilir.

Bir maddenin sıcaklığını Δt kadar değiştirmek için gerekli olan ısı miktarı,

$$Q = mc\Delta t,$$

ifadesi ile temsil edilmektedir. Burada, Q =ısı, m =kütle, c =özgül ısı, Δt =sıcaklık değişimini temsil etmektedirler.

1 kalori (1 cal): 1 gram suyun sıcaklığını normal şartlarda 1 derece değiştirmek için verilmesi yada alınması gereken ısı miktarına denir (**1cal=4,18 joule**).

SICAKLIK

Sıcaklık enerji değildir; bir maddenin moleküllerinin ortalama kinetik enerjilerinin bir ölçüsüdür. Isı ile sıcaklık arasındaki ilişki, potansiyel enerji ile yükseklik arasındaki ilişkiye benzetilebilir. Nasıl ki, potansiyel enerji ifadesindeki h enerji değilse; yukarıda sıcaklığı temsil eden Δt de enerji değildir. Isı ve sıcaklık günlük yaşantıda sık sık kullanılan terimlerdir. O halde bunların ne anlama geldiklerine biraz daha açıklık getirelim: Sıcak bir ortama bırakılan buz parçası belli bir müddet sonra ergimeye (sıvılaşmaya) başlar ve tamamen su haline dönüşür. Yanmakta olan ocağın üstünde bulunan su gittikçe ısınır ve sonunda kaynamaya başlar, kışın soğuyan tellerin boyu kısalır ve gergin dururlar. Kısacası, **ısı** maddelerin halinde ve sıcaklığında bir değişmeye neden olur.

Kainatta ısı ve sıcaklık kavramlarının olmadığı hiçbir olay yok gibidir. Isı ve sıcaklık, canlılar için de çok önemlidir. Çünkü, çok düşük sıcaklıklarda da canlılar yaşayamadığı gibi, çok yüksek sıcaklıklarda da canlılar yaşayamamaktadır. **Isı enerjisi aslında kütlesi olmayan foton dediğimiz enerji paketicikleridir.** Bundan dolayı ısı enerjisi boşlukta da yayılır. Bu enerji paketicikleri, madde, atom ve moleküllerinin titreşim hareketinden meydana gelmektedir. Bu molekül ve atomların titreşim hareketleri ne kadar fazla ise, paketiciklerin enerjileri de o kadar fazla olur. Isı enerjisi aynı zamanda kimyasal ve nükleer enerji tepkimelerinde de açığa çıkmaktadır.

Isının büyüklüğü kalorimetre ile ,sıcaklığın ise termometre ile ölçülür. Kısaca,

- 1 Isı bir enerji türüdür,sıcaklık ise enerji değildir,bir ölçümdür.
- 2 Isı birimi kalori veya joule dır,sıcaklık birimi ise derecedir.
- 3 Sıcaklık birimi günlük hayatta, derece Celsius ($^{\circ}\text{C}$), teknikte ise derece Kelvin ($^{\circ}\text{K}$)dir.

MUTLAK SIFIR

Olası en düşük sıcaklıktır. Bu sıcaklıkta maddenin içinde hiç ısı enerjisi kalmayacağından daha fazla soğutmak mümkün değildir. **Mutlak sıfır** moleküllerin öteleme hareketlerinin durduğu ve hareketlerinin çok küçük titreşimlere indirgendiği noktadır. Titreşimin sebebi '**sıfır noktası enerjisi**' denilen enerjidir ve bu enerji maddeden uzaklaştırılmaz.

Teorik araştırmalara göre, -273°C de (**mutlak sıfır**) tüm maddelerin atom ve moleküllerinin titreşimi hemen hemen sıfır olmaktadır. Bu sıcaklık altında moleküller hareketsiz durmaktadır.Fakat şu ana kadar -273°C sıcaklığa kadar inilememiştir. Bilim adamları tam olarak bir "**sıfır ısı enerjisi**" durumu gösteremeseler de, maddenin garip kuvantum etkileri gösterdiği, mutlak sıfıra oldukça yakın sıcaklıklara ulaşabilmektedirler

TERMOMETRELER

Sıcaklık değerlerini ölçmek için kullanılan aletlere **termometre** denir. Bunlar maddelerin fiziksel özelliğinde meydana gelen değişim, esasına göre düzenlenmiş aletlerdir. En çok kullanılan sıcaklık skalaları aşağıda verilmiştir:

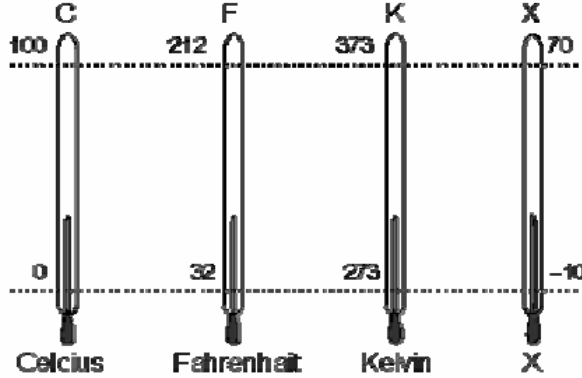
1) **Celcius**: Normal şartlarda buzun ergime sıcaklığını 0 derece, suyun kaynama sıcaklığını ise 100 derece olarak kabul eder.

2) **Fahrenheit**: Buzun ergime sıcaklığını 32 derece, suyun kaynama sıcaklığını ise 212 kabul etmiştir.

3) **Kelvin**: Sıcaklıklar için başlangıç noktasını -273 derece olarak kabul etmiş ve sıcaklık derecelerini pozitif sayılarla anlatmıştır. Bu ölçekte sıcaklık için sıfır, mutlak sıfırdır. Bundan dolayı bu ölçeye **mutlak sıcaklık ölçüğü** de denir.

ilk ölçek	çevrilen ölçek	formül
Celsius	Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$
Fahrenheit	Celsius	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$
Celsius	Kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$
Kelvin	Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$

Celsius ölçeğine göre, suyun üçlü noktası (aynı anda katı, sıvı ve gaz halinde bulunabildiği sıcaklık) $0,01^{\circ}\text{C}$ (veya $273,16\text{K}$) olarak tanımlanır.



Termometrelerdeki sıcaklık değerlerini birbirine dönüştürmek için,

$$\frac{\text{C}}{100} = \frac{\text{F} - 32}{180} = \frac{\text{T} - 273}{100} = \frac{\text{X} + 10}{80}$$

Şekil 1.3. Sıcaklık birimlerinde dönüşüm çizelgesi

ÖZGÜL ISI :

Özgül ısı, bir maddenin birim kütesinin sıcaklığını birim derece arttırmak için gerekli olan ısı enerjisi miktarıdır. *Isınma ısısı*, *öz ısı* veya *özellikler kapasitesi* olarak da ifade edilir. Özgül ısı maddenin ayırt edici özelliklerinden biridir. Özgül ısı maddenin bulunduğu fiziksel hal, basınç ve sıcaklığa göre az da olsa değişkendir. Pratik uygulamalarda genellikle sabit olarak alınır.

Özgül ısı birimi kullanılan birim sistemine göre; $\text{J/g}^{\circ}\text{K}$, $\text{J/g}^{\circ}\text{C}$ veya $\text{Cal/g}^{\circ}\text{C}$ vb. olur.

1.4. Maddenin Hal Değişimi

ERGİME VE DONMA

Maddelerin içinde bulunduğu sıcaklığa göre, katı, sıvı ve gaz halinde buldukları bilinmektedir. Maddelerin katı halden sıvı hale geçmesine ergime (sıvılaşma), sıvı halden katı hale geçmesine ise donma (katılaşma) denir.

Maddeler genelde ısı alarak ya da ısı vererek hal değiştirebilmektedirler. Maddelerin bir halden başka bir hale geçmesine **hal değiştirme** denir.

Eğer bir maddeye ısı verildiği halde sıcaklığı değişmiyorsa madde o anda hal değiştiriyor demektir. Çünkü **maddelerin hal değiştirme süresi içerisinde sıcaklıkları değişmemektedir**; bu esnada verilen ısı enerjisi maddenin molekülleri arasındaki bağları koparmada yani, hal değiştirmesinde harcanmaktadır.

Bununla beraber, hal değişimi esnasında maddelerin hacminde değişme olmaktadır.

Ergime ve Donma / Sıvılaşma ve Katılaşma:

Atmosfer basıncı altında (sabit basınçta) bütün katı maddelerin sıvı hale geçtiği sabit bir sıcaklık değeri vardır. Bu sıcaklık değerine ergime sıcaklığı ya da ergime sıcaklık noktası denir. Atmosfer basıncı altında her maddenin ergime sıcaklığı farklı olduğu için ergime sıcaklığı maddeler için ayırt edici bir özelliktir. Örneğin deniz düzeyinde buzun ergime sıcaklığı 0 °C-dir.

Ergime Isısı, ergime sıcaklığındaki bir katının 1 gramının yine aynı sıcaklıkta sıvı hale geçmesi için verilmesi gereken ısıya denir. Ergime ısısı da ayırt edici bir özelliktir. Kütlesi m olan, ergime sıcaklığındaki bir katıyı ergitmek için verilmesi gereken ısı miktarı aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$Q=m.L_e$$

Örneğin, buzun ergime ısısı $L_e = 80 \text{ cal/g}$ dır.

Sıvı bir maddenin ısı vererek katı haline geçmesine ise **donma** denir. Atmosfer basıncı altında bütün sıvı maddelerin katı hale geçtiği sabit bir sıcaklık değeri vardır. Bu değere donma sıcaklığı ya da donma sıcaklık noktası denir.

Ergime ile donma birbirinin tersidir. Bundan dolayı **bir maddenin ergime sıcaklığı, donma sıcaklığına eşittir**. Ergime ısısı da donma ısısına

eşittir. Örneğin deniz düzeyinde 0°C deki su donarken dışarı 80 cal/g ılık ısı verir. Özet olarak,

- 1) Madde hal değiştirirken sıcaklığı değişmez.
- 2) Bir maddenin ergime sıcaklığı ile donma sıcaklığı aynıdır.
- 3) Ergime sıcaklığı ve ergime ısısı, maddenin ayırt edici özelliklerindedir.

Ergime ve Donmaya Etki Eden Faktörler :

Ergime ve donma sıcaklığı normal şartlarda sabittir; basınç ve maddenin saflığı değiştirilirse, maddelerin ergime ve donma sıcaklıkları da değişir.

1. Basıncın Etkisi :

Basınç, birim yüzeye etkileyen dik kuvvet olduğundan, maddenin moleküllerini bir arada tutarak dağılmasını önleme yönünde etki eder. Bu nedenle, sıvılaşırken hacmi artan maddeler için, basıncın artması ergimeyi, yani sıvılaşmayı zorlaştırdığı için ergime noktası yükselir. Yüksek dağların zirvesindeki karların yaz mevsiminde de erimemesinin nedenlerinden birisi de açık hava basıncının yükseklere çıkıldıkça azalması ve karın ergime yani sıvılaşma noktasının yükselmesidir.

Yukarıdaki bilgilere örnek olarak, mesela buzun hacmi, sıvılaşırken küçüldüğünden dolayı basıncın artırılması, hacmin küçülmesine yardımcı olduğu için sıvılaşma yani ergime sıcaklığının düşmesine neden olur. Deniz seviyesinde, normal atmosfer basıncında, 0°C de eriyen buz, basıncın artırılmasıyla, sıfırın altındaki bir sıcaklıkta dahi sıvılaşırabilir.

2. Safsızlığın (yabancı maddenin) Etkisi :

Saf bir maddenin içine başka bir madde karıştırılırsa, maddenin saflığı bozulur. Saf olmayan bu karışımın, önceki saf maddeye göre ergime ve donma sıcaklığı farklıdır.

Arabaların soğutucu suyunun içine **antifriz** denen maddenin karıştırılması suyun donma noktasını -20°C , -25°C gibi sıcaklıklara indirmektedir.

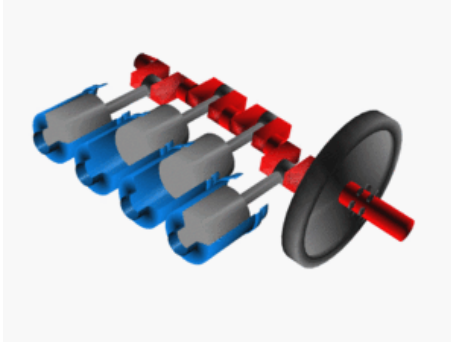
Kışın, hava sıcaklığının 0°C nin altında olduğu durumlarda, yollardaki buzu eritmek için, tuz dökülür. Tuz, safsızlık olarak, buzun ergime noktasının düşmesine ve sıfırın altında dahi, sıvı halde kalmasına sebep olmaktadır.

KAYNAMA, BUHARLAŞMA VE SÜBLİMLEŞME

Sıvı bir maddenin ısı alarak gaz haline geçmesi olayına **buharlaşma** denir. Buharlaşma olayı sıvı yüzeyinde olur. Isı alan sıvı moleküllerinden bazıları sıvı yüzeyinde, moleküller arası çekim kuvvetini ve sıvının yüzey gerilimini yenerek gaz fazına geçer. Su buharı, sıvı haldeki hacminden 1600 kat dahafazla yer kaplar ve suyun kaynama noktasından daha sıcaktır. Daha yüksek sıcaklıklardaki buhara genelde **kızdırılmış buhar** denir.

Sıvı haldeki su, çok sıcak sıvı bir madde ile temas ettiğinde (örneğin lav veya erimiş metal), çok çabuk olarak buhar haline gelebilir. Buna *buhar patlaması* adı verilir. Bu patlama, son derece büyük hasarlara sebep olabilir.

Mekanik iş üretmede, buharın genişlemesi ile buhar makinelerinde piston veya türbin sistemine hareket sağlanır (Şekilş 1.4). Diğer bir çok endüstriyel uygulamalarda, buhar genellikle borular boyunca dolaşarak depoladığı yüksek miktardaki buharlaşma ısını ısı enerjisi şeklinde aktarır. Mühendisler buhar makinelerini modellemek için ideal termodinamik çevrim olan Rankine çevrimini kullanırlar.



Şekil 1.4 a. Pistonlar vasıtası ile Krank miline hareket sağlanması



Şekil.1.4.b. Bir akışkan kuvveti ile hareket sağlayan türbin

Buharlaşmayı etkileyen önemli durumlar:

- Buharlaşma her sıcaklıkta olabilir.
- Maddeler buharlaşma bölgelerinden ısı alarak buharlaşırlar. Dolayısıyla buharlaşmanın olduğu yerde serinleme olur.
- Sıcaklığın artması buharlaşmayı hızlandırır.
- Açık hava basıncının azalması buharlaşmayı artırır.
- Sıvının açık yüzey alanı arttıkça buharlaşma daha fazla olur.
- Rüzgarlı havada buharlaşma fazla olduğundan çamaşırlar daha çabuk kurur.

Bir kapta bulunan sıvı ısıtılırsa sıcaklığı yükselir ve **buharlaştırma** artar. Sıvının sıcaklığının yükselmesiyle meydana gelen buhar basıncı, sıvının yüzeyine etki eden basınca eşit olduğu an, sıvı kaynamaya başlar. Kaynama sırasında sıvının sıcaklığı değişmez.

Sabit atmosfer basıncı altında bütün sıvı maddelerin, sabit bir kaynama sıcaklık değeri vardır. Bu sıcaklık değerine **kaynama noktası** denir. Kaynama sıcaklığı maddeler için ayırt edici bir özelliktir.

Kaynama noktasına gelmiş 1 gram sıvı maddenin tamamının aynı sıcaklıkta gaz haline gelmesi için verilmesi gereken ısıya **buharlaştırma ısı** denir. Buharlaştırma ısı L_b ile gösterilir. Kaynama sıcaklığındaki m gramlık sıvı bir maddeyi aynı sıcaklıkta buhar haline getirmek için verilmesi gereken ısı miktarı,

$$Q=m.L_b$$

bağıntısı ile bulunur. Suyun buharlaştırma ısı $L_b = 540 \text{ cal/g}$ dir. Buharlaştırma ısı da maddeler için ayırt edici bir özelliktir.

Gaz halindeki bir maddenin ısı vererek sıvı hale geçmesine **yoğunlaştırma** denir. Ergime ve donmada olduğu gibi, yoğunlaştırma da, kaynamanın tersidir. Dolayısıyla **bir maddenin kaynama sıcaklığı ile yoğunlaştırma sıcaklığı eşittir**. Benzer şekilde, **Buharlaştırma ısı ile yoğunlaştırma ısı da birbirine eşittir**.

Kaynama ve yoğunlaştırma esnasında sıcaklığın değişmediğine ve kaynama ile yoğunlaştırma sıcaklığının aynı olduğuna yukarıda değinilmiş idi.

Bazı katı maddelerin ısıtılınca sıvı hâle geçmeden doğrudan gaz hâle geçmesi olayına ise **süblimleşme** denir. Naftalin, ernet ve bazı koku yayan maddelerin süblimleşme nedeni ile zamanla azaldığı görülür; fakat hiç sıvılaşığı görülmez.

Kaynama ve Yoğunlaştırma ile İlgili Önemli Noktalar :

Ergime ve donmada olduğu gibi, kaynama ve yoğunlaşmaya etki eden faktörler vardır.

Basınç ve maddenin saflığının değiştirilmesi, kaynama sıcaklığını etkiler.

1. Kaynama olayının gerçekleşmesi için, buhar basıncının atmosfer basıncına eşit olması gerekir.
2. Atmosfer basıncı artarsa, ağız açık kaptaki sıvının kaynaması zorlaşır.
3. Atmosfer basıncının azalması ise kaynamayı kolaylaştırır. Dolayısıyla sıvı daha düşük sıcaklıkta kaynar.

4. Deniz düzeyinde 100 °C de kaynayan saf su, Ankara'da 96 °C de, Erzurum'da ise 94 °C de kaynar.
5. Dödüklü tencerede basıncın artmasıyla sıvının kaynama sıcaklığı yükselir, bu nedenle yemekler daha çabuk pişer.
6. Saf sıvı içine karıştırılan farklı maddeler sıvının saflığını bozar. Saflığı bozulan sıvının kaynama noktası değişir. Örneğin suyun içine tuz karıştırılırsa, kaynama noktası yükselir.

ISI ALIŞ-VERİŞİ

Çevre ile ısı alışverişi olmayan bir ortamda bir araya konulan sıcaklıkları farklı maddeler arasında ısı alış verişi olur. Maddeler arasında ısı alış verişi var ise, alınan ısı verilen ısıya eşittir. Isı akışı sıcak maddeden soğuk maddeye doğru olur. İki madde arasında hal değişimi yok ise,

$$Q_{\text{alınan}} = Q_{\text{verilen}}$$
$$m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T_1 = m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta T_2$$

eşitlikleri geçerlidir. Termal (ısı) denge sağlandığında iki maddenin son sıcaklıkları birbirine eşit olur.

Şayet sıcaklıkları T_1 °C ve T_2 °C olan aynı cinsteki iki sıvıdan eşit miktarlar kullanılarak bir karışım yapılırsa, karışımın son sıcaklığı,

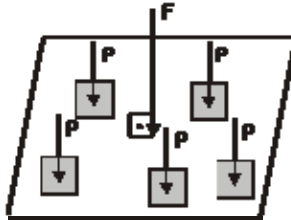
$$T_{\text{son}} = (T_1 + T_2) / 2$$

İfadesi yardımı ile bulunabilir. Yani, karışımın son sıcaklığı, aşağıdaki ifadelerde olduğu gibi, karışan sıvıların sıcaklıkları arasında bir değerdir.

$$T_2 > T_1 \text{ ise, } T_2 > T_{\text{son}} > T_1 \text{ olur.}$$

1.5. Basınç ve İş

Katı, sıvı ve gazlar ağırlıkları sebebi ile buldukları yüzeye bir kuvvet uygularlar. Kuvvetin kaynağı ne olursa olsun, birim yüzeye dik olarak etki eden kuvvete **basınç(P)**, bütün yüzeye dik olarak etki eden kuvvete ise **basınç kuvveti(F)** denir (Şekil 1.5). Basınç ile basınç kuvveti arasında;



Şekil 1.5. Basınç-Kuvvet İlişkisi

$$P=F/S$$

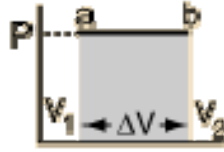
bağıntısı vardır. Bu bağıntıda,

P: basınç (Basınç birimleri : N/m^2 =Pascal, dyn/cm^2 =Bar), F: kuvvet,
S: alandır.

Termodinamik bir sistemde iş konu ediliyorsa, genel olarak gazların basıncı ve bu basıncıdan doğan iş kastedilmektedir. Eğer sabit basınçlı bir sistem söz konusu ise yapılan iş,

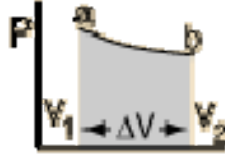
$$W=P.\Delta V$$

şeklinde ifade edilir ve işin büyüklüğü, şekil 1.6 'te olduğu gibi, basınç-hacim grafiğinin altındaki alanın hesaplanması ile bulunur.



Şekil 1.6. Sabit basınçta işin grafik gösterimi

Basıncın değiştiği bir sistem söz konusu olduğunda ise , yapılan iş,yine benzer şekilde, şekil 1.7' de olduğu gibi, basınç - hacim grafiğinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur.



Şekil 1.7. Değişen basınç ve hacimde işin grafik gösterimi

Katılarda Basınç :

Katı cisimler ağırlıkları nedeniyle buldukları yüzeye basınç yaparlar.

1. Katılarda basınç kuvveti daima katının ağırlığı kadardır. Dolayısıyla katı cismi hangi yüzeyi üzerine koyarsak koyalım basınç kuvveti değişmez.
2. Düzgün katıların (küp, dikdörtgenler prizması, silindir) zemine yaptıkları basınç

$$P=h.d$$

ile de hesaplanabilir. Burada h cismin yüksekliği, d ise öz ağırlığıdır.

3. Katılar uygulanan kuvveti kendi doğrultusunda aynen iletirken, basıncı aynen iletmezler.
4. Katılarda basınç genel olarak yüzeye ters orantılıdır. Bundan yararlanarak kesici ve delici aletler yapılır.

Sıvılarda Basınç :

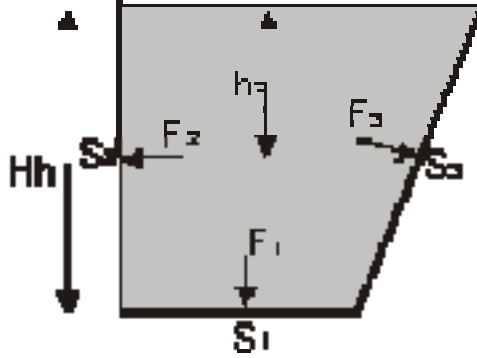
Bir kaptaki sıvı ağırlığı nedeniyle bulunduğu kabın her noktasına basınç uygular. Sıvının bulunduğu kabın herhangi bir noktasındaki basıncı,

1. Sıvının yoğunluğu ile doğru orantılıdır.
2. Sıvının üst yüzeyine olan uzaklıkla doğru orantılıdır.
3. Sıvının derinliği aynı kalmak şartıyla kabın şekline ve içindeki sıvı miktarına bağlı değildir.

Bir sıvının ağırlığı nedeniyle içinde bulunduğu kabın herhangi bir yüzeyinin tamamına uyguladığı dik kuvvete sıvı basınç kuvveti denir ve,

$$F=h.d.S$$

bağıntısı ile bulunur. Burada, h: ilgili yüzeyin orta noktasının sıvının üst yüzeyine uzaklığı, d: sıvının öz ağırlığı, S: ilgili yüzeyin alanıdır.



Şekil 1.8. Bir kap içinde h yüksekliğinde d öz ağırlıklı sıvı tarafından S_1 , S_2 , S_3 yüzelerine etkiyen sıvı basınç kuvvetleri

$$F_1=h \times d \times S_1$$

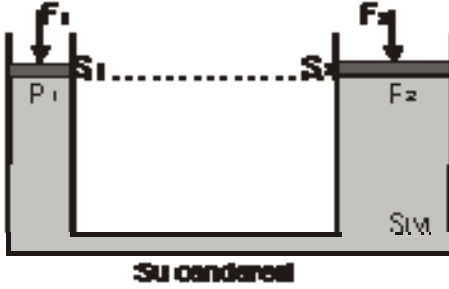
$$F_2=h_2 \times d \times S_2=h/2 \times d \times S_2$$

$$F_3=h_2 \times d \times S_3=h/2 \times d \times S_3, \text{ olur}$$

Pascal Prensibi

Sıvılar basıncı her doğrultuda aynen iletirler; bundan yararlanarak su cenderesi, hidrolik fren vb. sistemler oluşturulabilmektedir.

Şekil 1.9'daki su cenderesinde basıncın etki yüzeyi değiştirilerek istenilen büyüklükte basınç elde edilebilmektedir.



$$P_1 = \frac{F_1}{S_1} \quad \text{ve} \quad P_2 = \frac{F_2}{S_2}$$

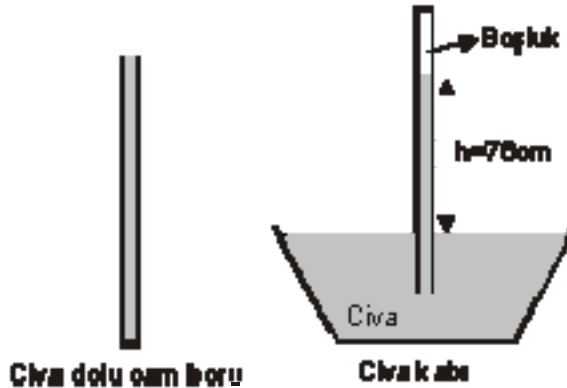
Şekil 1.9. Pascal Prensibinin su cenderesinde uygulaması

F kuvvetinin yaptığı basınç her noktaya aynen iletileceğinden,

$$P_1 = P_2 \text{ yani, } F_1/S_1 = F_2/S_2 \text{ olur.}$$

Gazlarda Basınç :

Yerküremizi atmosfer adını verdiğimiz ve kalınlığı kilometreleri bulan açık hava tabakası kuşatmaktadır. Açık hava hem yeryüzüne hem de onunla temasta bulunan bütün yüzeylere ağırlığı nedeniyle bir kuvvet uygular. Bu kuvvetin yüzeyin birim alanına düşen kısmına açık hava basıncı yada **atmosfer basıncı** (P_0) denir. Atmosfer basıncı ile ilgili tanım, Şekil 1.10 'da görüldüğü gibi, en açık şekilde Toriçelli tarafından ortaya konmuştur.



