

MKB 212
AKIŞKANLAR MEKANİĞİ I
DERS NOTLARI

DOÇ. DR.SONER ÇELEN

1. HAFTA

1. GİRİŞ ve TEMEL KAVRAMLAR

1.1 Genel

Maddelerin sıvı ve gaz fazlarının en az birisini bünyesinde barındıran akışkan için çeşitli tanımlamalar yapılmaktadır. Bunlar:

Tanım 1: Durgun halde sıfır kayma gerilmesine; hareket halinde ise üzerine uygulanan kuvvet ile (kayma gerilmesiyle) orantılı şekil değiştirme hızına sahip olan maddelere akışkan adı verilir.

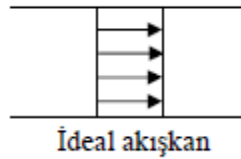
Tanım 2: Kayma gerilmesi uygulandığında, sürekli olarak deforme olan (yer değiştiren) maddedir. Deformasyonun gerçekleşmesi için kayma gerilmesinin büyük olması gerekmez.

Kayma gerilmesi oluşmayan akışkana “**ideal akışkan**” denir. (Sürtünmesiz akışkan)

Kayma gerilmesi (τ) = 0

Viskozite (μ) = 0

Hız gradyanı (du/dy) = 0



Sabit durumdaki akışkanların incelenmesi **akışkan statikliği**, hareketli akışkanların incelenmesi **akışkan dinamiği** olarak adlandırılır; statik ve dinamik çalışmaların birleşimi **akışkanlar mekaniği** olarak bilinir.

Hidrodinamik: Uygulamada sıkıştırılamaz kabul edilen akışkanların (sıvılar, su ve düşük hızlarda hareket eden gazlar) hareketi ile ilgili çalışmalar.

Hidrolik: Sıvıların boru ve kanallardaki akışı ile ilgilenen alt dalı.

Gaz dinamiği: Gazların yüksek hızlarda lülelerden akması gibi akışkan yoğunluğunun önemli miktarlarda değiştiği akışlar ile ilgilenir.

Aerodinamik: gazların (özellikle havanın) uçak, roketler ve otomobiller gibi cisimlerin etrafındaki yüksek ve düşük hızlı akışı ile ilgilenir.

Meteoroloji, oşinografi, ve hidroloji: Doğal olarak oluşan akışlarla ilgilenir.

Akışkanlar Mekaniği Nedir?

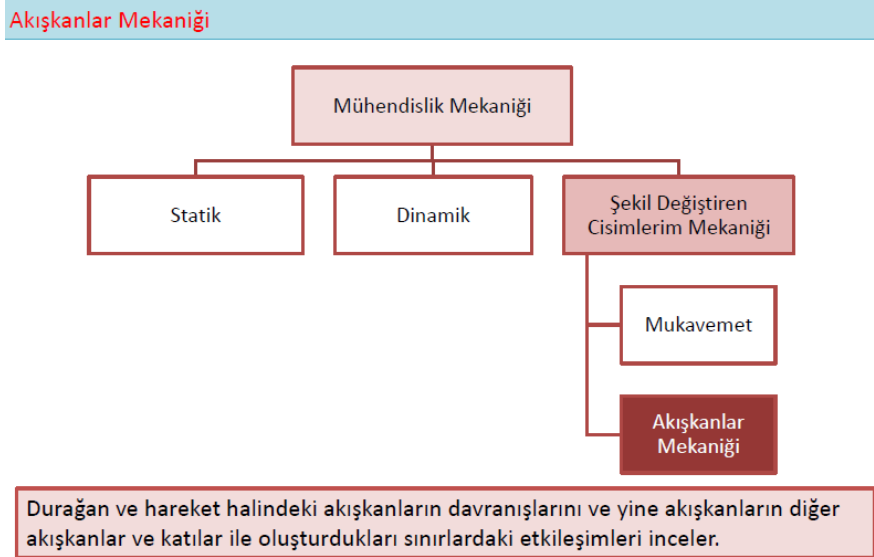
Akışkanlar mekaniği, akışkanların durgun veya hareket halindeki davranışını inceleyen uygulamalı mekanik dalıdır. Akışkanlar mekaniği prensiplerinin gelişmesinde akışkanların birçok özelliğinin önemli rolleri olmuştur. Genel olarak maddesel cisimler doğada; katı, sıvı ve gaz halinde bulunurlar. Sadece katı cisimlerin davranışını inceleyen bilime **katı cisimler mekaniği** denir. Sıvı ve gaz halde bulunan maddelerin, bir zorlamacı etkisi altındaki davranışlarını inceleyen bilime **akışkanlar mekaniği** adı verilmiştir. Akışkanlar mekaniği; statik, kinematik, dinamik bölümlerinden meydana gelmiştir.

Akışkanlar Mekaniği genelde üç ana başlık altında incelenmektedir.

a) Akışkanların Statiği (hidrostatik): Duran akışkanların mekaniğini inceler.

b) Akışkanların Kinematiği: Hareket halindeki akışkanlarda hızlar ve akım çizgilerinin geometrisini inceler.

c) Akışkanların Dinamiği (hidrodinamik): Hareket halindeki akışkanlarda hızlar, ivmeler ve akışkana gelen kuvvetler arasındaki ilişkileri inceler.

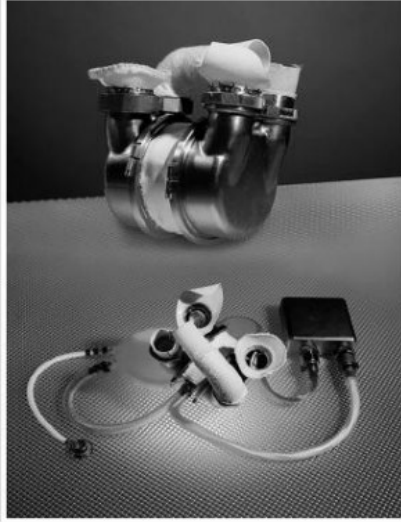
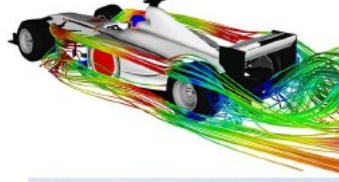
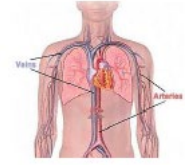


1.2 Akışkanlar mekaniğinin kullanım alanları

- Yüksek hızlı hava hareketlerinin gerçekleştiği iklimsel olaylar (hortum, tayfun, kasırga)
- Tüm ulaşım araçlarının dizaynı (havacılık ve uzay araçları, denizüstü ve denizaltı ulaşım araçları, otomobil ve diğer kara taşıtları)
- Yüksek yada özel amaçlı bina ve köprüler (gökdelen, stadyum, asma köprüler)
- Tüm hidrolik makinalar ve HVAC ekipmanları
- İnsan organlarını besleyen yapılar (kan akışı, böbrek, akciğer, solunum vs)

Yüzme, pompalar, vantilatörler, türbinler, uçaklar, gemiler, nehirler, rüzgar türbinleri, borular, füzeler, buzdağları, motorlar, filtreler, jetler, su fışkırtma sistemleri v.b. gibi, gazlar ve sıvılarla ilgili mühendislik uygulamaları, akışkanlar mekaniğinin uğraşı alanına girer.

Akışkanlar Mekaniğinin Uygulama Alanları



Yapay kalp yapımında kullanılır.



Natural flows and weather
© Vol. 16/Photo Disc.



Power plants



Boats
© Vol. 5/Photo Disc.



Aircraft and spacecraft
© Vol. 1/Photo Disc.



