Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları
3. Baskı
Yunus A. Cengel, John M. Cimbala
McGraw-Hill, 2014

Bölüm 1
GİRİŞ VE TEMEL KAVRAMLAR

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Öğrenim Amaçları

- Akışkanlar mekaniğinin temel kavramlarını öğrenmek
- Uygulamada karşılaşılan farklı akış problemlerini ayırt edebilmek
- Mühendislik problemlerini modellemek ve sistematik bir yaklaşımla çözmek
- Doğruluk, kesinlik ve anlamlı basamak kavramları hakkında bilgi sahibi olmak ve mühendislik hesaplarında boyut uyumunun önemimi kavramak

1–1 ■ GİRİŞ

•**Mekanik:** fizik biliminin kuvvetlerin etkisindeki durgun ve hareketli cisimler ile ilgilenen en eski dalıdır.

•**Statik:** Mekaniğin hareketsiz cisimler ile ilgili dalı.

Dinamik: Mekaniğin hareketli cisimler ile ilgili dalı.

•**Akışkanlar Mekaniği:** Akışkanların, durgun (*akışkan statiği*) ve hareket halindeki (*akışkan dinamiği*) davranışları ve yine akışkanların diğer akışkanlar ve katılar ile oluşturdukları sınırlardaki etkileşimleri ile ilgilenen bilim dalıdır.

•**Akışkanlar Dinamiği:** Akışkanlar mekaniği, akışkanın durgun hali hareket hızının sıfır olduğu özel bir durum olarak değerlendirilip **akışkanlar dinamiği** olarak da adlandırılır.

Akışkanlar mekaniği hareketli ya da durgun haldeki sıvılar ve gazlar ile ilgilenir.

•**Hidrodinamik:** Sıkıştırılamaz kabul edilen akışkanların (sıvılar, su ve düşük hızlarla hareket eden gazlar) hareketi ile ilgilenir.

Hidrolik: Sıvıların boru ve açık kanallardaki akışıyla ilgilenir.

•**Gaz Dinamiği:** Gazların lülelerde yüksek hızlarda akmasında olduğu gibi akış esnasında akışkan yoğunluğunun önemli oranda değiştiği akışları konu alır.

•**Aerodinamik:** Gazların (özellikle havanın) uçaklar, roketler ve otomobiller gibi cisimlerin etrafındaki yüksek ve düşük hızlı akışı ile ilgilenir.

Meteoroloji, oşinografi ve hidroloji: Doğal olarak gelişen akışları konu alır.

Akışkan Nedir?

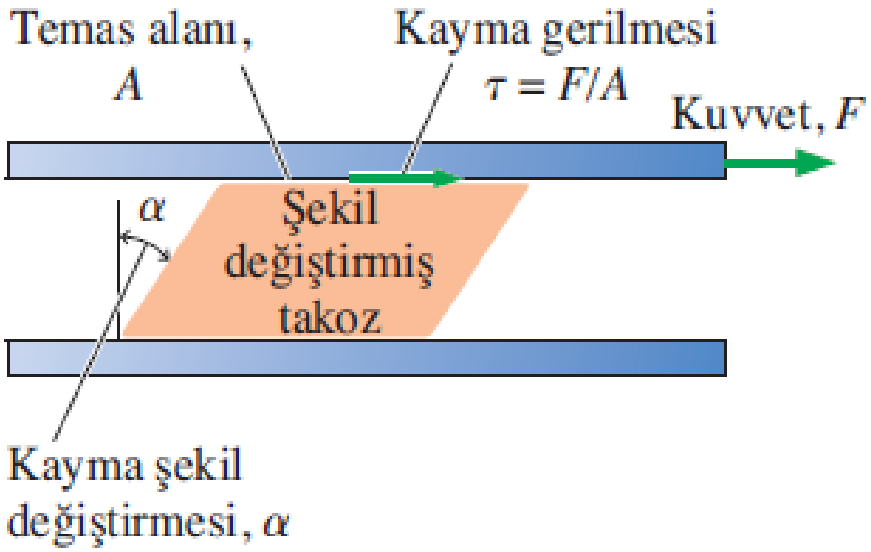
Akışkan: Sıvı ve gaz halindeki maddeler.

Katı maddeler uygulanan kayma gerilmesine şekil değiştirerek direnebilir.

Buna karşın *uygulanan kayma gerilmesi ne kadar küçük olursa olsun akışkanlar* sürekli olarak şekil değiştirir

Katılarda gerilme; *şekil değiştirme*, sıvılarda ise *şekil değiştirme hızı* orantılıdır.

Sabit bir kayma kuvveti etkisinde katıdaki şekil değiştirme belirli bir şekil değiştirme açısında son bulurken, bir akışkandaki şekil değiştirme hiçbir zaman durmaz ve belirli bir şekil değiştirme *hızı*na yaklaşır.



İki paralel levha arasına yerleştirilen lastik takozun kayma kuvveti etkisi ile şekil değiştirmesi. Şekilde lastik takoz üzerindeki kayma gerilmesi gösterilmiştir. Buna eşit ancak zıt yönde bir kayma gerilmesi ise üstteki levhanın alt yüzeyine etkimektedir.

Gerilme: Birim alana gelen kuvvet.

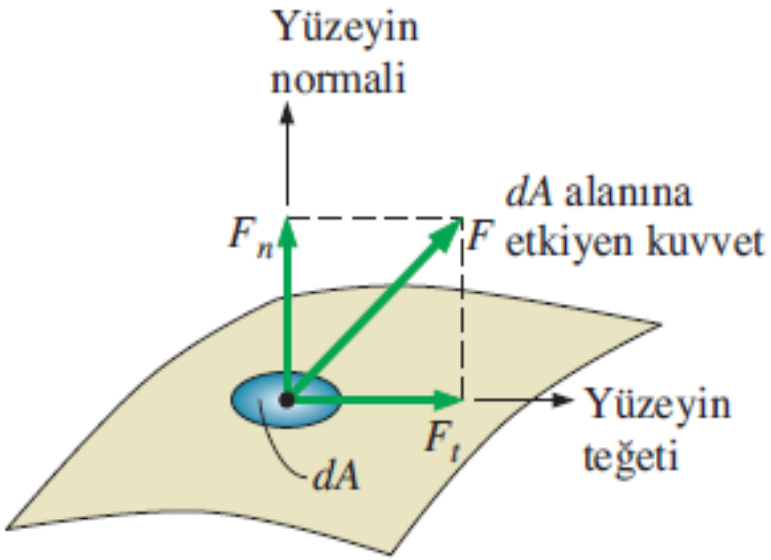
Normal gerilme: Bu kuvvetin dik bileşenine denir.

Kayma gerilmesi: Bu kuvvetin teğetsel bileşenine denir.

Basınç: Durgun bir akışkandaki normal gerilme.

Sıfır kayma gerilmesi: Durgun haldeki bir akışkanda kayma gerilmesi gelişmez.

Kabın çeperleri ortadan kalktığında, ya da kap eğildiğinde, sıvı yatay bir serbest yüzey oluşturmak üzere harekete geçer ve bu esnada kayma gerilmesi meydana gelir.



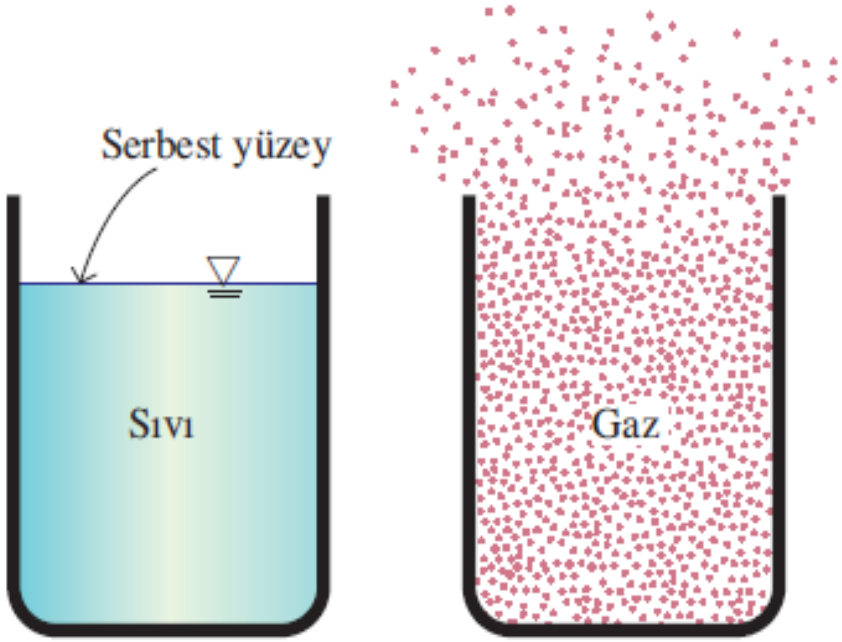
$$Normal\ gerilme: \sigma = \frac{F_n}{dA}$$

$$Kayma\ gerilmesi: \tau = \frac{F_t}{dA}$$

Bir akışkan elemanının yüzeyindeki normal gerilme ve kayma gerilmesi. Durgun akışkanlarda kayma gerilmesi sıfırdır ve basınç sadece normal gerilmeden ibarettir.

Bir **sıvıda**, molekül grupları bağıl hareket yapabilir, ancak moleküller arasındaki güçlü çekim kuvvetleri hacim sabit kalır. Sonuç olarak bir sıvı içerisinde bulunduğu kabın şeklini alır ve geniş bir kabın içerisinde yerçekiminin etkisiyle serbest yüzey oluşturur.

Bir **gaz** ise kabın çeperlerine kadar genişler ve sonunda tüm kabı doldurur . Bunun nedeni gaz molekülleri arasındaki mesafelerin fazla olması ve bu yüzden aralarındaki çekim kuvvetinin çok zayıf olmasıdır. Sıvıların aksine üzeri açık bir kaba konulan gazlar serbest yüzey oluşturamaz.



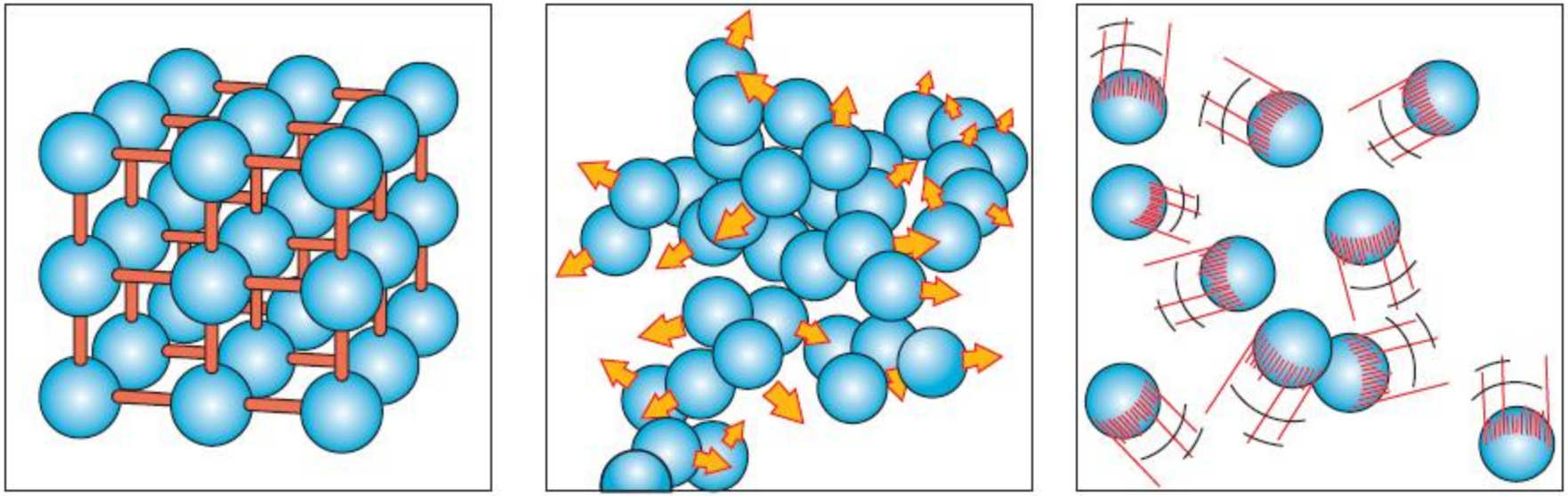
Sıvıların aksine gazlar serbest yüzey oluşturmaz ve genişleyerek mevcut hacmin tamamını doldurur..

Moleküller arası çekim kuvveti katılarda en fazla, gazlarda ise en zayıtır.

Katı: Katılarda moleküller yapı boyunca tekrarlayan bir düzende dizilir.

Sıvılarda: moleküllerin birbirlerine göre konumları sabit olarak kalmaz ve bunlar serbestçe dönüp yer değiştirebilir.

Gaz: moleküller birbirlerinden oldukça uzaktadır ve moleküller arasında bir düzenden söz edilemez



(*a*) (*b*) (*c*)

Maddenin farklı fazlarındaki atom düzenleri: (*a*) katılarda moleküllerin konumları sabit, (*b*) sıvılarda molekül grupları halinde, (*c*) gazlarda ise moleküller gelişigüzel hareket eder.