Şekil 1.10. Toriçelli Deneyi ve atmosfer basıncı

Toriçelli deniz kıyısında ve sıcaklığın 0°C olduğu bir günde 80-90cm uzunluğunda, bir tarafı kapalı cam boru alarak tamamen civa ile doldurmuştur. Daha sonra civa dolu cam boruyu ters çevirerek, içerisinde civa bulunan kaba koyduktan sonra borudaki civanın bir kısmının civa kabına boşaldığını ve 76cm yüksekliğini alacak şekilde dengede kaldığını gözlemiştir. ***Civanın tamamen boşalmamasının sebebi, açık hava basıncının kabdaki civanın yüzeyine yaptığı basıncın borudaki civa basıncını dengelemesidir.*** Yani borudaki civa (sıvı) basıncı geniş kaptaki civanın üst yüzeyine etkiyen açık hava basıncına eşittir. Toriçelli bu deneyi değişik kesitteki borularla denemiş ve sonucun değişmediğini gözlemiştir. O halde gözlenen ***civa yüksekliği borunun kesitine bağlı değildir.***

Civanın özağırlığı 13.6 birim olduğundan borudaki sıvı basıncı-ki bu basınç atmosfer basıncına eşittir-;

$$P_0 = h \times d = 1 \text{Atm, olur.}$$

Açık hava basıncını, yani atmosfer basıncını ölçen aletlere **barometre** denir. Barometredeki civa seviyesi her 10.5 m yüksekliğe çıkıldıkça 1 mm düşer. Bundan yararlanarak rakım (yükseklik) ölçülür.

Kapalı Kaplarda Gaz Basıncı

Sıvılar gibi gazlar da içinde buldukları kabın çeperlerine basınç uygularlar. Bu basınç gaz moleküllerinin hareketinden ileri gelir. Kapalı bir kaptaki bulunan gaz basıncı;

1. Hacimle ters orantılıdır; sıcaklık sabit kalmak şartıyla hacim azaldıkça basınç artar.
2. Sıcaklıkla doğru orantılıdır; hacim sabit kalmak şartıyla, sıcaklık arttıkça basınç artar.
3. Molekül konsantrasyonu ile doğru orantılıdır; hacim sabit iken, birim hacme düşen molekül sayısı arttıkça basınç artar.

Bu üç madde,

$$\mathbf{P.V=n.R.T}$$

şeklindeki ideal gaz (genel gaz) denklemi ile ifade edilmektedir. Burada, P: basınç, T: sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$), n: molekül sayısı, R: evrensel gaz sabiti, V: hacim

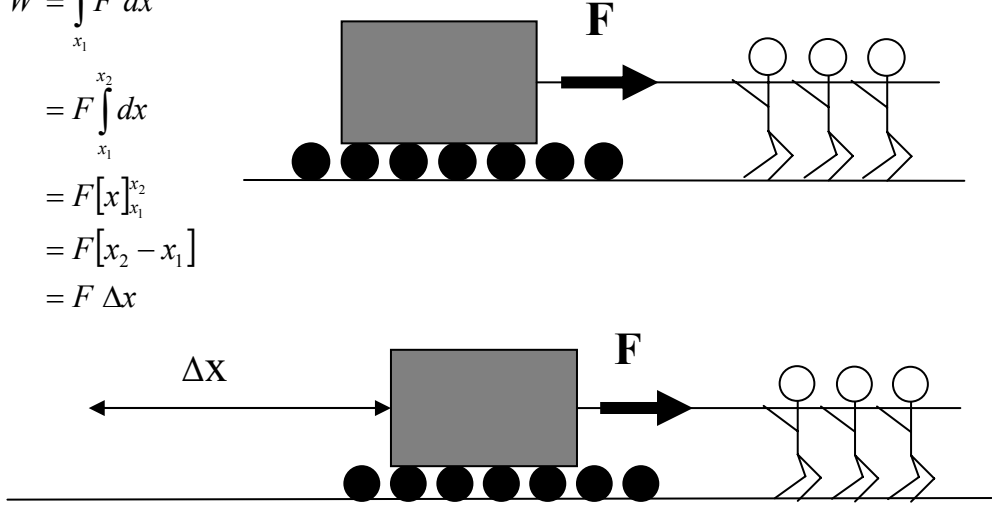
İŞ

İş İçin İtici Kuvvetler

İş	İtici Kuvvet
Mekanik	Kuvvet (Fiziksel)
Şaft işi	Tork
Hidrolik	Basınç
Elektrik	Voltaj
Kimyasal	Konsantrasyon

Mekanik iş :

$$\begin{aligned}
 W &= \int_{x_1}^{x_2} F \, dx \\
 &= F \int_{x_1}^{x_2} dx \\
 &= F[x]_{x_1}^{x_2} \\
 &= F[x_2 - x_1] \\
 &= F \Delta x
 \end{aligned}$$



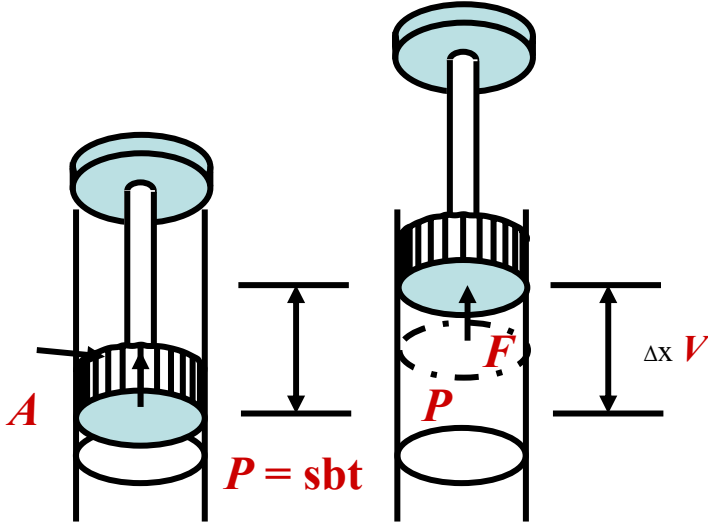
Şekil 1.11. Mekanik İş'te temsili kuvvet-yol ilişkisi

Hidrolik iş :

Şekil 1.12'de temsil edildiği üzere

$$\begin{aligned}
 W &= F\Delta x \\
 &= \frac{F}{A} A \Delta x \\
 &= P\Delta V
 \end{aligned}$$

yazılabilir.



Şekil 1.12. Hidrolik iş ve basınç-kuvvet ilişkisi

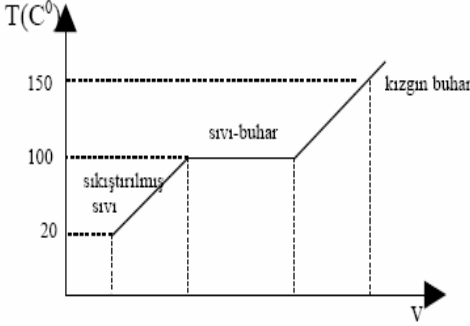
1.6. Saf Madde ve Hal Değişimi

Maddeler; katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç değişik fazda bulunabilir (bunların dışında plazma denilen dördüncü bir faz daha vardır).

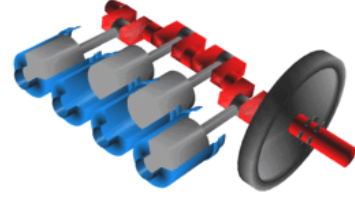
Kimyasal yapısı her noktada aynı ve değişmeyen (homojen) maddelere **saf madde** denir. Su, azot, oksijen...vb birer saf maddedir. Bundan başka her hangi bir homojen karışım da saf madde tanımına uyabilir. Örneğin, çeşitli gazların homojen bir karışımı olan hava dahi, eğer tek bir faz söz konusu ise,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

20 °C sıcaklık ve 1atm basınçta içinde su bulunan bir silindir-piston düzeneğini ele alalım (Şekil 1.14). Su, bu koşullarda sıvı fazdadır ve sıkıştırılmış sıvı veya soğutulmuş sıvı diye adlandırılır. Isıtma sürdürülürse, sıcaklık artarken su çok az genişler ve piston görülemeyecek derecede biraz yükselir. Bu işlem sırasında suyun basıncı değişmez. Sıcaklık 100 °C'ye geldiğinde, faz değişimi başlar. İşte, buharlaşmanın başlangıcında bulunan sıvıya **doymuş sıvı** denir. Buharlaşma başladıktan sonra, sıvının tamamı buhara dönüşüncüye kadar, sıcaklıkta herhangi bir artış olmaz. Isıtma sürdürülürse tüm sıvı buhara dönüşür. Bu durumda silindirin içerisi, yoğuşmanın sınırında olan buharla doludur; işte, yoğuşmanın sınırında olan buhara **doymuş**

muş buhar adı verilir(kendi sıvısı ile dinamik dengededir). Bundan sonra ısıtma sürdürülürse sıcaklık ve özgül hacmin arttığı görülür. İşte, yoğunlaşma sınırının üzerinde sıcaklığa sahip olan buhara ise **kızgın buhar** denir. Bu durumlar için kullanılmakta olan T-v (sıcaklık-özgül hacim) diyagramlarına örnek olarak, su ile ilgili olanı Şekil 1.13’de verilmiştir.



Şekil 1.13. Su için T-v Hal Değişirme Diyagramı

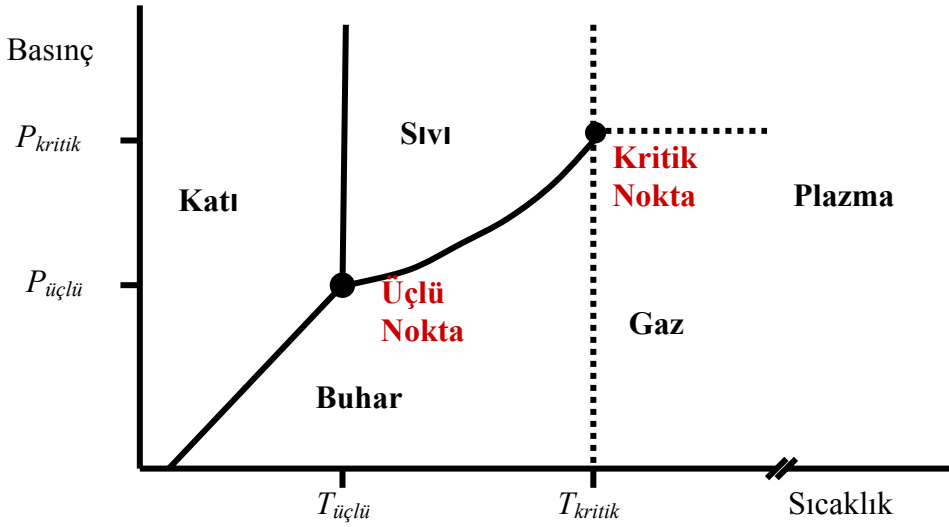


Şekil.1.14. Silindir-piston-Krank Mili Düzenegi

Verilen bir basınçta saf maddelerin kaynamaya başladığı sıcaklığa kaynama sıcaklığı ya da **doyma sıcaklığı** (T_s), bu durumdaki basınca ise **doyma basıncı** (P_s) denir.

Şekil 1.13’de görüldüğü gibi, su 1atm (101,35 kPa) basınçta ve 100°C ’de kaynar. Eğer ısıtma kabı kapatılarak basınç yükseltirirse, kaynama sıcaklığı da yükselir. Örneğin, su 200 kPa basınçta $120,23^{\circ}\text{C}$ ’de, 1100 kPa basınçta ise $179,91^{\circ}\text{C}$ ’de kaynar. Basınç azaldığında ise kaynama sıcaklığı düşmektedir. Yükseklik arttıkça, atmosfer basıncı ve buna bağlı olarak suyun kaynama sıcaklığı düşer. Her 1000 m yükseklik için kaynama sıcaklığı yaklaşık $3,3^{\circ}\text{C}$ düşmektedir. Örneğin, 1000 m yükseklikte atmosfer basıncı 89,55 kPa ve buna karşılık gelen kaynama sıcaklığı $96,3^{\circ}\text{C}$; 2000 m yükseklikte ise atmosfer basıncı 79,5 kPa ve buna karşılık gelen kaynama sıcaklığı ise $93,2^{\circ}\text{C}$ dir (bu bakımdan, eğer düdüklü tencere kullanılmıyorsa, yüksek yerlerde yemekler daha uzun sürede pişer).

Suyu belirli basınçta katı, sıvı ve buhar fazlarında bir arada bulundurmak mümkündür; bu basınçtaki noktaya **üçlü nokta** denir (Şekil 1.15).



Şekil.1.15. Basınç-sıcaklık-hal ilişkisi

SAF MADDENİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

a) Buharlaşma Isısı :

Su sabit bir basınçta ısıtılırsa sıcaklığı yükselir ve özgül hacmi artar. Sıcaklık T_s gibi bir değere ulaştığında, kaynamaya (buharlaşmaya) başlar. Isıtma sürdürüldüğünde, tüm sıvı buhar haline gelinceye kadar sıcaklık değişmez, ancak özgül hacmi yükselir yükselme,

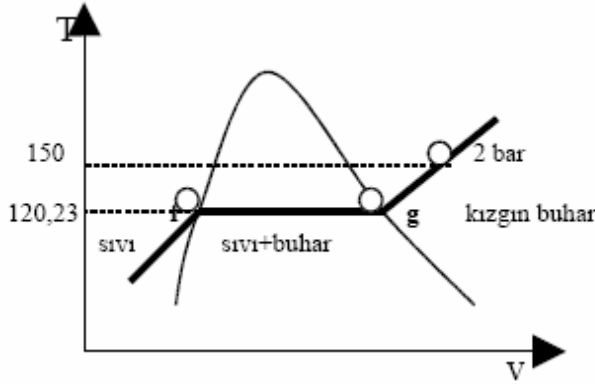
$$\Delta V = V_f - V_g$$

kadar olur (Şekil 116).

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

$$hf_g = h_g - h_f$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada h_g , doymuş buharın entalpisi (kJ/kg), h_f doymuş sıvının entalpisidir (kJ/kg).



Şekil 1.16. Suya ait 2 bar basınç ve 150 °C 'taki T-v diyagramı

b) Kuruluk Derecesi :

Buharlaşma sırasında suyun bir bölümü sıvı fazında, diğer bölümü ise buhar fazındadır. Bu karışım durumunda buhar kütesinin toplam kütle oranına **kuruluk derecesi** denir ve x ile gösterilir ve,

$$x = m_g / m_t$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada toplam kütle,

$$m_t = m_f + m_g$$

şeklinde,

rutubet derecesi ise, $1-x$ şeklinde tanımlanır.

Islak buhar, P basıncı, t_s sıcaklığı ve x kuruluk derecesi ile tanımlanır. Bu durumda ıslak buharın özgül hacim ifadesi,

$$v_x = v_f + x(v_g - v_f),$$

şeklinde,

entalpi ifadesi ise,

$$h_x = h_f + xh_g$$

şeklindedir.

c) Diğer özellikler:

Saf maddelerin önemli özelliklerinden olan sabit basınçta özgül ısı kapasitesi ve sabit hacimde özgül ısı kapasitesi değerleri,

$$C_p = \left(\frac{\delta h}{\delta T} \right)_p, \quad C_v = \left(\frac{\delta u}{\delta T} \right)_v$$

ifadelerinden faydalanarak belirlenir. Ayrıca özgül ısılarla sıkıştırılabilirlik değerleri arasında

$$C_p - C_v = \frac{Tv\beta^2}{K}$$

bağıntısı vardır. Burada, T sıcaklık, v hacim terimleridir.

K sabit sıcaklık ya da **izotermal sıkıştırılabilirlik** değeri ile, β sabit basınç ya da **izobarik sıkıştırılabilirlik**, değerleri ise, ayrıca aşağıdaki ifadelerle temsil edilmektedir.

$$\left(K = \frac{-1}{v} \left(\frac{\delta v}{\delta P} \right)_T \right), \beta \quad \left(\beta = \frac{1}{v} \left(\frac{\delta v}{\delta T} \right)_P \right) \text{ dir.}$$

d) Kızgın buhar:

Buhar, verilen bir basınçta doymuş buhar sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılırsa, **kızgın buhar** olarak tanımlanır. 1 kg kuru buharı, sabit bir basınçta, gerekli sıcaklığa yükseltmek için verilen ısıya, **kızdırma ısı** denir. Kuru buhara sabit basınçtaki kızdırma sırasında verilen ısı

$$q_p = C_{pm} \cdot (t_s - t_g)$$

şeklinde dir. Burada C_{pm} kızgın buharın t_g 'den t_s 'ye olan sıcaklık aralığındaki ortalama ısı kapasitesidir.

Kızdırma ısı buhara sabit basınçta verildiğinden, entalpi için;

$$h = h_f + h_{fg} + C_{pm} \Delta t$$

bağıntısı yazılabilir. Şekil 1.16 'te 2 bar basınç ve 150°C 'de suyun özelliklerini belirleyen T-v grafiği verilmiştir.

PROBLEM 1.1: 1 m^3 hacimli bir depoda 200°C sıcaklıkta ıslak su buharı bulunmaktadır. Suyun kapladığı hacim kap hacminin %2 si olduğuna göre, kuruluk derecesi nedir?

ÇÖZÜM: $V = 1\text{ m}^3$, $V_s = 0,02\text{ m}^3$ tür. $V_g = V - V_s = 1 - 0,02 = 0,98\text{ m}^3$ bulunur. $t = 200^\circ\text{C}$ için doymuş buhar çizelgesinden $v_s = 0,001157\text{ m}^3/\text{kg}$, $v_g = 0,12736\text{ m}^3/\text{kg}$ alınır. Buna göre sıvı kütlesi; $m_s = V_s / v_s = (0,02) / (0,001157) = 17,286\text{ kg}$, buhar kütlesi ise $m_g = V_g / v_g = (0,98) / (0,12736) = 7,6947\text{ kg}$ bulunur. Buradan da kuruluk derecesi $x = m_g / m_t = (0,6947) / (17,286 + 7,6947) = 0,308$ olarak bulunur.

PROBLEM 1.2: 0°C -deki sudan, 2400 kJ/kg ısı harcanarak, 15 bar basıncında buhar elde edilmiştir. Buharın durumunu belirleyiniz.

ÇÖZÜM: 0°C deki suyun entalpisi $h_0=0 \text{ kJ/kg}$ kabul edilirse, üretilen buharın entalpisi $h=2400 \text{ kJ/kg}$ olacaktır. Doymuş buhar basınç çizelgesinden 15 bar basınçtaki kuru doymuş buharın entalpisi $h_g=2792,2 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur. $h_g>h$ olduğundan buhar ıslaktır. $h_x=h_f+hf_gx$ bağıntısından $x=(h_x-h_f)/hf_g=0,798$ bulunur.

PROBLEM 1.3: Basıncı 10 Mpa , sıcaklığı 450°C olan H_2O nun sabit basınç özgül ısısı ile sabit basınç sıkışabilirlik değerlerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM: Kızgın buhar çizelgesinden 10 Mpa basınçta, 400°C , 450°C ve 500°C deki özgül hacim ve entalpiler; $V_{400}=0,02641 \text{ m}^3/\text{kg}$, $V_{500}=0,03279 \text{ m}^3/\text{kg}$, $V_{450}=0,02975 \text{ m}^3/\text{kg}$, $h_{400}=3096,5 \text{ kJ/kg}$, $h_{500}=3373,7 \text{ kJ/kg}$ bulunur. Bu durumda özgül ısı;

1.7. Gaz Yasaları ve İdeal Gaz Yasası

Gaz, maddenin üç faz halinden biridir;bu halde iken maddenin yoğunluğu çok az, akışkanlığı ise son derece fazladır. Gaz halindeki maddelerin belirli bir şekli ve hacmi yoktur.Katı bir madde ısıtıldığı zaman, katı halden sıvı, sıvı halden de gaz haline geçer. Bu duruma **faz değişikliği** denir. Sıvıyı meydana getiren tanecikler (atom veya moleküller) birbirlerini çeker. Sıvı ısıtıldığı zaman, tanecikler arasındaki çekim kuvveti zayıflar ve tanecikler sıvı fazdan ayrılarak gaz haline dönüşürler. Gazı meydana getiren tanecikler her yönde hareket edebilir ve buldukları kabın halini alırlar. Mesela hava bir gaz karışımıdır ve azot, oksijen, çok az miktarda asal gazlar ve karbondioksitten meydana gelmiştir. Gazlar birbiriyle her oranda karışabilir. Gazların birbiri ile oluşturdukları karışımlar homojendir. Hacimleri, dolayısıyla yoğunlukları basınç ve sıcaklığa tabidir.

Genellikle gazın basınç veya sıcaklığının az miktarda değişmesi, gazın hacminde çok büyük değişiklikler meydana getirir. Bütün ideal gazların genişleme ve sıkışma katsayıları aynıdır (sıvı ve katıların böyle bir özelliği yoktur). Bu yüzden ki, gazlar, katı ve sıvılardan daha kolay incelenir. Hareket halindeki gaz moleküllerinin (taneciklerinin), bulunduğu kabın duvarlarına çarpması sonucu meydana gelen etkiye, gazın basıncı denir. Bir silindir içindeki gaz, piston ile sıkıştırılırsa pistonun geri itildiği, ilk haline dön-

dürülmek istendiği görülür ki, bu yukarıdaki olayın sonucudur. Pistonu ittir-
mek için yapılan iş, gazın basıncına karşı yapılan iştir.

İzole, halde yani çevreden termal olarak yalıtılmış bir gaz, sıkıştırılınca ısınır. Sıkıştırılmış gaz genişletilirse soğur ve çevreye bir iş yapar ve bu esnada gaz moleküllerinin ortalama hızları düşer. Böylece basınç da azalmış olur. Torricelli, hava ile deneyler yaptı ve atmosfer basıncını keşfetti. 1643'te ilk cıva barometresini yaptı. Pascal ise, yüksek yerlerdeki hava basıncının deniz seviyesindekinden daha düşük olduğunu gösterdi. Otto von Guericke de, birbiri ile birleştirilmiş ve içindeki havası boşaltılmış iki yarım kürenin birbirinden ayrılması ile ilgili deneyi yaptı. Bu deneyde yarım küreleri birbirinden ayırmak için sekiz çift (16 tane) at kullanıldı.

GENEL GAZ YASASI

Gaz yasaları, sıcaklık (T), basınç (P) ve hacim (V) gibi termodinamik değişkenlerin aralarındaki ilişkileri açıklayan bir takım kanunlardır. Rönesans'ın son dönemleriyle 19. yüzyıl arasındaki dönemde bulunmuş yasalardan oluşur (Boyle yasası -1662, Charles yasası -1787-1802 ve Gay-Lussac yasası -1809). Bu yasaların kombinasyonu neticesinde, aşağıdaki genel gaz yasası oluşmuştur :

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

Daha sonra Avogadro yasasının da eklenmesiyle ideal gaz yasası ortaya çıkmıştır.

İDEAL GAZ YASASI

İdeal gazlar, moleküllerinin öz hacimlerinin , moleküllerin serbestçe dolaştıkları tüm hacime oranı çok küçük olan (yani tüm hacim yanında ihmal edilebilecek kadar küçük kalan) ve moleküllerinin arasında çekme ve itme kuvvetlerinin bulunmadığı farz edilen gazlardır. Gerçek durum ele alındığında, hiçbir gaz ideal değildir; ancak gazların çoğu düşük basınç ve yüksek sıcaklıklarda ideal gaz modeline çok yaklaşırlar.

İdeal gaz tanımı ve kabulü gazlarla ilgili temel denklemleri oluşturabilmek ve matematiksel formülasyona gidebilmek için yapılmıştır.

Bir gazın durumu; basıncı, hacmi ve sıcaklığına göre belli olur.

İdeal yasa ile ilgili olan denklem aşağıdaki gibidir:

$$PV = nRT$$

Burada,

- 1 P paskal olarak basınç,
- 2 V kübik metre olarak hacim,
- 3 n gazın mol sayısı,
- 4 R ideal gaz sabiti (8.3145 J/(mol K))
- 5 T de Kelvin olarak sıcaklıktır.

İdeal gaz sabiti kullanılan birimlere göre değişir; yukarda verilen ($R=8.3145$), değer SI birimleri için, yani **paskal-kübik metre-molar-kelvin** için hesaplanmıştır.

Mol sayısı (n), kütle (m) molar kütle (M) bölünmesine eşit olduğuna göre; yani

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

ifadesi yukarıda yerine konduğunda,

$$pV = \frac{mRT}{M}$$

ifadesi elde edilir.

Bu değerlerin birim başına düşen kütle halinde verilmek istenmesi halinde ise spesifik gaz sabiti (r), gaz sabitinin (R) molar kütle (M) bölünmesi gerekmektedir:

$$r = \frac{R}{M} \quad R = rM$$

Bu durumda, yukardaki formüle r eklendiğinde, aşağıdaki ifadeler ortaya çıkar:

$$pV = mrT \text{ veya } pV = nrMT$$

Yoğunluk (ρ) kütle hacme oranı olduğundan, hacim kütleyle yer değiştirirse

$$V = g/\rho$$

şeklinde, benzer bir formül yazılabilir.

