

## BASINÇ BİRİMLERİ

### 1- Sıvı Sütunu Cinsinden Tanımlanan Birimler:

1.1- Torr: 0 °C 'de 1 mm yüksekliğindeki civa sütununun tabanına yapmış olduğu basınç bir torr'dur.

1.2- mmSS: +4 °C 'de 1 mm yüksekliğindeki su sütununun tabanına yapmış olduğu basınç da 1 mmSS olarak tanımlanmıştır.

1.3- Fiziksel Atmosfer [ Atm ]: Deniz seviyesinde 0 °C sıcaklıktaki atmosferik hava basıncı 760 mmHg olarak ölçülmüş ve bu büyüklüğe bir fiziksel atmosfer denmiştir.

$$1 \text{ Atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr}$$

### 2- Temel Birimlere Dayanan Basınç Birimleri:

Basıncın  $p = \frac{F}{A}$  şeklindeki tanımına uygun olarak temel birimlerle geliştirilmiş basınç birimleridir.

➤ Teknik Atmosfer [ At ]: 1 cm<sup>2</sup> 'lik alan üzerine dik olarak etki eden ve bileşkesi 1 kp olan yayılı yükün bu alanda oluşturduğu basınç bir teknik atmosfer tanımlanmıştır.

$$1 \text{ At} = 1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$$

Diğer birimlerle ilişkisi: Aşağıdaki bağıntı yardımı ile sıvı sütununun tabanına yapmış olduğu basıncı hesaplayabiliriz. Bu bağıntı ile sıvı sütunu cinsinden verilen basınç değerlerini teknik atmosfere dönüştürülür ise;

$$p = \frac{F}{A} = \frac{G}{A} = \frac{A \cdot h \cdot \gamma}{A} = h \cdot \gamma$$

• Fiziksel Atmosfer - Teknik Atmosfer İlişkisi: Civanın 0 °C 'deki özgül ağırlığı 13596 kp/m<sup>3</sup> olduğundan;

$$1 \text{ Atm} = 76 \text{ cm} \cdot 0,013596 \text{ kp/cm}^3$$

$$1 \text{ Atm} = 1,033296 \text{ kp/cm}^2$$

$$1 \text{ Atm} = 1,033296 \text{ At} \quad \Rightarrow \quad 1 \text{ At} = 0,967777 \text{ Atm} = 735,5 \text{ mmHg}$$

• mmSS - Teknik Atmosfer İlişkisi: Suyun + 4 °C 'deki özgül ağırlığı 1000 kp/m<sup>3</sup> olduğundan;

$$1 \text{ mmSS} = 0,1 \text{ cm} \cdot 0,001 \text{ kp/cm}^3$$

$$1 \text{ mmSS} = 0,0001 \text{ kp/cm}^2$$

$$1 \text{ mmSS} = 0,0001 \text{ At} \quad \Rightarrow \quad 1 \text{ At} = 10000 \text{ mmSS} = 10 \text{ mSS}$$

2.2- Pascal [ Pa ]:1 m<sup>2</sup> 'lik alan üzerine dik olarak etki eden ve bileşkesi 1 N olan yayılı yükün bu alanda oluşturduğu basınç bir pascaldır.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Buraya kadar belirtilen basınç birimleri eskiden kullanılmış olan, bugün artık tarihi değeri olması gereken birimlerdir. Ancak; topluma mal olmuş eski birimlerden pascal birimine dönüşün sıkıntıları hala sürmektedir. Günlük hayatımızda eski birimleri kullansak bile, teknik veya bilimsel raporlar düzenlenirken pascal birimine dayalı basınç birimlerini kullanmak zorunludur.

2.2.1- Megapascal [ MPa ]: Bir milyon pascal'a eşit olan bu basınç birimi özellikle mekanik basınçları belirtilmesinde kullanılacaktır.

$$1 \text{ MPa} = 1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

2.2.2- Bar [ Bar ]: Özellikle gaz ve sıvı basınçlarının belirtilmesinde kullanılan bu birim yüz bin pascala eşittir.

$$1 \text{ Bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Pascal ile diğer basınç birimleri arasındaki ilişkiler:

- Fiziksel Atmosfer ile Pascal ilişkisi:

$$1 \text{ Atm} = 0,76 \text{ m} \cdot 13595 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,80665 \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Atm} = 101332 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Atm} = 1,01332 \text{ Bar} \quad \Rightarrow \quad 1 \text{ Bar} = 0,986855 \text{ Atm} = 750 \text{ mmHg}$$

- Teknik Atmosfer ile Pascal ilişkisi:

$$1 \text{ At} = 1 \text{ kp/cm}^2 = 9,81 \text{ N} / 0,0001 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ At} = 98100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ At} = 0,0981 \text{ Mpa} \quad \Rightarrow \quad 10 \text{ At} \approx 1 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ At} = 0,981 \text{ Bar}$$

Buraya kadarki açıklamalardan ;

$$1 \text{ Atm} = 1,033 \text{ At} = 1,013 \text{ Bar}$$

olduğunu gördük. Mühendislik çalışmalarındaki hassasiyet sınırları içinde ;

$$1 \text{ Atm} \approx 1 \text{ At} \approx 1 \text{ Bar}$$

alınabilir.

Sıvı sütunu cinsinden verilen basınç değerlerini temel birimlere dayanan basınç birimlerine dönüştürürken dikkatli olmak gerekir. Sıvıların özgül ağırlıkları sıcaklığa bağlı olarak değişir. Oysa; sıvı sütununa dayanan basınç birimleri tanımlanırken, cıva için 0 °C , su için + 4 °C esas alınmıştır. Basınç ölçümleri farklı sıcaklıklarda yapılmış ise; okunan sıvı sütunu değerlerini cıva için 0 °C 'deki, su için

+ 4 °C 'deki değerlerine indirgemek gerekir. Cıva ve suyun sıcaklığa bağlı olarak değişen özgül ağırlıkları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Sıcaklık [°C]	Su [kp/m <sup>3</sup> ]	Cıva [kp/m <sup>3</sup> ]	Sıcaklık [°C]	Su [kp/m <sup>3</sup> ]	Cıva [kp/m <sup>3</sup> ]
0	999,87	13596	22	997,80	13541,2
2	999,97	13591	24	997,32	13536,4
4	1000,00	13586	26	996,81	13531,6
6	999,97	13581	28	996,26	13526,8
8	999,88	13576	30	995,67	13522,0
10	999,73	13571	34	994,40	13512,0
12	999,53	13566	38	992,99	13502,0
14	999,27	13561	40	992,20	13497,0
16	998,97	13556	60	983,20	
18	998,62	13551	80	871,80	
20	998,23	13546	100	958,40	

