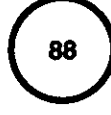


Cihaz Teknolojisi





—



FERİT

26.02.94

ENDÜSTRİYEL OKULLAR İÇİN

CİHAZ TEKNOLOJİSİ

1

Mekanik Aletler

B E Noltingk



ETAM A.Ş. Matbaa Tesisleri, ESKİŞEHİR - 1994

MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI 2727
YARDIMCI VE KAYNAK KİTAPLAR DİZİSİ 88
ISBN 975-11-0859-4

Hükümetimiz ile Dünya Bankası arasında imzalanan
anlaşma doğrultusunda Endüstriyel Okullar Projesi çerçevesinde
hazırlanan "Cihaz Teknolojisi 1 " adlı
kaynak kitap Millî Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı'nın
3.3.1994 gün ve 2016 sayılı kararı ile 5000 adet bastırılmıştır.

Editör
Yrd.Doç.Dr. **Ali Osman TAŞLICA**
Çeviren
Prof.Dr. **Battal KUŞHAN**

Türkçe Düzenleme
Öğr.Gr. **Fahri OLUKLULU**

Teknik Düzenleme
Doç.Dr. **Zekeriya ALTAÇ**

© Yayın Hakkı, Butterworth & Co. (Publishers) Ltd. 1985
Türkçe yayın hakkı Millî Eğitim Bakanlığına aittir. 1994



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak,
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl...
Hakkıdır, Hakk'a tapan, milletimin istiklâl!

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkı sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
"Medeniyet!" dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş! Yurduma alçakları uğratma, sakın.
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın...
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri "toprak!" diyerek geçme, tanı :
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı :
Verme, dünyaları alsan da, bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki fedâ?
Şühedâ fişkıracak toprağı sıksan, şühedâ!
Canı, cânânı, bütün varımı alsun da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüdâ.

Ruhumun senden, İlâhî, şudur ancak emeli :
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar-ki şahâdetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secd eder-varsa-taşım,
Her cerihandan, İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fişkıır ruh-ı mücerred gibi yerden nâ'sım,
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalar sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl:
Hakkıdır, hür yaşamış, bayrağımın hürriyet;
Hakkıdır, Hakk'a tapan, milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif ERSOY



ATATÜRK'ÜN GENÇLİĞE HİTABESİ

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk cumhuriyetini, ilelebet, muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin, en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni, bu hazineden, mahrum etmek isteyecek, dahilî ve haricî, bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok nâmûsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın, bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dahilinde, iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlilerin siyasî emelleriyle tevhid edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi, vazifen; Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır! Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asîl kanda, mevcuttur!



Bilgi çağına girerken bütün ülkelerin üzerinde önemle durdukları ve giderek daha fazla kaynak ayırdıkları sektör eğitimidir. Bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak eğitimde kaliteyi yükseltmek, gençlerimize ileri sanayi toplumunun gerektirdiği bilgi, beceri ve davranışları kazandırmak Millî Eğitiminin temel amaçlarından biridir.

Ülkemizde; ekonomik, sosyal ve kültürel alanlarda olduğu gibi, sanayi alanında da önemli gelişmeler olmaktadır. Nitelikli insangücü ihtiyacının giderek arttığı ülkemizde meslekî ve teknik eğitim büyük önem kazanmaktadır.

Bu alandaki ihtiyacı karşılayabilmek için; çağdaş bilim ve teknolojik metodları bilen, yorumlayan, kullanan, geliştiren ve alanındaki yeniliklere uyum sağlayan, üretken teknik insangücünün yetiştirilmesi gerekmektedir. Bu konuda, teknik öğretim kurumlarınıza büyük iş düşmektedir.

Bu kurumlarımızdaki öğrencilerin iyi yetiştirmeleri için devletimiz her türlü desteği sağlamakta ve Hükümetimiz ile Dünya Bankası arasında imzalanan İkraz Anlaşmasıyla yürütülen Endüstriyel Okullar Projesiyle bu okullarımız, çağdaş eğitim imkanlarına kavuşturulmaktadır. Bu okullarımızda çeşitli meslek alanlarında ihtiyaç duyulan 42 adet yabancı teknik ders kitabının tercüme haklarının satın alınması, basım ve dağıtımlarının yapılarak öğrenci ve öğretmenlerimizin istifadesine sunulması, bu proje kapsamında yürütülen faaliyetlerden biridir.

Eğitim ve kültür düzeyleri yüksek, elisen teknolojiye uyum sağlayabilen toplumlar, geleceğin dünyasının şekillenmesinde önemli rol oynayacaklardır.

Bu ve benzeri çalışmaların ülkemiz için yararlı olmasını diliyorum.

Nevzat AYAZ

Millî Eğitim Bakanı

ÖNSÖZ

Varlıklarını sürdürmek isteyen toplumlar, kalkınmanın gerektirdiği sayıda nitelikli insan gücünü yetiştirmek için eğitime değer vermek ve ona bilimsel ve teknolojik bir nitelik kazandırmak mecburiyetindedirler.

Eğitim, Cumhuriyetin kuruluşundan beri ülkemizde yenileşme aracı olarak görülmüştür. Bugün Eğitim Sistemimiz, bilim çağına girilen dünyamızda, toplumumuzun büyüyen ve çeşitlenen ihtiyaçlarına cevap vermede bir takım problemlerle karşı karşıyadır.

Eğitimle ilgili problemlerin çözümünde, yeni yöntemler, teknikler ve araçlar geliştirmek için araştırmalar yapmak, ayrıca daha önce yapılmış araştırmalar sonucu geliştirilen bilgi ve teknolojiyi ülkemize getirmek zorundayız.

Eğitime ayrılacak finansman kaynaklarının sınırlı olması, ülkemizi, genel bütçe dışındaki imkanlardan faydalanmaya zorlamaktadır. Devletimiz bu imkanları araştırmış, mesleki ve teknik öğretim kurumlarımızın bilim ve teknolojiye meydana gelen gelişmelere paralel olarak modernleştirilmesi için Uluslararası İmar ve Kalkınma Bankası (Dünya Bankası - IBRD) ile yapılan İkraz Anlaşmasıyla Endüstriyel Okullar Projesi uygulamaya konulmuştur.

Bu projenin amaçları; Endüstriyel Okulların yeni teknoloji ürünü makina ve teçhizatla donatılarak yenilenmesi, çeşitli meslek alanlarında müfredat programlarının geliştirilmesi, burslar ve yurt dışından danışman temin edilmesi yoluyla öğretmenlerimizin eğitilmesi ve çeşitli meslek alanlarında ders kitaplarının tercüme ve yayın haklarının satın alınarak Eğitim Sistemimize kazandırılmasıdır.

Proje ile belirlenen hedeflere büyük ölçüde ulaşılmıştır. Projenin amaçlarından biri olan çeşitli meslek alanlarında (Hidrolik-Pnömatik, Soğutma ve İklimlendirme, CNC, Döküm, Elektronik, Bilgisayar, PLC ve Metal İşleri) teknik ders kitapları, uzmanlardan kurulu komisyonlarca seçilmiş ve tercüme edilerek yayımlanmıştır.

Büyük kaynak ve emek harcayarak Eğitim Sistemimize kazandırdığımız kitapların öğretmen ve öğrencilerimize faydalı olmasını dilerim.

Salih ÇELİK
Projeler Koordinasyon
Kurulu Başkanı

ÖN SÖZ

E.B. Jones saygın ve belirgin bir kişiliğe sahip idi. Onun mesleği, öğretmeyi ve uygulamayı kapsamakta olup, her iki faaliyette de elde ettiği bilgelik ve dirayetini başarı ile sürdürmüştür. Sonuç bir kitap, ya da her cilt birbirinden ayrı düşünülecek olursa, üç kitaplık bir seri idi. Bunlar için, cihazla ilgilenenler, yıllar boyu müteşekkir kalmışlardır. Hızlı değişen bir teknoloji içinde, yazarın ard arda yenilenmesini üstlendiği bu eser uzun süre geçerliliğini koruyan bir kitap idi.

E.B. yeri doldurulamayacak bir şahsiyet idi. Asrın sonuna yaklaşırken, öğrenciler için cihazlandırma teknolojisini tanıtmada hiç kimse onun yerini dolduracak yeterli deneyim ve bilgiye sahip olamıyordu. Belki de o şimdi cennette, başlattığı yolda ilerlemekte olan birkaç düzine yazarı düşünerek gülümsemektedir.

Yazarlıkla ilgilenen bir kimse sözünde samimi olmak zorundadır. Bu nedenle yazar değiştikçe yorumlarda da bazı değişimlerin olması kaçınılmazdır. Buna rağmen, güncel enstrümantasyon teknolojinizde bu değişim pek azdır. Halen ilk baskılarının önemli bir bölümünün şu anda aynen yayınlanmaya uygun olması, orijinal baskı için bir övgü nedenidir. Değişimlerin çoğu, hiçbir zaman şahit olmayan bir teknolojiyi yansıtır. Enstrümantasyonun büyük bir kısmı işlem kontrolü ile ilişkilidir. Bu ise eski ciltlerin başlıklarında bu deyimlerin kullanılmasını hakkı çıkarmaktadır. Başlıklarda kapsanmadıklarından, konularda hangi genişletmelerin yapılması ve uzunluk, uzama oranı, titreşimler, kuvvet, vakum, tanecik büyüklüğü elektriksel ve optik niceliler ve gürültünün ölçümünü kapsayacak bölümlerin eklenmiş olması gerektiğini hissettirir.

Diğer taraftan, kontrol konusu atlanmıştır. Bu günümüzde başlı başına yeni bir konu olup, belki de enstrümantasyonun bir çocuğu olmaksızın onun ebeveyni imiş gibi düşünülmelidir. Enstrümantasyonun birçok yönleri bile tam anlamı ile işlenemediğinden, kontrol konusuyla yeterince ilgilenilememiştir. Bu kitap genel bir pratisyen için hazırlandığından, önemli miktarda özel bilgilerle donatılmış uzman elemanların olduğu meteoroloji, askeri, tıbbi ve diğer biyoloji amaçlı, dikkate değer enstrümantasyon alanları da, bilerek (kasten) ele alınmamıştır. İşlem kontrolünde, Enstrümantasyon ve kontrol işlemleri ayarlayan uzman personel ile bir üçlü takım oluştururlar. Bunlarla ilişkili konularda kapsam dışı bırakılmışlardır.

Bu güncel enstrümantasyon teknolojisi, eski baskıları gibi teknisyen okurlarına hitap etmektedir. Çünkü ilerleyen bir enstrümantasyon piyasasına uygun geniş bilgiye sahip modern teknisyen kuşkusuz, bizim bölümlerden birinin konusu üzerine yazılmış bütün kitapları okuyacaktır. Ama gene de orada, üzerinde işlem yapılabileceği sağlam bir temel bulabilecektir.

Cihaz teknolojisinde uzmanlaşmamış yeni mezun bir mühendis (üzüle-
rek belirtiyim pek azı bu konuda uzmandır) gereksinme duyduğu geniş bil-
gileri burada bulabilir. Sürekli arzumuz, enstrümantasyon teknolojisinin ta-
sarımçıların ve fabrikaların rafları ile kütüphanelerinde, bu konudan yarar-
lanmak ve aydınlanmak isteyen şahıslar için hazır bulundurulmasıdır. Böyle-
ce bu şahıslar, işin detayını yapacak uzmanlar çağırmadan önce bilgi sahibi
olurlar.

Okuyucular kitabın bölümleri arasında, konuların işlenme biçimi
yönünden farklar bulacaklardır. Bu farklılıklar kısmen, değişik konuların
değişik yaklaşımları gerektirmesinden ve kısmen de, kuşkusuz, bireysel ya-
zarların kendi öz yeteneklerini göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Bir yol gösterici yazar olarak umarım ki, ben birbirine uymayan deyim
ve yorumlar için bir ara yol bulabildim. Şüpheli bir seçim daima, soyut esas-
ların konuşulması ile somut bir cihaz için basit bir el kitabı temin etmek
arasındaki uygun dengedir. Enstrümantasyon teknolojisinin eski yayınlar,
enstrümantasyonun belirli alanlar üzerinde bilimi özetleyen eklemeler
yapılar. Biz bunların bazılarını koruduk fakat fazla önem vermedik.

Önsöz teşekkürün belirtildiği yerdir. Bu kitaba birçok insanın katkısı
olmuştur. Kuşkusuz yardımcıların zahmetli işlerinden ötürü, onlara
teşekkür borçluyum. Bunların bazısına, yorucu çabaları için kendi işlerini
tamamlar tamamlamaz teşekkür edilmeli idi, gecikmeler bütün çalışmanın
birleştirilmesinden kaynaklanmıştır. Belki de bu gecikmeden ötürü bazı
yardımcılarıma, yardımları için teşekkürde kendi sabırsızlığımı belirtebilir-
dim. Çoğu yazarlar (saygın) eşlerine, toleranslarından ötürü teşekkür ederler.
Benim eşime minnettarlığım, kısmende olsa, hiç olmazsa zaman zaman kendi
tatlı uğraşlarına dalarak, ihmal edildiğini ima eden suçlayıcı tavırlarını takın-
madan, beni kendi işinle başbaşa bırakmasından ötürüdür.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

GİRİŞ

Yöntemler ve Uygulamalar	1
Diğer Yayınlar	1
Hassasiyet	2
Ortam	4
Birimler	5
Kaynakça	5

1. AKIMIN ÖLÇÜMÜ

1.1 Giriş	8
1.2 Akım Ölçümünün Ana İlkeleri	8
1.2.1 Laminer Akım ve Türbinans Akım	9
1.2.1.1 Akım Profili	10
1.2.1.2 Hareket Eden Akışkanın Profili	10
1.2.1.3 Potansiyel Enerji	10
1.2.1.4 Kinetik Enerji	11
1.2.1.5 Basınç Enerjisi	11
1.2.1.6 İç Enerji	11
1.2.1.7 Toplam Enerji	11
1.2.2 Viskozite	12
1.2.3 Bernouli Teoremi	13
1.2.4 Denklemlerin Uygulamalı Gerçekleştirilmesi	17
1.2.5 Akım Denklemlerinin Gazlara Uygulanmasındaki Değişikler	18
1.2.5.1 Kuru Gazlar	18
1.2.5.2 Sıkıştırılabilir Akışkanların Kritik Akımı	20
1.2.5.3 Gaz Kanunlarından Sapma	21
1.2.5.4 Islak Gazlar (Yaş Gazlar)	21
1.3 Akışkanın Kapalı Borularda Akışı	22
1.3.1 Diferansiyel - Basınç Aygıtları	22
1.3.1.1 Orofis Plaka (Delik Levha)	22
1.3.1.2 Venturi Tüpü	24
1.3.1.3 Lüle (boru)	26
1.3.1.4 Dall Tüpü	27

1.3.1.5	Değişken Orofisli Ölçü Cihazları.....	28
1.3.1.6	Hedef Akış Ölçü Aleti (Target Flowmeter).....	34
1.3.2	Sıvılar İçin Döner Mekanizmalı Ölçme Aletleri	36
1.3.2.1	Pozitif Yerdeğişim	36
1.3.2.2	Döner Kanat.....	42
1.3.2.3	Eğik Pervane Sayacı.....	43
1.3.2.4	Baypas Sayacı (Yangeçit Sayacı).....	44
1.3.2.5	Helezon Sayaç	44
1.3.2.6	Türbin Sayaç.....	46
1.3.3	Gazlar İçin Döner Mekanik Sayaçlar.....	47
1.3.3.1	Pozitif Yer Değiştirme.....	47
1.3.3.2	Saptırma Palet Tipi Velometreler	51
1.3.3.3	Döner Palet Tipi	52
1.3.3.4	Türbin Sayaç (Türbin Ölçer).....	53
1.3.4	Elektronik Akım Ölçerler	53
1.3.4.1	Elektromanyetik Akım Ölçerler.....	53
1.3.4.2	Ultrasonik Akım Ölçerler (Sayaçlar).....	58
1.3.4.3	Salınan Akım Ölçer.....	61
1.3.4.4	Çapraz Korelatör.....	66
1.3.5	Kütle Akış Ölçerleri	67
1.3.5.1	Gerçek Kütle-Akım Ölçme Yöntemleri.....	68
1.4	Açık Kanallarda Akım.....	70
1.4.1	Düşü/Alan Yöntemi.....	71
1.4.1.1	Savaklar.....	71
1.4.1.2	Hidrolik Boğazlar	75
1.4.2	Hız/Alan Yöntemleri	77
1.4.2.1	Türbin - Akım Ölçer	77
1.4.2.2	Elektromanyetik Yöntem	77
1.4.2.3	Ultrasonik Yöntem.....	78
1.4.3	Sulandırma Ölçümü.....	78
1.5	Nokta Hız Ölçümü.....	78
1.5.1	Laser Doppler Anemometre	79
1.5.2	Sıcak Tel Anemometre.....	79
1.5.3	Pitot Tüpü.....	79
1.5.4	Elektromanyetik Sondası	81
1.5.5	Gömme Türbin	82

1.5.6	Pervane Tipi Akım Ölçer.....	83
1.5.7	Gömmme Vorteks.....	83
1.5.8	Ultrasonik Doppler Hız Sondası.....	83
1.6	Akım Ölçer Kalibrasyon (Ayar) Yöntemleri	83
1.6.1	Sıvılar İçin Akış Ölçer Ayar Yöntemleri	83
1.6.1.1	Yerinde Ayar Yöntemleri.....	84
1.6.1.2	Laboratuvar Ayar Yöntemleri.....	85
1.6.2	Gazlar İçin Ölçü Cihazları Ayar Yöntemleri	87
1.6.2.1	Laboratuvar Ayar Yöntemleri.....	87
1.7	Kaynakça	90
2.	VİSKOZİTENİN ÖLÇÜMÜ	
2.1	Giriş	91
2.2	Newton ve Newton Olmayan Davranışlar.....	92
2.3	Kayma Viskozitesinin Ölçümü	95
2.3.1	Kılcal Viskozimetre.....	95
2.3.2	Couette Viskozimetresi	98
2.3.3	Koni ve Levha Viskozimetresi.....	98
2.3.4	Paralel Levha Viskozimetresi	100
2.4	Shop - Floor (Atelye) Viskozimetreleri	101
2.5	Uzama Viskozitesinin Ölçümü	103
2.6	Aşırı Sıcaklık ve Basınç Altında Viskozite Ölçümü	103
2.7	Akım Hattında Ölçüm.....	104
2.8	Doğruluk ve Kullanım Aralığı	104
2.9	Kaynakça	106
3.	UZUNLUĞUN ÖLÇÜMÜ	
3.1	Giriş	107
3.2	Uzunluğun Doğası.....	108
3.3	Türetilmiş Ölçümler.....	111
3.3.1	Sadece Uzunluk Ölçümünden Türetilenler.....	111
3.4	Uzunluğun Standartları ve Ayarı	112
3.5	Endüstride Uzunluk Ölçümü Uygulaması	115
3.5.1	Mekaniksel Uzunluk Ölçüm Aletleri	116
3.5.2	Elektronik Uzunluk Ölçümü	117
3.5.2.1	Elektriksel Direnç.....	119

3.5.2.2	Elektriksel Manyetik Endüktif İşlemler.....	121
3.5.2.3	Elektriksel Kapasite Algılayıcıları.....	126
3.5.3	Elektromanyetik ve Akustik Işınının Kullanımı	129
3.5.3.1	Konum Algılayıcı Fotoseller.....	129
3.5.3.2	İki Isının Çarpıştırılması ve Uçuş Zamanı Yöntemleri.....	133
3.5.4	Diğer Yöntemler	137
3.5	Otomatik Ölçüm Sistemleri	138
3.6	Kaynakça	140
4.	UZAMA ORANININ ÖLÇÜMÜ	
4.1	Uzama Oranı	142
4.2	Yapıştırılmış Direnç Uzama Telleri (Stren Geyçler).....	143
4.2.1	Tel Geyçler.....	145
4.2.2	Yaprak Geyçler	145
4.2.3	Yarı İletken Geyçler	145
4.2.4	Rozetler	146
4.2.5	Kalıcı Gerilimin Ölçümü	146
4.3	Geyç Özellikleri	147
4.3.1	Ölçüm Aralığı	148
4.3.2	Çapraz Duyarlılık.....	148
4.3.3	Sıcaklık Duyarlılığı.....	148
4.3.4	Tepki Zamanları	149
4.4	Donanım	149
4.5	Stren Geyçler İçin Devreler.....	152
4.6	Titreyen Tel Stren Geyci.....	154
4.7	Kapasitif Stren Geyçler.....	155
4.8	Bütün Yüzeylerin İncelenmeleri	156
4.8.1	Gevrek Vernikler.....	157
4.8.2	Yüzeylerde Desenler.....	157
4.9	Foto - Elastiklik.....	158
4.10.	Kaynakça	161
5.	DÜZEY VE HACİM ÖLÇÜMÜ	
5.1	Giriş	162
5.2	DüzeY Ölçümünün Uygulaması	162
5.2.1	Donanım	162
5.2.2	Hata Kaynakları.....	165

5.3	Düzeş Öleşe Sistemlerinin Ayarı	170
5.4	Sürekli Düzeş Öleşümü Sağlayan Yöntemler	171
5.4.1	Gözetleme Geyçleri	171
5.4.2	Şamandırallı Cihazlar	172
5.4.3	Kapasitans Sondaları	173
5.4.4	Yukarıya Yönelik Yüzdürme Kuvveti.....	175
5.4.5	Basınç Algılama	175
5.4.6	Mikrodalga ve Ultrasonik, Geçiş Zamanı Yöntemleri	177
5.4.7	Kuvvet Yada Konum Dengesi	178
5.5	Kısa Aralık Algılaması Veren Yöntemler	180
5.5.1	Manyetik.....	181
5.5.2	Elektriki İletkenlik.....	181
5.5.3	Kızılötesi Işını	181
5.5.4	Radyo Frekansı	184
5.5.5	Diğer Yöntemler	184
5.6	Kaynakça	184

6. TİTREŞİM

6.1	Giriş	
6.1.1	Fiziksel Hususlar	185
6.1.2	Donanımın Uygulama Problemleri	192
6.1.2.1	Çapraz Birleştirme	192
6.1.2.2	Bağlantının Uygunluğu	192
6.1.2.3	Kablolar ve Ön Yükselteçler	193
6.1.2.4	Etkilenme Hataları	193
6.1.2.5	Algılayıcıların Yüklmesi	193
6.1.2.6	Dengeye Erişme Zamanı	193
6.1.3	Uygulama Alanları	194
6.1.3.1	Makina Sağlığının İzlenmesi	194
6.2	Genlik Ayarlaması	195
6.2.1	İvme Ölçer Ayarlaması	195
6.2.2	Çarpma (Şok) Ayarlaması	195
6.2.3	Kuvvet Ayarlaması	196
6.3	Algılayıcı Uygulaması	197
6.3.1	Kütle - Yay Sismik Algılayıcılar	197
6.3.1.1	Açık - döngü Algılayıcıları	197
6.3.1.2	Servo İvme Ölçerler	201
6.3.2	Konum Değişimi Öleşümü	202

6.3.3	Hız Ölçümü.....	203
6.3.4	İvme Ölçümü	205
6.3.4.1	Tipik Algılayıcılar	207
6.3.4.2	Karmaşık Dalga Şekillerine Tepki	208
6.3.4.3	Piezo - Elektrik Algılayıcı	209
6.3.4.4	Piezo - Elektrik Algılayıcı Yükselteçleri	211
6.3.5	Şok Ölçümü.....	213
6.4	Diğer Kaynaklar	213
6.5	Kaynakça	214
7.	KUVVETİN ÖLÇÜMÜ	
7.1	Temel Kavramlar.....	215
7.2	Kuvvet Ölçüm Yöntemleri.....	216
7.3	Kol - Denge Yöntemleri.....	216
7.3.1	Eşit Kol Dengesi (Eşit Kollu Terazi)	216
7.3.2	Eşit Olmayan Kol Dengesi	217
7.3.3	Bileşik Kol Dengesi (Çapraz Kollu Terazi).....	217
7.4	Kuvvet Denge Yöntemleri	218
7.5	Hidrolik Basınç Ölçümü.....	219
7.6	İvme Ölçümü	220
7.7	Elastik Elemanlar.....	220
7.7.1	Yay Dengesi	221
7.7.2	Deneme Halkası	221
7.7.3	Piezo - Elektrik Transdüörler.....	223
7.7.4	Stren Geyç Yük Üniteleri.....	223
7.7.4.1	Tasarım.....	223
7.7.4.2	Seçme ve Yerleştirme	225
7.7.4.3	Uygulamalar	228
7.7.4.4	Ayarlama.....	228
7.8	Diğer Gelişmeler.....	230
7.9	Kaynakça	230
8.	YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ	
8.1	Genel	231
8.2	Ağırlık Kullanarak Yoğunluk Ölçümü	231
8.3	Yoğunluğun (Yüzebilirlik) Kullanarak Ölçümü.....	233
8.4	Hidrostatik Başlık Kullanarak Yoğunluk Ölçümü.....	234
8.4.1	Genel Fark - Basınç /Differential - Pressure)	

Transmitter Metodları	236
8.4.2 Aşırı Akım Deposu ile D/p Transmitteri	236
8.4.3 Wet - Leg (Islak Ayaklı) D/p Transmitteri	237
8.4.4 Basınç Tekrarlayıcısı ile D/p Transmitteri	239
8.4.5 Flanşlı veya Çıkık Diyaframlı D/p Transmitteri	239
8.4.6 Basınç Contalı D/p Transmitteri	240
8.4.7 Hava Kabarcığı Tüplü D/p Transmitteri	240
8.4.8 Gözönüne Alınabilecek Diğer İşlemler	240
8.5 Işınım Kullanarak Yoğunluk Ölçümü	242
8.6 Resonant (Ses dalgası) Elemanları	
Kullanarak Yoğunluk Ölçümü	242
8.6.1 Sıvı Yoğunluk Ölçümü	243
8.6.2 Gaz Yoğunluk Ölçümleri	245
8.6.3 Gazların Bağlı Yoğunluğu	247
9. BASINCIN ÖLÇÜMÜ	
9.1 Basınç Nedir?	248
9.2 Basınç Ölçümü	248
9.2.1 Belli Yoğunluktaki Bir Sıvı Sütununun Dengelenmesine	
Dayalı Basınç Ölçümleri	250
9.2.2 Bilinmeyen Basıncın Bilinen Bir Alana Etkimesini Sağlamak	
ve Bileşke Kuvveti Ölçmek Yöntemiyle Yapılan	
Basınç Ölçümleri	253
9.2.2.1 Sabit Ağırlıklı Ayarlayıcılar	253
9.2.3 Bilinen Bir Basıncın Esnek Bir Elemana Etkisini Sağlamak ve	
Konum Değişimini Ölçmek Yöntemiyle Yapılan	
Basınç Ölçümleri	257
9.2.3.1 Bourdon Tüpleri	257
9.2.3.2 Spiral ve Helisel Bourdon Tüpleri	260
9.2.3.3 Diyafram Basınç Elemanları	260
9.2.3.4 Körük Elemanlar	264
9.2.3.5 Gevşek - Diyafram Basınç Elemanları	
Tahrik Plakaları İle Birlikte	266
9.2.3.6 Kapasitans Manometreler	266
9.2.3.7 Kuvars Elektrostatik Basınç Algılayıcıları	268
9.2.3.8 Piezo - Direnç Tipi Basınç Algılayıcıları	273
9.2.3.9 Kuvars Rezonant Basınç Algılayıcıları	274
9.3 Basınç Vericileri	279

9.3.1	Pnömatik Hareket - Denge Basınç Vericileri.....	280
9.3.2	Pnömatik Kuvvet - Denge Basınç Vericileri.....	281
9.3.3	Elektronik Kuvvet - Denge Basınç Vericileri.....	284
9.3.4	Kuvvet - Ölçülen Basınç Vericileri.....	287
9.4	Kaynakça	294
10.	VAKUMUN ÖLÇÜMÜ	
10.1	Giriş	295
10.1.1	Ölçüm Sistemleri	295
10.1.2	Ölçme Yöntemleri	295
10.1.3	Mutlak Olmayan Geyçlerin Seçimi.....	296
10.1.4	Ölçümün Doğruluğu	296
10.2	Mutlak Geyçler	297
10.2.1	Mekanik Geyçler	297
10.2.1.1	Bourdon Tüp Geyci	297
10.2.1.2	Kuvars Spiral Geyçler	297
10.2.1.3	Diyafram Geyci	297
10.2.2	Sıvı Manometreler	298
10.2.3	McLeod Geyci	299
10.3	Mutlak Olmayan Geyçler	302
10.3.1	Termik İletkenlik Geyçler	302
10.3.1.1	Termokupl Geyç(Voege 1906).....	302
10.3.1.2	Pirani Geyci (Pirani 1900).....	302
10.3.1.3	Termistör Geyç.....	304
10.3.2	İyonizasyon Geyçleri	304
10.3.2.1	Boşaltma - Tüp Geyci	305
10.3.2.2	Penning İyonizasyon Geyci (Penning 1937)	306
10.3.2.3	Sıcak - Katod İyonizasyon Geyci	307
10.3.2.4	Bayard - Alpet İyonizasyon Geyci (1950).....	311
10.4	Kaynakça	312
11.	TANECİKLERİN BOYUTLANDIRILMASI	
11.1	Giriş	313
11.2	Taneciklerin Tanımlanması	314
11.2.1	İstatistiksel Ortalama Çaplar	314
11.3	Son Hız	315
11.4	Taneciklerin Sebep Olduğu Optik Etkiler	317

11.5	Tanecik Şekli	318
11.6	Bir Grup Taneciğin Tanımlama Yöntemleri	319
11.6.1	Gauss Dağılımları Ya da Normal Dağılımlar	321
11.6.2	Log - Normal Dağılım	323
11.6.3	Rosin - Rammler Dağılımı	325
11.7	Büyüklüğü Doğrudan Ölçen Analiz Yöntemleri	326
11.7.1	Eleme	326
11.7.2	Mikroskopta Saymak	328
11.7.2.1	Temel Metotlar	328
11.7.2.2	Yarı Otomatik Mikroskop Büyüklük Analiz Cihazları	330
11.7.2.3	Otomatik Mikroskop Büyüklük Analiz Cihazı	331
11.7.3	Doğrudan Optik Yöntemler	331
11.8	Son Hızı Ölçen Analiz Yöntemleri	332
11.8.1	Çöktürme (Sedimentasyon)	332
11.8.1.1	Azar Azar Artma Yöntemleri	333
11.8.2.1	Kümülatif Yöntemler	335
11.8.2	Yıkama	341
11.8.2.1	Santrifuj Yıkama	342
11.8.3	Sıkıştırma	343
11.9	Tanecik Büyüklüğünü Diğer Özelliklerden Yararlanarak Saptayan Analiz Yöntemleri	343
11.9.1	Coulter Sayacı	343
11.9.2	Hiac Otomatik Tanecik Boy Ayırıcısı	344
11.9.3	Climet Yöntemi	345
11.9.4	Adsorpsiyon Yöntemleri	345
11.10.	Kaynakça	345

GİRİŞ

1 YÖNTEMLER VE UYGULAMALAR

Ensrümantasyon araştırmasında, diğer teknolojik araştırmalarda açıkça görülmeyen bir ayrılık vardır. Bu, araştırmanın ya yöntemden ya da uygulamadan kaynaklanabileceğidir. İlk durumda bazı yeni bilimsel ilkeler göz önünde bulundurulur ve bu ilkelerin olabildiğince çok değişik yollarda kullanımına çalışılır. İkinci durumda bir gereksinmeden yola çıkarız: birşey ölçülecektir, belki de oldukça yeni birşey ya da belki de bir ölçümün daha zor koşullarda yürütülmesi veya daha önce belirlenmemiş duyarlılıkta yapılması şart olabilir.

Uygulamadan kaynaklanan araştırma bu nedenle istenen ölçümün yapılabileceği herhangi ya da her yolu dikkate alır.

Cihazlandırma ile ilgili bir kitapta mevcut bilgilerin nasıl gruplandırılması gerektiğini düşünürken de aynı sorun karşımıza çıkar. En büyük kısmı için, uygulamaya göre gruplamayı seçtik, ancak bunun bir ya da iki "yöntem" kısmı ile takviye ettik. Nükleer yöntemlerin bir uygulaması, belli bir düzeyde radyasyon bilgisine dayandırılmak zorundadır. Bu nedenle, bunların uygulamaları için bir ayrı bölümde birleştirilmeleri doğaldır.

Birkaç on yıl önce, pnömatik cihazları, fabrikaların cihazlandırma donanımlarının büyük bir bölümünü oluşturmaktaydılar; cihazlandırma yöntemleri üzerine yayınlanmış eski eserler, pnömatik ve elektronik ile ilgili konuları eşit ağırlıklı tartışılardı. Son yıllarda elektronik tarafı aşırı büyüme gösterdiğinden, günümüz yazarları, bu gurubu vurgulamaya yönelmişlerdir. Ancak pnömatik sistemlerde halen geniş çapta kullanılmakta ve bizde dengiyi oluşturmak amacıyla, pnömatik sistemler için oluşturulmuş "yöntemden kaynaklanan" bir bölümü kapsama aldık.

2 DİĞER YAYINLAR

Cihaz teknolojisi, aslında, güncel uygulamanın sadece bir tanımlamasıdır. Okurlarının en büyük bölümü, onun ne demek istediğini okuyarak öğreneceklerdir. Kuşkusuz cihaz teknolojisi, doğrulanması gerekli bilimsel bir tez değil, belirtilen hususların çoğu, daha önceki yazarlardan derlemedir.

Bu kitap en geniş detayları kapsamadığından, bir çok bölümlerde belirli konuların geniş olarak anlatıldığı özel kitapların listesi verildi. Listelerin genişliği, uygun kitapların varoluşu ve yazarın meyline bağlı olarak değişir.

Okuyucu bazen daha fazla okumak isteyebilir, bu durumda daha önceki referans kitaplarının taranma gereksinimi ile cihazlandırma konusu zor-

laşma meyli gösterir. Bütün konular bu eserin kapsamına alınmamıştır. Bunun birinci nedeni, yöntem ve uygulamaya ilişkin, belirttiğimiz, çeşitli yaklaşımlar eseri karmaşık hale sokmaktadır. İkinci bir çok yararlı bilgiler, klasik bilimsel yayınlardan çok, imalatçı firmaların günlük mecmualarında vardır. Bunun nedeni herşeyden evvel, bazı cihaz teknolojilerinin bu bültenlerle tanıtılması ve aynı bültenlerin, cihaz teknolojisi adı altında tescil edilen bu firmalar tarafından kullanılmasıdır. Sydenham tüm sorunu tartışmış ve aynı zamanda, fizik biliminde ölçüm bilimi ve teknolojisine ilişkin birçok makalenin bir bütün oluşturacak şekilde derlemesini yapmıştır.

3 HASSASİYET

Enstrümantasyonun (cihazlandırmanın) her konusunda en can alıcı sorun, bir ölçümün hangi hassasiyetle yapıldığıdır. Bir cihaz mühendisinin, şiddetli bir şüpheci davranışı sağlıklıdır. Mühendis cihazlar hakkında söylenenlere inanmama temayülü gösterimli ve aynı derecede kendi tasarladığı sistemler hakkındaki kendi öz yorumlarının kabulünde de çekingen davranmalıdır. Belirtileri sorumlamalı hatta denemelidir. Hassasiyet önemli olduğu kadar karmaşıktır.

İlk analiz cihazdaki tesadüfi ve sistematik hataları belirler. Kavram, aynı niceliğin aynı koşullarda defalarca ölçülmesi düşüncesine dayandırılmıştır. Sonuçlarda genelde farklılıklar olacaktır. Ancak, bunların ortalaması bile "gerçek değerden" farklı olabilir. Fakat somut kavram yerine, çoğu zaman, yüksek duyarlılığa sahip olduğu bilinen bir cihaz ya da yöntemle ölçülmüş klasik gerçek değer kullanılabilir. Fark kabaca sistematik hata ile eşitleştirilir ve ayarlama ile yok edilebilir. Ayarlama konusuna enstrümantasyon teknolojisinin birçok bölümünde tekrar değinilmektedir. Ayarlama, bir yere ölçümü temel standartlarla birleştiren zincirle ve bu zincirin izlenebilirliği ile ilişkilidir.

Gelişi güzel hatalar deyimi, ölçü sonuçlarının değerlendirilmesine, muhtemelen, giren bir belirtiyi verir. Ancak belirleyici bir evrende gelişmişlik nereden gelir? Her ne kadar okumada bazı değişimler açıkça görülmüş ise de, bunların izahı zor olup, çoğu gelişmişlik güzel hatalar, nedenleri bilinmeden, istatistiki olarak, tahlil edilebilirler. Çoğu hallerde hataların şöyle olduğu kabul edilir: bir bireysel ölçümdeki hatalar, bir ortalamanın (hiç bir sistematik hata yoksa bu ortalama sıfırdır) etrafında normal dağılmış sahiptirler. Bu demektir ki, hatalar gerçek değer, belli bir aralık dışında olmasının imkansız olduğunu belirtecek şekilde değil, aksine gerçek değerin olabileceği alana belli bir olasılık eklenecek şekilde belirtilmelidir. Bu olasılık gerçek değerin olabileceği aralığın genişlemesi ile kararlı bir büyüme göstermelidir.

Birçok halkadan oluşan bir ölçüm zincirini ele aldığımızda, iki yaklaşım giderek artan farklı sonuçlar verir. Çünkü biz eğer olanak/olanaksızlıkları düşündüğümüzde, kabul etmeliyiz ki, hatalar bir halkada en uçta ve aynı doğrultuda olabilir ve toplam olası hatayı hesaplamak için basit bir toplamayı gerektirebilirler. Diğer taraftan, bu olanaksızdır ve bu durumda, verilen bir olasılığa uyan zincir hata, e_c oldukça küçük olup, gerçekte istatistiki olarak,

$$e_c = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + \dots}$$

Burada $e_1, e_2, \dots$ v.b. değişik halkalarda, aynı e_c olasılığına uyan hatalardır.

Tesadüfi hataların nedenleri genelde, "etkin nicelikler" göz önünde bulundurularak değerlendirilebilirler: Bazı fiziki niceliklerin ölçümünde kullanılan çoğu cihazlar, bir fiziki niceliği, etkisi altına girdikleri diğer niceliklere tepki göstererek ölçerler. Bilinmeyen bir uzunluğun ölçümü için bir şerit metrenin kullanımı gibi basit bir durumda bile, şerit metre kendi kendine sıcaklığın etkisiyle uzayacak ve böylece, kabul edilmediği durumda yanlış ölçüm verecektir. Herhangi bir cihazın, etkiyen niceliklere duysarsız olması ve kullanan kişinin bunlardan haberdar olması arzu edilir. Bunlar gerçekleşsin ya da olmasın, etkileri, gerçek ölçüm değerlerine mümkün olduğunca yaklaştırılacak şekilde ayarlamalarla azaltılabilir. Böylece, cihaza etki yapabilen, önemli olmakla beraber, sadece sıcaklık değildir, aksine sıcaklığın değişim hızı ve cihazın çeşitli parçaları arasındaki sıcaklık farkları da etkili olmaktadır.

Etkin bir büyüklük olarak düşünülen özel bir değişken, ölçümü yapılan büyüklüğün değişim gösterdiği doğrultudur. Bir çok cihazlar, ilgilenilen özel bir değer, değişirken, üstten mi yoksa alttan mı bir noktaya yaklaştığına bağlı olarak, biraz farklı sonuçlar verirler. Bu doğal olaya "hysteresis" denir. Eğer cihaz çıktısının, bazı niceliklerle kesin orantılı olduğu ve bu yasadan bir sapmanın var olduğu varsayılacak olursa, doğrusal olmayan hatalar görülür. Bu hata, gerçek girdi/çıkı eğrisinin, ideal yaklaşık doğru grafiğine bağlı, maksimum sapması olarak belirtilebilir. Şurası unutulmamalıdır ki, bu kademeli artmalardaki değişimleri içermez, kullanılan değişim girdi/çıkı eğrisinin yerel eğimi için kullanılmıştır. Cihazın çalışma aralığı içinde yeteri kadar ara noktasında ayarlama, sistematik doğrusalsızlığı ve kolay ayarlanabilen, sorunları azatan ileri veri işlem yardımcılarını kapsar.

Yukarıda kullanılan özel deyimler başkalarıyla birlikte BS 5233 de tanımlanmışlardır.

Yukarıda tanımladığımız hatalara genel yaklaşım, statik bir durumu istatistiki yaklaşımı izler. İletişim teorisinde, çalışma frekansları ve mevcut za-

manlarına önem verilmiş olup, bu yaklaşım cihazlandırma teknolojisinde önem kazanabilir. Algılayıcılar çoğu kez elektronik amplifikatörleri beslerler. Bu amplifikatör içindeki elektrogürültü en büyük hata kaynağı olabilir. Bu demek olacaktır ki, ölçüm yapmak için daha uzun zaman ayrılabilse daha hassas sonuçlar beklenebilir. Hatanın diğer kaynakları da, böylece, gürültü olarak işlem görebilirler.

Kuşkusuz yanlış şeylerin çok hassas ölçümünün bazı tehlikesi vardır! Bu, yanlış verileri işlem kontrolüne uygun olarak yığan, yanlış sistem analizinden kaynaklanabilir. Cihazlandırmada daha da önemlisi, ölçüm işlemi ölçülen nicelikleri bozabilir. Bu en çok şu alanlarda oluşur: bir akım ölçer, akıma engel olarak, ölçülmekte olan hızı düşürebilir, çok büyük sıcaklık algılayıcı, incelenmekte olan malzemeyi soğutabilir ya da düşük empedanslı voltmetre, izlediği gerilimi düşürebilir. Cihaz mühendisinin kısmi görevi, incelemede kullandığı cihazın, sistem üzerindeki etkilerinden kaynaklanan hataların önceden görülmesi ve yok edilmesidir.

Gerçekte mühendisin bu görevinin büyük bir bölümü hassasiyetle ilgilidir. O, düşüncesini şu soruya yöneltmelidir: gerçekte hangi hassasiyete gereksinim vardır? Müşterinin talebi emek ve fiatı düşünmeden çok yüksek hassasiyet olabilir, bu konuyu tartışmakta mühendisin görevidir. Bir şekle karar verildikten sonra da, daima uyanık davranarak halen bazı hata arttırıcı faktörlerin sistem içine girip girmediğinin izlenmesi gerekir. Uygulamacı bir şahıs, hatalar teorisinde çok derin bilgilere sahip olmasa da, hassasiyet hakkında bir hayli düşünecektir. O, Rutherford'un öğrencilerinden birine şu uyarısını unutmayacak ve sempatiyle anacaktır: "Hatalara ilişkin teoriyi lütfen unut ve tekrar laboratuvara giderek, deneyini yeniden yap."

4 ORTAM

Cihazlar, daima çalıştırılacakları ortam hakkında tam bilinçli olarak seçilirler. Fabrikalarda sıcaklık, titreşim ve tozun en büyük değerleri (ekstremleri), laboratuvarlarda raslanabileceklerden çok daha şiddetli olabilirler. İki çeşit zararlı etki vardır: etkin niceliklerin istisnai değerlerinden kaynaklanan yanlış sonuçlar ve cihazın dönüşümsüz tahribatı. İmalatçılar bazen çalışma koşulları için sınırlamalar belirlerler. Bazan de bu sınırlamalar cihazın sağlamlığı hakkındaki genel kanıdan belirtilirler. Cihaza güvenilirlik, -uygun bir süre memnuniyet verici biçimde çalışmaya devam edebilme olasılığı- daima en önemli bir özelliktir. Bu konuya 4. Ciltte daha detaylı girilmiş olup, bu husus, her uygulama için cihaz seçerken göz önünde bulundurulmak zorundadır.

5 BİRİMLER

Bazı giriş kısımlarında, bu kitapta hangi birim sistemlerinin kullanıldığı tartışılmıştır. Memnuniyet vericidir ki, SI birimlerin hemen hemen her yere ve kuşkusuz bu kitaba uyarlanmış olması ile sorun ortadan kalkmak üzeredir. Diğer birimlerin halen kullanıldığı pek az alanda, eski birimlere halen daha fazla alışkın olanların yararlanmaları için, bağlantıları sıraladık.

6 KAYNAKÇA

British Standards Institution, *Glossary of terms used in Metrology*, BS 5233, (1975).

Dietrich, D.F., *Uncertainty, Calibration and Probability: the Statistics of Scientific and Industrial Measurement*, Adam Hilger, London, (1973).

Sydenham, P.H., (ed). *A Working List of Books Published on Measurement Science and Technology in the Physical Sciences*. Applied Physics dept., Technische Hogeschool, Delft, (1980).

Sydenham, P.H. "The literature of instrument science and technology", *J. Phys. E.*, 15, 487-491, (1982).

1. AKIMIN ÖLÇÜMÜ

G. FOWLES

1.1. Giriş

Akımın ölçümü, malzemenin bir yerden bir yere taşınmasına gereksinme gösteren herhangi bir işlemde kullanılan bir yöntemdir (örneğin; yakıtın bir karayolu tankerinden bir garaj deposuna kütleli aktarılması). Ölçüm, bir malzeme akışının niceliğini belirtmek için ya da bir akım debisi oluşturmak ve onu kontrol altında tutmak için kullanılır. Çoğu üretimlerde fabrika verimi akımın ölçülebilme ve hassas olarak kontrol altında tutulabilmesine bağlıdır. Bununla beraber bir akım ölçüm düzeni uygulanacaksa, bu ölçüm düzeni üretime ya da ölçülecek gereçe uygun ve aynı zamanda yeterli olmalıdır.

Çoğu kez denilir ki, ideal akımölçer; temini kolay, ucuz, mutlak hassasiyete sahip, sonsuz defa tekrarlanabilir ve sonsuza dek tamir ve bakıma gereksinme duymadan çalışır olmalıdır. Üzülerek belirtelim ki, her ne kadar bazı imalatçılar varlığını iddia etseler bile, henüz böyle bir aygıt mevcut değildir. Ancak son yıllarda bilinen sistemlerde birçok geliştirmeler yapılmakta ve çağdaş teknikleri kullanan yeni ürünler devamlı olarak piyasaya sürülmektedir. İdeal akımölçer, gerçekte çok uzak olmayabilir. Bu nedenle potansiyel kullanıcılar, her zamandan çok şimdi ellerindeki sistemlerden haberdar olmak, onlardan yararlanmak zorundadırlar.

1.2. Akım Ölçümünün Ana İlkeleri

Varolan ya da yeni ölçü sistemlerinin uygulama yöntemlerinin tamamen kavranmasından önce, akım ölçümü ve akım formüllerinin türetilmesinin ana teorisine ilişkin bir bilginin geliştirilmesine gereksinme vardır.

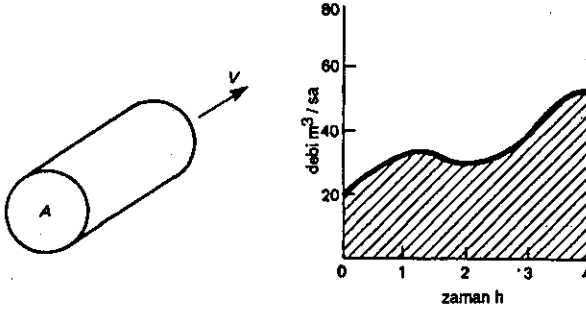
Akım, ya bir hacimsel nicelik olarak ya da bir hız olarak (bu normal olarak bir akım debisine dönüştürülür) ölçülebilir. Eğer şekil 1.1 incelenecek olursa bu ölçümler arasındaki ilişki belirtilebilir.

$$\text{debi} = \text{hız} \cdot \text{alan} = \frac{m}{s} \cdot m^2 = \frac{m^3}{s}$$

$$\text{nicelik} = \text{debi} \cdot \text{zaman} = \frac{m^3}{s} \cdot s = m^3$$

Eğer yukarıdaki gibi, akım debisi, belirli bir zaman aralığı için kaydedilirse, nicelik, eğri altında kalan alana (taranmış alana) eşittir. Bu alan, birçok

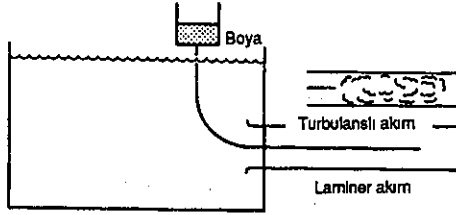
aygıt kullanılarak otomatik olarak saptanabilir ve bu işleme integrasyon denir. Bu işlem elektriki ya da mekanik bir integratör aygıtı ile yapılabilir.



Şekil 1.1: Akım-Zaman Grafiği

1.2.1. Laminer Akım ve Türbinans Akım

Bir akışkan içinde laminer akım, doğal bir olay olup en iyi olarak örneklerle tanımlanır. Reynolds bu konu üzerinde çok çalışmıştır. Şekil 1.2 laminer akımın prensibini göstermektedir.



Şekil 1.2: Reynold deneyi

Düz bir cam boru içerisinde akan bir miktar su içerisinde bir miktar boyanmış sıvı lami sokulmuştur. Tüm akışkan taneciklerinin akış yolu, boru duvarlarına paralel olacaktır. Bu nedenle boyanmış sıvı, sanki boru içerisinde başka bir boru varmış gibi, bir doğru üzerinde hareket edecektir. Ancak bu durum hız ve viskoziteye bağlıdır ve hız arttıkça bir noktaya (kritik hıza) erişilir. Bu noktada boyanmış sıvının dağılmaya ve taşıyıcı sıvıya karışmaya başladığı görülür. Bu noktada sıvı taneciklerinin hareketi boru duvarlarına tam paralel değil, enine (çarpaz) bir hıza da sahiptir.

Akım modelinin bu biçimine türbülanslı akım denir. Özetleyecek olursak, kritik hızın altındaki hızlar için, akım laminar olarak tanımlanır; kritik hızın üstündeki hızlar için, ise akım türbülanslı olarak tanımlanır. Bu durum pratikte en yaygın görülen durumdur.

Reynolds bu verileri boyutsuz bir biçimde formüle etmiştir:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (1.1)$$

Burada, Re Reynolds sayısı, D tesisatın geçit çapı, v hız, ρ akışının yoğunluğu, μ akışkanın mutlak viskozitesidir. Eğer Reynolds sayısı 2000'den küçük ise, borular içinde sıvı akışının laminar ve eğer 4000'den büyük ise türbülanslı olması beklenir. Bu değerler arasındaki bölge kritik bölgedir. Eğer sistemler aynı Reynolds numarasına sahip ve geometrik olarak benzer iseler, dinamik benzerliğe sahip oldukları söylenir.

1.2.1.1. Akım profili

Borunun çapı boyunca hız değişir ve dağılım, sistemin hız profili olarak tanımlanır. Laminer akım için hız profili karakter olarak paraboliktir ve tüpün merkezinde hız ortalama hızın 2 katıdır. Türbülans akım için, yeterince düzgün boru akışından sonra akım profili tam anlamıyla oluşur. Tüp merkezindeki hız, ortalama hızın yaklaşık 1.2 katıdır ve bu, hassas akım ölçülerine uygun olup, tercih edilen durumdur.

1.2.1.2. Hareket eden akışkanın enerjisi

Evrensel akış formüllerinde Reynolds sayısının kullanımına geçmeden önce, hareket eden akışkanda enerjinin hangi biçimlerde tanımlandığına göz atmakta yarar vardır. Hareket eden bir akışkanla ilişkili ana enerji tipleri şunlardır:

- (a) Potansiyel enerji ya da potansiyel yükseklik
- (b) Kinetik enerji
- (c) Basınç enerjisi
- (d) Isı enerjisi

1.2.1.3. Potansiyel enerji

Bu, akışkanın konumu ya da herhangi sabit bir düzeyin üstündeki yüksekliği nedeniyle sahip olduğu enerjidir. Örneğin yoğunluğu ρ_1 kg/m³

olan 1 m^3 akışkan, $\rho_1 \text{ kg/lık}$ bir kütleye sahip olacaktır ve bu kütleyi yerçekim ivmesi (g) $9,81 \text{ m/s}^2$ olan bir noktada tutabilmek için $9,81 \rho_1 \text{ N'luk}$ bir kuvvete gereksinim olacaktır. Dolayısıyla eğer bu su kütlesi herhangi bir referans düzeyinden $Z \text{ (m)}$ daha yüksekte ise, yüksekliği nedeniyle $9,81 \rho_1 Z \text{ Joule'luk}$ enerjiye sahip olacaktır.

1.2.1.4. Kinetik enerji

Bu, bir akışkanın hareketi nedeniyle sahip olduğu enerjidir. Yoğunluğu ρ_1 olan 1 m^3 akışkan, $v_1 \text{ m/s}^2$ lik bir hızda $\frac{1}{2} \rho_1 v_1^2$ 'lik bir kinetik enerjiye sahip olacaktır.

1.2.1.5. Basınç enerjisi

Bu, bir akışkanın basıncı nedeniyle sahip olduğu enerjidir. Örneğin, $v_1 \text{ m}^3$ lük bir hacme ve $\rho_1 \text{ N/m}^2$ lik bir basınca sahip bir akışkan $\rho_1 v_1 \text{ joule'luk}$ bir basınç enerjisine sahip olacaktır.

1.2.1.6. İç enerji

Akışkan, sıcaklığı nedeniyle de enerjiye sahip olacaktır (yani ısı enerjisi). Eğer viskozite biçiminde akmaya engel bir direnç varsa, iç enerjinin diğer biçimleri ısı enerjisine dönüştürülmüş olacaktır.

1.2.1.7. Toplam enerji

Bir akışkanın toplam enerjisi E şu denklemlerle verilmiştir:

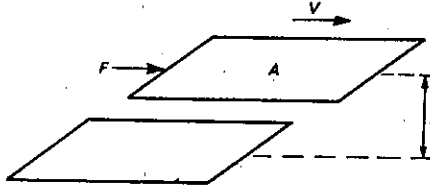
$$\begin{aligned} \text{toplam enerji (E)} &= \text{potansiyel enerji} \\ &+ \text{kinetik enerji} \\ &+ \text{basınç enerjisi} \\ &+ \text{iç enerji} \end{aligned}$$

$$E = P.E + K.E + B.E + I.E \quad (1.2)$$

1.2.2. Viskozite

Akmakta olan bir akışkanın içinde ortaya çıkan sürtünme benzeri direnç viskozite denir. Viskozite, kapsamlı olarak gelecek bölümde tartışılacaktır. Kısaca, akışkan zerreciklerinden, kanal duvarlarına gerçek değme durumunda olanlar durgun halde iken, kanalın merkezindekiler maksimum hızda hareket ederler. Böylece kanal merkezine yakın bulunan ve maksimum hızda hareket eden akışkan tabakaları, daha düşük hızda hareket eden tabakalar tarafından yavaşlatılır ve daha yavaşlar da hızlı tabakalar tarafından hızlandırılır.

Bir akışkanın dinamik viskozitesi $N \cdot s/m^2$ birimi ile tanımlanır. Yani eğer $1 m^2$ 'lik bir levhayı araları tamamen akışkanla dolu olmak koşulu ile $1 m$ uzaklıktaki sabit bir yüzeye paralel, $1 m/s$ 'lik bir hızla hareket ettirmek için $1 N$ 'luk bir kuvvete gereksinim varsa, bu akışkan $1 N \cdot s/m^2$ 'lik bir dinamik viskoziteye sahiptir. Bu, şekil 1.3'de diagram halinde tanımlanmıştır.



Şekil 1.3: Dinamik Viskozitenin Belirtilmesi

Böylece paralel akım çizgileri için

$$\text{dinamik viskozite } \mu = \frac{\text{kuvvet (F)}}{\text{alan (A)} \cdot \text{hız (v)}} \quad (1.3)$$

ya da, eğer bir hız değişimi varsa;

$$\mu = \frac{F}{A \cdot dv/dx} \quad (1.4)$$

Bazen bir akışkanın dinamik viskozitesinin, akışkanın aynı sıcaklıktaki yoğunluğuna oranının bilinmesi yararlı olmaktadır. Buna akışkanın kinematik viskozitesi denir.

$T^\circ C$ 'ta kinematik viskozite

$$= \frac{T^\circ C\text{'ta dinamik viskozite}}{T^\circ C\text{'ta yoğunluk}} \quad (1.5)$$

Sıvılar için sabit basınçta viskozite, sıcaklığın artışı ile azalır, buna karşın gazlar için sabit basınçta, viskozite sıcaklığının artışı ile artar.

Boru bükümlerinin ve vanaların neden olduğu akım düzensizliklerinin azaltılması veya yok edilmesi sorumlu olan viskoziteye bağlıdır. Girdap gibi dönen akışkan içinde ortaya çıkan enerji, ısı enerjisine dönüşür.

1.2.3. Bernoulli teoremi

Akışkanın kapalı bir boru içindeki akışının belirlenmesine yönelik tüm formüller Bernoulli teoremine dayatılır. Bu sürtünmesiz kararlı bir akışta potansiyel enerji, kinetik enerji ve basınç enerjisinin toplamı, akış boyunca sabittir.

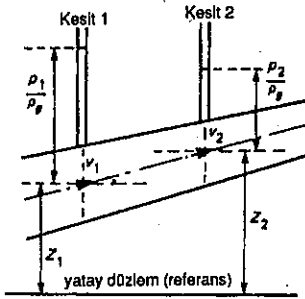
İki kesiti (kesit 1 ve kesit 2) kontrol altında tutulan kapalı bir boru ya da kanalı (şekil 1.4) göz önünde bulunduracak olursak, bir kesit 1'den kesit 2'ye geçiş süresince bir basınç ya da yükseklik kaybı olacaktır. Eğer 1 kg akışkan, kesit 1'den geçiyorsa ve kesit 1 ile kesit 2 arasında akışkan birimi yoksa, 1 kg akışkan, kesit 2'den geçmek zorundadır.

Akışkanın kesit 1'de enerjisi = potansiyel enerji

+ kinetik enerji

+ basınç enerjisi

+ iç enerji



değişken	kesit 1'de	kesit 2'de	birim
Alan	A_1	A_2	m^2
Hız	V_1	V_2	m/s
Basınç	p_1	p_2	N/m^2
Yoğunluk	ρ_1	ρ_2	Kg/m^3
1 kg'ın özgül hacmi	$v_1 = 1/\rho_1$	$v_2 = 1/\rho_2$	m^3
Ağırlık merkezinin yatay referan) düzlem- den uzaklığı	Z_1	Z_2	m
1 kg başına iç enerji	I_1	I_2	J

Şekil 1.4: Boru Akışında Hidrolik Şartlar

$$= 1 \cdot Z_1 \cdot g + 1/2 \cdot 1 \cdot v_1^2 + p_1 \cdot v_1 + I_1 \quad (1.6)$$

Akışkanın kesit 2'de enerjisi

$$= 1 \cdot Z_2 \cdot g + 1/2 \cdot 1 \cdot v_2^2 + p_2 v_2 + I_2 \quad (1.7)$$

ve enerji, kanalı terk edemeyeceğinden yaratılamayacağından veya yok edilemeyeceğinden,

kesit 1'deki toplam enerji = kesit 2'deki toplam enerji,

$$Z_1 \cdot g + v_1^2 / 2 + p_1 v_1 + I_1 = Z_2 \cdot g + v_2^2 / 2 + p_2 v_2 + I_2 \quad (1.8)$$

Şimdi, eğer akışkanın sıcaklığı aynı kalıyorsa, iç enerji de aynı kalır.

$$I_1 = I_2 \quad (1.9)$$

ve (1.8) denklemini şu hale girer:

$$Z_1 \cdot g + v_1^2 / 2 + p_1 v_1 = Z_2 \cdot g + v_2^2 / 2 + p_2 v_2 \quad (1.10)$$

Bu denklemini sıvılara ve ideal gazlara uygularız.

Şimdi sadece sıvıları düşünelim. Bunlar sıkıştırılmaz varsayılabilirler; yoğunlukları ve hacimleri kanal boyunca sabit kalır.

$$v_1 = v_2 = 1 / \rho_1 = 1 / \rho_2 = 1 / \rho \quad (1.11)$$

ve denklem (1.10) yeniden şöyle yazılabilir.

$$Z_1 \cdot g + v_1^2 / 2 + p_1 / \rho = Z_2 \cdot g + v_2^2 / 2 + p_2 / \rho \quad (1.12)$$

her iki tarafı g'ye bölersek, denklem aşağıdaki şekle girer:

$$Z_1 + v_1^2 / 2g + p_1 / \rho g = Z_2 + v_2^2 / 2g + p_2 / \rho g \quad (1.13)$$

Şekil 1.4 tekrar gözden geçirilirse açıkça görülür ki, akışın kaynak tarafı (up stream) ile akış tarafı (down stream) arasında bir yükseklik farkı vardır. Düşey bağlantılar, akışkanın 1. kesitini ve 2. kesitini temsil etmektedirler. Önce kaynak tarafındaki koşulları gözden geçirelim. Akışkan tüpte, basınç çizgisinden $p_1 / \rho \cdot g$ düzeyine ya da karşılaştırma düzlemi olarak alınan yatay düzlemde $p_1 / \rho \cdot g + Z$ düzeyine yükselir. Aynı şekilde akışkan, akıştarafı kesiti bölgesinde $p_1 / \rho \cdot g$ ya da $p_2 / \rho \cdot g + Z_2$ düzeylerine yükselir.

$$h = \left(\frac{p_1}{\rho \cdot g} + Z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\rho \cdot g} + Z_2 \right) \quad \text{Yükseklik farkı şu bağıntı ile belirlenir:}$$

$$\text{diğer t: } \left(\frac{p_1}{\rho \cdot g} + Z_1 \right) + \frac{v_1^2}{2g} = \left(\frac{p_2}{\rho \cdot g} + Z_2 \right) + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\left(\frac{p_1}{\rho \cdot g} + Z_1\right) = \left(\frac{p_2}{\rho \cdot g} + Z_2\right) = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \text{ yazılabilir. Bu nedenle de}$$

$$h = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \text{ ve,} \quad (1.15)$$

$$v_2^2 - v_1^2 = 2gh \quad (1.16)$$

Böylece boru boyunca saniyede akan sıvının hacmi Qm^3 olarak verilecek olursa,

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

ya da,

$$v_1 = \frac{A_2 v_2}{A_1}$$

Şimdi bu değerleri denklem (1.16)'da yerine koyalım:

$$v_2^2 - v_2^2 \cdot \frac{A_2^2}{A_1^2} = 2gh$$

$$v_2^2 \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right) = 2gh \quad (1.17)$$

ya da,

Her iki taraf $\left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)$ 'ye bölünürse (1.17) nolu denklem şu şekli alır:

$$v_2^2 = \frac{2gh}{1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}} \quad (1.18)$$

ve her iki tarafın karekökünü alırsak;

$$v_2 = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 - A_2^2/A_1^2}} \quad (1.19)$$

elde edilir. Burada A_2/A_1 , alanlar oranıdır (kesit 2'nin alanı/kesit 1'in alanı) ve m sembolü ile belirtilir.

Böylece,

$$(1 - A_2^2/A_1^2) = 1 - m^2$$

ve

$$\frac{1}{\sqrt{1 - A_2^2/A_1^2}}$$

bağıntısı,

$$\frac{1}{\sqrt{1 - m^2}}$$

şeklinde de yazılabilir. Bu, yaklaşım faktörünün hızı olarak tanımlanır ve genelde E sembolü ile ifade edilir. (1.19) denklemi şöyle yazılabilir.

$$v_2 = E \sqrt{2gh} \quad (1.20)$$

ve

$$Q = A_2 v_2 = A_2 E \sqrt{2gh} \quad (m^3/s) \quad (1.21)$$

Saniyede akan sıvının kütlesi $W = \rho \cdot Q = A_2 \cdot \rho \cdot E \sqrt{2gh}$ kg'dır, $\Delta p = h\rho$ olduğundan,

$$Q = A_2 E \sqrt{\frac{2g\Delta p}{\rho}} \quad (m^3/s) \quad (1.22)$$

$$W = A_2 E \sqrt{2g\rho \cdot \Delta p} \quad (kg/s) \quad (1.23)$$

1.2.4. Denklemlerin Uygulamalı Gerçekleştirilmesi

Yukarıda verilen denklemler, sadece sürtünmesiz laminar akıma uygulanır. Gerçek akışın tanımlanması için diğer çeşitli değişkenlerin (parametrelerin) dikkate alınması zorunludur. Uygulamada akış nadiren laminar, genelde türbülanstır. Ancak akış kesitinde taneciklerin hızları tamamen rassal olacak ve akış debisine pek fazla etkileri olmayacaktır.

Denklemlerin oluşturulmasında viskozitenin etkisinde gözardı edilmiştir. Gerçek bir akışkanda kesitler arası basınç yüksekliği kaybı, viskozitesiz akışkanlarda oluşacak kayıptan daha büyük olacaktır.

Bunları ve diğer etkileri düzeltmek için, akım denklemlerine bir diğer faktör (katsayı) sokulmuştur. Bu faktör boşaltma katsayısı (deşarj katsayısı) C olup, şu denklemle verilmiştir:

$$C = \frac{\text{gerçek kütleli debi}}{\text{teorik kütleli debi}}$$

Ya da sıcaklık, yoğunluk v.b. şartlar, her iki kesitte de aynı iseler, bu katsayı hacimler cinsinden de yazılabilir.

$$C = \frac{\text{gerçek akan hacim}}{\text{teorik akan hacim}}$$

Gerçek testlerle C'nin deneysel belirtilmesi olasıdır. C katsayısı; boru ebadı, basınç düşülerinin tipi ve Reynolds sayısının bir fonksiyonudur.

Denklem (1.22) değiştirilerek;

$$Q = C \cdot A_2 E \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (1.24)$$

elde edilir. Bu, Reynolds sayısının belli bir değerin (orofis plakası için 20000) üstünde olan akım sistemleri için doğrudur. Daha düşük Reynolds sayıları ve çok küçük ya da pürüzlü (kaba) borular için ana katsayı, değeri alan oranına bağlı olan bir düzeltme katsayısı Z ile çarpılır. C ve Z değerleri diğer ilgili verilerle (data), BS 1042 Part 1 1964'te listeler halinde verilmiştir.

Akım ölçümünde diferansiyel basıncı kullanabiliriz.

Aşağıdaki ölçülere sahip bir uygulama düzeneğini örnek alalım:

Kaynak tarafı boru çapı

D mm

Boğaz çapı	d mm
Üretilen basınç farkı	h mm su sütunu
Kaynak tarafında akışkan yoğunluğu	ρ kg/m ³
Kaynak tarafı muslukta mutlak basınç	p bar

Sonuç olarak boşaltma katsayısı C, düzeltme faktörü ve sayısal katsayısı devreye sokarsak, hacimsel debi Q m³/h denklemi şu hale girer:

$$Q = 0,01252 C.Z.E.d^2 \sqrt{\frac{h}{\rho}} \quad (1.25)$$

ve ağırlık ya da kütleli debi W kg/h aşağıdaki gibi belirlenir:

$$W = 0,01252 C.Z.E.d^2 \sqrt{h \cdot \rho} \quad (1.26)$$

1.2.5. Akım Denklemlerinin Gazlara Uygulanmasındaki Değişikler

Gazlar, sıkıştırılabilir özelliklerinden ötürü sıvılardan farklıdır. Eğer ele alınan gaz, ideal gaz varsayılabilirse (kritik sıcaklık ve basınçtan oldukça uzak olan çoğu gazlar idealdirler) bu durumda gaz, çeşitli çok önemli gaz yasalarına uyar. Bu yasalar şimdi belirtilecektir.

1.2.5.1. Kuru gazlar

(a) Boyle Mariotte Kanunu. Bu yasaya göre, sıcaklığı sabit kalmak koşulu ile verilen herhangi bir gaz kütlelerinin hacmi, mutlak basıncı ile ters orantılıdır. Yani herhangi bir gaz kütlesi, P₀ mutlak basınçta v₀ hacmini ve P₀ mutlak basınçta v₁ hacmini işgal ediyorsa, o zaman;

$$p_0 v_0 = p v_1$$

ya da,

$$v_1 = v_0 p_0 / p_1 \quad (1.27)$$

(b) Charles kanunu. Bu yasaya göre, eğer verilen bir gaz kütlesi T₀ Kelvin sıcaklığında v₁ hacmini işgal ediyorsa, o zaman bu gazın T Kelvin'deki hacmi aşağıda verilmiştir.

$$v_1/T_0 = v/T \text{ ya da } v = v_1 \cdot T/T_0 \quad (1.28)$$

(c) **İdeal gaz kanunu** Genel durumda p , v ve T değişir. Diyelim ki, bir gaz kütlesi p_0 basınç ve T_0 Kelvin sıcaklıkta bir v_0 hacmine ve bu gaz kütlesi p basıncında ve T sıcaklığında bir v hacmine sahiptir ve birinci grup şartlardan ikinci grup şartlara değişimin iki aşamada oluştuğunu düşünelim;

(a) Sabit sıcaklıkta basıncı p_0 'dan p 'ye değiştirelim. Yeni hacim v_1 olsun Boyle kanunundan:

$$p_0 v_0 = p v_1 \text{ ya da } v_1 = v_0 p_0 / p$$

(b) Sabit basınç altında sıcaklığı T_0 'dan T 'ye değiştirelim. Charles kanunundan:

$$v_1 / T_0 = v / T$$

Şimdi v_1 'in iki değerini eşitleyelim

$$v_0 \cdot p_0 / p = v T_0 / T$$

$$p_0 v_0 / T_0 = p v / T = \text{sabit} \quad (1.29)$$

Eğer ele alınan gazın niceliği 1 mol ise yani 0,012 kg Carbon-12'deki atom sayısı kadar molekül içeriyorsa, bu sabit, gaz sabiti R_0 ile ifade edilir ve denklem (1.29), şu hale girer:

$$pv = R_0 T$$

Burada $R_0 = 8,314 \text{ J/mol K}$; $p \text{ N/m}^2$ ve $v \text{ m}^3$ birimindedir.

Adiyabatik genişleme Bir gaz ana eleman içinde akarken, çevresinden ısı alamayacak derecede hızlı genişler. Basıncın düşmesi nedeniyle gaz genişlerken iş yapar ve eğer bu şekilde enerji almıyorsa kendi iç enerjisini kullanmak zorundadır. Bu nedenle de sıcaklığı düşer. Böylece basınç düşmesi nedeniyle oluşan genişleme, sadece sabit sıcaklıktaki genişlemeye uygulanabilen Boyle kanununa uymaz. Buna karşın gazların adiyabatik genişleme kanununa uyar:

$$P v^\gamma = P' v'^\gamma \text{ ya da } P v^\gamma = \text{sabit} \quad (1.30)$$

Burada γ gazın özgül ısılarının oranıdır.

$$\gamma = \frac{\text{Bir gazın sabit basınçta özgül ısı}}{\text{Bir gazın sabit hacimde özgül ısı}}$$

ve kuru hava ile iki atomlu diğer gazlar için 1,40; helyum gibi bir atomlu gazlar için 1,66 ve karbondioksit gibi üç atomlu gazlar için yaklaşık 1,33 değerine sahiptir.

Eğer ölçülecek akışkan, sıkıştırılmaz bir akışkan olarak kabul edilemiyorsa, akışkanın engeller içinde akarken genişlemesi nedeniyle oluşan hacimsel değişimin düzeltilmesi amacı ile akım denklemlerine bir başka faktör katılır. Bu faktöre, genişleyebilirlik faktörü ϵ denir. Bu faktörün değeri sıkıştırılmayan akışkanlar için biridir. Halinde herhangi bir değişiklik olmadan genişlemekmekte olan sıkıştırılabilir ideal gazlar için bu aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$\epsilon = \sqrt{\frac{\pi^{2/\gamma} \cdot \frac{1-m^2}{1-m^2} \cdot \frac{1-r^{(\gamma-1)/\gamma}}{1-r}}{\gamma-1}}$$

Burada r , kaynak tarafı ve akış tarafındaki mutlak basınçlar oranı (yani $r = p_1/p_2$) ve γ akışkanın sabit basınçtaki özgül ısısının sabit hacimdeki özgül ısısına oranıdır. Bu, BS 1042 Part 1 1964'de detaylandırılmıştır.

İş yapan akışkan akım denklemlerinin sıvı ve gazların her ikisine de uygulanabilmeleri için ϵ faktörü katılmış ve denklemler şu şekli almıştır.

$$Q = 0,01252 C Z \epsilon E d^2 \sqrt{\frac{h}{\rho}} \text{ m}^3/\text{saat} \quad (1.32)$$

$$W = 0,01252 C Z \epsilon E d^2 \sqrt{h \cdot \rho} \text{ kg/saat} \quad (1.33)$$

Sıvılar için $\epsilon = 1$.

1.2.5.2. Sıkıştırılabilir Akışkanların Kritik Akımı

Lüle (nozzle) gibi daralan tüplerdeki akış için boğaz bölgesinde r değerinin kritik r_c değerinden daha küçük olmayacağı, teorik olarak gösterilebilir. Eğer boğaz bölgesindeki basınç, kaynak tarafındaki basıncın kritik kısmına eşit ise akış debisi maksimum olup, kaynak tarafı basıncı arttırılmazı bu debi daha fazla arttırılmaz. Kritik basınç oranı aşağıdaki denklemlerle verilmiştir.

$$2r_c^{(1-\gamma)/\gamma} + (\gamma-1)m^2 \cdot r_c^{2/\gamma} = \gamma-1 \quad (1.34)$$

r değeri yaklaşık 0,5'dir ancak m 'nin artması ve özgül ısılar oranının azalması ile biraz artar, r değerleri BS 1042 Part 1 1964'de tablolar halinde verilmiştir.

Kritik akış için ana denklem olan (1.23) nolu denklemde Δp yerine $(1-r_c)p_1$; (1.31) nolu denklemde r yerine r_c 'yi yerleştirmekle denklem şu hali alır:

$$W = 1,252 U \cdot d^2 \sqrt{\rho} \text{ kg/saat Burada,} \quad (1.35)$$

$$U = C \sqrt{(\gamma/2) r_c \cdot (\gamma-1)/\gamma} \quad (1.36)$$

Hacimsel debi (m^3/saat olarak), kütleli debinin referans şartlarındaki akışkanın yoğunluğuna (kg/m^3 olarak) bölünerek bulunabilir.

1.2.5.3. Gaz kanunlarından Sapma

Oda sıcaklığında ve 10 bardan az mutlak basınçlarda karbondioksit hariç çoğu evrensel gazlar, yeteri derecede ideal gaz gibi davranmazlar. Böylece akım hesaplanmasında hatalar, ideal gaz kanunlarından yaklaşık % 1'den daha az sapmalara neden olurlar. İdeal gaz kanunlarından sapmaları düzeltmek için, sapmanın belirgin olduğu gaz yoğunluklarının hesaplanmasında bir sapma katsayısı K (BS 1042 Part 1 1964'de verilmiştir) kullanılır. İdeal gaz için K = 1'dir.

1.2.5.4. Islak gazlar (Yaş gazlar)

Yukarıdaki değişiklikler, kuru gazlara uygulanır. Uygulamada çoğu gazlar, gaz ve su buharının bir karışımı olarak ıslaktırlar. Doymuş su buharından dolayı oluşan kısmi basınç, Boyle Mariotte Kanununa uymaz.

Gaz nemi 2. cildin 6. kısmında tartışılmıştır. Eğer kaynak tarafı musluğunda sıcaklık, mutlak basınç ve gazın nem durumu biliniyorsa, bir düzeltme faktörü saptanabilir ve akan gazın gerçek kütleli elde etmek için uygulanabilir. Gaz yoğunluğu aşağıdaki denklemle verilmiştir:

$$\rho = 6,196 \left[\delta \frac{(p - p_v)}{kT} + \frac{0,622 p_v}{T} \right] \text{ kg/m}^3 \quad (1.37)$$

Burada δ , kuru gazın havaya göre özgül ağırlığı; T, Kelvin olarak sıcaklık p, m bar olarak kaynak tarafındaki basınç; p_v su buharı kısmi basıncı; k, T sıcaklığında gaz kanunu sapması ve ρ gaz yoğunluğudur. Kuru gaz için p_v sıfırdır ve böylece denklem şu hali alır:

$$\rho = 6,196 \frac{\delta p}{kT} \text{ kg/m}^3 \quad (1.38)$$

1.3. Akışkanın Kapalı Borularda Akışı

1.3.1. Diferansiyel-Basınç Aygıtları

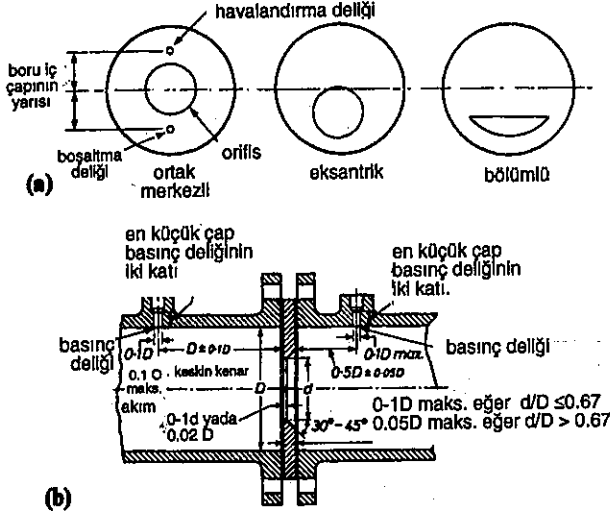
Borularda akan akışkanların ölçülmesinde kullanılan en yaygın teknik, boru hattındaki daralmanın neden olduğu basınç düşüşünü kullanırız. Daha önceki bölümde Bernoulli daralma, daralan kesitte akışkanın hızının ve akışkan yoğunluğunun bir fonksiyonudur ve ikinci dereceden bir ilişki gösterir. Denklem (1.24)'e bakınız.

Bu sınıftan bir akımölçer normal olarak diferansiyel basınç (basınç farkı) oluşturacak bir ana elemanı ve bu basınç farkını ölçecek ikincil elemanı içerir. İkincil eleman işlevsel olarak bir basınç çeviricisidir. İşlevsel teknikler 9. bölümde verileceği için, burada daha fazla bilgi verilmeyecektir. Ama çeşitli tip ana elemanlar mevcut olup, bunları biraz daha kapsamlı ele almak gerekir. En ilginç tipler şunlardır: Orifis (delik levha), venturi tüpü, lüle (boru), Dall tüpü, değişken orifisli ölçü cihazı, Rotametre, Gilflo elemanı ve hedef akış ölçü aleti.

1.3.1.1. Orifis plaka (Delik levha)

En basit biçimiyle bu plaka, merkezinde belli boyutlarda yuvarlak bir delik açılmış çelik levhadan oluşur. Buna merkezi delik levha denir. Şekil 1.5(a)'ya bak. Bu levha normal olarak boru donanımında birbirine eklenecek iki boru flanş yüzeyleri arasına monte edilerek sıkıştırılır. Donanımda oluşabilecek katı tanecikleri birikimi ve hava boşlukları oluşumunu önlemek için levhada bir boşaltma ve bir de havalandırma deliği vardır. Şekil 1.5 (b)'ye bakınız. Basınç farkı (diferansiyel basınç), boru donanımında delik levhanın her iki tarafında uygun yerlere yerleştirilmiş basınç muslukları yardımı ile ölçülür. Bunlar uygulamaya bağlı olarak, değişik yerlere (örneğin dirsek, D ve D/2 ya da flanş musluklar) yerleştirilebilir. Hatasız uygulama için "BS 1042 Part 1 1964"e başvurulmalıdır. Akım debisi denklem (1.24) ile belirtilmiştir.

Bu tip delik levha (orifis levha) kirli ya da viskos sıvılarının ölçümünde karşılaşılan zor durumların üstesinden gelmekte yeterli değildir. Aynı şekilde su buharı ve gazların akışlarında oluşan yoğunlaşmaların giderilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu sorunların giderilmesi için şekil 1.5 (a)'da gösterildiği gibi bölümlü ya da merkezkaç delikli levha biçimlerinde değişik dizaynlar kullanılmaktadır.



Şekil 1.5: (a) Orofis plaka tipleri (b) merkezci orofis plakası, D ve $D/2$ muslukları ile flanş yüzeyleri arasına monte edilmiştir. (British Standards Institution (BSİ)'ın izni ile.)

Bölümlü delik, katı tanecikleri yüzer şekilde (süspansiyonlar) içeren sıvıların ölçülmesi için bir metodu olası kılar. Bu levha, boru kesitinin üst kısmını kapatacak şekilde biçimlendirilmiştir. Kesitin alt kısmı ise, katı parçacıkların geçebileceği şekilde açıktır. Böylece katı parçacıkların yığılması önlenmiş olur.

Merkezkaç delikli levha, gaz akımı ölçümlerinde sıvı yoğunluklarının var olduğu ya da sıvı akışının ölçümünde erimemiş gazların bulunduğu tesisatlarda kullanılır. Bu aynı zamanda boru hatlarının boşaltılmasının gerektiği durumlara da uygundur.

Delikli levhanın değerlendirilmesi:

Avantajlar

1. Doğal olarak kullanımı kolay
2. Hareketli parçalar yoktur
3. Uzun süre güvenilir
4. Ucuz

Dezavantajları

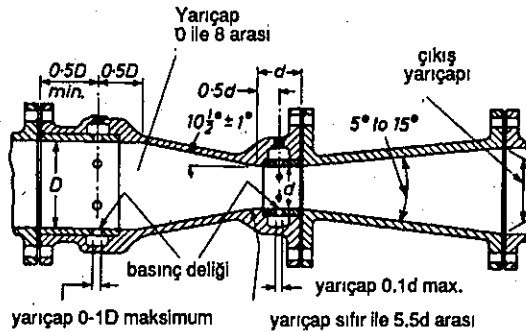
1. Karekök ilişkisi
2. Kısma oranı zayıf
3. Montajda hassas işlem gerekli
4. Giderilmesi olanaksız basınç düşüşü

1.3.1.2. Venturi tüpü

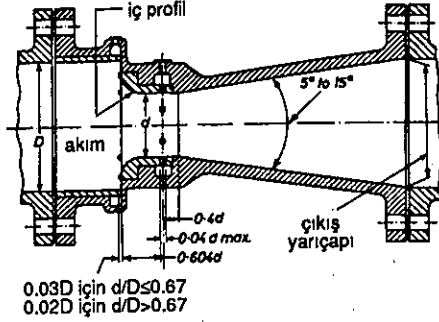
Klasik venturi tüpünün esas yapısı şekil 1.6'da gösterilmiştir. Bu silindirik bir giriş kısmı, arkasından boğaza doğru daralan bir geçit, silindirik bir boğaz ve genişleyen bir çıkış kısmından oluşur. Tüm özellikler kaynak "BS 1042 Part 1 1964" de bulunabilir. İlgili detay burada tekrarlanmıştır:

- (a) Boğaz çapı. Boğazın d çapı $0,224 D$ 'den küçük ve $0,742 D$ 'den büyük olmayacaktır. Burada D giriş çapıdır.
- (b) Boğaz boyu. Boğazın boyu $1,0 d$ olacaktır.
- (c) Silindirik giriş kısmı. Bu kısmın iç çapı D olacak ve boyu $1,0 d$ 'den küçük olmayacaktır.
- (d) Konik kısım. Bu kısmın koniklik açısı $10 \frac{1}{2}^\circ$ 'dir. Bu nedenle boyu $2,70 (D-d) \pm 0,24 (D-d)$ 'dir.
- (e) Genişleyen çıkış kısmı. Çıkış kısmı 5° den az ve 15° den çok olmayan bir eğim açısına sahip olacaktır. Boyu öyle olacak ki, çıkış çapı $1,5d$ 'den az olsun.

Uygulamada akışkan, daralan geçit içinden geçer, hızı artar ve giriş ile boğaz arasında basınç farkına neden olur. Bu basınç farkı, orofis levhada olduğu gibi kontrol edilir. Akışkanın debisi ile basınç düşüşü arasındaki ilişki, denklem (1.24)'deki gibidir.



Şekil 1.6: Venturi tüpü. (British Standards Institution'ın izniyle)



Şekil 1.7: Venturi lülesi. (British Standards Institution'ın izniyle)

Basınç alıcılarının (musluklarının) yeri. Kaynak tarafı basınç alıcısı, borunun silindirik giriş kısmında, daralan geçide $0,5 D$ uzaklıkta ve akış tarafı basınç alıcısı ise, boğazda daralan kesite $0,5 D$ uzaklıkta (akış tarafında) yerleştirilmiştir. Basınç alıcılar, rastgele tıkanmalara neden olmayacak biçimde boyutlandırılmalıdır.

Basınç alıcıları genelde tek bir delik biçiminde değil, eşit aralıkla ve birbirleriyle içsel bilezik biçimindeleştirilmiş delikler şeklindedir. Buna bazen piezometre bileziği de denir. Bunun avantajı, ölçme kısmında gerçek ortalama basınç değerini vermesidir.

Uygulama. Venturi katı parçacıklarının çok olduğu uygulamalarda ya da basınç düşüşünün yüksek düzeyde giderilmesinin istendiği uygulamalarda kullanılır. Venturi, yapısı nedeniyle basınç kaybı düşük bir cihaz olup, enerji kayıplarını önemli ölçüde azaltır.

Venturi tüpünün değerlendirilmesi

Avantajları

1. Kullanımı kolay
2. Basınç düşüşü az
3. Yüksek katı içeriğine karşı az hassas
4. Uzun süre güvenilirlik
5. Hareketli parçası yok

Dezavantajları

1. Pahalıdır
2. Kareköklü basınç-hız ilişkisi

3. Kısmı oranı zayıf

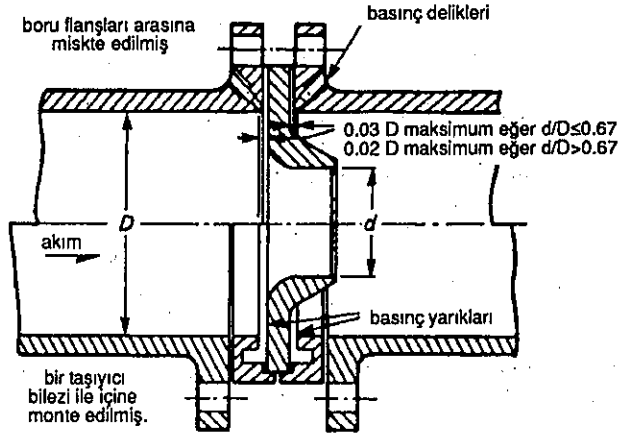
4. Montajda hassas işlem gerekli

1.3.1.3. Lüle (Boru)

Venturi etkisi de, diğer bir çok ucuz sistemlerde kullanılır. En yaygını ise venturi lülesidir.

Venturi Lülesi. Venturi lülesi aslında, kısaltılmış bir venturi tüpüdür. Giriş konisi çok daha kısadır ve kıvrılmış bir profili vardır. Giriş basınç musluğu giriş konisinin ağzına; alçak basınç musluğu ise şekil 1.7'de görüldüğü gibi minimum kesit düzlemine yerleştirilmiştir. Çaptaki bu azalma, akış lülesinin içinde kararlı bir hal alır.

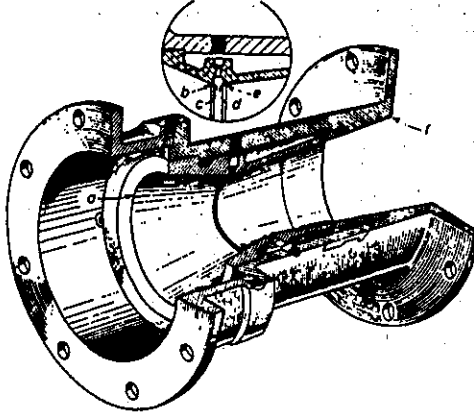
Akış Lülesi. Toplam boy yine önemli miktarda azaltılmıştır. Giriş konisine çan şekli verilmiştir ve çıkış konisi yoktur. Bu, şekil (1.8)'de gösterilmiştir. Akış lülesi, viskos sıvılara uygun değildir ama diğer uygulamalar için standart venturi tüplerine oranla çok daha ucuzdur. Diğer taraftan, giriş konisinin düzgünlüğü nedeniyle, lüle debi için daha düşük bir m değeri kullanılabilir. Bu nedenle daha yüksek hızlı akışkanlara uygun olup, basınç düşüşü aynı m sayısına sahip orofis levhanıne oranla daha düşüktür.



Şekil 1.8: Akış lülesi. (British Standards Institution'ın izniyle.)

1.3.1.4. Dall tüpü

Dall tüpü, venturi tüpünün bir diğer çeşidi olup, normal venturi tüpüne oranla yüksek bir basınç farkı ama daha düşük bir basınç kaybı verir. Şekil (1.9), tipik bir Dall akış tüpünün kesitini göstermektedir. Dall tüpü, kısa, düz bir giriş kısmı, daralan bir geçit kısmı dar bir boğaz halkası ve genişleyen kısa bir iyileştirme konisinden oluşmaktadır. Tüm cihaz yaklaşık boru çapının iki katı uzunluğundadır.



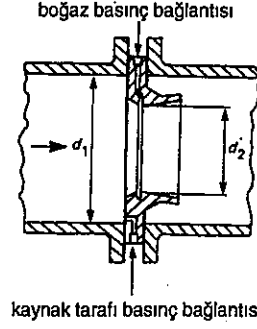
Şekil 1.9: Dall tüpü

Dall tüpünün kısaltılmış bir tipi, Dall orofisi ya da Dall bileziği de mevcuttur. Uzunluğu boru çapının sadece 0,3'ü kadardır. Dall tüpünün tüm özellikleri özet olarak şekil 1.10'da verilmiştir.

Basınç kaybı. Şu ana kadar tartışılan basınç farkına dayalı tüm cihazlar, değişik düzeylerde yerine getirilemez basınç kaybına neden olurlar. İşlemlerde bu kayıpları en düşük düzeyde tutmak avantajlıdır ve bu genelde ön elemanın kriterinin seçiminde en önemli faktör olacaktır.

Lüleler, orofisler ve venturi tüpleri için basınç kayıpları şekil 1.11'de verilmiştir.

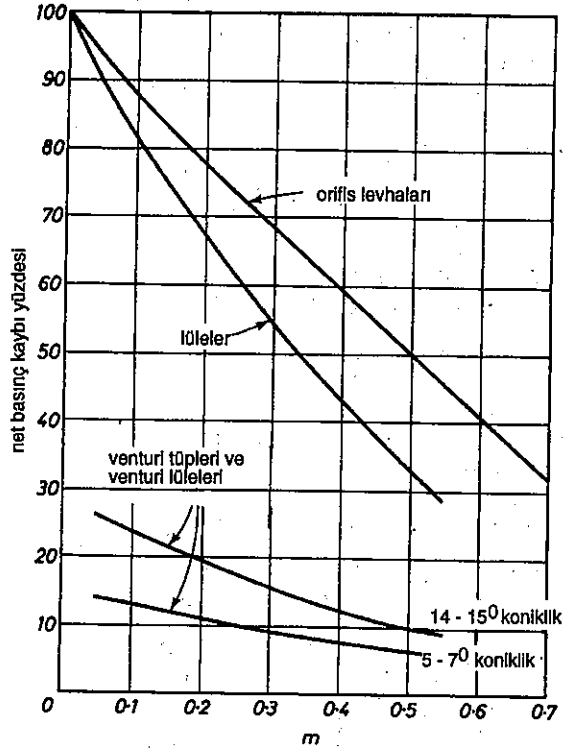
Montaj koşulları. Daha önce belirtildiği gibi basınç farkına göre çalışan cihazların montaj istekleri oldukça kritiktir. Ana elemanların olabildiğince dirsek, vana ve kısıcılar gibi engellerden uzak monte edilmesi önemlidir. Bu şartlar detaylı olarak "BS 1042, Part 1 1964"de sıralanmış ve ek 11'de kısmen tekrar yayınlanmıştır.



Şekil 1.10: Dall bileziği

1.3.1.5. Değişken orofisli ölçü cihazları

Şu ana kadar tartışılan cihazlar, akım içine yerleştirilen debiye bağlı bir basınç farkına neden olan dar geçitlere dayatılmışlardır.