Human body



Cars



hortum



kasırga



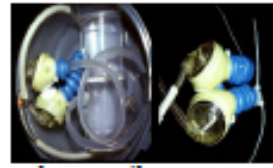
hava taşıtı



deniz altı taşıtları



kan pompalama

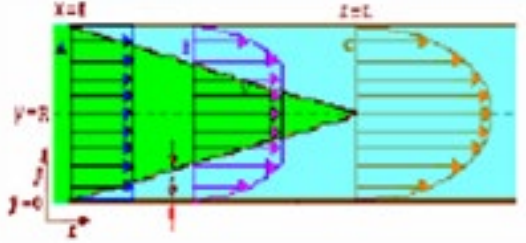


solunum cihazı

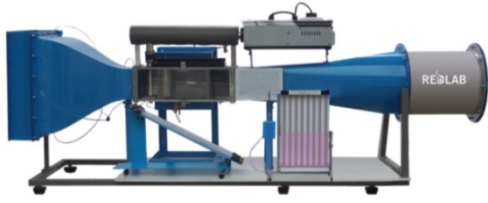
Şekil 1.2 Akışkanlar mekaniği uygulamalarından bazıları

1.3 Akışkanlar mekaniğinin uygulama yöntemleri

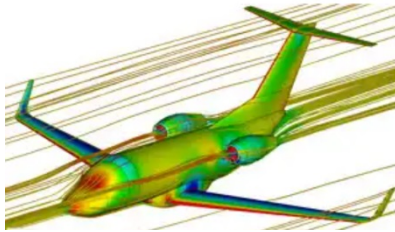
Fiziğin temel kanunlarının geçerli olduğu, mekaniğin bir alt konusu olan akışkanlar mekaniğinde, deneysel çalışma ve teorik yaklaşımların birlikte kullanılması gerekir. Akışkanlar mekaniği araştırmalarında kullanılan yöntemler, Şekil 1.3’ de gösterildiği gibi temel olarak üç farklı kola ayrılır: **analitik**, **deneysel** ve **nümerik**. Akışkanlar mekaniği çalışmalarında deney ve teorinin beraber kullanılması gerekliliği daima hatırdta tutulmalıdır.



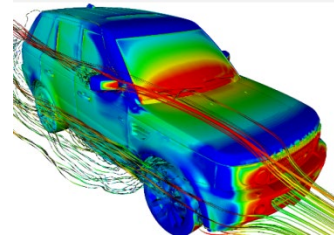
a) Analitik Akışkanlar Mekaniği (AFD)



b) Deneysel Akışkanlar Mekaniği (EFD)



c) Nümerik Akışkanlar Mekaniği (CFD)



Şekil 1.3 Akışkanlar mekaniği temel çalışma alanları

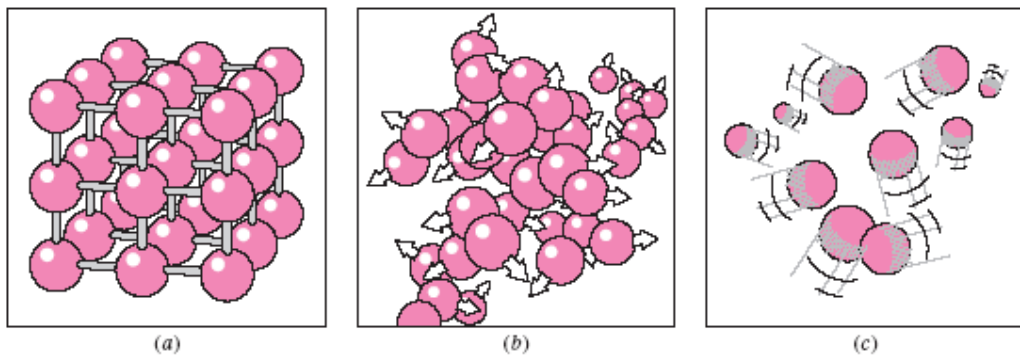


Şekil 1.4 Akışkanlar mekaniği biliminin önemli insanları

1.4 Akışkan Kavramı

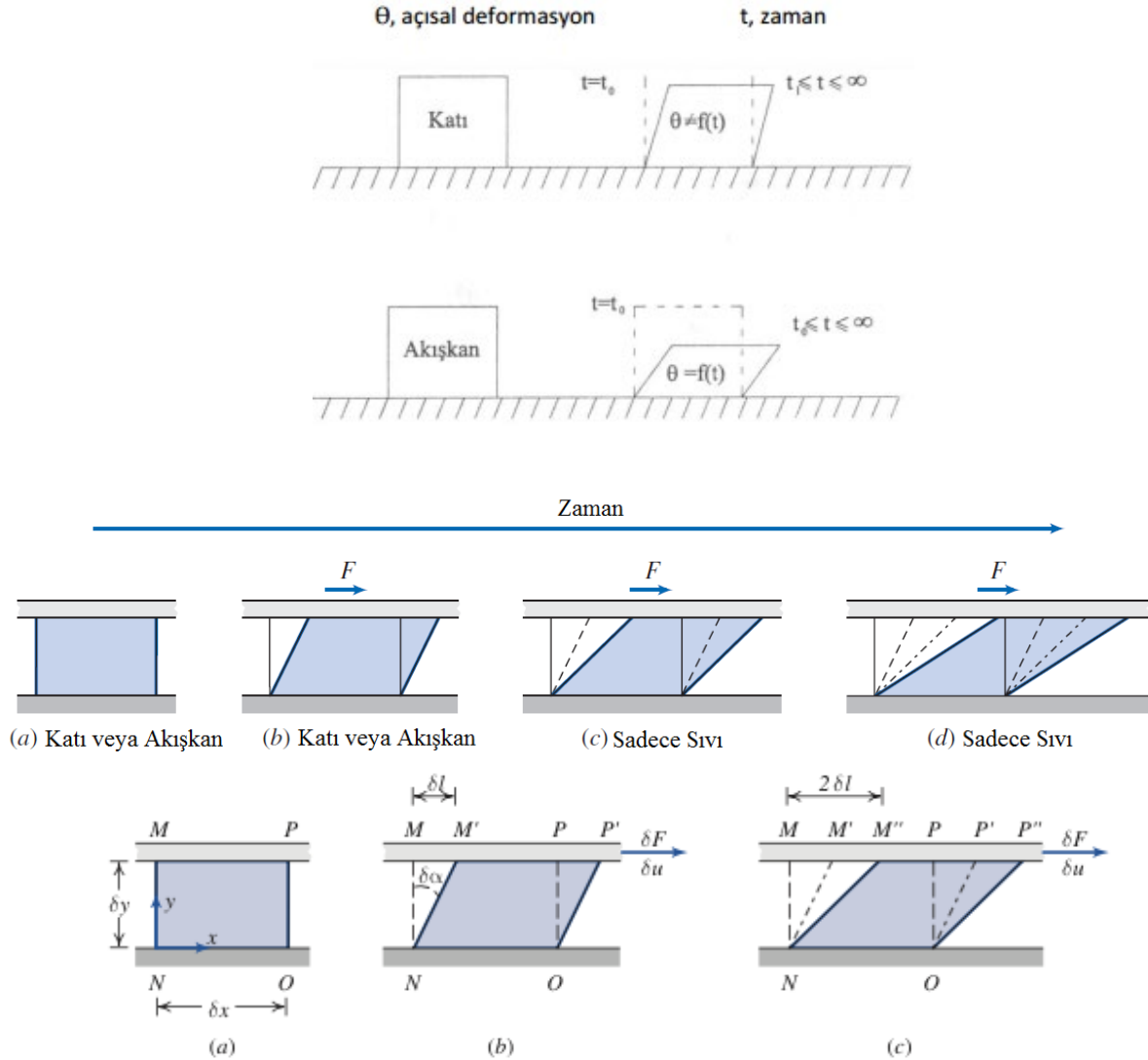
Tüm maddeler katı ve akışkan olmak üzere iki halde bulunurlar. Teknik açıdan bakıldığında iki hal arasındaki fark, üzerlerine uygulanan kayma gerilmesi veya teğetsel gerilmeye karşı gösterdikleri tepki ile belirlenebilir. Moleküller katılarda birbirlerine çok yakın olduğu halde, akışkanlarda daha gevşektir. Sıvılarda moleküller gazlara göre daha yakındır. Katılarda moleküller birbirlerine çok yakın olduğu için moleküler çekim kuvveti çok büyüktür, bu nedenle dış kuvvetlere karşı oldukça fazla direnç gösterirler. Gazlarda moleküler çekim kuvveti ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu nedenle moleküller serbestçe birbirinden uzaklaşırlar. Örneğin kapalı bir ortamdaki gaz o ortamı doldurana kadar genişler.

Kayma gerilmesini uygulandığı sürece akışkan devamlı hareket eder ve şekil değiştirir. Duran akışkan kayma gerilmesi taşımaz.



