



T.C.

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HİDROLİK SİSTEMLERDE SİSTEM PARAMETRELERİNİ
ÖLÇMEYE YARAYAN ÖLÇÜM CİHAZLARI VE BU ALANDA
KULLANILAN YENİ TEKNOLOJİLER

HİKMET AKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA

HAZİRAN-2007

Mustafa Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Yrd.Doç.Dr.N.Adil ÖZTÜRK danışmanlığında, Hikmet AKTAŞ tarafından hazırlanan bu çalışma 05/06/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd.Doç.Dr. N.Adil ÖZTÜRK

İmza.....

Üye : Doç.Dr. Ali KOÇ

İmza.....

Üye : Doç.Dr. Sabit OYMAEL

İmza.....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Kod No:

İmza

...../...../.....

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ.....	III
SİMGELER DİZİNİ.....	IV
TABLolar DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Debi Ölçümleri.....	19
3.1.1. Pozitif Yerdeğiştirmeli Tip Debi Ölçerler.....	23
3.1.1.1. Türbin Tipi Akış Ölçüm Cihazları.....	23
3.1.1.2. Helisel Vidalı Tip Akış Ölçerler	26
3.1.1.3. Döner Loblu Akış Ölçerler	27
3.1.1.4. Çark Sistem Tip Akış Ölçerler	28
3.1.1.5. Mafsallı Kanat İle Debi Ölçümü.....	29
3.1.2. Değişken Alanlı Akış Ölçer	30
3.1.3. Coriolis Tip Akış Ölçerler	33
3.1.4. Vortex Akış Ölçerler	35
3.1.5. Basınç Farkından Yararlanarak Ölçüm Yapan Akış Ölçerler	36
3.1.5.1. Temel Teorileri	36
3.1.5.2. Orifisli Plakalar.....	39
3.1.5.3. Dall ve Venturi Boruları.....	42
3.1.6. Ultrasonik Akış Ölçerler.....	44
3.1.7. Akış Görüntüleme Tekniği Olarak Lazer Doppler Hız Ölçer... ..	46
3.1.8. Manyetik Debi Metreler	46

3.2. Basınç Ölçümleri.....	48
3.2.1. Manometreler.....	48
3.2.2. Basınç Ölçüm Sensörleri	52
3.3. Heisenberg ve Ölçmede Belirsizlik İlkesi	57
3.3.1. Heisenberg Belirsizlik İlkesini Tanımlamaya Yönelik	
Temel Kavramlar.....	57
3.3.1.1. Kuantum Fiziği.....	57
3.3.1.2. Max Planck'ın Kuantum Varsayımı	59
3.3.1.3. Foton Kavramı	60
3.3.1.4. De Broglie Varsayımı	61
3.3.1.5. Dalga Paketleri ve Parçacıklar	62
3.3.2. Heisenberg Belirsizlik İlkesi.....	63
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	68
5. ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ÖZET**HİDROLİK SİSTEMLERDE SİSTEM PARAMETRELERİNİ
ÖLÇMEYE YARAYAN ÖLÇÜM CİHAZLARI VE BU ALANDA
KULLANILAN YENİ TEKNOLOJİLER**

Bu çalışmada, hidrolik sistemlerdeki debi, basınç gibi değişkenleri ölçmeye yarayan ölçüm elemanları incelenmiş olup, bu alanda kullanılan klasik ve güncel ölçüm ekipmanları tanıtılmıştır. Ayrıca çalışmada, güncel teknolojilerin Heisenberg ölçüm belirsizliğiyle olan ilişkileri incelenmiş ve endüstriyel hidrolik uygulamalarda kullanılan debi ve basınç ölçerlerin seçim kriterleri hakkında araştırma yapılmıştır.

2007, 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Akışmetre; debi , basınç, Heisenberg belirsizlik ilkesi, sensör, hidrolik sistem

ABSTRACT**THE MEASUREMENT DEVICES USED FOR MEASURING THE SYSTEM
PARAMETERS IN HYDRAULIC SYSTEMS AND THE RECENT
TECHNOLOGIES IN THIS FIELD**

In this work, the measurement elements that are used to measure the variable factors such as the flow and pressure in hydraulic systems have been surveyed. Classical and current measurement elements have been introduced. Besides, the relations of current Technologies with Heisenberg uncertainty principle have been studied and research have been carried out about the selection of the flow and pressure measurers that are used in industrial hydraulic applications.

2007, 78 sayfa

Key Words: Flowmeter; flow , pressure, Heisenberg uncertainty principle, sensor, hydraulic system

ÖNSÖZ

Hidrolik sistemler sanayinin her alanında, özellikle imalat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. İmalat işlemleri sonucu ortaya çıkan ürünlerin kalite değerleri, imalatın en temel dayanak noktası olan ekonomiklik faktörüne bağlı kaliteli üretim büyük ölçüde bu sistemlerdeki değişkenleri doğru bir biçimde kontrol edilmesine bağlıdır. Bu çalışmada endüstriyel uygulamada kullanılan debi ve basınç ölçüm ekipmanları incelenerek, ölçümede oluşan hatalar ve bu ekipmanların kullanılabilirlik kriterleri araştırılmış ve ölçüm ekipmanları ile güncel teknolojilerin ana yapısını oluşturan sensör tabanlı ölçüm ekipmanlarının hassasiyet ve diğer önemli kriterleri hakkında yargılara varılmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmam boyunca, katkılarıyla beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen hocam, Sayın Doç.Dr. Ali KOÇ' a ve danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. N.Adil ÖZTÜRK' e teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER DİZİNİ**Q_V : Volümetrik debi****Q_M : Kütleli debi****v : Akışkan hızı** **ρ : Akışkan yoğunluk değeri****A : Kesit alanı****P : Basınç****Re : Reynolds sayısı****h : Yükseklik****C_D : Boşaltma katsayısı****f : Frekans** **λ : Dalga boyu**

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Debi ölçümleri için kullanılan cihazlardan bazıları ve bu cihazların dayandığı temel fiziksel etmenler.....	20
Tablo 3.2. Türbin tipi debi metrelerin teknik özellikleri.....	26
Tablo 3.3. Tipik bir helisel vidalı debi ölçerin teknik özellikleri.....	27
Tablo 3.4. Piezoelektrik etkili bir basınç sensörünün teknik verileri.....	55
Tablo 4.1. Çeşitli faz durumundaki akışkanlar için debi metre seçimi.....	68
Tablo 4.2. Teknik özellik ve performans karakteristiğine göre debi metreler.....	69
Tablo 4.3. Akışkan özelliklerine göre debi metre seçimi.....	70
Tablo 4.4. Hatta bağlama koşullarına göre debi metre seçimi.....	71
Tablo 4.5. Çevresel koşullara göre debi metre seçimi.....	72
Tablo 4.6. Ekonomiklik yönünden seçim.....	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Potansiyometre’de sınırlamalı ölçüm.....	3
Şekil 1.2. Ölçümde çözünürlüğün sonuç üzerindeki etkileri.....	4
Şekil 1.3. Ölçümde doğruluk.....	6
Şekil 1.4. Ölçüm sistemlerinin genel yapısı.....	12
Şekil 1.5. Tekrarlanabilirlik sonuçlarının grafikte gösterilmesi.....	13
Şekil 3.1. Çeşitli debi ölçerlerin 2001 yılı satış değerleri.....	21
Şekil 3.2. Akışkanın fiziksel faz durumuna göre kullanılan debi metreler.....	23
Şekil 3.3. Türbin tipi debimetrede oluşan magnetik akıların sensör tarafından algılanması.....	24
Şekil 3.4. Türbin tipi debi metrenin yapısı.....	25
Şekil 3.5. Helisel tip vidalı akış ölçerinin yapısı.....	27
Şekil 3.6. Döner loblu akış ölçer.....	28
Şekil 3.7. Çark sistem tip akış ölçer.....	29
Şekil 3.8. Mafsallı kanat ile debi ölçümü prensibi.....	29
Şekil 3.9. Rotametre sistemine etkileyen kuvvetler.....	30
Şekil 3.10. Değişken alanlı akış ölçerinin yapısı.....	31
Şekil 3.11. Bazı şamandıra kesitleri ve bu kesitlerin ölçme düzleminde aldıkları konumlar.....	32
Şekil 3.12. By-Pass metoduyla tesisattan ölçüm değerleri alan bir rotametre uygulaması.....	32
Şekil 3.13. Coriolis kuvveti etkisiyle sıvıda oluşan reaksiyon kuvvetinin grafığı	33
Şekil 3.14. Coriolis kuvveti prensibi.....	34
Şekil 3.15. Coriolis tip akış ölçer.....	34
Şekil 3.16. Vortex tip akış ölçerlerinin temel prensibi.....	35
Şekil 3.17. Vortex tip akış ölçerlerinin iç yapısı	36
Şekil 3.18. Diferansiyel basınç ölçerlerinin temel prensibi.....	37
Şekil 3.19. Klasik bir orifis plakasında oluşan basınç düşümü.....	39
Şekil 3.20. Orifis plakasının hatta montajı.....	40

Şekil 3.21. Elektronik fark transmitteri.....	41
Şekil 3.22. Boru hattına monte edilmiş orifis.....	42
Şekil 3.23. a)Venturi borusu b) Dall borusu c) Dall borusunun fotoğrafı.....	43
Şekil 3.24. Zaman farkı yöntemine göre çalışan bir ultrasonik akış metrenin boru hattı üzerindeki yerleşimi.....	44
Şekil 3.25. Ultrasonik akış ölçerin çalışma prensibi.....	46
Şekil 3.26. Manyetik alan akış ölçümü.....	47
Şekil 3.27. Bourdon tüplü manometre.....	49
Şekil 3.28. Diyaframlı manometre.....	50
Şekil 3.29. Diyaframlı manometrenin tasarımı.....	50
Şekil 3.30. Bourdon Tüplü Fark Basıncı Manometresi.....	51
Şekil 3.31. Diyaframlı fark basıncı manometresi.....	52
Şekil 3.32. Sensör sisteminin basitçe modellenmesi.....	52
Şekil 3.33. Piezoelektrik etkili sensör köprü bağlantısı	53
Şekil 3.34. Piezoelektrik basınç sensörünün yapısı	53
Şekil 3.35. Bir basınç sensörü.....	54
Şekil 3.36. Klasik fizik ve kuantum fiziği arasındaki boyutsal farklılıklar.....	58
Şekil 3.37. Bir boyutta v frekansı ile titreşen bir titreşici sistemin enerji düzeyleri ve bu düzeyler arasındaki izinli geçişler.....	60

1.GİRİŞ

Günümüzde tüm işletme ve firmalarda belli bir kalite anlayışı ile buna bağlı bir kalite politikasından bahsedilmektedir. Aslında benimsenen bu düşünce tarzı, rekabetin yoğun olduğu bu piyasada, belli bir pazara hakimiyet sağlayacak düzeyde kaliteli, düşük ve sabit maliyetlerle, sürekli bir üretimi veya hizmeti sağlamaktadır.

Sanayide ve gelişen teknolojideki proses basamaklarında kullanılan hidrolik sistemlerdeki fiziksel ölçümlerin ve bunun imalat neticesinde çıkan ürünler üzerindeki etkisi şüphesiz çok önemlidir. Bir üretim sürecinde kullanılan hidrolik sistemlerdeki akışkanın, basınç, debi v.b karakteristik özelliklerinin, tespit edilmesi ve ölçüm sonuçlarının analizinin yapılması, uygulamalara ve kullanım yerlerine göre akış değişkenlerini tespit edebilen sensörlerin seçimleri ve bu sensörlerin Uluslararası standartlara göre kalibrasyonlarının yapılması, olması gerekenlerdir.

Hidrolik sistemlerde yüksek standartlarda üretim sonuçları alabilmek için, çok iyi projelendirme, kaliteli imalat, standartlarına uygun tesisat, montaj ve devreye alma işlemlerinin yapılması gerekir. Bütün bunlar yapıldıktan sonra devreye alınmış sistemin rutin olarak performansının değerlendirilmesi ve oluşabilecek arızaların önceden tespit edilebileceği şartları sağlayabilmek için, hidrolik sistemin özellikle koruyucu-kestirimci ve planlı bakım mahiyetinde kontrollerinin yapılması ve durumun yorumlanması gerekir. Hidrolik akışkanın sıcaklığını, basıncını ve debisini ölçen modern ölçüm cihazları ile hidrolik sistemde analiz edilecek değerler sürekli izlenebilir, kayıt altına alınabilir, kaydedilen değerler grafik yada tablolar halinde veri olarak saklanabilir, ya da bu veriler yardımıyla uzun süreli karşılaştırmalı analizler yapılabilir.

Koruyucu ve kestirimci bakım, servis, makine ayarı ve optimizasyonu gibi konularda çok önemli olan modern ölçüm cihazları, aynı zamanda elektronik destekli ölçüm elemanları vasıtasıyla günümüzde çok hassas verileri üreterek, mekanik etkilerle çalışan diğer tip klasik ölçüm elemanlarına göre oldukça yaygın kullanılmaktadır (KOCABAŞ, 2001). Mühendislerin, üretim müdürlerinin, kalite güvence sorumlularının, teknik müdürlerin, endüstriyel uygulamalarda farklı noktalarda aynı anda bir çok parametreyi düzenli olarak ölçmeleri gerekmektedir.

Ölçüm, bir uzunluğun, bir alanın, bir kapasitenin veya herhangi bir olgunun belirli bir birim cinsinden hesaplanmasıdır. Bunun için standart ölçü birimleri kullanılır.

Sonucu belirtmek için sayısal değer ve birimden oluşan bir değer kullanılır.

1.1. Ölçümün Temel Teorileri

Ölçmenin 3 genel sınıfı vardır; direkt, endirekt ve sıfırlamalı. Bu sınıflardan herbirine göre çalışan elektronik cihazlar vardır.

a) Direkt Ölçüm

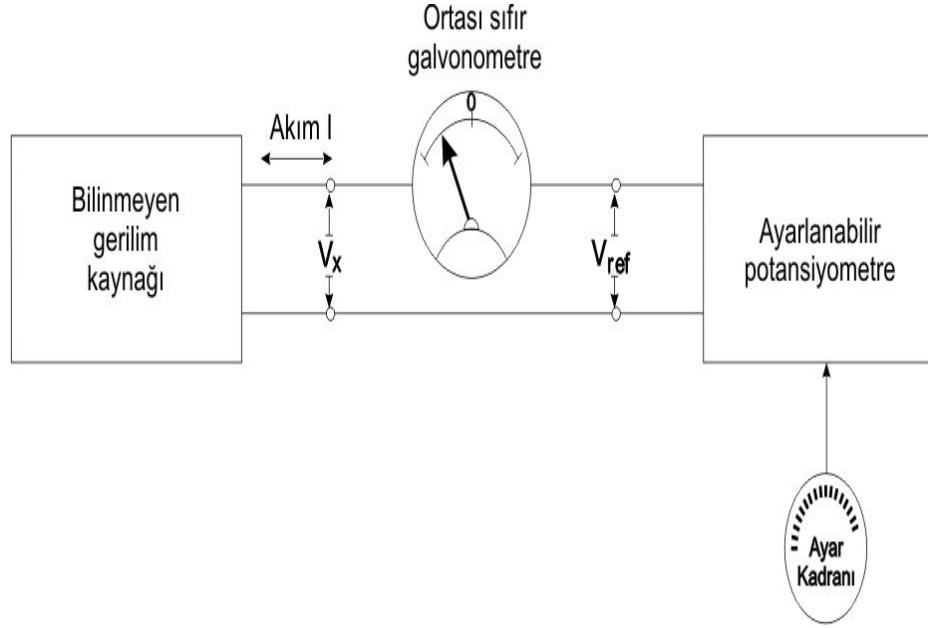
Direkt ölçümler, ölçüm büyüklüğünün kalibre edilmiş bir standart ölçekle doğrudan karşılaştırılmasıyla yapılır. Buna iyi bir örnek, bir parça koaksiyel kabloyu belli bir uzunlukta kesmek için bir cetvelle uzunluğunun ölçülmesidir.

b) Endirekt Ölçme

Endirekt ölçümler asıl ölçüm büyüklüğünden başka bir şey ölçerek yapılan ölçümlerdir. Ölçme doğruluğu bakımından çok iyi sonuçlar vermese de direkt ölçümlerin yapılmasının güç veya tehlikeli olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Örneğin birisi metal eritmekte olan bir fırının, duvar sıcaklığını ölçerek ve daha sonra bunu önceden belirlenen bir faktörle çarparak dışarıdan ölçülebilir.

c) Sıfırlamalı Ölçüm

Sıfırlamalı ölçümler bilinmeyen bir ölçüm büyüklüğünü kalibreli bir referans değeri ile karşılaştırarak yapılır. Karşılaştırılan iki değerden biri değiştirilerek aralarındaki fark sıfır yapılmaya çalışılır. Elektriksel potansiyometre böyle bir alettir, ayarlanabilir kalibreli bir gerilim kaynağı ve bir karşılaştırma aleti (ortası sıfır galvanometre)'den oluşur. Potansiyometrede ki referans gerilimi galvanometrenin bir tarafına uygulanır. Bilinmeyen gerilim de öteki tarafına uygulanır. Potansiyometrenin çıkışı galvanometredeki sıfır değerini gösterecek şekilde ayarlanır. Sıfırlanmış ölçü aletinin sıfırı gösterdiği durumda, potansiyometrenin kadranından okunan değer bilinmeyen ölçüm büyüklüğü ile aynıdır (Şekil 1.1.).



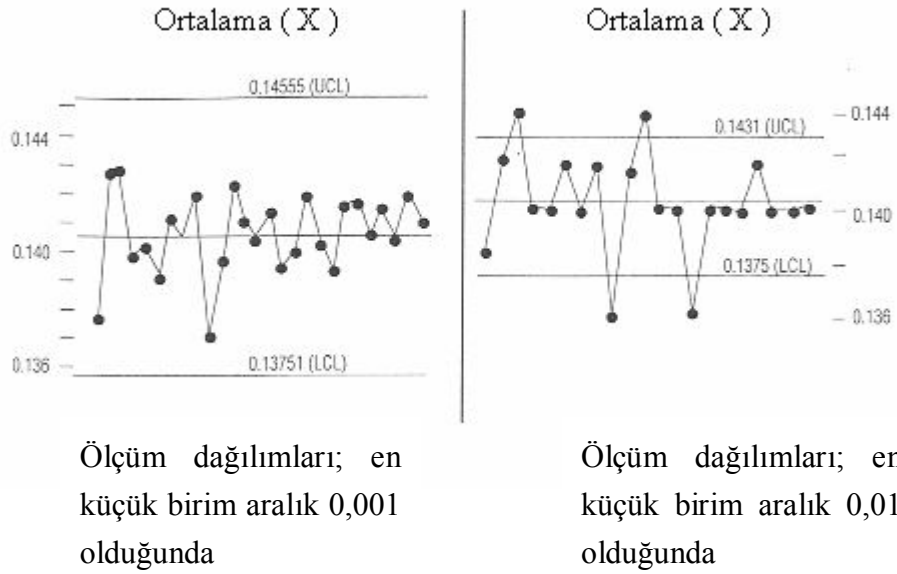
Şekil 1.1. Potansiyometre’de sıfırlamalı ölçüm(ANONİM, 2006)

1.2. Ölçüm Sürecinin Elemanları

Bir ölçüm sisteminin kalitesinin ölçüsü genellikle, yalnızca sistemin ürettiği verilerin istatistiksel özellikleridir. Tüm süreçlerde olduğu gibi, ölçüm süreçlerinde de varyasyonu (dağılımı) belirleyen etkenler vardır. Bir ölçüm sisteminde varyasyonu belirleyen temel etkenler aşağıda belirtilenlerdir.

a) Çözünürlük

Bu terim, ölçüm büyüklüğünün birbirine yakın ne kadar küçük parçalara bölünebildiğinin bir derecesini vermektedir. En küçük bölmenin değeri proses sınırları ile karşılaştırıldığında, çok büyük (kaba) ise, prosesin varyasyonu yuvarlamalar arasında kaybolur (fark edilmez) değerlerin ifade edilmesine imkan sağlar. Şekil 1.2. yapılan herhangi bir ölçümde çözünürlüğün sonuç üzerindeki etkisi’ni göstermektedir.



Şekil 1.2. Ölçümde çözünürlüğün sonuç üzerindeki etkileri(ANONİM, 2006)

b) Geçerlilik

Bir ölçümün geçerliliği, ölçü aletinin ölçmesi istenen büyüklüğü gerçekte ne kadar iyi ölçtüğü ile ilgili bir ifadedir. Elektronik bir kan basınç ölçme sensörü, gerçekte bir gerilme ölçen aletin diyaframa bağlandığı noktada diyaframın bilinen belli bir alanı üzerindeki basıncın etkisiyle yaptığı gerilmeyi ölçmektedir. Bir sensörle yapılan ölçümün geçerliliğini, uygulanan basınçla diyafram gerilmesi arasındaki ilişkinin hangi aralıkta ve hangi koşullarda orantılı olduğu belirler. Çoğu ölçü aletinde, çıktılar, ancak belirli koşullar ve belirli aralıklarda geçerlidir.

c) Güvenilirlik

Bir ölçümün güvenilirliği, ölçüm büyüklüğünün farklı değerler aldığı farklı denemelerde yapılan ölçümlerin gözden geçirilmesinde bir tutarlılık elde edilmesiyle ilgili bir ifadedir. Örneğin bir basınç ölçer sistemindeki diyafram, karakteristiklerinin

yeterince değişmesine neden olacak bir deformasyon yüzünden ileride aynı basıncın ölçümünde farklı sonuçlar verebilir.

d) Tekrarlanabilirlik

Tekrarlanabilirlik, bir ölçüm cihazı kullanılarak, aynı parça üzerinde aynı değişkenin aynı gözlemci tarafından bir çok kez ölçülmesi sonucunda elde edilen sonuçların varyasyonudur.

e) Doğruluk

Bir ölçümün doğruluğu, hatalardan ne kadar arındırılmış bir ölçüm olduğunu gösteren bir ifadedir. Bir başka ifadeyle, doğruluk, ölçümlerin ortalaması ile standart arasındaki örtüşmenin bir derecesidir. Ölçümlerde doğruluğu engelleyen faktörleri şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Sıfırlama mastarı hatası,
- Aşınmış parçalar,
- Hatalı kalibrasyon,
- Hasar görmüş cihaz,
- Hatalı kullanım,
- Yanlış okuma,
- Yanlış ayar.

Örneğin; Laboratuvar Standardı ile ölçümü yapılmış bir parçanın kalınlık değeri 0,80 mm. olarak belirlenmiştir. Bu değer ölçüm referans değeridir. Aynı parça, bir gözlemci tarafından üretim koşullarında peş peşe 10 kez ölçüldüğünde aşağıdaki değerler bulunmuştur(Şekil 1.3.);

$$X_1 = 0,75$$

$$X_2 = 0,75$$

$$X_3 = 0,75$$

$$X_4 = 0,75$$

$$X_5 = 0,75$$

$$X_6 = 0,75$$

$$X_7 = 0,75$$

$$X_8 = 0,75$$

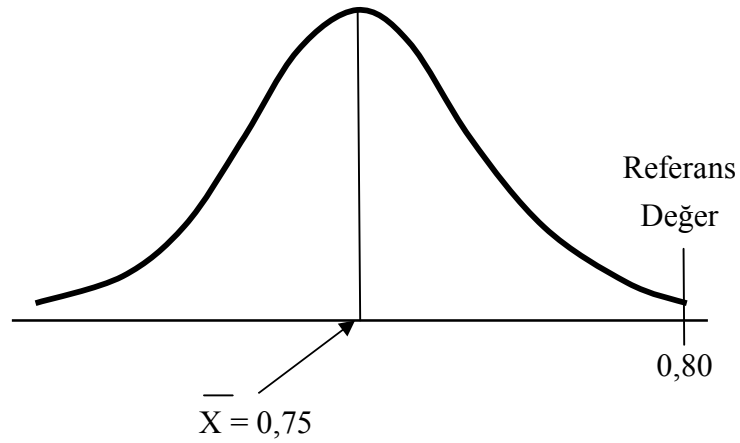
$$X_9 = 0,75$$

$$X_{10} = 0,75$$

Yapılan 10 adet ölçümün ortalaması ; 0,75 mm.'dir. Buna göre bahsi geçen örnek ölçüme göre doğruluk değeri;

$$0,75 - 0,80 = - 0,05$$

olarak bulunur.