Şekil 1.11: Basınç farkının yüzdesi olarak net basınç kaybı.

Basınç farkına göre çalışan bir diğer ölçü cihazlar grubu, akıma bağlı olarak etkin alanı büyütürerek, basıncı bir nominal değerde sabit tutma esasına dayatılmıştır. Belirtilmeye değer başlıca cihazlar şunlardır:

Yol ölçer (rotameter),

Sürgülü ölçer (gatemeter),

Gilflo.

Rotametre Rotametre, şematik olarak Şekil 1.12 (a)'da gösterilmiştir. Konik bir boru içerisinde akışkanın yukarıya yönelik akışı, şamandrayı kaldırır. Burada şamandraya uygulanan yer çekimi kuvveti, akım kuvveti ile dengededir. Akım kuvveti boru ile şamandra arasındaki delik alanı ile akımın hızı tarafından belirlenir. Şamandranın boru içindeki konumu artan bir skala yardımı ile ölçülür ve şamandranın konumu akım debisini belirleyen bir işaret olarak alınır.

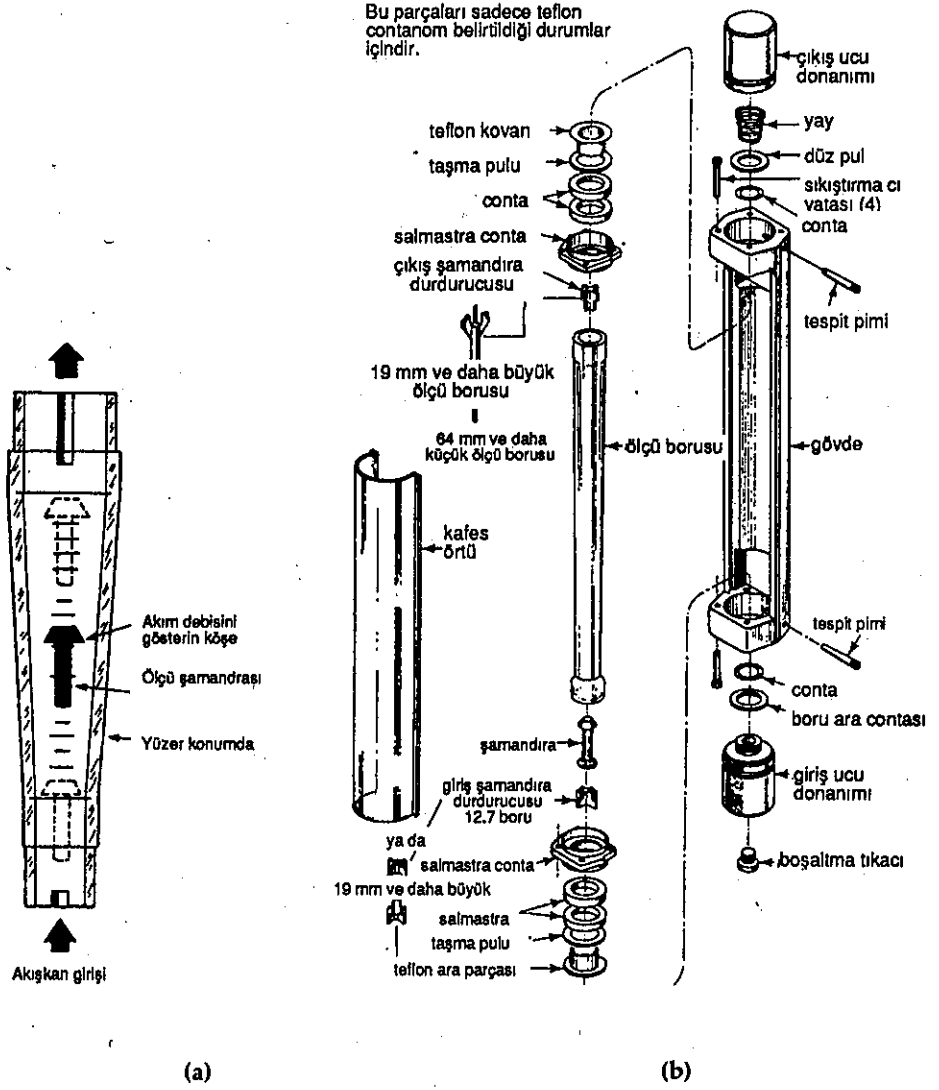
Şamandra ile dış düzenek arasına, düşey hareketi yatay harekete döndüren manyetik debriyaj kullanımını da içerecek şekilde bir dizi iyileştirmeler yapılabilir ve elektriki iletişim ya da alanın düzeni geliştirilebilir. Tüp malzemesi uygulamaya bağlı olarak metal ya da cam olabilir. Şekil 1.12 (b) tipik bir rotametrenin parçalarına ayrılmış görüntüsünü göstermektedir.

Gatemetre Bu tip ölçme aletinde orifis alanı, bir kapağı elle ya da elektrik motoru ile çalışan otomatik bir düzenek yardımıyla indirmek suretiyle, değiştirilebilir. Kapak, orifisin iki tarafı arasında oluşan basınç farkını sabit tutacak şekilde hareket ettirilir. Basınç farkı Şekil 1.13 (a)'da gösterildiği gibi geçitin iki yanına yerleştirilen basınç muslukları yardımı ile ölçülür. Kapağın konumu, bir cetvel tarafından belirtilir. Orifiste akım debisi artarken orifis alanı (delik alanı) büyütülmüştür. Eğer denklem (1.21)'de tüm diğer faktörler, A_2 alanı hariç sabit tutulacak olursa, orifis içinden geçen akım $A_2 \cdot E$ çarpımına

ya da $A_2 / \sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}$ değerine bağlı olacaktır. A_2 arttıkça, $(A_2/A_1)^2$ de artacak ve $[1 - (A_2/A_1)^2]$ azalacak ve dolayısıyla $1 / \sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}$ azalacaktır.

A_2 ile akış arasındaki ilişki lineer değildir. Eğer kapağın düşey hareketi, akış debisi ile doğrudan orantılı ise geçidin A_2 genişliği, Şekil 1.13 (a)'da gösterildiği gibi yukarıya doğru küçülmek zorundadır.

Eğer, normal olarak, orifisin kaynak tarafından ölçülen statik basınç yerine çarpma basıncı ölçülmüş olsa, cihazın içinden geçen akımın doğrudan orifis alanı A_2 'ye bağlı olması sağlanabilir. Bunu yapmak için kaynak tarafındaki basınç tüpünün ucu açık ve akım yönüne doğru kıvrılmıştır. Bu aslında bir pitot tüpüdür (noktasal hız ölçümü kısmına bak).



**Şekil 1.12 (a) Rotametre-çalışma prensibi
(b) Rotametre-parçalarına ayrılmış görünüm.**

Basınç farkı (1.15) nolu denklem tarafından verilmiştir. Burada h , kaynak tarafı basıncının akım tarafı basıncından ne kadar büyük olduğunu göstermektedir.

$$h = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad (1.39)$$

Çarpma yerinde (tüp açık ucunda) $V_2=0$ olduğundan

$$h_1 = V_1^2 / 2g$$

Burada h_1 , çarpma basıncının normal kaynak tarafı statik basınçtan ne kadar fazla olduğunu veren miktardır. . Böylece çarpma basıncı ile akış tarafı basınç farkı h_2 olacaktır.

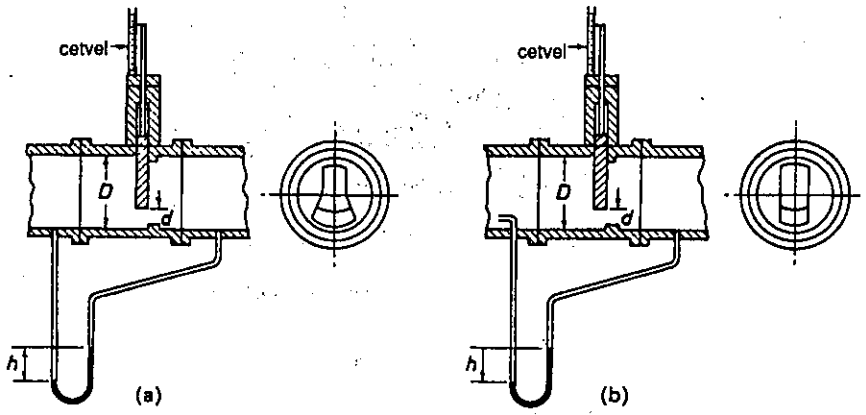
$$h_2 = h + h_1$$

$$= \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g} \quad (1.40)$$

Bu nedenle A_2 kesetindeki hız $V_2 = \sqrt{2g \cdot h_2}$ bağıntısı ile verilmiştir. Şekil 1.13 (b)'de gösterilen tipteki donanımlar için normal akış denklemi, diğer orifisler için olanların ayrısıdır. Ancak yaklaşım faktörünün hızı 1'dir ve akış A_2 ile doğrudan orantılıdır.

Mafsallı (menteşeli) gatametre, bu tip cihazların başka türüdür. Burada ağırlaştırılmış bir kapak, akım önüne mafsallandırılmıştır. Kapağın dönüşü akımla orantılı olmaktadır. Yazıcı başlık ile kapak arasındaki mekanik bağlantı akımının belirlenmesini sağlar. Bu, esas olarak ana su boru tesisatlarında, müşterilerin mutlak akış hassasiyeti yerine suyun kademeli değişimiyle ilgilendikleri uygulamalarda kullanılır. Bu cihazın ana özellikleri, şekil 1.13 (c)'de gösterilmiştir.

"Gilflo" sensörü Gilflo ölçme prensibi, ikinci dereceli akım yasasıyla sabitleştirilmiş orifis'in (delikli levha) sınırlayıcı koşullarının üstesinden gelmek amacıyla 1960'ların ortasında geliştirilmiştir. İmalatı iki şekildedir; Gilflo "A" şekil 1.14 (a) büyüklük 10 ile 40 mm, bir ucu tespit edilmiş sağlam doğrusal bir körük'ün serbest ucuna monte edilmiş bir delikli plakası (orifisi) vardır. Bunun ortasına özel şekillendirilmiş bir koni yerleştirilmiştir. Akış koşulları altında orifis, koni ile beraber eksen dorultusunda, değişken bir halka delik yaratarak hareket eder. Bu halkanın iki yanında diferansiyel basınç değişir. Değişimin ilişkisi diferansiyel basınç akış, debisiyle doğrudan orantılı bir şekildedir. Elde edilen diferansiyel basıncın sınırı 100:1 e kadar olabilir.

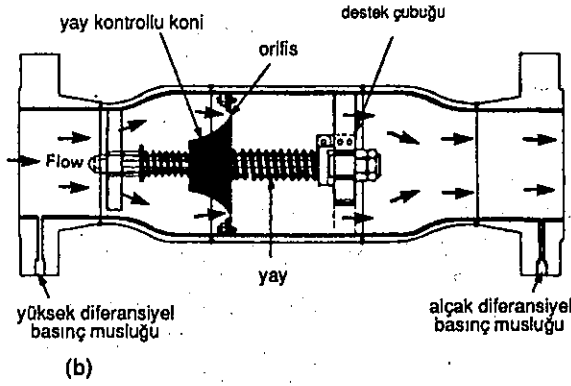
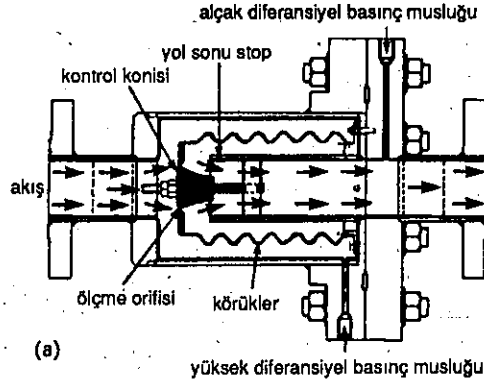


yazıcı tamburu saati tarama
diyagramı (yazıcı)

mafsallı
kapak

(c)

Şekil 1.13 (a) Kapak tipi alan ölçer
(b) Kapak tipi alan ölçer (yaklaşan hıza göre düzeltilmiş)
(c) Ağırlık kontrollü mafsallı kapak ölçer.



Şekil 1.14 (a) Gilflo A'nın esasları. Akış arttıkça ölçü orifisi kontrol konisi ile beraber yaylı köprüye karşı hareket eder. (b) prensipleri daha yüksek akışlara uygundur: Burada orifis sabittir ve kontrol konisi yaya karşı hareket eder.

Gilflo B şekil 1.14 (b) büyüklük 40 ila 300 mm. standart sabit bir orifisi var, orifisin merkezine yerleştirilmiş Gilflo B şekil 1.14 (b) büyüklük 40 ila 300 mm. standart sabit bir orifisi var, orifisin merkezine yerleştirilmiş özel şekil verilmiş koni gergi yaylama karşı aksel doğrultuda hareket edebilir. Burada da 100:1 düzeyine kadar lineer bir diferansiyel basınç oluşturulur.

Gilflo "A" çalışma aralığı su eşdeğeri olarak 0-50'den 0-350 litre/dakika ve Gilflo "B" ise bu aralık 0-100'den 0-17500 litre/dakikadır.

Gilflo esaslı sistemlerin başlıca uygulandığı yer basıncı 200 bar'a ve sıcaklığı +500 °C'a kadar varan doymuş ve kızgın su buharlı sistemleridir.

1.3.1.6. Hedef akış ölçü aleti (target flowmeter)

Doğrudan diferansiyel basınç aleti olmamakla beraber, genellikle bu genel başlık altında sınıflandırılmaktadır. Birincil ve ikincil elemanları bir toplam ünite oluşturur ve diferansiyel basınç musluklarına gereksinme göstermez. Bu ölçü aleti özellikle yüksek viskoziteli sıvı akışlarına uygundur: 100 bar basınca kadar 2000 gibi düşük Reynold sayısında sıcak asfalt, katranlar, yağlar ve çeşitli ince çamurlar. Şekil 1.15 ölçü cihazını ve çalışma prensibini göstermektedir.

Sıvının hedefi tıkırdatması durma aşamasına getirilecek, basınç $V^2/2g$ 'ye yani sıvının dinamik basıncına kadar artacak ve böylece hedefe uygulanan kuvvet

$$F = K \gamma' V_1^2 A_1 / 2N$$

olacaktır. Burada γ' kg/m^3 olarak birim hacmin kütlesi, $A_1 \text{ m}^2$ olarak ölçülmüş hedef alanı, K bir sabit ve $V_1 \text{ m/s}$ olarak hedef ile boru arasındaki halka biçimli delikten akan sıvının hızıdır.

Eğer boru çapı $D \text{ (m)}$ ve hedef çapı $d \text{ (m)}$ ise halka biçimli geçitin (deliğin) A alanı $\pi(D^2 - d^2)/4 \text{ (m}^2\text{)}$ 'ye eşittir.

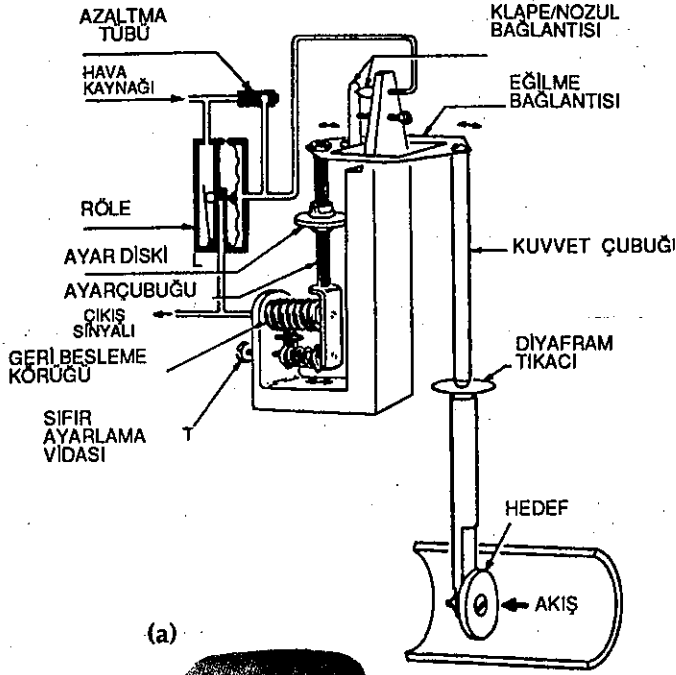
Dolayısıyla hacimsel debi

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \sqrt{\frac{8F}{K \gamma' \pi d^2}} \\ &= \frac{C(D^2 - d^2)}{d^2} \sqrt{\frac{F}{\gamma'}} \text{ (m}^3\text{/s)} \end{aligned} \quad (1.42)$$

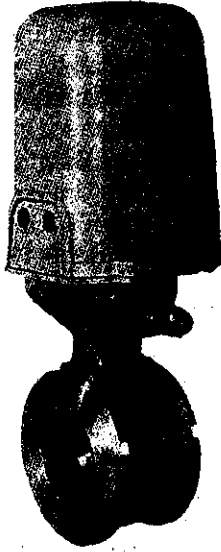
dir. Burada C sayısal değişkenleri içeren yeni bir sabittir. Kütleli debi ise

$$W = Q\gamma' = \frac{C(D^2 - d^2)}{d} \sqrt{F\gamma'} \text{ (kg/s)} \quad (1.43)$$

dir. F kuvveti, kuvvet çubuğu yoluyla körük içindeki hava basıncı tarafından dengelenir. Böylece debinin kareköküyle orantılı olarak 0,2 ile 1,0 bar'lık bir sinyal elde edilir. Mevcut (varolan) debi kapasiteleri, 19 mm boru için ve 400 °C sıcaklığa kadar 0-52,7 ile 0-123 litre/dakika; 100 mm boru için ve 260 °F sıcaklığa kadar 0-682 ile 0-2273 litre/dakikadır.



(a)



(b)

Şekil 1.15 (a) Hedef akış verici cihazı çalışma prensibi (b) 13 serisi pnömatik hedef akış verici cihazı Faxobro Co.'nin izniyle.

Gaz akışları içinde ölçü cihazları vardır. Aletin toplam hassasiyeti (doğruluk derecesi) yüzde $\pm 0,5$ tekrarlanabilirlikle $\pm 0,1$ 'dir.

1.3.2. Sıvılar İçin Döner Mekanizmalı Ölçme Aletleri

Döner mekanizmalı akış ölçer aletleri, sıvının akış hızı ile orantılı bir hızla döndürülen rotordan bir sinyal elde eder. Nicel ya da hacimsal işlevli pozitif yerdeğişim ölçü aletleri hariç bu aletlerin çoğu hız ölçen cihazlardır. Tartışılacak esas tipleri pozitif yerdeğişim, döner fan açlandırılmış pervaneli (angled propeller) alet bypass ölçmeler aleti, helix ölçme aleti ve türbin ölçme aletidir.

1.3.2.1. Pozitif-Yerdeğişim

Pozitif yerdeğişim ölçü aletleri yaygın olarak, yüksek hassasiyetin ve iyi tekrarlanabilirliğin şart olduğu uygulamalarda kullanılır. Hassasiyet (accuracy) seyiren akışlardan etkilenmez ve daha yüksek viskoziteli sıvılarda, diğer ölçü aletlerine oranla daha hassas ölçümler yapılabilir. Pozitif yerdeğişim ölçü aletleri sık sık ticari amaçlı su ve yağ ölçümlemlerinde kullanılırlar.

Ölçme prensibi şöyledir: Akışkan ölçü aletinin içinden geçerken, ölçü hücreesindeki sıvıyı, sırayla doldurulup boşaltılan bir seri ölçü bölmelerine aktaran elemanı hareket ettirir. Böylece ölçü elemanının tam bir devrinde sabit bir miktarda sıvının cihazın girişinden çıkışına geçmesine izin verilir. Ölçü elemanı ile ölçü hücresi arasındaki sızdırmazlık ölçülen sıvının oluşturduğu bir film tarafından sağlanır. Ölçü elemanının devir sayısı, ölçü elemanı tarafından uygun dişli sistemi ile döndürülen bir kadran üzerindeki hareketli gösterge yardımı ile belirtilir.

Gösterilen nicelik ile gerçek nicelik arasındaki fark hata büyüklüğü olarak tanımlanır ve gerçek niceliğin yüzdesi olarak ifade edilir. Bu hata, bazıları aşağıda belirtilen birçok değışkene bağlıdır:

(a) Rotor ile ölçü hücresi arasında, sıvının geçebileceği boşluk ölçülmemiş olabilir.

(b) Kaydediciyi döndürmek için gereken tork (döndürme momenti) büyüdükçe ölçü elemanının iki tarafındaki basınç düşüşünde büyür. Bu da rotordaki sıvı kaçığının artması demektir.

(c) Ölçülen sıvının viskozitesi; Viskozitenin artması ölçü elemanının iki yanındaki basınç düşüşünü de arttıracaktır. Ama bu, belli bir basınç düşüşü için, rotor aralığından kaçan sıvının azalması ile karşılanacaktır. Pozitif yerdeğişim ölçü cihazları ile elde edilen ölçü hassasiyeti, bir imalat biçiminden

diğerine, ölçülen sıvının doğası ve durum, ve akım debisi ile önemli derecede değişim gösterir. Bir uygulamaya uygun ölçü cihazı seçmek için büyük dikkat harcanmalıdır.

En yaygın pozitif yerdeğişim ölçü cihazları şunlardır: Döner piston, gel-git hareketli piston, kayar vana, döner vana ve oval dişli.

Döner piston. Döner pistonlu akım ölçer, en fazla su donanımlarında evlere verilen su niceliklerinin ölçümünde kullanılır. Bu cihaz silindirik bir çalışma hücresi ve bunun içine yerleştirilmiş aynı boyda silindirik içi boş bir pistonun oluşmaktadır. Pistonun merkezi göbeği, iki kısa içsel silindir tarafından, dairesel hareket yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Piston ve silindir, sayaç içinden geçen akışkan tarafından sıvı ile doldurulup boşaltılmaktadırlar. Pistonun yan duvarındaki bir yarığa (sitota) iş hücresindeki bir çıkıntı alıştırılmıştır. Böylece pistonun bölmedeki hareketi sadece kayabilir şeklinde sınırlanmıştır. Pistonun dönme hareketi, devamlı bir mıknatıs debriyaj yoluyla tahrik milinden mekanik bir kaydediciye iletilmiştir. Bu cihazın çalışmasına ilişkin ilkenin tasarımı şematik olarak şekil 1.16'da gösterilmiştir.

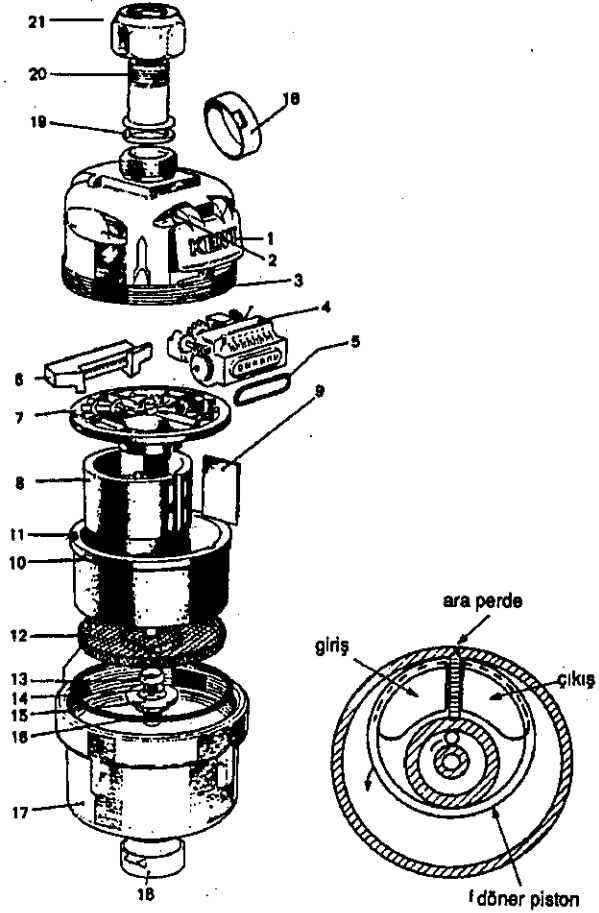
Gel-git hareketli piston. Gel-git hareketli ölçü cihazı uygulamaya bağlı olarak tek ya da çok silindirik tip olabilir. Bu tip ölçü cihazı en son (ekstrem) yüzde $\pm 0,1$ hassasiyetle geniş bir katlama oranı (örneğin 300:1) gösterir ve çok çeşitli sıvılar için kullanılabilir. Şekil 1.17, bu tip ölçü cihazının çalışma prensibini göstermektedir.

Pistonun strokunun alt noktasında olduğunu varsayalım. Subap (valf) o biçimde ayarlanmıştır ki, pistonun altından alınan sıvının yukarıya hareketine neden olur ve pistonun üst kısmındaki sıvı da çıkış borusuna akar. Piston yolunun sonuna eriştiğinde silindirin üst kısmı çıkış tarafına kapanır ve giriş sıvısına açılır. Aynı anda silindirin alt kısmı çıkış tarafına açılır ama giriş sıvısına kapanır. Giriş halindeki sıvının basıncı bu nedenle pistonu aşağı doğru hareket ettirir ve piston altındaki sıvıyı çıkış borusuna boşaltır. Bundan sonra olay aynen tekrarlanır.

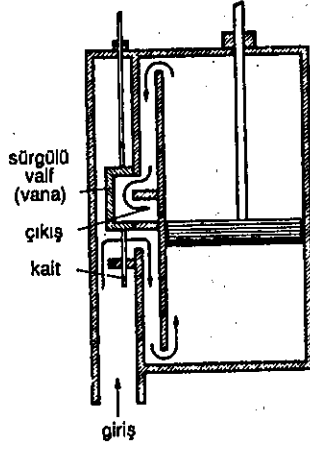
Piston gel-git hareketini yaparken, piston çubuğuna tespit edilmiş bir mandal, azar azar artan sayaç için gerekli kuvveti sağlar. Sayaçtaki her sayı akan su niceliğinin bir ön belirtisidir.

Salınan-disk tipi (Nutating-disc typ) Bu tip sayaç, çalışma prensibi (ilkesi) bakımından döner-piston tipine benzerdir. Ancak burada dişli düzen döner piston tarafından değil, bir küreye ortak merkezli monte edilmiş disk tarafından döndürülür. Ana yapı şekil 1.18'de gösterilmiştir.

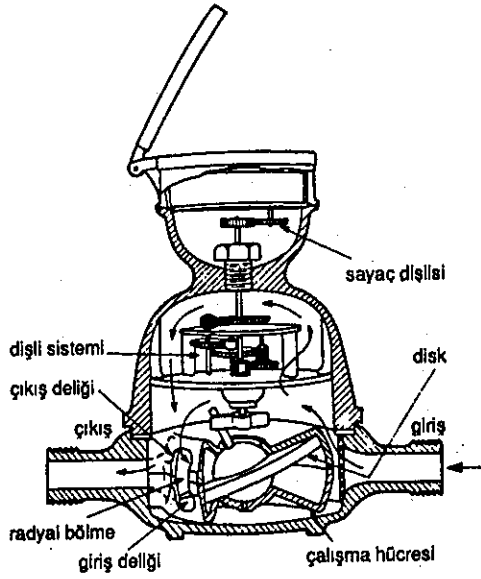
Sıvı, sayacın sol tarafından sırasıyla diskin üstünden ve altından girer ve diskin küre içerisinde, kendi eksenini etrafında dönmeden, dairesel bir yörüngede salınmasına neden olur. Disk bir iş hücresi içerisine alınmış ve ken-



Şekil 1.16 Döner piston pozitif yer değiştirmeli ölçü cihazı (sayaç) (Kent Melers Ltd.'nin müsadesiyle) 1.Kapak 2.Menteşe pimi 3.Sayaç gövdesi komple kapak ve menşete pimi ile 4.Sayaç sonsuz vida indirgeme dişlisi ve rondela (pul) 5.Sayaç rondelası 6.Rampa grubu 7.Üst kapak grubu sadece döndürme mili, döndürme mandalı; mandal tutucusu 8.Piston 9.Kapak 10.Çalışma hücresi 11.Kilitleme pimi 12.Süzgeç 13.Süzgeç kapağı 14.Ring 15.Dönüştürücü subap 16. O-ring (bilezik conta) 17.Hücre bloku 18.Koruma kapağı.



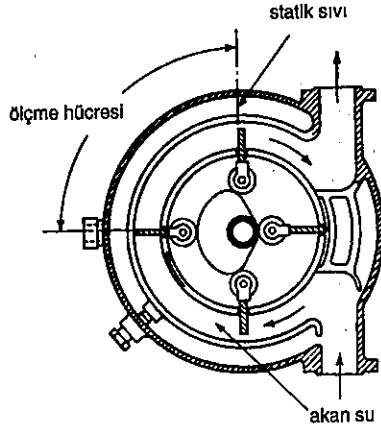
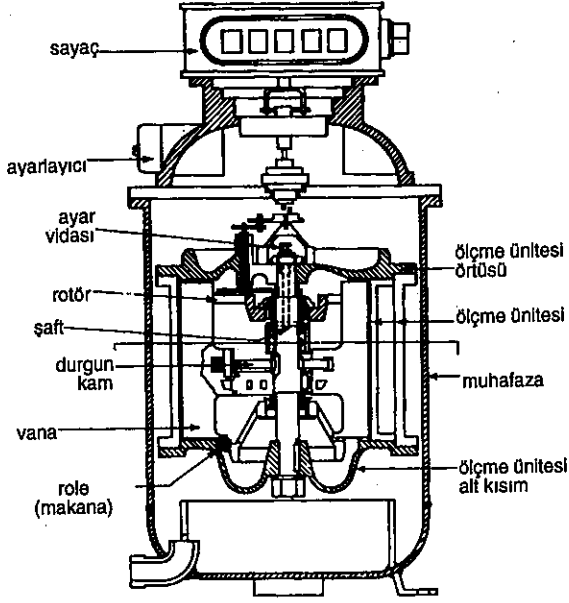
Şekil 1.17 Gel-git (vargel) pistonlu sayaç (ölçer).



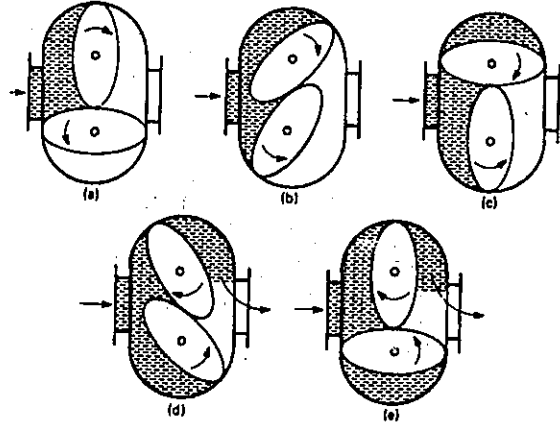
Şekil 1.18 Salınan-diskli sayaç.

Yivli-helezon-rotor tip (döner-çarklı tip) Bu tip sayacın çalışma prensibi şekil 1.19'da gösterilmiştir. Sayaç iki adet yivli rotordan oluşmaktadır. Kaymalı yataklarla monte edilen bu rotorlar öyle monte edilmişlerdir ki su sızdırmaz gövde içerisinde dişli çarklar gibi dönerler. Dişliler ve ölçü hücresi arasındaki boşluk bir minimumda tutulmuştur. Rotorların biçimi, sıvı tarafından kesintisiz ve üniform bir dönme üretecek şekilde dizayn edilmiştir. Çarklar sıra ile toplam ölçülen niceliği gösteren sayacın ibresini çevirir. Bu tip sayaç genelde ham ve işlenmiş petrol ürünlerini 80 bar ve 3000 m³/saate varan çeşitli debilerin ölçümünde kullanılır.

- 38 -



Şekil 1.20 Kayar-vana tipli sayaç. Wayne Tank and Pump Co.



Şekil 1.21 Oval-dişli sayaç.

Döner vana tipi Bu sayaç prensipte kayar vana tipi sayaca benzer ama ölçme hücreleri, rotor çevresi üzerinde birbirinden eşit uzaklıkta dört adet yarım ay şekli verilmiş vanalar tarafından oluşturulmuştur. Rotor döndürüldüğünde vanalar, rotor ve gövde arasında yalıtılmış hücreler oluşturmak için döner. Cihaz kapasitesinin yüzde 20 aşağısına kadar $\pm 0,1$ hassasiyet elde etmek mümkündür.

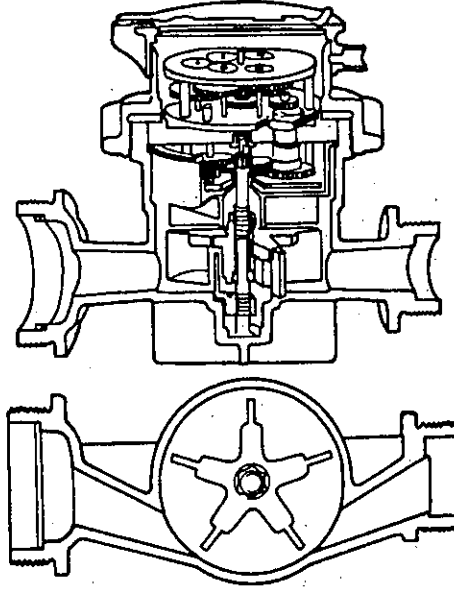
Oval-dişli tipi Bu tip sayaç birbirine uygun ve sayaç içinden geçen sıvı tarafından döndürülen iki dişli çarktan oluşmuştur. Bu demektir ki dişli çiftinin her dönüşünde belli bir nicelikte sıvı sayaçtan geçmektedir. Sayaç Şekil 1.21'de diyagram halinde gösterilmiştir. Dönme sayısı sayaçtan geçen sıvı niceliğinin doğru bir ölçüsüdür. Dişlilerden birinin mili uzatılacak olursa, dönme sayısının saptanmasında ve uygun bir dişli sistemi yardımı ile de bu sayıların mühendislik birimlerine dönüştürülmesinde kullanılabilir.

Oval-dişli sayaçların gereç ve kapasite bakımından çok çeşitleri mevcuttur. 10 mm-400 mm boyunda ve 60 bar'a kadar basınca ve $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ kadar akışa uygundur ve debinin yüzde $\pm 0,25$ kadar doğruluğuna erişilmiştir.

1.3.2.2. Döner kanat

Bu tip sayacın çalışma prensibi şöyledir: Sayaca giren sıvı, serbest dönen rotor kanadına çarpacak biçimde yönlendirilir. Rotorun dönmesi manyetik ya da fotoelektrik alıcı ile izlenir. İzlenen çıkış frekansı, akış debisiyle orantılı olacaktır. Ya da Şekil 1.22'de gösterildiği gibi rotor grubuna uygun bir dişli siste-

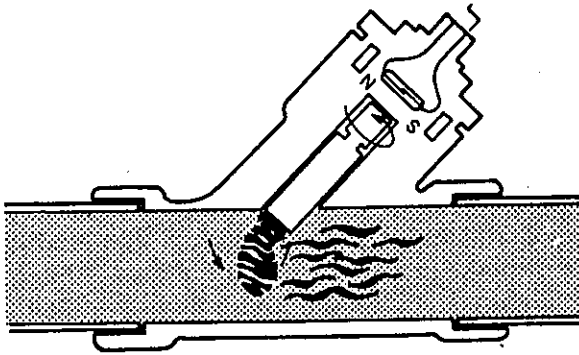
mi yoluyla bir mekanik kaydedici bağlanabilir. Ayara ve indirgeme oranına bağlı olarak 20:1'e kadar doğruluk elde edilebilir. Bu cihaz özellikle düşük debilere uygundur.



Şekil 1.22 Döner kanatlı sayaç.

1.3.2.3. Eğik-pervane sayacı

Pervaneli akım ölçer, Y-tipinde bir gövde ile hepsi sıvı akışının dışında olan, pervaneden uzak parçaları içerir. Bu tip sayacın konstrüksiyonu şekil 1.23'de gösterilmiştir.



Şekil 1.23 Eyik pervane sayacı.

Pervanenin üç kanadı vardır ve derin ölçü hücrelerinde en büyük boşluğu verecek, böylece sıvı içerisinde asılı parçacıkları en büyük ölçüde tolere edebilecek biçimde tasarlanmıştır. Pervane gövdesi ana akım çizgisiyle 45° açılardır ve sayaç içinden akan sıvı pervaneyi akış debisiyle orantılı bir hızla döndürür. Pervane her dönüşünü tamamlarken kapaklanmış mıknatıs (encapsulated magnets) bir alıcı cihazında, debi ile orantılı olan darbeler (pulses) doğurur.

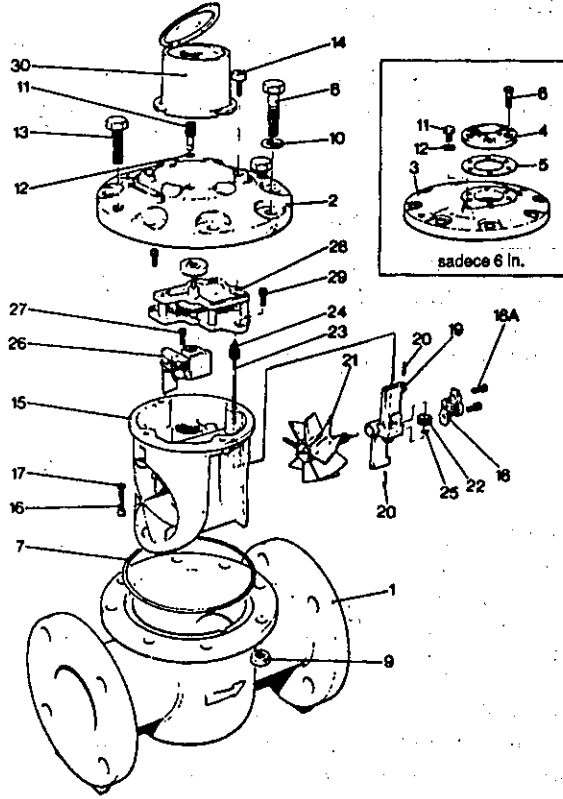
1.3.2.4. Baypas sayacı (yangeçit sayacı)

Bu tip sayaçta (saptırma sayacı olarak da bilinir) delikli levha yoluyla bir kısım sıvı ana akımdan baypas düzeneğine içe saptırılır. Bu sıvı, baypas düzeneği içinde bulunan küçük bir tirbünün kanatlarına çarptırmak için, dar bir borudan geçirilerek toplanır. Türbünün dönüşü, akım debisiyle orantılıdır.

1.3.2.5. Helezon Sayaç

Bu tip sayaçta helezon fan biçimi alan ölçme elemanı, ölçme hücresinin merkezine ve eksenini oluşturan doğruya paralel Şekil 1.24'de gösterildiği gibi monte edilir. Fan delik bir silindir ile özenle şekillendirilmiş kanatlardan oluşur. Sıvının silindir üzerindeki yavaşlama etkisi sayesinde, eleman mili ile kaymalı yatak arasındaki sürtünme azdır. Kayıt yardımı ile su kanatları üzerine eşit şekilde doğrultulmuştur.

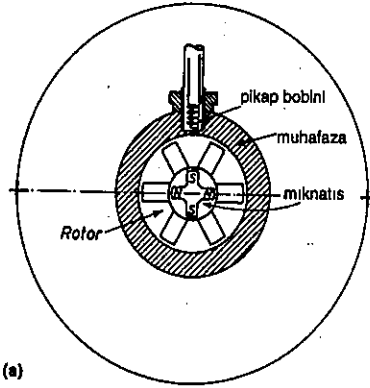
Dönmenin alt disklerden ölçü kaydedicisine iletimi seramik manyetik kavrama yardımı ile olmaktadır. Sayacın gövdesi dökme demir, mekanizma ile gövde kapağı ise termo-plastik enjeksiyonla kalıplanmıştır. Sayaç küçük bir basınç kaybına nedeni olur ve ana su dağıtım şebekelerine uygundur. 40 mm'den 300 mm'ye kadar çeşitli büyüklükler var olup, bu büyüklüklere uyan en büyük debiler sırasıyla 24 m³/h ve 1540 m³/h'dir. 0:1 kısma oranının üstünde doğruluk derecesi yüzde ±2'dir.



Şekil 1.24 Helezon sayaç parçalarına ayrılmış görünüm. 1.gövde,2.tepe kapak regülatör prizi ve regülatör sızdırmazlık bileziği, 3.üst kapak plakası,4.birleştirme plakası 5.conta 6.civata 7.üst kapak sızdırmazlık bileziği 8.gövde saplama civatası 9.gövde civatası birimi 10.emniyet pulu 11.regülatör prizi 12.conta 13.vida 14.sayaç kutusu civatası 15.ölçü elemanı 16.emniyet civatası 17.pul 18.arka bilya grubu 19.arka fan taşıyıcısı 20.boru tıkaç pim 21.fan 22.dişli 23.düşey sonsuz vida 24.ilk pinyon 25.döndürme mandalı 26.regülatör 27.civata 28.alt dişli 29.alt dişli emniyet civatası 30.kaydedici.

1.3.2.6. Türbin sayaç

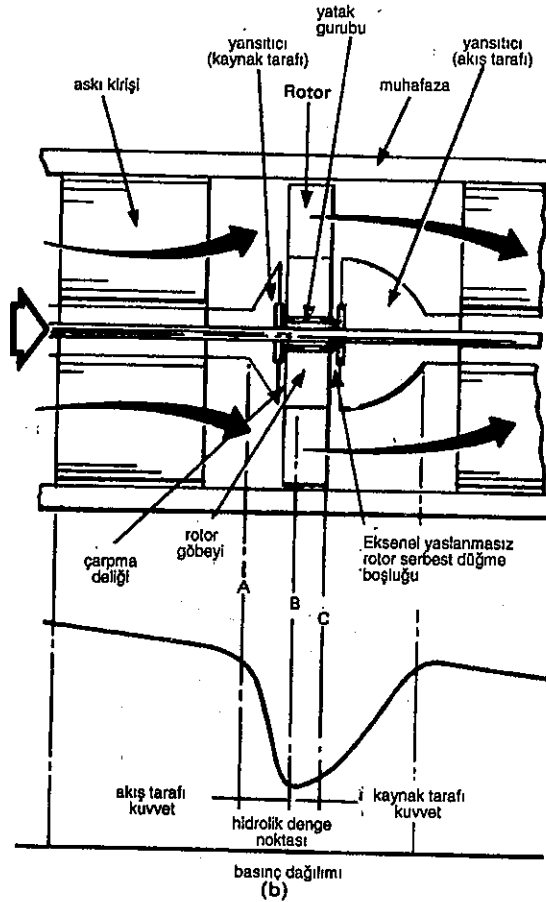
Bu tip sayaç ölçme borusunun eksenine yataklanmış pratik olarak sürtünmesiz bir rotordan oluşur. Rotor o şekilde imal edilmiştir ki, rotorun dönme hızı ile sayaç içinden geçen sıvının debisi orantılıdır. Bu dönüş hızı, sayaç gövdesi dışına şekil 1.25 (a)'da gösterildiği gibi uydurulmuş bir elektrik ayırıcı bobini yardımı ile duyulanmıştır.



"Kent" türbin sayaç serisinde rotor o şekilde imal edilmiştir ki, ilerleyen akışkanın basınç dağılışı rotoru askıya alarak, eksenel doğrultuda yüzme konumuna getirmiştir. Böylece yaslanma basıncı ve aşınma azalırken, tekrarlanabilirlik ve lineer akış hızı iyileştirmiştir. Bu şekil 1.25 (b)'de açıklanmıştır.

Şekil 1.25 (a)türbin sayacın çalışma prensibi (b) türbin sayacı içinde basınç dağılımı.

Sayaçta hareket eden tek parça rotor ve aşınmaya açık tek parça ise rotor yatak grubudur. Bununla birlikte malzemenin dikkatli seçilmesi durumunda (örneğin yataklar için tungsten karbür) sayaç bozulmadan 5 yıla kadar çalışabilmelidir.



Sıvı sayaç içerisinde akarken, rotor bağlantısı ve gövde nedeniyle A noktasına kadar yavaş artan bir basınç düşmesi vardır. Bu noktada sıvının içinden geçebileceği alan küçülür ve hız artarak B noktasında bir minimum basınç oluşumuna neden olur. Sıvının akış tarafında rotor ucuna (C) eriştiği an akış gidişatı kendi kendine düzelir ve küçük bir basınç artması oluşur. Bu da rotoru akış yönlü kuvvete ters kaynak tarafına sert bir şekilde hareket ettirir. Kaynak yönlü bir kuvvete karşıt etki oluşturmak için rotor göbek çapı deflektör dış çapından biraz daha büyük yapılmıştır. Böylece akış yönlü ek bir kuvvet elde edilmiştir. Hidrolik bir denge noktasına rotorun tamamen yüzmesi ve eksenel olarak hiçbir uçtan yaslanmaması halinde erişilir.

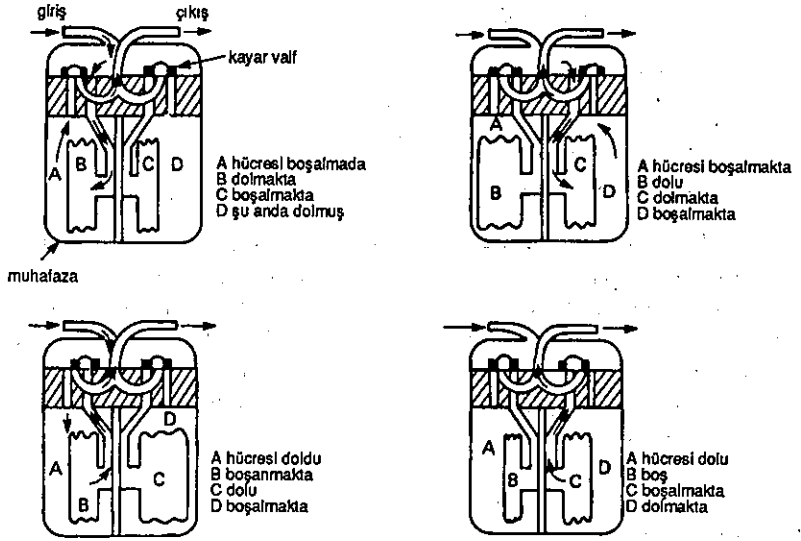
Türbin sayaçlar 500 mm ebadına kadar yüzde $\pm 0,25$ 'den daha iyi doğrulukta ve yüzde $\pm 0,25$ daha iyi tekrarlanabilirlikte, imal edilirler ve iki yönlü çalışabilirler. En uygun ölçüm işlemi sağlamak için, sayacın kaynak tarafına boru çapının 10 katı uzunlukta ve akış tarafında boru çapının 5 katı boyunda doğru borular ilave edilmesi gereklidir. Akım düzelticisinin kullanılması da bazen gereklidir.

1.3.3. Gazlar İçin Döner Mekanik Sayaçlar

Tartışılacak ana tipler pozitif yer değiştirme, sapma fan, döner fan ve türbindir.

1.3.3.1. Pozitif yer değiştirme

Bu başlık altında üç esas tip akla gelir. Bunlar diyaframlı sayaç, ıslak gaz ölçer (sıvı yalıtımlı davul) ve döner yer değiştirme sayacıdır.

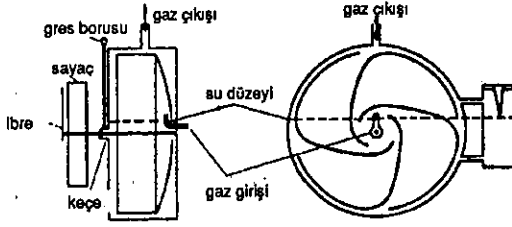


Şekil 1.26 Diyaframalı sayacın işlem kademeleri

Diyaframalı sayaç (körük tipi) Bu tip sayaç esas itibariyle 100 yıldan daha fazla süreden beri değişim göstermemiş ve günümüzde de muhtemelen en yaygın görülen tiptir. Bu sayaç İngiltere'de ev ve ticari amaçlı gaz donanımlarında kullanılmaktadır.

Sayaç üst ve alt kısımları olan bir metal kutu içerir. Alt kısım dört hücreden oluşur. Bunlardan ikisi esnek zarla kapatılmış olup, ölçülecek gazın dolması ve boşalması ile uzar ve büzülürler. Şekil 1.26 sayacın işlem periyodunun dört kademesini göstermektedir. Esnek zarın (diyaframın) uygun bir dişli düzenine bağlanması ile mekanik okuma düzeni elde edilebilir. Çünkü zarın her periyodunda belli nicelikte gaz boşaltılır. Bu tip sayaç çok hassas olmak ve arıza vermemek zorundadır. Uygulama Ticaret ve Sanayi Bakanlığı yönetmeliklerine göre yapılır.

Sıvı Yalıtımlı Tambur Bu tip sayacın, körüklü tip sayaçtan farkı, ölçme hücresini örten araç katı değil aksine su ya da başka bir uygun sıvı oluşudur. Cihaz kesit olarak şekil 1.27'de gösterilmiştir. Sayaç dönen bir kısım içeren inceltirilmiş pirinç levha ya da paslanmaz çelik levhadan yapılmış bir dış hücreden oluşmaktadır. Bu döner kısım, ince kalay levha ya da paslanmaz çelik saçtan, merkez mile göre dengede dört adet özel şekil verilmiş ölçü hücresinden oluşmakta ve dengeli imal edildiğinden serbest dönmektedir. Gaz merkeze



Şekil 1.27 Sıvı yalıtımlı tambur tip gaz ölçeri (sayacı).

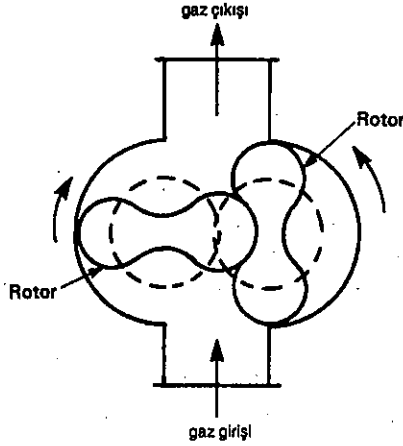
yakın giriş deliğinden girer ve gövdenin üst kısmındaki çıkış borusundan çıkar. Ölçme hücreleri, sayacın dış hücrelerini merkez çizgisinin biraz üstüne kadar dolduran su ya da başka bir uygun sıvı tarafından kapatılır. Sunum seviyesi o şekilde de düzenlenmiştir ki, eğer bir hücre çıkış borusuna açılmış ise, onunla arkasından gelen hücre arasındaki bölme onu girişe kapatır. Böylece her ölçü hücresi her dönüşte belli bir hacim gazı, sayacın giriş tarafından çıkış tarafına iletir. İletilen gerçek gaz hacmi hücrenin büyüklüğüne ve cihaz içindeki su seviyesine bağlı olacaktır. Bu nedenle su seviyesi kritik olup, bu seviyeyi doğru değere getirmek, yan hücredeki kanca tipli ayar göstergesi yardımı ile mümkündür. Eğer seviye çok alçalırsa ölçü hücresi kapanmaz ve gaz sayaç içinden ölçülmeksizin serbestçe geçer. Buna karşın eğer su seviyesi çok yüksek ise her devirde çıkış borusuna gönderilen gaz hacmi çok küçük olacak ve su, giriş borusundan aşağı doğru geri akacaktır. Doğru ayar su seviyesinin düzeltilmesiyle elde edilir. Bir bölmenin küçük bir bölmesinin girişe açık, çıkışa kapalı durumunda, bu küçük hacimdeki gaz basıncı çıkış tarafındaki gaz basıncından daha fazladır. Bu nedenle bu basıncın oluşturduğu kuvvet bölmeyi saat yönüne ters doğrultuda hareket ettirerek, hacmi büyütür. Bu hareket bölmenin girişe kapanıp çıkışa açıldığı ana kadar devam eder. Ancak aynı anda diğer bir bölme için aynı olaylar başlar ve devam eder. Bu ise devamlı bir dönme oluşturur. Dönme, tam dönme sayılarını ve bir dönüşüm kısımlarını gösteren bir sayacı hareket ettirir. Sayacın hacim birimine ayarlanması olasıdır. Rotor ile sayaç arasındaki mil genelde pirinçten imal edilir ve gres dolu bir salmastra kutusundan geçirilir. Salmastra ile sayaç dişlilerindeki sürtünme, sayaçtaki basınç düşüşünü belirler. Bu sürtünme hemen hemen dönme bazından bağımsızdır. Bu sürtünme olabildiğince küçük tutulmalıdır. Çünkü aksi durumda sayacın giriş ve çıkış tarafları arasındaki basınç farkı büyüyecek, ana hücredeki su seviyesi aşağı doğru bastırılacak ve sonuç olarak ölçü cihazı içinden geçen gaz hacminde hatalar doğacaktır. Ayrıca düşük gaz akış debisinde sayaç sarsıntılı dönecektir.

Cihazın bir dönüşü kısımları düzeyindeki bir doğruluk derecesinde gaz geçişini sağlayacak, ölçü bölmelerinin şekillendirilmesi son derece zordur. Sonuç olarak bir dönüşüm düzeyinde hassasiyetin söz konusu olduğu durumda cihaz sadece yaklaşık doğruluktadır.

Gönderilen gazın kütlesi, cihazdan geçen gazın sıcaklık ve basıncına bağlıdır. Gazın hacmi sayacın giriş sıcaklığında ölçülür ve eğer gazın sıcaklığı ve s.t.p.deki yoğunluğu biliniyorsa gazın kütlesini hesaplamak zor değildir. Kuşkusuz gaz su buharı ile doymuş haldedir ve gazın kısmi basıncının bulunmasında, bunun gözönünde bulundurulması zorunludur.

Döner-itici kanat tipi Bu tip sayaç prensipte sıvılar için imal edilen döner-itici kanat tipine benzer olup, iki dişli bir dişli pompa gibi anlatılabilir. Bu şematik olarak şekil 1.28'de gösterilmiştir. Her ne kadar sayaç genelde tamamen dökme demirden imal edilirse de, istenmesi halinde başka gereçler de kullanılabilir. Sayaç esasen bir dökme gövde içerisine yerleştirilmiş ve bilyalı yataklarla tespit edilmiş iki kanattan oluşmaktadır. Kanatlarda gövde arasındaki binde birkaç inç'lik boşluk aşınmayı önler. Aynı zamanda cihazın ayarı ömür boyu sabit kalır. Kaçak debisi yüzde 1'in sadece bir kesri kadardır ve bu dişli gösterge oranında giderilir. Kanatların her iki ucu, ölçme hücresinin içinde oluşabilecek yığılımları önlemek için, kazıyıcı biçiminde imal edilmişlerdir. Kanatlar, kanat milinin bir ya da her iki tarafına takılmış dişli çarklar tarafından, birbirine bağlı zamanlandırılmışlardır. Müşteri tarafından kullanılan gazın arkasından sayaç çıkışında yaratılan basınç düşüşü, kanatların dönmesine neden olur. Bir kanadın düşey konumundan her geçiş anında bir cep dolusu gaz, kanat ile blok arasında hapsedilir. Böylece gösterge shaftının her tam dönüşü süresinde dört cep dolusu gaz hapsedilir ve çıkartılır. Kanatların dönüşü uygun dişli düzeniyle sayaca o şekilde iletilir ki, sayaç doğrudan metre küp ya da feet küp gösterebilir. Sayaç, içinden geçen gazın niceliğini kaydederken, gazın etkisi altında bulunduğu koşullar girişte hakim olan koşullardır. Bu nedenle sayaç göstergesinde belirtilen hacmin çeşitli değişkenler için düzeltilmesi gereklidir. Bunlar normal olarak basınç, sıcaklık ve sıkıştırılabilirliktir. Eğer sayaç içindeki şartlar sabit iseler, düzeltme elle yapılabilir. Eğer sayaç iç koşulları devamlı ve bağlı büyük ölçüde değişim gösteriyorsa düzeltme, küçük mekanik ya da bilgisayar kullanılarak sürekli ve otomatik olarak yapılabilir. Sayaç istenmesi halinde, dış dişli düzenek yardımı ile çeşitli tip basınç ya da sıcaklık kaydedici cihazları da döndürebilir.

Genelde bu tip sayaçlar basınçta 60 bara kadar imal edilip, yaklaşık 12 m³/h dan 10 000 m³/h'a kadar olan delikleri ölçerler. Debi ölçümünde, en büyük kapasitenin yüzde 5'inden yüzde 100'üne kadar geniş bir aralıkta yüzde ± 1.0 doğruluk garanti edilmektedir. Sayaçtaki basınç düşüşü, en büyük kapasitede, daima 50 mm su sütunundan daha küçüktür. Bu kapasiteler ve basınç düşüşü bilgileri düşük basınçta çalışan sayaçlar içindir; bu değerler yüksek basınçta gaz yoğunluğunun etkilerine bağlı olacaktır.



Şekil 1.28 Döner yerdeğişim sayacı.

1.3.3.2. Saptırma palet tipi: velometreler

Bu tip cihazların çalışma prensibi, sıvılar için olan aynı cihazların benzeridir. Ama yapısı, gazların yoğunluğunun, genelde bir sıvıunkinden önemli derecede düşük olması nedeniyle, farklı olmak zorundadır. Palet yüzeyinin birim alanına etkiyen kuvvetin momentum değişim hızına bağlı olması ve momentumun ise kütle ile hızın çarpımı olması nedeniyle kuvvet palete çarpan gazın yoğunluk ve hızına bağlı olacaktır. Gazın bir ana borudaki akış hızı, genelde sıvı akışındakinden çok daha büyüktür (6 ile 10 kat) ancak bu şiddetle azalan yoğunluğu karşılayamaz. (Kuru havanın 0°C ve 760 mm'deki yoğunluğu 0,0013 g/ml iken sununki 1 g/ml'dir).

Bu nedenle palet, gazlar için kullanılacaksa ya çok daha büyük ya da ağırlığı çok fazla azaltılmış olmak zorundadır. Palette önemli eğilme elde ediliyorsa denge kuvvetini de küçültmek zorunludur.

En basit velometre özel şekil verilmiş kanalda hareket eden hafif bir paletten oluşur. Kanal içinde akan gaz paleti, gazın hızına, yoğunluğuna, kanalın şekline ve palet miline bağlanmış spirale etkiyen karşıt momente uyacak şekilde saptırır.

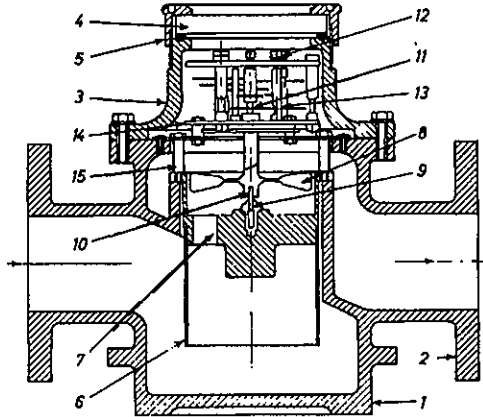
Velometre genel olarak, birisinin açık ucu kaynak tarafına diğerinin açık ucu ise akım tarafına bakacak biçimde yerleştirilmiş iki tüpten oluşan bir kanal jetine (duck-jet) bağlanır ve bu tüp çiftinin akım debisini ölçer. Debi bağlanan boruların uzunluğuna, çapına ve ayrıca basınç deliklerinin konum ve direncine bağlı olduğundan her grubun ayrı ayrı ayarlanmasına gereksinme vardır.

Bu basit velometrenin esas dezavantajları, sıcak ya da aşındırıcı gazların palet ve kanal üzerindeki etkileridir. Bu dezavantajlar, kanal jet ile elde edilen diferansiyel gaz basıncına eşit basınç verecek şekilde velometre içinde akan akımın ölçülmesi ile önlenabilir. Bu durumda sıcak gazlar cihazın içinden geçmeyecek ve böylece cihaz zarar görmeyecektir.

1.3.3.3. Döner palet tipi

Anemometreler Saptırma palet tiplerinde olduğu gibi paleti döndürmek için gazlardan elde edilen kuvvet, sıvı ölçmelerinde elde edilene oranla oldukça küçüktür. Bu nedenle paletler ya çok hafif ya da geniş yüzey alanlı yapılmak zorundadır. Rotor bir bütün olarak doğru bir biçimde dengelenmeli ve yataklar olabildiğince sürtünmesiz olmalıdır. Rotor çok taslı ya da çok kanatlı imal edilebilir ve dönme hızı hava hızı ile orantılıdır.

Döner gaz sayacı Döner sayaç, hava ölçen tip anemometrenin geliştirilmiş bir şekli olup, şekil 1.29'da gösterilmiştir. Üç ana parçalar grubundan oluşur: gövde, ölçü elemanları ve iç dişli düzeni tarafından döndürülen çok-noktalı gösterge. Tek parça iç kaplama flençine (2) sahip olan alt muhafaza (1), kaporta (3), gösterge camı (4) ve siperlik (5) ile tamamlanmıştır.



Şekil 1.29 Döner gaz sayacının kesiti diyagramı
(Parkinson ve Cowan Co. izni ile)

Ölçme elemanı içsel silindirik gövde (6), bir seri dairesel delikler (7), paletli bir anemometre (8), anemometreyi taşıyan bir saplama mili (9) milin yatıklandığı yakut bilya grubu (10) ve üst son bronz kovandan oluşmuştur. Silindirik gövde gaz akışını dairesel delikler içinden paletli anemometre üzerine yönlendirir.

Çok ibreli gösterge (12) bir dişli (13) tarafından döndürülür. Bu dişli gösterge plakaları (14) arasında tutulur. Gösterge grubu, üst flençe bağlanmış saplamalar tarafından yerleştirilmiştir.

Ölçek muhafazası dökme demirden, anemometre ise alüminyumdan yapılmıştır. Büyük tiplerinde içsel koni biçimli dökme demirden yapılmış ve kenarları pirinç ya da yumuşak çelikle donatılmış baştan başa ölçü elemanını oluşturan ayrı bir blok vardır.

Uygulama alanı, endüstriyel ve ticari işletmelerde basıncı 1,5 bara kadar gaz akışların ölçülmesi olup, $200 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e kadar olan akıslarda kapasitenin 10:1'in üstünde, doğruluk yüzde ± 2 'dir.

1.3.3.4. Türbin sayaç (türbin ölçer)

Gaz türbin sayacı, prensip olarak daha önce izah edilen sıvı türbin sayacılar gibi çalışır. Buna rağmen yapılarında bazı farklar vardır. Çünkü gazların yoğunluğu, sıvılarınkinden çok daha düşüktür. Rotor paletlerini hareket ettirmek için yüksek gaz hızlarına gereksinime vardır.

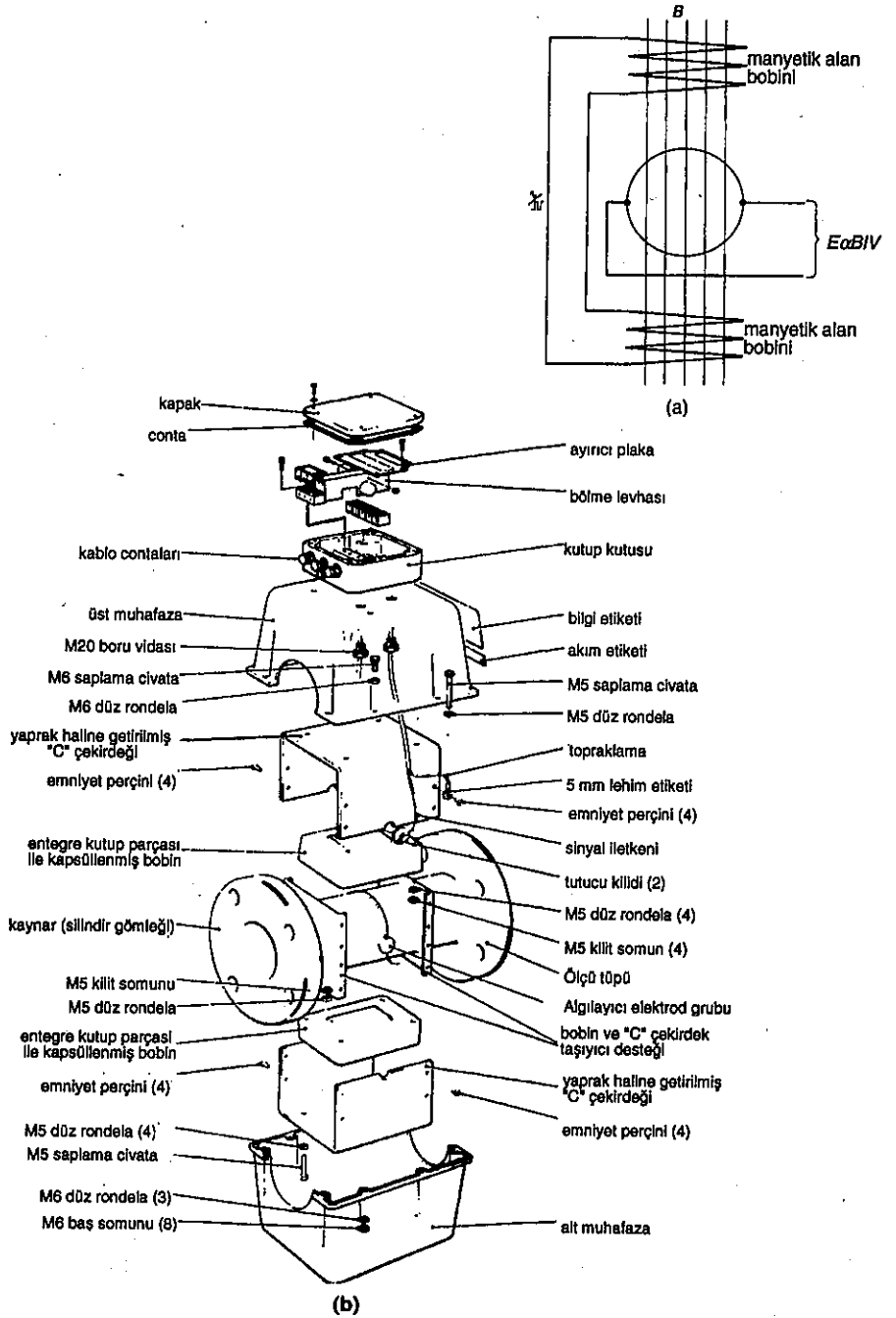
1.3.4. Elektronik Akım Ölçerler

Bu kategorideki akım ölçerler ya elektronik esaslıdır ya da ana uyarlama bir elektronik cihaz yardımı ile olmaktadır.

Bu kısımda tartışılan akım ölçerler son 5 yıl içinde çok önemli gelişmelerden geçmişlerdir. Ve açıklanan teknikler akım ölçme uygulamalarında gelişen bir alanı oluşturmaktadır. Bu teknikler elektromanyetik akımölçer, vet-rasonik akım ölçer, salınımlı akım ölçerler ve çapraz korelasyon tekniklerini içerir.

1.3.4.1 Elektromanyetik akım ölçerler

Akım ölçerlerin işlem prensibi Faraday'ın elektromanyetik indüklenme yasasına dayandırılmıştır. Bu yasaya göre bir elektriki iletken bir manyetik alanda hareket ederse bir elektromotif kuvvet (e.m.f.) endüklenmiş olur. Bu kuvvetin genliği manyetik alan şiddetine, hareketin hızı ve iletkenin boyuna



Şekil 1.30 (a) Elektromanyetik akım ölçerin prensibi (b) Elektromanyetik akım ölçer alıcı dedektör başı. (ayrılmış görünüş)

bağlıdır. Şöyle ki:

$$E \propto BIV$$

Burada E, (e.m.f.)yı, B manyetik alan yoğunluğunu, l iletken boyunu ve V ise iletkenin manyetik alanını kesme oranını gösterir. e.m.f.'nin harekete ve manyetik alana göre yönü Fleming'in sağ el jeneratör kuralı tarafından verilmiştir.

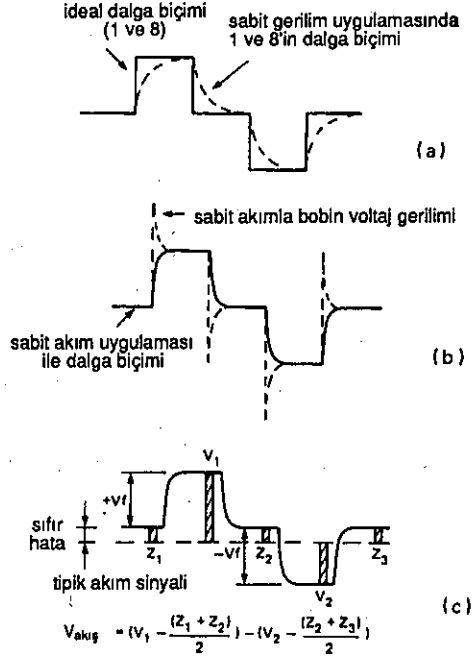
Şimdi eğer iletken bir iletken sıvı şekline girerse Faraday yasasına göre bir e.m.f. üretilir. Burada, BS5792 1980'ye başvurmak faydalıdır. Bu kaynakta belirtildiği ne göre manyetik alan, içerisinden iletken bir sıvı akan elektriksel yalıtkan bir boruya dik ise, boru cidarı üzerine yerleştirilen iki elektrod arasındaki maksimum potansiyel fark; onları birleştiren çapın manyetik alana dik olması durumunda ölçülebilir. Potansiyel farkı manyetik alanın şiddetine, eksenel hız ve elektrodlar arasındaki uzaklığa bağlıdır. Böylece eksenel hız ile akım debisi (verdisi) belirtilebilir. Bu ilke Şekil 1.30 (a)'da açıklanmıştır.

Şekil 1.30 (b) bir elektromanyetik akım ölçerin esas yapısını göstermektedir. Bu sıvının içinden aktığı boruyu ölçü elektrodlarını ve manyetik alan bobinini içeren ana cihaz ve alan-bobin uyarması sağlayan, ana cihaz çıkışlarını yükselten ve göstermeye, nakletmeye ve toplamaya uygun hale sokan bir ikincil cihazdan oluşmaktadır.

Esasen bir boru parçası olan akış tüpü bazı uygun yalıtkan maddeler (sıvının tipine bağlı olarak) kaplanarak, elektrotların kısa devre yapması önlenir. Elektrodlar normal olarak buton tipi monte edilmiş düz ve üstü kaplıdır. Akış borusunun dışına sarılan alan bobinler genelde buhar veya sıvı sızmalarından zarar görmemek için epoksi verniği ile kaplanmışlardır.

Alan-bobin tahriki Boru hattında boyunca bir manyetik alan oluşturmak için alan bobininin herhangi bir elektrik tahriki ile hareket ettirilmesi zorunludur. Elektrodlar, üzerindeki kutupsallaştırma etkisi sonuç olarak da elektrokimyasal olay doğuracağından salt d.c. tahriki kullanılamaz. Bu nedenle bazı a.c. tahriki kullanılmıştır. En yaygın teknikler şunlardır: Sinusoidal ve sinusoidal olmayan (kare dalga, darbeli d.c. veya eşkenar yamuk)

Sinusoidal a.c.tahriki Çok eski elektromanyetik akım ölçerler alan bobinler için 50 Hz. ana voltaj kullanılırdı. Bugünde çoğu sistemler bu ilke ile çalışmaktadır. Uyarı voltajı da a.c. olacaktır ve normal olarak sekonder elekttroniklere, herhangi bir d.c. gerilimin girişimini önlemek için, kapasitif bağlanmıştır. Bu tip sistemlerin çeşitli dezavantajları vardır. a.c. tahriki nedeniyle çevirim etkileri iç engel voltajlar doğurur. Bunlar değişken manyetik alandan gelen sinyal kablolarını etkiler. Güç tüketimi fazladır ve yukarıda sözü edilen engel voltajların neden olduğu sıfır tıkanmasından ve elektrod gizlenmesinden zarar görmektedir. Bu da elle sıfır kontrol ayarlamasının lüzumlu kılmaktadır. Bu sorunlar şimdi sinusoidal olmayan tahrik kullanılması ile önemli ölçüde çözümlenmişlerdir.



Şekil 1.31 Elektromanyetik akım ölçer d.c. darbeli tahrik. Flowmetering Instruments Ltd'nin izniyle.

Sinusoidal olmayan tahrik Burada tahrik çevrim kısmı için akım yoğunluğu değişim hızını $dB/dt=0$ olacak şekilde ayarlamak olasıdır. Böylece bu periyod süresince herhangi bir dönüştürme etkisi olmaz. Akış sinyali bu periyodlar süresince alınır. Bu sinyal endüklenen hata voltajının etkisinde değildir.

Kare-dalga, darbeli ve eşkenar yamuk tahrik başlangıçta hep yaklaşık 50 Hz'lik frekansta kullanılmıştı ama günümüzde çoğu imalatçılar, düşük güç tüketimi avantajı sağlar, (yani 50 Hz'lik sistemin güç tüketiminin sadece yüzde 20'si) parazit voltajları otomatik yok eden, otomatik sıfır ayarlaması yapan ve elektrod yüzeyleride fazla malzeme yığılmasını hoş gören düşük frekanslı (2-7 Hz) sistemleri tercih etmektedirler.

Kare-dalga tahrikin kullanıldığı bu tip tekniğe ait bir örnek Şekil 1.31'de tanıtılmaktadır.

Bobinlerin d.c. beslenmesi yaklaşık 2,6 Hz ile açılır ve kapanır aynı zamanda her çevrimde kutuplar değiştirilir. Şekil 1.31 (a)'da ideal dalga şekli

gösterilmiştir. Ancak bobinlerin endüktansları nedeniyle bu dalga şekli tamamen elde edilemez. Şekil 1.31 (b)'de gösterildiği gibi çözüm alan holünün kare dalgaya yakın bir tahrik veren sabit bir akım kaynağından beslenmesidir. Ölçüm elektrodlarında üretilen sinyal şekil 1.31 (c)'de gösterilmiştir. Sinyal şekilde gösterildiği gibi her ölçüm çevrimi devamınca 5 noktada alınır. Değerlendirmede, birleşik akıştan gerçek akış sinyalini ayırmada ve şekilde gösterilen denklemdaki sıfır sinyalinde mikro işlem teknikleri kullanılmaktadır.

Uygulama alanı Elektromanyetik akım ölçerler kirli sıvılar, hamurlar, asitler, ince çamurlar ve alkaliler gibi çok çeşitli sıvıların ölçümüne uygundur. Doğruluk; sıcaklık, basınç, viskozite, yoğunluk ya da iletkenlikteki değişkenliklerden hemen hemen etkilenmez. Ancak iletkenliğin 1 microhm/cm.'den büyük olması zorunludur.

Kurulması Ana eleman boru donanımında herhangi bir yere takılabilir, ancak akım ölçerin yatay monte edilmesine dikkat etmek gereklidir.

Elektrodların üzerinde yığılma oluşumunun tekrarlanan bir problem olduğu yerlerde iki değişik yol düşünülebilir:

(a) Elektrodların ultrasonik temizlenmesi.

(b) İzolasyon kaplamalarının etkili olmayacağı biçimde, akım hattına değmeyen kapasitif elektrodların kullanılması.

Ölçü cihazı içinde akan akışkanın gerilimlerinin aynı olmasını güvenle sağlamak için, izole edilmiş boru hatlarının normal olarak topraklama bilezikleri ile donatılmaları gereklidir. Böylece dolaşan akım ve engel olucu gerilimlerin oluşması önlenmiş olur.

Sayacın doğruluğu akış profili ile etkilenir. Bu nedenle en uygun koşulların güvenle oluşması için sayacın her iki tarafında da belli boyda boru parçalarının doğru olması gerekir. Doğru olması gereken en küçük boru boyları sayaç ana elemanının kaynak tarafında boru çapının 10 katı, akım tarafında ise 5 katı olmalıdır. Aynı şekilde sistemin doğru ölçme yapması için cihaz ana elemanının her zaman ölçülen sıvı ile dolu olması esastır. Hava kabarcıkları benzeri hatalara neden olacaktırlar.

Donanıma ilişkin daha kapsamlı bilgi için okuyucunun BS 5792 1980'in ilgili bölümlerine başvurması önerilir.

Sayaçlar 32 mm'den 1200 mm nominal büyüklüklerde imal edilmekte olup 0-0,5 m/s'den 0-10 m/s'ye kadar akım hızlarını ölçerler. Cihazların doğruluğu kapasitenin 10:1'in üstündeki ölçümlerde yüzde ± 1 'dir.

1.3.4.2. Ultrasonik akım ölçerler (sayaçlar)

Ultrasonik akımölçer akan maddenin hızını, akış ile onun içine gönderilen ultrasonik ses dalgası arasındaki karşılıklı etkileşimi kontrol ederek ölçer. Bu konuda uygulanan birçok yöntem vardır. Bunlardan en yaygın kullanılan ikisi, Doppler ve nakil (uçuş zamanı)dır. Şimdi bunları ayrı ayrı ele alacağız.

Doppler akım ölçer Bu yöntem çok iyi bilinen Doppler etkisini kullanır. Doppler'e göre ses kaynağı ya da yansıtıcı, dinleyiciye ya da alıcıya bağlı hareket ederse, sesin frekansı değişir. Frekans değişiminin sayısal niceliği, ses kaynağının ya da yansıtıcının hızının bir belirtisidir.

Uygulamada Doppler akımölçer, içerisine iki tane piezo elektrik kristali yerleştirilmiş bir kovan içerir. Kristallerden biri verici diğeri ise alıcıdır. Bütün grup şekil 1.32'de gösterildiği gibi boru cidarına yerleştirilmiştir. Verici F, frekansında ve akış hattı ile θ açısı yapan ultrasonik ses dalgaları verir. Eğer akan sıvı katı parçacıklar, gaz kabarcıkları ya da diğer kesikler içeriyorsa, verilen enerjinin bir kısmı geriye alıcıya yansıtılacaktır. Eğer akışkan V hızı ile hareket ediyorsa, yansıtılan sesin alıcı tarafından yakalandığı andaki frekansının F_2 olduğu gösterilebilir, şöyle ki,

$$F_2 = F_1 \pm 2V \cdot \cos \theta \frac{F_1}{C}$$

Burada C sesin akışkan içindeki hızıdır.

Formülü yeniden düzenlersek;

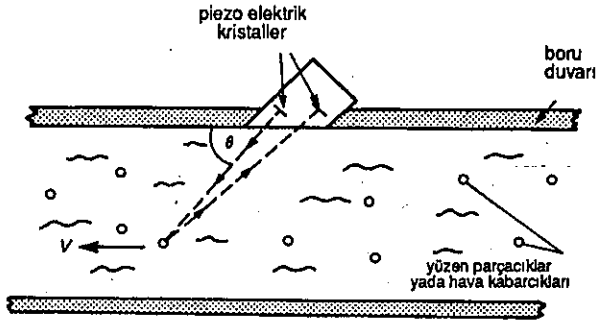
$$V = \frac{C(F_2 - F_1)}{2F_1 \cos \theta}$$

elde edilir. Bu da gösteriyor ki, hız frekans değişimi ile orantılıdır. Doppler cihazı normal olarak ucuz kolayca kenetlenabilir bir akım ölçerdir. Kullanımda tek engel ölçülen akımda herhangi tip kesintilerin olması zorunludur (cihaz temiz sıvıları denetleyemez). Boru hattı akustik olarak iletken olmalıdır. Doppler cihazının doğruluğu ve yinelenebilirliği, biraz şüpheli ve çalışması parçacıkların büyüklüğü ve asılı katı maddelerin konsantrasyonuna bağlı olduğundan sayısal sonuç alınması zordur.

Buna rağmen ideal şartlar altında ve ayarlama imkanları sağlandığında yüzde ± 5 doğruluk elde edilebilir. Bu tip akım ölçer en çok akışkan şalteri olarak ya da mutlak doğruluğun gerekmediği durumlarda akım belirleyicisi olarak kullanıma uygundur.

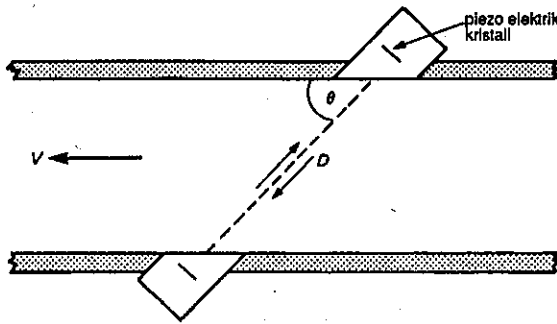
Nakil akım ölçerler Nakil cihazlar Doppler akım ölçerlerden şu noktada ayrılırlar: Bunlar bir ultrasonik çarpmayı akışkan akımının içinden geçmesine

dayandırılırlar. Bu nedenle işlev içindeki kesintilere ya da akışkan içindeki parçacıklara bağlı değildirler.



Şekil 1.32 Doppler ölçü cihazının çalışma prensibi.

Çalışma ilkesi bir ultrasonik ses dalgasının iki nokta arasında, evvela akım doğrultusunda sonra da akım doğrultusuna ters doğrultuda taşınmasına dayatılmıştır. Her durumda ses dalgasının iki nokta arasındaki uçuş zamanı, akan ortamın hızı tarafından değiştirilmiş olacaktır. Böylece uçuş zamanları arasındaki farkın akış hızı ile orantılı olduğu gösterilebilir.



Şekil 1.33 Uçuş zamanı ultrasonik akım ölçer.

Uygulamada ses dalgaları akış doğrultusunda değil; aksine şekil 1.33'de gösterildiği gibi bir θ açısı altında üretilmektedir. Ses vurumunun D yolunu geçiş zamanlarını akış doğrultusunda T_1 ve kaynak doğrultusunda T_2 ile gösterirsek, bunları, $T_1=D/(C+V)$ ve $T_2=D/(C-V)$ şeklinde belirtebiliriz. Burada C sesin akışkan içindeki hızı ve V ise akışkanın akma hızıdır.

Böylece;

$$T=T_1-T_2=2DV/(C^2-V^2) \quad (1.44)$$

bulunur. V^2 , C^2 ile karşılaştırılacak olursa son derece küçüktür ve bu nedenle ihmal edilebilir. Bu bağıntıyı frekanslara bağlı bir eşitlik halinde geliştirmek ve ses hızı (C)'ye bağlılığı ortadan kaldırmak daha uygun olabilir. $F_1=1/T_1$; $F_2=1/T_2$ ve ortalama akışkan hızı $\bar{V}=V/\cos \theta$ olduğundan bu değerleri gözönünde bulundurarak, (1.44) nolu denklem şöyle gerçekleştirilebilir:

$$F_1-F_2=(2\bar{V}\cos \theta)/D$$

Frekanslar arasındaki fark, akışkan hızı ile orantılı bir örnekssel çıktı veren elektronik dönüştürücü yardımı ile hesaplanmıştır. Bu yöntemin uygulamada gerçekleştirilmesi aşağıda belirtildiği gibi olmaktadır.

Voltaj kontrollü bir osilatör elektronik vurumlar üretir. Bunlardan ard arda gelen iki vurum seçilir. Bunlardan ilki (birincisi) piero-elektrik seramik kristali transdüktör ultrasonik vurum haline sokularak bir ultrasonik ışın halinde boruda akan sıvı içinden karşıya geçer ve oradaki elektronik devre tarafından tekrar elektronik vurum haline sokularak geri döner ve varış elektronik devresinde gelir. İkinci vurum doğrudan varış elektronik, elektronik devresi tarafından alınır. Birinci vurumun varış zamanını, doğrudan alınan ikinci vurumunki ile karşılaştıralım: Eğer iki vurum aynı anda varmışsa ikisi arasındaki periyod zamanı, birinci vurumun transdülere gidiş, orada ultrasonik vuruma dönüşüm, akışkan içinden karşıya geçme, orada tekrar elektronik vuruma dönüşüm ve tekrar varış elektronik devresine geliş için geçen zamana eşit olacaktır.

İkinci vurum birinciden önce varıyorsa, vurumlar arasındaki zaman çok kısadır. Bu durumda ilk varan elektronik voltaj kontrollü osilatöre (VCO) giden voltajı azaltarak, oluşan frekansı düşürür. Elektronikler, ilk ve ikinci vurumun aynı anda hedefe varmalarını sağlayıncaya kadar, VCO'ya giden voltajı sürekli düşürmeye devam ederler. Bu noktada frekansın periyodik zamanı, ultrasonik uçuş zamanı artı elektronik gecikme zamanının aynısı olacaktır.

Şimdi, eğer şekilde gösterilene aksi yönde bir ultrasonik vurum göndermek için benzeri bir elektronik devre kullanılacak olursa bir başka frekans elde edilecektir. Bu frekans değerini ilk frekans değerinden çıkaracak olursak, elektronik gecikmeler birbirini götürceklerinden, elde edeceğimiz sonuç, boru sistemi içinde akan sıvı hızının doğrudan ölçüsü olacaktır.

Uygulamada ultrasonik sinyallerin hem göndericisi (transmitter) ve hem de alıcısı (receiver) gibi davranış gösteren piezo-elektrik transdüserler kullanılır. Böylece borunun iki tarafında bunlardan sadece birer tane gereklidir.

Tipik olarak akım ölçer şekil 1.34 (d) gösterildiği gibi, bir akım borusu, buna dıştan monte edilmiş bir çift ultrasonik transdüktör ve ayrı bir elektronik elektronik çevirgeç verici'den, oluşmaktadır. Transdüserler ıslak ya da ıslak olmayan tipte olup, istenen frekansı vermek için ölçülendirilmiş piezo elektrik kristalinden oluşurlar (tipik olarak sıvılar için 1-5 MHz ve gazlar için 0,2-0,5 MHz). Şekil 1.34 (b)'de tipik bir transdüser gurubu gösterilmiştir.

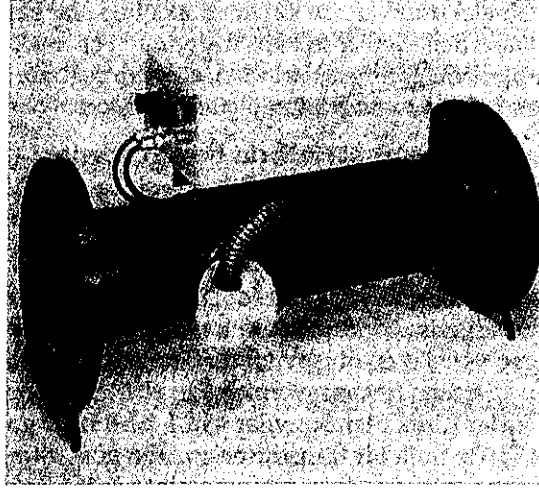
Cihaz, boru merkezindeki hızı ölçmesi nedeniyle akış profili etkilerine duyarlıdır. Bu etkileri azaltmak için cihazın her iki tarafında yeterince düz boru kısımlarının olmasına dikkat etmek gereklidir. Bu sorunun üstesinden gelmek için bazı imalatçılar çoklu ışın yöntemi kullanırlar. Böylece çok sayıda uyumlu hızlar ölçülür ve ortalama değer hesaplanır. İyi bir uygulama için cihazın kaynak tarafında yaklaşık 10, akış tarafında ise 5 çap boyunda doğru boru kısmını sağlamak gereklidir. Aynı şekilde bu tür akım ölçerler, akan ortam içerisindeki iletme dayandırıldıklarından, yüksek katı parçacık ya da gaz kabarcıkları içeren sıvılar ölçülemezler.

Bu tip ölçü cihazı sıvılar ve gazlar için boru çapı nominal 75 mm'den 1500 mm'ye kadar ya da özel uygulamalar için daha büyük çapta imal edilmektedir ve iki yönlü çalışır. 0,2 m/saniyeden 5 m/saniyeye kadar olan hız aralığında doğruluk derecesi $\pm 1\%$ 'den daha iyi olmaktadır.

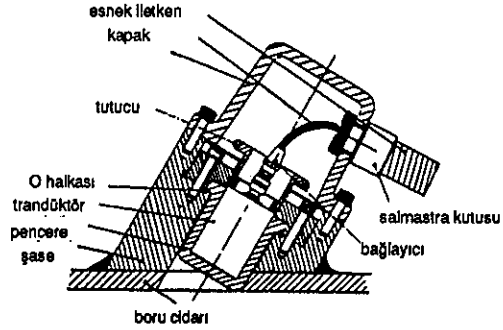
Bu yöntem açık kanallara ve nehir akışlarına da başarı ile uygulanmış ve şimdi de kapalı borular için boruya yapıştırılan tipleri vardır. Ancak doğruluk, her boru donanımına ait bilgilere bağlıdır ve yerinde uyarı arzulanır.

1.3.4.3. Salınan akımölçer

Bu sınıfa giren akım ölçerlerin çalışma prensibi şu gerçeğe dayandırılmıştır. Eğer akış içerisinde geometrik yapısı bilinen bir takoz yerleştirilirse, akışkan önceden belirlenebilir bir çeşit salınma başlayacaktır. Salınımın derecesi akım hızı ile ilişkilidir. Bu sınıfa ait iki ana ölçü cihazı, vorteks atlatmalı akım ölçer ve girdap akım ölçeridir.



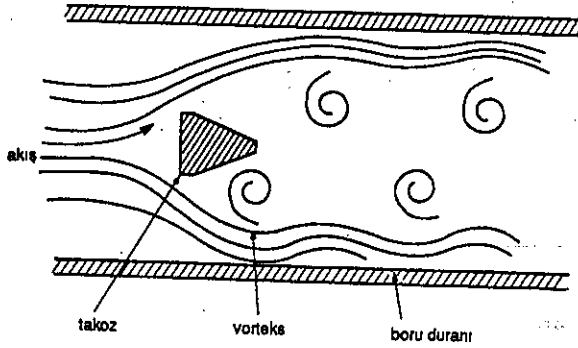
(a)



(b)

Şekil 1.34 (a) Ultrasonik akım ölçer (b) Transdüktör gurubu.

Vorteks akım ölçer Bu tip akım ölçer şu prensip üzerine çalışır. Eğer bir takoz (yani akım hatları olmayan cisim) akım çizgisine yerleştirilirse akım çizgileri (vortisler) birbirinden uzaklaşır ya da takozdan atlar. Prensip şekil 1.35'de çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 1.35 Vorteks atlama.

Vorteksler karışık olarak, takozun her iki tarafına dağılırlar. Dağılımın hızı akış hızı ile doğru orantılıdır. Eğer takoz boru hattının merkezine yerleştirilirse vorteks dağılımının hızı akım debisinin bir ölçüsü olacaktır.

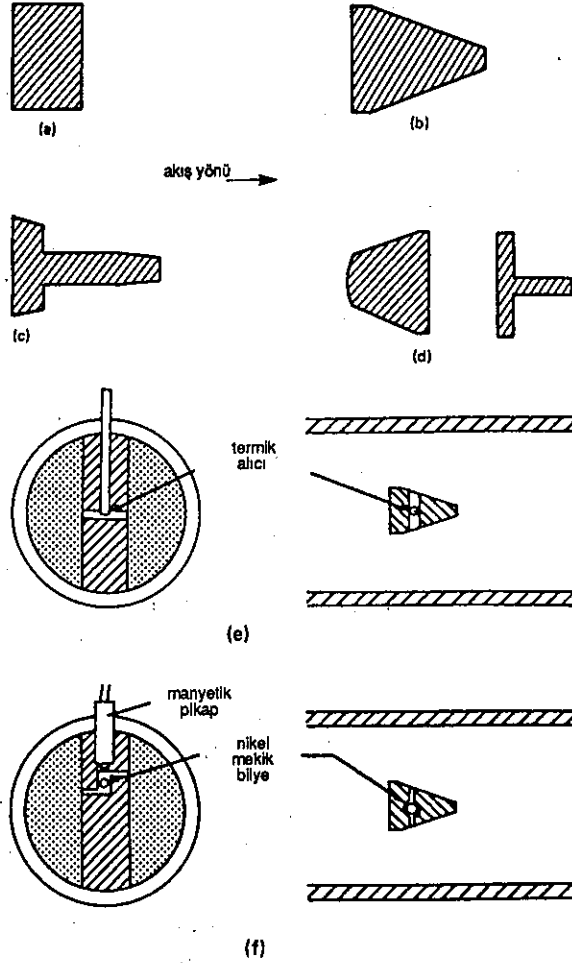
Herhangi bir takoz akış hattında vorteksler oluşturacaktır. Ancak bu vortekslerin düzgün ve iyi belirlenmiş olması için dikkatli bir dizayna gereksinim vardır. Esasta takoz simetrik olmalı fakat akış hatlarına uyan bir yapıda olmamalı ve geniş bir Reynold sayıları aralığında vorteks oluşturmalıdır. Uygulamada en yaygın kullanılan takoz biçimleri şekil 1.36'da gösterilmiştir.