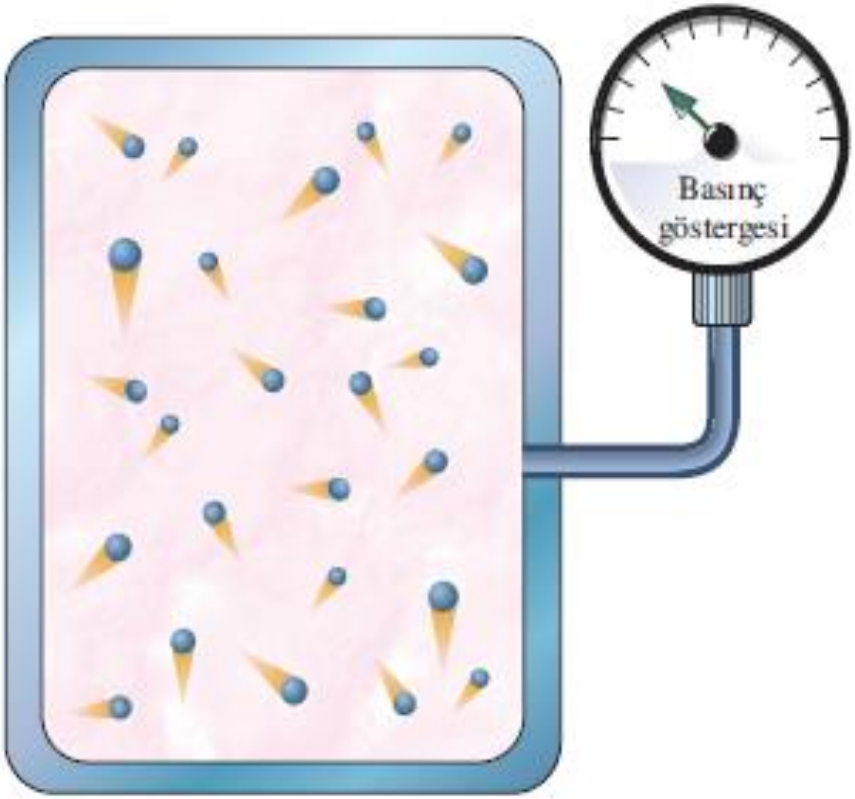
Gaz ve *buhar* sözcükleri çoğunlukla birbirleri yerine kullanılır.

Gaz: Bir maddenin buhar fazı, genellikle kritik bir sıcaklığın üzerinde ise *gaz* olarak adlandırılır.

Buhar: Bu terim genellikle yoğuşma koşullarına çok yakın bir gaz halini ifade eder.

- **Makroskobik vey *klasik* yaklaşım:** Her bir molekülün davranışının bilinmesine ihtiyaç yoktur ve bu yaklaşım mühendislik problemlerinin doğrudan ve kolaylıkla çözülebilmesine olanak sağlar.
- **Mikroskobik veya *istatistiksel* yaklaşım:** Moleküllerin bir araya gelerek oluşturdukları büyük molekül gruplarının davranışını esas alır.

Mikroskobik bir ölçekte bir gazın basıncı gaz moleküllerinin etkileşimine dayalı olarak belirlenirken, makroskobik ölçekte bir manometre ile ölçülebilir.



Akışkanlar Mekaniğinin Uygulama Alanları

Yapay kalplerin tasarımında geniş ölçüde akışkanlar mekaniğinden yararlanılır. Yukarıda bu tür bir cihaz olan Penn State Electric Total Artificial Heart'a ait bir fotoğraf verilmiştir.

Doğal akışlar ve meterolojik olaylar

İnsan vücudu

Botlar

Uçaklar ve uzay araçları

Rüzgar türbinleri

Boru tesisatları

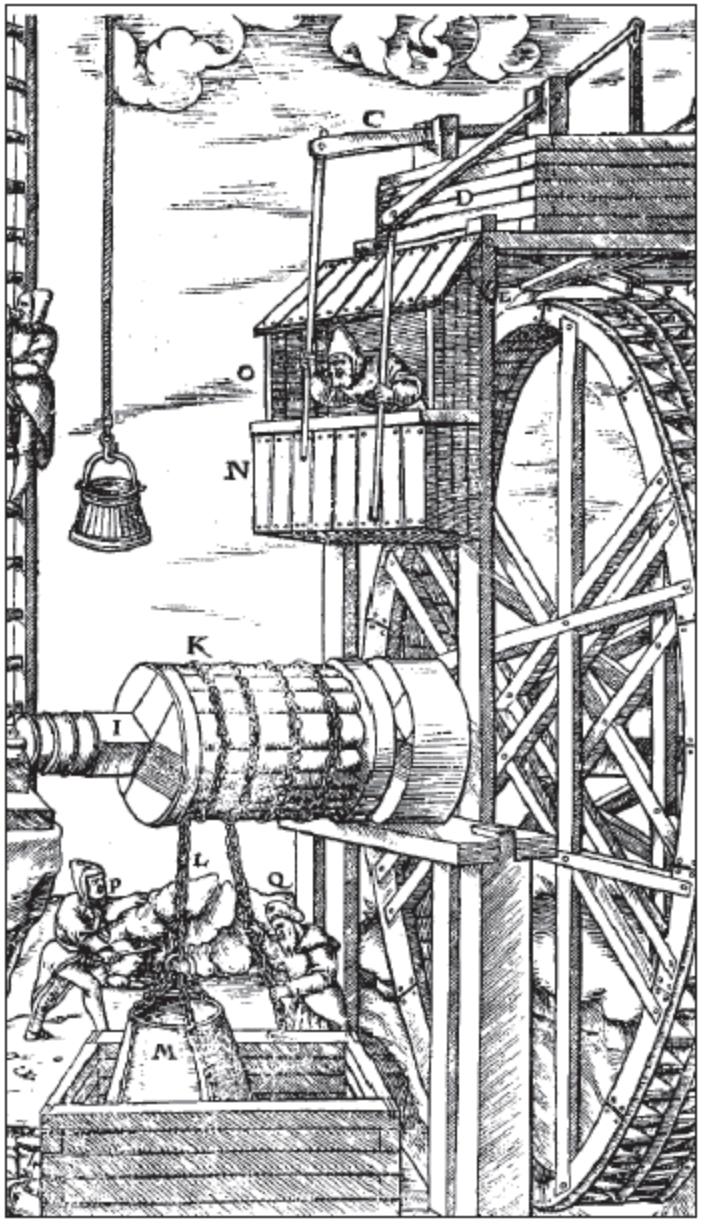
Arabalar

Endüstriyel uygulamalar

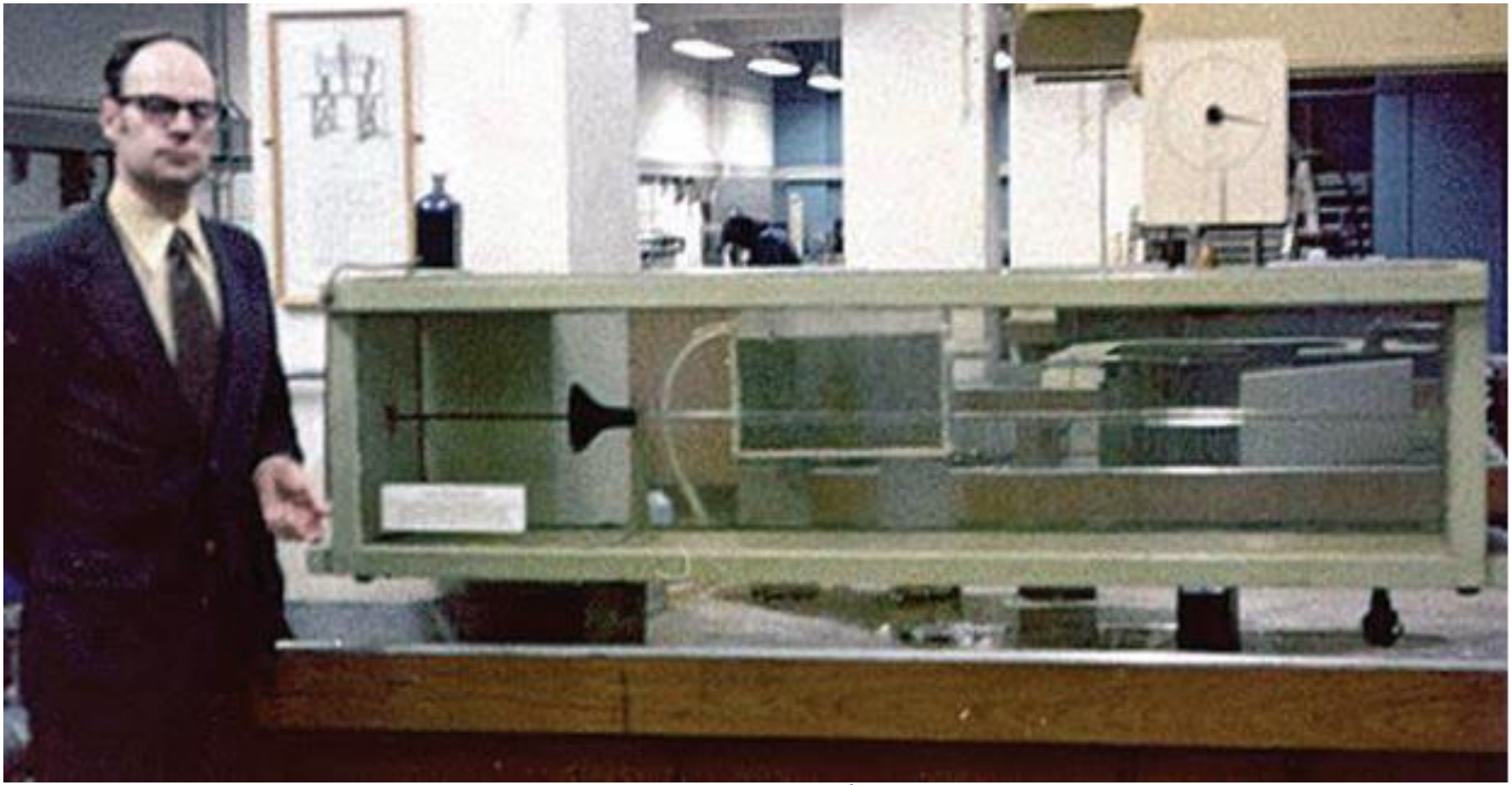
Elektrik santralleri

1–2 ■ KISA BİR TARİHÇE

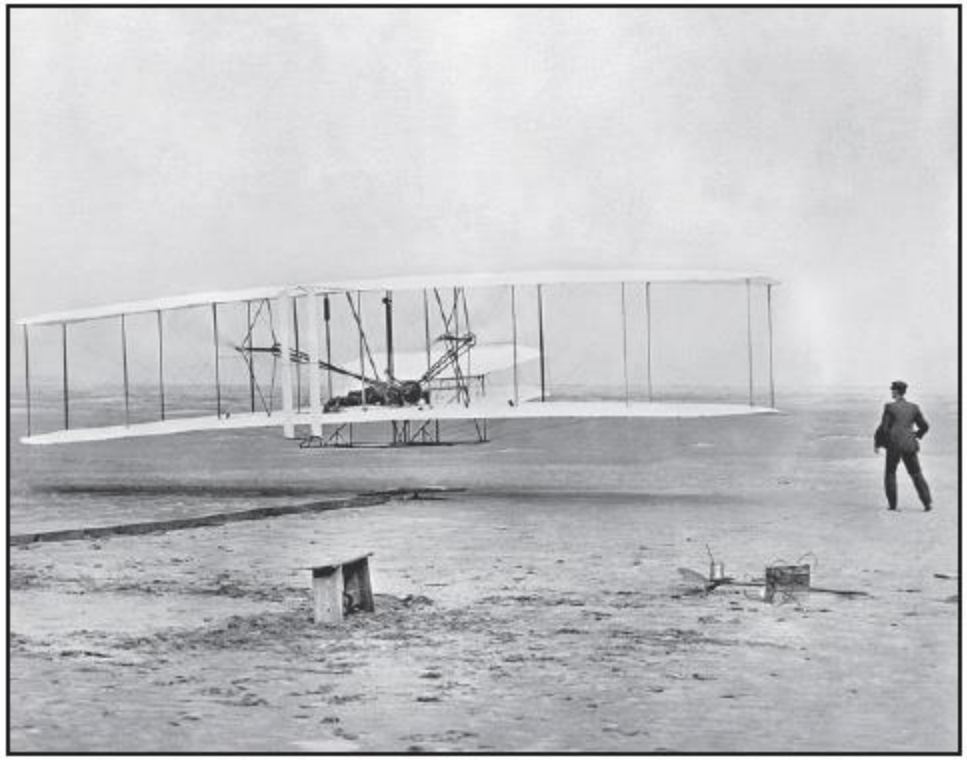
Bergama (İzmir)'da Romalılardan kalma boru hatları (M.Ö. 283-133), çap=13-18 cm



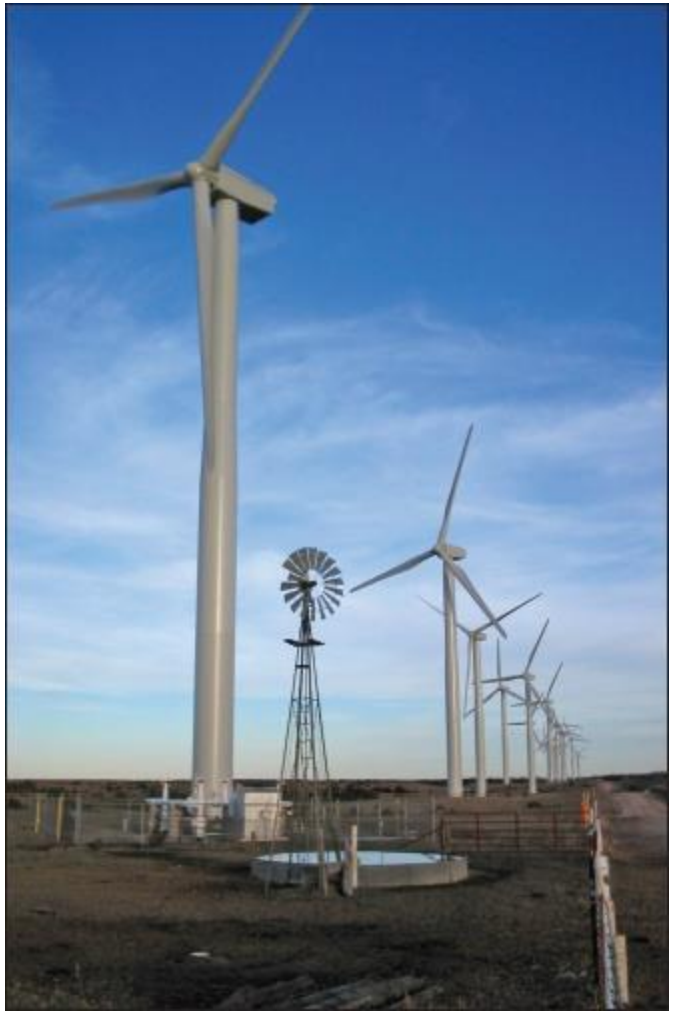
Su çarkı ile tahrik edilen bir maden asansörü.



