

Ege Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Tekstil Mühendisliği Bölümü

Akışkanlar Mekaniği Ders Notu

Ders05-Konu: **Basınç ve Akışkan Statiği-Basınç Kavramı**

Prof.Dr.Hüseyin GÜNERHAN

<https://www.huseyingunerhan.com/>

Bu ders notu Dr.Hüseyin GÜNERHAN tarafından hazırlanmış ve her sayfası izinsiz kopyalamaya ve çoğaltmaya karşı notere tasdik ettirilmiştir. Ders notunun tüm hakları saklıdır. Ders notunun fotokopi ile çoğaltılıp-ciltletilmesi için yazarından yazılı olarak izin alınması zorunludur.

Bu ders notu, kitap değildir ve yazarın özgün fikirlerini içermektedir. Kaynaklardan alınan bilgiler için kaynak isimleri her bölümün "özet bilgiler" kısmında verilmiştir.

BASINÇ KAVRAMI

Bir akışkan tarafından birim alana uygulanan kuvvete **basınç** denir. P ile gösterilen basıncın birimi **pascal**dır [$\text{Pa} \equiv \text{N/m}^2$].

Diğer basınç birimleri aşağıda verildiği gibidir:

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

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bar} \quad (1 \text{ atm} \cong 100 \text{ kPa})$$

Mutlak vakuma göre verilen basınca **mutlak basınç**, mutlak basınçla yerel atmosferik basınç arasındaki farka ise **etkin basınç** (gösterge basıncı) denir. Atmosferik basıncın altındaki basınca **vakum basıncı** denir. Mutlak, etkin ve vakum basınçları arasında aşağıda verilen ilişkiler vardır.

$$P_{\text{etkin}} = P_{\text{mutlak}} - P_{\text{atm}}, \quad P_{\text{vakum}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{mutlak}} = -P_{\text{etkin}}$$

Bir akışkan içerisinde bir noktadaki basınç, tüm yönlerde aynı büyüklüğe sahiptir. ρ akışkan yoğunluğu ve g yerçekimi ivmesi olmak üzere durgun haldeki bir akışkan içerisinde basıncın yükseklikle (z ile) değişimi aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanır.

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

Yukarıda verilen eşitlikte yer alan z yüksekliğinin pozitif yönü, yerçekimi ivmesinin tersi yönünde alınmıştır. Akışkanın yoğunluğu sabit olarak alınırsa Δz kalınlığındaki bir akışkan tabakası boyunca olan basınç farkı, γ özgül ağırlık olmak üzere aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanır.

$$P_{\text{alt}} = P_{\text{üst}} + \rho g |\Delta z| = P_{\text{üst}} + \gamma |\Delta z|$$

Yüzeyi atmosfere açık, statik (durgun) durumdaki bir akışkan içerisinde serbest akışkan yüzeyinden h derinliğine kadar olan mutlak (P) ve etkin (P_{etkin}) basınçlar aşağıda verilen eşitlikler ile hesaplanır.

$$P = P_{\text{atm}} + \rho gh, \quad P_{\text{etkin}} = \rho gh \rightarrow P = P_{\text{atm}} + P_{\text{etkin}}$$

Durgun durumdaki bir akışkan içerisindeki basınç yatay yönde sabit kalır. Yani basınç derinlik ile değişir. Pascal yasası, sınırlandırılmış bir akışkana uygulanan basıncın akışkan içerisindeki basıncı aynı miktarda arttırdığını ifade eder.

Atmosferik basınç barometre ile ölçülür ve h sıvı sütununun yüksekliği olmak üzere $P_{\text{atm}} = \rho gh$ eşitliği ile hesaplanır.

Önemli Konular:

-Basınç (Basıncın derinlik ile değişimi)

Çalışma Soruları:

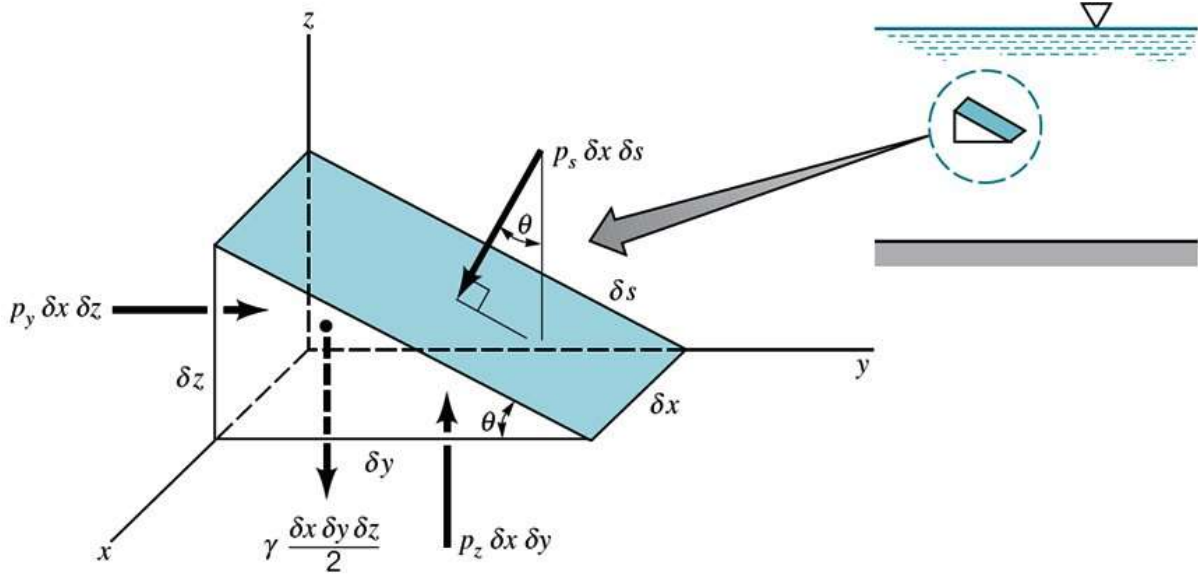
1. Basınç yükü (pressure head, piezometric head) nedir? Birimi nedir? Açıklayınız.
2. Etkin, mutlak ve vakum basıncı nedir? Açıklayınız.
3. Manometre ve barometre nedir? Aralarındaki benzerlik ve farklılık nedir? Şekil çizerek açıklayınız.
4. Sabit yoğunluktaki hareketsiz bir sıvıda derinlik iki kat artınca basınç da iki kat artar mı? Açıklayınız.

Kaynaklar:

1. Cengel YA, Cimbala JM, "Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications", Second Edition (SI), McGraw-Hill, 2010.
 2. Fox RW, Pritchard PJ, McDonald AT, "Introduction to Fluid Mechanics", 7th Edition (SI), Wiley, 2010.
 3. Crowe CT, Elger DF, Williams BC, Roberson JA, "Engineering Fluid Mechanics", 9th Edition (SI), Wiley, 2010.
 4. Potter MC, Wiggert DC, Ramadan BH, "Mechanics of Fluids", 4th Edition, Cengage Learning, 2012.
 5. Munson BR, Young DF, Okiishi TH, Huebsch WW, "Fundamentals of Fluid Mechanics", 6th Edition, Wiley, 2009.
-

BİLGİ: BASINÇ VE BASINÇ DEĞİŞİMİ

Durgun bir akışkan kayma gerilmesi taşımaz. Başka bir deyişle, bir kap içindeki durgun bir akışkanın kabın tabanına uyguladığı normal gerilmenin değeri, akışkan basıncı olarak isimlendirilen tek bir değere eşittir. Aşağıda şekil ile verildiği gibi, kenar uzunlukları δx , δy , δz , ve δs olan üçgen prizma şeklindeki durgun bir akışkan elemanını göz önüne alalım. Akışkan elemanın yüzeylerine P_y , P_z ve P_s basınçları etkisin. Akışkan elemanın ağırlığı ise δW kadar olsun. Durgun yani statik durumda akışkan elemanına etkiyen kuvvetlerin toplamı sıfır olacaktır. (Kuvvet) = (Basınç) x (Yüzey alanı) olduğundan dolayı, toplam kuvvetler için aşağıda verilen eşitlikler yazılabilir.



$$\sum F_y = ma_y \rightarrow a_y = 0 \text{ m/s}^2 \rightarrow \sum F_y = 0 \text{ N} \rightarrow P_y \delta x \delta z - P_s \delta x \delta s \sin \theta = 0 \text{ N}$$

$$\sin \theta = \delta z / \delta s \rightarrow P_y \delta x \delta z = P_s \delta x \delta s (\delta z / \delta s) \rightarrow P_y = P_s$$

