

HİD253 Termodinamik İlkeleri

8. Hafta Bernoulli Eşitliği ve Enerjinin dönüşümü

Prof.Dr. C. Serdar BAYARI, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji Anabilim Dalı



Bernoulli Eşitliği Ve Termodinamik İlkeleri

Uçakların nasıl uçabildiği pek çok yasa ile açıklanabilir. Bunlardan birisi de akışkanların hız ve basınçları arasındaki ilişkiyi tanımlayan Bernoulli Yasası'dır.

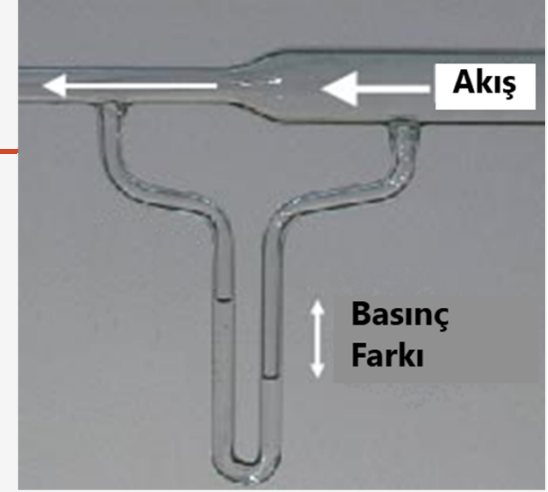
Daniel Bernoulli (1700-1782) akışkanlar mekaniğine yönelik çalışmaları sırasında bir sıvının akış hızının artması durumunda basıncında azalma olduğunu gözlemiştir. Akışkan, kendine özgü bir şekli olmayan, içinde bulunduğu ortamın şeklini alan kendisine uygulanan basınçtan kolaylıkla etkilenen gaz ya da sıvı fazdaki maddelerin genel adıdır.

Sağ taraftaki şekilde ok yönünde hareket eden akışkanın hızı borunun daralan kısmına girince artmakta, buna karşın basıncı azalmaktadır.

Hem hız, hem de basınç birer enerji türüdür. Hız azalırken basıncın artması ya da hız arttığında basıncın azalması enerjinin bir türden diğerine dönüştüğünü gösterir. Bu durum Termodinamiğin 1nci Yasasının bir sonucudur.

Öte yandan, akışkanın akışı sırasında kabın cidarlarına sürtünmesinden dolayı enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek ziyan olur (Termodinamiğin 2nci Yasası, $\Delta S \geq 0$).

Uzay mekiğinin Dünya atmosferine girişi sırasında atmosfere sürtünmesinden kaynaklanan ısı enerjisi o denli yüksektir ki, bu ısının mekikte kullanılan metalleri eritmemesi için mekiğin bazı yüzeyleri (fotoda siyah renkli yüzeyler) ekmek fırınlarında/şöminelerde kullanılan ateş tuğlası ile kaplanmıştır.



Bernoulli Eşitliği

Birim hacim başına enerji_1inci kesit = Birim hacim başına enerji_2nci kesit

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Basınç
Enerjisi

Birim
hacim
başına
kinetik
enerji

Birim
hacim
başına
potansiyel
enerji

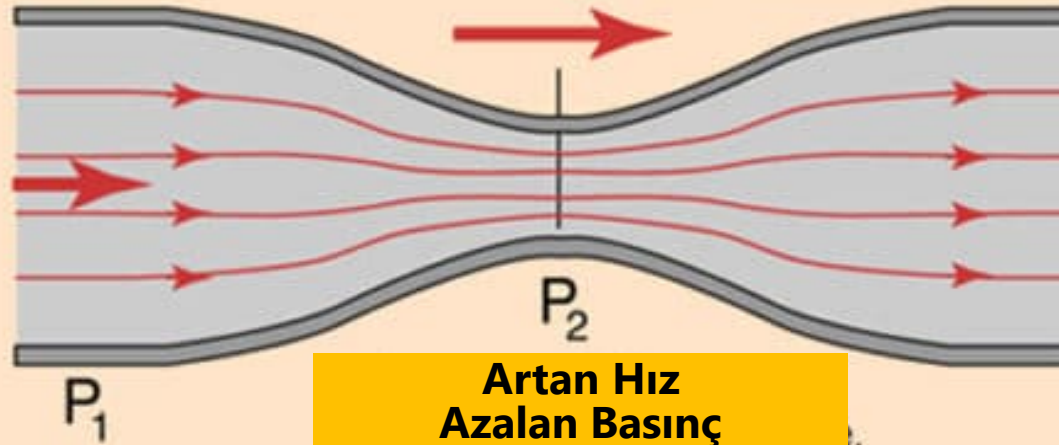
Akış hızı

v_1

Akış hızı

v_2

Bernoulli Eşitliği ya da İlkesi çoğunlukla hız artışına bağlı olarak basınçtaki azalma şeklinde gösterilir.