Bu dizaynların hepsi ölçümde saptama yöntemini kolaylaştırmak için vorteks dağılımının etkisini yükseltmeye çalışırlar. Eğer (d) dizaynını gözden geçirecek olursak vorteks dağılımının akış tarafında, hemen yakınına bir diğer engel yerleştirilmiştir. Bunun etkisi dağılımları arttırmak ve kararlı kılmaktır. Takozun genişliği boru çapı ile belirtilmiş olup, kaba bir yöntemle, takoz genişliğinin boru çapına oranı 0,2'den daha küçük olmamalıdır.

Hissetme yöntemi: Takoz biçimi seçildikten sonra vortekslerin sezilmesi için bir yöntem geliştirmemiz gerekir. Çeşitli yöntemler var olup, en yaygın yöntemler aşağıdakilerdir:

(a) Ultrasonik. Burada vorteksler ultrasonik bir ışın demetinden geçerken, ışın genişliğinin modülasyonu ile sonuçlanan yansımaya sebep olur.

(b) Termal (şekil 1.36(e)). Bunlarda takozun ön yüzünün arkasındaki bir geçite termistör tip alıcı yerleştirilmiştir. Isıtılmış termistör, geçite giren akışkanın soğutma etkisi nedeniyle vortekslerde oluşan değişimleri algılar ve bir elektriksel vurum çıkışı verir.



Şekil 1.36 (a)-(d) takoz şekilleri (e) termik alıcı (sensör) (f) mekik bilya alıcı. Neptune Measurement Ltd'nin izniyle.

(c) Salınan disk. Akım elemanının her iki tarafındaki algılayıcı geçitler küçük bir diskin salınmasına neden olur. Bir değişken relüktans diskin salınımlarını algılar. Bu tip özellikle buhar ve ıslak gaz akışlarına uygundur.

(d) Kapasitans. Metal diyaframlar takozun arka yüzüne kaynak yapılmışlar ve diyaframlarla takoz arasındaki boşluklar yağ ile doldurulmuşlardır. Aradaki geçitler yağın iki taraf arasında geçişine izin verir. Her levhanın yakınına bir elektrod yerleştirilmiş, yağ yalıtkan olarak kullanılmıştır. Vorteks diyafram plakasını değişik biçimde esnetir ve diyafram ile elektrod arasında kapasite değişimine neden olur. Kapasite değişiminin frekansı, vorteks dağılım frekansına eşittir.

(e) Birim uzama. Burada takoz o şekilde imal edilmiştir ki, vorteks dağılımı ile ilişkili değişken basınçlar takozun arkasındaki bir çıkma bölümüne uygulanır. Değişen vorteksler bir içsel gerilim göstergesi ile donatılmış takozun arkasında devirli uzamalar yaratır.

(f) Mekik bilye. (şekil 1.36 (f)). Mekik yöntemi, vortek atlamalarının neden olduğu değişken basınçları, bir manyetik mekik'in akışkan ekseninde aşağı yukarı hareket ettirilmesinde kullanılır. Mekik'in hareketleri bir manyetik alıcı tarafından tutulur.

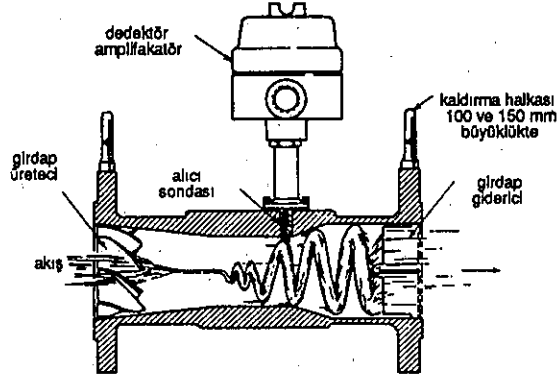
Ana algılayıcının verdiği çıktı, akışa bağlı düşük frekanslı bir sinyaldir. Bu sinyal uygun bir duruma getirilmek üzere bir elektronik dereye sokulur. Buradan gösterilmek ve nakletmek üzere ya analog ya da digital bir çıktı alınır. Vorteks ölçer için ayar faktörü (m^3 başına vuruş) takozun boyutları ve geometrisi tarafından belirtilir ve değişmez.

Vorteks akım ölçer donanım değişkenleri oldukça kritiktir. Kaynak tarafında ve verici bölgesinde boru flanş çantaları boru içine çıkıntı yapmamak ve tekdüze bir hız elde etmek için, kaynak tarafında en az boru çapının 20 katı boyda ve cihazın akış tarafında ise çapın 5 katı boyunda boruların doğru olması gerekir. Eğer bu gereksinimleri azaltmak zorunlu ise akım doğrultucuları kullanılmalıdır.

Vorteks akım ölçerler gaz ve sıvı ölçmelerinin her ikisinde de kullanılır. Bu akım ölçerler Reynould sayısı, gazlar için 2×10^3 ile 1×10^5 arasında ve sıvılar için 4×10^3 ile $1,4 \times 10^5$ arasında olacak şekilde geniş uygulama alanlarına sahiptir. Cihaz çıkışları, akışkanın yoğunluğu, sıcaklığı ve basıncından bağımsızdır. Ölçülen debinin doğruluğu kısma oranı 20:1'den fazla olacak şekilde geniş bir aralıkta yüzde ± 1 'dir.

Girdap ölçer Akışkanın salınan doğasına bağlı bir diğer ölçü cihazı, girdap ölçer, şekil 1.37'de gösterilmiştir. Akan sıvı içine, kıvrılmış giriş kanatçıkları yoluyla, teğetsel bir bileşen veren, bir girdap sokulur. Başlangıçta dönen akışkanın ekseni ölçü cihazının merkez çizgisidir. Fakat dönen akışkan ge-

nişleticiye girince, dönme ekseninin doğrultusunda bir değişim meydana gelir ve hızın en yüksek olduğu bölgenin cihaz eksenini etrafında dönmesine neden olur. Bu da frekansı hacimsel debi ile orantılı bir salınım ya da dönme eksenini üretir. Sabit bir akım kaynağı tarafından ısıtılan bir boncuk termistörden ibaret olan algılayıcı ani hız değişimlerini orantılı elektrik vurum'una çevirir. Üretilen vurum sayısı hacimsel debi ile doğrudan orantılıdır.



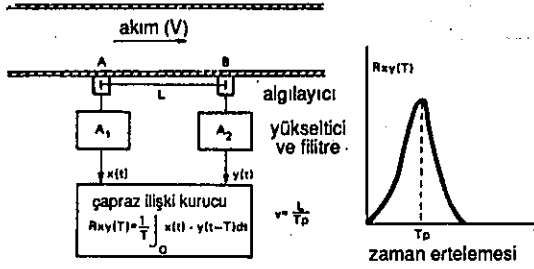
Şekil 1.37 Girdap ölçer'in kesiti. Fischer and Porter Ltd. izinleriyle

Girdap ölçerin çalışma aralığı, özel uygulamalara bağlı olmakla beraber genelde sıvılar için 25 mm çap ve 3,5-4,0 litre/dakikalık debiden başlayarak 300 mm çap ve 1700-1300 litre/dakikalık debiye kadar olanlar vardır. Doğruluk derecesi yüzde ± 1 tekrarlanabilirlikle debinin yüzde $\pm 0,25$ 'idir.

1.3.4.4. Çapraz korelatör

Akış halindeki çoğu akışkanda, uygun biçimde yerleştirilmiş dönüştürücüler (transdüser) tarafından yakalanabilen yoğunluk, türbülans ve sıcaklık gibi doğal olarak bulunan rastgele düzensiz değişimler mevcuttur. Eğer şekil 1.38'de gösterildiği gibi iki algılayıcı (transdüktör) bir boru hattına L aralığı ile yerleştirilecek olursa, kaynak tarafındaki dönüştürücü, bir rastgele düzensiz değişimi akış yönündeki dönüştürücüden t saniye önce yakalayacak ve dönüştürücüler arasındaki uzaklık, geçiş zamanı t'ye bölünecek olursa akış hızı elde edilecektir. Uygulamada bu rastgele düzensiz değişimler sabit olmayacaklardır. Bu nedenle birçapraz korelatörde karşılaştırılacaklardır. Bu korelatör T_p geçiş zamanı ve $V=L/T_p$ metre bölü saniyelik korelasyon hızında maksimum tepkiye sahiptir.

Bu etkin olarak yerleşmiş bir ölçü yöntemi değildir, ama ilke olarak birçok akışkanların ölçümleri için geliştirilebilir. Bu tür sistemler yavaş tepki zamanları nedeniyle, çapraz ilişkili akım ölçerlere piyasada pek az raslanmaktadır. Buna rağmen mikro işlemci yöntemlerin kullanılması ile işlem hızı önemli ölçüde artırılmıştır ve şimdi birçok imalatçı, endüstride kullanılmak için ticari sistemler üretmektedirler. Çapraz ilişki işlemine etkiyen yöntemler Cilt 4'te tartışılmışlardır.



Şekil 1.38 Çapraz-ilişki ölçer.

1.3.5. Kütle Akış Ölçerleri

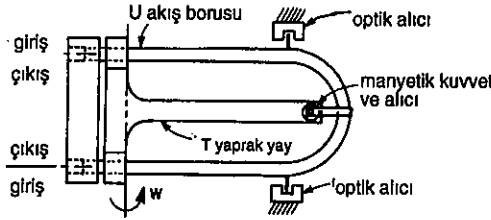
Kütleli debi ölçümlerinin hacimsel debiye göre bazı avantajları olabilir. Örneğin basınç sıcaklık ve özgül ağırlığın gözönünde bulundurulması zorunlu değildir. En zor ve kaçınılması gereken durum, gaz/sıvı, gaz/katı ya da sıvı/katı gibi iki fazlı karışımların beraberce aynı boruda akmalarıdır. İki faz ayrı hızlarda ve hatta ayrı doğrultularda hareket ediyor olabilir. Bu sorun bu kitabın kapsamı dışındadır, ama okuyucu bu durumdan haberdar olmalı ve olabildiğince akışkanın homojen olmasına çalışılmalıdır (boru çapı ne olmalı, cihaz nereye yerleştirilmelidir) ya da bu iki faz ayrı ayrı ölçülmelidir.

Ölçme yöntemleri iki ana başlık altında toplanabilir: gerçek kütle debisi ölçümü ve kütle debisi ölçümü. Birincisinde ölçülen değişken kütle akış debisiyle doğrudan ilişkilidir. İkincisinde ise hacimsel debi ve akışkan yoğunluğu ölçülür ve kütleli debi elde etmek için birleştirilirler. Hacimsel debi ve yoğunluk ölçmeleri başka yerde tartışıldıklarından burada sadece kütle akışı ele alınacaktır.

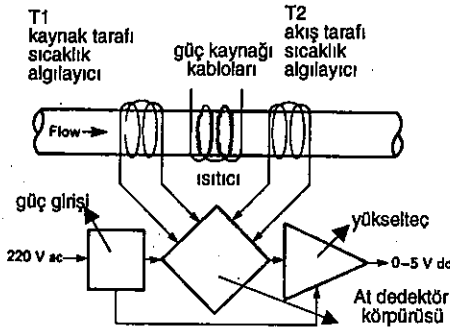
Bu modelin en başta döner masfaların sızdırılmazlığının sağlanamaması ve hızın istenildiği ölçüde kontrol edilememesi gibi çeşitli problemleri vardı. Ama son geliştirilen modellerinde, şekil 1.40'da gösterildiği gibi, bu problemlerin üstesinden gelinmiştir. Cihaz bir U borusu ve bir akord çatalının karşıt parçalarını oluşturacak biçimde T şekli verilmiş bir yaprak yaydan oluşmaktadır. Akord çatalının tahriki için bir elektro-mıknatis kullanılmıştır. Böylece boru içinden akan her parçacık Coriolis tipinde bir ivmenin etkisi altında olacaktır. Ortaya çıkan kuvvet U borusunda, boru malzemesinin pekliği ile ters ve kütle debisi ile doğru orantılı, bir açısal yerdeğişimine neden olacaktır. Bu hareket U borusuna karşılıklı takılmış optik dönüştürücüler tarafından alınır. Çıktı bir vurum olup, kütle akış debisi ile orantılıdır.

Bir osilatör sayaç vurum genişliğini sayılara çevirir ve gösterim amacına uygun bir çıktı haline sokar.

Bu tip cihazlar, yüzde $\pm 0,5$ 'den daha doğru olarak, sıvı ve gaz akışlarının ölçümünde kullanılabilir.



Şekil 1.40 Cirooskop/coriolis Kütle akım ölçeri.



Şekil 1.41 Termik-kütle akış ölçeri.

Basınç-farkları yöntemleri Klasik biçimi ile cihaz dört adet uygun orifis levha Wheatstone köprüsü düzeniyle yerleştirilmişlerdir. Bir karşılaştırma akımı oluşturmak amacıyla pompa kullanılacak köprünün birkolundan diğerinin içine belli bir debide akışkan iletilmiştir. Köprüden çapraz olarak ölçülen bileşke basınç farkı, kütleli akım debisi ile orantılıdır.

Termik kütleli akım ölçer Bu çeşit kütleli akım ölçer, bir akış borusu, bir kaynak tarafı ve bir akış tarafı sıcaklık algılayıcısı ve bir ısı kaynağından oluşur (Şekil 1.41). Sıcaklık algılayıcıları işlevsel olarak Wheatstone köprüsünün aktif kollarındırlar. Bunlar, ısı kaynağından eşit uzaklıkta monte edilmiştir. Böylece boruda akış yok ise her biri kaynaktan aynı nicelikte enerji alacak ve köprü dengede olacaktır. Ama artan akış ile akım tarafındaki algılayıcı kaynak tarafındakine göre giderek artan oranda daha fazla ısı alacak ve köprüde denge-sizliğin oluşumuna neden olacaktır. Sıcaklık farklı kütleli akış debisi ile orantılı olacaktır. Köprü bunu gösteren elektriki bir çıktı geliştirmektedir.

Bu tip kütleli debi ölçerler çok yaygın olarak, gaz akışlarının ölçülmesi-ne uygulanmaktadırlar. Ölçmeler, $2,5 \times 10^{-10}$ - 5×10^{-3} kg/s'lik geniş debi aralığında yüzde ± 1 doğrulukta yapılabilmektedir.

1.4. Açık Kanallarda Akım

Açık kanallardaki akımların ölçümü normal olarak su endüstrisiyle ilişkili bir gereksinimdir. Nehirlerde, lagımlarda (kısmen dolu borular) ve düzgün şekillendirilmiş kanallarda akım aşağıdaki yöntemlerle ölçülebilir:

- (a) Basınç düşüşü/alan yöntemi. Burada akım hattının içine, tek bir-basınç düşüşü/alan ilişkisi verecek biçimde, aşağıdaki gibi bir gövde inşa edilir.
 - (i) Savak. Üzerinden suyun akmasına izin verilen sade bir su bendi olup, üstünden akan sıvının savak eşiğinden ölçülen yükselişi akım debisi olarak ölçülür.
 - (ii) Hidrolik boğaz. Buna örnek venturi boğazı verilebilir. Burada kanala yatay düzlemde, venturi lülesinin kesit şekli verilmiştir. Kanalin tabanı boğaza doğru hafif bir eğime sahiptir.
- (b) Hız/alan yöntemi. Burada akımı belirlemek için her iki değişken ya-ni, basınç düşüşü ve hız yapısının bilinen geometrisi ile birleştiril-miştir.
- (c) Sulandırma ölçümü.

1.4.1. Düşü/Alan Yöntemi

1.4.1.1. Savaklar

Savaklar çeşitli şekillerde olabilirler. Ancak sınıflama savağın işlevsel geçitine göre yapılmıştır.

En basit dikdörtgen geçit ya da belirli durumlarda kare geçittir.

V ya da üçgen geçit sivri ucu aşağı yönelik V-şekilli geçittir. Bu debinin son derece azalabileceği akışkan debilerinin ölçümünde kullanılır. Geçitin şeklinden ötürü, küçük debilerde bunlarla ölçülen düşü değeri dikdörtgen geçitlerde ölçülenden daha büyüktür.

Yamuk ya da parabol olabilecek diğer geçit biçimleri sabit bir boşaltma katsayısı ya da akım debisiyle doğrudan orantılı bir düşü verecek şekilde tasarlanmışlardır.

Sıvının savaktan geçerken hızı artar çünkü sıvının ağırlık merkezi düşer. Başlangıçta savak düzeyinin üstündeki bir seviyede olan sıvı, savaktan sonraki akım hattının basınç merkezi düzeyine düşüyor varsayılabilir. Akışı sağlayan sıvının düşüşü, bu nedenle savak sonrası akış hattının basınç merkezi ile kaynak tarafı sıvının yüzeyi arasındaki düşey uzaklığa eşittir. Eğer savak eşiği üstünde basınç merkezinin yüksekliği, eşik üstündeki sıvı yüzeyi yüksekliğinin sabit bir kısmı varsayılabilirse, eşik üstündeki sıvı yüzeyinin yüksekliği, akışı doğuran diferansiyel basınca ait bir ölçü verecektir. Eğer tek sıvı parçacıklar gözönünde bulundurulacak olursa, bazıları ortalamadan daha uzağa düşerler. Ancak bu durum, bazı parçacıkların da daha kısa mesafeye düşeceği gerçeği tarafından giderilecektir.

Savak düşüşü deymimi ile savak eşiği ile savak üzerinden geçen sıvının tam dönmeye başladığı noktanın hemen kaynak tarafındaki su yüzeyi arasındaki düşey uzaklık ifade edilir ve H sembolü ile ve genelde metre biriminde belirtilir. Bu deyimle eşdeğer olarak bazen savak derinliği deymimi de kullanılacaktır.

Dikdörtgen geçit Savak üzerindeki akışın diğer ana diferansiyel basınç elemanları içindeki akımın tamamen aynı olduğunu varsayalım. Eğer savak'a yaklaşım akım hattının kesiti savak üzerinden akan akışkanın kesitine oranla büyük ise, kaynak tarafında kesit 1'deki V_1 hızı akışkanın savak geçidindeki V_2 hızının yanında gözardı edilebilir. Böylece denklem (1.16)'da $V_1=0$ yerine konsa denklem şu şekli alır:

$$V_2^2 = 2gh \quad \text{ya da} \quad V_2 = \sqrt{2gh}$$

Savak üzerinden akan akışkanın debisi ise şu bağıntı ile verilecektir:

$$Q=A_2V_2$$

Fakat akım hattının alanı BH olup, H savak derinliğini, B geçit genişliğini ve h ise H'nın belirli bir kısmını belirler.

Dikdörtgen kesit için matematiksel olarak

$$Q=\frac{2}{3}BH\sqrt{2gH} \quad (1.45)$$

$$=\frac{2}{3}B\sqrt{2gH^3} \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (1.46)$$

şeklinde gösterilebilir.

Savak üzerindeki gerçek akım, aşağıda belirtilen nedenlerle denklem (1.45)'in vereceği değerden, daha küçüktür:

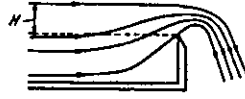
- (a) Akım hattının alanı BH değil bundan bir miktar daha azdır. Çünkü akışkan savak üzerinden geçerken, şekil 1.42'de gösterildiği gibi alttan ve üstten büzülme, savaktaki etkin derinlik H'dan daha küçük olmaktadır.
- (b) Sıvı ile geçitin duvarları arasındaki sürtünme nedeniyle kanal kenarlarındaki hız merkezdeki hızdan daha düşük olacaktır. Bu etki geçiti, şekil 1.43'de görüldüğü gibi, akım hattından daha dar yapmakla giderilebilir. Ancak bu da akıntının yanlardan büzülmesine neden olur. Bu nedenle B_1 -B en az $4H$ 'ya eşit olmalıdır. Eğer yanlarda oluşan büzülme her iki yanda da $0,1H$ ise, etkin genişlik $B-0,2 H$ olur.

Yan büzölmeleri önlemek ve ölçmeleri daha güvenilir yapmak istendiği zaman, şekil 1.44'de gösterildiği gibi levhalar yerleştirilerek, akıntının savağa yaklaşırken levhalara paralel hareket etmesi sağlanmalıdır.

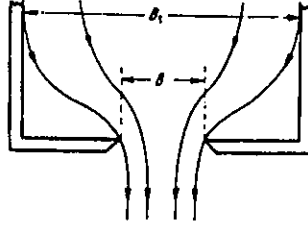
Gerçek akım debisi ile teorik debi arasındaki fark için daha önce tanımlanan boşaltma katsayısı C'nin denklem (1.46)'ya sokulması düşünülürse denklem şu hale girer:

$$Q=\frac{2}{3}CB\sqrt{2gH^3} \text{ m}^3/\text{s} \quad (1.47)$$

C değeri H'ya bağlı olarak değişecek ve aşağıdaki faktörlerden etkilenecektir. Eğer bir donanımın doğruluğu sürdürülecekse, bu faktörlerin sabit kalması zorunludur. Bu faktörler şunlardır: (a) savak geçidinin kenarlarının bağlı



Şekil 1.42 Dikdörtgen geçit, üst ve alt büzölmeler görölmekte.

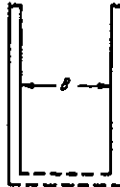


Şekil 1.43 Dikdörtgen geçit, yan büzölmeler görölmekte.

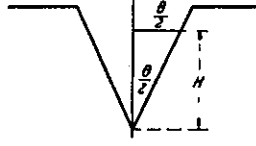
keskinliği, (b) savak eşiğinin genişliği, bu iki faktörün her ikisi de taban büzölmesine ve C katsayısına etki yaparlar. Bu nedenle savak eşiği zaman zaman gözden geçirilmeli ve bozulup bozulmadığı görölmelidir.

Yukarıdaki denklemin geliştirilmesinde, kaynak tarafı akım hızının gözardı edilebileceği kabul edilmişti. Akım debisi arttıkça, bu artık olası olmayacaktır. Dolayısıyla bir hız yaklaştırma faktörü devreye sokulmak zorundadır. Bu ise C değerine etki yapacak ve yaklaşım hızı artarken, gözlenen düşünüm (savak derinliğinin) gerçek ya da toplam düşüden daha az olmasına neden olacaktır. O halde bir düzeltme katsayısının denkleme sokulması zorunludur.

Üçgen geçit Eğer üçgen geçitin açısı, şekil 1.45'de gösterildiği gibi θ ise $B=2H\tan (\theta/2)$. Söz konusu akımın basınç merkezinin konumu dikdörtgen geçitinkinden farklı olarak, geçit tabanından daha yüksekte olacaktır. Matema-



Şekil 1.44 Dikdörtgen geçit yan levha.



Şekil 1.45 Üçgen geçit (V geçit).

tiksel gösterilebileceği gibi denklemdeki sayısal faktör şimdi 4/15'dir. Bu faktörü ve yeni A_2 değerini denklem 1.47'ye sokacak olursak:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{4}{15} CB \sqrt{2gH^3} \text{ (m}^3/\text{s)} \\
 &= \frac{4}{15} C 2H \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gH^3} \\
 &= \frac{8}{15} C \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gH^5}
 \end{aligned} \tag{1.48}$$

Deneyler göstermiştir ki, bu tip donanımların iyi çalışması için θ açısı 35° ile 120° arasında bir değere sahip olmalıdır. Üçgen bir geçitteki akım kesiti H'nin her değeri için geometrik olarak benzer kaldığından C değeri H'dan etkilenir. C'nin değişimi 0,57'den 0,64'e kadar olup, akımın yapısına bağlı kalır.

Eğer savağa yaklaşan hız gözardı edilmemişse H değeri, dikdörtgen geçitlerde olduğu gibi, uygun olarak düzeltilmelidir.

- Savağın kaynak tarafında geniş, derin ve üniform kesitli düz bir kanal olmalıdır. Kanal boyu akımdaki hız dağılımının düzgünlüğünü garanti etmeye yeterli boyda olmalıdır. Eğer kanalda giriş ucuna akıntının yukarıya çekişlerini kırarak bir bölme levhası kullanılacaksa yaklaşan kanal daha kısa yapılabilir.
- Akıntının moloz, döküntü getirmesi olası ise bu döküntülerin savağa erişmesini önlemek için yaklaşan kanala çapraz bir perde yerleştirilmelidir. Bu perde gerektiğinde sık sık temizlenmelidir.
- Savak geçidinin, kaynak tarafında, eşik kenar donanımın tipine göre kare ya da keskin olmalıdır.

- (d) Savak tepesi bir uçtan diğer uca yatay olmalıdır.
- (e) Geçit plakasının monte edildiği kanal sonu duvarı o şekilde kesilip biçimlendirilmelidir ki, akıntı serbest düşebilsin duvara sıvanmasın. Bunu garantilemek için yan duvarlarda bir ağız açarak düşmekte olan sıvının altında kalan boşluğun atmosfere açılması sağlanır.
- (f) Savaşın akış tarafında ne kanalın taban ne de kenarları geçite 150 mm'den daha yakın olmamalı ve akış tarafında su seviyesi, geçit eşiğinden en az 75 mm aşağıda olmalıdır.
- (g) H düşüşü, akım yüzeyinin savak eşiğinin üstündeki yüksekliğinin ölçülmesi ile saptanabilir. Su yüzeyinin akımdan etkilenmemesini garantilemek için ölçümü yeterince arkadan yapmak gerekir. Bu ölçüm genelde kaynak tarafında ve savak'a en az 6H mesafede yapılır. Ölçüm, sıvılar için düzey ölçme kısmında izah edilen yöntemlerden uygun herhangi biri ile yapılabilir: Örneğin çengelli seviye göstergesi, şamandıralı mekanizma, hava boşaltma sistemleri ya da ultrasonik yöntemler. Genelde seviyenin kanalın yanında ve geçitin yeterince üstündeki bir durultma kuyusundan ölçülmesi daha rahat olmaktadır. Bu kuyu savak bölmesine ince bir boru, ya da alt kısmındaki bir delik yolu ile bağlanmıştır. Sıvı kuyuda, savak bölgesindeki seviyeye kadar yükselir ve pratik olarak akımlar tarafından rahatsız edilmez.



Şekil 1.46 Hidrolik boğaz (venturi borusu).

1.4.1.2. Hidrolik boğazlar

Akımın inişinin, bir ölçü aletini çalıştırmaya yetecek bir düşü elde etmeye yeterli olmayacak kadar, az olduğu yerlerde ya da akımın çok miktarda mil veya moloz taşıdığı yerlerde bir hidrolik boğaz bir savaktan çok daha uygundur. Bir çok boğazlar yapılmıştır, ancak bizim burada ele alacağımız tek boğaz venturi borusudur. Bunun birden fazla biçimi olabilir, ama tabanı düz ve biçimi şekil 1.46'da gösterilen tipinde, volumetrik debiyi şu denklem verir.

$$Q = CBh_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - (Bh_2/Bh_1)^2}} \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (1.49)$$

Burada B_1 kanal genişliğini, B_2 boğaz genişliğini, h_1 daralan kısma girişin kaynak tarafında ölçülen su derinliği, ve h_2 suyun boğaz kısmındaki en küçük derinliğidir. C boşaltma katsayısı olup, sayısal değeri kanalın ana hatlarına ve akımın yatağına bağlı olacaktır. Katsayıların belirlenmesi için denemeler bir boğaz modeli üzerinde yapılabilir. Çünkü modelde ve gerçek boyutlardaki boğazda akımlar dinamik olarak benzerdir.

h_1 ve h_2 su derinliklerinin ölçümü, savakta olduğu gibi, ana kanal kenarındaki kuyuların su seviyelerinin ölçülmesi şeklinde yapılır. Bu kuyular kanala, kanal tabanına yakın ya da tabana açılan ince borular yardımı ile bağlanır.

Kapalı venturi borularında olduğu gibi, venturi varmadan önce belli bir minimum uzunlukta kesintisiz kanala gereksinme vardır. Böylece ölçüm yerinde vorteksiz, girdapsız bir akım elde edilmiş olur. Boğazın özenle tasarımı ile akımı belirlemek için gerçek alet gereksinimini basitleştirmek olasıdır. Eğer kanal, bütün akış debilerinde çıkış kanalındaki derinlik giriş kanalındaki derinliğin belirli bir yüzdesi olacak biçimde yapılmasa, geçit serbest boşaltma çıkışı gibi işler yapacaktır. Bu durumda kaynak tarafı derinliği akışkanaındaki koşullardan bağımsız olacak ve boğazdaki su derinliği kendi kendini belli bir kritik değerde tutacaktır. Bu kritik derinlikte, akım debisi ne olursa olsun, sunun enerjisi en küçük değerdedir. Eğer durum böyle ise, kanalın içinden geçen su niceliği, sadece kaynak tarafı derinliği h_1 nin bir fonksiyonudur ve şu denklemle ifade edilebilir :

$$Q = k h_1^{3/2}$$

Burada k özel bir donanımına ait bir katsayı olup, belirlenebilir.

Şimdi sadece h_1 'in ölçülmesine gereksinme vardır. Bu ölçme, kanalın kaynak tarafındaki bölümüne birleştirilmiş bir kuyu içindeki şamandıra yardımı ile yapılabilir. Bu şamandıra bir kaydedici ve entegre edici cihazı tahrik eder.

Kanal genelde betondan yapılmış olup, iç yüzeyleri su ve kanal arasındaki sürtünmeleri azaltacak biçimde düz yapılır. Bu tip boğazlar geniş çapta su ya da kanalizasyon akışlarının ölçümünde kullanılırlar. İmalat, küçük bir

dereden büyük bir nehre kadar her türlü ölçümü yapacak biçimde çok değişik büyüklüklerde yapılmaktadır.

1.4.2 Hız / Alan Yöntemleri

Akımın debisi aşağıdaki denklemlerle belirlendiğinden bu yöntemlerde hacımsal debi, ilgili iki değişkenin (ortalama hız ve düşü) ölçülmesi ile belirlenir.

$$Q = V \cdot A \cdot m^3/s$$

Burada A, düşü ya da düzey ile orantılıdır.

Düşü/Düzy ölçümü, 5. Bölümde açıklanan dolayısıyla burada ele alınmayacak olan, geleneksel düzey cihazlarının bir çoğu ile yapılabilir. Hız ölçümü için üç genel yöntem kullanılmıştır: türbin akım ölçer, elektromanyetik ve metrasonek. Bu yöntemler kapalı boru akımı kısmında tartışılmıştır. Burada sadece uyulama tanıtılacaktır.

1.4.2.1. Türbin - akım ölçer

Bir ölçer ölçümünde, ölçer nokta hız vermek için kullanılmıştır. Ölçer akım hattı içinde önceden belirlenmiş bir kesite oturtulmuş ve hız elde edilmiştir. Ölçer sadece nokta hız ölçtüğünden, ortalama hızı elde etmek için, tüm kesir içerisinde çeşitli elemeler yapmak zorunludur.

Bu yolla ölçülebilecek hızlar, 50 mm kanat çaplı bir türbin ölçer ile 0,003 den 3,0 m/s'ye kadar olabilir. Akım ölçer ölçümünün dezavantajı, akımın devamlı bir ölçümü değil, bir noktanın ölçümü oluşudur.

1.4.2.2 Elektromanyetik Yöntem

Bu yöntemde, kapalı boru akım ölçümlerinde olduğu gibi Faraday'ın elektromanyetik endükleme yasası kullanılmıştır. (Bölüm 1.3.4.1). Bu $E \propto BLV$ olup, burada E üretilen e.m.f.; B manyetik alan şiddetli; L metre biriminde nehir yada kanal genişliği ve V akımının ortalama hızıdır.

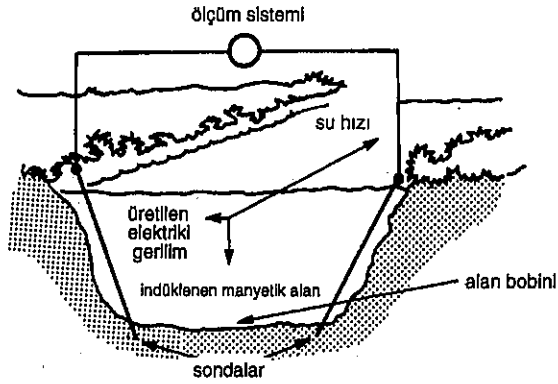
Bu denklem, kapak boru akışlarındaki şartlara benzer olarak, sadece tabanı yalıtılmış kanallara uygulanabilir. Uygulamada bir nehrin tabanını yalıtımak pahalıdır. Bunun yapılamadığı yerde ise, sonuç, sinyallerindeki hatayı yok etmek için nehir takımı geçirgenliğinin ölçülmesi şarttır.

Bir uygulama sisteminde kanalın altına gömülen büyük bir bobin, düşey bir manyetik alan oluşturmada kullanılır. Manyetik alan içinden akan su, nehir kenarları arasında bir e.m.f. oluşumuna neden olur. Bu gerilim nehr-

rin her kenarına yerleştirilen alıcı elektrodlar tarafından duyulanır. Bu şekil 1.47'de şematik olarak gösterilmiştir.

1.4.2.3 Ultrasonik Yöntem

Kapalı boru akımları için olduğu gibi iki yöntem mevcuttur: tek yol, çok yol. Her ikisi de kısım 1.3.4.2'de tanımlandığı gibi uçuş zamanı yöntemine dayatılmıştır. Ses vurumlarını alabilen ve gönderebilen transdüktörler nehrin ya da kanalın her iki kenarına zikzak zikzaklı yerleştirilmişlerdir. Uygulamada akustik yol ile akım doğrultusu arasında yaklaşık 60° 'lik bir açı vardır, fakat 30° ile 60° arasındaki açılar kullanılabilir. Açı küçüldükçe akustik yol uzar. 400 metreye kadar yol uzunluğu başarılabilir.



Şekil 1.47 : Elektromanyetik ölçüm prensibi.

1.4.3 Sulandırma ölçümü

Yöntem kapsamlı olarak "akım ayarlamacı" bölümünde işlenmiştir. Ana hatlarıyla ilke, tuzlusu, tuz ya da radyoaktif çözeltisi gibi izleyici maddelerin enjekte edilmesi ve akan su tarafından oluşturulan sulandırma derecesinin tahminini içerir.

1.5. Nokta Hız Ölçümü

Akım araştırmalarında ya da arazi çalışmalarında; ya ortalama hızın ya da hız profilinin belirlenmesi için kapalı borular ve açık kanalların her ikisinde de akan su gövdesinin değişik yerlerinde noktasal hızın ölçülmesi çoğu kez arzu edilir. Bu amaca yönelik en yaygın yöntemler şunlardır : Doppler anemo-

metre, sıcak tel anemometre, pilot tüpü, araya sokulan elektromanyetikler, daldırma türlerin, kanat tip akım ölçer, doldurma vorteks ve Doppler hız sondası.

1.5.1 Laser Doppler Anemometre

Bu Doppler ışık değişiminin akım hattındaki hareketli parçacıkları tarafından dağıtılması ilkesi noktasal hızı ve sonuçta ortalama hızın belirtilmesinde kullanılır. Gaz ve sıvı akışlarının her ikisine ait akışların incelenmesinde kullanılabilir olan bu ilke, araştırma ve endüstriyel uygulamaların her ikisinde kullanılmaktadır.

Laser Doppler değmeyen bir uygulama olup, özellikle çok alışıla gelmiş sistemlerin takılmasına izin vermeyen sistemlerin içindeki hız incelemelerine uygundur. Örneğin, kanalların etrafında ve türbinin içindeki hızların ölçümünde kullanılabilir.

1.5.2 Sıcak-tel Anemometre

Sıcak tel anemometresi, gaz ve sıvı sistemlerinin her ikisinde de akım incelemeleri için geniş çapta kullanılmaktadır. Çalışma ilkesi şöyledir : Elektriki olarak ısıtılmış küçük eleman akım hattının içine yerleştirilmiştir. Tel algılayıcı tipik olarak 5µm çapında ve yaklaşık 5 mm uzunluğundadır. Akımın hızı arttıkça, ısıtılmış eleman soğumaya başlar. Sıcaklıktaki bir değişim telin direncinde akım hızı ile orantılı bir değişime neden olur.

1.5.3 Pitot Tüpü

Pitot borusu akım hattında toplam basıncı (çarpma/hız basma ve statik basınç) ölçen bir cihaz olup, çalışma ilkesi aşağıda belirtildiği gibidir.

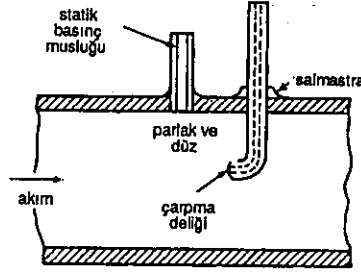
Eğer bir boru açık ucu akış hattında kalacak şekilde (şekil 1.48) yerleştirilecek olursa, borunun açık ucuna çarpan akışkanı durgun hale getirilecek ve kinetik enerjisini basınç enerjisine döndürülecektir. Boruda oluşan basınç, akım hattındaki basınçtan bir miktar fazla olacaktır. Bu basınç fazlalığı "çarpma basıncı" olarak tanımlanır. Eğer statik basınçta ölçülmüş ise, pilot tüpü ile ölçülen basınç ile statik basınç arasındaki diferansiyel basınç, çarpma basıncının ve dolayısıyla akım hızının bir ölçüsü olacaktır. Denklem (1.15) de h basınç farkı yada çarpma basıncı olup, şu bağıntı ile bellidir :

$$\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$$

Burada $V_2 = 0$. Dolayısıyla

$$h = - V_1^2 / 2g$$

ya da basınç $V_1^2 / 2g$ kadar artar. Eksi işareti basınçta azalma değil, bir artma olduğunu gösterir.



Şekil 1.48 : Tek delikli pitot borusu.

Düşüdeki artma :

$$h = V_1^2 / 2g \text{ ya da } V_1^2 = 2gh \text{ yani } V_1 = \sqrt{2gh} \quad (1.50)$$

Fakat bu araya yerleştirilen bir cihaz olduğundan tüm akış hattı hedefte durgun hale getirilmekte bir kısmı hedefin yanlarına sapmaktadır. Bunun giderilmesi için denkleme bir C sabiti sokularak denklem (1.50) şu hale girer :

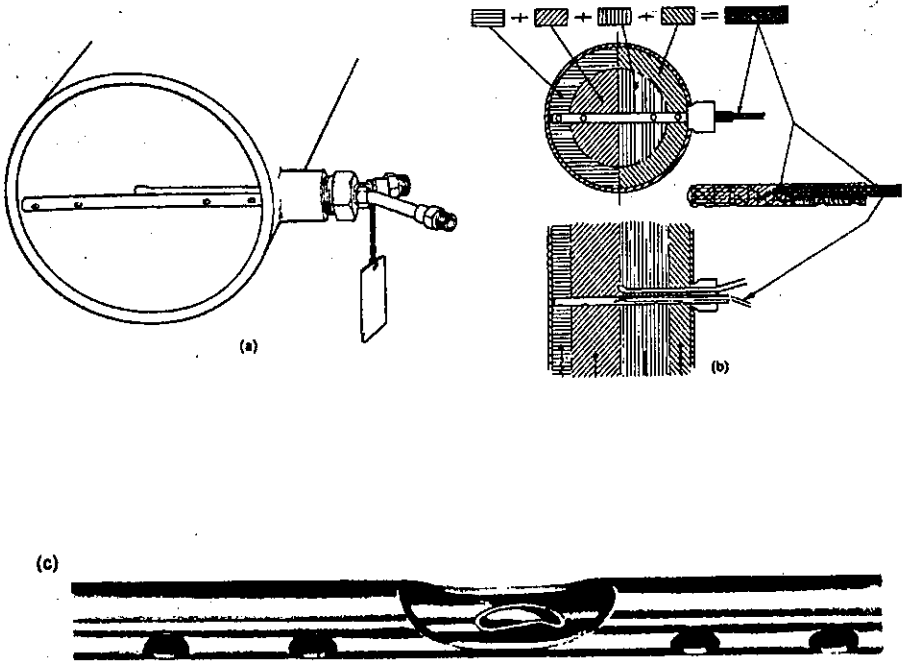
$$V_1 = C \sqrt{2gh} \quad (1.51)$$

Eğer pitot borusu, bir boru hattında akımın ölçüsünde sürekli bir cihaz olarak kullanılacaksa borunun yerleştirildiği noktadaki hız ile ortalama akım hızı arasındaki bağıntı tanımlanmak zorundadır. Bu pitot borusunu ana akış borusu içinde çapraz hareket ettirerek ve çeşitli noktalarda hızlar ölçülerek başanlır. Böylece hem hız profili hemde ortalama akış hızı belirtilmiştir olur.

Çok daha uzun süreli kullanılacak pitot borusu donanımları için şekil 1.49'da gösterildiği gibi bir Annubar kullanılabilir. Burada basınç delikleri o şekilde yerleştirilmiştir ki, onlar eşdeğer deliğin (annuli) temsili dinamik basıncını ölçerler. Akış hattına bakan dört delikten elde edilen dinamik

basınçların ortalaması manometrenin yüksek basınç tarafına tespit edilmiş bir iç interpolasyon borusu (şekil 1.49 (b)) yardımı ile elde edilir.

Manometrenin alçak basınç tarafı, statik basınç eksi emme basıncını ölçen akış tarafı elemanına bağlanmıştır. Böylece, boru içindeki ortalama hızı simgeleyen bir diferansiyel basınç elde edilir. Bu da akımın, gerçek akımın yüzde ± 1 doğrulukta elde edilmesini sağlar.



Şekil 1.49 Annubar A.E.D. International Ltd.'nin izniyle.

1.5.4. Elektro Manyetik Sondası

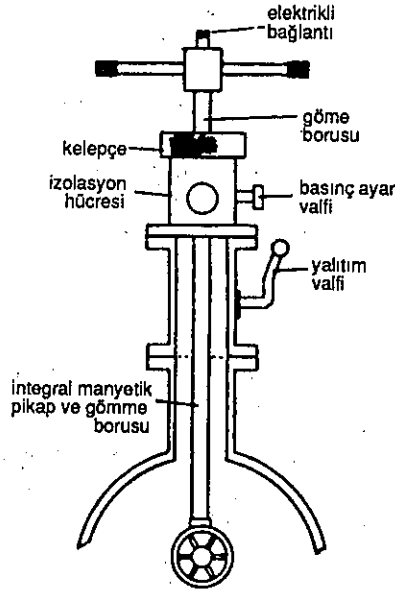
Bu tip cihaz ana ilke olarak, daha önce tartışılan elektromanyetik boru donanımı sayacının tersyüz edilmiş bir türüdür. Çalışma ilkesi aynıdır.

Hız sondası, alan bobini ve taban tabana zıt iki pikap elektrodu içine alan, ya silindirik ya da elipsoidal algılayıcıdan oluşur. Alan bobin, algılayıcı bölgesinde elektromanyetik alan oluşturur. Elektrodlar nokta hızı ile orantılı olarak üretilen bir gerilimi alırlar. Sonda sistemi, iletken sıvıların hem açık kanal ve hem de kapalı boru akışları için kullanılabilir.

1.5.5. Gömme Türbin

Bu cihazın çalışma ilkesi, tam çap boru hattı akım ölçerinin aynıdır.

Normal olarak sıvılarda boru akış hızı ölçümünde kullanılır ve şekil 1.50'de gösterildiği gibi koruyucu bir kafes içerisine yerleştirilmiş küçük bir türbinden oluşur. Normal uygulamada türbin ölçer, boru üzerindeki sürgülü vana grubu içinden ana boruya sokulur. Böylece basınç altında boru içine yerleştirilen ve hassas ayarlanan cihaz pitot tüpü gibi sürekli kullanılabilir. Türbinin hızı akışkanın hızı ile orantılıdır. Ancak akım içindeki türbin grubunun engellemesinden dolayı oluşan hatanın giderilmesi için bir düzeltme katsayısı tanımlanmıştır.



Şekil 1.50 Gömme türbin akım ölçer

1.5.6. Pervane Tipi Akım Ölçer

Çalışma prensibi bakımından türbine benzer. Bu tip hız sondası, bir çerçeveye monte edilmiş beş kanatlı PVC rotordan oluşmuştur. Bu cihaz en çok nehir ya da akıntı ölçümlerinde kullanılmakta olup 2.5 cm/s gibi düşük hızları ölçme yeteneğine sahiptir.

1.5.7. Gömme Vorteks

Daha önce tartışılan tüm çap vorteks ölçer ile aynı prensip üzerine çalışan gömme vorteks, kısa bir paslanmaz çelik boru ve ortasına yerleştirilmiş bir takozdan oluşur. Boru içinden akan akışkan vorteks atlamalarına neden olur. Cihaz normal olarak anaboruya flanşlı bir T parçası yoluyla sokulur. Bunlar 200 ve daha büyük çaplı borulara uygundur. Hız ölçme kapasitesi sıvılarda 0,1 m/s'den 20 m/s'ye kadar, gazlarda ise 1m/s'den 40 m/s'ye kadardır.

1.5.8. Ultrasonik Doppler Hız Sondası

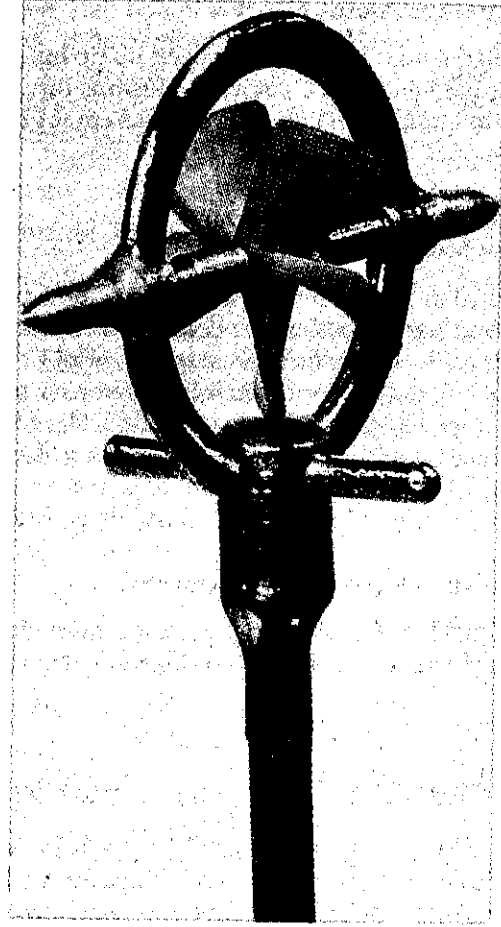
Bu cihaz açık kanal hız ölçümlerinin yapılmasında sıklıkla kullanılmakta olup hâli hazırda açıklanan Doppler ölçüm cihazının yerleştirildiği bir haznenin oluşmaktadır.

1.6. Akım Ölçer Kalibrasyon (Ayar) Yöntemleri

Akış ölçerlerin kalibrasyonunu yapmak içindeğişik metolar mevcuttur. Kalibrasyon gereksinimine göre bunları iki kategoriye ayırmak mümkündür. Laboratuvar ve yerinde kalibrasyon. Sıvı akış ölçerlerin kalibrasyonu, sıvıların üstü açık tanklarda depolanabilmesi ve suyun sıklıkla kalibrasyon sıvısı olarak kullanılabilmesi özelliğinden dolayı genellikle gaz akış ölçerlerinin kalibrasyonundan daha basittir.

1.6.1. Sıvılar İçin Akım Ölçer Ayar Yöntemleri

Sıvı akım ölçer ayarları için kullanılan esas prensipler yerinde: daldırma-nokta hızı ve sulandırma ölçümü/iz metodu; laboratuvar: Temel cihaz (karşılaş-tırma cihazı), hacimsel bağlı ağırlık ve boru sondasıdır.

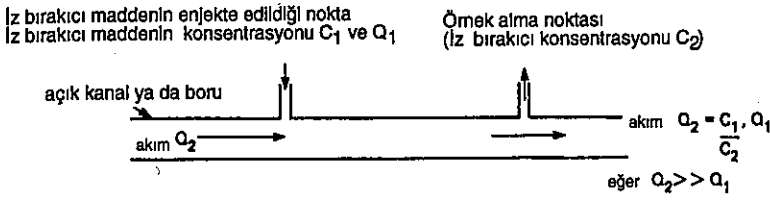


Şekil 1.51 Pervane-tip akım ölçer Nixon Instrumentation Ltd. izniyle.

1.6.1.1, Yerinde Ayar Yöntemleri

Daldırma-nokta hız Yerinde alet ayar yöntemlerinin en kolaylarından birisi nokta hızı ölçen cihaz kullanmaktır (kısım 1.5'e bak). Burada seçilen ayar cihazı akım hattındaki ayarlanacak cihazın yakınına yerleştirilir ve örneğin ortalama akış hızı ölçülür. Zor durumlarda hız profili ve ortalama akım hızını belirlemek için ölçmeler yatay çap boyu sürdürülür.

Sulandırma ölçümü/iz metodu Bu yöntem kapalı boru ve açık kanal ölçü cihazının ayarında kullanılır. Uygun bir iz bırakıcı (kimyasal ya da radyoaktif) hassas ölçülmüş sabit debide akıma enjekte edilir ve bu noktanın akış tarafında, iz bırakıcı maddenin tamamen karışacağı bir uzaklıkta, akımdan örnekler alınır. Örneklerdeki iz bırakıcı madde konsantrasyonunun ölçülmesi ile, iz bırakıcının sulandırılma derecesi belirlenir ve bundan akışkan ile iz bırakan katkı maddesinin hacimsel debileri hesaplanabilir. Bu yöntem şekil 1.52'de tanımlanmıştır. Değişiklik olarak, iz bırakan maddenin bir vurumu akım hattına ilave edilebilir ve iz maddesinin belli bir uzaklığı katetmek ve maksimum konsantrasyona ulaşmak için geçen zaman akımın bir ölçüsüdür.



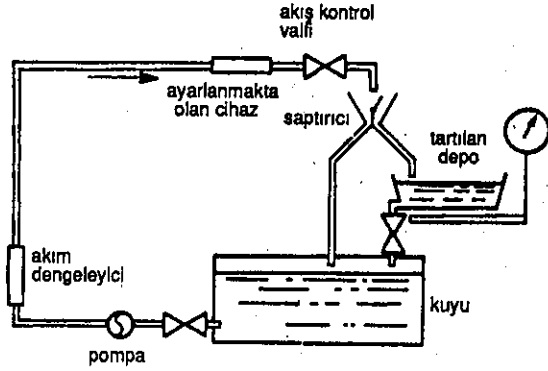
Şekil 1.52 İz bırakan madde enjeksiyonu ile sulandırma ölçümü.

1.6.1.2. Laboratuvar ayar yöntemleri

Temel cihaz Bu yöntem için ayar standardı olarak bir temel cihaz kullanılır. Ayarlanacak cihaz ile temel cihaz ard arda bağlanır; böylece aynı akım debisinin etkisi altında kalırlar. Şu husus akıldan çıkarılmamalıdır ki, birbirine uyan doğru ayarlamayı garanti etmek için, temel cihazın kendisinin zaman zaman tekrar ayarlanması zorunludur.

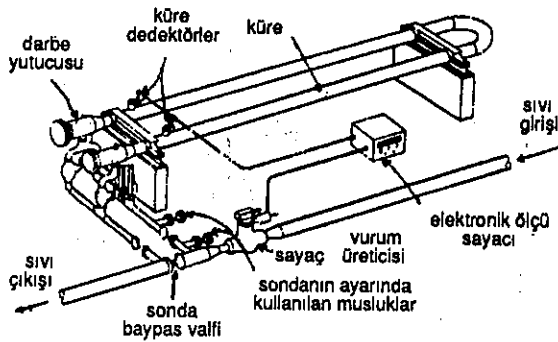
Hacimsal yöntem Bu yöntemde ayarlanacak ölçü cihazının içinden akan sıvı saptırılarak hacmi belli bir depoya akıtılır. Bu belli hacim dolduğunda, bu hacim ayarlanacak cihazın kaydettiği nicelik ile karşılaştırılır.

Bağıl ağırlık yöntemi Ayarlanacak cihazın içinden akan sıvı, devamlı ya da belli bir zaman sonra tartılabilen bir depoya aktarılır. Tartılan sıvının ağırlığı ayarı yapılacak cihazın kaydettiği nicelik ile karşılaştırılır. (şekil 1.53'e bak)



Şekil 1.53 Tartarak akım ölçer ayarı (British Standard Institution'ın izniyle).

Boru sondası Bu cihaz bazen ölçü sondası olarak bilinmekte olup, U şeklinde bir boru uzantısı ve bir piston ya da plastik bir küreden oluşur. Ayarlanacak cihaz sondanın girişine takılır ve küre akan sıvı tarafından boru boyunca harekete zorlanır. Borunun her iki ucuna yakın yerlere işaretler yerleştirilmiş olup küre şalterleri geçerken onları devreye sokar. İki şalter arasındaki süpürme hacmi ön ayarla belirlenir ve bu bilinen hacim denemeye alınan cihazın kaydettiği hacim değeri ile karşılaştırılır. Tipik bir boru sondası kıvrımı şekil 1.54'de gösterilmiştir.



Şekil 1.54 Boru sonda.

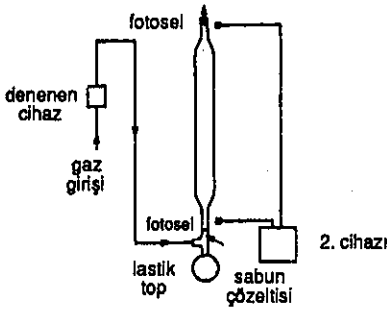
1.6.2. Gazlar İçin Ölçü Cihazı Ayar Yöntemleri

Gaz ölçü cihazları ayarına uygun yöntemler sıvılarda olduğu gibi yerinde ve laboratuvarlarda; sabun-film büreti, su yer değişimi yöntemi ve bağıl ağırlık yöntemidir.

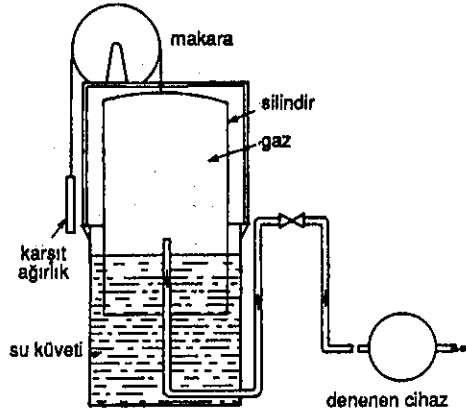
1.6.2.1. Laboratuvar ayar yöntemleri

Sabun filmi büreti Bu yöntem, gaz akış debisi 10^{-7} 'den 10^{-4} m³/s aralığında olan sistemlerin ayarlanmasında kullanılır. Ayarlanmakta olan cihazdan çıkan gazlar düşey düzlemde yerleştirilmiş bir büretten geçerler. Bürete giren gaz oradaki sabun filmini hareket ettirir. Sabun filminin büret taksimatlarını geçiş zamanının ölçülmesi ile akım debisinin ölçümü olasıdır. Tipik bir ayar sistemi şekil 1.55'de tanımlanmıştır.

Su yer değişimi yöntemi Bu yöntemde bir tarafı kapalı silindir, bir su küvetine, şekil 1.56'da gösterildiği gibi tersyüz daldırılmıştır. Silindir küvet içerisinde alçaltılırken, hapsedilmiş bir gaz hacmi oluşturulur. Bu gaz silindire birleştirilmiş bir boru yolu ile ayarlanacak cihaz içerisinden kaçabilir. Silindirin alçaltılma zamanının bilinen hacim/uzunluk bağıntısı ile birleştirilmesi, akan gazın saptanmasını olası kılar, bu da ayarlanmakta olan cihaz tarafından ölçülen nicelikle karşılaştırılabilir.



Şekil 1.55 Gaz ölçü cihazı ayarı-sabun-film büreti



Şekil 1.56 Su yerdeğiştirme yöntemi

Ek.1.1.1. Ölçü Cihazının Kaynak Tarafında Minimum Doğru Boru Uzunluğu *

Aşağıda A'dan F'ye kadar sıralanan durumlar için minimum boru çapı numarası

(a) Cihazla bitişik kaynak tarafında doğru boru uzunluğu

Çaplar oranı d/D daha küçük:

Alan Oranı m daha küçük:

Bağlantı elemanları simetrik engel oluşturmurlar

Durum A. Redüksiyon (3D boyu üzerinde 0.5 D'den daha fazla küçültme yok)

Genişletici (1.5 D boyunda 2 D'den fazla genişleme yok) alan oranı 0.3'den daha küçük olmayan herhangi bir cihaz

Durum B. Geçit kapağı tam açık

Durum C. (3/4 kapalı için H haline bak) Küre valf tam açık

Durum D. (3/4 kapalı J haline bak) Redüksiyon (herhangi bir daralma, geniş bir boşluktan da olabilir)

Bağlantı elemanları bir düzlemde simetrik olmayan engel oluşturmurlar

Durum E. 90 °C'ye kadar tek büküm Y parçası, T parçası (Akış herhangi bir koldan akabilir ama ikisinden değil)

(b) Kaynak tarafında ilk bağlantı elemanı

(fittings) ile kaynak

tarafı cihaza en yakın bağlantı elemanı arasındaki uzunluk

Durum F. Aynı düzlemlerde iki ya da daha fazla büküm, tek büküm 14 15 18 22 28 36 46 57 18
90 °C'den fazla,

Bağlantı elemanları simetrik olmayan engel ve girdap hareketi oluşturmurlar

DURUM G $\pm$ iki ya da fazla büküm, deve boyunları, halkalar ya da değişik düzlemlerde Y parçaları, iki kolunda da akış bulunan T parçası 34 35 38 44 52 63 76 89 32

DURUM H $\pm$ Geçiş valfi 3/4 e kadar kapalı (tam açık için durum B'ye bak) 40 40 40 41 46 52 60 70 26

Durum J $\pm$ Küre valfi 3/4 e kadar kapalı (tam açık için durum C'ye bak) 12 14 19 26 36 60 80 100 30

Diğer bağlantı elemanları

Durum K. Diğer bağlantı elemanları (girdap hareketi yok) 100 100 100 100 100 100 100 100 50

* 47 b ve 47 c alt maddelerine bak.

+ Alan oranı 0,015'den daha küçük ya da çap oranı 0,125'den küçük durumlar için 47 h alt maddesine bak.

$\pm$ E yer girdap hareketi akım doğrultucusu yardımı ile yok edildiyse (ek F) sırasıyla durum B, f ya da C gibi işlem görür.

\$ E yer geçit alanı tam açık durumunun dörtte biri kadar açık ise, valf dörtte üç oranında açık kabul edilir.

NB bilgiler British Standartlarından alınmıştır. Daha detaylı tam kopyaları, B.S. Ins. 2 Park Street London'dan temin edilebilir.

Bağıl ağırlık yöntemi Burada gaz, ayarı yapılacak cihaz içerisinde akacak şekilde saptırılıp ölçülen bir zaman süresince bir gaz toplama tüpünde biriktirilir. Toplama tüpünün deneyden önce ve deneyden sonra yapılan tartımlar arasındaki fark, tüpe alınan gazdan kaynaklanacak ve akım belirlenebilecektir. Bu akım ayarlanan cihazın ölçtüğü nicelikle karşılaştırılabilir.

Şu husus unutulmamalıdır ki, izah edilen ayar sistemlerinin oluşturulma masrafı engelleyici olabilir. Sistemleri çeşitli milli standart laboratuvarlarına (NEL ve SIRA gibi) ya da imalatçılarına ayar ettirmek, sermayeyi bu pek sık kullanılan sisteme yatırmaktan daha ekonomik olabilir.

1.7. Kaynakça

- BS 1042, *Methods for the Measurement of Fluid Flow in the Pipes, Part I Orifice Plates, Nozzles & Venturi Tubes, Part 2 a Pitot Tubes*, (1964)
- BS 3680, *Methods of Measurement of Liquid Flow in Open Channels*, (1969-1983)
- BS 5781, *Specification for Measurement & Calibration Systems*, (1979)
- BS 5792, *Specification for Electromagnetic Flowmeters*, (1980)
- BS 6199, *Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits Using Weighting and Volumetric Methods*, (1981)
- Cheremisinoff N.P., *Applied Fluid Flow Measurement*, Dekker, (1979)
- Durrank, F.S. and Greated, C.A., *Laser Systems in Flow Measurement*, Plenum, (1977)
- Haywood, A.T.J., *Flowmeters-A Basic Guide and Sourcebook for Users*, Macmillan, (1979)
- Henderson, F.M., *Open Channel Flow*, Macmillan, (1966)
- Holland, F.A., *Fluid Flow for Chemical Engineers*, Arnold, (1973)
- International Organization for Standardization, ISO 3354, (1975) *Measurement of Clean Water Flow in Closed Conduits (Velocity Area Method Using Current Meters)*
- Linford, A., *Flow Measurement and Meters*, E. & F.N., Spon
- Miller, R.W. *Flow Measurement Engineering Handbook*, McGraw-Hill, (1982)
- Shercliff, J.A., *The Theory of Electromagnetic Flow Measurement*, Cambridge University Press, (1962)
- Watrasievisy, B.M. and Rudd, M.J., *Laser Doppler Measurements*, Butterworth, (1975)

2. VİSKOZİTENİN ÖLÇÜMÜ

K.WALTERS and W.M. Jones

2.1. Giriş

1687'de yayınlanmış Principia'da Sir Isaac Newton, sıvının kısımları arasındaki kayganlık eksikliğinden ortaya çıkan direncin, diğer öğeler sabit kalmak koşulu ile, sıvı parçalarının birbirlerinden ayrıldıkları hız ile orantılı olduğu varsaydı. (şekil 2.1'e bak). Bu kayganlık eksikliği bizim bugün viskositte diye tanımladığımız şeydir. Şekil 2.1'deki hareket basit kararlı bir kesme akışı kabul edilmiştir. Eğer τ hareketi doğuran ilgili kesme gerilmesi ve γ hız gradyanı ise ($\gamma=U/d$) şu bağıntı yazılabilir:

$$\tau = \eta \gamma \quad (2.1)$$

η bazen viskosite katsayısı olarak anılır. Ama şimdi çok daha yaygın olarak basitçe viskosite olarak tanımlanır. Viskositeyi ölçmek için tasarlanan cihaza viskozimetre, viskosite ölçümü ile sınırlanmış özel tip bir reometre (madenlerin sıvı haline ait özellikleri ölçen cihaz olarak tanımlanır)dir.

Viskositenin SI birimleri paskal saniyedir. Paskal saniye= 1 Nsm^{-2} ($=1 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$) ve Nsm^{-2} .c.g.s. birimi poise ($=0,1 \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$) ya da poise-nille ($=1 \text{ Nsm}^{-2}$)dir. Kinematik viskosite ν ($=\eta/\rho$, burada ρ yoğunluktur) nun birimleri m^2s^{-1} 'dir. c.g.s. birimi stokes (st)dir. $1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$.

Su gibi basit sıvılar için viskosite basınç ve sıcaklığa bağlı olabilir ama hız gradyanına (yani kesme hızına) bağlı değildir. Eğer böyle maddeler belirli bazı biçimsel gereksinimleri sağlıyorsa (örneğin elastik değılseler) bunlar Newton gibi davranan viskoz sıvılar olarak tanımlanır. Çoğu viskozimetreler başlangıçta bu tip Newtonyen sıvılar için tasarlanmışlardı. Ama şimdi biliniyor ki, uygulamada karşımıza çıkan sıvı benzeri maddeler çok daha karmaşık davranışlara sahip olup bunlar Newton olmayan sıfatıyla tanımlanmışlardır. Newton olmayan davranışın en yaygın tanımı şudur: Viskosite kesme hızı γ ya bağlıdır ve genelde böyle bir akışkanın yalancı viskozitesi $\eta(\gamma)$ olarak tanımlanır. Böyle bir sıvıya ait hareket şekil 2.1.'de verilmiştir. Bu hareket için

$$\tau = \eta(\gamma)\gamma \quad (2.2)$$

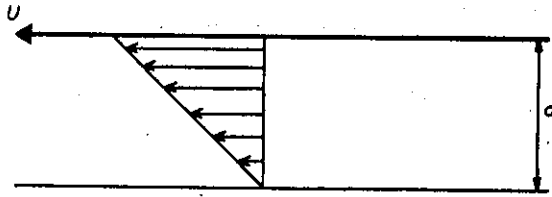
Gelecek kısımda kanıtlayacağız ki, viskozite kavramı araştırılmakta olan akış sahasıyla (örneğin acaba viskozite kararlı basit kesme akışımıdır yoksa değıl midir) çok yakından ilişkilidir. Çoğu hallerde tek yönlü ve kararlı uzama ile ilgili bir viskozite η_e tanımı yapmak daha uygun ve kullanışlıdır. Şimdi her ne kadar Newton sıvılarda uzama ile ilgili viskozite, (ya da kısaca uzama viskozi-

tesini η_e ile (kesme) viskozitesi η arasında, basit bir ilişki varsa da (Newton gibi davranan sıvılar için $\eta_e = 3\eta$), Newton olmayan sıvılar için durum böyle değildir. İşte bu son on yılda uzama viskozimetrelerinin artmasını doğuran bir dizi dürtüden birisidir. (kısım 2.5'e bak)

Endüstride önemi olan çoğu sıvılar, Newton olmayan gruba girer: Sıvı detarjanlar, çeşitli grupta yağlar, boyalar, matbaa mürekkebi ve ergimiş plastikler açık örnekleri oluştururlar (örnekler için walters (1980)'e bak). Viskozitenin ölçülmesi ile ilgili hiçbir bölüm, viskozite ölçümünün bu karmaşık sıvılara uygulanışını detaylı biçimde tartışmadan tamamlanmış olamayacaktır. Bu ise akma sınırı ve (thixotropy) pelte titreşimleri (Bunlar viskozite kavramı ile çok yakın ilişkilidirler) gibi önemli konulara ilişkin bir ön tartışmayı gerekli kılmaktadır. Bu tartışma gelecek kısımda ele alınmıştır.

2.2. Newton ve Newton Olmayan Davranışlar

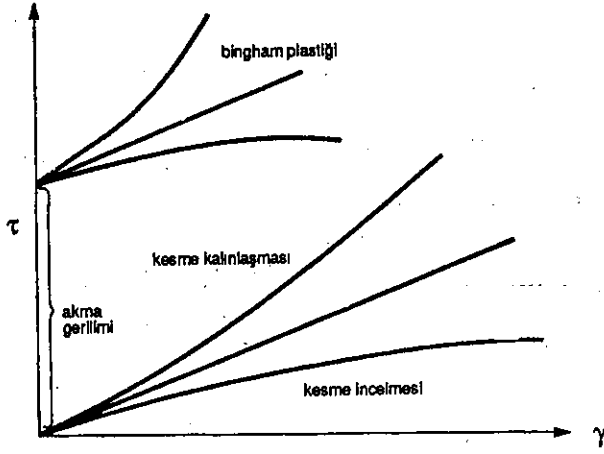
Daha öncede belirttiğimiz gibi Newton sıvılarda kesme gerilmesi τ ve kesme oranı $\dot{\gamma}$ arasında doğrusal bir bağlantı vardır. Çoğu Newton olmayan malzemeler için, şekil 2.2'de gösterilen kesme-incelme davranışı uygundur. Böyle bir davranış viskozite/kesme oranı ile, şekil 2.3'de gösterildiği gibi, ifade edilebilir. Burada görüleceği gibi viskozite sıfır-kesme değeri η_0 'dan daha düşük bir değer (ikinci Newton gibi davranan) η_2 'ye düşer. Bu davranışa bir zamanlar yalancı plastiklik denilirdi. Ancak bu deyim günümüzde pek yaygın değildir. Yağlama literatüründe kesme incelenmesi çoğu kez geçici viskozite kaybı olarak tanımlanmaktadır.



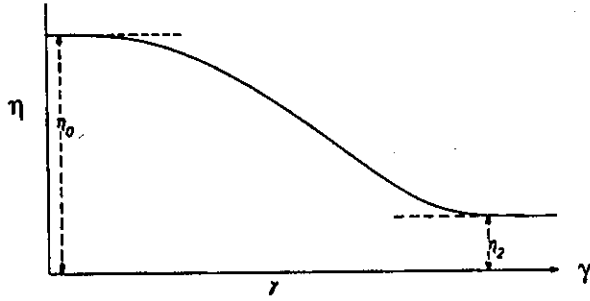
Şekil 2.1 Newton varsayımı.

Bazı Newton olmayan, örneğin mısır unu bulamacı gibi, sıvılar ters davranış biçimi gösterir. Bunlarda kesme oranının artışı ile viskozite de artar (şekil 2.2). Kesme şişmesi olarak bilinen bu davranış eski kitaplarda "kabarma" deyişi ile tanımlanırdı. Sınırlı bir kesme oranı aralığında, çoğu malzemeler için τ 'nın $\dot{\gamma}$ 'ya bağlı grafiği logaritmik sistemde doğrusaldır. Şöyle ki

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.3)$$



Şekil 2.2 Temsili (τ , γ) grafikleri.



Şekil 2.3 Kesme-incelme davranışının şematik gösterilişi.

Eğer $n > 1$ ise, sıvı kesmede kalınlaşan; $n < 1$ ise, kesmede incelenen bir sıvıdır.

Önemli bir malzeme grubu, akma gerilmesi olarak tanımlanan kritik bir gerilim aşıncaya kadar akmaz. Bu plastik malzemeler akma geriliminin üstünde, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, çeşitli tip davranışlar gösterebilir. Eğer akma geriliminin üstündeki eyri bir doğru çizgi ise, bu malzeme yaygın olarak Bingham plastik malzemesi olarak adlandırılır.

Şekil 2.2'de gösterilen çeşitli olasılıklara ek olarak bazı maddeler tarafından gösterilen zamana bağlı önemli etkiler de vardır. Bunlar thixotropy (peltelik) ve antithixotropy olmak üzere iki başlık altında toplanabilir. Bazı malzemelerin sabit hızda kesilmeleri viskozitelerinde zamana bağlı olarak önemli azalmalara neden olabilir. Kesme geriliminin kaldırılması ile malze-

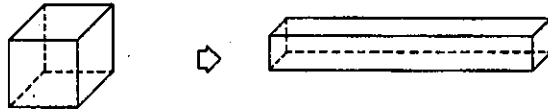
menin viskozitesi kademeli olarak eski haline döner. Buna thixotropy (pelte-lik) denir. Boyalar peltemsi maddelerin en göze çarpan örnekleridir. Adından da anlaşılacağı gibi antithixotroy, sabit kesme gerilimi altında viskozitesinin zamana bağlı olarak artmasını gerektirir.

Kuşkusuz bir sanayi ortamında kayma viskozitesinin ölçülmesi önemi inkar edilemez bir iş olup, malzeme davranışlarının başlangıçta değerlendirilmesine gereksinme vardır. Malzeme Newton gibi davranış gösteriyor mu, göstermiyor mu? Thixotropy önemli midir?vb.

Sanki esasen karmaşık olan bir durumu zorlaştırmak için son zamanlar-da anlaşılmuştur ki, birçok endüstriyel işlemler, kaymadan çok uzama deformasyonları içermektedirler. Bu gerçek, kesmenin arkasından uzama ile ilgili viskozi metrelerin devreye girme nedenidir. Bu cihazlar bir malzemenin gerdirmeye hareketine karşı dayanımını belirlemek için imal edilir. Gerdirmeye hareketine karşı malzeme davranışı şekil 2.4'de gösterilmiştir. Bu durumda, gene uygun bir gerilim T ve uzama oranı K 'nın tanımına gereksinme vardır. Bunlara bağlı olarak uzama viskozitesi η_e aşağıdaki bağıntıdan belirlenebilir.

$$T = \eta_e K \quad (2.4)$$

Bir Newton sıvısı için η_e bir sabittir ($\approx 3 \eta$). Bazı Newton olmayan sıvılar için uzama viskozitesi gerçekte çok büyük bir değer alabilir. İşte bu, bazı malzemelerde gerdirmeye karşı özel dirençlerinin bir ölçüsüdür ve uygulamada önemi pek çoktur. Bu da uzama viskozitesinin incelenmesinin önemli olduğunun kanıtıdır. Okuyucuya konu ile ilgili geniş bilgi için Pitrie (1979) tarafından yazılmış "Elongational Flows" adlı kitap ve son yıllarda Dealy (1982)'nin polimer-melt rheometry adlı ders kitabı önerilir.



Şekil 2.4 Tek eksenli uzama deformasyonu.

Newton olmayan davranışların önemi üzerinde geniş ve değerli bilgiler "Rheamety: Industrial Applications (Walters, 1980)" eserinde verilmiştir. Eser, çeşitli endüstriyel uygulamaların kapsamlı incelenmesinden başka ana ilkelere geniş tartışılmasını da kapsamaktadır.

Wan Wazer ve arkadaşları (1963) tarafından viskozite ölçümü üzerine ve Wilkinson (1960) tarafından Newton olmayan akışlar üzerine yazılmış kitaplar, bazı sınırlı hususlarda eskimiş sayılmış olsa bile, okurlara önerilir. Konulara değişik, ama birbirini tamamlayan açılardan bakarak geliştirilmiş daha

güncel işlemler, Lodge (1974), Walters (1975) ve Whorlow (1980) tarafından yazılmış kitaplarda verilmiştir. Daha öncede önerilen Dealy (1982)'nin ders kitabı "ergimiş polimerlerin ölçümü ile ilgili konularla sınırlı olmakla beraber kitabın büyük bir bölümü viskozitesinin ölçümü ile uğraşanları ilgilendirecek özelliktedir.

2.3. Kayma Viskozitesinin Ölçümü

Newton'un varsayımına (şekil 1.2) uygun sonsuz düzlem biçimi ile viskozimetre imâl etmek, özellikle hareketli akışkan sistemleri durumunda, kuşkusuz gerçekleştirilemez. Bu gerçek; araştırmacıları, aynı kararlı basit kayma akışı veren uygun şekil ve akış biçimleri bulmaya yöneltti. Günümüzde bu problem çözülmüş ve bir dizisi "viskometrik akışlar" olarak adlandırılan sistemler viskozimetre tasarımcılarının kullanımına sunulmuştur. (Temel matematiğin önemi inkâr edilemez olup, şu kitaplarda bulunabilir: Coleman ve arkadaşları (1966), Lodge (1974) ve Walters (1975)). En popüler olan akış tipleri şunlardır:

(i) kılcal (ya da Poiseville) akış,

(ii) dairesel Couette akış, ve

(iii) koni-ve-levha akışı. Kolaylık sağlaması için bu akış tiplerinin her birisini kısaca tanıtacak ve Newton sıvıları için basit işlem formülleri vereceğiz. Ayrıca Newton olmayan sıvılar içinde okurlara başvuru kitapları belirtilecektir. Buna ilave olarak kısım 2.3.4.'de Newton'un varsayımına uyan akışkani benzer biçimde sunan bir paralel levha ölçüm tekniği tartışılmıştır.

2.3.1. Kılcal Viskoziometre

Yarıçapı "a" olan dairesel kesitli uzun bir kılcal boru düşünelim. Akışkan, uygulanan bir eksenel basınç düşüşü tarafından kılcal boru içinde zorlanır. Kapılar boru içerisinde, tam kararlı basit kayma akışının oluşumunu güvence altına almak için, akışkanın boruya girdiği ve borudan çıktığı giriş ve çıkış uçlarının her ikisinden yeterli uzaklıkta bir L boyu alınır ve bu boyda oluşan basınç düşüşü P ölçülür. Akımın kılcal boru içindeki debisi Q, her basınç gradyanı P/L için ölçülür ve Newtonyen sıvılar için viskozite η Ha GEN Poiseuille yasası olarak adlandırılan bağıntı yardımı ile belirlenir:

$$Q = \frac{\pi P a^4}{8 \eta L} \quad (2.5)$$

Newton olmayan sıvılar için (2.5)'in önemli genişletilmiş şekilleri şu kaynaklarda bulunabilir: Walters (1975), Whorlow (1980) ve Coleman ve arkadaşları (1966). Örneğin üslü sıvı (2.3) durumunda formül şu hale girer:

$$Q = \frac{\pi n a^3}{(3n+1)} \left(\frac{a P}{2KL} \right)^{1/n} \quad (2.6)$$

Kılcal viskozimetrenin önemli yararlarından biri, yüksek bir kayma oranı elde edilmesidir.

Çoğu kez kısıtlı bir kılcal bölümü üzerinden basınç gradiyerti tanımlamak olası değildir. Özellikle, Newton olmayan sıvılar durumunda kılcal borunun giriş ve çıkış bölgelerinde basınç kayıplarının, sonuçlarının hatasız değerlendirilebilmesi için, dikkatlice incelenmesi zorunludur. (Örneğin Dealy (1982) ve Whorlow (1980)'e bak). Diğer olası hata kaynakları, viskoz ısınma ve akış kararsızlığını içerir. Bunlar ve diğer önemli problemler kapsamlı olarak Dealy (1982), Walters (1975) ve Whorlow (1980) tarafından tartışılmıştır.

"Kinetik-enerji düzeltmesi" olarak adlandırılan olay, kararlı basit kesme akımı bölgesinde basınç düşüşü ölçümünün sınırlanamadığı aksine bu düşüşün tüm kılcal boru boyu L üzerinden alındığı zaman önemlidir. Bir Newton sıvı için kinetik enerji düzeltmesi (yaklaşık olarak) aşağıdaki bağıntıdan elde edilir.

$$P = P_0 - \frac{1.1 \rho Q^2}{\pi^2 Q^4} \quad (2.7)$$

Burada P denklem (2.5)'de gerekli basınç düşüşünü, P_0 ölçülen basınç düşüşü ve ρ akışkanının yoğunluğudur.

Gazların yüksek düzeyde sıkıştırılabilir olmaları nedeniyle bunlarda kütleli akış debisinin $\dot{m}$ ölçülmesi daha uygundur. Bu nedenle denklem (2.5) yerine aşağıdaki denklemin konulması gerekir. (Örnek için Massey (1968)'e bak).

$$\eta = \frac{\pi a^4 \bar{p} M P}{8 \dot{m} R T L} \quad (2.8)$$

Burada $\bar{p}$ borudaki ortalama basıncı, M gazın molekül ağırlığını, R mol basınç gaz sabiti ve T kelvin sıcaklığıdır. Kinetik enerji düzeltmesi (2.7) halen geçerli olup göz önünde bulundurulmak zorundadır. Ancak gaz durumunda

bu düzeltme çoğu kez küçüktür. "Kayma düzeltmesi"de, gaz halleri için, ama sadece alçak basınçta, son derece önemlidir.

Gaz halinde olmayan maddeler için piyasada bulunan kılcal viskozimetrelerle akışkan genelde kılcallık içinden yer çekimi etkisiyle akar. İyi bir örnek Ostwald viskozimetresidir (şekil 2.5). Burada b, c ve d sabit işaretler olup D ve E'de su depoları vardır. Sıvı miktarı öyle olmalıdır ki, denge halinde, bir sıvı sütunu d'de olsun. Çalıştırmak için sıvı ya emilerek ya da üflenerek, sıvı sütununun diğer ucu b'nin biraz üstüne getirilir. Sıvı düzeyinin b'den c'ye düşmesi için geçen t zamanı ölçülür. İşlem formülü şu biçimdedir:

$$v = At - B/t \quad (2.9)$$

Burada v kinematik viskosite (η/ρ)'dir. Denklem (2.9)'in sağ tarafındaki ikinci terim uç noktaları etkileri için bir düzeltme faktörüdür. Herhangi bir özel viskozimetre için A ve B ayarlama sabitleri olarak verilmişlerdir. British standartlarına göre değişik yarıçaplı borulu viskozimetreler imal edilmiştir. Bunlara ilişkin önerilen işlenim yöntemleri de B.5. yayınları 188:1957'de verilmiştir.

Sadece yerçekimine dayanan akıma güvenmek, ölçülebilir gerilimi 1 ila 15 Nm⁻² arasındaki aralıkla sınırlar. Cihazın sol taraftaki borusuna bilinen sabit bir basınç altında bir asal gaz uygulanarak ölçü üst sınırını 50 Nm⁻²'ye kadar arttırmak olasıdır.



Şekil 2.5 Ostwald viskozimetresinin şematik diyagramı.

2.3.2. Couette Viskozimetresi

En yaygın döner viskozimetre, Coutte ortak merkezli silindir viskozimetredir. Bu viskozimetrede sıvı, birbirine bağıl hareket eden ortak merkezli iki silindirin arasına doldurulur. Genelde dış silindir döner ve iç silindiri hareketsiz tutmak için gerekli tork (döndürme momenti) ölçülür. Ancak bunların da çeşitleri vardır. Örneğin Brookfield viskozimetrede silindirik bir kafa (ya da bazen bir disk) bir deney sıvısı içinde döndürülür ve döndürmek için gereken tork ölçülür. Kısım 2.4'e bak.

Eğer r_o yarıçaplı dış silindir Ω_o açısal hızı ile döner ve r_i yarıçaplı bir silindir hareketsiz tutulursa, iç silindiri hareketsiz tutmak için gerekli tork silindirin birim boyu başına, Newton davranışlı sıvı için C ise, bunun değeri:

$$C = \frac{4\pi\Omega_o^2 r_o^2 \eta}{(r_o^2 - r_i^2)} \quad (2.10)$$

Böylece her Ω_o açısal hızı için hesaplanan C değeri viskositenin η belirlenmesinde kullanılabilir. Eğer akışkan Newtonyen değilse (2.10) m ifadesinin genişletilmesi basit değildir (silindirlerarası boşluk çok küçük olmadıkça). Ancak ilgili analizler birçok kitaplar tarafından kapsanmaktadır (örneğin Walters (1975) ve Wharlow (1980)'e bak). Hatanın muhtemel kaynaklarına gelince sınır (uç) etkileri açık sebeplerdir. Aynı şekilde akış kararsızlığı, eksenlerin yanlış ayarlanması ve viskoz ısınma da hata kaynaklarını oluşturmak tadırlar. Hataların muhtemel kaynakları ile ilişkili geniş tartışma şu kaynaklarda bulunabilir: Dealy (1982), Waltero (1975) ve Wharlow (1980).

2.3.3.Koni-ve-levha viskozimetre*

Şekil 2.6'da gösterilen koni ve levha düzenlemesini gözönüne alalım. Koni Ω_o açısal hızı ile döndürülmekte ve plakayı hareketsiz tutabilmek için gerekli C torku ölçülmektedir. Boşluk açısı θ_o genelde çok küçüktür ($<4^\circ$). Sonuçların yorumlanmasında kenar etkileri gözardı edilmiştir. Böylece bir Newton davranışlı sıvı için işlem bağıntısı şöyledir:

$$C = \frac{2\pi a^3 \Omega_o^3}{3\theta_o} \eta \quad (2.11)$$

* Denenecek akışkanın paralel levhalar arasında bulunduğu Torsiyonal-akış- reometreler çalışma yöntemi bakımından koni ve levha viskozimetrelere benzerler. Ancak elde edilensayısal değerlerin(data) yorumu newtonyen hal hariç tutulunca, daha karmaşık ve doğruluk derecesi daha azdır. (Örnekler için Walters (1975)'e bak)

Burada, koninin yarıçapıdır. Kapılar akış ve Couette-akış durumlarının aksine burada Newton olmayan sıvılar için işlem formülü (2.11)'ye son derece benzerdir ve gerçekte şöyledir:

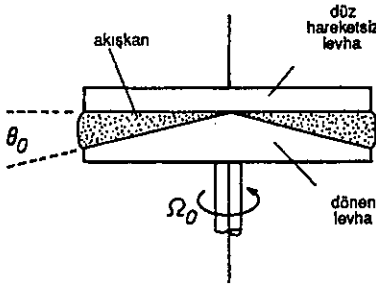
$$C = \frac{2}{3} \pi a^3 \gamma \eta(\gamma) \quad (2.12)$$

Buradaki kesme oranı γ şöyle belirlenir:

$$\gamma = \Omega_0 / \theta_0 \quad (2.13)$$

Eğer θ_0 küçük ise (diyelim ki $<4^\circ$), γ değeri akışkanın her yerinde (yaklaşık olarak) sabittir.

Bu durum Newton olmayan akışkanların viskozitelerinin saptanmasında koni ve levha akımının neden herkes tarafından rağbet gördüğünün açıklanmasında önemli bir faktördür. Gerçekten (2.12) ve (2.13)'den açıkça anlaşılıyor ki, Ω_0 dönme hızının bir fonksiyonu olarak Ctorkunun ölçülmesi hemen görünür viskozite/kesme oranı değerlerini vermektedir.



Şekil 2.6 Koni ve levha geometrisinin esası.

Koni ve levha viskozimetrede hata kaynakları Walters (1975) ve Whorlow (1980) tarafından kapsamlı olarak tartışılmalarıdır. Bütün akışkanlar üzerindeki ölçmeler düşük kesme oranı ile ($<100 \text{ s}^{-1}$) sınırlı olup, bu üst sınır polimer ergiyikler gibi bazı akışkanlıklar için belirgin ölçüde düşüktür.

Thixotropy gibi zamana bağlı etkilerin sistemli bir biçimde incelenmelerinin zorluğu herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Bir koni ve levha viskozimetrenin aralığındaki sabit kesme oranı bu karmaşık faktörlerin hiç ol-

masa birisini ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle zamana bağlı etkilerin incelenmesi için koni-ve-levha yapısı önerilmektedir.

Şu ana kadar tartışılan döner viskozimetre yapıları için kesme oranı sabit olup buna karşın oluşan gerilim ölçülmüştür. Akma gerilimli plastik malzeme için bu, en uygun işlem olmayabilir. Bu nedenle son on yılda sabit gerilimli cihazlar üretilmiştir. Bu cihazlarda gerilim sabit tutulurken meydana gelen hareket (yani kesme oranı) kaydedilmektedir. Deer reometresi sabit gerilimli cihazlar arasında en tanınmış olanı olup, en az üç değişik tipi piyasada mevcuttur. Koni-ve-levha geometrisi günümüzde imal edilen cihazlar için temel esası oluşturmaktadır.

2.3.4. Paralel-levha viskozimetresi

Paralel levha reometresinde, akışkan düşey konumda monte edilmiş iki levha arasında kapsanır. Plakalardan birinin düşey doğrultuda hareket serbestisi vardır. Böylece akım düzlem-Couette tipindedir ve Newton varsayımına uymaktadır. Hareket eden levhaya (levha alanı A 'dır) bir M kütlesi asılmış ve t zamanı süresince plakaya x yer değişimi kazandırmıştır. Eğer levhalar birbirinden h kadar ayrılmışsa, ilgili kesme gerilimi (kayma gerilimi) τ aşağıda verildiği gibidir:

$$\tau = Mg/a \quad (2.14)$$

ve kayma oranı γ ise

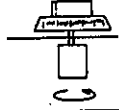
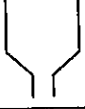
$$\gamma = x/th \quad (2.15)$$

dır. Böylece viskozite η aşağıdaki bağıntı ile belirtilir:

$$\eta = Mgth/xA \quad (2.16)$$

Kuşkusuz, bu yöntem sadece katı sistemlere yani çok yüksek viskoziteleri sıvılara uygulanabilir.

Çoğu kez akım kupalarından elde edilen sonuçlar basitçe saniye biriminde zaman olarak ifade edilirler. (Örneğin Redwood saniyeleri). Ancak Newton sıvıları için bunlar kinematik viskozite ν 'ye bir(yaklaşık) formül yardımı ile dönüştürülebilir.

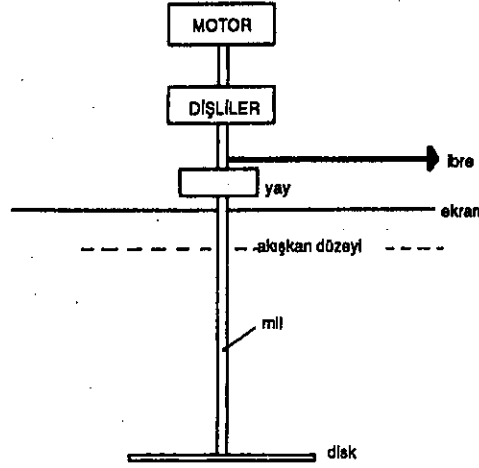
TİP	ÖRNEK
DÖNER CİHAZLAR	 BROOKFIELD VİSKOSİMETRE
ENGELLER ARASI AKIM	 FORD KUPASI
ENGELLER ETRAFINDA AKIM	 YUVARLANAN TOP  DÜŞEN TOP  YÜKSELEN KABARCIK

Şekil 2.7 Endüstriyel viskozimetre sınıfları.

2.4. Shop-floor (Atelye) Viskozimetreleri

Birçok "ad hoc" endüstriyel viskozimetreler atelye düzeyindeki sanayi uygulamalarında çok yaygın olup, Newton sıvıların viskozitelerinin ölçümünde çok basit ve rahat yöntemler sağlar. Newton sözcüğünün burada vurgulanması önemlidir. Çünkü bunların Newton olmayan sistemlere uygulanmasında doğruluk derecesi oldukça azdır (örnekler için Walters ve Barnes (1980'e bak.). Endüstri viskozimetrelerin üç genel tipi belirtilebilir (şekil 2.7'ye bak). Birinci tip Brookfield viskozimetreleri gibi basit döner düzenekler içerir ve uygun şartlarda Newton olmayan sistemlerin görünen viskozitelerinin bulunmasına uyarlanabilir. (Örnek için Williams (1979'e bak). Cihaz şematik olarak şekil 2.8'de gösterilmiştir. İbre ve ekran beraber dönerler. Disk doldurulduğu zaman, deneme akışkanı disk üzerine bir tork uygular. Bu tork yayı çevirir ve ibre ekrana bağlı yer değiştirir. Newton davranışlı (ve uygun koşullarda Newton) akışkanlar için ibrenin hareketi, denenen örneğin viskozitesi ile doğrudan ilişkilendirilebilir.

İkinci tip endüstriyel viskozimetre dar geçit içinde akışı içerir ve en tipik örneği, Ford kupası oluşturur. Bir sıvının viskozitesini, kupanın altındaki delikten akış zamanının saptanması ile belirlemek fikri çok caziptir. Çünkü işletilmesi kolay, ucuz ve cihaz çok kaba imâl edilebilir. Viskozimetre kullanım tarihinin belki de ilk şekli kupa tip cihaz olmuştur. Bugün akış kupaları olarak da adlandırılan bu tür viskozimetrenin 50'den fazla çeşidi mevcuttur.



Şekil 2.8 Brookfield viskozimetresinin şeması.

$$v = At - B/t$$

(2.17)

Burada A ve B kupa şekline bağlı sabitlerdir (örnekler için Walters ve Barnes (1980)'e bak). Formül (2.17)'nin sağ tarafındaki ikinci terimi esasen bir kinetik enerji düzeltme terimidir. Newton sıvılar için A ve B değerleri kinematik viskoziteleri belli sıvılar üzerinde standart deneyler uygulayarak belirlenebilir.

