

BÖLÜM 5: AKIŞ ÖLÇÜMLERİ

Prof.Dr. Muhammet KAYFECİ

Akış ölçümü neden yapılır?

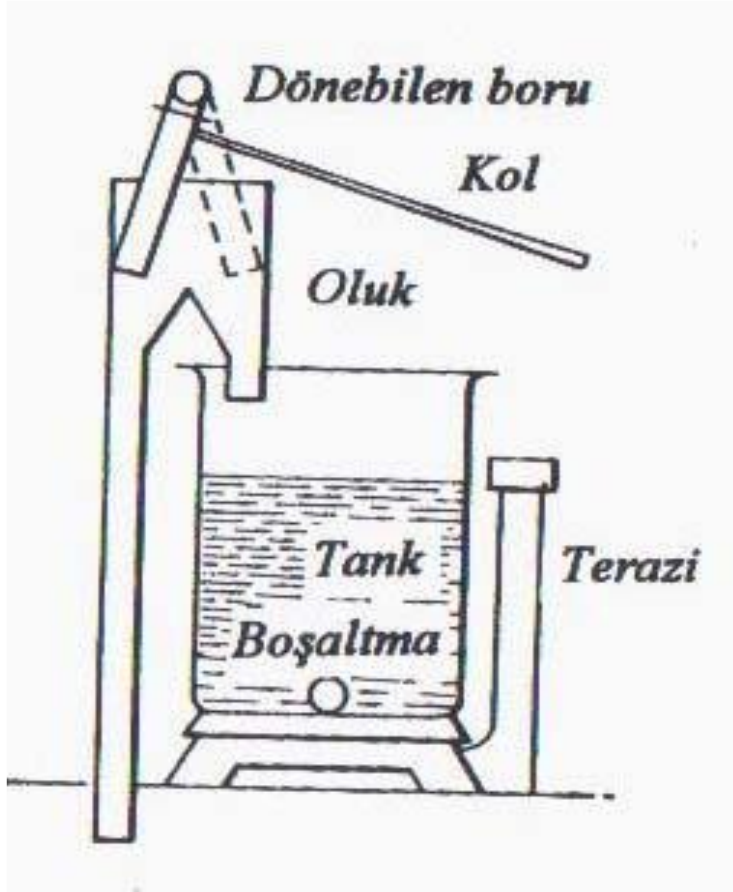
- Akışkanın hareketi sırasındaki hızı ve debisi, bilim ve sanayinin pek çok yerinde ihtiyaç duyulan bilgilerdir.
- **Akış hız ve debisinin ölçülmesi;**
 - biyolojik,
 - meteorolojik olayların incelenmesi,
 - endüstrinin çeşitli işlemlerinde ve
 - laboratuvarlardaki çeşitli deneylerin gerçekleştirilmesinde için çok önemlidir.

Akış ölçümü neden yapılır?

- İklimlendirme sistemlerinde akış/hız kontrolü yapılmaktadır.
- Su, doğalgaz, LPG, Benzin gibi ürünleri ölçümünde debi ölçümü yapılmaktadır.
- İnsan atardamarlarındaki kan debisi ölçümü
- Bir roketteki sıvı oksijen debisine kadar?

Herhangi bir akış ölçme işleminde ölçme cihazı ve yönteminin seçiminde başta cihazın hassasiyeti, kapasite aralığı ve fiyatı olmak üzere pek çok etken rol oynar.

Kütlesel debi ölçme



Kütlesel debi ölçme düzeni

- Belirli bir zaman aralığında akan akışkanın kütlesinin tartılarak tespiti en basit ve en hassas yöntemdir.
- Atmosferik şartlarda buharlaşmayan sıvılar için oldukça kolay bir yöntem olmasına rağmen buharlaşabilen sıvı ve gazlar için bu yöntemi kullanırken özel önlem alınmalıdır.

Kütlesel Debi

Kütlenin korunumu prensibine göre
içerisinde üretim olmayan bir sistem için;

$$\dot{m} = \left(\frac{m}{\Delta T} \right)_{giren} = \left(\frac{m}{\Delta T} \right)_{çıkan}$$

Sabit olduğu söylenebilir.

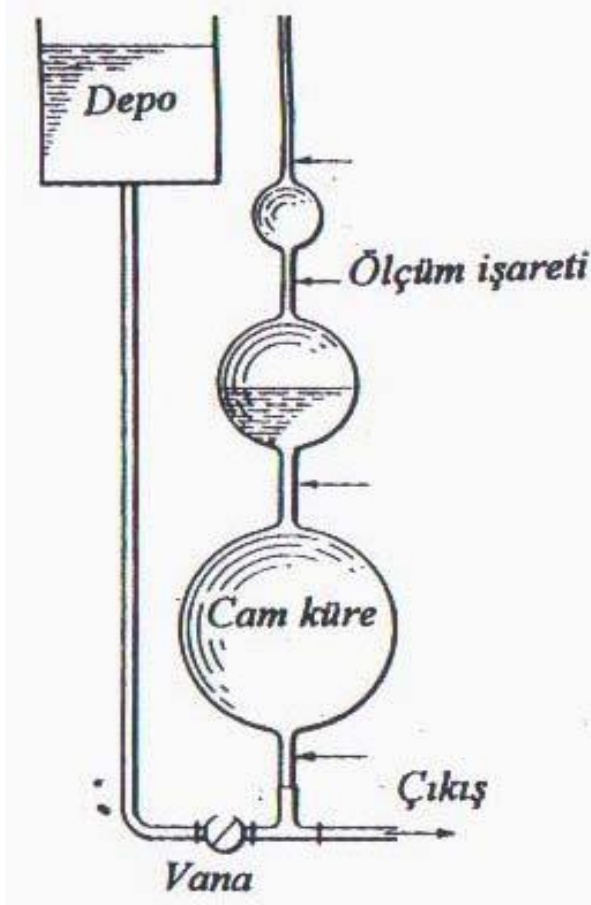
$\dot{m}$: kütlesel debi (kg/s)

m : kütle (kg)

Δt : zaman dilimi (s)

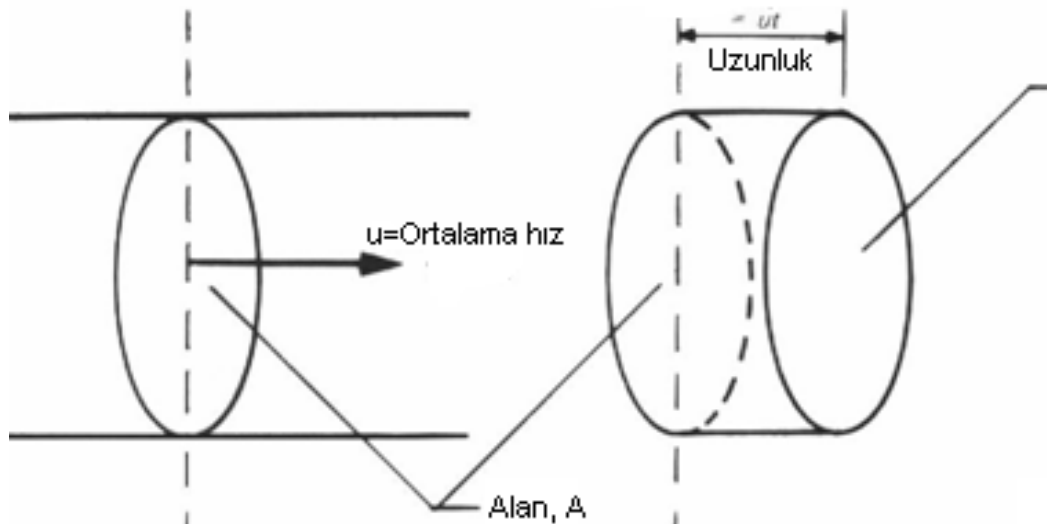
Birim alandan birim zamanda geçen kütle ise akı (kg/m²s) şeklinde tanımlanır.

Hacimsel debi ölçme



- Hacimsel debinin sürekli olarak tespiti istenen durumlarda *hacimsel süpürmeli ölçme cihazları* kullanılır.
- Bu cihazlarda ölçülen debi kümülatif olarak değerlendirilir ve bu değer sayısal olarak dişli mekanizmalar yardımı ile iletilerek değerlerin cihaz üzerindeki sayaçtan okunması sağlanır.
- Bu tip debi ölçerlerde hassasiyet ve yük kayıpları debi ile birlikte akışkan viskozitesine de bağlıdır.

Hacimsel Debi



$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{V}{\Delta t}$$

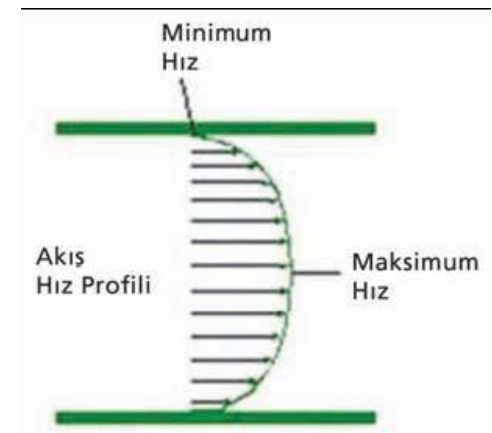
$$Q_v = \frac{V}{\Delta t} = \int \frac{\Delta x}{\Delta t} dA = \int v_p dA$$

Sıvının hareket mesafesi “t” zamanında “u.t”
Hareket eden sıvının hacmi; .

$$V = u.t.A$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \rightarrow \dot{V} = u.A$$

u, m/s, A, m² biriminde olduğunda $\dot{V}$ m³/s birimindedir.