Şekil 1.3. Ölçümde doğruluk(ANONİM, 2006)

f) Hassasiyet

Hassasiyet, ardışık ölçümlerin tamlığı hakkında bir ifadedir. Aynı zamanda ölçümün ne derecede rafine olduğunu gösteren bir ölçüttür. Doğruluk ve hassasiyet aynı kavramlar gibi görünmesine rağmen, bu iki kavram arasındaki fark şudur; hassas bir ölçüme art arda yapılan ölçümler sonucunda standart sapma ve varyans küçük değerlerdir, doğru bir ölçümde ise normal dağılım eğrisinden elde edilen ortalama değer gerçek değere yakındır.

g) Kalibrasyon

Ölçüm yapan cihazların bilinen bir standarda göre hata payının azaltılması için yapılan bir kontrol işlemidir. Kalibrasyon işlemi ilgili alandaki standarda göre veya, doğruluk derecesi daha yüksek olan aynı tip bir cihazla da yapılabilir. Hatta bilinen bir kaynakla da bu kalibrasyon işlemi yapılabilir. Bir akış (debi) ölçüm cihazını örnek alacak olursak, bu cihazı standartlara göre karşılaştırabileceğimiz gibi, daha hassas bir ölçüm cihazı ile de doğruluğunu karşılaştırabiliriz. Veya son olarak bilinen bir değerle de karşılaştırmamız mümkündür. Örneğin hacim olarak bilinen bir kap alınarak, akış işlemi bu kap içersine uygulanır ve zaman tutulur. Belirlenen hacim miktarı dolduğunda zamanı da durdurulur. Geçen zaman içersinde belirlenen kap miktarındaki akışkan, ölçü aletinde de aynı değere karşılık geliyorsa ölçü aleti doğru ölçüyor demektir. Böylece kalibrasyonu yapılmıştır. Eğer ölçü aleti ile yapılan deney sonucu olması gereken hata sınırları içerisinde değilse kalibrasyon işlemi olumsuzdur, ölçü aletinin tamiri veya yenilenmesi gerekmektedir.

1.3. Ölçme Hataları

Hiçbir ölçüm mükemmel değildir, ayrıca ölçüm cihazları da asla ideal değildir. Bu nedenle, bütün ölçüm şekillerinde mutlaka bir miktar hata bulunmaktadır. Bir hata, ölçüm büyüklüğünü ölçmekte kullanılan sensör veya transdüserin ölçtüğü değer gerçekteki değerden sapmasıdır. Hata doğal kaynaklıdır ve ölçümü yapan kişinin hatası değildir. Hata, yanlış ile aynı şey değildir, hatanın iyi anlaşılması ölçüm etkinliğini önemli ölçüde artırır. Hata, mutlak terimler kullanılarak ya da bir göreceli ölçek kullanılarak ifade edilebilir. Mutlak hata $X \pm x$ cm veya benzer başka birimlerle ifade edilirken, bağıl hata $X \pm \%1$ cm gibi bir ifadeyle belirtilir. Bir elektriksel devrede bir gerilim $4.5 \text{ V} \pm \%1$ gibi bir ifadeyle gösterilmiş olabilir. Hangi ifadenin kullanılacağı geleneklere, şahsi seçimlere veya duruma en uygun hangisinin olduğu gibi koşullara bağlıdır. Hatanın 4 genel sınıfı mevcuttur;

1.3.1. Teorik Hata

Bütün ölçümler, bir ölçüm işlemi esnasında bir değer nasıl davranış sergileyeceğini tahmin eden bir ölçüm teorisine dayandırılarak yapılır. Ölçüm teorisi, genellikle ölçülen değer teorik bir modeline dayanır. Bu model sistemin nasıl çalıştığını gösteren yapısal bir şemaya benzer. Çoğunlukla teorik modelin ölçülen değer için geçerli olduğunu görürüz. Örneğin, kuadratik, kübik veya eksponansiyel bir fonksiyona sahip doğrusal olmayan bir ölçüm büyüklüğü, aralığın dikkatle seçilmiş belli küçük bölümlerinde bir doğru gibi kabul edilerek ele alınabilir. Elektronik sensör çıkışları genellikle bu sınıfa girer. Öte yandan, gerçek değer, belli koşullar sağlandığı takdirde oldukça karmaşık, hatta kaotik olabilir, bu yüzden model çoğu pratik ölçüm için basitleştirilir. Ölçüm teorisine temel teşkil eden eşitlik, gerçekteki durumun birinci dereceden yaklaşık bir değeridir.

1.3.2. Statik Hata

Statik hatalar, herbirisi de sistemlerde bulunan, bir dizi alt sınıfa sahiptirler. Bu hatalar zamanın veya frekansın bir fonksiyonu değildir. Oluşan hatalara ilişkin alt sınıflar şunlardır;

a) Statik Okuma Hataları

Bu hatalar, sensör sisteminin ekranının hatalı okunmasından kaynaklanır. Bir analog metre ölçülen değeri göstermede bir ibreden faydalanır. Eğer ibreden okuma yapılırken tam dik bir şekilde ekrana bakılmazsa, okuma hatası meydana gelir. Alet kadranı üzerinde ibrenin durduğu iki nokta arasında tam nerede durduğunu kestirememekten kaynaklanan hataya ise interpolasyon (ara değer) hatası adı verilir. Bir diğer okuma hatası ise ibrenin kalınlığı dolayısıyla birkaç işaret noktasını bir arada kaplamasıdır.

İlişkili diğer bir okuma hatası ise sayısal ölçü aletlerinde görülen son hane değişim hatasıdır. Sayısal göstergelerde, en az ağırlıklı olan son basamaktaki rakam iki değer arasında sürekli gidip gelir. Örneğin, ölçülen gerilimde herhangi bir değişim

olmadığı halde sayısal bir voltmetrenin göstergesinde okunan değerler 12.24 ile 12.25 arasında değişebilir. Bu olay özellikle ölçülen değer iki ölçüm noktası arasına isabet etmesi durumunda meydana gelir.

Hata, gürültü ve sistemdeki belirsizlikler, 12.245 V değerindeki bir gerilimin, sayısal ölçü aleti ekranında 12.24 V ile 12.25 V arasında değişen değerlerde okunmasına neden olabilir. Bu durumun önem kazandığı yerler vardır. Mesela bir değer kontrolü okunan bu değer altındaki ve üstündeki kritik bir eşik değerine bakılarak sağlanıyorsa bu titreme olayının önlenmesi gerekir.

b) Çevresel Statik Hatalar

Bütün sensör ve aletler, bazen çıkış durumunu etkileyebilen faktörlerin bulunduğu bir ortamda işletilirler. Sıcaklık, basınç, elektromanyetik alanlar ve radyasyon gibi faktörler elektronik sensör sistemlerinde dikkate alınması gereken çevresel hata yapıcılarıdır.

Örneğin mekanik sistemlerde, dişlilerde boşluklar, sivri uçlarda (knife-edge) hatalar, basınç ve sıcaklığa bağlı genleşmeler olabilir. Genellikle, kalibrasyon sertifikalarına kalibrasyon laboratuvarları tarafından yazılmış olan belirsizliklerin dışında kalan sistematik belirsizlik bileşenleri, yapılan ölçümlere, cihaz imalatçısının spesifikasyonlarına ve mühendislik, fizik ve kimya yasalarına dayalı hesaplamalara göre tahmin edilir.

c) Karakteristik Statik Hatalar

Çevresel ve okuma hataları çıkartıldıktan sonra bile aletin veya prosesin kendisinden kaynaklanan bir miktar hata kalmaktadır. Bu kategori altındaki hatalar, sıfırlama, kazanç, işleme, doğruluk, histerisiz, tekrarlama ve çözünürlük hataları gibi sınıflar içermektedir.

Üretim esnasındaki kusurlardan kaynaklanan hatalar da karakteristik statik hatalar sınıfına girmektedir. Cetvel üzerindeki bütün 1 mm'lik aralıkların hepsi tam 1 mm boyunda değildir. Her ne kadar hatanın rasgele olduğu dolayısıyla yapılan net hatanın miktarının az olduğu düşünülse de, herhangi bir ölçü aletinde ayrık bir dengesizlik veya

hata meyli her zaman söz konusudur.

Sayısal sistemlerde, çözünürlük hatasının yanı sıra bir de kuantalama hatası vardır. Kuantalama işlemi sonucunda ölçülen değer, kesin ve ayırık belli bir değer almak zorundadır. Örneğin, 8-bitlik bir analog-sayısal dönüştürücüde 256 farklı duruma müsaade vardır, bu nedenle 0'dan 10 V'a kadar olan bir gerilim aralığı 39.06 mV basamaklarla 256 ayırık değere bölünmelidir. Herhangi iki değer arasında kalan bir gerilim değeri ölçümde kullanılan yuvarlama metoduna göre iki değerden birisi olarak kabul edilir. Örneğin, 8.540 V'luk bir çıkış veren bir ağırlık sensörü, 10V'luk aralık taban alınarak, bir ağırlığı ifade etmek üzere sayısallaştırılsın. 8-bitlik sayısal örnek, $\pm 0.039V$ 'luk kuantalama hatası nedeniyle, 8.502, 8.541 veya 8.580 gibi farklı değerler alabilir. Bu hata, analog sinyali ifade etmek için kullanılan bit sayısının artmasıyla küçülür.

1.3.3. Dinamik Hata

Dinamik hatalar, ölçüm büyüklüğünün sürekli değişmesi durumunda ortaya çıkarlar. Buna iyi bir örnek sürekli değişen bir büyüklüğün mekanik eylemsizliğe sahip analog ibreli bir ölçü aleti ile ölçülmesidir. Elektronik enstrümantasyonda ki kısıtlamaların bir kısmı özellikle frekans kısıtlamaları söz konusu olduğunda bu kategorideki hata oluşur.

1.3.4. Cihaz Araya Girme Hatası

İyi ölçüm yapmanın temel kurallarından birisi, ölçüm işleminin ölçüme etkisinin en az olmasının gerekliliğidir. Aksi halde yapılan ölçüm gerçek değeri değil değiştirilmiş sonucu yansıtacaktır. Bu hatanın örnekleri çeşitli yerlerde karşımıza çıkmaktadır.

Bunun bir örneği, basınç ölçerin basıncını ölçtüğü sisteme bir miktar hacim eklemesi dolayısıyla basıncın bir miktar düşmesidir. Benzer şekilde bir akış ölçer de sisteme uzunluk ekleyebilir, farklı boru kesiti veya türbülans dolayısıyla akış hızının değişmesine neden olabilir. Bir voltmetre düşük iç direnci dolayısıyla elektriksel bir devredeki direnç oranlarının değişmesine ve hatalı bir okumaya neden olabilir. Alet araya girme hataları, iyi alet tasarımı ve iyi alet kullanma tecrübesi ile azaltılabilir.

Hiçbir ölçü aleti, ölçüm yaptığı sistemi etkilemeden ölçüm yapamaz, ancak uygun metot ve aletlerin seçilmesiyle hatalar en aza indirgenebilir.

1.4. Ölçüm Sistemlerinin Genel Yapısı

Ölçüm sistemleri genel olarak üç parçaya incelenebilir (Şekil 1.4.).

a) Sensör-Transducer Bölümü

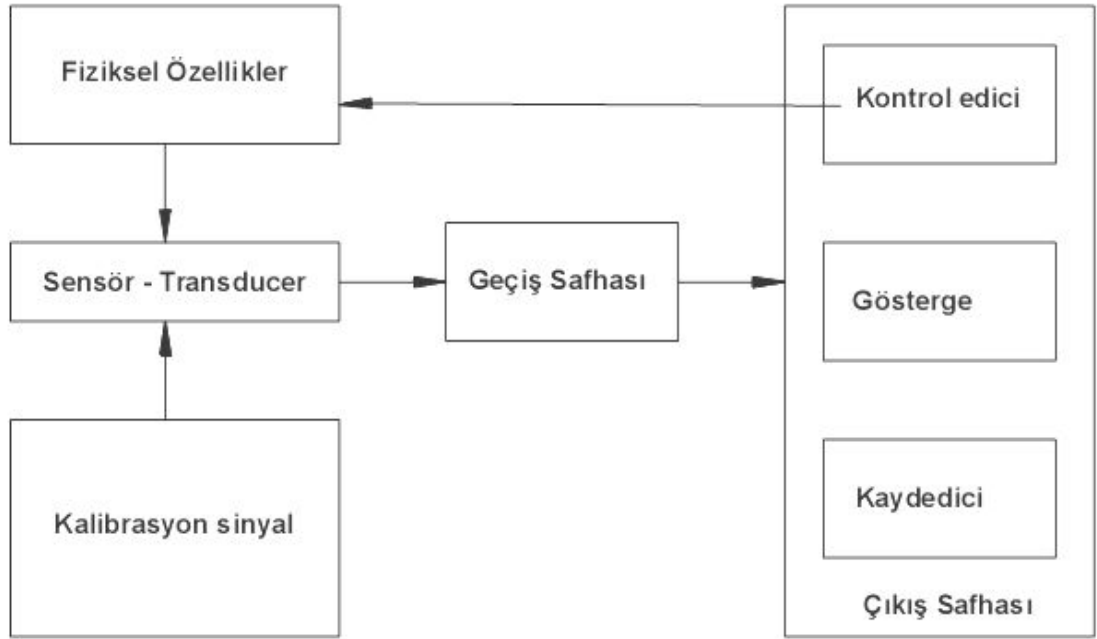
Ölçüm yapılacak yerdeki fiziksel özelliklerin algılanması ve ölçüm için mekaniksel veya elektriksel dönüşümlerle daha kullanışlı bir forma çevirmenin yapıldığı kısımdır. Transducer en genel anlamda fiziksel bir etkinin bir başka fiziksel etkiye dönüştürülmesi olarak tanımlanır. Çoğu zaman fiziksel etkiler elektrik sinyallerine dönüştürülürler. Elektrik sinyalleri form olarak ölçümde çok kullanışlıdır. Bu sinyaller dijital veya analog olabilir.

b) Geçiş Bölümü

Bu bölümde transducer`den alınan sinyaller, modifiye edilir, amplifike edilir veya filtreleme yapılarak arzu edilen daha kullanışlı çıktı haline getirilir.

c) Son Safha

Geçiş bölümünden çıkan düzenlenmiş ideal seviyeye ulaştırılmış sinyaller çıkış olarak gösterge, kaydediciye, veya bir sisteme kumanda olarak yönlendirilir ve işlem bitirilir. Bu safhada da çıkış analog veya dijital olabilir.



Şekil 1.4. Ölçüm sistemlerinin genel yapısı

Sensörlere ait bazı karakteristik özellikler şunlardır;

1. Hassasiyet (Duyarlılık)

Algılayıcının hassasiyeti, o algılayıcının çıkış karakteristiğine ait doğrunun eğimidir. Başka bir ifade tarzıyla ise; ne kadar küçük değişimleri ölçebildiğinin ölçütüdür.

2. Hassasiyet hatası

İdeal karakteristik eğriden sapma olarak tanımlanır.

3. Ölçüm aralığı

Algılayıcının cevap verebildiği etkinin minimum ve maksimum değeridir.

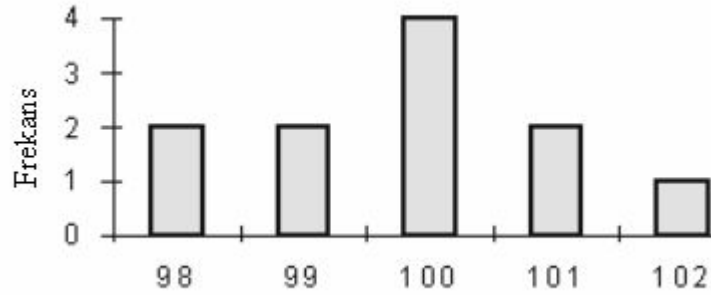
4. Tekrarlanabilirlik

Ölçü aletinin, tanımlı kullanım koşulları altında, aynı etkinin (uyarımın) tekrar

uygulanışlarında birbirine yakın tepkiler verebilme yeteneğidir. Tanımlı kullanım koşulları genellikle aşağıdaki gibidir:

- Kısa zaman aralıklarıyla tekrar
- Aynı yerde ve aynı çevre koşullarında kullanım
- Gözlemciye bağlı değişiklikler en aza indirilerek

Tekrarlanabilirlik sonuçları aşağıdaki gibi bir frekans grafiği şeklinde ifade edilebilir(Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. Tekrarlanabilirlik sonuçlarının grafikte gösterilmesi(ANONİM, 2006)

5. Doğruluk

Bir ölçü aletinin, ölçülenin doğru değerine yaklaşan gösterimler yapma yeteneği. Uygulanan etkinin gerçek değeri ile algılayıcının çıkışta gösterdiği değer arasındaki farktır.

6. Doğrusallık

Bir algılayıcının doğrusallığı; algılayıcının ölçülen eğrisinin ideal eğriden ne kadar saptığıyla bağlantılı bir ifade ile tanımlanır.

7. Cevap zamanı

Algılayıcıların giriş parametresinde oluşan değişime cevap verme süresi olarak tanımlanır. Etkide (uyarımda) tanımlı bir anlık değişim meydana gelmesinden itibaren,

tepkinin, son kararlı değerine ait belirli limitler içerisine ilk defa girip kalması arasında geçen zamandır.

8. Histerisis

Bir lü aletinin, belirli bir etkiye (uyarıma) gosterdiği tepkinin, daha önceki etkilerin sıralanışına bağlı olması özelliği. Uygulamada bir değere artan yüklemelerle ulaşıldığında ölçü aletinin gosterdiği değer ile, azalan yüklemelerle ulaşıldığında ölçü aletinin gosterdiği değerler arasındaki farkı ifade etmekte kullanılır. Histerisis normal olarak lülenle ilişkili olarak düşünülmesine karşın, etkileyen nicelikler ile ilgili olarak da ele alınabilir.

Bu tez çalışmasında esas olarak hidrolik sistemlerin en önemli değişkenleri olan basınç ve debi değerlerini ölçmek için kullanılan ölçüm enstrümanlarının genel yapısı, çalışma mantığı, bu değerleri tespit etmek için kullanılan sensör teknolojisinin ana hatları incelenmiş, bu enstrümanların birbirine göre olumlu ve olumsuz özellikleri tespit edilmeye çalışılmış ve debi ölçmede son kullanılan ve optik metodlar içeren yöntemlerin Heisenberg belirsizlik ilkesine göre ölçmede meydana gelen belirsizliği önleyip önlemediği araştırılmaya çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Özellikle debi ölçmede kullanılan ekipmanlar veya akış metrelerin kullanıldığı uygulamalar için bir çok yayın, kitap, makale, ve teorik çalışmalar bulunmaktadır. konu ile ilgili daha önce yapılmış kısa çalışma özetlerinden bazıları şu şekildedir.

GLEDHILL (2003), yaptığı çalışmada akış metreler hakkında kısaca bilgi vermiş , bütün endüstriyel uygulamalarda kullanılacak ve optimum şartlara sahip bir akış metrenin bulunamayacağını belirtmiştir. Aynı çalışmada değişken alanlı akış metrelerin kompleks ve pahalı diğer akış metrelere göre basit uygulamalarda uygun bir seçim olacağını ve bu tip akış metrelerin özellikle akış değerlerini takip etmek için ilave bir göstergeye ihtiyaç duyulmamasının maliyet yönünden önemli bir avantaj sağlayacağını belirtmiştir.

KOCABAŞ (2001) , hidrolik sistemlerde modern ölçme yöntemleri hakkındaki çalışmasında, hidrolik sistemlerde debi ve basınç gibi parametreleri ölçen enstrümanlar hakkında bilgi verip, sensör tabanlı elemanlarla çalışan modern ölçüm aletlerinin uygulama örneklerini göstermiş ve özellikle basınca ve debiye bağımlı regülasyon sistemlerinde, proses kontrolünde vana ve akümülatörlerin hassas ayarlanması için modern ölçüm ekipmanlarının ne derece önemli olduğunu vurgulamıştır.

Bir başka çalışmada DWYER çeşitli akışkanlar için akış metre seçimi konusunda,akış metrelerin bazı karakteristik değerlerini göz önüne alarak değerlendirme yapmıştır (DWYER, 2002).

YODER, yaptığı bir çalışmada akış ölçerlerin kalibrasyonunu, kalibrasyonun önemini ve çalışmasında incelediği akış ölçerlerin tipleri için her birinde kalibrasyona neden olan fiziksel etmenleri incelemiştir (YODER, 2000).

SMITH yaptığı bir çalışmada akış ölçerlerin yapısını basitçe incelemiş ve onları sınıflandırarak, temel olarak 1995 yılındaki endüstriyel uygulamalarda manyetik akış metre, coriolis tip akış metre, vortex tip akış metre ve ultrasonik akış ölçerlerinin yaygın olarak kullanıldığını belirtmiş ve gelecekte uygulamalardaki akış ölçerlerin yaygın olarak sensör teknolojisiyle entegre çalışacağını belirtmiştir (SMITH, 1995).

KAYKISIZLI (2006) tarafından yayınlanan modern akış görüntüleme teknikleri hakkındaki çalışmada, akışkanın üzerine etkiyen kuvvetleri tanımlayan ve Navier-

Stokes adıyla bilinen denklemlerin genelleştirilmiş bir analitik çözümünün bulunmadığını belirtilmiş, dolayısıyla, akışın doğasına ait saptamaların yapılabilmesi için sayısal çözümler yada akış görüntüleme yöntemleri gibi alternatif metotların kullanılmasının önemi hakkında bilgi verilerek, bu metotlara değinilmiştir.

ERTÖZ ve ark. (2002), yeni dizayn edilen pompaların performansının saptanması, performans verilerinin doğrulanması gibi nedenlerle yaptıkları örnek çalışmada, sistemle ilgili verileri elde edebilmek için debi, basınç ölçümleri de kullanmışlardır. Elektronik enstrümanlar kullanılarak yapılan bu modernize edilmiş pompa deney standında çok yüksek hassasiyetli debi ve basınç sensörleri kullanılmış olup sonuçların yorumlanmasında; sinyalleri eşzamanlı ve senkronize olarak toplayan, verileri işleyerek test grafiklerini çizen, pompa testi arayüzü programı “VP-CAPT04.01” ve IO kartı vasıtasıyla bilgisayara bağlanan sensörlerden yararlanılarak debi ve basınç parametreleri irdelenerek deneyle ilgili verilere ulaşılmıştır.Çalışmada ayrıca yüksek hassasiyetli debi ve basınç sensörlerinin hassasiyetleri nedeniyle deneysel pompa seçim programının veri tabanı için sağlıklı veriler oluşturmada ne kadar etkili olduklarına değinilmiştir.

BİLGİÇ ve ark. (1999), yaptıkları bir çalışmada piezoelektrik dönüştürücülerin genel yapısı, piezoelektrik malzemeler, ve piezo elektrik sensörlerin hassasiyet, kararlılık gibi önemli parametrelerine etki eden malzeme seçimi gibi detaylarda bilgi vermişlerdir.

YILMAZKAYA ve ark. (2001), akışkan debisi ölçümü yapan cihazların seçimini etkileyen faktörler konusunda yaptıkları çalışmada, debi metre seçimi için göz önüne alınması gereken faktörler hakkında detaylı bilgi vermiş ve proses ve amaca uygun debi metre seçiminin en sağlıklı yöntem olduğu hakkında görüş bildirmişlerdir. Çalışma sonucunda özellikle, debi metre seçimi konusunda, sistem tasarım aşamasında iken öngörülen seçme kriterlerinin dikkatli yapılmaması durumunda; montaj aşamasında, ölçme aşamasında oluşulacak hatalardan ve yatırım maliyetinin boşa gitmesi gibi olumsuz sonuçlardan bahsedilmiştir.

GÜR (1995), ISO 9000 serisi Kalite Standardlarında yer alan muayene, ölçme ve deney teçhizatının kontrolü ile ilgili maddenin içeriği inceleyerek, endüstriyel işletmelerde kullanılacak cihaz kalibrasyon talimatlarının hazırlama teknikleri hakkında bilgi verip, ölçüm yapan çeşitli enstrümanların genel olarak kalibrasyon değişkenlerini

ve bu değişkenlerin izleyerek proses devamlılığının sağlıklı olarak sürdürülmesinin yöntemlerini açıklamıştır.

ORHAN ve ark. (1997), UME Basınç ve Vakum Laboratuvarında yaptıkları analog ve sayısal göstergeli basınç ölçerlerin kalibrasyonu ve belirsizlik ölçümleri konulu çalışmada, karşılaştırma metodu kullanarak bir manometrenin kalibrasyon ve belirsizlik analizinin nasıl yapılacağı hakkında bilgi vermiş ve tüm metroloji dünyasının kabul ettiği bu kalibrasyon ve hesaplama modelini kullanarak manometre kalibrasyonu ile ilgili sayısal bir örneği irdemişlerdir. Bu çalışmada ayrıca basınç ölçerlerin doğruluğunu etkileyen temel metrolojik karakteristikler ortaya konmuştur.

SILLANPÄÄ (2006), yaptığı çalışmasında akış ölçümlerinde kullanılan sayısal metodları incelemiş ve mevcut yöntemlerin gelişim sürecini göz önünde bulundurarak, akış incelemede kullanılan sayısal metodlarla yapılan teorik hesaplamaları, bazı akış ölçerlerdeki pratik sonuçlarla karşılaştırmıştır.

YODER (2006), yaptığı diğer bir çalışmada basınç transmitterlerine değinmiş ve bu transmitterlerin 2004 yılı satış trendleri hakkında bilgi vermiştir.