Newton olmayan sıvılar ele alındığında standart Ford kupasının şu ana kadar en önemli dezavantajı sadece bir zaman değerinin alınabilmesidir. Yani sadece kupanın boşalma zamanının tespit edilebilmesidir. Böyle bir ölçüm bizi bir karmaşık deformasyon rejimi için tek bir (ortalama) viskoziteye götürür. Bununla ise karmaşık sıvılar için yorum yapmak zordur. Gerçekte kesme viskozitesi, uzama viskozitesi ve elastikiyet hususunda farklı sıvısal özellikleri gösteren sıvılar, Ford kupası deneyinde benzer davranış gösterirler (Walters ve Barnes 1980). Sonuç olarak bu tür cihazlar, Newton olmayan sıvılarla uğraşırken, son derece özen ve dikkatle kullanılmalıdırlar. Aynı şey şekil 2.7'deki engeller etrafındaki akım viskozimetreleri için de geçerlidir. Bu tip viskozitesi metrelere tipik örnekler olarak, Glen Creston düşen top viskozimetresi ve Hoeppler yuvarlanan top cihazı anılabilir. (Örnek için Van Wazer ve arkadaşları (1963) ve Cheng (1979)'e bak). Yükselen kabarcık yöntemleri de bu kategoriye dahil edilebilir.

2.5. Uzama Viskozitesinin Ölçümü

Özellikle polimer endüstrisinde olmak üzere birçok endüstriyel işlemler yüksek uzama akışlı elemanları kapsar. Bu nedenle uzama viskozimetreleri hakkında bilgiye gereksinme vardır. Bununla beraber, böyle bir cihazın yapımı zorluklarla doludur. Örneğin yeterli deformasyon oran aralığında bir uzama deformasyonu oluşturmak zordur. Gerçekte polimer eriyikleri üzerinde çalışmak için imal edilen popüler ve karmaşık cihazlar (Almanya'da B.A.S.F.'de imal edilenler gibi) (2.4)'de tanımlanan uzama viskozitesi η_e 'nin belirtilmesi için gereksinme duyulan kararlı hale erişemezler. Bu nedenle bunlar şimdilik deneme kullanımı içindirler. Polimer-eriyiği reolojisi şartları ve ortamında uzama viskozitesi ölçümü konusunda tam bir tartışma Dealy (1982) tarafından verilmiştir.

Daha çok hareketli sıvı sistemleri durumunda, tek eksenli kararlı uzamaya benzeyecek akımları oluşturmak zordur. Cihazlardan en fazla beklenen şey, gerdirme akımlarında akışkanın gösterdiği direncin yaklaşık değerini vermesidir. (Örnek için Walters (1980) Cilt 1'e bak). Bu önemli şartlarla hareketli sıvılarda uzamaya ait viskozite bilgileri verebilecek cihaz, Ferguson Spin-Line reometresi olup piyasada bulunabilir.

2.6. Aşırı Sıcaklık ve Basınç Altında Viskozite Ölçümü

Yukarıda tartışılan yöntemlerin herhangi birisi sıcaklık ve basıncın viskozite üzerindeki etkilerinin incelenmesine uyarlanabilir. Yeter ki cihaz hakim olan aşırı koşullara uyabilsin.

Şu husus önemle belirtilmelidir ki, viskozite sıcaklığa çok duyarlıdır. Örneğin sunun viskozitesi her kelvin derecesine karşılık yüzde 3 değişir. Bu nedenle sıcaklığın kontrolü ve doğru ölçümü esastır.

Basınç da bazı incelemelerde önemli bir değişkendir. Örneğin yağlama yağları durumunda, yüksek basınçlar söz konusudur. Bu nedenle viskozite-nin basınca bağlılığının bilinmesi gereklidir.

Mutlak sıfıra yakın sıcaklıklardaki ölçmeler, sıvı helyumun viskozitesiyle ilgili olmuşlardır. Son zamanlarda özel yöntemler geliştirilmiştir. Weberler ve Allen (1972). Bir silindirik kuarz kristalinde burulma titreşimlerinin doğurduğu incelmeyi incelemişlerdir. Titreşen tel viskozimetrelerde kullanılmıştır. Bir akışkan içinde enine salınan bir telin rezonans frekansı ve salınımının sönümü sıvının viskozitesi ve yoğunluğuna bağlıdır. Buna ve benzeri konulara kaynak Bennemann ve Ketterson (1976) tarafından verilmiştir.

Yüksek basıncın etkilerini incelemek için, Abbot ve arkadaşları (1981), Dandridge ve Jackson (1981) yüksek basınç altındaki ($\sim 3\text{GPa}$) yağlama yağının içindeki bir kürenin düşme hızını gözlediler. Galvin, Hutton ve Jones (1981). Bir kılcal viskozimetre kullanarak, $0,2\text{ G Pa}$ la kadar yüksek basınç altında belli bir sıcaklık (0° 'dan 150°C) ve kesme oranı (0 'dan $3 \times 10^5\text{s}^{-1}$) aralıklarında sıvıları incelemişlerdir. Kamal ve Nyun (1980)'de yüksek basınç altındaki çalışmalara uygun bir kılcal viskozimetre uyarlamışlardır.

2.7. Akım Hattında Ölçüm

Birçok uygulamada özellikle de bileşim ve sıcaklık değişimlerinin olası olduğu durumlarda akım hattındaki yağın viskozitesinin sık sık izlenmesine viskozimetre gereksinme vardır. Bu amaca en uygun viskozimetreler bu kısımda tartışılan kılcal viskozimetreler ve ortak merkezli silindirik viskozimetrelerdir. Örneğin ilki için kılcal boru akıma seri sokulabilir ve basınç düşüşü uygun yerlere yerleştirilen algılayıcılar tarafından algılanır ve kaydedilir. Uygun akış debileri, ayarlanmış bir pompa yardımı ile sağlanabilir.

Akım hattında ortak merkezli viskosite kullanımı durumunda, özel dikkat gereklidir. Çünkü burada oluşturulan helezoni akıştan elde edilen sayısal değerlerin yorumu kolay değildir.

Akım hattı ölçümlerinde kullanılan diğer yöntemler akım kanalına engeller yerleştirilmesine dayatılmışlardır. Örneğin konik bir tüpe yerleştirilen bir şamandıra akım debisine ve akışkanın kinematik viskositesine bağlı olarak belli bir konumda dengelenecektir. Paralel levhalı viskozimetreler de, akım hattı ölçümlerine uyarlanmışlardır. Bunlar ve diğer akım hattı yöntemleri geniş olarak *The Instrument Manual* (1975)'de ele alınmıştır.

2.8. Doğruluk ve Kullanım Aralığı

Herhangi bir cihazla elde edilen yüksek mutlak doğruluk, genelde kategorik olarak ifade edilemez. Örneğin Oswald viskozimetresi kullanarak zaman ölçümleri, tekrarlanabilecek biçimde yüzde 0,3 doğrulukta yapılabilir. Ancak bunu kesin elde etmek için, viskozimetre ve akışkan çok titizce temizlenmiş ve hassas biçimde ayarlanmış nicelikte akışkan kullanılmış olmalıdır. Akışkanın her yerinde sıcaklık da üniform olmalı ve $0,1^\circ\text{C}$ hassasiyette bilinmelidir. Kuşkusuz bunlar sağlanabilir ancak, operatör kendini yüzde 1 ila 2'ye ayarlayabilir ve bunu amacına yeterli kabul edebilir. Aynı tartışma ve düşünce biçimi Couette viskozimetresi içinde geçerlidir. Ancak burada hassas

araştırma cihazları ile yüzde 1'lik bir doğruluk elde etmek bile çok dikkatli deneme gerektirmektedir.

Herhangi bir viskozimetre ile elde edilebilecek viskoziteler ve kesme oranları aralığı, cihazın boyutlarına bağlıdır. Örneğin kılcal viskozimetrede kılcal borunun yarı çapı ve Couette viskozimetresinde aralık boşluğudur.

Örneklerden bir tablo oluşturarak her cihaza ait ve imalatçı firma tarafından verilen değerler tabloda gösterilmiştir. Ancak şu hususu belirtmek isteriz ki hiçbir cihaz tabloda gösterilen tüm aralığı başaramaz.

Tablo 2.1.

Viskozimetre tipi	En düşük viskozite	En yüksek viskozite	Kesme oranı aralığı
Kapılar	2×10^{-3}	10^3	1 den 1.5×10^4
Couette	5×10^{-3}	4×10^7	10^{-2} den 10^4
Koni-ve-Levha	10^{-3}	10^{10}	10^{-4} den 10^3
Brookfield tip	10^{-2}	15×10^5	10^{-3} den 5×10^6
Düşen top			
Yuvarlanan top	10^{-4}	10^4	belirtilmemiş

2.9. Kaynakça

- Abbott, L.H., Newhall, D.H., Zibberstein, V.A. and Dill, J.F., *A.S.L.E.E. Trans.*, 24 125, (1981)
- Bennemann, K.H. and Ketterson, J.B. (eds), *The Physics of Liquid and Solid Helium*, Wiley, (Part 1, 1976; Part 2, 1978)
- Cheng, D.C.-H., "A comparison of 14 commercial viscometers and a home-made instrument", Warren Spring Laboratory LR 282 (MH), (1979)
- Coleman, B.D., Markovitz, H. and Noll, W. *Viscometric Follows of Non-Newtonian Fluids*, Springer-Verlag, (1966)
- Dandridge, A. and Jackson D.A., *J. Phys D.*, 14, 829, (1981)
- Dealy, J.M., *Rheometers for Molten Plastics*, Van Nostrad, (1982)
- Galvin, G.D., Hutton, J.F. and Jones, B.J., *Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 8,11 (1981)
- The Instrument Manual*, United Trade Press, p.62 (5th edn., 1975)
- Kamal, M.R. and Nyun, H., *Polymer Eng. and Science*, 20, 109, (1980)
- Lodge, A.S., *Body Tensor Fields in Continuum Mechanics*, Academic Press, (1974)
- Massey, R.S., *Body Tensor Fields in Continuum Mechanics*, Academic Press, (1974)
- Petrie, C.J.S., *Elongational Flows*, Pitman, (1979)
- VanWazer, J.R., Lyon, J.W., Kim, K.Y. and Colwell, R. E., *Viscosity and Flow Measurement*, Wiley-Interscience, (1963)
- Walters, K. *Rheometry*, Chapman & Hall, (1975)
- Walters, K. (ed.), *Rheometry: Industrial Applications*, Wiley, (1980)
- Walters, K. and Barnes, H.A., *Proc. 8th Int. Cong. on Rheology, Naples, Italy*, p.45, Plenum Pres, (1980)
- Webeler, R.W. H. and Allen, G., *Phys. Rev.*, A5, 1820, (1972)
- Whorlow, R.W., *Rheological Techniques*, Wiley, (1980)
- Wilkinson, W.L., *Non-Newtonian Fluids*, Pergamon Press, (1960)
- Williams, R.W., *Rheol. Acta*, 18, 345, (1979)

3. UZUNLUĞUN ÖLÇÜMÜ

P.H. SYDENHAM

3.1. Giriş

Uzunluk, belki de en çok ölçülen fiziki değişkendir. Bu ölçülen değişken birçok değişik adlarla tanımlanmaktadır: Yerdeğiştirme, akım, hareket.

Çoğu kez uzunluk, diğer değişkenleri ölçmek için kullanılan sistemlerin ara kademesini oluşturur. Örneğin, akışkan basıncını ölçmenin yaygın bir yöntemi, bir metal elemanın uzatılmasında basınç kuvvetinin kullanımı, arkasından bir uzunluk alıcısı (sensör) yardımı ile basınçla ilişkili bir elektrik sinyali alınmasıdır.

Eski yöntemler genelde gözleyicinin gözüne hitap edecek biçimde çıktı veren mekanik yöntemlerdi. Günümüzde ise, elektronik bir çıktı vermesi için elektriksel ve ısıtım yöntemlerinin kullanılması olanakları daha yaygındır. Pnömatik yöntemlerde oldukça yaygın kullanılmakta olup, cilt 1 de kapsamlı olarak tartışılmıştır.

Uzunluk günümüzde otuzu aşkın onluk dizi yardımı ile ölçülebilir. Şekil 3.1 bazı yaygın yöntemler ve bunların kullanım aralıklarını veren bir şemadır. Çoğu kez algılayıcı sistemin özel geometrik ölçeklendirilmesi ile sadece iki ile üç onluk kapsanabilir.

Bu kısımda mikrometreden kilometre altına kadar olan aralıktaki ölçmelerde yaygın kullanılan yöntemler tanıtılacaktır.

Daha ileri çalışmalar için, şu husus akılda tutulmalıdır ki, çoğu cihazla donatım kitapları, uzunluk ölçümünün modern biçimleriyle ilgili bir ya da daha fazla kısım kapsar. Örnek olarak, Mansfield (1973), Norton (1969), Oliver (1971) ve Sydenham (1984-1983) sayılabilir. Mekaniksel yöntem bilimi daha genel olarak, mekanik ölçmeler, alet odası ölçümleri ve optik aletler konuları üzerine yazılmış eski literatürde, anlatılmıştır. Bu tip kitapların bazıları şunlardır: Baston ve Hyde (1931), Hume (1970), kıssam (1962), Roit (1929) ve Sharp (1970). Uzunluk ölçümünün bu aşamasında, eski kitapların değeri göz ardı edilmemelidir. Çünkü onlar tekniğin kavranmasında temel bilgiler vermekte olup, bu bilgiler bugünkü modern elektronik yöntemlerin doğru uygulanmasında geçerlidir.

Mikro yerdeğişim ölçü aralığı için Garratt (1979), Sydenham (1969; 1972) ve Woltring (1975)'e; büyük yerdeğişim ölçü aralıkları için Sydenham (1968) ve Sydenham (1971)'e bakınız. Neubert (1975) dönüştürücüler (transdüser) ve bunların uzunluk ölçümünde kullanılmasını kapsayan çok değerli analizler yazmıştır.

3.2. Uzunluğun Doğası

Etkin ve güvenilir ölçüm, ölçülen değişkenin doğasının değerlendirilmesini ve ele alınan özel fiziki sistem alanında karşılaşılabilecek güçlüklerin göz önünde bulundurulmasını zorunlu kılar.

Ölçülmüş değişken olarak uzunluk, genelde o kadar aşikardır ki, hakkında felsefi düzeyde en ufak bir şey yazılmamıştır. Uzunluğun ölçülmesinin görünürde kavramlaştırılması kolaydır ve ölçülen değişkenin uygun bir sinyale dönüştürme yöntemlerinin tasarımı kolay gibi görünmektedir.

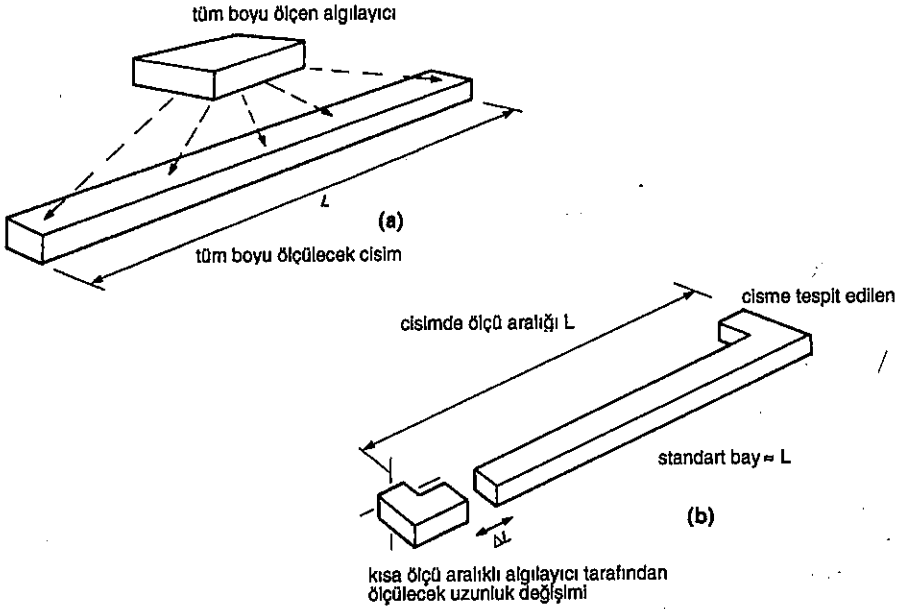
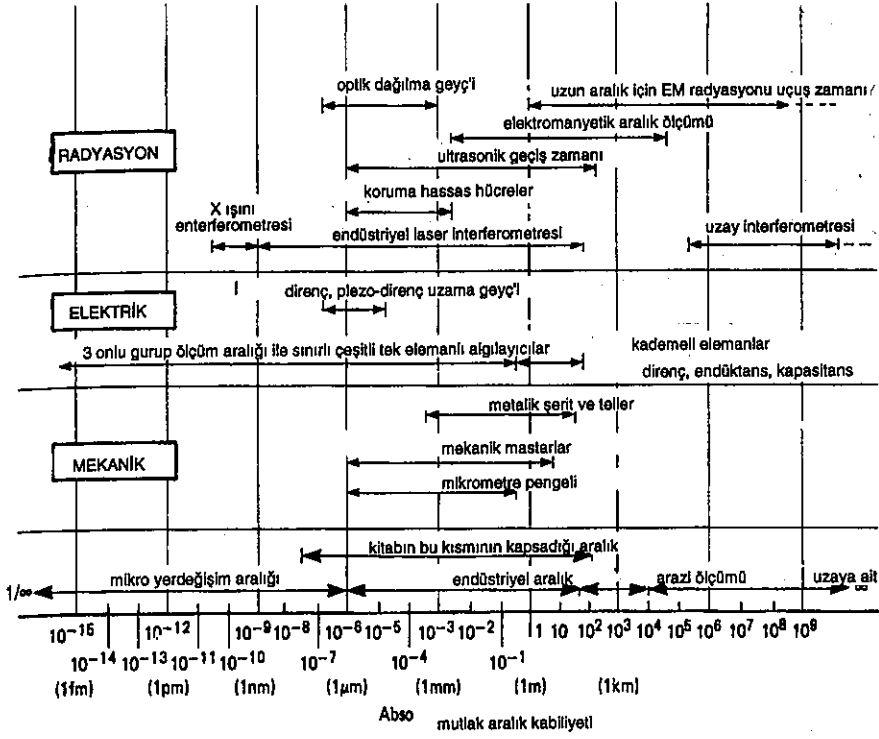
Deneysel olarak mesafe üç uzunluk değişkenine dayanarak tanımlanabileceği kanıtlanmıştır. Üç koordinat sayısı bir noktanın uzaydaki yerini belirtmeye yeterlidir. Koordinat sisteminin tipi burada önemli değildir. Bazı mekanik serbestilerinin kısıtlandığı yerde, konumun bulunması için ölçülmesi gerekli koordinat sayısı azaltılabilir. Böylece belli bir doğru üzerindeki bir konumu belirlemek için sadece bir uzunluk algılayıcı kanala gereksinme vardır. Belli bir düzlemdaki bir yeri belirlemek için ise iki algılayıcı gereklidir.

Uzunluk ölçümleri iki türe ayrılır: Belirlenmiş Uluslararası standartlara göre mutlak değerler tanımı ve bir ölçü mastarının uzunluğundaki bir değişimin belirtilmesini gerektirenler (bağıl uzunluk). Sonuncu durum da ölçme problemi, mastar iç aralığının yüksek bir doğrulukta belirlenmesine gereksinme olmadığından, önemli ölçüde basitleştirilmiştir. Böylece, bir yapının boyunu mutlak koşullarda ölçmek, yapının içinde oluşan uzama oranını ölçmekten farklı bir problemidir.

Bir uzunluk algılayıcısı ölçme aralığının genel tanımını kolaylaştırmak için tanımsal terminolojik gereklidir. Mikro düzeyde konum değişimini endüstriyel arazi işleri, denizcilik ve uzay ölçümlerine ait sınıflandırma şekil 3.1'de verilmiştir.

Bir uzunluk algılayıcısının gerçek ölçme aralığı ölçülecek boyda olmak zorunda değildir. Örneğin, uzun bir deneme aralığında uzama oranını ölçmek için uzun sabit boyda standart bir eleman kullanılabilir. Bu ölçülecek boyla karşılaştırılır. Aradaki küçük fark, küçük ölçü aralıklı bir algılayıcı tarafından algılanır (şekil 3.2(b)'ye bak). Mutlak tam boy ölçümü şekil 3.2(a) uzun ölçümü aralıklı algılayıcıya gereksinme vardır.

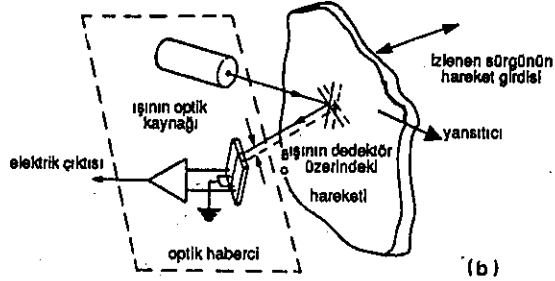
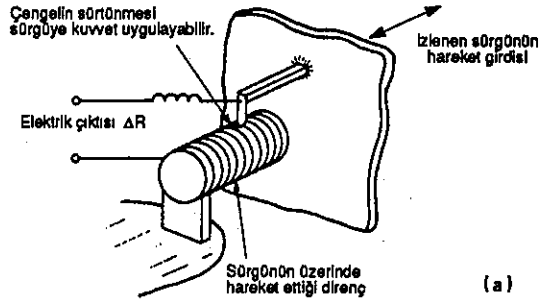
Çoğu zaman büyük bir uzunluğun ard arda eklenen aralıkların toplanması ile olasıdır. Bu kısa bir cetvelle, onun boyundan uzun bir aralığın ölçümünde açıkça görülür. Aynı düşünce çok bölümlü elektronik algılayıcıların bir hat üzerine yerleştirilerek ya da sabit bir aralığı ölçü boyunca atlatarak yapılan ölçümlerde de geçerlidir. Bu yolla yapılan ölçümde ölçü tekrarlamaları sayılır, sonda kalan ölçü aralığından küçük parça ise daha hassas ölçü taksimatına sahip algılayıcı tarafından ölçülür.



Şekil 3.2 Mutlak (a) ve bağıl (b) uzunluk ölçme halleri

Değmeden ya da değerek yapılan ölçüm yöntemlerinin seçimi hakkında bir şeyler söylemek uygun olacaktır. Değmeden ölçümde (şekil 3.3) uzunluk ölçümü, ölçülen cisme mekaniksel değme oluşturmeyen bir yöntemle yapılır. Buna örnek olarak optik çatışma ölçeği (interferometre) kullanımı ile bir makina sürgüsünün konumunu izlemek verilebilir. Sürgüye önemli bir kuvvet uygulamadığından ölçülen değerde herhangi bir değişim, sapma oluşmaz.

Değerek uygulanan yöntemlerin kullanılmasında bazı hususlara dikkat etmek gereklidir. Burada ölçü aleti ölçülen cisme değdiği ve kuvvet uyguladığı için ölçülen büyüklükte sapmalar olabilir.



Şekil 3.3 Değerek ve değmeyerek uzunluk ölçümü örnekleri.

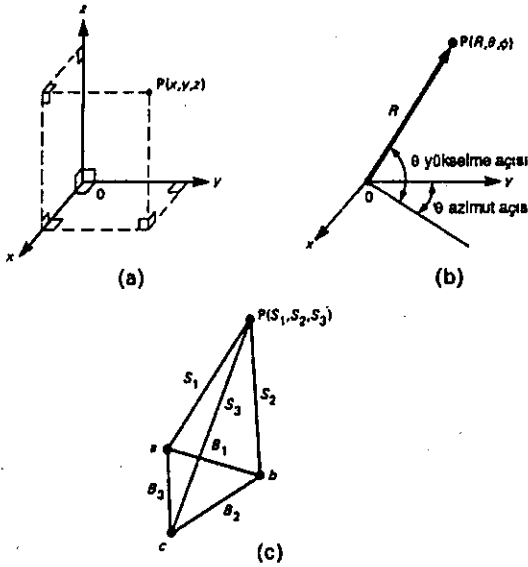
(a) Değerek, değişken direnç kullanır.

(b) Değmeyerek, optik sonda cihazı kullanır.

3.3. Türetilmiş Ölçümler

3.3.1. Sadece Uzunluk Ölçümünden Türetilenler

Uzunluk ölçümü (m), bağıl uzunluk değişimi (m/m); alan (m^2); açı (m/m); hız (ms^{-1}) ve ivme (ms^{-2}) yi içeren değer ölçü değişkenlerinin içine girer. Konumun ölçümüne birçok koordinat sistemleri kabul edilebilir. Şekil 3.4 genelde kullanılanları göstermektedir. Her defasında bir P noktasının belirlenmesi için üç ölçüm değerine gereksinime olacaktır. Bunların her birisi ayrı bir algılayıcı kanal tarafından ölçülür.



Şekil 3.4 Uzunluk ölçümünden türetilen koordinat sistemleri

- (a) Üç uzunluk için kartezyen kafes
- (b) İki kutupsal doğrultu ve bir uzunluk
- (c) Bir taban üçgenden üç eğik üçgen.

Şekil 3.3(a)'da gösterilen kartezyen sistem, birkaç on metreden (10-30 m) daha küçük aralıklar için en yaygın kabul edilmiş sistemdir. Bunun dışındaki mutlak büyüklükler için yeterince kararlı ve ayarlanabilir bir kafes sistemi oluşturmak çok zorlaşmaktadır. Hatalar, eksenler arasındaki dik açıların eksikliğinden, eksenler boyunca algılanan uzunluklardaki hatalardan ve eksenlerden noktaya dikler çıkarken yapılan kısımlardan kaynaklanabilir.

Kutupsal koordinat sistemde (Şekil 3.4b) komple çatıya gereksinme yoktur. Bunun yerine uygulamada gerekli bir karşı bastırma tabanı alınır ve buradan iki açı ve bir uzunluk tanımlanır. Burada hatalar, iki açının belirtilmesi ve uzunluğun ölçülmesinden kaynaklanır. Uygulamalı açı ölçümü, pratik ve masrafsız olarak yaklaşık birkaç saniyelik ince farkları görebilecek düzeydedir. Bu yöntem radarın uçağı izlemesi ya da deniz altındaki noktaların belirlenmesi gibi uygulamalara çok uygundur.

Yukarıdaki iki koordinat sistemi, en çok benimsenenlerdir. Daha az kullanılan üçüncü seçenek, esasen en az hata kaynaklarına sahiptir. Bu şekil 3.4c'de gösterilen üçgen sistemidir. Bu yöntemde, üç sabit uzunluktan oluşan bir üçgenden, üç uzunluk ölçümü yapılır. Bu yöntemde hatalar, sadece taban üçgeninden yapılan üç uzunluk ölçümünden ve onların uzaydaki tanımından kaynaklanır. Uzayda iki ya da daha fazla noktanın izlenmesi gerektiğinde, onların bağıl konumları, taban üçgeni uzayda hareket halinde olsa bile, hassas olarak elde edilebilir.

Bu yöntemin benimsenmesinde en önemli uygulama sorunu, üç uzunluk ölçümünde her biri noktayı izleyen üç izleme düzeneğine gereksinme göstermesidir. Buna karşın göstermede doğruluk derecesi kolayca göz ardı edilebilecek kosinüs biçimindeki hatalara bağlıdır. Bu hatalar uygun değerler verecek izleme yeteneğini zayıflatmaktadır.

Üç değişik koordinat sistemi başka bir sistem oluşturmak üzere de birleştirilebilir; ama her durumda bir noktanın yerinin genel bir tarzda belirtilmesi için daima üç değişkenin ölçülmesi gerekli olacaktır (en az bir uzunluğun bir uzunluk ve/veya açıyla birleşmesi gibi). Hareket serbestilerinden birinin kısıtlandığı durumda düzen basitleşir ve ölçmenin gereği olan algılayıcı kanal sayısı azalır.

3.4. Uzunluğun Standartları ve Ayarı

Çok az bir ayrıcalık ile uzunluk ölçülmesi SI ölçü birimlerine göre standartlaştırılmıştır. Uzunluk yedi ana birimden birisidir. Uzunluk metre olarak tanımlanan birimde belirtilir.

1982'nin başlarına kadar metre Krypton-86 radyasyonunun dalga boyunun belli bir katı olarak tanımlanırdı. Ancak 1970'li yıllarda açıkça anlaşılma-ya başladı ki, şüpheleri azaltılmış tanımlar yapabilmek için yeterli geliştirilmiş yöntemler mevcuttur.

Evvela alışılmış olduğu gibi, dalga boyu ayarlanmış uygun bir laser kaynağından temin edilebilen radyasyon kullanılmıştır. Çünkü bunun üretimi daha kolay ve yeniden üretilebilirliği Krypton radyasyonundan daha faz-

ladır. İlk bakışta bu uygulamaya açık bir seçim olabilir, ama oldukça farklı bir yaklaşımda vardır. İşte bu yaklaşım 1982'de önerildi.

Işık hızının sayısal değeri c ($c=299\,892\,458\text{ ms}^{-1}$) zaman ve uzunluk standartları için seçilen sayısal standartların sonucudur. Böylece sayısal bir değer olarak ışık hızı, ana sabit değildir.

Zaman standartları (10^{14} de 1 şüphe) uzunluktan şüphe bakımından (10^8 de 1 şüphe) daha çok yeniden üretilebilirdir. Böylece eğer ışık hızı bir sabit sayı olarak tanımlanırsa, ilkede, zaman standardı uzunluk standardı gibi hizmet edecektir. Var olan uygun alet yardımıyla zamandan uzunluğa dönüşüm c sabiti yoluyla olasıdır.

Uygun alet ve deneysel işlemlerin uygulanabilir olduğu, günümüzde kanıtlanmıştır. Ses hızı (c sabiti) için ölçme gereksinimlerine uyan kullanışlı bir diğer seçenek için (yukarıda verilen) 1982'de anlaşmaya varılmıştır. Anlaşmayı imzalayan, metrenin standardizasyonundan sorumlu komite, böylece yeni bir metre tanımı yapmıştır. Metre, ışığın boşluk içerisinde $1/299\,792\,458$ saniyede (saniyenin çok küçük bir kısmı) kat ettiği yoldur.

Bu yeni tanım uzunluk tanımının $1/10^8$ den $1/10^{10}$ 'a kadar yeniden üretilebilirliğini karşılar. Genel endüstriyel uygulamada çok az insan, standardın tam kapasitesine gereksinme duyar. Ancak her defasında ölçmede oluşabilecek hataları ortadan kaldırmaya yeterli marja gereksinme vardır.

Ana standardı oluşturmak, çok pahalı cihazları kullanarak aylarca sürecektir dikkatli deneysel çalışmayı gerektirir. Masraflar, zaman ve cihaz karmaşası nedeniyle bu yöntem, endüstriyel çalışma ortamına uygulanamaz. Aşağıya doğru ikinci belirsizlik düzeyi, aksine, endüstriyel laser enterferometre şeklinde ucuz temin edilebilir. Şekil 3.5'de endüstriyel uygulamalarda kullanılan böyle bir donanım gösterilmiştir. Gösterilen laser sisteminin Milli Standartları Bürosu (NBS) tarafından onanmış yapısı önemli bir ayarlamaya gereksinme göstermeden uzun süreli kullanılabilir. Kullanıldığı alan küçük uzunluklar değildir. Ölçümde şüphe (belirsizlik) sınırı 10^8 de 1 civarında olup bu, çoğu endüstriyel uygulamalar için yeterlidir.

Optik interferometre sistemi, 600 nm. düzeyli dalga boyu ile çalışır. Dalga boyunun alt bölmeleri, $1/1000$ düzeyinde zorlaşır. Mikrometrenin altındaki yer değişimlerin ayarlanmasında şüphe oranı 10^8 de birden daha küçük düzeydedir. Uygulamada bir mikrometrelik uzunluk, yüzde birden daha iyi ayarlanamaz.

Lazer interferometreler kullanımı kolay ve çok hassastır. Ama bunlar da pahalı olmaları ve karmaşık düzenleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmamaktadır. Interferometreler zincirinde aşağılarda yer alan daha ucuz



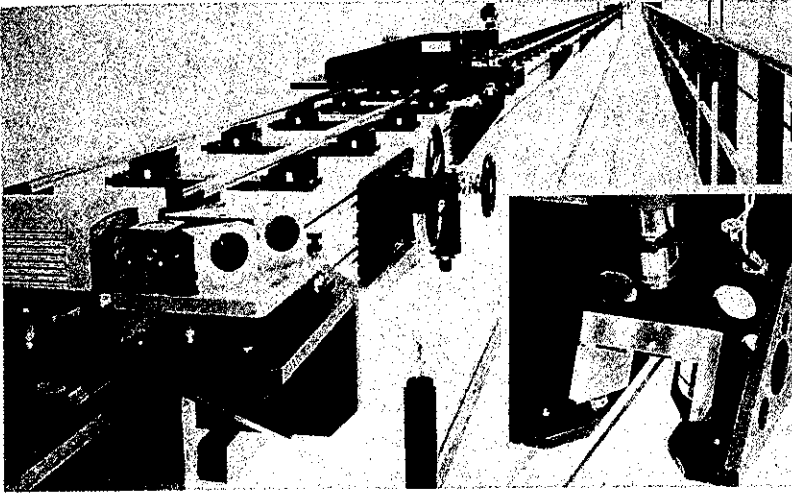
**Şekil 3.5 Endüstriyel uygulamalarda kullanılmakta olan
Laser interferometresi. Hewlett Packard Inc. izniyle.**

ayar yöntemi, mekanik bir kızak ve geyç blokları serisi kullanır. Bunlar özel ısıtılmış ve işlenmiş çelik parçalarıdır. Ölçü yüzeyleri arası uzunluklar, interferometre gibi daha emin yöntemler kullanılarak ölçülmüştür. Uzunluk değerleri kalibrasyon belgeleri üzerine kaydedilmiştir. Bu bloklar ayar standartı olarak sıra ile mikrometrelerin, go/no-go cihazların ve elektronik transdüktörlerin ayarlanmasında kullanılır. Mekanik cihazlar 10^6 da bir hassasiyette ölçü verecek düzeyde ayarlanabilirler.

Birkaç metrenin üzerindeki uzunluklar için, standard uzunluk olarak katı mekanik çubukların kullanımı, kullanım zorlukları nedeniyle pek uygun değildir. Bunların yerine, şekil 3.6'da görülen düzene benzer standart lazer düzeneklerle ayarlanmış, esnek metalik şeritler kullanılır. Şeritler nispeten ucuz ve arazide kullanımları lazer interferometrelere göre daha kolaydır. Bunlar $1/10^6$ düzeyinde ayarlanabilirler.

Endüstride uzunluk ölçü cihazlarının ayarında küçük bir zorlukla karşılaşılabilir. Muhtemelen karşılaşılacak en önemli sorun, zaman soru-

nudur. İyi bir ayar önemli ölçüde zamana gereksinme gösterir. Ayarlama esnasında belli bir standart süre gözlenmelidir ki, ayarın kararlı kaldığına uzun süre güvenilebilsin.



Şekil 3.6 Ulusal ölçüm laboratuvarında (New South Wales, Australia) Şerit-ayar düzeneği. CSIRO izniyle.

3.5. Endüstride Uzunluk Ölçümü Uygulaması

Geniş oranda endüstriyel ölçmeler, oldukça yeterli düzeyde, basit mekanik aletler ve ölçü düzenekleri kullanılarak yapılabilir. Ancak eğer, gereksinme otomatik kontrolde ya da kapalı devre kontrolunda olduğu gibi otomatik ölçme için ise, bu durumda el yöntemleri yerine, uzunluk algılayıcısının transdüser biçimleri kullanılmalıdır.

Birçok uygulamada gereksinme duyulan tepki hızı, geleneksel mekaniksel yöntemlerle elde edilebilecek tepki hızının çok daha büyüğüdür. Örneğin, sayısal olarak kontrol edilen imalathaneler, çeşitli eksenel boyutları kontrol sinyaline çeviren elektronik algılayıcılar kullanılmadan çalışamazlardı.

Başlangıçta, ki bu 1950'li yıllar rastlar, elektronik algılayıcılarının fiyatı geleneksel mekanik ölçme aletlerine oranla son derece yüksekti. Ayrıca bakımı yeni bir teknoloji türü gerektiriyordu. Bu başlangıca ait eksikliklerin çoğu ortadan kalkmış durumdadır ve günümüzde elektronik algılama kullanımı, elektronik algılama sistemlerine ait parçaların fiyatlarındaki azalma ve otomatik sayısal değer üretimi gereksinimi nedeniyle, elle okunan mikrometrelerle ve cetvellere oranla çok daha üretken olabilmektedirler. Çoğu kullanımlarda mekaniksel cihazların giderek çekiciliklerini kaybedeceklerinden pek az şüphe edilebilir.

3.5.1. Mekaniksel Uzunluk Ölçüm Aletleri

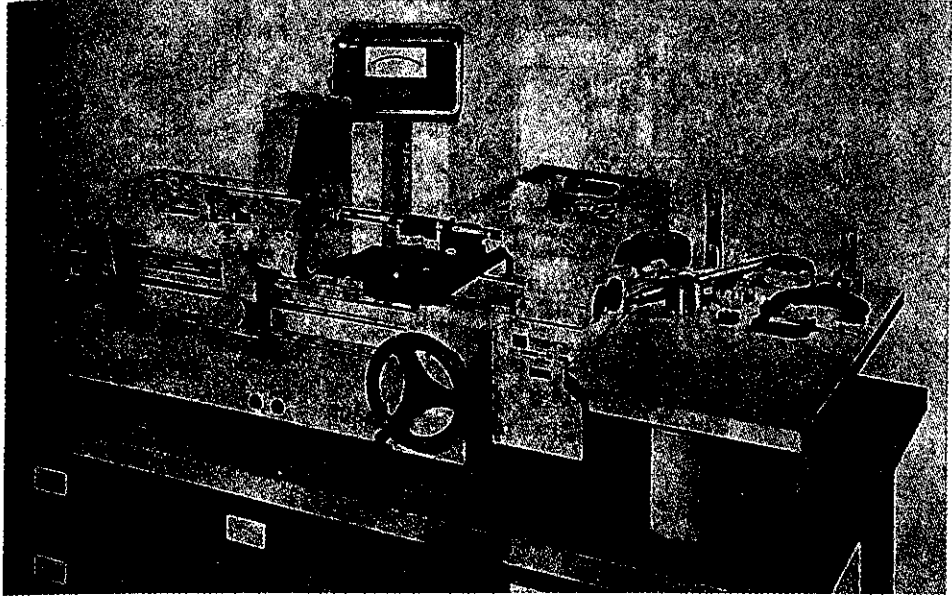
Bir mikrometreden metrenin kesirlerine kadar ölçmeler, uygun bir mekanik cihaz kullanarak, pahalı olmayacak şekilde yapılabilir. Bunlar bilinen biçimde, içsel ve dışsal mikrometreler, kayan çeneler, çap pergelleri ve bölmeli aletler olarak gruplara ayrılır. Bunlarla elde edilebilecek doğruluk derecesi, en fazla imalat niteliğine bağlıdır.

Modern geliştirmeler, elektronik güç dönüşümlerini de içeren pahalı birimleri bir araya getirerek, okunması kolay ve otomatik kaydetmeye uygun çıktılar veren sistemleri oluşturmuştur.

Daha geniş boğazlı mikrometrelerde bir başka geliştirme, boğaz imalatı için karbon-liflerinin kullanımı olmuştur. Bu ise belli bir büyüklük için çerçevenin hafiflemesini olası kılmış, daha büyük ve daha hassas birimlerin imalini olası kılmıştır.

En iyi doğruluk ve hassas işçilik için, elle ya da otomatik okuma ile optik skalalar birleştirilmiştir. Şekil 3.7 bu tip bir ölçme makinasının modern biçimini göstermektedir. Bu tüm ölçü aralığı olan 300 mm lik boyda yaklaşık 1 µm lik doğruluğu garanti edebilecek yetenektedir. Yaklaşık 4 m yi kapsayacak biçimde daha büyük makinalarda imal edilmiştir. Bu makinalar elektronik çıktı verecek biçimde de geliştirilmişlerdir. Kısım 3.6'ya bakınız.

Karmaşık şekillerin ölçümünün önemli olduğu yerde ölçü makinalarının kullanımı oldukça sıkıcı olabilir. Eğer gereksinme duyulan doğruluk derecesi üst sınırdan değilse, daha hızlı doğrudan yöntemler kullanılabilir. Bu durumda optik profil projektörü uygulanabilir. Burada (şekil 3.8(a) ya bakınız.) ölçülen cismin taslağı büyük bir ekrana yansıtılmıştır (şekil 3.8(b) ye bakınız). Böylece gölge etrafına oturtulan profil şablonu ile karşılaştırılabilir. Cisim yüzeyinin bir gölgesinin projeksiyonu da olasıdır (şekil 3.8(c)). Işınlandırmanın iki şekli birlikte de kullanılabilir.

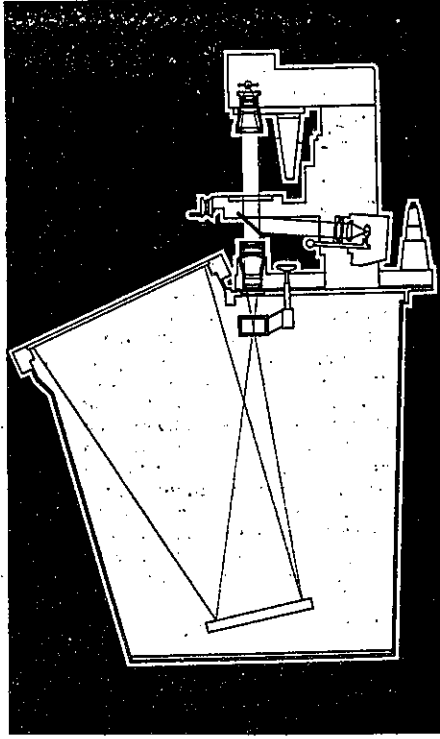


Şekil 3.7 Kararlaştırılmış ölçekleri bağdaştıran, otomatik okumalı uzunluk ölçüm makinası. (SIP Society Genevoise d'instruments de physique. izniyle).

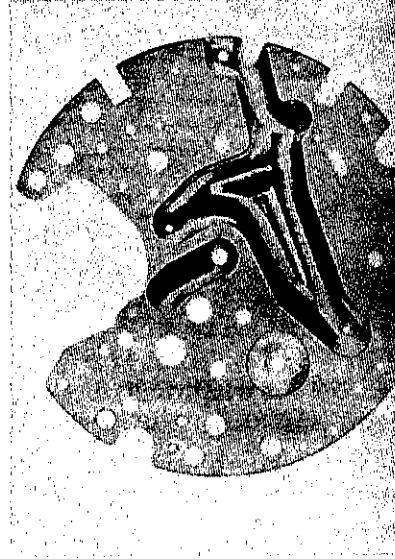
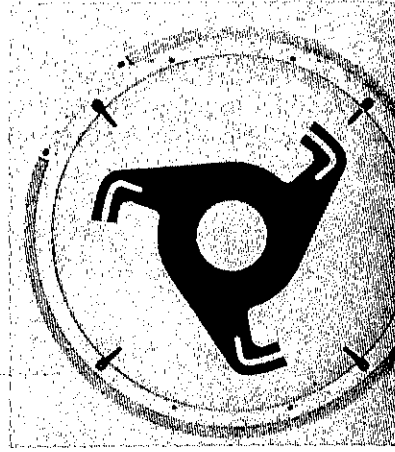
3.5.2. Elektronik Uzunluk Ölçümü

Bir uzunluk ile bir fiziki değişken arasında ilişki kuran herhangi bir fizik prensibi, uzunluğu herhangi bir eşdeğer sinyale dönüştürmek için kullanım potansiyeline sahiptir. En çok kullanılan çıktı sinyali elektronik şeklindedir. Böylece çoğu uzunluk algılayıcıları, uzunluğu doğrudan doğruya ya da bir veya daha çok doğrudan olmayan dönüşüm kademeleri yoluyla, elektriksel girdiye çeviren bir dönüşüm ilişkisi kullanır.

Daha küçük ölçüm aralıklı çoğu yöntemler, içinde direnç, endüktans ve kapasitans değişimlerinin olduğu elektro-mekanik yapılarını ya da ısınımın zaman ve uzaysal özelliklerini kullanır. Bu gibi ünitelerin ana hücreleri çoğu zaman, daha geniş ölçüm aralıklı cihazlar elde etmek için birleştirilir. Elde edilen cihazlar benzer hassasiyette ve dinamik ölçüm aralığına sahip en iyi mekaniksel ölçüm makinaları sayılabilirler.



(a)



Şekil 3.8 Optik projektör kullanarak şekil ve uzunluk ölçümü (a) şemati olarak optik sistemi (b) Bir parça profilinin yansıtılmış ve büyütülmüş gölgesi (c) yüzey detayını göstermek için optik episkopik aydınlatma (Henri Hauser Ltd. izniyle).

En iyi sonuçlar için uygulanabildiği yerlerde değişik yöntemlerden yararlanılmıştır. Çeşitli sistemlerin doğasında var olan hataları gidermek için (hiçbir transdüser mükemmel değildir) sistemin içerisine transdüser ilkesinin eksikliklerini giderici mekanizmalar yerleştirilmiştir. Örneğin, yavaş değişiminin ölçülmesi için bir kapasitör oluşturmak üzere iki elektrikli levhanın kullanılması mümkündür. Bunların arasındaki uzaklık değişikçe ka-

pasitans değişmekte ve buna uygun bir elektriksel sinyal elde edilmektedir. Yalnız bir çift levhanın kullanılması sistemi, doğrudan plakalar arasındaki maddenin dielektrik sabitinin değişimine duyarlı kılmaktadır. Plakalar arasındaki havanın nem içeriğindeki küçük değişim önemli bir hatanın doğmasına neden olabilir. İki çift levhanın diferansiyel bağlantı ile yerleştirilmesi, hava neminin etkisi önemli ölçüde yok edilebilir.

3.5.2.1. Elektriksel Direnç

Bazı mekanik ayarlamalar o bir aralığın iki ucu arasındaki direnç, aralığın boyu değiştikçe değişmesi şeklinde yapılır..

Yöntem iki gruba ayrılır: tüm algılayıcı sistem direncinin sabit kaldığı, değme noktasının konumu değiştikçe uzunluğun azaldığı yöntemler ve yapının tüm özellikleri yapı boyunun değişmesi ile değişen yöntemler.

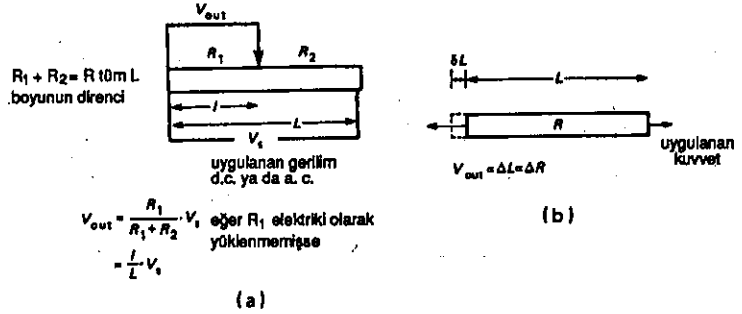
Birinci grupta değme uçlarının üzerinde kaydığı bir kayma teli vardır. Bu tel tek bir telden oluşabildiği gibi daha iyi bir direnç değişimi veren bir bobinden de oluşabilir. Bobin genelde uygulamadaki elektronik devrenin sinyal düzeyine ve empedansına daha uygundur.

Şekil 3.9(a) kayan değme noktalı uzunluk algılayıcısının (sensör) genel şemasıdır. Direnç ünitesinin tüm L boyuna standart bir V_s voltaj uygulanmaktadır. Çıkış voltajı V_{out} ölçülen l boyu ile aşağıda verildiği gibi, orantılı olacaktır.

$$V_{out} = \frac{V_s}{L} \cdot l$$

V_s ve L sabit olarak verilirse, V_{out} l boyunun doğrudan değerini verir. Direnç ünitesine uygulanan V_s gerilimi d.c ya da a.c gerilimi olabilir. Algılayıcı sistemde, üniform olmayan ısınma etkisiyle direnç ve L boyundaki değişmelerden kaynaklanan hatalar doğabilir. Ancak belki de en önemli nokta, okuma devresinin direnci yüklememesindedir. Aksi takdirde çıktı-uzunluk ilişkisi yukarıda belirtilen doğrusal bağıntıya sahip olamayacaktır.

Kayan değme algılayıcılar genelde ucuzdur. Ancak değme noktası sarımlı tiplerde telden tele geçerken tutukluk yapar ve sargılar üzerinde kayan kolun mekaniksel teması gürültüye neden olur. Aynı şekilde iyi bir değme sağlamak bakımından kola uygulanan belirli kuvvet aşınma problemi doğurur. Kullanılmaları anlama ve uygulama açısından çok kolaydır. Korum değişimi, birimin boyunca direnç değişimi logaritmik, sinüs, cosinüs ve diğer dizilere bağlı olarak değişir. Düşünce tarzı bir doğrusal ya da döner biçimde oluşturulabilir.



Şekil 3.9 Elektriki-direnç uzunluk algılayıcıları (a) Sabit direnç ünitesi boyunca kayan değme noktası (b) Bir direnç elemanının uzama oranının neden olduğu, tüm özelliklerindeki değişmelerinden dolayı oluşan direnç değişimi.

Ayırımcılık (ölçü hassasiyeti) açıkça bobin sargılarının oluşturduğu pürüzlülüktan kaynaklanmaktadır. Bir imalatçı bu problemi, değme kolunu bobin sargıları üzerinden atlatma yerine sargı tellerinin üzerinden kaydırmak suretiyle halletmiştir.

Direnç ünitesi ölçü aralığı olarak yaklaşık bir milimetreden bir metreye kadar olan boyu kapsar. Ölçü hassasiyeti ölçü boyunun 1/1000'i düzeyindedir.

Böyle bir ünitenin frekans tepkisi en fazla, dinamik değişim süresince, hareket ettirilecek mekanik kütleye bağlıdır. Çünkü elektriksel kısımlara düşük endüktans ve kapasitans kazandırıldığında elektriksel tepki de yavaş olacaktır.

Sinyal-gürültü performansı oldukça uygun olabilir, ancak alternatif endüktif ve kapasitif metodlardan elde edilebilecek kadar iyi değildir. Hassas ölçümler için direnç ünitesinin impedansının doğasında var olan ses üretme yeteneğinin yüksek olması istenir. Bu tür üniteler çoğu cihazlarla ilgili kitaplarında tartışılmıştır.

Diğer yöntem, şekil 3.9(b) direncin gövde özelliklerinin gerilimini kullanır. En yaygın kullanılan yöntem direnç gerdirmeli yöntemi olmaktadır. Gerdirmeli telleri 4. bölümün konusu olduğundan bu aşamada daha fazla tartışılmayacaktır.

Bazen uygulanabilen bir diğer hacimsel direnç yöntemi, disk şekline sokulmuş karbon gibi malzeme kullanımıdır. Disk yüzeyleri arasındaki değme kuvveti sisteme sokulan boy uzaması girdisi ile değişir. Bu da küme direncini değiştirir. Yöntem girdiden oldukça büyük kuvvete gereksinme duyar; bu nedenle kullanımı sınırlıdır. Buna karşın yüksek elektrik akımı taşıma kapasitesine sahip olup çoğu zaman kuvvetli kontrol devrelerini, herhangi bir elektronik yükseltmeye gereksinme duymadan, doğrudan tahrikinde kullanılabilir. Gövde özellikleri yöntemi sadece küçük bir aralığın bağlı uzunluk değişimlerini iletebilir. Pratik nedenlerle genelde kullanımını bir kaç milimetrelilik ölçüm boyu ve bu boyun yaklaşık yüzde bir uzatılması ile sınırlıdır.

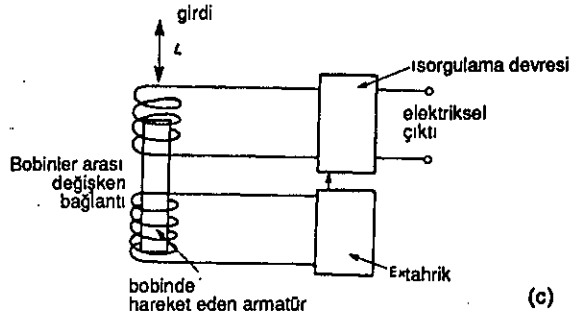
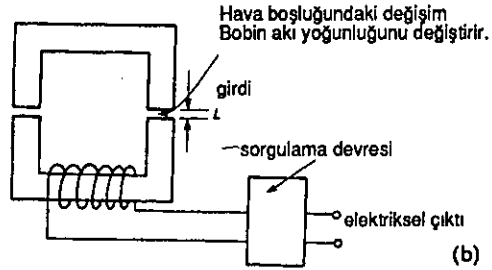
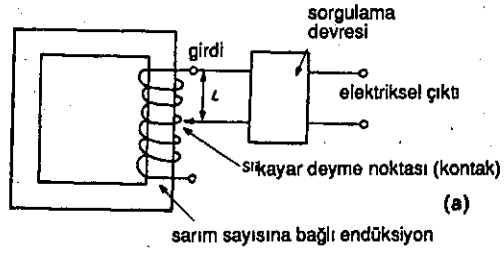
3.5.2.2. Elektriksel Manyetik Endüktif İşlemler

Genelde elektriksel endüktif işlemler kullanan iki ana grup şunlardır: Endüktans değerinin şekil değişimi ile değiştirilmesi grubu ve elektromanyetik endükleme kanununa göre sinyal üreten grup.

Bir elektriksel endüktans devre elemanı, akım taşıyan iletken ya da iletkenlerden oluşur. İletken, dinamik akım durumunda akım değişimlerini engellemeye çalışan, bir manyetik alan oluşturur. Manyetik devrenin kullanımı işlevleri arttırmakta olup mutlaka şart olmamakla beraber, genelde endüktif algılayıcılarda kullanılmaktadır. Bir endüktörün manyetik alan dağılımındaki değişim onun endüktansını değiştirir. Uzunluk algılayıcısı bu ilkeyi, bir endüktansın endüktansını değiştirmek için mekanik yapısındaki bir uzunluk değişimini kullanarak uygular. Bu sınırları değiştirerek manyetik devrenin direngenliğini değiştirmek ya da karşılıklı endüktanslar kullanarak işlevleri hızlandırmakla başarılıdır. Böylece endüktans değişimini bir elektronik çıkış sinyaline dönüştürmek için çeşitli şekillerde elektrik devreleri uygulanır.

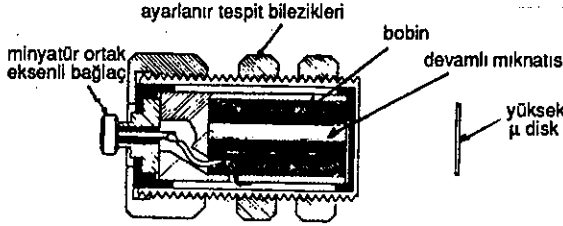
Şekil 3.10 bu üç seçeneği ilkel biçimleriyle göstermektedir. Bazı uygulamalarda bu tür basit tertipler yeterlidir. Ama dengelenmiş diferansiyel tertipler ve uygulanabileceği yerde faz-hassas algılayıcılar kullanmak, işlev ve kararlılığı çok geliştirdiği için yapılan ek masrafa son derecede layıktırlar. Şimdi daha detaylı tanımlayacağımız sistemler şekil 3.10(b) ve 3.10(c)'nin yaygın kullanılan biçimleridir.

Şekil 3.11, ölçülecek düzenin bir parçasına ya da yanına iliştirilmiş yüksek manyetik geçirgenli uygun bir levhanın yanına yerleştirilmiş bir tek bobin çözümlü dedektörü göstermektedir. Levha, dedektör ünitesine bağlı hareket edince ünite tarafından oluşturulan manyetik direnme, aradaki boşluğun değişmesiyle, değişim gösterir. Eğer dedektör ünitesi devamlı bir mıknatıs içeriyorsa hareket, ayrı bir elektronik uyarıcıya gereksinme olmadan, bir gerilim doğuracaktır. Ama sistem hareketsiz ise, sürekli bir a.c taşıyıcı sinyali ile uyarılmadığı sürece, bir aralık ölçümü doğuramaz.



Şekil 3.10 Algılayıcının elektriksel-endüktans şekilleri (a) uzunluk değişimi ile sarım değişimi, (b) uzunluk değişimi ile direnme (reluktans) değişimi, (c) uzunluk değişimi ile karşılıklı endüktans değişimi.

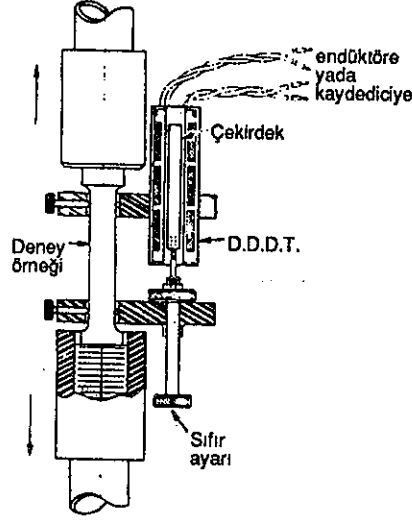
Mümkün olan yere hareketli cismin her iki tarafına iki benzer değişken manyetik direngen (relüktans) monte edilip adi-tarzda üretilen istenmeyen gürültüleri atan bir köprü düzeneğine bağlanması tercih edilir. Mevcut olan bu tür tanzim biçimlerinden sadece iki tanesidir. Değişken relüktans yöntemleri, bağıl kısa ölçüm aralıkları, uzun aralıkta zayıf doğrusallıkları ve ölçüm yapabilmek için büyük bir kütlelinin hareket ettirilmesine gereksinim duymaları ile tanımlanmaktadırlar.



Şekil 3.11 Manyetik reluktans tipi algılayıcı.
Bruel and Kjaer Ltd. izniyle.

Karşılıklı endüktans yöntemleri Şekil 3.11'de gösterilen eşdeğeri de kapsayacak şekilde pek çok biçimleri mevcuttur. Büyük bir olasılıkla en yaygın olarak kullanılanı, doğrusal değişkenli diferansiyel transformer (D.D.D.T)dir. Şekil 3.12. Bir uzama deneyi örneğine, uzunluk değişimini izlemek için monte edilmiş tipik bir ünitenin kesitini göstermektedir. Normalde bir demir çubuktan oluşan bir manyetik malzeme çekirdeği uç uca yerleştirilmiş üç bobin içinde hareket eder. Ortadaki bobin bir a.c. ikaz kaynağından beslenir ve diğer iki dış bobinlerde gerilim üretir (Bu orta bobin diğer iki dış bobin üzerine de sarılabilir). Eğer çekirdek simetrik yerleştirilmiş ise bu bobinlerde üritelen gerilimler eşit olacaktır. Çekirdek merkezden ayrılırsa bobinlerden birindeki gerilim ötekine nispeten artar. Bu nedenle gerilimler arasındaki fark, çekirdeğin konumu ile ilişkilendirilmiş olup bu ilişki doğrusal bir şekle sokulabilir. Çekirdeğin sıfır (boş) konumundan hangi yönde hareket ettiğini devre şeması olmadan algılamak için, çıktı tahrik frekansında bir a.c. sinyali olacaktır. Sinyalin genliği çekirdeğin konumu ile değişir ve yön onun fazı ile aynı doğrultudadır.

Pratik uygulama, genellikle yönü sinyal kutupları ile aynı bir d.c. sinyale gereksinme duyar (gerçekte frekans bileşeni içinde olan bir sinyalin kutupları ölçülen büyüklüğün içindedir). Bu makul bir ek harcama ile temin edilecek faza hassas algılayıcı (kilitleme algılayıcı ya da taşıyıcı demodulasyon



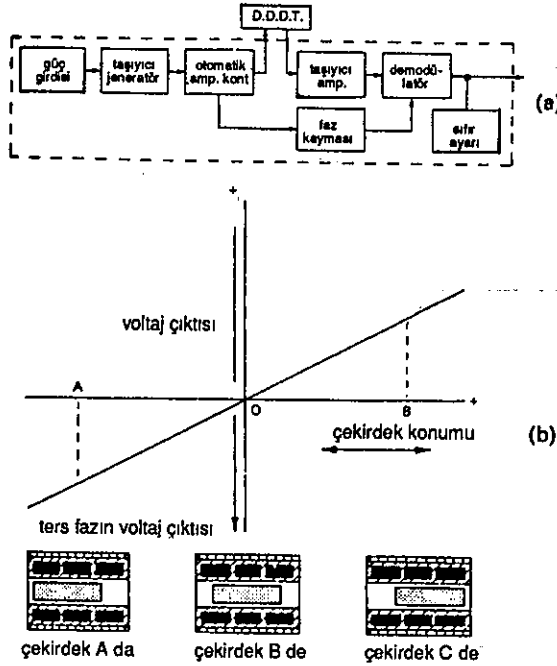
Şekil 3.12 Bir çekme deneyi örneğinde uzunluktaki değişimin ölçümünde kullanılan D.D.D.T. endüktif uzunluk algılayıcısı kesidi.

olarak ta bilinir) kullanılarak kolayca başarılabılır. Şekil 3.13(a) bu tür tam bir D.D.D.T. uzunluk ölçüm sisteminin alt elemanlarına ait blok diyagramını göstermektedir.

Şekil 1.13(b) çıktının çekirdek konumu ile ilişkisini göstermektedir. Modern algılama üniteleri günümüzde yaygın olarak ilave faza hassas algılama devreleri de içerir. Bunlar d.c. D.D.D.T. üniteleri olarak tanımlanır. Bunların ve benzerlerinin kullanışına ilişkin önemli bilgiler Herceg (1976)da bulunabilir. Faza-hassas algılama detayı Cilt 4 de ve Sydenham (1982) eserinde, D.Munroe tarafından yazılmış sinyal algılama bölümünde bulunabilir.

DDDT düzeninin daha basit dönüştürücü olmayan şekli, aynı merkezi tahrik bobininin iptal edildiği yerde kullanılabilir. Şekil 3.12'de gösterilen D.D.D.T. ünitesine gelince sadece iki dış bobin kullanılmıştır. Bunların iç uçları ortada birleştirilerek bir doğrusal sarım şeklinde endüktör oluşturmuşlardır. Bu ayrılmış endüktör bir a.c. köprüsünün içine yerleştirilmiştir. Bu köprüye faza hassas algılayıcı, uygulanarak tekrar bir d.c. sinyali elde edilmiştir.

Karşılıklı endüktans tipindeki endüktif algılayıcılar büyüklük bakımından çok geniş bir aralıkta imal edilmekte olup, atomik yançap (mona-



Şekil 3.13 Uygulamalı DDDT'ler kullanımı ile faza-duyarlı algılama sistemi. (a) Elektronik sistemin blok diyagramı, (b) Faza hassas algılamadan sonra girdi-çıkış karakteristikleri. Schaevitz Engineering'in izniyle.

metrenin altı) gibi küçük uzunluktan başlayarak bir maksimuma yaklaşık ± 250 mm kadar geniş bir ölçüm aralığına uymaktadırlar. Fevkalade sağlam, oldukça doğrusal, çok güvenilir ve iyi tasarlanmış olanlar fevkalade duyarlıdırlar. Algılayıcı çekirdeğini ölçülecek cisim ve gövdeyi karşılaştırma (referans) çatısına monte ederek, birbirine etki etmeyen, birbirine değmeyen ölçmeler için düzenlemeler de olasıdır. Frekans tepkisi, bobinin modülasyonu için kullanılan taşıyıcı frekansına bağlıdır. Genel uygulama üst sınırı yaklaşık 50 kHz de dondurmakta ise de daha yüksek frekanslar tasarlamak da olasıdır. Dikkate değer önemli bir husus da transdüserin mekanik rezonanslarıdır.

Manyetik endüktif uzunluk algılayıcılarının, manyeto-elektrik tipi olan ikinci sınıf algılayıcılar, içinde elektromanyetik devrenin bir kısmı hareket ederek manyetik akımın kesilmesi sonucu voltaj üreten tiplerdir. Bunlar için uygun ana bağıntı $e = -(nN d\phi/dt)$ dir. Burada e , t zamanı içinde N sarımın ϕ

manyetik akım tarafından kesilirken üretilen gerilimdir. Bunlar yer değişimi algılayıcısı değil, doğrudan hız algılayıcılarıdır. Çünkü çıktı hız ile orantılıdır. Sinyallerin integrasyonu, sinyallerin saptanabilecek büyüklükte olmaları şartıyla ki düşük hızlarda üretilen sinyaller çok küçük olabilecektir; yer-değiştirmeyi verecektir. Bu tip algılayıcı daha kapsamlı olarak, 6. kısımda ele alınmıştır.

Manyeto-elektrik algılayıcılar, manyetik akım kesilmelerinin oluşabileceği boş manyetik alan algılanmasına meyillidirler. Bu ise, sinyal olarak ortaya çıkar. Doğrudan algılanan alanların etkilerini azaltmak ve manyetik olmayan ana elektrik iletkin malzemelerin bitişinde oluşan eddy akım alanlar için iyi korunma (ekranlama) esastır. Manyetik perdeleme oldukça geliştirilmiş bir mühendislik işlemi olup iyi bir perdeleme elde etmek için özel malzeme ve ısıtma işlemi gereksinme vardır. Firmalar ünitelerini perdeleri ile sınırlar ve kullanıcılarını bu alanda uyarırlar. Bu, üniteyi basitçe kalın manyetik bir muhafazaya yerleştirmek değildir! Herceg (1976) DDDT ünitelerinin ve diğer endüktif algılayıcılarının etkin kullanımı için bir başlama noktasıdır.

Daha geniş bir ölçüm aralığı istendiği zaman endüktif algılayıcı hücreleri uca eklemek mümkündür. Ölçüm aralığı boyunca hücreleri sarmak için dijital mantık ve ölçüm aralığının sonunda da analog sorgulama kullanılır. Bu melez yaklaşım sayısal kontrollu tezgâhlarda gereksinme duyulan metre aralıklarını sağlamak amacıyla yaygın bir gelişim göstermiştir.

Zaman denemesini başarmış uzun bir endüktif algılayıcı, yassı basılmış sargı olup bir algılayıcı kısa-yassı bobin tarafından çaprazlanmıştır. Bu sürekli ağır her hücresi, bir bobin çifti içerir. Bu bobin çiftleri, algılayıcının yassı bir DDDT şeklini oluşturan algılama bobini ile üst üste gelir.

Açılar, elektro-manyetik olarak, Senkron olarak adlandırılan bir cihaz kullanılarak ölçülebilir. Bunlar doğal olarak verileri bir uzunluğa çeviren düzenekleri içerirler. Bu nedenle de 4. ciltte Telemetry başlığı altında tanımlanmıştır.

3.5.2.3. Elektriksel-Kapasite Algılayıcıları

Elektriksel kapasite, elektrik enerjisini elektrik alanı şeklinde ve elektriksel endüktörler ise enerjiyi manyetik alan şeklinde depolarlar. Elektromanyetik kuramı alanın bu iki şekli arasında bağlantı kurar ve böylece manyetik-endüktans algılamaya uygulanan çoğu fikirler, elektriksel-kapasite yapılarına da uygulanabilir.

Bu nedenle, uzunlukta oluşan değişimi, girdi boyunu bir kapasitans grubunun yapısını değiştirmek için kullanarak da algılamak olasıdır. Ya da katı bir malzemenin şekil değişimine neden olarak doğrudan bir yükleme üretmekle uzunluk değişimi algılanabilir. İki iletkin plaka tarafından oluşturu-

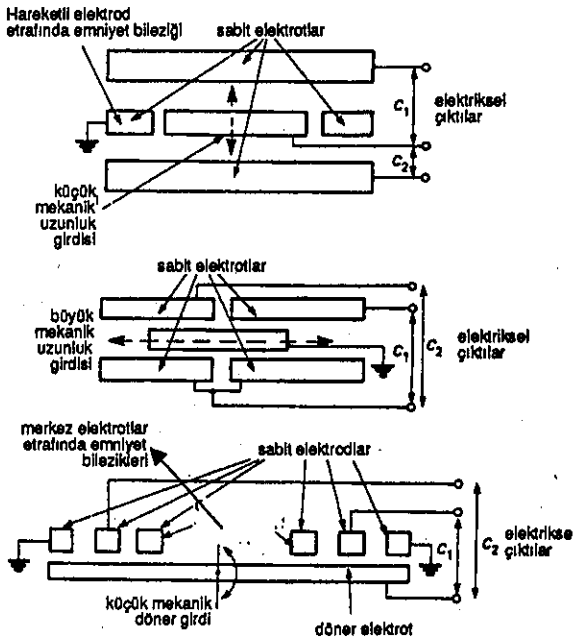
ruhan yapının elektriksel kapasitesi aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$C = \frac{\epsilon A}{l}$$

Burada C kapasiteyi, ϵ plakalar arasındaki maddenin dielektrik sabitini ve A plakaların alanını ve l plakaların birbirini örten kısmın uzunluğunu ifade eder.

Böylece uzunluk algılayıcısı, ya uzunluk girdisi ile kapasite değişimi arasındaki ters orantılı bir ilişki verecek şekilde l boyunu değiştirmek ya da doğru orantılı bir ilişki elde edecek şekilde, birbiri üzerine gelerek A ortak alanına sahip olan plakalardan birinin boyunu değiştirmek suretiyle oluşturulabilir. Bazen de kapasitans yapısının içine değişik dielektrik katsayısına sahip bir parçasının sokulması ile ϵ değiştirilerek algılayıcı oluşturulabilir.

Daha basit yapılar sadece bir kapasitans yapısı kullanır. Ancak bunlarda ϵ da oluşan değişim, havanın nem ve basıncındaki değişimlerden kaynaklanan hatalar doğurabilir. Diferansiyel sistemler daha memnuniyet vericidir. Şekil 3.14 diferansiyel kapasitans algılayıcılarının ana yapısını göstermektedir.



Şekil 3.14 Bazı diferansiyel kapasite uzunluk-algılaması

dir. Bunlar düz levhalardan ya da silindirik kısımlardan oluşturulabilir. Silindirik yapıdaki ikinci tasarım yüksek doğrulukta bir seçenek olarak DDDT'ler yerine kullanılmıştır. Eğer kısmen doğrusalıktan vazgeçilirse, şekilde görülen emniyet bileziklerine gereksinme yoktur.

Kapasitans sistemleri yüksek çıkış empedansları, nispeten yüksek ikaz gerilmi gereksinimleri, levhalarının hassas imalatları ve küçük plaka aralıkları ile karakterize edilebilirler.

Seçeneklerin potansiyel hassasiyeti (endüktif ve kapasitif), uygulamada hemen hemen aynıdır. Her ikisinin de kendilerine has sinyal-gürültü problemleri vardır. Düşük hassasiyetli kullanımlar için kapasitans düzenekleri endüktif olanlardan daha kolay imal edilir.

Kapasitans sistemlerde gürültü, kapasitans devresinin yüksek empedansı içindeki dağınık voltaj gücünün doğurduğu yük toplamasından oluşmaktadır. Bu uygun perdeleme ve aktif levhaları sararak istenmeyen yüklemeleri toplayan ve sönümleyen topraklanmış emniyet levhalarının kullanımı ile azaltılabilir. Kapasitans yapılar, hazır yapılmış sensörlerin plana uygulanması yerine, daha çok orijinal ekipman imali için kullanılır. Bunun nedeni algılamaları yapılacak işyerinin tanzimi, çoğu kez bir ya da birkaç algılayıcı levhanın değmeyen tipten olmasını şart koşabilmesidir. Örneğin bir sarkaç çekicinin konumunu bir yatık algılayıcı ile izlemek için, sarkaç gövdeyi doğrudan, ilave edilmiş iki levha arasında hareket eden, merkez levha olarak kullanmak gerekir.

Genelde, bu nedenle görülecektir ki, ticari algılayıcılar kapasitif seçeneklerinden çok endüktif sistemlidirler. Buna karşın bilimsel çalışmalarla araştırma çalışmalarında temayül, kapasitans sistemlerin kullanımı doğrultusundadır. Çünkü bunların prototip aşamasında kullanımı daha kolaydır. Satıcılar her şeyi içinde bulundurarak kullanıma hazır ürünler sunmayı da isterler. Bu nedenle ürünün piyasaya arz edilmeden önce tanımlanmasını da isterler.

Son derece ayırt edici sınırlarında (monometrenin altında) görülecektir ki, kapasitans algılama, eğer uygun düzenlenmiş ise, endüktif algılamadan daha üstündür. Nitekim endüktif sistemlerle, yavaş hareket eden olaylara ait uzunluk değişim tepkisi almak için a.c. ikazına da gereksinme vardır.

Her iki seçenek tarafından kullanılan manyetik ve elektrik alanı kuvvetleri, gerçekte yokmuş gibi tasarlanabilir. Duyarlı kuvvet denge sistemlerinde uygulama aynı levhaların kullanımına, bir diferansiyel sistemin orta levhasına bir a.c. gerilim uygulamasına izin verir. Böylece konum algılanması için yüksek frekanslı bir uyarı sinyali uygulandığı anda, levha tekrar merkezi sıfır konumuna zorlanabilir.

Her ne kadar levha-ayırım kapasitans yöntemi esas olarak uzunluk değişimi ile ters orantılı bir ilişki veriyorsa da, algılayıcı kapasitansın işlem yükselticisinin geribesleme hattına algılayıcı kapasitans yerleştirilerek, sinyal konum değişimi ile doğru orantılı hale sokulabilir.

3.5.3. Elektromanyetik ve Akustik Işınımın Kullanımı

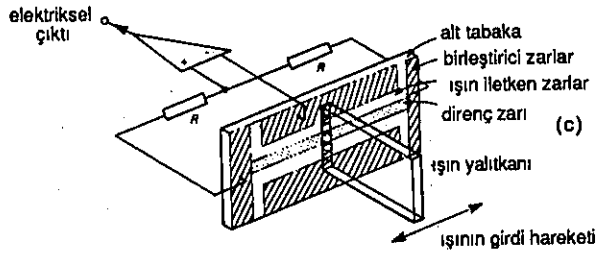
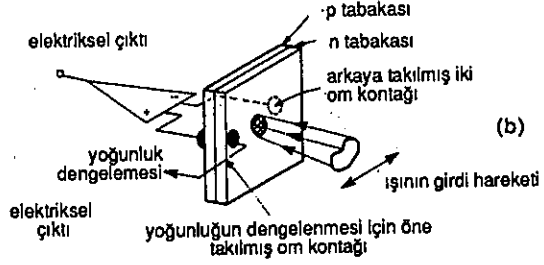
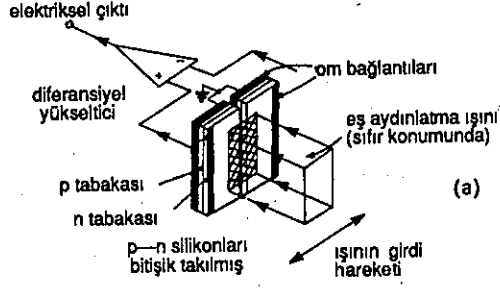
Işınımın erişimi nispeten uzun radyo dalga boyundan elektromanyetik (EM) ışınımın spektrum içindeki X-ışınlarının kısa dalga boyuna kadar ve akustik spektrum içinde ses dalgası frekansından megahertz frekanslara kadar olarak çeşitli yollarda uzunluk ölçümünde kullanılmıştır.

Endüstriyel kullanımda uyarılan ana yöntemler, optik ve optik'e yakın ışınım mikrodalga EM ve akustik ışınım dayandırılanlar olmuştur. Bunlar şimdi sırasıyla tartışılacaktır.

3.5.3.1. Konum Algılayıcı Fotoseller

Bir optik ışın, burada yorumlanan dalga boyu kızıl ötesinden ($\approx 10\mu\text{m}$) kısa görülebilen ışıma ($\approx 0,4\mu\text{m}$) olanlar olup uzunluk ölçümünde iki farklı yolda kullanılabilir. Işın hareketi algılamak için ona dikey ya da onunla aynı doğrultuda kullanılabilir.

Enine hareketi algılamak için çeşitli konum algılayıcı optik dedektörler geliştirilmiştir. Bunların aralığı nispeten kısa olup mertebeleri sadece milimetre düzeyindedir. Yapısı ve kullanımı kolay olup doğruluk ve kararlılıkları bir mikrometre düzeyindedir. Şekil 3.15 hali hazırda yapılmış üç ana tipin özelliklerini göstermektedir. Şekil 3.15(a)'yı ele alalım. Kesiti boyunca eş yoğunluğa sahip bir ışın iki eşit özellikte fotosel üzerine düşmektedir. Işın iki fotosele çarparak her ikisini de eşit şekilde aydınlatınca, diferansiyel (fark esasına göre) bağlanan çıktı sıfır olacaktır. Bu noktada herhangi ortak düzeyde ses sinyalleri, sistem tarafından önemli ölçüde yok edilecektir. Böyle sistemler iyi bir sıfır kararlılığına sahiptirler. Işın sıfır konumundan bir tarafa hareket ederken, diferansiyel çıktı orantılı olarak fotosellerden birinin üstündeki aydınlatma tamamen yok oluncaya kadar, artacaktır. Hareketin yönü, çıktı sinyalinin polaritesi ile saptanır. Işının fotosellerden biri üzerine tam yerleştiği an çıktı doymuş olarak maksimum değerinde kalır. Fotoseller silikon dilimlerinden kesme ya da iletken olmayan bir engelin üst bileşim tabakasına difüzyon ile veya yan yana yerleştirilen ilave hücrelerden imâl edilir. Dört adet fotosel bir düzlemdeki dik doğrultuda yerleştirilirse, hareketin iki eksenini algılamada kullanılabilir.



Şekil 3.15 Optik konum-algılayıcı dedektörü (a) Yaprak fotosel, (b) Enine etkili fotosel (c) fotopotansiyometre.

Bu fotosellerin çıktılarının doğrusallığı onların bitiriliş koşullarına bağlıdır. Çalışma aralığı görüleceği gibi, ışın genişliğinin iki katı olup dedektör genişliği yarısından fazla olamaz. Duyarlılık ışın aydınlatma düzeyine bağlı olup iyi sonuçlar almak için ışın yoğunluğunun sabit olması önemlidir.

Bazı uygulamalarda aydınlatma ışını kesiti, fotosele uzaklığı ile değişebilir. Bu durumda Wallmark diye adlandırılan ya da enine etkili fotosel, şekil 3.15(b), daha uygun olabilir. Bu durumda iki kontak, şekil 3.15a'da görüldüğü gibi, düzeltici değil aksine kaçak oluşturunucudur (ohmic).

İki kaçak kontaklarının arasında üretilen gerilimin, ışın enerjisi ağırlık merkezinin konumuna ve tüm ışının yoğunluğuna bağlı olduğu gösterilmiştir. Fotoselin öteki tarafına düzeltme kontaklarının ilavesi yoğunluk değişimlerinin düzeltilmesini olası kılarak bu tür fotosele, yoğunluk ve büyüklüğün her ikisinde de değişim gösteren bir ışınım hareketlerini izleme yeteneği kazandırır. Burada da ışın fotosel yüzeyinin tüm çalışma bölgesinden daha küçük olmak zorundadır. Saptama sınırları yaparak fotoselinkilerine benzerdir.

Bu fotosel, tasarımına ait ilgiyi yeniden canlandırmıştır. Çünkü başlangıçta logaritmik olarak gösterilen voltaj-konum ilişkileri, bu fotoselin uygun bir empedans yükseltici içine sokulması ile, etkin doğrusal ilişkiler haline sokmak son derece kolaydır. Bu fotosel, gösterilenlere dikey yerleştirilmiş iki ilave kontak daha kullanmak suretiyle, bir ışının aynı zamanda iki ek sen üzerindeki hareketini de izleyebilir.

Bunlar gibi optik konum algılayıcı fotoseller, laser ışınım kaynakları ile birlikte, döşeme-tavan ve boruların düzgünlüklerinin kontrolü, hassas mekanik ölçme, makina parçalarının şekillerindeki sapmalar gibi, çok yaygın kullanımı alanına sahiptirler.

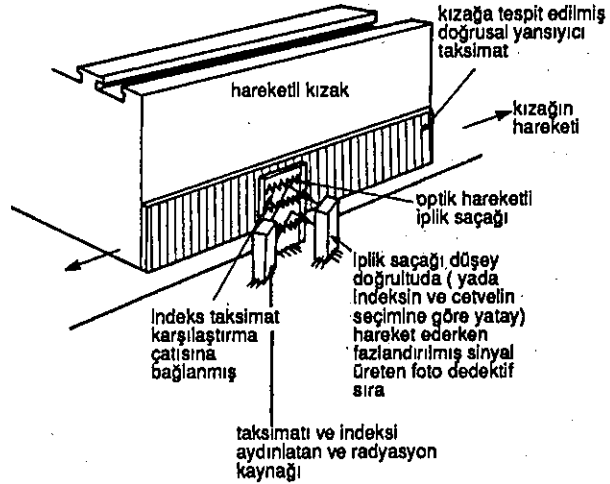
Optik konum dedektörlerinin üçüncü şekli fotopotansiyometredir. şekil 3.15(c). Bu yöntem her ne kadar mikro-elektronik yöntemlerden yıllar önce icat edilmiş ise de (bu imalatçıların kalın-zar yöntemlerini kullanır) yazdırılabilir biçiminden ötürü bu da yeni ilgi alanı bulmaya başlamıştır. Işık hüzmesi girdisi iletken ve direngen zarların birleştiği yere çapraz düşerek Wheatstone köprüsünde, aslında, bir silerek değme (Wipen Contact) etkisine neden olur. Bu değme sürtünmesiz ve gerçekte kademesizdir. Bu ünitelerin kullanım aralığı konum algılayıcı fotosellerinkinden daha geniştir. Ancak bunlar oldukça özel amaçlara uymakta olup piyasada pek az çeşidine rastlanmaktadır. Tepkimeleri, kullanılan zaman tepkimeli malzemeden ötürü biraz yavaştır (10 ms). Yukarıda detaylanan fotosellerde tepkime süreleri μ s düzeyindedir. Işın hüzmesi hareket eden doğrusal bir aç-kapa kapağı ya da döner bir ayna yardımı ile hareket eder biçimde düzenlenebilir.

Hareketli iplik saçağı konum algılama yöntemleri bir cetvel üzerindeki usulüne uygun çizgilerden oluşturulmuş bir mekanik aç-kapa kullanarak karşılaştırma konum bölgesinde, değişen yoğunlukta ve sabit faz ilişkili sinyaller üretirler. Şekil 3.16'ya bak. Bu sinyaller, analog alt bölme metodları kullanılarak kabaca hat üzerindeki periyotların sayısı periyodun 100'de 1 aralığına kadar doğrulukta sorgulanır. Hareketli iplik saçağı (Moiréfrige) cetvelleri, geniş bir ölçüm aralığında (kısmı ve uca ekleyerek) ve alt bölmede seçilen hassasiyette, ki bu hassasiyet 1µm kadar küçük olabilir, ölçüm olanağı verir. Doğruluk derecesi, çizgilerin cetvele yerleştirilmesi, cetvelin takılış biçimi, uzunluğu değiştiren sıcaklık etkileri tarafından sınırlanmıştır. Yöntem doğrusal ya da dönen algılama biçimlerinin ikisine de uygundur.

Her ne kadar hareketli iplik saçağı yöntemi üzerinde, 1950-1960 yıllarında pek çok geliştirme çabaları oldu ise de, tasarım uygulanabilir hal şimdi gelebilmiştir.

Moiré yöntemleri uzama konusundaki çalışmalarda da uygulama bulmuştur. Bu konu 4. kısımda tartışılmıştır.

Sürekli dalga laser ışınının kolay elde edilen uygun özellikleri, had delenmekte olan tel gibi küçük cisimlerin çaplarını izlemek için, basit ama oldukça etkin bir yöntem sağlamıştır. Işınım tel ile kesim noktasında, teli geçeri

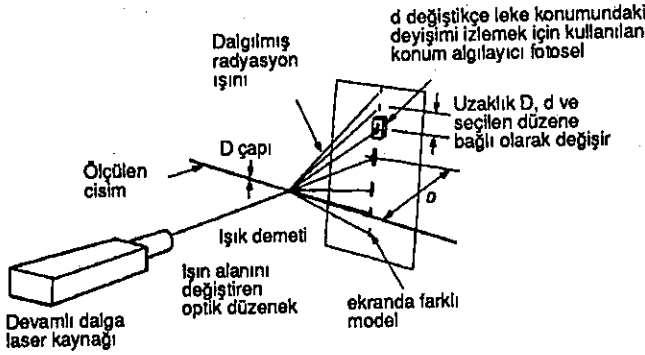


Şekil 3.16 Uzunluk ölçümü için iplik yumakları.

bir dizi ışınları üretecek şekilde ayrılır. Şekil 3.17 bu yöntemi göstermektedir. Tel çapı küçüldükçe, izler açılır. Böylece cismin boyutu küçüldükçe bu yöntem daha gelişmiş hassasiyet kazandırır.

İzlerin konumu, bir konum algılayıcı fotosel tarafından yukarıda belirtildiği gibi algılanır. Işın hareketinin sayısal çıktıları gereksinme duyulduğu yerde, fotodedektörleri doğrusal dizinlerde kullanılabilir. Her bir fotosel kendi öz algılama düzeyinde çalışabilir ya da sıra ile sıkıştırılarak tek bir çıktı kanalı haline sokulabilir. 200 elemanın üstündeki doğrusal dizinler günümüzde olağandır.

Optik mercekler ve aynalar, bir cismin hareket genliğini optik konum detektörüne uyacak şekilde ölçeklendirmek amacıyla, ışın geometrisini değiştirmek için kullanılabilirler.



Şekil 3.17 Dağılımın küçük çapların ölçümünde kullanımı.

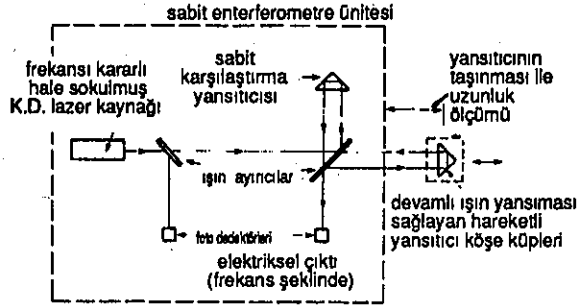
3.5.3.2. İki Işının Çarpıştırılması ve Uçuş Zamanı Yöntemleri (Enterferometre yöntemi)

Büyük uzunlukların (metreler ve üstü) ölçümünün gerektiği yerlerde, boyuna algılanan uygun ışınların kullanımı mümkündür. Bu konuda birçok farklı yöntemler vardır.

Eğer ışın zamana uygun özelliklere sahipse (ya çakışık ya da doğal olarak taşıyıcı içinde) bu durumda referans ışının referans konumu ile geri yansımak üzere cisme gönderilen kısmı arasındaki faz farkını meydana çıkarmak için, ışınların çarpıştırılması yöntemi kullanılabilir. Laser mikrodalga kaynaklar ve uygun üretilen akustik ışınının her ikisi de, bu çarpıştırma usulünde kullanılabilir. Radyasyonun dalga boyu kısalдықça elde edilebilecek ölçüm hassasiyeti de azalacaktır. Böylece optik çarpışıkça yöntemi ile mona-

metre gibi küçük uzunlukları ölçmek uygulamada olasıdır. Buna karşın mikrodalga radyasyonu kullanıldığında, sadece birkaç milimetre düzeyinde ölçüm yapılabilir.

Şekil 3.18 bir laser esaslı enterferometre (çarpıştırma ile ölçüm cihazı) oluşturmada gereksinime duyulan optik elemanların esas düzen şeması göstermektedir.



Şekil 3.18 : Laser uzunluk ölçen enterferometrenin frekans çıktı tipine ait temel düzenleme biçimi.

Şekilde gösterilen bu düzen şeması uzunluğu temsil eden çıktının genlik şeklinden ziyade sisteme son derece kararlı ve hassas ölçüm kapasitesi ve frekansı kazandıran Zelman ışınım ayırıcısı ile frekans dengeleyicisini bir araya getirmektedir. Ticari bir enterferometre şekil 3.5'de gösterilmiştir. Klasik Michelson enterferometrelerde kullanılan düz aynalar yerine köşe küpleri kullanılmaktadır. bunlar ayarlamayı çok doğru yaparlar. Çünkü küptün gelen radyasyona açısı kritik değildir. Genelde bir köşe küpü, bir referans kolu oluşturacak şekilde sabit tutulur. Diğer köşe küpler, bir uzunluk çıktısı vermeleri için, bir başlangıç noktasından hareket ettirilmek zorundadır. Bu uzunluk çıktılarını anılan yöntemde doğal olarak artan biçimde olacaktır. Her iki köşe küpünün hareketine izin vermemekle sisteme, küçük açılan son derece hassas biçimde ölçme yeteneği kazandırır.

Laser enterferometresi, kuşkusuz, genel amaçlı endüstriyel çalışmalar için üstün bir uzunluk ölçüm cihazıdır. Ancak fiyatı, izleme hızının hareketinin sınırlanması, az artan doğası ve iz kartlarının kontrol gereksinimi (en iyi işlem için) onu genel kullanımdan alıkoymaktadır. Dinamik ölçüm aralığı mikrometrelerden onlarca metreye kadar alanı kapsar. Böyle bir ölçüm aralığı

diğer hiçbir elektronik uzunluk algılayıcıları kapsamamaktadır. Enterferometre, dalga yönü bozulmadan dönüşe yeterli bir enerjiyi veren yansıtıcıya gereksinime duyar. Optik dalga boylarında yansıyan yüzey optik nitelikte olmak zorundadır. Çok hassas, mikrometre belirtilmesinin gerekli olmadığı yerde mikrodalga ışınımı, enterferometre sistemlerinin doğrudan işlenmiş yüzeylerde, makina parçalarının işlenmiş yüzeylerinde, kullanılmasına izin verir. Doğruluk gereksinimin 1000'de 1 kısım düzeyinde olduğu zaman akustik yöntemler memnuniyet verici sonuçlar sağlayabilir.

Işınım yöntemleri, ışınının uçuş zamanını da kullanabilir. Bu ışık için yaklaşık bir nano saniyede (milyonda bir saniyede) 300 mm ve ses titreşimi için ortama bağlı olarak milisaniyede 300 mm den 6 m ye kadardır. Uçuş zamanı yönteminde ışınım düzensiz olabilir, ya uygun frekansa modul edilir ya da basit olarak vurum haline sokulur. İlgili yüzeyinden dönen ışınım yakalanır ve gidiş-dönüş için geçen zaman kaynak ile hedef arasındaki uzaklığın saptanmasında kullanılır. Bu yöntem enterferometrenin sağladığı ince farkları giderebilme yeteneğine sahip değildir. Ama bazı belirli uygulamaların kullanımında (kilometre üstü ölçüm aralıkları için kullanılan EDM sistemleri) belirsizlik 10^6 da birkaç kısım düzeyindedir. Birden fazla modülasyon frekansının kullanılması durumunda bu yöntemle mutlak menzile ulaşma sağlanabilir. Bu ise uzak mesafelerin ölçümünde açıkça gereksinime duyulan bir özelliktir. Nicelik farklarına dayalı enterferometrelerde şart olan üzerinde yansıtıcının tüm yol boyu enine hareket ettiği, kontrol altında tutulan bir hareket yörüngesi, arazi ölçüm uygulamalarında kullanışsızdır.