Basınç ölçülürken manometreden okunan değer, mutlak basınç değeri olmayıp, içinde bulunulan ortamın atmosferik hava basıncı üzerindeki basınç değeridir. Bu değer üst basınç anlamında [ Atü ] şeklinde gösterilir. Ölçülen gazın mutlak basınç değerini bulmak için; ölçüm değerine içinde bulunulan ortamın atmosferik basınç değerini ilave etmek gerekir. Mutlak basınç [ Ata ] şeklinde gösterilir. Görüleceği gibi; [ Ata ] ve [ Atü ] yeni basınç birimleri olmayıp, [ At ] birimi ile verilen basınç değerlerinin özelliğini de belirten gösterim şeklidir.

$$[ Ata ] = [ Atü ] + \text{Ortam basıncı}$$

### 3- Isı Birimleri:

3.1- Kilokalori [kCal]: Bir kilogram suyun sıcaklığını bir atmosferik basınç altında, 14.5 °C 'den 15.5 °C çıkartmak için gerekli ısı enerjisidir.

$$1 \text{ kCal} = 427 \text{ kpm} \quad 860 \text{ kCal} = 1 \text{ kWh}$$

3.2- Joule [ J ]:  $1 \text{ J} = \frac{1}{4,1855} \text{ Cal} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$

### 4- Yoğunluk-Spesifik Hacim:

Kütle sabit kalmak şartı ile katı ve sıvı hacimlerinin her ortamda pratik olarak sabit kaldığı kabul edilir. Bu nedenle, birim hacimdeki kütleyi gösteren yoğunluk kavramı maddeyi tanımlayan bir büyüklük olarak sıkça kullanılır. Aynı miktardaki gazın hacimi ise, ortam sıcaklığı ve basıncına bağlı olarak büyük değişiklikler

gösterir. Gazlar için yoğunluk kavramını kullanmak pek pratik olmadığı için bunun yerine spesifik hacim kavramından yararlanma yolu tercih edilmiştir. Spesifik hacim “v” birim kütle için hacimdir.

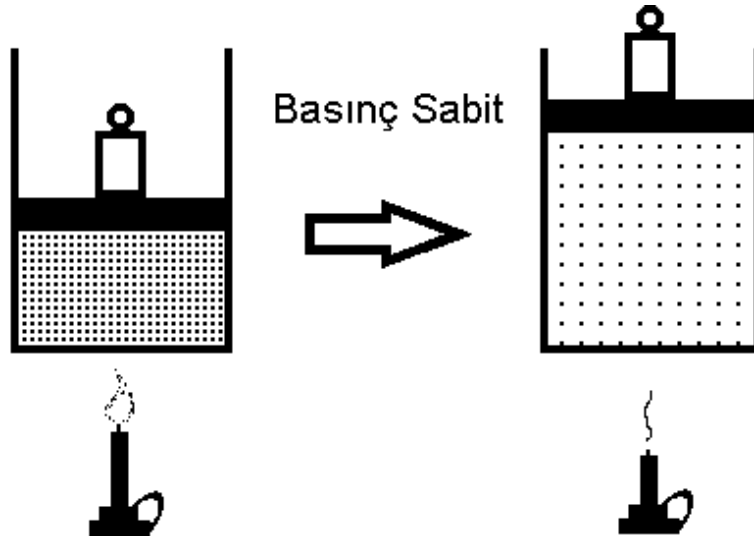
$$\text{Yoğunluk : } \rho = \frac{m}{V} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{Spesifik Hacim : } v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

## TEMEL GAZ KANUNLARI

### Gay-Lussac Yasası:

Gazlar sabit basınç altında ısıtıldıklarında spesifik hacimleri, her derece sıcaklık artışı için, 0 °C'deki spesifik hacimlerinin 1/273 katı kadar artar. Gay-Lussac yasası olarak bilinen bu esasa göre bir gazın herhangi bir “ t “ sıcaklığındaki spesifik hacmi;



$$v_t = v_0 + v_0 \cdot \frac{1}{273} \cdot t = v_0 \cdot \left( 1 + \frac{t}{273} \right) = v_0 \cdot \frac{273+t}{273}$$

olur. Sıcaklık birimi olarak Kelvin derece esas alınır;

$$T = 273 + t$$

$$v_t = v_0 \cdot \frac{273+t}{273} = v_0 \cdot \frac{T}{273}$$

bağıntısı elde edilir. Sıcaklığı  $T_1$  , spesifik hacmi  $v_1$  olan bir gaz sabit basınç altında  $T_2$  sıcaklığına ısıtıldığında spesifik hacmi  $v_2$  oluyor ise spesifik hacimlerle sıcaklıklar arasındaki ilişki Gay-Lussac yasasına göre;

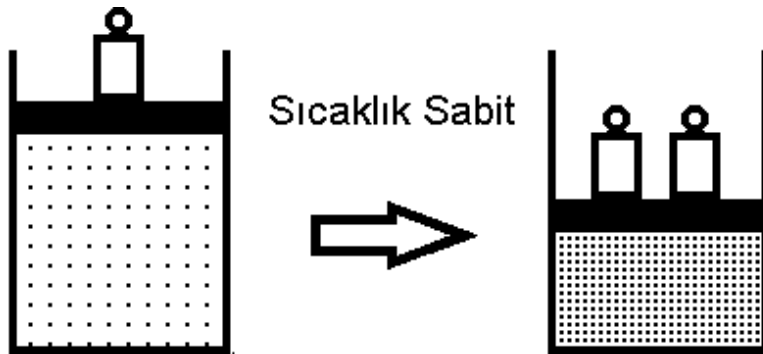
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_0 \cdot T_1}{273} \cdot \frac{273}{v_0 \cdot T_2}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

şeklinde yazabiliriz.

Boyle - Mariotte Yasası:

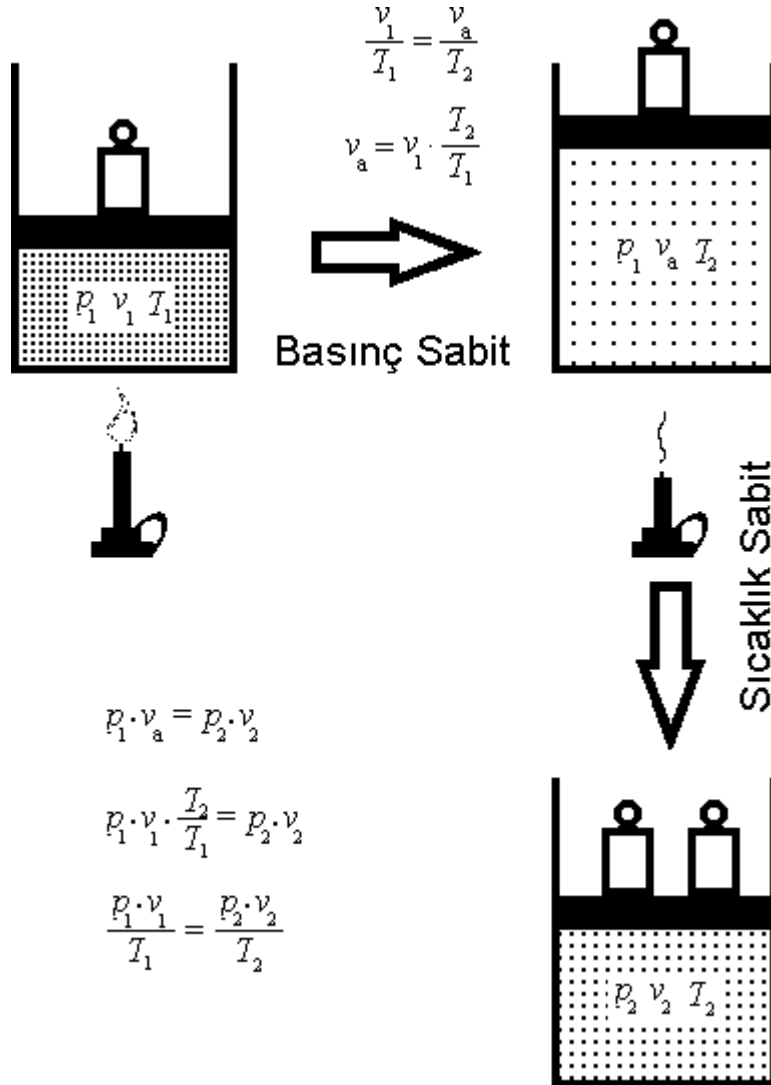
Gazların sıcaklığı sabit kalacak şekilde basınçları değiştirilirse, spesifik hacimleri basınçtaki değişiklikle ters orantılı olarak değişir. Bu esas; 1662 yılında Boyle, 1676 yılında Mariotte tarafından birbirlerinden bağımsız olarak keşfedilmiş ve günümüzde Boyle-Mariotte yasası olarak bilinmektedir.



$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2$$

## Genel Gaz Kanunu:

Boyle-Mariotte ve Gay-Lussac yasaları aşağıda belirtildiği gibi birleştirilirse genel gaz denklemini elde ederiz.



Yukarıdaki ifadeyi daha genel olarak ;

$$\frac{p \cdot v}{T} = R$$

şeklinde yazabiliriz. Bu ifadede “ R ” ile gösterilen gaz sabitidir. Gaz sabiti, sabit basınç altında ısıtılan bir kilogram gazın yaptığı genişleme işini gösteren bir büyüklüktür. Gaz sabitinin birimi ise;

$$R = \frac{p \cdot v}{T} \Rightarrow \left[ \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \frac{1}{\text{K}} \right] \Rightarrow \left[ \frac{\text{kp} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \text{ dir}$$

Spesifik hacim için;  $v = \frac{V}{m}$  ifadesi kullanılacak olursa;

$$R = \frac{p \cdot v}{T} = \frac{p \cdot V}{m \cdot T} \quad \Rightarrow \quad p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

ifadesi elde edilir. Ayrıca, spesifik hacim ve yoğunluk için;

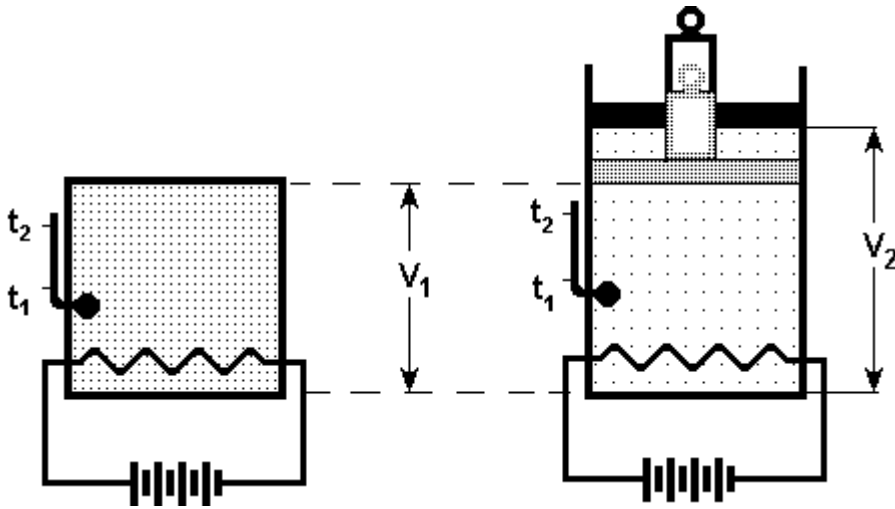
$$v = \frac{R \cdot T}{p} \quad \Rightarrow \quad \rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

ifadeleri yazılabilir.

Spesifik Isı:

Spesifik ısı " c "; kütlesi bir kilogram olan bir maddenin sıcaklığını bir derece artırabilmek için gerekli ısı enerjisi miktarıdır, birimi  $\left[ \frac{\text{kCal}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$  dir. Katı veya sıvı madde

hacimlerinin ısıtmakla pratik olarak değişmediğini daha önce belirtmiştik Dolayısıyla, bu tür maddeler ısıtılırken kullanılan enerji, maddeye doğrudan doğruya ısı enerjisi olarak yüklenmiş olacaktır. Gazların ise ısıtılınca hacimleri değişir. Isıtmak için kullanılan enerji sadece gaz kütlesinin ısı enerjisini artırmakla kalmaz, ayrıca gaz hacminin artmasını da sağlar. Gazlarda hal değişikliği çok değişik şartlarda gerçekleşebilir. Bu nedenle, katı ve sıvılarda bir tek spesifik ısı değerinden bahsedilirken; gazlarda, ısınma hacim ilişkisine bağlı olarak bir çok spesifik ısı değerinden bahsetmek mümkündür. Deneylerle tespiti kolay, ve sonuçları pratikte yaygın olarak kullanılabilen spesifik ısı değerleri; sabit basınç altında veya sabit hacimde ısıtma ile ilgili olanlardır.



- Sabit basınçta spesifik ısı “ $c_p$ ”:

Bir kilogram gazı sabit basınç altında bir derece ısıtmak için gerekli ısı enerjisi miktarıdır.

- Sabit hacimde spesifik ısı “ $c_v$ ”:

Bir kilogram gazı sabit hacim içinde bir derece ısıtmak için gerekli ısı enerjisidir.