Osborne Reynols'un borularda türbülansın başlamasını gösterdiği orijinal deney düzeneği ve bu düzeneği Manchester Üniversitesi'nde 1975 yılında kullanan John Lienhard.

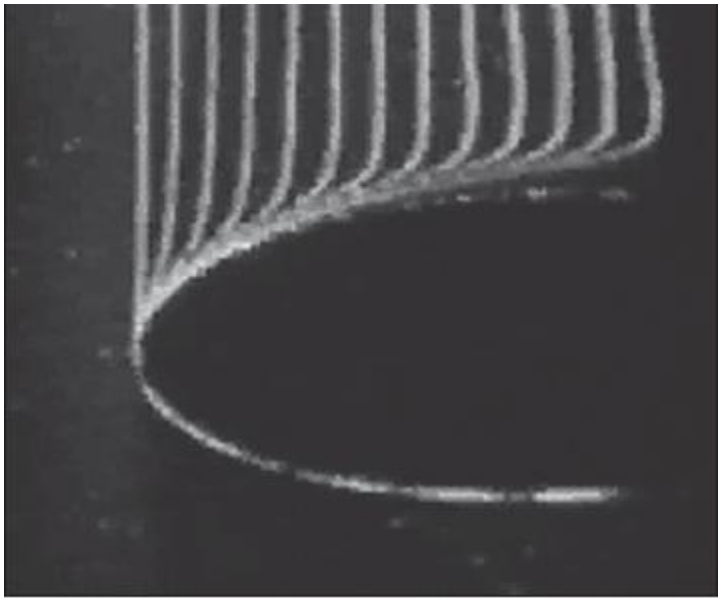


Wright kardeşler Kity Hawk’ta uçmaya hazırlanırken.

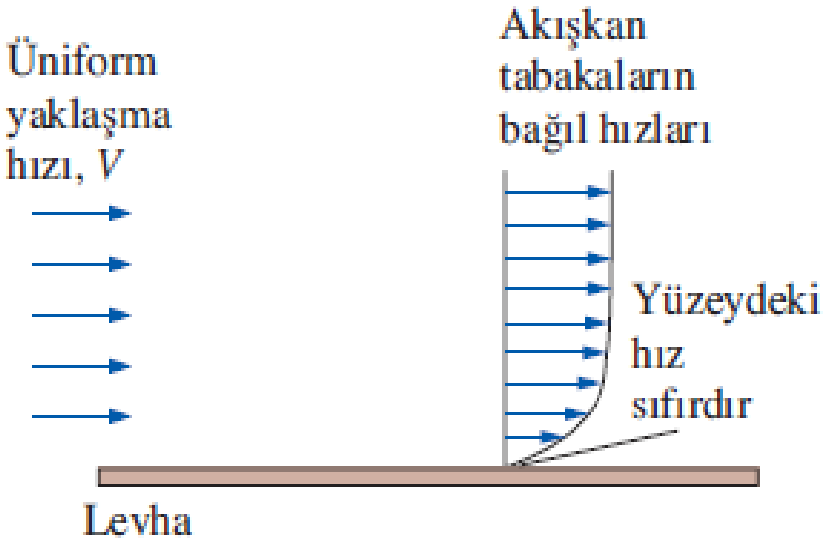


Oklohama’daki Woodward’ın kuzeyinde yer alan eski ve yeni teknoloji ürünü rüzgar türbinleri. Buradaki modern türbinlerin kurulu gücü 1.6 MW’tır..

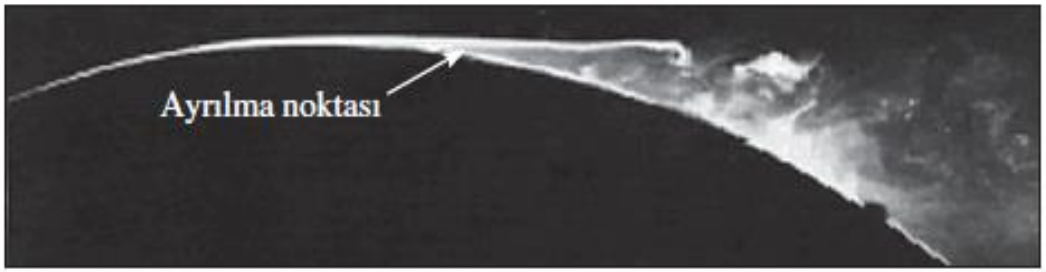
1–3 ■ KAYMAZLIK ŞARTI



Küt burunlu cisim üzerindeki akışta kaymazlık şartı nedeniyle bir hız profilinin meydana gelişi.



Sabit bir yüzey üzerinden akan bir akışkan kaymazlık şartından dolayı yüzey üzerinde tamamen durur..



ŞEKİL 1–16
Eğri bir yüzey üzerindeki akışın ayrılması.

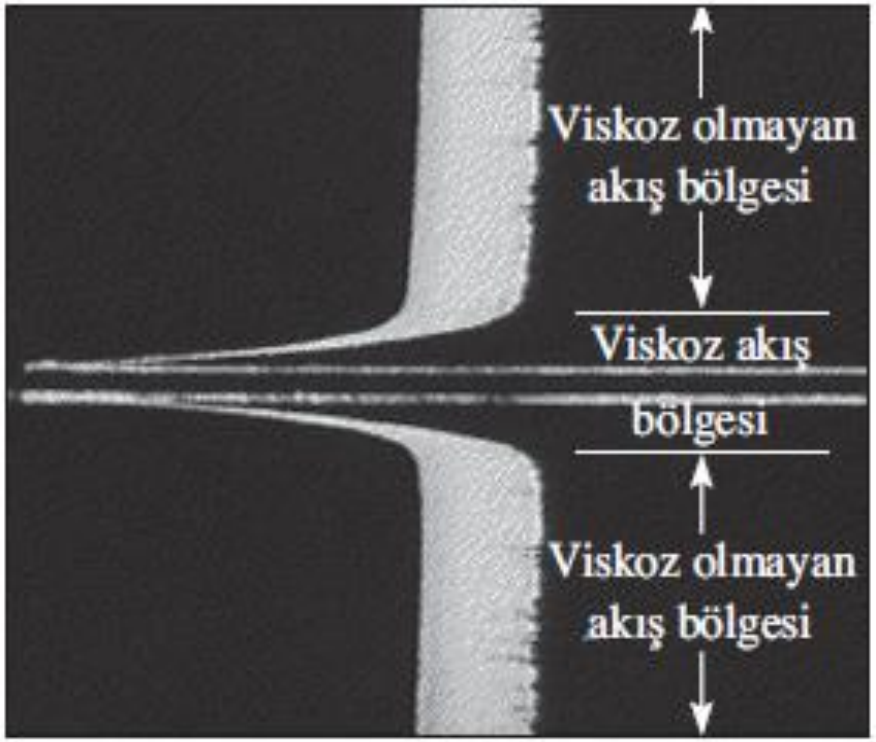
Sınır Tabaka: Viskoz etkilerin (ve dolaylı olarak hız profilinin) önemli olduğu yüzeye yakın akış bölgesine sınır tabaka adı verilir

1–4 ■ AKIŞLARIN SINIFLANDIRILMASI

Viskoz ve Viskoz Olmayan Akış Bölgeleri

Viskoz akış: Sürtünme etkilerinin önemli olduğu akışlardır.

Viskoz olmayan akış bölgeleri: Viskoz kuvvetlerin atalet ve basınç kuvvetlerinin yanında ihmal edilebilecek kadar küçük kaldığı bölgelerdir (tipik olarak katı yüzeylerden uzak bölgeler)

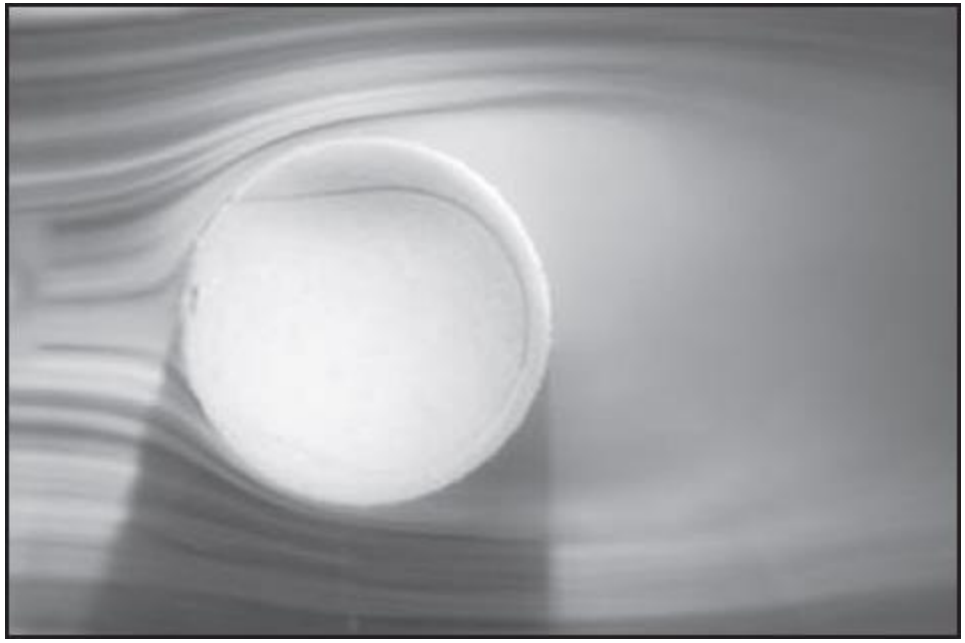


Başlangıçta üniform bir hıza sahip bir akışkanın düz bir levha üzerinden geçerken oluşturduğu viskoz akış bölgeleri.

İç ve Dış Akışlar

Dış akış: Akışkanın bir levha, tel ya da boru gibi bir yüzeyin üzerinden herhangi bir sınır olmaksızın akmasıdır.

İç akış: Akışkanın katı yüzeyler ile tamamen sınırlanmış bir biçimde, örneğin bir boru ya da kanal içerisinden akmasıdır.



Bir tenis topu etrafındaki dış akış ve arka tarafta oluşan türbülanslı art izi bölgesi.

- Suyun bir borudan akması iç akış, havanın bir topun etrafından akması bir dış akıştır.
- Kanalın sadece bir kısmını dolduran serbest yüzeyli sıvı akışları *açık-kanal akışı* olarak adlandırılır.

Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar

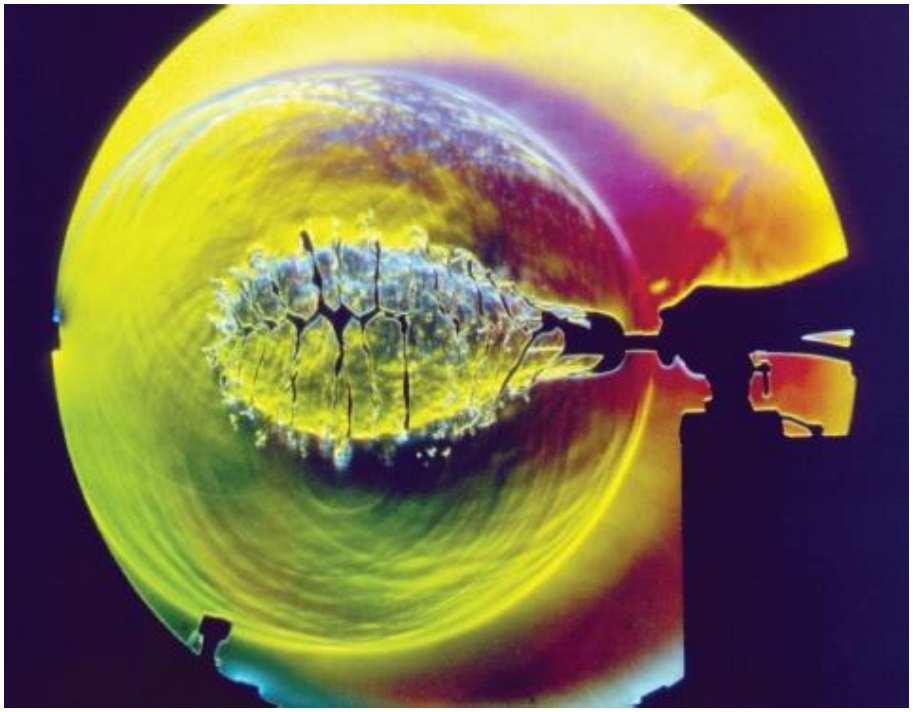
Sıkıştırılamaz akış: Akış esnasında tüm akış alanında yoğunluk yaklaşık olarak sabit kalır (sıvı akışlarında olduğu gibi)

Sıkıştırılabilir akış: Akış esnasında akışkanın yoğunluğu değişir (örn. yüksek hızlı gaz akışı)

Yüksek hızlı gaz akışlarının görüldüğü roketler, hava taşıtları ve diğer sistemlerde yapılan incelemelerde) akış hızı genellikle aşağıda tanımlanan boyutsuz **Mach sayısı** ile ifade edilir:

$$\mathrm{Ma} = \frac{V}{c} = \frac{\text{Akış hızı}}{\text{Ses hızı}}$$

Ma = 1	**Sonik akış**
Ma < 1	**Sesaltı akış**
Ma > 1	**Sesüstü akış**
Ma >> 1	**Hipersonik akış**



Penn State Gaz Dinamiği Laboratuvarında bir balonun patlatılmasıyla oluşan küresel şok dalgasının Schlieren görüntüsü..