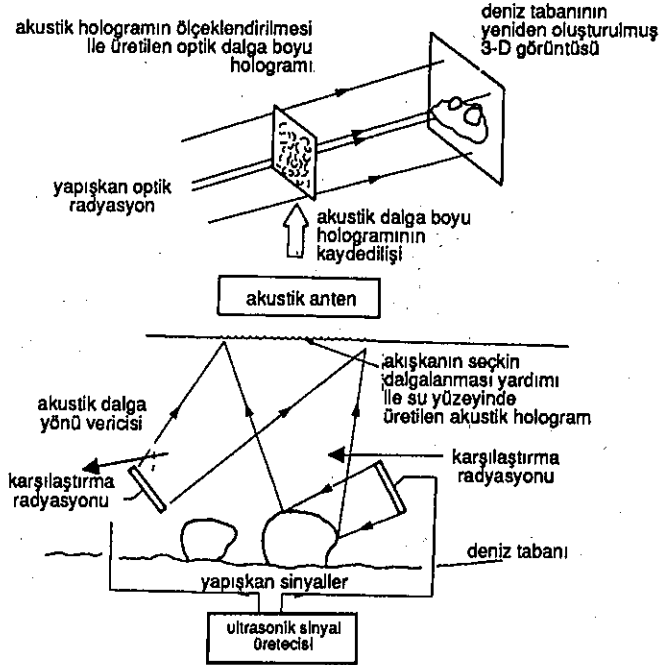
Şekil 3.18'de bir boyutlu hareket için gösterilen enterferanın (çakıştırma) düşüncesi, holograf (Biri etkilenmiş biri doğal iki laser ışınının çarpıştırılması ile elde edilen şekil) yöntem uygulamalarında üç boyutlu ölçümleri de içinde alabilir. Holografi, hologram olarak bilinen bir plaka üzerine bir fotografik görüntü oluşturur. Bu, bir cismin üç boyutlu geometrik detayını yakalar. İlgilenilen cisim ışınım bombardımanına maruz kalır. Bu ışınımın bir kısmı cisim yüzeyinden yansıyarak ve kaynaktan doğrudan alınan referans ışınıyla birleşir. Bu iki ışınım düzenli olduğundan bunların dalga sınırları yassı iki boyutlu bir çarpışma modeli oluşturacak şekilde birleşir. Hologram, orijinal cisme az benzeyen bir görüntüye ve en beklenmedik bir özelliğe sahiptir. Hologram düzenli ışık tarafından aydınlatıldığı zaman cisim görülebilir. Aydınlatılan hologramın içine bakıldığında cisim üç boyutlu görülür.

Bu ana işlem çeşitli biçimlerde, cismin şekline ait hassas ölçmeler elde etmek amacıyla kullanılabilir.

Birinci yöntem hologramı yapılan cisme benzer bir cisme hologramdaki görüntü yerine yerleştirir. Bu gerçekte standart cisme gerçek cisim üzerine konmasıdır. İkisi arasındaki fark gözle kararlaştırılabilir. Bu, çok hassas bir yöntem değildir, ancak bazı muayene gereksinimlerini karşılar.

Holografiye çakıştırmayı kullanmak için diğer bir yöntem de, aynı plaka üzerine, birincisi oluşturulduğu gibi, ikinci bir hologram oluşturulur. Birleştirilmiş çift, bir tek plaka gibi geliştirilir. Bu yukarıda izah edildiği gibi gözlenirse belirgin bir cisim oluşur. Bu cisim üzerinde üst üste gelmiş çizgiler iki birim arasındaki şekil farklılıklarını temsil eder. Işın kırılmasından oluşan bu çizgilerin her birinin genişliği, bir yol göstericisi olarak, detaylı farkları, ışınım dalgaboyu düzeyinde temsil eder. Bu nedenle holografinin bu biçimi, küçük farklar saptamada son derece güçlü bir yöntemdir. Örneğin bu yöntem, araba lastiklerindeki kusurlarının saptanmasında kullanılmıştır. Bu işlem yapılırken lastik iç basıncı hafifçe değiştirilir. Aynı şekilde gaz silindirlerindeki şekil değişimlerinin saptanmasında kullanılmıştır. Tahribatsız muayenele-re son derece uygundur. Fakat pahalı ve kullanımı biraz yavaştır.

Hızlı hareket eden cisimlerin ölçülmesi de optik holografinin, zamanla kaybolan vurum holografi yöntemi diye bilinen bir yöntemde kullanılması ile olasıdır. İki hologram, banyo edilmemiş bir levha üzerinde yukarıda izah edildiği gibi, birbirinin tepesinde gösterilir. Ancak bu defa bu iki hologram belli zaman aralıklarında periyodik olarak ortaya çıkan aynı cisim tarafından



Şekil 3.19 Deniz tabanı haritalarının yapımında uygulanan holografi. Görüntü büyüklüğünü uygun biçimde değiştirmek için iki radyasyon kullanılmıştır.

oluşturulmuştur. Bu duruma bir örnek olarak bir uçak motoru içinde dönen bir türbin kanadı verilebilir. Lazer kaynağı, senkronize elektronik devre kullanılarak, cismin belli bir noktadan her geçişinde, vurum yapar.

Holografi düzenli ışınımın her türü ile kullanıma uygundur: Optik, mikrodalga ve akustik sistemler bildirilmişlerdir. Çeşitli mutlak ölçekli hologramlar üretmek ve göstermek amacıyla kullanılan ışınımı değişik kademelerde karıştırmak da olasıdır. Örneğin deniz dibi kum profili haritalanması sistemi, şekil 3.19 akustik girişim hologramı elde etmek için, deniz içi boşluğunda akustik ışınım kullanır. Bu hologram müteakiben rahatlığı nedeniyle optik ışınım kullanılarak görünür hale sokulur.

Holografinin en önemli dezavantajları; cihazların fiyatı, çıktı elde edilmesinin yavaş oluşu ve yakalanan bilgilerden sayısal ölçümler elde edilmesinin zorluğudur.

3.5.4. Diğer Yöntemler

Yukarıdaki tartışmalar göstermiştir ki, algılayıcının birkaç sınırlanmış sınıfına rağmen, dönüştürülmüş uzunluk sinyalleri üretmek için pek çok prensipler vardır. Sadece bu değişken üzerine kapsamlı bir tartışma birçok cilt gerektirebilir. Bu kısa alt bölme, belirli şartlara uygun olabilecek pek çok yöntemlerin var olduğunu vurgulamak için kapsanmıştır. Olağan dışı yöntemlerin çoğu pek az parçalanır. Çünkü bunların muhtemel satışları kütleli imalatı tatmin etmez. Uzay endüstrisi uygulamalarında, bilimsel ve endüstriyel deneylerin orijinal cihaz gereksinimlerinde, geliştirme çalışmalarında ve özgün uygulamalarda ise bunlar, uyarlanabilecek en uygun yöntemler olabilir. Piyasada talep edilmeyen bir yöntemin yararlanılamayacağı yorumlanmamalıdır. Burada ticari olarak az kullanılan birkaç örnek verilecektir.

Manyeto-dirençli algılama elemanları, elektriksel dirençleri, ortamın manyetik alan düzeyi ile değişen elemanlardır. Bunlar, algılayıcıyı genelde devamlı olan manyetik alana bağlı hareket ettirmek suretiyle, doğrusal ya da doğrusala yakın algılayıcılar olarak kullanılabilir.

Bir çökeltme hücresinde çökeltmekte olan tabakanın kalınlığı birçok yöntemlerle ölçülebilir. Bir hücreye boyuna kaplanmak üzere yerleştirilen bir deney parçasının üzerinde toplanan kütlenin izlenmesi bir uygulama biçimidir. Diğer bir yöntem ise çökeltme devamınca optik iletkenlikteki değişimin doğrudan izlenmesidir.

Bir iyonizasyon kaynağının sinyal gücü üzerindeki istatistiksel hesaplama kaynaktan uzaklığın belirtilmesinde kullanılabilir.

Oluşan basınç ya da yeri değiştirilen sıvı, hareket ettirilen elemanın hareketinin ölçümünde, basınca ya da hacime duyarlı bir cihazın tahrikinde

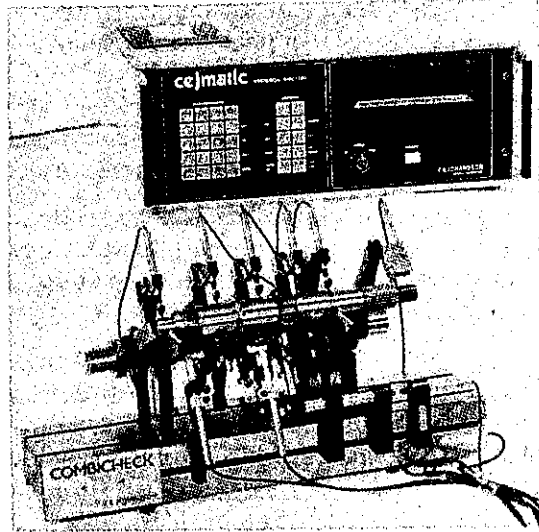
kullanılabilir. Bu yöntem toprağın yer kürenin hacimsel uzama ölçümünde kullanılmıştır. Hacimsal değişim girdisi ile uzunluk çıktısı arasında kübük-yasa ilişkisi var olduğundan çok hassas sonuçlar elde edilebilir.

Gelecek kısımda özellikle şekil değişim oranların ölçümüne değinilecektir. 6. Kısımda titreşime ve 5. kısımda ise düzey ölçümlerine değinilecektir. Bunların hepsi uzunluk algılayıcılarının tanımlarını içermektedir.

3.5. Otomatik Ölçüm Sistemleri

Takımhane ve fabrika ölçümünün kökleri, şekil 3.7 ve 3.8 de gösterildiği gibi elle yorumlanan ölçüm makina ve aletleri kullanımına uzanmaktadır. Bunlar, elektriki olmayan biçimleriyle, kullanımlarında yüksek düzeyde yeteneğe gereksinme göstermekte ve çok zaman almaktadır. Buna rağmen genelde, en iyi makinaların kullanılmasıyla elde edilebilen değerlerin en iyisini verebilirler.

Uzunluk ve açılar elektronik algılanmasının devreye girişi, takım hane ve fabrika ortamı ölçüm uygulamalarına kademe kademe bir değişim sokmuştur. Çok fazla gözlem ölçümleri gerektiren el işçiliği ile yürütülen ölçümlere ödenen masrafların ekonomik olmadığı ve otomatik üretim fabrikalarına



Şekil 3.20 Bir dişli kutusu şaftının bir çok uzunluk değişkenlerini kontrol etmek için, çok yönlü bir deney cihazı sisteminde kullanılmakta olan elektronik ölçüm başlıkları. (C.E. Johansson izniyle)

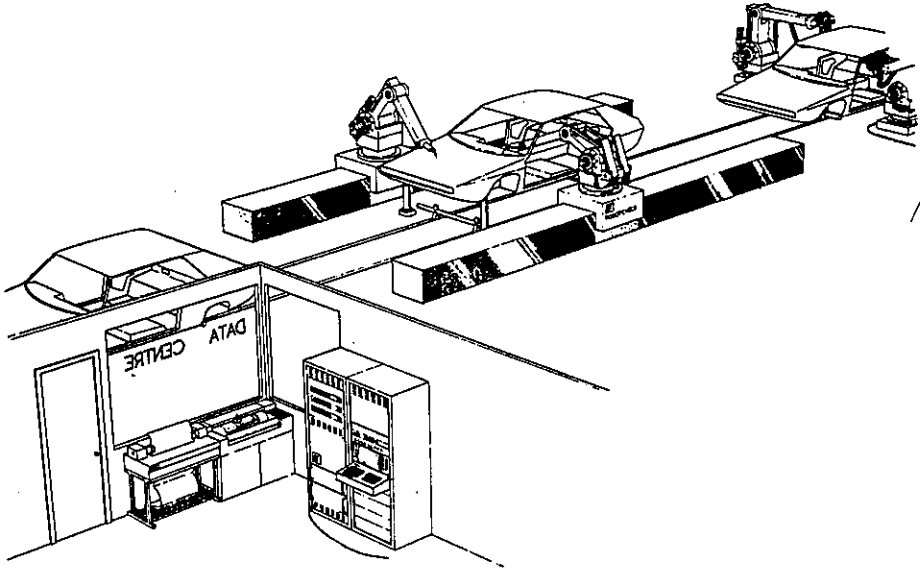
uyum sağlamak yönünden son derece yavaş oldukları çoğu modern üretim-lerce kanıtlanmıştır. Örnek olarak, bir otomobil motoru için piston imal etmek, son taşlama makinasında her piston yönünde fazla uzunluk değişkeni-nin ölçülmesine gereksinme gösterebilir.

Bu ölçümleri yapmak için elde edilebilecek zaman, dakikanın kısımları düzeyindedir. Böyle bir durumda gereksinme duyulan çok sayıda sayısal değerleri üretilebilen otomatik ölçüm makinalarının imali ve yerine oturtul-ması için yapılan harcamalar ekonomik olmaya başlar.

Otomatik ölçüm sistemleri, bir ya da daha fazla uzunluk birimini temsil eden elektronik sinyaller sağlama yetenekleri ile tanımlanırlar. Basit uygulama-larda operatör parçayı çoklu prova yerine oturtur. Tamamen otomatik üre-tim yapan fabrikalar bu işi, gözetleme makinalarının önüne yerleştirilmiş kaldır -ve- yerleştir robotlarına yaptırmaktadırlar.

Otomatik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi, 1950'lerde, ortaya çıkma-ya başlayan numerik-kontrollu metal işleyen tezgâhları tamamlamak üzere bilinen gereksinme ile başlamıştır. Bu sistemler, aletlerin kullandığı ölçü algılayıcılarının benzerlerini kullandılar; ama metal işleyen tezgâhlardan çeşitli yollarda farklılık gösterdiler.

Otomatik kontrol makinaları eğer elle çalıştırılıyor iseler operatör, sis-temin girdi projesine, onu çıkartırken, önemli bir atalet kuvveti uygula-



Şekil 3.21 Bir metin hattında gözetim ölçümleri görevine uyarlanan kaldır -ve- yerleştir robot kolu. (LK Tool Co. ve ASEA izniyle)

madığı zaman en iyi çalışır. Bu, çıkartılacak kütleyi azaltan bir tasarımla ya da kapalı-döngü-algılayıcı kullanılması ile başarılabilir. Küçük boy sistemler (yaklaşık bir metre kapasiteli olanlar) için çok noktalı kontrol gereksinimleri, kısa aralıklı uzunluk algılayıcılarının kullanımı ile ekonomik olarak yerine getirilebilir. Bunlar, ölçü parçasının deneme düzenine yerleştirildiği gibi, ölçülecek yüzeye değme halindedirler.

Değerler kaydedilir, depolanır ve analiz edilir. İlgilenilen yüzeyin tüm kapsanması için parçanın döndürülmesi gerekli olabilir. Şekil 3.20. Böyle bir cihazın, bir dişli kutusu şaftının birçok uzunluk boyutlarının otomatik kontrolünde kullanılışını göstermektedir.

Eğer kontrol edilecek cismin ebadı büyük ise, çok örnek parçası kullanımı çok pahalı olabilir. Bu durumda seri işlemlerle tek bir numune parçası kullanılabilir. Noktadan noktaya hareketin manuel yöntemleri bazı uygulamalarda, yerini otomatik yüzey, çerçeve izleyen modeller ve istenen hareketleri yapmak üzere programlanan robotlara bırakmıştır. Şekil 3.21'e bakınız.

Elektroniklerin güvenilirliği, ekonomikliği, yeni sayısal değerler üretme kaydetme ve gösterme durumlarına uyabilen devrelere kolayca takılabilme özellikleri uzunluk değişkenlerin transdüktör ölçümlerini, elle yönetilen klasik ölçme makinalarına karşı kuvvetli rakip haline sokmuştur. Gene de çoğu zaman otomatik transdüktör yöntemleri ile yapılan uyumluk ölçümünün kalitesi hâlâ geniş oranda, algılayıcı sistemin mekanik yapısına, kullanıcının sıcaklık etkilerini değerlendirmesine, transdüktörün çalışmasına, hata kaynağı olabilecek tüm konuların gözönünde tutulmasına bağlıdır.

3.6. Kaynakça

- Batson, R.G. and Hyde, J.H. *Mechanical Testing; Vol. I. Testing of Materials of Construction*, Chapman and Hall, London, (1931).
- Garratt, J.D. 'Survey of displacement transducers below 50 mm., *J.Phys, E: Sci. Instrum*, 12, 563-574, (1979).
- Herceg, E.E. *Handbook of Measurement and Control*, Schaevitz Engineering, Pennsauken, (1976).
- Hume, K.J. *Engineering Metrology*, Macdonald, London, (1970).
- Kissam, P. *Optical Tooling for Preciste Manufacture and Alignment*, McGraw-Hill, New York, (1962).
- Mansfield, P.H. *Electrical Transducers for Industrial Measurement*, Butterworths, London, (1973).

- Neubert, K.K.P. *Instrument Transducers*, Clarendon, Oxford, 2nd ed. (1975).
- Norton, H.N. *Handbook of Transducers for Electronic Measuring Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1969).
- Oliver, F.J. *Practical Instrumentation Transducers*, Pitman, London, (1971).
- Rolt, R.H. *Gauges and Fine Measurements*, 2. vols, Macmillan, London, (1929).
- Sharp, K.W.B. *Practical Engineering Metrology*, Pitman, London, (1970).
- Sydenham, P.H. 'Linear and angular transducers for positional control in the decametre range', *Proc. IEE*, 115, 7, 1056-1066, (1968).
- Sydenham, P.H. 'Position sensitive photo cells and their application to static and dynamic dimensional metrology', *Optica Acta*, 16, 3, 377-389 (1969).
- Sydenham P.H. 'Review of geophysical Strain measurement'. *Bull., N.Z., Soc Earthquake Engng.*, 4,1, 2-14, (1971).
- Sydenham, P.H. 'Microdisplacement transducers', *J.Phys., E., Sci., Instrum.*, 5, 721-733, (1972).
- Sydenham, P.H. *Transducers in Measurement and Control*, Adam Hilger, Bristol; or ISA, research Triangle, (1984).
- Sydenham, P.H. 'The literature of instrument science and technology', *J. Phys. E.: Sci instrum.*, 15, 487-491, (1982a).
- Sydenham, P.H. *Handbook of Fundamentals of Measurement Systems Vol. 1 Theoretical Fundamentals*, Wiley, Chichester, (1982b).
- Sydenham, P.H. *Handbook of Measurement Science Vol. 2 Fundamentals of Practice*, Wiley, Chichester, (1983).
- Woltring, H.J. 'Single and dual-axis lateral photodetectors of rectangular shape', *IEEE TRANS ED*, 581-590, (1975).

4 UZAMA ORANININ ÖLÇÜMÜ

B.E. NOLTINGK

4.1 Uzama Oranı

Uzunluk ölçümünün bir özel hali, uzama oranının, bir başka deyimle kuvvetin etkisi altındaki katı cisilerin boyutlarında oluşan küçük değişimlerin belirtilmesidir. Bu gibi ölçmelerin önemi, bir yapının kullanım amacı için yeterli sağlamlıkta mı yoksa kullanıldığında yıkılacak mı, hususunun bilinme gereksinmesinden kaynaklanmaktadır.

Gerilim (birim alana düşen kuvvet) ve uzama oranı (boyutlarda oluşan küçük değişim) arasında genelde üç boyutu içeren ilişki, özellikle eğer ele alınan malzeme izotropik değilse, yani her yönde aynı özelliklere sahip değilse, karmaşık bir ilişkidir. Basit bir gerilim/uzama oranı kavramı, young elastikiyet modülünün belirtilmesi için kullanılır. Bu amaçla üniform bir çubuk boyuna gerdilir ve elastikiyet modülü çubuk kesiminin birim alanına düşen kuvvetin çubuk boyunda meydana gelen uzama oranına bölünmesi ile yani gerilim/uzama oranı olarak tanımlanır.

$$E = \frac{F}{A} + \frac{\Delta L}{L}$$

Boyuna uzama ile beraber enine bir büzülmede olur. Bu iki bölme arasındaki oran (enine büzülme/boyuna uzama) Poisson oranı olarak bilinir, μ ile belirtilir ve genelde 0.3 civarındadır.

Pozitif uzama oranı olarak adlandırılan boydaki uzamadan söz etmiş olmamızla beraber, aynı olay sıkıştırmada da oluşur. Burada da enine bir genişleme olur.

Diğer bir kavram kesme kavramıdır. Büyük bir bölümü sabit bir yere bağlanmış PQSS blokunu gözönünde bulunduralım. Şekil 4.1. Eğer ona şekilde görüldüğü gibi bir F kuvveti uygulayacak olursak, blok PQ, P'Q'ne gidecek şekilde eğilecektir. Burada da PP'/PT oranı veya PTP açısı ya da $\Delta\theta$ (ki bu da QUQ' açısına eşittir), kesme deformasyonu olup, rijitlik modülü kesme gerilimi/kesme deformasyonu oranı olarak tanımlanır.

Yani

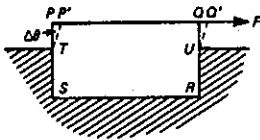
$$C = \frac{F}{A} + \Delta\theta$$

Burada A, PQx blok genişliği alanıdır. Uygulama koşullarında kesme deformasyonu genelde eğilme ile beraber oluşur. Niceliği ise young modülünün etkisi altındadır.

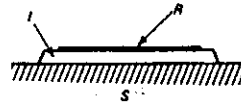
Bir cismin bütün noktalarında gerilim ve uzama oranı ile ilgili bazı genel merak var olmakla beraber, yüzeylerdeki uzama oranlarının ölçümüne özel ilgi duyulmaktadır. Burası klasik uzama tellerinin (strain guages) kolayca kullanıldığı ve onlarla elde edilen verilerin değerlendirilmesinde geniş bilgi birikiminin olduğu biricik yerdir. Bir yüzeyde ona dik uzama oranı hesaplanabilir. Çünkü yüzeyde gerilim sıfırdır (yüksek akışkan basıncının uygulandığı koşul hariç). Ama buna rağmen biz genelde yüzey düzlemindeki uzama oranlarının doğrultu ya da niceliklerini bilmeyiz ta ki, çeşitli doğrultularda üç boyutlu tam bir analize gereksinme duyulmasın.

4.2. Yapıştırılmış Direnç Uzama Telleri (Strengeler)

1940'ların başlangıcında yapıştırılmış uzama telleri devreye girmiş ve günümüze kadar uzama oranının ölçümü alanına hakim olmuşlardır. Çalışma ilkesi şekil 4.2 de görülebilir. Bir R direnci bir I yalıtkanına yapıştırılmış ve yalıtkan da uzama oranı ölçülecek S alt tabakasına tespit edilmiştir (alt tabaka deyimi, her zaman ve her yerde bu anlamda kullanılmaz; buraya kolay ve kısa olması için uyarlanmıştır). S gerdirilince boydaki uzama, eğer yapıştırma uygun ise, R'ye iletilir. Mekanik olarak yumuşak yalıtkan ile R arasında yeterli değme yüzeyi oluşturulmuş ise, yani I, R den her ikisinin kalınlığının birçok katı daha geniş ise, uzama oranının direnci eşit biçimde iletildiği görülebilir. İlgilenilen uzama oranları genelde çok küçüktürler. İlginin genelde yoğunlaştığı elastik bölgede uzama oranı yaklaşık olarak 10^{-3} 'ü geçmez. Çoğu metaller pek az bir yüzde ile uzadıklarında koparlar. Ama ilgi duyulan uzama oranı milyonda bir kaç düzeydedir. Eğer R de küçük bir direnç değişimi oluşturmak için böyle bir malzeme kullanılsa bile, hassas bir uzama oranı elde etmek amacı ile direncin hassas ölçülebilmesi avantajı kullanılabilir. Boyu l, kesit alanı A ve iletkenlik sabiti p olan bir iletkenin direnci;



Şekil 4.1 Kesme gerilmesi.

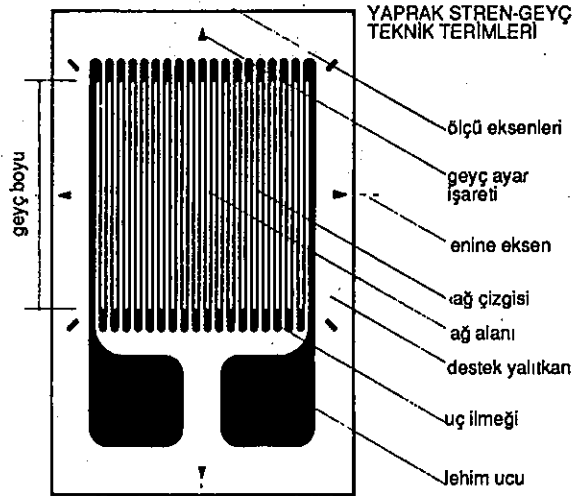
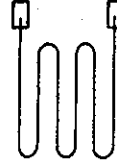


Şekil 4.2 Direnç-uzama teli ilkesi.

$R = \frac{\rho l}{A}$ dir. Eğer uzama oranı $\Delta l/l$ verilmiş ise, bunun neden olduğu direnç oranı değişimi

$\frac{\Delta R}{R} = \left(1 + 2\mu + \frac{1}{\rho} \frac{\Delta \rho}{\Delta l} \right) \frac{\Delta l}{l}$ dir. A alanında Poisson daralması olacağından iletkenin iletkenlik sabitinde de bir değişim olacaktır. $(\Delta R/R) / (\Delta l/l)$ oranına ölçü teli faktör (geyç faktörü) denir. Eğer iletkenlik sabitinde bir değişim olmasaydı ölçü teli faktörü $1+2\mu$ ' ye ya da çoğu metallerde 1.6 ya eşit olacaktı. Halbuki uygulamada bunun 2 ya da daha fazla olduğu görülmüştür. Bu ise ρ daki bir değişimin uzama teli duyarlılığını arttırdığını göstermektedir.

Gerilmeye duyarlı olarak genelde nikel alaşımı iletkenler kullanılmaktadır. Burada belirtmeye değer alaşımlar Nichrome (Nikel-krom) ve Constan-



Şekil 4.4 Yaprak geyç biçimi.
Micro-Measurement Division, Measurements Group Inc. izniyle

tan (bakır-nikel) dır. Destek yalıtkanlar olarak kağıt, vernikler ve polyimide fi-
limleri gibi maddeler kullanılır.

Uzama telleri piyasada duyarlı gereçler olarak, paketler halinde
satılırlar. Bir paket içerisindeki üniteler hemen hemen aynı özelliklere sahip
olup, ölçü teli faktörü paketler üzerinde belirtilmiştir.

4.2.1 Tel Geyçler

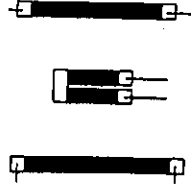
Dirençler, eğer sayısal değerleri çok küçük değilse doğru olarak daha
kolay ölçülürler. Bu durum aktif ölçü tellerine seri bağlanan iletkenlerin di-
renç etkilerinden kaynaklanan karışıklıklardan kaçınmaya da yardım eder.
Diğer taraftan geyç çok büyük de olmamalıdır ki herhangi bir noktada uzama
oranı etkin olarak ölçülebilsin. Uzama oranlarının ölçülerek inceleneceği yerel
bölgeler bazen bir santimetre ya da belki de sadece birkaç milimetre boyutun-
da olabilir. Bu düşüncelerin her ikisi de çok ince tel kullanımını gerektirmek-
tedir. Bu nedenle 15-30 mikrometre çaplı teller kullanılır. Etkin tel boyu, şekil
4.3 de görüldüğü gibi birçok elemanın yan yana seri olarak kullanımı ile
arttırılabilir. Tellerin uçları, iletkenlerin bağlanabilmesi için genişletilmiştir.

4.2.2 Yaprak Geyçler

Tel kullanımına karşın bir diğer seçenek ince folyolardan, tipik olarak 4
mikrometre kalınlığında, kimyasal aşındırma yöntemi ile iletkenler üretmek-
tir. Şekil 4.4 tipik bir geyci göstermektedir. Yaprak geyçlerin şu avantajları
vardır: yassı oluşları yapıştırmayı kolaylaştırmakta, ısıнын uzaklaştırılması
daha hızlı olmaktadır. Ayrıca daha çok şekil seçme olanağı sağlamakta ve
çıkış tellerinin bağlanacağı lehim uçları gerilmeye hassas iletkenlerle tek par-
ça halinde imal edilmektedir. Bu nedenlerle de tel geyçlere oranla çok daha
yaygın kullanılmaktadırlar.

4.2.3 Yarı İletken Geyçler

Bir diğer stren geyç çeşidi, genelde silikon olmak üzere yarı iletken ge-
reçler kullanır. Direngenliğin daha yüksek olması nedeniyle, duyarlı eleman
daha kısa, daha geniş ve daha basit olabilir; şekil 4.5. Yarı iletken stren geyçle-
rin en büyük avantajı, direngenliklerinin gerilmelere çok duyarlı olabilmeler-
i ve geyç faktörlerinin basit metallerinkinden çok daha fazla (tipik olarak
50 kat) olmasına olarak sağlamasıdır. Ancak, bunlar ısıya daha duyarlıdır ve
az doğrusaldır. Yapı elemanları ile bir bütün halinde imal edilebilir ve bu
şekilde basınç ölçümleri için kullanılabilirler (kısım 9'a bak).



Şekil 4.5 Yarı iletken geyç örnekleri.
Kulite Semiconductor Products Inc. izniyle

4.2.4 Rozetler

Daha önce belirttiğimiz gibi uzama oranının tam analizi birden fazla doğrultudaki ölçümleri kapsar. Gerçekte bir yüzeyde üç ölçüme gereksinme vardır. Çünkü uzama oranını, çaplarının doğrultu ve niceliklerinin saptanması gereken bir ekip gibi göstermek olasıdır. Uzama oranı ölçümleri için seçilecek doğrultular, genelde birbirleriyle 120° ya da 45° ve 90° lik açı yapar.

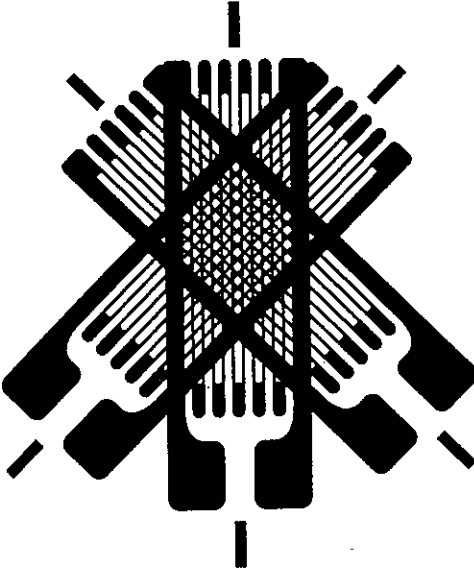
Eğer büyük bir yapı ile ilgilenir isek, uzama oranının bir yüzey üzerinde pek az fark edeceği beklenebilir. Bu nedenle birbirine çok yakın yerleştirilen üç adet bireysel geyç'in aynı noktayı gösterdikleri düşünülebilir. Eğer kullanılacak yer küçük ise, üç geyç'in bir ünite şeklinde imal edilmiş biçimi tercih edilir. Böylece en azından yerleştirme kolaylaşır. Böyle bir üniteye rozet denir. Üç ayrı ünite, ya birbirine çok yakın bir düzlem içinde ya da gerçekte birinin tepesine yığılmış olabilir (şekil 4.6).

4.2.5 Kalıcı Gerilimin Ölçümü

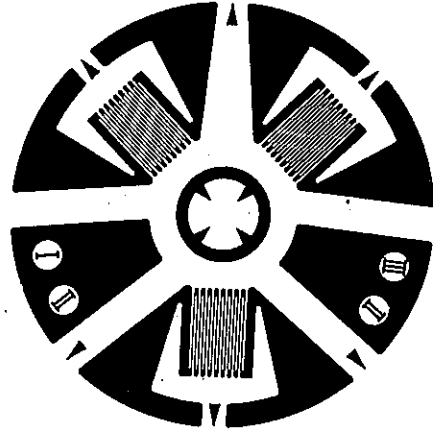
Stren geycin yüzeye yapıştırıldığı zaman yüzeyin durumu kuşkusuz uzama yönünden sıfır kabul edilecek ve bundan sonraki ölçmeler buna göre değerlendirilecektir. Geyç esas olarak azar azar uygulanan kuvvetle beraber azar azar artan uzama oranlarını ölçer. Çoğu gerilim hesaplama ve malzeme ömrünü tahmin etmek için bu yapılacak en önemli şeydir.

Bununla beraber imalat esnasında ve bir geycin yapıştırılmasından önce, bazı belirli bölgelerinde gerilim hapsedilmiş olabilir ve bunların bilinmesi arzu edilebilir. Bu gereci tahrip etmeden herhangi bir doğrulukta yerine getirilemez. Ancak gereçten kasten bir miktar malzeme çıkartırsak komşu bölgelerde oluşan uzama oranı değişimi bize şu anda parçadan uzaklaştırılan malzemeye önceden hangi kuvvetlerin uygulanmış olduğunu bildirebilir. Bir yöntem küçük bir ilgi alanını stren geyçle donatmak ve bu bölgeyi oyarak ana elemandan ayırdıktan sonra stren geyç değerlerindeki değişimleri not et-

mektir. Bir diğer işlem ise stren geyç düzeninin ortasında basit bir delik açmak ve stren geyçleri ana parça üzerinde yapışık bırakmaktır. Bu esnada okunan değer değişimi bize nasıl bir kalıcı gerilimin var olduğunu gösterir. Bu amaca uygun bir stren-geyç düzeni şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Geyçler rozeti (Micro-Measurements Division Measurement Group Inc. izniyle).



Şekil 4.7 Kalıcı gerilimi ölçmek için geyçlerin tanzimi. (Micro-Measurements Division Measurements Group Inc. izniyle).

4.3 Geyç Özellikleri

Geyç faktörünü tartışmıştık. Bu direncin uzama oranının ölçülmesinde kullanımını sağlamaktadır. Stren-geyçlerin diğer özellikleri başarılı cihazlandırmada önemli oluşturlardır. Özel bir geycin özellikleri hakkında bilgiler, imalatçı firmalardan temin edilebilir.

4.3.1 Ölçüm Aralığı

Stren-geyçlerin imal edildiği gereçlerin çoğunda onda birkaç düzeyinden daha fazla gerilmeleri ve hala doğrusallıklarını muhafaza etmeleri beklenmemelidir. Genelde kalıcı tahribat oluşmadan önce doğrusallık bozulur. Metaller kullanılabilecekleri gerdirme aralığı yönünden değişim gösterirler. Yarı iletkenlerde bu aralık oldukça kısadır. Ama bunların sınırlanmış aralığı, stren geyç kullanımındaki görünür teorik sınırlamadır, gerçekte metaller ve diğer sert yapı malzemeler için çoğu ortak ilgi alanına cevap verebilirler. Stren-geyçler genelde lastikler üzerinde kullanılmaya uygun değildir.

4.3.2 Çapraz Duyarlılık

Şu ana kadar stren geyçleri iletkenlerinin uzunlukları doğrultusundaki orantılı uzama ile ilişkili olarak tartıştık. Bu ölçülmesi istenen uzama oranıdır. Ancak sahife 66'da izah edildiği gibi genelde alt tabakalarda buna dikey doğrultuda da bazı orantılı uzamalar vardır ve geyçler buna da belli derecede reaksiyon göstermekle yükümlüdür. Çünkü iletken yolunun bir kısmı bu doğrultuda olabilir; ayrıca direngenliğin uzama oranı ile değişimi karmaşık bir olaydır. Geycin çapraz duyarlılığı nadiren direkt duyarlılığının yüzde birkaç düzeyinde olabilir. Folyo geyçlerde ise bu oran son derece küçüktür. Ama buna rağmen çok hassas işlerde bu oranlar bile göz önünde tutulmalıdır.

4.3.3 Sıcaklık Duyarlılığı

Çoğu malzemelerde olduğu gibi, stren-geyçin direnci de sıcaklıkla değişim gösterir. Bu etkinin niceliği ölçülen uzama oranının değişimi ile karşılaştırılabilir. Ancak bir dizi stren geyç teknolojisi, sonuçların bu yolla bozulmamasını garanti etmek için geliştirilmiştir.

Bir çok etkinin hesaba katılması gereklidir. Gerilim altında olmayan bir iletkenin sıcaklıkla sadece direnci değişmez. Aynı zamanda geyç gerecinin ve geycin tespit edildiği alt tabakanın genleşme katsayıları da etkilenir. Bunun anlamı şudur: ölçülmesi istenen gerilimlerden ötürü oluşan boyut değişiminden başka, sıcaklığın değişmesi de boyut değişimine neden olur.

Bu hataların giderilmesi özel dengeleme ile giderilebilir. Geyç direnci genel olarak bir köprü devresinde ölçülür (sahife 71'e bak) ve eğer komşu köprü kollarından birisine aynı gereçten imal edilmiş, yük altında olmayan fakat ölçülen bölgenin sıcaklığını izleyen benzer bir stren geyç takılmış ise sıcaklıktan ötürü oluşan değişimler her iki geyçtede aynı olacaklarından dolayı birbirlerini dengeleyecek ve çıktı sıcaklıktan etkilenmeyecektir.

Kendi kendine sıcaklık etkisini yok edici geyçler imal edilmektedir. Bunlarda iletken gereç termik işlemli olup, sıcaklıktan dolayı oluşan direnç değişimi, yine sıcaklığın neden olduğu genleşme tarafından dengelenmektedir. Alt tabakanın genleşme katsayısının önemli etkisi olduğundan dolayı bu geyçler özel malzemeler üzerinde kullanılmak içindirler. Genel olarak uyan malzemeler ferritik çelik (genleşme katsayısı $11 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), östenit çeliği ($16 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) ve alüminyum ($23 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) dir.

4.3.4 Tepki Zamanları

Uygulamada stren geyçlerin devreye sokulan uzamaları izlemek için yeterli çabuklukta tepki gösterdiği pek az araştırma alanı vardır. Kullanışlılık için en üst sınır, gerilim dalgalarının alt tabakanın içinden geçmesi için geçen sınırlı zaman tarafından belirlenir. Bu demektir ki, bir stren geycin çeşitli kısımları yüksek frekanslı gerilim çevriminin farklı fazlarını ölçüyor olabilirlerdi. Fakat 5000 m/s düzeyindeki gerilim dalga hızları (metaller içinde) ile 10 mm'lik bir geycin 10-20 kHz'e varan noktasal ölçüm frekansları verebileceği düşünülebilir. Kuşkusuz kullanılan ölçme devresinin yüksek frekanslı sinyalleri kullanma yeteneğinde olması gereklidir. Stren geyçlerin esasen tespit edildikleri andan itibaren oluşan uzama oranı değişimleri ölçtükleri akılda tutulmalıdır. Bunlar, mutlak değerler vermez.

Bazı özel problemler fevkalade yavaş değişen uzama oranları gösterirler. Eğer bir stren geyç yeniden tekrar sıfıra getirip kontrol edilme olanağı olmadan aylar hatta yıllar süren periyotlarda kullanılacaksa sıfırda oluşacak bir sapma hataları devreye sokacaktır. Buna birçok değişkenler yardım edebilir: yapıştırıcıda ya da iletkendeki sünme, pas veya diğer yapısal değişimler. Sapmanın üstesinden gelmek tesisatın niteliğine bağlıdır. Tesisatın yüksek standartta yapılması, oda sıcaklığında kullanılan geyçlerin sıfır sabitlerini, aylar süren bir periyotta oluşan yaklaşık 10^{-6} lık bir uzama oranında korumaları şarttır. Yüksek sıcaklıklarda durum başkadır: Seramik yapıştırıcılar kullanan geyçler 500/600°C 'a kadar zorluklarla kullanılabilirler. Ancak yüksek sıcaklıktaki işlemler bir ihtisas konusudur.

4.4 Donanım

Stren geyçler bazen tasarım aşamasındaki bazı ölçü cihazları içinde kullanılırlar. En çok da prototip yapılarda gerilim dağılımı araştırma için kullanılırlar. Her iki durumda da, stren geyçlerin doğru takılmasına ve donanımın diğer detayına son derece yakın dikkat sarfetmek en önemli husustur. Tüm işlemler küçük bir ünitenin bir yüzeye güvenilir biçimde yapıştırılmasına bağlıdır. Ölçümde kullanılmış olacak çok küçük direnç

değişimlerini, bunlara seri ya da paralel eklenebilecek parazit dirençlerden korumak son derece önemlidir. Yani kısa devre ve kaçaklardan korumak gereklidir.

Kuşkusuz geycin çoğu kez en iyi olarak bantla belirlenen doğru yere takıldığından emin olmak önemlidir. Şu husus belirtilmelidir ki, geyçler oldukça küçük yarıçaplı silindirik yüzeylere de yapıştırılabilirler. Ancak çift eğimli yüzeylere yapıştırmak oldukça güçtür. Sıcaklık etkilerinin yok edilmesi için bir diğer geycin kullanımından söz etmiştik. Böyle bir kuklanın devreye sokulması düşünülüp sonuç alınmalıdır. Bu amaçla aktif bir diğer geyç kullanılabilir. Ancak bu geycin yerleştirileceği yerde uzama oranı esas noktadakinin nicelikçe aynı fakat işaretçe ters olması gereklidir. Yani bir eğilme kırışının karşılıklı iki yüzü seçilebilir. Böylece sıcaklık etkileri ortadan kaldırırken sinyalin şiddeti iki kat artırılmış olur.

Geycin yapıştırılacağı yüzey tamamen temizlenmiş olmak zorundadır. Muhtemelen en iyi yol önce yüzeyi kazımak, silmek ve sonrada kimyasal maddeler yardımı ile yağlardan arındırmaktır. Genelde kullanılan yapıştırıcılar 100°C'a kadar selilöznitrat; 200°C'a kadar tutkal ve bu sıcaklıkların üstünde özel yöntemlerin kullanılacağı yerlerde seramiklerdir.

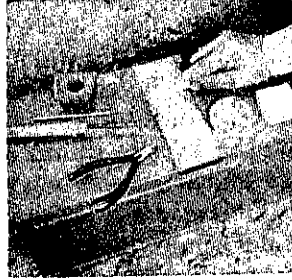
Geyç imalatçıları, kendi ürünler için kullanılacak özel bir yapıştırıcı belirtebilirler. Geyç, yerine yapıştırıldıktan sonra iletkenler yerlerine tespit edilir ve geyç uçlarına eklenirler (lehim ya da nokta kaynağı ile). İletkenlerin oluşabilecek titreşimlere karşı koyabilmeleri için güvenilir biçimde montajı son derece önemlidir. Uygulamada geyçlerden çok bu iletkenlerde oluşan kopmalara rastlanmaktadır.

Donanım koruyucu bir ortamda olmadığı hallerde, vaks, lastik ya da bu tip bazı maddelerle örtülerek korunmak zorundadır. Burada en önemli amaç nemin uzaklaştırılmasıdır. Nem paslanmaya ve de tehlikeli bir elektrik kaçağına neden olabilir. Şu husus akılda tutulmalıdır ki, 10^8 ohm 350 ohm geyç ile paralel bağlanmıştır. Bu ise bir milyonda yaklaşık 3'lük bir indirgemeyi gösterir. Böyle bir paralellik, devre koşullarına bağlı olarak, kutuplar arasında ya da topraklamada kaçaklara neden olabilir. Bu ise uzama oranında 2×10^{-6} 'lık bir yanlış çıktı verebilir.

Montaja ait değişik basamaklar şekil 4.8'de gösterilmiştir.



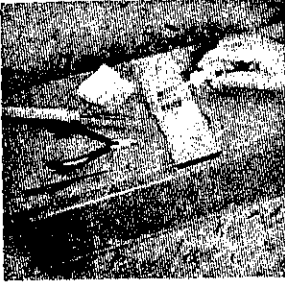
1. uygulama yüzeyi pürüzlerinin giderilmesi



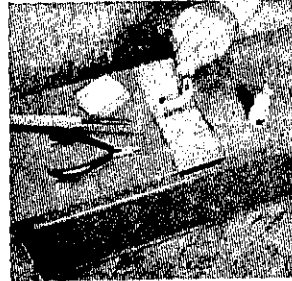
2. yüzeyin temizlenmesi



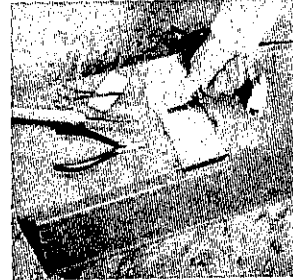
3. bandın yardımı ile geyç'in yerleştirilmesi



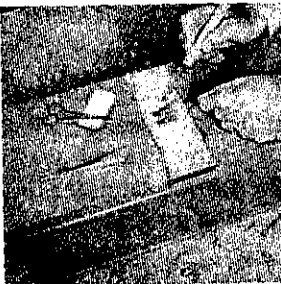
4. yapıştırıcının uygulanması



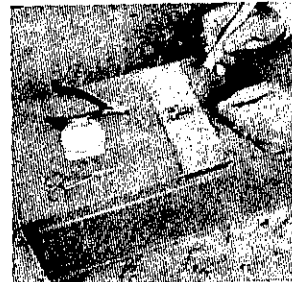
5. yapıştırıcının yayılması



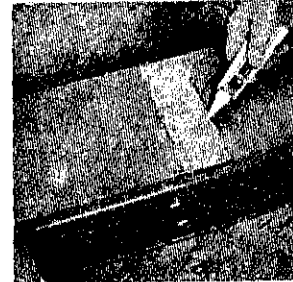
6. streo geyç'in bastırılması



7. geyç uclarının telihiilmesi



8. kabloları telihiilmesi ve tespit



9. destek noktasının düzeltilmesi

Şekil 4.8 Geyç montaj basamakları, HBM izniyle.

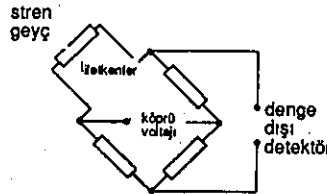
4.5 Stren Geyçler İçin Devreler

Küçük direnç değişimlerini ölçmek için stren geyç genelde bir Wheats-tone köprüsüne bağlanır. Bu d.c. enerjisi ile beslenebilir. Ancak kilohertz düzeyindeki frekanslarda a.c. kullanımı daha yaygındır.

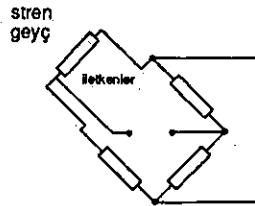
Bileşim noktalarındaki farklı metallerin oluşturduğu termokupl etkisinden kaynaklanabilecek hatadan yok etmesi yönünden a.c. kullanımı avantajlıdır.

Geyçler ölçüme sistemine ait diğer ilgili elemanlardan genelde belli uzaklıkta monte edildiklerinden aradaki iletkenlerin hata kaynağı olmasına özel dikkat gereklidir. Basit bir geyç tanziminde (şekil 4.9) iki iletken aktif geyç ile doğrudan seri bağlanmış olup, direnç teli herhangi bir değişim, örneğin sıcaklıktan ötürü oluşan değişim, uzama oranından oluşundan ayırt edilemeyecektir. Bunun üstesinden gelmek geyce giden üç iletken kullanmakla olasıdır (şekil 4.10). Bunlardan biri diğer yakındaki iki iletkenle seri bağlı olup, bir kablodaki değişimler diğerinde de üretilerek dengeleme oluştururlar. Güç kaynağına giden üçüncü iletken kritik değildir. Bunlara çeyrek köprü düzeneği denir.

Bazen de yarı köprü düzeneği kullanılır (şekil 4.11). Bu sahife 69'da belirtildiği gibi, iki stren geycin her ikisinin ölçümde kullanıldığı durumdur.

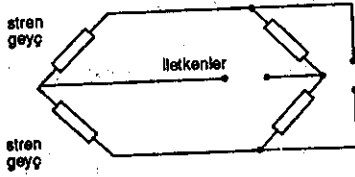


Şekil 4.9 Basit bir köprü devresi.

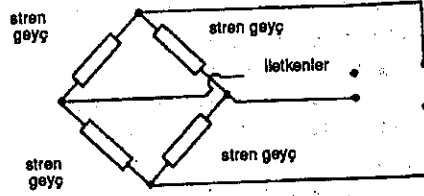


Şekil 4.10 Üç uzun iletkenli çeyrek köprü devresi.

Üçüncü olarak, ölçülen bölgesindeki dört stren geycin her birinin köprü kollarında yer aldığı tam köprü durumudur (Şekil 4.12). Geyçleri güç kaynağına ve denge dışı dedektöre bağlayan dört uzun iletken kullanılır. Bunların dirençleri kritik olmadığı gibi değişimlerinin de eşit olmasından güvence altına alınmasına bile gerek yoktur. Çoğu köprü devreleri gibi güç kaynağı ile dedektör kendi aralarında yer değiştirebilirler. Güç kaynağını "Köprü voltajı"



Şekil 4.11 Yarı köprü devresi.



Şekil 4.12 Tam köprü devresi.

olarak tanımladık ve bu deyimle beslemenin sabit gerilimle olduğunu kastettik. Buna seçenek olarak sabit akımda alınabilir ki, bu sonuncusunun doğruluk için avantajı da vardır.

Köprüler, kollarındaki seri ya da paralel elemanlarının ince ayarlamaları yoluyla bileşenlerin toleranslarını üzerine almak için dengelenebilir. Genellikle detektörün bir parçasını oluşturan yükseltici içerisinde yapılabilecek sıfır ayarlaması yerine, stren geyçlerden birinin yüksek direncinin değişimini belli bir uzama oranını taklit etmek için kullanmak ve böylece ölçüm sisteminin devre tarafını ayarlamak olasıdır.

Stren geyç köprüsüne uygulanan voltaj ya da akım büyüdükçe duyarlılık artacaktır. Uygulamada sınırlama geyçte oluşan kendi kendine ısınma tarafından belirlenir. Eğer bir geyç onu taşıyan alt tabakadan önemli ölçüde daha sıcak ise sıcaklık hataları devreye girer. Bir başka geyçteki benzeri etkilerle bunu ortadan kaldırmak güvenli değildir. Çünkü soğutma iki durumda benzerlik göstermemektedir. Kendi kendine ısınma, sistemin detayı ile çok

değişim gösterir. Ancak, metal taşıyıcılarla genellikle, geyç alanının milimetre karesi başına bir miliwatın altındaki ısınmalar ihmal edilebilir.

Bir stren geyç ile ilgili ana devreleri tartıştık. Denemeler ise genellikle birçok geycin kullanımı ile mevcuttur. Bu cihazlarla yüksek hızlı bir dizgi dinamik uzama oranı ölçümelerini gözden geçirmek ya da aynı anda kaydetmek mümkündür.

4.6 Titreyen Tel Stren Geyci

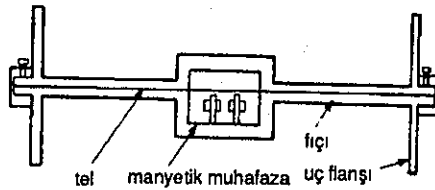
Her ne kadar yapıştırılmış direnç stren geyçleri en yaygın uygulamaya sahip tipler ise de, bir ya da iki diğer ilke belirli koşullarda kullanılmışlardır. Bunlardan biri titreyen tel stren geycidir.

Eğer bir tele çekme kuvveti uygulanırsa bunun doğal titreşim frekansı (birinci mertebede),

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

dir. Burada l telin boyu, T çekme kuvveti, m birim boyun kütlesidir.

Telin tespit noktaları uzama oranı değişimleri ölçülecek malzemeye bağlanabilir. Bu malzeme gerdirildiğinde, l değişir ve daha açık olarak Hook yasasına göre T değişir. Bundan sonra uzama oranı, doğal frekansın izlenmesi ile belirtilebilir. Eğer tel manyetik ise ve onu çekmek üzere yakınına bir sele-noid yerleştirilirse bu iş kolayca yapılabilir. Tel çapı tipik olarak 0,25 mm ve çalışma frekansı 1 kHz'dir. En çok kullanılan devre tanzimi, teli bir akım vuru-mu ile tahrik etmek, sönümlü titreşimin meydana gelen frekansını ölçmektir. Tipik bir cihazın şeması şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13 Titreyen tel stren geyci, Strainstall Ltd. izniyle.

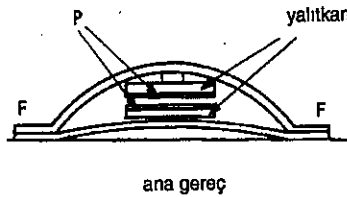
Titreyen tel geyci oluşturan parçalar, yapıştırılan direnç geyçlerinkinden çok daha büyüktür (tipik olarak 100 mm boyunda) titreşim telini gerdirmek için büyük bir kuvvete gereksinime olduğundan geycin montajını iyi planlamak gereklidir.

Gerçekte bu tür geyçlerin en yaygın uygulama alanı betonun iç uzama oranlarının ölçümü olmuştur. Beton dökülürken geycin beton içine yerleştirilmesi esnasında iletken uçları beton içinden uygun yere alınarak bağlantı emniyeti ve kolaylığı sağlanır. Malzemenin homojenliğinin kötü olması nedeniyle ortalama değerler elde etmek için geyç boyunun uzun olması arzulanır. Titreyen tel stren geyç elemanlarının boyutları seçilirken etkin elastikiyet modülünü, betonunki ile aynı yapmak mümkündür. Böylece stren geycin gömülmesi ile beton içerisindeki gerilim dağılımında herhangi bir değişim olmayacaktır. Bu sistemle yüzde 0.5 lik bir uzama oranı ölçüm aralığı elde edilebilir.

Titreyen tel stren geyçlerinin son derece kararlı ve bozulmaz oldukları saptanmıştır. Titreşen telde olması beklenebilen akmanın giderilmesi için tellere gömülmeden önce ön gerdirme uygulanabilir. Dikkatli bir montaj ve oda sıcaklığında kullanım ile aylar boyu oluşan sapma 10^{-6} 'dan daha küçük uzama oranına uygun gelebilir.

4.7 Kapasitif Stren Geyçler

Bir yüzeye tespit edilmek üzere bir alet yapmak mümkündür; şöyle ki, yüzey gerdirilecek olursa üzerine tespit edilen elemanın elektriki kapasitesi (direnci yerine) değişsin. (Şekil 4.14). Böyle bir cihazın ilke diyagramını göstermektedir. Ayaklar bir birine yaklaşacak biçimde hareket ettirilecek olursa kemer haline getirilmiş çubuğun eğriliği ve kapasite plakaları Parasındaki boşluk değişecektir. Yapısının daha karmaşık olması bu cihazı, basit yapıştırmalı, direnç stren geyçlere oranla çok daha pahalı yapmaktadır. Dolayısıyla bunların tek özelliği olan, yüksek sıcaklıkta (600°C 'a kadar) düşük sapmaları, çok önemli olması hali hariç pek kullanım alanı bulamazlar. Genel-



Şekil 4.14 Kapasitif Stren geyç. G.V. Planar Ltd. izniyle.

de metalik yüzeylere nokta kaynağı ile tespit edilirler. Her ne kadar kapasite sadece yaklaşık bir pikofarad ise de uygun bir köprü devresi kullanarak bu değer hassas ölçülebilir. Çünkü her iki plakada toprağa karşı aktiftir ve kabloların kapasiteleri önemli ölçüde gözardı edilebilir.

4.8 Bütün Yüzeylerin İncelenmeleri

Stren geyç sadece küçük bir bölgede neler olduğu hakkında bilgi verir. Halbuki, bazen geniş bir alanın incelenmesi istenir.



Şekil 4.15 Bir deney parçası üzerine uygulanmış gevrek vernik, Photolastic Division Measurements Group Inc. izniyle.

4.8.1 Gevrek Vernikler

Geniş alanların incelenmesi için bir yol, gevrek vernikler kullanılması ise de bu yöntem, stren geyçlere oranla çok daha az doğrulukta olup, uzama oranları yüksek olmadıkça hiç çalışmaz. Bu yöntemin en belirgin değeri daha hassas ölçmeler yapmak için strengelerin nerelere yerleştirilmesi gerektiğini belirlemede yardımcı olmasıdır.

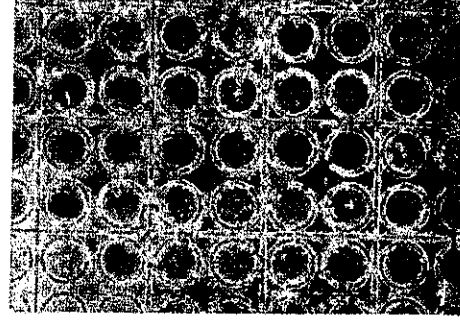
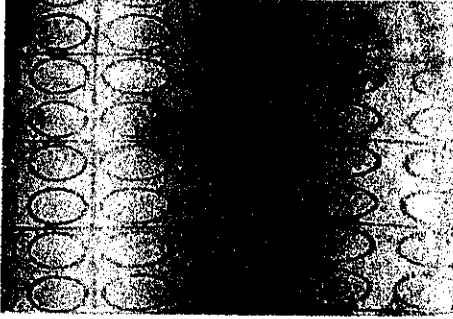
İncelenecek yüzeye özel bir vernik tabakası dikkatli ve kesintisiz olarak uygulanır. Vernik kontrol altında tutulan koşullarda gevrek bir hal alıncaya kadar kurutulur. Böylece eğer bu bölge belirli bir değere kadar gerdirilirse gevrek vernik çatlar. Bundan başka, yüzey gerilmesi arttıkça çatlaklar bir birlerine yaklaşır. En iyisi bir ölçü mastarının da (ölçü çubuğu) aynı şekilde ve aynı zamanda da vernikle kaplanmasıdır. Bu mastarı eğdiğiniz zaman mastar boyunca bilinen uzama oranlarına ait izler elde edilecektir. Bundan sonra deneme yüzeyi üzerinde izlenen çatlama modeli ile mastar üzerindeki karşılaştırılabilir.

Bu yöntemle, bir yapı yüzeyinde en yüksek gerilimlerin bulunduğu kritik noktalar çabucak tespit edilebilir ve yüzde 0.05 den 0.2 ye kadar olan uzama oranları, yaklaşık yüzde ± 25 doğrulukta belirlenebilir. Çatlaklar maksimum asal gerilmelere dikey doğrultuda oluştuktan, bu yöntemin önemli bir diğer avantajı da tüm yüzeylerinde asal gerilimlerin yönünü göstermesidir. Şekil 4.15 gözlenebilecek çatlama deseni çizitlerini göstermektedir.

4.8.2 Yüzeylerde Desenler

Büyük uzama oranları, yüzeye basitçe desenler çizmek ve bunların nasıl değiştiklerine dikkat etmekle belirtilebilirler. Şekil 4.16 böyle bir denemede izlenmiş şekil değişimlerini göstermektedir.

Daha küçük uzama oranları için duyarlılık, iplik saçağı yöntemi kullanarak iyileştirilebilir. Eğer ince bir ızgaraya, kendine benzer ama aynı olmayan bir diğer ızgara içinden bakılırsa karanlık ve aydınlık bölgeler-iplik saçağı olarak adlandırılır- birbirlerini izleyeceklerdir. Koyu bölgeler, ızgaralarından birini aralığından sızan ışığın diğer ızgara tarafından kapatıldığı yere; açık bölgeler ise her iki ızgara boşluklarının üst üste geldiği yere denk gelecektir. ızgaralar arasındaki küçük fark elemanlarının yerleştirilmesi ya da ayrılmasından birisi olabilir. Örneğin eğer ızgaralardan biri bir santimetrede 1000 çizgiye ve komşusu 1001 çizgiye sahip ise, her bir santimetrede bir koyu saçak ve aralarında açık saçaklar olacaktır. Şimdi diyelim ki, 1000 çizgili ızgara bir yüzey üzerinde kimyasal dağlanmış ve diğeri tam onun üstüne yerleştirilmiştir. Bu durumda yüzeyde 10^{-3} lük bir uzama oranı birinci ızgarayı 1001'lik ızgara biçimine dönüştürecektir. bu demektir ki iplik saçakları (bu du



Şekil 4.16 Büyük bir gerdirme etkisiyle desende oluşan çarpılma, South Australien İns. of. Thech, izniyle.

rumda yüzeyden yansıtılan ışıktadır (görülür) her santimetrede görülürler. Gerdirme arttıkça saçaklar birbirine daha çok yaklaşırlar.

Orijinal ızgara hatlarına paralel görülen saçaklar, bir ızgaranın diğerine bağlı uzama oranının doğrudan bir ölçüsü olacaktır. Orijinal ızgara hatlarına dikey görülen saçaklar, bir ızgaranın diğerine bağlı dönmesini tanımlayacaktır. Genelde saçaklarla orijinal ızgara hatları arasında bir açı olacaktır. Dolayısıyla bir çift ızgara uzama oranının normal ve kesme bileşenlerini verecektir. İki çift ızgara, yani bir kafes ya da ağ, iki doğrudan uzama oranı ve buna bağlı kayma uzama oranı verir. Böylece yüzeye ait tüm uzama oranının belirtilmesine olanak sağlar.

4.9 Foto-Elastiklik

Uzun yıllardan beri foto elastiklik olayı çeşitli biçimlerdeki cisimlerin içinde, gerilim dağılımının deneysel araştırılmalarında kullanılmıştır. Burada kullanılan etki bazı malzemelerde oluşan ve gerilime bağlı ışık tayfı oluşturma özelliği (birefringence)dir.

Işık esas itibariyle değişik yönlerde polarlanmış bileşenlerden oluşmuştur. Eğer bir malzemenin içinde bu bileşenlerin hızları farklı ise buna birefringence malzeme denir. Bu birefringence gerilim altında artar (genelde gerilim altında olmayan malzemede sıfırdan başlayarak gerilimler artar). Bu etki başlangıçta camda keşfedilmiş; günümüzde en fazla sentetik malzeme özellikle vernikler kullanılmaktadır.

Uygulamada denenecek bir yapı elemanının modeli foto elastik malzemedan imal edilir. Bu model bir polariskopa şekil 4.17 deki gibi yerleştirilir ve orijinal parçanın yükleneceği biçimde yüklenir. Işık tayfındaki bileşenlerin polarlanma ile tekrar iki asal gerilime paralel birleştirilmesi ile saçaklar üretilir. Bunların durum ve sayıları model içerisindeki uzama oranı hakkında bilgi verir. Birincisi mertekeden saçaklar, bileşenler arasında 360° lik faz farkı varsa oluşur; n. inciler ise bu fark $360n^\circ$ olduğunda ortaya çıkar.

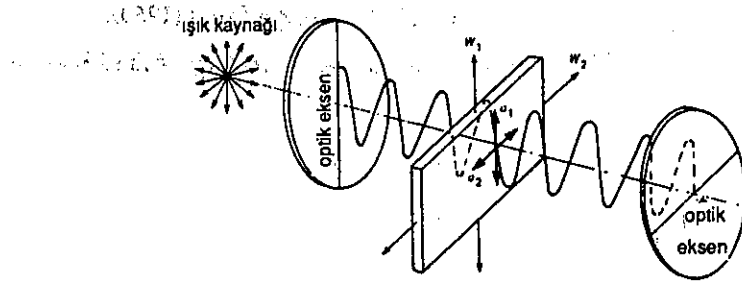
Stren geyçler için tartışıldığı gibi asal gerilmelerin doğrultu ve niceliğinin her ikisi de gerilim analizine girer ve bu durumu karmaşıktırır. Doğrultuları bulmak için şekil 4.18'de belirtilere benzer bir polariskop kul-



Şekil 4.17 Polariskop kullanım halinde,
Sharples Strees Engineering Ltd. izniyle.

lanılabilir; eğer polarlayıcının eksenini ile analiz cihazının eksenini birbirine dik ve asal gerilimlere paralel iseler herhangi bir girişim olmayacak, yük ne olursa olsun tanı bir siyah nokta oluşacaktır. Böylece "isoclinics" asal gerilmelerle aynı yöne sahip noktaların geometrik yeri (Loci of points) oluşturulabilir.

Örneğin, eğer yüklenmiş çentikli bir kirişin iki boyutlu modeli, böyle bir çaprazlanmış polariskopta incelenecek olsa idi, iki tip saçak izlenmiş olacaktı: Birisi siyah saçak, isoclinic, asal gerilim yönlerinin polarizasyon eksenlerine paralel oldukları noktaları birleştiren çizgi ve diğeri renkli saçak "isochromatics" (eş renkli=eş frekanslı) asal gerilimleri arasındaki farkları eşit olan noktaları birleştiren çizgi. Birinci mertebeden isochromatic, model üzerinde, asal gerilimin belirli bir P-Q değerinde olduğu bütün noktalardan geçer. Burada P ve Q asal gerilimleri ifade ederler. Aynı şekilde m inci mertebeden izokromatik, gerilimin bu değerin n katı olduğu bütün noktalardan geçer.



Şekil 4.18 Asal gerilmelerin yönünü tanımlamak için bir polariskop kullanımı, Sharples Stress Engineers Ltd. izniyle.

Basit çekme ayar şeritleri kullanarak, her saçak mertebesine uyan değerin belirtilmesi olasıdır. Modelin yüklenmemiş sınırlarına dikey gerilim sıfır olduğundan, yani $Q=0$ tüm yüklenmemiş sınır boyu gerilimin belirtilmesi nispeten basit bir konudur. Modelin iç kısmındaki gerilimlerin kaynağı belirtilmesi de mümkündür ancak karmaşık gerilim dağılımı ister.

Normal olarak tek frekanslı bir ışık kaynağı kullanılır. Ancak beyaz ışığın şu avantajı vardır: birinci mertebeden saçaklar daha yüksek mertebeli-lerden kolayca ayırt edilebilirler.

Modelin içinden geçen tüm ışın yolu boyunca birefringence iki optik bileşen arasındaki faz farkına katkıda bulunacaktır. Bu nedenle ölçülen etki yol boyu gerilimlerin bir toplamı olacaktır. Bu demektir ki, foto elastiklikte saçak örnekleri en kolay olarak ince ya da etkin iki boyutlu modellerde yorumlana-

bilir. Üç boyutlu incelemeler için bir yöntem vardır. Bu bir modeli birefringence dışı tavlama yeterli yükseklikte bir fırında yüklemektir. Daha sonra model yüklü olarak yavaş yavaş oda sıcaklığına kadar soğutulur ve oda sıcaklığında yük kaldırılır. Böylece birefringence yüksüz modelin içinde kilitlenmiş olur. Bundan sonra model dikkatlice dilimlenerek, her dilim bir polariskopta incelenecek olursa bu belirli bölgelerdeki orijinal gerilimler gösterilmiş olacaktır.

4.10 Kaynakça

- Holister, G.S. *Experimental Stress Analysis, Principles and methods*. Cambridge University Press (1967).
- Kuske, A. and Robertson, G. *Photoelastic Stress Analysis*. John Wiley and Sons (1974).
- Teocaris, P.S. *Moiré fringes in Strain Analysis*, Pergamon Press (1969).
- Window, A.L. and Holister, G.S. (eds) *Strain Gauge Technology*, Allied Science Publishers (1982).

5 DÜZEY VE HACİM ÖLÇÜMÜ

P.H. SYDENHAM

5.1 Giriş

Birçok endüstriyel ve bilimsel işlemler depo ve diğer kapların içindeki maddenin niceliğini bilmek ister. Çoğu kez iç kısmı doğrudan görmek mümkün ya da pratik değildir. İlgili duyulan değişkenler genelde içeriğin düzeyi, hacmi, ya da basitçe maddenin niceliğidir. Maddenin yüksek ya da alçak düzeylerinin belirtilmesi için algılayıcılara gereksinme olabilir. (Şekil 5.1). Düzey kontrolleri seçilmiş bir karşılaştırma (referans) düzeyine göre ya otomatik kontrol amaçları için ya da insan tarafından izlenen kaydediciler için yapılır.

Basit daldırma çubuğu gibi bir düzenek elle kontrol edilen ucuz bir sistem olabilir. Ama otomatik kontrollü uygulamalarda, bir işlem başlatıcısı hareketlere geçirmek ya da alarm için kontrol sinyallerine gereksinme olacaktır. Bu durumlar için, dolaylı elektrik kontakları, elektronik orantılı çıkışlar, açık akış ve hava tıkaçlarını da içeren birçok seçenekler vardır.

Düzey sensörleri (algılayıcıları) su, yağ, petrol ve süt gibi belli sıvılarda olduğu gibi, maden cevherleri, besin taneleri gibi katıların ölçümünde de başarı ile uygulanmışlardır. İki farklı sistemler dahi çoğu kez ölçülmüşlerdir. Buna örnek olarak, bira imalatında sıvı ve köpük seviyesinin ölçümü ve mineral çamurlar verilebilir.

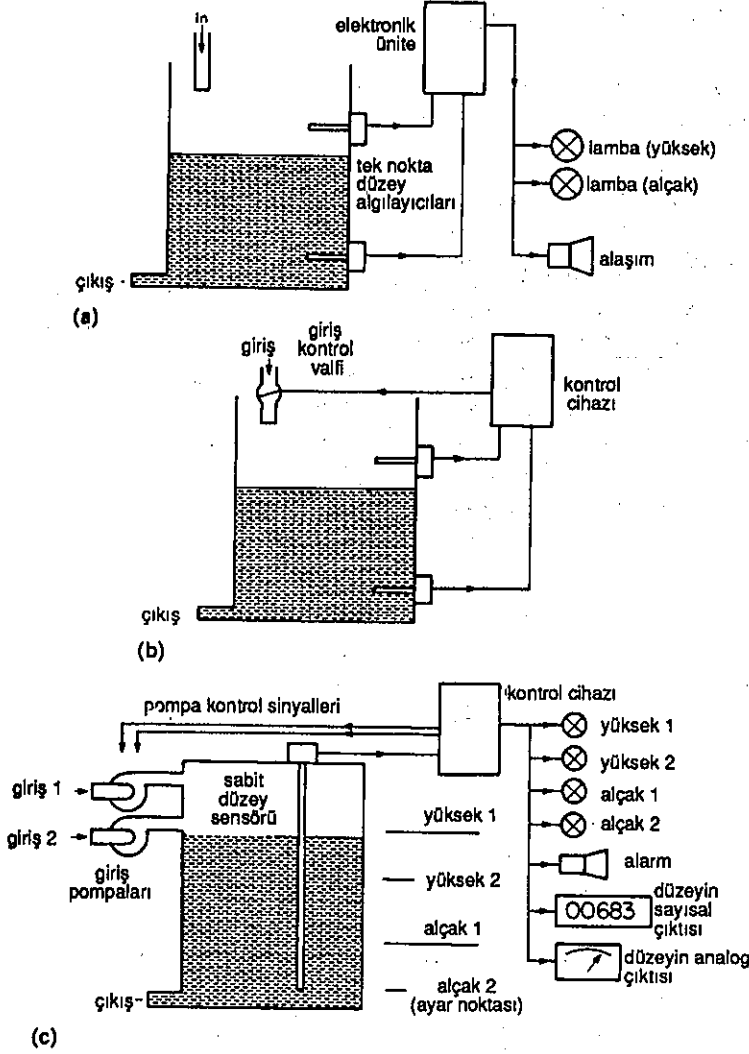
Bu ana işlem değişkenine duyulan yaygın gereksinme nedeniyle piyasada pek çok değişik cihazlar var olup, bunların montaj detayları önemlidir. Düzey ölçümü için öğretici özel bir giriş Lazenby (1980) de mevcuttur. Norton (1969), O'Higgins (1966) ve Miller (1975)'de değerli katkılarda bulunmaktadırlar.

5.2 Düzey Ölçümünün Uygulaması

5.2.1 Donanım

Düzey algılayıcı sistemleri satanlar, genelde uygulamada karşılaşılabilecek sorunların değerlendirilmesi ve üstesinden gelinebilmesi amacıyla muhtemel müşterilerine donanım ile ilgili değerli tasarım desteği verir; algılayıcı seçimi ve sistem tanziminde geniş seçenek olanağı sağlarlar.

Algılayıcı başı ya da başlarının yerleştirilecekleri yerlerin seçiminde, depoda sıvının giriş ve çıkış akımlarında ortaya çıkabilecek türbülans sorunlarının göz önünde bulundurulması gereklidir. Yer seçimi hatalarının kontrolü



Şekil 5.1 Düzey aletlerinin tanzim şeması.

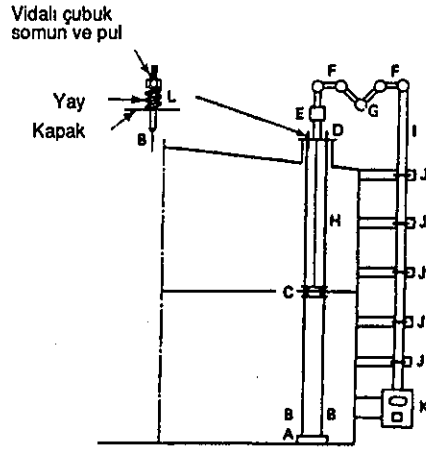
- Lambaları ve alarım sistemini tahrik eden yüksek-alçak düzen dedektörleri.
- Giriş supabına kumanda eden yüksek-alçak dedektörleri.
- Tüm kapasite aralığında devamlı dedektör çıkışı kullanımlı iki giriş pompasının tam kontrolü, bir ya da daha çok yüksek-alçak tetik konumları ve uygun lamba ve alarım sistemleri.

yönünününden de önemlidir. Örneğin eğer depo dışına bir durgunlaştırma borusu yerleştirilmiş ise bunun içeriğinin sıcaklığı depo içeriğinkinden farklı olabilir. Algılayıcının, tamamının deponun boşaltılmasına gereksinme olmadan çıkartılması gerekebilir.

Şekil 5.2'de gösterildiği gibi, algılayıcı sistem içinde, şamandra gibi elemanların serbestlik derecelerini yok etmek amacıyla genelde izleyicilerin birleştirilmesi şarttır.

İçeriğin algılama sistemi elemanları üzerindeki paslandırma etkileri de dikkatlice ele alınmalıdır. Yüksek sıcaklıklar, pas yapan malzemeler ve tane-cikli malzeme ölçümündeki aşındırma, istenmeyen sürtünmeler üreterek şamandıraların kütlesini değiştirerek yavaş yavaş sistemin özelliklerini bozar ve onu çalışmaz hale sokar.

Sadece yüksek ya da alçak düzey kollarının ya da anahtarlarının çalıştırılmasının istendiği zaman, düzey algılayıcısı tercihen uygun bir boşluk verilecek şekilde gömme takılarak titremeleri önlenir. Bazı sistemler bunu



Şekil 5.2 Sabit bir çatı deposunda kılavuz telli şamandıralı tip düzey endikatör donanımı A) Kılavuz telleri tespit kancası. Teller ağır bir kütleye ya da depo dibine tesbit edilebilirler, B) Şamandıra kılavuz telleri, C) Kılavuz tel üzerinde serbest hareket eden kayar kılavuzlu şamandıra, D) Baca, şamandıra ve tespit ağırlığının hareketine yeterli çapta, E) Mafsal, F) Makara muhafazası G) Buhar tıkacı (eğer gerekiyorsa), H) Şamandıra bandı, I) Bant kanalı, J) Kayar kılavuz, K) Geyç başı, L) Kılavuz tel gergi ayarı.

mekanik tasarım esnasında dikkate alırlar (bir örnek daha sonra şekil 5.5'te verilmiş olacak). Bazıları ise elektronik devrelerle ele alınırlar.

Radyasyon kaynaklara dayandırılan geyçlerin donanımı ve çalıştırılması nükleonik cihazlar standardında yürütülmelidir. Bu geyçler çok küçük gerdirme kaynağı kullanırlar ve kendi içlerinde pek az tehlike arz ederler. Bunlar cilt 3 de tartışılmışlardır.

5.2.2 Hata Kaynakları

Birinci grupta hatalar, yayılmış tüm kütle yüzeyinin bir noktasında tek değişkenin ölçülmesi ve bu değerle tüm kütleyi tanımlama sorunu ile ilişkilidir. Genel bir kural olarak içerik hakkında kararı vermek için yapılan yüzey tanımlaması, endüstriyel koşullarda yaklaşık 0.5 mm içinde yapılabilir. Yüzeyi algılayan yöntemler, histeresire (göz yanılması) neden olan yüzey gerilmeleri sebebiyle hata içinde olabilirler. Tek bir maddenin niceliğinin saptanması halinde bu madde içinde tortular ve diğer istenmeyen artık çökeltiler, hatalara neden olur.

Tane şeklindeki maddeler genelde sıvılarda olduğu gibi düz bir yüzey oluşturacak şekilde akmazlar. Malzemenin kama açısı, giriş ve çıkış deliklerinin biçimi, eğer bir nokta algılayıcısının kullanımında maddenin gerçek şekli hesaba katılmamışsa, hacim hesaplamalarında hataları artırır.

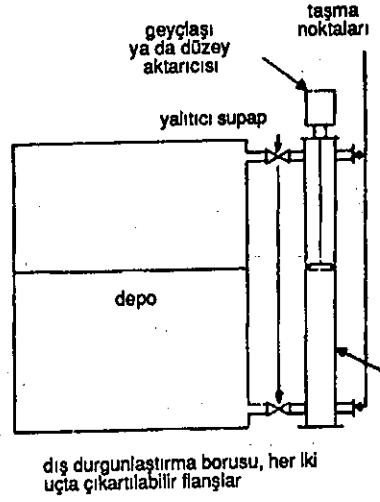
Malzemenin depoya akan ya da depoya etkiyen titreşimlerin algılayıcı bölgesinde neden oldukları türbülansa bir hata kaynağı olabilir. Yaygın bir kural olarak algılayıcı, ana depoyu herhangi şekilde bitişik, fakat ana depodaki geçici dinamik titreşimlerin dengelendiği bir kısma yerleştirilir. Genel yöntem ana depoya bağlı bir durgunlaştırma borusu kullanmaktır. Boru alttaki küçük bir delik yoluyla ana depoya bağlı olup, düzen her iki tarafta da aynıdır (şekil 5.3 ve 5.4'e bak). Ancak hızlı hareket eden sistemlerde bu tür durgunlaştırma borularının tepkime zamanları önemlidir. Çünkü bunlarda faz kayması ve genlik azalması oluşabilir.

Şamandıraların kütlelerinde paslanma ya da çökme nedeniyle oluşan değişimler yüzer algılayıcının katma düzeyini değiştirebilir.

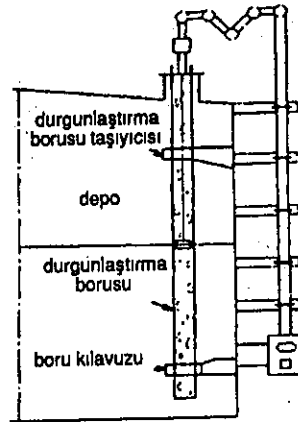
Devamlı bir hata da, şamandramının katma derinliğinden kaynaklanmaktadır. Bu ise maddenin sıcaklıkla değişen yoğunluğuna bağlıdır.

İkinci sınıf hatalar, sıcaklık ve daha az olarak ta içerike etkiyen basınç değişimleri nedeniyle oluşmaktadır.

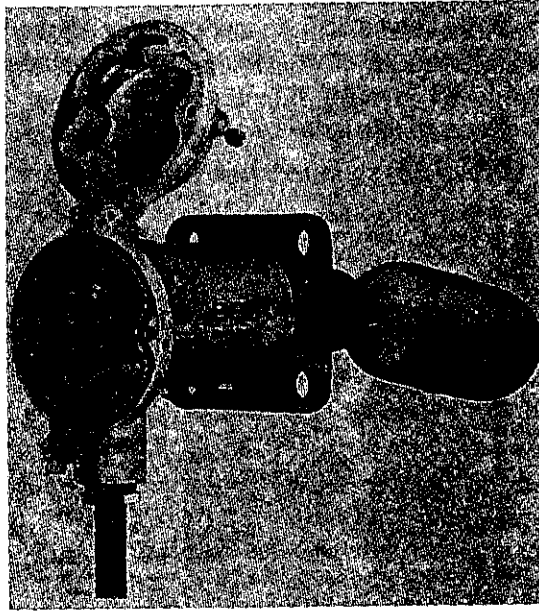
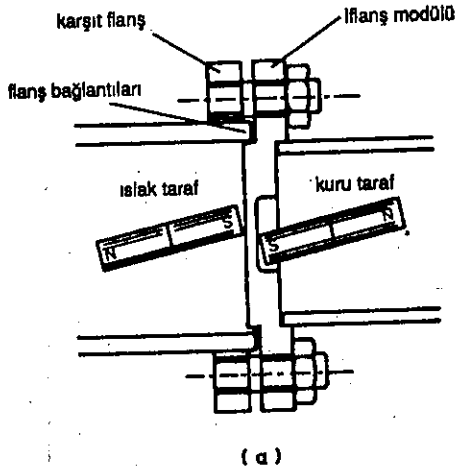
Maddenin hacminin ya da kütlelerinin ölçümü istendiği durumda, düzeyin kullanımı, bu amaca yönelik dolaylı bir basamak olmaktadır. Bütün maddelerin hacimleri sıcaklık değişimi ile değişir. Bu nedenle düzey ölçümleri-



Şekil 5.3 Geçici hareketleri dengelemek için kullanılan tamamlayıcı bölme (dahili boru).



Şekil 5.4 Geçici hareketleri dengelemek için kullanılan tamamlayıcı bölme (harici boru).



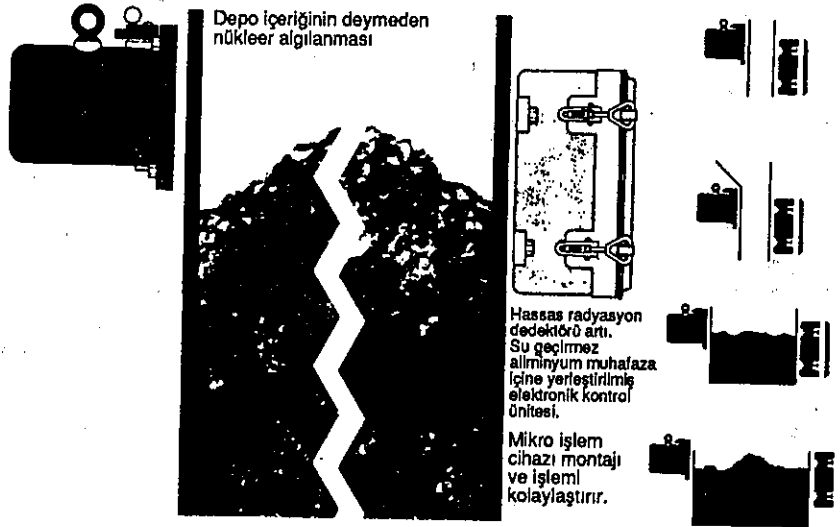
**Şekil 5.5 Daldırılmadan algılama sağlayan manyetik itmeli sistem,
BESTA Ltd. izniyle.**

nin düzeltilebilmesi için sıcaklıkların ölçülmesi gerekebilir. Durgunlaştırma borusu o şekilde yerleştirilmelidir ki boru içindeki madde ile depodakinin sıcaklıkları aynı olsun. Çünkü bölgesel ısınma ya da soğuma, durgunlaştırma borusundaki maddenin, esas depodakinden farklı bir yoğunluğa sahip olmasına neden olur. Yüzeyi izlemek yerine, bir ölçüm kuvveti üreten yüzdürme bölmeleri kulanma esasına dayandırılmış yöntemler, sıcaklıkla değişen bir kuvvet çıktısı verirler. Çünkü sıcaklık etkisiyle değişen akışkan yoğunluğu değişik kaldırma kuvveti vermektedir.

Şamandıralar genellikle şu geçirmez mantar, paslanmaz çelik, bakır ve plastik maddelerden yapılırlar. Malzemenin pasa karşı dayanıklı olması istenebilir. Depo içerikleri özellikle pas yapıcı türden iseler ya da algılayıcı sistem elemanlarına karşı iyi davranış göstermiyorlarsa, algılayıcı sistemin içeriye daldırılan parçaların sayısını minimuma indirmek tercih edilir.

Şamandıra ile izleyici arasında manyetik bağlantı kurulması yöntemi oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 5.5 böyle bir düzeneği göstermektedir.

Nükleonik ölçmelerin en açık avantajı, düzey algılayıcı sistemine ait hiçbir parçanın doldurulmuş olmamasıdır (şekil 5.6'ya bak). Bu konu daha kapsamlı olarak 3. Ciltte tartışılmıştır.



Şekil 5.6 Nükleonik ölçme sistemi, mevcut boruların ya da deponun dışına takılması gerekir, Mineral Control Instrumentation izniyle.

Tablo 5.1 Uygun düzey algılayıcı seçimine ilişkin bazı kural ve ilkeler, Lazenby (1980) den uyarlanmış.

Uzaktan kumanda ya da gösterge arzu ediyor mu?	EVET ise, özellikle yerel kontrollerde kullanılan mekanik şamandıra geyçleri, izleme camları, daldırma çubukları ve diğer cihazlar dışlanır.
Düzyey göstergeleri ile önemli bir çıkıntının okunması zaman harcamak mıdır?	EVET ise, daldırma çubukları, izleme camları, mekanik şamandıra geyçleri ve bazı denge sistemleri dışlanır.
Algılayıcı ölçülmekte olan malzemeye değebilir mi?	Hayır ise ultrasonik, radyasyon, radar ve optik ve yükleme hücreler hariç bütün diğer sistemler dışlanır.
Yükseklikten se ağırlık mı ölçülmek zorundadır?	EVET ise, seçim yüklenme hücrelerine sınırlanmıştır; ancak üniform yan depolarda kapasitans ölçüm aletleri gibi diğer cihazlar ağırlık için ayarlanabilirler. Özellikle eğer bir sıvı ölçülecekse.
Mekaniksel hareketli parçalara itiraz var mı?	EVET ise, seçim şunlar arasından yapılabilir; İzleme camları - ve kapasitans, ultrasonik, radyasyon, iletkenlik, radar, yükleme hücreleri, optik, termistör ve kabarcıklı düzenekleri.
Uygulama bir sıvı içinde midir?	EVET ise vibratörler ve kabarcıklı sistemler dışlanır.
Uygulama toz ya da tanecikli malzeme için midir?	EVET ise, daldırma çubukları, izleme camları şamandıralar, termistörler iletkenlik cihazları, basınç (basınç şalterleri hariç) aletleri, kabarcık düzenekleri yer değıştiriciler ve izleme camları dışlanır.
Düzyey indikatörü yaklaşık %2 doğruluğa sahip olmalı mıdır?	EVET ise, termistörler, vibratörler, kabarcık düzenekleri, optik cihazlar, asılmış eğilme şalterlerine sadece kontrol yapan tip iletkenlik ölçümleri dışlanır. Diğer bütün tipler düşünülebilir. Ancak en zayıf doğruluk yüzer geyçler ve radyasyon cihazlarından elde edilir.
Düzyey indikatörü %1 den daha hassas sonuç vermek zorunda mıdır?	EVET ise, seçenek listesi, sadece daldırma çubukları, bazı yer değıştiriciler ve denge cihazlarını kapsayacak şekilde kısaltılır.

Son olarak düzey algılama sistemlerinin genel seçimi, Lazenby (1980)'e göre tablo 5.1'de verilmiştir. Cetvel uygun yöntemin seçimine ilişkin kural ve ilkeleri vermektedir.

5.3 Düzey Ölçme Sistemlerinin Ayarı

Depo içerikleri, petrol alkol gibi para ile satılan cinsten maddeler iseler, devletin ağırlık ve ölçümlerle ilgili otoriteleri tarafından belirlenen standartlara göre ölçülmeleri zorunludur. Ölçüm sisteminin ve bu sistemin kullanımı yöntemi ile ayarlanmasının devletçe onayı şarttır. Bu durumlarda ölçülen maddelerin gerçek değerleri, bu tip ölçümlerde doğruluk derecesini belirleyecektir. Bu çoğu kez sistemin ve ayarlanmanın çok titiz konumlara uyumak zorunda olduğunu ifade eder.

İçeriğin hacimsal ya da kütleli belirleniminin dolaylı yönteminin kullanılması, düzey ölçümüne dayandırılmıştır. Yani, düzey ölçüm değerlerini istenen ölçüm birimlerine dönüştürebilmek için bir dönüştürme sabiti ya da bir sabitler çizelgesi hazırlamak zorundadır.

İri bir tank için ayar tabloları orjinal konstrüksiyon çizimlerinden kolaylıkla hazırlanabilir. Buna rağmen, bu yol doğru ve güvenilir bir metot değildir.

Daha hassas ve izlenebilir bir yöntem, depo imal edildikten sonra boyutlarının gerçek anlamda hassas ölçülmesidir. Bu zaman alıcı bir iştir. Bundan sonra çeşitli düzeylerin hangi hacimlere karşılık olduğu hesaplanabilir. Bu değerlerden de gözle takip edilebilecek ya da bilgisayarda kullanılabilecek bir dönüştürme cetveli oluşturulabilir.

Yine de günümüze kadar en doğru yöntem doğrudan doğruya hacimsel ayarlama yöntemidir. Burada uygun bir arz (genelde su) iki okuma elde etmek üzere, depo içine ve depo dışına pompalanır. Bu işlem hassas akım ölçen bir merkezde yürütülür. İşlem süresince çeşitli hacim değerlerine uyan düzey değerleri de kaydedilerek çevrim cetveli de hazırlanmış olacaktır. Bu sonuçların, daha önce de belirtildiği gibi, genelde sıcaklığa göre düzeltilmesine gereksinme olacaktır.

Yüksek doğrulukta düzey ölçümleri için daha önce belirtilen hata kaynaklarının sürekli gözetim altında tutulması gereklidir. Böylece anında düzeltme yapılabilir. Şamandıraların ve elektrotların temizlenmesi ve istenmeyen çökeltilerin atılması için devamlı bir bakım programına gereksinim vardır.

Birçok durumda düzey ölçümünün kontrolünün elle daldırılan çubuk ya da bantlarla yapıldığı görülmektedir. Burada daldırılan çubuğun ıslanan

kısmı gözlenebilir. Kuşkusuz bu yöntem kuru maddeler için kullanılamaz. Bunlarda çubuk ya da bant ucu yüzeye oturuncaya kadar indirilebilir.

Her durumda, başlangıçta devamlı bir karşılaştırma (referans) düzeyi tanımlamak esastır. Bu çubuğun deydiği depo gibi ya da tepede güvenilir bir işaret olabilir. Bu işaretin transdüser sistemi çıktıları ve orijinal ayar, ayarla ilişkilendirilmesi gereklidir.

5.4 Sürekli Düzey Ölçümü Sağlayan Yöntemler

Bir kapta düzen kontrolü ya da ölçmesi yapan yöntemler, ele alınan tüm düzey aralığında sürekli çıktı verebilenler ve küçük düzey değişimlerini algılayan ve bu algıları alarm ve anahtarların tahrikinde ya da sırasıyla bir ikincil çıktı veren transdüserü ya da yer değişimini çalıştıran sürekli mekanik izleyici hareketinin kontrolünde kullananlar olmak üzere gruplanır.

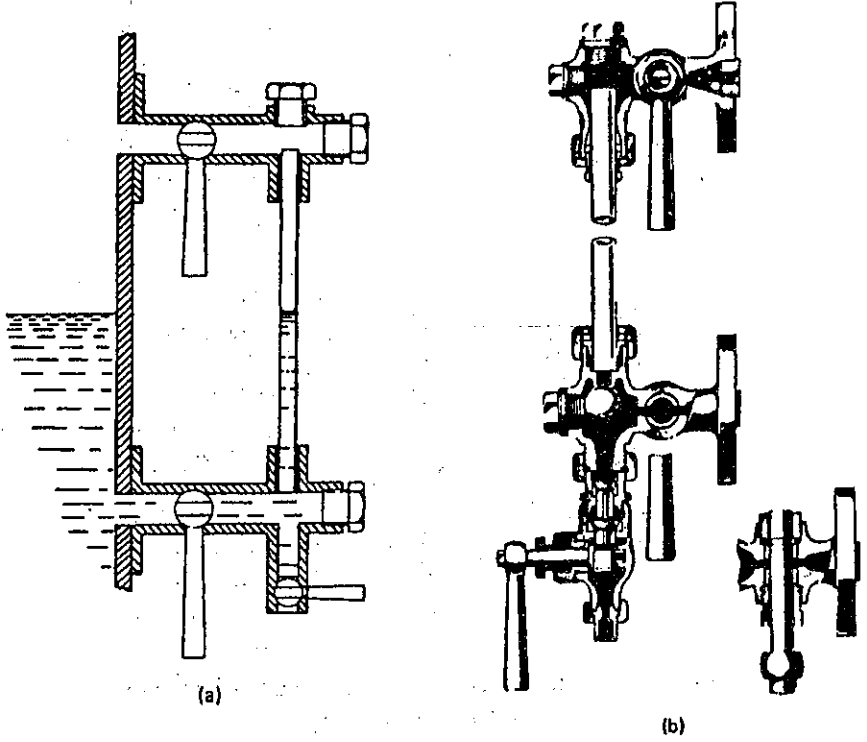
Önce geniş kabul görmüş sürekli yöntemler dikkate alınacaklardır.