KAPALI KANALLARDA DEBİ ÖLÇME

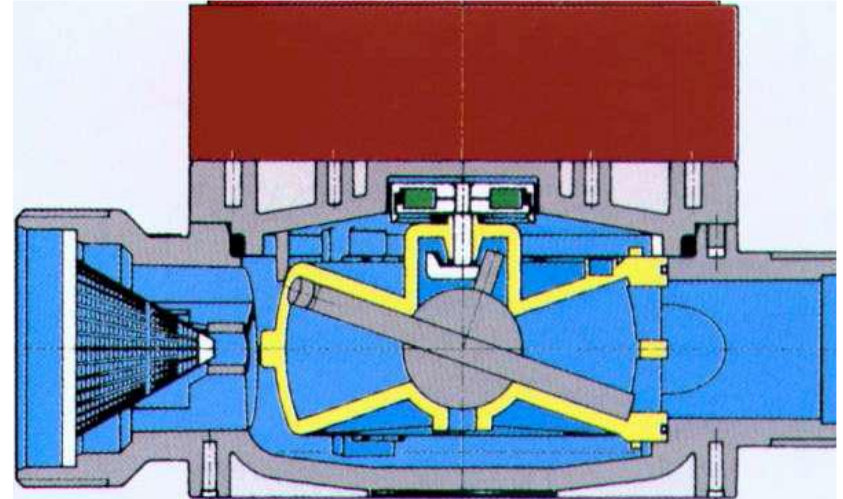
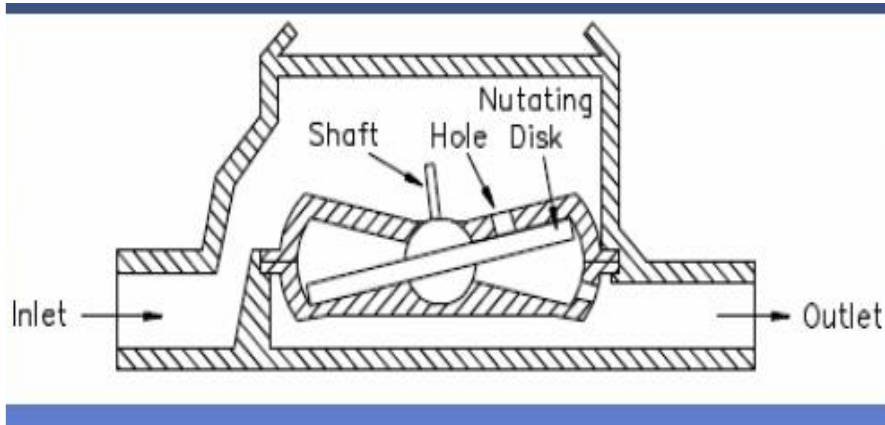
Kapalı kanal akışlarında kullanılan pek çok akış ölçer vardır. Bu cihazlar genellikle "pozitif yer değiştirmeli hız ve kütle ölçerler", "diferansiyel basınç ölçerler" olarak sınıflandırılabilirler.

- Pozitif yer değiştirmeli ölçerlerde ise temel prensip, yer değiştiren akışkan hacmini ölçmektir. Ölçerin toplam devir sayısı, geçen toplam hacmin ölçülmesini sağlar.
- Diferansiyel basınç ölçerlerde cihaz üzerinde iki farklı kesitte basınç farkı ölçülerek hidrodinamik teori yardımıyla debi hesaplanır.

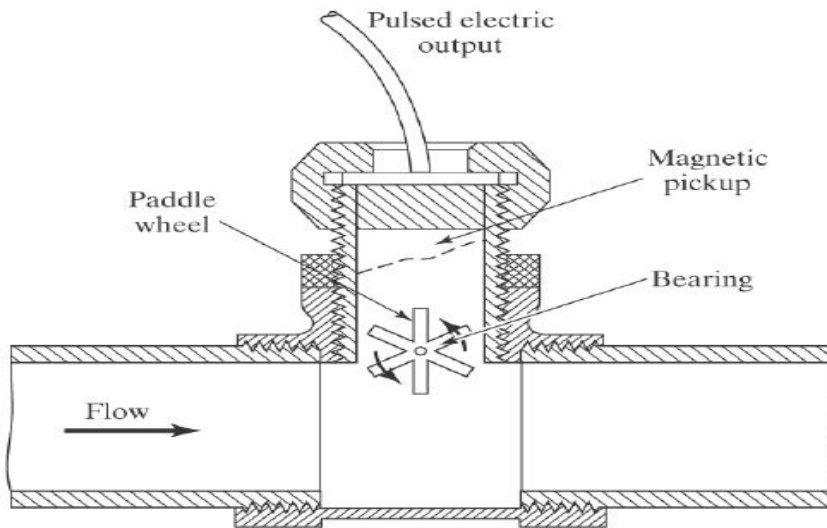
Pozitif yer deęiřtirme yöntemleri

1. Döner diskli akış ölçer
2. Paletli akış ölçer
3. Loplul akış ölçer

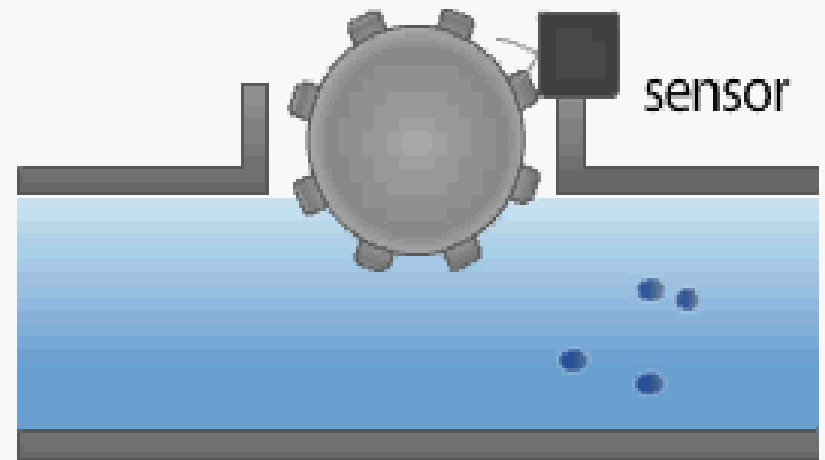
1. Döner diskli akış ölçer



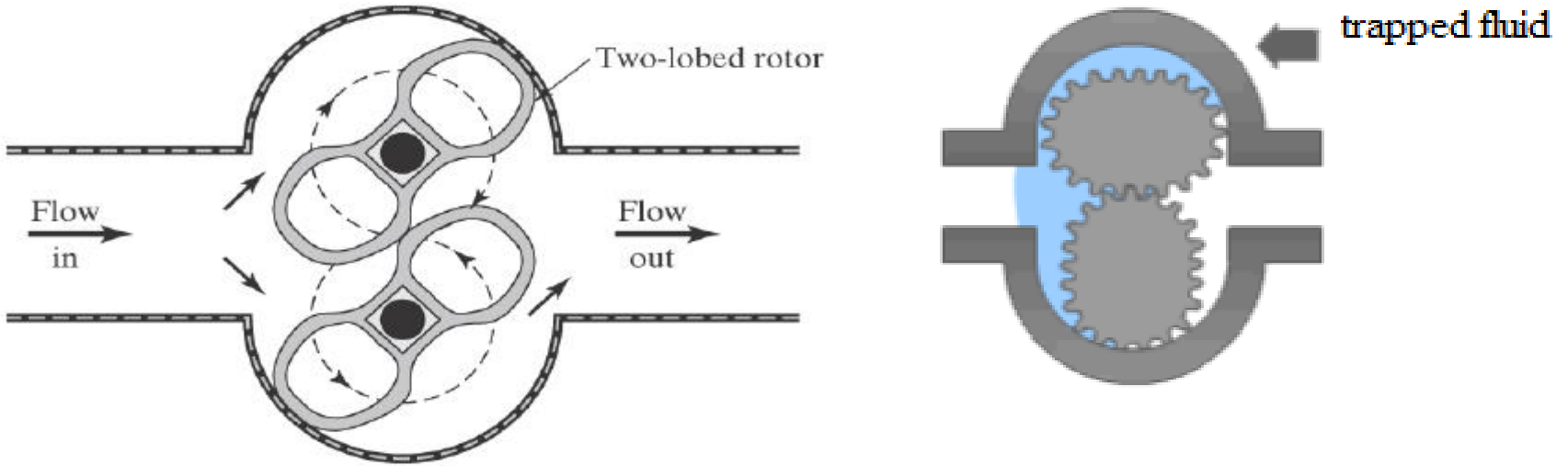
2. Paletli akış ölçer



Unregistered HyperCam 2



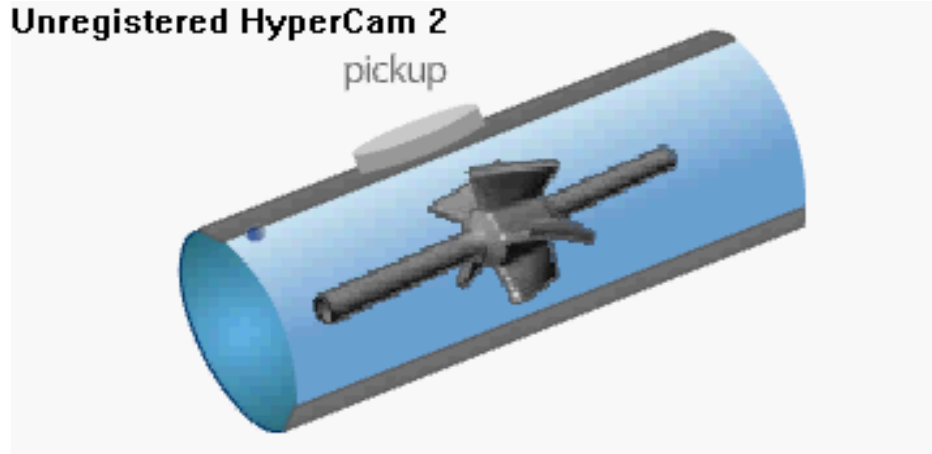
3. Loplu akış ölçer



- Aşağıda ise iki mil üzerine yerleştirilen iki sürücü eleman hem birbirlerine hem de gövdenin cidarlarına tatlı bir şekilde alıştırmış olup çok küçük sürtünmeye sahiptir. Bu sistem sıvılarda kullanılabilmesine rağmen daha çok gazlarda tercih edilmektedir.