Bu yasaların tam olarak geçerli olduğu tüm gazlara, ideal gaz denir. İdeal gaz yasası, en çok monatomik gazlar için geçerlidir ve yüksek sıcaklık, alçak basınçlarda daha iyi sonuçlar verir. Gaz molekülünün boyutunu ya da moleküller arası bağları da dikkate alan van der Waals denklemi daha iyi sonuçlar vermektedir.

BOYLE MARIÖTTE YASASI

Boyle yasasına göre, sıcaklıklar sabit tutulduğu sürece, belirli ölçüde alınan bir ideal gazın hacmiyle basıncının çarpımı sabittir ve

$$PV = \text{sabit}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, P paskal olarak basınç, V - kübik metre olarak hacim.

Basınç ve hacmin çarpımı k sabitinin değeri olur. Bu noktada, tam doğru olmamakla birlikte, sabit sıcaklıkta V olan hacim arttırıldığında, P olan basınç da bu arttmaya oranla azalır. Tam tersi de aynı şekilde geçerlidir; gazın hacmi düşürüldüğünde, basıncı artar.

Yukarıdaki denkleme göre, herhangi bir gazın (sıcaklığı sabit tutulmak şartıyla), önceki ve sonraki hacim-basınç ilişkisi için,

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

ifadesi kullanılmaktadır.

CHARLES -GAY-LUSSAC YASASI

Bu yasayı ifade eden, aşağıdaki denklem uyarınca, sabit basınçta, herhangi bir miktardaki ideal gazın hacminin azalıp çoğalması, aynı oranda sıcaklığının da azalıp çoğalması sonucunu ortaya koyar.

$$\frac{V}{T} = \text{Sabit}$$

Bu ifadede, T - de sıcaklık (Kelvin olarak), V - hacim (kübik metre olarak),

Bir gaz, sabit basınçta ısıtılırken, k sabitini elde etmek için hacim artmalıdır. Aynı şekilde gaz, sabit basınçta soğutulurken, hacim azalmalıdır.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{or} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \text{or} \quad V_1T_2 = V_2T_1$$

GAY-LUSSAC YASASI

Aşağıdaki ifade ile temsil edildiği üzere ,belirli bir miktardaki ideal gazın basıncının, kelvin ölçeğindeki sıcaklığına oranı sabit bir sayıdır ve,

$$\frac{P}{T} = \text{Sabit}$$

şeklinde ifade edilir. Burada, P basınç (paskal olarak) T sıcaklık (Kelvin olarak)

Bir maddenin ortalama kinetik enerjisi sıcaklık ile yakından ilgilidir; maddenin sıcaklığı arttığında kinetik enerjisinin de arttığı söylenebilir. Bu durumda, gaz molekülleri, gazın bulunduğu kabın duvarlarıyla daha çok çarpışacağından, daha çok basınç uygularlar.

Charles yasasında olduğu gibi, aynı maddenin farklı durumlardaki hallerini karşılaştırmak için, yasa aşağıdaki gibi de yazılabilir:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{yada} \quad P_1 T_2 = P_2 T_1$$

Charles yasası, Boyle yasası ve Gay-Lussac yasası, birlikte toplam gaz yasası'nı ortaya koyarlar. Bu yasaya bir de Avogadro yasası'nın eklenmesi ile, konunun başında verilen ideal gaz yasası ortaya çıkar.

AVOGADRO YASASI

Bu yasa, eşit hacimdeki ve eşit sıcaklıklardaki gazlarda, aynı sayıda parçacık ya da molekül olduğunu öne sürer. Örnek olarak, aynı hacimdeki hidrojen ve azot verilebilir. Buna göre, hidrojen ve azot aynı molekül sayısına sahiptir.

Bu yasanın bir kısmı, matematiksel olarak şöyle gösterilebilir:

$$\frac{V}{n} = a$$

- V hacim(küçük metre olarak)
- n gazın mol sayısı,
- a bir sabit.

Ancak yukarıdaki ifade, sadece homojen maddeler için geçerlidir(buna homojen sıvılar ve katılar da dahildir).

Avogadro yasasının en önemli sonucu, yasadaki ideal gaz sabitinin, aşağıdaki ifadede olduğu gibi, bütün gazlar için aynı olduğunun bulunmasıdır:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot n_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2 \cdot n_2} = \text{const}$$

- P basınç (paskal olarak)
- T de sıcaklık (Kelvin olarak)

Yukardaki ifadeye göre, bütün gazlar için bu sabit eşittir. Yani gazın boyutunun ya da kütesinin değeri bu sabitin değerini değiştirmez.

Standart durumda, bir mol ideal gaz, 22.4 litre (dm^3) yer kaplar. Bu değer, genellikle *molar hacim* olarak kullanılır. Gerçek gazlar, bu değere bire bir uymaz.

Bir moldeki molekül sayısı olan Avogadro sayısı, yaklaşık olarak mol başına 6.02×10^{23} parçadır. *Yukarıda kullanılan birimler SI birimleridir. Yasa, her birimle çalışmaktadır, ancak gaz sabiti buna göre çevrilmeli ve sıcaklığın da mutlak sıfırda tam sıfır olduğu bir sistem kullanılmalıdır.*

MOL ORANTI YASASI

Basınç ve sıcaklık sabit tutulmak şartıyla bu yasa, aşağıda verildiği üzere, hacim V ve mol sayısı n değerlerinin birbirleriyle doğru orantılı olduğunu açıklar.

$$(V_2/V_1) = (n_2/n_1) = \text{Sabit}$$

VAN DER WAALS DENKLEMİ

Genel gaz denklemi hacim, basınç ve sıcaklık gibi değişkenler arasında ilişki kuran ve bu değişikliklerle ilgili yasaları özetleyen bir ifade olduğuna göre, yalnız ideal gazlar için geçerlidir.

$$PV = nRT$$

olduğuna göre, 1 mol gaz için $PV/RT = 1$ olur.

Van der Waals denklemi ve diğer gaz yasaları, ideal gaz yasalarının yapamadığını yapıp, gerçekte gazların hareketlerini belirlemeye çalışır.

1.8.Genel Uygulamalar

PROBLEM 1.4: *Bir elektrik motoru mekanik iş olarak saniyede 15 kJ elektrik üretirken, çevreye 2 kJ ısı yaymaktadır. Elektrik motorundaki iç enerji değişimi ne kadardır?*

ÇÖZÜM: Eğer elektrik motoru saniyede 15 kJ mekanik iş ve 2 kJ çevreye ısı yayıyorsa saniyedeki iç enerji değişimi, $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$ ifadesinden yararlanarak, yukarıdaki değerler işaretlerine dikkat edilerek yerlerine konarak, $\Delta U = -2 \text{ kJ} - 15 \text{ kJ}$, $\Delta U = -17 \text{ kJ}$ elde edilir.

PROBLEM 1.5 : *50 g demir aşırı HCl ile tepkime veriyor.*

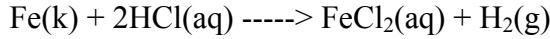
(a) Kabın hacmi sabit ise, (b) 25 ° C de açık bir kapta ise, yapılan iş ne kadardır?

ÇÖZÜM:

(a) Hacim değişmeyeceğinden $dV = 0$ dır. Bu nedenle **iş yapılmaz.**

(b) Hacim değişiminin nedeni reaksiyondan kaynaklanacaktır.

Demir HCl arasındaki tepkime



olduğundan

$$\Delta V = V_s - V_i \approx \Delta nRT/P_{\text{dış}}$$

$$W = -P_{\text{dış}}\Delta V \approx -P_{\text{dış}}(\Delta nRT/P_{\text{dış}})$$

$$W \approx - (50 \text{ g} / 55.85 \text{ g mol}^{-1}) \times (8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (298 \text{ K})$$

$$W = - 2.2 \text{ kJ}$$

PROBLEM 1.6 : *10 L hacim ve 5 atm. basınçtaki gaz 25 °C de ;*

(a) 2 atmosfer dış basınca karşı 2 kat

(b) izotermal tersinir olarak 2 kat

genişliyor. herbir durum için iş büyüklüğünü belirleyerek birbiri ile karşılaştırınız.

ÇÖZÜM :

(a) Hacim değişimi;

$$\Delta V = V_s - V_i = 20 \text{ L} - 10 \text{ L} = 10 \text{ L}$$

yapılan iş

$$W = - P_{\text{dış}}\Delta V$$

$$W = - (2 \text{ atm.}) \times (10 \text{ L}) = - 20 \text{ atm. L.}$$

veya

$$W = -20 \text{ atm. L.} = -20 \text{ atm. L.} \times (8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) / (0.082 \text{ atm. L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) = W = - 2028 \text{ J}$$

(b) İzotermal ve tersinir genişleme için öncelikle gazın mol sayısı bulunmalıdır.

$$n = PV/RT = (5 \text{ atm.}) \times (10 \text{ L}) / [(0.082 \text{ atm. L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (298 \text{ K})] = 2.046 \text{ mol}$$

Gazın yapacağı iş;

$$W = - nRT \ln(V_s/V_i)$$

$$W = - (2.046 \text{ mol}) \times (8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (298 \text{ K}) \times \ln[(20 \text{ L}) / (10 \text{ L})] = W = -3514 \text{ J}$$

PROBLEM 1.7 : *CaCO₃ in argonit formundan kalsit formuna dönüşümü için iç enerji değişimi + 0.21 KJ/mol-dür. Katıların yoğunları sırasıyla 2.71 ve 2.93 g cm⁻³ olduğuna göre 1.0 bar basınçtaki entalpi değişimi ne kadardır?*

ÇÖZÜM: Dönüşüm için entalpi değişimi;

$$\Delta H = H_a - H_k$$

$$\Delta H = (U_a + PV_a) - (U_k + PV_k)$$

$$\Delta H = \Delta U + P(V_a - V_k)$$

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$$

1.0 mol 100 g argonit hacmi 34 ve kalsit hacmi 37 cm³ tür.

Böylece;

$$P \cdot \Delta V = (1.0 \times 10^5 \text{ Pa}) \cdot [(34-37) \times 10^{-6} \text{ m}^3] = -0.3 \text{ J} = -3 \times 10^{-4} \text{ kJ}$$

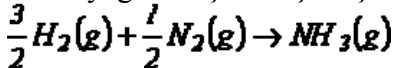
$$\Delta H = (0.21 \text{ kJ}) + (-3 \times 10^{-4} \text{ kJ})$$

$$\Delta H = 0.2097 \text{ kJ}$$

PROBLEM 1.8: *Bir mol amonyağın elementlerinden oluşumuna ilişkin entalpi değişimi 298K de -46.1 kJ dür. İç enerji değişimi ne kadardır?*

ÇÖZÜM:

Amonyağın oluşumu için eşitliği,



yazarsak, gaz fazındaki mol sayısı değişimini

$$\Delta n = n_{\text{NH}_3} - (n_{\text{H}_2} + n_{\text{N}_2})$$

yazabiliriz. Böylece iç enerji değişimi için;

$$\Delta U = \Delta H - \Delta nRT$$

$$\Delta U = -46.1 \text{ kJ} - (-1.00 \text{ mol}) \times (8.314 \times 10^{-3} \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (298 \text{ K})$$

$$\Delta U = -43.6 \text{ kJ elde edilir.}$$

PROBLEM 1.9 : *Bir su tankı 10 °C sıcaklıkta 20 kg su ihtiva etmektedir. Sıcaklığı 800 °C olan 2 kg ağırlığındaki bir demir bu tanktaki suyun içerisine konuyor. Termik denge kurulduğunda sistemin (demir+su) sıcaklığı ne olur? Suyun ve demirin özgül ısınma ısıları: $C_{su}=1\text{kcal/kg.}^{\circ}\text{C}$ $C_{demir}=0,11\text{kcal/kg.}^{\circ}\text{C}$*

ÇÖZÜM:

Termik denge kurulduğunda

$$\text{alınan ısı} = \text{verilen ısı}$$

olduğuna göre;

$$m_1 \cdot C_1 \cdot (T-T_1) = m_2 \cdot C_2 \cdot (T-T_2)$$

$$20 \cdot 1 \cdot (T-10) = 2 \cdot 0,11 \cdot (T-800) \text{ ifadesinden,}$$

$$T=18,595^{\circ}\text{C bulunur.}$$

PROBLEM 1.10: *Her biri 40 dm³ olan ve sırasıyla Cm² başına 120-160-200 kg basınçta oksijen bulunduran üç adet sanayi tüpü paralel birleştiriliyor, ortak bir manometre bağlanıyor ve ventilleri açılıyor. Manometre basıncını bulunuz.*

ÇÖZÜM:

Sabit sıcaklıktaki hal değişimi için ,

$P_1 V_1 = P V_1$ ($V_1 = V_2 = V_3 = V$ olsun) Bu ifadeleri yardımı ile

$$P_2 V_2 = P V_2 \quad (P_{\text{man}} = P - P_{\text{atm}})$$

$$P_3 V_3 = P V_3$$

taraf tarafa toplanarak

$$P = (P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3) / (V_1 + V_2 + V_3) \quad (1)$$

$$V_1 + V_2 + V_3 = 3 V \text{ ve}$$

$$P = (P_1 + P_2 + P_3) / 3 \rightarrow P = (P_1 + P_2 + P_3) / 3, (2), \text{ yazılabilir.}$$

$$P_1 = P_{\text{atm}} + P_{\text{man1}} \rightarrow P_{\text{man1}} = 120 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = P_{\text{atm}} + P_{\text{man2}} \rightarrow P_{\text{man2}} = 160 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_3 = P_{\text{atm}} + P_{\text{man3}} \rightarrow P_{\text{man3}} = 200 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$P_{\text{atm}} = 10^4 \text{ kg/m}^2$ alınmaktadır. O halde,

$$P_1 = 10^4 + 120 \cdot 10^4 = 121 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = 10^4 + 160 \cdot 10^4 = 161 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$P_3 = 10^4 + 200 \cdot 10^4 = 201 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

(2) ifadesinden , $P = 121 \cdot 10^4 + 161 \cdot 10^4 + 201 \cdot 10^4 / 3$

$$P = 161 \cdot 10^4$$

$P = P_{\text{atm}} + P_{\text{man}}$ olduğuna göre,

$$P_{\text{man.}} = P - P_{\text{atm}} = 161 \cdot 10^4 - 10^4$$

$$\mathbf{P_{\text{man}} = 160 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2 \text{ bulunur.}}$$

ÜNİTE SORULARI – I

1. Termodinamik ve termodinamik sistemi tanımlayınız.
2. Isı, sıcaklık ve enerji kavramlarını, birbirinden farklılıklarını ve birbirleri ile ilişkilerini de vurgulayarak tanımlayınız.
3. Sıvılaşma ve katılaşma üzerinde etkili olan faktörleri açıklayınız.
4. Basınç ile iş arasındaki ilişkiyi termodinamik sistemi ve değişkenleri kullanarak izah ediniz.
5. Saf maddeyi tanımlayınız ve su için olan P-T diyagramı üzerinde faz, faz sınırları ve üçlü nokta kavramlarına açıklık getiriniz.
6. Saf madde olarak su örneğini kullanarak doymuş sıvı, doymuş buhar, ıslak buhar ve ıslak buharın özgül hacim kavramlarını açıklayınız.
7. Saf madde olarak su örneğini kullanarak ve kuruluk derecesi ,rutubet derecesi ve ıslak buharın özgül entalpisi kavramlarını açıklayınız.
8. İdeal gaz yasasını yazınız ve ideal gaz yasasının oluşmasında rolü olan Boyle Mariotte yasasının yerini belirleyiniz.
9. İdeal gaz yasasını yazınız ve ideal gaz yasasının oluşmasında rolü olan Gay Lussac yasasının yerini belirleyiniz.
10. İdeal gaz yasasını yazınız ve ideal gaz yasasının oluşmasında rolü olan Avogadro yasasının yerini belirleyiniz.

BÖLÜM II

TERMODİNAMİĞİN SIFIRINCI YASASI

1930'lardan sonra, diğer yasalardan bağımsız olduğu anlaşılınca “sıfır-
rncı yasa” adı verilmiştir.

Termodinamikte ,birbiri ile temas halinde olan sistemlerde sıcaklığı yüksek olandan, düşük olana doğru kendiliğinden bir ısı akışı olur ve sis-
temlerin sıcaklıkları birbirine eşit olana kadar aralarındaki ısı akışı devam
eder; aynı sıcaklığa eriştiklerinde bu sistemler, termal denge halindedirler.

İşte, *sıfırncı yasaya göre, eğer sıcaklıkları itibariyle termal dengede
bulunan bu sistemlerden herhangi birisi üçüncü bir sistemle termal denge
halinde ise,üçüncü sistem önceki sistemlerle de termal dengededir, denir*

Sıfırncı yasa sıcaklık ve termal dengeyle ilgilidir. **Termal denge** , ısı
alışverişinde bulunabilecek durumda bulunan (Termal temas) iki veya daha
fazla sistemin sıcaktan soğuğa doğru olan enerji akışının kesilmesiyle kuru-
lan bir denge hali olarak ta tarif edilebilir. Eğer iki sistem arasında, bir iş
ortaya konulmaksızın, enerji alışverişi meydana geliyorsa,bu iki sistemin
termal temasta olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Termodinamiğin sıfırncı yasasına göre, sıcaklık, bir sistemin diğer
sistemlerle termal dengede olup olmadığını belirleyen bir özellik olarak ta
kabul edilebilir. Bu nedenle, şayet iki sistem birbiriyle termal dengede ise,
bu iki sistemin sıcaklığının aynı olduğu ve sıcaklıkları farklı iki sistemin
birbirleriyle termal dengede olamayacağı söylenebilir. Termometreler bu
yasaya göre çalışmaktadır. Termometreler buldukları sistemin bir parçası
olduklarından sistemle termal denge içindedir. Yani sistemin sıcaklığına
sahiptir. Bundan sonra sisteme verilen veya çekilen ısıdan termometre direkt
olarak etkilenir ve ortamın yeni sıcaklığını gösterir.

ÜNİTE SORULARI –II

1. Termodinamiğin sıfırncı yasasının esası nedir.
2. Termal denge nedir ve sıcaklık ile termal denge arasında nasıl bir ilişki
vardır.
3. Termometre nedir, sıfırncı yasa ile olan ilgisini izah ediniz.

BÖLÜM III

TERMODİNAMIĞİN BİRİNCİ YASASI

Termodinamiğin birinci yasası **enerjinin korunumu** yasasıdır. Termodinamiğin birinci yasasına göre, enerji yok edilemez, ancak şekil değiştirebilir. İnsanoğlu bundan faydalanarak ısıyı, hareket ediyor ve cisimleri hareket ettiriyor (enerji dönüşümleri). Buhar makineleri, diğer ısı üretim makineleri ve yakıtlı motorlar hepsi bu yasanın kuralları içerisinde, enerjinin işe dönüştürülmesinden faydalanarak çalışmaktadırlar.

Bu yasa belki de fizik yasalarının etki alanı en geniş olanıdır. Ayrıca, bu yasaya göre, yaşam kaynağımız olan güneşteki mevcut enerji, belki de bir gün tükenecek ve insanoğlunun yaşamı kendiliğinden sönecektir. Bilim adamlarının yaptıkları hesaplamalara göre, güneş yaklaşık 4,6 milyar yıl yaşındadır, ancak 5 milyar yıllık enerjisi kalmıştır. Beş milyar yıl çok uzun bir süredir, ancak muhakkak ki sonludur.

3.1. Entalpi

Entalpi, sabit bir dış basınca karşı, dıştan verilen ısının sonucunda, hacim değişmesi sonucunda sistemin ortaya koyduğu iş için kullanılacaktır. Bu nedenle böyle bir sistemde verilen ısı miktarı ile sistemin iç enerjisi arasında $dU < dq$ ilişkisi söz konusu olacaktır. İşte, sabit bir dış basınca karşı hacim değişmesi ile temsil edilen bu süreçte harcanan enerji ile ilişkili olan bir başka termodinamik özellik, **H** sembolü ile temsil edilen **Entalpi**-dir. Böyle bir değişime ait entalpi değeri,

$$H = U + PV$$

şeklinde ifade edilir Burada U terimi iç enerjiyi temsil etmektedir. Birim kütle için entalpi ifadesi ise,

$$h = u + P.v$$

olarak yazılmaktadır. Termodinamiğin birinci yasasına göre yukarıdaki ifade,

$$dq = dh - v.dP$$

şeklinde yazılıp, sabit basınç (izobarik) için, $dP=0$ olduğundan, $dq=dh$ olur. Yani, **“sabit basınçta sisteme verilen ısı, sistemin entalpi değişimine eşittir”**

Örneğin, açık bir kap içerisindeki suya elektrikli bir ısıtıcı daldırılmış ve 36 KJ luk bir enerji verilmişse, suyun entalpisi 36 KJ artmıştır ($\Delta H = +36 \text{ KJ}$) diyebiliriz.

Şayet gaz ideal ise; bir reaksiyondaki entalpi değişimi,

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n RT$$

şeklinde ifade edilebilir.

İdeal gazlarda sabit basınç veya sabit hacimdeki hesaplamaların her-biri için farklı bir özgül ısı değeri vardır. Örneğin, sabit basınçtaki sistemde dq kadarlık bir ısı farklılığı meydana gelirken, sıcaklık artışı ΔT kadar değişmişse sistemin özgül ısısı için;

$$C_p = dq /dT$$

yazılabilir. Bu ifadenin açılımı yapıldığında,

$$\int_{H_1}^{H_2} dH = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

ifadesi ortaya çıkar.

Görüldüğü üzere, ideal gazlar için entalpi sadece sıcaklığa bağlıdır. Aynı şekilde, iç enerjinin de,

$$u=f(T)$$

şeklinde, sadece sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu şimdiden bilinmelidir.

Yine, ideal gazlarda sabit basınçtaki özgül ısı ile sabit hacimdeki özgül ısı arasındaki

$$C_p - C_v = R$$

önemli **Mayer Bağıntısı** entalpinin tanımını yardımıyla geliştirilmiştir.

3.2. İç Enerji

Bir sistemin moleküler yapısı ve moleküler hareketliliği ile ilgili enerjilerinin tümüne veya herhangi bir işlem sonucu, bir sistem içinde depo edilen enerjiye **iç enerji** denir ve U ile gösterilir. Bütün maddeler kimyasal ve moleküler yapılarında iç enerji ihtiva ederler.

Önemli Hatırlatma:

İdeal gazlar için iç enerji sadece sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir, yani **iç enerji değişimi yalnızca sıcaklığın bir fonksiyonudur.**

Bir sisteme dq kadarlık ısı verdiğimizizi veya bir reaksiyon sonucu dq kadarlık ısı açığa çıktığını varsayalım. Bu ısı karşılığında sistemin sıcaklığında dT kadarlık bir değişim gerçekleştiğine göre, dT ile dq arasında,

$$dq = C_v dT$$

şeklinde doğrusal bir ilişki vardır. C_v : Sabit hacimde ısı kapasitesi

İşte, sistemde sabit hacimde meydana gelen bu değişime, **iç enerji değişimi** denir ve,

$$\int_{U_1}^{U_2} dU = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT$$

ifadesi ile, veya,

$$U_2 - U_1 = C_v (T_2 - T_1)$$

ifadesi ile temsil edilir.

Bir sistemin belirli iki hali arasındaki iç enerji farkını tespit etmek için sisteme ısı veya iş şeklinde verilen / alınan enerji değerlerini bilmek ve bu değerleri, *işaretleri ile birlikte* aşağıda verilen ifadede yerine koymak gerekir.

$$\Delta U = \Delta W + \Delta Q$$

Yukarıdaki eşitlik **Termodinamiğin Birinci Yasasının**, aynı zamanda matematiksel bir ifadesidir (Bu eşitlik bize izole bir sistemde iç enerjinin sabit olacağını da gösterir).

Kapalı bir sistemde iç enerji değişimi, sisteme veya sistemden transfer olan ısı ya da iş büyüklüğünün, işaretleri ile birlikte toplamına eşittir. Başka bir deyişle, bir sistemin iki hali arasındaki iç enerji değişimi, sisteme dahil olan enerjilerle sistemden ayrılan enerjilerin farkına eşit olur.

Önemli Not:

Hesaplamalar sırasında,

İş ya da ısı sisteme transfer ediliyorsa işaretleri pozitif (+) ,

İş ya da ısı sistemden çevreye transfer ediliyorsa işaretleri negatif (-) alınrlar.

Adyobatik bir sistemde (ısı alışverişinin olmadığı yani, $\Delta Q=0$), hal değişimi bir **1** halinden, bir **2** haline ulaşırken W_{ad} işinin yapıldığını düşünelim.

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \Delta Q + W_{Ad.}$$

ifadesinden,

$$\Delta U = U_2 - U_1 = W_{Ad.}$$

olur. Bu eşitlik, adyabatik bir sistemde transfer olan iş miktarının hesaplanabilmesi için iki durum arasındaki iç enerji farkını bulmamızın yeterli olduğunu ifade etmektedir.

Adyabatik bir sistemde işin herhangi bir türü (mekanik veya elektriksel) kullanılarak ve farklı ara durumlardan (örneğin farklı sıcaklık ve basınçlardan) geçerek 1 halinden 2 haline ulaştığını düşünelim. Eğer termodinamiğin birinci yasasını bilmiyorsak, iş için W_{ad} (mekanik) veya W_{ad} (elektriksel) yazma ihtiyacını hissedebiliriz.

Kapalı bir sistemde cereyan eden bir çevrimde iş ve ısı değerleri arasındaki fark

$$\delta Q - \delta W = dE$$

diferansiyeli ile ifade edilir. Burada ilk iki terim eğri fonksiyonu, üçüncü terim nokta fonksiyonudur. Bu durumda, **termodinamiğin birinci yasası**;

$$\delta Q = dU + d(E_k) + d(E_p) + \delta W$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu, şu anlama gelir:

Bir sistem termodinamik durum değişikliğine uğradığında enerji ısı veya iş olarak sistemin sınırlarını geçebilir, ısı ve iş pozitif veya negatif olabilir, sistemin sahip olduğu enerjideki net değişme tam olarak sistemin sınırlarını geçen net enerjiye eşittir.