5.4.1 Gözetleme Geyçleri

Buhar kazanları gibi kapalı kaplar içindeki içeriğin düzeyini ölçen en basit aygıt kazanın dışına takılmış gözetleme camıdır. Bu genelde kuvvetlendirilmiş bir cam tüpden oluşmakta ve ana depo duvarına rekor ve subablarla tespit edilmiştir. Borunun çapı kapılar etkisiyle içeriğin tırmanmasını önlemek amacıyla yeterince büyük olmalıdır. Şekil 5.7(a) böyle bir cihazın ana yapısını vermektedir. İçerik basınç altında ise, borunun çatlamaması için basıncı kontrol altında tutan bir emniyet düzenine gereksinme vardır. Subablar, depo basıncını boşaltmadan tüm bağlantı parçalarının gerekli durumlarında sökülmesinin sağlanabilmesi için kullanılırlar. Şekil 5.7(b) de bu durumu ifade eden şekil gösterilmiştir.

Yukarıda belirtilen gözetleme geyç kavramının yeni geliştirilmiş biçimi şekil 5.8'de gösterilen manyetik düzey göstergesidir. Bir çubuk mıknatıs içeren şamandıra durultma içindeki su yüzeyini izlerken, yalnız başına mıknatıslandırılmış kanat, parlak bir boya ile boyanmış, değişik renkli yüzeyi göstermek üzere döner. Şamandıra sıvının özgül ağırlığına uyacak şekilde seçilir.

Manyetik etkileme, gözetim ve alarm amaçlı anahtarları da çalıştırır. İnce ayrıntıları izleme yeteneği (doğruluğu) yaklaşık 5 mm dir. Mıknatıslar Curie noktalarının ötesinde çalıştırılmamalıdır. Bu sıcaklıkta mıknatıslar istenen özelliklerini kaybederler. Bir kural olarak bu sistem 400°C 'a kadar 300 bar'lık basınç altında ölçüm yapabilir.

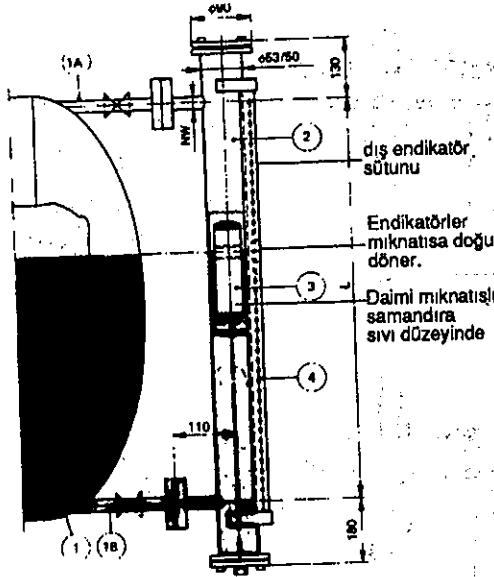


Şekil 5.7 Gözetleme camlı düzey endikatörü (a) ana yapı şeması, (b) Otomatik buhar kesicili gözetleme camı, Hopkinsons izniyle.

Bazı durumlarda su yüzeyini yukardan izlemek mümkün olabilir ancak yandan değil. Bu durumda Hook geyçi, şekil 5.9, kullanılabilir. Bu yöntemle daldırma çubuğunun sıvı yüzeyini tam deldiği anında saptanması mümkündür.

5.4.2 Şamandıralı Cihazlar

Yukarıda açıklanan manyetik gösterge, sıvı yüzeyini izlemek için şamandıra kullanan düzey göstergeleri sınıfının bir örneğidir. Uzağa monte edilmiş bağlantı hareketine ait çıktı düzeneğini çalıştıran mekanik bağlantıyı hareket ettirmek için bir şamandıranın kullanıldığı yerde, bağlantı geometrisinin şamandıraya etkiyen yüklenme koşullarını değiştirmeden emin olmak gerekir. Aksi takdirde şamandıranın batma derinliği değişecek ve hataya neden olacaktır. Bağlantılar tarafından ortaya çıkan sürtünme kuvvetleri de hatalar doğurabilir. Bir şamandıra hareket ederken, bağlantı



**Şekil 5.8 Manyetik düzey endikatörün donanım şeması,
Wake-Besta Ltd. izniyle.**

ağırlıklarında oluşan ağırlık farklarını dengelemek için karşıt kuvvetler ve yaylar kullanılır (şekil 5.10). Ön gerilmeli "Neg'ator" (Tensator da denir). Yay tork motor kullanan karmaşık bir yapıyı göstermektedir. Bunun tork özelliği, şerit boşanırken ona etkiyen değişken torka eşit olacak şekilde uyarlanmıştır.

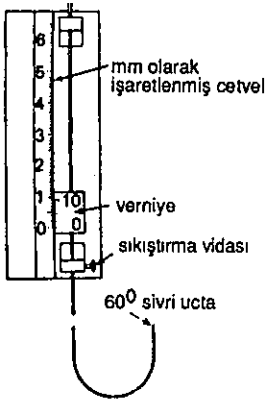
Hassas mekanik sistemlerin üretim masrafları, bunları elektronik cihazlara nazaran daha az çekici kılmaktadır. Ama böyle bir sistemin herhangi bir elektrik gücüne gereksinme göstermeme gibi bir avantajı vardır. Herhangi bir elektrik güç girdisine gereksinme yoktur, sistem fabrikada çalışan işçiler tarafından daha kolay anlaşılmaktadır.

5.4.3 Kapasitans Sondaları

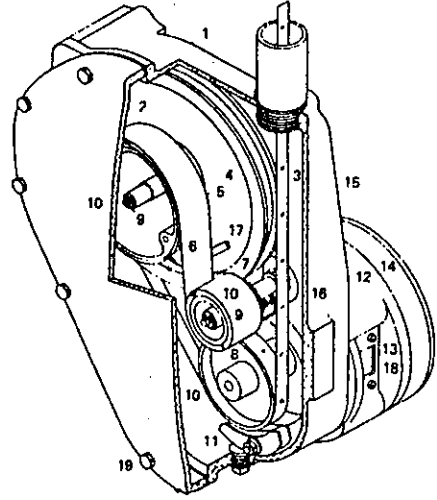
Elektriksel iletken malzemeden yapılmış A alanındaki iki levha birbirine paralel ve d uzaklığında tutulacak olurlarsa bu sistemin C elektriki kapasitesi (sia'sı)

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

dir. Buradaki ϵ plakalar arasındaki maddenin dielektrik sabitidir. Elektriksel olarak depo ve içeriğinden yalıtılmış bir elektrot deponun içine asılırsa elektrodun etrafında var olan sıvı ya da tanecikli malzeme elektrot ile duranlar arasındaki kapasiteyi değiştirir. Kapasitans elektronik devre tarafından algılanır (şekil 5.11).



Şekil 5.9 Hook tipi düzey endikatörü



Şekil 5.10 Yaylı tork motor dengeli iletim sistemi.

1) Hassas kalıplanmış ana blok, 1) Yan kapak, 3) Delikli çelik şerit, tip 316 paslanmaz, 4) Kalıplanmış, sıcakken sertleşen fenolik kasnak, 5) Geniş Neg'otor motor, paslanmaz çelik, 6) Güç kasnağı, 7) Depo kasnak, 8) Hassas zincir dişlisi, 9) P.T.E.F. rulman, 10) 316 tip paslanmaz çelik şaftlar, 11) Drenaj tıpası, 12) Dijital Sayıcı muhafazası, 13) Okuma penceresi, 14) Paslanmaz çelik şerit süzgeç kapağı ayar silotu (yarığı), 15) İşlem kontrol ölçeği, 16) İşlem kontrol iç gurubu, 17) Neg'ator motor; kılavuz paslanmaz çelik, 18) Karşıt gurup, depo basıncı ve buharı dışındaki bölme içinde, 19) Şapka vidalar sızdırmazlık için delinmişler. (Whessoe Ltd.izniyle).

Elektrot duruma uydurulmuştur. Verilen şekiller; kafes, rijit metal çubuk, esnek kablolar ve kaplanmış boru biçimindedir. Kapasitans algılayıcının güvenilirliği içerik ile uzun elektrot arasındaki homojen temasa bağlıdır. Tanecikli malzemelerin, örneğin buğday, ölçümünde kullanılmaları halinde, malzeme homojen olmayacak şekilde elektrot etrafında yığılmalar yapma eğilimindedir. Çubuğu eğik daldırmakla temas iyileşir. Yöntem elektrot boyunca devamlı çıktı verdiğinden, alarm ve kontrol fonksiyonlar için çoklu aç-kapa ayar noktaları verebilecek devrelerde de kullanılabilir. Aynı ilke tek nokta algılama içinde kullanılır. Bu durumda daha basit bir elektrot ve devre kullanılabilir. Elektrik gerilimi genelde tehlikeleri yok edecek düzeyde düşüktür.

İçeriğin Tartılması

Kabın içeriğinin hacmi kuşkusuz ağırlık ölçümünden de saptanabilir. Bunlar 8. Bölümde tartışılmıştır.

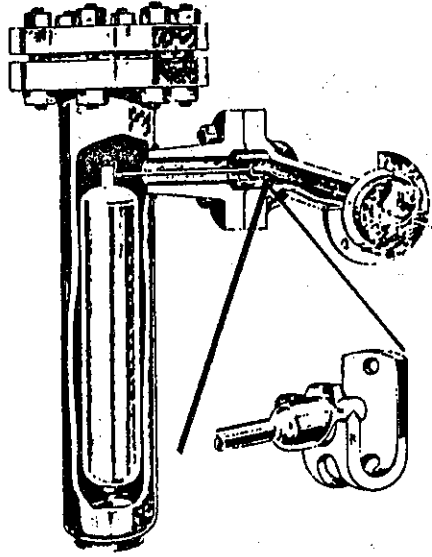
5.4.4 Yukarıya Yönelik Yüzdürme Kuvveti

Uzun borusal bir şamandıra, sıvıya batırıldığı derinlik ile orantılı yukarıya doğru bir kuvvet uygular. Bunlar da bazan taşıyıcılar olarak tanımlanır. Şamandıra yüzeyi izlemek için yükselmez aksine, genelde bir karşıt torkla yüklü bir shaft üzerinde yarıçap şeklindeki kol yardımı ile torka dönüştürülen bir kuvvet uygulamak için kullanılır. Yukarıya yönelik yüzdürme kuvvetini belirlemek için terazide kullanılabilir. Şekil 5.12 de bir tasarıma ait montaj görünümü verilmiştir.

Yukarıya yönelik yüzdürme kuvveti akışkanın özgül ağırlığına bağlıdır. Dolayısıyla bu kuvveti kullanan cihazlar kararlı bir yoğunluğa göre ayarlanmak zorundadırlar. Yoğunluk sıcaklıkla değişir. En iyi hassasiyet düzeltmelere gereksinime duyar. Bununla beraber gerçek hata niceliğinde, sıcaklığın artması sonucu şamandıranın hacimsel olarak biraz büyümesi nedeniyle azalma olur.

5.4.5 Basınç Algılama

Eğer içerik bir sıvı gibi davranırsa, belli bir derinlikteki basınçları dengelemek için akar (bazı tanecikli malzeme bu şartı yerine getiremeyebilir). O halde bir deponun tabanında verilen bir alana etkiyen basınç, sadece sıvının yoğunluğu ve basınç düşüşü ile orantılıdır. Çoğu durumlarda yoğunluğun düzenli olduğu kabul edilebilir ve basınç algılayıcısını, depo düzeyini ölçmek amacıyla, tabana yerleştirmek mümkündür. Basınç geyçleri kısım 9 da tanıtılmışlardır.



**Şekil 5.12 Fisher tork ünitesi grup görünüşü,
GEC Elliot Control Valves Ltd. izniyle.**

Aynı sınıftan olmak üzere boşaltma yöntemleri de vardır. Bir deponun dibine yerleştirilen bir lüleden gaz ya da sıvının boşaltılması için gereken basınç lülenin üstündeki sıvının basınç düşüşüne ve sıvının yoğunluğuna bağlıdır. Fiskiyeler de basitçe tanzim edilerek basınç geyçleri gibi çıktı verirler. Bu çıktılar doğrudan okundukları gibi daha uygun bir sinyale de dönüştürülebilirler.

Fiskiyelerin tanecikli maddeler içinde çalışamayacakları aşıkardır. Az miktarda sıvı ya da gaz ilaveside depo içeriğini önemli ölçüde etkilemeyecektir.

5.4.6 Mikrodalga ve Ultrasonik, Geçiş Zamanı Yöntemleri

Ultrasonik ya da mikrodalga gibi yapışkan radyasyonlar deponun yüzünden tepesine olan aralığı ya da içeriğin derinliğini ölçmek için kullanılabilirler. Gerçekte bir radyasyon vuruşu (pulse) aşağıya doğru içeriğin yüzeyine gönderilir. Yüzeyde bir kısım radyasyon yansiyarak geri döner. Aynı düşünce dalgaların içerik içinden yukarıya doğru gönderilmesinde de

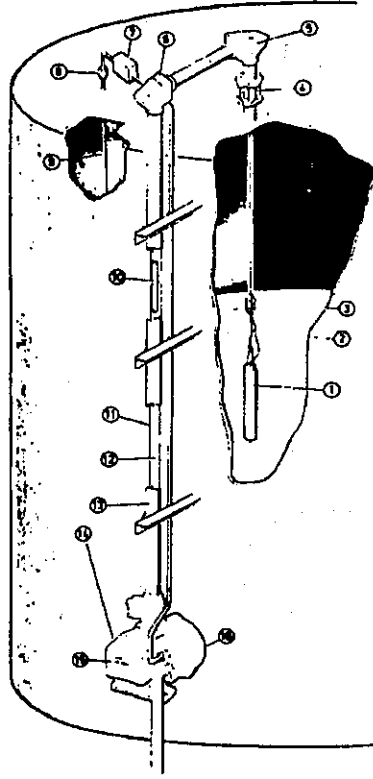
kullanılabilir. Burada da yüzeye erişen dalgalar tekrar geriye yansır. Nispeten karmaşık elektronik devreler ile geçiş zamanlarının ölçümü mümkündür. Dalgaların belli hızları da verince aralıklar hesaplanabilir. Bu ana konu üzerinde çok çeşitlemeler mevcuttur. Radyasyonun seçimi üstten ya da alttan kullanımı ve frekans ölçülecek içeriğe ve istenen doğruluk derecesine bağlıdır.

Her ne kadar vurumların tekrarlama oranında gönderiliyor iseler de hız, sürekli görülen bir çıktı için yeterlidir. Yöntem tehlikeli bölgeler kullanımı için uygun hale sokulabilir.

5.4.7 Kuvvet ya da Konum Dengesi

Bu yöntemlerde yüzeyde duran bir şamandıra ya da elektronik türden bir yüzey algılayıcısı gibi kısa ölçü aralıklı algılayıcı kullanılır. Bunlar kablo ya da telleri içeri alarak ya da dışarı salarak algılayıcının yüzeye bağlı konumunu sabit tutar. Şekil 5.13 yüzeyi algılamak için bir radyo frekanslı yüzey algılayıcısı kullanan böyle bir düzeneği göstermektedir.

Kendi kendini dengeleyen düzey algılayıcı ekstrem ölçü aralıkları verir ve mekanik bağlantı geometrisinin neden olduğu değişken kuvvetler göz ardı edilecek düzeye indirilmiştir. Yüksek doğruluk derecesi veren bu yöntem aslında otomatik hale sokulmuş bir bant ölçümüdür.

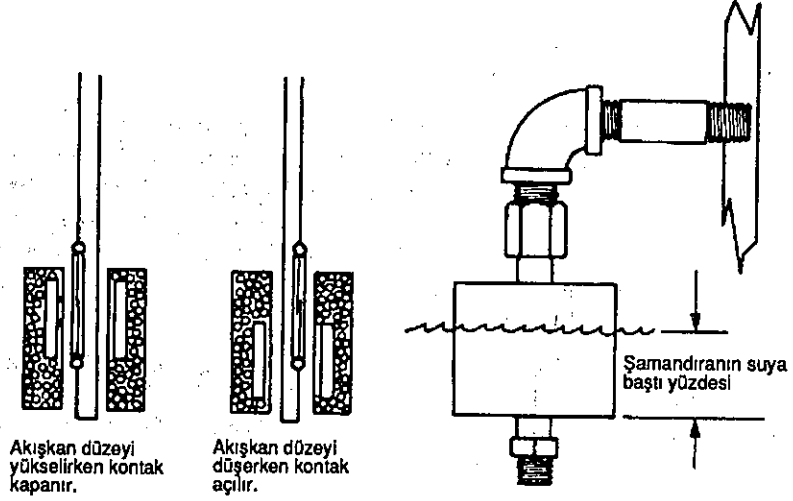


Şekil 5.13 Kendi kendini dengeleyen RF yüzey algılayıcısı kullanan düzey geyci şeması, GEC-Elliot Recess instruments Ltd. izniyle.

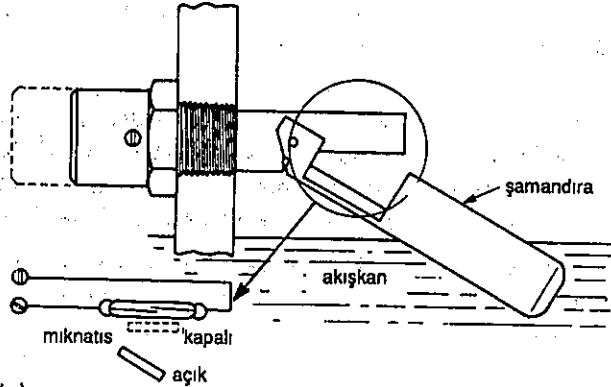
1) Algılama elemanı, 2) Barut yalıtkan, 3)Bant karşıt ağırlık, 4) Esnek kavrama sadece sabit tavanda kullanılmış, 5) Depo üstünde makara kutusu, 6) Depo yan ünitesi üstünde makara kutusu, 7) Sıcaklık kablo birleştirme kutusu, 8) Sıcaklık ampülü montaj kiti, 9) Dengeliyici direnç termometre ampülü, 10) Kablo karşıt ağırlık, 11) Paslanmaz çelik delinmiş ölçü şeridi, 12) Radyo frekansı kablosu, 13) 65 mm çaplı dikme boru, 14) Servoelektronik kutu, 15) Düzey belirlemesi, 16) Bant toplama muhafazası.

5.5 Kısa Aralık Algılaması Veren Yöntemler

Çoğu uygulamalarda, başlat-kapat anahtarlarını ya da alarmı çalıştırmak için depo içeriğinin sadece var ya da yok oluşunu algılamaya gereksinme vardır. Bazı sürekli çıktı veren sistemlerde tahrik edilen ölçüm elemanını kontrol etmek için kısa bir orantılı ölçü aralığına gereksinme vardır. Bu kısımda kısa ölçüm aralıklı düzey detektörlerinden söz edilecektir.



(a)



(b)

Şekil 5.14 Manyetik boru kullanan manyetik düzey anahtarı
(a) Eş eksenli, (b) Yakma yerleştirilen algılayıcı.

5.5.1 Manyetik

Sıvı yüzeyinde yüzen devamlı mıknatıs şamandırasının hareketleri, mıknatıs tahrikli kesici kontak düzeni kullanarak algılanabilir. Şekil 5.5 yükselen bir yarıçap kol ve beraberce oluşan ani dirsek etkisi ile çalışan bir sistemi göstermektedir. Buna benzer bir düzenek, mıknatıs tahrikli kesiciyi kapatmak için şekil 5.14 de görüldüğü gibi akışkan ile beraber yükselen mıknatıs kullanır. Düzenek eş eksenli olabildiği gibi, civa yerleştirilen algılayıcı da olabilir.

5.5.2 Elektriki İletkenlik

Çözülmüş tuz içeren lağım suyu, deniz suyu, şehir şebeke suları gibi sıvılar, saf sudan daha yüksek iletkenliğe sahiptirler. Çoğu sıvıların iletkenliği havanın iletkenliğinden çok daha yüksektir. Böylece bir elektrik devresi akım akışına bağlı olarak hava ve su arasında ayırım yaparak, ara yüzeyi keşfedebilir. Şekil 5.15, cevher işletmeciliğinde rastlandığı gibi, bir bulamaç-köpük- hava sisteminde çeşitli tabakaları ayırt edebilmek için kullanılan çok sondalı sistemi göstermektedir.

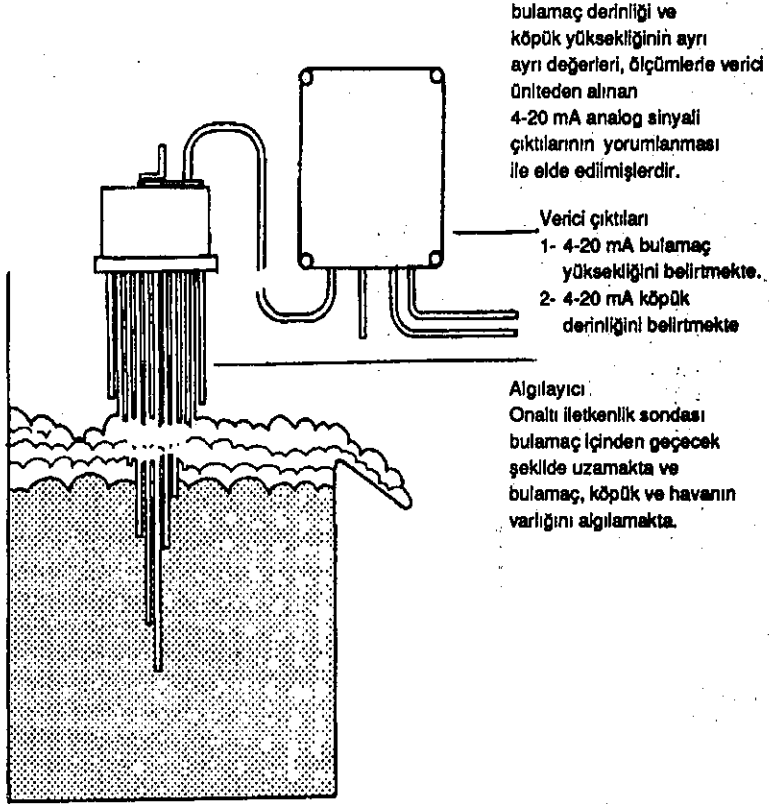
İletkenlik sondaları, kazan suyu düzeyinin sayısal gösterilmesinde kullanılırlar. İletkenlik sürekli ölçümlerde de kullanılabilir. Çünkü sıvı bir elektrot üzerinde yükselirken elektrot ile karşılaştırma (referans) düzlemi arasındaki iletkenlik de orantılı olarak değişir.

5.5.3 Kızılötesi Işını

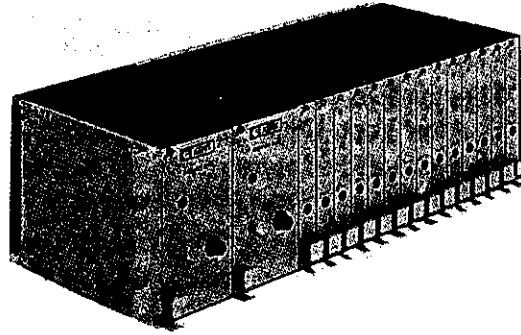
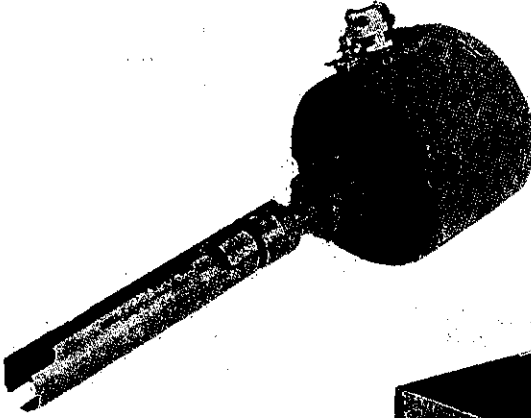
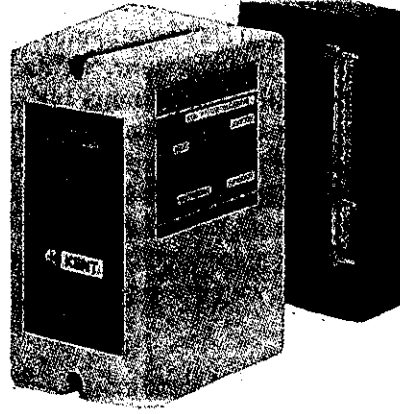
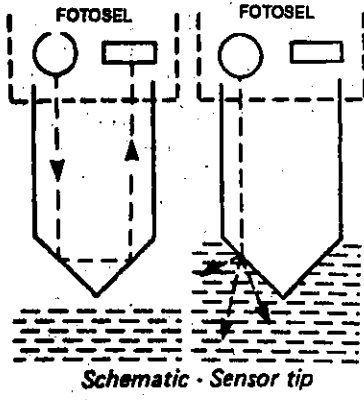
Optik bir yüzey bir sıvı tarafından ıslatılırsa, bu yüzeyin yansıtma özelliği önemli ölçüde değişir. Bu değişim sıvının optik elemanını kapatacak şekilde yükselmesini keşfetmek için yeterlidir.

Genelde kullanılan optik düzenek, bir prizmanın şekil 5.16 da gösterildiği gibi düzenlenişidir. Kızılötesi ışın radyasyonu kullanılmış olup, bu ışık yayan diyot ile kolayca üretilmekte ve yakalanmaktadır. Prizmanın dış yüzü ıslanınca, radyasyonun büyük bölümü kuars-cam prizma yoluyla sıvı içine geçer ve fotosel yardımı ile çıkış sinyali düzeyini iki kata çıkarır.

Bu yöntem, depo içinde elektriki bağlantılara gereksinme duymaz ve bu nedenle son derece güvenli çalışmanın istendiği yerlerde kullanılır. Tipik ayırım aralığı 1 mm civarındadır.



Şekil 5.15 Üst üste bulunan bulamaç ve köpük tabakaları algılayan çok-sondalı algılama sistemi, Mineral Control İnst. izniyle.



Şekil 5.16 Kırmızı altı ayırıcı-Konum düzeyi algılayıcısı. Principle and Physical exuipment, Kent Industrial Measurement Ltd.izniyle.

5.5.4 Radyo Frekansı

Yüzey algılayıcıların bu türü şekil 5.13 de gösterilmiştir. Depo geyç ünitesi bir RF (radyo frekansı) yaklaşık 160 MHz'e ayarlanmış bir salıngaç (osilatör) içerir. Bunun 50 Hz'e uyarlanmış sinyali kablo hattının sonuna yerleştirilmiş algılama sondasına iletir. Sonda, taşıyıcı frekansında rezonant (tutlayıcı) olacak şekilde ayarlanmış bir anten donanımdır. Uç sıvıya yaklaştırılınca onun rezonans frekansı değişir. Demodülasyon (ayar bozma) sonda da 50 Hz'lik bir sinyal üretir. Bu sinyal, salıngaç frekansı ve antenin rezonansı arasındaki ilişkiye bağlı bir voltaj düzeyi ile tekrar kablo hattına verilir (geri besleme yapılır). Bu voltaj, sondanın yüzeye bağlı mevcut sıfır konumuna yerleştirmek için kablounun tahrikinde kullanılacak bir hata sinyali üretmek amacıyla, referans voltajına benzetilir.

5.5.5 Diğer Yöntemler

Sıvının varlığını algılamak için kullanılmış olan diğer yöntemlerin bazıları aşağıda verilmiştir. Döner bir kürek'e uygulanan döndürme momenti, malzeme küreği kapladıkça değişim gösterir. Bir diyapazonun rezonans frekansı, diyapazon daldırıldıkça değişir. Isıtılan bir termistörün elektriksel direnci ortama bağlı olarak değişir.

5.6 Kaynakça

- Lazenby, B. 'Level monitoring and control', *Chemical Engineering*, 87, 1, 88-96 (1980).
- Miller, J.T. (ed). *The Instrument Manual*. United Trade Press, (5th edn, 1975).
- Norton, H.N. *Handbook of Transducers for Electronic Measuring Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1969).
- O'Higgins, P. J. *Basic Instrumentation - Industrial Measurement*, Mc Graw - Hill, New York, (1966).

6 TİTREŞİM

P.H. SYDENHAM

6.1 Giriş

6.1.1 Fiziksel Hususlar

Titreşim, salınım hareketini tanımlayan ölçüm değerine verilen isimdir. İlgili olabilecek değişik birçok ölçülebilir değişkenler içinde bağıl konum, hız, ivme, silkme (ivmenin türevi) ve dinamik kuvvet en yaygın olarak istenenlerdir.

Her değişken için ani değer, ortalama değer ya da gereksinme duyulan başka bir tanımlayıcı değer olabilir. Genelde istenen doğruluk derecesi 100'de 1 kısımdır.

Genel anlamda titreşim periyodik salınım olarak, bir rastgele hareket ya da geçici bir hareket şeklinde oluşur. Geçici hareket, eğer genliği büyük ve hareket süresi kısa ise bu durum şok olarak da tanımlanır.

Titreşim doğrusal ya da dönme hareketi şeklinde olabilir. Bunlara sırasıyla ötelemeli ya da dönmeli titreşimler denir. Bir çok yönleriyle her birinin temel kavramı benzerdir. Çünkü bir dönmeli sistem de yer değişimi ile ilgilidir. Ötelemeli biçimler aşağıdaki tanımlarla özetlenebilir; tanımlanan bütün düzenlemeler için genelde bir eşdeğer döner sistem mevcuttur.

Titreşim ölçümünde, değer ya da değmeyen yöntemlere uyacak biçimde, kullanılabilecek algılayıcının fiziki olarak bağlanmış mı yoksa bağlanmamış mı olması gerektiğine karar vermek önemlidir.

Titreşim ölçüm değerlerinin yeterli ölçülebilmeleri en karmaşık problemler olabilirler. İstenen bir nokta ya da yaygın bir cismin uzaydaki bir karşılaştırma koordinat sistemine bağıl hareketlerinin özelliklerinin saptanmasıdır. Şekil 6.1'e bak.

Uzayda bir nokta üç serbestlik derecesine sahiptir. Bir ya da daha fazla, kartezyen sisteme göre, üç doğrultuda hareket edebilir. Bu durumda noktanın dönmesinin bir anlamı yoktur. Buna göre bir nokta cismin serbest hareketini göstermek için üç ölçü algılama kanalına gereksinme vardır.

Eğer ele alınan cisim önemli bir fiziksel büyüklüğe sahip ise, yaygın bir cisim gibi işlem görmelidir. Bu durumda cisim yukarıda tanımlanan üç eksenin her biri etrafında dönebilir ve böylece üç hareket serbesliği daha dereceye girer.

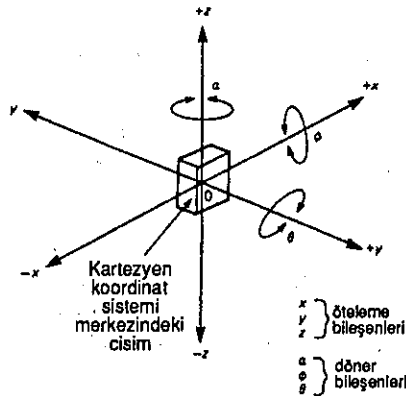
Buna göre bir gerçek cismin serbest hareketini göstermek için gereksinme, her biri bir serbestlik derecesi için olmak üzere, altıya kadar olabilir.

Uygulamada bazı serbestlik dereceleri normalde sınırlanmış olabilir (Ama acaba doğru mu?) Bu durumda gereksinme duyulan algılayıcıların bazıları yok edilebilir. Uygulamaya yönelik düzenlemeler, gerçekte sınırlanmış serbestlikleri de daima değerlendiren bir deneme içermelidir. Çünkü ölçü yapmayan algılayıcılar genelde titreşimin yönüne ilişkin belli bir düzeyde çıktı vereceklerdir. Bu, titreşimin çapraz eksen bağlantı faktörü, enine tepki ya da benzer başka bir teknik deyimle adlandırılır.

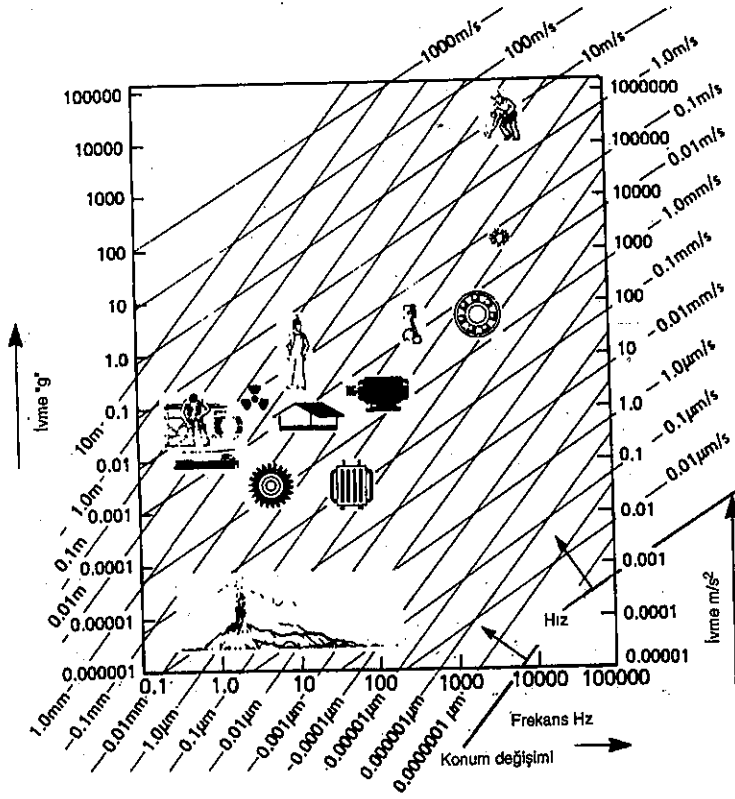
Çoğu düzenlemelerde hareket vektörünün bileşkesi zamanla değişmeyen sabit bir eksen üzerinde olabilir. Böyle bir durumda, ilke olarak sadece bir algılayıcıya gereksinme vardır. Bu da o doğrultuda algılama yapabilecek biçimde monte edilmelidir. Eğer durum böyle değilse, ki genelde böyle değildir, birden çok algılayıcıya gereksinme olacaktır. Bu durumda alınan sinyaller birleştirilerek bileşke sinyal elde edilmiş olacaktır.

Titreşim değişkenlerinin muhtemel frekans tayfı şekil 6.2 de gösterildiği gibi, çok yavaş hareketlerden iş makinaları ve benzeri mekanik yapılarda yaşanmış ses ötesinin supersonik megahertz frekanslarına kadar yayılır. Bu ölçüm aralığını genel amaçlı algılayıcılarla kapsamak olası değildir. Her uygulamada, onun tüm değişkelerini gözönünde bulundurarak, en iyi ölçümleri yapabilmek için hangi tip algılayıcı uygulanacağı konusunda dikkatli düşünceye gereksinme vardır.

Titreşim ölçümünde işi zorlaştıran husus mekanik sistemin dağınık doğası olabilir. Bu ise, titreşimin algılayıcıların yerleştirilmesinde dikkat gerektiren, karmaşık bir hal almasının nedenidir. Şekil 6.3 de verilen insan biçimlerini de içine alan mekanik sistemler kütle, yay, özlü ve söndürücü bileşenlerinden oluşur. Sadece bir serbestisi olan en basit halin doğrusal dav-



Şekil 6.1 Bir genişletilmiş cismin uzayda sabit bir Kartezyen koordinat sistemine bağlı olası hareketleri.



Şekil 6.2 Titreşim değişkenlerinin tayfı ve nicelikleri, Brüel and Kjaer izniyle.

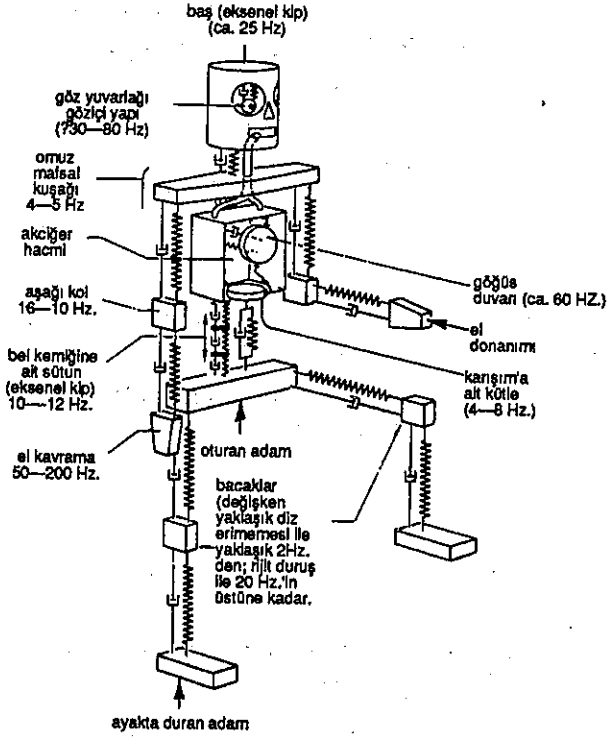
ranışı, kuvvet tahrikinin ya da başlangıçtaki bir konum değişiminin zamana bağlılığını modelliycek doğrusal matematik ilkesinin kullanımı ile tanımlanabilir.

Titreşim boyutlu ani değişkenlerin, uzayda yerleştirilmiş bazı uygun karşılaştırma noktasına bağlı durumunun belirtilmesi ile ölçülebilir. Sabit karşılaştırma noktası bağımsız bir koordinat sistem içerisinde olabilir (Sabit referans yöntemi) ya da yüksek ataleti nedeniyle sabit kalan bir cisim olabilir (Sismik Sistem)).

İkinci mertebeden doğrusal sistem çıktısı q_0 , q_1 girdi fonksiyonu ile aşağıda belirtilen diferansiyel denklem kullanılarak ilişkilendirilir.

$$a_2 \frac{d^2 q_0}{dt^2} + a_1 \frac{dq_0}{dt} + a_0 q_0 = q_i$$

(yay - kütle - damper sistemi) (girdi tahrikli fonksiyon)



Şekil 6.3 Mekanik sistemler yayı, kütle ve söndürücüler (damperler) den modellenebilir. Bu ayak altından yukarıya doğru titretilen bir insan modelidir, Brüel and Kjaer izniyle.

Şekil 6.4'te verilen özel mekanik sistemi için bu denklem şu hale girer:

$$m \frac{d^2 x_0}{dt^2} + c \frac{dx_0}{dt} - k_s x_0 = q_i$$

Burada m , etkin kütle; (bu kütle yay elemanlarının bir kısım kütlesini içermekte, ya da tamamen onunla beraber oluşmak durumunda olabilir), c viskoz sönüm faktörü ve k_s yay sabiti (burada uygulanan birim kuvveti başına oluşan uzunluk değişimi, olarak tanımlanmıştır) dir.

Sönüm etkisinin göz ardı edilebileceği yerde, sistemin sahip olacağı frekans, sistemin bir vurum girdisiyle tahrik edildiğindeki doğal titreşiminin frekansı olacaktır.

Bu doğal frekans w_n şu bağıntı ile bellidir;

$$w_n = \sqrt{\frac{k_s}{m}}$$

Sönümün devreye girmesiyle bu değer değişmekte ve sönüm arttıkça sistem, devamlı titreşim vermede daha az yetenekli olmaktadır.

Sönümün etkisi en kolay olarak, sönüm oranı olarak bilinen ve aşağıda verilen boyutsuz bir sayı ile tanımlanabilir.

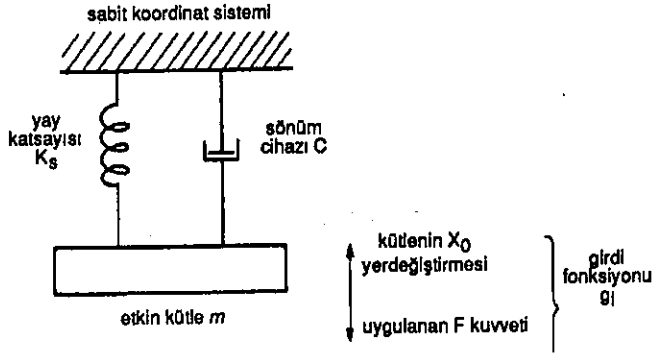
$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{k_s m}}$$

Bu genelde, niceliğini, $\xi = 1$ duruma bağlı olarak tanımlanan bir şekle dönüştürülür.

Buradaki üç önemli değişken, yay-kütle-sönümleyici sistemin özellikleri olup tahrik edici girdi fnoksiyonuna bağlı değildir.

Böyle bir sistem, genelde karşılaşılan bir girdi kuvvet fonksiyonu (adım, impuls, rampa, sinüsoidal) ile tahrik edilmek suretiyle, yayın olarak incelenmiştir. Bunlar dışında daha başka herhangi bir girdi fonksiyonu kullanan daha genel teoride mevcuttur. Adım, impuls ve kosinüs sinusoidal tepkiler, teori ve uygulamalı çalışmalara oldukça kolay uygulanabildikleri analizlerde en çok kullanılan girdi fonksiyonlardır.

Sönüm katsayısı ξ artarken, geçici bir adım kuvvet girdisine (kütleyle uygulanan) tepki, aşırı bir uçta sinusoidal bir salınımdan, öteki aşırı uçta son değere ağırca tırmanan bir eğriye kadar değişim gösterir. Birinci aşırı uçtaki sonüme underdamped (sönümsüz), ikinci aşırı uçtaki duruma da overdamped (aşırı sönüm) denir. Bu tepkiler şekil 6.5'te çizilmiştir.



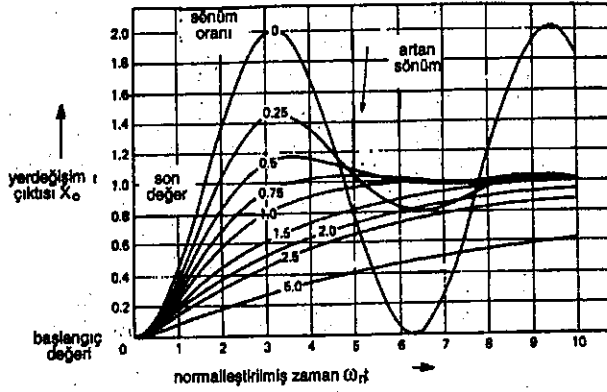
Şekil 6.4 Bir serbestlik derecesi yay, kütle ve söndürücü sistem örneği.

Sürekli bir sinüsoidal girdi kuvvetinin uygulanması durumunda sistem frekans tepkisi şekil 6.6 da gösterildiği gibi değişir. Dikkat edilecek olursa rezonans w_n de oluşur. Rezonansı sistemin sahip olduğu sönüm derecesi sınırlar. Böylece ölçülen bir sistemin ya da algılayıcının eğer yer sarsıntısı tipinde ise, sönümü, benzeri sistemlerin tepkilerinin belirtilmesinde önemli bir tanımlayıcı olabilir. Sönüm arttıkça sistemin tepkisi en alttaki birinci dereceden, üstel tepki halini alır ve sistem salınmaz.

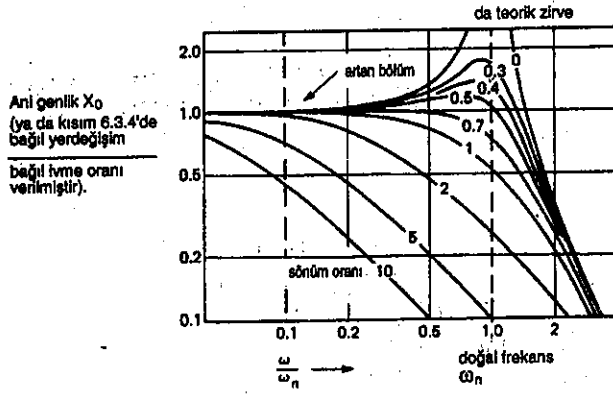
Titreşimin bu konusu ile ilgili faydalı bir giriş, Oliver (1971) de bulunabilir. Sistemlerin dinamik davranışları çok daha detaylı olarak, Crandall (1959), Harris ve Grede (1961), Sydenham (1983), Trampe-Broch (1980) ve Wallece (1970) de açıklanmıştır.

Ölçülen cismin titreşimi hakkında yukarıda verilen tartışma, daha sonra görülecek sismik titreşim algılayıcılarının çalışma ilkesinin anlaşılması için de esastır.

Bu nedenle, bir doğal frekansa sahip olmak, ikinci mertebeden sistemin bir özelliğidir. Bu, devamlı zorlanmış titreşim durumunda, tepelenmeyen bir impuls enerjisi verildiğinde, sistemin salındığı frekanstır. Böylece ikinci mertebeden olan ve sönmeyen bir algılayıcı sistem (ses enerjisi girdisi nedeniyle) kendi doğal frekansında çıktılar üretecektir. Bunlar ölçülen sistemde oluşan frekanslarla karşılıklı ilişki içinde değildirler. Sismik titreşim algılayıcıların kullanımı, bu nedenle, bu sınırlamaları kabul etmek zorundadır.



Şekil 6.5 İkinci dereceden bir sistemin, basamak kuvvet girdisine karşı yer değişim tepkileri.



Şekil 6.6 İkinci dereceden bir sistemin, devamlı sinüsoidal bir kuvvet girdisine gösterdiği yerdeğişim tepkileri. Aynı eğriler sismik bir kütle için bağıl yerdeğişimi/kütle için ivmesi, oranı içinde geçerlidir. Kısım 6.3.4'e bak.

Uygulamada bir ölçüm değerini bir dolaylı yolla algılamak ve istenen birimi matematiksel işlemlerle elde etmek de daha uygun olmaktadır. Örneğin, ivme ölçerler kuvvetlerin bulunmasında rahatça kullanılmaktadırlar (Kuvvet = kütle X ivme'den). Aynı şekilde gerilim ve uzama oranı da dolaylı yolla belirtilebilirler. İvme sinyali zamana göre iki defa entegre edilerek konum değişimi bulunabilir.

Hız transdüsörleri olarak kullanılan algılayıcılar bir integrasyonla konum değişimini verebilirler.

İntegrasyon genelde türeve tercih edilir. Çünkü integrasyon rastgele sesleri daha küçük ortalama değere indirebilir. Türevde ise bunun aksine sinyalin gürültüye oranını bozabilir. Matematiksel işlemlerin titreşim ölçümlerinde diğer ilgili değişkenlerin bulunmasına yardımcı olarak kullanımları yaygın bir uygulamadır.

6.1.2 Donanımın Uygulama Problemleri

Titreşim ölçümlerinde yanlış değerler üretmek daima çok kolaydır. Bu kısım, her yeni uygulama için dikkatli incelenmesi gereken birçok önemli donanım koşullarını belirtmektedir.

6.1.2.1 Çapraz Birleştirme

Transdüsörler çapraz-eksen bağlantısı gösterebilirler. Akılcıca uygulama, eğer mümkün ise, algılayıcıyı normal kullanıma dik bir doğrultuda titreten bir deneyi içerir. Dönme algılaması da önemli olabilir. Algılayıcılar eğer bu hatalar için önceden ayarlanmış iseler, ve kuşkusuz halen ayarlı durumlarını koruyorlarsa her kullanılışlarında bu deneylerden kaçınılabilir. Üzerlerinde ayarlandıklarına ait herhangi bir belirti olmayan algılayıcıların, deninceye kadar muhtemel hata kaynağı olarak kabul edilmeleri gerekir

6.1.2.2 Bağlantının Uygunluğu

Algılayıcı ile onun üzerine tespit edildiği yüzey arasında oluşturulan yapışma yeterince sağlam olmalıdır. Eğer böyle değil ise yüzey ve algılayıcı, anlaşılması mümkün olmayan bir tarzda titreten bir sistem oluştururlar. Bir örnek olarak, yeterince sağlam olmayan bir montaj, gerçekte oluşandan çok daha düşük frekanslı bileşenler üreten sonuçlar verebilir. Ekstrem durumda algılayıcı serbest salınabilir ve böylece ek yerinin düşük rezonans frekansını beklenmedik biçimde tehlikeli düzeylere gelecek şekilde arttırır. Kural olarak bağlantı yeri algılayıcıdan en az on kat daha kaba yapılarak rezonans frekansının algılayıcınınkinden daha yukarıda olması sağlanır.

6.1.2.3 Kablolar ve Ön Yükselteçler

Özellikle piezo-elektrik tipler olmak üzere bazı algılayıcı türleri kapasite ve beslemedeki yapay değişimlere hassastırlar. Bu tür beslemelerin kaynağı titreşim kablolarının sürtünme-elektriklemeleri, (tasarımlarında kabloların hareketine izin veren özel tipler kullanılmaktadır), elektrik alan kaçaklarını değiştiren bağıl nemdeki değişimler, (bu özellikle uzun kullanım süreli tesisatların tasarımlarında önem kazanmaktadır) ve ön yükselteç girdi şartlarındaki değişimlerdir.

6.1.2.4 Etkilenme Hataları

İdeal olarak algılayıcılar, etkilene değişkenleri olarak bilinen, dış hataların oluşmadığı, mükemmel bir ortamda çalıştırılmalıdır. Titreşim algılamasında muhtemel etkilene hata kaynakları, algılayıcının sıcaklığındaki değişimleri, olası manyetik alan dalgalanmaları (özellikle radyo frekanslarında) ve ortam akustik gürültü titreşimlerini içerir. Bunların herbirisi hatalı sinyal üretebilir.

Etkilenme değişkenleri için iyi bir kontrol, sistemi tamamen devreye sokmak ve bilinen bir sıfır düzeyli ölçüm değerine göre çıktıyı izlemektir. Burada uygulamada önemli hata girdisi sistematik olarak değiştirilip buna karşı algılayıcının davranışları izlenebilir. Çoğu titreşim ölçümleri sonunda işe yaramaz olarak değerlendirilmişlerdir. Çünkü bunlarda etkin hataların bazı şekilleri, esas ölçüm sinyalinden daha büyük sinyal üretmiştir. Görünüşte, elektrik ana (50 ya da 60 Hz) ve dolayısıyla harmonikleri frekansındaki titreşimler en çok şüphelenilenlerdir. Bu frekanslardaki mekanik titreşimlerin ölçümü, gerçek sinyallerin etkin hata gürültülerinden ayırmak gereksiniminden dolayı, özellikle zordur.

6.1.2.5 Algılayıcıların Yüklenmesi

Titreşim algılayıcı kütle içerir. Bu kütle küçültülürken hassasiyet genelde azalır. Titreşim bir sisteme kütle ilavesi, bu sistemin kütlesini yükleyerek frekansının değişimine neden olur. Bu nedenle imalatçılar, çok çeşitli eklenir tip algılayıcılar sunarlar. Eğer ilave edilen kütle, diyelim ki, ilgili kütlenin yüzde 5 ya da daha azı ise, sonuçlar uygun olacaktır. Kablolarda mekanik uyumu azaltarak sistem genliğini düşürebilirler. Sistemin yüklenmeye özellikle hassas olduğu yerde değmesiz sabit-karşılaştırmalı yöntemler yeterli bir ölçüm yapabilmek için tek çıkar yol olabilir.

6.1.2.6 Dengeye Erişme Zamanı

Bir yapıda sönüm küçük ise, rezonansın zirve değerini oluşturması için geçen zaman uzundur. Böyle bir rezonansı araştırmak için zorlanmış titreşim

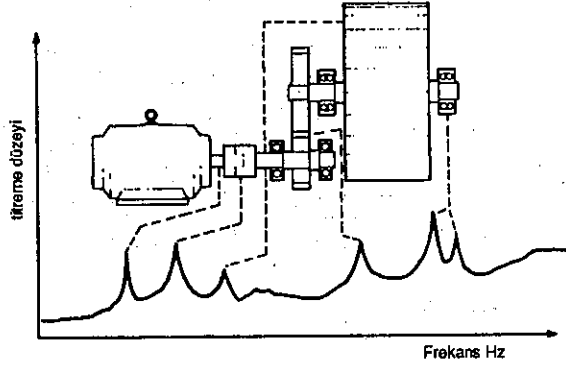
kullanırken, bu nedenle mevcut girdi frekansını çok çabuk süpürmemek önemlidir.

6.1.3 Uygulama Alanları

Bir ölçme yöntemi hakkında araştırma yapılırken, aynı cihazları kullanan benzer uygulamaları gözden geçirmek yardımcı olabilir. Titreşim, kuşkusuz, pek çok uygulamalarda ilginç olabilir ancak, ticari pazarlamada güçlerin yöneldiği az sayıda uygulama esas alan olarak ayırt edilebilir.

6.1.3.1 Makina Sağlığının İzlenmesi

Belirgin bir ilgi alanı makina sıhhatinin ya da kondisyonunun izlenmesidir. Sistemin ürettiği titreşimlerin dinlenmesi sayesinde kırılmadan genelde önlenebilir. Bir örnek şekil 6.7'de gösterilmiştir. Çalışan sistemlere titreşim ya da diğer tip algılayıcılar uygulanırken, ilk uygulama makina henüz yeni iken yapılır. Ardından aynı işlem makina çalıştığı sürece periyodik olarak tekrarlanır. Eğer frekans/genlik verileri (bunlara işaretler de denebilir) değişmiş iseler bu hangi parçanın tahrip olma yolunda olduğunu teşhisine yarayan bilgiler verebilir. Böylece zamansız büyük bir parçalanma oluşmadan, bozulmakta olan parça kolayca değiştirilebilir. Bu konularda bilgiler Bently Nevada (1982) ve Welles (1981) de bulunabilir.



Şekil 6.7 Makina sıhhatinin izlemesinde, donanmış donanımının parçalarına ait normal titreşim düzeyleri normal sinyaller olarak kaydedilir. Bunlarda meydana gelen değişmeler makina kondisyonundaki değişimleri belirler, Brüel ve Kjaer izniyle.

6.2 Genlik Ayarlaması

Statik genlik, (konum değişimi), standartlaştırılmış bir mikrometre, konum değişimi algılayıcısı ya da optik interferometre kullanılarak kolayca ayarlanabilir. Dinamik ayarlamalar ya doğruluk ve frekans tepki olarak bilinen bir yöntem kullanan karşılaştırma ya da ayarlanmış titreşim üretici yardımı ile yapılabilir.

6.2.1 İvme Ölçer Ayarlaması

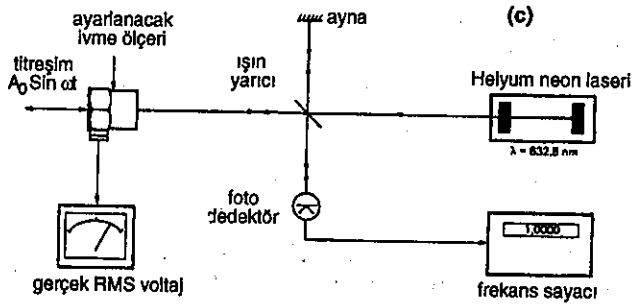
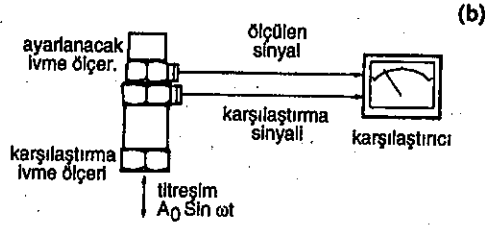
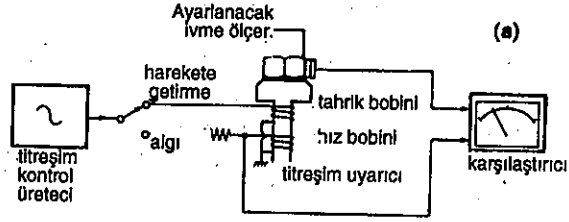
Şekil 6.8 ivme ölçerler ve diğer titreşim ölçen algılayıcıların ayarlanmasında kullanılan üç yöntemin özetini göstermektedir. Ayar normalde 500 rad s^{-1} de yapılır.

Kullanılabilecek diğer yöntemler, ivme ölçeri yerçekimi kuvvetinin ürettiği ivme etkisine sokmaktır. İvme ölçerin düşey düzlemde basit yalancı statik döndürülmesi 0 ile $\pm 1g$ (g burada yer çekimi ivmesi için kullanılmıştır), aralığında bir ivme üretir. Daha büyük değerler için ayarlama santrifüjün bir döner kolunun en ucuna takılmış ivme ölçerin hızla döndürülmesi ile ya da gene ivme ölçeri salınan bir sarkaçla bağlamakla elde edilebilir.

6.2.2 Çarpma (Şok) Ayarlaması

Çarpmada üretildiği gibi kısa süreli ivmeler, ayarlama da değişik bir yaklaşım isterler. İvme $10\,000 \text{ g}$ yi geçebilir ve sadece milisaniye süresince devam edebilir.

Çoğunlukla kullanılan bir yöntem, algılayıcının monte edildiği bir örs üzerine serbest düşmeye bırakılan bir çelik bilyanın çarpıtılması ile ayarlı bir çarpma (şok) üretmektir. Bu yöntem, mutlak bir ayar sağlar. Ancak, yukarıda tartışılan tüm yöntemler gibi, uygulamadan kaynaklanan belirsizlikleri vardır. Bu örnekte hata kaynaklarından biri, bir bilyanın aşağıya yönelik yolun düşmeye başlaması için serbest bırakılmasındaki zorluktan kaynaklanmaktadır. Gerçekten yola başlama anında, sıfır zamanda, bir miktar hız göstermesini önlemek zordur.



Şekil 6.8 İvme ölçerlerin ayarlanması için iki seçenek. (a) Ayarlanmış titreşim cihazı, ayarlanmış düzeyde silkeler. - Vargelli yöntemi. (b) Ard-arda, ayarlanmış bir ivme ölçeri ayarlanacak bir diğerine karşı ayarlamak - Karşılaştırma yöntemi, (c) Optik enterferometre kullanarak mutlak ölçme.

6.2.3 Kuvvet Ayarlaması

Statik kuvvetler, bir kuvvet algılayıcısına ölü yük ('yük' ayarlanmış kütleyi tanımlar) uygulaması ile ayarlanabilirler (bölüm 7'ye bak). Titreşimde ortaya çıkan dinamik kuvvetler, $\text{kuvvet} = \text{kütle} \times \text{ivme}$ bağıntısını kullanarak çok daha kolay belirtilebilirler. Belli bir kütle üzerinde bilinen ivmeler üret-

mek için sarsma cetvelleri kullanılır. Bu yolla, ivme ölçer üzerine uygulanan kuvvetler ve bunlarla birlikte, transdüsör duyarlık sabitlerini üretmek için gerekli uyumlu çıktı voltajı ya da akım belirtilebilir. Burada algılayıcı ayarına ilişkin daha fazla bilgi vermek olanağı yoktur. Ancak Literatürde, -Endevco (1980), Harris and Crede (1961), Herceg (1972), Norton (1969), Oliver (1971) ve Trampe-Broch (1980), titreşim algılayıcılarına ilişkin detaylı bilgiler mevcuttur.

6.3 Algılayıcı Uygulaması

6.3.1 Kütle - Yay Sismik Algılayıcılar

Sabit referans yöntemleri, uygulamalı titreşim ölçümleri ile bazı ilişkilere sahiptir, oysa gereksinme duyulan sabit bir karşılaştırma değeri bulmak çoğu kez olası değildir. Titreşim ölçümlerinin büyük bir bölümünde kütle-yay-sismik algılayıcı sistem kullanılır.

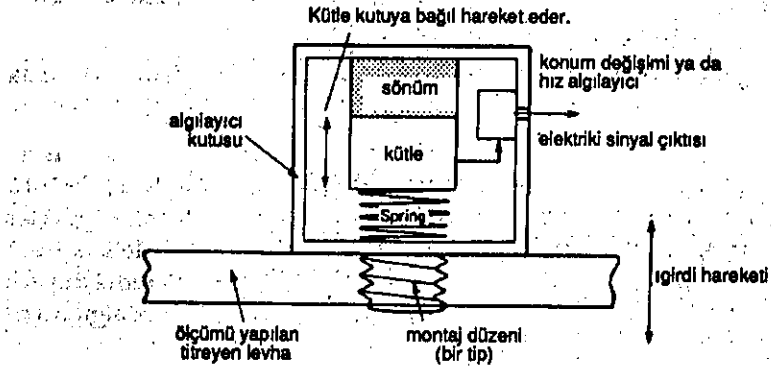
Uygun yay-kütle-sönüm bütünlüğü verildiğinde titreşen bir yüzeye bağlanan bir sismik sistem konum değişimi, hız ya da ivme değerleri verebilir. Maalesef bu üç değişkenin birbiriyle uyuşmayan istekleri, tek bir tasarımın bu üç istek için kullanımını imkansız kılmaktadır. Ama genelde bir değişkenden diğerini, veriler üzerinde matematiksel işlemler uygulayarak türetmek mümkündür.

İki tip sismik algılayıcı vardır. Açık döngü olarak adlandırılan birincisi, duruma göre ya yer değişim ya da hız algılayıcı transdüsörünü çalıştırmak için kafese bağlı hareket eden kütlelin değiştirilmemiş tepkilerini kullanır. İkinci tip döngüyü kapatır. (Bu nedenle kapalı döngü ya da servosismik algılayıcı olarak adlandırılır), çıktı sinyalini, kütleli aynı bağlı konumda tutan bir iç kuvvet üretmek için kullanır. Kuvvetin niceliği titreşim değişkeninin bir ölçüsüdür.

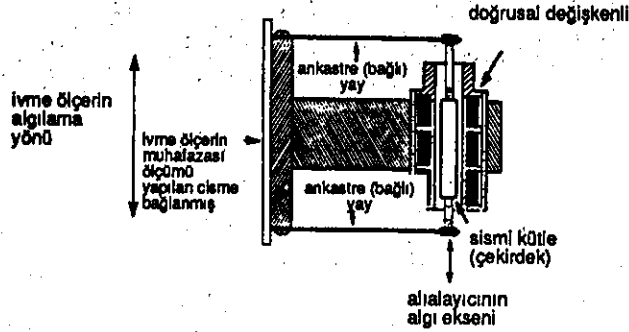
6.3.1.1 Açık-Döngü Algılayıcıları

Açık-döngü sismik algılayıcı tipinin ana yapısı Şekil 6.9'da verilmiştir. Gerçek yapı, yay kuvveti ve sönümün hazırlanış durumuna ve kullanılan algılayıcının biçimine bağlı olarak büyük bir değişim gösterebilir.

Yay elemanı ayrı bir mekanik eleman olarak üretilebilir. Şekil 6.10 eğilme çubukları kullanılan bir örneği göstermektedir. Yay için başka seçenekler olarak esnek zarlar, helisel bobinler, burulma çubukları ve benzeri elemanları kullanılabilir. Bazen de kütlelin kendisi, özelliği nedeniyle, yay olabilir. Örneğin, algılayıcı eleman olarak da kullanılan piero-elektrik kristalleri.



Şekil 6.9 Açık-döngü, sismik-tip titreşim algılayıcısının şematik yapısı.



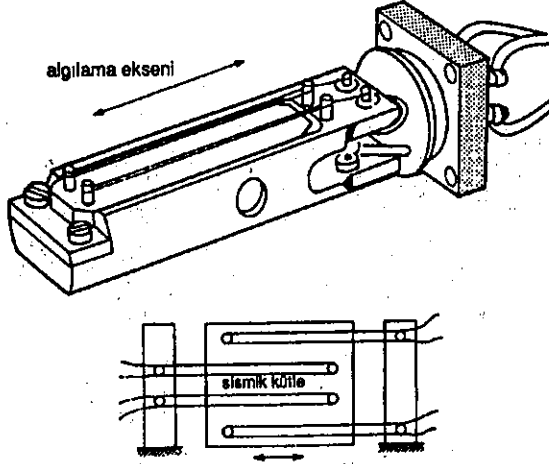
Şekil 6.10 Paralel eğilme yaylarına asılı ve endüktif kütü konum, algılayıcısı kullanan bir yay-kütü sismik algılayıcısının şematik görünümü.

Bir yayın önemli tasarım parametreleri, yay sabiti, genlik aralığı, yorulma ömrü, zaman sıcaklık ve diğer etkili faktörlere karşı özelliklerinin kararlılığı ve uygun bir algılayıcı ünite üretiminde paketlemeye uygunluğu olarak sıralanabilir. Yüksek doğal frekanslı alıcılar dışında kullanılan kütleler, yay elemanına göre tamamen rijit kabul edilebilir.

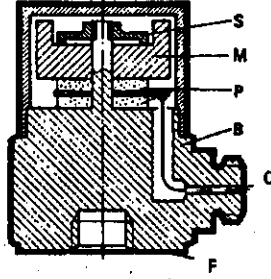
Doğrusal düzenlemenin şekil 6.9 da gösterilen döner tipleri de piyasada vardır.

Kullanılmakta olan algılama yöntemleri şöyle sıralanabilir; elektriksel direnç kayar potansiyometre, değişken endüktans, (örnek için şekil 6.10'a bak). Değişken direnme, değişken kapasitans, elektriki metalik streñ geyçler (şekil 6.11 deki gibi yapıştırılmış ya da yapıştırılmamış) ve yarı iletken streñ geyçler, piezoelektrik kristalleri ve daimi mıknatıs elemanlar, konuma duyarlı optik dedektörler ve elektro manyetik prensipler (doğrudan hız algılaması sağlayanlar).

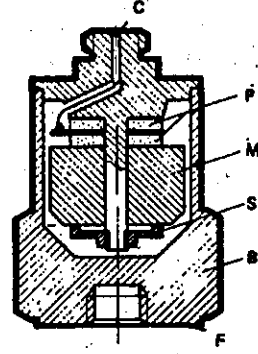
Algılayıcılar genelde bir kapsül halinde muhafaza içine alınmışlardır. Kapsüller toplam ağırlığı 1 gram, minyatür ünitelerden algılayıcı kütlelerinin büyük olduğu 0,5 kg lık ünitelere kadar birçok şekiller alır.



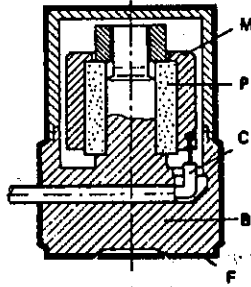
Şekil 6.11 İvme ölçerlerde kütle konum değişimini algılamak için kullanılan yöntemlerle başarılabılır. Bu ünite yapıştırılmamış streñ geyçler kullanır. Statham Instruments Inc. izniyle.



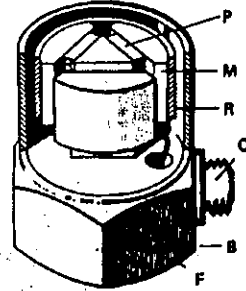
Merkezi
sıkıştırma
(CM)



Tersine çevrilmiş
merkezi sıkıştırma
(ICM)



Dairesel
kesme
(AS)



Üçgen
(delta)
kesme
(DS)

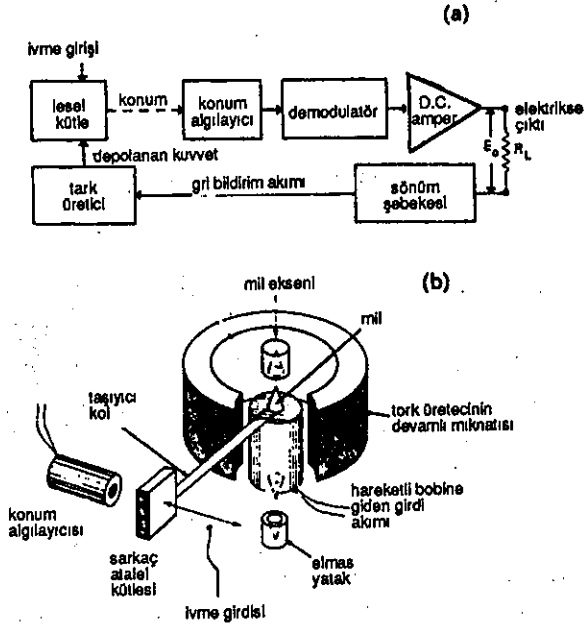
Şekil 6.12 Piezo-Elektrik algılayıcıya dayandırılmış bir ve üç eksenli ivme ölçer örnekleri, Brüel and Kjaer izniyle.

Çoğu tasarımlarda sıcaklık düzeltmesi istenir. Bu ya elektrik devrelerinde yapılır ya da bazı tür termomekanik cihazların yay-kütle-algılayıcı düzeneğiyle beraber kullanarak sağlanır.

6.3.1.2 Servo İvme Ölçerler

Açık döngü sismik algılayıcıların başarıları, tasarımı kapalı, bir döngü şekline dönüştürmekle algılama yeteneği, doğruluk ve çıktı sinyali genliği yönünden geliştirmek mümkündür.

Şekil 6.13, hareketli bobin tahrik edici ve kapasitans yer değişim algılayıcısına dayandırılmış bir tür kapalı döngü sisteminin şematik yapısını vermektedir.



Şekil 6.13 Bir tip kapalı döngü ivme ölçerin ana elemanlarına ait düzenleme, Schaevitz Engineering izniyle.

Üzerinde ivmenin uygulandığı kütle serbest desteklenmiş kolun ucunda dönebilir. Bu kol miknatıs gurubu tarafından oluşturulan daimi manyetik alan içine yerleştirilmiş bir elektrik bobinine bağlanmıştır. Kütleye uygulanan ivme kolu döndürmeye çalışarak, konum değişimine neden olur. Bu kütlenin bağıl konumunu algılamakta olan, kapasitif konum algılayıcısının dengesini bozar. Konum değişimi sinyalleri, fark algılayıcı yükselticiye girdi üretirler. Yükseltici bir eşdeğer elektrik akımını bobin içine göndererek kolun tekrar sıfır konumuna döndürülmesine neden olur. Eğer döngü tepkisi yeterince hızlı ise kütle, konum algılayıcısına bağıl, yaklaşık sabit bir yerde tutulmuş olacaktır. Burada ivme değişimleri, bobin akımı değişimlerine dönüştürülmüş olur. Bu yolla konum algılayıcısı, tercihen, sıfır denge mod'unda kullanılmıştır. Burada doğrusalılık ve sıcaklık değişiminin hatası geniş çapta yok edilmiştir. Sadece bobin akımı ile kuvvet arasında kolayca erişilen oransallık önemlidir. Servo cihazları daha kapsamlı olarak, Jones (1982), Herceg (1972) ve Norton (1969) da tartışılmıştır.

6.3.2 Konum Değişimi Ölçümü

Sabit referans yönteminin uygulanabileceği yerde herhangi uygun bir konum algılayıcısı kullanılabilir. Uygulamada sistemde oluşabilecek faz değişimi endişe kaynağı olabilir, fakat bazı uygulamalarda ise faz önemli değildir. Okuyucuya konum değişimi cihazlarına giriş için 3. kısmı incelemesi önerilir.

Bazen sabit referans kullanılmak üzere monte edilmiş bir hız transdüsörü çıktılarını entegre etmek çok daha rahat olmaktadır.

Sabit referans yönteminin uygun olmadığı yerde, aşağıda açıklanacağı gibi sismik algılayıcı sistemlerin biri kullanılabilir.

Kısım 6.1.1'de sabit bir karşılaştırma çerçevesine (titreşen bir cismin hareketlerini incelemek için tanımlanan kip) bağıl hareket eden bir kütle için verilen ikinci mertebeden denklemler, sismik kütlenin hareket genliği ile kasanın genliği arasındaki ilişki kuran eğrileri elde etmek için, tekrar işlenebilir. Bu sismik algılayıcısının çıktısıdır. Şekil 6.14, çalışma frekansı ve sarımın etkilerini gösteren tepki eğrileri ailesini göstermektedir. Eğer kasa ilgilenilen yüzey ile aynı hareketleri yapıyorsa, eğrilerden görülecektir ki, sismik algılayıcısının doğal frekansının oldukça üstündeki girdi titreşim frekansları için, ölçülen çıktı yer değişimleri (yüzde bir ya da civarında), yüzey hareketinin gerçek göstergeleri olacaktır. Bütün sismik konum değişimi algılayıcısı çoğu kez vibrometre olarakta tanımlanır. Çalışma frekansını, 0.5 anma değerinde bir sönüm sabiti kullanarak, düşürmek mümkündür. Fakat bu önemli olabilecek fazlarda çok daha hızlı değişen faz kayma hatası doğurabilir. En düşük kullanma frekansı ki, onun üstünde tepki hemen hemen düz

kalır, çeşitli sonum faktörü eğrilerinin, müsadde edilebilir sinyal toleransı içinde, oran değerinin bir olduğu yatay çizgiye yaklaştığı yer olarak görülmektedir.

Seçilen sönümün sabit kaldığı ve sistemin ikinci mertebeden tepkiyi izlediği varsayılırsa, devreye elektriksel frekans dengeleyici sokmakla, kullanılabilir. Frekansı biraz daha düşürmek de olasıdır.

Böylece konum değişimi genliklerini, bir sismik algılayıcı ile doğrudan ölçmek için, doğal frekans serisinin ölçümü yapılan sistemin frekans tayfının en düşük frekansından daha aşağıda olması gerekir. Bu tarzda sismik kütle boşlukta hemen hemen sabit kalarak sabit bir karşılaştırma noktası gibi davranır. Şurası da açıktır ki, bu sismik algılayıcı çok düşük frekansları ölçemez. Çünkü yeterince düşük rezonans frekansına sahip sistemin imali, ekonomik olarak olası değildir.

Eğriler teorik çizilmiş olup açıkça belirtirler ki, sismik algılayıcı, bu durumda, sonsuz frekansa yatay bir tepki gösterecektir. Bu uygulamada böyle değildir. Çünkü titreşimin frekansı arttıkça, sismik algılayıcı yapısı, sistemin esasından değişik tarzda titreşen yay gibi mekanizmaların neden olduğu diğer frekanslarda, rezonansa başlar.

Eğer, ivme ölçerlerin düşük frekans aralığı aşağıya doğru 1 Hz den (kısım 6.3.4 e bak) daha düşük değerlere genişletilebilse, doğrudan okunmalı sismik algılayıcı tasarımı kullanmaktansa konum değişimi genliğini üretmek için bir ivme ölçer sinyalini iki defa integre etmek genelde çok daha uygulanır olabilirdi.

6.3.3 Hız Ölçümü

Doğrudan bir hız sinyali üreten ilk yöntem, elektro manyetik indüklenme ilkesini kullanır. Bu ilkeye göre, N sargılı bir elektrik bobini, ϕ manyetik akıyı, t zaman süresinde keserse, e elektriki voltaj elde edilir. Şöyle ki;

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Hız algılayıcıları öz üretgen olup, bir voltaj çıkışı üretirler. Bu voltaj, bir bobin serisinin sabit ve homojen bir manyetik alanı içinden geçiş hızı ile orantılıdır.

Bu tip algılayıcıların bir çok şekilleri vardır. Yaygın kullanılan hareketli bobin düzeni, daimi bir elektrikli mıknatıs tarafından üretilen manyetik alanda titreşen bir silindirik bölüm içerir. Genelde görülen düzenek, şekil 6.15 (a),

dönüşümlü-role hareketli- bobin hoparlör hareketli ile özgeleştirilmiş tiptir. Bu tip için çıktı voltajı V_{ϕ} şu bağıntı ile verilmiştir.

$$V_{\phi} = - B l v \cdot 10^{-9}$$

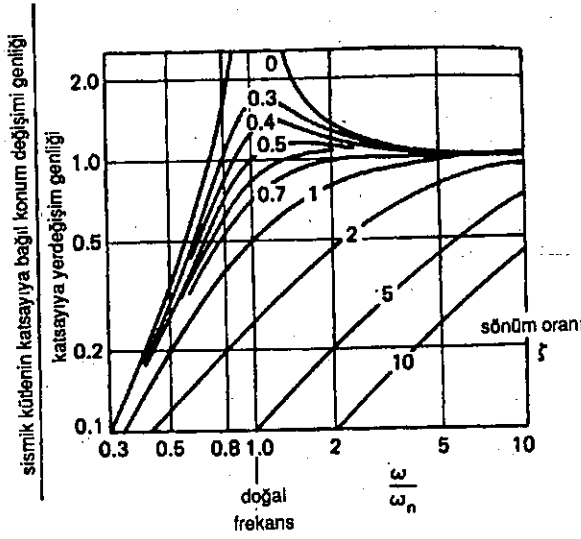
Burada B tesla olarak akı yoğunluğunu, l toplam akı kesimine katılan iletkenin etkin boyunu ve v bobininin mıknatısa bağlı ani hızını ms^{-1} biriminde, tanımlar. Eğer sabit iletken yolu boyunca üniform alan sağlanmış ise algılayıcı bir doğrusal çıktı verir.

Bu algılayıcılar bağlı düşük hızlardaki doğal yüksek çıktıları nedeniyle eskiden sismoloji araştırmalarına uyarlanmışlardı. Bunlarda bobin empedansı genelde sinyallerin iyi bir sinyal/gürültü oranı ile üretimini ve aynı zamanda kablo boyu ve tipine bağlı olarak devreye giren hataların azaltılmasını olası kılacak biçimde düşük olacaktır. Ancak bunlar kütle ve rijitlik sorunları yaratacak biçimde büyüktür. Düşük rezonans frekansına sahip olma eğiliminde olup, (on'larca Hz.), kullanımı düşük frekanslarla sınırlanmaktadır. Yüksek frekanslarda çıktı değeri düşme eğilimi gösterir. Açıkça görülecektir ki, bu algılayıcılar sıfır hızda sinyal üretemeyeceklerdir. Çünkü manyetik akıyı kesecek herhangi bir hareket olmayacaktır.

İkinci çeşit öz üretken hız algılayıcısı, değişken relüktans yöntemi, sürekli bir manyetik etki (bias) vermek için bir daimi mıknatıs içeren bir dizi manyetik devreler kullanır. Bu devrenin bir parçası olan armatör o şekilde yapılmıştır ki, etkin hava boşluğu işlenen hareketle değişir. Manyetik devre etrafına bir alıcı bobini yerleştirilmiştir. Armatör hareket ederken, oluşan manyetik akı değişimi bobini keserek bir sinyal üretir. Bu sinyal uygun bir tasarım sayesinde titreşimin genliği ile doğrusal ilişkili duruma uydurulabilir. Bu tasarımın avantajı armatörün izlenecek yapının bir parçası gibi imal edilebilmesidir. Şekil 6.15(b) bu durum gösterilmiştir. Hava boşluğu en az titreşim genliği kadar olmak zorunda olduğundan özellikle bu tip duyarlı değildir. Örneğin yaklaşık 12 mm çaplı bir ünite, yüksek manyetik geçirgenli ve 2 mm aralıkta yerleştirilmiş hareketli bir disk gurubu ile kullanıldığı zaman yaklaşık 150 m/ms^{-1} lik bir çıktı verir.

Bir üçüncü yöntem, bir yay tarafından tutulan bir daimi mıknatıs kütle olarak kullanır. Bir örnek Şekil 6.15(c) de gösterilmiştir. Titreşim mıknatısın sabit bobine bağlı hareketine ve bununla beraber bir hız sinyali üretimine neden olur. Bu tipler yüksek çıktı üretirken, bir özel tipinde görülen hassasiyet yaklaşık 5 V/ms^{-1} olmuştur.

Sabit bir karşılaştırma noktasının kullanılamadığı yerlerde, konum değişimi algılayıcısı yerine bu tip algılayıcı sismik algılayıcı düzeninde imal edilebilir. Bu durumlarda titreşen sismik algılayıcı, hız ile doğru orantılı sinyaller üretir. Bu, şekil 6.14 de verilen genel tepkileri izleyecektir. Bu eğrilerden

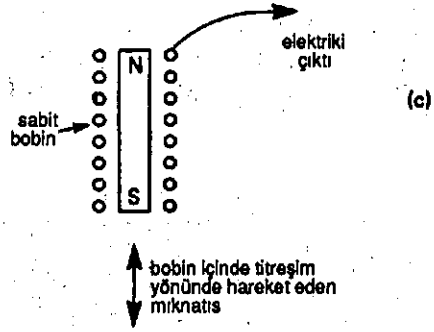
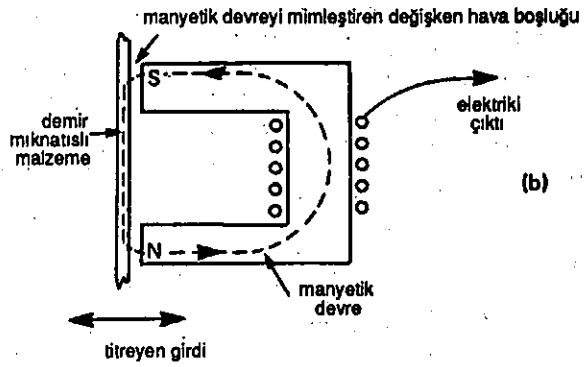
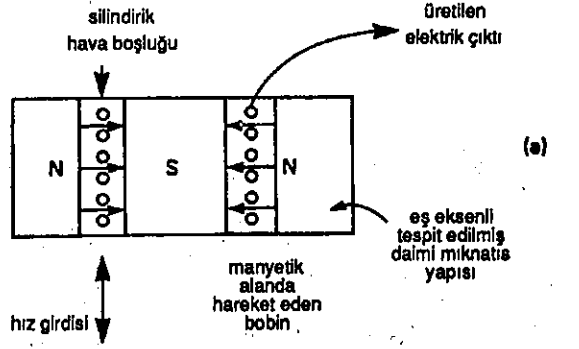


Şekil 6.14 Sismik algılayıcılar ile konum ve hız algılamalara ait tepkiler.

görülebilir ki, doğal olarak oldukça düşük olan doğal frekansın üstünde oldukça uygun düz (yatay) bir tepki vardır.

6.3.4 İvme Ölçümü

En çok sınırlamalar sismik tip algılayıcılarda olmak üzere, sabit karşılaştırma noktalı (sabit referanslı) ivme ölçme yöntemleri pek az kullanılır. Sismik algılayıcı sistemler için kütle ve yay katsayısı sabittir. $F=ma$ yasası veya katsayısı dikkate alınacak olursa görülecektir ki, kütlenin algılayıcı kutusuna bağlı hareketi, kutunun ivmesi ile orantılıdır. Bu demektir ki, şekil 6.6 da çizilmiş eğriler (İkinci derece bir sistem sinüoit bir kuvvet girdisi için), konum değişim algılaması kullanan ivme ölçerlerin çıktı tepki eğrileri olarak da uygulanabilirler. Bu durumda düşey ekseninin kullanımı, kasaya uygulanan bir ivmeye karşı, kütlenin kasaya bağlı hareketi olarak yorumlanır.



Şekil 6.15 Hız algılayıcıların şekilleri.
(a) Manyetik bobin, (b) Değişken relüktans, (c) Hareketli daimi mıknatıs

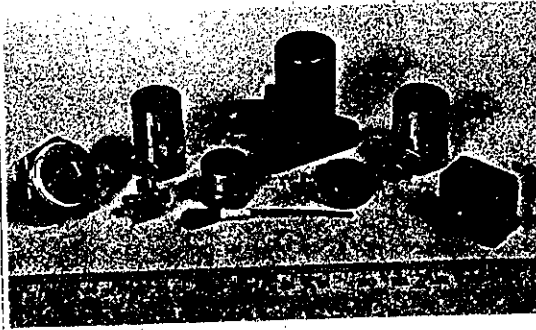
Eğriler göstermektedir ki, bir sismik algılayıcısı, yay-kütle sisteminin çok düşük frekansından doğal frekansı civarına kadar, algılayıcı ivmesini gösteren sabit bir duyarlılık çıktısı verecektir. Gene sönüm oranı yaklaşık 0.5-0.6 civarında en iyi şekilde kullanılır hale sokulabilir ve üst sınırı, rezonans noktasından biraz öteye, yükseltmek için elektronik düzeltilmesi eklenebilir (eğer gerekiyorsa).

Bu nedenle, ilk bakışta çok yüksek rezonans frekansına sahip tek bir genel amaçlı tasarımın yapılabileceği gözükebilir. Ancak bu yay çökmesinin (sistem çıktısının duyarlılığına karar verirken gözönünde tutulan en önemli değişken) $1/\omega_n^2$ ile orantılı olduğu durum değildir. Bunun uygulamadaki anlamı şudur: üst kullanılabilir frekans sınırı genişletildikçe algılayıcı duyarlılığı azalır. Elektronik güçlendirme düşük sinyal çıktılarının kullanımına izin verir, ancak tüm sistemin fiyat artar.

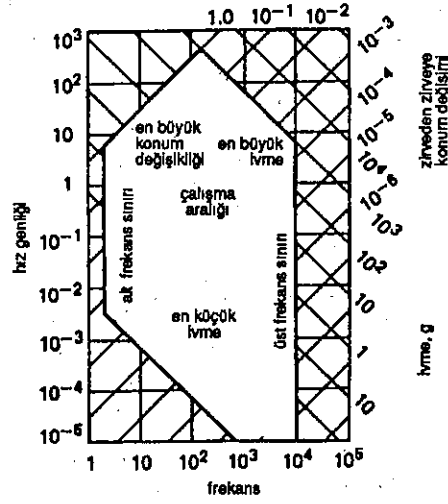
İvme ölçerler tepkisinin düşük frekanslar ucunda, transdüsörler etkisizleşir. Çünkü ivmeler o kadar küçük konum değişimi üretirler ki, çevre gürültü düzeyinde bunları izleme olanağı yoktur.

6.3.4.1 Tipik Algılayıcılar

Piyasada bulunan kapasite aralığı kılavuzu olarak büyük bir firmanın tarafından çıkartılan kataloğa göre küçük $30 \mu\text{V}/\text{ms}^{-2}$ den $1 \text{ V}/\text{ms}^{-2}$ ye kadar bunlara uyan algılayıcı ağırlığı olarak 3 g ve 500 g. ve kullanılır frekans aralığı 1-60 000 Hz ve 0.2-1000 Hz olarak imal edilmektedir. Daha yüksek frekanslar içinde algılayıcılar imal edilmiştir. Ancak bunlara özel imalat gözüyle bakmak gerekir. Şekil 6.16 da bir seçenek serisi gösterilmiştir.



Şekil 6.16 Titreşim ölçümünün tüm gereksinimlerine yanıt verebilecek bir ivme ölçerler serisi. Inspek Supplies, New South Wales, izniyle.



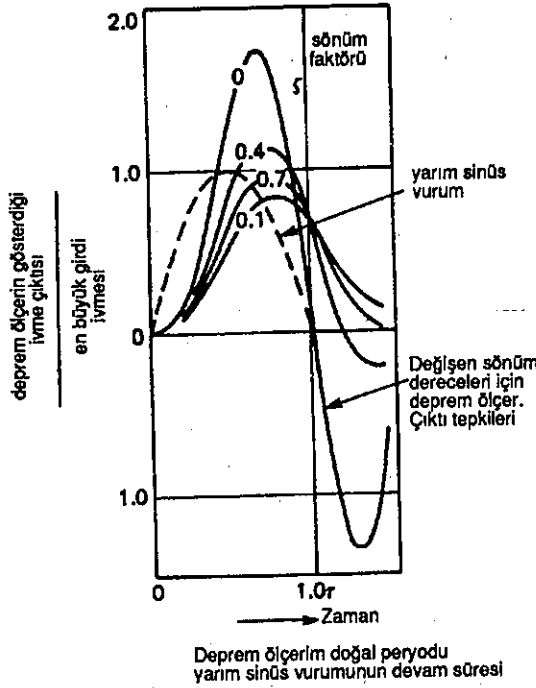
Şekil 6.17 Bir özel sismik titreşim algılayıcısının kullanılır doğrusal işlem aralığı bu grafikte tanımlanabilir, McGraw-Hill izniyle.

Özel bir sismik algılayıcının çeşitli işlem değişkenleri üzerinde ne kadar çok sınırlamalar bulunduğu, şekil 6.17'deki gibi tek bir grafikte görülebilir. Harris and Crate (1961).

İvme ölçerlerin yaylarının çoğunlukla, sismik konum değişimi algılayıcılarına oranla daha kuvvetli olması istendiğinden, her zaman bir malzemenin doğal yay katsayısını düşürmek için sarım (helezonik yay) oluşturulması gerekmez. İvme ölçer yayları, preslenmiş rijit plaka, uçları yassılaştırılmış rondela ya da yeterli esnek gergi civatası gibi elemanlar olabilir. Piezo-duyarlı malzeme kullanında genelde malzemenin esnekliğinden yararlanılır.

6.3.4.2 Karmaşık Dalga Şekillerine Tepki

Sismik algılayıcılarının sinüoit sinyallerle tahrik edilmesi ile ilgili tepki eğrileri verilmişti. İvme ölçer gibi belli bir algılayıcının diğer sürekli ya da parçalı dalga şekillerinin ölçümünde kullanılırken tepkilerinin önceden tahmini için ilk yapılacak iş dalga biçimini Fourier bileşenlerine ayırmaktır. Bu bileşenlere karşı, genlik ve faz cinsinden tepkiler daha sonra toplanarak toplam tepki elde edilir. Bir sismik algılayıcısının kullanılır radyo dalga genişliğinin büyütülmesi için sistem sönüm eklenebileceği yukarıda bildiril-



Şekil 6.18 Bir sismik ivme ölçerin, karmaşık bir zorlama girdisine karşı, çeşitli sönüm katsayılarındaki tepki örneği.

mişti. Ancak bunun yapıldığı yerde genelde frekans değişimi ile faz kaymasını artır. Bu nedenle çok frekans içeren bir sinyal, algılayıcının sönüm ve doğal frekansına şiddetle bağlı bir çıktı üretecektir. Şekil 6.18'de ki gibi bir dizi tepki eğrileri, okuyuculara önerilen Harrio ve Crede (1961) de çizilmiştir. Genelde en iyi çok yönlü sonuçlar için sönüm değeri kritik değere yakın olanıdır.

6.3.4.3 Piezo-elektrik Algılayıcı

Bir sismik algılayıcının içindeki kütlenin hareketini ölçmek için sayısız algılama yöntemleri tasarlanmıştır. Biz burada en yaygın kullanılan yöntemi tartışacağız. Diğerleri aşağıdaki kaynaklarda tanıtılmışlardır. Endeuco (1980), Harrio ve Crede (1961), Hecceg (1972), Norton (1969) ve Oliver (1971).

Belirli kristal yapılı kuvars gibi malzemeye uygulanan kuvvet uygun biçimlendirilmiş bir kristalin iki yüzeyi arasında, kuvvetle orantılı bir elektrik

yükü oluşturur. Bu yük yüksek dielektrik malzemesi tarafından oluşturulan içsel elektrik kapasitansı ve değme halindeki iki artık yüzey tarafından kaplanır. Bu etki için tasarlanmış matematiksel ilişki aşağıdaki gibidir:

$$q = a \cdot F \cdot k_s$$

Burada q elektrik yükü olup, yay katsayısı k_s (mN^{-1}) ve daha karmaşık malzeme sabiti a (cm^{-1} boyutunda) olan mekanik uyumlu bir piezo-elektrik cihazının yüzeyleri çaprazına uygulanan F (Newton olarak) kuvveti tarafından üretilmiştir.

a sabiti, kristalin geometrisi, elektrodun konumu ve kullanılan malzeme-iyi içeren birçok değişkene bağlıdır. Günümüzde kullanılan tipik malzemeler (doğal kuvars düşük duyarlılıkta olup, az uygulanmaktadır) baryum titanat kontrollü empürilerle birlikte kurşun zirkonat, kurşun niobat ve birçok gizli tutulan diğerlerini içerir. Malzemeler serbest tozdan imal edilir ve özel şekil verildikten sonra yüksek sıcaklıkta fırınlanırlar. Soğutma esnasında bloklar bir manyetik alan etkisine sokularak polarlama sağlanır.