4-Türbinli tip debi ve hız ölçerler

Türbinli tip debi ölçerler sıvı ve gazlarda kullanılabilir. 3-12000 m³/h gibi geniş bir aralıkta kullanılabilen bu debi ölçerlerin hassasiyetleri $\pm 0.2\%$ seviyesindedir.



Bu cihazdaki hacimsel debi;

$\dot{V} = K \cdot n \cdot A \cdot l$ bağıntısı ile bulunabilir.

n: Saniyedeki devir sayısı (1/s)

A: Cihazın serbest geçiş kesiti (m²)

l: Kanatçıkların hatvesi (m)

K: Karakteristik katsayısı

Kapalı Kanallarda debi ölçme yöntemi

(Basınç farkı ile akış ölçümü)

Kapalı kanallarda kesit daralması oluşturularak, akışta meydana gelen basınç farkının ölçülmesi ile akışkanın debisi ölçülür. Pratikte bu prensiple çalışan,

- Venturi
- Orifis
- Lüle

En fazla bu yöntemler kullanılır.

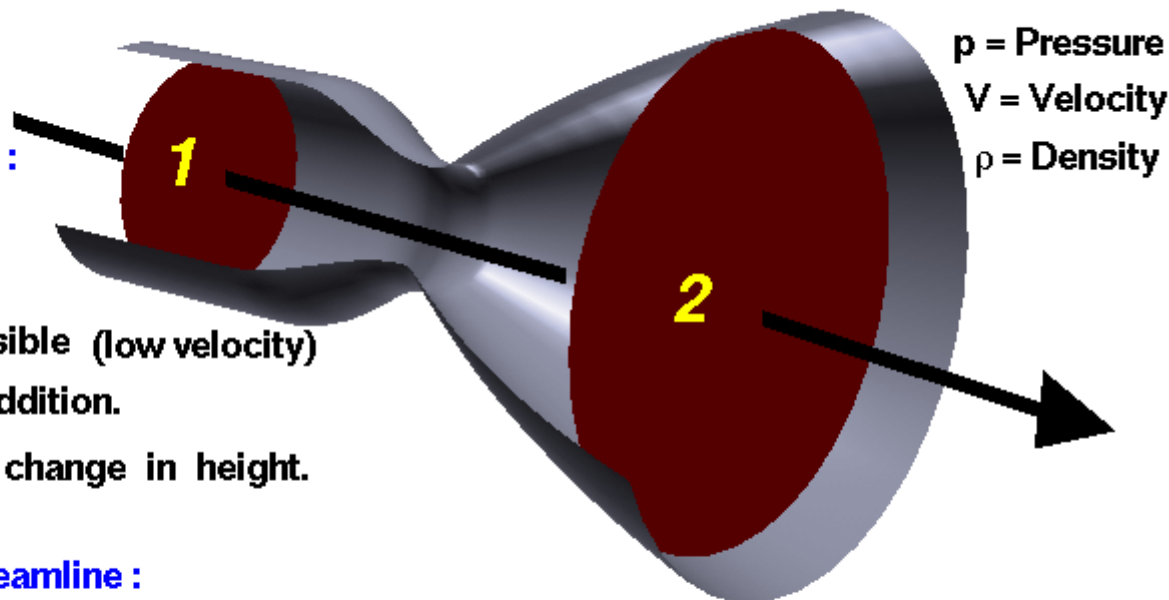


Bernoulli's Equation

Glenn
Research
Center

Restrictions :

Inviscid
Steady
Incompressible (low velocity)
No heat addition.
Negligible change in height.



Along a streamline :

static pressure + dynamic pressure = total pressure

$$p_s + \frac{\rho V^2}{2} = p_t$$
$$\left(p_s + \frac{\rho V^2}{2} \right)_1 = \left(p_s + \frac{\rho V^2}{2} \right)_2$$

$$m = \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad v_1 = v_2 \frac{A_2}{A_1} \quad (1)$$

yanı sıra,

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \quad (2)$$

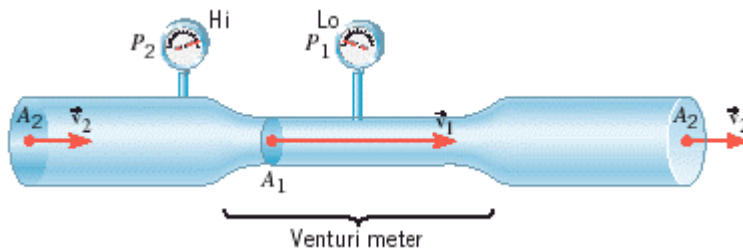
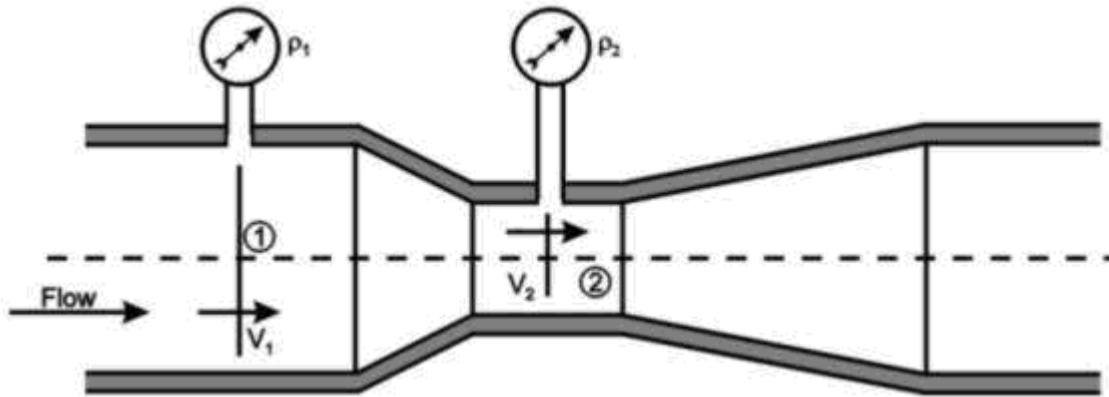
şöyle yazılabilir. Akışkan sıkıştırılamaz $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, iki kesitteki yüksekliğin etkisinin diğer terimler yanında ihmal edilebilmesi $z_1 \approx z_2$ durumunda ve süreklilik denklemi gözönüne alınırsa, ikinci kesitteki ortalama akışkan hızı için

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_2 / A_1)^2}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

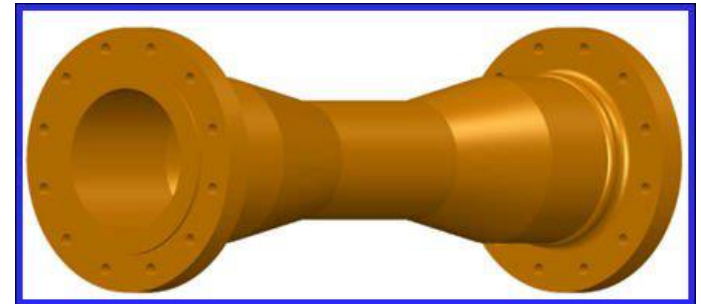
teorik debisi elde edilebilir. Bu kesitteki teorik kütleli debi ise

$$m_{teo.} = v_2 \rho A_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2 / A_1)^2}} \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)}$$