Şekil 1.5 Maddenin farklı fazlardaki atom düzenleri a) Katı, b) Sıvı, c) Gaz

Akışkanlar en küçük kayma gerilmesinde dahi direnç göstermezler. Böylece akışkan partikülleri sürekli olarak birbirlerine göre pozisyonlarını değiştirirler. Diğer taraftan katılar karşı direnç gösterirler ve sürekli bir deformasyon söz konusu olmaz. Şekil 1.6' da görüldüğü gibi katının deformasyonu küçüktür ve açısal deformasyon (θ) zamanın sürekli fonksiyonu değildir. Akışkanlarda ise herhangi bir kayma gerilmesi sonucu oluşan deformasyon zamanın sürekli fonksiyonudur.



Şekil 1.6 (a) t anındaki akışkan elemanı, (b) $t+dt$ anındaki akışkan elemanın şekil değiştirmesi ve (c) $t+2dt$ anındaki akışkanın şekil değiştirmesi

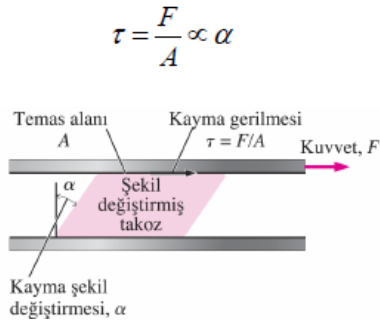
Mühendislikte karşılaşılan ve akışkanlar mekaniğinin ilgi alanına giren problemlerin çoğu, su, yağ, civa, petrol, alkol gibi yaygın olarak kullanılan sıvılarla ve hava, helyum, hidrojen, buhar gibi gazlarla ilgilidir. İncelenen problemlerin çoğunda, bu akışkanlar normal sıcaklık ve basınçta dırlar. Ancak bazı problemlerde, akışkanlar daha karmaşık yapıda olabilirler. Asfalt ve kurşun gibi, görünürde katı olan maddeler, kayma gerilmelerinin etkisi altında kısa zaman diliminde fark edilemeyen ancak uzun zaman diliminde fark edilebilen şekil değişimine uğrarlar. Bu nedenle bu maddeler çok yavaş akan bir sıvı gibidirler.

Akışkan ile Katı Arasındaki Fark Nedir?

- ❖ Katı ve akışkan arasındaki temel fark, kayma gerilmesine maruz kaldıklarında nasıl davranış gösterdikleri ile ilgilidir.

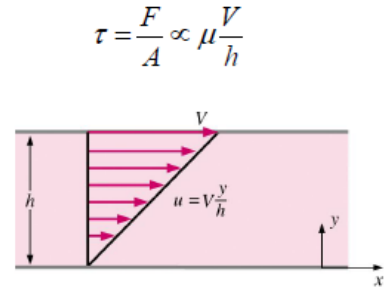
Katı:

Uygulanan kayma gerilmesine, bir miktar şekil değişimine uğrayarak direnç gösterebilir. Kayma gerilmesi **şekil değişimi** ile doğru orantılıdır.

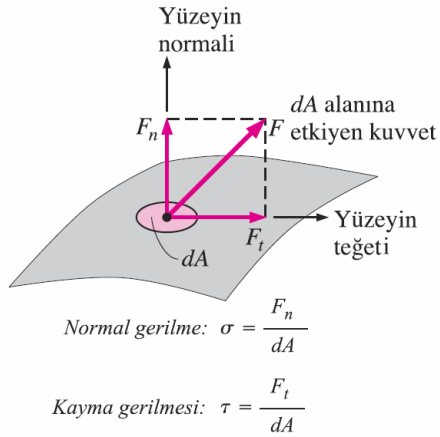
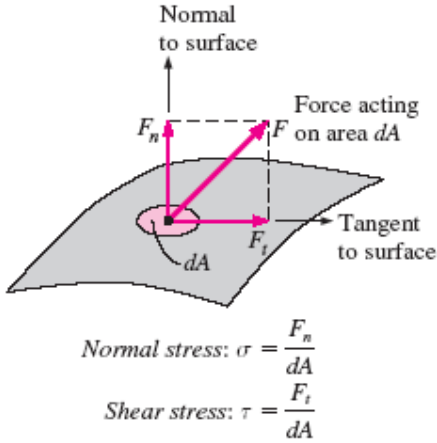


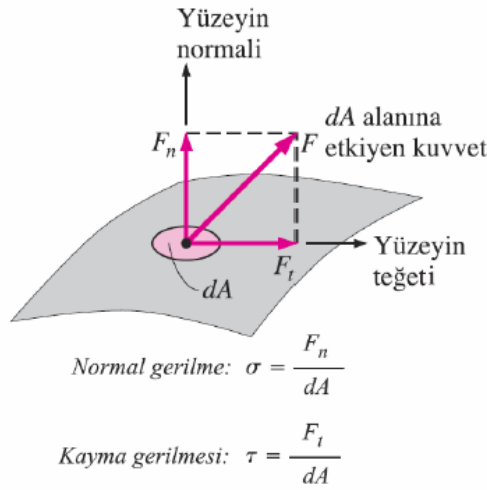
Akışkan:

Uygulanan kayma gerilme altında *sürekli olarak* şekil değişimine uğrar. Kayma gerilmesi **birim zamandaki şekil değişimi (şekil değiştirme hızı)** ile doğru orantılıdır.



Şekil 1.8 İki levha arasına yerleştirilen lastik takozun şekil değiştirmesi





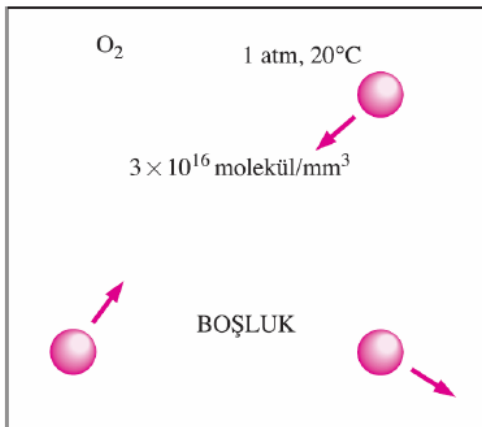
- **Gerilme**, birim alan başına kuvvet olarak tanımlanır.
- Normal bileşen: **Normal gerilme**
 - Durgun bir akışkandaki normal gerilme **basınç** olarak adlandırılır.
- Teğetsel bileşen: **Kayma gerilmesi**

Şekil 1.9 Bir akışkanın herhangi bir noktasında etki eden kuvvetler

Bir yüzeyin birim alanına etki eden kuvvetin dik bileşeni **normal gerilme** (normal bileşen), yüzeyin birim alanına etkiyen kuvvetin yüzeye teğetsel bileşeni ise **kayma gerilmesi** olarak tanımlanır. Durgun akışkanlarda kayma gerilmesi sıfırdır ve basınç sadece normal gerilmeden ibarettir. Akışkanın hareketsiz olduğu hallerde kayma gerilmesinden söz edilemez ve değeri sıfırdır. **Sıfır kayma gerilmesi:** Akışkanın hareketsiz hali kayma gerilmesinin sıfır olduğu durumdur

1.5 Bir Sürekli Ortam olarak Akışkan

Madde, gaz fazında seyrek halde bulunan atomlardan oluşur. Bununla birlikte bir maddenin atomik doğasını göz ardı etmek ve onu sürekli, boşluksuz homojen bir madde yani **sürekli ortam** olarak dikkate almak son derece büyük kolaylık sağlar.



- Gaz fazında atomlar arasındaki mesafe fazladır.
- Ancak, biz analizlerimizde bir maddenin atomik yapısını göz ardı ederiz ve onu boşluksuz homojen bir **madde-sürekli ortam**- olarak göz önüne alırız.
- Bu, bize **maddenin özelliklerini ortam boyunca düzgün bir şekilde değişen büyüklükler olarak ele almamıza olanak tanır.**
- Sürekli ortam kabulü çözümlenen sistemin büyüklüğünün moleküller arasındaki mesafeye oranla büyük olması durumunda geçerlidir. (Knudsen, Kn number)

- Gaz fazında atomlar arasındaki mesafe fazladır.
- Bir madde, moleküller arasındaki büyük boşluklara rağmen aşırı ölçüde küçük bir hacimde bile çok fazla sayıda molekül bulunduğu için sürekli ortam olarak düşünülebilir.