$$A_2 < A_1$$

$$v_2 > v_1$$

$$P_2 < P_1!$$

Artan Hız
Azalan Basınç

Uçuş Teorisi: Bernoulli Eşitliği Ve Termodinamik İlkeleri

Uçuş, uzun zamandır doğal dünyanın bir parçası olan bir olgudur. Kuşlar sadece kanatlarını çırparak uçmakla kalmaz, uzun mesafeler boyunca kanatlarını açıp süzülerek de uçarlar. Küçük parçacıklardan oluşan duman, havada binlerce metre yükselebilir. Her iki uçuş türü de fizik biliminin ilkeleri nedeniyle mümkündür. Benzer şekilde, insan yapımı uçaklar da yerçekimi kuvvetinin üstesinden gelmek ve uçmak için fizik biliminin ilkelerinden yararlanır.



Sıcak hava balonu gibi havadan hafif araçlar, kaldırma kuvveti prensibine göre çalışır, salların suda yüzmesi gibi havada yüzerler. Bir salın yoğunluğu sudan daha az olduğu için yüzer. Suyun yoğunluğu sabit olsa da irtifa arttıkça havanın yoğunluğu azalır. Bir balonun içindeki sıcak havanın yoğunluğu deniz seviyesindeki havanın yoğunluğundan daha az olduğu için balon yükselir. Balon dışındaki hava, içindeki hava ile aynı yoğunlukta olana kadar yükselmeye devam edecektir. Duman parçacıkları, bir yangının oluşturduğu sıcak hava dumanının üzerinde yükselir. Hava soğuduğunda parçacıklar Dünya'ya geri döner.

Uçuş Teorisi: Bernoulli Eşitliği Ve Termodinamik İlkeleri

- Uçak gibi havadan daha ağır cisimlerin uçuşu, dört fiziksel kuvvetin dengelenmesiyle mümkün olur: kaldırma, sürüklenme, ağırlık ve itme.
- Uçuş için, bir uçağın kaldırma kuvveti, ağırlığını dengelemeli ve itme kuvveti, sürüklenmesini aşmalıdır. Bir uçak, kanatlarını kaldırma için ve motorlarını itme için kullanır. Sürüklenme, bir uçağın pürüzsüz şekli ile azaltılır ve ağırlığı, yapıldığı malzemeler doğru seçimi ile azaltılabilir.
- Havadan daha ağır uçuş, dört fiziksel kuvvetin dikkatli bir şekilde dengelenmesiyle mümkün olur:
 - Kaldırma (lift)
 - Çekme (drag)
 - Ağırlık (weight)
 - İtme (thrust)

- Uçuş için, bir uçağın kaldırma kuvveti, ağırlığını dengelemeli ve itme kuvveti, sürüklenmesini aşmalıdır. Bir uçak, kanatlarını kaldırma için ve motorlarını itme için kullanır. Sürüklenme, uçak yüzeyinin azalan pürüzlülüğü ile azaltılır ve ağırlığı, yapıldığı malzemeler tarafından kontrol edilir.