Yapılan analiz sonunda y yönündeki P_y basıncı ile P_s basıncının y yönündeki bileşeni birbirine eşit çıkmıştır. Yani basınç yatay yönde değişmemektedir.

$$\sum F_z = ma_z \rightarrow a_z = 0 \text{ m/s}^2 \rightarrow \sum F_z = 0 \text{ N} \rightarrow P_z \delta x \delta y - P_s \delta x \delta s \cos \theta - dW = 0 \text{ N}$$

$$dW = (1/2) \gamma_{\text{akışkan}} \delta x \delta y \delta z \text{ (N)} \rightarrow \cos \theta = \delta y / \delta s \rightarrow P_z \delta x \delta y = P_s \delta x \delta s (\delta y / \delta s) + (1/2) \gamma_{\text{akışkan}} \delta x \delta y \delta z$$

$$P_z = P_s + (1/2) \gamma_{\text{akışkan}} \delta z$$

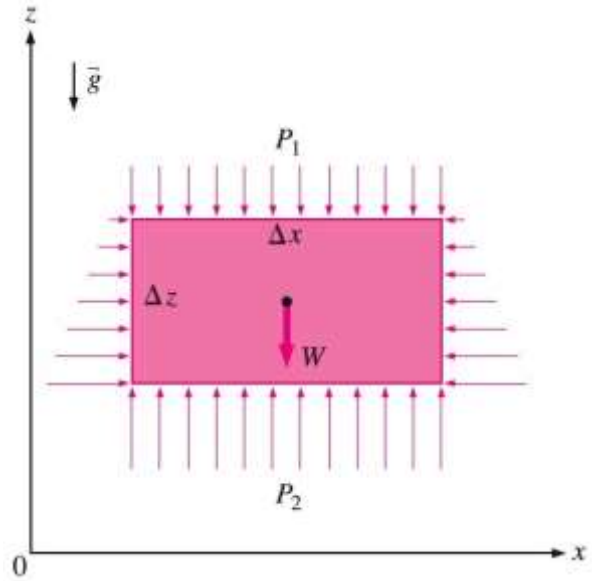
z yönündeki P_z basıncı ise bulunduğu konumdan $\delta z/2$ kadar yukarıda olan P_s basıncına eşit çıkmamıştır. İki basınç arasındaki fark, düşey uzaklık ile akışkanın özgül ağırlığı çarpımına eşit olmuştur. Yani yukarıda verilen şekilden ve eşitliklerden görüleceği gibi akışkanın basıncı yerçekimi ivmesi yönünde (düşey yönde) değişir ve yerçekimi ivmesi yönünde ilerledikçe artar. $\delta z \rightarrow 0$ olduğunda ise akışkan elemanı bir nokta haline gelir ve $P_y = P_z = P_s$ olur. Sonuç olarak, bir akışkan içerisindeki bir noktadaki basınç tüm yönlerde aynı büyüklüktedir.

Düşey yönde yani derinlik ile değişen basınca ait bir eşitlik elde etmek üzere, birinci şekilde gösterildiği gibi statik denge halinde bulunan Δz yüksekliğinde, Δx uzunluğunda ve birim kalınlıktaki dikdörtgen akışkan elemanı göz önüne alalım. Akışkanın yoğunluğunun sabit olduğunu kabul ederek z yönündeki kuvvet dengesi, statik durum için aşağıda verildiği gibi yazılabilir.

$$\sum F_z = 0 \text{ N} \rightarrow P_2 \Delta x - P_1 \Delta x - W = 0 \text{ N}$$

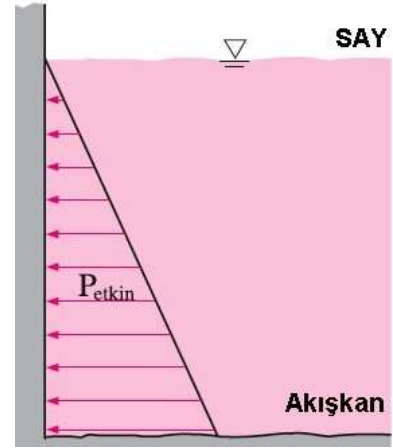
$$W = \rho g \Delta x \Delta z \text{ (N)}$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho_{\text{akışkan}} g \Delta z = \gamma_{\text{akışkan}} \Delta z \text{ (Pa)}$$



İkinci şekilde gösterildiği gibi, bir akışkan içindeki etkin basınç (gösterge basıncı), serbest akışkan yüzeyinden (SAY) uzaklaştıkça yani derinlik ile doğrusal olarak değişir. Δz , düşey uzaklığına basınç yükü denir.

