

ÜN TE 1

TEMEL TANIMLAR ve KAVRAMLAR

Giri

Termodinamik, enerji bilimi olarak tanımlanabilir. Enerji, de i ikliklere yol açan etken olarak dü ünülebilir, yani i yapabilme kabiliyetidir. Eski zamanlardan beri termodinamik ısıyı i e dönü türme çabalarının uygun bir tanımlaması olmu tur. Daha sonraları mekanik ve elektrik enerjisinden ısı üreten veya ısı çeken sistemler de ke fedilince, buzdolabı, klima ve ısı pompası gibi, enerji dönü ümlerinin tüm hallerini kapsamı tur. Günümüzde, enerji ve enerji dönü ümlerinin tüm yönlerini kapsayan ve buna ba lı olarak maddenin durumundaki de i imi inceleyen bilim dalı olarak tanımlanır. Temel olarak termodinamik faz dönü ümleri ve bu esnada aç a çıkan enerji ve enerji dönü ümleri ile ilgilidir. Termodinami in uygulama alanları arasında güç (elektrik) üretimi, ısıtma, so utma, iklimlendirme, içten yanmalı motorlar, termik ve nükleer santraller sayılabilir.

Do anın en temel yasalarından biri enerjinin korunumu ilkesidir. Enerji yoktan var olmaz, vardan yok olmaz fakat biçim de i tirebilir. Bir etkile im sırasında bir biçimden ba ka bir biçime dönü ebilece ini fakat toplam enerji miktarının sabit kalaca ını belirtir.

1.1 Boyutlar ve Birimler

Boyut, bir fiziksel büyüklü ün nicel olarak ifade edildi i ölçüdür. Fiziksel bir büyüklük boyutları ile ayırt edilebilir. Birim ise, nicel boyutun kimli idir, yani boyutları gösteren büyüklükler birim olarak adlandırılır. Boyut ve birim ayrılmaz ikilidir, biri di eri olmadan bir anlam ifade etmez. Örne in, 10m derinlik dedi imizde derinlik bir uzunluk boyutudur, ölçüsü 10 ve birimi metredir. Boyutlar birimsiz verildi inde hiçbir anlam ifade etmezler.

Varılan uluslar arası antla malara ra men kullanılan birim sistemleri ülkeden ülkeye de i mektedir. Bilim ve mühendislik çevrelerinin dünyayı tek bir birim sisteminde birle tirmek için gösterdikleri yo un çabaya ra men, günümüzde halen iki farklı birim sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. ngiliz birim sisteminde hata yapmak çok olasıdır, çünkü kendi sistemi içinde alt ve üst katları arasında 10'un katları olmayan oranlarda dönü üm faktörleri vardır. ngiliz sisteminin belirli sistematik sayısal bir temeli yoktur ve tam tersine bu sistemdeki çe itli birimler arasında karma ık ve ö renmeyi zorla tıran tamamen keyfi bir ili ki vardır. 1875 yılında ABD'nin de içinde yer aldı ı 17 ülke tarafından imzalanan anla mada metrik sistem kullanılması uzla maya varıldı . Bu uluslararası anla mada metre ve gram sırasıyla uzunluk ve kütle için metrik birimler olarak kabul edilmi tir. Metrik sistem 10'un katlarından olu an dönü üm faktörlerini temel aldı ı için ngiliz birim sistemine oranla daha kolaydır. Metrik sistemi daha da standart hale getirmek için 40 ülkenin katılımı ile 1960 yılında yapılan A ırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda Uluslararası Birim Sistemi olarak da bilinen metrik SI sistemi önerilmi tir ve kütle için kilogram kg, uzunluk için metre m, zaman için saniye s, elektrik akımı için amper A, sıcaklık için derece Kelvin °K standart birim olarak kabul edilmi tir. ngiliz sisteminde ise kütle ve uzunluk standart birimleri sırasıyla pound-kütle lbm ve foot ft'dur.

$$1 \text{ lbm} = 0.45359 \text{ kg}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

Kütle m, uzunluk L, zaman t ve sıcaklık T ana boyutlardır. Diğer tüm fiziksel büyüklüklerin boyutları bu dört ana boyuttan türetilir ve ikincil boyutlar olarak adlandırılırlar. Ana boyutlar ve termodinamikte sık kullanılan bazı önemli fiziksel büyüklükleri simgeleyen semboller ve standart birimleri metrik SI ve İngiliz sistemi olarak Tablo 1.1’de verilmiştir. Ast ve üst katlarını da kapsayan metrik SI ve İngiliz birimleri ve dönüşüm çarpanları daha detaylı olarak Ek 1’de verilmiştir.