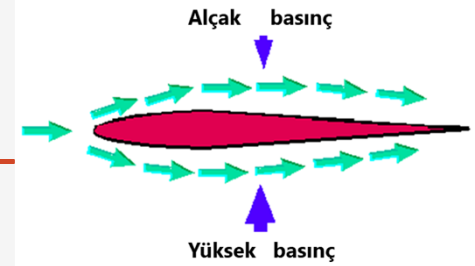


İtme, Çekme, Kaldırma, Ağırlık

KUVVET	
İtme (thrust)	İtmenin kendisi, Newton'un ikinci yasası tarafından en iyi şekilde açıklanabilecek bir kuvvettir. Bu yasanın temel şekli şöyledir: $F = m \cdot a$; kuvvetin (F) kütle (m) çarpı ivmeye (a) eşit olduğunu belirtir. İvme, hızın zaman içindeki değişim oranıdır.
<u>Kaldırma (lift)</u>	Bir uçağın havaya yükselmesi için, yerçekimi kuvvetine eşit veya onu aşan bir kuvvet yaratılması gerekir. Bu kuvvete kaldırma kuvveti denir. Havadan daha ağır olan uçaklarda, kaldırma, bir kanat profili üzerinden geçen hava akışı ile oluşturulur. Kanat profilinin şekli, havanın kanadın üstünde altına göre daha hızlı akmasına neden olur. Hızlı akan hava, çevredeki hava basıncını düşürür. Hava basıncı, kanat profilinin altında yukarıdakinden daha büyük olduğu için, ortaya bir kaldırma kuvveti çıkar.
Sürükleme (drag)	Havada itilen her cisim, hava akışına karşı direnç yaşayacaktır. Bu dirence sürükleme(sürtünme) denir. Kaldırma gibi, sürükleme de <u>dinamik basınç</u> ve etki ettiği alanla orantılıdır. Kaldırma katsayısına benzer sürükleme katsayısı, sürüklemeye dönüştürülen dinamik basınç miktarının bir ölçüsüdür.
Ağırlık (weight)	Ağırlık, Newton'un ikinci yasasının şu biçimi kullanılarak hesaplanabilir: $W = m \cdot g$ burada W ağırlıktır, m kütledir ve g, yerçekimine bağlı ivmedir.

İtme, Çekme, Kaldırma, Ağırlık

- Bir kanat profilinin kaldırma işlemini nasıl oluşturduğunu daha iyi anlamak için iki önemli fizik bilimi denklemini kullanmak gerekir.
- Akan havanın basınç değişimleri en iyi şekilde Bernoulli denklemi ile temsil edilir. İsviçreli bir matematikçi olan Daniel Bernoulli tarafından, akan su akımlarının uyguladığı basınçtaki değişimi açıklamak için türetilmiştir.
- Bernoulli denklemini anlamak için, önce fizik biliminin bir başka önemli prensibi olan süreklilik denklemini anlamak gerekir. Basitçe, herhangi bir akışta, yoğunluğun (ρ) çarpı akışın kesit alanı (A) çarpı hızın (v) sabit olduğunu belirtir.
- Bernoulli denklemini ve süreklilik denklemini kullanarak, bir kanat profili üzerinden akan havanın kaldırma kuvveti oluşturduğu gösterilebilir. Bir uçak kanadı gibi sabit bir kanat profilinin üzerinden akan havayı hayal edin. Kanat profilinin çok ilerisinde, hava tekdüze bir hızda hareket eder. Ancak kanat profilinden geçmek için, akışın bir kısmı üstte ve kısmı da altta hareket edecek şekilde ikiye "bölünmelidir".



Bernoulli eşitliği

$$P + \frac{1}{2} * \rho * v^2 = \text{sabit}$$

Süreklilik eşitliği

$$\rho * A * v = \text{sabit}$$

Kaldırma kuvveti

$$C_L * (1/2 * \rho * v^2) * S$$

Sürükleme kuvveti

$$C_D * (1/2 * \rho * v^2) * A$$

Ağırlık kuvveti

$$W = m * g$$

burada:

P = basınç (uygulanan kuvvetin uygulanan alana bölünmesi)

ρ = akışkanın yoğunluğu (rho okunur)

v = hareketli nesnenin veya akışkanın hızı

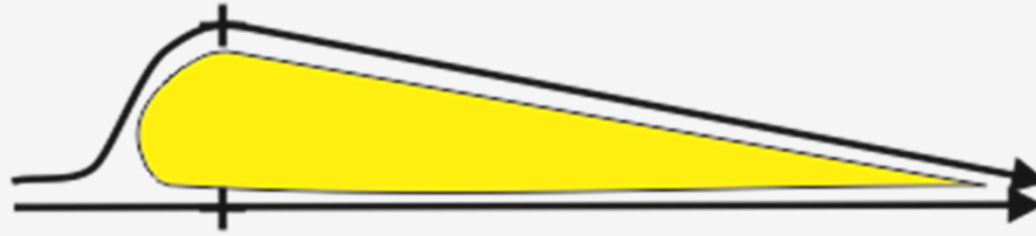
A = akış kesit alanı

S = kanat alanı

C_D = sürükleme katsayısı (kanat şekline ve pürüzlülüğüne bağlı)

C_L = kaldırma katsayısı (kanat şekline bağlı)