Balon etrafındaki havada oluşan ikincil şok dalgaları net olarak görülmektedir.

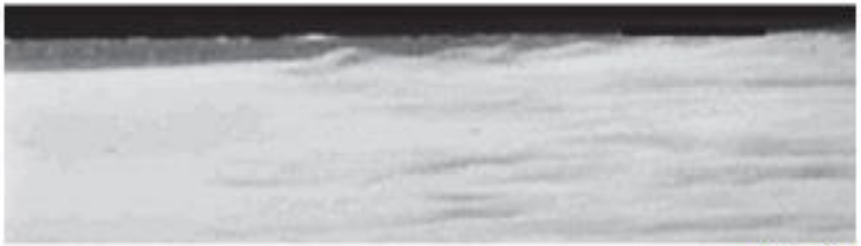
Laminer ve Türbülanslı Akışlar

Laminer akış: Akışkanın son derece düzenli tabakalar halinde aktığı hareket durumunu ifade eder. Yüksek viskoziteye sahip akışkanların düşük hızlı akışları genelde böyledir.

Türbülanslı akış: Çoğunlukla yüksek hızlarda görülen düzensiz akışkan hareketi, akışkan hızındaki dalgalanmalardan anlaşılır ve türbülanslı olarak nitelendirilir. Hava gibi düşük viskoziteli akışkanların yüksek hızlı akışı böyledir.

Geçiş akışı: Laminer ve türbülanslı akış rejimleri arasında gidip gelen akış türüdür.

Laminer



Geçiş

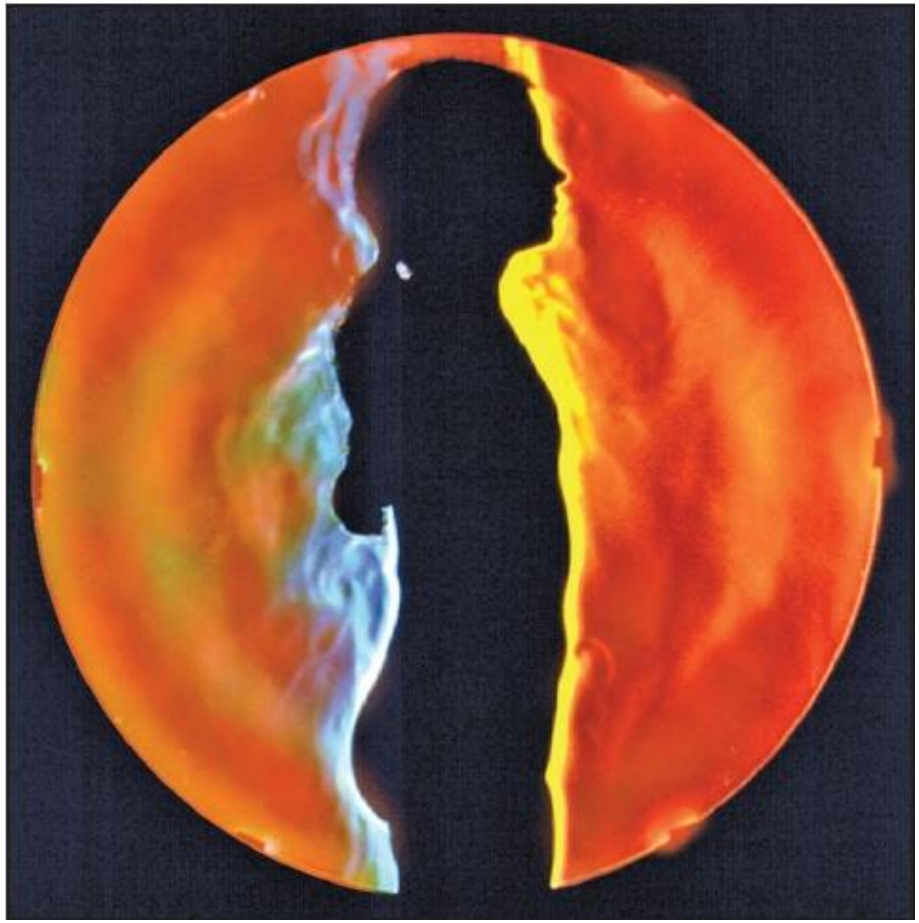
Türbülanslı

Düz bir levha üzerinde gerçekleşen laminer, geçiş ve türbülanslı akışlar.

Doğal ve Zorlanmış Akışlar

Zorlanmış akış: Akışkan pompa ya da fan gibi dış etkenler ile bir borunun içinden veya bir yüzeyin üzerinden akmaya zorlanır..

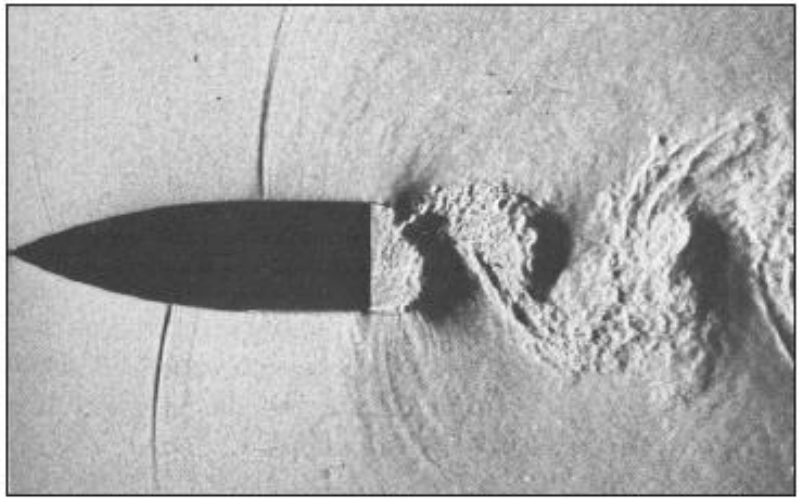
Doğal akış: Akışkan hareketi, sıcak (yani az yoğun) akışkanın yükselmesi ve soğuk (yani daha yoğun) akışkanın alçalması ile kendiliğinden oluşan kaldırma etkisi gibi doğal etkenler ile gerçekleşir.



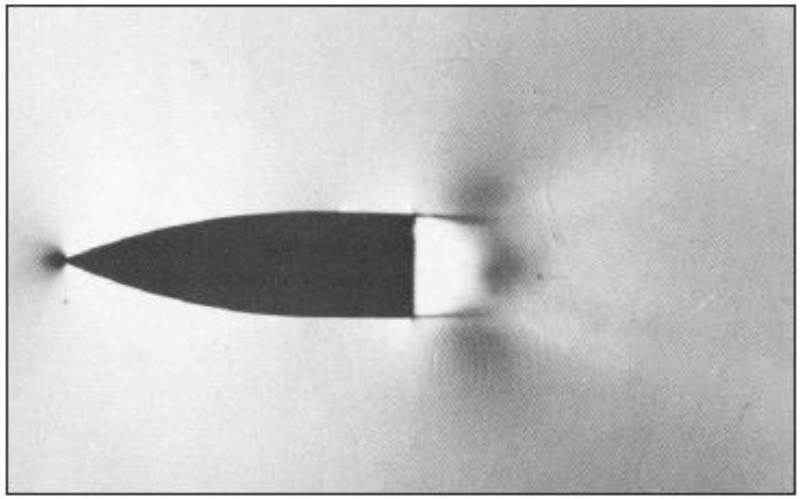
Mayolu bir çocuğun vücudu yakınlarındaki düşük yoğunluklu sıcak havanın yükselişini gösteren bu Schlieren görüntüsü, insanların ve sıcak-kanlı hayvanların yük-selen ılık bir hava tabakası ile çevrili olduğunu göstermektedir..

Daimi ve Daimi Olmayan Akışlar

- **Daimi** terimi, belirli bir noktada zaman içerisinde akışkan özelliklerinde, hızında, sıcaklığında vb. hiçbir değişim olmadığını ifade eder. .
- Bunun tersi **daimi olmayan**dır.
- **Üniform** terimi belirli bir bölgede konuma bağlı değişimin olmadığını ifade eder.
- **Periyodik** terimi ise akışın düzenli bir şekilde salınım yaptığı daimi olmayan akış için kullanılır.
- Türbinler, kompresörler, kazanlar, yoğuşturucular ve ısı değiştiricileri gibi birçok sistem uzun bir süre aynı koşullarda çalışır ve **daimi-akışlı makina**lar olarak sınıflandırılır.



(a)



(b)

Küt-tabanlı profilin 0.6 Mach sayısındaki salınımlı art izi. (a) Anlık bir görüntü, (b) Uzun pozlama tekniği ile (zaman-ortalamalı) elde edilen bir görüntü..

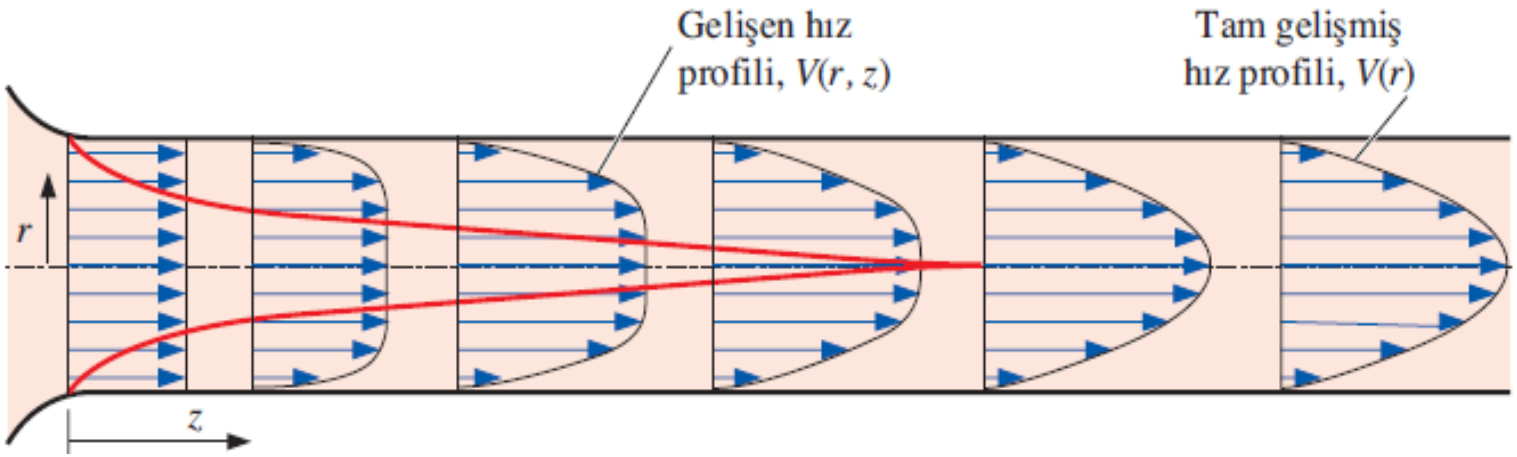
(a) (b)

Daimi olmayan bir akışın (a) anlık ve (b) uzun pozlama ile alınan görüntüleri.

Bir-, İki-, ve Üç-Boyutlu Akışlar

- Bir akış alanı en iyi şekilde hız dağılımı ile tanımlanır.
- Buna göre eğer akış hızı, temel boyutlardan sadece birine, her ikisine ya da her üçüne göre değişiyorsa, akışın sırasıyla bir-, iki-, ya da üç-boyutlu olduğu söylenir.
- Bununla beraber hızın belirli yönlerdeki değişimi diğer yönlerdeki değişimlere göre daha küçük olabilir ve bunlar önemsiz bir hata ile ihmal edilebilir..

Bir otomobil anteni etrafındaki akış, antenin üst ve alt uçları dışında iki-boyutlu kabul edilebilir.



Dairesel kesitli boruda hız profilinin gelişimi. Borunun giriş bölgesinde akış iki-boyutludur ve bu yüzden V = V(r, z) olur. Öte yandan hız profili tamamen gelişip akış yönünde değişmez duruma geldiğinde V = V(r) olur ve akış bir-boyutlu hale gelir.

ÖRNEK 1–1 Bir Merminin Etrafındaki Eksenel Simetrik Akış

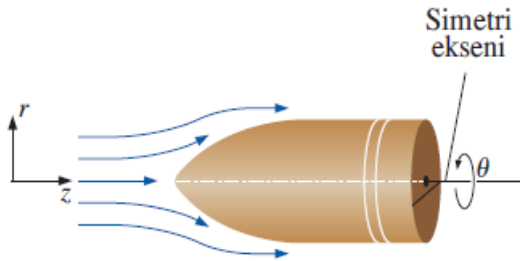
Durgun hava içerisinde hızla ilerleyen bir mermiyi göz önüne alınız. Merminin etrafındaki zaman-ortalamalı hava akışının bir-, iki- ya da üç-boyutlu mu olduğunu belirleyiniz. (Şekil 1–26).

ÇÖZÜM Mermi etrafındaki hava akışının bir-, iki- ya da üç-boyutlu mu olduğu belirlenecektir.

Kabuller Önemli bir rüzgar hareketi yoktur ve mermi kendi ekseni etrafında dönmemektedir.

Analiz Merminin bir simetri ekseni vardır ve bu nedenle eksenel simetrik bir cisimdir. Mermiden önceki hava akışı mermi eksenine paraleldir ve zaman-ortalamalı hava akışının bu eksene göre dönel simetrik olması beklenir. Bu tür akışlar eksenel simetrik olarak nitelendirilir. Bu durumda hız eksenel yönde z ile ve radyal yönde r ile değişir, ancak θ açısı ile değişmez. Bu nedenle mermi etrafındaki zaman-ortalamalı hava akışı **iki-boyutlu**dur.