HARROLD (2003), çalışmasında türbin metre tipi akış ölçerlerin temel özelliklerini incelemiş ve yaygın bir kullanım alanı bulan bir bu tip akış metrelerin, modern sensör teknolojisiyle gelişim sürecinin devam edeceğini ve çeşitli temel özelliklerinin bu süreç sonunda optimum seviyelere geleceğini bildirmiştir.

JOHNSON (2002), ultrasonik tip akış metrelerin endüstriyel uygulamaları hakkında örnekler vererek, ultrasonik tip modellerin çeşitli avantajlarını incelemiştir.

DAVIS (2006), makalesinde akış metreleri tanımlamakta kullanılan ve akış metrenin çalışma sınırlarını belirleyen değişkenler hakkında açıklama yapıp, üretici firma kataloglarında yer alan bu değişkenlerin optimum şartları sağlayacak akış metre seçiminde nasıl göz önüne alınacağı hakkında bilgi vermiştir.

HOPE (1994), yaptığı çalışmada akış kalibrasyonu ve hassas ölçüm sonuçları almak için akış metrelerde yapılacak kalibrasyonlar hakkında bilgi verip, hassasiyetin uzay, askeri sanayi gibi endüstri kollarında ne derece önemli olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca bu çalışmada kalibrasyon perspektifi tanımlanmış ve kalibrasyon metodlarının yerleşmiş ulusal standartlara göre yapılmasının altı çizilmiştir.

ORHAN (2000), basınç ölçümleri ve önemi hakkında yaptığı çalışmada, basınç tipleri ve basınç ölçümlerinin hassasiyeti üzerinde durup, Ulusal Metroloji Enstitüsü

Basınç Ve Vakum Laboratuvarı'nda çeşitli sektörlere ait yapılan basınç ölçüm cihazlarının kalibrasyonuna ve bu kalibrasyonlardaki hassasiyetin teknolojik bir gelişmişlik ölçüsü olduğuna değinmiştir.

ÖZTÜRK ve ark. (2005), son zamanlarda, akışkanlar mekaniği uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaya Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Yönteminin uygulama alanları, bu yöntemle yapılan örnek uygulamalar hakkında çalışma yapıp, yöntemin genel prensipleri hakkında bilgi vermişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Debi Ölçümleri

Sıvıların sıkıştırılmaz olduğu kabul edilerek yapılan akış ölçümlerini bir çok şekilde sınıflandırmak mümkündür. Akışı oluşturan değişkenlerin belirlenmesi esnasında genellikle bir değişkeni tespit ederek diğer değişkenleri matematiksel metotla bulma yönteminden yararlanır. Bu değişkenlerin en önemlilerinden biri, akışın birim zamandaki miktarını gösteren debi parametresidir. Debi değeri ölçülerek akışkanın hızına, yada tam tersini yaparak hız değerini tespit ederek debi değerine ulaşılabilir. Hız ölçümü geometrik anlamda belirli bir kesitte yapılır ve hidrolik sistemlerde bu kesit genellikle daireseldir. Akış esnasında belirli bir hatta hareket eden akışkanın, bir hız değeri vardır. Hız değeri, akışı sınırlayan boru içerisinde düzgün dağılmadığından, hız değerinin ölçülmesi dikkatli yapılmalıdır. Belirli bir dairesel kesitteki akışkanın hızı ölçüldüğünde, volümetrik debi; bu hız ile kesit alanının çarpımı sonucu belirlenir. Bu akışkanının yoğunluğu ölçülerek hacimsel debi ile yoğunluk değerinin çarpımı neticesinde kütleli debi bulunur. Volümetrik (Q_V) ve kütleli debi (Q_M) değerini veren denklemler, A kesit alanını, v akışkan hızını, ρ akışkan yoğunluk değerini göstermek üzere şu şekildedir;

$$Q_V = A \cdot v \quad (3.1.)$$

$$Q_M = Q_V \cdot \rho$$

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan hidrolik sistemlerde, debi ölçmek için bir çok farklı metoda göre çalışan debi ölçüm aletleri vardır. Modern debi ölçme ekipmanları genellikle bir algılayıcı yada sensör sistemiyle çalışarak hassas sonuçlar üreterek değer verir.

Tablo 3.1 hidrolik sistemlerin kapsamında olan bazı uygulamalardaki debi ölçümleri için kullanılan cihazlardan bazılarını ve bu cihazların dayandığı temel fiziksel etmenleri basit olarak özetlemektedir.

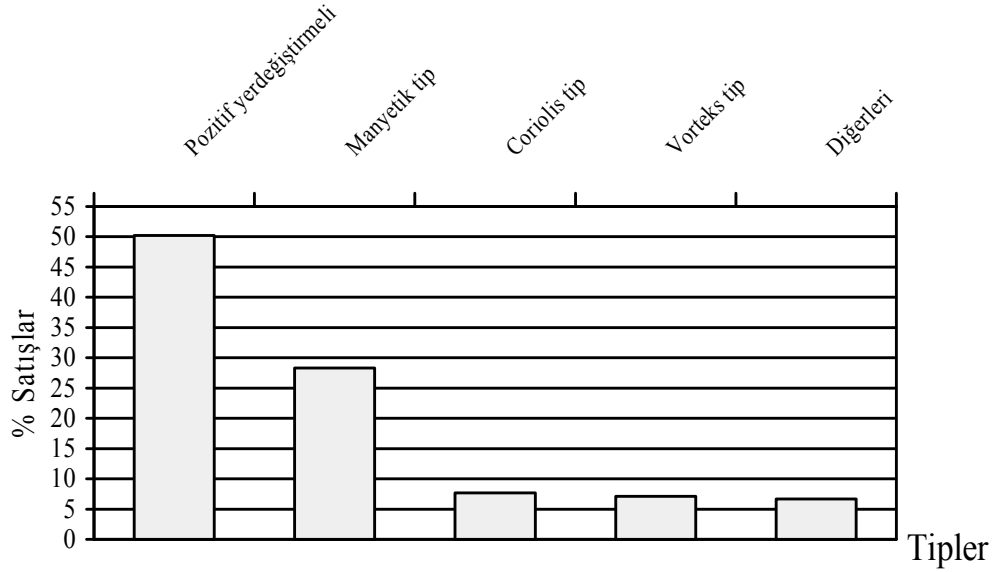
Tablo 3.1. Debi ölçümleri için kullanılan cihazlardan bazıları ve bu cihazların dayandığı temel fiziksel etmenler

Basınçlı Borularda Debi Ölçüm Cihazları	Ölçüm Prensipleri
Venturi metre	Basınç değişimi ölçülür
Nozul	Basınç değişimi ölçülür
Orifis metre	Basınç değişimi ölçülür
Elektromanyetik metre	Manyetik alan oluşturularak voltaj ölçülür
Türbin metre	Türbin kullanılır
Akustik esaslı debi metre	Hız ölçmede ses dalgası kullanılır

Sistemde dolaşan akışkanın debisinin yüksek hassasiyetle bilinmesi başta hidrolik sistemin sağlıklı çalışması, ekonomik faktörler ve diğer sağlanması gereken optimum şartlar için çok önemlidir. En ilkel debi ölçme yöntemi kontrol hacmi niteliğindeki kapalı, üzerinde hacim taksimatı bulunan bir kap vasıtasıyla yapılabilir. Debi ölçümüne elverişli boyutlardaki depolarla yapılan bu tip debi ölçümleri günümüzde hala kullanılmaktadır. Ölçme teknikleri özellikle son yarım asırdır büyük gelişim göstermiştir. 1950’li yılların ortalarında elektronik alanındaki, 1960’lı yıllarda lazer kuramındaki gelişmeler ve bilgisayarlardaki işlem hızının artması ölçme tekniklerinin daha hassas bir biçimde tespit edilmesine olumlu katkılar sağlamıştır. Teknolojideki gelişmelere paralel olarak sürekli ve değişik debi ölçme yöntemleri geliştirilmeye çalışılmakta ve bu konuda en hassas ölçme metodunun yöntemleri araştırılmaktadır.

Günümüzde pozitif yer değiştirmeli debi ölçüm cihazları en çok kullanılan modellerdir. Pozitif yer değiştirmenin anlamı akışkanın hacim sıkıştırma esasına göre belirli hareketli düzeneklerden geçirilerek debisinin çeşitli duyarlar ile ölçülmesidir. Pozitif yer değiştirmeli sistemler göreceli olarak elektrik-elektronik teknolojisinin büyük bir gelişim göstermesinden önce kullanılan sistemler olduklarından belki de maliyet ve uygulama alışkanlığı açısından günümüzde de yaygın olarak uygulama alanı

bulmaktadırlar. Gelişen teknoloji bu tip sistemlerin esaslarını değiştirmeden ölçüm değerlerini kolaylıkla okumamızı sağlayacak yardımcı enstrümanlar kullanmamızı sağlamaktadır. 2001 yılı itibarıyla pozitif yer değiştirmeli tip akış ölçerlerin dünya çapındaki satışları 500 milyon doları aşmıştır ve uzun yıllar bu satış üstünlüğü devam edecek gibi görünmektedir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1 Çeşitli debi ölçerlerin 2001 yılı satış değerleri (ANONYMOUS, 2003)

Akış ölçerleri bir çok şekilde sınıflandırmak mümkündür. SALEH (2002)' e göre farklı tip akış ölçerler için geliştirilmiş sınıflandırma şu şekildedir;

1.Doğrusal hız ölçerler: Yaprak türbinler , magnetik akış ölçer, ultrasonik akış ölçer, vortex ölçer, pervane tipi ölçer, termal kütle ölçer, coriolis kuvveti ölçer, v.d.

2.Ana tip akış ölçerler: Nozul, orifis, pitot tüpü, statik pitot tüpü, venturi, hedef ölçer, v.d.

3.Pozitif yer değiştirmeli ölçerler: Piston tipi ölçer, oval dişli ölçer, helisel vidalı akış ölçerler, v.d.

4.Direkt kütle ölçerler: Termal kütle ölçer, Coriolis kuvveti kütle ölçer.

5.Enerji ölçerler: Akış ölçüm değerini enerji birimiyle; birim zamanda BTU, JOULE cinsinden ölçen sistemler.

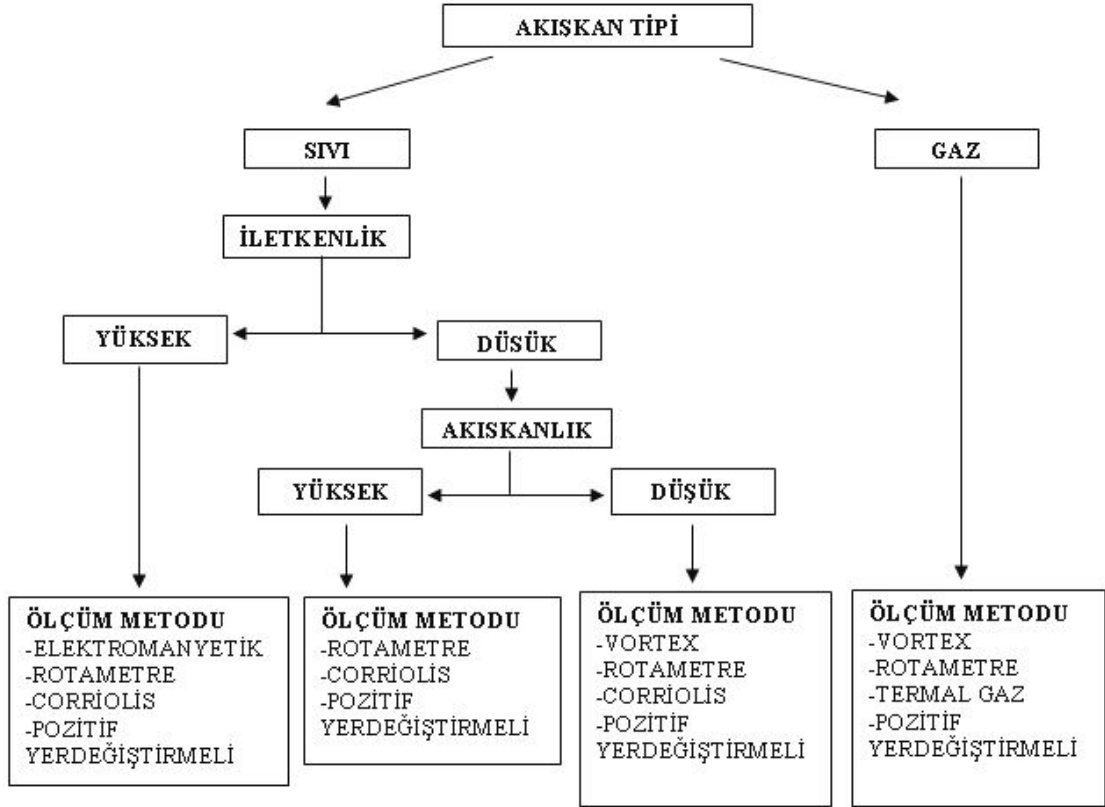
6. Çok fazlı akış ölçerler.

7.Diğer tip akış ölçerler:Açık kanal uygulamalarında kullanılan sistemler, kritik akış nozulu, v.d.

Akış ölçümleri Tablo 3.1.' de görüldüğü gibi cihazda oluşan basınç farkları, debi ölçümleri sonucu oluşan değerler gibi birkaç farklı metodu esas alarak yapılmaktadır. Şekil 3.2.' de ölçüm yapılacak akışkanın fiziksel faz durumuna, viskozite ve elektriksel iletkenlik değerine göre kullanılacak ölçüm enstrümanları gösterilmiştir. Manyetik tip debi ölçerler hassas ve akış rejimini bozmadan ölçüm alabilme özelliğine sahip olmasına karşın, elektriksel iletkenliği esas alan metotla ölçme yaptığından, elektriksel iletkenliği çok düşük akışkanlarda kullanılamaz, hidrolik akışkan sıvıların elektriksel iletkenliği manyetik tip debi metrelerin ölçüm alabilmesi gerekli olan elektriksel iletkenlik limitleri altında olduğundan debi ölçümlerinde bu tip debi metreler kullanılmaz. Manyetik debi metrelerin sağlıklı ve ekonomik olarak ölçüm alabilmesi için akışkanda olması gereken elektriksel iletkenlik değeri; 1mS^{-1} den büyük olmalıdır.

Debimetre seçiminde aşağıdaki parametreler göz önünde bulundurulmalıdır;

- Akış aralığı (Flowrate)
- Vizkositesi (Viscosity)
- Yoğunluğu (Density)
- Hat basıncı (Pressure)
- Akışkan sıcaklığı (Fluid Temperature)
- Ortam sıcaklığı (Ambient Temperature)
- Proses bağlantı şekli (Process Connection)
- Çıkış sinyali (Output Signal)
- Hassasiyet (Accuracy)



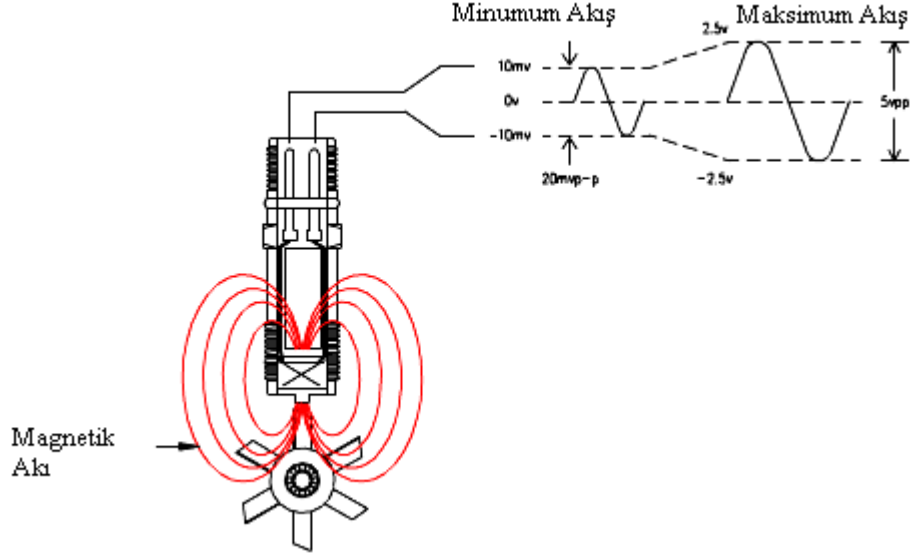
Şekil 3.2. Akışkanın fiziksel faz durumuna göre kullanılan debi metreler

3.1.1. Pozitif Yerdeğiştirmeli Tip Debi ölçerler

3.1.1.1. Türbin Tipi Akış Ölçüm Cihazları

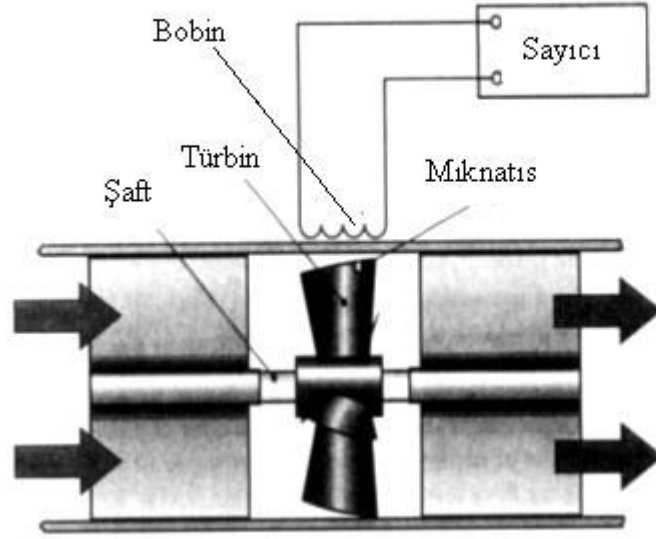
Hacimsel akış ölçüm metodudur. Dönen tip akış ölçerlerin bir çeşididir. Ölçümdeki temel prensip, yer değiştiren akışkan hacmini ölçmektir. Türbinin toplam devir sayısı, geçen toplam hacmin ölçülmesini sağlar. Hem akışkan hızını hem de debiyi ölçmeye yarayan elemanlardır. Sistemde dolaşan akışkan türbinin kanatlarının dönmesini sağlar. Türbin kanatlarının dönüş hızının miktarı, akışkanın hızına bağlıdır ve bu hızla doğru orantılıdır. Türbin üzerinde referans alınacak bir noktaya yerleştirilen bir mıknatıs ile türbin gövdesindeki bobin- mıknatıs sisteminin karşılıklı olarak manyetik etkileşimle oluşturduğu elektrik alan sayesinde hız ve debi değerleri bulunabilir. Türbinin her dönüşünde gövde üzerinde bulunan bobin-mıknatıs sargıda oluşan gerilim

darbeleri bir sayıcı elektronik sistem tarafından tespit edilerek anlamlı işaretlere dönüştürülebilir. Bu işaretler vasıtasıyla anlık debi ve hız değerleri kontrol edilebilir. Şekil 3.3'de türbin tipi bir akış ölçerde oluşan manyetik akılar ve bu akıların sensör tarafından değerlendirilmesi görülmektedir.



Şekil 3.3. Türbin tipi debimetrede oluşan manyetik akıların sensör tarafından algılanması(ANONİM)

Akış hattına monte edilen türbin tipi eleman giriş ve çıkış bölgeleri arasında çok düşük değerlerde basınç düşümüne neden olmakla beraber, hassas ve kolay ölçüm sonuçları verirler. Türbin sisteminin hassas ölçüm sonuçları vermesi türbinin dönme kolaylığına dolayısıyla; kanatlar ve akışkan arasında oluşan sürtünmenin azlığına, sistemdeki titreşim seviyesinin makul ölçülerde olmasına, rotor sisteminin iyi yataklanmış olması gibi etmenlere bağlıdır. Çok düşük debi değerlerinde türbin metreden alınacak ölçüm seviyesinde düşme dolayısıyla ölçüm duyarlılığında bozulmalar meydana geleceğinden verimli bir ölçüm yapılamaz. Akış ölçer, akışın türbülanslı olmasından da etkilenir ve bu olumsuz durumu gidermek için akış ölçerin yapısında düzeltme kanatçıkları kullanılır. Şekil 3.4.' de bir türbin tipi debi metrenin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.4. Türbin tipi debi metrenin yapısı(ANONİM, 1998)

Türbin metrenin verimli olarak ölçme yapabilmesi ayrıca kanat sayısı, kanat açısı gibi faktörlere de bağlıdır. Kanat sayısının artması akış alanını daraltarak pervanenin daha yavaş dönmesine sebep olmakta, bu ise aynı debide basınç farkının daha düşük olmasına yol açmaktadır. 15° ve 30° kanat açılarında 3 kanatlı pervane daha hızlı dönerken, 60° kanat açısında ise 4 kanatlı pervanenin daha hızlı döndüğü görülmüştür (EREN ve ark., 2006).

Bu tip debi ölçerler genellikle büyük kesitli borularda ve büyük debilerin ölçümünde kullanılabilir. Hassas sonuçlar verebilirler. Ancak çok uzun periyottaki kullanımlarda meydana gelecek aşınmalar ölçme hassasiyetini düşürecektir. Bu durumda yeniden kalibre edilmeleri gerekecektir.

Türbinler 30 cSt viskoziteye göre kalibre edilirler. Sensörün çıkışı frekans çıkışı şeklinde olup, bu frekansı istenilen sinyale dönüştüren elektronik çeviriciler kullanmak gerekir. Bu çeviriciler küçük boyutlarda olup, elektronik çevirici elemanın dışarıda olması yüksek yağ sıcaklıklarında sensörün korunmasını sağlar.

Alüminyum gövdeli yapısı ile oldukça hafif olan bu sensörler özellikle servis uygulamalarında ideal olarak görev yaparlar (KOCABAŞ, 2001). Tablo 3.2. 'de türbin

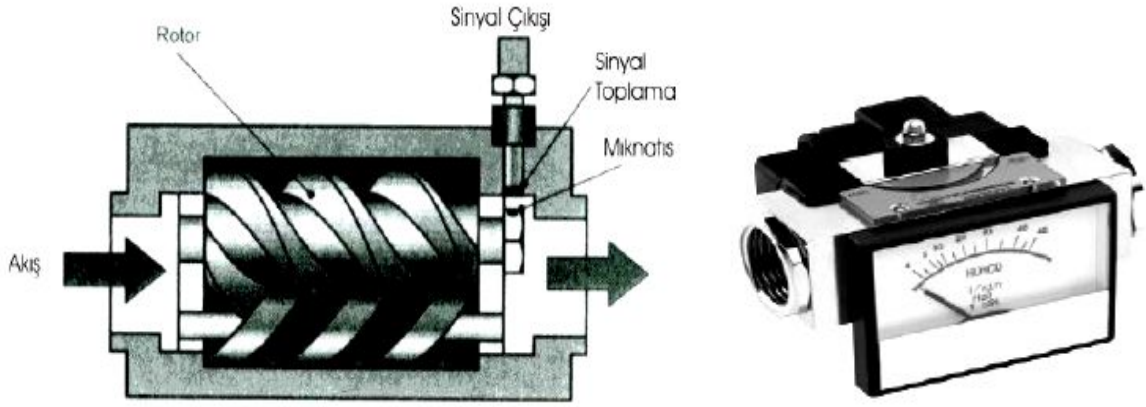
tipi debi metrelerin teknik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 3.2 Türbin tipi debi metrelerin teknik özellikleri (ANONİM, 2001)

Teknik Özellikler	
Çalışma basıncı	350-400 Bar
Tekrarlanabilirlik hassasiyeti	%0.2
Akışkan sıcaklığı	Max 150 °C
Ölçüm aralığı	1 ile 15 Litre/Dakika – 25 ile 600 Litre/Dakika
Sinyal çevirici girişi	10 ile 2000 Hz
Sinyal çevirici çıkışı	0 ile 3 V yada 0 ile 20 mA
Sinyal elektronik gürültüsü	< 5 mV
Reaksiyon süresi	200 ms
Basınç düşümü	0.14-1.7 Bar
Akışkan	Hidrolik yağ 25 mikron filtrelenmiş
Viskozite aralığı	15 ile 160 cSt
Ağırlık	650 gr – 1800 gr
Çıkış voltajı	0 ile ± 3 V
Cevap verme zamanı	1 ms
Kalibrasyon	30 cSt

3.1.1.2. Helisel Vidalı Tip Akış Ölçerler

Hacimsel akış ölçüm metodudur. Helisel vida profilinde iki rotora sahiptir. Helis adımı ve helis aralarındaki hacim değeri hesaplanabileceği için, bu değerler bir tur rotor dönüşünde her bir helisin arasından geçen akışkanın birim hacimde hesaplanması ile belirlenir. Şaft üzerine monte edilmiş bir mıknatıs ve stator üzerindeki hissedici ile toplam devir adedi belirlenir ve bu değer bir devirdeki hacim miktarı ile çarpılarak toplam akış miktarı ölçülür. Dişli guruplarının özel dizaynı sayesinde oldukça düşük akış direnci oluşur. Bu aynı zamanda gürültü seviyesinin düşürüp ölçüm hassasiyetini artırır. Az da olsa basınç düşümü sorunu yaratması ve pahalı bir mekanizma olmasına rağmen değişik tip sıvıların ölçülmesi ve farklı akış miktarlarına uyumlu olması nedeniyle tercih edilir. Dişli tip debi sensörleri ile viskozite değerleri 2 ile 100.000 cSt arasında değişen pek çok sıvının debisi ölçülebilir. Şekil 3.5.' de helisel tip vidalı akış ölçerin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.5. Helisel tip vidalı akış ölçerin yapısı (ANONİM)

Tablo 3.3.' de örnek olması açısından tipik bir helisel vidalı debi ölçerin teknik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Tipik bir helisel vidalı debi ölçerin teknik özellikleri

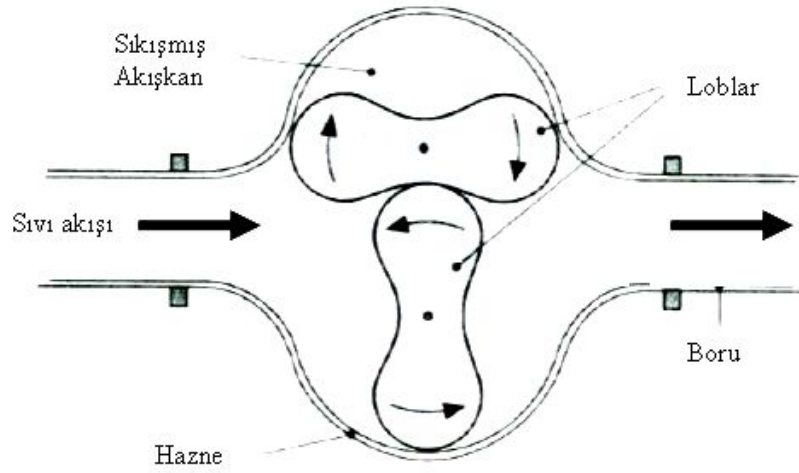
Teknik özellikler	
Çalışma basıncı	315 Bar
Tekrarlanabilirlik hassasiyeti	%0.5
Akışkan sıcaklığı	Max 150 °C
Ölçüm hassasiyeti	± % 0.3
Sinyal çevirici girişi	20 ila 7000 Hz
Sinyal çevirici çıkışı	0 ila 3 V
Sinyal elektronik gürültüsü	< 5 mV
Reaksiyon süresi	200 ms
Ölçüm aralığı	300 Litre/ Dakika'ya kadar

3.1.1.3. Döner Loblu Akış Ölçer

Hacimsel akış ölçüm metodudur. Dönen loblar arasında sıkıştırılan akışkanın

hacminin belirli olması ilkesine dayanır. İki lobdan oluşur. Lobun biri sıkıştırmış olduğu akışkanı dışarı gönderirken diğer lob dışarı gönderilen miktarda sıvıyı sıkıştırılmaktadır.