Kaldırma Kuvveti

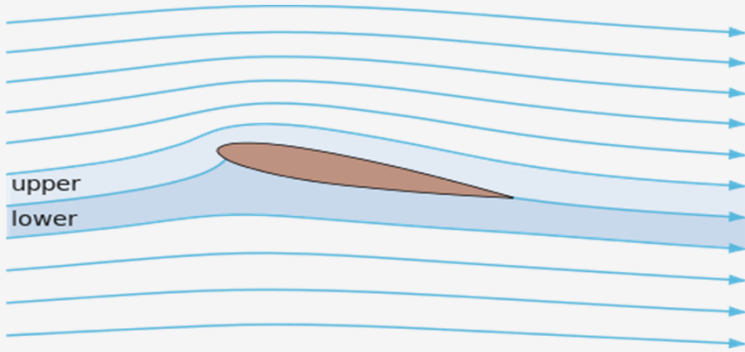


- Tipik bir kanat profilinin şekli asimetriktir - yüzey alanı üstte alta göre daha büyüktür.
- Hava kanadın üzerinden akarken, alt yüzeyden çok üst yüzeyde yer değiştirir. Süreklilik yasasına göre, bu yer değiştirme veya akış alanı kaybı, hızda bir artışa yol açmalıdır.
- Bernoulli denklemi, hızdaki bir artışın basınçta bir düşüşe yol açtığını belirtir. Böylece akışın hızı ne kadar yüksekse, basınç o kadar düşük olur. Bir kanadın üzerinden akan hava basıncı artan hızdan dolayı düşecektir. Üst yüzey üzerindeki basınç kaybı, alt yüzeyinkinden daha büyüktür. Sonuç, aşağıdan yukarıya doğru uygulanan net bir basınç kuvvetidir. Bu basınç kuvveti kanadı/uçağı kaldıran ana etkidir.

Kaldırma Kuvveti

Kanat profilinin önceden belirlenmiş bir şekli yoktur, kullanılacağı uçağın işlevine göre tasarlanmıştır. Tasarım sürecine yardımcı olmak için mühendisler, belirli bir kanat şeklinden elde edilen kaldırma miktarını ölçmek için kaldırma katsayısını kullanır. Kaldırma, dinamik basınç ve kanat alanı ile orantılıdır.

$$\text{Kaldırma kuvveti} = C_L \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \right) \cdot S$$



Yukarıda yandan görünen bir kanadın etrafındaki akış çizgileri ve çizgiler arasındaki hayali akış tüpleri. Yukarıdaki daha dar akış tüplerine ve aşağıdaki daha geniş akış tüplerine dikkat edin. Süreklilik denklemi (Termo Yasa 1) uyarınca dar kanallarda akış hızı daha yüksek olmak zorundadır.



Low-speed ULM (1 m)



Airliner (8 m)



Propeller blade (15 cm)



Supersonic interceptor (2 m)



Blackbird (6 cm)



Turbofan fan blade (80 cm)



Dragonfly wing (12 mm)



Turbine blade (8 cm)



Dolphin flipper fin (10 cm)



Sailboat (3 m)

Bernoulli Eşitliği (Dinamik basınç, statik basınç)

Bernoulli eşitliğinin değişik durumları temsil eden farklı formları bulunmakla birlikte yaygın olarak kullanılan – sürtünme kayıplarını dikkate almayan- ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g} + z_a = \frac{p_b}{\gamma} + \frac{v_b^2}{2g} + z_b$$

Hız / Dinamik basınç yükü

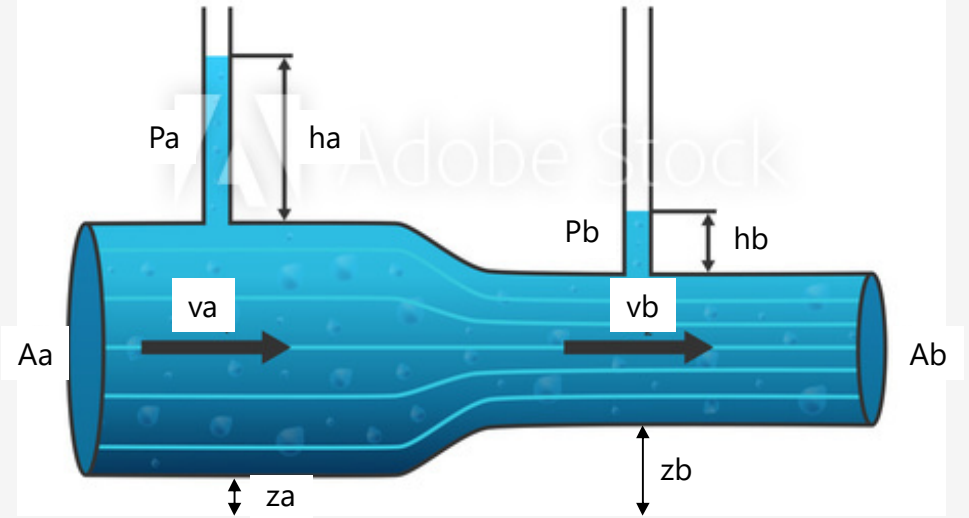
Statik Basınç yükü

burada:

a ve b= Yukarıdaki şekilde belirtilen a ve b noktalarını,

- p = akışkanın basıncını,
- γ = akışkanın özgül ağırlığını ($\gamma = \rho \cdot g$; ρ = yoğunluğunu, g = kütle/yer çekim ivmesini),
- v = akışkanın hızını,
- z = kütle çekim alanındaki bir referans yüzeyinden yüksekliği göstermektedir.