İrdeleme Zaman-ortalamalı hava akışı eksenel simetrik olmakla birlikte, *anlık* hava akışı Şekil 1–23'te gösterildiği gibi böyle değildir. Kartezyen koordinat sisteminde bu akış üç-boyutludur. Son olarak çoğu merminin dönerek hareket ettiğini de vurgulamak gerekir.



1–5 ■ SİSTEM VE KONTROL HACMİ

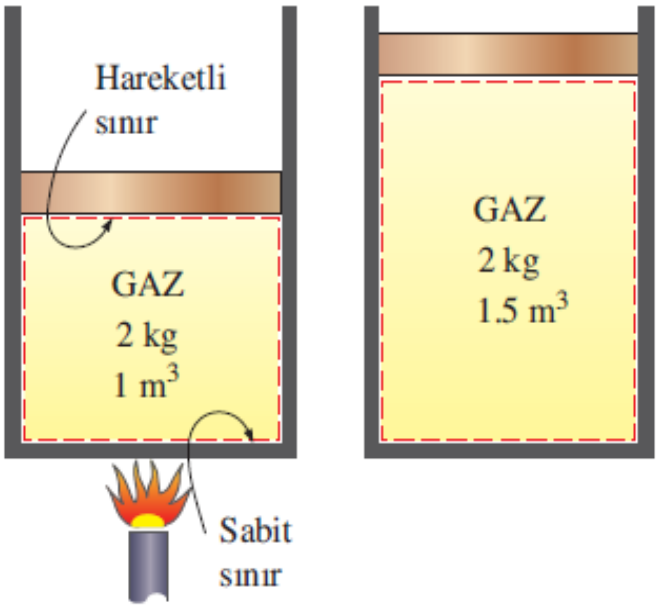
Sistem: Üzerinde inceleme yapmak üzere seçilen bir miktar madde ya da uzaydaki bir bölge.

Çevre: Sistem dışında kalan bölge veya kütle

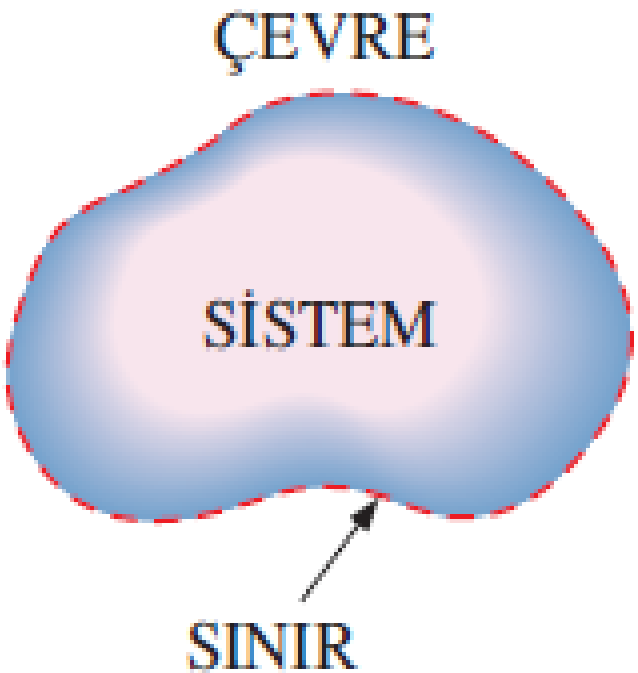
Sınır: Sistemi çevresinden ayıran gerçek ya da hayali yüzey.

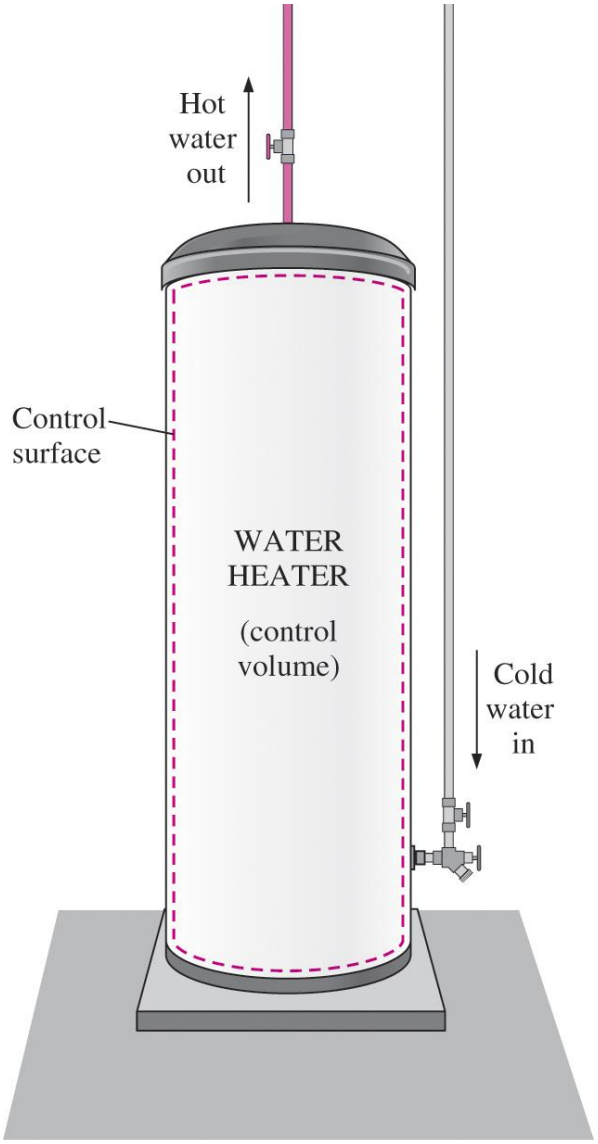
Sistemin sınırı *sabit* veya *hareketli*. olabilir.

Sistemler *kapalı* veya *açık* olabilir.



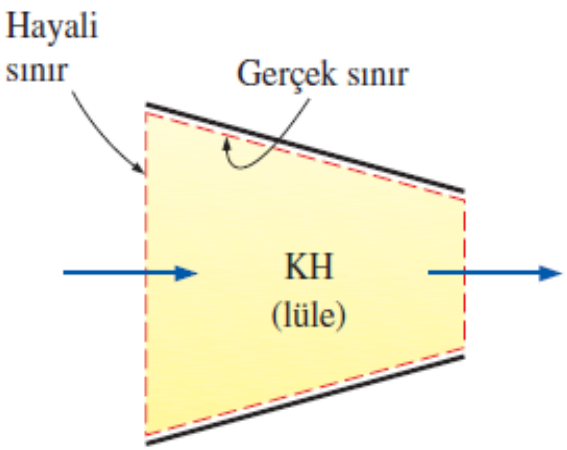
- **Kapalı Sistem (Kontrol Kütlesi):** Sistemin kütlesi sabit, sınırdan kütle geçemez.



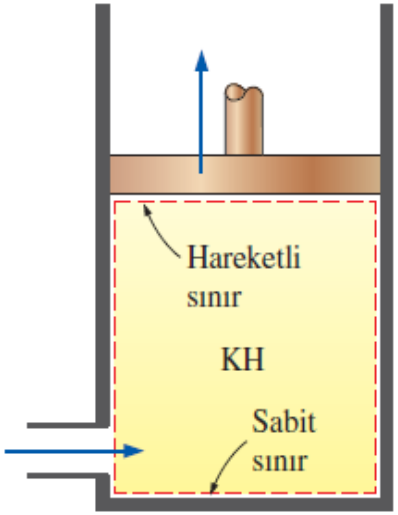


Tek giriş ve tek çıkışlı bir kontrol hacmi.

- **Açık sistem (kontrol hacmi):** Uzayda uygun bir biçimde seçilmiş bir bölgedir.
- Kontrol hacmi genellikle kütle akışının olduğu kompresör, türbin ya da lüle gibi bir düzeneği çevreler.
- Hem kütle hem de enerji kontrol hacminin sınırından (yani kontrol yüzeyinden) geçebilir.
- **Kontrol yüzeyi:** Kontrol hacminin sınırlarıdır. Gerçek veya hayali olabilir.



(*a*) Gerçek ve hayali sınırlara sahip bir kontrol hacmi (KH)



(*b*) Gerçek ve hayali sınırların yanı sıra sabit ve hareketli sınırlara da sahip bir kontrol hacmi (KH)

1–6 ■ BİRİM VE BOYUTLAR

- Herhangi bir fiziksel büyüklük **boyutları** ile ayırt edilebilir.
- Boyutlara verilen büyüklüklere **birim** denir.
- Kütle *m*, uzunluk *L*, zaman *t* ve sıcaklık *T* gibi bazı basit boyutlar **birincil** ya da **temel boyutlar** olarak seçilir. Hız *V*, enerji *E* ve hacim *V* gibi diğer büyüklükler bu ana boyutlar cinsinden ifade edilir ve **ikincil boyutlar** ya da **türetilmiş boyutlar** olarak adlandırılır.
- **Metrik (SI) sistem**: Çeşitli birimler arasındaki bir ondalık ilişkiye dayanan basit sistem.
- **İngiliz birim sistemi**: Buna karşın İngiliz sisteminin belirli sistematik sayısal bir temeli yoktur. Tam tersine bu sistemdeki çeşitli birimler arasında karmaşık ve öğrenmeyi zorlaştıran tamamen keyfi bir ilişki vardır.

TABLO 1–1

Yedi temel (ya da birincil) boyut ve bunların SI sistemindeki birimleri

Boyut	Birim
Uzunluk	metre (m)
Kütle	kilogram (kg)
Zaman	saniye (s)
Sıcaklık	kelvin (K)
Elektrik akımı	amper (A)
Işık miktarı	candela (cd)
Madde miktarı	mol (mol)

TABLO 1–2

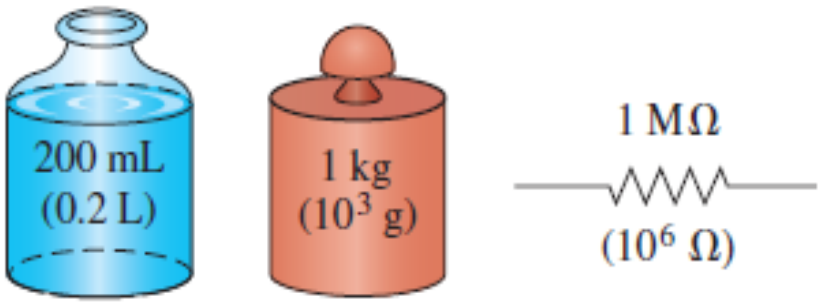
SI birim sistemindeki standart ön ekler

Çarpan	Ön Ek
10^{24}	yotta, Y
10^{21}	zetta, Z
10^{18}	exa, E
10^{15}	peta, P
10^{12}	tera, T
10^{9}	giga, G
10^{6}	mega, M
10^{3}	kilo, k
10^{2}	hecto, h
10^{1}	deka, da
10^{-1}	deci, d
10^{-2}	centi, c
10^{-3}	milli, m
10^{-6}	micro, μ
10^{-9}	nano, n
10^{-12}	pico, p
10^{-15}	femto, f
10^{-18}	atto, a
10^{-21}	zepto, z
10^{-24}	yocto, y

Bazı SI ve İngiliz Birimleri

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

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



İş = Kuvvet × Yol
1 J = 1 N·m
1 cal = 4.1868 J
1 Btu = 1.0551 kJ

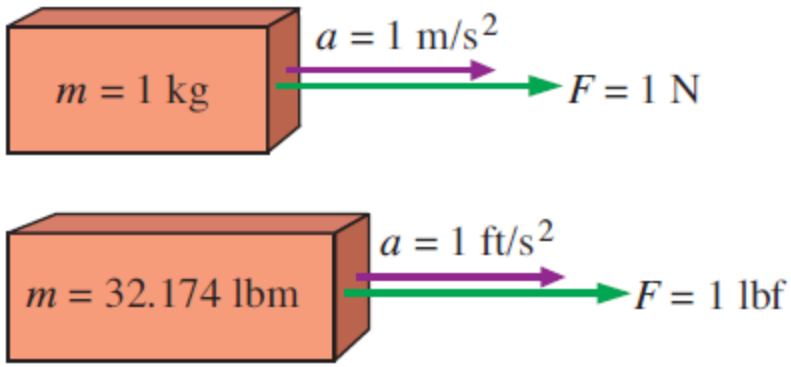
SI birim sistemindeki ön ekler bütün mühendislik dallarında kullanılır..

$$\text{Kuvvet} = (\text{Kütle})\,(\text{İvme})$$

$$F = ma$$

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

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

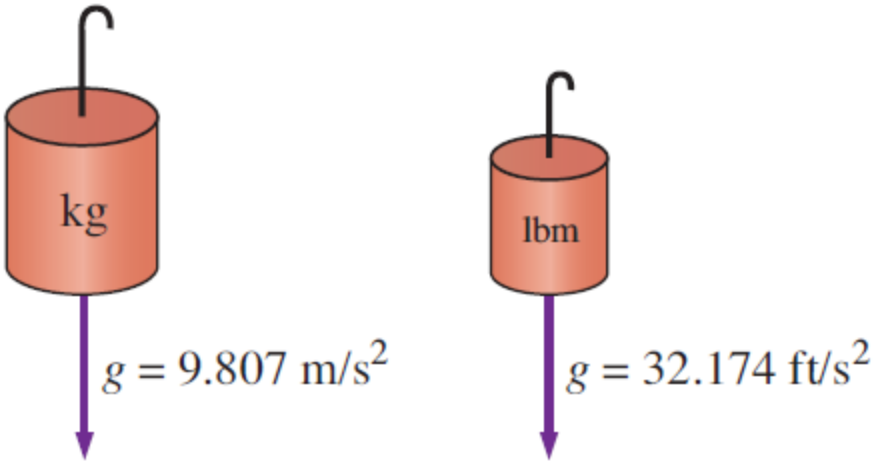


Kuvvet birimlerinin tanımı.