- Ancak, biz analizlerimizde bir maddenin atomik yapısını göz ardı ederiz ve onu boşluksuz homojen bir madde-**sürekli ortam**- olarak göz önüne alırız.
- Bu, bize maddenin özelliklerini ortam boyunca *düzgün bir şekilde değişen* büyüklükler olarak ele almamıza olanak tanır.

SÜREKLİ ORTAM KABULÜ: Bir akım bölgesinin her noktasında akışkanın fiziksel özellikleri (p , T , ρ , ...) ve akımın dinamik özellikleri (V , F ,...) tanımlanmıştır ve özel haller dışında bu büyüklükler akım bölgesi içinde noktadan noktaya sürekli olarak değişirler.

KNUDSEN SAYISI: Bir molekülün birim zamanda diğer moleküllere çarparak kat ettiği yörüngelerin uzunluklarının ortalaması olan Moleküler Serbest Yol “ λ ” nin, akım bölgesinin büyüklüğünü karakterize eden temsili bir büyüklük olan “ L ” ye oranı; yani:

$$Kn = \lambda/L$$

oranı bize bu konuda yardımcı olacaktır. Tanımından da görüleceği gibi Knudsen sayısı aslında çok küçük bir sayıdır ve bu sayı küçüldükçe Sürekli Ortam Kabulünün geçerliliğinin iyileşeceği açıktır. Ancak yapılan deneyler göstermiştir ki $L \sim [mm]$ büyüklüğünde olduğu zaman dahi akımın incelenmesinde sürekli ortam kabulü herhangi bir hataya neden olmamakta yani geçerliliğini korumaktadır.

Sürekli ortam kabulü akışkanlar mekaniğinin temelini oluşturur. Bu kabul sayesinde akımı temsil eden denklemler büyük ölçüde basitleşir. Bu kabulün geçerli olmadığı çok özel hallerde yani, meselâ:

$$Kn \geq 1$$

olması durumunda bu kitapta söylediklerimizin tümü eksik ve geçersiz olacaktır. Bu durumda sözlerimizi özetlersek, bu kitapta kabul edeceğiz ki: Her zaman

$$Kn \ll 1$$

şartı sağlanmaktadır.

1.6 Akışların Sınıflandırılması

- Viskoz ve Viskoz Olmayan Akışlar
- İç ve Dış Akışlar
- Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar
- Laminer ve Türbülanslı Akışlar
- Doğal ve Zorlanmış Akışlar
- Daimi ve Daimi Olmayan Akışlar
- Üniorm ve Üniorm Olmayan Akışlar
- Bir, İki ve Üç Boyutlu Akışlar

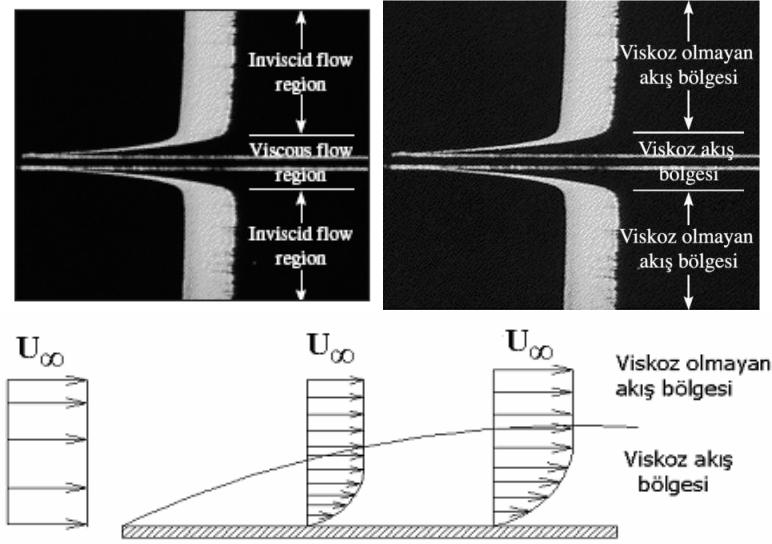
1.7.1 Viskoz ve Viskoz Olmayan Akışlar

Viskozite bir sıvının akışa gösterdiği dirençtir. Bütün akışkanların, sıvılar ve gazlar, viskoziteleri vardır. Viskozite bir tür akışkan sürtünmesi olarak düşünülebilir, iki katı arasında birinin diğeri üzerindeki hareketine gösterilen direnç gibi ve bu aynı zamanda birinin diğesine göre ivmelenmesini mümkün kılar. Örneğin bir otomobilin tekerleği ile yol arasındaki etkileşim gibi.

Hareket halindeki bir akışkan, hareketi süresince temasta olduğu katı ve akışkan ortamına enerji kaybederek, yavaşlar ya da durgun hale ulaşır. Akışkanın çevresindeki ortama sürtünme yolu ile kaybettiği enerji sonucunda, hızının yavaşlaması ya da sıfıra inmesine neden olan fiziksel özelliğine **viskozite** ismi verilmektedir. Viskozite bir akışkanın tüm partikülleri için aynı derecede etkili olmakla birlikte, akış sırasında etkisinin en fazla olduğu bölgeler, katı cisim cidarına yakın olan bölgelerdir.

Viskozite akışkanın iç sürtünmelerini ifade eden özelliğidir. Viskozitesi sıfır olan akışkan mükemmel akışkan olarak adlandırılır. Akışkanların viskoziteleri sıcaklıkla değişmektedir. **Sıvıların viskoziteleri sıcaklıkla azalır, gazların ise artmaktadır.**

- Viskozite sıvılarda moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinden, gazlarda ise moleküllerin çarpışmalarından kaynaklanır.
- Sürtünme etkilerinin önemli olduğu akışlar **viskoz akışlar** olarak adlandırılır. Sürtünme etkilerinin ihmal edilemeyecek kadar önemli olduğu akış bölgelerine –Genellikle katı yüzeye yakın bölgeler –**viskoz akış bölgeleri** denir.
- Uygulamada viskoz kuvvetlerin atalet ve basınç kuvvetlerinin yanında göz ardı edilebilecek kadar küçük kaldığı bölgelerdeki akışlar (katı yüzeylerden uzak bölgeler) **viskoz olmayan akışlardır**. Kayma gerilmesi ile şekil değiştirme (deformasyon) oranı arasında doğrusal (lineer) ilişki bulunmayan akışkanlardır.

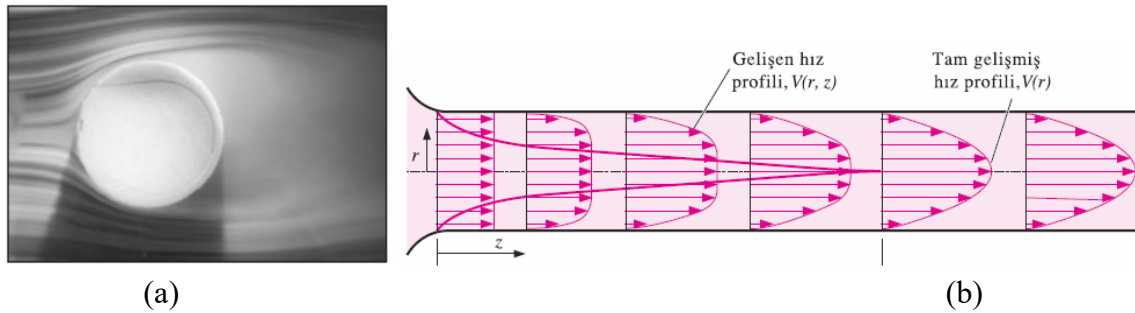


Şekil 1.10 Düz plaka üzerinden akış

Bugüne kadar yapılmış olan deneyler göstermiştir ki karşı koyan kuvvetler yalnız dış şartlara değil aynı zamanda akışkanın kendisine de bağlıdır. Bazı özel şartlarda, bir akışkan akışa karşı başka bir akışkandan daha büyük direnç gösterebilir. Katran, şeker pekmezi ve gliserin gibi sıvılar kolaylıkla dökülemez ve karıştırılmaz ve bunlar “**kalin sıvılar**” olarak nitelendirilir. Diğer taraftan, “**ince sıvılar**” diye adlandırılan su, petrol ve parafin gibi sıvılar çok daha kolay şekilde akar.