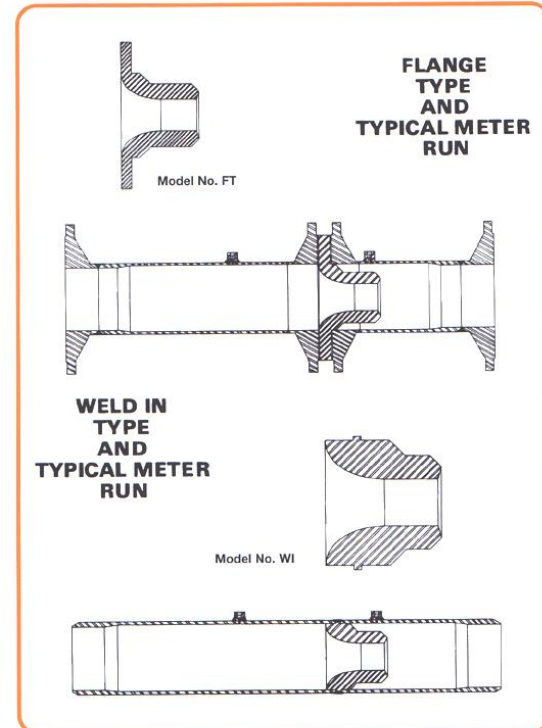
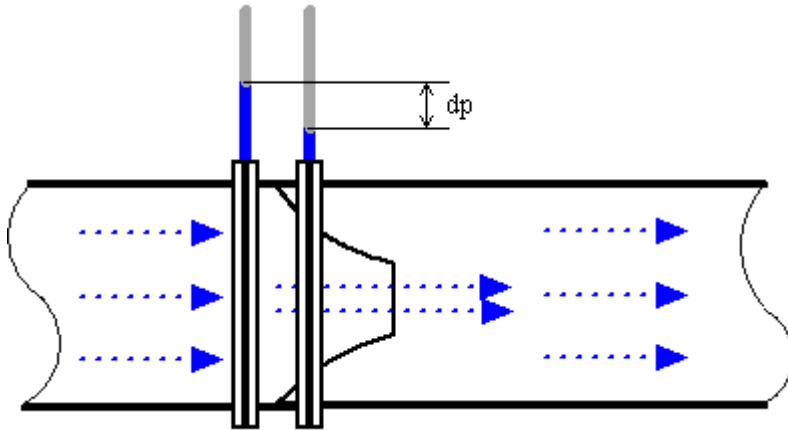
Venturimetre



$$v_2 = \frac{l}{\sqrt{1 - (A_2 / A_1)^2}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

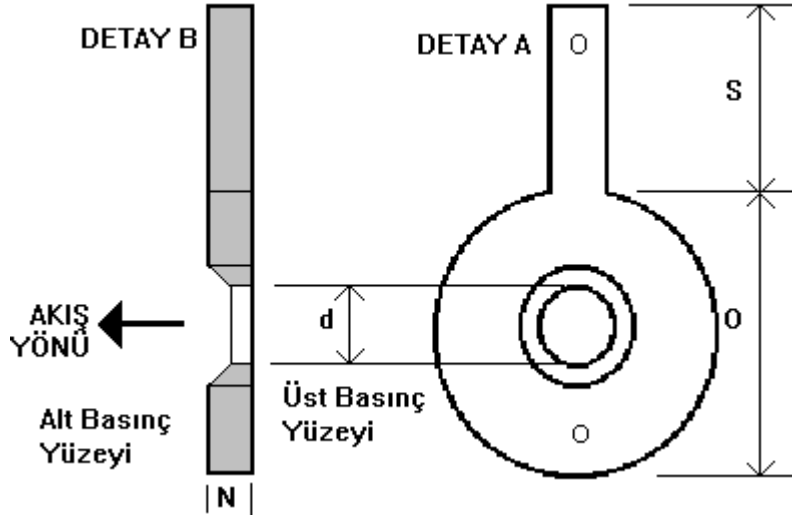


Lüle=Nozul



© Copyright Imperial Flange & Fitting Company, Inc.

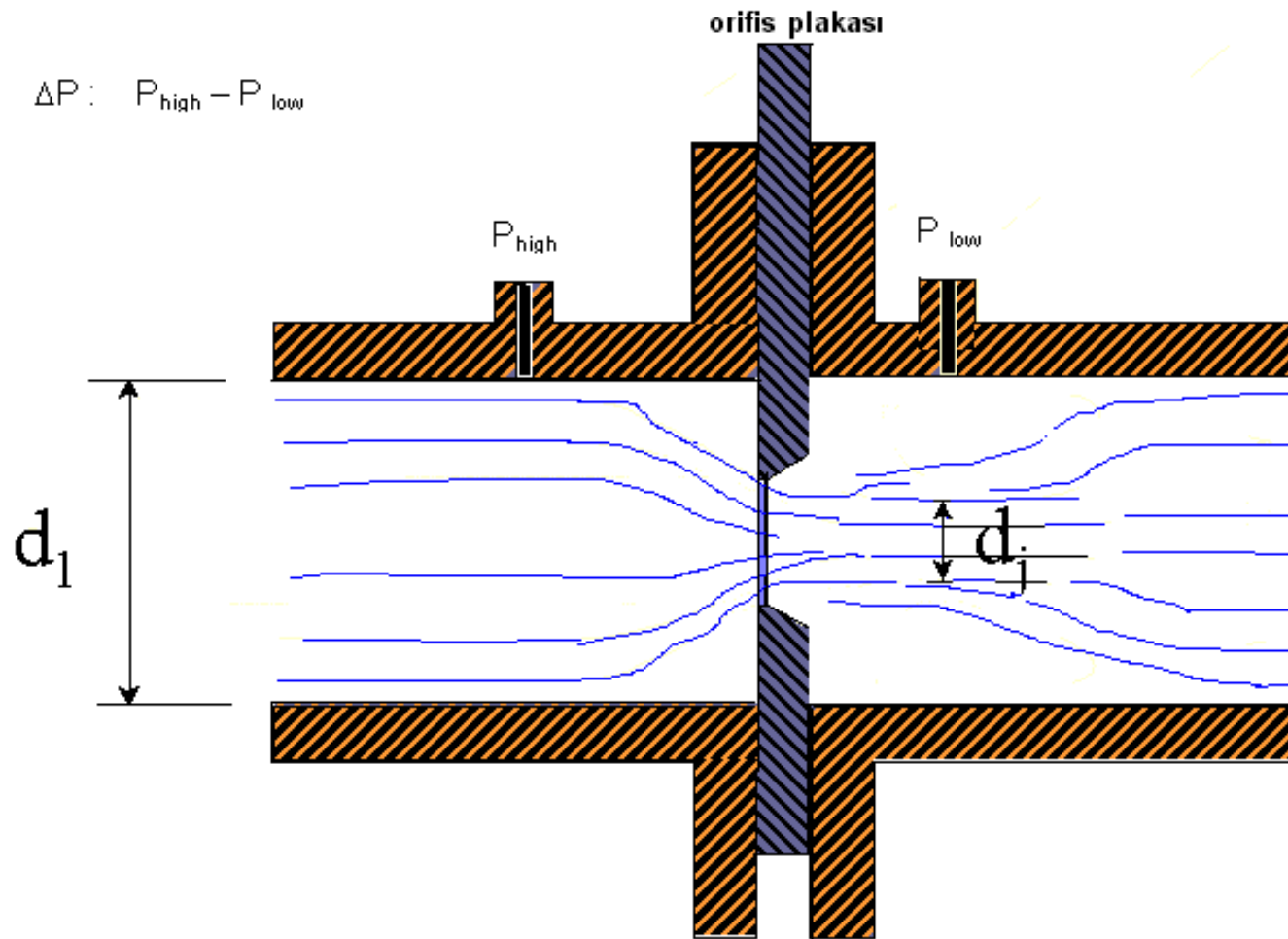
Orifis



Orifis plakası bir hatta iki flanş arasına monte edildiğinde akışkanın giriş yeri yüksek basınçta çıkış yeri ise daha düşük basınçtadır.

Bu basınç farkı içinden geçen akışkanın oranıyla değişecektir.

$$\Delta P: P_{\text{high}} - P_{\text{low}}$$



– Venturimetre

- Ölçüm hassasiyetleri çok yüksektir.
- Cihazın biçiminden dolayı erozyona dayanıklıdır.
- Üretimleri zor, ağır ve pahalıdır.

– Lüle

- Boyutları venturimetreler kadar uzun değildir.
- Erozyona karşı dayanıklıdır ve tortu tutmaz.
- Üretimleri pahalıdır.
- Basınç ölçme noktalarının konumlarına dikkat edilmelidir.

– Diyafram

- Üretimleri basit ve ucuzdur.
- Az yer kaplar ve montajı her yere kolaylıkla yapılabilir.
- Büyük kapasitedeki ölçümler için uygun değildir.
- Dayanıklı olmadıklarından dolayı darbe aldıklarında şekilleri bozulabilir.
- Boru tipi, akışın daraldığı kesit tipi ve flanş tipi olmak üzere basınç ölçüm noktasına göre üç çeşittir.