Yukarıdaki tanımlardan da anlaşılacağı üzere “ $c_p$ ” gazın hem ısı enerjisinin artması, hem de ısınırken  $p$  sabit basıncına karşı genişleme işinin yapılabilmesi için gerekli enerjilerin toplamını verir. “ $c_v$ ” ise sadece gazın ısı enerjisinin artması için gerekli enerjiyi temsil eder. Dolayısıyla;

$$c_p > c_v \quad \text{dir.}$$

Daha önce gaz sabitinden bahsederken bu değerin; sabit basınç altında bir kilogram gazın bir derece ısıtılmasıyla yapılan genişleme işini temsil ettiğini belirtmiştik. Birimler arasındaki düzeltmeye de dikkat edersek;

$$c_p - c_v = R/ 427$$

Ayrıca,

$$\frac{c_p}{c_v} = k$$

dır. Bu durumda;

$$c_p = \frac{1}{427} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \quad \text{ve} \quad c_v = \frac{1}{427} \cdot \frac{1}{k-1} \cdot R$$

olur.

Kütlesi  $m$  olan gazı, sabit basınç veya sabit sıcaklıkta  $\Delta t$  derece kadar ısıtabilmek için gerekli olan enerji  $Q$  aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanır.

Sabit basınç altında ısıtma.  $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta t$  [ kcal ]

Sabit hacim içinde ısıtma  $Q = c_v \cdot m \cdot \Delta t$  [ kcal ]

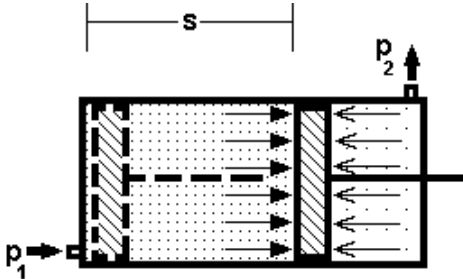
Aşağıdaki çizelgede bazı önemli gazlara ait büyüklükler topluca verilmiştir. Spesifik ısı değerleri sıcaklıkla değiştiği için çizelgede bu değerlerin sadece 20 °C ve 1000 °C deki karşılıkları yer almaktadır.



Gazlar	Molekül Ağırlığı	Normal Şartlarda Yoğunluk	GazSabitı R	$c_p$	$c_v$	$k$
Hava	29	1.293	29.27	0.241/0.277	0.172/0.208	1.4
Oksijen	32	1.429	26.5	0.218/0.251	0.156/0.189	1.4
Hidrojen	2.016	0.090	420.6	3.408/3.930	2.420/2.940	1.41
Azot	28	1.251	30.26	0.250/0.288	0.178/0.216	1.4
CO <sub>2</sub>	44	1.964	19.27	0.202/0.297	0.156/0.252	1.3
Metan	16	0.716	52.9	0.531	0.406	1.31

PV Diyagramı:

PV diyagramı, termodinamikte gazların hal değişimini izlemek amacıyla kullanılan önemli diyagramlardan biridir. Konularımızı incelerken bu diyagramın sağlayacağı en önemli avantaj; hava, kompresör veya basınçlı hava motorunda hal değiştirirken ortaya çıkan enerji veya iş büyüklüklerini diyagram üzerindeki alanlar yardımı ile doğrudan gözleyebilmektir.

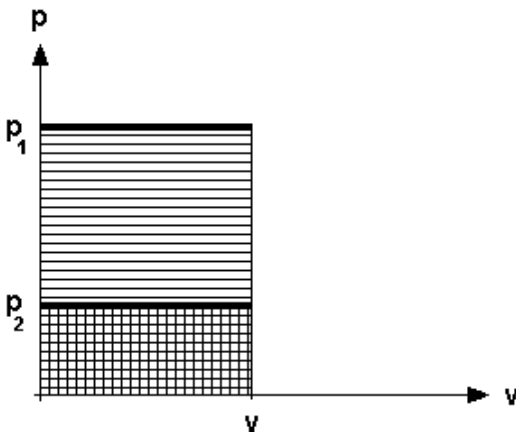


$$W = F \cdot s \quad F = A \cdot p$$

$$W = A \left[ m^2 \right] \cdot p \left[ \frac{kp}{m^2} \right] \cdot s \left[ m \right]$$

$$V = A \cdot s$$

$$W = p \cdot V \quad \text{olur.}$$



Yukarıdaki örnek şekilde;  $p_1$  basıncındaki hava kesit alanı  $A$  olan basınçlı hava motoru silindrine verilmiş, bu işlem piston  $s$  stroku boyunca ilerleyene kadar devam etmiştir. Önce, havanın silindir içinde hal değiştirmedeği ; yani, basınç, sıcaklık ve

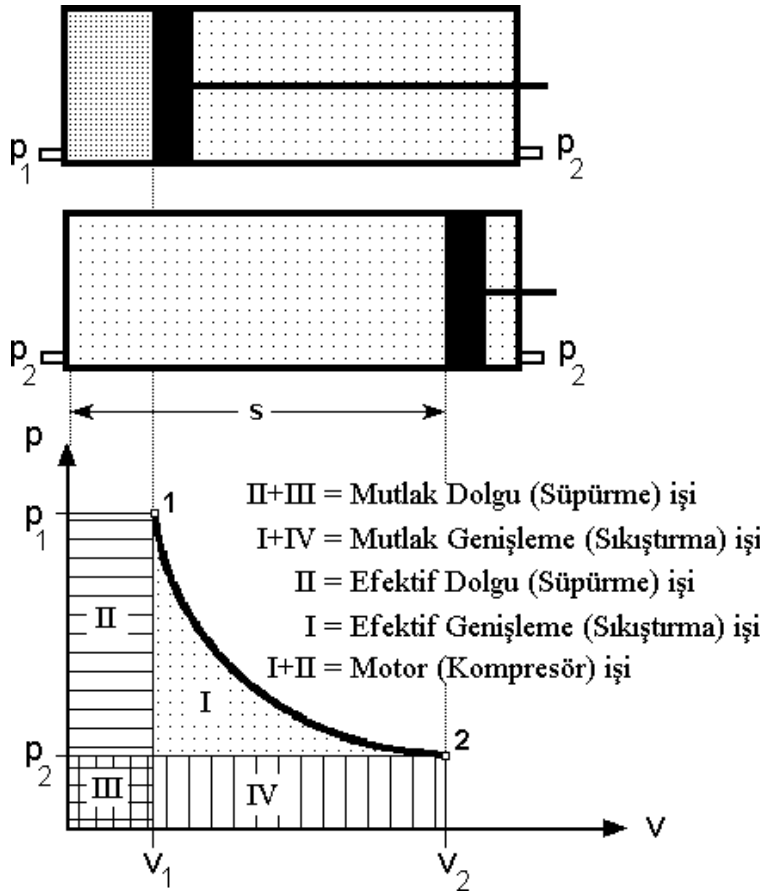
spesifik hacim değerlerinin sabit kaldığı kabul edilecektir. Pistonun  $s$  stroku boyunca ötelenmiş olması, havanın mekanik anlamda iş yaptığını gösterir. Bu işin büyüklüğü, yukarıda açıklananlara benzer olarak  $W = p_1 \cdot V$  şeklinde hesaplanır ve bu değer yukarıdaki PV diyagramındaki  $p_1 \cdot V$  taralı alanına eşittir.