Tablo 1.1

Boyut	Sembol	Standart SI Birimi	Standart BG Birimi
Uzunluk	L	m	in, ft
Zaman	t	s	s
Kütle	m	kg	lbm
Sıcaklık	T	°C, K	°F
Kuvvet	F	N, kg.m/s ²	lbf
Hız	V	m/s	ft/s
Hacim	V	m ³	ft ³
Yoğunluk		kg/m ³	lbm/ft ³
Özgül hacim	v	m ³ /kg	ft ³ /lbm
Debi (kütleli, hacimsel)	\dot{m}	kg/s, m ³ /s	ft ³ /s, lbm/s
Basınç	P	Pa, N/m ² , kg/m.s ²	psi
Isı	Q	kJ	Btu, kcal
Enerji	W	kJ, N.m, kg.m ² /s ²	Btu, kcal
Güç	\dot{W}	kW, J/s, N/m.s	HP, Btu/h
Çiğ enerjisi	U	kJ	Btu, kcal
Entalpi	H	kJ	Btu, kcal
Entropi	S	kJ/K	Btu/K, kcal/K

Kuvvet birimi Newton’un ikinci yasasından türetilen ikincil bir boyut olarak değerlendirilir.

$$\text{Kuvvet} = \text{kütle} \times \text{ivme}$$

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

Metrik SI sisteminde kuvvet birimi Newton’dur (N) ve 1kg’lık kütle için 1m/s² ivmelendirmek için gerekli kuvvet olarak tanımlanır. İngiliz sisteminde kuvvet birimi pound-kuvvettir lbf ve 32.174 lbm kütle için 1 ft/s² ivmelendirmek için gerekli kuvvet olarak tanımlanır.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

$$1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbm.ft/s}^2$$

Birçok Avrupa ülkesinde yaygın olarak kullanılan diğer bir kuvvet birimi olan kilogram-kuvvet kgf ise 1 kg kütlenin deniz seviyesindeki ağırlığıdır.

$$1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N}$$

Ağırlık terimi, çoğu zaman hatalı bir şekilde kütleyi ifade etmek için kullanılır. Ağırlık W , kütleden m farklı olarak bir kuvvettir. Ağırlık cisme etkiyen yerçekimi kuvvetidir ve büyüklüğü Newton'un ikinci yasasına göre belirlenir.

$$W = mg$$

Burada m cismin kütlesi, g yerel yerçekimi ivmesidir. Deniz seviyesinde yerçekimi ivmesinin değeri 9.807 m/s^2 'dir. Yerçekimi ivmesi yükseklikle azalır, dolayısıyla cismin ağırlığı yerçekimi ivmesindeki yerel değeriyle bağılı olarak değişir. Bir cismin kütlesi ise evrendeki konumundan bağımsız olarak hep aynıdır. Yerçekimi ivmesinin deniz seviyesindeki değeri olan 9.807 m/s^2 'den 30000 m yüksekliğe kadar sapması yüzde 1'den azdır. Bu nedenle uygulamaların çoğunda yerçekimi ivmesinin değeri sabit olarak 9.81 m/s^2 , İngiliz sisteminde ise 32.174 ft/s^2 alınır.

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 = 32.174 \text{ ft/s}^2$$

Enerjinin bir türü olan iş, basitçe kuvvet ile mesafenin çarpımıdır. Dolayısıyla birimi N.m 'dir ve joule J olarak adlandırılır. İngiliz sisteminde enerji birimi Btu'dur (British thermal unit). Metrik sistemde 14.5°C sıcaklığındaki 1 g suyun sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli enerji miktarı 1 kalori (cal) olarak tanımlanır. Btu ve kJ birimleri ise hemen hemen özdeğerektir.

$$1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$$
$$1 \text{ Btu} = 1.0551 \text{ kJ}$$

Güç, kuvvet ile hızın çarpımıdır ve birim zamanda yapılan iş olarak tanımlanır. Dolayısıyla birimi N.m/s^2 'dir ve watt W olarak adlandırılır. İngiliz birim sisteminde güç birimi olarak yaygın olarak Btu/h ve beygüçü BG (horsepower hp) kullanılır.

$$1 \text{ BG} = 746 \text{ W}$$
$$1 \text{ kW} = 3412.14 \text{ Btu/h} = 0.9478 \text{ Btu/s}$$

Metrik sisteme geçen ülkelerde de Newton yerine kilogram-kuvvet veya joule yerine kalori kullanılması gibi benzer durumlar nedeniyle halen problemler yaşanmaktadır.