Eşitlikteki P/γ basınç yükünü (potansiyel enerji), $v^2/2g$ hız yükünü (kinetik enerji) göstermektedir.



Toplam enerji yükü, H

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{v^2}{2g},$$

Bernoulli Eşitliği (Dinamik basınç, statik basınç)

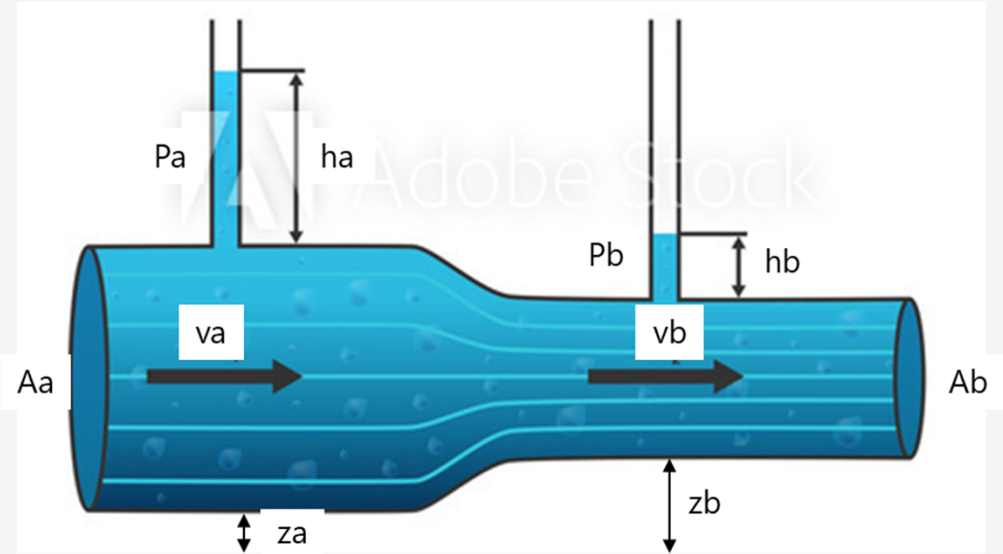
Toplam enerji yükü (ya da toplam yük = H) aşağıdaki eşitlikle tanımlanır. Eşitlik Statik Yük (basınç) ve Dinamik Yük (basınç) bileşenlerinden oluşur. Dinamik Yük (basınç) akış hızından kaynaklanan basınçtır. Akış durduğunda ($v = 0$) sıfır değerini alır.

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{v^2}{2g}$$

Statik basınç

Dinamik basınç

Dinamik basınç akışkanın hızından kaynaklanırken (kinetik enerji), piyezometrik yük ya da hidrolik yük (= kot yükü ve basınç yükü toplamı) olarak da adlandırılan statik basınç akışkanın kütlesine uygulanan kütle çekim kuvvetinden (potansiyel enerji) kaynaklanmaktadır.



Darcy yasasının geçerli olduğu akış hızının düşük olduğu hidrojeolojik sistemlerde Dinamik basınç hemen her zaman sıfır varsayılır.

Tipik yeraltısuyu akım hızları için Dinamik Basınç değerleri:
 $v = 0.1 \text{ m/s}$ için ($0.1^2/2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 = 0.005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$)
 $v = 1.0 \text{ m/s}$ için ($1.0^2/2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 = 0.05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$)

Neler öğrendik?



Bernoulli eşitliğini yazınız, bileşenlerinin tanımlayınız.

Bir akışkanın hızı ve static basıncı arasındaki ilişkiyi termodinamik açıdan tanımlayınız.

Uçaklar nasıl uçar, açıklayınız, termodinamik ilkeleri ile ilişkilendiriniz.

Toplam enerji yükü, hız yükü, basınç yükü, dinamik basınç yükü, statik basınç yükü kavramlarını tanımlayınız, aralarındaki ilişkileri açıklayınız.

Hidrojeolojik sistemlerde basınç yükü ve hız yükü neyi ifade etmektedir.

Reynolds sayısı nedir?

Darcy Yasası hangi koşullarda geçerlidir?

Darcy Yasasının etkili olduğu ortamlarda hangi yükler önemlidir, hangi yükler önemsizdir, neden?