Mutlak anlamda havanın yapmış olduğu bu iş, motor pistonu milinden alınan efektif işe eşit değildir. Motor milindeki efektif iş hesaplanırken, piston arka yüzeyine etki eden  $p_2$  basıncının göz önünde bulundurulması gerekir. Piston milinin hareket etmesini sağlayan net basınç değeri  $p_1 - p_2$  'dir . Bu durumda motor milinden alınan efektif iş;

$$W = p_1 \cdot V - p_2 \cdot V$$

olur ve PV diyagramında  $p_1 \cdot V - p_2 \cdot V$  alanı olan tek taralı alan ile kolayca izlenebilir.

Aşağıdaki örnekte motor silindirine önce hacmi  $V_1$ , basıncı  $p_1$  olan hava doldurulmuş ve sonra bu havanın basıncı  $p_2$  basıncına kadar genişlemesine müsaade edilmiştir. Bu işlemler sırasında piston " $s$ " stroku kadar ötelenmiş ve mekanik anlamda bir iş yapılmıştır. Silindire  $V_1$  hacminde hava doldurulurken yapılan işi, bir önceki örneğe benzer şekilde hesaplayabiliriz. Bu bölümde piston milinde yararlanılan işi II No'lu alanın temsil ettiğini biliyoruz. Bundan sonra silindire hava doldurulması durmuş;

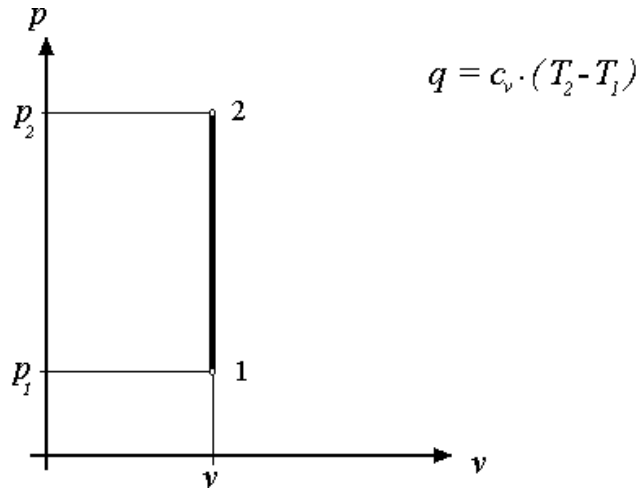


hava, kütlesi değişmeden 1 No'lu durumundan ( $p_1 v_1 T_1$ ), 2 No'lu durumuna ( $p_2 v_2 T_2$ ), doğru hal değiştirmeye başlamıştır. Bu hal değişimi sırasında basınç-hacim ilişkisinin nasıl olacağı bir sonraki konuda inceleyeceğiz. Şimdilik bu ilişki şekilde 1-2 eğrisi ile temsil edilecektir. Silindir içindeki hava  $V_1$ 'den  $V_2$  'ye genişlerken yaptığı mutlak genişleme işi 1-2 eğrisinin altındaki alana eşittir (I+IV). Bu işin piston milinde yararlanılan kısmı I No'lu alanın temsil ettiği iştir. I ve II No'lu alanlar, pistonun " $s$ " stroku boyunca hareketi sırasında piston milinde alınan faydalı iş'tir. Bu işe motor işi diyeceğiz. Hava sıkıştırılıyor ise bu alanlar kompresör işini temsil edecek.

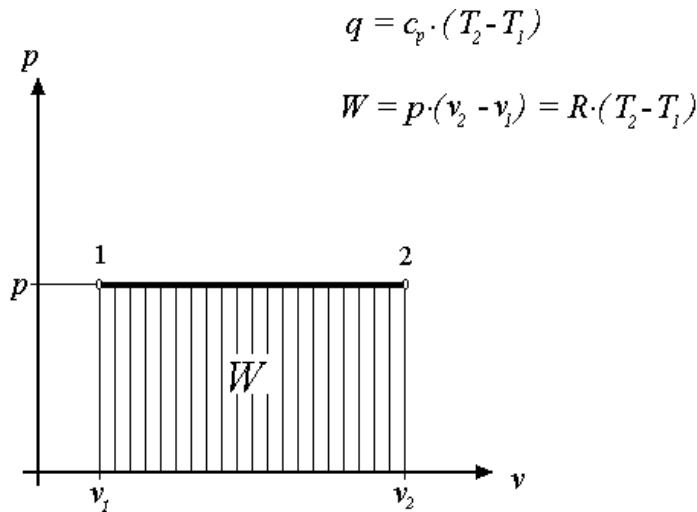
## Gazlarda Hal Değişimi:

Gazlardaki hal değişikliğini çok değişik şartlar altında gerçekleştirmek mümkündür. Biz burada, hesabını kolayca yapabileceğimiz, çok özel şartlarda gerçekleşen hal değişikliklerinden bahsedeceğiz. Ama buna rağmen, bu özel hal değiştirme şekilleri yardımı ile bir çok teknik probleme yeterli duyarlılıkta çözümler üretmek mümkün olacaktır.

1.- İsochor Hal Değişimi; Gazın, hacmi sabit kalmak şartı ile ısı enerjilerinin değişmesidir. Bu amaçla, sabit hacim içindeki gaz ya ısıtılır veya soğutulur. Bu sırada transfer olan ısı doğrudan doğruya gazın ısı enerjisi üzerinde etkili olur. Gazda hacimsel değişiklik olmadığı için mekanik anlamda bir işten söz etmek mümkün değildir. Gazın ısı enerjisindeki değişim aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.



2.- İsoyar Hal değişikliği; Gaz ısı enerjisinin sabit basınç altında değiştirilmesi şeklinde tanımlanmıştır. Bu amaçla gaz ya ısıtılır veya soğutulur. Transfer olan ısı enerjisi; kısmen gazın ısı enerjisini değiştirirken, kısmen de gaz hacminin değişmesini sağlar. Gaz hacmi değişince mekanik anlamda bir iş yapılmış olur. Gazın ısı enerjisindeki değişiklik ve mekanik iş büyüklüğünü aşağıdaki formüllerle hesaplanır.