Mühendislikte, sonuçların genel kullanılan birimlerle ifade edilmeleri durumunda çok sayıda sıfırın yer aldığı, çok küçük ya da çok büyük sayılarla karşılaşılması sıkça rastlanan bir durumdur. Örneğin 100000000 Pa gibi bir basınç değerini yazmak ve ifade etmek uzun, gereksiz ve gariptir. Bunun yerine 10^6 anlamına gelen mega olarak anılan M ön ekini kullanarak aynı basınç değerini 100 MPa , megapascal, olarak yazabiliriz. Bu tip ekler hem SI hem de BG birim sisteminde yaygın olarak kullanılır ve de çok faydalıdır. Bunların standart ve sık kullanılanları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çarpım Faktörü	Ön Ek Adı	Sembol
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^{-2}	santi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n

1.2 Termodinamik Sistem

Termodinamik sistem, kütle ve enerji transferlerinin incelendiği, yani problemin çözümüne uygun bir şekilde seçilen bölge olarak tanımlanabilir. Sistemin dışı nda kalan kütle veya bölgeye çevre adı verilir. Sistemi çevresinden ayıran gerçek veya hayali yüzey de sınır diye adlandırılır. Sistemin sınırları sabit veya hareketli olabilir. Sistem ile çevre arasında kütle, enerji ve enerji transferi de olabilir.

Problemin çözümlenmeye esas alınmasına göre sistemler kapalı veya açık diye nitelendirilir. Kapalı sistem sınırlarından kütle geçişi olmayan sabit kütleli sistemlerdir. Kapalı sisteme kütle girişi ve çıkışı olmaz fakat enerji, iş veya ısı olarak kapalı sistem sınırlarından geçebilir. Sınırlarından kütle geçişi olan sistemlere ise açık sistemler denir ve yaygın olarak da kontrol hacim diye adlandırılırlar. Kütle ile birlikte enerji, iş ve ısı olarak da sınırlarını geçebilir. Pompa, türbin, kompresör, e anjör, lüle gibi sürekli kütle akışının olduğu sistemler açık sistemlerdir. Problem çözümünde açık ve kapalı sistemlere uygulanan termodinamik bağıntılar farklıdır. Bu nedenle çözümlenmeye başlamadan önce sistemin türünü belirlemek çok büyük önem taşır.

1.3 Enerjinin Biçimleri

Enerji bir cismin veya sistemin iş yapabilme kabiliyetidir. Isıl, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik gibi değişik biçimler alır. Bunların tümünü toplamı sistemin toplam enerjisini (E) oluşturur. Termodinamik çözümlemede, sistemin toplam enerjisini oluşturduğunda iş ve enerji biçimlerini makroskopik ve mikroskopik olarak iki grupta ele alınabilir. Makroskopik enerji, sistemin tümünün bir dışı referans noktasına göre sahip olduğu enerjidir, kinetik ve potansiyel enerji gibi. Mikroskopik enerji ise, maddenin moleküler yapısı ve moleküler hareketliliği ile ilgilidir ve dışı referans noktalarından bağımsızdır. Mikroskopik enerjilerin tümünün toplamı iç enerji (U) diye adlandırılır. İç enerji moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı olarak düşünülebilir. Sıcaklık kavramı da moleküllerin iç enerjileri ile ilişkilidir. Sıcaklık 0 K'nin üzerinde olduğu sürece moleküllerin iç enerjileri vardır.

Bazı sistemler ve hallerde işimleri incelenirken birkaç özelliğin birleşiminden oluşan (U+PV), kolaylık, basitlik ve anlatım sadeliği sunan entalpi adı verilen yeni bir kavram tanımlanmıştır. H sembolü ile ifade edilir ve yeni bir karma özellik anlamı taşır.

$$H=U+PV$$

Birimi iç enerji birimiyle aynı, J'dur, yaygın olarak kJ kullanılır. Birim kütle için entalpi, yani özgül entalpi, $h = u + Pv$, birimi ise kJ/kg'dır.

Sistemin bir referans noktasına göre hareketinden dolayı sahip olduğu enerjiye kinetik enerji (KE) denir.

$$KE = \frac{1}{2}mV^2$$

Sistemin bir yerçekimi alanında yüksekli-ğine ba-ğlı olarak sahip olduğu enerjiye potansiyel enerji (PE) denir.

$$PE = mgz$$

Elektrik, manyetik ve yüzey gerilmeleri gibi diğer enerji türleri ile bazı özel durumlarda karışılır. Bu yüzden göz ardı edilerek, sistemin toplam enerjisi kinetik, potansiyel ve iç enerjilerinden oluşur.

$$E = U + KE + PE = U + \frac{1}{2}mV^2 + mgz$$

Kapalı sistemlerin hızı ve yüksekliği ço-ğulu zaman değişiminden kapalı sistemlerde aksi belirtilmedikçe kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilir. Genellikle kapalı sistemlerin toplam enerjisindeki değişim iç enerjisindeki değişime eşittir ($\Delta E = \Delta U$).