BİRİNCİ YASAYA GÖRE FARKLI ŞARTLARDA İÇ ENERJİ DEĞİŞİMİ :

- a) **Aynı Isıda (adyabatik) Değişme:** Bir sistemle çevresi arasında ısı alış-verişi olmuyorsa, yani; $\Delta Q = 0$ ise bu şekilde meydana gelen değişmeye “**adyabatik değişme**,” denir.

Termodinamiğin 1.yasası böyle bir sürece uygulandığında,

$$\begin{aligned}\Delta U &= U_2 - U_1 = \Delta Q - \Delta W \\ \Delta U &= U_2 - U_1 = -\Delta W \text{ olur.}\end{aligned}$$

Bu sonuçtan görüldüğü gibi gaz adyabatik olarak genişirse W pozitif olur. Dolayısıyla ΔU 'nun değerinde negatif olur ve gazın sıcaklığı düşer. Ters bir işlemde, yani bir gaz adyabatik olarak sıkıştırılırsa gazın sıcaklığı artar.

Adyobatik işlemler mühendislik uygulamasında çok önemlidir.İçten yanmalı bir motorda sıcak gazın genleşmesi,soğutma sistemlerinde gazların sıvılaşması ve dizel motorlarda sıkıştırma vuruşu adyobatik işlemlere gösterilebilecek örneklerden bazılarıdır.

- b) Aynı Hacimde Değişme:** Sabit hacim altında meydana gelen değişimde hiçbir iş yapılmaz;çünkü,işi temsil eden,

$$W = P \cdot \Delta V$$

ifadesindeki

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

terimi sıfır değerindedir. Bu nedenle,

$$U_2 - U_1 = \Delta U = Q + W$$

ifadesi,

$$U_2 - U_1 = \Delta U = Q$$

şeklini alır. Bu eşitlik, hacmi sabit tutulan bir sisteme ısı verildiğinde,verilen ısının tamamının sistemin iç enerjisinin artması için harcadığını ifade eder. Bir motorun silindirinde benzin buharı ve hava karışımı patladığı zaman, bu kısa patlama süresi içerisinde silindir hacmi gözle görülür bir şekilde büyümediğinden, sıcaklık ve basınçta ani yükselme meydana gelmektedir.

- c) Aynı Basınçta (izobarik) Değişme:** Sabit basınç altında meydana gelen bir değişmeye aynı basınçta değişme veya **izobarik işlem** adı verilir. Böyle bir işlem meydana geldiğinde, transfer edilen ısı ve yapılan iş sıfırdan farklıdır. Yapılan iş, kısaca, basınç ile hacim değişiminin çarpımına eşittir veya;

$$W = P(V_s - V_i) ,$$

ifadesiyle temsil edilir ve bu durumda sistemin iç enerji değişimi,

$$U_2 - U_1 = \Delta U = Q + W$$

$$U_2 - U_1 = Q + P(V_2 - V_1)$$

şeklini alır.

- d) Aynı Sıcaklıkta (isotermal) Değişme:** Sabit sıcaklıkta meydana gelen işlemlere izotermal işlemler denir. Bir ideal gazın, sabit sıcaklık işlemlerinde P-V eğrisi hiperbolik bir eğridir. İdeal bir gazın iç enerjisi yalnızca sıcaklığın bir fonksiyonu olduğundan, bir ideal gazın izotermal hal değişiminde $\Delta U = 0$ olur.

3.3 Özgül Isı – Entalpi - İç Enerji İlişkisi

Sabit basınç veya sabit hacimdeki hesaplamaların herbiri için farklı bir özgül ısı (spesifik ısı) değeri vardır. Örneğin; sabit basınçtaki sistemde dq kadarlık bir ısı farklılığı meydana gelirken, sıcaklık artışı ΔT kadar değişmişse sistemin özgül ısısı için;

$$C_p = dq / dT$$

yazılabildiğini ve bu ifadenin açılımının aşağıdaki gibi olduğu bundan önceki konularda verilmiş idi.

$$\int_{H_1}^{H_2} dH = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

Yine, sabit basınçtaki özgül ısı ile sabit hacimdeki özgül ısı arasındaki,

$$C_p - C_v = R$$

önemli Mayer Bağıntısının, entalpinin tanımı yardımıyla geliştirildiğine yine yukarıda değinilmiş idi.

Özgül ısı C, birim kütle başına ısı miktarının (Q) sıcaklık değişimi ΔT ye bölümü olarak adlandırıldığını hatırlayalım.

Sabit hacimde tutulan bir sisteme ısı verilmekte ise ,bu durumda ısı kapasitesinin C_v ile temsil edildiğini ve verilen ısının malzemenin U iç enerjisinin artmasına neden olduğunu ve,

$$Q = \Delta U = mC_v \Delta T$$

şeklinde ifade edildiğini de biliyoruz.

Sabit basınçta tutulan bir sisteme ısı verildiğinde ise, ısı kapasitesinin C_p şeklinde temsil edildiğini ve verilen ısının sistemin iç enerjisinin artmasının yanısıra dışarıya karşı PV kadarlık bir işin yapılmasına da sebep olduğunu unutmayalım. Bu durumda yukarıdaki ifade,

$$Q = \Delta U + P \cdot \Delta V = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

şekline dönüşür.

PROBLEM 3.1: *Bir depoda bulunan sıvı, elektrik motoruyla döndürülen bir palet yardımıyla karıştırılmıştır. Paleti çevirmek için 4500 kJ luk bir iş harcanmış ve bu sırada depodan çevreye 2000 kJ luk ısı transfer edilmiştir. Sıvı ve depoyu sistem olarak düşünerek, sistemin iç enerji değişimini bulunuz*

ÇÖZÜM:

Potansiyel ve kinetik enerjilerde değişme olmadığından,

$$Q_2 = \Delta U + W \text{ olur.}$$

Verilenler yukarıda yerlerine koyularak,

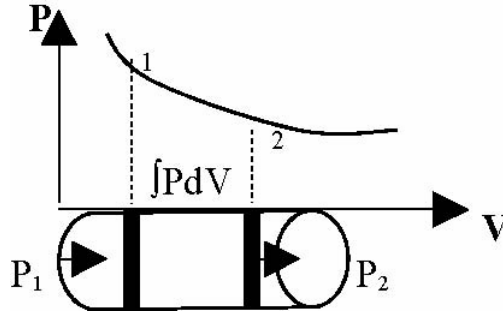
$$-2000 = U_2 - U_1 - 4500, \Delta U = U_2 - U_1 \quad \Delta U = \mathbf{2500 \text{ kJ}} \text{ bulunur.}$$

3.4. Termodinamiğin Birinci Yasasına Göre İşin Tanımı

İş, bir kuvvetin bir sisteme belirli bir yol boyunca etki etmesi ile temsil edilen enerjidir ve,

$$W = \int F \cdot dx$$

şeklinde formüle edilir. Termodinamik açıdan ise **iş**, sistemle çevresi arasında bir enerji alışverişidir. Eğer sistemin çevresindeki yegane etki, mesela bir ağırlığın kaldırılması şeklinde olabilirse, sistem iş yapmış olur. İşin birimi Joule, N.m ya da $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ dir. Birim zamanda yapılan işe ise **güç** denir.



Şekil 3.1. Basit sıkıştırılabilir bir sistemin sınırındaki iş

Şekil 3.1 'de bir silindir ve bir pistondan oluşan gaz için, pistonun yukarı doğru çekilmesi durumu ile ilgili P-V grafiği görülmektedir. Bu durumda yapılan iş

$$W = \int PdV$$

bağıntısından bulunur. Değişim esnasında $T = \text{sabit}$ ise,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ dir ve,}$$

bu durumda, Pistonu 1 konumundan 2 konumuna getirmek için yapılan işin büyüklüğü,

$$W_2 = P_1 V_1 \int \frac{dV}{V} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

şeklinde ifade edilebilir.

ÜNİTE SORULARI – IV

1. Termodinamiğin birinci yasasının esasları nedir ve uygulama alanları nerelerdir.
2. Entalpi nedir, özgül ısı ile ilişkisi nasıldır.
3. İç enerji nedir, özgül ısı ile ilişkisi nasıldır.
4. Birinci yasaya göre işin tanımını yapınız.
5. İç enerjinin sabit basınçta tanımını yapınız.
6. İç enerjinin sabit ısıda tanımını yapınız.
7. İç enerjinin sabit hacimde tanımını yapınız.
8. İç enerjinin sabit sıcaklıkta tanımını yapınız.

3.5. Açık Dönüşümün Tanımı ve Açık Dönüşüm Türleri

Kütlesi değişmeyen bir termodinamik sistemin durumunu belirleyen basınç, hacim ve sıcaklık gibi değişkenlerden en az ikisinde herhangi bir nedenle meydana gelen değişikliğe termodinamikte **açık dönüşüm** denir. Açık dönüşümde değişken iki parametrenin X-Y koordinatlarında verilmesi gelenek halini almıştır. Mesela, basınç değişiminin bu eksen sisteminde gösterilmesi durumunda, hal değişimi sonucu hesaplanması gereken işin büyüklüğü değişim eğrisinin altında kalan alan ile temsil edilmektedir.

3.5.1. Sabit Hacimde (İzokor) Dönüşüm :

Bilindiği üzere, gaz yasalarının bir gereği olarak, sabit hacim şartları için,

$$P_1 / P_2 = T_1 / T_2$$

yazılabilmektedir.

a) Sabit Hacimde İş : Sabit hacimde X-Y eksen sisteminde değişim ile ilgili alandan bahsetmek mümkün değildir, yani $W = 0$ demektir.

b) Sabit Hacimde Isı : Sabit hacimde basıncın ve sıcaklığın değişimi ile ilgili olarak sistemin dışarıdan aldığı veya dışarıya verdiği ısı miktarı için,

$$Q = C_v (T_2 - T_1) \text{ veya}$$

$$Q = AV(P_2 - P_1) / \gamma - 1$$

ifadeleri yazılabilir.

c) Sabit Hacimde İç Enerji : Bilindiği üzere bir termodinamik sistemde sistem çevreden aldığı Q miktarındaki ısıya karşılık çevreye W kadar iş transfer ediyorsa sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişim için,

$$U_2 - U_1 = Q - AW$$

yazılabiliyor idi (burada $A = 1/427 \text{ kcal/kgm}$ olarak enerji dönüşüm büyüklüğüdür). Sabit hacim şartlarında bu ifadede $W=0$ olduğundan, sabit hacimde iç enerji değişimi için,

$$U_2 - U_1 = Q$$

yazılabilir.

d) Sabit Hacimde Entropi : Yalnızca basınç ve sıcaklığın değiştiği şartlarda entropi değişimi için,

$$S_2 - S_1 = GAR \cdot \ln(P_2/P_1) / \gamma - 1 \text{ veya,}$$

$$S_2 - S_1 = GAR \cdot \ln(T_2/T_1) / \gamma - 1$$

Yazılabilir. Burada,

G = Ağırlık (kg)

A = Dönüşüm büyüklüğü (1/427 kcal/kgm)

R =Gaz sabiti(kgm/kg. °K)

3.5.2. Sabit Basıncıta (İzobar) Dönüşüm :

Kütlesi değişmeyen ve değişmeyen bir basınçta tutulan sistemin durumunu belirleyen hacim ve sıcaklıkta meydana gelen değişimlerde, yine bilinen gaz yasalarına göre,

$$V_1/V_2 = T_1/T_2$$

yazılabilir.

a) Sabit Basıncıdaki Dönüşümde İş : Yalnızca hacim ve sıcaklığın değiştiği bir sistemde basınç kuvvetlerinin işi için,

$$W = P(V_2-V_1)$$

yazılabilir. Bu işin büyüklüğü aynı zamanda X-Y koordinat sisteminde V_2-V_1 değerleri arasında kalan alanla temsil edilmektedir.

b) Sabit Basıncıdaki Dönüşümde Isı : Sistemin çevreden aldığı veya çevreye verdiği ısı miktarı için,

$$Q = C_p(T_2-T_1) = \gamma \cdot AP(V_2-V_1) / \gamma - 1$$

yazılabilir.

c) Sabit Basıncıdaki Dönüşümde İç Enerji : Sistem tarafından çevreden alınan Q ısıya karşılık çevreye verilen W iş neticesinde sistemin iç enerjisinde meydana gelecek olan iç enerji değişim ifadesinin,

$$U_2-U_1 = Q-AW$$

olduğu bilinmektedir. Sabit basınç şartlarında çevreden alınan veya çevreye verilen Q ısı miktarı için,

$$Q = \gamma \cdot AP(V_2-V_1) / \gamma - 1$$

ve basınç kuvvetlerinin işi için ise,

$$W = P(V_2-V_1)$$

Yazılabilir. Bu durumda, yukarıda verilen iç enerji değişim ifadesi için,

$$U_2-U_1 = \{ \gamma \cdot AP(V_2-V_1) / \gamma - 1 \} - P(V_2-V_1)$$

veya,

$$U_2-U_1 = A \cdot W / \gamma - 1$$

yazılabilir.

d) Sabit Basıncıdaki Dönüşümde entropi : Sistemin entropisinde meydana gelen değişme miktarı için,

$$S_2-S_1 = G.A.R \{ \ln(T_2/T_1) + \ln (V_2/V_1)^{\gamma-1} \} / \gamma-1$$

yazılabilir.

$$V_1/V_2 = T_1/T_2$$

İfadesinden faydalanarak,

$$S_2-S_1 = (\gamma/ \gamma-1).G.A.R. \ln(T_2/T_1)$$

$$S_2-S_1 = (\gamma/ \gamma-1).G.A.R. \ln (V_2/V_1)$$

eşitlikleri yazılabilir.

3.5.3. Sabit Sıcaklıkta (İzoterm) Dönüşüm :

Kütlesi değişmeyen bir sistemde sıcaklık sabit tutulurken basınç ve hacmin değişmesi durumunda, genel gaz yasalarına göre,

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

olduğu bilinmektedir.

a) Sabit Sıcaklıkta İş : Sabit sıcaklıkta ,basınç ve hacimde meydana gelen değişim sonucu ortaya çıkan iş için,

$$W = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln(V_2/V_1)$$

eşitliği yazılabilir.

b) Sabit Sıcaklıkta ısı : Sistemin çevreden aldığı veya çevreye verdiği ısı miktarı için,

$$Q = A \cdot P_1 \cdot V_1 \cdot \ln (V_2/V_1)$$

yazılabilir.Bu durumda,yukarıdaki,

$$W = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln (V_2/V_1)$$

eşitliğinden yararlanarak,

$$Q = A \cdot W$$

yazılabilir.

c) Sabit Sıcaklıkta İç Enerji : Bilindiği üzere, sabit sıcaklıktaki değişimlerde iç enerji değişimi sıfır olduğundan,

$$U_2-U_1 = Q-AW = 0$$

genel ifadesinden,

$$Q = A \cdot W$$

yazılabilir.

c) Sabit Sıcaklıkta Entropi : Sabit sıcaklıkta meydana gelen bir hal değişimine ait entropi değişimi için,

$$S_2 - S_1 = G.A.R \{ \ln(P_2/P_1) + \ln(V_2/V_1) \} / \gamma - 1$$

ifadesinden yararlanılır.

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = G.R.T$$

olduğu için, yukarıdaki entropi değişimi ifadesinden,

$$S_2 - S_1 = \{ (A \cdot P_1 \cdot V_1) \cdot \ln(V_2/V_1) \} / T$$

yazılabilir. Diğer taraftan,

$$Q = A \cdot P_1 \cdot V_1 \cdot \ln(V_2/V_1)$$

olduğu için yukarıdaki entropi değişimi ifadesi

$$S_2 - S_1 = Q/T$$

şeklini alır.

3.5.4. Sabit Isıda (Adyabatik) Dönüşüm :

Şayet kütlesi değişmeyen sistem çevresi ile ısı alışverişi olmayan şartlarda basınç, hacim ve sıcaklık değişimi yaşıyorsa, bu şartlar için,

$$\begin{aligned} P_1 V_1^\gamma &= P_2 V_2^\gamma \\ T_1/T_2 &= (P_1/P_2)^{1-(1/\gamma)} \\ T_1/T_2 &= (V_1/V_2)^{1-\gamma} \end{aligned}$$

ifadeleri yazılabilir.

a) Sabit Isıdaki Dönüşümde İş : Basıncın, hacmin ve sıcaklığın değişime uğradığı adyabatik bir sistemde basınç kuvvetlerine ait iş için,

$$W = (P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1) / 1 - \gamma$$

ifadesinden yararlanılır. Genel gaz yasalarına göre,

$$\begin{aligned} P_1 \cdot V_1 &= G.R.T_1 \\ P_2 \cdot V_2 &= G.R.T_2 \end{aligned}$$

ifadeleri yazılabilir. Diğer yandan adyabatik dönüşümde,

$$T_1/T_2 = (P_1/P_2)^{1-(1/\gamma)} = (V_1/V_2)^{1-\gamma}$$

olduğundan dolayı yukarıdaki W ifadesi için,

$$\begin{aligned} W &= P_1 V_1 \{ (T_2/T_1) - 1 \} / 1 - \gamma \\ W &= (P_1 V_1 / 1 - \gamma) \cdot \{ (P_2/P_1)^{1-(1/\gamma)} - 1 \} \\ W &= (P_1 V_1 / 1 - \gamma) \cdot \{ (V_2/V_1)^{1-\gamma} - 1 \} \end{aligned}$$

ifadeleri ile,

$$W = (P_2 V_2) / (1 - \gamma) \cdot \{1 - (T_1 / T_2)\}$$

$$W = (P_2 V_2) / (1 - \gamma) \cdot \{1 - (P_1 / P_2)^{1 - (1/\gamma)}\}$$

$$W = (P_2 V_2) / (1 - \gamma) \cdot \{1 - (V_1 / V_2)^{1 - \gamma}\}$$

ifadeleri yazılabilir.

b) Sabit Isıdaki Dönüşümde İç Enerji : Adyabatik, yani ısı alışverişi olmayan bir hal değişimi sözkonusu olduğunda bilinen

$$U_2 - U_1 = Q - AW$$

ifadesinden,

$$U_2 - U_1 = -AW$$

ifadesi elde edilir. Yani adyabatik dönüşümde sistemin iç enerjisi basınç kuvvetlerinin ortaya koyduğu işin büyüklüğü kadar değişmektedir.

c) Sabit Isıdaki Dönüşümde Entropi : Adyabatik ,yani sistemin ısısı sabit kalırken basınç,hacim ve sıcaklıkta meydana gelen değişim sonunda sistemin entropisinde meydana gelen değişim miktarı,

$$S_2 - S_1 = G.A.R \{ \ln(P_2/P_1) + \ln(V_2/V_1)^\gamma \} / \gamma - 1$$

ifadesinden yararlanılarak hesaplanır. Adyabatik dönüşümde,

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

olduğu için,

$$S_2 - S_1 = 0 \text{ olur.}$$

O halde, sabit ısı şartlarında basıncın,hacmin ve sıcaklığın değişmesi durumunda sistemin entropisinde meydana gelen değişim miktarı sıfırdır. Adyabatik dönüşümde sistemin entropisi sabit kaldığı için bu türlü bir dönüşüme, Termodinamikte aynı zamanda **İzotropik Dönüşüm** de denilmektedir.

3.5.5. Çok Değişkenli (Politropik) Dönüşüm: Çevresi ile ısı alışverişi yapan bir termodinamik sistemin durumunu belirleyen parametrelerden basınç, hacim ve sıcaklıkta herhangi bir nedenle meydana gelen değişmeye Politropik Dönüşüm denir.

$$1 < n < \gamma$$

olması şartı ile,basıncın,hacmin ve sıcaklığın değiştiği politropik bir dönüşümde basınç ile hacim arasındaki ilişki,

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

ifadesi ile,basınç ile sıcaklık arasındaki ilişki,

$$T_1/T_2 = (P_1/P_2)^{1-(1/n)}$$

ifadesi ile ve hacim ile sıcaklık arasındaki ilişki ise,

$$T_1/T_2 = (V_1/V_2)^{1-n}$$

ifadesi ile temsil edilir.

a) Politropik Dönüşümde İş : Basıncın, hacmin ve sıcaklığın değişime uğradığı bir sistemde basınç kuvvetlerinin ortaya koyduğu iş,

$$W = (P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1) / 1 - n$$

ifadesi yardımı ile hesaplanır. Genel gaz yasalarına göre,

$$P_1 \cdot V_1 = G \cdot R \cdot T_1$$

$$P_2 \cdot V_2 = G \cdot R \cdot T_2$$

olduğu bilinmektedir. Diğer taraftan politropik dönüşümde,

$$T_1/T_2 = (P_1/P_2)^{1-(1/n)} = (V_1/V_2)^{1-n}$$

olduğu için, yukarıda verilen iş ifadesinden,

$$\begin{aligned} W &= P_1 V_1 \{ (T_2/T_1) - 1 \} / 1 - n \\ W &= (P_1 V_1 / 1 - n) \cdot \{ (P_2/P_1)^{1-(1/n)} - 1 \} \\ W &= (P_1 V_1 / 1 - n) \cdot \{ (V_2/V_1)^{1-n} - 1 \} \end{aligned}$$

ifadeleri ile,

$$\begin{aligned} W &= (P_2 V_2) / 1 - n \cdot \{ 1 - (T_1/T_2) \} \\ W &= (P_2 V_2) / 1 - n \cdot \{ 1 - (P_1/P_2)^{1-(1/n)} \} \\ W &= (P_2 V_2) / 1 - n \cdot \{ 1 - (V_1/V_2)^{1-n} \} \end{aligned}$$

ifadeleri türetilir.

b) Politropik Dönüşümde Isı : Politropik dönüşümde sistemin çevreden aldığı veya çevreye verdiği ısı miktarı,

$$W = (P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1) / 1 - n$$

olduğuna göre,

$$Q = A \cdot W \cdot \{ (\gamma - n) / (\gamma - 1) \}$$

ifadesi yardımı ile hesaplanır.

c) Politropik Dönüşümde İç Enerji : Politropik değişme sürecinde sistemin iç enerjisinde meydana gelen değişme miktarı,

$$U_2 - U_1 = Q - AW$$

ifadesinden yararlanarak hesaplanır.

$$Q = A.W. \{ (\gamma-n) / (\gamma-1) \}$$

olduğu için üstteki iç enerji ifadesi aşağıdaki şekli alır:

$$U_2-U_1 = A.W. \{ (1-n) / (\gamma-1) \}$$

d) Politropik Dönüşümde Entropi: Politropik dönüşüme ait entropi değişimi,

$$S_2-S_1 = G.A.R \{ \ln(T_2/T_1) + \ln(V_2/V_1)^{\gamma-1} \} / \gamma-1$$

ifadesinden yararlanılarak hesaplanır. Politropik dönüşümde,

$$T_1/T_2 = (V_1/V_2)^{1-n}$$

olduğu için yukarıdaki entropi değişimi ifadesinden,

$$S_2-S_1 = \{ (G.A.R) / \gamma-1 \} \cdot \{ (\gamma-n) / (1-n) \} \cdot \ln(T_2/T_1)$$

elde edilir.

PROBLEM 3.2: *Piston-silindir sisteminde, piston tabandan 20 cm yukarıda iken silindire 0° C sıcaklıkta ve atmosferik basınçta hava doldurulmuştur. Sabit basınçta tutulan hava piston tabandan 80 cm yükselene kadar genişletilmiştir. Bu değişim sürecine ait,*

- a) Nihai sıcaklığı,
- b) Basınç kuvvetlerinin işini,
- c) Çevreden alınan ısı miktarını
- d) İç enerji değişim miktarını ve,
- e) entropi değişim miktarını bulunuz.