PZT olarak adlandırılan bu malzemenin duyarlılığı, sıcaklığa bağlı olup, dolgu süresince duyarlılık ve kapasitenin her ikisi de sıcaklıkla değişir. Bu dolgu basit doğrusal yasa izlemez. Bu tür malzemelerin "Curie noktası" denen bir kritik sıcaklıkları vardır. Bunlar asla bu sıcaklığın üstüne kadar ısıtılmamalıdır. Curie noktası 120°C den, daha basit baryum titanat tiplerinden, 600°C 'a kadar değişir. İlgili okuyucular daha kapsamlı açıklamalar için Brüel ve Kjaer (1976), Endevco (1980), Harris ve Crede (1961), Klaasen (1978) ve Trampe-Broch (1980) e baş vurulabilir. Ayrıca detaylı bilgiler PZT malzemesi üreten firmalardan edinilebilir.

Bir PTZ algılayıcısının yükünü okumak için, yük niceliğini bir eşdeğer voltaja dönüştüren bir elektronik yükseltici kullanılır. Sistemin doğası gerçek olmayan d.c tepki verir.

Uygulamada ivme ölçmek için kullanılan PZT algılayıcıları, ölçülecek genliğe bağlı olarak, aşağıya yaklaşık 0.1 Hz . kadar çalıştırılabilirler. Bağlı olarak pek yüksek yapılabilir (bazı tasarımlarda yaklaşık $100\,000 \text{ Hz}$ 'e kadar) doğal frekanslarla PZT algılayıcıları, çoğu titreşim gereksinmelerine yanıt verebilecek, kullanılabilir frekans aralığı sağlarlar. Ancak sistemin tepkisi sadece algılayıcılara değil aynı zamanda kablolar ve PZT ünitesi ile kullanılan ön yükseltece de bağlıdır.

PZT malzemesi, dolgu üretmek üzere basit basma, kesme ya da eğme de kullanılabilir. Şekil 6.12 piyasada var olan bazı PZT ivme ölçerleri vermektedir. Algılayıcı tasarımı, titreşimin üç öteleme bileşenini veren üç ünitenin birleştirilmesinden sorumludur.

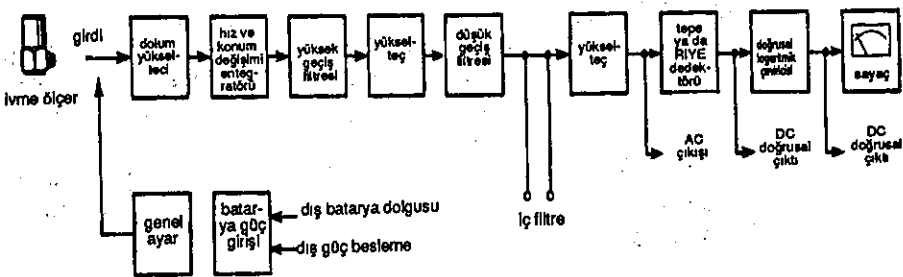
PZT malzemesi kendi başına, kritik sönümün sadece 0.03 ü düzeyinde katkıda bulunur. Eğer ilave bir sönüm eklenmezse, PZT transdüörleri kendi rezonans frekanslarına çok yakın kullanılmamalıdır. Kutu içindeki montaj düzenlemeleri de bir miktar devre sönümler eklerler. Bazı tasarımlar bir ilave yay elemanı kullanırken, bazıları basmanın tüm uygulanır genliklerinde biyas (biased) kalabilmeleri için PZT elemanlarına öngerilme uygulamak için bir ilave yay kullanırlar. Bu ise işlemleri daha da doğrusallaştırır.

Tipik algılayıcı duyarlılıkları aralığı 0.003 pC/ms^{-1} den 1000 pC/ms^{-1} e kadar uzar. Bu da demektir ki, aşağıdaki ön yükseltici üniteleri de önemli ölçüde değiştirilmelidirler.

6.3.4.4 Piezo-elektrik Algılayıcı Yükselteçleri

PZT algılayıcısını devreden çıkartan bir yükselteç çok yüksek giriş empedansına, yeterli frekans tepkisine ve düşük çıktı empedansına sahip bir yükselteçtir. Kazancın (gain) ve filitreleme etkisinin ayarına ve hız ve konum değişiminin integrasyonuna da, birçok değişik uygulamalarda kullanımı kolaylaştırmak için, genelde gereksinme vardır. Şekil 6.19, gereksinme duyulabilecek çoğu özellikleri bir araya getiren tipik bir sistemi göstermektedir.

Yükselteç, algılayıcıyı bir voltaj kaynağı ya da bir dolgu kaynağı kabul edecek şekilde tasarlanabilirdi. Sonuncusu, güncel geri beslemeli işlevsel yükselteç yöntemi kullanımında tercih edilir. Kablo, algılayıcı ve yükseltici kapasitansları ihmal edilebilir hale sokulabilir (Bu voltaj-okuma yönteminde olası değildir).



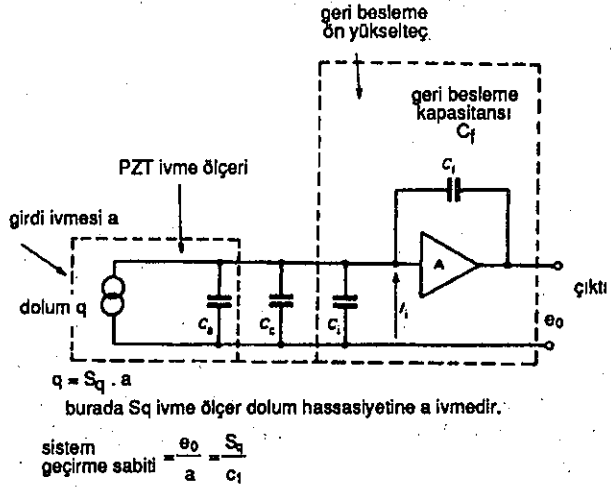
Şekil 6.19 Gereksinme duyulabilecek fonksiyonları gösteren titreşim ölçümü blok diyagramı

Şekil 6.20, kablo yoluyla bir işlevsel yükseltece (ön yükselteç) bağlanmış uygun eşdeğer bir PZT ivme ölçer devresidir. Devre meydana gelen etkin kapasitansları içerir.

Kanıtlanabilir ki, geri beslemenin bu yolla ve çok yüksek yükselteç kazancı A kullanımı, örnekler için Trampe-Broch (1980)'e bak, bize aşağıdaki bağıntıyı verir.

$$e_0 = \frac{S_q}{C_f} a$$

Bu da gösteriyor ki, kullanıcının, ön yükselteç çıktı voltajını algılayıcının ivmesi ile ilişkilendirebilmesi için, sadece algılayıcı dolmuş hassasiyeti S_q ve geri besleme kapasitansı C_f yi tanımlamasına gereksinimi vardır.



Şekil 6.20 Bir işlevsel yükselteç yöntemi ile sorgulandığında, piezo-elektrik algılayıcı devresine eşdeğer devre

6.3.5 Şok Ölçümü

Şok uygulanan kuvvetin ani kısa bir çarpması olup, çok büyük bir ivme üretir (100 000 g ye çıkabilir) ve tekrarlanmaz. Şok her ne kadar bazen salınımın kısa bir çarpmasını tanımlamakta kullanılırsa da, titreşim dalga biçiminin sadece bir defa oluşumu gibi kabul edilebilir.

Verilen bir titreşim algılayıcısının davranışını anlamak, onun tepkisinin Fourier analizini tepeleri kesilmiş dalga şekline, uygulamak gereklidir. Matematik daha da karmaşık hal alır. teorik çalışmalar bizi bir genellemeye götürür: dalga şekli yüksek genlikli ve kısa süreli tek bir vuruma benzemeye başladığında eğer, verilen çıktı, gerçek titreşim değişken girdisinin yeterli bir kopyası ise algılayıcının frekans bandını genişletmek gerekir. Algılayıcının doğal frekans periyodu vurum boyundan daha kısa olunca doğruluk artar. Doğal frekans ve sönüme bağlı tepkilerin değişimine ait bir yorum, Harris ve Crede (1961) de verilen grafiklerde elde edilebilir. Şekil 6.18 de bir örnek verilmiştir.

Yükseltece uygulanan çok büyük kuvvetler, algılayıcı sistem içindeki mekanik gerilmeleri değiştirmeden, büyük geçici kuvvetlere dayanabilme gereğini gözönünde tutan bir tasarımı şart koşar.

İyi tasarlanmış şok algılayıcısı, 5 μ s kadar kısa yarım sinüs vurumlarını doğru olarak ölçebilir. Çok kısa süren şokların ölçümleri elde etmek için çıktıda görülen bir kısım sesler göz ardı edilebilir.

6.4 Diğer Kaynaklar

Kullanılmakta olan yükselteç türleri üzerine yazılmış pek çok genel kitap, piyasada bulunabilir. Sidenham (1983) bir IMEKO bibliyografyası, ölçüm tekniği literatürü için faydalı bir giriş noktası olabilir.

Piyasada var olan birçok cihaz ders kitaplarından pek azı titreşim konularından, ayrı bir bölüm olarak sözeder. Bunlarda yakın konular, hız ve ivme ölçümü, ivme ölçerler, konum algılama ve piezo-elektrik sistemler gibi başlıklar altında kapsanmıştır. Bir bölüm boyu bu konuyu tanıtmaya tartışması içeren ders kitapları arasında, Herceg (1972), Norton (1969) ve Oliver (1971) sayılabilir.

Tümüyle titreşim ve ilgili ölçümler için yazılmış bazı (ancak pek az) eserler vardır. Sınırlı giriş ya da tanıtım bilgilerinden daha fazlasına gereksinime duyan okurlar için başvuru eserleri olarak Brüel ve Kjaer (1975, 1982), Endevco (1980), Harris ve Crede (1961), TrampeBroch (1980) ve Wallace (1970) önerilebilir.

Titreşim - ölçümü ve kontrol cihazları üreten ticarethaneler de genelde geniş literatur ve başka alıştırma kılavuzları hazırlıyarak beklenmedik kullanıcılarına yardımcı olurlar.

6.5 Kaynakça

- Bentley Nevada, *Bently Book One* (Application notes on vibration and machines), Bentley Nevada, Minden, USA (1982).
- Brüel & Kjaer, *Vibration Testing Systems*, Brüel & Kjaer, Naerum, Denmark, (1975).
- Brüel & Kjaer, *Piezoelectric Accelerometer and Vibration Preamplifier Handbook*, Brüel & Kjaer, Naerum, Denmark, (1976).
- Brüel Kjaer, *Acoustics, Vibration & Shock, Luminance and Contrast, National and International Standards and Recommendations*, Brüel & Kjaer, Naerum, Denmark, (19817).
- Brüel & Kjaer, *Measuring Vibration - an Elementary Introduction*, Brüel & Kjaer Naerum, Denmark, (1982).
- Crandall, S.H. *Random Vibration*, Wiley, New York, (1959).
- Endevco, *Shock and Vibration Measurement Technology*, Endevco Dynamic Instrument Division, San Juan Capistrano, USA, (1980).
- Harris, C.M. and Crede, C.E. *Shock and Vibration Handbook Vol. 1. Basic Theory and Measurements*, McGraw-Hill, New York, (1961, reprinted in 1976).
- Herceg, E.E. *Handbook of Measurement and Control, HB-72*, Schaevitz Engineering, Pennsauken, USA, (1972, revised 1976).
- Jones, B.E. 'Feedback in instruments and its applications' in *Instrument Science and Technology*, Jones, B.E. (ed), Adam Hilger, Bristol (1982).
- Klaasen, K.B. 'Piezoelectric accelerometers' in *Modern Electronic Measuring Systems*, Regtien, P.P.L., (ed), Delft University Press, Delft (1978).
- Norton, H.N. *Handbook of Transducers for Electronic Measuring Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1969).
- Oliver, F.J. *Practical Instrumentation Transducers*, Pitman, London, (1971).
- Sydenham, P.H. *Handbook of Measurement Science-Vol. 2. Fundamentals of Practice*, Wiley, Chichester, (1983).
- Trampe-Broch, J. *Mechanical Vibration and Shock Measurements*, Brüel & Kjaer Naerum, Denmark, (1980).
- Wallace, R.H. *Understanding and Measuring Vibrations*, Wykeham Publications, London, (1970).
- Welles, P. 'Machine condition monitoring, Proceedings of structured course Chisholm Institute of Technology, Victoria, Australia, (1981).

7 KUVVETİN ÖLÇÜMÜ

C.S. BAHRA

7.1 Temel Kavramlar

Eğer bir cisim serbest bırakılırsa, ya yerçekiminden kaynaklanan ivme ile ya da konumuna ait serbest düşme ivmesiyle düşmeye başlayacaktır. Dünyanın cisimler üzerine uyguladığı çekimden oluşan ivme ile dünyanın kendi eksenini etrafındaki dönmesinden kaynaklanan ivme bileşeninin toplamından oluşan bileşke ivmeyi g ile belirtiriz. g nin değeri konum ve yüksekliğe bağlı olarak değişmekte ve bu değişim ekvator ile kutuplar arasında yaklaşık yüzde 0.5 olmaktadır. g nin yaklaşık değeri 9.81 m/s^2 dir. Kuvvetin uygulama standartlarını oluşturmak için, yerkürenin yüzeyine bağlı hareketsiz duran, belli kütlelere etkiyen yer çekimi kuvvetlerinin belirlenmesinde, g nin kesin değerini bilmek zorunludur. Kuvvet ölçüm sistemlerinin ve cihazların ölü-yük ayarlamalarına ait uygulama standartları bu gözleme dayandırılmıştır.

Ağırlık-ölçüm (kütle-ölçüm) ve kuvvet-ölçüm sistemlerinin birimleri arasında açık bir ayırım yapmak gereklidir. Kuvvet-ölçüm sistemleri newton olarak ayarlanırken, ağırlık-ölçüm sistemleri kilogram olarak ayarlanabilirler. Kütle, kuvvet ve ağırlık aşağıda verildiği gibi tanımlanırlar.

Kütle: Bir cismin kütlesi, o cismin içerisindeki madde miktarı olarak tanımlanır ve bu miktar cisim herhangi bir yere götürülürse bile sabit kalır. Kütlenin birimi kilogramdır (kg).

Kuvvet: Kuvvet, hareketsiz veya hareket halindeki bir cismin hızında bir değişim meydana getiren ya da meydana getirme eğiliminde olan büyüklüktür. Kuvvet'in bir sayısal büyüklüğü, bir yönü ve bir de uygulama noktası vardır. Kuvvet Newton'un harekete ait ikinci kanunu yolu ile kütle ile ilişkilidir. Bu ilişki, $\text{kuvvet} = \text{kütle} \times \text{ivme}$ şeklindedir.

Birim Kvvet: Uluslararası birim sisteminde kuvvet birimi Newton'dur (N). Newton, bir kg 'lık kütleyle uygulandığında ona saniyede bir m/s lik bir hızlanma veren kuvvettir (m/s^2).

Ağırlık: Bir cismin yerkürenin yüzeyine göre hareketsiz m kütlesine ait F ağırlığı, o cisme yerçekimi tarafından uygulanan kuvvet olarak tanımlanır. $F=mg$, burada g yerçekiminden dolayı oluşan ivmedir.

Bu bölümün asıl amacı, en çok kullanılan kuvvet ölçüm yöntemlerini yeniden gözden geçirmek, bunların tasarımında kullanılan ilkeleri, sınırlamaları ve kullanım koşullarını kısaca tartışmaktır. Burada çok detaylı matematiksel ve fiziksel kavramları vermektense, meraklı bir okuyucuya daha ileri araştırmalar yapabilmesi için yol gösterme hedeflenmiştir.

7.2 Kuvvet Ölçüm Yöntemleri

Kuvvet ölçüm yöntemleri, doğrudan karşılaştırma ve dolaylı karşılaştırma olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bir doğrudan karşılaştırma yönteminde bilinen bir kütle üzerine etki eden bir yerçekimi kuvveti ile bilinmeyen bir kuvvet direkt olarak karşılaştırılır. Basit bir analitik denge, bu yöntemin bir örneğidir. Bir dolaylı karşılaştırma yöntemi ayar yapılmış kütlelerin veya transdüörlerin kullanımını gerektirir. Dolaylı karşılaştırma yöntemlerinin bir özeti aşağıda verilmiştir.

- a) Kol-denge yöntemleri,
- b) Kuvvet-denge yöntemi,
- c) Hidrolik basınç ölçümü,
- d) İvme ölçümü,
- e) Elastik elemanlar (Elastik maddeler).

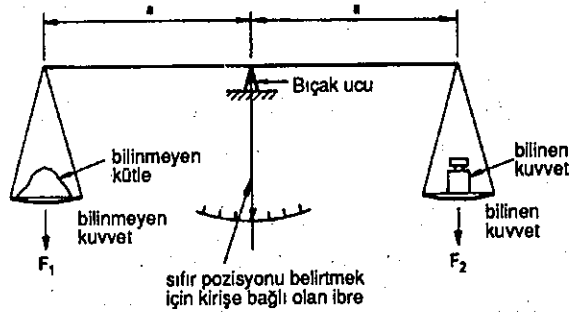
7.3 Kol-Denge Yöntemleri

7.3.1 Eşit-Kol Dengesi (Eşit Kollu Terazî)

Basit bir analitik terazî eşit kollu dengeye bir örnek oluşturmaktadır. Bir rijit bir kolun, Şekil 7.1 de görüldüğü gibi, orta noktasında keskin bir neşter oturtulması ile oluşur. Bilinmeyen bir F_1 kuvveti, bilinen bir F_2 kuvveti ile doğrudan karşılaştırılmıştır. Kiriş dengede olduğu zaman eksen etrafındaki momentlerin toplamı sıfırdır.

$$F_1 a - F_2 a = 0$$

$$F_1 = F_2$$



Şekil 7.1 Eşit-kollu terazî.

Bu tip denge aslında kimyasal maddelerin ağırlıklarının ölçümünde kullanılır. Eşit kollu terazi doğrudan okuma olanağı sağlar ve eğer gerekiyorsa 1000 kg'a kadar yüksek bir doğrulukla ağırlık ölçebilir.

7.3.2 Eşit Olmayan - Kol Dengesi

Şekil 7.2, büyük kütlelerin veya kuvvetlerin ölçümü için kullanılabilen bir eşit olmayan-kollu terazinin tipik bir düzenini göstermektedir. Denge, bilinen bir kütlenin kol boyunca kaydırılması ile elde edilir. Denge durumunda, aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

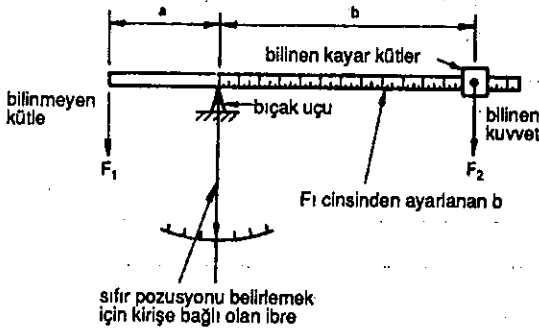
$$F_1 a = F_2 b$$

$$F_1 = F_2 b/a$$

$$\therefore F_1 \propto b$$

Bu durumdan dolayı, kirişin sağ tarafı kuvvetin bir ölçüsü olarak kullanılabilir.

Bu tip terazi oldukça yaygın şekilde malzeme-test makinalarında ve ağırlık ölçümünde kullanılır. Eşit olmayan kollu terazi genellikle iri ve ağır, fakat çok doğru ölçüm yapabilen bir sistemdir.



Şekil 7.2: Eşit olmayan kollu terazi

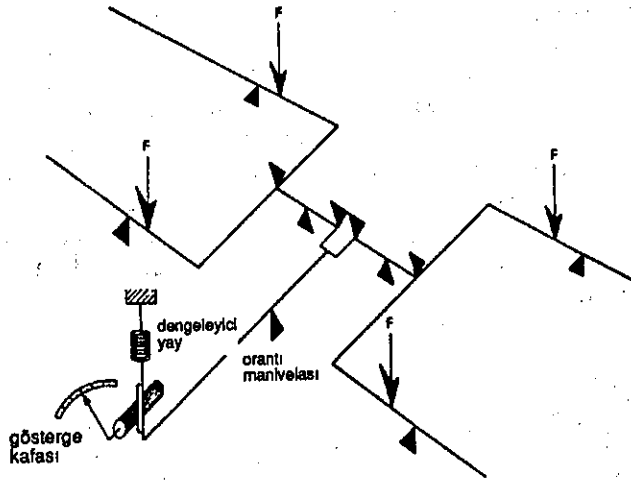
7.3.3. Bileşik Kol Dengesi (Çapraz Kollu Terazi)

Şekil 7.3, büyük kütlelerin ya da kuvvetlerin ölçümü için kullanılan bir çapraz kollu teraziye göstermektedir. Uygulanan kuvvet gösterge yayını hareket ettirmeye yeterli düzeye indirilir. Denge kütle birimi ile ayarlanır.

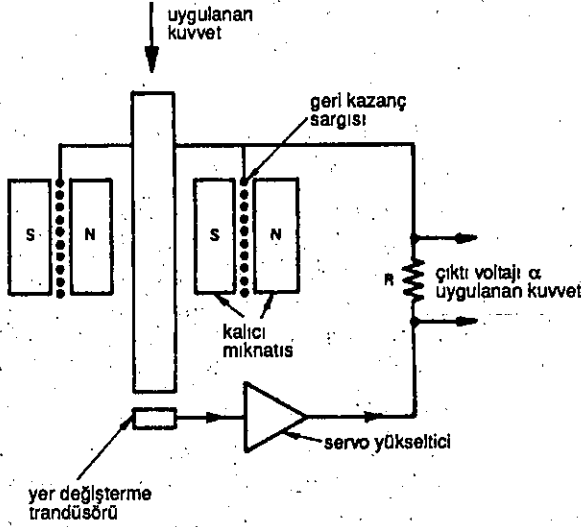
7.4 Kuvvet-Denge Yöntemleri

Şekil 7.4, Elektronik kuvvet-denge tipi bir kuvvet ölçüm sistemini göstermektedir. Uygulanan kuvvetin oluşturduğu yerdeğişimi bir yer-değişim transdüsörü tarafından algılanır. Bu transdüsör çıktısı, bir çıktı akımı elde etmek üzere, bir servo amplifikatöre yedirilir. Servo amplifikatör çıktı akımı ise, bir yenileme bobini içinden geçerek, devamlı mıknatıs üzerine bir kuvvet uygular. Bu kuvvet uygulanan kuvveti dengelemek üzere daima kendini ayarlar. Denge durumunda kuvvet bobini içinden akan akım uygulanan kuvvetle doğru orantılıdır. Aynı akım R direncinden geçer ve direnç üzerinde oluşan voltaj düşüşü uygulanan kuvvetin bir ölçüsüdür. Geri beslemeli bir sistem olarak, böyle bir cihaz, kararlılık için baştan başa kontrol edilmek zorundadır.

Kuvvet-denge sistemi yüksek kararlılık, yüksek doğruluk, gözardı edilebilecek yer değişimi verir ve statik ve dinamik kuvvet ölçümlerine uygundur. Bu tüm cihazın ölçüm aralığı 0.1 N dan yaklaşık 1 kN a kadardır. Normalde sağlam, ağır ve pahalıdır.



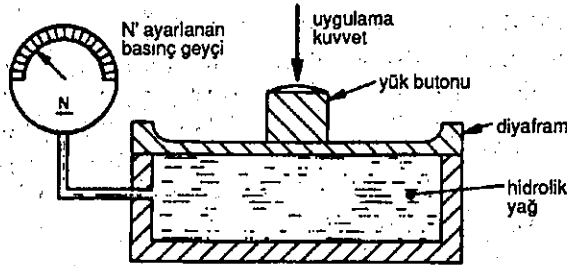
Şekil 7.3 Bileşik - Kol Dengesi (Çapraz kollu terazi).



Şekil 7.4 Kuvvet-denge sistemi.

7.5. Hidrolik Basınç Ölçümü

Uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınçtaki değişim, kuvvetin ölçümünde kullanılabilir. Şekil 7.5 bir hidrolik yük hücresinin genel tanzim biçimini göstermektedir. Yağla doldurulmuş bir bölme basınç göstergesine bağlanmış ve bir diyagram yardımı ile sızdırmaz biçimde kapatılmıştır. Uygulanan kuvvet, hapsedilmiş yağ üzerinde bir basınç artışı oluşturur ve kuvvetin doğrudan okunmasını sağlamak için ayarlanan basınç göstergesinde belirtilmiştir. Eğer elektrikli çıktı istenirse, basınç göstergesi yerine bir elektrik basınç transdüsrü kullanılabilir.



Şekil 7.5 Hidrolik yük hücresi kullanarak, kuvvet ölçümü.

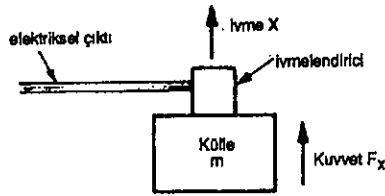
Hidrolik yük hücreleri ağır, gerçekte herhangi bir işlemsel hareketi olmayan yapıya sahip olup, yerel ya da uzaktan algılanan belirti verebilirler. 5MN na kadar kuvvet ölçümünü, yüzde 0.25 den yüzde bire kadar bir sistem doğruluğu ile yapabilen cihazlar mevcuttur.

7.6 İvme Ölçümü

Daha önce belirtildiği gibi kuvvet kütle ve ivmenin bir ürünüdür. Eğer bilinen bir kütlenin ivmesi $\ddot{x}$ ise, bu durumda bu ivmeye neden olan kuvvet F_x şu bağıntıdan bulunabilir:

$$F_x = m\ddot{x}$$

İvme, Şekil 7.6 da gösterildiği gibi ayarlanmış bir ivme ölçer kullanarak ölçülür. Uygulamada bu yöntem, titreyen kütlelerde oluşan dinamik kuvvetlerin ölçümü için kullanılabilir. Bu konu 6. Bölümde tartışılmıştır.



Şekil 7.6 İvme ölçer kullanarak yapılan kuvvet ölçümü.

7.7 Elastik Elemanlar

Bir ölçüm sistemi temel olarak üç elemandan oluşur; bir transdüsör, bir sinyal düzeltici ve bir gösterge ya da yazıcı. Bu bölümde elastik elemanları küçük yer değiştirmelerine dayandırılan çeşitli tip transdüktörleri tanımlar. Genel olarak transdüsör bilgileri bir biçimden diğerine değiştiren bir cihaz olarak tanımlanır. Bu tartışmanın amacı için, bir kuvvet transdüktörü, uygulanan kuvvetin büyüklüğünün bu kuvvete orantılı bir elektrik sinyalinin dönüştüğü bir cihaz olarak tanımlanır. Transdüsörler, aktif ve pasif olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Bir pasif transdüsör için dışarıdan uyarıcı bir voltaj gerek vardır. Buna karşın bir aktif transdüsör için herhangi bir elektrik girişi sine gerek yoktur.

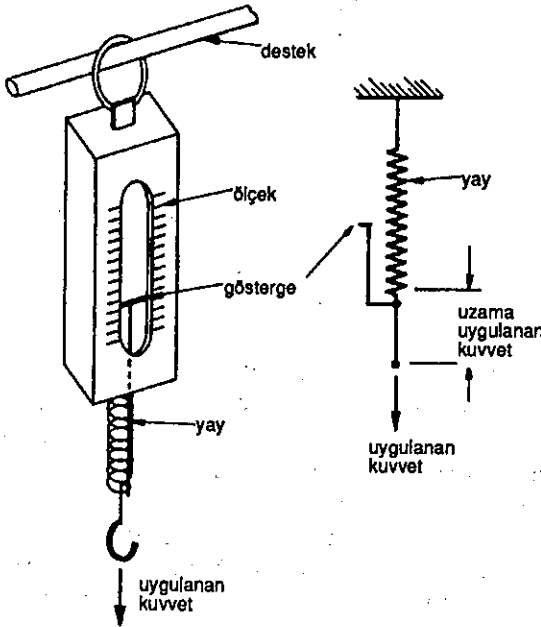
Genel olarak bir transdüsör iki kısımdan oluşur: uygulanan kuvveti bir yer değişimine dönüştüren ilk eleman ve yerdeğişimini bir elektrik çıkışına dönüştüren algılayıcı eleman. İlk elemanın elastik davranışı Hook yasasının etkisi altındadır. Hook yasası, malzemenin elastikiyet sınırını geçmemek şartıyla, uygulanan kuvvet ile oluşan yer değişiminin orantılı olduğunu söyler. Yerdeğişimi, çeşitli çevirme yöntemleri ile algılanabilir. Bunlardan bazıları bu bölümde gözden geçirilmiştir.

7.7.1 Yay Dengesi

Yayın uzaması uygulanan kuvvetin ölçümünde kullanılabilir. Bu ilke şekil 7.7 de gösterildiği gibi yaylı terazi kullanımında kullanılmıştır. Bu tip terazi nispeten ucuz, düşük doğrulukta bir cihaz olup, statik kuvvet ölçümünde kullanılabilir.

7.7.2 Deneme Halkası

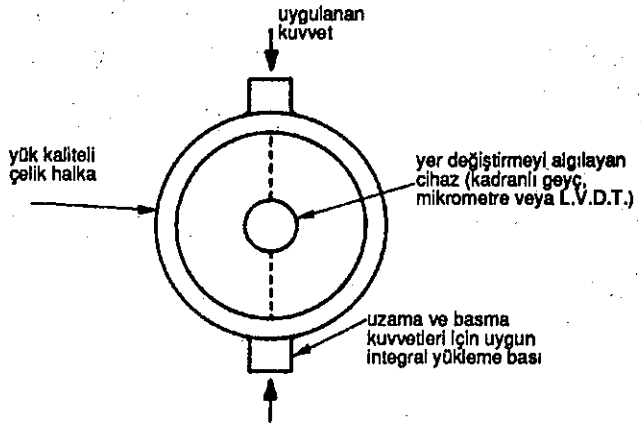
Deneme halkası yüksek kaliteli çelikten halka şeklinde yapılmış bir eleman olup, şekil 7.8 de görüldüğü gibi yükleme takozları da halka ile tek parça şeklinde imal edilmiştir. Çap doğrultusunda uygulanan kuvvetin etkisiyle hal-



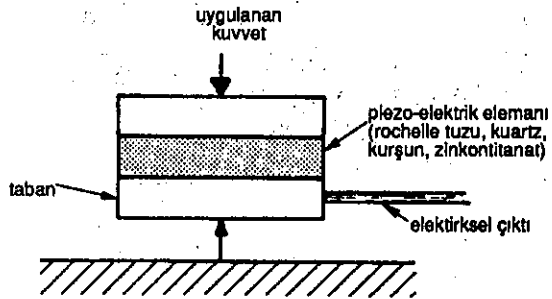
Şekil 7.7 Yaylı terazi.

ka deforme olma meyli gösterir. Deformasyon miktarı uygulanan kuvvet ile doğru orantılıdır. Düşük hassasiyetin gerektiği koşullarda, deformasyon, kadranlı kumpas ya da mikrometre ile ölçülebilir. Yüksek hassasiyet için ise, doğrusal değişkenli diferansiyel transformator gibi bir yer değişim transdüsrü kullanılabilir (bölüm 3'e bak.)

Deneme halkaları, malzeme deney makinalarının ayarlanmasında kullanılan, yüksek hassasiyetli cihazlardır. Bunlar çekme ve basmanın her ikisinde de kullanılabilirler. Basmada ölçü analizi, yüzde 0.2 den 0.5'e kadar doğrulukta, 2 kN dan 2000 kN'a kadardır.



Şekil 7.8 Yerdeğişim algılayıcı ile beraber deneme halkası.



Şekil 7.9 Pieso-elektrik kuvvet transdüsrü.

7.7.3 Piezo-Elektrik Transdüsörler

Bir piezo-elektrik transdüsörün tipik bir düzeni şekil 7.9 da gösterilmiştir. Transdüsör uygulanan kuvvetin etkisine sokulunca piezo elektrik elemanının yüzeylerinde, uygulanan kuvvetle orantılı bir elektriki dolumu açığa çıkar. Dolum aynı zamanda uygulanan kuvvetin doğrultusunun da bir fonksiyonudur. Piezo elektrik transdüktörü, klasik transdüsörden iki hususta farklılık gösterir. Birincisi, bu bir aktif sistemdir ve ikincisi belli bir yük altındaki sehim (yer değişimi) bir milimetrenin binde bir kaçından fazla değilken, buna uyabilecek sehim, klasik sistemler için, milimetrenin onda bir kaç kadar olabilir.

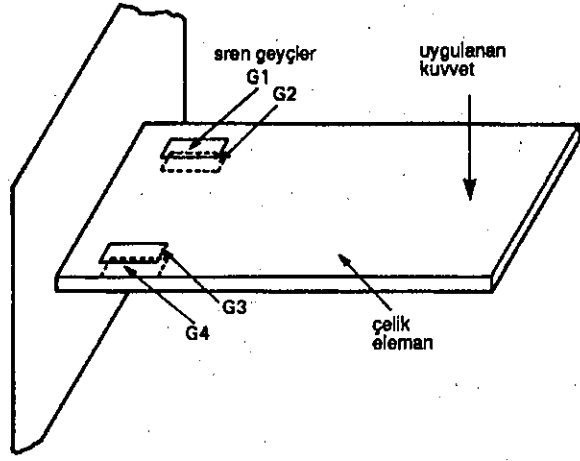
Bu tip transdüsörler çok yüksek sertliğe sahip olup, çok yüksek rezonans frekansları vardır. Elektriki dolumun mükemmel olmayan yalıtım nedeniyle kaçacağından, durgun kuvvetlerin ölçümüne uygun değildir. Bunlar genelde titreşimin incelenmesinde kullanılmakta olup, bu konu detaylı olarak bölüm 6 da tartışılmıştır. Bu transdüsörler küçük boyutlu ve kaba yapılı sıcaklık değişimlerine duyarlı olup, yüzde 0.5 den 1.5 a kadar hassasiyetle, basmada, birkaç kilo newton dan 1 mega newtona kadar, kuvvetleri ölçebilme yeteneğindedir.

7.7.4 Stren Geyç Yük Üniteleri

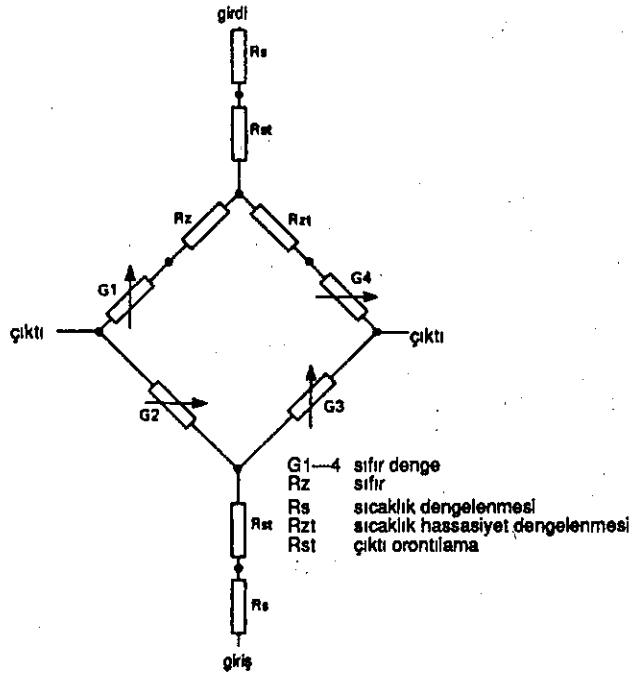
7.7.4.1 Tasarım

Streyn geyç yapıştırılmış yük üniteleri, elektrik çıktı verecek şekilde tasarlanmış olup, bir kuvvet ya da ağırlık uygulandığında çıktı değişmektedir. Bu çıktılar bir ölçü cihazında gösterilebilecekleri gibi bir kontrol düzeneğinde de kullanılabilirler. Yük ünitesinin kalbi çok hassas bir düzenek olan, yapıştırılmış rozet stren geyçtir. Bunun direncindeki değişim uygulanan kuvvet ile orantılıdır. Bölüm 4'e bak.

Bir yük ünitesi, normal olarak, yüksek gerilim çelik alaşımı, hızlı soğutma ile sertleştirilmiş paslanmaz çelik, berilyum bakır ya da başka bir uygun malzemenin tek çubuğundan torna tezgahın da imal edilmiş, termik ve mekanik özelliklerinin optimizasyonu için, termik işlem uygulanmış, elastik bir elemandan oluşur. Bu eleman, içi boş ya da dolu çubuk, ankastre, diyafram, kesme elemanı ya da halka gibi çok şekiller alabilir. Elemanın tasarımı ölçülecek yük aralığına, yüklenme tipine ve çalışma şartlarına bağlıdır. Geyçler, oluşturulan deformasyonları ölçmek için elemana yapıştırılır ve genellikle dört kolu bir Wheatson köprüsü devresiyle irtibatlandırılırlar. Daha büyük elemanlar üzerinde, deformasyonun gerçek ortalanmasını elde etmek için, çoğu zaman 8, 16 ya da 32 geyç kullanılır. Çalışma ilkesini göstermek için bir ankastre yük ünitesi şekil 7.10 da gösterilmiştir. Şekil 7.11, sıfır dengesini ve sıcaklığın etkisiyle sıfırın ve hassasiyetin değişimlerini dengeleyici dirençler içeren, bir köprü devresinin şemasını göstermektedir.



Şekil 7.10 Ankastre yük ünitesi.



Şekil 7.11 Yük ünitesi köprüsü dengeleyici rezistörlerle (dirençler) beraber.

Yüksek performans ve kararlılık elde edebilmek ve yapıştırıcı tabakası kalınlığını düşürmek için geyçler genelde elemanların düz yüzeylerine yapıştırılırlar.

Tamamlanmış gurup, dış ortam şartlarında kullanılmaya uygun şekilde koruyucu bir kap içine alınır. Ancak, yükün uygulandığı elemanın deformasyonuna engel olmamalıdır.

Montaj tamamlandıktan sonra, eleman ve bağlayıcı madde içerisinde kilitlenmiş muhtemel gerilimlerin giderilmesi için uygun süre termik ve mekanik yüklenmeler uygulanır. Böylece ünite uzun süre kararlı sıfır ayarı gösterir.

Şekil 7.12 Kuzey Denizi'nde demir atmış platformun ayaklarındaki gerilmeleri başarı ile izlemiş bulunan, piyasada mevcut bazı basınç ünitelerini göstermektedir.

7.7.4.2 Seçme ve Yerleştirme

Piyasada beş ana tip ünite vardır: basma, çekme, üniversal (basma ve çekme her ikiside) eğilme ve kesme. Ünite tipinin seçimine etkileyen esas etkenler:

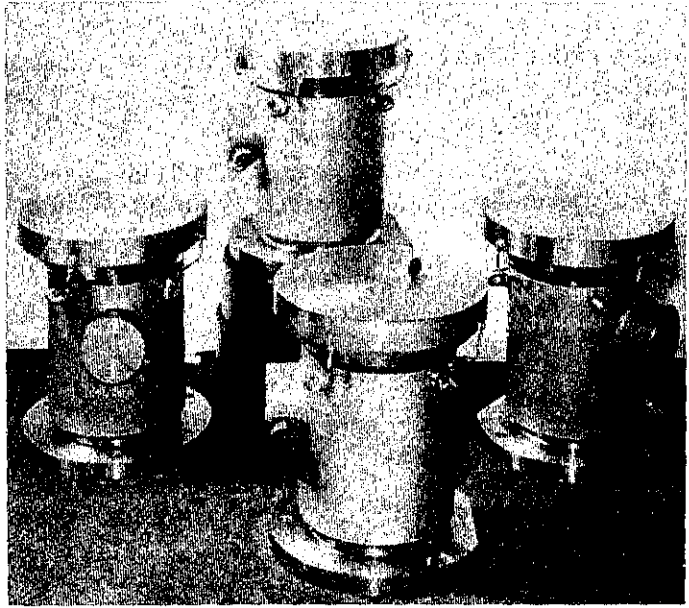
- Ünitenin daha kaba yapı içerisine takılmasının kolay ve rahat (dolayısıyla ucuz) olması.
- Seçilen ünite tipiyle, istenen doğruluk ve istenen yüklenme aralığı elde edilip, edilmeyeceği.

Dikkate alınacak diğer hususlar, yassılık, aşırı yüklenmeye dayanıklılık, yanal yüklere dayanım, ortam şartlarından korunma durumu ve geniş çalışma sıcaklık aralığıdır.

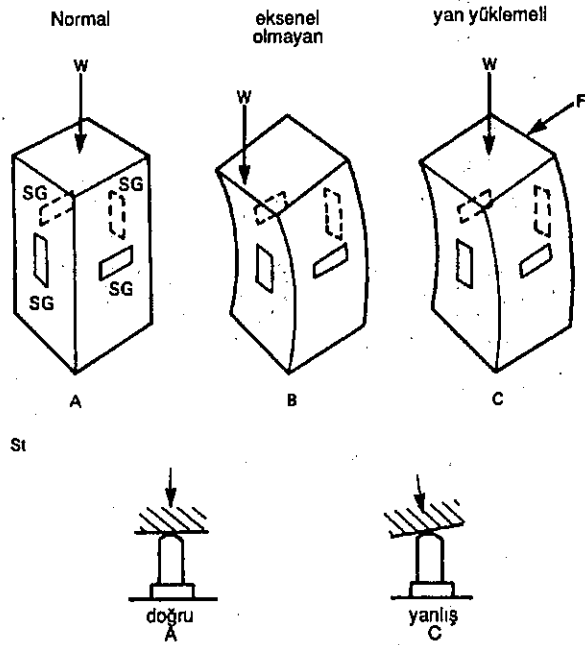
İşlevini yapabilmesi için ünite kaba yapıya doğru yerleştirilmeli. Bu demektir ki, basınç tüpü, kiriş, depo ya da platform gibi ağır yapılar yük ünitesinin yerleştirilmesinde etkin faktörlerdir. Taşıyıcı yapı da dikkate alınmalıdır. Çünkü bu depo ve içeriğinin tüm ağırlığını taşıyacaktır. Başarıyı düşünen ve güvensizliğe götüren yanlış uygulamalar üç ana başlıkta toplanabilir:

- Eksenel olmayan bir yük uygulanmıştır.
- Ağırlık okumalarına yanal yükler etkimektedir.
- Yükün eksen doğrultusundaki serbest hareketi sınırlanmıştır.

Şekil 7.13 normal, eksenel olmayan ve yanal yüklenmenin bir kolon gerilim elemanına nasıl etdikdiklerini göstermektedir. Normal yüklenme koşulları altında (A) aktif stren geyçler aynı basınç etkisi altında kalırlar; ama eksenel



Şekil 7.12 Basınç yük üniteleri.

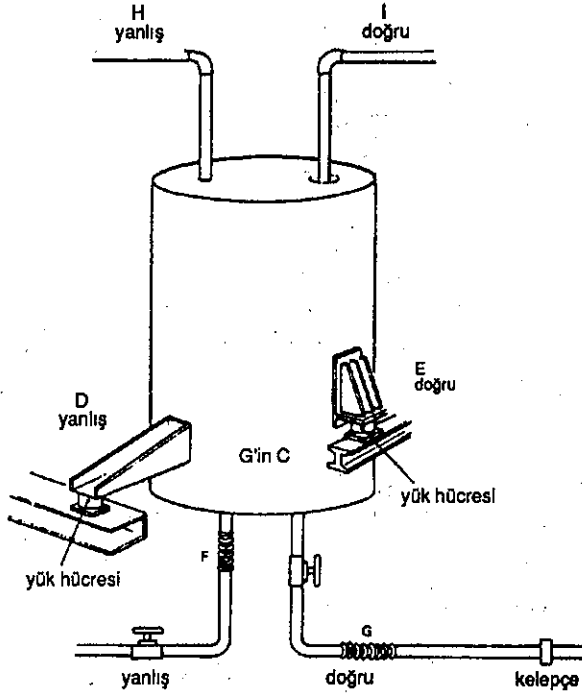


Şekil 7.13 Normal, eksenel olmayan ve yanal yüklemenin etkileri.

olmayan (B) ya da yanal yüklenen (C) durumunda simetrik olmayan basınçlar oluşmakta, hatalı sonuçlar elde edilmektedir.

Doğru ve yanlış bağlamalara örnekler şekil 7.14 de gösterilmiştir. Taşıyıcı dirsek D çok uygun ankastre edildiğinden yük altında eğilme temayülü gösterir. Dirsek depoya bir yanal yük uygular. Bu etki abartılacak olursa fiçinin bu yükü taşıyamaması da söz konusudur. Kirişte, yük ünitesini düşey durumdan saptıracak şekilde, eğilme gösterebilir. Doğru örnek E, bu hataların üstesinden nasıl gelinebildiğini göstermektedir.

Tartma düzeninde, tartımı yapılan deponun düşey hareketine engel olacak bir durumun olmaması önemlidir. Kuşkusuz, depoda boru bağlantıları ya da destek çubukları varsa bu mümkün değildir; ancak düşey duruş müsaade edilen sınırlar arasında tutulmalıdır. Deponun eğilme miktarını azaltma yollarından birisi, elastik boru bağlantı elemanları ve tercihen boşaltma musluğundan sonra yatay hatta, kullanmaktır (şekil 7.14'de F ve G ye bak). Eğer mümkünse giriş borusu depoya değmemelidir (H ve I yi gözden geçir).



Şekil 7.14 Yanlış ve doğru bağlantı örnekleri.

7.7.4.3 Uygulamalar

Stren geyçli üniteleri, ağırlık ve kuvvet ölçümü, basküller, işlem kontrol sistemleri, tek raylı tartma, bantlı tartıcılar, uçak, mavlum ve bagaj ölçümleri ve mekanik bir büyüklüğü elektriki büyüklüğe dönüştürmeyi de içerecek şekilde birçok kullanım alanına sahiptirler. Son bir kaç yılda, endüstriyel tartım alanı, elektriksel çıktılarının yerel ya da uzaktan kontrolünde ideal olmaları ve mikroişlemciler ve minibilgisayarlar ile ortaklıkları nedeniyle, stren geyç yük ünitelerinin hakimiyetine girmiştir.

Yük ünitelerinin belirgin özellikleri:

- a) Yük aralığı 5 N dan 40 MN a kadar.
- b) Doğruluk yüzde 0.01 den 1.0 a kadar.
- c) Sağlam ve kompakt yapıları
- d) Hareketli parçası yok ve yük altında yer değişim göz ardı edilebilecek düzeyde.
- e) Sımsıkı yahtılmış ve termik dengeliyicili
- f) Yanal yüklenmelere karşı yüksek direnç ve aşırı yüklenmelere karşı dayanıklılık.

7.7.4.4 Ayarlama

Ayarlama, iyi tanımlanmış ortam şartlarında, bilinen bir doğrudan girdinin uygulanışı esnasında, yük ünitesindeki çıktının okuma ya da kaydedilmesini içeren bir işlemdir. Yük ünitesi çıktısı, bir birincil ya da ikincil standart kuvvetle doğrudan karşılaştırılır. Birincil kuvvet standardı, kuvvet aralığı yaklaşık 500 kN a varan ölü yük makinalarını içerir. Daha yüksek kuvvetler, hidrolik ya da mekanik uygulamalı makinalarla başılır.

Kuvvetin ikincil standardı, Teddington, Ulusal Fizik Laboratuvarı, Ulusal Standartları tarafından kontrol altında bulunan, yüksek hassasiyetli yük üniteleri ve deneme halkalarının kullanımını kapsar. Özel bir ayar işlemi için standart tercihi, kuvvet aralığına ve ayarlanacak sistemin yerine bağlıdır.

Şu ana kadar bazı kuvvet ölçme yöntemleri belirtilmiştir. Diğerleri çok ve çeşitli olup, hepsini kapsamak amaçlanmamıştır. Özel bir uygulama için bir yöntemin seçimini kolaylaştırmak amacıyla, yöntemlerin ana değişkenleri toplu olarak tablo 7.1 de verilmiştir.

Tablo 7.1 Kuvvet ölçüm yöntemlerinin esas değişkenleri özeti

Yöntem	Yükleme tipi	Kuvvet aralığı N (yaklaşık)	% doğruluk (yaklaşık)	Büyüklik
Kol dengesi	Statik	0.001 - 150 k	Çok yüksek	Kaba ve ağır
Kuvvet-dengesi	Statik/dinamik	0.1 - 1k	Çok yüksek	Kaba ve ağır
Hidrolik yük hücresi	Statik/dinamik	5k - 5 M	0.25 - 1.0	Sıkışık ve sağlam
Yay dengesi	Statik	0.1 - 10k	düşük	Büyük ve ağır
Deneme halkası	Statik	2k - 2 M	0.2 - 0.5	Sıkışık
Piezo-elektrik transdüktörü	Dinamik	5k - 1 M	0.5 - 1.5	Küçük
Stren geyç yük ünitesi	Statik/dinamik	5 - 40 M	0.01 - 1.0	Sıkışık ve sağlam

7.8 Diğer Gelişmeler

İlerleyen teknoloji, üretim yöntemlerindeki gelişme ve yeni malzemelere, başlangıcı yaklaşık 30 yıla varan yapıştırıcı streñ geyçlerin hassasiyet ve yapılarının geliştirilmesine ortam yaratmıştır. Günümüzde mikroişlemler mevcut olduğundan, bu düzeneklerde daha da gelişme beklenmektedir.

Yeni enerji iletim yöntemleri üzerindeki araştırmalar devam etmektedir. Bunlardan bir kısmı gayet güzel uyarlanmış bir kısmı yorum aşamasındadır. Jiroskop kuvvet transdüörleri, fiber optikler, kısa dalga boşluk rezonansörler ve ince zar enerji iletim yöntemleri bu geliştirme araştırmaları kapsamındadır.

İnce zar yöntemleri hakkında yeterli kaynak mevcut olup, kısaca tartışılmışlardır.

Vakum örten zarlara dayandırılmış basınç transdüörleri piyasada var olup, bu yöntemlerin yük ünitelerinde kullanımına çabalar başlamıştır.

Bu yöntemlerin avantajları aşağıdaki gibidir.

- a) Çok küçük geyç ve yüksek köprü direnci.
- b) Eleman ve geyç arasında çok iyi bir değme (yapıştırıcı hattında kesinti ya da sünme yok).
- c) Geniş sıcaklık aralığı (-200°C dan +200°C'a kadar).
- d) Köprünün harikulade uzun kararlılığı.
- e) Kütlesel imalata uygun olma.

Yöntemler sermaye yoğun olup genelde düşük kuvvet aralıklarına uygundur.

7.9 Kaynakça

- Adams, L.F. *Engineering Measurements and Instrumentation*, The English universities Press. (1975).
- Cerni, R.H. and Foster, L.E. *Instrumentation for Engineering Measurement*, John Wiley and Sons, (1962).
- Mansfield, P.H. *Electrical Transducers for Industrial Measurement*, Butterworth, (1973).
- Neubert, H.K. P. *Instrument Transducers*, Clarendon Press, (2 nd edition, 1975).
- Weightech 79, *Proceedings of the Conference on Weighing and Force Measurement: Hotel Metropole, Brighton, england 24-26 September 1979.*

8 YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ

E.H. HIGHAM

8.1 Genel

Sıvı yoğunluğunun ölçülmesi (ve kontrolü) büyük miktardaki endüstriyel işlemlerde kritiktir. Ama yoğunluk kendi başına ilginç olduğu halde, birleşimi veya çözelti içindeki kimyasal maddelerin konsantrasyonlarını veya karışımındaki katı maddeleri göstermesi yönünden daha önemlidir.

Gazların yoğunluğu çok küçük olduğundan ölçüm için kullanılan aletlerin küçük değişikliklere çok duyarlı olmaları gereklidir. Bunlara bölüm sonunda ayrı olarak değinilecektir.

Sıvıların yoğunluğunun veya bağıl yoğunluğunun** ölçümü ve kontrolü gözönüne alınırken iki elemanda kullanılan birimler zihinde canlanmalıdır. Yoğunluk, bir sıvının kütlesinin birim hacmine oranı olarak tanımlanıp; kg/m^3 , g/l veya g/ml birimleriyle ifade edilir.

Öte yandan bağıl yoğunluk, bir hacim sıvının kütlesinin 4°C deki (veya başka belirtilen sıcaklıktaki) eşit hacimdeki suyun kütlesine oranıdır, suyun bağıl yoğunluğu 10 olarak alınmıştır. yoğunluk ve bağıl yoğunluğun her ikisi de sıcaklığa bağlıdır ve kesinlik açısından ölçümün yapıldığı sıcaklık bilinmelidir, ki gerekli düzeltmeler yapılabilir.

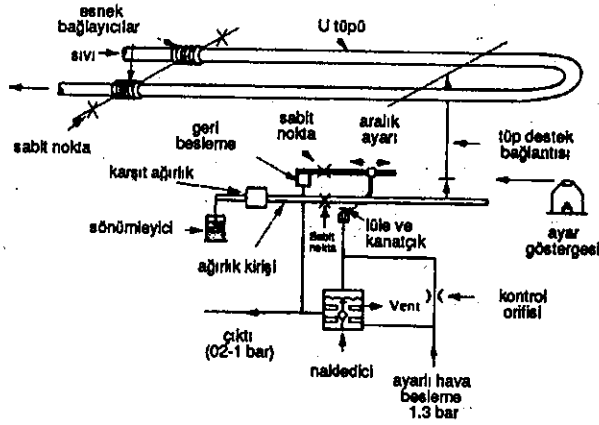
Endüstriyel sıvı- yoğunluk aletlerinin büyük bir kısmı aşağıdakilerin ölçümüne dayanmaktadır: ağırlık, bağıl ağırlık veya hidrostatik başlık; ama ses dalgası (resonant) bileşenleri veya ısınum (madyasyon) tekniklerine dayanan ölçüm sistemleride kullanılır.

8.2 Ağırlık Kullanarak Yoğunluk Ölçümü

Bilinen bir hacim örneğinin tartılması, şüphesiz, bu prensibin en basit pratik uygulamasıdır. Devamlı tartım işlemi için çeşitli metotlar bulunmuştur, ama en başarılısı, sabit bir noktada bükülebilir bağlantı elemanları olan yatay U- şekilli tüpün kullanımını gerektirir.

Bu tip cihaza bir örnek şekil 8.1'de gösterilen Fischer Controls Company'nin Mark V Bağıl Yoğunluk ölçü cihazıdır. Cihazın içinde sıvı, kavisli uca doğru kuvvet denge sistemiyle birleştirilmiş bağlantı üzerine desteklenen U tüpüne esnek bağlama elemanları vasıtasıyla geçer. Cihazın pnömatik

** "Özgül ağırlık" terimi genellikle rölatif (nisbi) yoğunluk için kullanılır. Yinede SI birimleri sistemine dahil edilmemiştir ve BS350 genellikle referans madde su olduğunda kullanıldığına dikkat çeker.



Şekil 8.1 Bağlı yoğunluk ölçer, Fischer Controls Ltd. izniyle.

türünde (iletim) bağlantı elemanı, kendisini çapraz pivot noktalarıyla desteklenmiş ve karşı tarafa ayarlanabilir karşıt ağırlığı taşıyan ağırlık kirişinin bir ucuna doğru tutulmuş ve dengelenmiştir. Ağırlık kirişine bir diğer şeyde işlem sıvısının akışının veya cihazın yerleştirildiği yerdeki çevrenin yaratacağı titreşimin etkisini azaltarak bir sönümleyicidir.

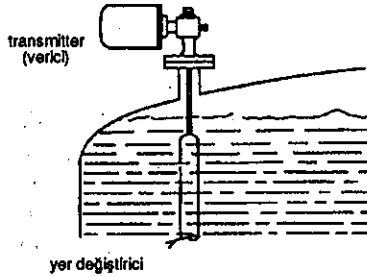
Uygulamada, Karşıt ağırlığı, istenen çalışma aralığı içerisinde bir yoğunluğa sahip sıvı ile doldurulmuş U tüpü ile denge sağlayacak şekilde yerleştirilir ve mesafe ayarı orta pozisyonuna getirilir. Denge; geribeslenme körükleri tarafından pivot ve mesafe ayarlama mekanizması üzerinden ağırlık kirişine uygulanan kuvvet, geribeslenme körüklerine uygulanan ve çıkış sinyali olarak kullanılan bir basınç üreten kanatçık ağız ve pnömatrik takviyeyi içine alan geribesleme çevriminde, karşıt ağırlığının bir pozisyon almasına sebep olduğunda elde edilir. İşlem sıvısının yoğunluğundaki sonraki bir artış ağırlık kirişinin, kanatçığın ağıza yaklaşması ve geri basıncın artması sonucu, bir dakika saat yönünde dönmeye sebep olur. Bu değişim, aktarıcı tarafından yükseltilir ve mesafe ayarlama sistemi üzerinden denge sağlanana kadar dönüşte artırılmış bir kuvvet uygulayan geri besleme körüklerine tatbik edilir.

Yukarıda anlatılan pnömatrik kuvvet- denge sistemide vardır. Her cihaz için temel kalibrasyon sabitleri işlerinde 1.0 kg/dm^3 yoğunluğa eşit ağırlık cinsinden gözönüne alınır. Cihazı herhangi özel bir uygulamaya ayarlamak için U tüpü önce boşaltılır. Sonra istenen düşük değere yakın olan ağırlık kalibrasyon göstergesine eklenir ve kontra denge ağırlığı, dengeyi sağlamak için, ayarlanır.

İstenen açıklığı temsil edecek diğer ağırlıklar sonradan eklenir ve açıklık ayarının durumu denge sağlayana kadar değişir. İki işlemin prosedürleri istenen kesinlik elde edilene kadar tekrarlanır. Pnömatik çıkış değeri, 20- 100 kPa, akan akışkanın yoğunluğundaki değişimi ölçer. Cihaz 0.02 ve 0.5 kg/dm³ açıklıklar arasında ve yoğunlukları 1.6 kg/dm³e kadar olan akışkanlar için çalışmak üzere ayarlanabilir. Cihaz tabiki bulanık ve katı madde ihtiva eden akışkanların olduğu kadar "temiz" akışkanların ölçülmesi içinde uygundur. Katı madde ihtiva eden akışkanların tıkanıklığa yol açmaması için ilk anlatılan durumda asgari hızının 1.1 m/s ve sonra anlatılan durumda enaz 2.2 m/s olması öngörülür.

8.3 Yoğunluğun (Yüzebilirlik) Kullanılarak Ölçülmesi

Yoğunluk transmitterleri (vericileri) Arşimed'in prensibi temeli üzerine çalışır: bir sıvının içine daldırılan bir kütle, yeri değiştirilen sıvının ağırlığına eşit bir kuvvetle yukarı doğru iletir. Bağlı ağırlık transmitterinin kesit alanı çalışılan ene göre sabittir, böylece kaldırma kuvveti akışkan yoğunluğuyla orantılı kalır, (bkz. şekil 8.2).

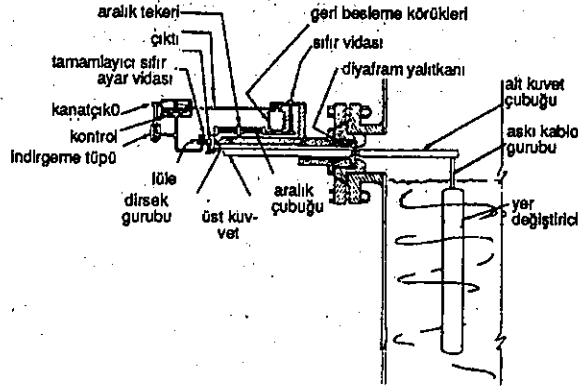


Şekil 8.2 Yüzme transdüstörü ve verici.

Şekil 8.3'te gösterilen kuvvet- denge mekanizmasının ayarlanmasıyla transmitter kuvvet kolundaki kuvvet daima aşağı yönde olmalıdır. Böylece, yer değiştiricileri elemanı daima hareket ettirdiği sıvıdan daha ağırdır. Yer değiştiricileri (omuspmacers), yöntem farkı ihtiyacını karşılamak maksadıyla, çeşitli en ve çaplarda bulmak mümkündür.

Bağlı ağırlık transmitterleri bir kazanın herhangi bir yanına monte edilmek için veya üstten giriş için uygundur ve cam gibi özel kaplamalarla aşağı taraftan bağlantının imkansız olduğu bazı kazanlara takılabilir. Ayrıca basınç

veya sıvı seviyesinin oynayabileceği kapalı kazanlarda yoğunluk ölçümü için uygundur ve tekrar ettiriciler gibi ikincil karşılama cihazları için bağlantı veya dengeleme ayakları ihtiyacını ortadan kaldırır. Bu transmitterler ayrıca yüksek isteyen uygulamalarda da uygundur.



Şekil 8.3 Yüzme transdüsörü ve verici düzeni, The Foxboro Co. izniyle.

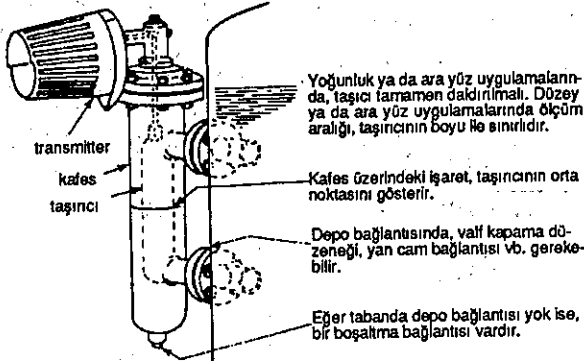
Türbülans (düzensiz, karışık akış) bazen bağıl ağırlık transmitterleri için sorun olmaktadır. Bu olduğunda, en kolay (ve çoğunlukla en ucuz) çözüm bir dinlendirme (durgunlaştırma) kuyusu (havuza) veya rehber halkalarının montajıdır. Başka bir alternatif ise şekil 8.4'te gösterildiği gibi kafesli bağıl ağırlık transmitteri kullanmaktır. Bu konfigürasyonla, ölçüm kazanın dışında ve dolayısıyla türbülansdan bağıl olarak yapılacaktır.

8.4 Hidrostatik Başlık Kullanarak Yoğunluk Ölçümü

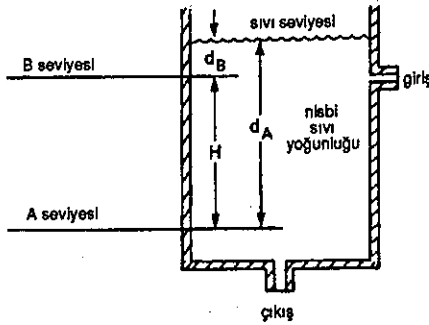
Sabit sıvı yüksekliğiyle basınç değişimlerini devamlı olarak ölçen hidrostatik başlık metodu, birçok endüstriyel yöntemde uygun olması, kullanılması için geliştirilmiştir. Şekil 8.5'te açık olarak gösterilen prensip aşağıdaki gibidir.

Yüzeyin altındaki herhangi iki seviye (A ve B) arasındaki basınç farkı bu seviyeler arasındaki sıvı üst basıncındaki farka eşittir. Bu ifade B seviyesinin arasındaki bu fark H boyutuyla temsil edilir. H boyutu üstteki farkı elde etmek için sıvının göreceli yoğunluğu ile çarpılmalıdır. Bu genellikle milimetre su sütunu cinsinden ölçülür.

G_1 den G_2 ye rölatif (görece) yoğunluktaki değişikliktan meydana gelen üstteki (başlıktaki) değişimi ölçmek için G_1 ve G_2 arasındaki fark ile sadece H yi çarpmak gereklidir.



Şekil 8.4 Yüzdürme transdüktörü ve dışsal geçli transmitter.



Şekil 8.5 Yoğunluk ölçümü- hidrostatik başlık.

Yani $p = H (G_2 - G_1)$

ve eğer hem H hemde P milimetre cinsinden ölçülmüşse yoğunluktaki değişim

$$(G_2 - G_1) = P / H$$

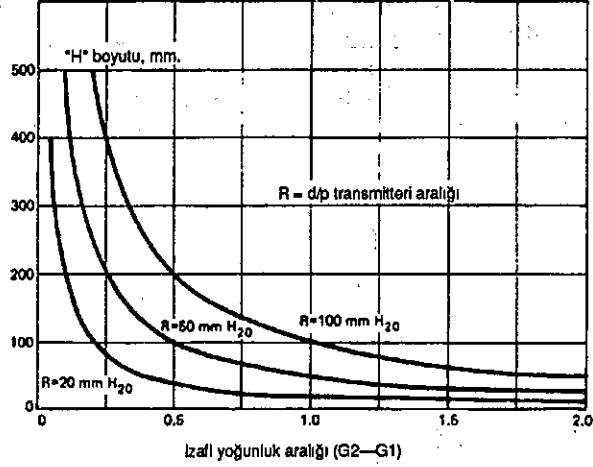
olur.

Sadece o andaki yoğunluk değişimlerinin açıklığını (aralığını) ölçmek genel uygulamadır. Böylece "sıfır" cihazı, asgari tepe basıncına gelmesi için durdurulur; bu işlem tüm cihaz ölçümleri aralığının yoğunluk değişimlerinin sebep olduğu farkı yapmasına imkan sağlar. Örneğin eğer G_1 , 0.6 ve H , 3 metreyse o zaman sıfırda tutma değeri 1.8 metre su sütunu olmalıdır. Ölçme sistemi seçmede gözönüne alınması gereken iki prensibin ilişkisi şöyledir:

$$\text{açıklık} = H (G_2 - G_1)$$

$$\text{sıfırda tutma değeri} = H \cdot G_1$$

Verilmiş bir cihaz açıklığı için, düşük yoğunluk aralığı daha büyük bir H boyutu (daha derin bir depo) ister. Verilmiş bir yoğunluk açıklığı için, düşük açıklıklı ölçme cihazı daha sık bir depoya imkan sağlar. Şekil 8.6 ağırlık değerleri aralığına karşı yerleştirilmiş H değerlerini göstermektedir.



Şekil 8.6 Değişik aralıklar için bağıl yoğunluk aralığının H ile değişimi.

8.4.1 Genel Fark-Basınç (differential- pressure) D/p Transmitter Metodları

Fark- basınç (d/p) transmitterlerini kullanarak hidrostatik tepenin (başlığın) ölçümlerinden yoğunluk tesbiti için sistem ayarlanmasında farklılıklar vardır. Flanş bağlı d/p transmitterler daha sık kullanıldığı halde boru bağlantılı transmitterler kristalizasyon olmayan sıvılarda kullanılabilir.

Bu d/p transmitterlerine göre daha üstündür ve basınç veya vakum sistemleriyle de kullanılabilir. Yine de hepside transmitterin asgari istenen değer aralığını elde etmek için ve başlıktaki yeterli değişikliği elde etmek için işlem gören kazanın boyutlarını ister.

8.4.2 Aşırı Akım Deposu İle D/p Transmitteri

Şekil 8.7'de gösterildiği gibi, sabit seviye, aşırı akım depoları en basit sisteme imkan verir. Sadece bir d/p transmitterine ihtiyaç vardır. Eşitlikler, H değeri transmitterin üstündeki sıvı yüksekliği olmak üzere aşağıdaki gibi

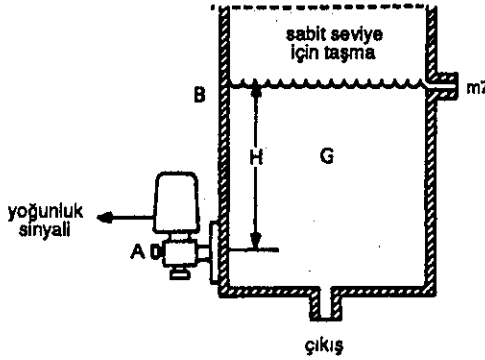
kalır;

$$\text{açıklık} = H (G_2 - G_1)$$

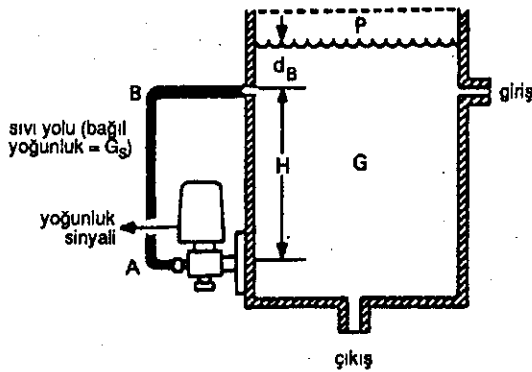
$$\text{sıfırda tutma değeri} = H \cdot G_1$$

8.4.3 Wet-Leg (Islak Ayaklı) D/P Transmitteri

Seviye veya statik basınç değişimlerinin uygulamaları karşı değer gerektirir. Bu şartlar altındaki yoğunluk ölçümleri için üç temel ayarlama (uygulama) vardır. Önce koruma sıvısı seçildiğinde bu sıvı işlem yapılan sıvıdan daha yoğunudur ve ona karışmaz, Şekil 8.8'de gösterilen metot bunu gösterir. Bu metot etkili olarak wet- legde (sıvı yolunda ıslak ayakta) suyla hidrokarbonlar üzerinde kullanılır. G_s özgül ağırlığındaki wet- leg (sıvı yolu) sıvısı için,



Şekil 8.7 Sabit düşümlü yoğunluk ölçümü.



Şekil 8.8 Sıvı yollu yoğunluk ölçümü.

$$\text{açıklık} = H (G_2 - G_1)$$

$$\text{sıfırda tutma değeri} = H (G_1 - G_s) ; (G_1 > G_s \text{ olduğunda})$$

$$\text{sıfır seviyesi değeri} = H (G_s - G_1) ; (G_s > G_1 \text{ olduğunda})$$

Atılan sıvının özgül ağırlığı ideal olarak G ye eşittir, bu da tutma ve yükseltme ihtiyaçlarını ortadan kaldırır.

8.4.4 Basınç Tekrarlayıcısı ile D/p Transmitteri

Çıkan akışkan kabul edilmez sınırdan olunca düşük basınç kolu veya ihtiyaç olursa her iki kol için de "mekanik koruma" elde etmenin yolları vardır. Şekil 8.11 üst bağlantı için basınç tekrarlayıcısının kullanımı göstermektedir. Bir şekilde cihaz tam vakumdan 250 Pa pozitif basınca kadar B bağlantısında meydana gelen basıncı üretir. Bir başka durumda (şekilde) cihaz 7 kPa'dan 700 kPa'a kadar basınç üretecektir. Tekrarlayıcı (repeater) d/p transmitterin düşük basınç tarafına B seviyesindeki toplam basıncı gönderir. Bu yolla B seviyesindeki basınç A seviyesindeki basınçtan çıkarılır.

Aşağı taraftaki transmitter böylece yoğunluğu ölçer (veya H.G, ki burada G sıvının özgül ağırlığıdır). Aşağı seviyedeki transmitter için olan eşitlikler şöyledir:

$$\text{açıklık} = H (G_2 - G_1)$$

$$\text{sıfırda tutma değeri} = H \cdot G_1$$

Üstteki tekrarlayıcı için eşitlik şöyledir:

$$(d_{B \max}) / G_2 + P_{\max}$$

$$\text{çıkış değeri (azami)} = (d_{B \max}) / (G_2) + P_{\max}$$

Burada d_B , B seviyesinden sıvının yüzeyine olan mesafe ve P depodaki statik basınçtır (varsa).

Tekrarlayıcıdaki toplam basınç atmosfer basıncından az olduğu durumlarda, tekrarlama metodu kullanıldığı zaman vakum işlemlerine özel önem verilmelidir. Bazı durumlarda yoğunluk ölçülmesi mümkün olmaya devam eder. Vakum işlemi tekrarlayıcı sinyalin tutulmasını veya tekrarlama nakledicisi (relay), için vakum kaynağı bulmayı gerektirir. Bu şartlarda müsaade edilen ağırlık değer aralığı ve depo derinliği üzerinde kısıtlamalar vardır.

8.4.5 Flanşlı Veya Çıkık Diyaframlı D/p Transmitteri

Standart flanşlı ve çıkık diyaframlı transmitter uygulamaları sırasıyla Şekil 8.12(a) ve (b) de gösterilmiştir. Kapsül yıkama yerini (flush) dahili depo

cidarına veya depo içine yerleştirmek yerine çıkık diyaframalı transmitter ter-
cih edilebilir. Bu cihazla oluşumunun meydana geldiği kapsülün ön ta-
rafındaki oyuklar (cepler) gereksiz hale gelip kaldırılır.

8.4.6 Basınç Contalı (Korumalı) D/p Transmitteri

Eğer şartlar işlemdeki sıvının işlemin yapıldığı hazneden d/p transmit-
lerine taşınmasını gerektirse şekil 8.13'de gösterildiği gibi basınç contalar
takılı olan transmitter kullanılabilir. Ek masrafların yanında basınç contalar
ölçümün hassasiyetini azaltır ve iki sistem arasındaki herhangi bi-
yumuşmazlık daha başka hatalara da sebep olabilir. Yine de sistem hem açık
hemde kapalı hazneler için kullanılabilir.

8.4.7 Hava Kabarcığı Tüpü D/p Transmitteri

Şekil 8.14'te gösterilen bu çok basit sistem iki tane açık uçlu "V" şekilli
tüpü kapsar. Bunlar sıvıya "V" yarıkları, bilinen sabit dikey H mesafesinde
ayrılarak daldırılır ve uygun basınçta düşük fakat düzgün hava akımı (veya
inert gaz) ile işleme tabi tutulur.

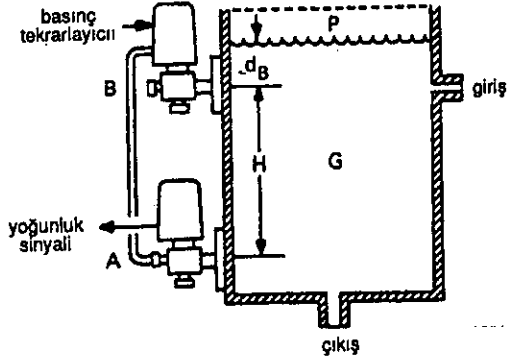
Bu tüpler yüksek basınçlı taraf, aşağıdaki "V" yarığıyla irtibatlı olacak
şekilde bağlanan bir d/p transmitteri, iki nokta arasındaki P hidrostatik
basınç farkını ölçer. Bu değer (yoğunluk)* (iki "V" yarığı arasındaki dikey me-
safeye) ye eşittir.

$$\text{Yoğunluk} = P/H$$

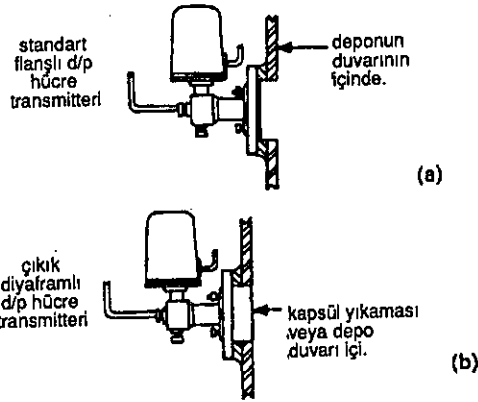
Bu metot çok basit ve etkili olmasına rağmen kapalı hazneler ve kristali-
ze olan veya kabarcık tüplerinde tıkanıklığa sebep olup hatalı sonuçlar verebi-
lecek sıvılarda kullanıma uygun değildir.

8.4.8 Gözönüne Alınabilecek Diğer İşlemler

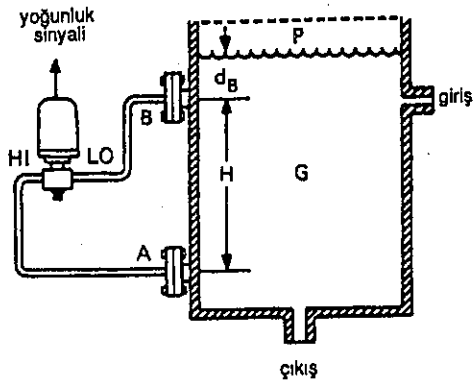
Yoğunluk ölçüm işleminin yapıldığı haznedeki faaliyetler sıvının üni-
form olduğundan emin olmaya yeterli olmalıdır. Ama tepe basıncın
ölçüldüğü noktalardaki sıvının hızı büyük bir ölçüm hatasının önüne geçmek
için yeter miktarda düşük olmalıdır. Yan tarafa monte edilmiş transmitterlerin
yeri deponun dibinden yeteri kadar yukarıda olmalıdır ki burada birikme
eğilimindeki çökeltilerin içine dolmuş olmalarından ötürü meydana gelebile-
cek hatalar önlenir.



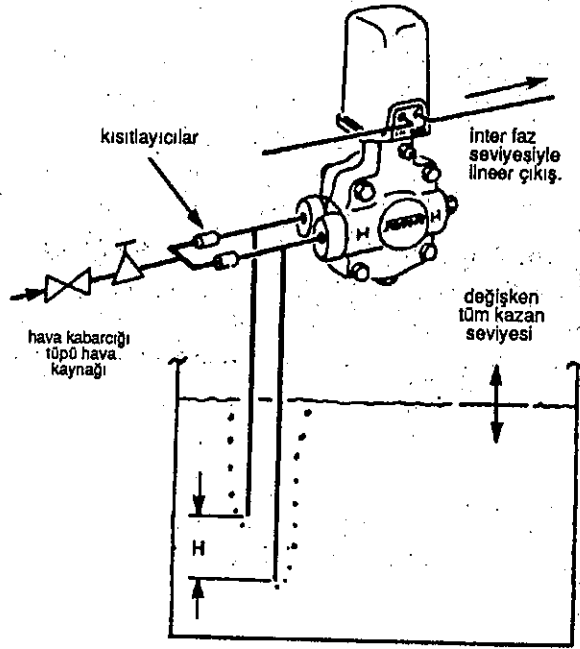
Şekil 8.11 Basınç tekrarlayıcısıyla yoğunluk ölçümü.



Şekil 8.12 Flanşlı veya çıkık diyaframalı d/p elemanı.



Şekil 8.13 Basınç contalı D/P hücresi (elemanı).



Şekil 8.14 Kabarcık tüplü d/p elemanı.

8.5 Işınım Kullanarak Yoğunluk Ölçümü

Bu metot yardımıyla yoğunluk ölçümleri "gamma ışınlarının emilmesi, ölçülen maddenin özgül ağırlığının artmasıyla, artar" prensibine dayanmaktadır. Bunlar 3. bölümde (veya 3. kitap) tartışılmıştır.

Bu prensipte şu cihazlara ihtiyaç vardır: sabit bir gamma ışını kaynağı, bir dedektör, bir gösterge veya kayıt cihazı. Akan sıvının sabit bir hacmindeki geçen ışıınımdaki değişimleri dedektör tarafından orantılı bir elektrik sinyali-ne çevrilir.

8.6 Resonant (Ses Dalgası) Elemanları Kullanarak Yoğunluk Ölçümü

Birçok yoğunluk ölçme cihazı sıvı ile dolu bir tüp veya tamamen sıvıya daldırılmış bir silindirin teste tabi tutulması gibi bir salınan sisteminin (ses dalgalarının gidip gelmesi üzerine kurulu bir sistem) dalga frekansının

ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde herbiri örneklerle açıklanmıştır.

8.6.1 Sıvı Yoğunluk Ölçümü

Type 7830, Solortron Sıvı Yoğunluk Transdüsörü şekil 8.15'te gösterilmiştir. Algılayıcı (sensör) eleman ölçülecek sıvının aktığı bir tane düzgün yüzeyli dairesel tüpü içine alır. Tüp her iki tarafta ağır kütlelerle ve dış kapaktan körükler ve zarlarla izole edilerek sabitlenmiştir. Elektromanyetik sürücüler ve boğuk (coil) sistemleri tüp boyunca yerleştirilmiştir. Çalışma sırasında tüpün doğal frekansında gidip gelmesine amplifikatör sağlar.

Tüpün gidiş gelişlerinin doğal frekansı kütlenin birim uzunluğa oranının bir fonksiyonu olmasına rağmen akan sıvının yoğunluğunun bir fonksiyonunda olmalıdır. Dahası tüpün düşük ve sabit, bir genişleme katsayısına sahip olan bir maddeden üretildiğini kontrol eder. Eğer korozyon ve aşınma gibi bir sebepten bu mümkün olmazsa, sıcaklığın ölçülmesi ve ses dalgalarının frekansından bulunan yoğunluk değerine uygun bir düzeltme yapılması önemlidir.

Örneğin tüp (su dolu iken) 1.3 KHz'de 0.025 mm genlikle titreşim yapar. 3000 kg/m³'e kadar olan yoğunluklar 0,2 kg/m³ doğrulukta ve 0.02 kg/m³ tekrarlanabilirlikte ölçülebilir. Açıklıkta elde edilen bu %1 civarındaki kesinliğin diğer metodlarda elde edilebilmesi ancak çok büyük dikkat sarfedilerek olur.

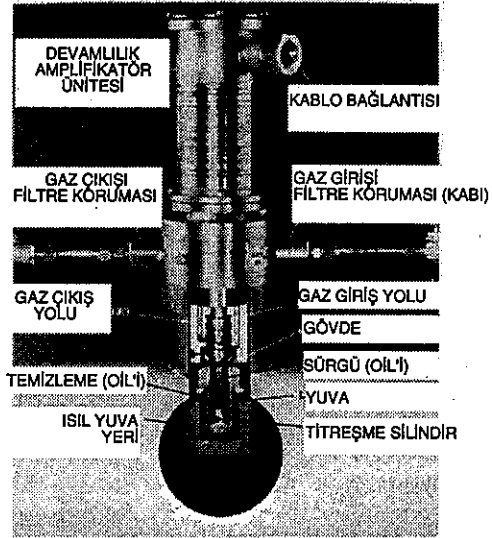
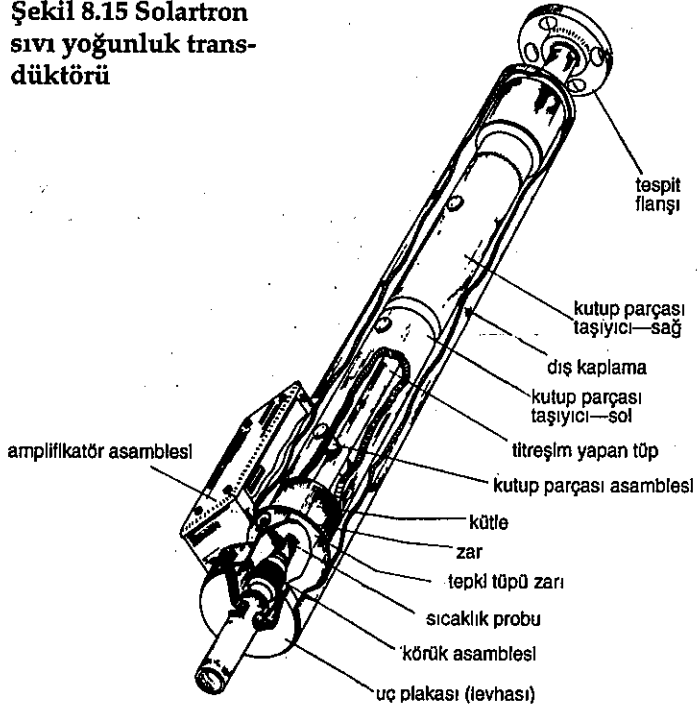
İstenen sonuç açıklıkta ayarlama yapılmadan işletme değer aralığındaki sürekliliktir. Tekrar kalibrasyon, birleşik okuma değeri veya sinyal düzenleme devrelerindeki sabitlerin ayarlanmasından etkilenir. Verilen yoğunluk-frekans ilişkisi şöyledir:

$$d = K_o \left(\frac{T^2}{T_o} - 1 \right)$$

Burada d ölçümü yapılan sıvının yoğunluğu, K_o transdüsör sabiti, T_o vakum şartlarındaki osilasyon periyodu ve T 'de işletme şartlarındaki osilasyon periyodudur.

Yoğunluk osilasyon periyodu arasındaki ilişki bir kare konumuna kesinlikle uyduğu halde, yoğunluktaki %20 lik bir değişimde %2 civarında lineer olması kayda değerdir. Daha dar aralıklar için hata orantılı olarak azalır.

**Şekil 8.15 Solartron
sıvı yoğunluk trans-
düktörü**



Şekil 8.16 Solartron gaz yoğunluk transdüktörü tip 7810, Schumherger Electronics (U.K) Ltd. izniyle.

8.6.2. Gaz Yoğunluk Ölçümleri

Sıcaklık, basınç ve gazın hacmi arasındaki ilişki

$$PV = nZR_0T \text{ dir.}$$

dir. Burada P mutlak basınç, V hacim, n mol sayısı, Z sıkıştırılabilirlik faktörü, R_0 üniversal gaz sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Bu eşitlikte mol kullanılması ayrı ayrı gaz sabitlerinin, m kütesinin, Mw moleküler ağırlığın ve $n = m/Mw$ ile verilen mol sayısı arasındaki ilişkilerin bulunması gerekliliğini ortadan kaldırır. Sıkıştırılabilirlik faktörü Z, 1.0 olduğunda gaz ideal veya mükemmeldir denir. Özgül ısının sadece sıcaklığa bağlı olduğu varsayılırsa gaza ideal gözüyle bakılır. Eğer gazın ideal nisbi yoğunluğu RD gazın moleküler ağırlığının havanın oranı olarak tarif edilirse o zaman

$$RD = \frac{MW_{\text{gaz}}}{MW_{\text{hava}}}$$

ve gerçek yoğunluk gazın yoğunluğunun havanınkine oranı olarak tanımlanır, bu da belli sıcaklık ve basınç için

$$RD = \frac{\rho_{\text{gaz}}}{\rho_{\text{hava}}}$$

dir. Yukarıdaki eşitlik yoğunluk eşitliği olarak şöyle düzenlenebilir;

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{SGMW_{\text{hava}} P}{ZR_0 T}$$

Birçok nisbi yoğunluk ölçme aletleri ortam şartlarına yakın basınç ve sıcaklıkta çalışırlar ve böylece moleküler ağırlıklara dayanan ideal nisbi yoğunluk yerine gerçek nisbi yoğunluğu ölçer ve sıkıştırılabilirliğin küçük etkilerininide gözönüne almazlar. Böylece

$$RD_{\text{(gerçek)}} = \left(\frac{P_{\text{gaz}}}{P_{\text{hava}}} \right)$$

TP burada T ve P ortam şartlarına yakındırlar. Eşitliği P ye göre düzenlersek

$$RD_{\text{(gerçek)}} = \left(\frac{ZT}{P_{\text{gaz}}} \right) * \left(\frac{P}{ZT_{\text{hava}}} \right) * RD_{\text{(gerçek)}}$$

Pratikte birçok uygulamada eşitlik şu hale gelir:

$$RD = \left(\frac{Z_{\text{gaz}}}{Z_{\text{hava}}} \right) TP \quad RD_{\text{(gerçek)}}$$

Sonuç olarak, yoğunluk transducerından alınan sinyal örnek alınan gazın moleküller ağırlığının veya özgül ağırlığının bir değerini gösterir.

Bu ölçüm temiz, kuru ve korozyon yapmayan hemen hemen tüm gazlara uygulanabilir. Kesinlik okunan değer %1'i ve tekrarlanabilirlik %0.02 si-
dir.

Gazların düşük yoğunluklarını ölçmek için sıvıların ölçümünde anlatılardan daha duyarlı bir hissedici ünitesine ihtiyaç vardır. Şekil 8.16'da gösterilen Type 7810 Solortron Gaz Yoğunluk Transducer'ı dönerek veya radyal modda titreşen ince cidarlı silindir kullanıp bu duyarlılığa ulaşır. Titreşimini azami genliği her iki ucunda nodlar olan silindirin ortasında meydana gelir ve bu yüzden bir uçtan kelepçeyle tutturulurken diğer ucta serbest nod şekillen-
dirici halkası vardır.

Silindir yoğunluğu ölçülerek gazın içine daldırılır ve bu yüzden de gazın basıncından meydana gelecek gerilimden etkilenmez. Silindirle temas halindeki gaz osilasyona geçirilir ve resonant frekansını azaltarak etkili bir biçimde titreşen sistemin kütlesini artırır.

Osilasyon sürücüyü ve kaldırma (pickup coil) coillerini silindirin içine yerleştirip devamlılık (ampli fikatörüne) irtibatlayarak elektromanyetik olarak sürdürülür. Sargılar çiftleşmeleri asgariye indirmek ve ayırmak için ve böylelikle elde edilen sinyalin hızla orantılı olmasını bunun yanında viskoz rutubetin etkisini elde etmek için birbirlerine uygun açılarla monte edilirler.

Düşük bir sıcaklık sabiti silindiri termik genişleme sabiti düşük olan malzemenin imal ederek elde edilir. Silindir et kalınlığı istenen yoğunluk değerlerine bağlı olarak 0.05 ten 0.15 mm ye değişir, bunlara uyan yoğunluk değerleri 0- 60 kg/m³ ve 40- 400 kg/m³'e kadar değişir.

Transolucer'ın osilasyonunun zaman aralığı ile gaz yoğunluğu arasındaki ilişki şöyle verilmiştir:

$$d = 2d_0 \frac{(\tau - \tau_0)}{\tau_0} \left[1 + \frac{K}{2} \left(\frac{\tau - \tau_0}{\tau_0} \right) \right]$$

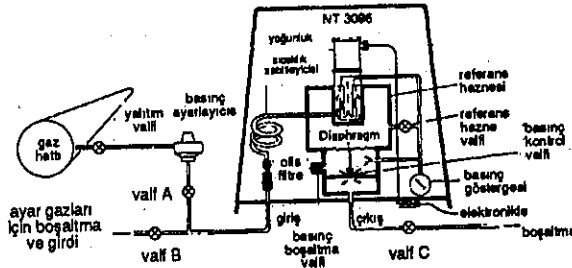
Burada τ osilasyonun ölçülen zaman aralığı, τ_0 vakum şartlarındaki osilasyon zaman aralığı ve d_0 ile K herbir transdüsör için kalibrasyon sabitleridir.

Gaz yoğunluğunun ölçülmesi için alternatif bir yolda içinde içi boş bir dönel cismin sabit bir hızda döndüğü silindirik bir test elemanıdır. Bu alet, merkez ve dönel cismin uçları arasında, gazın yoğunluğuyla doğrudan orantılı olan ve herhangi bir standart basınç farkı ölçme cihazıyla ölçülebilen bir basınç farkı yaratır. Bir kalibrasyon sabiti elemanın içindeki basınç ve sıcaklığın o anki durumları için basınç farkını yoğunluğa dönüştürür. Eleman

içinden doğru bir gaz akışı, yeterli miktarda bir basınç düşüşü yaratmak için ana hatta küçük bir engelleme yapılarak elde edilir. Engelleme, delikli plaka-
daki basınç farkının karekökünün yoğunluk elemanında elde edilen basınç
farkıyla çarpılmasından elde edilebilir. Yinede, yoğunluk elemanından gelen
gaz akışının büyük bir bölümü olmadığından emin olunması önemlidir. Eğer
sıcaklık ve yoğunluk transducer'ındaki ve ana akımdaki gaz basıncı arasında
fark varsa bir düzeltme yapılması gereklidir.

8.6.3 Gazların Bağıl Yoğunluğu

Şekil 8.17 de gösterilen Type 3096 Solartron Özgül Ağırlık Transdüsörü
gazların nisbi yoğunluğunu ölçmek için önceki bölümde anlatılan yoğunluk



Şekil 8.17 Rezonant eleman kullanarak bağıl yoğunluk ölçümü,
Schlumberger Electronics (U.K) Ltd. izniyle.

algılayıcısını kullanılır. İçinde, örnek gaz ve referans gaz ısıl izolasyon içinde
sargılar tarafından aynı sıcaklıkta tutulur. Referans hazne, içine sabit miktarda
gaz alır ve sabit hacimlidir, esnek bir diyafram vasıtasıyla örnek gaza
gönderilerek basınç değişimiyle sıcaklıktaki her değişim telafi edilir. Yoğun-
luk ve nisbi yoğunluk arasındaki direkt ilişki referans gaz kullanılarak basınç
ve sıcaklık eşitliği sağlanarak elde edilebilir.