1.7.2 İç ve Dış Akışlar

- Akışlar, akışkanın sınırları belli bir kanalın içinden ya da yüzeyin üzerinden akmaya zorlanmasına bağlı olarak iç veya dış akış olarak sınıflandırılır.
- Kanalın sadece bir kısmını dolduran serbest yüzeyli sıvı akışları açık kanal akışı olarak adlandırılır.



Şekil 1.11 a) Tenis topu etrafındaki dış akış b) kanal içindeki iç akış

1.7.3 Sıkıştırılabilir ve Sıkıştırılamaz Akışlar

Bir akış sırasında akışkanın yoğunluğunda değişiklik meydana gelmiyorsa “**sıkıştırılamayan akış**” olarak tanımlanır ve sıkıştırılamayan akışta, akışkanın hacmi hareket süresince değişmez.

Sıkıştırılabilir akış: Yoğunluk akış boyunca değişiyorsa sıkıştırılabilir akıştır (ör: yüksek hızlı gaz akışı). Sıvıların yoğunluğu genel olarak sabit olduğundan, sıvı akışları genellikle sıkıştırılamayan akış olarak kabul edilir. Gaz akışlarında görülen yoğunluk farkının miktarı ve akışın sıkıştırılamaz oluşu, Mach sayısına göre belirlenir. $Ma < 0.3$ olması durumunda akış sıkıştırılamaz olarak kabul edilebilir.

- Bir akış, akış boyunca yoğunluğun değişme miktarına göre sınıflandırılabilir.
- Sıvıların yoğunluğu esas itibarıyla sabittir ve sıvı akışları genellikle sıkıştırılamazdır.
- Gaz akışları $Ma < 0,3$ olması, yani genellikle yoğunluk farkının yoğunluk farkının yüzde 5 in altında kaldığı durumlarda sıkıştırılamaz kabul edilir.

$$\text{Mach sayısı, } Ma = V/c = \text{Akış hızı/Ses hızı}$$

Sıkıştırılabilirlik etkilerinin önemli olup olmadığına karar vermede önemli bir parametredir.

$Ma < 0.3$: Sıkıştırılamaz

$Ma < 1$: Sesaltı

$Ma = 1$: Sonik

$Ma > 1$: Sesüstü

$Ma \gg 1$: Hipersonik

Mach sayısı (Ma): Bir akışkanın (veya akışkan içindeki bir nesnenin) hızının o akışkan içindeki ses hızına oranıdır.

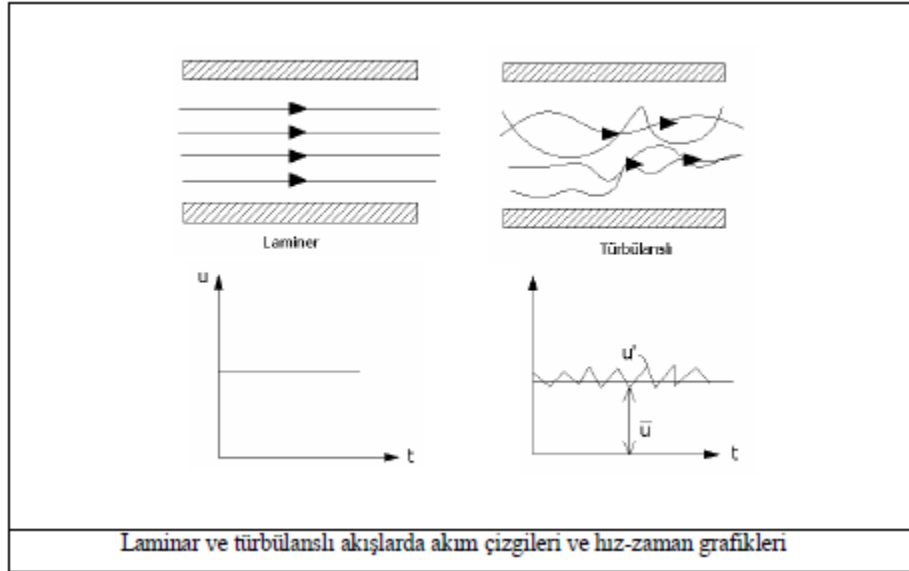
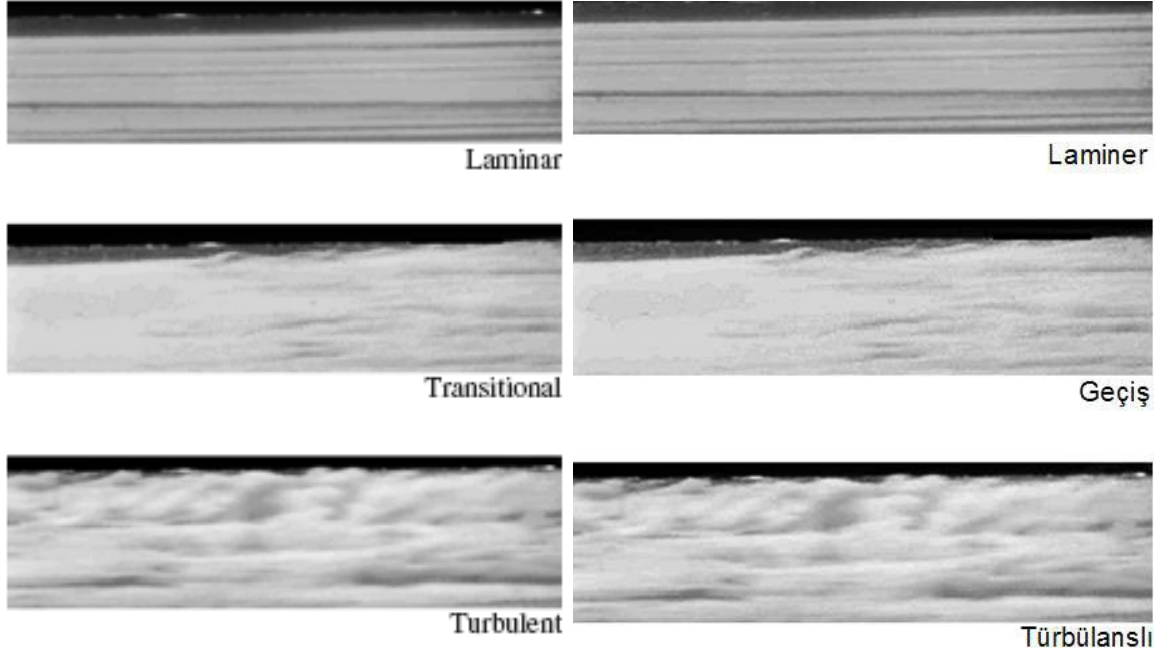
AIR		HELIUM
284 m/s	200 K	832 m/s
347 m/s	300 K	1019 m/s
634 m/s	1000 K	1861 m/s

1.7.4 Laminer (Katmanlı) ve Türbülanslı (Tedirgin) Akışlar

Laminer akış akışkanın paralel katmanlar halinde aktığı düzgün akış. Katmanlı akış da denir. Laminer akış genellikle küçük borular ve düşük akış hızlarında olur. Yatay ve düz bir boruda laminer akış halindeki bir akışkanın katmanlarındaki parçacıkların hızları aynıdır. Bu hız, “kritik hız” adı verilen değere ulaşıncaya akışın düzenliliği bozulur ve türbülanslı akış başlar.

Türbülans veya Çalkantı (Latince turbare – dönmek, şaşmak) bir sıvının ya da gazın hareket halindeki düzensizliğidir. Türbülanslı akış, genellikle yüksek akış hızlarında ve daha büyük borularla olur. Akış koşullarının katmanlı veya türbülanslı akışa sebep olup olmadığını (boyutsuz) Reynolds sayıları tanımlar; örneğin boru akışı için yaklaşık 2300 türbülansın üstünde olan bir Reynolds sayısına denir.