3.- İzotermik Hal Değişimi; Gazın, ısı enerjisi sabit kalacak şekilde hal değiştirmesi izotermik hal değişimi olarak tanımlanmıştır. Bunun için, sıkışan veya genişleyen gaz

ile dış ortam arasındaki ısı iletim özelliğinin çok iyi olması gerekir. Hacim değişikliği nedeni ile ortaya çıkan enerji farkı, gazın ısı enerjisini değiştirmeden dış ortama yansıtılmalıdır. Böylece örneğin; sıkıştırılan gazın azalan mekanik enerjisi ısı enerjisi olarak dış ortama geçmiş olur veya genişlerken mekanik iş yapan gaz bu enerjisini ısı enerjisi olarak dış ortamdan alır. Hal değiştiren gazın sıcaklığı değişmediği için;

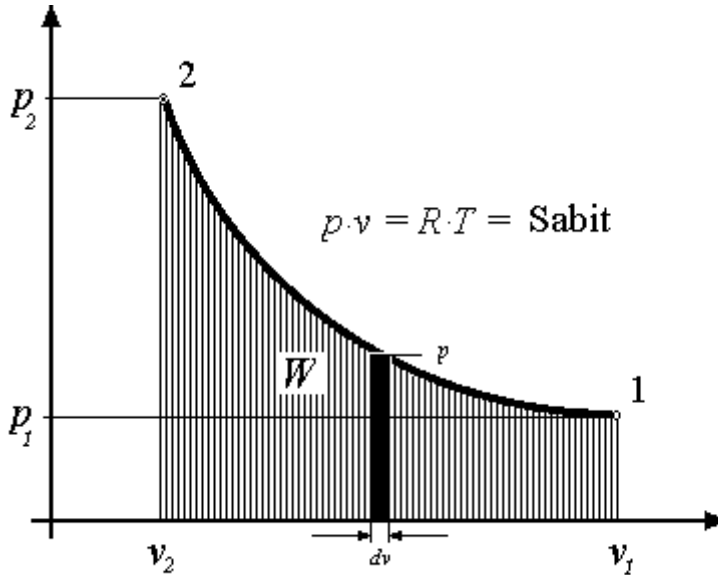
$$p \cdot v = R \cdot T = \text{Sabit}$$

olur.

### 3.1- İzotermik Hal Değişimi İş ve Enerji Hesapları

#### 3.1.1- İzotermik Mutlak Sıkıştırma İş

Aşağıdaki şekilde kütlesi 1 kg olan gazın  $p_1$  basıncından  $p_2$  basıncına sıkıştırılması ile ilgili PV diyagramı verilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi mutlak sıkıştırma işi, eğri ile v eksenindeki taralı alana eşittir. Bu alanı entegral olarak aşağıda belirtildiği şekilde hesaplayabiliriz.



$$W_{\text{izo-mut}} = \int_{v_1}^{v_2} p \cdot dv$$

dir. Diğer taraftan genel gaz kanununa göre;

$$\frac{p \cdot v}{T} = R \quad \Rightarrow \quad p = \frac{R \cdot T}{v}$$

yazılabilir. Bu değer yukarıdaki denklemde yerine yazılırsa;

$$W_{\text{izo-mut}} = \int_{v_1}^{v_2} \frac{R \cdot T}{v} \cdot dv$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadede  $R$  ile beraber izotermik hal değiştirme nedeniyle  $T$  de sabit olacağından;

$$\begin{aligned} W_{\text{izo-mut}} &= R \cdot T \cdot \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} = R \cdot T \cdot \ln v \Big|_{v_1}^{v_2} \\ &= -R \cdot T \cdot (\ln v_1 - \ln v_2) = -R \cdot T \cdot \ln \frac{v_1}{v_2} \end{aligned}$$

olur. Bu bağıntıdaki eksi işareti gazın sıkıştırılırken dışarıdan enerji aldığını göstermektedir. Gaza yüklenen bu enerji kompresör pistonunun mekanik enerjisidir. Sıkıştırma işini kompresör açısından ele aldığımızda bağıntı önündeki bu işaret pozitif olacaktır.

$$W_{\text{izo-mut}} = R \cdot T \cdot \ln \frac{v_1}{v_2}$$

Genel gaz denklemi ve Boyle- Mariotte yasalarına göre;

$$R \cdot T = p_1 \cdot v_1 \quad \text{ve} \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1}$$

yazabiliriz. Ayrıca, aynı sayının tabii logaritması ile ondalık logaritması arasındaki 2.303 değerindeki orandan da yararlanıp yukarıdaki denklemi;

$$W_{\text{izo-mut}} = 2.303 \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \log \frac{p_2}{p_1}$$

şeklinde yazabiliriz. Bu ifadelerde spesifik hacim birimi  $\left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$  olduğundan, basınç birimi de  $\left[ \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \right]$  olmak zorundadır. Eğer basınç birimi olarak günlük hayattan alışık olduğumuz teknik atmosfer birimini  $\left[ \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right]$  kullanacak olursak, yukarıdaki ifadeyi 10000 ile çarpmamız gerekir. Bu durumda;

$$W_{\text{izo-mut}} \dots \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{kg}} \right]$$

$$W_{\text{izo-mut}} = 2.303 \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \log \frac{p_2}{p_1}$$

$$p \dots \dots \dots [\text{at}]$$

$$v \dots \dots \dots \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

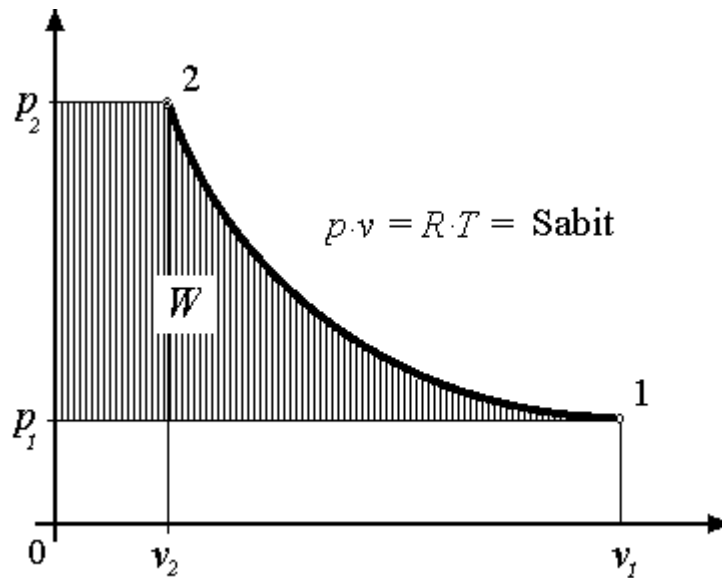
olur. Eğer kütlesi 'm' kilogram olan gazı sıkıştırmak için gerekli mutlak enerjiyi hesaplamak istersek yukarıdaki ifadeyi 'm' ile çarpmamız gerekir. Bir metreküp gazın sıkıştırılması ile ilgili mutlak iş ise yukarıdaki ifadeyi  $v_1$ 'e bölerek hesaplanabilir.

$$W_{\text{izo-mut}} = 2.303 \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot \log \frac{p_2}{p_1} \quad W_{\text{izo-mut}} \dots \dots \dots \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{m}^3} \right]$$

hacmi  $V_1$  [  $\text{m}^3$  ] olan gazı sıkıştırmak için gerekli enerji ise yukarıdaki formül  $V_1$  ile çarpılarak hesaplanır.