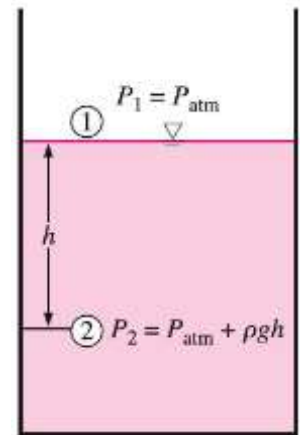
Sıvıların yoğunluğu ve özgül ağırlığı, gazlara göre yüksek değerdedir. Bundan dolayı **gazlarda basıncın yükseklik ile değişimi göz önüne alınmayabilir.**



Üçüncü şekil ile verildiği gibi, 1 noktası basıncın atmosferik basınç P_{atm} olduğu sıvının atmosfere açık serbest yüzeyi olarak alınırsa, bu durumda serbest yüzeyden itibaren h derinliğindeki basınç aşağıda verildiği gibi yazılabilir.

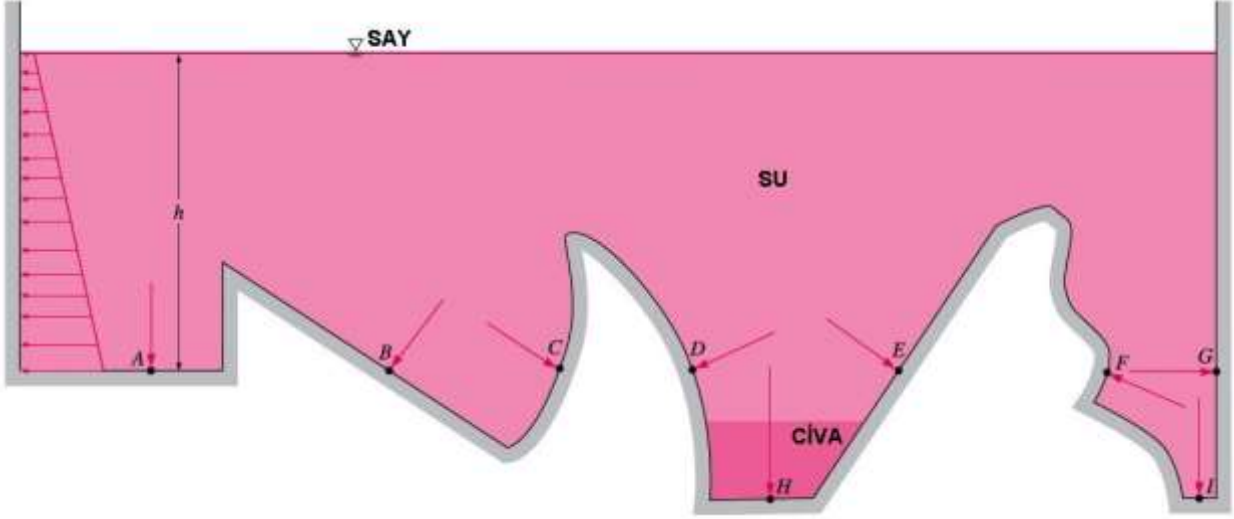
$$P = P_{\text{mutlak}} = P_{\text{atm}} + \rho g h \text{ veya } P_{\text{etkin}} = \rho g h \text{ (Pa)}$$

Sıvılar genelde sıkıştırılmaz maddelerdir ve bu nedenle yoğunluğun derinlikle değişimi göz önüne alınmayabilir. Yükseklik farkı çok fazla değilse bu durum gazlar için de geçerlidir. Yoğunluk değişimi sıvılarda genellikle sıcaklıkla, gazlarda ise sıcaklık ve basınçla gerçekleşir. Yerçekimi ivmesi ise aksi belirtilmedikçe sabit kabul edilir.