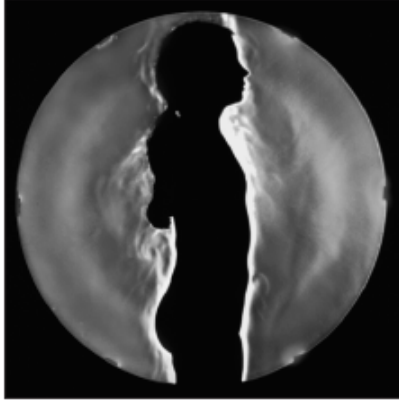
Geçişli akış, laminar ve türbülanslı akışın karışımıdır. Borunun merkezinde türbülanslı akış varken, kenarlarda laminar akış vardır.



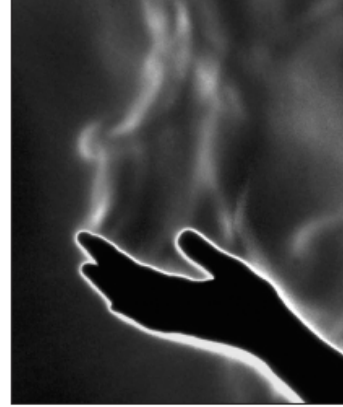
Şekil 1.12 Katmanlı, geçiş ve tedirgin akışlar

1.7.5 Doğal ve Zorlanmış Akışlar

- Akış, akışkan hareketini başlatan etkene bağlı olarak nitelendirilebilir.
- Zorlanmış akışta akışkan, pompa ya da fan gibi dış etkenlerle bir borunun içinden veya bir yüzeyin üzerinden akmaya zorlanır.
- Doğal akışlarda akışkan hareketi, doğal etkenlerle (ılık akışkanın yükselmesi, soğuk akışkanın alçalması, kaldırma etkisi gibi) gerçekleşir.



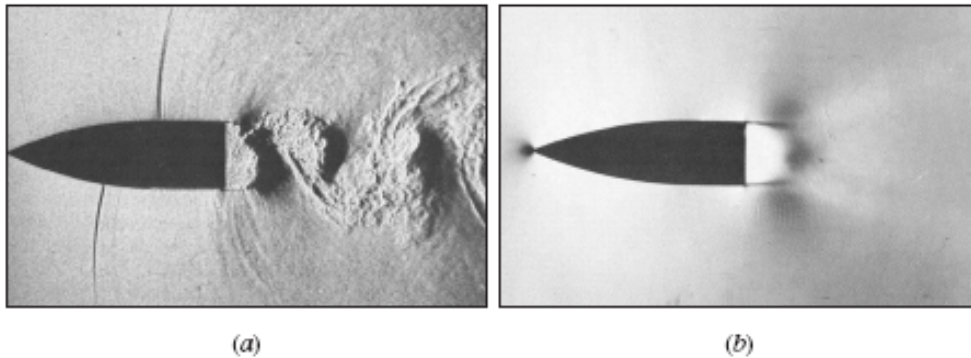
Şekil 1.13 Az yoğun sıcak havanın yükselmesi



Şekil 1.14 Doğal taşınım

1.7.6 Daimi (Sürekli) ve Daimi Olmayan (Süreksiz) Akışlar

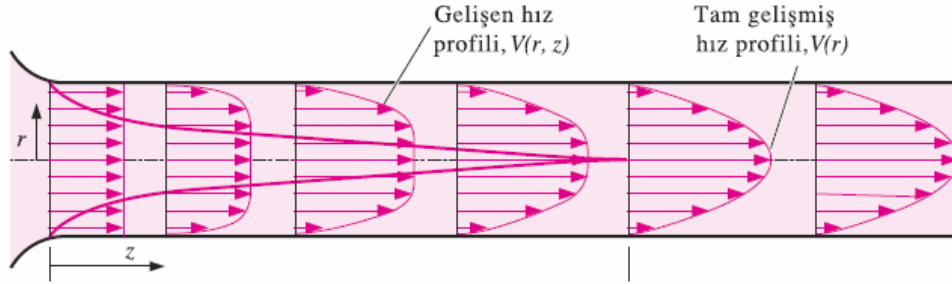
- Akışta zaman içerisinde hiçbir değişim olmaması **sürekli akış** olarak adlandırılır. Karşıtı **süreksiz akıştır**.
- Türbinler, kompresörler, kazanlar, yoğuşTURUCULAR ve ısı DEĞİŞTİRİCİLERİ gibi birçok cihaz uzun süre aynı koşullarda çalışır ve daimi akışlı makineler olarak sınıflandırılır.
- Bir akış düzene girinceye kadar görülen geçici etkiler (basıncın toparlanması, akışın ivmelenmesi vb) süreksiz akış safhasıdır.



Şekil 1.15 Küt tabanlı cismin art izi a) Anlık görüntü b) Zaman ortalamalı görüntü

1.7.7 Üniform (Homojen) ve Üniform Olmayan Akışlar

- Akışta konuma bağlı değişim olmaması durumunda akış **üniform akıştır**.
- Karşıtı **üniform (homojen) olmayan akıştır**.



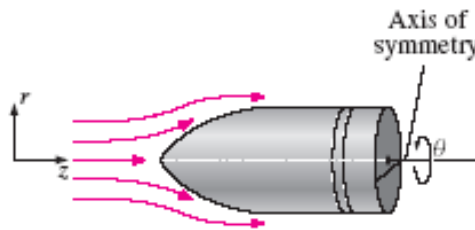
Şekil 1.16 Dairesel kesitli boruda hız profilinin gelişimi

1.7.8 Bir, İki ve Üç Boyutlu Akışlar

- Bir akış alanı en iyi şekilde hız dağılımı ile tanımlanır. Eğer akış hızı, temel boyutlardan sadece birine, her ikisine ya da her üçüne göre değişiyorsa, akışın sırasıyla bir, iki ya da üç boyutlu olduğu söylenebilir.
- Bununla beraber, hızın belirli yönlerdeki değişimi diğer yönlerdeki değişimlere göre daha küçük olabilir ve bunlar önemsiz bir hata ile göz ardı edilebilir. Bu gibi durumlarda akış, analizin daha kolay yapılabileceği şekilde bir ya da iki boyutlu olarak rahatlıkla modellenebilir.



Şekil 1.17 Otomobil anteni etrafındaki akış



Şekil 1.18 Mermi etrafındaki akış

1.7.9 Dahili ve Harici Akışlar

Eğer akış tamamen katı yüzeylerde çevrili ise akış **“dahili”** yada **“kanal” akış** adını alır. Dahili akış durumunda eğer kanal yüzeylerinden biri yerine sabit basınçta bulunan serbest bir yüzey söz konusu ise, akış **serbest yüzeyli akış** adını alır (nehir akışları, sulama kanalları vs.). **harici akış** ise, sınırlanmamış akış içerisinde bulunan katı cisimlerin üzerinden gerçekleşen akıştır.

1.7 Boyutlar ve Birimler

Boyut, bir fiziksel büyüklüğün nicel olarak ifade edildiği ölçüdür. **Birim**, nicel boyutu bir sayı ile göstermenin özel bir yoludur. **Uzunluk**, mesafe, yer değiştirme, genişlik, yükseklik, sapma gibi değişkenlerin boyutu olup cm ve inch uzunluğun miktarını belirten sayısal birimlerdir.

İngiliz Birim Sisteminde (BG) hata yapmak çok kolaydır. *Metrik Birim Sistemi* onlu sayma sistemini temel aldığı için daha kullanışlıdır. Metrik Sisteme geçen ülkelerde bile, dyne ya da Newton yerine kilogram-kuvvet, gram yerine kilogram veya Joule yerine Kalorinin kullanılması ile birim sistemleri ile ilgili problemler devam etmiştir. Metrik Sistemi daha standart hale getirmek için 1960 yılında *Uluslararası Birim Sistemi (SI)* önerilmiştir. **Derste SI birim sistemi kullanılacaktır.**

Metrik SI sitem: kütle, uzunluk ve zaman birimleri sırayla kg, m ve s dir.

Akışkanlar mekaniğinde, kütle, uzunluk, zaman ve sıcaklık olmak üzere dört *Ana Boyut* vardır (Tablo 1.1). Diğer bütün boyutlar (*İkincil Boyutlar*) bu ana boyutlardan türerler. Bu boyutlar ve birimleri Tablo 1.2 de verilmiştir. İkincil boyutların en önemlisi kuvvettir ve Newton'un İkinci Yasası gereği kütle, uzunluk ve zaman ile doğrudan ilişkilidir. Süslü parantez içinde gösterilen sembol boyut anlamına gelir. Örneğin {M},kütlenin boyutunu ifade eder. Kuvvetin boyutsal olarak $\{F\} = \{MLT^{-2}\}$ olduğu görülür.