AÇIK KANALLARDA DEBİ ÖLÇÜMÜ

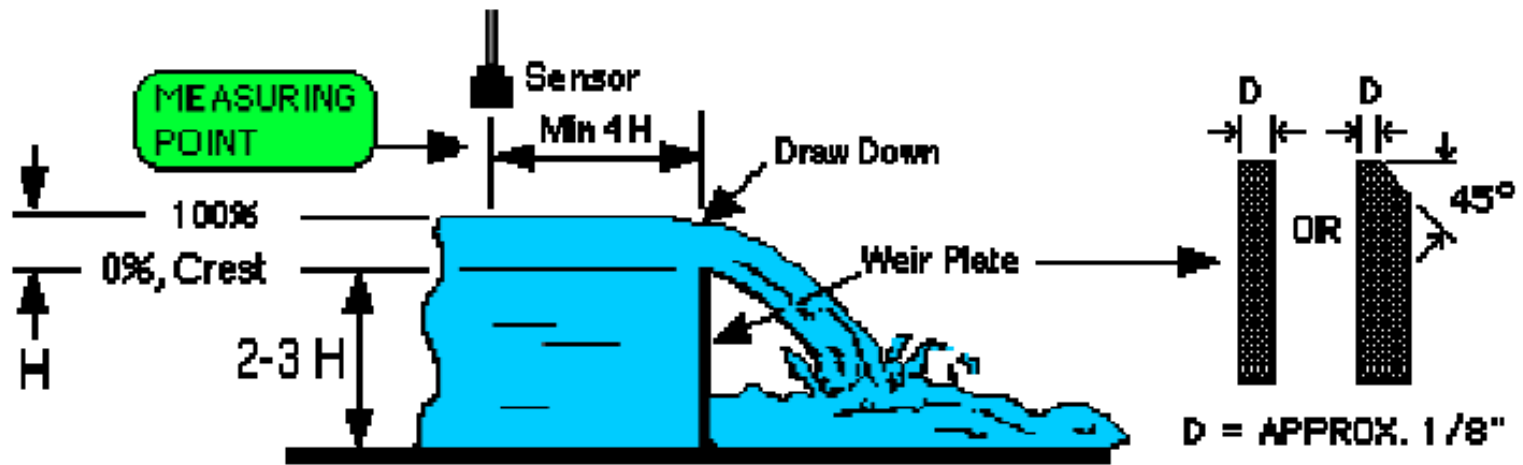
Sıvıların bir kanal içerisinde veya bir boru içerisinde boru kesitini tam doldurmadan akması durumuna açık kanallarda akış denir.

- Açık kanallarda akışta akışkanın bir yüzeyi serbest, diğer yüzeyleri ise katı yüzeylerle çevrelenmiştir.
- Bu tip akışlarda debi ölçümü kanalın bir noktasına yerleştirilen savak adı verilen elemanlar ile yapılır.

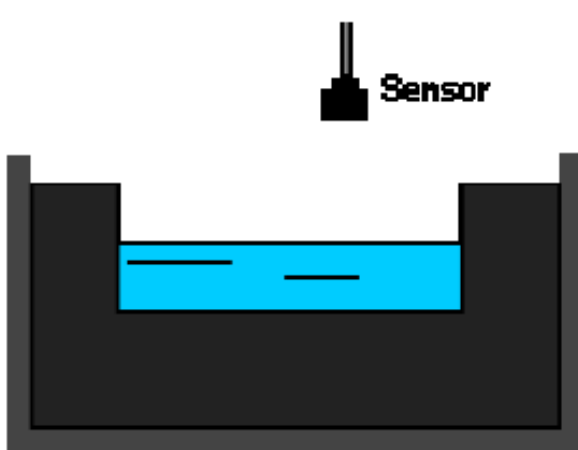
Savaklar:

- ❖ Kesitlerine göre;
 - Dikdörtgen
 - Üçgen
 - Trapez
- ❖ Akış biçimlerine göre;
 - Yapışık
 - Serbest
 - Dalmış savaklar olarak sınıflandırılabilir.

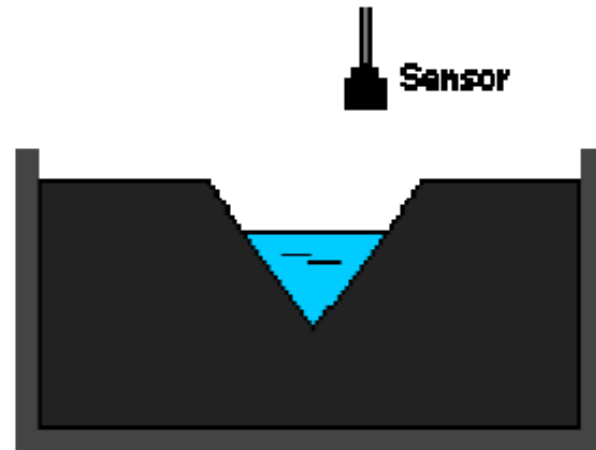
AÇIK KANALLARDA DEBİ ÖLÇÜMÜ



H = Maximum Head Rise



Rectangular Weir with End Contractions



Y-Notch Weir

Sharp-Crested Rectangular and V-Notch Weirs

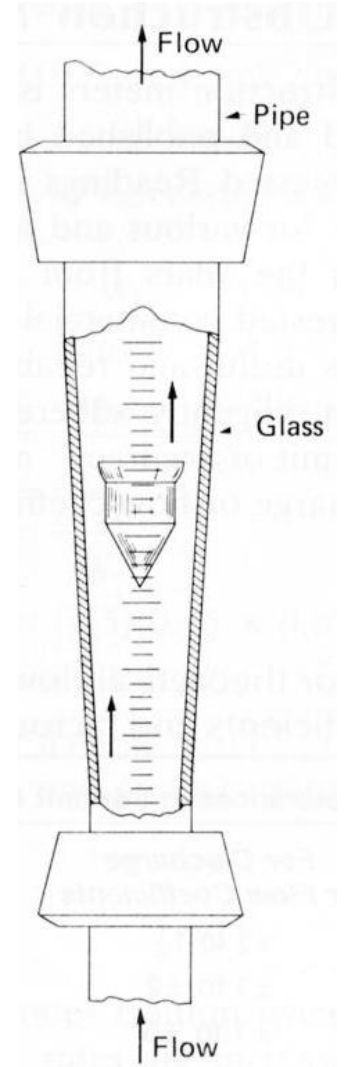
AÇIK KANALLARDA DEBİ ÖLÇÜMÜ



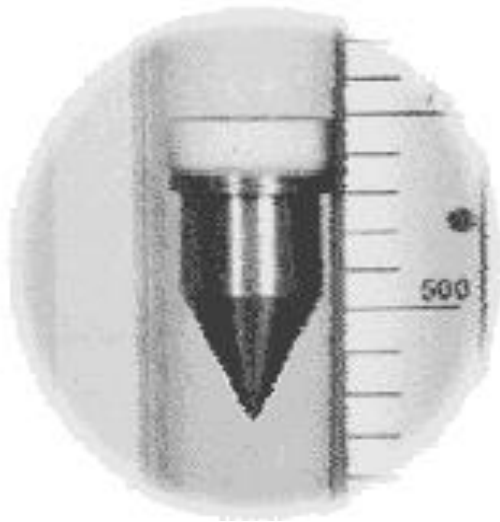
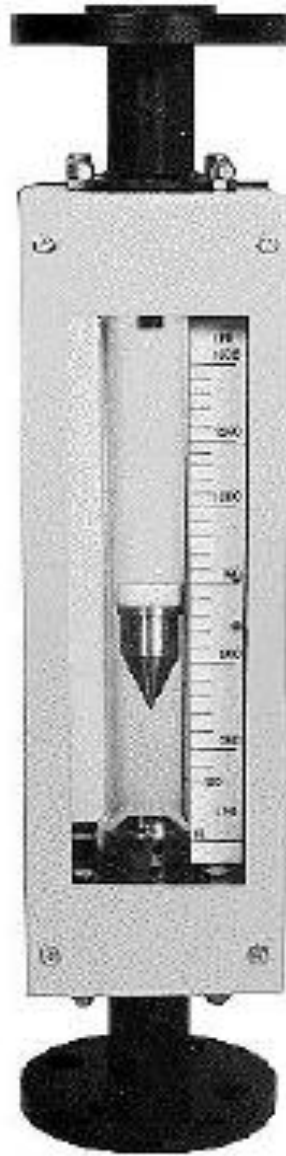
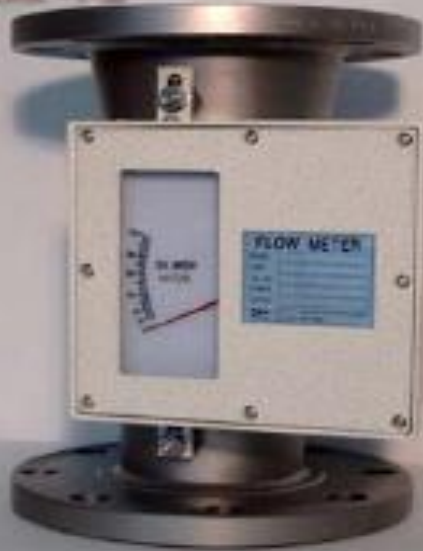
- Debi ölçmesi yapılan boru veya kanallarda akışı bozan dirsek, T ayrılma, vana gibi elemanlar ölçme hatalarına neden olabilirler.
- Bu nedenle bu tip elemanlar ölçme cihazlarına belli bir mesafede bulunmak zorundadır.
- Mesafeyi kısaltmak için akışı düzelten elemanlar kullanılabilir.

ROTAMETRELER

- Rotametrelerde debi, doğrudan şeffaf konik silindir üzerine işaretlenmiş taksimatlardan okunabildiği gibi elektrikli veya pnömatik sinyaller almak mümkündür.
- Cam veya plastik rotametreler 6 bar a kadar olan basınçlarda kullanılırken 16-64 bar gibi yüksek basınçlarda konik boru çelikten imal edilir.



KMF-1-B



Rotametreler

KATA TERMOMETRESİ



- Genellikle iklimlendirme tesisatlarında hava hızlarının bulunuşu için kullanılır.
- Ölçme prensibi termometrenin zaman sabitinin tespitine (τ) dayanır.
- Bu termometrenin haznesi nispeten daha büyüktür.