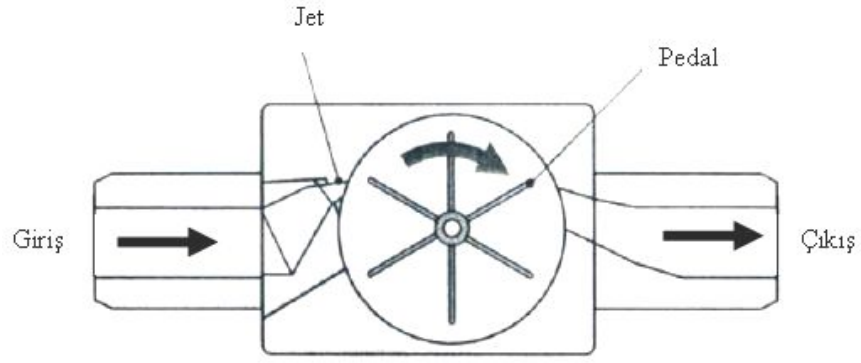
Herbir devirde dışarıya gönderilen akışkan miktarı hacimsel olarak belli olduğundan lobların devir sayısı tespit edilerek toplam akış miktarı ölçülebilir. Akış miktarının tespiti için lobun hareketinden tahrik alan basit bir numaratör kullanılabileceği gibi optik yöntemlerden veya elektriksel bir dönüştürücüden de faydalanılarak çıkış devirleri kolaylıkla okunabilir. Şekil 3.6. 'da döner loblu bir akış ölçer görülmektedir.



Şekil 3.6. Döner loblu akış ölçer (ANONİM)

3.1.1.4. Çark Sistem Tip Akış Ölçer

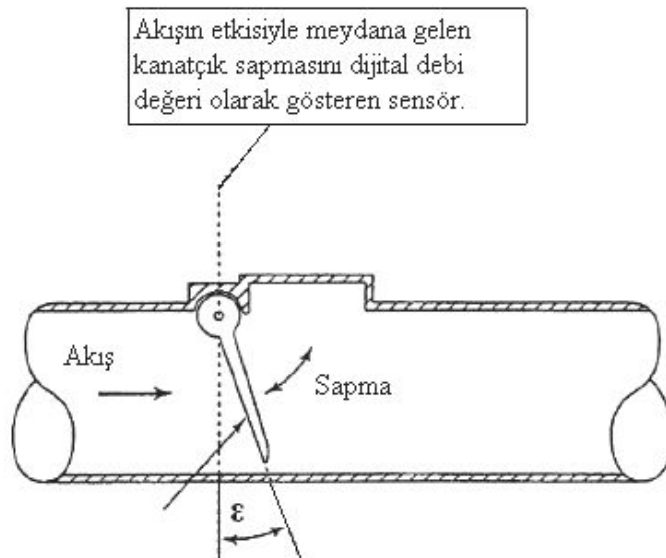
Hacimsel akış ölçüm metodudur. Boru içerisinde akmakta olan akışkan, bir nozuldan geçirilerek, hızının artması sağlanır. Hız kazanan sıvı çarka çarparak çarkı çevirmeye başlar, hacim yer değiştirmeli bütün sistemlerde olduğu gibi burada da giriş çıkış arasındaki hacim belirlidir. Debi değerinin ölçülmesi için tek yapılması gereken devir sayısını tespit etmektir. Çarkın dönme sayısı ile bir devirde sisteme giren akışkan hacminin değerinin çarpımı akış miktarını verir. Nozuldan dolayı basınç düşümü oluşur. Türbin,loblu debi metreler gibi diğer ölçüm aletlerine göre daha basit ve ucuzdur. Şekil 3.7.'de çark sistem tip akış ölçer görülmektedir.



Şekil 3.7. Çark sistem tip akış ölçer

3.1.1.5. Mafsallı Kanat İle Debi Ölçümü

Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi düşey eksen üzerine monte edilmiş ve açısız olarak hareketli bir kapakçık yardımı ile debi ölçümü yapılabilir. Akışın kanatçık üzerinde oluşturduğu açısız öteleme miktarı sensör yardımıyla gösterge değeri olarak okunarak debi miktarı olarak bir ekrana yansıtılabilir. Kanatta meydana gelen açısız öteleme miktarı, birim hacimden geçen debi değeri ile orantılıdır. Çok yüksek debi veya basınç değerine sahip akış miktarları için, kanatta oluşacak büyük açısız hareketleri kontrol altında ve ölçüm yapılabilirmeye olanak sağlayabilecek sınırlar içerisinde tutmak için; hareketli mafsallı kanatın arka kısmına karşı bir ağırlık konularak mekanizmanın verimli çalışması sağlanabilir.



Şekil 3.8. Mafsallı kanat ile debi ölçümü prensibi

3.1.2. Değişken Alanlı Akış Ölçer

Rotametreler diferansiyel basınç ölçerler sınıfına girer. Değişken alanlı bir akış ölçerin yapısı, düşey konumda bulunan konik bir cam tüp içine yerleştirilmiş yine konik yapıdaki bir şamandıradan oluşur (Şekil 3.10.). Akış yokken şamandıra tüpün içerisinde, aşağı kısımda serbest halde durur. Konik geometrik yapının içindeki sıvı şamandırayı geçerek akar ve şamandırayı tüp içindeki ölçülebilir hacim akışa bağlı olarak yukarıya doğru kaldırır. Şamandıranın dengede kaldığı konum tüp içerisinden geçen akış debisi ile orantılıdır. Kalibrasyon yapılarak debi değerleri rotametre üzerinde bulunan skaladan okunur, elektronik elemanlar kullanılarak şamandıranın yeri ve seviyesi sinyaller yardımıyla tespit edilebilir. Ancak bu uygulama akış ölçerin maliyetini artırıcı etki yapar (EREN ve ark., 2006).

Rotametrenin çalışmasını sağlayan üç tane kuvvet vardır (Şekil 3.9.). Bunlar;

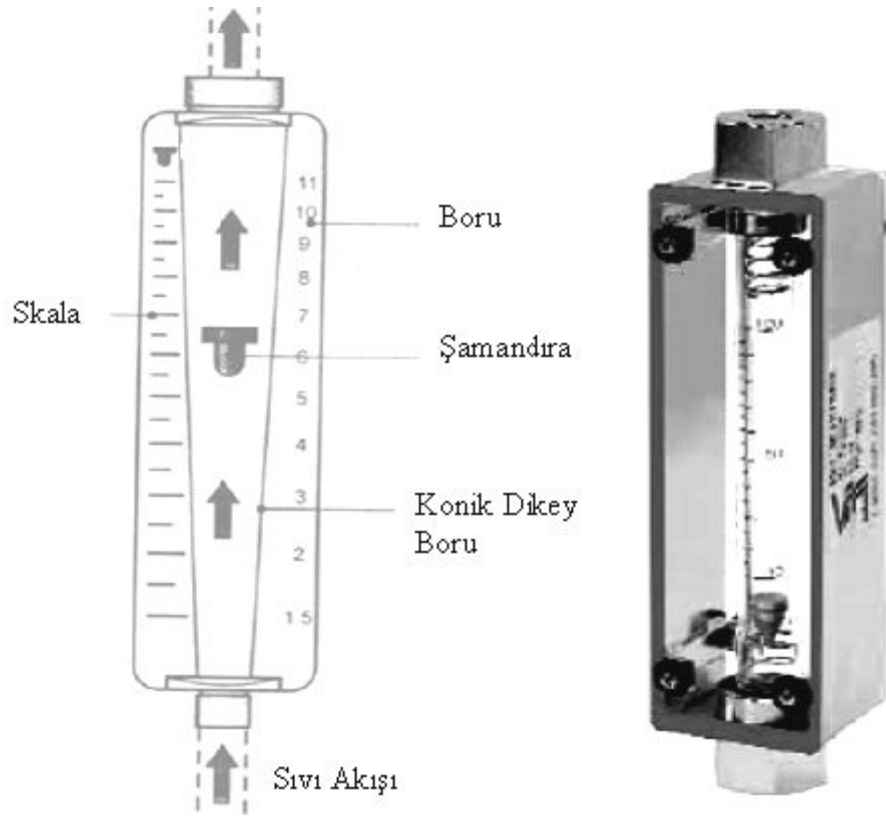
B:Şamandıranın tıkaç etkisi oluşturmasıyla meydana gelen diferansiyel basınç kuvveti

F:Akıştan neticesinde meydana gelen kaldırma kuvveti

W:Şamandıranın yer değiştirmesi sonucu oluşan kuvvet



Şekil 3.9. Rotametre sistemine etkiyen kuvvetler (ANONYMOUS, 2004)

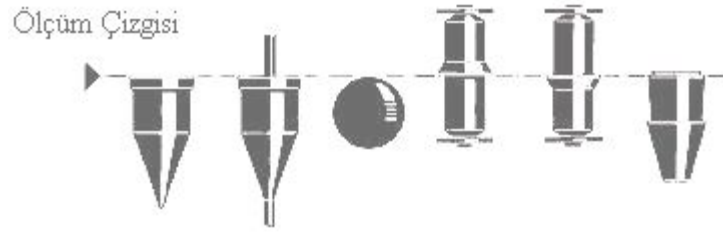


Şekil 3.10. Değişken alanlı akış ölçerin yapısı

Bu üç kuvvet için; ölçüm sırasında aşağıdaki denge eşitliği meydana gelir ve ölçüm yapılır.

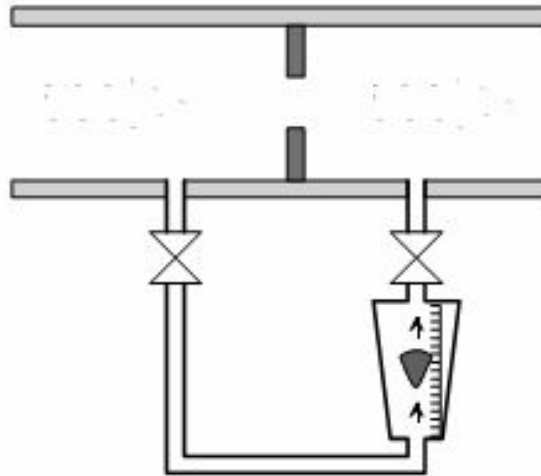
$$W=B+F=0 \quad (3.2.)$$

Rotametrenin içerisinde bulunan şamandıranın geometrisi belirli bir basınç düşmesi yaratarak, bu etki ile hareket etmesi ilkesine göre düzenlendiğinden, şamandıra geometrisi rotametrenin temel çalışma prensibini oluşturmaktadır. Şekil 3.11.'de bazı şamandıra kesitleri ve bu kesitlerin ölçme düzleminde aldıkları konumlar gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Bazı şamandıra kesitleri ve bu kesitlerin ölçme düzleminde aldıkları konumlar(ANONYMOUS, 2002)

Değişken alanlı rotametreler genellikle, sertleştirilmiş cam, alüminyum, pirinç ve paslanmaz çelikten imal edilirler. Bu modeller genellikle endüstriyel uygulamada en çok kullanılan akışmetrelerdir. Bazı rotametrelerde şamandıranın çevresinin etrafı dengeli bir dönüş elde edebilmek için hafifçe yivlidir(LANASA, 2002). Değişken alanlı akış ölçer basit, doğrusal ve ucuz olarak çok geniş bir endüstriyel uygulama alanına sahiptir. Şamandıranın ferromanyetik malzemeden yapılması durumunda sistemdeki manyetik değişimi algılayabilecek bir manyetik detektör ile yüksek veya düşük akış uyarısı vermek amacıyla akış kontrol uygulaması da yapılabilir. Şekil 3.12.'de By-pass metoduyla tesisattan ölçüm değerleri alan bir rotametreye ait basit bir uygulama örneği görülmektedir.

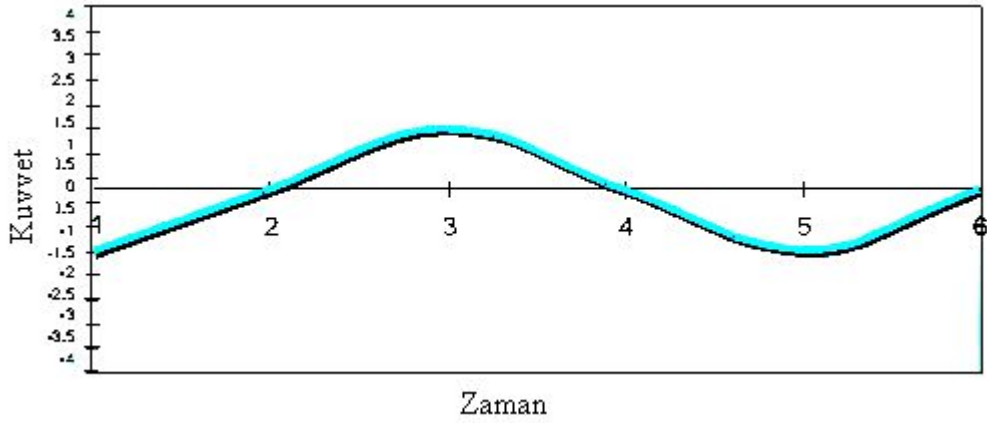


Şekil 3.12. By-Pass metoduyla tesisattan ölçüm değerleri alan bir rotametre uygulaması

3.1.3. Coriolis Tip Akış Ölçerler

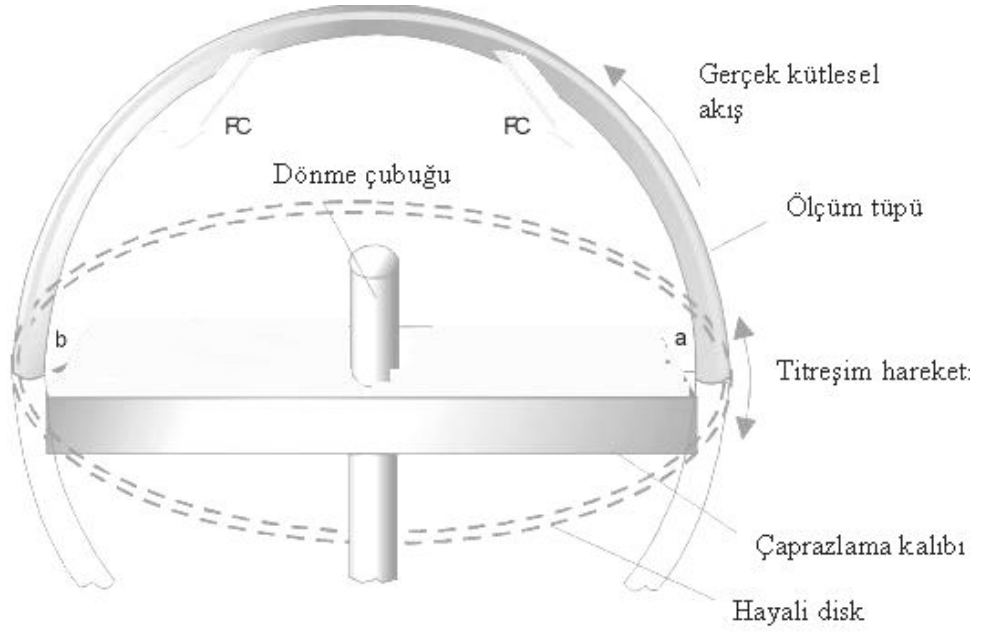
Coriolis kuvveti basit olarak; rotasyon hareketini yapan bir sistemde hareket eden elemana etkiyen atalet kuvveti olarak tanımlanır. Dünyanın eksenini etrafında dönmesi sonucunda oluşan ve birim kütleye etki eden saptırıcı güçtür. Sapma kuzey yarımkürede hareket yönünün sağına, güney yarımkürede ise soluna doğrudur. 1835 yılında Gaspard-Gustave Coriolis adlı bir Fransız bilim adamı tarafından bulunan bu kuvvetin endüstriyel uygulamalarda akış ölçer olarak kullanılması fikri ilk defa 1977 yılında Micro Motion Inc. şirketi tarafından ortaya atıldı. Ancak seksenli yıllara kadar endüstriyel uygulaması yapılamadı. Coriolis tip akış ölçerler diğer tip akış ölçerlere göre oldukça yeni bir teknolojidir(LIPTAK, 1993).

Coriolis tip akış ölçerlerin mevcut bir çok modeli vardır. En popüler modelleri; tek veya çift U şekilli, at nalı biçimli ,tenis raketli biçimli olan şekillerdeki modellerdir. Akış borusunun geometrik yapısı rotasyon yani dönme hareketine uygun bir yörüngede olduğundan, akışkanın bu hattaki akış hareketi esnasında Coriolis kuvveti etkisiyle sıvıda reaksiyon kuvveti oluşur, bu durum Şekil 3.13.'de görülmektedir.



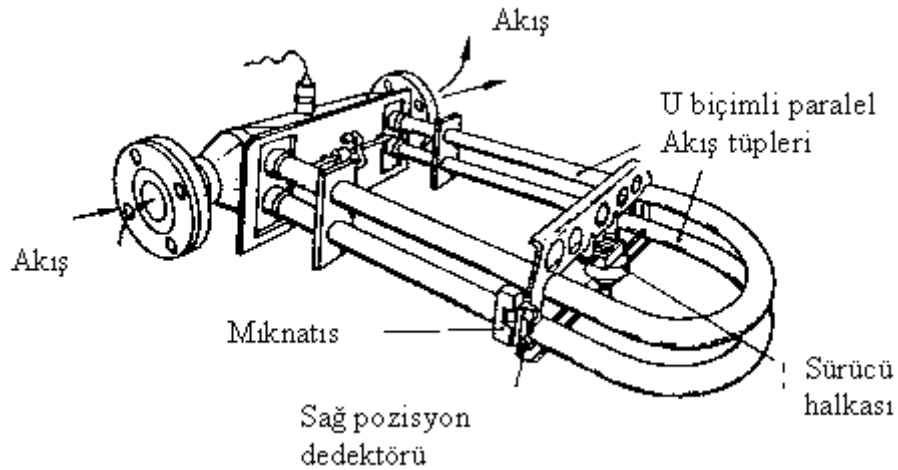
Şekil 3.13. Coriolis kuvveti etkisiyle sıvıda oluşan reaksiyon kuvvetini grafiği

Oluşan reaksiyon kuvvetinin etkisiyle, akışkan temas halinde olduğu U biçimli boruyu etkileyerek harmonik harekete zorlar. Şekil 3.14.'de bu düzenek basit olarak görülmektedir.



Şekil 3.14. Coriolis kuvveti prensibi

Oluşan bu harmonik hareketin frekansı debi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Akış ölçer debi değerini tespit etmek için frekansı ölçmek yeterlidir. Bu frekans değeri bir sensörle ölçülerek debi değerleri tespit edilir. Şekil 3.15.'de bir Coriolis tip akış ölçer görülmektedir.



Şekil 3.15. Coriolis tip akış ölçer

Diğer tip akış ölçerlere göre yüksek doğrulukta ölçüm yapması, basınç düşümünün az olması, çok geniş bir akışkan çeşitliliği yelpazesinde kullanılması, soğuk

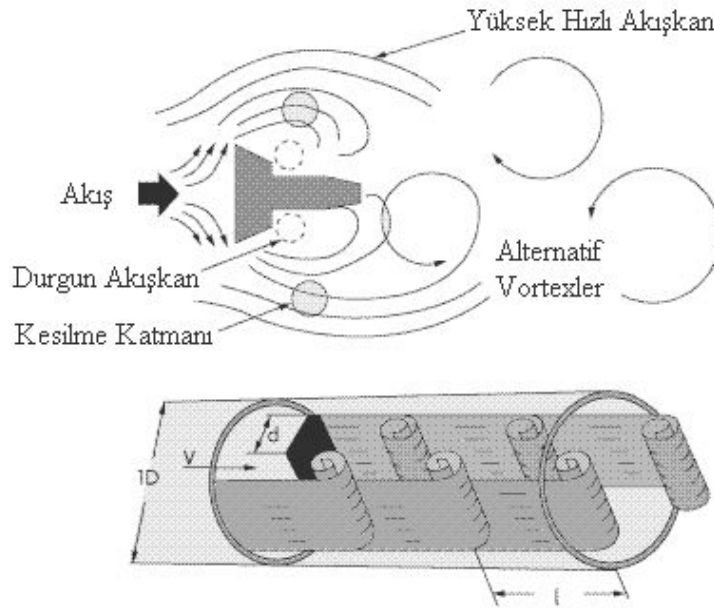
ve sıcak ortamlardan etkilenmemesi olumlu taraflarıdır. İlk kurulumunu masraflı olması, tıkanma olasılığı olması ve temizlenmesinin zor olması ve diğer bütün akış ölçerlere göre boyutlarının büyük olması olumsuz özellikleridir.

3.1.4. Vortex Akış Ölçerler

Bir borunun içine aerodinamik olmayan veya aerodinamik olup ta akışta girdap yaratacak şekilde konumlandırılan bir cisim yerleştirildiğinde ,akış o cismin yüzeyini izleyemez ve bu durumda girdap oluşumu gözlenir. Oluşan bu vortekslerin sıklığı yani girdabın frekansı, "Q" debi, "f" değeri ise frekansı göstermek üzere denklem (3.3.)'de ki gibi debi ile doğru orantılıdır.