Durgun bir akışkanın içinde bulunduğu kabın çeşitli noktalarına uyguladığı basınç, içerisinde bulunduğu kabın şeklinden ve kesitinden bağımsızdır. Basınç düşey doğrultuda değişir ancak diğer tüm yönlerde sabit kalır. Dolayısıyla, bir akışkan içerisinde yatay bir çizgide her noktadaki basınç aynıdır. Şekil ile verildiği gibi, aynı derinlikte bulunan ve aynı özellikteki statik akışkan ile irtibatta olan **A, B, C, D, E, F** ve **G** noktalarındaki basınçlar birbirine eşittir.

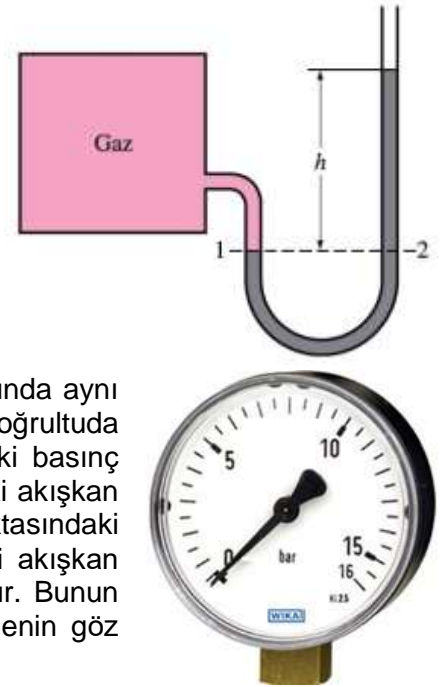
Aynı derinlikte olmalarına karşın **H** ve **I** noktalarındaki basınçlar, bu iki nokta aynı özellikteki akışkan ile irtibatlı olmadığından eşit değildir. H noktasındaki basınç, civanın yoğunluğu daha fazla olduğu için I noktasındaki basınçtan daha büyüktür. Akışkan tarafından uygulanan basınç kuvveti verilen noktalarda daima yüzeye diktir.



Manometre ile Basınç Ölçümü

Durgun bir akışkan içerisinde meydana gelen yükseklik değişimi " $\Delta P/\rho g$ " ifadesine karşılık gelmektedir. Yani, bir akışkan sütunu basınç farklarını ölçmede kullanılabilir. Bu ilkeye göre çalışan düzeneklere **manometre** denir. Bir manometre civa, su, alkol veya yağ gibi içerisinde bir veya daha fazla akışkan bulunan cam ya da plastik bir U-borusundan oluşur.

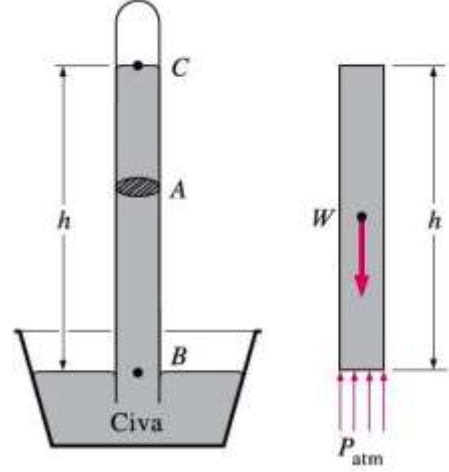
Şekil ile verildiği gibi içinde gaz olan bir depodaki basınç, bir U-manometresi ile ölçülsün. Gazların ağırlık etkileri ihmal edilebildiğinden, depo içerisindeki basınç her yerde ve 1 konumunda aynı değerde olacaktır. Ayrıca, bir akışkan içerisindeki basınç yatay doğrultuda değişmediğinden dolayı 2 noktasındaki basınç ile 1 noktasındaki basınç değerleri de birbirlerine eşit olacaktır. Sağ kolda h yüksekliğindeki akışkan sütunu statik dengede olup atmosfere açık durumdadır ve 2 noktasındaki basınç $P_2 = P_{atm} + \rho g h$ [Pa] eşitliğinden bulunabilir. ρ borudaki akışkan yoğunluğudur ve boru kesitinin h yüksekliği üzerinde etkisi yoktur. Bunun yanında boru çapı, yüzey geriliminin etkisinin ve kılcak yükselmenin göz önüne alınmayacağı değerlerde olmalıdır.