1.4 Özellikler

Bir sistemin veya maddenin herhangi bir karakteristiğine özellik denir. Özellikler, aslında maddenin yapısında, yani varlığında zaten mevcuttur, bizim yaptığımız sadece varolanı tanımlamaktır. Termodinamikte sıklıkla kullanılan özellikler sıcaklık, basınç, yoğunluk, özgül hacim, iç enerji, entalpi ve entropidir. Isıl iletkenlik, elastik modülü ve ısıl genleşme katsayısı gibi özelliklerle ise nadiren karşılaşılır. Özellikler, yerinde ve yaygın olmak üzere iki gruba ele alınabilir. Yerinde özellikler kütlede bağımsız özelliklerdir. Sıcaklık, basınç ve yoğunluk bu gruba girerler. Kütleye bağımlı özellikler de yaygın özellikler grubuna girerler ve sistemin boyutuna veya büyüklüğüne göre değişen özelliklerdir, hacim gibi. Birim kütle için yaygın özellikler özgül ön eki ile ifade edilir ve yerinde özellikler grubuna girerler. Özgül hacim ($v = V/m$, m³/kg) ve özgül iç enerji ($u = U/m$, J/kg) buna iyi birer örnektir.

Yoğunluk: Maddenin birim hacminin kütlesi olarak tarif edilir ve ρ simgesi ile ifade edilir.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

burada m kütle kg, V hacimdir m³. Yoğunluğun standart birimi kg/m³'tür, fakat kullanıma özel birimlerle de kullanılır. Bir maddenin yoğunluğu genel olarak sıcaklık ve/veya basınca bağımlıdır. Sıvıların yoğunluğu basınçtan pek etkilenmez, sıcaklıktan ise molekülleri arasında kalan boşluk fazlaysa etkilenir. Sıvılar sıkı tırlamaz maddelerdir ve yoğunluklarındaki basınca bağımlı

de i im çok küçük seviyelerde oldu u için ihmal edilir. Örne in 20°C sıcaklıkta suyun yo unlu u 1 atm basınçta 998 kg/m³ de erinden 100 atm basınçta 1003 kg/m³'e de i ir ki burada sadece %0.5'lik bir de i im söz konusudur. Sıvıların yo unlu u basınçtan çok sıcaklı a ba lıdır. 1 atm basınç ve 20°C sıcaklıkta 998 kg/m³ olan suyun yo unlu u aynı basınç ve 75°C sıcaklıkta 975 kg/m³'e dü er. Bu de i im %2.3 nispetinde olsa da ço u mühendislik uygulamalarında yine de göz ardı edilebilir. Öyleyse sıvıların yo unlu unun basınca ve sıcaklı a ba ımlılı mını ihmal ederek, suyun yo unlu unu pratikte 1000 kg/m³ olarak kabul edebiliriz. Bu durumun sebebi, sıvıların yo unlu unun moleküllerin a ırlı na de il, yapılarına ve molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinin, özellikle hidrojen ba larının varlı na ba lı olmasıdır. Örne in, a ırlıklı olarak hidrokarbon zincirlerinden olu an bitkisel ya ların moleküler a ırlıkları yakla ık 300 kg/kmol, suyun moleküler a ırlı ndan, 18 kg/kmol, çok fazla olmasına ra men yo unlukları (910kg/m³) suya göre (1000kg/m³) daha azdır. Yine moleküler a ırlı ı 98 kg/kmol olan sülfirikasit, H₂SO₄, hidrojen ba larının varlı ndan dolayı bilinen en yo un (1800 kg/m³) sıvılardan biridir.

Yo unluk, farklı kullanım ekilleriyle de kar ımıza çıkabilir. Bunlardan termodinamik olarak en önemlisi özgül hacimdir.

Özgül Hacim: Özgül hacim yo unlu un tersi olup birim kütle için hacmi olarak tanımlanır, simgesi ile ifade edilir ve birimi m³/kg'dır.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (1.6)$$