### 3.1.2- İzotermik Kompresör İşi:

İzotermik kompresör işi aşağıdaki şekil üzerinden grafik yöntemle hesaplanacaktır. İzotermik kompresör işi "  $p \cdot v = \text{Sabit}$  " eğrisi ile  $p$  eksenini arasındaki taralı alana eşittir. Bu alanı;  $p_2 \cdot v_2$  alanını ile  $p_1 \cdot v_1$  alanlarını toplayıp, bundan  $p_1 \cdot v_1$  alanını çıkararak bulabiliriz.



$$W_{\text{izo-komp}} = 12 \cdot v_2 \cdot v_1 + p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1$$

olur.  $p_2 \cdot v_2 = p_1 \cdot v_1$  alanı izotermik mutlak sıkıştırma işine eşittir. Diğer alanlar ise;

$$p_2 \cdot v_2 = p_1 \cdot v_1$$

$$p_1 \cdot v_1 = p_1 \cdot v_1$$

olup, izotermik hal değişiminde  $p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2$  olacağından,

$$W_{\text{izo-komp}} = W_{\text{izo-mut}}$$

$$W_{\text{izo-komp}} = 2.303 \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \log \frac{p_2}{p_1} \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{kg}} \right]$$

$$W_{\text{izo-komp}} = 2.303 \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot \log \frac{p_2}{p_1} \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{m}^3} \right]$$

olur.

### 3.1.3- İzotermik Genişleme ve Motor İşleri:

İzotermik sıkıştırma ve kompresör işlerine benzer olarak izotermik genişleme ve motor işleri hesaplanırsa aşağıdaki bağıntılar elde edilir. Ancak burada indislere dikkat etmek gerekmektedir. Sıkışma olayında 1 No'lu indis sıkışacak düşük basınçlı havayı temsil ederken; genişleme olayında 1 No'lu indis genişleyecek yüksek basınçlı havayı temsil etmektedir. Benzer şekilde, sıkışma olayında 2 No'lu indis sıkışan yüksek basınçlı havayı temsil ederken, genişleme olayında 2 No'lu indis genişleyen düşük basınçlı havayı temsil etmektedir.

- İzotermik genişleme işleri:

$$W_{\text{izo-mut}} = 2.303 \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \log \frac{p_1}{p_2} \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{kg}} \right]$$

$$W_{\text{izo-mut}} = 2.303 \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot \log \frac{p_1}{p_2} \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{m}^3} \right]$$

- İzotermik motor işleri:

$$W_{\text{izo-mot}} = 2.303 \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \log \frac{p_1}{p_2} \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{kg}} \right]$$

$$W_{\text{izo-mot}} = 2.303 \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot \log \frac{p_1}{p_2} \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{m}^3} \right]$$

4- Adiyabatik Hal Değişimi: Gazın toplam enerjisi sabit kalacak şekilde hal değiştirmesi adiyabatik hal değişimi olarak tanımlanmıştır. Bunun için dış ortamla gaz arasında ısı alışverişi olmamalıdır. Hacim değişikliği ile gazın mekanik enerjisinde meydana gelen fark doğrudan doğruya gazın ısı enerjisine yansıtılır. Örneğin basınçlı hava motorlarında olduğu gibi, gaz pistonu ötelerken yaptığı mekanik iş için kendi ısı enerjisini kullanır ve gazın sıcaklığı düşer. Kompresörlerde ise, hacmi yani mekanik enerjisi küçülen gazın ısı enerjisini artır ve dolayısıyla gaz sıcaklık yükselir. Bu açıklamalara dayanarak; gaz ısı enerjisindeki değişim ile hacimsel değişiklik nedeniyle ortaya çıkan mekanik işin birbirine eşit olduğunu ve dış ortamla enerji alışverişi olmadığından toplamalarının sıfır olacağını söyleyebiliriz. Buna göre;

$$c_v \cdot dT + p \cdot dv = 0$$

yazılabilir. Genel gaz denkleminde;

$$p \cdot v = R \cdot T \quad \Rightarrow \quad T = \frac{1}{R} \cdot p \cdot v$$

ve

$$dT = \frac{1}{R} \cdot (p \cdot dv + v \cdot dp)$$

yazabiliriz. Diğer tarafta,

$$c_v = \frac{1}{427} \cdot \frac{1}{k-1} \cdot R$$

olduğunu görmüştük. Bu değerler yukarıdaki bağıntıda yerine konursa;

$$\frac{1}{k-1} \cdot (p \cdot dv + v \cdot dp) = -p \cdot dv$$

$$-k \cdot \frac{dv}{v} = \frac{dp}{p}$$

sonucuna varılır. Bu ifadenin de entegrali alınırsa;

$$-k \cdot \ln v = \ln p + \ln C$$



bağıntısı elde edilir ki, burada C entegral sabitidir. Bu bağıntının daha çok kullanılan bir diğer şekli ise;

$$p \cdot v^k = \text{Sabit}$$

dir.

4.1- Adiyabatik Hal Değişiminde  $p$ ,  $v$ ,  $T$  arası ilişkiler.

Gazın hal değişimi adiyabatik olarak ( $p \cdot v^k = \text{Sabit}$ ) tanımlanmış ise,  $p, v, T$  değerlerinden birindeki değişikliğin tam bilinmesi halinde diğer değerler bunlara bağlı olarak hesaplanabilir.

– Basınç ile spesifik hacim arasındaki ilişki:

$$p_1 \cdot v_1^k = p_2 \cdot v_2^k \quad \Rightarrow \quad \frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^k$$

– Basınç ile sıcaklık arasındaki ilişki:

$$\frac{p_1 \cdot v_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot v_2}{T_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{p_1}{p_2}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^k = \left( \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{p_1}{p_2} \right)^k = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^k \cdot \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^k$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

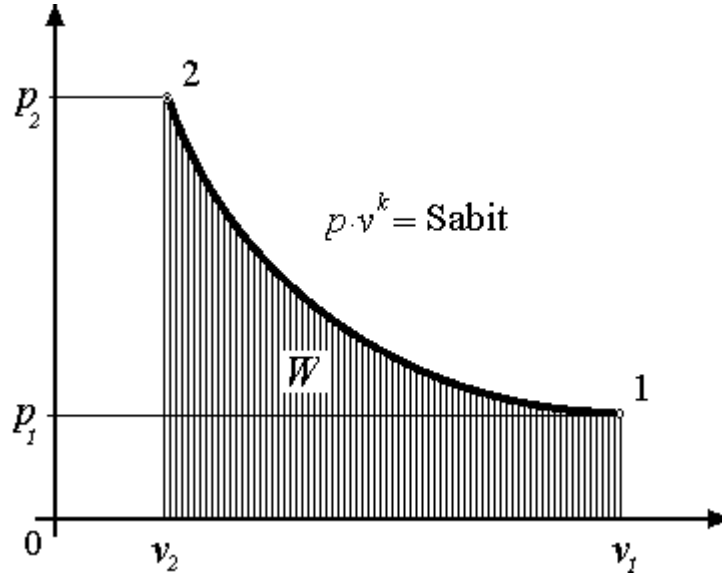
– Sıcaklık ile spesifik hacim arasındaki ilişki:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{v_2}{v_1} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^k \quad \Rightarrow \quad \frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1}$$