ÇÖZÜM :

- a) Sabit basınçta genişlemeye ait nihai sıcaklık için,

$$V_1/V_2 = T_1/T_2$$

ifadesinden yararlanılır.

$$V_1 = \{ (\pi.d^2)/4 \} . l_1$$

$$V_2 = \{ (\pi.d^2)/4 \} . l_2 \text{ ifadeleri yukarıda yerine konarak,}$$

$$l_1/T_1 = l_2/T_2 \text{ yazılır ve buradan}$$

$$T_2 = 1092 \text{ } ^0\text{K (veya } 1092-273 = 819 \text{ } ^0\text{C) bulunur.}$$

- b) Basınç kuvvetlerinin işi için,

$$W = P.(V_2 - V_1) \text{ ifadesinden yararlanılabilir.}$$

$$P = P_{\text{atm}} = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

V_1 ve V_2 değerleri için

$$V_1 = \{ (\pi \cdot d^2) / 4 \} \cdot l_1 = \{ (3,14 \cdot 40^2) / 4 \} \cdot 20 = 25120 \text{ cm}^3 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \{ (\pi \cdot d^2) / 4 \} \cdot l_2 = \{ (3,14 \cdot 40^2) / 4 \} \cdot 80 = 100480 \text{ cm}^3 = 100480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ bulunur. Bunlar iş ifadesinde yerine konarak,}$$

$$W = P \cdot (V_2 - V_1) = 10^4 (10080 - 25120) \cdot 10^{-6} = 753,6 \text{ kg}$$

$$\mathbf{W = 753,6 \text{ kgm} \text{ bulunur.}}$$

c) Sabit basınç şartlarında çevreden alınan ısı miktarı için,

$$Q = \gamma \cdot A \cdot P (V_2 - V_1) / \gamma - 1$$

ifadesinden yararlanılır.

$$W = P \cdot (V_2 - V_1) \text{ olduğu için, yukarıdaki ısı ifadesi}$$

$$Q = (\gamma / \gamma - 1) A \cdot W$$

ifadesi yazılabilir. Hava için $\gamma = 1,41$ alınarak ve

$$A = 1/427 \text{ kcal/kgm, } W = 753,6 \text{ kgm değerleri yerine konarak,}$$

$$Q = (\gamma / \gamma - 1) A \cdot W = (1,41 / 1,41 - 1) \cdot 1/427 \cdot 753,6$$

$$\mathbf{Q = 6,069 \text{ kcal} \text{ bulunur.}}$$

d) İç enerji değişim miktarı için,

$$U_2 - U_1 = Q - AW \text{ ifadesinden yararlanılacaktır.}$$

$$W = 753,6 \text{ kgm}$$

$$Q = 6,069 \text{ kcal}$$

$$A = 1/427 \text{ kcal/kgm değerleri yerlerine konarak,}$$

$$U_2 - U_1 = Q - AW = 6,069 - (753,6/427) =$$

$$\mathbf{U_2 - U_1 = 4,304 \text{ kcal} \text{ bulunur.}}$$

e) Sabit basınçta dönüşümler için entropideki değişme için,

$$S_2 - S_1 = (\gamma / \gamma - 1) \cdot G \cdot A \cdot R \cdot \ln(T_2 / T_1) \text{ İfadesinden ve genel gaz}$$

$$\text{yasasına ait olan } G = P \cdot V_1 / RT_1 \text{ ifadelerinden faydalanarak,}$$

yukarıdaki entropi değişimi ifadesi,

$$S_2 - S_1 = (\gamma / \gamma - 1) \cdot A \cdot (P V_1 / T_1) \cdot \ln(T_2 / T_1) \text{ ifadesi yazılabilir.}$$

Bu ifadede,

$$A = 1/427 \text{ kcal/kgm}$$

$$P = 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$T_1 = 273 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 1092 \text{ } ^\circ\text{K} \text{ değerleri yerlerine konarak,}$$

$$\mathbf{S_2 - S_1 = 0,01027 \text{ kcal/} ^\circ\text{K} \text{ bulunur.}}$$

PROBLEM 3.3: *Piston-silindir sisteminde, piston tabandan 20 cm yukarıda iken silindire 27⁰ C sıcaklıkta ve 4 atm. basınçta hava doldurulmuştur. Çevre ile ısı alışverişi yapmayan (adyobatik sistem) hava piston tabandan 80 cm yükselene kadar genişletilmiştir. Bu değişim sürecine ait,*

- Nihai basıncı*
- Nihai sıcaklığı*
- Adyobatik genişleme sürecinde basınç kuvvetlerinin işini ve*
- İç enerji değişim miktarını bulunuz.*

ÇÖZÜM:

a) Adyobatik genişleme sonunda pistonlu silindir içerisinde bulunan havanın basınç ve sıcaklığı,

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$T_1/T_2 = (V_1/V_2)^{1-\gamma}$$

eşitliklerinden faydalanılarak hesaplanır. Burada,

$$\gamma = 1,41$$

$$P_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = \{ (\pi \cdot d^2)/4 \} \cdot l_1 = \{ (3,14 \cdot 40^2) / 4 \} \cdot 20 = 25120 \text{ cm}^3 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = \{ (\pi \cdot d^2)/4 \} \cdot l_2 = \{ (3,14 \cdot 40^2) / 4 \} \cdot 80 = 100480 \text{ cm}^3 = 100480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ }^0\text{K}$ değerleri kullanılarak,

$$P_2 = P_1 \cdot (V_1/V_2)^\gamma = 4 \cdot 10^4 \cdot (25120 \cdot 10^{-6} / 100480 \cdot 10^{-6})^{1,41}$$

$$P_2 = \mathbf{0,566 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2}$$
 bulunur.

$$b) T_2 = T_1 \cdot (V_2/V_1)^{1-\gamma} = 300(100480 \cdot 10^{-6} / 25120 \cdot 10^{-6})^{1-1,41}$$

$$T_2 = 169,932 \text{ }^0\text{K} = 169,932 - 273 = -103,067 \text{ }^0\text{C}$$

$$t_2 = \mathbf{-103,067 \text{ }^0\text{C}}$$
 bulunur.

c) Basınç kuvvetlerinin işi,

$W = (P_1 V_1 / (1 - \gamma)) \cdot \{ (V_2/V_1)^{1-\gamma} - 1 \}$ ifadesi yardımı ile bulunacaktır.

Burada,

$$P_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$V_1 = 25120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 100480 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$\gamma = 1,41$ olduğu için,

$$W = \{ (4 \cdot 10^4 \cdot 25120 \cdot 10^{-6}) / (1 - 1,41) \} \cdot \{ (100480 \cdot 10^{-6} / 25120 \cdot 10^{-6})^{1-1,41} - 1 \}$$

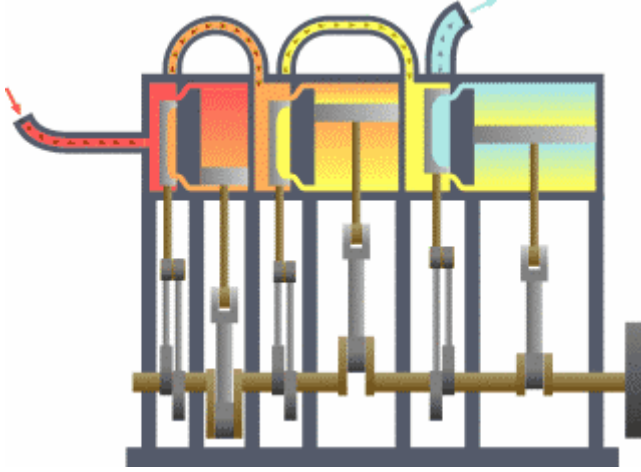
$$W = \mathbf{1062,535 \text{ kgm}}$$
 bulunur.

d) Silindir içerisinde bulunan havanın iç enerji değişimi için,
 $U_2 - U_1 = -AW$ eşitliğinden yararlanarak,
 $W = 1062,535 \text{ kgm}$
 $A = 1/427 \text{ kcal/kgm}$ değerleri ile,
 $U_2 - U_1 = -(1/427) \cdot 1062,535 = -2,488 \text{ kcal}$
 $U_2 - U_1 = -2,488 \text{ kcal}$ bulunur.

ÜNİTE SORULARI –V

1. Açık dönüşümün tanımını yapınız ve sabit hacimde ısı, iş ve iç enerji ifadelerini yazınız.
2. Açık dönüşümün tanımını yapınız ve sabit basınçta ısı, iş ve iç enerji ifadelerini yazınız.
3. Açık dönüşümün tanımını yapınız ve sabit sıcaklıkta ısı, iş ve iç enerji ifadelerini yazınız.
4. Açık dönüşümün tanımını yapınız ve sabit ısıda ısı, iş ve iç enerji ifadelerini yazınız.

3.6. Tipik bir termodinamik sistem ve çevrim örneği



Şekil 3.2. İçten yanmalı motorlarda çevrim

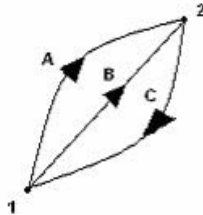
Isının işe dönüştürüldüğü termodinamik sistemlerde ısı sıcak kaynaktan (buharlaştırıcıdan) soğuk kaynağa (yoğunlaştırıcıya) doğru hareket etmekte ve bu sayede sistem çevreye iş yapmaktadır. Bir sistemin iç enerjisindeki artış, yukarıda iç enerjinin tanımında da verildiği üzere,

$$U_2 - U_1 = Q - W$$

şeklinde **sisteme verilen Q ısısı** ısı ile, **sistemin çevresine verdiği W işi** arasındaki farktan ibaret idi. Aşağıdaki formüllerde

- **Q** = çevrim boyunca net ısı alışverişini
- **W** = çevrim boyunca net iş alışverişini

gösterebiliriz. Ama bir de **çevrime** ihtiyaç duyuyoruz şimdi onu da basit olarak çizelim,



Şekil 3.3. Aynı hal noktalarına (şartlarına) sahip farklı iki çevrim örneği

Şekil 3.3 'te sistemin birbirinden farklı (1) ve (2) hal durumları ile A, B, C hal değişim yolları temsil edilmiştir. Ok yönleri hal değişimlerinin olacağı yönlerdir. Hal değişimleri (1A2) ve (1B2) ile, ilk hale dönülen yol ise (2C1) ile temsil edilmiştir. O halde şu anda elimizde (1A2C1) ve (1B2C1) olmak üzere iki adet çevrim örneği bulunmaktadır. Termodinamiğin 1. kanunu uygulandığında aşağıdaki a ve b denklemleri ortaya çıkar:

$${}_1A^2 \cdot \delta.Q + {}_2C^1 \cdot \delta.Q = {}_1A^2 \cdot \delta.W + {}_2C^1 \cdot \delta.W \text{ (1A2C1 Çevrimi)}, \text{ (a denklemi)}$$

$${}_1B^2 \cdot \delta.Q + {}_2C^1 \cdot \delta.Q = {}_1B^2 \cdot \delta.W + {}_2C^1 \cdot \delta.W \text{ (1B2C1 Çevrimi)}, \text{ (b denklemi)}$$

(1A2C1) ve (1B2C1) çevrimleri birbirlerine eşittir. b denklemini a denkleminde çıkarırsak c denklemini buluruz:

$${}_1A^2 (\delta.Q - \delta.W) = {}_1B^2 (\delta.Q - \delta.W), \text{ (c denklemi)}$$

1A2 ve 1B2 aynı haller arasında herhangi iki hal değişimi olduğundan $\delta Q - \delta W$ ifadesinin 1-2 noktası arasındaki bütün hal değişimleri için bağımsız olduğu söylenebilir. Bu sisteme has bir özellik olup sistemin enerjisidir ve E ile gösterilir;

$$E = \delta Q - \delta W$$

sonsuz küçük hal değişimi için bu ifadenin integrali alınırsa;

$$Q_{1-2} - W_{1-2} = E_2 - E_1$$

ifadesi çıkar. Burada,

- Q_{1-2} : Sistemin hal değişimi sırasında aldığı ısı miktarı
- W_{1-2} : Sistemin hal değişimi sırasında ürettiği iş miktarı
- E_1 : Sistemin ilk haldeki enerjisi ve
- E_2 : Sistemin son haldeki enerjisidir.

Termodinamikte enerji, maddenin yapısına bağlı iç enerji ve koordinat eksenlerine bağlı olan kinetik enerji (E_K) ve potansiyel enerji (E_P) olarak ayrılabilir;

$$E = U + E_K + E_P$$

Kütlesi m, hızı v olan bir cismin sahip olduğu kinetik enerjinin,

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

şeklinde; kütlesi m, bulunduğu yükseklik h ve yerçekimi ivmesi g şeklinde gösterilmek sureti ile cisimlerin buldukları konum (yer) nedeniyle sahip oldukları potansiyel enerjinin ise,

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

şeklinde ifade edildiğine daha önceki konularda değinilmiş idi. Bu durumda yukarıda verilen sistemin herhangi bir hal değişimindeki genel enerji ifadesi,

$$Q_{1-2} - W_{1-2} = E_2 - E_1 = (U_2 - U_1) + (1/2) m (v_2^2 - v_1^2) + m g (h_2 - h_1)$$

şeklinde yazılabilir.

3.7. Kimyasal termodinamik

Kimyasal değişimler, hep enerji alış verişiyle gerçekleşir. Yanma olayları, bir kimyasal değişimdir ve ısı, ışık biçimlerinde enerji açığa çıkararak oluşur. Şekerin vücudumuzda yanınca enerji verdiğini (ısı açığa çıkardığını) biliriz. Şekeri ya da tuzu suda daha çok çözmek için, çözeltiyi ısıtmak, yani sisteme enerji vermek gerekir.

Kimyasal reaksiyonlar iki şartta gerçekleşebilir:

1. Sabit hacimde (kapalı bir kaptan)
2. Sabit basınçta (piston-silindir sisteminde veya açık hava atmosferinde)

Farklı şartlardaki enerji değişimlerinin aynı olmadığını biliyoruz.

3.7.1. Reaksiyonlarda iç enerji-entalpi-reaksiyon ısısı :

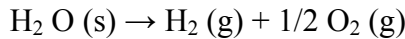
İÇ ENERJİ

Bir sistemin hal değişimi ile ilgili iç enerji değişiminde,

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

bağıntısına göre $U_2 > U_1$ ise sistem enerji kazanmıştır ve ΔU pozitif işaretli olacaktır. $U_2 < U_1$ ise sistem enerji kaybetmiştir ve ΔU negatif işaretli olacaktır.

Mesela, suyun elektrolizle hidrojen ve oksijen olan elementlerine ayrıştırılabilmesi için sisteme enerji verilmelidir.



Yukarıda verilen kimyasal reaksiyonda suyun elementlerine ayrışması için sisteme enerji verildiğine göre, **H₂ ve O₂ nin iç enerjisi, suyun iç enerjisinden daha büyüktür**, denilebilir.

Kimyasal reaksiyonların meydana geldiği sistemlerde de iç enerji değişimi,

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

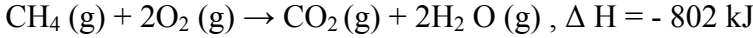
şeklinde sistemin ısı değişimi (ΔQ) ile iş değişiminin (ΔW), işaretleri ile birlikte, toplamına eşittir.

ENTALPİ / REAKSİYON ISISI

Reksiyonlara ait entalpi değişmesi veya reaksiyon ısısı ise, reaksiyon ürünleri ile reaksiyona giren maddelerin entalpilerinin farkına eşittir:

$$\Delta H = \Sigma H (\text{ürünler}) - \Sigma H (\text{girenler})$$

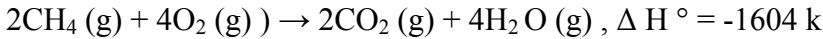
Kimyasal reaksiyonlarda entalpi değişimi, madde miktarına bağlı bir değerdir. Örneğin, metan gazı yanınca, karbondioksit ve su oluşur. Bu reaksiyonda 1 mol CH_4 sabit basınçta yanınca 192 kcal (802 kJ) değerinde enerji açığa çıkar.



Entalpi değişiminin eksi (-) işaretli olması, reaksiyonun ekzotermik (çevreye ısı veren) olduğunu gösterir.

Entalpi değişiminin ancak denkleştirilmiş reaksiyonlar için geçerli olduğu unutulmamalıdır.

Yani 1 mol CH_4 , 2 mol O_2 (g) ile tam olarak yanıp, 1 mol CO_2 (g) ve 2 mol H_2O (g) oluştururken 802 kJ enerji açığa çıkar. Şayet, aşağıdaki reaksiyonda olduğu gibi, 2 mol CH_4 , 4 mol O_2 ile yanarsa $2 \times 802 = 1604$ kJ enerji açığa çıkacaktır.

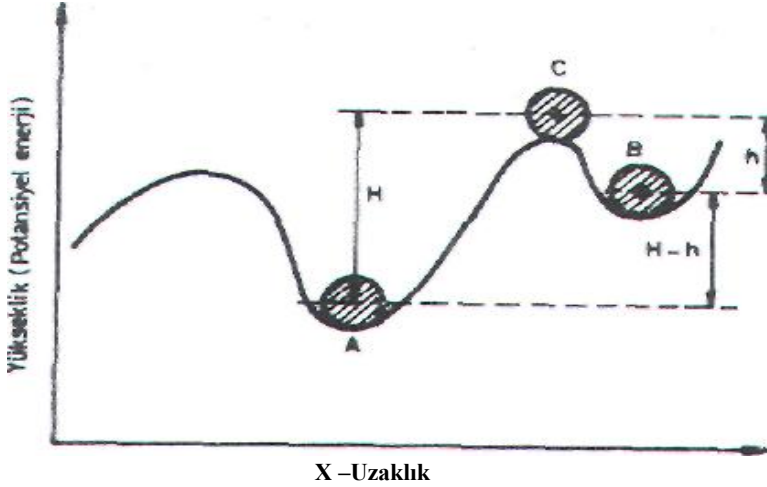


Bilindiği üzere, yukarıdaki reaksiyonda olduğu gibi, ekzotermik reaksiyonlarda yani enerji açığa çıkararak yürüyen reaksiyonlarda sistemin enerjisi azalır, çevrenin enerjisi artar. Yanma reaksiyonları, genel olarak ekzotermiktir. Çevreden enerji alarak yürüyen reaksiyonlara ise endotermik reaksiyonlar denir. Bu tip olaylarda sistemin enerjisi artar, çevrenin enerjisi azalır. Bu konuya açıklık getirecek bir örnek aşağıda, verilmiştir.

3.7.2. Kimyasal Denge ve Termokimya :

Bir sistem üç denge halinden birisine sahip olabilir: Temsili olarak, Şekil 3.4. te bir kürenin yivli bir yüzey üzerindeki hareketi ve konumları verilmiştir. Kürenin A konumu devamlı denge halini, C konumu ufak bir hareketle bozulabilecek olan geçici denge halini, B konumu ise, ancak belirli deği-

şimlerden sonra gelinecek devamlı denge halini temsil etmektedir. Buna benzer şekilde, bir sistemin devamlı denge halinden yarı devamlı denge haline veya yarı devamlı denge halinden devamlı denge haline geçmesi için gerekli enerji miktarı ile temsili (A: Devamlı denge, B: Yarı devamlı denge, C: Geçici denge) küçük enerji miktarına **aktivasyon enerjisi** denir. Sözkonusu kürenin ağırlığı G ile gösterildiğinde, A konumundan B konumuna geçmesi için gerekli enerji (aktivasyon enerjisi),



Şekil 3.4. Kimyasal bir sistemde denge konumlarının bir kürenin denge konumları

$$E = G.H \text{ (+ işaretli)}$$

şeklindedir. Ancak, sistem C konumundan B konumuna geçerken dışarıya,

$$Q_1 = - G \cdot h$$

kadarlık bir enerji verecektir (genel kural olarak sistemin dışarıdan aldığı enerji (+) işareti ile, dışarıya verdiği enerji ise (-) işareti ile gösterilmektedir). Bu durumda sistemin A konumundan B konumuna geçmesi ile ilgili, enerji bilançosu;

$$Q = GH + (-Gh)$$

$$Q = G(H-h) \text{ (1)}$$

şeklindedir.

Sözkonusu kürenin B konumundan A konumuna geçmesi durumunda ise gerekli enerji (aktivasyon enerjisi):

$$E_2 = G \cdot h \text{ (+ işaretli)}$$

kadardır. Ancak, küre bilindiği üzere, C konumundan A konumuna gelirken dışarıya,

$$Q_2 = - G \cdot H$$

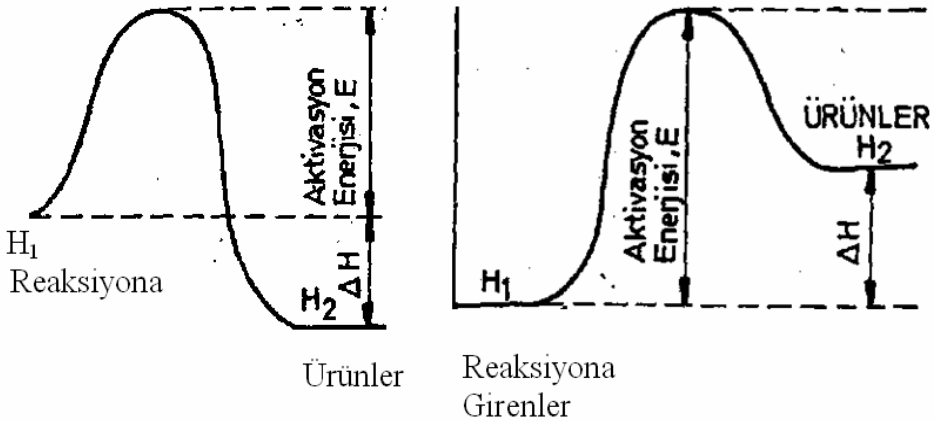
kadar enerji verecektir. B den A ya sistemin enerji bilançosu,

$$Q = Gh + (- GH) , \text{ veya}$$

$$Q = G (h-H), \quad (2)$$

şeklinde dir. $H > h$ olduğundan (1) nolu ısı bilançosu (+), (2) nolu ısı bilançosu (-) işaretlidir. Yani sistem A konumundan B konumuna geçerken ısı alan (**endotermik**), B konumundan A konumuna geçerken ısı veren (**ekzotermik**) türdedir.

Şekil 3.5 te endotermik ve ekzotermik reaksiyonlarla ilgili ısı enerjisi şematik olarak verilmiştir. Reaksiyonun başlamasından önce, bu şemada (E) ile gösterilen bir **aktivasyon enerji barajı** vardır; bu enerji temin edilmemesin reaksiyonun başlatılması imkansızdır. Denge halinde olan bir sisteme verilen ısı aktivasyon enerjisine eşit seviyeye ulaşmış ise sistemde kimyasal bir reaksiyon başlatılmış olmaktadır. Bu konuda yapılan hesaplamalar neticesinde aktivasyon enerjisi 50 kCal/mol olan bir reaksiyon ancak 500 °C den yüksek sıcaklıkların uygulanması halinde, hissedilebilecek derecede hız kazanabilmektedir. Benzer şekilde, 100 KCal/mol değerinden büyük aktivasyon enerjisine sahip bir reaksiyon, 1000 C uygulansa bile, hissedilemeyecek kadar yavaş cereyan etmektedir (*k*).



Şekil.3.5. Eksotermik/Endotermik Isı - Aktivasyon Enerjisi İlişkisi

3.8. Genel Uygulamalar

PROBLEM 3.4: Bir depoda bulunan sıvı, elektrik motoruyla döndürülen bir palet yardımıyla karıştırılmıştır. Paleti çevirmek için 4500 kJ luk bir iş harcanmış ve bu sırada depodan çevreye 2000 kJ luk ısı transfer edilmiştir. Sıvı ve depoyu sistem olarak düşünerek, sistemin iç enerji değişimini bulunuz.

ÇÖZÜM:

$$\Delta U = \Delta W + \Delta Q$$

eşitliğinde, işaretlere dikkat edilmek suretiyle değerler yerine konarak, $\Delta U = (+4500) + (-2000)$ $\Delta U = 2500$ kJ bulunur.

PROBLEM 3.5: Bir elektrik motoru mekanik iş olarak çevreye saniyede 15 kJ elektrik üretirken, aynı zamanda 2 kJ ısı yaymaktadır. Elektrik motorundaki iç enerji değişimi ne kadardır?

ÇÖZÜM:

Eğer elektrik motoru çevreye saniyede 15 kJ mekanik iş yapıyor ve aynı zamanda 2 kJ ısı yayıyorsa saniyedeki iç enerji değişimi

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q + W$$

$$\Delta U = -2 \text{ kJ} - 15 \text{ kJ}$$

$$\Delta U = -17 \text{ kJ}, \text{ bulunur.}$$

Yani, sistem yüksek bir iç enerji konumundan daha düşük bir iç enerji konumuna geçmiştir (enerji kaybına uğramıştır.).

PROBLEM 3.6: Bir sistem 200 kJ ısı alıp bununun 40 kJ'lük kısmını mekanik iş olarak çevreye harcamış olsun. Buna göre sistemin iç enerji değişimi ne olur?

ÇÖZÜM :

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \Delta Q + \Delta W$$

ifadesinde, işaretlere dikkat edilmek suretiyle değerler yerine konarak,

$$\Delta Q = +200 \text{ kJ (sistemin kazandığı ısı, artı işaretli)}$$

$$\Delta W = -40 \text{ kJ (sistemin kaybettiği ısı, eksi işaretli)}$$

$$\Delta U = +200 \text{ kJ} + (-40 \text{ kJ})$$

$$\Delta U = 160 \text{ kJ}, \text{ bulunur.}$$

PROBLEM 3.7: Bir piston ve silindir düzeninde ilk hacim 0,1 m³ olup, içerisinde 150 kPa basınç ve 25 oC sıcaklıkta azot (nitrojen) bulunmaktadır. Piston, azotun basıncı 1 Mpa ve sıcaklığı 150 0C oluncaya kadar hareket ettirilmiş ve bu sırada 30 kJ'lük iş yapılmıştır. Bu işlem sonunda sisteme ait iç enerji değişimini (enerji transferini) hesaplayınız. (C_{azot}=0,7448 kJ/kgK, R=0,2968 kJ/kgK)

ÇÖZÜM:

Azotun ideal gaz olduğu, potansiyel ve kinetik enerjilerin ihmal edildiği kabul edilecektir.

$PV = mRT$ ifadesinden,

$$m = (150 \cdot 0,1) / (0,2968 \cdot 298) = 0,1695 \text{ kg}$$

$Q = m \cdot C_{\text{azot}} \cdot (T_2 - T_1)$ ifadesinden,

$$Q = 0,1695 \cdot 0,7448 \cdot (473 - 298) = 15,78 \text{ kJ} \text{ (Sisteme verilen ısı miktarı)}$$

$W = 30 \text{ kJ}$ (Dışarıya yapılan iş miktarı)

Yukarıdaki veriler,

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \Delta Q + \Delta W$$

ifadesinde, verilenler işaretlerine dikkat edilerek yerine konarak,

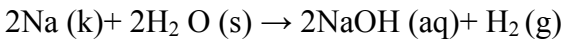
$$\Delta U = U_2 - U_1 = (+15,78 \text{ kJ}) + (-30 \text{ kJ})$$

$$\Delta U = -14,2 \text{ kJ}, \text{ bulunur.}$$

PROBLEM 3.8: Kapalı bir sistemde (piston-silindir sisteminde) sodyum metalinin su ile tepkimesinde sodyum hidroksit çözeltisi ve hidrojen gazı oluşur. Bu tepkimede 2 mol sodyum için iç enerji değişimi -370 kJ'dür. Bu esnada, 2,5 kJ değerinde iş yapılmıştır. Tepkimenin entalpi değişimini hesaplayınız.

ÇÖZÜM :

Reaksiyon aşağıda olduğu gibidir.