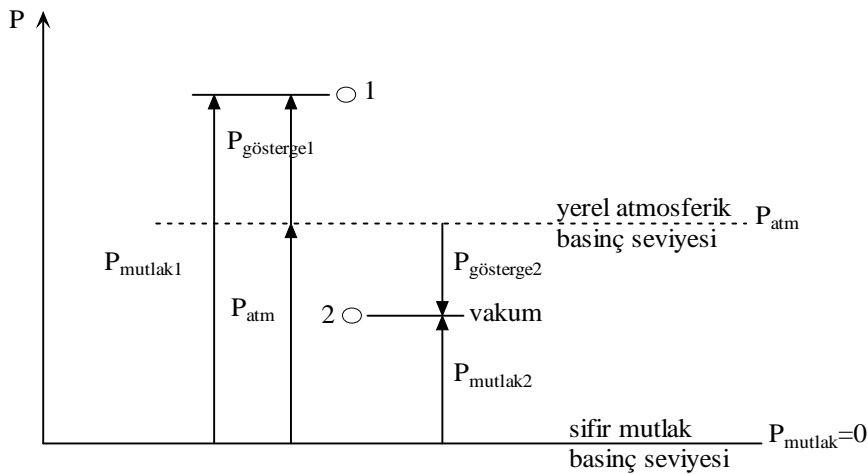
1.5 Basınç

Basınç, bir akı kan tarafından birim alana etki eden normal kuvvet olarak tanımlanır. Basınç sadece akı kanlar yani sıvılar ve gazlar için kullanılan bir büyüklüktür.. Basıncın katılardaki kar ılı ı normal gerilmedir. Durgun bir akı kan için basınç, akı kan üzerinde normal gerilme; hareketli akı kanlar için ise kayma gerilmeleri meydana getiren etkidir. Basınç farkı da akımı meydana getiren temel etkendir. Birimi, metrekare ba ına dü en Newton'a kar ılık gelen Pascal (Pa=N/m²)'dir. Pascal birimi uygulamalarda kar ıla ılan basınç de erleri için çok küçük kalır. Bu yüzden katları olan kilopascal kPa veya megapascal MPa daha yaygın olarak kullanılır.

Basıncın seçilen bir referans noktasına ba lı iki ölçe i vardır (ekil 2). Yerel atmosferik basınca (P_{atm}) ba lı ölçülen basınç, birinci ölçek olarak kabul etti imiz manometrik ölçekteki basınçtır ve gösterge basıncı (P_{gösterge}) olarak adlandırılır. Di er ölçek ise gösterge basınç ile yerel atmosferik basıncın toplamı olarak tanımlanan mutlak basınçtır (P_{mutlak}). Mutlak basınç ölçe i sıfırdan ba lar, mutlak bo lu a veya mutlak sıfır basınca göre ölçülür, tüm basınçlar pozitif olup, negatif basınç elde etmek mümkün de ildir. Zira mutlak sıfır noktası herhangi bir maddeye ait molekül bulunmayan tam veya ideal vakum durumudur. Aslında mutlak basınç gerçek basınçtır. Ço u basınç ölçme cihazları atmosferik basınca kalibre edilir, yani yerel atmosfer basıncında sıfır okunacak ekilde ayarlanm ılardır, dolayısıyla bu cihazlar mutlak basınç ile yerel atmosferik basınç arasındaki farkı yani gösterge basıncını ölçer. Atmosfer basıncını ölçmek için ise barometre kullanılır. Atmosfer basıncı altındaki basınçlar vakum basıncı olarak bilinir ve atmosfer basıncının mutlak basınçtan büyük oldu u durumda meydana

gelir. Atmosfer basıncının altında olan gösterge basıncının negatif i areti vakum basıncı oldu unu ifade eder fakat ifadede negatif i areti kullanılmaz vakum basıncı (P_{vakum}) kullanılır. Termodinamik tablo ve ba ntların hemen hemen tümünde mutlak basınç kullanılır. Bu nedenle aksi belirtilmedikçe P simgesi mutlak basıncı ifade etmek için kullanılacaktır.

Hareketsiz bir akı kanda basınç her yönde aynıdır. Akı kan içindeki basınç derinlikle do ru orantılı olarak artar. Bunun nedeni alt tabakalardaki akı kanın üst tabakalara oranla daha fazla a ırlık ta ıyor olmasıdır. Yani, basınç dikey yönde yerçekiminin etkisiyle de i ir fakat yatay düzlemde bir de i iklik göstermez. Gazlar için yerçekiminin etkisi ihmal edilebilir, çünkü gazların a ırlı ı önemli bir fark yaratacak kadar büyük de ildir. Bu nedenle gaz dolu bir ortam içinde basıncın genellikle her noktada aynı oldu u kabul edilir.



ekil 2

$$P_{\text{mutlak}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{gösterge}} \quad (1.14)$$

Standart artlarda kabul edilen basınç deniz seviyesindeki atmosferik basınçtır, 101325 Pa. Mühendislik uygulamalarında standart birimi Pa ve katları kPa ile MPa yanında yaygın kullanılan basınç birimleri bar, atm, atü, torr ve ngiliz birim sisteminde psi'dır. Bar, Pa biriminin 10^5 de birine denk gelen özel bir askatıdır.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

Atmosfer (atm) basıncı standart atmosfer basıncını 1 birim kabul eden birimdir.