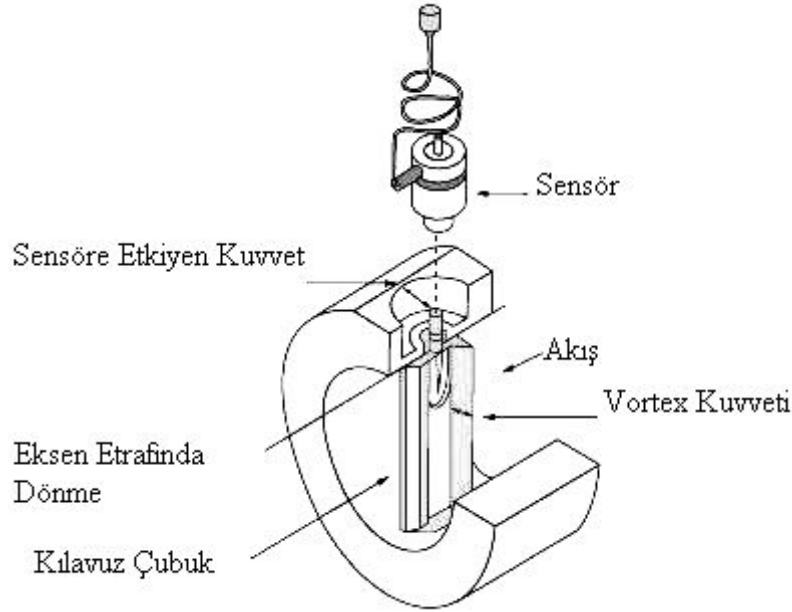
$$Q=K.f \quad (3.3.)$$

Denkleme ait K sabiti , akışkanın yoğunluk viskozite gibi parametrelerinden bağımsız olarak, boru çapı, engelin biçimi ve engelin çapı tarafından belirlenir. Engelin varlığıyla oluşan girdaplar sinüzoid basınç değişimleri şeklinde sinyal üretirler. Engelin hemen arkasına konulacak duyarlı bir diyagramla oluşan bu sinyaller algılanabilir. Şekil 3.16.'da vortex tip akış ölçerler temel prensibi görülmektedir.



Şekil 3.16. Vortex tip akış ölçerlerin temel prensibi

Diyaframda meydana gelecek hassas ötelenme hareketleri, deformasyon oluşumları, sinüzoidal elektrikli sinyallere dönüştürülerek yorumlanır. Yada diğer bir alternatif olarak ise; vortex oluşumuna neden olan engelin hemen arkasındaki girdaplı bölgeye gönderilecek olan ultrasonik ışın demeti girdaplar tarafından modüle edilebilir. Şekil 3.17.'de vortex tip akış ölçerlerin iç yapısı görülmektedir.



Şekil 3.17. Vortex tip akış ölçerlerin iç yapısı

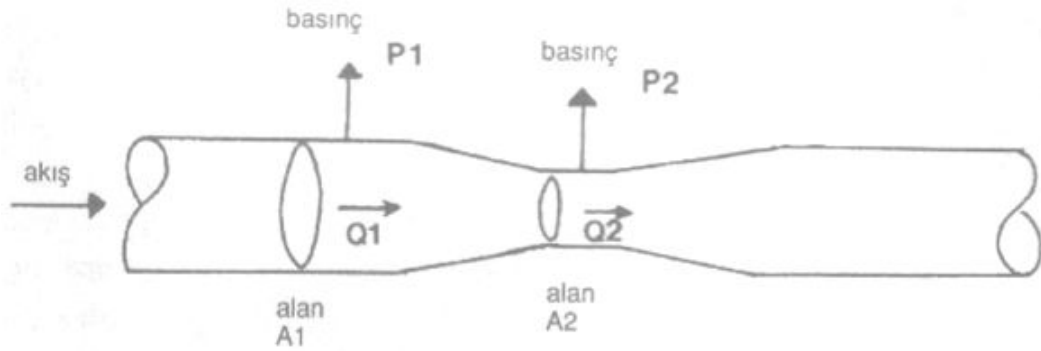
Vortex tip akış ölçerler oldukça düşük Reynolds sayılarında çalışabilir. Girdapların diyaframda yarattığı pulsaları algılamak için ikinci bir sensöre ihtiyaç duyması olumsuz yöndür.

3.1.5. Basınç Farklarından Yararlanarak Ölçüm Yapan Akış Ölçerler

3.1.5.1. Temel Teorileri

Şekil 3.18.'de görüldüğü gibi içinden akışkan madde akan boruda belirli bir yerde, geometrik anlamda kısıtlama yapılacak olursa, bu geometrik bölgenin önünde ve

arkasında volümetrik akışa bağlı olarak bir basınç farkı oluşur. Bu basit fiziksel prensip, en çok kullanılan ölçme cihazlarının; orifisli plakalarla, venturi boruların temelini oluşturur. Fakat bu tip bir sistemden akış özellikleriyle ilgili bilgi alabilmek için, basınç farkından yani diferansiyel basınçtan yola çıkarak volümetrik akışın hesaplanması gerekir. Bu ise akışkanın sahip olduğu enerji tespit edilerek yapılabilir. Akışkanın birim kütlesinde, enerjiye ait üç unsur vardır (PARR, 1986) ;



Şekil 3.18. Diferansiyel basınç ölçerlerin temel prensibi

- 1) Hız değerine göre hesaplanan, akışkanın hareketinden ileri gelen kinetik enerji,
- 2) Yerçekiminden kaynaklanan ve belirli bir referans noktasına göre yükseklikle ilişkili olarak hesaplanan potansiyel enerji
- 3) Akışkanın basıncına bağlı olarak oluşan enerji. Bu enerji potansiyel enerjiye benzer ve P'nin basıncı ve ρ 'nun akışkanın yoğunluğunu gösterdiği P/ρ ifadesinden hesaplanır.

Akışkan için, birim küttele herhangi bir noktadaki enerji bu üç faktörle belirlenir. Geometrik kısıtlayıcının öncesinde ve sonrasında enerji kaybı veya kazancı olmadığı kabul edilerek fark tipi basınç ölçerlerin temel prensibini oluşturan denklem (3.4.) kullanılır.

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{P_2}{\rho_2} \quad (3.4.)$$

Akış ölçümünde denklem (3.4.) kullanıldığında, akış hızının boru içerisindeki

tüm noktalarda aynı olduğu kabul edilmiş olur, akış hızı her zaman tüm noktalara üniform olarak yayılmamış olabilir, akış hızı arttığında türbülans neticesinde hız profili yüksek değerlerde, partiküllerin boru içerisindeki eşit hız profili oluşturacak şekilde konumlanmasını sağlar. Fark (diferansiyel) basıncı ölçme metoduna göre çalışan ölçüm enstrümanları, eşit hız profilleri oluşturacak şekilde çalışan sistemlerde kullanılır. Fark basıncı yöntemine göre çalışan bu cihazların çalışabilecekleri akış durumuna ait gösterge; Re sembolü ile gösterilen ve boyutsuz bir birimi ifade eden Reynolds sayısı ile belirlenir. Re değeri ne kadar yüksek olursa akış o kadar çalkantılı dolayısıyla homojen bir hız dağılımı elde edilmiş olur. Genel olarak $Re < 2000$ ise akış düzgün, $Re > 10^5$ ise, akış çalkantılıdır. Eğer Şekil 3.18.'deki gibi bir boru kesitini alıp, boru kesitinden geçen akışkanın sıkıştırılmaz türde bir akışkan olduğunu kabul edersek ; $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ olur. İşlemi kolaylaştırmak açısından incelenen bu boru parçasına ait kesitin yatay durumda olduğu kabul edildiğinde ise $gh_1 = gh_2$ eşitliği elde edilir. Bu durumda ise denklem (3.4.) şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = \frac{P_1 - P_2}{\rho} \quad (3.5.)$$

Gelen Q_1 , debisi $A_1 v_1$ olup, Q_2 debisi $A_2 v_2$ olduğu ve akış debisi korunduğundan $Q_1 = Q_2 = Q$ olup, $v_1 = Q/A_1$, $v_2 = Q/A_2$ şeklinde yazılabilir. Bu ifadelerin denklem (3.5.) 'de yerine konmasıyla aşağıdaki ifade elde edilir;

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \cdot \sqrt{2(P_1 - P_2)} \quad (3.6.)$$

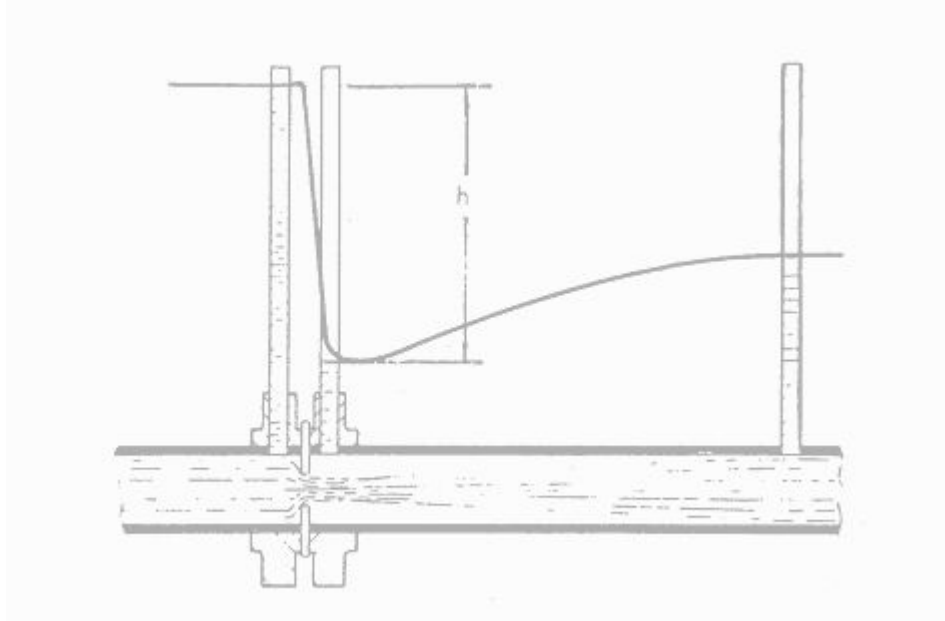
Denklem (3.6.) C_D boşaltma katsayısı adı verilen ve debiyi daha hassas bulmak için kullanılan bir düzeltme katsayısı ile çarpılırsa, denklem (3.7.) elde edilir.

$$Q = C_D \frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \cdot \sqrt{2(P_1 - P_2)} \quad (3.7.)$$

Denklem (3.7.)’ de kullanılan C_D katsayısının bir venturi borusu için tipik değeri 0,97 ve Orifisli plakalar için de 0,6 dır.

3.1.5.2. Orifisli Plakalar

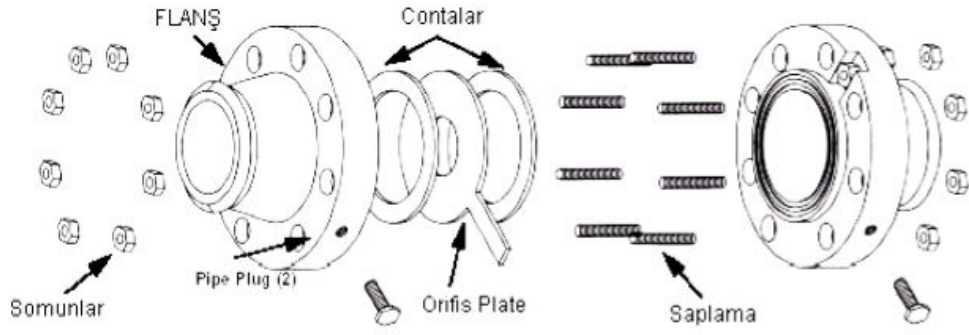
Akış alanına yerleştirilmiş ve kesiti daraltarak akışın hızlandırılması ve dolayısıyla statik basıncın düşmesini sağlayan ince bir plaktan ibarettir (UMUR, 1998). Klasik bir orifis plakasında oluşan basınç düşümü Şekil 3.19.’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Klasik bir orifis plakasında oluşan basınç düşümü

Bu ince plaka genelde aşağıdaki Şekil 3.20.’deki gibi boru flanşları arasına yerleştirilerek; D boru çapını ifade etmek üzere, akış yukarı yönde D ve akış aşağı yönde ise $D/2$ de ölçülen bir basınç farkı yaratır.

Şekil 3.20.’de görüldüğü gibi Orifis plakası bir hatta; iki flanş arasına monte edildiğinde likidin giriş yeri yüksek basınçta çıkış yeri ise daha düşük basınçtadır. Bu basınç farkı içinden geçen likidin oranıyla değişecektir. Bu oran doğrusal olmayıp logaritmik davranış gösterir, basınç farkının daha başlarında likit geçişi neredeyse iki kat artar. Orifisli plakalarda meydana gelen bu basınç düşümünün kabul edilemediği durumlarda bir venturi borusu kullanılır(BAKER, 2000).

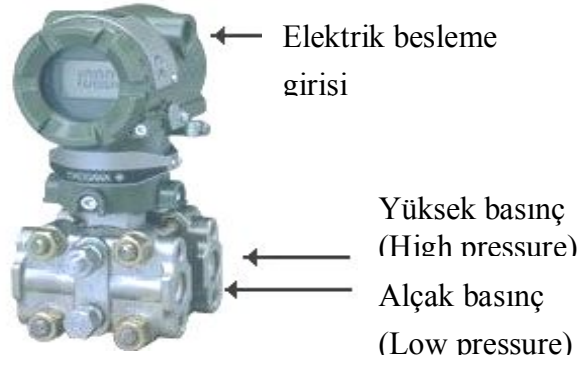


Şekil 3.20. Orifis plakasını hatta montajı(ANONİM, 1998)

Orifisli plaka üzerinde oldukça büyük kuvvetler oluşacağından, plakanın bu kuvvetler dayanabilecek ve çarpılmadan işlevini yerine getirecek bir dayanıma sahip olması gerekir. İngiltere'ye ait BS 1042 standardı bu tipte bir problemin yaşanmaması için $0.1D$ ' lik azami plaka kalınlığı önermektedir. Plaka kenarları akışın aşındırıcı etkilerine maruz kaldıkları için genellikle paslanmaz çelik gibi malzemelerden imal edilmiş olmalıdır. Orifis plakasının üzerine hava ve gaz geçirgenliğine olanak sağlamak üzere düşey bir delik açılır. Orifisli plakalar sisteme takılırken dirsekli yerler, basınç valflerine yakınlık gibi, yerel basınç değişimlerine müsait bölgelere dikkat edilerek bu bölgelerin etkisinden uzak noktalara takılırlar. Bu sebepten ötürü orifisli plakanın takılacağı yerde hem akış aşağı yönde hem de akış yukarı yönde $10D$ ' lik düzgün bir boru uzunluğunun bulunması gerekir.

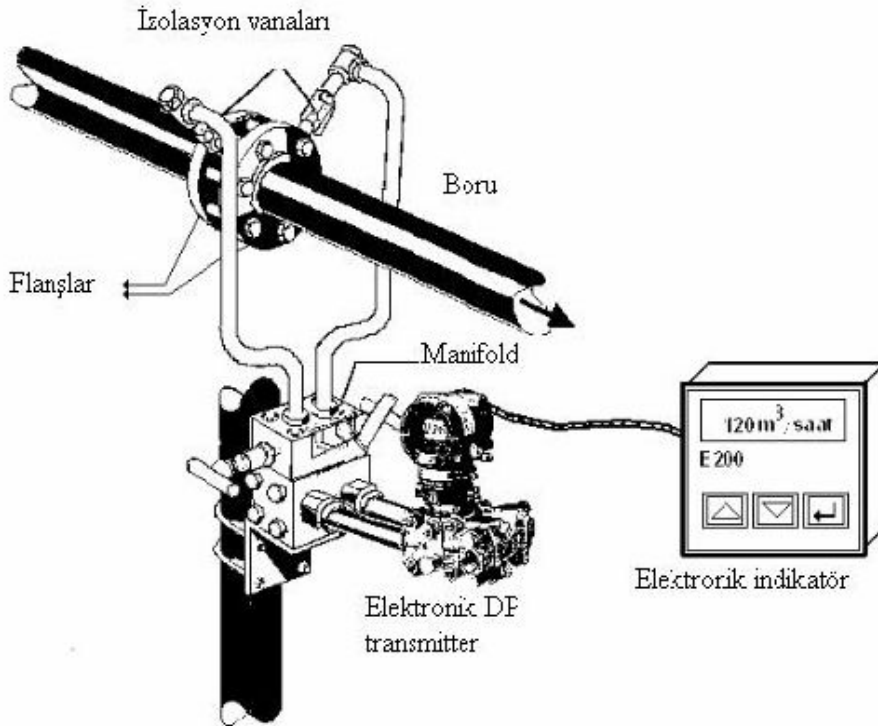
Orifisli plaka düzeneğinden basınç farkı okumak için çeşitli basınç hattı alma yöntemleri mevcut olup teorik olarak en uygun yöntem yukarıda bahsi geçen $D-D/2$ şeklindeki düzenleme şeklindedir. Basınç değerlerini belirleyebilmek için bu noktalara bir elektronik fark basınç transmitteri bağlanarak debi değeri hassas bir şekilde göstergeler üzerinden tespit edilebilir.

Elektronik fark basınç transmitteri ölçme olarak fark basınç değişkenini kullandığı gibi bir çok uygulama alanı olan elektronik bir algılama ölçüm aletidir. Şekil 3.20.'de görüldüğü gibi fark basınç transmitterinin "High Pressure" ve "Low Pressure" olmak üzere iki girişi vardır. Transmitterin içindeki sensör vasıtasıyla iki basınç arasındaki fark elektronik bir sinyale çevrilerek bir göstergeye yansıtılır.



Şekil 3.20. Elektronik fark transmitteri(ANONİM, 1998)

Flanşlar arasına yerleştirilmiş orifis plakasından önceki ve sonraki, fark basınçlarını tespit etmemizi sağlayacak, basınç hatları noktalarından çıkan uygun çapta ve gereçteki borular, yüksek basınç hattı için transmitterin High Pressure yazan giriş kısmına, düşük basınç hattı için ise transmitterin Low Pressure yazan giriş kısmına bağlanır. Sensör yardımıyla, basınç farkı sonucu oluşan sinyaller debi değeri olarak belirli bir göstergeye yansıtılarak, sistemi kontrol eden kişi tarafından sistemin istenilen değerler arasında çalışmasını gözlemleyebileceği bir veri olarak kullanılabilir. Operatör verileri yorumlayarak sistemin debi değerlerini değiştirerek uygun düzenleme yapabilir. Şekil 3.22.'de boru hattına monte edilmiş bir orifis görülmektedir.

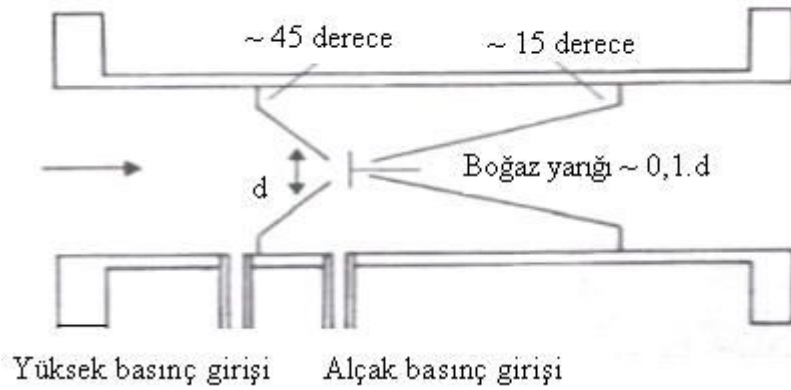
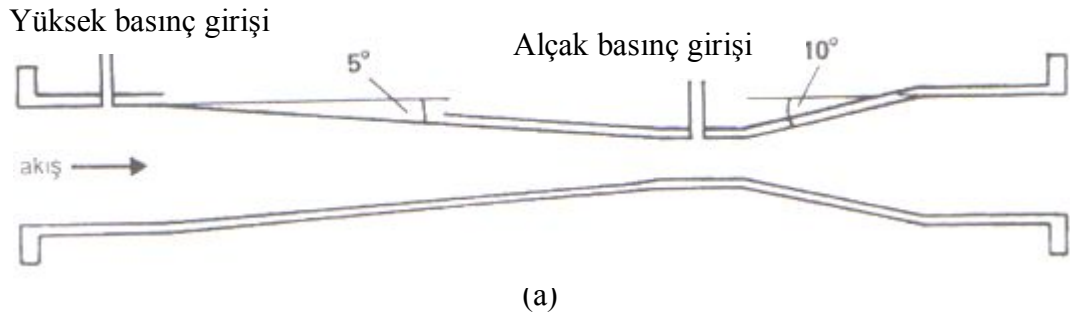


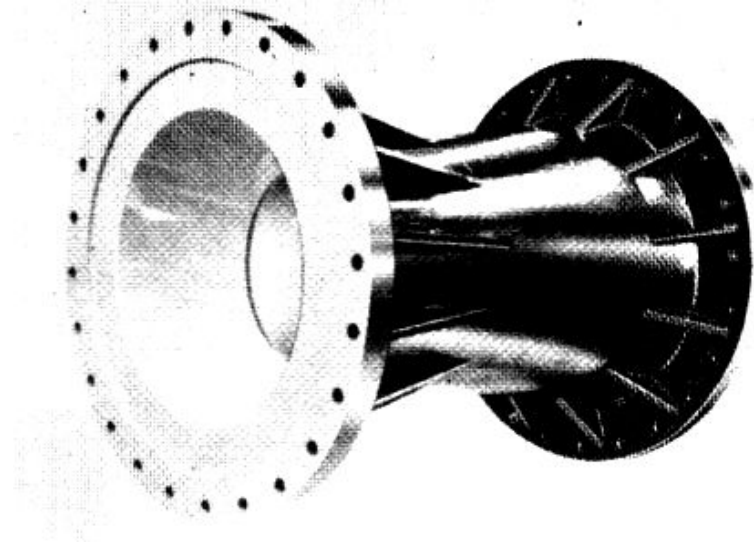
Şekil 3.22. Boru hattına monte edilmiş orifis (ANONİM, 1998)

3.1.5.3. Dall ve Venturi Boruları

Orifisli plakaların ölçüm esnasında büyük bir basınç kaybına neden olduğu bilinen bir gerçektir. Basınç kaybının kabul edilemeyeceği durumlarda ise, farklı bir ölçüm enstrümanı kullanılır. Bu amaçla kullanılan en yaygın iki eleman; Dall ve venturi borularıdır. Orifisli plakalara göre venturi borusunda bulunan düzgün geçiş geometrisi basınç kaybını %5 ile 10'a düşürmekle birlikte, diferansiyel basıncı azaltır(PARR, 1986). Bir venturi borusundan alınan çıkış ,benzer şartlar altında çalışan bir orifisli plakadan alınacak çıkışın yaklaşık olarak üçte biri kadardır.Bir Dall borusundan alınan çıkış değeri ise orifisli plaka ile venturi borusundan alınan çıkış değerleri arasında bir değerde bulunur.

Şekil 3.23.'de Dall ve Venturi boruları görülmektedir. Bir elektronik basınç transmitteri, orifisli plakalarda yapılan ölçüm sisteminde olduğu gibi, Dall veya Venturi borusunun alçak basınç ve yüksek basınç çıkışına bağlanarak, basınç farkını debi parametresi olarak göstergeye yansıtır ve ölçüm sonucu alınır.



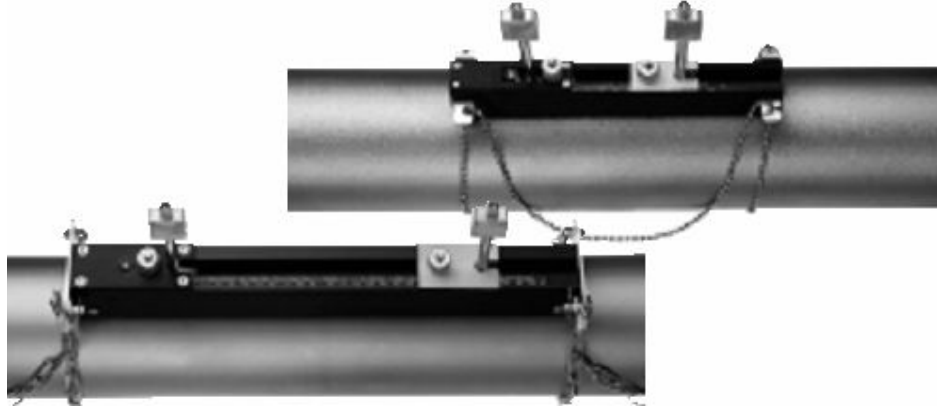


(c)

Şekil 3.23. a)Venturi borusu b) Dall borusu c) Dall borusunun fotoğrafı

3.1.6. Ultrasonik Akış Ölçerler

Ölçümü yapılan maddeye değmeden ses dalgası yolu ile yapılan debi ölçümüdür. Ultrasonik akış transdüserleri Dopler efektinden faydalanır. Diğer dalga hareketleri ile karşılaştırıldığında ultrasonik dalgalar, uygulandıkları ortam sınırlarında değişiklik gösterirler. İki farklı akışkan ortam arasındaki sınıra uygulanan, ultrasonik enerji demeti, kırılma gözlenmesine rağmen, ilk ortamdaki ikinci ortama geçer. Kalan enerji, ilk ortamın sınırından geriye yansır. Ortamın özelliği biliniyor ise, ortamdaki geçen ve yansıyan ultrasonik enerji hesaplanabilir. İkinci ortam gaz (örneğin hava) ise, ortamın yoğunluk, dalga yayılma hızı parametrelerine bağlı olarak ortama geçen enerji ihmal edilebilir. Akışkanın içine gönderilen frekansı bilinen bir ultrasonik ses, akışkanın içindeki partiküller, hava kaparcıklarından yansıyarak geri döner. Dönen sinyalin frekansındaki değişiklik akışkanın hızı ile orantılıdır. Bir diğer yöntemde; bir ultrasonik dalga sıvı içerisinde gönderilir. Alıcı sensör bu dalgayı alır almaz ikinci bir dalga gönderir. İki dalganın arasındaki varış süresi (transit-time) farkından akışkanın hızı çıkarılabilir. Şekil 3.24.'de zaman farkı metoduna çalışan ultrasonik akış ölçerinin boru hattı üzerindeki yerleşimi görülmektedir.