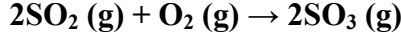
Bu tepkimede açığa çıkan hidrojen gazı, sabit basınçta hacim değişmesine sebep olacaktır (yani, pistonu yukarı itecek yani dışarıya iş transfer olacaktır):

$\Delta H = \Delta U - P \cdot \Delta V$, İfadesine göre,

$$\Delta H = (-370) - (-2,5)$$

$$\Delta H = -367,5 \text{ kJ} \text{ bulunur.}$$

PROBLEM 3.9: SO₂ (g) ve SO₃ (g) maddelerinin standart oluşum entalpileri sırayla -296 kJ/mol ve -394 kJ/mol-dür. Buna göre aşağıdaki reaksiyonun entalpisi kaç kJ' dir?



ÇÖZÜM:

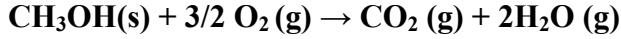
Oluşum entalpilerine bağlı olarak reaksiyonun entalpi değişimi, ürünlerle reaksiyona girenlerin entalpi değişimleri farkına eşit olduğundan,

$$\Delta H = \Sigma H (\text{ürünler}) - \Sigma H (\text{girenler})$$

Yukarıda verilen reaksiyon için,

$$\Delta H^\circ = 2(-394) - 2(-296), \Delta H^\circ = -196 \text{ kJ bulunur.}$$

PROBLEM 3.10: Oluşum entalpileri aşağıda verildiğine göre, bir mol metanolun aşağıdaki reaksiyona göre molar yanma entalpisi kaç kJ'dir?

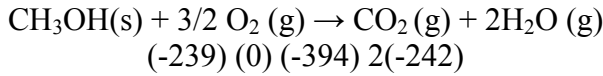


Oluşum entalpileri: CH₃OH (s) : -239 kJ/mol,

CO₂ (g) - 394kJ/mol, H₂O (g) : -242 kJ/mol

ÇÖZÜM :

Yanma reaksiyonunu yazıp denkleştirdikten sonra, ilgili maddelerin oluşum entalpilerini altlarına yazalım:



reaksiyon entalpileri ürünlerle girenlerin entalpileri farkına eşit olduğundan

$$\Delta H^\circ = \Delta H_{\text{ürünler}} - \Delta H_{\text{girenler}}$$

$$\Delta H^\circ = 2(-242) + (-394) - (-239)$$

$$\Delta H^\circ = -639 \text{ kJ/mol methanol sonucu elde edilir.}$$

ÜNİTE SORULARI –VI

1. Kimyasal termodinamik kavramı ne ifade etmektedir.
2. Kimyasal reaksiyonlarda entalpi-reaksiyon ısısı ilişkisini açıklayınız
3. Kimyasal denge kavramını izah ediniz.
4. Suyu meydana getiren hidrojen ve oksijen sisteminin iç enerjisi niçin suyun iç enerjisinden büyüktür.
5. Aktivasyon enerjisini tanımlayarak ,eksotermik ve endotermik reaksiyon kavramlarını şekil üzerinde izah ediniz.

BÖLÜM IV

TERMODİNAMIĞIN İKİNCİ YASASI

İkinci yasa ile birlikte **entropi** (düzensizlik) kavramı ile de ilk defa ciddi şekilde tanışmak durumundayız. İkinci yasaya göre, çevrelerinden yalıtılmış olan eşit sıcaklıktaki iki sistem birbiriyle temas ettirildiğinde, sistemler arasında kendiliğinden ısı akışı mümkün değildir. Yani sistemlerden birinin kendi ısını kaybederek diğer sistemi ısıtması mümkün değildir. Aynı zamanda, yaygın bir düşünce ve tespiti dayanılarak, düzensizlik eğilimi anlatılırken **entropi** kelimesi sıkça kullanılmaktadır. Mesela, düzensizlik yani entropi ya değişmez ya da artar ***Entropinin artması demek, sistemin mümkün olmayan durumdan daha çok mümkün olan duruma doğru gitmesi demektir.***

Mesela, ayrı duran maddeler bir arada olandan daha düzenlidir ve kendiliğinden karışmış sıcak ve soğuk sudan oluşmuş ılık suyun, bir daha sıcak ve soğuk diye ayrılması imkansızdır. Yine, kırık bir bardağın durup dururken veya kırarken harcanan enerjiden daha azı kullanılarak eski haline döndürülemeyeceği bilinmektedir. Aynı şekilde, devrilen bir kitabı düzeltmek için devirirken harcanan enerjiden fazlasını kullanmak gerekir; çünkü potansiyel enerjinin bir kısmı ısıya dönüşmüştür ve geri getirilemez. Aslında, bu ve bunun gibi örneklerde sistemler bozulmuş gibi görünmekle birlikte, bozulmamakta, ancak enerji değişimi bazında, en kararlı hali almaya çalışmaktadırlar.

4.1. Termodinamiğin İkinci Yasasının Tanımı :

19. yy'ın başlarında buhar makinesini geliştirme çalışmalarında az yakıt kullanılarak daha çok iş elde etme, hatta hiç yakıt kullanmadan, *çevreden ısı almak suretiyle*, sürekli çalışan makine yapma denemeleri yapılıyordu.

İlk defa **Sadi Carnot**, makine ve akışkan cinsine bağlı olmaksızın, ısıdan faydalı iş elde etme fikrini, en genel şekilde ele aldı ve çalışmalarının sonucunda Termodinamiğin ikinci yasasının temelini oluşturacak şekilde,

- *Isının ağırlığı olmayan bir madde olduğu ,*
- *Isının ancak sıcak olan kaynaktan, soğuk olan kaynağa doğru kendiliğinden geçtiği,*

- İki kaynak arasında sıcaklık farkı varsa, orada mekanik iş elde edilebileceği, buna karşılık mekanik iş tüketme karşılığında orada sıcaklık farkının oluşturulabileceği,
- Termik makinelerin çalıştırılabilmesi için mutlaka sıcaklıkları birbirinden farklı iki kaynağa ihtiyaç olduğu...

fikirleri ile tersinir makine kavramını ilk defa ortaya koyuyordu. Aslında S.Carnot, böyle bir makinenin çalışma prensibine esas olan Carnot Çevirimini tanımlıyordu.

Burada “kendiliğinden” sözcüğü, doğal ısı geçişini, ifade etmektedir. Her ne kadar bir soğutma makinesinde (Isı Pompası) sıcaklığı düşük olan bir kaynaktan ısı çekerek, bu ısıyı sıcaklığı daha yüksek olan bir kaynağa atma imkanı varsa da, böyle bir ısı geçişi kendiliğinden gerçekleşemez ve karşılığında mutlaka bir iş tüketimini gerektirir. Deneyler aynı zamanda, doğal ısı geçişinin tersinmez olduğunu da göstermektedir.

Termodinamiğin İkinci Yasası: “**Doğal olan durum değiştirmelerin hiç biri tersinir olarak gerçekleşemez,**” şeklinde de ifade edilebilir. Isı, sıcaklığı düşük bir ortamdan sıcaklığı yüksek olan bir ortama kendiliğinden geçse idi, tersinir veya sürekli çalışan bir makine yapma imkanı bulunabilirdi.

Termodinamiğin birinci yasaı hal değişimlerinin yönü üzerinde herhangi bir kısıtlama koymamakla birlikte, birinci yasanın sağlanması hal değişiminin her zaman gerçekleşebileceği anlamına da gelmemektedir. Bir hal değişiminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği konusu ancak termodinamiğin ikinci yasaı ile izah edilebilmektedir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında “**Bir hal değişimi, ancak termodinamiğin birinci ve ikinci yasaının sağlanması durumunda gerçekleşir**” denilebilir.

4.2. Tersinir ve Tersinmez Süreçler

Tabiat ve teknolojilerdeki süreçlerin başlangıç şartlarına tekrar ulaşip, ulaşmayacağı yani, bir hal değişiminin tersinir olup olmadığı konusu termodinamikte önemlidir. Bir sistemde hal değişimi tersinir olarak cereyan ediyorsa bu sistem başlangıç noktasına tekrar getirilebilmeli ve çevresinde herhangi bir değişme meydana gelmemelidir. Yani, **Bir sistemde, herhangi bir durum değişikliği meydana geldikten sonra sistemin kendisi ve tüm çevresi tekrar eski (başlangıç) şartlarına (haline) getirebiliyorsa, bu hal değişimine tersinir hal değişimi adı verilir.**

Mesela, çevresi ile tamamen ısı geçişine karşı yalıtılmış (izole edilmiş) bir silindir içinde bulunan herhangi bir gaz, sürtünmesiz piston üzerinde bulunan herhangi bir ağırlık vasıtasıyla sıkıştırılsın. Pistonun herhangi bir konumunda ağırlığın piston üzerine uyguladığı kuvvet, gazın basıncı dolayısıyla pistonu karşı uyguladığı kuvvete eşit olacak şekilde ayarlı olsun. Bu durumda pistonun her konumunda sistem dengededir. Herhangi bir konumu başlangıç olarak, pistonun üzerine sonsuz küçük bir başka ağırlık daha ilave edelim. Sistem sürtünmesiz olduğundan, ağırlık aşağıya doğru inecek ve gaz sıkışacaktır. Ağırlık dolayısıyla piston bir miktar aşağıya inerek yeni bir konum aldığı anda sistem dengede olacaktır. Pistonun üzerindeki ilave ağırlığı kaldırdığımızda, piston bu defa yukarı doğru hareket edecektir. Bu hareket sırasında pistonun aşağı inerken aldığı değerleri, bu defa yukarı çıkarken alacak ve bu değerler (P, V, T gibi) birbirine eşit olacaktır. İşte bu değişime, silindir içindeki gazın adyabatik ve tersinir bir hal değişimidir, denilebilir.

Termodinamiğin ikinci yasası, prensip olarak tersinir olmayan (tersinmez) süreçleri (değişimleri) formüle etmektedir. Bu ifade ile, tabiiatta hiçbir süreci sürekli olarak geri çevirmenin mümkün olmadığı, başka bir ifade ile, belirli süreçlerin ve enerji değişimlerinin yalnız bir doğrultuda mümkün olacağı vurgulanmaktadır.

4.3. İkinci Yasa -Entropi İlişkisi

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

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

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

Termodinamiğin birinci yasası durum değişiminin yönü üzerine bir kısıtlama koymamaktadır. Birinci yasaya göre bir çevrimde ısı tamamen işe dönüştürülebilir, $Q_{\text{çevrim}} = W_{\text{çevrim}}$. Yani birinci yasaya göre, sistemden çevreye ısı vermeksizin iş yapabilen bir ısı motoru, yani %100 verimli bir motor, yapmak mümkündür. İşte İkinci Yasa buna kısıtlama getirmektedir. Termodinamiğin ikinci yasasının **Kelvin-Planck** ifadesi bu durumu açıklar: **“periyodik olarak çalışan bir tek ısı kaynağı ile ısı alış verişini yaparak sürekli olarak iş üreten bir makinenin yapılması mümkün değildir.”**

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

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

ENTROPİ:

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

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

ise $S_2 - S_1 = \int_{1 \rightarrow 2} \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{ter}}$ integrali alınarak bulunabilir. Bunun için T ile Q arasındaki

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

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

Örnek:

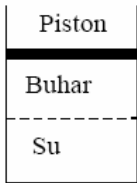
Bir durum değişimi sırasında 300 K sabit sıcaklıktaki çevre havaya, 100 kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu durum değişimi sırasında çevresin entropi değişimini hesaplayınız.

Çözüm:

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

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

Örnek:



Şekilde gösterildiği gibi, bir silindir-piston düzeneğinde 100 C⁰ sıcaklıkta su-buhar karışımı bulunmaktadır. Daha sonra 300 K sabit sıcaklıktaki çevre havaya, sabit basınçtaki bir durum değişimiyle 500 kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu durum değişimi sırasında suyun ve çevre havanın entropi değişimleri ile toplam entropi değişimini hesaplayınız.

Çözüm:

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

$$\Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = \frac{+500}{300} = +1,667 \text{ kJ} / \text{K} \text{ şeklinde çevrenin entropisi artar. Toplam}$$

entropi değişimi ise; $\Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{su}} + \Delta S_{\text{çevre}} = -1,340 + 1,667 = +0,327$ olur.

$$\Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = \frac{+500}{300} = +1,667 \text{ kJ/K}$$

şeklinde çevrenin entropisi artar. Toplam entropi değişimi ise; $\Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{su}} + \Delta S_{\text{çevre}} = -1,340 + 1,667 = +0,327$ olur.

İDEAL GAZLAR İÇİN ENTROPİ DEĞİŞİMİ:

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

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

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

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

Örnek:

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

Çözüm:

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

ÜNİTE SORULARI –VII

1. Termodinamiğin ikinci yasasının esası nedir.
2. Termodinamiğin ikinci yasası ile ilgili olarak iki prensip söyleyiniz.
3. Tersinir ve tersinmez süreç kavramlarını açıklayınız.
4. Entropinin tanımını yapınız.
5. İdeal gazlar için entropi ifadesini çıkarınız ve bu ifade yardımı ile sabit hacimdeki entropi ifadesini yazınız.
6. İdeal gazlar için entropi ifadesini çıkarınız ve bu ifade yardımı ile sabit sıcaklıktaki entropi ifadesini yazınız.

4.4. İkinci Yasa İle İlgili Uygulamalar

4.4.1. Isı makineleri ve ısı pompaları

İş kolaylıkla (mesela % 100 verimle) ısıya dönüştürülebilir; ancak, ısı enerjisinin, bu derece yüksek verimle işe dönüştürülmesi bugün için mümkün görülmemektedir.

Isı enerjisinin işe dönüştürülmesi ise ancak ısı makineleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Isı makinalarının çalışmasında ise aşağıdaki kurallar önem taşımaktadır:

- Isı makineleri bir ısı kaynağından ısı enerjisi alırlar. Güneş enerjisi reaktörleri, kazan, nükleer reaktör, soğutucular, klimalar gibi;
- Alınan ısı enerjisinin bir kısmını genellikle mekanik işe dönüştürürler ve,
- Isının geri kalan kısmını akarsu, çevre hava gibi daha düşük sıcaklıktaki diğer bir ısı kaynağına verirler.
- Isı makinelerinde gerçekleşen hal değişimleri her zaman bir çevrim oluşturmaktadır.

Bir **ısı makinesi** ısı enerjisinin sıcak kaynaktan, soğuk kaynağa transfer edilmesini sağlar, bu prosesin amacı enerjinin bir kısmının faydalı mekanik işe dönüştürülmesidir.

Soğutma makinesi 'nde ise, ısı makinasındaki tersine, ısı enerjisinin soğuk kaynaktan sıcak kaynağa transferi sözkonusudur ve bunun için sistemin çevreden kendisine verecek bir işe ihtiyacı vardır; bu prosesin amacı ancak soğuk kaynaktan, sıcak ortama ısı transferidir

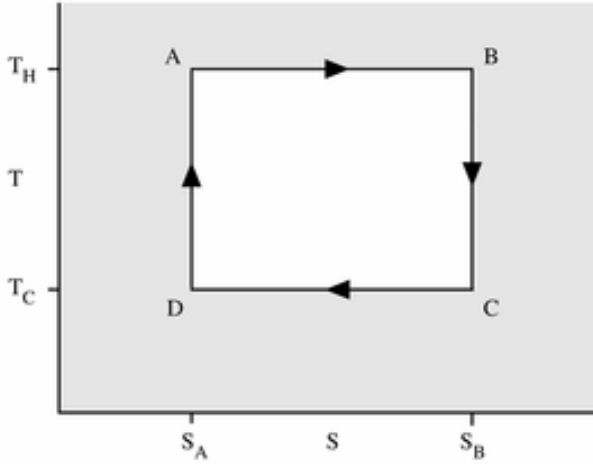
Günlük hayattan bilindiği üzere, termodinamik karakterli faaliyetlerin çoğu ısı enerjisi harcayarak iş üretmeyi esas alır. Bu ise ısıyı mekanik işe çeviren makinalara ihtiyaç göstermektedir. Burada şöyle bir soru ortaya çıkabilir: Isıyı işe dönüştüren makina hangi prensiplere göre çalışmalıdır? Bu konuda en çok arzu edilen, bu yolda kullanılan ısının tamamına yakınının işe dönüştürülmesidir. Peki böyle bir makina yapılabilir mi? Fransız mühendisi **Sadi Carnot** bu sorulara cevap ararken, ısıyı işe dönüştürmenin şartları olarak ısı kaynağına (ısıtıcı) ve ısı taşıyıcı bir akışkana ve ayrıca, sıcaklığı ısı kaynağının sıcaklığından daha düşük olan bir diğer ısı kaynağına (soğutucu) ihtiyaç olduğunu ortaya koymuştur. Sadi Carnot aynı zamanda çekilen ısının tamamının işe dönüştürülemeyeceğini de göstermiştir. Bu hususların daha rahat anlaşılabilmesi için aşağıda Carnot -Isı Makinasının çalışma prensibi ele alınmıştır.

CARNOT ÇEVİRİMİ

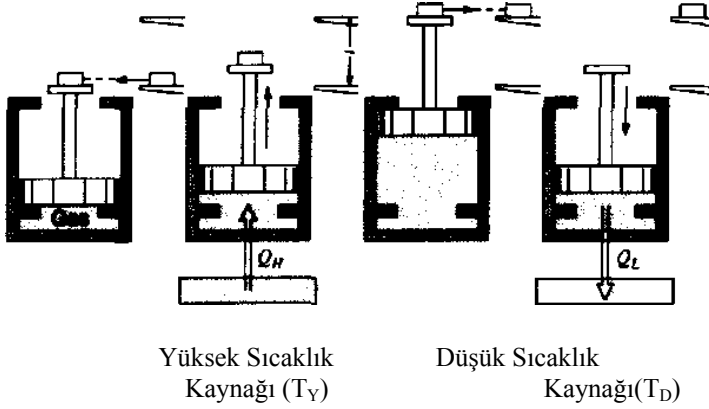
Carnot çevrimi, Sadi Carnot tarafından 1820'lerde ortaya konmuş bir termodinamik çevrimdir ve Emile Clapeyron tarafından 1830 ve 1840'lı yıllarda geliştirilmiştir.

Sistem, farklı durumları sırası ile takip ediyor ve en sonunda önceki haline geri dönüyorsa termodinamik bir çevrim oluşur. Bu çevrim boyunca proses içinde, sistem çevresine iş yapabilir (**ısı makinesi**) veya çevreden iş alarak ısı transfer edebilir (**soğutma makinesi**). Carnot çevrimi özel bir çevrimdir çünkü, verilen ısı enerjisinin işe çevrilme miktarı ya da tersi için (verilen işin soğutma amaçları için kullanımı) mümkün olan en verimli çevrimdir; verimli çevrim olmasının sebebi, tamamen tersinir adımlardan oluşmasıdır. Başka bir deyişle, her adımdaki ve toplamdaki entropi değişimi sıfırdır.

Şekil 4.1.'de bir ısı makinesine ait Carnot çevrimi, sıcaklık – entropi diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Çevrim T_H ve T_C sıcaklıkları arasında yer alır. Dikey eksen sıcaklık, yatay eksen entropidir.



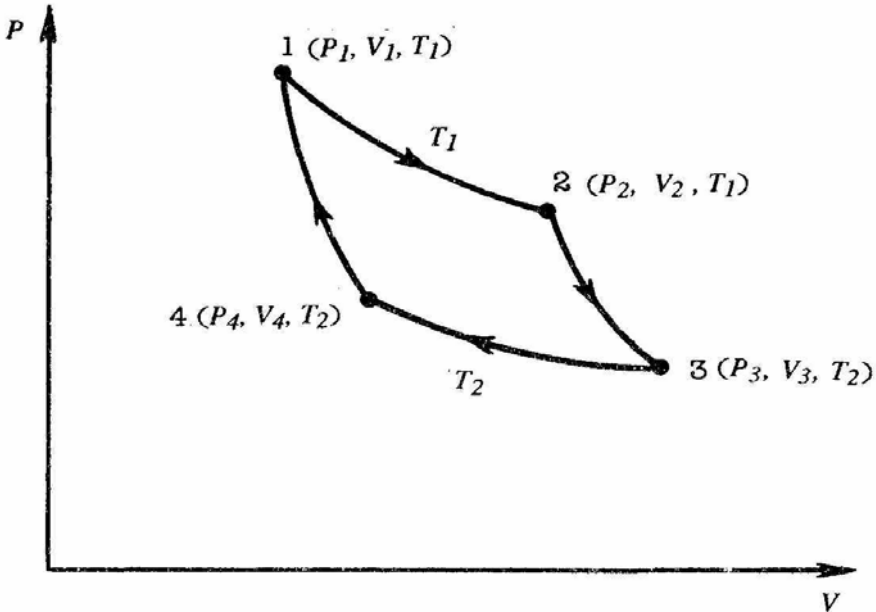
Şekil 4.1. Bir Carnot Çevriminde Sıcaklık-Entropi Diyagramı.



Şekil.4.2. Isı Makinesinde temsili çevrim modeli

ÖNEMLİ NOT:

İkinci yasa ile ilgili örneklerde, Q_L (veya Q_D) her zaman düşük sıcaklık kaynağına/kaynağından (T_L veya T_D) transfer olan ısıyı, Q_H (veya Q_Y) ise her zaman yüksek sıcaklık kaynağına/kaynağından (T_H veya T_Y) transfer olan ısıyı temsil etmektedir.



Şekil 4.3. Carnot Çevrimi

Carnot, ısı kaynağından alınan ısının mekanik işe dönüşmesinde esas rolün sistemin esasını oluşturan ısı taşıyıcı akışkana düştüğünü ve **taşıyıcı akışkanın** periyodik olarak sıkışma-genleşme hallerine dönüşmesinin, yani her defasında tam bir çevrimi tamamlamasının şart olduğunu ortaya koymuştur. Başka bir deyişle, çevrimin esası, taşıyıcı akışkanın periyodik olarak, hep başlangıçtaki konumuna gelmesidir. Bu esnada çekilen ısının mümkün merteye en yüksek verimle işe dönüştürülebilmesi istenir. İşte bunun şartlarını görebilmek için Carnot Çevrimine ait kademelerin ayrı ayrı analiz edilmesi gerekmektedir Böyle bir çevrim, Şekil 4.3 de görüldüğü gibi, iki adet izotermik (sabit sıcaklıkta) ve iki adet adyobatik (sabit ısıda) olmak üzere dört kademededen oluşmaktadır.

Bu çevrimde taşıyıcı akışkana dışarıdan iş verilerek akışkan 3-4 noktaları arasında **izotermik** ($T_L = \text{sabit}$) ve 4-1 noktaları arasında **adyobatik** ($Isı = \text{sabit}$) olarak sıkıştırılmakta; bu suretle sıcaklığı ve basıncı artan akışkan, 1-2 noktaları arasında izotermik ($T_H = \text{sabit}$) ve 2-3 noktaları arasında da adyobatik olarak genişleyerek dışarıya iş yapmaktadır.

Bilindiği üzere, **sıkıştırılan bir gazın basıncı ve sıcaklığı artmakta, bunun aksine, genişleyen bir gazın da basınç ve sıcaklığı azalmaktadır.**

3-4 noktaları arasında, sıkıştırmaya bağlı olarak, artma eğiliminde olan sıcaklığın (T_L) sabit kalabilmesi için, sistemin soğutulması yani sistemden ısı atılması;

1-2 noktaları arasında ise, genişlemeye bağlı olarak, azalma eğiliminde olan sıcaklığın (T_H) sabit kalmasını sağlamak için ise sisteme ısı verilmesi gerekmektedir.

Carnot Çevrimi, teorik olarak, kapalı veya sürekli akışlı açık bir sistemde gerçekleştirilebilir. Aşağıda, bu kademelerin ayrı ayrı tanımları yapılmıştır.

1. Kademe (İzotermal Genleşme): Taşıyıcı akışkan 1-2 noktaları arasında, sıcaklığı T_1 olan sıcak ısı kaynağından Q_1 kadar ısı almak suretiyle izotermik olarak ($T_H = \text{sabit}$) genleşerek dışarıya iş yapmakta ve 1 (P_1, V_1, T_1) konumundan, 2 (P_2, V_2, T_1) konumuna geçmektedir.

2. Kademe (Adyobatik Genleşme): Bu kademede taşıyıcı akışkan 2-3 noktaları arasında, adyobatik olarak ($Isı = \text{sabit}$) genleşerek dışarıya iş yapmakta ve sıcaklığı bu esnada T_1 den T_2 ye düşmektedir ($T_1 > T_2$).

3. Kademe (İzotermal Sıkışma): Bu kademede, taşıyıcı akışkan üzerine dışarıdan iş verilerek, 3-4 noktaları arasında izotermik olarak ($T_L = \text{sabit}$) sı-

kıştırılmakta ve bu esnada bünyesinde artık kalan Q_2 miktarındaki ısıyı soğuk ısı kaynağına vermektedir (ikinci yasa gereği soğuk ısı kaynağına ısı verme zorunluğu).

4. Kademe (Adyabatik Sıkıştırma): Bu kademede ise, taşıyıcı akışkanın başlangıç haline gelmesi, yani çevrimi tamamlaması gerekmektedir. Bunun için akışkan üzerine dışardan iş verilerek, 4-1 noktaları arasında adyabatik olarak (Isı = sabit) sıkıştırılmakta ve bu esnada sıcaklığı ve basıncı atmaktadır.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, kendisinden iş temin edilebilecek bir çevrim için taşıyıcı akışkanın sıcaklığı daha yüksek olan bir ısı kaynağından ısı çekmesi ve bunun bir kısmını sıcaklığı daha düşük olan bir kaynağa vermesi gerekmektedir. Aradaki Q_1-Q_2 ısı farkı kendisinden temin edilen iş eşdeğer ısıdır.