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 1.01325 \text{ bar}$$

Atü, kgf/cm^2 biriminin adıdır. Atü ile Pa arasında yerçekimi ivmesi oranında bir ili ki vardır, yerçekimi ivmesi yerel olarak sabit oldu undan, Pa biriminin yerçekimi ivmesine bölünmesiyle ve alan birimi m^2 'nin cm^2 'ye çevrilmesiyle, etki eden basıncın daha küçük alana ne kadar kütle nispetinde etki etti ini daha kolay de erlendirmek amacıyla türetilmi tir. Askatlarından olan gr/cm^2 olarak da kar ıla abiliriz.

$$1 \text{ atü} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.981 \text{ bar} = 9.81 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 0.9679 \text{ atm}$$

bar, atm ve atü basınç birimlerinin hemen hemen birbirlerine e de er oldu una dikkat ediniz.

Buna ilaveten, kilogram-kuvvet kgf 1 kg kütleinin a ırlı ı olarak tanımlanır.

$$1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$$

Torr, mmHg biriminin adıdır ve basıncın cıva yükseltisi olarak göstergesidir.

$$760 \text{ mmHg} = 101325 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$$

İngiliz birim sisteminde basıncın standart birimi lbf/in²'ye eşittir ve de olarak psi'dir.

$$14.7 \text{ psi} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} = 1.0133 \text{ bar} = 1.0332 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ atm} = 14.223 \text{ psi}$$

1.6 Sıcaklık: Sıcaklık, T, maddenin iç enerji seviyesinin bir ölçüsüdür. Yani moleküllerinin kinetik enerjilerinin bir fonksiyonudur. Yaygın olarak kullanılan sıcaklık ölçer i Celcius °C (daha önceleri centigrade (santigrat) olarak kullanılan bu ölçer 1948 yılından itibaren Celcius olarak anılmaya başlanmıştır). Standart atmosfer basıncındaki suyun donma ve erime noktalarına (sırasıyla 0°C ve 100°C) göre ölçeklendirilmiştir. Mutlak sıcaklık ölçer i ise Kelvin'dir, K. Celcius ölçer i ile Kelvin ölçer i arasındaki ilişki,

$$K = °C + 273.15$$

Celcius ölçer inde buzun erime sıcaklığı sıfır kabul edilmiştir. Ancak, bu de gerinin çok altında da sıcaklıklar bulunmaktadır. Daha düşük sıcaklığın mümkün olmadığı en düşük sıcaklık derecesi -273.15°C'dir ve bu sıcaklığı mutlak sıfır sıcaklık derecesi denir. Bu te Kelvin ölçer i bu en düşük sıcaklık derecesini başlangıç olarak yani 0 K olarak almaktadır. Sıfır mutlak sıcaklık seviyesi moleküler hareketin ve maddenin ısı enerjisine sahip olmadığı 0 K'de gerçekleşir. Kelvin ile Celcius ölçeklerinde sıcaklık birim aralıkları aynıdır (1 K = 1°C).

Isı ile sıcaklık kavramlarının yanlı lıkla birbirleri yerine kullanıldığı görülmüştür. Isı bir tür enerjidir, enerji de i yapabilme yetene i olarak tanımlanmıştır. Bu göre ısı da i yapabilme yetene ine sahiptir. Sıcaklık ise bir maddenin ısı durumunu belirten bir kavramdır. Isı geçi ine neden olan etken ise sıcaklık farkıdır. Standart kabul edilen ortamlarda atmosferik sıcaklık ise 20°C'dir.

1.7 Isı ve Özgül Isı

Isı geçi i sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen enerji etkileşimidir. Bir maddenin sıcaklığı nı de i tirmek için gerekli ısı, kütesine, cinsine ve sıcaklık farkına ba lıdır. Daha büyük kütleli ısıtmak için, daha fazla ısı gereklidir. Farklı maddelerin e it kütlelerinin sıcaklığı nı aynı miktarda artırmak için, farklı miktarlarda ısı gerekmektedir. Bir maddenin sıcaklığı nı daha fazla artırmak için, do al olarak, daha fazla ısıtmak gerekir. Bu nedenle maddelerin enerji depolama yeteneklerini belirten bir özelli in tanımlanmasına gerek duyulmuştur. Bu te, özgül ısı, bir maddenin birim kütesinin yani 1kg'lık kütesinin sıcaklığı nı 1 K veya 1°C artırmak için gerekli ısı olarak tanımlanmıştır.