Başlangıçta ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklığa getirilmiş olan bu termometrenin sıcaklığındaki değişim;

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \exp(-t/\tau)$$

$$h = 0,37k \left(\frac{u}{\nu}\right)^{0,6} \frac{1}{d^{0,4}}$$

$$\tau = \frac{m \cdot c}{0,37kA(u/\nu)^{0,6}d^{0,4}}$$

$$u = \nu \left[\frac{m \cdot c}{0,37kA\tau d^{0,4}} \right]^{0,6} = \frac{K}{\tau^{0,6}}$$

T: termometreden okunan değer

T_{∞} : ortam sıcaklığı

m: termometre haznesinin kütlesi

A: haznenin dış yüzey alanı

d: haznenin çapı

u: akışkanın hızı

T_0 : termometrenin başlangıç değeri

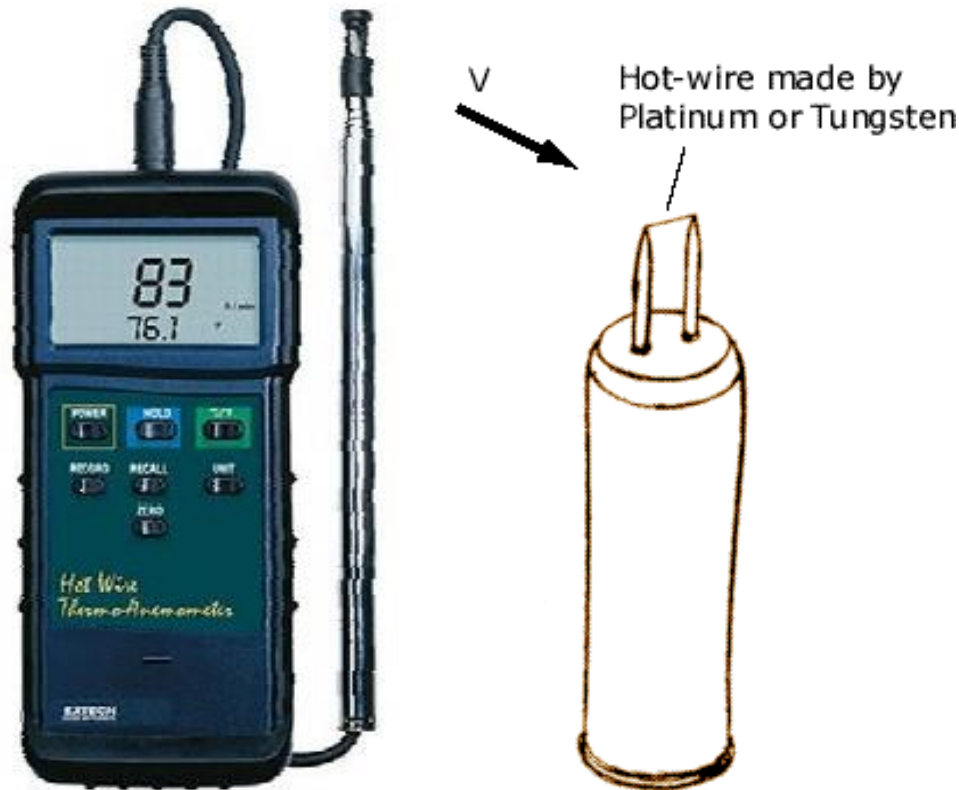
$\tau = mc/hA$

c: haznenin ısı kapasitesi

h: hazne ile ortam arasındaki ısı taşınım katsayısı

ν : Akışkanın kinematik viskozitesi

SICAK TEL ANEMOMETRESİ



- Akışkanlar mekaniğinde ve sanayide kullanılan önemli bir cihazdır.
- Bu cihaz elektrik akımı ile ısıtılan çok küçük elemanlardan oluşmaktadır.
- Gaz hızlarının ölçülmesinde kullanılan bu cihazın problemlerinin boyu 1-3mm uzunlukta ve 1-10 μm çapında tungsten, platin veya platin-iridyum alaşımından üretilir.

Sıcak tel anemometresi

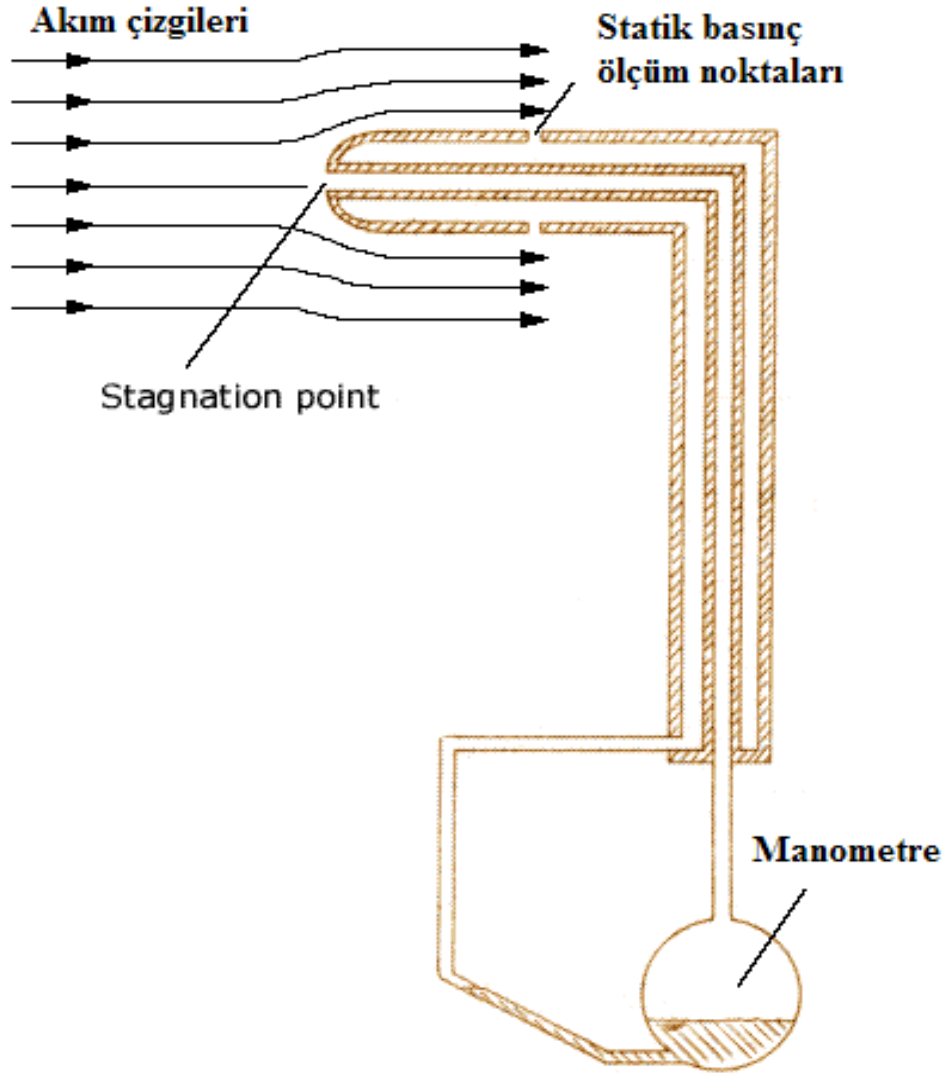
Avantajları

- Çok hassas ölçümler yapabilir.
- Yüksek tepki frekansı, $>10\text{kHz}$ - 400 kHz arası

Dezavantajları

- Pahalıdır.
- Toz toplanmasından dolayı sıklıkla kalibrasyona ihtiyaç duyması
- Kırılgan olması. Cihaz sadece temiz hava akışlarında kullanılabilir.

PİTOT TÜPÜ



Akışın herhangi bir noktasında statik ve toplam basınçlardan yararlanarak bu noktadaki hızı bulmak amacı ile pitot tüpü kullanılır.

Cross-section of a Typical Pitot Static Tube

Sıkıştırılmaz akışlar için hız bağıntısı

$$u = C \sqrt{\frac{2(P_t - P)}{\rho}}$$

0,2<M<1 aralığındaki sıkıştırılabilen akışlar için α akışkan içindeki ses hızı olmak üzere, Mach sayısı,

$$M = \frac{u}{\alpha} \leq 0,2$$

$$u = \sqrt{2TR \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_t}{P} \right)^{k-1/k} - 1 \right]}$$

T: akışkanın sıcaklığı

R: Akışkanın gaz sabiti

k: akışkanın özgül ısıları oranı

Ses Üstü Akış

Ses üstü hızlarda probun ön kısmında bir şok dalgası oluşacağından prob ile ölçülen toplam basınç serbest akıştaki toplam basınçtan farklıdır.

$$\frac{P_{\infty}}{P_{0_2}} = \frac{\{[2k/(k+1)]m_1^2 - (k-1)/(k+1)\}^{1/(k-1)}}{\{[(k+1)/2]m_1^2\}^{k/(k-1)}}$$

Bağıntıda “C” pitot tüpünün düzeltme katsayısını, “P_t”, toplam basıncını, “P” statik basınç, “ ρ ” akışkanın yoğunluğunu göstermektedir. Standart olarak yapılmış bir pitot tüpünde Reynold sayısı, $Re = u \cdot d / \nu \geq 700$ için, C düzeltme katsayısı %1 hassasiyetle 1 değerine eşittir. $Re < 700$ için bu katsayı 1 değerinden azalmakta olup $Re=300$ için yaklaşık C=0,94 değerindedir.