CARNOT VERİMİ

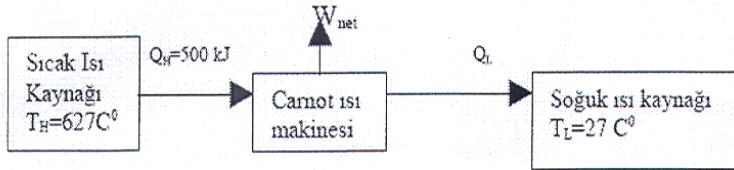
Sitemden atılan ısı miktarı $-Q_L = Q_2 = mRT_L \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$, sisteme verilen ısı miktarı

da $Q_H = Q_4 = mRT_H \ln\left(\frac{v_4}{v_3}\right)$ eşitlikleriyle hesaplanabilir. Çevrimin ısı verimi de $n_c = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$ bağıntısından bulunur. Buradan da izentropik durum için Carnot

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

Örnek:

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



Çözüm:

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

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

4.4.1.1. Isı Makineleri / İş Üreten Makineler

(Isı Yardımı İle İş Ortaya Koyan Sistemler)

Isı makinesi tanımına en çok uyan sistem, ısı kaynağı dışarıda olan buharlı güç santralidir. Bu sistemde ısı üretimi makinenin dışında olur ve yakıtın yanması ile ortaya çıkan ısı enerjisi, taşıyıcı rolü üstlenmiş olan suya geçer. Bu sistemde su buharı taşıyıcı akışkandır. Mesela bir buharlı güç santralinde (Şekil 4.4) bir fırının yanma odasında ortaya çıkan Q_H ısıyı yardımcı ile meydana gelen buhar mekanik işi temsil etmekte olan türbin vasıtası ile hem elektrik üretimine hem de pompanın çalışmasına vasıta olmaktadır. Türbinlerden çıkan sıcak buhar kondenserlerde (soğutucu-yoğunlaştırıcı) Q_L ısını soğutma suyuna vererek, pompa yardımı ile tekrar buharlaştırma-kızdırma reaktörüne dönmektedir. **Buhar Enerji Santrali** adı verilen bu sistemden alınan işin büyük bir kısmı türbinler yardımı ile elektriğe dönüşmekte ve bu elektrik ihtiyaç duyulan çeşitli iş alanlarında kullanılmaktadır.

ISI MAKİNELERİNDE VERİM

Yukarıda enerji santrali örneğinde verilen ısı makinesinin termal verimi, şekil 4.5 teki şema ile temsil edildiği üzere, sistemden alınan W işinin (enerji karşılığının), yüksek sıcaklık kaynağından alınan Q_Y ısısına (enerji karşılığına) oranına eşittir. Yani, η_{termal} verimi için,

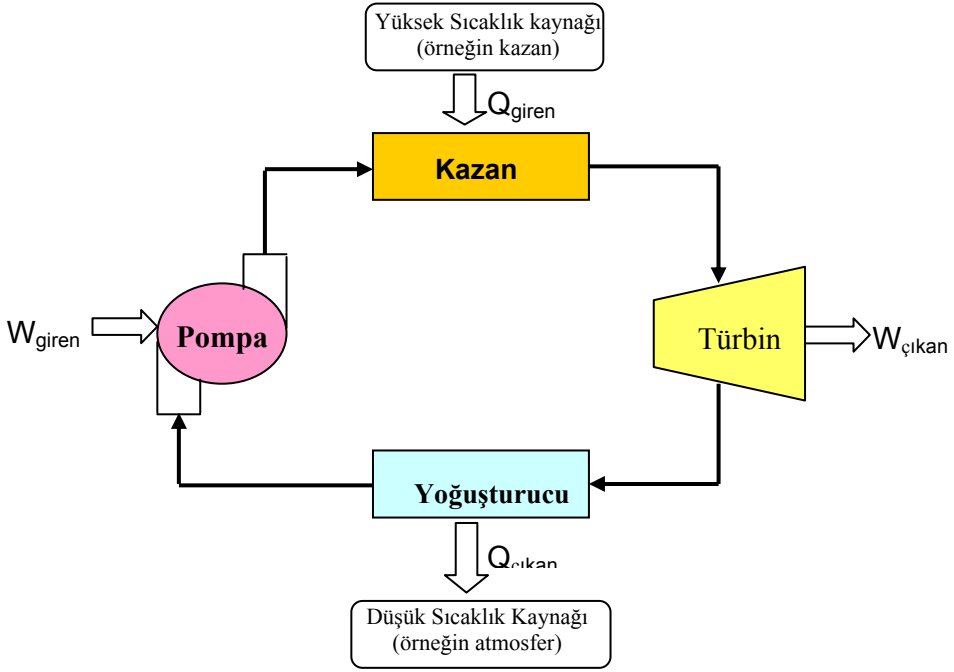
$$\eta_{\text{termal}} = W / Q_Y$$

ifadesinde, $W = Q_Y - Q_D$ olduğundan,

$$\begin{aligned}\eta_{\text{termal}} &= (Q_Y - Q_D) / Q_Y \\ \eta_{\text{termal}} &= 1 - (Q_D / Q_Y),\end{aligned}$$

ifadeleri yazılabilir.

Isı makineleri olarak enerji santralleri (Şekil 4.5), gaz türbinleri, jet motorları, yakıtlı motorlar, dizel motorlar (kamyonlar, traktörler vb.) gibi çeşitli kapasitelerdeki sistemler örnek verilebilir. Bu makinelere ait termal verimler ortalama %20-50 arasında değişmektedir.



Şekil 4.4. Buharlı güç santralinin ana üniteleri

İkinci yasa ile ilgili hesaplamalarda sistemin süreklilik içerisinde çalıştığı, yani sistemde (ısı makinelerinde) sürekli akış yapan akışkanın toplam entropisinin değişmediği; yani

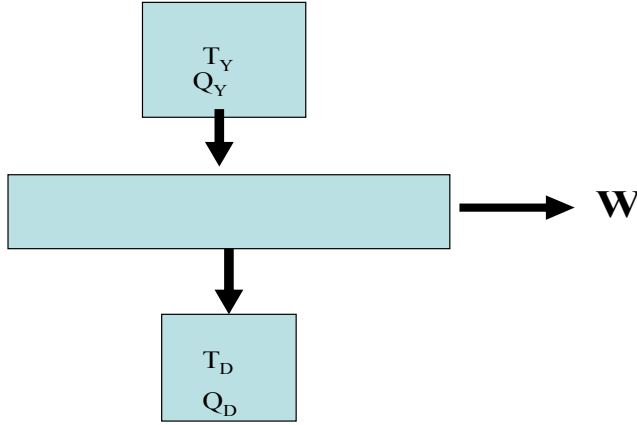
$$dS = \delta q / T = 0$$

olduğu kabul edilir. Çünkü, çevrim esas alındığında, akışkanın hali hep adyobatik, yani sonuçta ısı değişimi yoktur ($\delta q = 0$). Bu ise, ısı makinesinden akan taşıyıcı akışkanın entropisinin sabit alınabileceği manasını taşımaktadır. Bu durumda (tersinir sistem kabulü ile), ısı makinesindeki enerji balansı için, birinci yasa,

$$\Sigma \delta Q + \delta W_{ter} = 0$$

$$\delta Q_Y + \delta Q_D + \delta W_{ter} = 0, (1)$$

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil.4.5. Bir ısı makinesinin çalışma prensibi

İkinci yasaya göre, sürekli kapalı tersinir sistemde çalıştığı farzedilen ısı makineleri için, akışkanın süreklilik içerisinde adyabatik olduğuna dikkat ederek aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\Sigma (\delta Q / T) = 0$$

Her iki konum için;

$$(\delta Q_Y / T_Y) + (\delta Q_D / T_D) = 0$$

olur, buradan,

$$\delta Q_D / T_D = - \delta Q_Y / T_Y$$

bulunur. Bu yukarıdaki (1) eşitliğine taşındığında

$$\delta W_{\text{ter}} = \delta Q_Y (T_Y - T_D) / T_Y$$

bulunur.

Isı makinesi veriminin (η_{termal}), sistemden alınan işin (δW_{ter}) enerji karşılığının yüksek sıcaklık kaynağından alınan enerjiye (δQ_Y) oranı olarak tanımlandığına yukarıda işaret edilmiş idi. Yani, yukarıda verilenler kullanılarak,

$$\eta_{\text{termal}} = \text{Alınan Enerji} / \text{Verilen Enerji}$$

$$\eta_{\text{termal}} = (\delta W_{\text{ter}} / \delta Q_Y)$$

$$\eta_{\text{termal}} = (T_Y - T_D) / T_Y$$

$$\eta_{\text{termal}} = 1 - T_D / T_Y$$

bulunur. Sonuç olarak, yüksek sıcaklık kaynağından alınan ısı miktarından elde edilebilen maksimum iş miktarı, ısının aktarıldığı düşük sıcaklık kaynağının sıcaklığına bağlıdır.

İkinci yasa ile ilgili verim ifadesinde görülmektedir ki, bir işlem gerçekleştirirken işlemin sonunda, çekilen ısının aynı eşdeğerde faydalı işe dönüştürülmesi imkansızdır.

PROBLEM 4.5: Bir otomobil motoru %30 termal verimle çalışarak, hareket sistemine 136 hp (horse power) miktarında iş (enerji) iletiyor. Silindirlerde yanan yakıttan 35 000 kJ/kg enerji açığa çıkıyor.

- Motorla verilen toplam enerji (Q_H) miktarını ve,**
- Motorun 1 saniyedeki yakıt tüketimini (kg) bulunuz.**

ÇÖZÜM:

- Verimi temsil eden,

$$\eta_{\text{termal}} = W / Q_Y$$

ifadesinden,

$$Q_Y = W / \eta_{\text{termal}} \text{ yazılabilir.}$$

$$W = 136 \text{ hp} \cdot 0,7355 = 100 \text{ kJ / s değeri ile birlikte}$$

$$\eta_{\text{termal}} = 0,30 \text{ değeri yukarıda yerine konarak,}$$

$$Q_Y = 100 / 0,30$$

$$Q_Y = \mathbf{333 \text{ kJ / s}} \text{ bulunur.}$$

$$(Q_L = (1 - \eta_{\text{termal}}) \cdot Q_H = (1 - 0,30) \cdot 333 = 233,1 \text{ kJ/s})$$

- Birim sürede tüketilen enerji miktarı için, $Q_Y = 333 \text{ kJ/s}$

olduğuna göre, birim sürede tüketilen m yakıt miktarı,

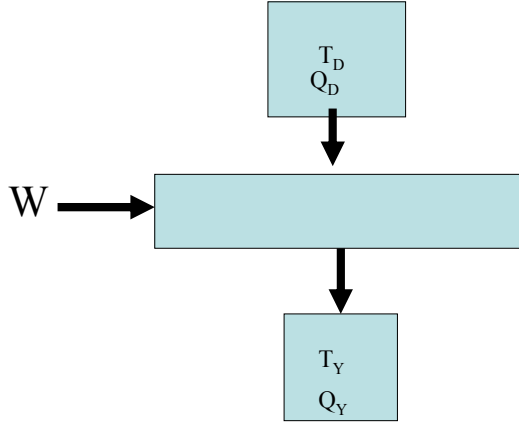
$$m = Q_Y / q_Y = 333 \text{ kJ/s} / 35 \text{ 000 kJ/kg}$$

$$m = \mathbf{0,0095 \text{ kg / s}} \text{ bulunur.}$$

4.4.1.2. Isı Pompaları / Soğutma makineleri

(İş yardımı ile ısı farkı ortaya koyan sistemler)

Isı makinalarının aksine, düşük sıcaklık kaynağından ısı alarak yüksek sıcaklık kaynağına ısı transferini gerçekleştiren sistemlerdir. Bu konuda rahatlıkla verilebilecek uygulama örnekleri, soğutucular (buzdolapları gibi) ve klimalardır (ısıtıcı/soğutucu gibi). Aşağıda verilen şekil ve şemalarda bu makinelerin çalışma prensipleri görülmektedir. Soğutma makinelerinde de, ısı makinelerinde olduğu gibi, bir çevrimi esas olarak çalışma mecburiyeti vardır.

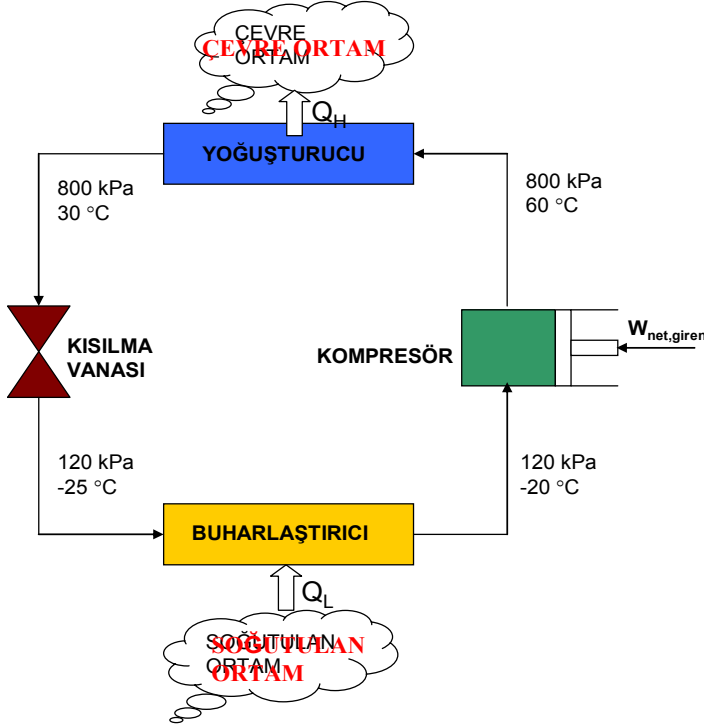


Şekil 4.6. Bir ısı pompası/soğutma makinesinin çalışma prensibi

Aşağıda, bir uygulama örneği olarak, bir soğutucuya ait çalışma şeması verilmiştir. Taşıyıcı akışkan kompresöre buhar olarak girmekte ve burada yoğuşturucu basıncına sıkıştırılmaktadır. Kompresör çıkışında kızgın buhar halinde olan akışkan, yoğusturucudan çevre ortama (yüksek sıcaklık kaynağına) ısı vererek soğumakta ve yoğunlaşmaktadır. Akışkan, yoğunlaştırıcıdan sonra kılcal borulara girmekte ve kısılma etkisiyle basıncı ve sıcaklığı büyük ölçüde azalmaktadır. Taşıyıcı akışkan daha sonra buharlaştırıcıda soğutulmak istenen ortamdan (düşük sıcaklık kaynağından) ısı alarak buharlaşmakta ve çevrim akışkanının kompresöre girmesiyle tamamlanmaktadır.

Soğutma makinelerinde ısı taşıyıcı olarak, örneğin R-134 a veya amonyak kullanılabilir. Çevrim kısaca, aşağıdaki kademeleri ihtiva etmektedir:

- 1. KADEME:** Buharlaştırma kısmında (soğutulmak istenen ortamda) bulunan Q_L ısı, basınç ve sıcaklığı düşük olan taşıyıcı akışkana transfer olmaktadır.
- 2. KADEME :** Kompresör ünitesinde taşıyıcı akışkan üzerine dışarıdan iş tatbik edilerek taşıyıcı akışkan yoğunlaşma basıncına sıkıştırılmaktadır.
- 3. KADEME :** Basıncı ve sıcaklığı yüksek olan taşıyıcı akışkanın, kondenserde (yoğunlaştırıcıda), bünyesindeki Q_H ısı ayrılmaktadır.
- 4. KADEME :** Taşıyıcı akışkan capillary tube (kısılma vanası) den geçerken basıncı ve sıcaklığı büyük ölçüde düşürülmekte ve buharlaştırma kısmına geri döndürülmektedir.



Bir soğutma sisteminin ana bileşenleri

Şekil 4.7. Isı Pompası prensibi ile çalışan bir soğutma makinesi devresi

SOĞUTMA MAKİNELERİNDE VERİM

Örnek olarak, bir buzdolabı için β ile gösterilecek olan verim ifadesini ele alalım. Taşıyıcı akışkanın düşük sıcaklık ortamından (buzdolabının iç atmosferinden) çektiği ısı miktarı Q_L ve bunu taşımak ve yüksek sıcaklık ortamına (oda atmosferine) atmak için harcanan iş enerjisi W , çevrim esnasında taşıyıcı akışkandan yüksek sıcaklık ortamına transfer olan ısı miktarı ise Q_H olsun. Bu durumda bu çevrime ait β verimi için,

$$\beta = \text{Çekilen ısı enerjisi} / \text{Harcanan iş enerjisi}$$

$$\beta = Q_L / W$$

$$\beta = Q_L / (Q_H - Q_L)$$

$$\beta = 1 / \left(\frac{Q_H}{Q_L} - 1 \right), (1)$$

yazılabilir.

(Taşıyıcı akışkan bir an sistem olarak düşünüldüğünde, sisteme çevreden transfer olan enejilerle sistemin çevreye verdiği enerjilerin, işaretlerine dikkat edilerek toplamı sifira eşitlenebilir; yani yukarıdaki sistemde, enerjinin korunumu yasaasına göre,

$$Q_L + W - Q_H = 0$$

yazılabilir. Buradan da, yukarıdaki sistem için,

$$W = Q_H - Q_L$$

yazılabilir).

Bu defa, buzdolabının soğutucu olarak değil de, odayı ısıtıcı olarak kabul edilmesi durumunu inceleyelim. Bu durum için verim ifadesi,

$$\beta' = Q_H / (Q_H - Q_L)$$
$$\beta' = 1 / 1 - (Q_L / Q_H), (2)$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda aynı sistemin soğutma ve ısıtma amaçlı kullanılmalarına ait verimleri farkının,

$$\beta' - \beta = 1$$

olduğu rahatlıkla bulunabilir.

PROBLEM 4.6: Bir mutfak buzdolabı sistemini çalıştırmak için 150 watt 'lık elektrik enerjisi harcanmaktadır. Bu esnada mutfak ortamına 400 watt'a eşdeğerde ısı enerjisi naklediliyor.

- Soğuk ortamdan enerji çekme hızını (birim süredeki miktarını),
- Buzdolabının verimini bulunuz.

ÇÖZÜM :

Enerjini sakınımı prensibine göre (sistem olarak taşıyıcı akışkanı alacağız):

$$Q_L + W - Q_H = 0 \text{ ifadesinden,}$$

a) $Q_L = Q_H - W$ yazılabilir.

$$Q_L = 400 - 150$$

$$Q_L = 250 \text{ watt (bu değer aynı zamanda enerji transfer hızıdır).}$$

b) Buzdolabının β verimi için,

$$\beta = Q_L / W \text{ ifadesinde bilinenler yerlerine konularak,}$$

$$\beta = Q_L / W = \beta = 250 / 150$$

$$\beta = 1,67 \text{ bulunur.}$$

PROBLEM 4.7: Bir buzdolabının iç ortamından dakikada 360 kJ ısı çekilerek iç ortam 4 °C sıcaklıkta tutulmaktadır. Buzdolabını çalıştırmak için gerekli güç 2kW olduğuna göre,

- buzdolabının verimini ve,
- buzdolabından mutfağa olan ısı geçişini hesaplayın.

ÇÖZÜM :

Buzdolabından çekilen ısı $Q_L = 360$ kJ/dak., bu işlem için harcanan, yani sisteme uygulanan iş ise, $W = 2$ kW değerindedir. Bu durumda,

- $\beta = Q_L / W = \{(360 \text{ kJ / dakika}) / 2 \text{ kW}\}$.
 $(1 \text{ kW} / (60 \text{ kJ / dakika})) \beta = 3$
- $Q_H = Q_L + W = 360 \text{ kJ / dakika} + (2 \text{ kW})$.
 $\{(60 \text{ kJ / dakika}) / 1 \text{ kW}\}$
 $Q_H = 480 \text{ kJ / dakika}$ bulunur.

PROBLEM 4.8: Ağırlığı 1 kg olan hava kütlesi, 27 0C ve 327⁰C sıcaklık sınırları arasında bir tersinir termik makina vasıtası ile Carnot çevrimi yapmaktadır. İzoterm genleşme sürecinin sonunda hacmi izoterm genleşme sürecinin başındaki hacmin 4 katına artmaktadır. Buna göre,

- Verimi,
- Çevrim boyunca çevreye iş olarak iletilen ısı miktarını ve
- Sıcak kaynaktan alınan ısı miktarını hesaplayınız.

ÇÖZÜM:

- Verim için, $\eta = 1 - (T_2/T_1)$ ifadesi yardımı ile,
 $\eta = 1 - (27+273) / (327+273)$
 $\eta = 0.50$ bulunur.

- Çevrim boyunca çevreye iş olarak iletilen ısı miktarı için,

$$Q_D = A.G.R.(T_1 - T_2) \ln(V_2/V_1)$$

ifadesinin kullanılması gerekir. Bu ifadede,

$A=1 / 427$ kcal/kgm , $G=1$ kg, $V_2 / V_1 = 4$, $T_1 = 600$ °K,
 $T_2 = 300$ °K, hava için $R=29,4$ kgm/kg.°K Değerleri yerlerine konarak, $Q_D = 1/427).1.29,4.(600-300).\ln(4/1)$

$Q_D = 28,6$ kcal bulunur.

- c) Sıcak kaynaktan alınan ısı miktarı için, soğutma makinasına ait olan, $\eta = (Q_D / Q_Y)$ verim ifadesi kullanılarak,
 $0,50 = (28,6 / Q_Y)$
 $Q_Y = 57,26 \text{ kcal}$ bulunur.

PROBLEM 4.9: *Bir termik makine 550⁰C sıcaklıta olan yüksek sıcaklık kaynağından 1000 kW eşdeğerinde ısı alarak bunun bir kısmını 300⁰K sıcaklıkta bulunan düşük sıcaklık kaynağına boşaltmakta ve bu esnada 450 kw değerinde iş üretmektedir.*

- a) *Düşük sıcaklık kaynağına boşaltılan ısı miktarını,*
b) *Normal makine verimini bulunuz ve*
c) *Bu makinenin aynı şartlarda bir CARNOT Isı Makinesi düzeninde çalışması durumunda verim, iş ve düşük sıcaklık kaynağına boşaltılan ısı miktarı yönleri ile kıyaslamasını yapınız.*

ÇÖZÜM:

- a) Sistem olarak termik makinenin kendisini aldığımızda, enerji dengesi olarak,

$$Q_D = Q_Y - W$$

İfadesi yardımı ile, $Q_D = 1000 - 450$ $Q_D = 550 \text{ kW}$

- b) Normal makine verim ifadesi olan

$$\eta_{\text{termal}} = W / Q_Y = 450 / 1000 = 0,45$$

ifadesi yardımı ile, $\eta_{\text{termal}} = 450 / 1000$ $\eta_{\text{termal}} = 0,45$ bulunur.

- c) Sistemin bir CARNOT Isı Makinesi düzeninde çalışması durumunda, verimin sıcaklıkların bir fonksiyonu olarak ifadesi,

$$\eta_{\text{carnot}} = 1 - (T_D / T_Y)$$

ifadesi yardımı ile,

$$\eta_{\text{carnot}} = 1 - (300 / 550 + 273)$$

$\eta_{\text{carnot}} = 0,635$ bulunur.

Sistemden elde edilen iş ve düşük sıcaklık kaynağına boşaltılan ısı miktarı için ise, $W = \eta_{\text{carnot}} \cdot Q_Y$ İfadesi yardımı ile,

$$W = 0,635 \cdot 1000$$

$W = 635 \text{ kW}$ ve,

$$Q_D = Q_Y - W = 1000 - 635$$

$Q_D = 365 \text{ kW}$ bulunur.

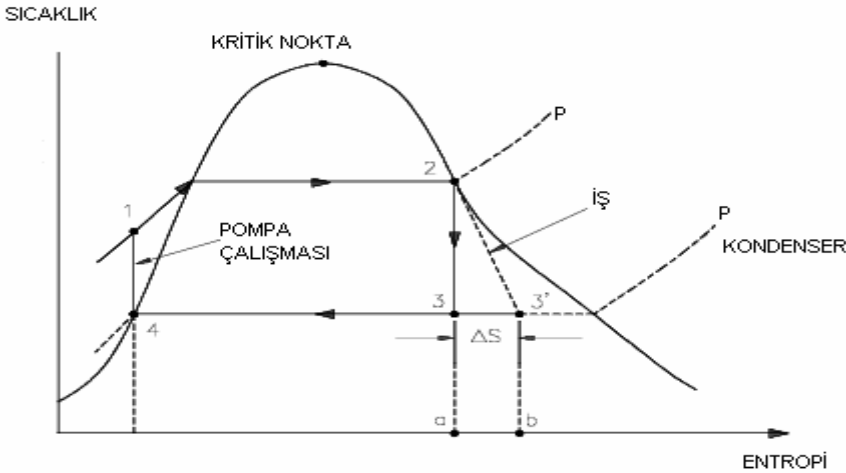
4.4.2. Diğer Çevrim Örnekleri:

Termodinamiğin ikinci yasasının ortaya koyabileceği en yüksek verim ve uygulanabilirliği ortaya koyacak şekilde değişik çevrim modelleri geliştirilmiştir. Carnot çevrimi ile de kıyaslanmaları bakımından, uygulama alanlarına bağlı olarak, bu çevrim modellerinden en çok değeri olanlardan bir kaçına aşağıda yer verilmiştir.

RANKİNE ÇEVİRİMİ

Rankine çevriminin adımları da dört aşama ile gösterilir. Burada çevrimin ideal şartlarda olduğu varsayılır. Ama gerçek şartlarda çevrimin pompa ile sıkıştırma ve türbinde genişleme aşamaları *izentropik*(*) değildir. Bu aşamalarda izentropide artış meydana gelir. Bundan dolayı gerçekte pompa için gereken güç ihtiyacı artar ve türbinden elde edilen iş azalır.