Gazların ısıtılması söz konusu oldu unda iki farklı durum bulunmaktadır. Bunlar: 1) sabit hacimde, 2) sabit basınçta. Sabit hacimde ısıtma sırasında gazın sıcaklığı ve basıncı artar. Sabit hacimde ısıtmanın özgül ısısı C_v sembolü ile gösterilir ve maddenin birim kütesinin sıcaklığı nı sabit hacimde bir derece yükseltmek için gerekli enerji diye açıklanabilir. Aynı i lemi basınç

sabit kalırken yapmak için gerekli enerji de sabit basınçta özgül ısıdır. Sabit basınçta ısıtma sırasında ise gazın sıcaklığı ve hacmi artmakta, gazın genleşmesiyle meydana gelen hacim değişimi ile yapılmaktadır. Sabit basınçta ısıtmanın özgül ısısı C_p sembolü ile gösterilir. C_p , C_v 'den her zaman daha büyüktür. Bunun nedeni, sistemin sabit basınçta genişlerken yaptığı iş için, fazladan bir enerjinin gerekli olmasıdır. Matematiksel olarak da sırasıyla sabit hacim ve sabit basınç özgül ısılarının diğer termodinamik özelliklerle ilişkilerini veren bağıntılar aşağıdaki gibidir.

$$C_v = \frac{du}{dT} \quad \text{ve} \quad C_p = \frac{dh}{dT}$$

Sırasıyla sabit hacim ve sabit basınçta bir sisteme verilen veya sistemden alınan ısı:

$$\begin{aligned} Q &= mC_v\Delta T & \text{ya da} & & Q &= m\Delta u \\ Q &= mC_p\Delta T & & & Q &= m\Delta h \end{aligned}$$

Burada, Q ısı miktarı, kJ

m kütle, kg,

C_v ve C_p sırasıyla sabit hacim ve sabit basınç özgül ısıları, kJ/kgK veya kJ/kg°C. Bu iki birim aynıdır, çünkü 1°C sıcaklık değişimi 1K sıcaklık değişimine eşittir.

T sıcaklık farkı, K veya °C

Mükemmel gazların iç enerjileri ve entalpileri sadece sıcaklığın fonksiyonudur. Dolayısıyla, C_v ve C_p 'de sadece sıcaklığa bağımlıdır. Bir hal değişimi sırasında, mükemmel gazın iç enerji ve entalpi değişimleri, yukarıdaki denklemlerin integrali alınarak hesaplanabilir.

$$\Delta u = \int_1^2 C_v dT \quad \text{ve} \quad \Delta h = \int_1^2 C_p dT$$

Bu integrallerin alınabilmesi için C_v ve C_p 'nin sıcaklıkla değişimini veren bağıntıların bilinmesi gerekir. Eğer bu bağıntılar bilinmiyorsa alternatif olarak üç yöntem uygulanabilir. (1) sabit ortalama özgül ısı değerleri alınabilir. Bazı bilinen gazların özgül ısıları sıcaklığın fonksiyonu olarak Tablo 2b'de verilmiştir. Ortalama özgül ısı değerleri bu tablodan $(T_1+T_2)/2$ ortalama sıcaklığa denk gelen özgül ısı değeri alınabilir. (2) T_1 ve T_2 sıcaklıklarındaki özgül ısılar belirlendikten sonra ortalamaları alınarak ortalama özgül ısı değeri belirlenebilir. (3) Mükemmel gazların sıcaklığa göre u ve h değerlerini veren tabloları kullanarak verilen sıcaklıklardaki u ve h değerlerini bu tablolardan belirleyerek direkt olarak ısı miktarını bulmak en kolay ve en doğru yoldur. Bir çok durum için özgül ısıları sabit de kabul edebiliriz.

Mükemmel gazlar için C_p ile C_v arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$C_p = C_v + R \quad (1.19)$$

Mükemmel gazlar için önemli boyutsuz parametrelerden biri de özgül ısı oranıdır.

$$k = C_p/C_v \quad (1.20)$$

Aslında tüm gazlar için C_p ve C_v sıcaklık ile yavaş yavaş artar, k ise yavaş yavaş azalır. Fakat özgül ısıların oranının sıcaklıkla değişimi çok belirgin değildir. Tek atomlu gazlar için k sabit olup 1.667'dir. Hava ve iki atomlu gazların birçoğu için oda sıcaklığında özgül ısıların oranı yaklaşık 1.4'dir.

Birçok termodinamik problemde akışkan olarak su buharı vardır. Su buharını ideal gaz yaklaşımı ile de tanımlamak gerçeğe uygun sonuçlar vermez. Bu nedenle su buharının özellikleri için termodinamik tablolardan yararlanılır.