Tablo 1.1. Bazı fiziksel büyüklükler

Temel Büyüklük	Adı	Sembolü	Boyutu
Uzunluk	Metre	m	L
Kütle	Kilogram	kg	M
Zaman	Saniye	s	T
Elektrik Akımı	Amper	A	I
Termodinamik Sıcaklık	Kelvin	K	K
Madde Miktarı	Mol	n	N
Işık Şiddeti	Kandela	Cd	I _v

Temel Birimler				
• <u>Büyüklükler</u>	<u>MKS Sisteminde Karşıtı</u>	<u>SI Sisteminde Karşıtı</u>	<u>Boyut</u>	
• Uzunluk	metre (m)	metre(m)	L	
• Kütle	kg.sn ² /m	kg	M	
• Zaman	saniye (sn)	saniye(sn)	T	
• Kuvvet	kilogram(kg)	Newton(N=kg.m/sn ²)	F	

Türetilmiş Büyüklikler

•	Gerilme, Basınç	kg/m ²	Pascal (Pa=N/m ²)	FL ⁻²
•	İş, Enerji	kg.m	Joule (J=N.m)	FL
•	Güç	kg.m/sn	Watt (W=J/sn)	FLT ⁻¹

Bazı **SI** birimleri ve sembolleri.

Birim	Türetilmiş SI birimi ve sembolü	Temel ve diğer türetilmiş birimler cinsinden ifadesi
Kuvvet	Newton, N	1 N = 1 kg m/s ²
Basınç	Pascal, Pa	1 Pa = 1 N/m ²
Enerji, iş, ısı	Joule, J	1 J = 1 N m
Güç	Watt, W	1 W = 1 J/s
Elektrik yükü	Coulomb, C	1 C = 1 Amp-s
Elektriksel potansiyel	Volt, V	1 V = 1 J/C
Elektrik kapasitesi	Farad, F	1 F = 1 C/V
Elektriksel direnç	Ohm, W	1 W = 1 V/Amp

Çeşitli birim sistemleri.

Büyüklik	İngiliz birim sistemi, FPS			Metrik sistem				
	Mutlak	Gravitasyonel	Mühendislik	CGS mutlak	CGS gravitasyonel	MKS mutlak	MKS gravitasyonel	SI
Uzunluk	ft	ft	ft	cm	cm	m	m	m
Zaman	s	s	s	s	s	s	s	s
Kütle	lbm		lm	g		kg		kg
Kuvvet		lbf	lbf		gf		kgf	
Kuvvet, türetilmiş	poundal			dyne		Newton		Newton
gc	1 lb _m ft/lb _f s ²	1 sl-ft/lb _f s ²	32.174 lb _m ft/lb _f s ²	1 gcm/dyns ²	981 gcm/g _f s ²	1 kgm/Ns ²	9.81 kgm/kg _f s ²	1 kgm/Ns ²

Temel birimlerle türetilen SI birimlerinden bazı örnekler.

Fiziksel Büyüklük	SI türetilen birimler, Sembol	Boyutlar
Alan	m ²	L ²
Hacim	m ³	L ³
Hız	m/s	L T ⁻¹
İvme	m/s ²	L T ⁻²
Basınç	N/m ²	M L ⁻¹ T ⁻²
Dalga Sayısı	m ⁻¹	L ⁻¹
Yoğunluk	kg/m ³	M L ⁻³
Özgül hacim	m ³ /kg	L ³ M ⁻¹
Akım Yoğunluğu	Amp/m ²	AL ⁻²
Açısal hız	s ⁻¹	T ⁻¹
Özgül Ağırlık	N/m ³	M L ⁻² T ⁻²
Kinematik viskozite	m ² /s	L ² T ⁻¹
Dinamik viskozite	kg/m s	M L ⁻¹ T ⁻¹
Hacimsel debi	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
Açısal hız	s ⁻¹	T ⁻¹
Kuvvet	N	M L T ⁻²
Momentum	Ns	M L T ⁻¹
Kayma gerilmesi	N/m ²	M L ⁻¹ T ⁻²
Enerji	Joule	M L ² T ⁻²
Güç	Watt	M L ² T ⁻³

Birimlerin *as* ve *üst* katları.

Birim çarpanı	Birim adı ve sembolü	Birim çarpanı	Birim adı ve sembolü
10 ¹²	Tera, T	10 ⁻²	Centi, c
10 ⁹	Giga, G	10 ⁻³	Mili, m
10 ⁶	Mega, M	10 ⁻⁶	Mikro, µ
10 ³	Kilo, k	10 ⁻⁹	Nano, n
10 ²	Hekto, h	10 ⁻¹²	Piko, p
10	Deka, da	10 ⁻¹⁵	Femto, f
10 ⁻¹	Deci, d	10 ⁻¹⁸	Atto, a

Akışkanlar mekaniğinde en çok kullanılan birim dönüşüm tablosu aşağıda verilmiştir.

$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m} / \text{s}^2$ $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2 = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2 \text{ m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \text{ m}}$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \text{ m}}$ $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \text{ m} = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2}$ $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \text{ m} \frac{1}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kg}^2}{\text{s}^3}$ $1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$ $1 \text{ bar} = 0.98692 \text{ atm}$ $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$	$1 \text{ kp} / \text{cm}^2 = 9,8067 \times 10^4 \text{ Pa}$ $1 \text{ Torr} = 1,332 \times 10^2 \text{ kPa}$ $1 \text{ mm-Hg} = 1,332 \times 10^2 \text{ Pa}$ $1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$ $1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ lt} = 1 \text{ dm}^3$ $1 \text{ kilopound} = 1 \text{ kp} = 9,8065 \text{ N}$ $1 \text{ dyne} = 10^{-5} \text{ N}$ $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$ $1 \text{ dyn cm} = 10^{-7} \text{ J}$ $1 \text{ kcal} = 4,1868 \times 10^3 \text{ J}$ $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$ $1 \text{ kpm} = 9,8067 \text{ J}$ $1 \text{ Btu} = 1,0551 \times 10^3 \text{ J}$ $1 \text{ PSh} = 2,6478 \times 10^6$ $1 \text{ W} = 3,413 \text{ Btu} / \text{h}$
--	---

1.8 Temel Akış Analizi Teknikleri

Analiz yaptığınız fiziksel bir çalışmanın yarattığı sorunu çözmenin ilk adımı analizini yaptığınız çalışmayı en iyi şekilde tanımlayabilmektir. Akışkanların hareketi oldukça karmaşık bir yapı göstermektedir. Bu nedenle akışkanların hareketleri ile ilgili problemlerde kütle, momentumun korunumu ve enerji korunumu yanında akışkanın sınır şartlarının da belirlenmesi elzem olmaktadır. Bu bağlamda üç farklı analiz yöntemi kullanılabilmektedir:

1. Denetim (Kontrol) Hacmi, ya da integral analiz
2. Sonsuz küçük sistem, ya da diferansiyel analiz
3. Deneysel çalışma, ya da boyut analizi

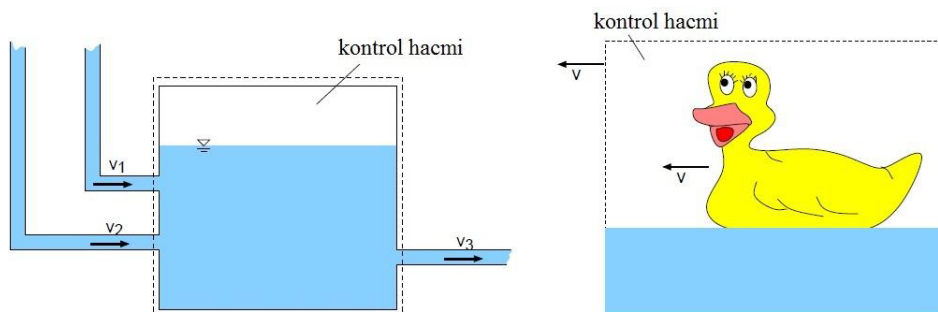
Akış, tüm çözümlerde, akışkanlar mekaniğinin üç temel yasasını, bir termodinamik hal bağıntısını ve ilgili sınır koşullarını sağlamalıdır:

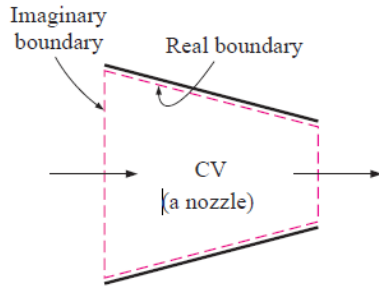
1. Kütle, momentum ve enerjinin korunumu (Süreklilik)
2. Momentumun korunumu (Newton'un ikinci yasası, Kuvvetlerin dengesi)
3. Termodinamiğin birinci yasası (Enerjinin korunumu)
4. Hal denklemi $\rho = \rho(p, T)$ gibi
5. Katı yüzeyler, arakesit yüzeyleri, girişler ve çıkışlarda uygun sınır koşulları

1.8.1 Sistem ve Kontrol Hacmi

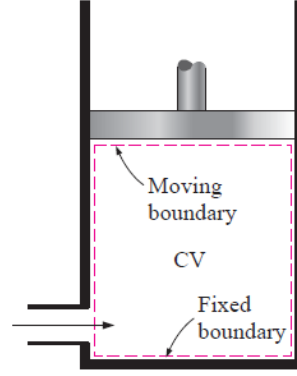
Sistem, sabit veya hareketli sınırlar ile çevrelenmiş belirli bir kütleyi temsil etmektedir. Akışkanların akımında sistem sınırları hareketli olduğundan formülasyonun, akım alanında problem bölgesi olarak seçilen ve hareketsiz sınırları olan bir hacme uygulanması gereği vardır. Kontrol hacmi olarak tanımlanan bu hacim, duruma göre sabit veya hareketli olabilir. Kontrol hacmini çevreleyen kapalı yüzeye kontrol yüzeyi denir. Kontrol hacmi kullanılarak problemin çözümünde takip edilen yola kontrol hacmi yaklaşımı denir. Kontrol hacminin şekli ve büyüklüğü problemin türü ile yakından ilgilidir.

Kontrol hacminin seçimi farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Kontrol hacminin seçilmesindeki kriterlerde Şekil 1.19 de gösterildiği gibi durağan veya hareketli hacimler tercih edilebilir. Şekil 1.19 de bir deponun içerisine sol taraftan iki farklı boru ile su aktarıldığını görmekteyiz.



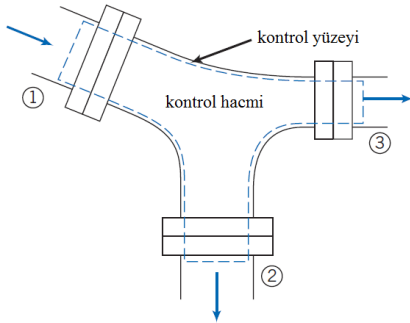


(a) A control volume (CV) with real and imaginary boundaries



(b) A control volume (CV) with fixed and moving boundaries

Şekil 1.19 Kontrol Hacimleri



Şekil 1.20 Boru birleşim bölgesinde kontrol hacmi ve kontrol yüzeyi

1.9 Problem Çözme Teknikleri

Akışkan hareketlerinin analizi çok sayıda problem yaratır. Bu problemleri çözmek için, kişi değişik denklemler, veriler, tablolar, kabuller, birim sistemleri ve sayılar ile uğraşmalıdır. Önerilen problem çözme adımları:

1. Verilen tüm sistem parametrelerini ve verilerini bir yerde toplayınız.
2. Gerekli olan tüm akışkan özelliklerini verilerini (ρ , μ , ...) tablolardan ve diyagramlardan bulunuz.
3. Eğer mümkünse SI birim sistemi kullanınız. Dolayısıyla herhangi bir dönüşüm faktörüne gerek kalmayacaktır.
4. Neyin sorulduğundan emin olunuz. Mühendislerden dikkatli okuma beklenir.
5. Her şeyi açıkça belirterek, sistemin ayrıntılı bir şeklini çiziniz.
6. Dikkatlice düşününüz ve sonra kabullerinizi sıralayınız. Buradaki gücünüz bilgidir; cevabı tahmin etmeye kalkmayınız.
7. Yukarıda verilen adımlara dayanarak, problem için uygun denklemleri, veri korelasyonlarını ve akışkan hal denklemlerini yazınız. Cebirsel işlemler yardımıyla, ya da denklemler karmaşıksa Mühendislik Denklem Çözücüsünü kullanarak, sorulanı bulunuz.
8. Sonuçları, verilerin sahip olacağı belirsizliği de gösterecek biçimde, uygun birimlerle, belirtiniz.

Problem Çözme Tekniği

Mühendislik uygulamalarında, özellikle zor ve karmaşık görünen problemlerin çözümünde sistemli bir yaklaşım büyük kolaylıklar sağlar. Bir mühendislik öğrencisi veya mühendis, karmaşık ve zor görünen bir problemi, bir dizi basit problemin çözümüne indirgeyerek problemin çözümünü gerçekleştirebilir. Bu amaçla aşağıdaki sıralama büyük kolaylıklar sağlar.

1. Problemin ifade edilmesi; problem, verilen bilgiler ve istenen büyüklükler şeklinde özetlenir.
2. Şematik çizim; incelenen fiziksel sistem gerçekçi bir şekilde hayali olarak tasarlanır ve şematik olarak gösterilebilir.
3. Kabuller ve yaklaşımlar; çözüme ulaşmak için uygun kabuller ve yaklaşımlar yapılır ve gerekli olduğu halde verilmeyen büyüklükler için uygun değerler alınır.
4. Fiziksel yasalar; problem ile ilgili tüm fiziksel yasa ve ilkeler uygulanıp yapılan kabuller ile problem mümkün olan en basit şekle indirgenir.
5. Özellikler; problem çözümünde gerekli olduğu halde bilinmeyen özellikler, bilinen haller için özellik bağıntıları ve/veya tablolardan bulunmalıdır.
6. Hesaplamalar; bilinmeyen niceliklerin belirlenmesi amacıyla bilinen büyüklükler, basitleştirilmiş bağıntılarda yerine yazılarak ve uygun birim dönüşümleri uygulanarak hesaplamalar yapılır.
7. Sorgulama, doğrulama ve irdeme; elde edilen sonuçların doğru olduğu ve mantıklı değer olarak alınabileceği muhakeme edilmelidir. Bulunan sonuçların sayısal olarak anlamlı olup olmadığı ve gerçek fiziksel sistemlere uygulanabilirliği de gözden geçirilmelidir.

Doğruluk, Hassasiyet ve Anlamlı Rakamlar

Mühendislik uygulamalarında, sonuçlar verilirken, çok fazla basamak sayısının verilmesi, olduğundan daha fazla bir hassasiyet anlamına geleceğinden istenmez. Mühendisler kullandıkları birim sisteminden bağımsız olarak, sayıları yerinde kullanabilmek için doğruluk, hassasiyet ve anlamlı basamaklar şeklinde olmasına dikkat etmelidirler. Mühendisler sayıların yerinde ve doğru kullanımı konusunda aşağıdaki üç ilkedен kesinlikle haberdar olmalıdırlar;

- 1. Doğruluk hatası:** Herhangi bir ölçümde okunan değerin gerçek değerden farkıdır. Okunan değerlerin ortalamasının gerçek değere yakınlığıdır. Genellikle tekrarlayabilir sabit hatalarla ilgilidir.
- 2. Hassasiyet hatası:** Okunan bir değerin tüm okunan değerlerin ortalamasından farkıdır. Ölçme aletinin çözünürlüğünün ve ölçümün tekrarlanabilirliğinin bir ölçüsüdür. Genellikle rastgele hatalarla ilgilidir.
- 3. Anlamlı basamaklar:** Önemli ve anlam taşıyan basamaklardır. Hesaplama yaparken, nihai sonuç problemdeki en az hassasiyetli parametre kadar hassastır. Anlamlı basamakların sayıları bilinmiyorsa, kabul edilen standart 3'tür. Tüm ödevlerde ve sınavlarda 3 anlamlı basamağa göre işlem yapılır.