(*) *Adyabatik dönüşümde sistemin entropisi sabit kaldığı için bu dönüşüme izentropik dönüşüm denir.*



Şekil 4.8. Rankine çevrimi T-S diyagramı

Birinci Kademe(4-1): Önce çalışma akışkanı, düşük basıttan, yüksek basınca pompalanır. (İdeal şartlarda adyabatik olarak, yani ısı değişimi sıfır, yani entropi değişimi sıfır) Pompalama için iş girişine ihtiyaç vardır. (Örneğin mekanik veya elektrik işi)

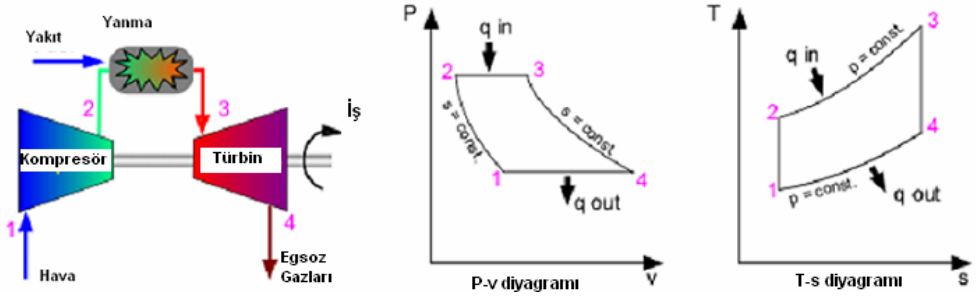
İkinci Kademe(1-2): Yüksek basınçlı sıvı bir ısıtıcıya girer, bir ısı kaynağı ile *sabit basınçta* kızdırılmış buhar halini alana dek ısıtılır. Genelde ısı kaynağı olarak, kömür, doğal gaz veya nükleer güç kullanılır.

Üçüncü Kademe (2-3): Kızgın buhar, türbin boyunca genişler ve iş üretimine vesile olur. İdeal şartlarda, bu genişleme *izentropiktir*. Bu olay buharın basınç ve sıcaklık kaybetmesine sebep olur.

Dördüncü Kademe (3-4): Buhar daha sonra kondensere girer, doymuş sıvı halini alana kadar soğutulur. Bu sıvı daha sonra tekrar pompaya girer ve çevrim tekrar eder.

BRAYTON ÇEVİRİMİ

Brayton çevrimi, genel olarak gaz türbinlerinde kullanılan, periyodik bir prosesdir. Diğer içten yanmalı güç çevrimleri gibi açık bir sistem olmasına rağmen; termodinamik analiz için egsoz gazlarının içeri alınıp tekrar kullanıldığı farzedilir ve kapalı bir sistem gibi analize uygun hale gelir. Aynı zamanda **Joule çevrimi** olarak da bilinir.



Şekil.4.9. İdeal Brayton Çevrimi.

Brayton çevrimi günümüzde en çok gaz türbinli makinelerde kullanılır. Burada üç ünite vardır:

- Gaz kompresörü
- Brülör (Yakıcı) veya yanma odası
- Genleşme türbini

Bu çevrimde çevre havası kompresöre girer ve basıncı yükseltilir (adyabatik proses). Basıncı hava yanma odasına girer, yakıtın yanması ile hava ısıtılır (Sabit basınçta). Hava açık olan yanma odası boyunca akış yapar (Girer ve çıkar). Basıncı ve ısıtılmış hava, enerji vererek, türbin veya türbinler boyunca genişler ve bu suretle iş elde edilir (adyabatik proses). Türbinden elde edilen işin bir kısmı ile kompresörü çalıştırmada kullanılır. Aslında ne sıkıştırma, ne de genişleme gerçekte adyabatik olamaz, kompresör ve genişletici boyunca kayıplar, verim kaybını kaçınılmaz hale getirir.

Genelde, sıkıştırmayı artırmak sureti ile, bir Brayton sisteminden elde edilecek işin büyüklüğünü arttırmak sıkça kullanılan bir yoldur.

DİZEL ÇEVİRİMİ

Şubat 1893'te Alman Mühendis **Rudolf Diesel** tarafından patenti alınmıştır. Geniş kömür yataklarına sahip olan Almanya'nın petrole bağımlılığını azaltmak için kömürle çalışan bir motor yapma hedeflenmiştir. Ancak kömür tozunun yanmasından dolayı ortaya çıkan kül büyük sorunlar doğurmuş, daha sonraları ise motorda farklı yakıtların kullanılması tasarlanmıştır. Nitekim **Rudolf Diesel**, motorun sunumunu 1900'deki Dünya Fuarı'nda, yakıt olarak yer fıstığı yağı (Biodizel) kullanarak yapmıştır.

Dizel Motoru, içten yanmalı bir motor tipidir. Daha özel bir tanımla, dizel motor oksijen ihtiva eden bir gazın (genellikle bu atmosferik havadır) sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa getirilmesi ve silindir içine püskürtülen yakıtın bu sayede alev alması ve patlaması prensibi ile çalışan bir motordur. Bu yüzden benzinli motorlardan farklı olarak, ateşleme için bujilere ve yakıt oksijen karışımını oluşturmak için ise karbüratöre ihtiyaç yoktur.

Çalışma prensibi şöyledir: Gaz sıkıştırıldığında, sıcaklığı yükselir, ve dizel motoru bu özelliği kullanarak yakıtı ateşler. Hava, dizel motorunun silindiri içerisine çekilir ve bir piston tarafından, benzinli) motorlardakinden çok daha yüksek (25 katı bulabilir) kıvılcım ateşlemeye hazır olacak bir oranda sıkıştırılır. Bu esnada sıkıştırılan havanın sıcaklığı 700-900°C'a ulaşır. Piston hareketinin en tepe noktasında, dizel yakıt yüksek basınçla (ato-mizer memeden geçerek) yanma odasının içerisine püskürtülür; burada sıcak ve yüksek basınçlı hava ile karışır. Bu karışım hızla tutuşur ve yanar. Hızlı sıcaklık artışı ile yanma odası içindeki gaz genişler, artan basınç, pistonu aşağı doğru hareket ettirir. Bu hareket biyel (piston) kolu ve krank mili çıkışı-şına dönme gücü olarak iletilir.

Egzoz gazını silindirin dışına atma ve taze hava çekme işlemi, kapakçıklar (valf) veya giriş ve çıkış kanalları aracılığıyla yapılır. Dizel motorun kapasitesinin tam olarak kullanılabilmesi için içeriye alınan havayı sıkıştırabilecek turboşarjer kullanılması gerekir; turboşarjer ile havanın sıkıştırılmasından sonra bir artsoğutucu/arasoğutucu ile içeri alınan havanın soğutulması ayrıca verimi artırır.

OTTO ÇEVİRİMİ

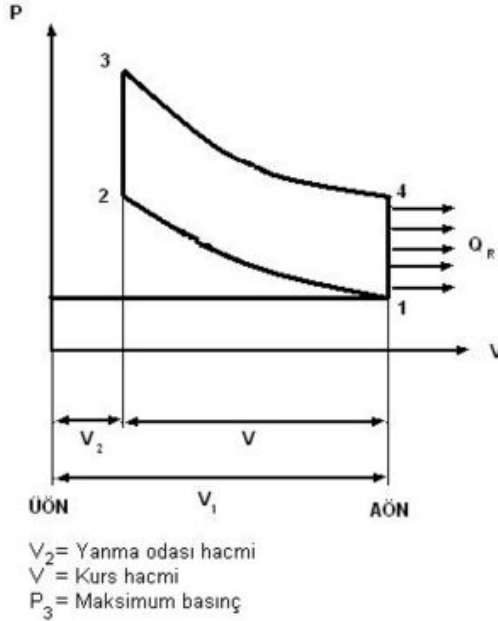
Sabit hacim çevrimli motor olarak ta bilinir. Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan, ateşlemenin piston üst ölü noktaya geldiği ve sıkıştırma sonu basıncının en üst seviyeye çıktığı anda bujilerden kıvılcım çaktırılarak yapılan bunun sonucunda da pistonu aşağıya iten maksimum basıncın elde edildiği çevrimlerdir. Sabit basınç ya da dizel çevrimlerinden farkı ateşleme sabit bir hacimde yapılması ve buji kullanılmasıdır. Sabit hacim derken, dizel çevrimlerinde olduğu gibi piston aşağıya doğru inerken sisteme ısı girişi yapılmamaktadır.

Otto Çevrimi Safhaları :

Sıkıştırma (1-2): Bu safhada, piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket eder. Bu sırada emme ve egzoz valfleri kapalıdır, dolayısıyla içerdeki hava sıkışır ve basıncı grafikte görüldüğü gibi artar.

Sabit Hacimde Yanma (2-3): Piston üst ölü noktaya ulaştığı sırada bujiden kıvılcım çaktırılarak sıkışarak ısınmış hava – yakıt karışımı yanmaya başlar, bunun sonucunda basınç P_2 'den P_3 değerine sıçrama yapar.

Genleşme (3-4): Bu safhada piston aşağı doğru hareketine başlar. Bu durum 4 nolu noktaya kadar böyle devam eder. Piston aşağı doğru hareketine devam ettiğinden silindirdeki basınç da düşmeye başlar.



Egzoz (4-1): Sistem 4 nolu noktaya (AÖN) geldiğinde egzoz valfi açılır. Silindir egzoz sistemi ile dışarıya açıldığından silindirdeki basınç atmosferik basınca düşer. Sistemden ısının atılması bu safhada gösterilmiştir. Gerçekte, dışarıya ısının atılması pistonun egzoz stroğunu yapmasıyla olur (grafikte yatay çizgiyle gösterilen strok), ancak ideal bir çevrimde egzoz stroğunda negatif veya pozitif bir iş yapılmadığından çevrimde incelenmez, ısının atılması da egzoz valfi açıldığında bir anda olmuş gibi gösterilir.

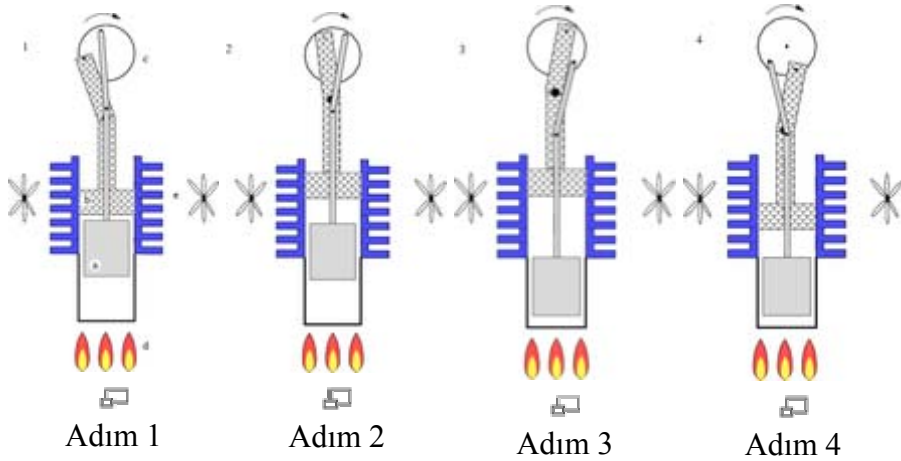
STİRLİNG MOTORU

1816 yılında İskoç rahip Reverent Robert Stirling tarafından icat edilmiştir. Buhar makinelerinin kazanları sık sık yetersiz malzeme kullanımı ve buharın yüksek basıncı nedeniyle patlıyordu. Stirling motorları sıcaklık farkını direkt olarak harekete dönüştürecekleri.

Stirling motoru, *sıcak hava motoru* olarak da bilinir. Dıştan yanmalı motorlu bir ısı makinesi tipidir. Isı değişimi prosesi, ısının mekanik harekete dönüşümünün ideal verime yakın olmasına izin verir. (Carnot çevriminin pratik olarak uygulanması ile)

Çalışma prensibi: Stirling motoru, yalıtılmış olarak bir miktar çalışma gazının (genellikle hava veya helyum, hidrojen gibi gazlar) ısıtılma ve soğutulma işleminin tekrar edilmesi ile çalışır.

Gaz, gaz kanunları (basınç, sıcaklık ve hacimle ilgili olarak) ile tanımlanmış davranışları gösterir. Gaz ısıtıldığında, yalıtılmış bir alan içinde olduğundan, basıncı yükselir ve güç pistonunu etkileyerek güç stroku üretir. Gaz soğutulduğunda basınç düşer ve bunun sonucunda piston dönüş strokunda gazı tekrar sıkıştırmak için oluşan işin bir kısmını kullanır. Ortaya çıkan net iş mil üzerinde güç oluşturur. Çalışma gazı sıcak ve soğuk ısı eşanjörleri arasında periyodik olarak akar. Çalışma gazı piston silindirleri içinde yalıtılmıştır. O yüzden burada egzoz gazı yoktur. Diğer tip pistonlu motorlardan farklı olarak valflere ihtiyaç yoktur.



Şekil 4.10. Stirling Motorunda Kademeler

Bazı Stirling motorları soğuk ve sıcak kaynaklar arasında geri ve ileri çalışma gazı hareketi için bir ayırıcı piston kullanır. Çoklu silindirelerin güç pistonlarının birbirine bağlı olması sayesinde silindirelerin farklı sıcaklıklarda tutulması ile çalışma gazı hareket eder.

Gerçek Stirling motorlarında bir rejeneratör, kaynaklar arasına yerleştirilmiştir. Sıcak ve soğuk taraf arasında gaz çevrimi olurken, rejeneratörden bu ısı transfer edilir. Bazı tasarımlarda, ayırıcı piston rejeneratörün kendisidir. Bu rejeneratör Stirling çevriminin verimine katkı sağlar.

İdeal Stirling motor çevrimi aynı giriş ve çıkış sıcaklıkları için Carnot ısı makinesi olarak aynı teorik verime sahiptir. Termodinamik verimi buhar makinelerinden yüksektir. (veya basit haldeki bazı **ıçten yanmalı** ve **dizel** motorlardan)

Herhangi bir sıcaklık kaynağı Stirling motoruna güç sağlayabilir. Dıştan yanmalı motor, ifadesindeki yanma çoğu zaman yanlış anlaşılır. Isı kaynağı, yanma sonucu oluşabilir fakat, güneş enerjisi, jeotermal enerji veya nükleer enerji de olabilir. Aynı şekilde sıcaklık farkı yaratmak için kullanılan soğuk kaynak, çevre sıcaklığının altındaki değişik maddeler olabilir. Soğuk su veya soğutucu bir akışkan kullanımı ile soğutma sağlanabilir. Fakat soğuk kaynaktan elde edilecek sıcaklık farkının düşük olması daha büyük kütleler ile çalışılmasını gerektireceğinden, pompalamada oluşacak güç kaybı çevrimin verimini düşürecektir. Yanma ürünleri motorun iç parçaları ile temas etmez. Stirling motorunda yağlama yağı ömrü ıçten yanmalı motorlara göre daha uzundur.

KARMA ÇEVİRİMLİ MOTOR

Benzinli motorda (yani Otto çevriminde), yanma sabit hacimde gerçekleşir, dizel motorda (yani dizel çevriminde) ise yanma sabit basınçta gerçekleşir. Karma çevrimde ise günümüz modern dizel motorlarında olduğu gibi, yanmanın ilk aşaması sabit hacime yakın, son aşaması ise sabit basına yakın gerçekleşmektedir. Bu yüzden ısının bir miktarının sabit hacimde, geri kalan kısmının da sabit basınçta sisteme verildiği bu çevrime **karma çevrim** denir.

Karma Çevrim Kademeleri :

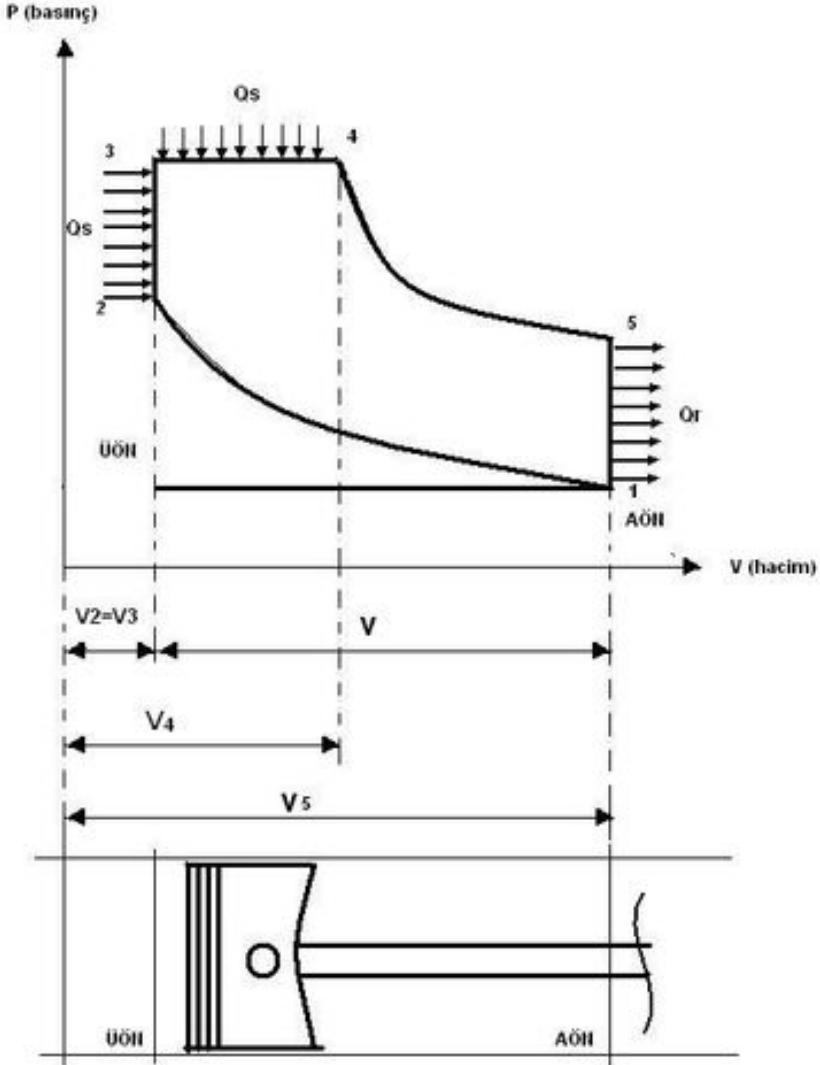
Sıkıştırma (1-2): Bu safhada, piston alt ölü noktadan üst ölü noktaya doğru hareket eder. Bu sırada emme ve egzoz valfleri kapalıdır, dolayısıyla içerdeki hava sıkışır ve basıncı artar.

Sabit Hacimde Yanma (2-3): Piston üst ölü noktaya ulaştığı sırada silindire enjektör tarafından yakıt püskürtülmeye başlar. Sıkışarak ısınmış havayla karşılaşan yakıt yanmaya başlar, bunun sonucunda basınç P_2 'den P_3 değerine sıçrama yapar. Sisteme ısı girişinin olduğu ilk safha bu safhadır.

Sabit Basınçta Yanma (3-4): Bu safhada piston aşağı doğru hareketine başlar fakat yanma devam ettiğinden basınç düşmez. Bu durum 4 nolu noktaya kadar böyle devam eder. Böylece bu safhada da sisteme ısı girişi devam etmiş olur.

Genleşme (4-5): Artık silindire yakıt püskürtülmemektedir ve yanma durmuştur. Piston aşağı doğru hareketine devam ettiğinden silindirdeki basınç da düşmeye başlar.

Egzoz (5-6): Sistem 5 nolu noktaya (AÖN) geldiğinde egzoz valfi açılır. Silindir egzoz sisitemi ile dışarıya açıldığından silindirdeki basınç atmosferik basınca düşer. Sistemden ısının atılması bu safhada gösterilmiştir. Gerçekte, dışarıya ısının atılması pistonun egzoz stroğunu yapmasıyla olur, ancak ideal bir çevrimde egzoz stroğunda negatif veya pozitif bir iş yapılmadığından çevrimde incelenmez, ısının atılması da egzoz valfi açıldığında bir anda olmuş gibi gösterilir.



- Qs : Sisteme verilen ısı
- Or : Sistemden atılan ısı
- AÖN : Alt ölü nokta
- ÜÖN : Üst ölü nokta
- V : Kurş hacmi
- V2 : Yanma odası hacmi
- V3 : Maksimum basıncın oluştuğu hacim
- V4 : Isı verimleme devam edilen hacim
- V5 : Silindir hacmi

Şekil 4.11. Karma Çevrimde Kademelerin Şematik Gösterimi

ÜNİTE SORULARI –VIII

1. Isı makineleri ve soğutma makinelerinin,aralarındaki farkları belirtiniz.
2. Carnot verimi nedir, nasıl ifade edilir.
3. Carnot çevrimi nedir ve çevrime ait kademelerin özellikleri nedir.
4. Isı makinelerinde verim ifadesinin tanımını yapınız.
5. Isı pompalarına (soğutma makineleri) ait verim ifadesinin tanımını yapınız.
6. Isı pompalarına ait bir çevrimin kademelerini tanımlayınız.
7. Başlıca çevrim modellerini sayınız ve bu modellerin geliştirilme çalışmalarında daha çok hangi hedefler ele alınmıştır.

BÖLÜM V

TERMODİNAMİĞİN ÜÇÜNCÜ YASASI

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

Başka bir ifade ile üçüncü yasa şu şekilde tanımlanabilir: *Eğer mutlak sıfır noktası olan 0°K (-273°C) ye inilirse, bu sıcaklığa inebilen tüm parçacıkların birbirine eşit entropileri olur.* veya, daha açık bir deyişle, mutlak sıcaklıktaki bir parçacık sadece ve sadece bir tane olası halde veya durumda (state) bulunabilir. Bu durumda parçacığın sahip olduğu enerji 0-noktası enerjisi (zero-point energy) olarak tanımlanır. İşte bu nokta entropinin minimuma gittiği **sıfır entropi** noktasıdır.

Üçüncü yasa bir maddenin mutlak sıfıra kadar soğutulmasının imkansız olduğunu belirtir.Yani sıcaklık mutlak sıfıra yaklaştıkça bütün hareketler sıfıra yaklaşır manası ortaya çıkar

Üçüncü yasa,birinci ve ikinci kanuna göre çok daha düşük sıcaklıkla uğraşır. Daha önceleri fizikçiler,cisimler soğutulunca moleküller ve atomların yavaş yavaş titreşimlerini azalttıklarını ve mutlak sıfırda tamamen durduklarını kabul etmişler idi.Ancak daha sonraları,atomların en düşük enerji seviyelerinin taban enerji seviyeleri olduğu ve bunun da sıfır olmadığı yani daima küçük bir miktar enerjileri olduğu ortaya konmuştur.Bu durum teorik olarak gösterilmiş,deneysel olarak da ölçülmüştür. Bu durumla ilgili enerji, diğer cisimlerle paylaşılabilir ve ısı olarak da adlandırılmaz. Bir tarafa akamaz ve düzensizlik sayılmaz.Böylece, mutlak sıfır için yeni bir anlam ortaya çıkmıştır: *mutlak sıfır,hareket yokluğundan ziyade, düzensizlik yokluğu veya mükemmel düzen durumu olarak değerlendirilmiştir.*

Bu üçüncü yasanın ilk tanımı olmuştur. Daha sonraları ise, kimyasal elementlerin özgül ısıları, üzerinde çalışılırken önemli bir gerçek keşfedilmiştir: mutlak sıfıra doğru veya mükemmel düzene yaklaşırken, her kademe

bir öncekinden daha zordur. Arka arkaya gelen kademelerde, çekilen ısı yüzünden, sıcaklık azalması daha düşüktür. Bu özelliğin bir maddeye özgü tesadüfi bir özellik olmadığı, bütün maddelerin özelliği olduğu söylenmiş ve bütün moleküllerin tek bir düzen içerisine sokulmasının zorlukları ileri sürülmüştü. Böylece üçüncü yasanın daha kuvvetli bir ifadesi **Mutlak sıfıra ulaşılamaz** şeklinde verilmiştir.

Prensipite, sıcaklığın 1 Kelvin'in milyarda birine, hatta sıfıra ulaşma olasılığı küçüktür ve sonludur. Makroskobik sistemler için ise, örneğin trilyonlarca atom içeren bir bakır blokta, bu olasılık yok sayılacak kadar küçüktür.

ÜNİTE SORULARI –IX

1. Termodinamiğin üçüncü yasınının esası nedir, neyi esas alır.
2. Mutlak sıfır noktasını izah ediniz.
3. Kristal yapılar ile mutlak sıfır noktası ve entropi ilişkileri hakkında bilgi veriniz

KAYNAKLAR

1. AKDAĞ, M. -Üretim Metalürjisi.Dokuz Eylül Üniversitesi, 1992
2. ALTINIŞIK, M. - Kimyasal Termodinamik.
3. BÜYÜKTÜR,R. – Termodinamik, Cilt 2, 1991, Bursa
4. BÜYÜKTÜR,R. - Termodinamik, Birsen Yayınevi, 2000
5. ÇENGEL, Y.A., BOLES, M.A. - Mc GRAW-Hill. 6 th ed., 2007
6. ÇETİNKAYA,S .- Termodinamik. 1999, Nobel Yayın Dađ., Ankara
7. GORDON, J.Van Wylen, Richard G.Sontag, John Wiley and Sons,1985
8. ÖZTÜRK,A. - Termodinamik problemleri, Kitap dağıtımcılık, 1984, İstanbul
9. MORAN, MJ., SHAPIRO, H.N. - Wiley, 5 th ed., 2004
10. ÖZİLGEN,M. – Termodinamik Dersinde Proje Tabanlı Eğitim yaklaşımı.
11. QOCAYEV, N. – Genel Fizik ve Moleküler Fizik. Qafqaz Üniversitesi, 2008
12. SONNTAG,R.E. ; BORGNAKKE,C. ; WYLEN,G.J.V. – Fundamentals of Thermodynamics. John Wiley&Sons,Inc.2003
13. ŞEN, Y., Çözümlü termodinamik problemleri, İ.T.Ü., Bil. kitaplar yayınevi, 1975, İstanbul
14. UZOL, N.S. – Termodinamik I,TOOB Ekon. Ve Tekn. Üniv., 2007
15. ZORKUN, M.E. - Termodinamik. M.E.B. Devlet Kitapları, Ankara, 1979