Örnek: Bir pitot tüpü ile 30 °C sıcaklıkta, 1 bar basınçtaki havanın hızı ölçülüyor. 5 mm çapındaki pitot tüpünde okunan basınç farkı;

- a) 300 Pa olduğuna göre,
- b) 20000 Pa olduğuna göre hava hızlarını bulunuz?

Çözüm:

30 C sıcaklıkta, 1 bar basınçtaki havanın fiziksel özellikleri

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3, \nu = 15,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, R = 287 \text{ J/kgK}, k = 1,4$$

Olduğuna göre ve ilk yaklaşıkla pitot tüpünün düzeltme katsayısı $C = 1$ olarak alındığında,

a)

$$\Delta P = 300 \text{ Pa için}$$
$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (300)}{1,2}} = 22,4 \text{ m/s}$$

elde edilir. Bu durumda Re sayısı;

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} = \frac{(22,4)(0,005)}{15,7 \cdot 10^{-6}} = 7121 > 700$$

Olduğundan, hız için ikinci bir hesaba gerek yoktur.

b)

$\Delta P = 20000 \text{ Pa} = 0,2 \text{ bar}$ için ilk yaklaşıkla hız için

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (20000)}{1,2}} = 182,6 \text{ m/s}$$

Elde edilir. bu şartlarda ses hızı;

$$a = \sqrt{(1,4)(287)(273 + 30)} = 349 \text{ m/s}$$

ve

$$M = \frac{u}{a} = 0,523 > 0,2, \quad P_t = 1 \text{ bar}, \quad P = 1 - 0,2 = 0,8 \text{ bar}$$

Olduğu için, düzeltilmiş hız;

$$u = \sqrt{2(287)(303) \frac{1,4}{1,4 - 1} \left[\left(\frac{1}{0,8} \right)^{(1,4-1)/1,4} - 1 \right]} = 200,2 \text{ m/s}$$

bulunur.

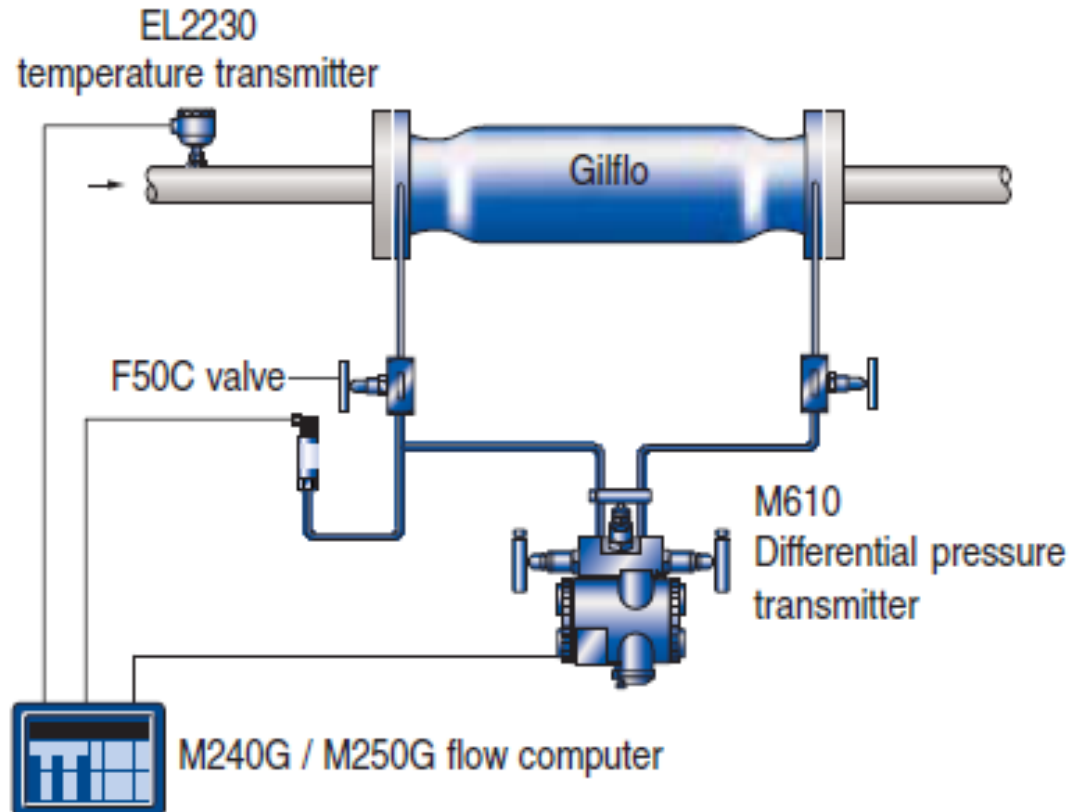
Pervaneli anemometre

- Pervanenin dönüş hızı hava debisi hakkında bilgi verir.



Gilflometre

- Yüksek basınçlı gaz bulunan uygulamalarda kullanılır.



Ultrasonik akış ölçer

- Ultrasonik akış ölçerlerin ölçüm prensibi, sesin akan akışkan içerisindeki iletim zamanına dayanır.
- Bu yöntemle, sesin akışkan içerisinde ileri ve geri yönler arasındaki geçiş süresine göre akış hızı belirlenir.



Akışı Görünür Hale Getiren Yöntemler

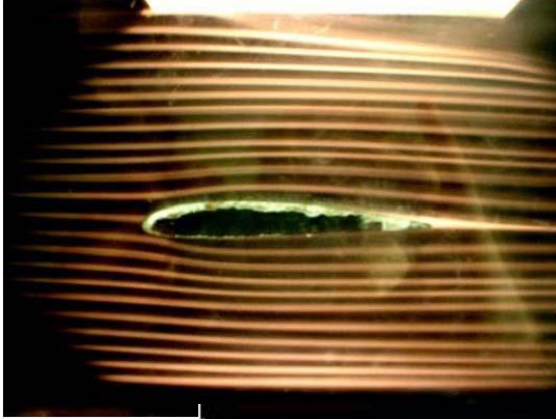
- Prop tipi aletlerden farklı olarak akışı görünür hale getiren yöntemlerdir.

İki prensibe göre işlerler;

- – Akışkanın içerisine madde ilave ederek.
- – Akışkanın optik özelliklerini kullanarak.

Akışı izleyen madde ilavesi

- Akışı izleyebilecek boya, gaz kabarcıkları, duman veya küçük katı parçacıklar deney parçasının bütün yüzeyinden, yüzeyindeki deliklerden veya küçük yarıklardan yada serbest akış içine yerleştirilen küçük borulardan akışa verilir.
- Uygun bir aydınlatma kullanılarak sistemin izlenmesi sağlanır.

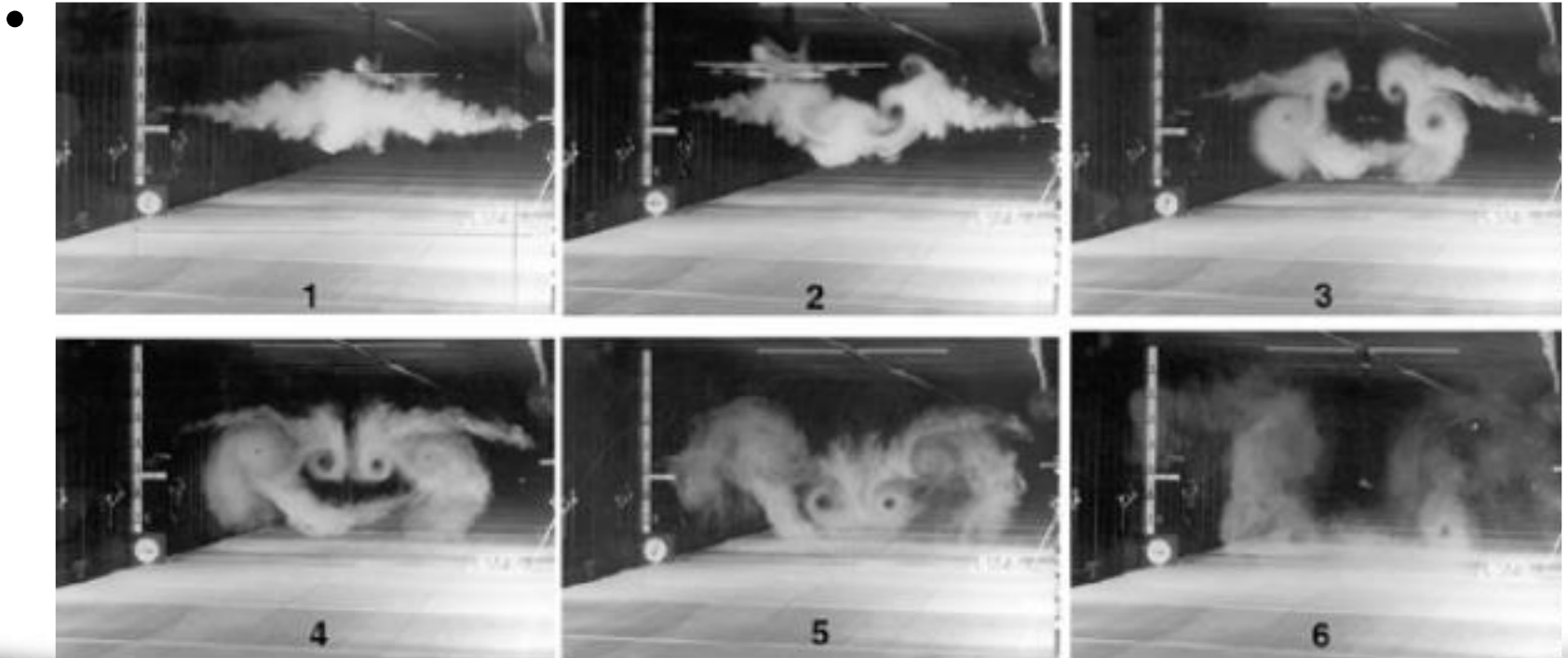


Smoke-flow visualization over an automobile

Akışı görünür hale getirmek için kullanılabilecek maddeler

Duman: Test alanına ince bir duman tabası verilerek akış görselleştirilir.