## 4.2-Adiyabatik Hal Değişimi İş ve Enerji Hesapları

### 4.2.1-Adiyabatik Mutlak Sıktırma İş

Adiyabatik sıkıştırmada mutlak iş “ $p \cdot v^k = \text{Sabit}$ ” eğrisinin altındaki taralı alana eşittir. İzotermik sıkıştırmada bu alanı entegral olarak hesaplamıştık. Burada ise; adiyabatik hal değişiminde gazın ısı enerjisindeki değişimin, hacimsel değişiklikle ilgili mekanik işe eşit olacağı esastan hareket edeceğiz. Böylece entegralden kaçınıp, problemi daha basit yolla çözümlenmiş olacağız. Mekanik enerji birimi [kpm] ile ısı enerjisi birimi [kCal] arasındaki ilişkiyi de göz önüne alarak;



$$\frac{1}{427} \cdot W = Q$$

yazılabilir. Diğer tarafta;

$$Q = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

$$c_v = \frac{1}{427} \cdot \frac{1}{k-1} \cdot R$$

$$T_1 = \frac{p_1 \cdot v_1}{R} \quad \text{ve} \quad T_2 = \frac{p_2 \cdot v_2}{R}$$

olduğu hatırlatılıp, bu değerler yukarıdaki denklemde yerlerine konursa;

$$\frac{W}{427} = \frac{R}{427 \cdot (k-1)} \cdot \left( \frac{p_2 \cdot v_2}{R} - \frac{p_1 \cdot v_1}{R} \right)$$

$$W = \frac{1}{k-1} \cdot (p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade;

$$p_2 \cdot v_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot p_1 \cdot v_1$$

değeri ile yeniden düzenlenirse;

$$W = \frac{1}{k-1} \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

şeklini alır. Son olarak ta;

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

değeri yukarıdaki denklemde yerine konur ve basınç birimlerinde dönüşüm sağlanırsa;

$$W_{\text{ady-mut}} = \frac{1}{k-1} \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{kg}} \right]$$

$$W_{\text{ady-mut}} = \frac{1}{k-1} \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{m}^3} \right]$$

sonuçları elde edilmiş olur.

#### 4.2.2- Adiyabatik Kompresör İşi:

Adiyabatik kompresör işi hesabında, izotermik kompresör işi hesabında olduğu gibi benzer şekli kullanarak grafik çözüm ile sonuca ulaşacağız. Adiyabatik eğri ( $p \cdot v^k = \text{Sabit}$ ) ile p eksenindeki alanın adiyabatik kompresör işini verdiğini biliyoruz. Bu alanı grafik üzerindeki alanlarla şu şekilde hesaplayabiliriz:

$$W_{\text{ady-komp}} = \int_{v_1}^{v_2} p \, dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{p_1 v_1^k}{v^k} dv = \frac{p_1 v_1^k}{k-1} \left( v_2^{1-k} - v_1^{1-k} \right)$$

Burada;

$$\int_{v_1}^{v_2} p \, dv = W_{\text{ady-mut}} = \frac{1}{k-1} \cdot (p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1)$$

$$p_2 \cdot v_2 = p_2 \cdot v_2$$

$$p_1 \cdot v_1 = p_1 \cdot v_1$$

değerleri yerine konarak formül yeniden düzenlenirse;

$$W_{\text{ady-kom}} = \frac{1}{k-1} \cdot (p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1) + p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1$$

$$W_{\text{ady-kom}} = k \cdot \frac{1}{k-1} \cdot (p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1)$$

$$W_{\text{ady-kom}} = k \cdot W_{\text{ady-mut}}$$

$$W_{\text{ady-kom}} = \frac{k}{k-1} \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{kg}} \right]$$

$$W_{\text{ady-kom}} = \frac{k}{k-1} \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{m}^3} \right]$$

bağıntıları elde edilir.

#### 4.2.3- Adiyabatik Genişleme ve Motor İşleri:

Adiyabatik sıkıştırma ve kompresör işine benzer olarak adiyabatik genişleme ve motor işleri hesaplanırsa aşağıdaki bağıntılar elde edilir. Burada da indislerle ilgili olarak 3.2.3 'de yapmış olduğumuz açıklamaları tekrar hatırlatırız.

-Adiyabatik genişleme işleri:

$$W_{\text{ady-mut}} = \frac{1}{k-1} \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{kg}} \right]$$

$$W_{\text{ady-mut}} = \frac{1}{k-1} \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{m}^3} \right]$$

-Adiyabatik Motor İşleri:

$$W_{\text{ady-mot}} = \frac{k}{k-1} \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot v_1 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{kg}} \right]$$

$$W_{\text{ady-mot}} = \frac{k}{k-1} \cdot 10^4 \cdot p_1 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad \left[ \frac{\text{kpm}}{\text{m}^3} \right]$$

#### 5- Politropik Hal Değişimi:

Basıncılı hava üreten veya tüketen makinelerdeki hal değişimi izotermik veya adiyabatik hal değişimi ile açıklanamaz. Çünkü; bu makineleri ne sonsuz ısı geçirgen, nede hiç ısı geçirmez bir şekilde yapmak mümkün değildir. Hava bu tür makinelerde hal değiştirirken dış ortamla kısmen ısı alışverişinde bulunur. Ama bu alışveriş izotermik hal değişiminde belirtildiği seviyede değildir, dolayısıyla havanın sıcaklığı değişir. Dış ortamla kısmen ısı alışverişinin olduğu hal değişimlerine politropik hal değişimi denir. Isı alışverişinin hangi oranlarda olduğu; makinenin yapıldığı malzemeye, çalışma hızına ve dış ortam sıcaklığına bağlıdır. Politropik hal değişiminde;

$$p \cdot v^m = \text{Sabit}$$

dir. Burada m, gaz ile dış ortam arasındaki ısı alışverişinin mertebesine bağlı politropik katsayıdır ve değeri;

$$1 < m < k$$

arasında değişir. “ m = 1” olması halinde izotermik; “ m = 1.4” olması halinde ise adiyabatik hal değişiminden bahsediliyor demektir.