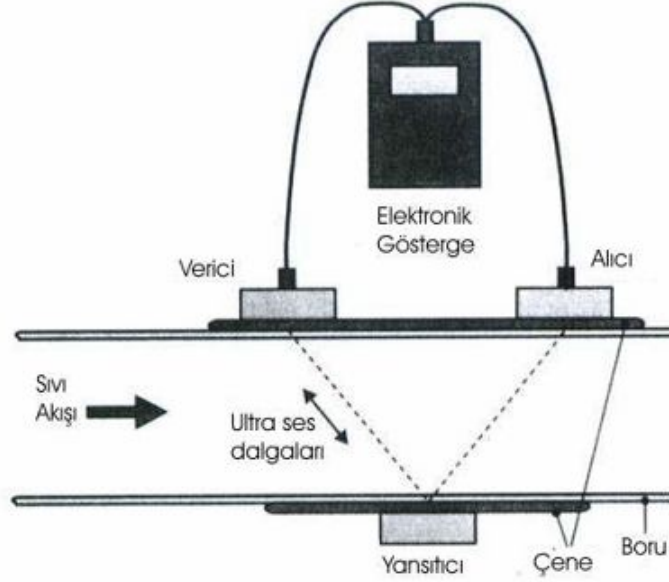
Şekil 3.24. Zaman farkı yöntemine göre çalışan bir ultrasonik akış metrenin boru hattı üzerindeki yerleşimi

En genel anlamıyla, ultrasonik dalga frekansı 50 kHz - 30 MHz aralığında olup (MILLER, 1979) yüksek frekanslarda da (örneğin; 100 MHz) ölçümler gerçekleştirilir. Son tekniklerle frekans bölgesi 200 MHz - 2 GHz aralığı ile genişletilmiş ve 10^9 Hz frekansı, ultrasoniğin üst limiti olarak belirlenmiştir. Tüm dalga hareketlerinde ultrases hızı, genel olarak frekans ve dalga boyundan hesaplanarak belirlenir. Tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan frekans aralığı 1-5 MHz olarak belirlenmiştir.

Ultrasonik ölçüm metodu kapasitif yada temas ederek debi ölçümü yapan diğer sistemlere kıyasla en avantajlı olanıdır. Şekil 3.25.'de görüldüğü gibi borunun bir kenarından ses dalgaları boru içerisine açılı bir şekilde gönderilmekte, yansıtıcıdan bu dalgalar yansıtılarak gönderilme açısına uygun bir toplama açısı ile alıcıda toplanmaktadır. Boru içerisinden sıvı akışının akmasıyla, vericiden gönderilen ses dalgaları ile alıcının algılaması arasında geçen süre değişmektedir. Bu değişim direkt sıvı akışı ile ilgilidir. Verici ile alıcı arasındaki değişim süresi akış hızıyla lineer bir değişim göstermektedir. Bu değişim göstergede akış hızı olarak kalibre edilir bu değer akış kesit alanı ile çarpılması ile akış miktarı tespit edilebilir.

Pahalı olmasına karşılık hassas ve kullanışlı bir cihaz olması, iletken, veya iletken olmayan akışkanlarda kullanılabilir olması, akışı çift yönlü ölçebilmesi, herhangi bir basınç düşümüne sebep olmaması bir avantajdır. Her türlü akışkanla kullanılabilir. Paslandırıcı sıvılar ile içerisinde iri boyutlu partiküller bulunan sıvılarda kullanılmaya son derece uygundur. Bu tip akış metreler ayrıca düzgün veya çalkantılı akışlarda da çalışabilmektedirler. Ancak, basit ölçme uygulamaları için oldukça pahalı

ve karmaşık yapıda bulunması kullanım alanlarını hassas proses uygulamaları dışında kısıtlamaktadır. Ultrasonik akış ölçümü gazlarda kullanılamamaktadır.



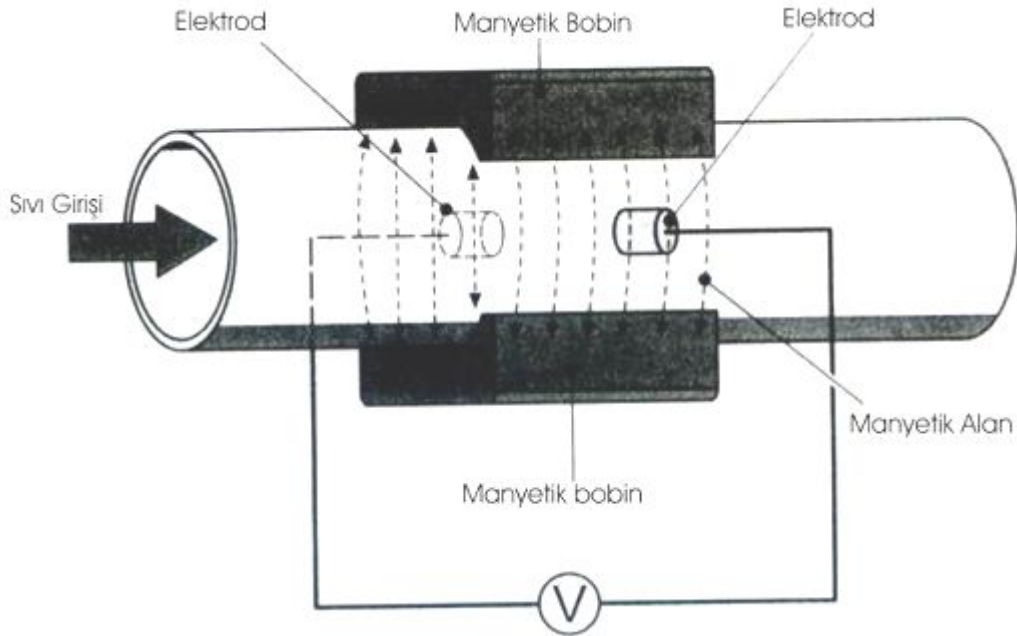
Şekil 3.25. Ultrasonik akış ölçerin çalışma prensibi

3.1.7. Akış Görüntüleme Tekniği Olarak Lazer Doppler Hız Ölçer

Akışa ait hız ve türbülans ölçümleri için kullanılan bir sistemdir. Optik prensiplerle çalıştığı için akışı bozucu etkileri azdır. Ölçme noktasının çok küçük olması, hız değişimlerini ölçebilmesi ve kalibrasyona ihtiyaç duymaması nedeniyle özellikle araştırmalarda, akışkanlar mekaniğindeki akış özelliklerini daha iyi ve daha hassas inceleyebilmek için kullanılır. Bu ölçümlere örnek olarak tren, yol araçları, uçaklar ve gemilerin gövdeleri etrafındaki akım oluşumunu tespit etmek için yapılan deneysel çalışmaları da eklemek mümkündür. Akış içerisinde asılı duran yaklaşık 1µm çapındaki parçacıkların hareketlerinin doppler frekansı ile ölçülmesi prensibine dayanır. Kullanım maliyetleri yüksektir. Bu yüzden ar-ge çalışmaları, deneysel veriler elde etme ve akışa ait hassas ölçümlerin söz konusu olduğu pahalı endüstri uygulamaları dışında, debi veya hız değerleri elde etmek için normal hidrolik proseslerde kullanılmaz.

3.1.8 Manyetik Debi metreler

Elektromanyetik akış ölçümü faraday kanununu esas alır. Elektromanyetik akış ölçer sıvıyı iletken olarak kullanır. Şekil 3.26.'da görüldüğü gibi, elektromanyetik akış ölçer seri bağlı iki bobine sahiptir. Bobin enerjilendiği zaman, sıvı etrafında akım etkisi ile bir manyetik alan oluşacaktır. Boru kenarına iki iletken elektrot sıvı akışına ve manyetik alana dik olarak yerleştirilmiştir(FRENZEL, 2006). Boru içerisindeki sıvı akışkanın hız değişimi. Manyetik alan akış ölçümü manyetik alanda etki yaparak, değişimi elektrotlara iletcek, elektrotlarda ölçü aletine sinyal gönderecektir. Ölçü aletinin almış olduğu sinyalle göstermiş olduğu değişim, akış hızının değişimi ile lineer bir değişim gösterecektir.



Şekil 3.26. Manyetik alan akış ölçümü

Manyetik alan akış ölçerlerin avantajlarını şu şekilde özetlemek mümkündür;

- Hareketli oynar veya çıkıntılı bir parçası olmaması nedeniyle hatta basınç kaybı

oluşturmaz.

- Ölçüm stabilizesi uzundur. Kalibrasyon periyodu diğer ölçüm metotlarına göre daha azdır.
- Yatay veya dikey montaja uygundur ve düz hat gereksinimi azdır
- Geniş akış hızı ölçüm aralığına sahiptir (0,5-10 m/sn.).
- Doğru ve güvenilir ölçüm (%0,15 den başlayan hassasiyet değerleri).

Manyetik debi metrelerde akış hızı ve debi değerleri azaldıkça okunan hassasiyette azalmaktadır. Bu nedenle akış esnasında sağlıklı değerler alabilmek için akışkanın hızının 0,5 ile 10 m/s değerleri arasında tutulması gerekmektedir. Ayrıca kroziif akışkanların söz konusu olduğu akışlarda akış hızının yüksek seçilmesi korozyonun astar ve elektrot üzerindeki etkisini arttırıcı etki yapmaktadır.

Elektromanyetik akış metrenin ölçüm esnasında sıfıra yakın değerlerde basınç kaybı yaratmasına rağmen çeşitli dezavantajları vardır. Bunlar; büyük hacimli olması, montajının zor olması, yalnızca iletkenlik değeri 1mSm^{-1} iletkenlik derecesinden daha yüksek akışkanlarda ölçüm değerleri vermesi, bu değer ise başta hidrolik sistemlerde kullanılan yağlar olmak üzere bir çok sıvının bu limit değerinin altında kalması anlamına gelmektedir.

Özellikle elektriksel iletkenlikten kaynaklanan değerlerden ötürü bu tip akış metreler hidrolik sistemlerde kullanılamaz. Bu tip cihazlar genel olarak içerisinde partiküller bulunan sıvılarda, katı içerikli sayılabilecek likit akışkanlarda iyi ölçüm değerleri vermektedirler.

3.2. Basınç Ölçümleri

Basınç bilimsel olarak akışkanın içinde bulunduğu ortam yüzeyinde meydana getirdiği kuvvet etkisi olarak tanımlanır. Kullanılan tüm basınç transdüserleri statik basıncın, yani akışkanın durgun haldeki basıncının ölçümünü yapar. Akışın hareket halinde olması durumunda ise dinamik basınç oluşur ve bu basıncın ölçülmesi fark basıncı ölçerek debi değeri tespit eden diferansiyel fark basıncı akış ölçerleri ile yapılabilir. Diferansiyel basınç transdüserine uygulanan iki basınç arasındaki farktır. Bu tip transdüserler akış ölçümlerinde geniş olarak kullanılmakla beraber temel olarak

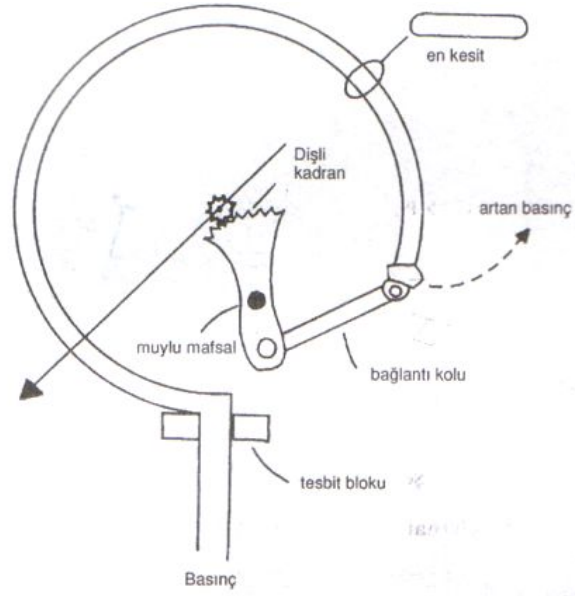
diğer bütün basınç ölçme metotlarının kökenini oluşturur. Diğer tüm tipteki transdüserler yalnızca diferansiyel basınç transdüserlerinin değişik modelleridir. Vakum ölçme işlemi ise basınç ölçümünün değişik bir uygulama biçimi olmakla beraber, bu tür ölçümler için özel cihaz ve teknikler gerekir.

3.2.1. Manometreler

a) Bourdon Tüplü Manometre

19. yüzyıldan kalan Bourdon tüpü uzun bir mesafeden uzaktan ölçme işlemi veya çok yüksek/düşük basınçların ölçümü söz konusu olan yerlerde hala en yaygın şekilde kullanılan basınç ölçme aletidir. Bu tüp, daire kesitli bir tüpün enine kesiti Şekil 3.27.'de görüldüğü gibi yassılaştırılarak ve "C" şeklinde bükülmek suretiyle imal edilir. Tüpün bir ucu sabit olup açık bırakılır ve ölçülecek basınca bağlanır. Öbür ucu kapalı olup serbest bırakılır. Bu durumda, bu tüpün içine bir basınç uygulanacak olursa, tüpü doğrultma eğilimi gösterir ve serbest bırakılan ucunun yukarı ve sağa doğru hareket etmesine sebep olur. Bu hareket, bir kadranlı ve dişli çarklı bir mekanik bağlantı vasıtasıyla dairesel ibre hareketine dönüştürülür. Bu hareket tüpün içindeki ve dışındaki diferansiyel basınca bağlı olup, bu sebeple Bourdon tüpü niteliği gereği gösterge basıncını ölçer.

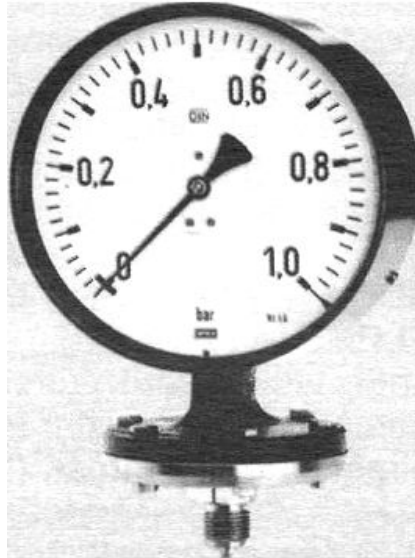
Bu tip manometreler, sıvı akışkan ve gaz akışkan ortamlarında basınç ölçümü için kullanılırlar. Ancak bunlar, yüksek viskoziteli ortamlarda, kristalize olan ortamlarda veya bakır alaşımlar ile reaksiyona giren akışkan ortamlarında kullanılmazlar. Fabrikalar ve endüstriyel tesislerde basınç ölçümünde en fazla görülen manometre türü Bourden tipi borulu manometrelerdir.



Şekil 3.27. Bourdon tüplü manometre

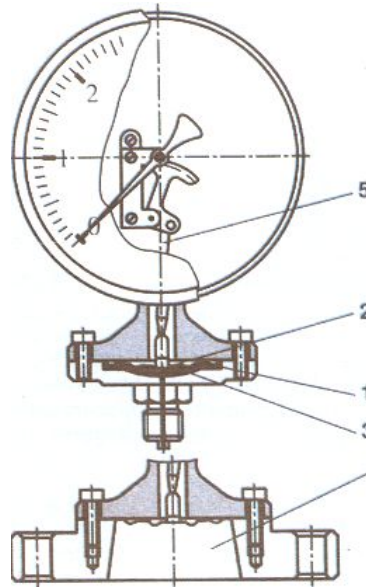
b) Diyaframlı Manometre

Bu tip manometreler(Şekil 3.28.) Bourdon tüplü ölçüm cihazlarına oranla, titreşimlere karşı daha hassastırlar, kirli ve yüksek viskoziteli ortamlar için daha uygundurlar.



Şekil 3.28. Diyaframlı manometre

Şekil 3.29.'da görüldüğü gibi iki flanş arasında gerilmiş, eş merkezli bir diyafram,(1) basınçlı hazneyi iki ayrı bölüme ayırır. Basınç bölmesi (2) dışarıya bağlıdır ve atmosfer basıncıyla basınçlaşmıştır. Bölme (3), ölçüm konumunda çalışma basıncıyla basınçlaşmıştır ve ölçme bölümünü oluşturur. Bölmedeki basınçla (2) ölçme bölümündeki basınç (3) arasındaki fark basıncı, diyaframın bir yönde deformasyonuna sebep olur. Bu deformasyon bir itme kolu ile (5) ekran mekanizmasına ve ölçekte doğru konum gösteren bir ibreye iletir.

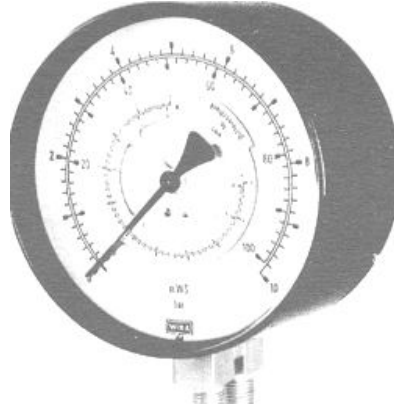


Şekil 3.29. Diyaframlı manometrenin tasarımı

c) Bourdon Tüplü Fark Basıncı Manometreleri

Bu manometreler (Şekil 3.30.), viskozitesi yüksek olmayan ve kristalize olmayan akışkan ve gazlar arasındaki basınç farklarının ölçülmesinde kullanırlar.

Bu basınç ölçüm cihazında, birbirinden bağımsız çalışan iki bourdon tüpü ölçüm sistemi vardır. Ölçüm elemanının (basınçlanmadan doğan) hareketleri, ölçülen basınca orantılı olarak manometreye iletilir ve skalada gösterilir.



Şekil 3.30. Bourdon Tüplü Fark Basıncı Manometresi

d) Diyaframlı Fark Basıncı Manometresi

Bu cihazlar, sıvı akışkanlarını ve gazların fark basınç ölçümleri için uygundur. Genellikle boru hatları ve filtre sistemi arasında oluşan basınç düşümünün ölçümü için kullanılırlar (Şekil 3.31.).

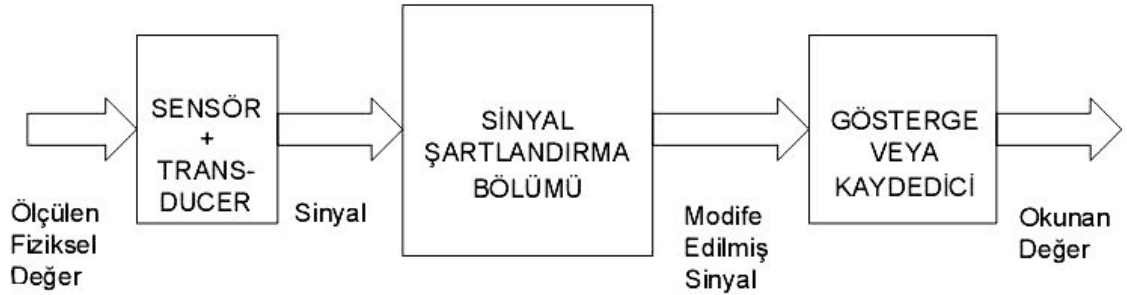
Plaka yaylı fark basıncı ölçüm cihazı, birbirlerinden plaka yayı ile ayrılmış olan iki basınç bölmesinden oluşurlar. Basınç farkı oluştuğunda, plaka yayı bombe oluşturur ve direk olarak iki basınç arasındaki farkı gösterir. Basınç farkı, göstergedeki ölçek aralığını aşmamalıdır.



Şekil 3.31. Diyaframlı fark basıncı manometresi

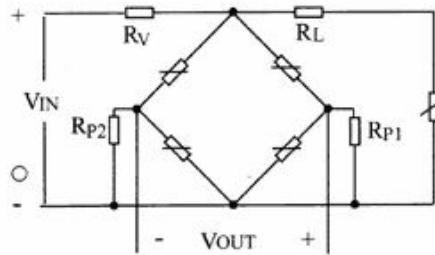
3.2.2. Basınç Ölçüm Sensörleri

Sanayide basınç ölçmede en çok kullanılan eleman Bourdon tip manometredir. Ancak günümüz teknolojisinde bu tip direkt mekanik etkiyle çalışan elemanların kullanılması yaygın değildir. Bunun yerine yaygın olarak sensör tabanlı ölçüm yapan elemanlar kullanılmaktadır. Sensörler temel olarak maruz kaldığı fiziksel etkiyi elektrik sinyaline çeviren elemanlardır. Şekil 3.32.'de bir sensör sistemine ait basit bir model görülmektedir.



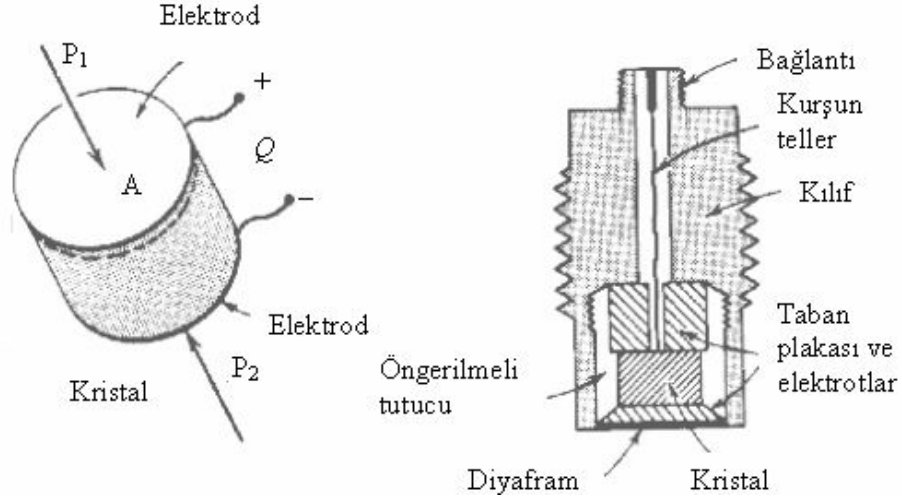
Şekil 3.32. Sensör sisteminin basitçe modellenmesi

Basınç sensörleri akışkanın basıncını elektrik sinyaline çeviren elemanlardır. Bu sensörlerin farklı fiziksel etkilere göre çalışan modelleri olmasına karşın, uygulamada en çok karşılaşılan modeller piezoelektrik etki ile çalışan genel amaçlı kuvars basınç sensörleridir. Piezoelektrik elemanlar bir dış kuvvet altında kaldıkları zaman, karşılıklı yüzeyleri üzerinde bir elektrik yükü oluşur. Elektrik yükü diyaframa uygulanan basıncın köprü şeklinde yerleştirilmiş bükülmeye değer değiştiren dirençleri uyarmasıyla olur. Köprü uçlarındaki gerilimin değişimi bir elektronik kart yardımıyla istenilen değere çevrilerek okunur. Şekil 3.33.'de piezoelektrik sensör köprü bağlantısı görülmektedir.



Şekil 3.33. Piezoelektrik etkili sensör köprü bağlantısı(ANONYMOUS, 1992)

Yüksek sertlik değerine sahip olan piezoelektrik malzemeler çok küçük bir kuvvet etkisi altında bile büyük elektriksel çıkış sinyalleri ürettiklerinden bu tip sensörlerin yapısında, akışkanla ölçüm elemanını birbirinden hassas bir şekilde ayıran bir diyafram bulunur. Ölçüm elemanı ile diyafram arasında basıncı ileten genellikle sikon esaslı bir kimyasal vardır (Şekil 3.34.).

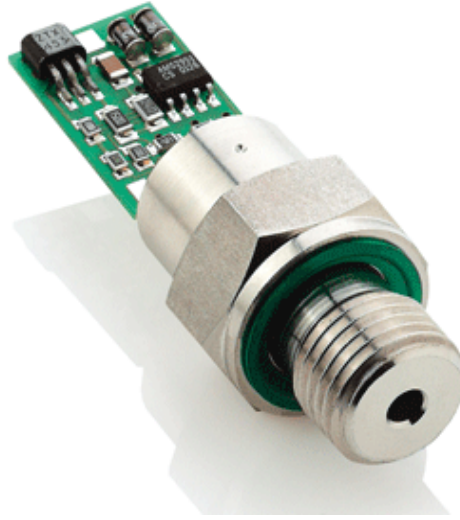


Şekil 3.34. Piezoelektrik basınç sensörünün yapısı

Basınç değişimiyle doğrusal olarak, ölçüm elemanı üzerinde bulunan direnç değişiminden milivolt cinsinden bir çıkış alınarak bu çıkış sinyal değeri sensör içerisinde bulunan bir yükseltici devre ile yükseltilerek sensör çıkışı olarak 4-20 mA ya da 0-10 V gibi değerler verir. Basınç sensörünün içinde bulunan elektronik devrede sıcaklık farklarından dolayı ölçüm çıkışında olabilecek hataları önlemek ve doğrusallığı sağlamak için sıcaklık dengeleme (Kompanzasyon) devreleri kullanılır. Basınç sensöründen alınan voltaj ya da akım türündeki çıkış değerleri elektronik cihazlar kullanılarak analiz edilebilir.