- Kullanımı kolay
- Test yapılan ortamı çabucak doldurabildiğinden havalandırmanın iyi yapılması gereklidir.

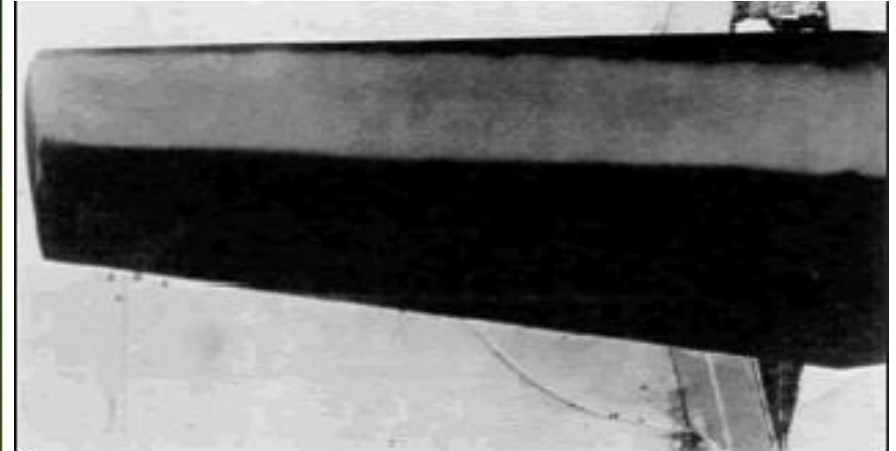
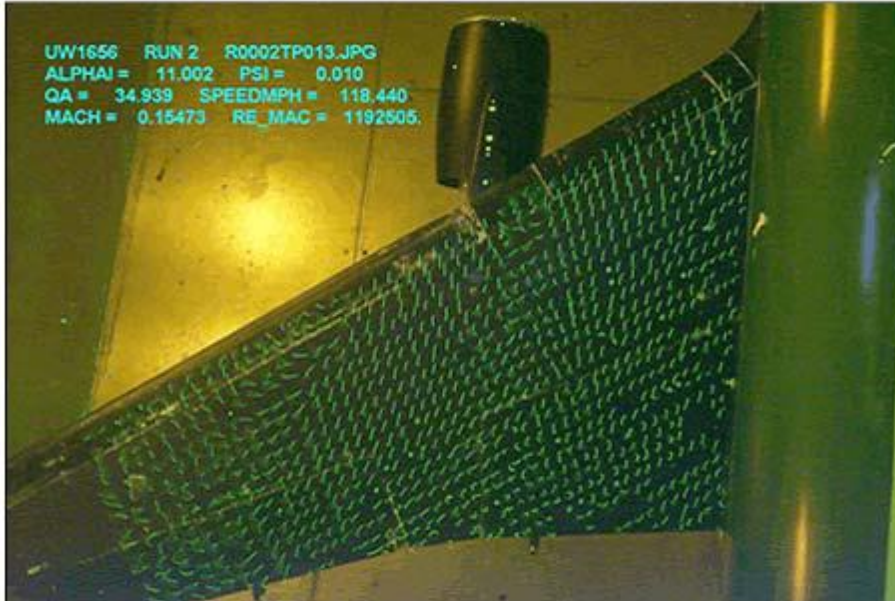


İplikçik yöntemi: Test parçasının üzerine yapıştırılan iplikçikler ile yapılan akış görselleştirmesidir.

- Yerleştirilmesi kolay ve her şekilde görselleştirmeye izin veren bir yöntemdir
- Parçanın üzerine yapıştığından dolayı detaylı bir bilgi vermez.

Süblimleşme: Naftalin ve trikloroetilenin test parçası üzerine sürülmesi ile uygulanır. Parça üzerinde test yapıldıktan sonra parça üzerindeki süblimleşmeye bakılır. Türbülanslı alanlar laminar alanlardan daha hızlı süblimleşir.

- Laminer ve türbülanslı alanların iyi bir gösterimini yapar.
- Model pozisyonunu değiştirmenize izin vermez.
- Test parçası mutlaka koyu renkte olmalıdır.



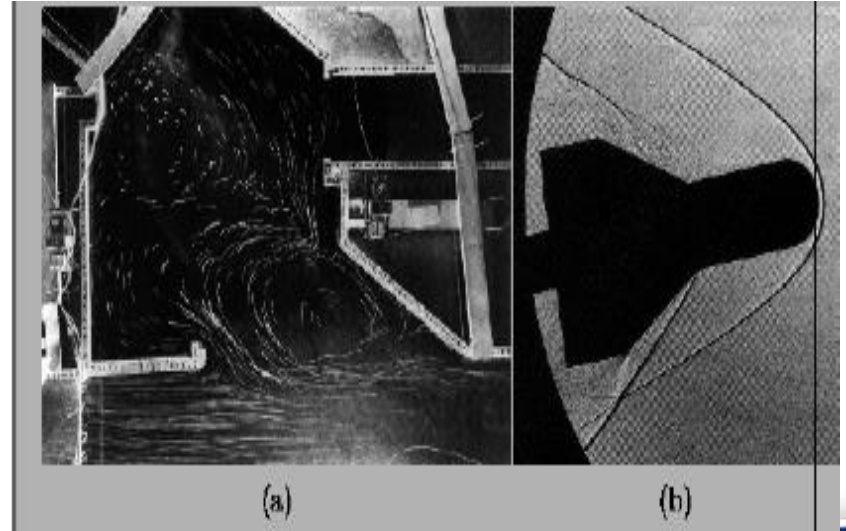
Optik yöntemler

Gölge tekniği : Işığın sapması ile oluşan parlak ve karanlık bölgeler doğrudan doğruya yada küresel aynalar yardımı ile yapılmış uygun bir düzenleme ile bir fotoğraf makinesinde incelenebilir. Gölge yöntemi genellikle yoğunluğun çok değiştiği şok dalgalarının, süpersonik akışların ve kütle transferi olaylarının incelenmesinde kullanılır.

Schlieren yöntemi : Gölge tekniği gibidir. İnce bir yarıktan çıkan ışının mercekler ile paralel hale getirilmesinden sonra yine bir mercek sistemi sayesinde işlenerek bir ekrana yansıtılması ile uygulanır.



Schlieren Visualization of Shocks and Expansions in a Plane Jet

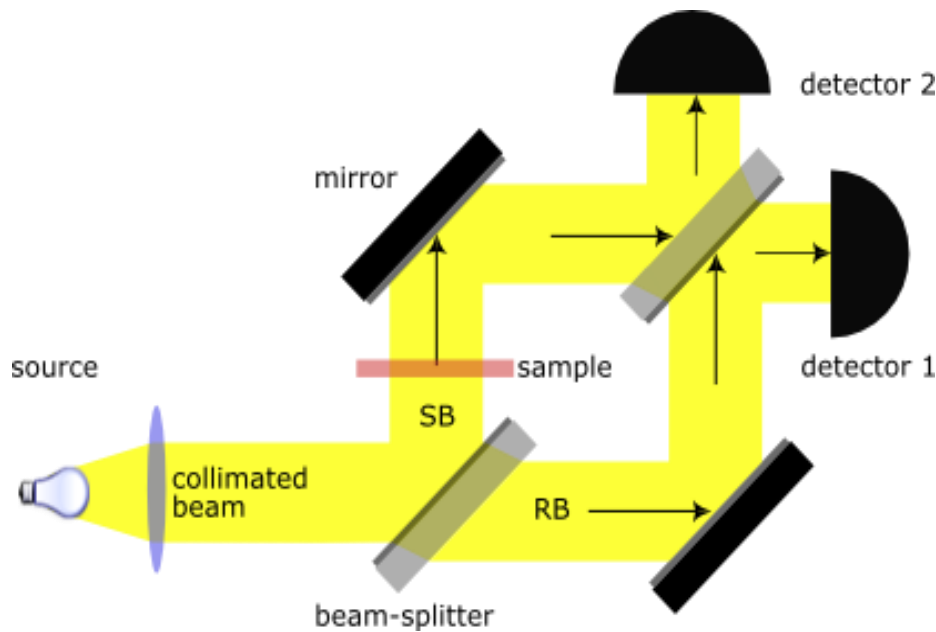


(a)

(b)

Interferometreler:

- Akışın görünür hale getirilmesinde kullanılan en hassas yöntemlerdendir.
- En çok kullanılan interferometreler *Mach-Zehnder Interferometresi* ile *Holografik interferometreler*dir.



Mach-Zehnder Interferometresi