$$W = mg \quad (\mathrm{N})$$

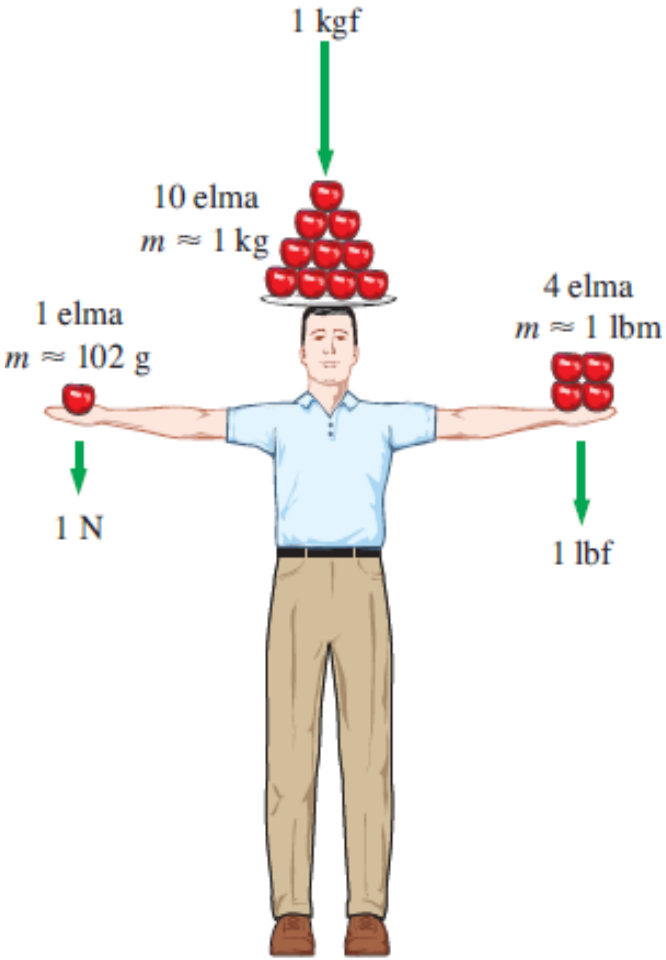
W ağırlık
m kütle
g yerçekimi ivmesi

Dünyada 660 N ağırlığa sahip bir kimse ay yüzeyinde sadece 110 N gelir.



$$W = 9.807\ \mathrm{kg \cdot m/s^2} = 9.807\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kgf}$$

$$W = 32.174\ \mathrm{lbm \cdot ft/s^2} = 1\ \mathrm{lbf}$$



Kuvvet birimleri olan newton (N), kilogram-kuvvet (kgf) ve pound-kuvvetin (lbf) karşılaştırılması.

Bir birim kütlenin deniz seviyesindeki ağırlığı.

Bir kibrit çöpü tamamen yandığında yaklaşık olarak 1 Btu (veya 1 kJ) enerji açığa çıkarır.

ÖRNEK 1–2 Rüzgar Türbininden Elektrik Üretimi

Bir okul elektrik için 30 krş/kWh ödeme yapmaktadır. Elektrik faturalarını düşürmek amacıyla okul 30 kW gücünde bir rüzgar türbini kurmuştur (Şekil 1–36). Türbinin verilen kurulu güçte yılda 2200 saat çalışması durumunda yılda ne kadar elektrik enerjisi üretilebileceğini ve bu sayede okulun ne kadar tasarruf sağlayabileceğini belirleyiniz.

ÇÖZÜM Elektrik üretmek amacıyla bir rüzgar türbini kurulmuştur. Kurulan rüzgar türbini ile yılda ne kadar enerji üretileceği ve ne kadar para tasarrufu yapılacağı belirlenecektir.

Analiz Rüzgar türbini 30 kW güç, yani 30 kJ/s hızla enerji üretmektedir. Bu durumda bir yılda üretilecek elektrik enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\begin{aligned}\text{Toplam enerji} &= (\text{Birim zamandaki enerji üretimi})(\text{Üretim süresi})\\ &= (30\ \text{kW})(2200\ \text{h})\\ &= \mathbf{66000\ kWh}\end{aligned}$$

Bir yılda tasarruf edilecek miktar ise bu enerjinin parasal karşılığı kadar olacaktır:

$$\begin{aligned}\text{Tasarruf edilen para} &= (\text{Toplam enerji})(\text{Enerji birim maliyeti})\\ &= (66000\ \text{kWh})(30\ \text{krş})(1\ \text{TL}/100\ \text{krş})\\ &= \mathbf{19800\ TL}\end{aligned}$$

İrdeleme Üretilen yıllık enerji miktarı birimlerden yola çıkılarak kJ olarak da belirlenebilir:

$$\text{Toplam enerji} = (30\ \text{kW})(2200\ \text{h})\left(\frac{3600\ \text{s}}{1\ \text{h}}\right)\left(\frac{1\ \text{kJ/s}}{1\ \text{kW}}\right) = 2.38 \times 10^8\ \text{kJ}$$

Bu da 66000kWh enerjiye eşdeğerdir (1 kWh = 3600 kJ).

1–7 ■ MÜHENDİSLİKTE MODELLEME

Deneysel ve Analitik Yaklaşımlar

Bir mühendislik sistemi ya da prosesi, *deneysel* (test yapılarak veya ölçümler alınarak) veya *analitik* (analiz veya hesaplamalar yapılarak) yolla incelenebilir.

Deneysel yaklaşımın avantajı gerçek fiziksel sistemin ele alınması ve deneysel hata sınırları içerisinde istenen büyüklüğün ölçüm yoluyla belirlenebilmesidir.

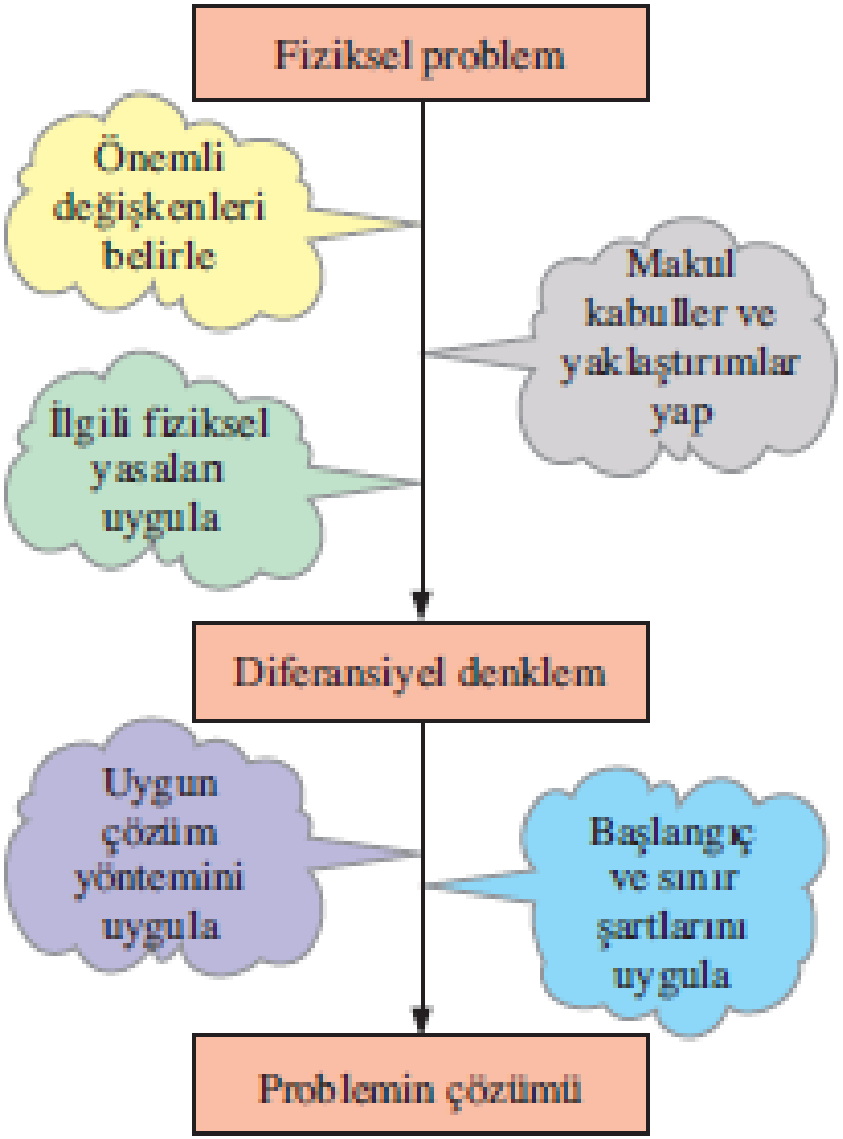
Analitik yaklaşımın (buna sayısal yaklaşım da dahil) üstünlüğü ise hızlı ve ucuz olmasıdır. Ancak analiz sırasında yapılan kabullerin, yaklaştırımların ve basitleştirmelerin doğruluğu, elde edilen sonuçlar üzerinde etkilidir.

Modelleme

•**Diferansiyel denklemlere neden ihtiyaç duyulur?** Bilimsel problemlerin çoğunun tarifinde bazı temel değişkenlerdeki değişimleri birbirleriyle ilişkilendirilen denklemler söz konusudur.

Sonsuz küçük ya da diferansiyel değişmeler dikkate alındığında *diferansiyel denklemler* elde edilir. Değişim hızlarının *türevler i*le ifade edildiği bu tür denklemler, fiziksel ilkeler ve yasalar için kesin matematiksel formüllerin türetilmesine olanak sağlar..

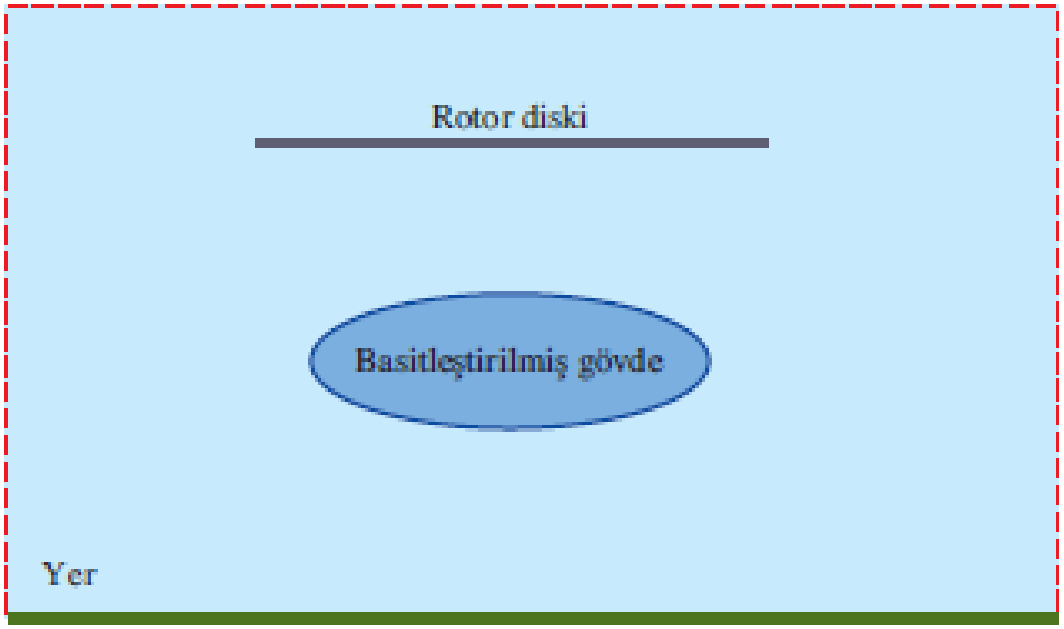
Diferansiyel denklemler her zaman gerekli midir? Uygulamada karşılaşılar problemlerin çoğu diferansiyel denklemler ve bu denklemlerden kaynaklanan güçlüklerle uğraşmadan da çözülebilir.