Sensör üretici firmaların birçoğu başta bakım, arıza bulma ya da makine ayarı gibi uygulamalarda kullanılacak elde taşınan tipler olmak üzere sensör çıkış değerlerini analiz eden ve bu değerleri basınç, debi gibi değişik parametreler cinsinden gösterebilen ölçüm cihazlarını da üretmektedir. Piezoelektrik malzemelerden yapılan sensörlerin en önemli özelliği bunların dinamik yani zamanla değişen etkileri ölçebilmesidir. Bu tip sensörler zamanla değişmeyen etkileri yani yerçekimi ivmesi, barometrik basınç gibi statik değerleri ölçmeye çalıştıklarında, ilk anda bir çıkış sinyali verirler fakat bu sinyal, piezoelektrik malzemenin ve algılayıcının bağlı olduğu

elektronik devrenin zaman sabitine bağılı olarak, zamanla yok olur. Bu zaman sabiti, cihazın üzerindeki kapasitans ve direncin oluşturduğu, birinci dereceden yüksek frekans geçiren filtreden kaynaklanmaktadır. Bu filtre cihazın ölçebileceği en düşük frekansı belirlemektedir. Şekil 3.35.'de bir basınç sensörü görülmektedir.



Şekil 3.35. Bir basınç sensörü

Piezoelektronik Basınç Sensörlerinin genel özellikleri şu şekilde belirtilebilir ;

1. Diyaframlar yüksek frekanslı ve rezonans olmayan darbe ve patlama dalgalarının cevaplarını yüksek doğruluk ile ölçer.
2. Basınç sensörleri kirli ortamlarda, sualtında, uzun standart koaksiyel kablolar yolu ile herhangi bir sinyal kaybına uğramadan ve parazit almadan sinyal gönderebilirler.
3. Kuvars basınç sensörlerinin dinamik çalışma aralığı çok geniştir.
4. Çalışma sıcaklığı aralığı $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den $315\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar geniş bir aralıktır.
5. Dayanıklı, rijit konstrüksiyonu sayesinde, şiddeti yerçekimi ivmesinin onbinlerce katna ulaşan şok darbelerine ve titreşimlere dayanabilir.
6. Metrik ya da İngiliz ölçme sistemine göre konfigürasyon yapılabilir.
7. Küçük boyutları ve kompakt yapıları sayesinde her proseste kullanılabilir.
8. Elektronik kartlarının yardımıyla yüksek doğrulukta ve tekrarlanabilir ölçüm alınabilmektedir.

Tablo 3.4.'de Piezoelektrik ölçüm sensörlü bir basınç transmitterinin teknik özellikleri görülmektedir.

Tablo 3.4. Piezoelektrik etkili bir basınç sensörünün teknik verileri

Basınç Transmitterinin Teknik Özellikleri	
Basınç aralığı	-1 ile 10 Bar (Relatif)
Optimum çalışma sıcaklığı	-20 ile 85 °C
Maksimum giriş basıncı	20 bar
Çıkış sinyali	-0.2 ile +2 V
Doğrusallık hatası	% 0.3
Yeniden tekrar edilebilirlik	% 0.2
Akışkan cinsi	Sıvı ve gazlar
Gövde malzemesi	Paslanmaz 1.4462 veya 1802
Diyafram malzemesi	Paslanmaz 1.4301
Cevap verme süresi	< 1 ms
Rezorans frekansı	100 khz

Basınç transmitterleri 3 gurup altında incelenebilir.

a) Mutlak Basınç Transmitterleri

Bu grupta ölçüm yapabilen transmitterler atmosferik basınç altındaki değerleri de ölçebilmektedir. Referans olarak transmitterin gövdesi içerisinde bulunan vakum değerini kullanırlar. Mutlak basınç ölçümleri, bir ideal vakum (mutlak sıfır basınç) ile ölçülen basıncı karşılaştırır. Çünkü hiçbir basınç okuması bir ideal vakum (mutlak sıfır)dan az olamayacağından, bir mutlak basınç ölçüm cihazı hiçbir zaman eksi okuma yapmayacaktır. Bir mutlak basınç ölçüm cihazının referans basıncı (örn. bir ideal vakum) asla değişmez.

b) Basınç Transmitterleri

Bu tip basınç ölçüm enstrümanı, ortam atmosfer basıncını (yaklaşık 14.7 psi) referans basınç olarak kullanır. Atmosferik basınçtaki değişimler (hava değişiminden kaynaklanan değişimler) basınç sensörün çıktısında değişikliğe neden olur. Uygulamaya

bağlı olarak, çıktı değişimi istenebilir veya istenmeyebilir. Atmosfere açık olmayan proses sistemlerinde (örneğin ventilsiz tanktaki bir proses), ölçülen proses malzemesinin basınçları, eksi ortam atmosferik basıncından düşük olabilir bu durumda eksi basınç okuması oluşur. Ölçüm aralıkları çok geniş olup bu değer 1000 Bar basınca kadar çıkmaktadır.

c) Fark basınç Transmitterleri

Bir diferansiyel basınç ölçümünde, ikinci bir proses basıncı referans basınç olarak kullanılır. Diferansiyel basınç ölçümleri sıklıkla, bir boru içindeki filtrenin ortasından geçerken oluşan düşüş gibi sistemin farkı iki noktası arasında oluşan basınç düşüşünü hesaplayarak bir boru içindeki akış hızını belirlemek için kullanılır. Örneğin, eğer bir diferansiyel basınç enstrümanı (DP), enstrümanın yüksek tarafının, boru içindeki akış elemanının yukarı yöndeki basıncını ölçmesi ve enstrümanın alçak tarafının akış elemanının aşağı yöndeki basıncını ölçmesi için monte edilmiş ve yüksek taraf basıncı 12 psi ve alçak taraf basıncı 10 psi ise diferansiyel basınç 2 psi'dir. Atmosferik basınçtaki değişimler, diferansiyel basınç ölçüm enstrümanının çıkışını etkilemez çünkü ölçülen her iki basınç ve referans basınç, atmosferden eşit şekilde etkilenirler(ANONİM, 2001). Debi ölçümü, seviye ölçümü, filtre tıkanıklık durumu tespiti gibi ölçümleri en yaygın kullanım alanlarıdır. Ölçümde kullanılan referans basıncı göstermek için, mutlak basınç için a sembolü, basınç için g, fark basınç için d genellikle basınç birimlerinin sonuna eklenir. Böylece, basınç ölçümleri genellikle sadece psi yerine psig, psia yada psid olarak gösterilirler. Yada bu değerler bar g, bar a yada bar d olarak ifade edilebilir.

3.3. Heisenberg ve Ölçmede Belirsizlik İlkesi

3.3.1. Heisenberg belirsizlik ilkesini tanımlamaya yönelik temel kavramlar

3.3.1.1. Kuantum fiziği

Kuantum fiziği çevremizde ve evrende varolan maddi varlıkların içinde mikro yapılara gidildikçe hangi taneciklerin var olduğunu orada hangi olayların nasıl meydana geldiğini kısacası mikro-evren dediğimiz bu evreni yöneten yasaları araştıran

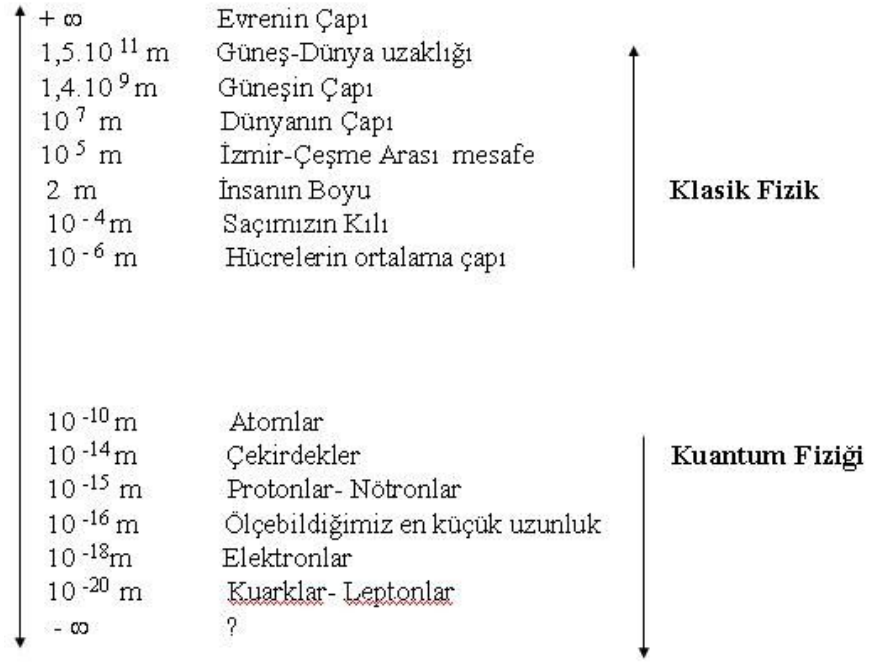
fizik alt dalıdır(ANONİM, 2003). Mikro evrende (uzunluk $\ll 10^{-6}$ m) gerçekleşen olaylar kuantum fiziğinin kurallarıyla açıklanır.Şekil 3.36.'da boyutsal olarak klasik fizik ve kuantum fiziği arasındaki sınır açıkça görülmektedir.

Kuantum fiziği 1900 yılında siyah cismin ışınması yada termal radyasyonun deneysel olarak gözlenmesi ve bunun o güne kadar bilinen klasik fizik yasalarıyla açıklanmaya çalışılmasından ve sonuç alınamamasından doğmuştur.

Max Planck 1900 yılında siyah cisim ışınmasını inceleyerek, klasik fiziğin yıllarca, enerjinin devamlı olduğunu, yani enerjinin belli bir aralık içinde, bütün değerleri alabileceğine görüşüne zıt olarak, Elektromanyetik Enerji'nin (Elektron Çekim Enerjisi) değişim yaptığını ve "quantik" (nicel değerler taşıyan) olduğunu saptadı. Değişimler (alışverişler), parçalar (Enerji Tanecikleri) vasıtasıyla yapılıyordu ve devamlılık arz etmiyordu(ANONİM, 2002). Bu bulgu kuantum fiziği teorisinin kurulmasına öncülük etti.

Klasik fiziğin çözemediği ve kuantum teorisini oluşturan olayları şu özetleyebiliriz;

- Siyah Cisim Işınması (Kirchoff, Rayleigh-Jeans, Planck)
- Fotoelektrik etki (Faraday, Hertz, Einstein)
- X-Işınları (Röntgen)
- Radyoaktivite(Becquerel, Curie' ler)
- Çekirdek fiziği(Rutherford, Bohr)
- Maddesel parçacıkların dalga özelliği (de Broglie)
- Elektromagnetik ışınmanın(ışığın) parçacık özelliği(Einstein, Compton)
- Elektron, proton, vb. parçacıkların spin özelliği(Stern-Gerlach)



Şekil 3.36. Klasik fizik ve kuantum fiziği arasındaki boyutsal farklılıklar

Klasik fiziğin yasaları çok küçük (mikroskobik) ölçekteki sistemlerin açıklamasında doğru sonuç vermemektedir.

Klasik fiziğin çözemediği ve kuantum teorisini oluşturan olayları şu özetleyebiliriz;

- Siyah Cisim Işıması (Kirchoff, Rayleigh-Jeans, Planck)
- Fotoelektrik etki (Faraday, Hertz, Einstein)
- X-Işımları (Röntgen)
- Radyoaktivite(Becquerel, Curie' ler)
- Çekirdek fiziği(Rutherford, Bohr)
- Maddesel parçacıkların dalga özelliği (de Broglie)
- Elektromagnetik ışımının(ışığın) parçacık özelliği(Einstein, Compton)
- Elektron, proton, vb. parçacıkların spin özelliği(Stern-Gerlach)

Klasik fiziğin yasaları çok küçük (mikroskobik) ölçekteki sistemlerin açıklamasında doğru sonuç vermemektedir.

3.3.1.2. Max Planck'ın Kuantum Varsayımı

Alman fizikçisi Max Planck enerjinin sürekli olmayıp, temel bir büyüklüğün katları biçiminde kesikli olduğunu öne süren kuantum teorisi ile fizikte devrim yaratmıştır. 1900 yılında siyah cisim ışımasını araştırırken yaptığı deneyle tam bir uyum içinde olan bir formül buldu. Bulduğu deneysel formülü önerirken kuantum kavramından literatürde ilk kez söz edilmesini sağlamış oldu. Planck'ın kuantum varsayımları şunlardır (ANONİM) ;

1. Işınım yayan, titreşen bir sistemin enerjisi;

$$E = nh\nu \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (3.8.)$$

ile verilen kesikli enerji değerlerine sahiptir.

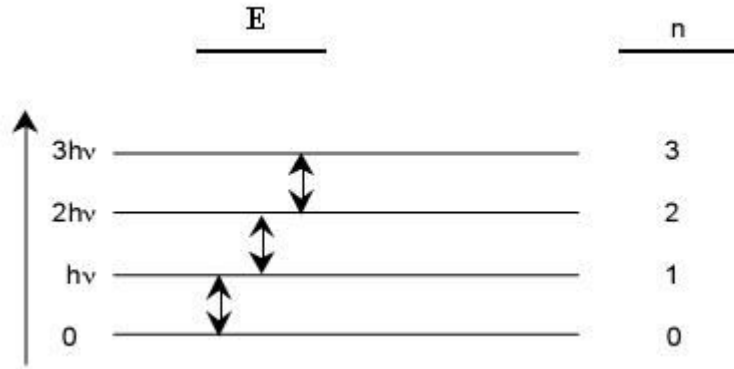
2. Atomlar; foton denilen ışık enerjisinin kesikli birimleri cinsinden enerji yayınlar veya soğurlar atomlar bunu bir enerji düzeyinden diğerine sıçrayarak yaparlar. Bu durumda geçiş enerjisine karşılık gelen fotonun enerjisi;

$$E = h\nu \quad (3.9.)$$

ile verilir.

Bu ifadelerdeki "h" Planck sabiti olarak adlandırılır ve $h=6,625.10^{-34}$ J.s değerine sahiptir. ν ise moleküllerin titreşim frekansı veya fotonun frekansıdır. Şekil 3.37.'de Planck tarafından önerilen kesikli enerji düzeyleri ve bunların arasındaki izinli geçişler görülmektedir.

Planck'ın kuantum varsayımlarındaki temel unsur, kesikli enerji düzeyleri gibi köklü bir varsayımdır. Bu varsayım kuantum kuramının doğuşunu belirginleştirmiştir.



Şekil 3.37. Bir boyutta ν frekansı ile titreşen bir titreşici sistemin enerji düzeyleri ve bu düzeyler arasındaki izinli geçişler

3.3.1.3. Foton Kavramı

19. yy. İtibariyle, Klasik fizik iki tip nesne ayırt ediyordu;

- Yaygın nesnelere ve materyaller; bu materyallerin kütleleriyle, hacimleriyle, uzaydaki konumlarıyla, kırılmaları ve yapışmalarıyla ve boşluktan yaratılmalarıyla ve yok olmalarıyla tanımlanabiliyorlardı.
- Ses gibi, maddi olmayan dalgalar.

20. Yüzyılın başlarında elektromanyetizma ve ışıkla ilgili olarak keşfedilen bazı fenomenler; Foto-elektrik ve kara madde gibi, fizikçileri, ilkelerini yeniden gözden geçirmeye mecbur etti. Bazı dalgalı fenomenler ancak ve ancak partiküllerle (parçacıklarla) izah edilebilirdi ve parçacıklar aynı dalgalar gibi davranıyordu. Işığın tanecikli modelinin başarısı foton kavramını destekleyen bir olgudur. Bu kavram ilk kez 1904 yılında A. Einstein tarafından kullanılmıştır. Işığın parçacık (tanecik) özelliğini gösterdiği olaylardan biride fotoelektrik deneyi ile ortaya çıkarılmıştır. Foto elektrik deneyi kısaca; metal bir yüzeye ışık düşürüldüğünde, metalden elektron koparılmasıdır. Foton ışık enerjisi paketi veya yumağı demektir. En genel anlamda foton, elektromagnetik dalga paketi demektir. Bir fotonun enerjisi, frekansı cinsinden;

$$E = h\nu$$

ve dalga boyu cinsinden de;

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (3.10.)$$

ile ifade edilebilir.

Einstein, ışığın dalga özelliğinin yanı sıra, ışığın frekansına bağlı olarak parçacık(enerji paketçığı) özelliği gösterdiğini açıklamıştı. Buna göre fotonun bir momentumu da tanımlanabilirdi. Momentum, parçacığın kütlesi ile hızının çarpımına eşittir. Bu kavram,tanecik ya da parçacıklara ilişkindir.

$$P = m_{\text{parçacık}} \cdot V \quad (3.11.)$$

Kısaca ışığın bazı özellikleri sadece dalga konsepti ile açıklanırken (girişim veya kırınım gibi), bazı özellikleri ise sadece foton konsepti ile açıklanabilir (Fotoelektrik olay veya atomların enerji soğurması ve salması gibi).

3.3.1.4. De Broglie Varsayımı

1905 yılında, Albert Einstein, ışığın parçacık özellikleri de taşıdığına dair kuramı geliştirmişti. Louis Victor de Broglie, açıkça bir dalga olduğu görülen ışık bazen bir parçacık gibi (foton) davranıyorsa, tanecik özellikleri gösteren elektronun da bazen dalga gibi davranması gerekir düşüncesini temel alarak, matematiksel olarak Planck eşitliği ile Einstein eşitliğini birleştirerek, elektronların dalga doğasını keşfettiği için 1929'da Nobel ödülünü aldı, De Broglie varsayımına göre; momentumu P olan bir parçacığa dalga boyu;

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (3.12.)$$

ile verilen bir dalga eşlik eder. Diğer bir ifade tarzıyla; her elektrona, ona uzayda yol gösteren veya yörünge çizen ,bir dalga eşlik eder. Varsayım bu ifadesiyle parçacık mekaniğinden dalga mekaniğine geçişi oluşturduğundan oldukça önemlidir. Bu varsayım klasik fizikteki elektromagnetik dalgalar ve mekanik dalgaların dışında, fiziğe üçüncü bir dalga türü kavramını sokmaktadır. Nitekim 1927'de Davisson ve Germer birlikte 150 eV enerjili bir elektron demetini Nikel kristali üzerine göndererek belli açılarda saçılmaların oluştuğunu, yani elektronların kırınımına uğradıklarını gösterdiler. Böylece maddesel parçacıkların da parçacık-dalga ikili davranışına sahip oldukları anlaşılmış oldu(ANONİM, 2002). Bu yeni dalga türü Schrödinger dalgası, madde dalgası gibi adlarla anılır. Bu dalgaların klasik fiziktekinden farkı, bir olasılık dalgası olmasıdır. Yani bu dalgalar parçacığın belirli bir "t" anında "x" konumunda bulunma olasılığını verir. Kuantum fiziğinde fiziksel davranışlar, olasılıklar açısından öngörülebilir.

3.3.1.5. Dalga Paketleri ve Parçacıklar

Farklı frekans, farklı şiddet ve farklı yayılma doğrultusuna sahip birden fazla dalganın uzayın bir noktasında girişimleri sonucu oluşan enerji paketine (veya sinyal) dalga paketi adı verilir. Enerjinin yoğun olduğu dalga paketleri, dalganın faz hızından daha yavaş hareket ederler. İlerleyen bir dalganın faz hızı;

$$v_f = \lambda \cdot v \quad (3.13.)$$

eşitliği ile verilir. Dalga paketlerinde dalgalar tam olarak üst üste bindiklerinden, bu bölgeler dalgaların grup yaptığı yerlerdir. Bu nedenle dalga paketinin hızına grup hızı denir ve v_g ile gösterilir. Bir dalga paketinin grup hızı;

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} \quad (3.14.)$$

ile tanımlanır. Bu eşitlikte ω , açısal frekans olup, frekansı ν olan dalga için;

$$\omega = 2\pi\nu \quad (3.15.)$$

ile verilir. k ise dalga sayısı olup, dalga boyu λ olan dalga için;

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.16.)$$

eşitliğiyle verilir. Dalgaya eşlik eden parçacığın dalga genliğinin en büyük olduğu yerde bulunma olasılığı en büyüktür. Öte yandan de Broglie dalgalarının dalga paketi ise tam parçacığın bulunduğu konumda oluşacağından, de Broglie dalgaları için parçacığın hızı ile eşlik eden dalganın grup hızı aynıdır. Bu hız için üst limit ışık hızıdır.

3.3.2. Heisenberg Belirsizlik İlkesi

Klasik fizik yasaları, belirli şartlar altında, belirli bir yerde yapılan bir gözlemin sonuçlarının ,gözlemciden veya yapıldığı yerden bağımsız olarak yinelendiğinde aynı değerlere sahip olacağını öngörmektedir. Felsefi anlamda bu görüşe determinizm denir. Klasik fiziğin incelediği nesnelerin fiziksel davranışlar, eylemi yorumlayan kişinin görüşlerine bağlı değildir ve kesinlik arz eder. Örneğin hareket halinde olan bir mermi çekirdeğinin gerekli fiziksel parametreleri bilindiğinde, geçmişte izlediği yörünge ve konum, gözlem yapıldığı andaki yörünge ve konum değerleri, hızı, ivmesi gibi bir çok bilgiye ulaşmak mümkündür.

17.yy.da; yapılan ölçme ve deneylerin doğaya bir müdahale olduğu düşünülüyordu. 20. yy.da; insanın, bilme sürecindeki yeri daha iyi anlaşılınca bu müdahale fark edildi ve ölçme, deney gibi kavramlar daha iyi anlaşıldı. Özellikle kuantum fiziğinde deneyin ve ölçmenin niteliği klasik fiziğinkinden oldukça farklıdır. Ölçme ister makro evrende ister mikro evrende olsun ölçülen sisteme yapılan bir müdahaledir.

Heisenberg'in ölçüm işlemleri hakkındaki düşünceleri Belirsizlik İlkesinin doğmasına yol açtı. Bilindiği gibi ölçülen dört ana değişken vardı: Konum, momentum, enerji ve zaman. Bu keşif, atom dünyasında konjuge değişkenler, konum ve momentum,

yada enerji ve zamandan yalnızca birini belli bir zamanda doğru olarak belirlenebileceğini gösterdi.

Heisenberg'in ölçüm hakkındaki görüşlerini somutlaştırmak için, herhangi bir Hidrojen atomundaki elektronu görmek ve bu elektronun hareket değişkenlerini tespit edilmeye çalışıldığını varsayarsak, bu gözlemi mikroskopla yaparken, mikroskopta görmek istenilen en küçük taneciği görebilmek için tanecik boyutu ile ışığın boyutunun aynı olmak zorunluluğu vardır. Görünür ışıktan yararlanılarak normal bir mikroskopta görülebilecek en küçük boyut yaklaşık 1000 nm' dir. Bir elektron mikroskobunun çözümleme gücü ise yaklaşık 1 nm dir. Bu durumda elektron görünür ışıkla görülemez. Çünkü görünür ışık, hidrojen atomuna gönderildiğinde elektron, atomdan kopup gider; yani görünür ışık hidrojen atomunu iyonlaştırır. Bu durumda dalga boyu daha küçük ışık seçilirse, küçük dalga boyuna sahip ışık göreceli olarak daha yüksek enerjili olduğundan, elektrona çarpan fotonlar, elektronunun atom içindeki konumunu ve hızını değiştirir. Bu durumda elektronun atomdaki gerçek konumunu belirlemek mümkün değildir(HAWKING, 1994). Ve bu ölçüm sonucu, bir miktar belirsizliğe yol açar.