Atmosferik basınç, barometre ile ölçülür ve genellikle **barometrik basınç** olarak da söylenir. Torricelli (1608-1647), atmosferik basıncın -şekil ile verildiği gibi- içi civa dolu bir borunun, atmosfere açık bir civa kabına ters çevrilip daldırılmasıyla ölçülebileceğini ispatlayan ilk bilim adamı olmuştur. B noktasındaki basınç atmosferik basınca eşittir. C noktasındaki basınç ise bu noktanın üzerinde sadece civa buharının bulunması ve buradaki basıncın atmosfer basıncına oranla çok küçük olmasından dolayı göz önüne alınmayabilir. Düşey doğrultuda yazılan kuvvet dengesi, $P_{atm} = \rho_{civa}gh$ (Pa) sonucunu verecektir.

Sıkça kullanılan başka bir basınç birimi, standart yerçekimi ivmesi ($g = 9.807 \text{ m/s}^2$) altında, 0°C sıcaklıktaki 760 mm civa sütununun ($\rho_{Hg} = 13595 \text{ kg/m}^3$) tabanına yaptığı basınç olan **standart atmosferik basınç**tır. Yani standart atmosferik basınç, 0°C sıcaklıktaki 760 mmHg'dir. "mmHg" birimine "torr" da denir. Dolayısıyla $1 \text{ atm} = 760 \text{ torr}$ ve $1 \text{ torr} = 133.32 \text{ Pa}$ değerindedir.

Atmosferik basınç, yükseklik ve hava koşullarına bağlı olarak değişir. Atmosferik basınç yükseklik ile değiştiği için örneğin, düşük atmosferik basınçlarda su daha düşük sıcaklıkta kaynar ve istenen sıcaklığa erişmesi için daha uzun süre geçer. Bunun yanında yüksek yerlerde kan basıncıyla atmosferik basınç arasındaki farkın daha fazla olması ve böylece burundaki toplardamar çeperlerinin oluşan fazla gerilmeye karşı koyamaması nedeniyle burun kanaması görülebilir.



Verilen bir sıcaklık için yüksek yerlerdeki hava yoğunluğu daha düşüktür ve bu yüzden belirli bir hacim içerisinde daha az hava ve oksijen bulunur. Yüksek yerlerde insanların daha kolay yorulmalarının ve solunum sorunlarıyla karşılaşmalarının nedeni budur.

Yükseklik arttıkça aynı hacimsel debide çalışan bir fan ya da kompresör daha az hava kütlesi basacaktır. Dolayısıyla, yüksek yerlerde çalışma için belirlenen kütleli debiyi sağlamak üzere daha büyük soğutma fanlarının seçilmesi gerekebilir. Düşük basınç ve buna bağlı olarak düşük yoğunluk, kaldırma ve direnç kuvvetlerini de etkiler: Uçaklar, gerekli kaldırma kuvvetini sağlamak için yüksek yerlerde daha uzun kalkış pistine ihtiyaç duyarlar. Hava direncini azaltmak ve böylece yakıt verimliliği sağlamak amacıyla ise yüksek irtifalarda seyrederekler.

BİLGİ:

Bir akışkan içinde basıncın yatay yönde aynı kalmasından dolayı, katı yüzeyler ile kapalı durumdaki bir akışkana uygulanan dış basınç, akışkan içindeki basıncı her noktada aynı miktarda artırır. Bu duruma Pascal yasası denir. Pascal yasasına göre bir akışkan tarafından uygulanan kuvvet, yüzeyin alanıyla orantılıdır. Yani hidrolik silindirler birbirine bağlandığında büyük silindir, küçük olana uygulanan kuvvetten oransal olarak daha büyük bir kuvvet elde etmek için kullanılabilir. Hidrolik frenler ve kaldırma sistemleri bu yasaya göre tasarlanmıştır.

Şekil ile verildiği gibi her iki piston aynı seviyede olduğu için $P_1 = P_2$ olarak yazılabilir. Giriş kuvvetinin çıkış kuvvetine oranı ise aşağıda verildiği gibi yazılır. A_2/A_1 oranı, hidrolik kaldırıcının ideal mekanik yararı olarak adlandırılır.

$$P_1 = P_2 \rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow \frac{A_2}{A_1} = \frac{F_2}{F_1}$$