Fiziksel problemlerin matematiksel olarak modellenmesi

Karmaşık model
&
Basit model

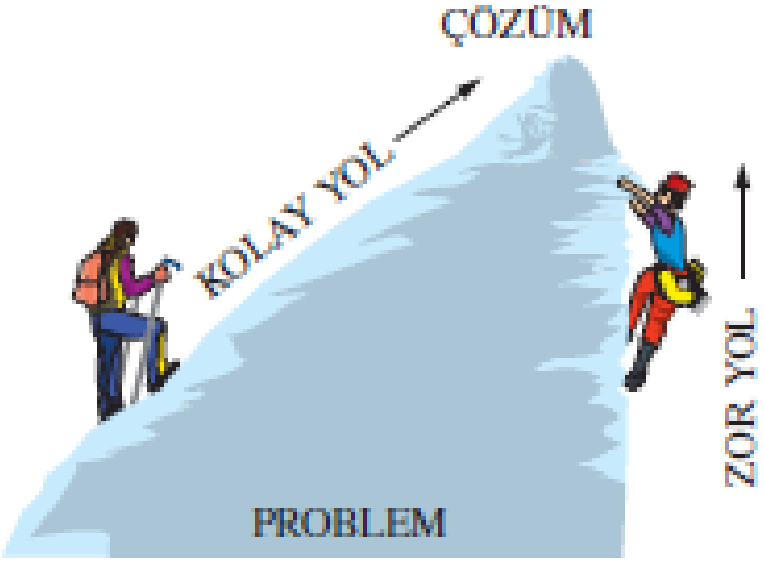
Akışkanlar mekaniğinde zor mühendislik problemlerinin yaklaşık çözümlerini yapmak için çoğunlukla basitleştirilmiş modeller kullanılır. Şekilde görülen helikopter rotoru, alt ve üst yüzeyleri arasında ani bir basınç değişimi bulunan bir disk olarak modellenmiştir. Helikopter gövdesi ise basit bir elipsoit ile temsil edilmiştir. Bu basit model, yere yakın bölgede gerçekleşen genel hava akışına ait gerekli özellikleri vermektedir



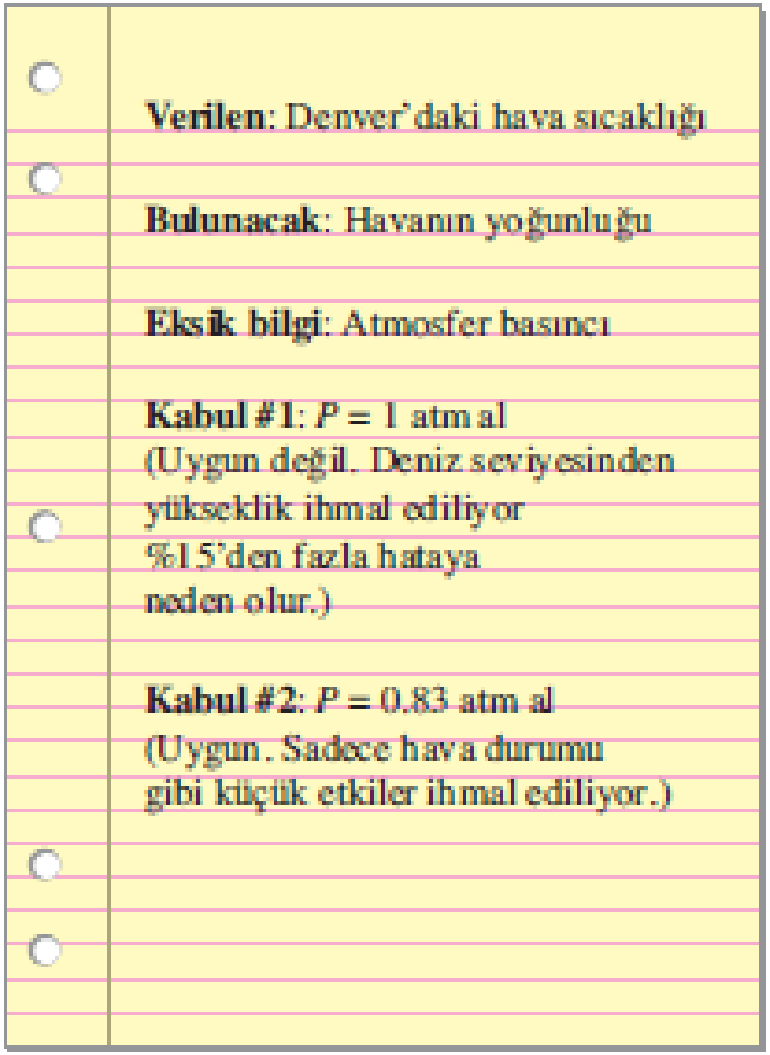
Doğru seçim, çoğunlukla tatmin edici düzeyde doğru sonuçlar veren en BASİT modeldir.

1–8 ■ PROBLEM ÇÖZME TEKNİĞİ

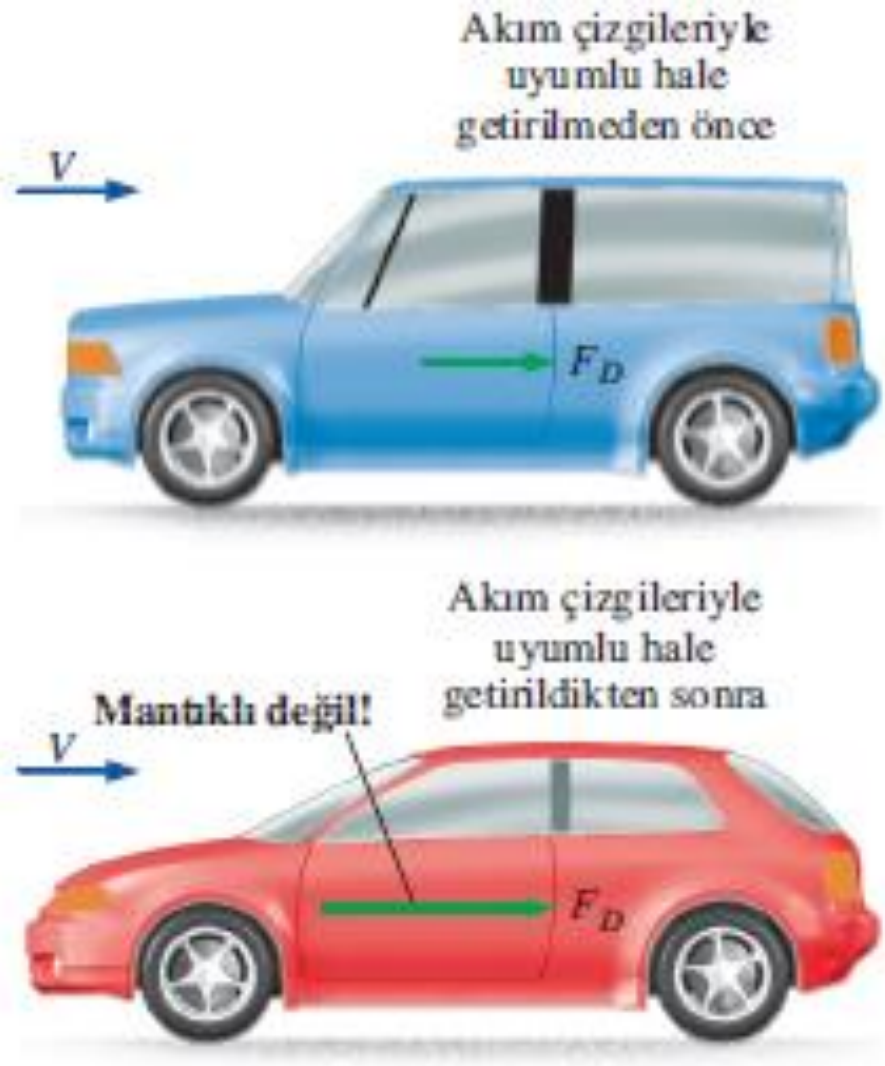
- Adım 1: **Problemin İfade Edilmesi**
- Adım 2: **Şematik Çizim**
- Adım 3: **Kabuller ve Yaklaştırımlar**
- Adım 4: **Fizik Yasaları**
- Adım 5: **Özellikler**
- Adım 6: **Hesaplamalar**
- Adım 7: **Sorgulama, Doğrulama ve İrdeleme**



ŞEKİL 1–44
Adım-adım yaklaşımı problemin çözümünü oldukça basitleştirebilir.

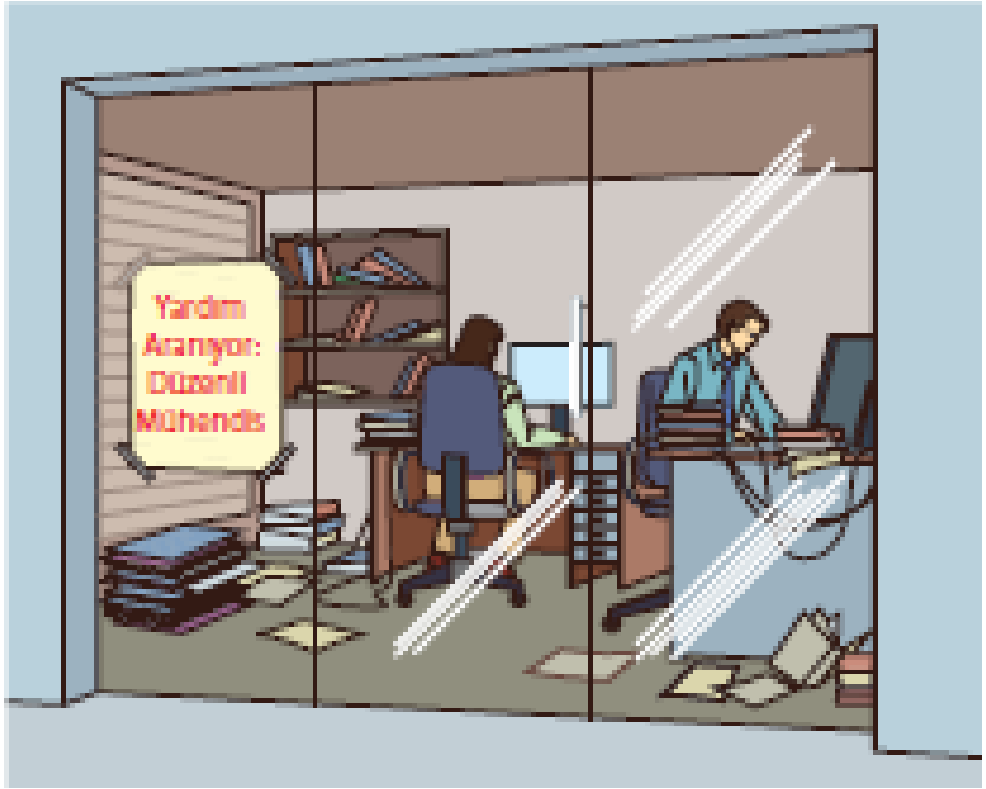


ŞEKİL 1–45
Bir mühendislik problemi çözülürken yapılan kabuller makul ve gerekçeli olmalıdır.



ŞEKİL 1–46

Mühendislik analizinden elde edilen sonuçların makul olup olmadığı mutlaka kontrol edilmelidir.



ŞEKİL 1–47

Tertipli ve düzenli çalışma işverenlerin daima hoşuna gider.

1–9 ■ MÜHENDİSLİK YAZILIMLARI

Günümüzde mevcut bu hesaplama gücünün ve mühendislik yazılımlarının hepsinin sadece birer *araç* olduğu ve araçların da o işin ustalarının elinde değer kazandığı asla unutulmamalıdır.

Hesap makinaları çocuklara toplama ve çıkarmanın nasıl yapıldığını öğretme ihtiyacını ortadan kaldırmadığı gibi, gelişmiş tıp yazılımları da tıp öğretiminin yerini alamamıştır.

Hiç bir mühendislik yazılımı klasik mühendislik öğretiminin yerini alamaz. Bu yazılımlar, olsa olsa ağırlığın matematik derslerinden fizik derslerine kaymasına yardım edebilir.

Çok iyi bir kelime-işlem yazılımı bir kimseyi iyi bir yazar yapmaz, ama iyi bir yazarın daha etkin çalışmasını sağlayabilir..

Mühendislik Denklem Çözücüsü (EES):

- EES, lineer ya da lineer olmayan cebirsel veya diferansiyel denklemleri sayısal yöntemlerle çözen bir bilgisayar yazılımıdır.
- Bu yazılımda, matematiksel fonksiyonların yanı sıra termodinamik özellik fonksiyonları da yüklü olup kullanıcının ilave özellik verileri girmesine olanak sağlanmaktadır.
- Bazı yazılım paketlerinin aksine, EES mühendislik problemlerini çözmek yerine sadece kullanıcının verdiği denklemlerin çözümünü gerçekleştirir

ÖRNEK 1–5 Bir Denklem Sisteminin EES ile Çözümü

İki sayının farkı 4'e ve bu sayıların karelerinin toplamı, sayıların toplamının 20 fazlasına eşittir. Bu iki sayıyı belirleyiniz.

ÇÖZÜM İlişkiler iki sayının farkı ve karelerinin toplamı şeklinde verilmiştir. Bu iki sayının belirlenmesi istenmektedir.

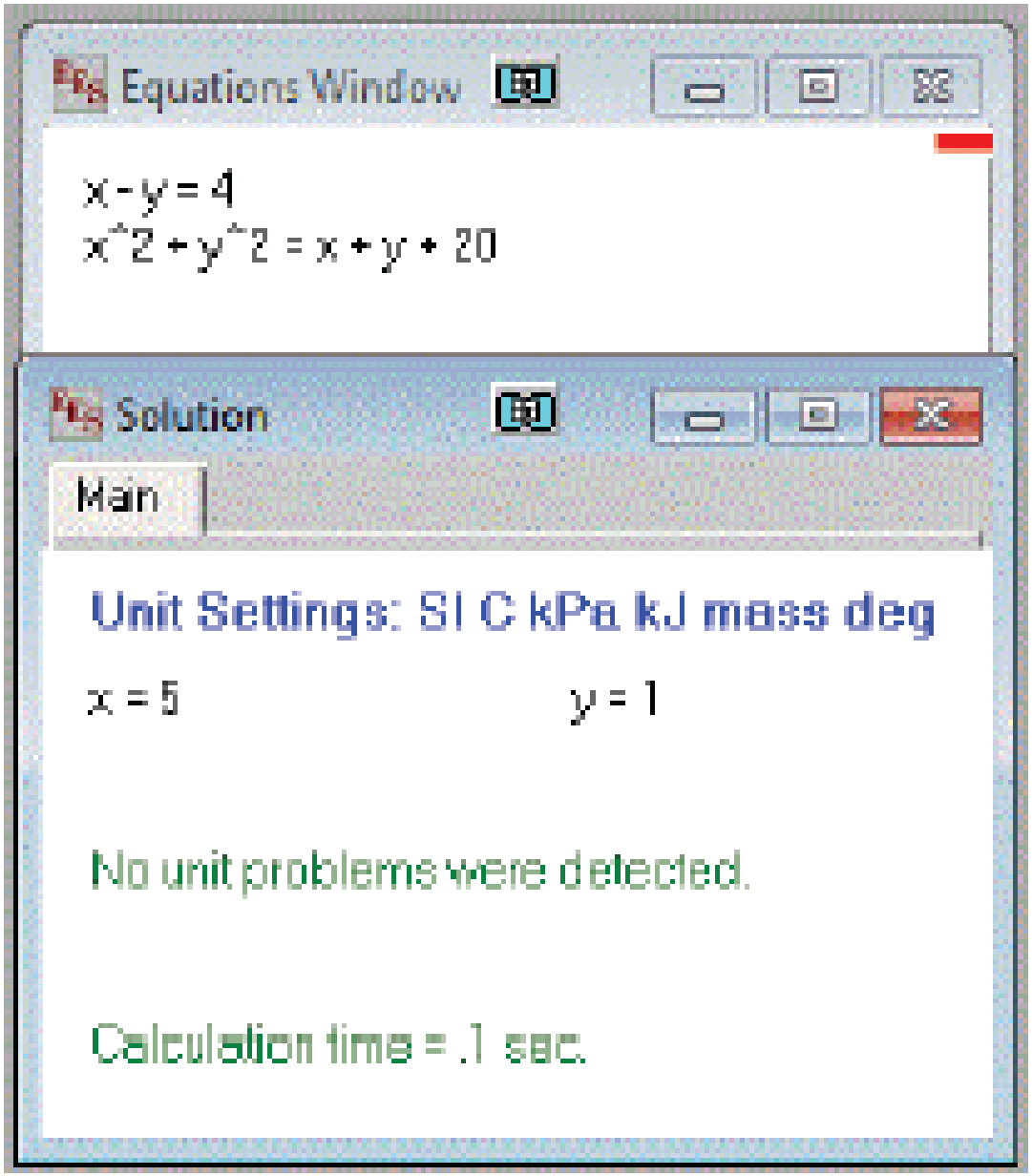
Analiz EES yazılımı simgesinin üzerine çift tıklanarak çalıştırılır. Yeni bir dosya açılır ve görülen boş ekrana aşağıdakiler yazılır:

```
x-y=4
x^2+y^2=x+y+20
```