Özgül hacmi veya yoğunluğu sabit olan maddeye sıkı sıkıya bağlı madde denir. Sıvılar ve katıların özgül hacimleri bir halde değişimi sırasında hemen hemen sabittir, bu nedenle katılar ve sıvılar sıkı sıkıya bağlı madde olarak da tanımlanır. Sıkı sıkıya bağlı bir madde için sabit basınçta ve sabit hacimde özgül ısılar birbirine eşittir. Bu nedenle sıvılar ve katılar için C_p ve C_v 'nin alt indisleri atılarak her iki özgül ısı C ile gösterilerek aşağıdaki gibi bir ideal hal durumu önerilir.

$$C_p \approx C_v \approx C : \text{sabit}$$

Bazı bilinen sıvıların ve katıların özgül ısıları Tablo A3'de verilmiştir. Mükemmel gazlara benzer olarak, sıkı sıkıya bağlı maddelerin özgül ısıları da sadece sıcaklığın fonksiyonudur. Küçük sıcaklık aralıkları için, ortalama sıcaklıkta hesaplanan sabit bir C değeri alınabilir.

1.7 Hal Postulası

Termodinamik sistemin herhangi bir andaki durumunu tanımlayan özelliklere hal özellikleri denir. Sistemin sıcaklık, basınç, hacim gibi karakteristikleri hal yani durum özelliklerindedir. Termodinamikte en çok kullanılan hal yani durum özellikleri şunlardır:

- sıcaklık, T
- basınç, P
- hacim, V , veya özgül hacim, v
- iç enerji, U
- enthalpi, H
- entropi, S

Belirli bir anda sistemin özellikleri tarafından belirlenen durumuna hal, yani sistemin hali denir. Belirli bir halde sistemin tüm özelliklerinin sabit değerleri vardır. Sadece bir özelliğinin değişiminin de diğerlerinin de değişimine bile sistemin halini değiştirecektir. Fiziksel olarak belirgin sınırların içinde her noktada aynı olan belirli bir molekül düzenini tanımlayan hal ise faz olarak adlandırılır. Maddenin üç temel hali vardır derken aslında faz kastedilir. Temelde katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç faz vardır. Fakat her temel faz içinde farklı molekül düzenine sahip birkaç fazlar da olabilir. Örneğin karbon katı fazı içinde grafit veya elmas fazlarında olabilir veya yüksek basınçlarda buz yedi değişik katı fazda bulunabilir. Birden fazla faz bir arada da olabilir. Buzlu su katı ve sıvı fazların bir arada olmasına iyi bir örnektir. Aynı şartlarda farklı maddeler farklı fazlarda olabilir. Oda sıcaklığı ve standart atmosfer basıncında bakır katı, civa sıvı ve azot gaz fazındadır. Değişik şartlarda maddeler farklı fazlarda olabilir. Örneğin standart atmosfer basıncında 0°C 'de su buz halinde katı fazda iken aynı basınçta 20°C 'de sıvı fazındadır.

Denge halinde bulunan bir sistem içinde de i imi zorlayan e itlenmemi bir etken yoktur. Denge halinde bir sistem, e er çevresiyle etkile imi yoksa, bulundu u hali korumayı sürdürür. Bir sistemin termodinamik dengede olması için ilgili tüm denge kıstaslarının sa lanması gerekir. Örne in ısı denge, mekanik denge, faz dengesi ve kimyasal denge gibi.

Sistem hal özelliklerinden herhangi biri veya birkaçı de i irse, sistem durum yani hal de i tirmi olur. Sistemin bir durumdan di erine de i mesi, i lem olarak tanımlanır. lemler genellikle, i lem sırasında de i meyen durum özelli inin adıyla anılır, sabit hacim, sabit basınç: izobarik, sabit sıcaklık: izotermal, vb. Bir sistem geçirdi i bir dizi hal de i imi sonunda yeniden ilk haline dönerse bir çevrimden geçmi olur. Ba ka bir de i le çevrimin ilk ve son halleri aynıdır.

Sistemin hali, özellikleri belirtilerek tanımlanır. Fakat sistemin halini belirlemek için özelliklerin tümünü bilmemiz gerekmez. Sınırlı sayıda özelli in bilinmesiyle di er özellikler belirlenebilir. Sistemin halini tanımlamak için bilinmesi gerekli özelliklerin sayısı hal postulası ile bulunabilir. Bir sistemin hali iki ba ımsız ye in (kütleden ba ımsız) özelli in bilinmesiyle tanımlanabilir. Hal postulası, hali tanımlamak için verilmesi gereken iki özelli in ba ımsız olmasını zorunlu kılar. ki özellikten biri sabit kalırken di eri de i ebiliyorsa, bu iki özellik birbirinden ba ımsızdır. Örne in sıcaklık ve özgül hacim her zaman iki ba ımsız özelliktir. Sıcaklık ve basınç tek fazlı sistemler için ba ımsız özelliklerdir, çok fazlı sistemler için ba ımsız de illerdir.