Heisenberg'in ölçüm belirsizliği hakkındaki saptaması,yalnızca atom altı yapılarda geçerli olmaktadır, (3.16.)'deki De Broglie dalgalarının hareketini belirleyen dalga paketlerinin grup hızı "k" dalga sayısına bağlıdır. Dalga paketlerinin boyutu "x" ise, aynı zamanda dalganın eşlik ettiği parçacığın herhangi bir andaki konumudur. Dalga paketleri birden fazla dalganın girişimiyle oluştuğuna göre "k" dalga sayısı ne kadar büyük olursa "x" o kadar küçük olur. Başka bir ifadeyle "x" i doğrulukla belirlemek için dalgayı sıklaştırmak, yani "k" yı büyütme gerekir. Bu durumda konumun belirlenmesindeki duyarlık (Δx) artarken, dalga sayısının belirlenmesindeki duyarlık (Δk) azalır. Şu halde Δx belirsizliği ile Δk belirsizliğinin ters orantılı olarak ilişkide olduğunu söyleyebiliriz.

$$\Delta x = \frac{1}{\Delta k} \quad (3.17.)$$

(3.12.) ve (3.16.) denklemlerinin ortak çözümünden;

$$p = \frac{h.k}{2.\pi} \quad (3.18.)$$

ifadesini elde ederiz. Bu ifadeden taneciğin momentumunun ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik (hata);

$$\Delta p \approx \frac{h}{2.\pi} \Delta k \quad (3.19.)$$

olarak bulunur. Bu sonuç denklem (3.17.)'de yerine konulursa;

$$\Delta x.\Delta p = \frac{h}{2.\pi} = H \quad (3.20.)$$

elde edilir. Bu ifadedeki H (h-bar diye okunur) bir sabit olup $H = 1,55.10^{-34}$ J.s değerine sahiptir. (3.20.) eşitliğinden de görüldüğü gibi konum ve momentumun ölçülmesindeki iki belirsizlik (hata), birbirinden bağımsız değildir. Bu gerçek ilk kez W. Heisenberg tarafından "birbirine bağlı iki büyüklükten birinin ölçülmesindeki duyarlık arttıkça, diğerinin ölçülmesindeki duyarlık azalır. Öyle ki, ölçümler sonucu her iki büyüklüğe ait belirsizliklerin çarpımı daima Planck sabitinden büyük veya en az ona eşittir" şeklinde ifade edilmiştir. Bu ifadeye göre Heisenberg belirsizlik ilkesi;

$$\Delta x.\Delta p \geq H \quad (3.21.)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Sonuç olarak bir parçacığın konumu ne kadar doğrulukla ölçülürse (yani konumunun belirsizliği ne kadar küçük olursa), buna karşılık momentumunun belirsizliği aynı oranda büyük olur. Tersine, momentumdaki belirsizlik küçüldükçe, aynı oranda konumunun belirsizliği büyür. Benzer belirsizlikler enerji-zaman, açısız konum-açısız momentum çiftleri arasında da mevcuttur. Heisenberg'in atom altı parçacıklar için önerdiği ölçümlerdeki belirsizlik yaklaşımının makroskobik ve

mikroskobik düzeylerdeki uygulamalarının sonuçlarını görebilmek için, konum belirsizliği $\Delta x = 1.10^{-4}$ m olan bir hareketli parçacığın hızındaki belirsizliğin değeri;

a) Hareketlinin $9,1.10^{-31}$ kg kütleli bir elektron

b) Hareketlinin 0,01 kg kütleli bir toz parçası

olması halinde hesaplanırsa;

(3.21.) denklemeden

$$\Delta x \cdot \Delta p = H$$

yazabiliriz. Bu denklemden;

$$\Delta p = \frac{H}{\Delta x}$$

eşitliğini elde ederiz. Öte yandan;

$$\Delta p = m \cdot \Delta v$$

olacağından

$$\Delta v = \frac{H}{m \cdot \Delta x}$$

eşitliği bulunur. Bu eşitlik yardımıyla;

a) Elektron için

$$\Delta v = \frac{1,055 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \times 1 \cdot 10^{-4}} = 1,16 \text{ ms}^{-1}$$

b) Toz parçası için

$$\Delta v = \frac{1,055 \cdot 10^{-34}}{0,01 \cdot 10^{-3} \times 1 \cdot 10^{-4}} = 1,055 \cdot 10^{-27} \text{ ms}^{-1}$$

olarak bulunur. Bu iki örneğe dikkat edilirse toz zerresi büyük kütleli, elektron ise küçük kütleli parçacıklardır. Örneklerden görüldüğü gibi toz zerresinin hızı elektronun hızı yanında ihmal edilebilecek kadar küçük bir değer olarak çıkmaktadır. Şu halde Heisenberg belirsizlik ilkesinin de madde mikroskobik yaklaşımla incelendiğinde anlamlı olacağı açıktır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada hidrolik sistemlerde kullanılan debi ve basınç ölçüm ölçüm ekipmanları sınıflandırılarak çalışma prensipleri incelenmiş ve bu değerleri tespit etmek için kullanılan güncel teknolojiler belirlenmeye çalışılmıştır.

Özellikle debi ölçme alanında bütün endüstriyel uygulamaları, ekonomiklik hassasiyet, kolay montaj v.b faktörler dahilinde kapsayan bir akış metrenin tespit edilmesi çok zordur. Debi metre seçimi süreçteki en önemli aşamadır, bu seçimin sağlıklı yapılmaması ölçüm enstrümanından gerekli verimin alınmasını engelleyerek para ve zaman kaybına neden olacaktır. Debi metre seçiminin sağlıklı yapılabilmesi için öncelikle, ilgili endüstriyel uygulamada kullanılacak akış metre çeşitlerinin çalışma prensiplerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Debimetre seçiminin başlangıç noktası debisi ölçülecek akışkanın faz durumunun tespiti, yani akışkanın gaz mı, sıvı mı, çok fazlı akışkan mı olduğunun anlaşılmasıdır. Tablo 4.1.'de akışkanın faz durumuna göre çeşitli akış metreler için kullanılabilirliği görülmektedir.

Tablo 4.1. Çeşitli faz durumundaki akışkanlar için debi metre seçimi (YILMAZKAYA, 2001)

GRUP	DEBİMETRE TİPİ	SIVI		GAZ		YAG		ÇOK FAZLI
		DÜŞÜK DEBİ	YÜKSEK DEBİ	DÜŞÜK DEBİ	YÜKSEK DEBİ	DÜŞÜK DEBİ	YÜKSEK DEBİ	
1	ORİFİS	LİMİTLİ	EVET	LİMİTLİ	EVET	LİMİTLİ	LİMİTLİ	LİMİTLİ
2	ROTAMETRE	EVET	LİMİTLİ	EVET	LİMİTLİ	EVET	LİMİTLİ	HAYIR
3	ROTARY PİSTON	LİMİTLİ	LİMİTLİ	HAYIR	HAYIR	LİMİTLİ	LİMİTLİ	HAYIR
4	TÜRBİN	EVET	LİMİTLİ	LİMİTLİ	EVET	LİMİTLİ	LİMİTLİ	HAYIR
5	VORTEKS	HAYIR	EVET	HAYIR	EVET	HAYIR	HAYIR	HAYIR
6	MANYETİK	EVET	EVET	HAYIR	HAYIR	HAYIR	HAYIR	EVET
7	ULTRASONİK	HAYIR	EVET	LİMİTLİ	EVET	LİMİTLİ	LİMİTLİ	HAYIR
8	CORİOLIS	LİMİTLİ	LİMİTLİ	HAYIR	HAYIR	LİMİTLİ	HAYIR	LİMİTLİ

Bundan sonraki seçim kriterleri 5 ana başlık altında yapılabilir.

a) Teknik özellikler ve performans açısından debi metre seçimi :

Debi metrenin teknik özellikleri ve performansı değerlendirilirken göz önüne alınacak kriterler şunlardır;

1. Doğruluk
2. Tekrarlanabilirlik
3. Lineerite
4. Minimum ölçülebilen debinin maksimum debiye oranı
5. Basınç düşümü
6. Çıkış sinyalinin karakteristiği
7. Algılama süresi
8. Belirsizlik

gibi kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 4.2.'de debi metre seçimindeki teknik özellik ve performans faktörlerine göre debimetre verileri görülmektedir.

Tablo 4.2. Teknik özellik ve performans karakteristiğine göre debi metreler

GRUP	DEBİMETRE TİPİ	LİNEERİTE (%)	TEKRARLANABİLİRLİK (%)	ÖLÇÜM ARALIĞI (Q _{max} :Q _{min})	MAKS. DEBİDE BASINÇ DÜŞÜMÜ	VERİ ALMA SÜRESİ (Min.)
1	ORİFİS	*	*	3:1 veya 4:1	3-4	*
2	ROTAMETRE	± 2,0	± 0,5	10:1	3	1 s
3	ROTARY PİSTON	± 0,5	± 0,2	10:1 veya 250:1	4-5	0,5 s
4	TÜRBİN	± 0,5	± 0,02	10:1	3	10 ms
5	VORTEKS	± 1,0	± 0,5	4:1 veya 40:1	3	0,5 s
6	MANYETİK	± 0,5	± 0,1	10:1 veya 100:1	1	0,2 s
7	ULTRASONİK	± 0,5	± 0,5	10:1 veya 300:1	1	5 ms
8	CORİOLIS	± 0,2	± 0,2	10:1 veya 100:1	2-5	değişken

1 Düşük-5 Yüksek

* Kullanılan diferansiyel basınç dönüştürücüsüne bağlı

b) Akışkan özellikleri açısından debi metre seçimi :

Akışkan özelliklerine göre debi metre seçiminde şu verilere dikkat edilmelidir.

1. Akışkanın debi aralığına
2. Sıcaklığına
3. Basıncına
4. Yoğunluğuna
5. Viskozitesine
6. Kimyasal özelliklerine
7. Yüzey gerilmesine
8. Sıkışabilirliğine
9. Gerçek gaz etkilerine
10. Aşındırıcılık derecesine
11. Diğer fazların oranına
12. Diğer bileşenlerin oranına

Bu özellikler, akışkanın geçeceği hatta ve debimetrede kullanılan malzemenin özelliklerini belirlemede de önemlidir (Tablo 4.3.).

Tablo 4.3. Akışkan özelliklerine göre debi metre seçimi(YILMAZKAYA, 2001)

GRUP	DEBİMETRE TİPİ	SICAKLIK (°C)		MAKSİMUM BASINÇ (BAR)	VİSKOZ SIVILAR İÇİN UYGUNLUK
		MİN.	MAKS.		
1	ORİFİS	YOK	650	400	LİMİTLİ
2	ROTAMETRE	-80	400	700	EVET
3	ROTARY PİSTON	-40	170	170	EVET
4	TÜRBİN	-268	530	400	LİMİTLİ
5	VORTEKS	-200	430	260	LİMİTLİ
6	MANYETİK	-60	220	300	HAYIR
7	ULTRASONİK	-200	250	200	HAYIR
8	CORİOLIS	-240	400	400	LİMİTLİ

c) Hatta bağlanma ve bakım özelliklerine göre debi metre seçimi :

1. Konum
2. Akış yönü
3. Giriş ve çıkış tarafında olması gereken düz boru mesafesi
4. Hattın boru çapı
5. Servis durumu
6. Yerel titreşimlerin etkisi
7. Vanaların yerleşimi
8. Elektriksel bağlantılar
9. Aksesuar tedariği (Ör. filtre, akış doğrultucu, sıcaklık ve basınç dönüştürücü)
10. Zararlı atmosfer
11. Düzenli olmayan veya kesikli akışın etkisi v.b.

Debi metre seçimi yaparken göz önüne alınması gereken önemli parametrelerdir (Tablo 4.4.).

Tablo 4.4. Hatta bağlama koşullarına göre debi metre seçimi(YILMAZKAYA, 2001)

GRUP	DEBİMETRE TİPİ	KONUM	TEK VEYA ÇİFT YÖNLÜ	TAVSİYE EDİLEN DÜZ GİRİŞ HATTI UZUNLUĞU	TAVSİYE EDİLEN DÜZ ÇIKIŞ HATTI UZUNLUĞU	BORU ÇAPI ARALIĞI (mm)
1	ORİFİS	Y, DY, DA, E	T, Ç	20 D	5 D	6 - 2600
2	ROTAMETRE	DY	T	0 D	0 D	2 - 600
3	ROTARY PİSTON	Y, DY, DA, E	T	0 D	0 D	6 - 1000
4	TÜRBİN	Y, DY, DA, E	T, Ç	20 D	5 D	5 - 600
5	VORTEKS	Y, DY, DA, E	T	10 D	5 D	12 - 200
6	MANİYETİK	Y, DY, DA, E	T, Ç	5 D	2 D	2 - 3000
7	ULTRASONİK	Y, DY, DA, E	T, Ç	10 D	5 D	4 - 3000
8	CORİOLIS	Y, DY, DA, E	T, Ç	0 D	0 D	6 - 150

Y: Yatay DY: Dikey yukarı DA: Dikey aşağı E:Eğimli D: Debi metre çapı

d) Çevresel koşullara göre debi metre seçimi:

1. Ortam sıcaklığı
2. Nem
3. Güvenlik faktörü
4. Ortam basıncı
- 5 .Çevreden gelen elektriksel gürültülerin etkisi

Gibi değişkenlere dikkat edilmelidir(Tablo 4.5.).

Tablo 4.5. Çevresel koşullara göre debi metre seçimi(YILMAZKAYA, 2001)

GRUP	DEBİMETRE TİPİ	SICAKLIK ETKİSİ	ELEKTROMANYETİK VEYA RADYO FREKANSI GÜRÜLTÜSÜ ETKİSİ	GÜVENLİK FAKTÖRÜ
1	ORİFİS	4	½	#
2	ROTAMETRE	3	1	VAR
3	ROTARY PİSTON	4	1/3	VAR
4	TÜRBİN	3	4	VAR
5	VORTEKS	2	4	VAR
6	MANİYETİK	1	3	VAR
7	ULTRASONİK	5	4	YOK
8	CORİOLIS	1	4	VAR

1:Düşük 5: Yüksek # Diferansiyel basınç ölçümüne bağlı

e) Ekonomiklik faktörü :

1. Satın alma fiyatı
2. Bağlantı masrafı
3. Operasyon masrafı
4. Tamir masrafı
5. Kalibrasyon masrafı
6. Cihazın ömrü

7. Yedek parça fiyatları ve ulaşılabilirlik
8. Pompalama gücü ve basınç yüksekliği kaybı
9. Teknik optimizasyon bilgilerine göre

Son eleme yapılabilir(Tablo 4.6.).

Tablo 4.6. Ekonomiklik yönünden seçim(YILMAZKAYA, 2001)

GRUP	DEBİMETRE TİPİ	SATIN ALMA FİYATI	BAĞLANMA MASRAFI	KALİBRASYON MASRAFI	OPERASYON MASRAFI	TAMİR MASRAFI	YEDEK PARÇA FİYATLARI
1	ORİFİS	DÜŞÜK	YÜKSEK	DÜŞÜK	ORTA	DÜŞÜK	DÜŞÜK
2	ROTAMETRE	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK
3	ROTARY PİSTON	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA	YÜKSEK
4	TÜRBİN	ORTA	ORTA	YÜKSEK	ORTA	YÜKSEK	YÜKSEK
5	VORTEKS	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA	ORTA
6	MANYETİK	ORTA	ORTA	ORTA	DÜŞÜK	ORTA	ORTA
7	ULTRASONİK	ORTA	DÜŞÜK	ORTA	DÜŞÜK	ORTA	DÜŞÜK
8	CORİOLIS	YÜKSEK	ORTA	YÜKSEK	YÜKSEK	ORTA	ORTA

Her endüstriyel proses değişkenlerine göre belirli bir akış metre seçimi gerekmektedir. Bütün bu tablolardan da görüldüğü gibi, her bir debi metrenin farklı özellikleri vardır. Kullanılacak yere göre debi metrenin özelliklerini belirledikten sonra, yukarıda verilen değerlendirme kriterlerine göre sırası ile elemeler yapılarak hangisinin uygun olduğu kararlaştırılabilir. İlk olarak, debisi ölçülecek akışkanın cinsine göre ayırım yapıp, hatta kullanılacak akışkanın sıcaklığı, basıncı ve debi aralığı göz önüne alınarak ikinci bir eleme yapılmalıdır. Daha sonra belirsizlik, tekrarlanabilirlik, basınç düşüşü gibi performans özellikleri dikkate alınmalıdır. Bağlantı koşulları da oldukça önemlidir: Kullanılacak hattın boru çapı, boru hattının sayaca gelene kadar ve sayaçtan çıktıktan sonraki düz uzunluğu çoğu debi metre için göz ardı edilemeyecek bir özelliktir. Bağlama pozisyonunun da daha sonraki tamir, kalibrasyon gibi işlemler için, debi metrenin hattan kolay ayrılmasına izin verir şekilde olması lazımdır. Debi metrenin

yerleştirildiği yerin, çevresel özelliklerinin debi metre için herhangi bir problem yaratıp yaratmayacağı da kontrol edilmelidir. En son olarak da, alış fiyatı ve kullanım masrafları yönünden değerlendirmeler yapıp, son karar verilebilir.

Genel anlamda dünya üzerindeki satış değerleri göz önüne alındığında pozitif yer değiştirmeli tip akış metreler yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Günümüzde basit hidrolik uygulamalarda en çok kullanılan akış metre modeli rota metrelerdir. Rota metreler gerek basit yapısı gerekse akışı izlemek için herhangi bir sensör ve akış değerlerini elektronik bir ekrana aktaracak ekipmana ihtiyaç duymamasından ötürü basit uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Hidrolik sistemlerde basınç ve debi değerlerini tespit etmekte kullanılan enstrümanların modern ve son teknoloji kapsamında değerlendirilmesi, büyük oranda yapısında kullanılan entegre sensör v.b diğer hassas duyarların kullanılması ve bulunması ile tanımlıdır. Temelde bu alanda kullanılan bütün elemanlar belirli bir sensör ile entegre çalışarak sonuç verirler, bu durum bahsi geçen elemanları modern ölçüm ekipmanları sınıfına sokmaktadır. Özellikle ölçüm sistemlerinde yaygın kullanılan sensör teknolojisi ve bu teknolojinin sürekli gelişme eğiliminde olması bu tanımlamayı doğrulamaktadır.

Akış ölçümleri sırasında en hassas neticeleri alabilmek akışı rahatsız etmeden, akış karakterini değiştirmeden veri almaya bağlıdır. Bu ise optik yöntemler, lazer uygulamaları, magnetik uygulamalarla yapılabilir.

Magnetik tip akış ölçer hassasiyet olarak üstün özelliklere sahip olmasına karşın, endüstriyel hidrolik uygulamalarda kullanılamaz. Manyetik debi metrelerin kullanıldığı akış uygulamalarında, akışkanın belirli bir elektrik iletkenlik değerinin olması gerekmektedir. Bu iletkenlik değeri 1mS^{-1} ve üzerindeki değerler için sağlıklı ölçüm değerleri sağlamaktadır. BP Türkiye Madeni Yağlar Genel Müdürlüğüyle yapılan görüşmede, BP'nin ürettiği ve endüstriyel hidrolik uygulamalarda kullanılabilecek yağ sınıfına giren ürünlerde bu değer 1mS^{-1} değerinden aşağı olduğu teyit edilmiştir.

Lazer ve optik yöntemler akışı rahatsız etmeden ölçüm almaya elverişli yöntemler olmakla beraber, endüstriyel hidrolik sistem uygulamalarında pratik ve geniş bir kullanım alanına sahip değildirler. Bu sistemler genellikle Ar-Ge çalışmaları, kalibrasyon laboratuvarları, uzay ve havacılık sanayi gibi belirli ekonomik büyüklükteki sahalarda kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının bu kadar kısıtlı olmasında

maliyetlerinin büyük olması en önemli etkidir.

Uygulamalardaki basınç ölçümleri de sensör teknolojisine paralel olarak son derece hassas neticeler verebilmektedir. Çalışma esnasında hassas ölçüm yapan basınç ölçme ekipmanlarının genellikle sensör tabanlı çalışan aletler olduğu gözlenmiştir.

Endüstriyel uygulamalarda yapılan her ölçüm sisteme müdahale olduğundan alınabilecek değerleri etkilemektedir. Bu etkinin değeri az veya çok olabilir.

Bu çalışmada ayrıca Heisenberg belirsizlik ilkesi incelenmiş, özellikle ultrasonik, lazer doppler sistemleri gibi sistemlerin genel çalışma mantığı olan akışı bozmadan ölçüm alma kabiliyetinin Heisenberg'in öngördüğü ölçüm belirsizlik değerlerine etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır. Çalışma sonunda Heisenberg belirsizlik ilkesinin yalnızca atom altı boyutlarda geçerli olduğu ve makro yani ölçüm yaptığımız dünyada ölçüm sonuçlarını etkilediği görülmekle beraber bu etkinin önemsenemeyecek kadar az olduğu tespit edilmiştir. Normal ölçüm süreçlerinin tümünde akışı rahatsız ederek alınan değerler bu ilke olmaksızın da kısmen hatalı verilerdir. Dolayısıyla bu ilkenin kullandığımız ölçüm metodolojisiyle herhangi bir bağlantısı bulunmamaktadır.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada incelenen debi ve basınç ölçüm enstrümanlarının seçimi, her sanayi dalındaki uygulamalar için farklı parametrelere bağımlı olmakla beraber, ölçümdeki kaliteyi arttırmak için kullanılacak elemanların hassasiyetlerinin ve teknolojik yeterliliklerinin belirli bir düzeyde olması gerekmektedir. Güncel uygulamalarda çalışan bu ekipmanların neredeyse tamamına yakını sensör teknolojisi yardımıyla klasik sistemlere göre daha hassas ölçüm yapabilmektedir. Bu noktadan sonra üretimin en önemli değişkeni olan maliyet faktörü göz önüne alınarak ilgili ekipmanın seçimi için belirli bir seçim kriteri göz önüne alınabilir.

Ancak ölçüm ekipmanı ne kadar kaliteli ve hassas olursa olsun ölçmenin doğasından gelen hatalara karşı yetersiz kalacağından ölçüm değerlerinde mutlaka belirli bir değerlerde hata oluşacaktır.

KAYNAKLAR

- ANONİM, 2006. Biyomedikal Enstrumantasyon. www1.gantep.edu.tr/~tamer/bio_enst/SUNU/biyo-4.ppt
- ANONİM,1998. Debi Ölçümü. www.bilimfeneri.gen.tr/kitaplik/pdf/debi_olcumu.pdf
- ANONİM, 2004. Debi Ölçümü. <http://www.bilesim.com.tr/tr/index.nsf?lf=/tr/leftbaryayincilik.html&rf=http://www.bilesim.com.tr/mistportal/showmakale.nsf?xd=5022.xml>
- ANONİM, 2002. Kuantum Fiziği. <http://www.zamandayolculuk.com/cetinbal/quantumfizik.htm>
- ANONYMOUS, 1992. **Doe Fundamentals Handbook Instrumentation And Control Volume 1 Of 2**. U.S. Department of Energy , 132, Washington.
- ANONYMOUS, 2003. The Varied Effects of Oil Prices on the Petroleum Industry. http://www.flowresearch.com/articles/PDF_Files/Refine%20Feature.pdf
- BAKER, R.J., 2000. **Flow Measurement Handbook**. Cambridge University Pres., 24-370, Madrid.
- EREN, H., 2006. **Pervaneli Tip Debi Ölçerler**. Tesisat Mühendisliği Dergisi., 91: 63-38.
- FRENZEL, F. and GROTHEY, H., 2006. **Industrial Flow Measurement Practice**. 4th Edition, 251, Göttingen.
- HAWKING, S. W., 1994. **Kara Delikler ve Bebek Evrenler**, Sarmal Yayınevi., 168 s, İstanbul
- KOCABAŞ, M, 2001. Hidrolik Sistemlerde Modern Ölçme Yöntemleri. **2. Hidrolik Pnömatik Kongresi Program Bildirileri**.
- LANASA, P. J., 2002. **Fluid Flow Measurement**, Butterworth-Heinemann, Second Edition, 274,. Berlin.
- LIPTAK, BELA. G., 1993. **Flow Measurement**, Chilton Book Company., 5-16, Pennsylvania.
- MILLER, L., 1979. **Engineering Dimensional Metrology**, Edward Arnold, 55-93, London.
- UMUR, H., 1998. **Akışkanlar Mekaniği**. Alfa Basım Yayım Dağıtım Şirketi., 467 s, İstanbul
- PARR, E.A., 1986. **Industrial Control Handbook (Hardcover)**. Butterworth-Heinemann Ltd., 320 p, New York.
- SALEH, J. M., 2002. **Fluid Flow Handbook**. McGraw-Hill Professional.,125-905, New York
- ŞENYEL, M. ve AYBEK, Ş., 2000. **Kuantum Fiziği**, Milli Eğitim Bakanlığı yayınevi. 19 s.
- YILMAZKAYA, B.A ve KAYKISIZLI, H., 2001. **Akışkan Debisi Ölçümü Yapan Cihazların Seçimini Etkileyen Faktörler**. 4.Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi Bildiriler, 20-26, Eskişehir.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İskenderun' da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi aynı ilçede tamamladım. 2000 yılında girdiğim Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünden 2004 yılında, Makina Mühendisi ünvanıyla mezun oldum ve aynı yıl Mustafa Kemal Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsünde yüksek lisans eğitimime başladım. Şu anda M.K.Ü Dört Yol Meslek Yüksek Okulunda yarı zamanlı öğretim görevlisi olarak çalışmaktayım.