Bunlar *x* ve *y* bilinmeyen Lineer sayıları göstermek üzere problemin matematiksel ifadesidir. Lineer olmayan iki bilinmeyenli, iki denklemden oluşan bu sisteminin çözümü, görev çubuğu üzerindeki "calculator" simgesine tek tıklama yapılarak elde edilir. Sonuç aşağıdaki gibidir:

$$x = 5 \quad \text{ve} \quad y = 1$$

İrdeleme Dikkat edilirse yapılması gereken tek şey kağıt üzerinde olduğu gibi problemin denklemlerini ekrana yazmaktan ibarettir. EES, çözümün tüm matematik ayrıntılarını kendisi halletmektedir. Ayrıca denklemler doğrusal olabilir ya da olmayabilir ve bilinmeyenlerin eşitliğin hangi tarafında olduğunun bir önemi yoktur. EES gibi kullanışlı denklem çözücüleri, sonuçta elde edilecek denklem sisteminin çözümünde karşılaşacakları matematiksel karmaşıklıklardan kaygılanmaksızın, kullanıcıların problemin fiziğine yoğunlaşmalarına olanak sağlar.


Equations Window
x - y = 4
x^2 + y^2 = x + y + 20
Solution
Main
Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg
x = 5
y = 1
No unit problems were detected.
Calculation time = .1 sec.

HAD Yazılımı

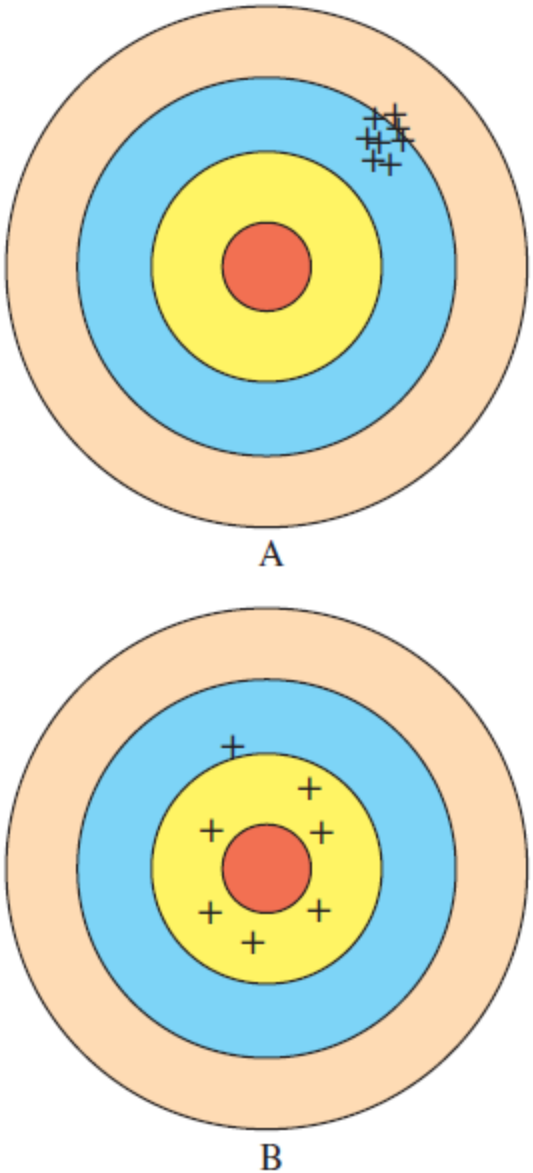
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) gerek mühendislikte, gerekse bilimsel araştırmalarda geniş ölçüde kullanılmaktadır ve detaylı olarak Bölüm 15'te ele alınmıştır. Tüm kitap boyunca ayrıca birçok örnek HAD çözümlemelerine yer verilmiştir, çünkü HAD grafikleri özellikle akım çizgilerini, hızları, basınç dağılımlarını vb. göstermede benzersiz olanaklar sunmaktadır ve bunların laboratuvar ortamında görüntülenmesi mümkün değildir. Bununla birlikte piyasada mevcut birçok HAD yazılımı bulunmaktadır. Öğrencilerin bu yazılımlara erişimi büyük oranda okudukları bölümlerin sahip oldukları lisanslara bağlı olduğundan, bölüm sonlarında belirli bir HAD yazılımına bağlı HAD problemleri verilmemiştir. Bunun yerine Bölüm 15'te bazı genel HAD problemlerine yer verilmiş, ayrıca çeşitli HAD yazılımları ile çözülebilen bazı HAD problemlerinin bulunduğu bir internet sayfası (www.mheducation.asia/olc/cengel) hazırlanmıştır. Öğrencilerin HAD konusunda deneyim kazanmak için bu örnekler üzerinde çalışma yapmaları önerilir.

1–10 ■ DOĞRULUK, KESİNLİK VE ANLAMLI BASAMAKLAR

Doğruluk hatası (*yanlışlık*): Bir ölçüm ile bunun gerçek değeri arasındaki farktır. Genellikle bir grup ölçümün doğruluğu, ölçümlerin ortalamasının gerçek değere yakınlığının bir göstergesidir. Doğruluk genellikle tekrarlayan sabit hatalarla ilgilidir.

Kesinlik hatası: bir ölçüm ile tüm ölçüm sonuçlarının ortalaması arasındaki farktır. Çoğunlukla bir grup ölçümün kesinliği, ölçme aletinin çözünürlük seviyesine ve ölçümü tekrarlayabilme yeteneğine bağlıdır. Kesinlik genellikle tekrarlamayan, rastgele hatalarla ilgilidir.

Anlamlı basamaklar: konuyla ilgili ve anlam taşıyan basamaklardır.



Doğruluk ile kesinliğin karşılaştırılması. A atıcısının kesinliği yüksek doğruluğu düşük, B atıcısının ise doğruluğu yüksek ancak kesinliği düşüktür.

TABLO 1–3

Anlamlı basamaklar

Sayı	Üstel Gösterim	Anlamlı Basamakların Sayısı
12.3	1.23×10^{1}	3
123000	1.23×10^{5}	3
0.00123	1.23×10^{-3}	3
40300	4.03×10^{4}	3
40300.	4.0300×10^{4}	5
0.005600	5.600×10^{-3}	4
0.0056	5.6×10^{-3}	2
0.006	$6. \times 10^{-3}$	1

Verilen: Hacim: $V = 3.75$ L

Yoğunluk: $\rho = 0.845$ kg/L

(3 anlamlı basamak)

Ayrıca, $3.75 \times 0.845 = 3.16875$

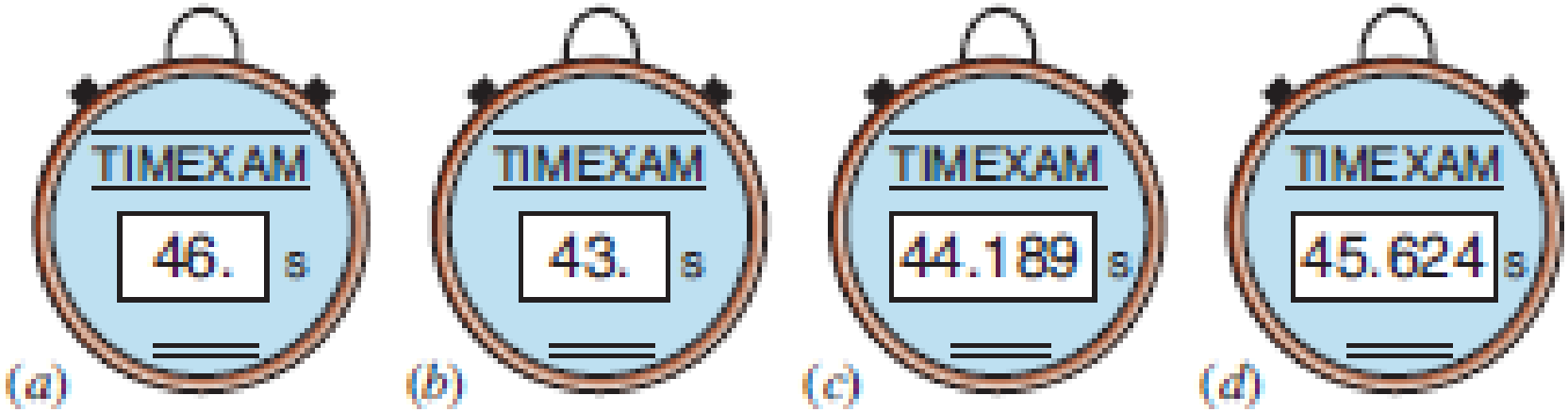
Bulunan: Kütle: $m = \rho V = 3.16875$ kg

3 anlamlı basamağa yuvarlama:

$m = 3.17$ kg

Mevcut verilerden daha fazla sayıda anlamlı basamağa sahip bir sonuç, olması gerekenden daha fazla kesinliği gösterir.

Sürenin gerçek değeri = 45.623451 … s



Çok sayıda basamak çözünürlüğüne sahip bir cihaz (c kronometresi), daha az basamak çözünürlüğüne sahip bir cihaz (a kronometresi) kadar doğru ölçme yapamayabilir. Peki b ve d kronometreleri için ne söyleyebilirsiniz?

ÖRNEK 1–6 Anlamlı Basamaklar ve Hacimsel Debi

Zeynep, içerisinden şebeke suyunun geçtiği bir bahçe hortumu kullanarak bir deney yapmaktadır. Bu amaçla hortumdan akan suyun hacimsel debisini hesaplamak için, suyun bir kabı ne kadar zamanda doldurduğunu ölçmektedir (Şekil 1–52). Kronometre ile ölçülen $\Delta t = 45.62$ s süresince toplanan suyun hacmi $V = 1.1$ galon olduğuna göre, hortumdan akan suyun hacimsel debisini m³/dak biriminde hesaplayınız.

ÇÖZÜM Hacim ve zaman ölçümleri kullanılarak hacimsel debi hesabı yapılacaktır.

Kabuller **1** Zeynep, hacim ölçümlerini iki anlamlı basamağa sahip kesinlikte, zaman ölçümlerini ise dört anlamlı basamağa sahip kesinlikte yapmıştır. **2** Kabın dışına sıçrama şeklinde bir su kaybı yoktur.

Analiz Hacimsel debi $\dot{V}$ birim zamanda yer değiştiren su hacmine eşittir ve şöyle ifade edilir:

Hacimsel debi:
$$\dot{V} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Ölçülen değerler yerine yazılarak hacimsel debi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\dot{V} = \frac{1.1 \text{ gal}}{45.62 \text{ s}}\left(\frac{3.7854 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ gal}}\right)\left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dak}}\right) = \mathbf{5.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{dak}}$$

İrdeleme Nihai sonuç iki anlamlı basamak ile verilmiştir, çünkü daha fazla kesinlikten emin olunamaz. Bu işlem daha sonraki hesaplamalar için bir ara adım olmuş olsaydı, yuvarlama hatalarının birikerek artmaması için fazladan birkaç basamak daha alınması gerekirdi. Böyle bir durumda hacimsel debi $\dot{V} = 5.4765 \times 10^{-3}$ m³/dak olarak yazılabilir. Verilen bilgilere dayanarak elde edilen bu sonucun *doğruluğu* hakkında bir şey söylenemez, çünkü problemde hacim ya da zaman ölçmelerindeki sistematik hatalar konusunda bir bilgi verilmemiştir.

Özet

- Kaymazlık şartı
- Akışkanlar mekaniğinin kısa bir tarihçesi
- Akışların sınıflandırılması
  - Viskoz & Viskoz olmayan akış bölgesi
  - İç & Dış akış
  - Sıkıştırılabilir & Sıkıştırılamaz akış
  - Laminer & Türbülanslı akış
  - Doğal & Zorlanmış akış
  - Daimi & Daimi olmayan akış
  - Bir-, İki-, ve Üç-Boyutlu akışlar
- Sistem ve kontrol hacmi
- Boyut ve birimlerin önemi
- Matematiksel modelleme
- Problem çözme tekniği
- Mühendislik yazılımları
- Doğruluk, kesinlik ve anlamlı basamaklar