9 BASINCIN ÖLÇÜMÜ

E.H. HIGHAM

9.1 Basınç Nedir?

Eğer bir akışkan bir sınır tabakası ile değme halinde ise, sınırı dikey doğrultuda bir kuvvet uygular. Birim alana düşen kuvvete basınç denir. Geçmişte kütle ile kuvvet arasındaki fark net değildi. Çünkü yaşadığımız ortamda her cisim yer çekiminin etkisi altındadır ve eğer engellenmemiş ise yer küresinin merkezine yönelik ivmelendirilmiştir. Bölüm 8 de açıklandığı gibi karmaşa SI (Système International d'Unites) birimler sistemiyle ortadan kaldırılmıştır. Bu sistemde kuvvetin birimi Newton ve alanın birimi metreka-redir. Böylece birim alana uygulanan kuvvet olarak tanımlanan basınç, metreka-reye Newton olarak ölçülür ve birimi paskal olarak tanımlanır ve yerçekimi ivmesinden bağımsızdır.

Basınç ölçümünde kullanılan diğer birimlerle paskal arasındaki ilişki-ler tablo 9.1 de gösterilmiştir.

Basınç ölçümünde, mutlak basınç, cihaz basıncı ve diferansiyel basınç olmak üzere üç sınıf vardır. Mutlak basınç bir akışkanın belli bir noktasındaki basınç ile basıncın mutlak sıfırı, yani tamamen boş, arasındaki farktır. Barometre, mutlak basınç ölçüm cihazı için bir örnektir. Çünkü civa sütununun yüksekliği, atmosferik basınç ile civa sütunun üstündeki Torricelli boşluğunun sıfır basıncı arasındaki farkı ölçer.

Eğer basınç ölçüm cihazı bilinmeyen bir basınç ile ortam atmosfer basıncı arasındaki farkı ölçüyorsa, ölçüm değeri cihaz basıncı olarak tanımlanır.

Eğer basınç ölçüm cihazı hiçbir atmosferik basınç olmayan iki bilinmeyen basınç arasındaki farkı ölçüyorsa bu durumda da ölçüm değeri diferansiyel basınç olarak tanımlanır.

Bu üç ölçüm değerini göstermek için şekil 9.1 de bir civalı manometre kullanılmıştır.

9.2 Basınç Ölçümü

Basınç ölçümü için üç ana yöntem vardır. En basit yöntem bilinmeyen basıncı, yoğunluğu belli bir sıvı sütununun ürettiği basınçla dengelemeyi içerir. İkinci yöntem bilinmeyen basıncın, bilinen bir alana etkimesini sağlayarak alan üzerinde oluşan bileşke kuvveti doğrudan ya da dolaylı ölçmeği kapsar. Üçüncü yöntem ise, bilinmeyen basıncın elastik bir elemana (alanı belli) etki-

Paskal	Bar	milibar	Standart atmosfer	Sentimetre kare başına kilogram kuvvet	İnç kare başına pound kuvvet	Tor	mm su sütunu	mm cıva sütunu	mm H ₂ O	mc su sütunu	İnç cıva sütunu
P_a	bar	mbar	atm	kg/cm^2	lb/in^2		mmH_2O	$mmHg$			$inHg$
Pa	1	10^{-5}	9.86923×10^{-2}	1.01972×10^{-5}	1.45038×10^{-4}	7.50062×10^{-3}	1.01972×10^{-1}	7.50062×10^{-3}	4.01463×10^{-3}		2.95300×10^{-4}
bar	10^5	10^3	9.86923×10^{-1}	1.01972	14.5038	7.50062×10^{-2}	1.01972×10^{-2}	7.50062×10^{-2}	4.01463×10^{-2}		2.95300×10^{-2}
mbar	10^2	1	9.86923×10^{-4}	1.01972×10^{-3}	1.45038×10^{-2}	7.50062×10^{-1}	1.01972×10^1	7.50062×10^{-1}	4.01462×10^{-1}		2.95300×10^{-1}
atm	1.01325×10^5	1.01325×10^3	1	1.03323	1.46959×10	7.60000×10^2	1.03323×10^3	760	4.06783×10^2		29.9213
kg/cm^2	9.80665×10^5	9.80665×10^3	0.967841	1	14.2233	735.559×10^2	10^4	7.35559×10^2	3.93700×10^3		28.9590
lb/in^2	6894.76	68.9476	6.80460×10^{-2}	7.03070×10^{-1}	1	51.7149×10^2	7.03069×10^3	51.7149	27.6798		2.03602
torr	133.322×10^{-3}	1.33322×10^{-3}	1.31579×10^{-3}	1.35951×10^{-3}	1.93368×10^{-2}	1	13.5951	1	53.5240		3.93701×10^{-2}
mmH_2O	9.80665×10^{-5}	9.80665×10^{-3}	9.67841×10^{-5}	10^{-4}	1.42233×10^{-3}	7.35559×10^{-2}	1	7.35559×10^{-2}	3.93701×10^{-2}		2.89590×10^{-3}
$mmHg$	133.322×10^{-3}	1.33322×10^{-3}	1.31579×10^{-3}	1.35951×10^{-3}	1.93368×10^{-2}	1	13.5951	1	53.5240		3.93701×10^{-2}
inH_2O	249.089×10^{-3}	2.49089×10^{-3}	2.45831×10^{-3}	2.54×10^{-3}	3.61272×10^{-2}	1.86832×10^{-2}	25.4	1.86832	1		7.35559×10^{-2}
$inHg$	3386.39×10^{-2}	33.8639×10^{-2}	3.34211×10^{-3}	3.45316×10^{-3}	0.491154	25.4000	3.45316×10^{-2}	25.4000	13.5951		1

NOT: Başlıklar British standartlarından çekilmiştir ve British Standards Institution 2 Park Str. London W1A 2BS bünyesinde tekrar yayımlanmıştır. Tamı kopyalar verilen adreslerden temin edilebilir.

TABLE 9.1 Basınç Ölçümleri

mesini sağlamak ve ortaya çıkan gerilim ya da uzama oranını ölçmeyi kapsar. Bu yöntemlere ilişkin örnekler gelecek bölümlerde tartışılmıştır.

9.2.1 Belli Yoğunluktaki Bir Sıvı Sütununun Dengelenmesine Dayalı Basınç Ölçümleri

Bu tip ölçüm için en basit tip ölçüm cihazı U-borusudur.

Şekil 9.2'de gösterildiği gibi yoğunluğu, ρ , belli bir sıvıyı içeren bir U borusunu düşünelim. A ve B aynı yatay düzeydedirler ve C noktasında sıvı B den h (mm) yukarda durmaktadır. Böylece A noktasındaki basınç

= B noktasındaki basınç

= atmosfer basıncı + BC sıvı sütunundan kaynaklanan basınç

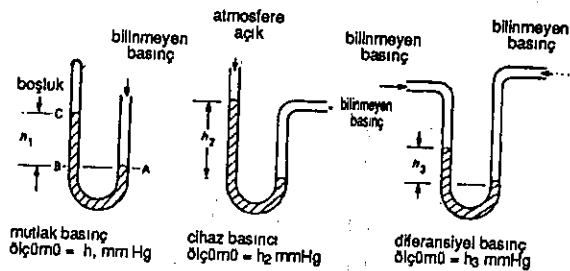
= atmosfer basıncı + $h\rho$

Eğer sıvı su ise ölçüm birimi mmH_2O ve eğer sıvı civa ise bu durumda da ölçüm birimi mmHg dir. İlgili SI birimi paskal olup,

$$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.80665 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 133.322 \text{ Pa}$$

Buna benzer bir sistem için, manometre borusunun sol kolundaki (şekil 9.2) akışkanının yoğunluğunun manometre sıvısı yoğunluğu yanında gözardı edilebilecek düzeyde olduğu varsayılır. Eğer bu böyle değil ise, cihaz içinde ve cihaza bağlanan borulardaki gazın basıncını hesaba katarak düzeltme yapmak zorunludur. Şekil 9.3'e göre,



Şekil 9.1 Basınç ölçüm tiplerinin karşılaştırılması.

A'daki basınç

= B deki basınç

P (cihaz basıncı)

= $\rho_1 h_1$ + atmosfer basıncı

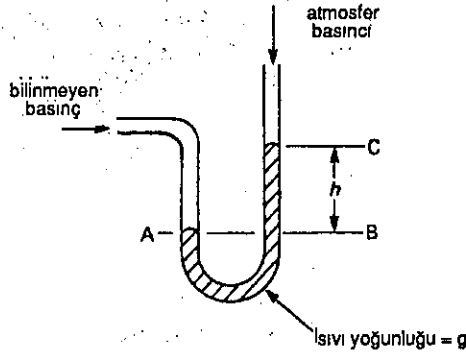
= $\rho_2 h$ + atmosfer basıncı

veya

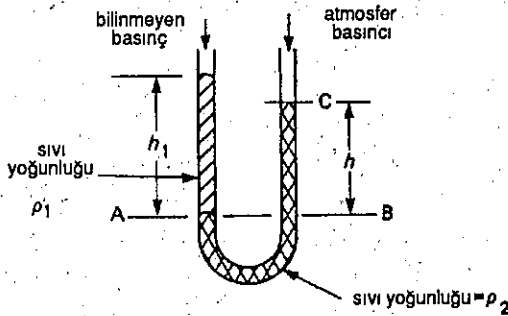
$$P = \rho_2 h - \rho_1 h_1$$

(cihaz basıncı çünkü atmosfer basıncı manometrenin her iki koluna da etmektedir.)

Eğer manometre kolları, şekil 9.4'de gösterilen kuyu tip bir manometrede olduğu gibi, farklı çaplara sahip iseler bir taraftaki yükselme öteki taraftaki



Şekil 9.2: Basit bir U borulu manometre.



Şekil 9.3 Islak kola birleştirilmiş manometre.

düşmeye eşit değildir. Eğer kuyunun kesit alanı A ve borunununki a ise, bu durumda bir birimdeki sıvı kaybı diğerindeki kazanca eşit olacaktır. Böylece

$$h_m A = h_2 a \quad \text{ve} \quad h_2 = h_m A/a$$

olur.

U-borulu basit bir manometre için uygulanan basınç $P = (h_2 + h_m) \rho$. Eğer sol taraftaki manometre kolu, akışkan yoğunluğu ile bir ıslak kol halini alırsa bu durumda,

$$P + (h_1 + h_2) \rho_2 = (h_2 + h_m) \rho_1$$

sonuç olarak

$$P = (h_2 + h_m) \rho_1 - (h_1 + h_2) \rho_2$$

olur. Eğer her iki manometre kolu da ıslak ise, bu durumda

$$P + (h_1 + h_2) \rho_2 = (h_2 + h_m) \rho_1 + (h_1 - h_m) \rho_2$$

$$P = (h_2 + h_m) \rho_1 + (h_1 - h_m) \rho_2$$

$$- (h_1 + h_2) \rho_2$$

$$= h_2 \rho_1 + h_m \rho_1 + h_1 \rho_2 - h_m \rho_2$$

$$- h_1 \rho_2 - h_2 \rho_2$$

$$= \rho_1 (h_2 + h_m) - \rho_2 (h_m + h_2)$$

$$= (h_2 + h_m) (\rho_1 - \rho_2)$$

$$= h_m (A/a + 1) (\rho_1 - \rho_2)$$

dir.

Sıcaklığın etkisi Sıcaklıktaki değişimin etkisi şu ana kadar gözardı edilmiştir. Ancak hassas çalışmada sıcaklığın manometre içindeki sıvı yoğunluğuna etkisi hesaba katılmak zorundadır. Ayrıca sıcaklığın ölçek üzerindeki etkisi de gözden kaçırılmamalıdır. Çoğu uygulamalarda sıcaklığın sadece manometre içindeki sıvıya etkisinin göz önünde tutulması yeterli olmaktadır. Bu durumda herhangi bir T sıcaklığı için ρ aşağıdaki değere eşit alınır.

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta(T - T_0)}$$

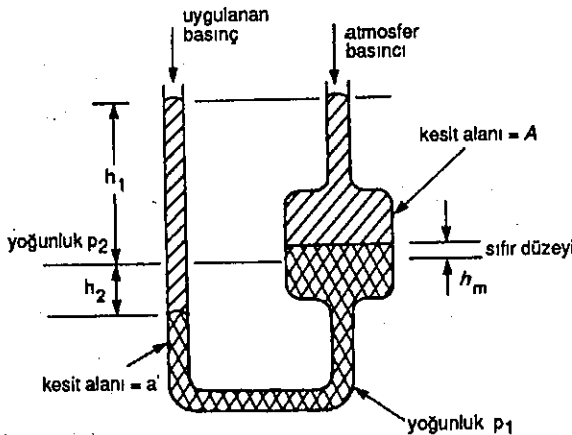
Burada p_0 karşılaştırma koşuluna ait yoğunluğu, β hacimsal genleşmeyi belirtir. T_0 karşılaştırma sıcaklığı, ve T gerçek ölçüm sıcaklığıdır.

9.2.2 Bilinmeyen Basıncın Bilinen Bir Alana Etkimesini Sağlamak ve Bileşke Kuvveti Ölçmek Yöntemiyle Yapılan Basınç Ölçümleri

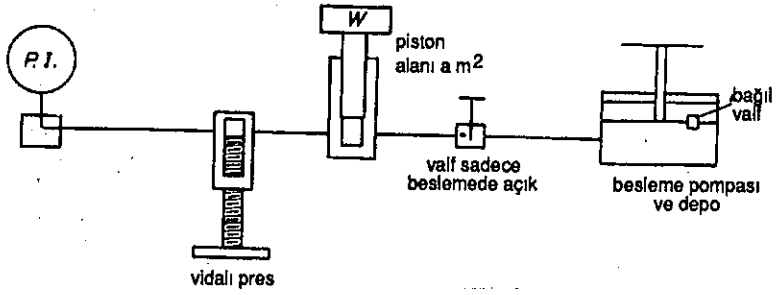
9.2.2.1. Sabit Ağırlıklı Ayarlayıcılar

Bir basıncın belirtilmesi için uygulanan en basit yöntem, basıncın bilinen bir yüzeye etkimesi ile üretilen kuvvetin ölçülmesidir. Bu yöntemle çalışan sabit ağırlıklı ayarlayıcı sistem bilinmeyen bir basıncın ölçümünden daha çok cihazların ayarlanmasında kullanılır.

Bu sistemin ana yapısı şekil 9.5'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistem bir besleme pompası ve depo, bir yalıtma valfi, ağırlık taşıyan piston, bir vidalı pres ve denenmekte olan cihazı kapsar. Çalışırken vidalı pres sıfır konumuna ayarlanır, arzu edilen basıncı temsil eden ağırlıklar pistonu uygular ve sistemi basınçlandırmak için besleme pompası çalıştırılır. Bundan sonra valf kapatılır ve vidalı pres, basıncın pistonu stop konumuna yükseltmeye yeterli oluncaya kadar, ayarlanır. Eğer piston üzerindeki sürtünmeler gözardı



Şekil 9.4 Kol çapları farklı manometre.



Şekil 9.5 Sabit ağırlıklı ayarlayıcının esas sistemi.

edilecek olursa, pistonu etkileyen basınç P Newton bölü santimetrekare olacak ve piston alanı a metrekare ise, bu durumda bileşke kuvvet paN olacaktır. Bu da bir $W=pa$ N luk bir ağırlığı taşıyacaktır.

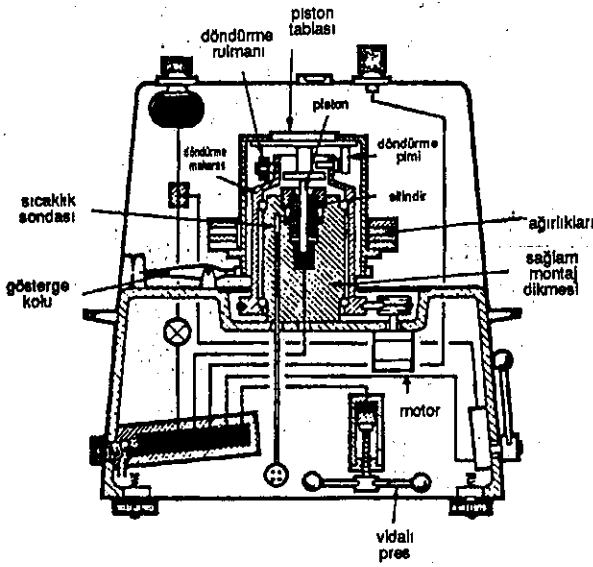
Doğruluk, piston ve silindirin imalat hassasiyetine ve okuma yapılırken, sürtünmeleri yok etmek için pistonun döndürülmesine bağlıdır.

Desgranges ve Hout'un başlıca basınç standartları dizisi, sabit ağırlık ayarlayıcılarının çok hassas bir uyarlamasıdır. Şekil 9.6 yağla çalışan bir standartın kesit resmini göstermektedir. Bu derecede hassasiyet için piston alanı ile yerçekimi kuvvetinin sabit olduklarından emin olmak gerekir ki, pistonu uygulanan kuvvet ile ölçülen basınç arasında esas bağıntı oluşturulabilsin. Bu nedenle cihazlarda düzeltme vidası ve kabarcık gösterge (su terazisi) vardır.

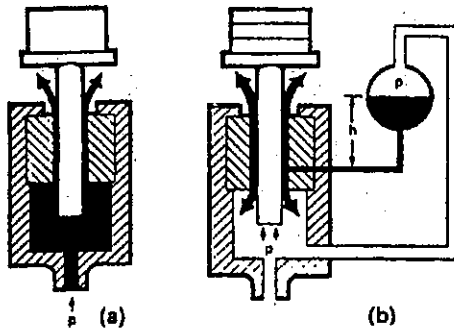
Piston üzerindeki yan gerilmeleri yok etmek amacı ile ana ağırlıklar bir kampana üzerine o şekilde yerleştirilmişlerdir ki, bunların ağırlık merkezi pistonunkinden bir miktar aşağıda olsun. Doğrudan piston tahtası üzerine sadece kesin yükler yerleştirilmiş olup, tasarım o şekilde yapılmıştır ki, bunların da büyükleri merkeze yerleştirilmiştir.

Pistonun silindir gurubu içindeki devingenliği cihazın doğruluğunu belirler, bu ise pistonun bir sıvı ile yağlanması, gaz ölçümleri yapılırken bile, gerektirir. Bunun nasıl başarıldığı şekil 9.7 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.

Sıvılar için sistem klasiktir ama gazlar için rezervuardaki yağlayıcı piston ile silindir arasındaki halka biçimli boşluktan geçer. Gaz basıncı piston ve rezervuarın her ikisine de uygulanarak, yağlayıcının boşluktan akması için ortamda daima bir basınç farkı oluşması sağlanır.



Şekil 9.6 Hassas bir sabit ağırlıklı ayarlayıcısının düzeni, Desgranges ve Hout izniyle.



Şekil 9.7 Pistonun yağlanması (a) Yağla çalıştırılan sistem, (b) Gazla çalıştırılan sistem, Desgranges ve Hout izniyle.

Pistonun silindir grubu içinde dönmesi yağlayıcı sıvı tarafından sağlanır ve böylece piston merkezlenir. Ancak pistonun dönme hızı sabit olmalı, piston titrememeli ve yapay kuvvetler oluşmamalıdır. Bu iş devreye sokulan bir motor mekanizması ile sağlanmıştır. Motor silindir makarasını bir oval makara aracılığı ile döndürür. Böylece dönmenin azalan ve çoğalan ivmelerle oluşması sağlanır. Son olarak hareketin pistona iletimi, rulman ve piston tahtasına tesbit edilen pim yoluyla sağlanır. Pistona uygulanan küçük bir çarpma onun uzun süre kendi kendine dönmesine yeter. Böylece kullanma zamanının yüzde 90'ında piston kendi kendine döner.

Piston ve silindir tungusten karbür ile işlenerek, mikrometrenin 0.1 düzeyindeki bir toleransla imal edilirler. Böylece ikisi arasındaki tipik boşluk 0.5 mikrometredir. Bir denge göstergesi yumuşak bir demir bantı çizerek pistonun konumunu belirler ve akışkan basıncının yüksek doğrulukta ayarlanmasını olası kılar.

Esas ağırlıklar paslanmaz çelikten imal edilerek, 50 kg'a kadar, modele uyacak biçimde, seriler halinde piyasaya verilirler. Can kütlesi (tipik olarak 0.8 kg) ve piston tahta gurubu kütlesi (tipik olarak 0.2 kg) da uygulanan kütleyle ilave edilmek zorundadır.

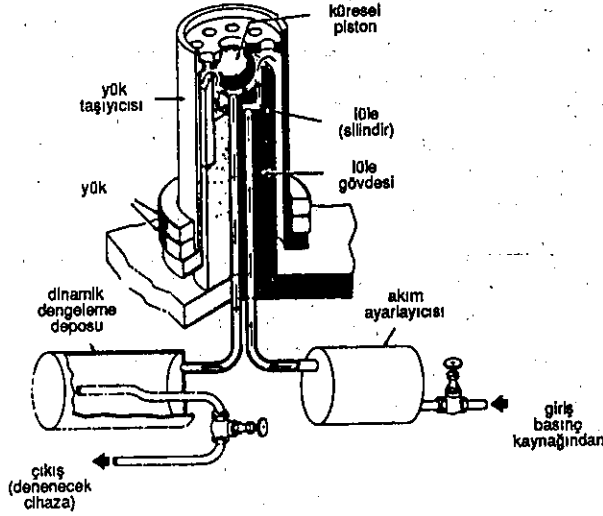
Piston ve silindir gruplarının komple seti 0.1-50 den 2.0-1000 bar'a kadar ölçme aralığı verirler.

Ölçümün kesinsizliği, "N" sınıfı için $\pm 5 \times 10^{-4}$ ya da daha az, "S" sınıfı için ise $\pm 1 \times 10^{-4}$ dür.

Bir diğer sabit ağırlıklı ayarlayıcı tipi hava sabit ağırlık ayarlayıcısıdır. Bu kendi kendine ayarlanır ana basınç standarttır. Hassas bir basınç, küresel bilyanın altındaki basınç ile bilyanın üstüne yerleştirilen belli kütledeki ağırlık arasında denge oluşturulması ile üretilir. Bu düzenek şekil 9.8'de görülmektedir.

Hassas işlenmiş küresel bilya paslanmaz çelikten yapılmış konik bir lüle içinde yüzdürülmüştür. Bilya ve konik lüle altından ayarlı bir hava akımı gönderildiğinde bilya, etrafında bir halkasal boşluk oluşturarak yüzer. Denge, bilyanın yüzmeye başladığı ve halkasal boşluktaki hava akımının, sabit akıma eşit olduğu an oluşur. Bu anda basınç bilya üzerindeki yük ile orantılıdır. İşlem esnasında bilya dinamik hava filmi tarafından merkezde tutulur, bilya ile lüle arasında değme olmaz.

Ağırlıklar değiştirilince, bilyanın konumu da değişir ve hava akımı etkilenir. Girdi ayarlayıcısı bu değişime, bilya altındaki basıncı ve dolayısıyla çıktı basıncını yeni koşula ayarlama şeklinde tepki gösterir.



Şekil 9.8 Kendi kendini ayarlayan ana basınç standardı, Amatek Inc. izniyle.

9.2.3 Bilinen Bir Basıncın Esnek Bir Elemana Etkisini Sağlamak ve Konum Değişimini Ölçmek Yöntemiyle Yapılan Basınç Ölçümleri

Basınç ölçerlerin büyük bir bölümü basıncı algılamak için Bourdan tüpü, istiflenmiş zarlar ya da bir körük kullanır. Uyglanan basınç algılayıcının şeklinde bir değişime neden olur. Bu değişim ise bir ibreyi skalaya (ölçeğe) bağlı hareket ettirmede kullanılır.

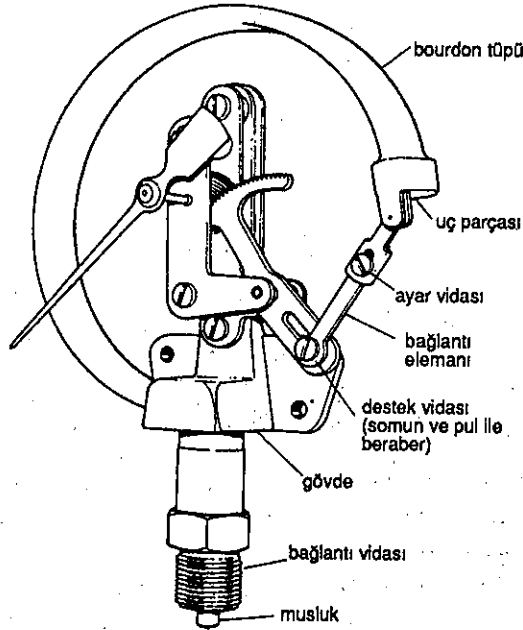
9.2.3.1 Bourdon Tüpleri

Bourdon tüpünün en basit şekli oval kesitli bir borunun bir daire şeklinde bükülmesidir. Borunun bir ucu kapatılarak uygun ayarlanır. Bir ara elemanı yoluyla bir pimle yataklanmış kuadrantın alt ucuna bağlanmıştır. Kuadrantın üst kısmı dişli olup, sabit skalaya bağlı hareket eden ibrenin bağlı olduğu, merkez mili üzerindeki küçük dişli ile irtibatlandırılmıştır. Kuadrant ile küçük dişli (pinyon dişli) arasındaki boşluk, ince kıl yay (pandül yayı) tarafından en aza indirilmiştir. Bourdon tüpünün diğer ucu açık olup basınç buraya blok yoluyla uygulanır. Blok aynı zamanda basınç bağlantısını da taşır ve bükülmenin ölçümü için karşılaştırma konumunu oluşturur.

Eğer iç basınç dış basıncın üstüne çıkarsa tüpün oval olan kesidi dairese keside doğru değişirken yay açılarak doğrulmaya yönelir. Tüpün serbest ucunun hareketi ibre mekanizmasını tahrik ederek ibrenin skalaya bağlı hareketin sağlar. Eğer iç basınç dış basınçtan daha az ise tüpün serbest ucu gövdeye doğru hareket ederek, ibrenin ters yönde hareketine neden olur.

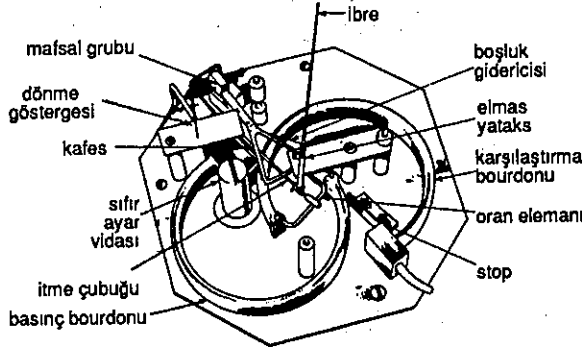
Tüp, ölçülecek akışkanın doğasına bağlı olarak çeşitli elastik malzemelerden yapılabilir (fosforlu bronz, berilyum bakır ve paslanmaz çelik en yaygın kullanılan malzemelerdir. Ancak özellikle pas yapıcı akışkanlar söz konusu ise K-Monel gibi alaşımlar kullanılır). Tüpün kalınlığı ve yapıldığı malzeme, kullanılacağı basınçlar aralığına göre seçilir, ancak tüpün gerçek boyutları ibreyi döndürmek üzere elde edilebilecek kuvveti belirlerler. Tipik bir ölçü cihazı şekil 9.9'da gösterilmiştir.

Bu tip basınç ölçerlerin iş başarıları, sadece temel yapılarından ve kullanılan yapı malzemelerinden ötürü değil aynı zamanda kullanıldıkları



Şekil 9.9 Bourdon tüp cihazı, Budenberg Gauge Co. Ltd. izniyle.

koşullar nedeniyle geniş bir farklılık gösterir. Belli başlı hata kaynakları Bourdon tüpündeki histeresis, sıcaklık değişimi ile hassasiyet değişimi, sürtünme etkileri ve ibre mekanizmalarındaki boşluklardır. Tipik bir doğruluk derecesi tüm aralığın yüzde ± 2 sidir. Detaya dikkat etmek suretiyle daha yüksek doğruluk derecesi elde edilebilir (şekil 9.10). Mutlak basınç ölçümünde kullanılan bir cihazı göstermektedir. Burada iki Bourdon tüpü kullanılmıştır. Bunlardan biri tamamen boşaltılmış ve yalıtılarak karşılaştırma tüpü haline sokulmuştur. Diğeri ise bilinmeyen basıncın etkisi altına sokulmuştur. Tüplerin serbest uçları bir oran elemanı yardımı ile birleştirilmişlerdir. Bu oran elemanı bir itme çubuğu yardımı ile serbest uçların hareketleri arasındaki farkı, küçük dişliyi ve ibreyi döndüren, elmas yataklar kullanılmıştır. Boşlukları yok etmek için ise kafes ve küçük dişlinin her durumda sabit bir basınçla çekilmesi amacıyla bir yay ve ucuna, makaraya sarılı naylon iplik takılmıştır. Makara ise dişli şaftı üzerine monte edilmiştir.

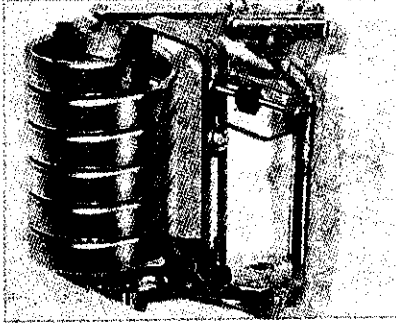


Şekil 9.10 Hassas mutlak basınç ölçeri, Wallace ve Tiernan Ltd. izniyle.

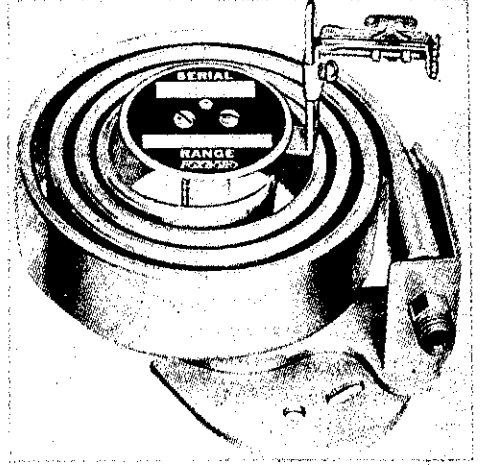
Bourdon tüpleri genişleme katsayısı son derece düşük ve pasa dayanımı iyi Ni-Span C den imal edilmişlerdir. Her iki Bourdon tüpü de aynı atmosfer basıncında olduklarından, ± 130 mmHg lik barometrik basınç değişimleri için, cihaz doğruluğunu korur. Ekran çapı 216 mm olup, tüm ölçüm aralığı ibrenin tam iki dönüm yapması ile kapsanır ve etkin cetvel boyu 1.36 m dir. Hassasiyet yüzde 0.0125 ve doğruluk Kelvin başına tüm cetvel boyunun yüzde 0.01'inden daha düşüktür.

9.2.3.2 Spiral ve Helisel Bourdon Tüpüleri

Bourdon tüpünün serbest ucundaki momentin değeri, tüpün kalınlığındaki değişimle ters orantılı olarak değişir ve tüp kesit şekline bağlıdır. Bu moment ayrıca, tüpün oluşturulduğu ark uçları tarafından sınırlanan açı ile de doğru orantılıdır. Tüpün etkin açısal boyunu uzatmak amacıyla, bir helis ya da bir spiral oluşturmakla da bu moment, cihazı daha fazla büyötmeye gereksinme kalmadan, büyütülebilir. Bu yapılara örnekler şekil 9.11 ve 9.12'de gösterilmiştir. Bunlarda dişli kuadrant gereksinimi yok edilmiş ve buna bağlı olarakta sürtünme ve laçkalık kayıpları en düşük düzeye indirilmiştir. Genelde düşük basınçlar için spiral ve yüksek basınçlar için ise helisel tüpler kullanılmaktadır.



Şekil 9.11 Helisel Bourdon tüpü,
The Foxboro Co. izniyle.

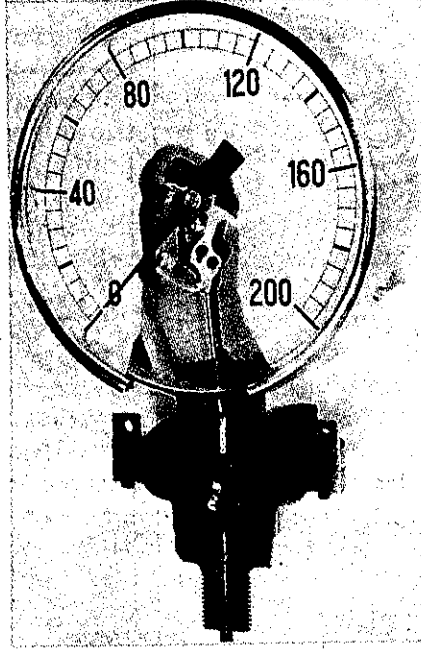


Şekil 9.12 Spiral Bourdon tüpü,
Foxboro Co. izniyle.

9.2.3.3 Diyafram Basınç Elemanları

Diyafram elemanların iki ana gurubu vardır. Bunlar, kullanılacakları tahrik plakasına uyacak biçimde sert metalik diyaframlar ve gevşek diyaframlardır.

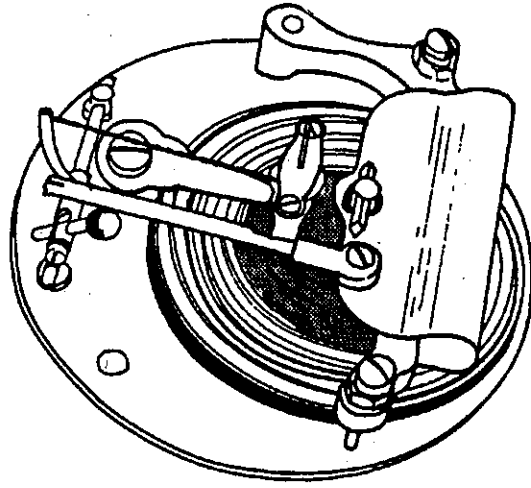
En basit diyaframlı basınç ölçer, şekil 9.13'de gösterilen Schaffer ölçeridir. Bu termik işlem uygulanmış paslanmaz çelikten imal edilmiş, yaklaşık 65 mm çapında oluklu bir diyaframdan oluşup, iki flanş tarafından tutulmak-



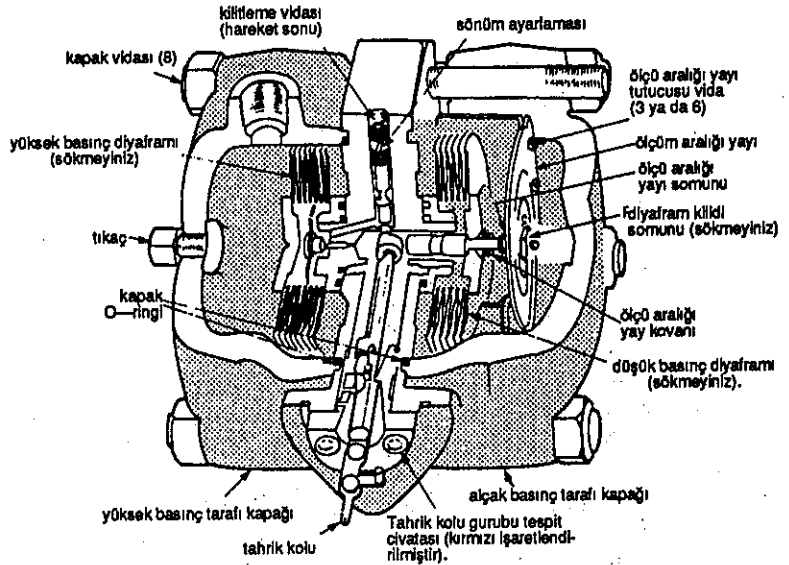
Şekil 9.13 Schaffer basınç ölçeri, Budenberg Gauge Co. Ltd.izniyle.

tadır. Bilinmeyen basınç diyaframın alt yüzüne uygulanır ve diyafram merkezinin bağıl hareketi, Bourdon ölçerindeki gibi, bir bağlantı elemanı yoluyla, ibreyi hareket etmek için iletilir. Üst flans, ölçüm aralığı üstündeki yüklenmelere karşı koruyucu görevi yapabilecek şekilde yapılmıştır.

Schaffer ölçerinde, ölçümün aralığını ve ölçüm doğruluğunu belirleyen faktör malzemenin elastikiyetidir. Bir kuru baramotre (şekil 9.14) de olumlu bir diyafram kullanır. Ancak diyafram bir yayla desteklenmiştir. Basınç elemanı yassı taneseli bir kapsülden oluşur. Kapsülün kapağı ve tabanı oluklu metalik ince levhalardan yapılmış olup kapsül kapağı, lehimlenmeden önce, kapsül içi havası boşaltılır. kapsülün dış basınç etkisiyle çökmemesi için bir yay kullanılmıştır. Yayın bir ucu kapsül kapağının merkezine tespit edilmiş diğer ucu ise bir köprüye kancalanmıştır. Kapsül kapağının merkezine ayrıca bir kol da tespit edilmiştir. Bu kol, bir üçgen krank ve bir kaldıraç düzeni aracılığı ile ibreyi hareket ettirir. Atmosfer basıncı arttığı zaman kapsül büzülür ve sonuç olarak ibre bir tarafa döner. Aksine, ortam basıncı düşüncü kapsül genişler ve ibre bu defa ters tarafa döner.



Şekil 9.14 Kuru barometre.

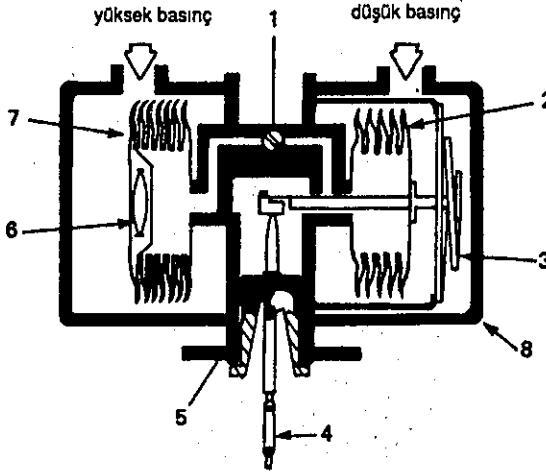


Şekil 9.15 Diyafram tipinde diferansiyel basınç vericisi,
The Foxboro Co. izniyle.

Bir yayla takviye edilmiş, sert zarları kullanan diğer bir cihaz örneği şekil 9.15 ve 9.16 da gösterilmiştir. Bu cihaz, daha önceleri, orifis-levha akım ölçerlerle beraber, basınç farklarını ölçmede kullanılan, çan tipi civalı manometrelerin yerini geniş ölçüde almıştır. Civalı manometrelerin terk edilme nedeni fiyatının yüksek olması ve çok daha önemli olarak, cıvanın sağlığa zararlı olmasıdır.

Şekil 9.16 da gösterilen diyafram elemanları (7) ve (2) oluklu diyafram çiftlerinden yapılmış olup, merkez deliğinde aralayıcı bileziklere dikiş kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Diyafram çiftleri dış çevreleri boyuncada dikiş kaynağı ile birleştirilerek guruplar oluşturulmuştur. Aşırı bir basınç uygulandığı zaman diyafram çiftleri birbirlerine sokulurlar ve basınca bağlı olarak ekstremi durumda, aralayıcı bilezikler üst üste gelerek metal-metal teması sağlarlar.

Diyafram kümeleri (7) ve (2) merkezi gövdeye, ölçüm aralığı yayı (3) ve tahrik ünitesi (4) ile beraber monte edilmişlerdir. Basınca karşı yalıtılmış örtü (8), yüksek ve alçak basınç hücrelerini oluşturmaktadır. Diyafram kümeleri (2) ve (7) kendi aralarında bir bir sönümlendirici valfi (1) yolu ile irtibatlandırılmış ve normal koşullarda sıvı halini koruyan, bir akışkanla doldurulmuştur. Yüksek basınç hücresindeki basınçta oluşan bir arıtma diyafram kümesini (7) sıkıştırır ve sıvının sönümlendirme valfi yoluyla (2) numaralı küme içine akmasına ve bu kümenin, yaya karşı, şişmesine neden olacaktır.

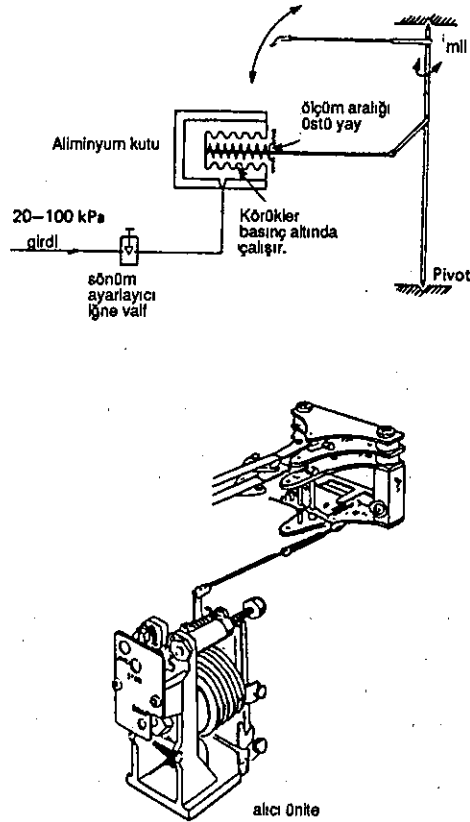


Şekil 9.16 Diferansiyel basınç vericisinin bileşenleri,
The Foxboro Co. izniyle.

Şişme iç basınç değişiminin, ölçüm aralığı yayının uyguladığı kuvvetle dengeleneceği ana kadar devam edecektir. Ölçüm aralığı yayının ezilmesi tahrik ünitesinin, yalıtılmış dirseğe (5) yataklanmış, iç kısımdaki ucuna ve oradar da tahrik milinin (4), bir kalem kolunu hareket ettiren, dış ucuna iletilir.

Bir çift metalli sıcaklık kompenzatorü (6), diyafram grubunun (7) içine monte edilmiş olup, sıcaklık değişimlerinde diyafram grubu hacminin sıcaklık farkından ötürü iç sıvı hacminde oluşan değişime göre ayarlar. Cihaz 140 bar'a kadar basınçlarda çalışmaya uygun olup, uygun yayların seçimi ile 50 den 500 m bar'a kadar ölçüm aralıkları elde edilebilir. Ölçüm aralığı yaylar Ni-Span C da imal edilmiş olup sıcaklık değişimlerinden etkilenmez.

Körük Elemanlar Körüklerin oluşturulması için hidrolik yöntemlerin geliştirilmesi ile, önceleri oluklu diyaframlardan imal edilen birçok basınç

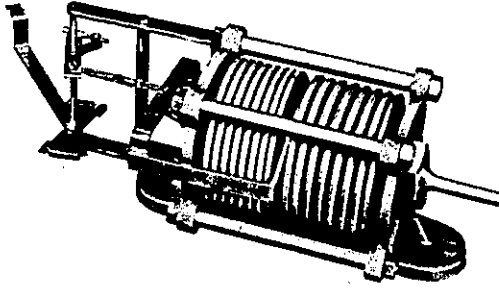


Şekil 9.17 Körüklü bir havalı alıcı ünitesi, The Foxboro Co. izniyle.

kapsülü, yerlerini çeşitli malzemelerden imal edilerek, piyasaya sürülen, körüklere bırakmıştır. Bir körüğün yay katsayısı ya da sıkıştırma modülü, körüğün imal edildiği malzemenin elastikiyet modülü ile doğrudan ve körük et kalınlığının küp köküyle, orantılıdır. Aynı modül körük kıvrım sayısı ve körük dış çapı ile de ters orantılıdır.

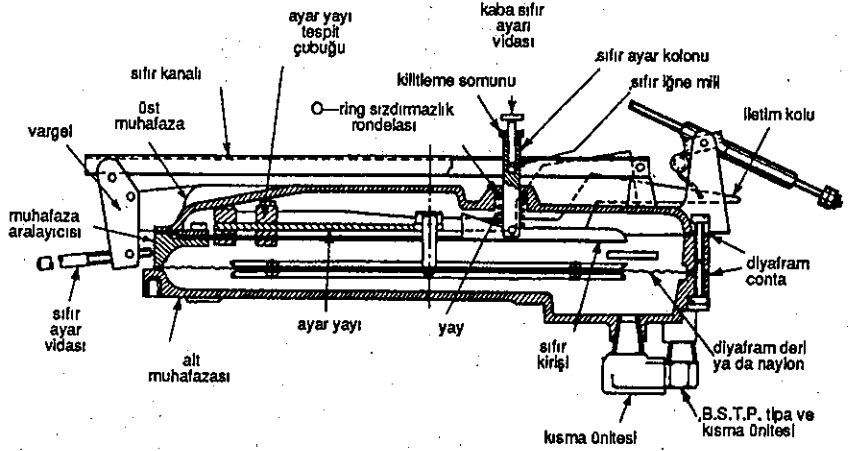
İmalatta kullanılan malzemelerin elastik özelliklerindeki değişikliklerin ortak etkisi ve imalat toleransları beraberce körük yay katsayısında önemli değişikliklere neden olurlar. Bu değişiklikler sadece demetten demete değil aynı zamanda demet içinde de görülür. Bazı uygulamalarda bu pek önemli olmayabilir. Fakat önemli olduğu yerde bu etki, demetin içine kuvvetli bir yay ilave edilerek yok edilebilir.

Şekil 9.17'deki bir havalı alıcı, yani özel olarak 20kPa'dan 100 kPa'a kadar olan basınçların ölçümü için tasarlanmış bir ünite gösterilmiştir. Bu basınç ölçüm aralığı, havalı taşıma sistemlerindeki standart aralıklardan birisidir.



Şekil 9.18: Mutlak basınç ölçer için körük gurubu, Foxboro-Yoxall Ltd. izniyle.

Şekil 9.18 mutlak basınçların ölçümünde kullanılan bir körük gurubunu göstermektedir. Gurup, paslanmaz çelikten yapılmış ve birbirlerine dikkatlice alıştırmış iki körük içerir. Körüklerden biri 0.05 mm Hg lik basıncın altına kadar boşaltılmış ve lehimlenmiştir. Bilinmeyen basınç diğer körüğe uygulanır. Her iki körük bir çerçeve içerisine monte edilmiş ve bir çatala birbirlerine irtibatlandırılmışlardır. Bu çatal körük hareketini, bir ara elemanı yoluyla, ibreye ya da yazıcı koluna iletir.



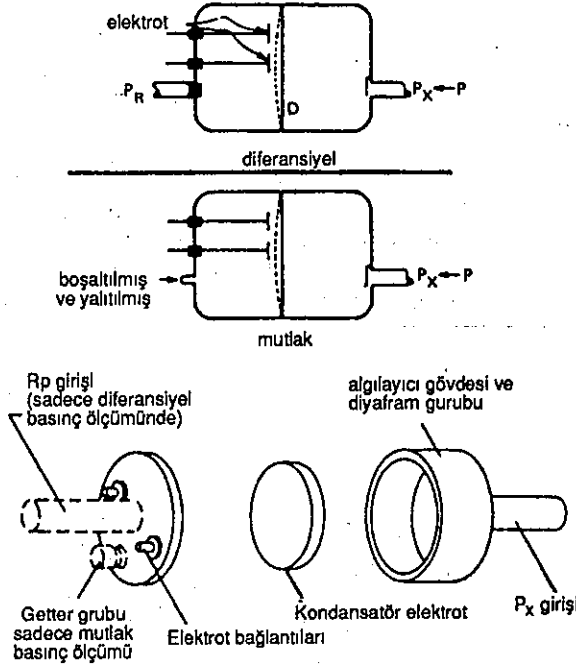
Şekil 9.19 Gevşek diyafram basınç geyci, Bailey Meters ve Controls Ltd. izniyle.

9.2.3.5 Gevşek - Diyafram Basınç Elemanları Tahrik Plakaları İle Birlikte

Bunlar basınç algılayıcıların diğer örnekleri olup, bunlarda basınç bir yayla desteklenen belli bir alana uygulanarak, bir kuvvet üretilir. En yaygın kullanım alanı, basınçların 100 Pa dan 2.5 kPa aralığında değiştiği kalorifer kazanı tasarımlarıdır. Bu guruba giren tipik bir cihaz şekil 9.19 da gösterilmiştir. Böyle düşük basınçlara tepki gösterebilmek için geniş yüzeylere gereksinme vardır. Bu çok ince, gözenekli olmayan malzemeden yapılmış ve her iki taraftan da, alanın büyük bölümünü kaplayan, tahrik plakaları ile desteklenmiştir. Diyaframın hareketi, tahrik plakaları tarafından sınırlandırılmıştır. Plakalar, belli bir hareketten sonra "Stop"la karşılaşarak aşırı yüklenmeleri önlerler. Diyaframın hareketi, onun iki tarafındaki basınçların farkından kaynaklanmakta olup, yassı berilyum bakır yaylar tarafından engellenir. Cihazın ölçüm aralığı, yayın etkin boyunu ve neticede yay katsayısını değiştirerek ayarlanır. Cihaz basıncını ölçmek için, diyaframın hareketi, ibreye uygun bir mekanizma yoluyla doğrudan iletilir. Diferansiyel basınç ölçmek için, diyaframı içeren hücrenin her iki tarafı yalıtılmış ve hareket sızdırmaz, kapak içinden manyetik kavrama yoluyla iletilir.

9.2.3.6 Kapasitans Manometreler

Elektronik yöntemlerin diyaframın hareketlerinin izleniminde ve neticede basıncın belirlenmesinde kullanımı, hem ölçüm hassasiyetinde ve hem de çözüm olanaklarında büyük bir gelişme sağladı ve ayrıca çözümleri doğrusallıktan uzaklaştıran etkenlerin giderilmesine yardımcı oldu.



Şekil 9.20 Kapasitans manometre algılayıcısı, MKS Instrument Inc. izniyle.

Bu yöntemlerin uygulandığı cihazlardan biri, şematik olarak şekil 9.20 de gösterilen kapasitans manometresidir.

Bu tip algılayıcılar için diyafram ve algılayıcı gövdesinin, çok paslandırıcıları da içermek üzere çok çeşitli akışkanlara, dayanıklı olması gereklidir. Ayrıca ısı genleşme katsayılarının da, elektrot gurubu ve ayrıca malzemelerinkine çok yakın olması önemlidir. Gövde ve diyafram için en uygun malzeme "Inconel"dir. Elektrot imalinde ise nikel ya da palladyum ile beraber "fosterite" kullanılır. Bu malzeme ile 10^{-3} Pa gibi düşük basınçlar güvence- li biçimde ölçülebilir.

Gerdirilen metal diyafram, algılayıcı gövdesinin içine kaynaklanmış ve elektrot gurubu gövde içine, diyaframa göre doğru bir konumda, yerleştirilmiştir. Eğer algılayıcı mutlak basınç ölçümlerinde kullanılacaksa, algılayıcı gövde gurubu, iki elektrot bağlantısı ve getter gurubunu taşıyan kapağın yerine lehimlenmesi ile tamamlanmış olur. Diğer taraftan, eğer algılayıcı diferansiyel basıncın ölçümünde kullanılıyorsa hazırlık referans (karşılaştırma) basıncı için yapılır.

Böyle bir algılayıcı için histerisis hataları, okunan değerin yüzde 0.01 inçten daha azdır. Sadece sıcaklık etkilerinden kaynaklanan doğrusalsızlık en büyük hata kaynağı olup, genelde okunan değerin yüzde 0.05'i düzeyindedir. Bu hata ilgili elektron devresinin uygun ayarlanması ile en küçük değere düşürülebilir.

Ortam sıcaklığı değişmelerinden kaynaklanan hatalar sıfır ve ölçü aralığının her ikisini de etkiler. En uygun malzemenin seçimi, sıfırda Kelvin başına ölçüm aralığının yaklaşık yüzde 0.02 si ve ekran sonu kelvin başına ölçüm aralığının yaklaşık yüzde 0.06 sı kadar bir hata oluşur. Ölçüm sonu hatasını, basınç algılayıcısı gövdesine bir sıcaklık algılayıcısı sokmak ve ölçüm devresinde ilgili düzeltmeleri yapmakla yüzde 0.0005'e düşürmek mümkündür. Sıfır hatası ise sisteme bir sıfır devresi ilave edilerek yüzde 0.002'ye düşürülebilir.

9.2.3.7 Kuvars Elektrostatik Basınç Algılayıcıları

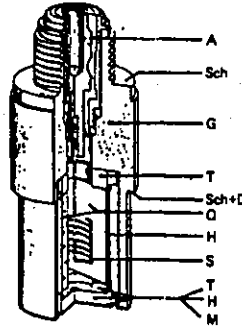
Basınç ölçümünde, iki esas kuvars algılayıcı tipleri kullanılmaktadır. Birinci grupta uygulanan kuvvet kristal boyunca bir elektrostatik şarj oluşur. Bu bir şarj amplifikatöründe ölçülür ve son sinyal uygulanan kuvvetin bir belirtisi olarak değerlendirilir.

İkinci grup (kısım 9.2.3.9) da kuvars bir tür resonatör olarak kullanılır. Buna kuvvet uygulandığında frekansı değiştirilmiş olur.

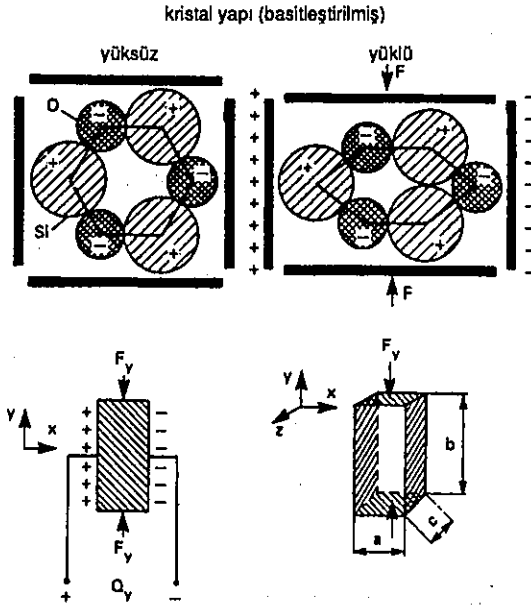
Şekil 9.21 de gösterilen, Kistler tipi 601 ve 707 serisi, kuvars elektrostatik algılayıcılarına örnektirler. Bu tasarımlar, şekil 9.22 de açıklanan "enine (çapraz) piezo-elektrik etkilerini" kullanırlar. Bir F kuvvetinin doğal eksenlerinden birinin Y doğrultusunda uygulanması, X eksenine dikey yüzeylerde bir elektrostatik şarj oluşturur. Bu şarjın niceliği, kuvars kristalinin boyutlarına bağlıdır. Uygun bir kristal biçimi seçimiyle, iyi lineerlikte ve sıcaklığa duyarlılığı düşük yüksek bir şarj elde edilmesi mümkündür. Benzer olarak, boyuna piezo-elektrik etkileri de şekil 9.23 te izah edilmişlerdir.

Üç kuvars yığını Q dan oluşturulmuş tipik bir transdüser Şekil 9.21 de görülmektedir. Kuvars yığınları ön gerilmeli H kovanı ve T sıcaklık dengeleyicisi yardımı ile G gövdesine rijit tespit edilmişlerdir. Ölçülecek basınç M diyaframına etkir ve basınç burada bir kuvvete dönüştürülerek, üç kuvars yığınının uygulanır. Kuvarsların değme yüzeyleri gümüş ile kaplanmış ve merkezi asil metal bobini S şarjı bir A iletkenine iletir.

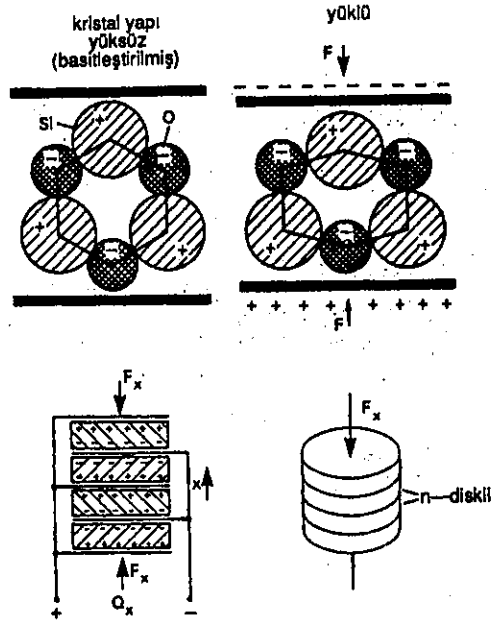
Kuvarsların dış yüzeyleri gövdeye bağlanmışlardır. Bu tanzim biçimi ile, 25MPa'a kadar bir ölçüm aralığı için yüzde 0.2 ile 0.3 arasında bir lineerlik başarılmıştır. Bu algılayıcılar 100 kHz lik bir zirve ile yaklaşık 30 kHz e kadar üniform bir tepki göstermişlerdir. Algılayıcılar arasında sınırlı bir kaçak olabi-



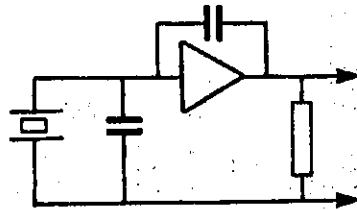
Şekil 9.21 Kuvarsın çapraz piezo-elektrik etkisini kullanan basınç dönüştürücüsü, Kistler Instruments Ltd. izniyle.



Şekil 9.22 Çapraz piezo-elektrik etkisi ilkesi, Kistler Instruments Ltd. izniyle.



Şekil 9.23 Boyuna piezo-elektrik etkisi ilkesi,
Kistler Instruments Ltd. izniyle.



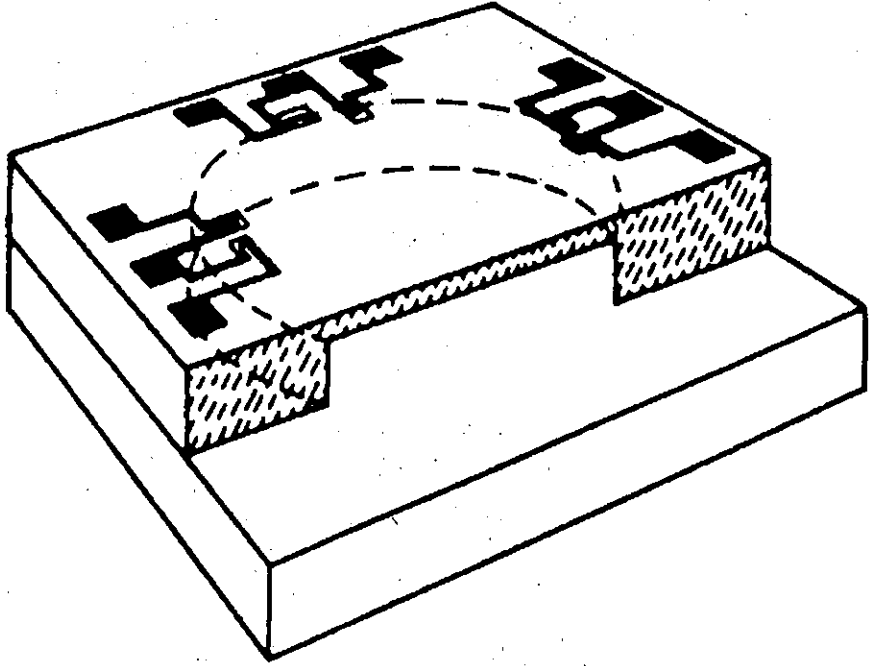
Şekil 9.24 Şarj amplifikatörü piezo-elektrik etkili algılayıcı
ile birlikte.

leceğinden ötürü, bu tip cihazlar statik ölçmelerde kullanılamazlar. Düşük frekans sınırı, duyarlılığa bağlı olarak, 1 Hz. düzeyindedir. Bu algılayıcıya uygun şarj amplifikatör tipi, şekil 9.24 de gösterilmiştir. Bu giriş empedansının çok yüksek olmasını garanti etmek için MOSFET giriş kademesi ile kullanılan yüksek kazançlı bir işlevsel amplifikatör ve kuvars transdüsrü üzerinde üretilen şarjın gerçekten dengelendiğini garanti etmek için kullanılan bir geri besleme kondansatör içerir. Kanıtlanabilir ki, amplifikatör çıktı voltajı $-Q/C_g$ dir. Burada Q kuvars algılayıcı tarafından üretilen şarjı ve C_g geri besleme kapasitesini ifade eder. Böylece sistem esasen kablo giriş empedansına duyarlı değildir.

Bu tip algılayıcılar yüksek sağlamlıkları, geniş dinamik ölçüm aralıkları, sıcaklık farklarına karşı kararlılıkları, iyi lineerlik ve histerisislikleri ile tanımlanabilirler. Piyasaya 200 kPa dan 100 MPa ya kadar basınçları için çok çeşitli biçimlerde sunulmaktadırlar.



Şekil 9.25 Piezo - dirençli basınç transdüsrü,
Kistler Instruments Ltd. izniyle.



Şekil 9.26 Basınç algılayıcı elemanın şematik çizimi,
Kistler Instruments Ltd.izniyle.

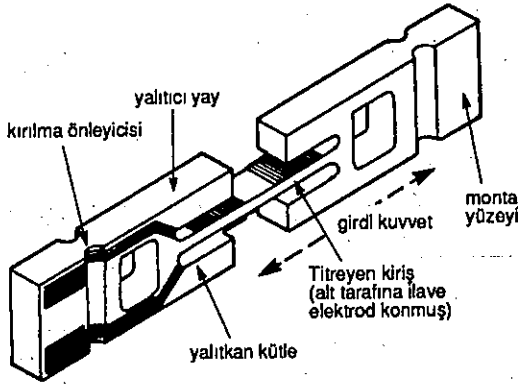
9.2.3.8 Piezo-Direnç Tipi Basınç Algılayıcıları

Çoğu metaller ve diğer bazı katı malzemelerin dirençleri, mekanik bir gerilim uygulandığında değişir. Bölüm 4'de tanımlandığı gibi deformasyon göstergeleri bu doğal olayı içerirler. Ancak silikonun kendine özgü özellikleri, bir basınç uygulaması ile saptırılabilen ve içine, bu saptırmayı algılamaya yardımcı bir ortam sağlamak üzere, dirençler serpileden, ince bir diyafram halinde imaline izin verir. Şekil 9.25 de gösterildiği gibi, Kistler 4000 serisi bir örnek olup, buna uyan basınç algılama elemanı şekil 9.26'da gösterilmiştir.

Gerilim diyafram çarpazında değişim gösterdiğinden n-tipi silikon bir pul içine dört çift direnç serpiştirilmiştir. Her bir çift dirençte bir ana bileşenin doğrultusu radyal diğerinki ise çevreseldir. Daha sonra açıklanacağı gibi, bu silikonun sıcaklık duyarlılığını dengeleyici bir ortam hazırlar. Mekaniksel olarak bunlar diyaframın bir kısmını oluştururlar; ancak p-n kavşakları tarafından elektriki olarak, o şekilde yalıtılmışlardır ki, deformasyon göstergesi gibi işlev yaparlar. Diyafram bir silindirik parçanın pul şeklinde işlenmesinden sonra bu pulun arka yüzeyi evvela metrosonik ya da yüksek hızlı elmas uçlu makinelerle kesilir. Daha sonra kimyasal dağlamaya tabi tutulur. Bu ünite daha sonra benzeri ama işlenmemiş bir ince yaprak şeklindeki dilime yapıştırılır ve böylece homojen bir eleman üretilmiş olur. Eğer mutlak basınç ölçümü arzu edilirse, yapıştırma boşlukta (vakum) yapılır. Aksi taktirde diyaframın arkasındaki boşluk, esas dilimdeki bir delik ve bir irtibatlandırılmış koruculuk yolu ile atmosfer ya da karşılaştırma basıncına irtibatlandırılır. Bu tip iki transdüsrün düzenlenmesine ait şemalar şekil 9.27 de gösterilmiştir.

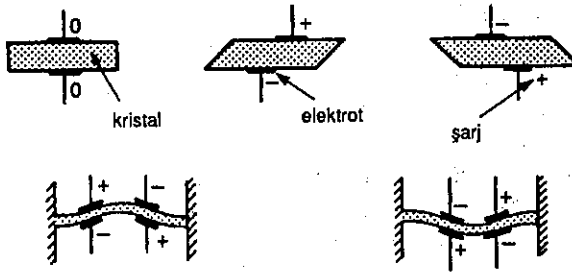
Silikonun mekanik dayanıklılığı, geniş ölçüde yüzeyin durumuna bağlı olup, genelde algılayıcının ölçebileceği en yüksek basıncı yaklaşık 100 MPa da sınırlar. Alt sınır ise diyaframın imal edilebileceği en küçük kalınlık tarafından sınırlanmakta olup yaklaşık 100 kPa dır.

Diyaframa serpiştirilmiş resistansın gösterge faktörü G (geyç faktörü) ve direnci R her ikisi de sıcaklık değişimlerine duyarlıdır. bu nedenle algılayıcıyı, dengeleyici devrelerin bazı tipleriyle birleştirmek gereklidir. Bazı koşullarda bu iş ayrı ayrı yerleştirilen dirençlerin göstergenin kendisiyle yakın ilişkilendirilmesi ile sağlanır. Sıfır sapması, ölçüm aralığı ve sıfırın sıcaklık kararlılığı için ayrı ayrı dengeleme daima istenir. Başarıyı daha da geliştirmek, lineerlikten sapma ve ölçü aralığı üzerindeki sıcaklık etkilerinin dengelenmesi ile başarılabilir.

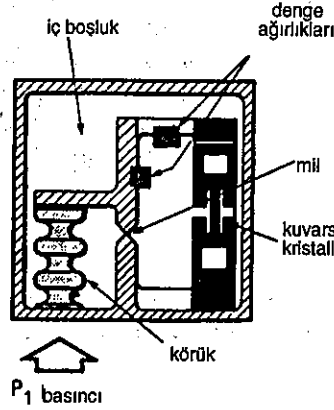


Şekil 9.28 Rezonant piezo-elektrik kuvvet algılayıcısı, Paroscientific Inc. izniyle.

Şekil 9.30 bir mutlak basınç transdüsöründeki algılayıcısına ait düzenleme gösterilmiştir. Ölçülecek basınç körüklere uygulanır. Burada yukarıya yönelik bir kuvvete dönüşür ve merkeze yerleştirilmiş mafsallı dirseği döndürür. Sonuç olarak kuvars kristale bir basınç kuvveti uygulanarak onun rezonans frekansı düşürülür. Kuvars elemanı esasen tüm mekanik yapıya rijit bağlanmış olduğundan, sapması çok küçük bir değerde sınırlandırılmış ve histerisis etkileri hemen hemen ortadan kaldırılmıştır. Eğer körükler, ilgili kol ve dirseklerle birlikte, bir muhafazaya yerleştirilir ve iç havası boşaltılırsa, bu sadece sıfır basıncını vermez, aynı zamanda kütle yüklemelerini ve kuvars



Şekil 9.29 Piezo-elektrik kuvvet algılayıcısı için tınlatıcı kip'i, Panoscientific Inc. izniyle.



Şekil 9.30 Mutlak basınç transdüktöründe kuvvet algılayıcısının tanzimi, Paroscientific Inc. izniyle.

tınlatici üzerindeki sönüm etkilerini de (doğrudan Q'yu arttırarak) yok eder ve ayrıca dış ortam sıcaklık değişimlerinin etkilerini de en aza indirir. Mafsal sistemine denge yükleri ilave edilerek, mekanizma ağırlık merkezinin dirsek ağırlık merkezi üzerine düşmesi sağlanmıştır. Bu titreşim ya da ivme kuvvetlerine tepkimedeki hataları en aza indirir.

Uygunanan basınç P ve salınım frekansı arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$P = A \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) - B \left(1 - \frac{T_0}{T} \right)^2$$

Burada T_0 uygulanan basıncın sıfır olduğundaki periyodik zamanı, T uygulanan basıncın P olduğu andaki periyodik zamanı ve A ile B transdüör ayar sabitlerini ifade eder.

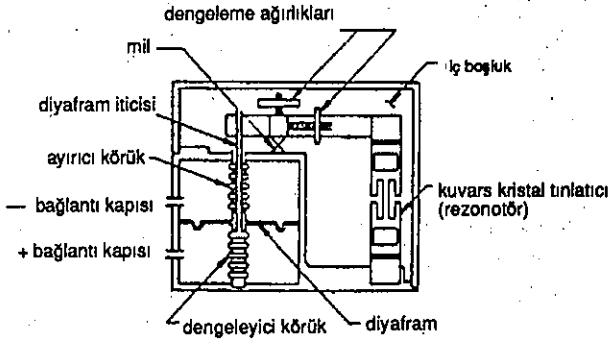
Sıfır basınçta algılayıcının nominal frekansı 50 kHz olup bu değer ölçüm aralığının en yüksek basıncında yaklaşık 36 kHz'e değişir. Böylece tınlayıcı (resonant) algılayıcısının 1000 devrinin zaman ayarlanması ile uygulanan basınç, tüm ölçüm aralığının yüzde 0.003 değerinde bir sapma ile, yaklaşık 265 milisaniyede belirtilebilir.

Bu algılayıcı, birbirine uygun iki körüğün karşılıklı etkimek üzere, şekil 9.31 de görüldüğü gibi, bir askı koluna takılmaları ile diferansiyel basınç ölçümüne uyarlanabilir. Ancak körükler ve uygunluklarındaki kusurlardan kaynaklanan statik basınca duyarlılığın doğurduğu ilave hatalar devreye girer. Bu, diferansiyel basınç vericilerin tanınmış, kabul görmüş tasarımına birçok yönleriyle benzeyen yeni bir transdüser geliştirilmesine öncü olmuştur.

Tipik Özellikleri

0 dan 100 kPa'a kadar ve 0 dan 6 MPa 'a kadar ölçüm aralıklarında mutlak basınç ölçümleri ya da 0 dan 40 kPa'a kadar ve 0 dan 275 kPa'a kadar diferansiyel basınç ölçümleri için.

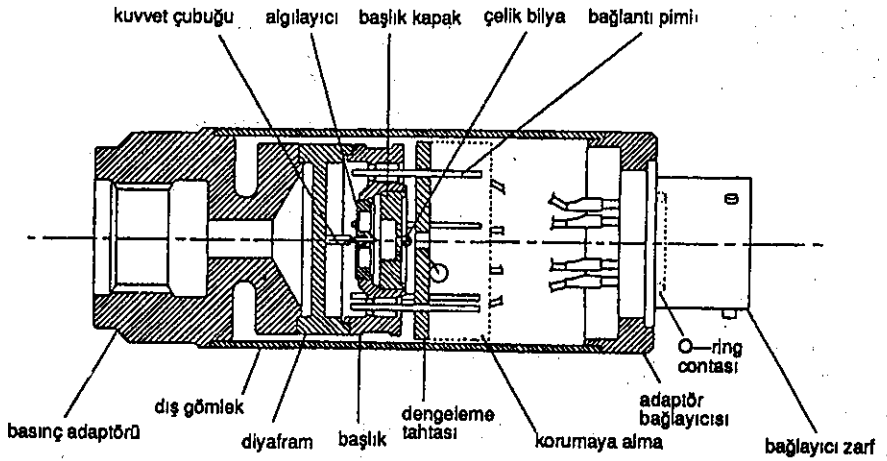
Tekrarlanabilirlik	Ölçüm aralığının % 0.005'i
Histerisis	Ölçüm aralığının % 0.005'i
Sıfırın sıcaklık sabiti	Ölçüm aralığının % 0.007'si/Kelvin
Okunan değerin sıcaklık sabiti	Okunan değerin % 0.0045'i/Kelvin
Çalışabilir sıcaklık aralığı	-55°C dan 110°C'a kadar
Güç gereksinmesi	6 miliwatt
Kütlesi	0.17 kg.



Şekil 9.31 Diferansiyel basınç transdüserinde kuvvet algılayıcısı şematik görünüşü, Paroscientific Inc. izniyle.

Basınç algılayıcılarının bir üçüncü gurubu deformasyon göstergesi ilkesine dayandırılmış olup, (bölüm 4'e bak) bunlarda direnç tipindeki deformasyon algılayıcılar bir Wheatstone köprüsü ağına bağlanmışlardır. İstenen uzun süre dayanıklılığı ve kesiklik (histerisis)ten kurtulmayı başarmak için deformasyon algılayıcıları sapma gösteren yapı elemanlarına molekül bağlantısına sahip olmak zorundadırlar. Ayrıca yapı elemanı, tüm çalışma sıcaklıkları aralığında, elektrik iletkenliği yönünden transdüsörden yalıtılmış olmak zorundadır.

Bu iş, evvela elektriksel yalıtkan tabakayı paslanmaz çelik algılayıcı kiriş ya da diyaframa sürmek ve arkasından ince zar deformasyon göstergelerini bunun üzerine yapıştırmakla başarılabılır. Bu tip algılayıcıya bir örnek CEC Instrumentation 4201 dizisi şekil 9.32 de gösterilmiştir.



Şekil 9.32 Deformasyon göstergesi kullanan basınç transdüsörü, CEC Instrumentation Ltd. izniyle.

Basınç giriş adaptörü hızlı soğutulmuş paslanmaz çelikten imal edilmiş olup, montaj ucu ile diyafram hücresi arasında derin bir oyuk mevcuttur. Böylece kuvvet toplayan diyafram çevre getirilmelerinden yalıtılmış durumdadır. Transdüsörün yapısı modüler tasarlanmış olup, çeşitli yapı ve malzeme diyaframın kullanımına uygundur. Çoğu uygulamalar için diyafram paslanmaz çelikten yapılmış olup, kalınlığı, ölçümü istenen basınçlar aralığına göre belirlenir. Bazı uygulamalarda poza dayanımı daha iyi olan malzeme istenmektedir.

Bu durumlarda Inconel 625 ya da benzeri alaşımlar diyafram malzemesi olarak kullanılabilirler. Ancak aynı emniyet marjını koruyabilmek için daha kalın diyafram gerekebilir. Bu ise kuşkusuz duyarlılığı azaltacaktır.

Algılayıcı serpiştirilmiş ince zar deformasyon göstergesi olup, deformasyon göstergesi modelleri, algılayıcı gurubunun ilgili elemanına moleküller bazda yapıştırılmışlardır. Bundan sonra algılayıcı gurubu kendisi transdüsörün diğer yapısına kaynaklanmıştır. Sıcaklık dengeleme bölümüne giden elektrik besleme yolunu içine alan, paslanmaz çelik başlıkta transdüsör yapısına kaynaklanmıştır.

Bu kaynak işlemi, seramik ateşleme yöntemi ile beraber, elektrik besleme yolunun bağlantılarında kullanılmış olup, 50MPa lık cihaz basınçları için ikincil bir emniyet sağlamaktadır.

Bu tip algılayıcılar 0-100 kPa dan 0-60 MPa ya kadar ölçüm aralığına sahip olacak şekilde pazarlanmaktadır. Bu ölçüm aralıklarında en büyük lineersizlik ve histerezis tüm aralığın sırayla yüzde 0.25 ve yüzde 0.15 ve tekrarlanabilirlik yüzde 0.05 dir.

En büyük sıcaklık etkisi Kelvin basıncı tüm aralığın yüzde 0.5'idir.

9.3 Basınç Vericileri

Yöntem endüstrilerinde, çoğu kez, algılayıcıdan alınan bir sinyalin, bir kontrol fonksiyonu yürütmek ya da bir başka sinyalle birleştirerek daha karmaşık şemalar üretmek amacıyla, kullanılmak üzere oldukça uzağa göndermek gerekebilir.

Bu tür sistemlerin geliştirilme talebi ilk olarak, havalı kontrol şemalarının en yaygın kullanıldığı petrol ve petrokimya endüstrilerinden gelmiştir. Çünkü bu sistemler, patlama ya da tehlikeli koşulların oluşabileceği fabrikalara dönebilir ve diyafram aktüatör, son operatörü tahrik etmek için güçlü ve hızlı çalışan bir cihaz sağlayabilir. Bunun ardından ilk geliştirilen verici sistem pnömatikti ve standart 20-100 kPa sinyal aralığına sahipti.

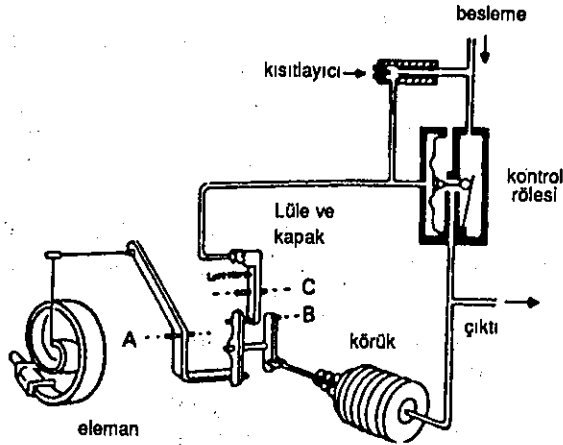
İlk verici, bir hareket-denge sistemi kullandı. Bunda ilk eleman Bourdon tüpü gibi ölçülmekte olan nicelik ile orantılı bir hareket üretti. Gerçekte Bourdon tüpünde serbest ucun hareketi uygulanan basınç ile orantılıdır. Bu vericiler, ne yazık ki, titreşimlere duyarlı idiler ve genelde yerlerini kuvvet denge sistemlerine bıraktılar. Fakat pnömatik vericinin kendisi, iletim aralığı bir kaç yüz metreyi geçtikten sonra, ortaya çıkan zaman ertelemesi ve tepki gecikmesi nedeniyle, uygun olmamaktadır.

Netice olarak, bir eşdeğer elektronik sistem geliştirildi. Burada bir algılayıcı tarafından 4-20 mA aralığında ve ölçülen büyüklüğün ölçüm aralığı

ile orantılı bir d.c akımı üretildi ve bir iki tel sistemi ile iletildi. Bu sistemin gerçek avantajı herhangi bir zaman erteleme ve tepki gecikmesinin olmaması ve iletilen sinyalin iletim hatlarının özelliklerinde oluşan değişimlerden etkilenmemesidir. Hareketli sıfırın altında bile algılama cihazını çalıştırmak için yeterli güce yani (4 mA) sahiptir. Böyle sistemlerin ilave olarak şöyle bir avantaja daha sahiptirler: Bunlar karmaşık kontrol şemalarında, eşdeğer pnömatik vericilerden daha kolay tanzim edilirler. Telemetreler ve pnömatik sistemler daha geniş olarak cilt 4'ün 00-00 bölümünde tartışılmışlardır.

9.3.1 Pnömatik Hareket-Denge Basınç Vericileri

Şekil 9.33, tipik bir pnömatik hareket-denge düzenlemesini göstermektedir. Burada algılayıcı bir Bourdon tüpüdür. Ölçülen değışikendeki değışimler ki bu basınç ya da sıcaklık olabilir, Bourdon tüpünün serbest ucunun hareketine neden olurlar. Bu hareket bir ara elemanı yoluyla A eksenine mafsallandırılmış dirsek'e iletilir. Dirseğin serbest ucu, orta noktasında yataklanmış ikinci bir kola yaslanır. Bu kolda hareketi C noktasında serbest yataklanmış üçüncü kola iletir. Böylece başlangıçtaki hareket kapağa / Lüle sisteminin kapak kısmına iletilmiş olur. Eğer sonuç olarak kapak ile lüle arasındaki boşluk arttırılmış ise, lüle arkası basınç düşer ve bu sıra ile kontrol rölesinden gelen çıktı basıncının düşmesine neden olur. Bu basınç körüğe uygu-



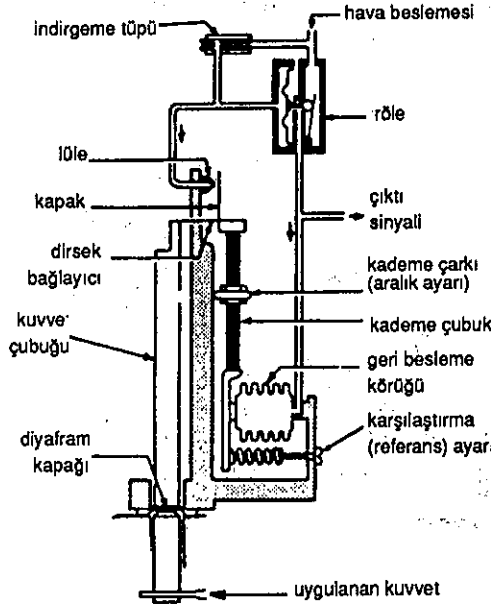
Şekil 9.33 Havalı hareket-denge vericisi düzenlemesi, The Foxboro Company izniyle.

landığında değişim, B. ekseninde mafsallanan kolun geri çekilmesine ve sonuç olarak C de mafsallanan kolun harekete geçerek, kapağın lüleye yaklaşmasına neden olur. Bu da lüle gerisi basıncın denge oluşuncaya kadar artmasına neden olur. Her ölçüm değeri için belirli bir kapak/lüle bağıntısı ve dolayısıyla belirli bir çıktı sinyali vardır.

9.3.2 Pnömatik Kuvvet-Denge Basınç Vericileri

Birçok kuvvet -denge basınç vericileri vardır. Ancak Foxboro Company'nin tasarımında, basınç ve diferansiyel basınç vericilerinin hepsinde aynı kuvvet-denge mekanizması kullanılmıştır. Bu şekil 9.34 de gösterilmiş olup, bunun ana işlevi, girdi noktasına uygulanan kuvveti, iletmek için orantılı olarak 20-100 kPa gibi pnömatik bir sinyale dönüştürmektir.

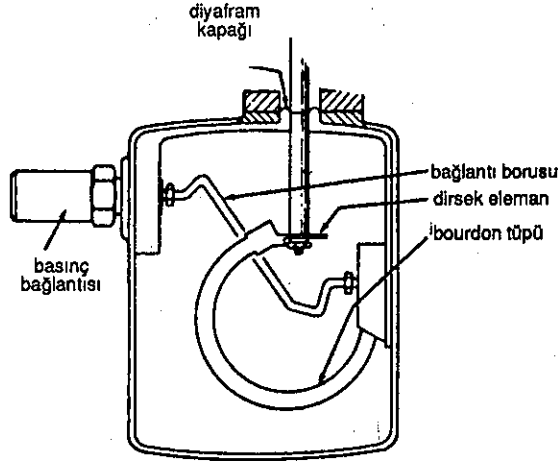
Ölçülecek kuvvet bir Bourdon tüpü, bir körük ya da bir diyafram guru- bu tarafından üretilmiş ve kuvvet çubuğunun serbest ucuna uygulanmış ola- bilir. bu çubuk, aynı cihazda, ilgilenilen akışkan ile kuvvet-denge mekaniz- ması arasında ortak yüzeyi oluşturan diyaframın kapağına mafsallanmıştır.



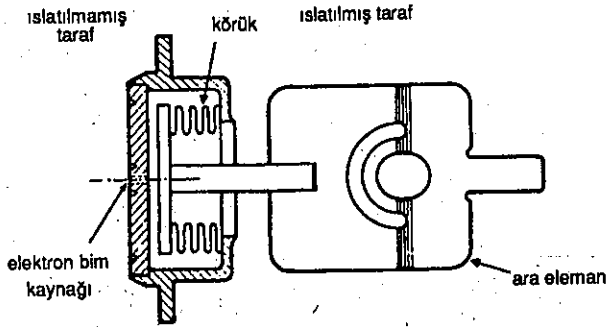
Şekil 9.34 Pnömatik kuvvet-denge vericisi.

Böylece uygulanan kuvvetten kaynaklanan hareket, kuvvet çubuğunun tepesinde büyütülmüş olarak ortaya çıkar. Bu hareket buradan, dirsek bağlayıcı aracılığı ile kademe çubuğu tepesine iletilir. Eğer uygulanan kuvvet sağa harekete sebep oluyorsa, kapak lüleyi açar ve sonuç olarak lüle arkası basınç düşer. Bu değişim, çıktısı geri besleme körüğüne uygulanan, röle tarafından büyütülür. Böylece ilk uygulanan kuvveti dengeleyen bir kuvvet üretilmiş olur. Çıktı sinyali röleden alınır. kademe çarkının ayarı değiştirilerek duyarlılık ya da ölçüm aralığı 1 katından 10 katına kadar ayarlanabilir. İlk elemanı değiştirerek yaklaşık 1.3 kPa dan 85 MPa ya ve diferansiyel basıncı 1 kPa dan 14 MPa ya kadar ölçmeler yapılabilir.

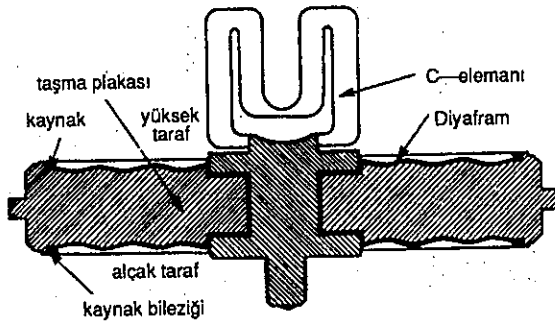
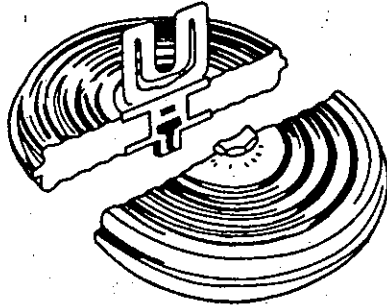
Şekil 9.35-9.38 kuvvet - denge mekanizması ile bağlantılı olarak, cihaz diferansiyel ve mutlak (yüksek ve düşük) basınçları ölçmek için, kullanılabilecek bazı ilk eleman seçeneklerini göstermektedir.



Şekil 9.35 Kuvvet-denge mekanizması ile bağlantılı çalışmak için düzenlenmiş Bourdon tüpü ilk elemanı.



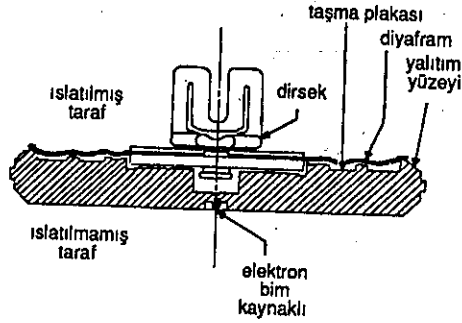
Şekil 9.36 Mutlak basınç ölçümü için körük tip ilk eleman,
(The Foxboro Co. izniyle).



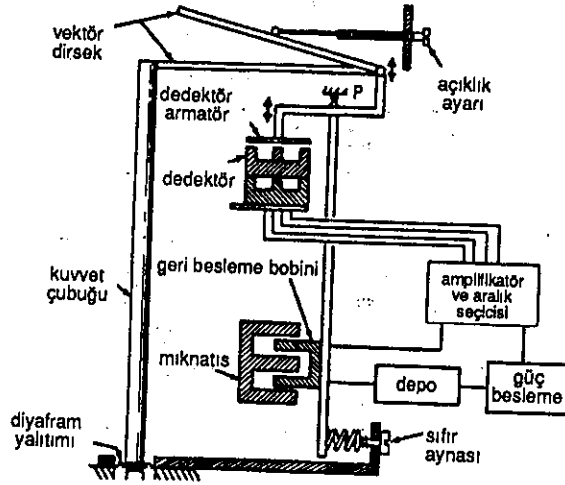
Şekil 9.37 Diferansiyel basınç ölçümü için diyafram gurubu,
(The Foxboro Co. izniyle).

9.3.3 Elektronik Kuvvet-Denge Basınç Vericileri

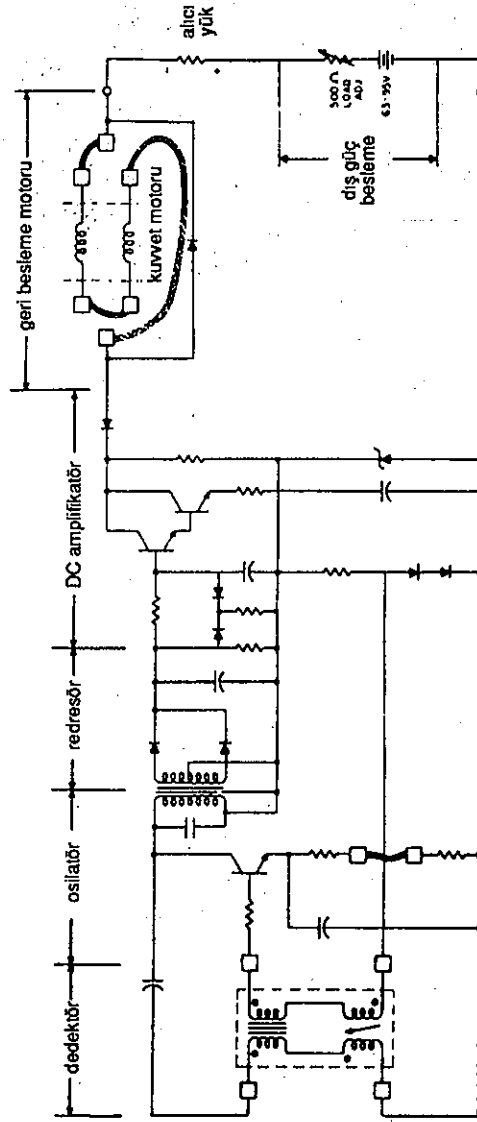
Pnömatik kuvvet-denge vericileri ile beraber birçok elektronik kuvvet-denge verici tasarımları da vardır. Ancak Foxboro serileri ana mekanizmanın tanımına hizmet eder. Bir dizi algılayıcıda kullanılan mekanizma gene şekil 9.39 da gösterilmiştir. Bunun ana görevi, ölçülmekte olan basıncın uygulaması sonucu ilk elemanda oluşturulan kuvvetin ölçümüdür.



Şekil 9.38 Düşük basınç ölçümleri için diyafram grubu, (The Foxboro Co. izniyle).



Şekil 9.39 Elektronik kuvvet-denge düzenlemesi, (The Foxboro Co. izniyle).



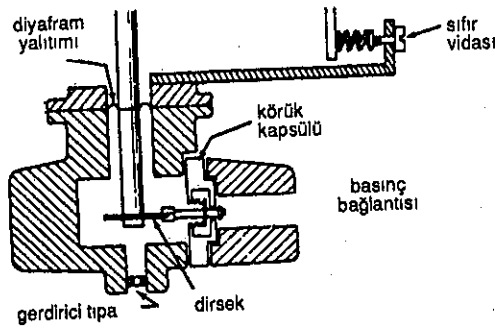
Şekil 9.40 Elektronik kuvvet-denge sistemi devresi,
(The Foxboro Company izniyle.)

Kuvvet, dirsek üzerinden, diyafram kapağına mafsallanmış kuvvet çubuğunun alt ucuna uygulanır. Kapak bazı cihazlarda ele alınan akışkan ölçüm sisteminden ayırma görevi de üstlenir. Çubuğun üst tarafındaki benzer kuvvet, etkin açısı açıklık ayarı ile değiştirilebilen vektör gurubuna iletilir. Açının tepesine bağlanmış bir ikincil kaldıraç sistemi, P noktasında mafsallanmış ve geri besleme motorunun bobin ve armatörün her ikisini de taşır.

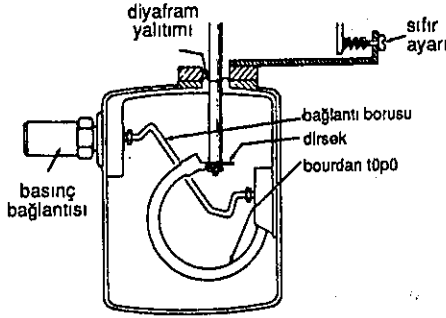
Uygulamada kuvvet çubuğuna uygulanan kuvvetteki bir değişim vektör gurubuna uygulanır ve açi tepesinin küçük bir hareketine neden olur. Bu hareket, dedektör bobinine bağlı hareket eden, ferrit disk, dedektör armatöre iletilir ve böylece iki bobin arasındaki bağlantıyı değiştirir. Bu bobinler bir osilator devresine o şekilde bağlanmışlardır ki, armatörün bobine bağlı çok küçük bir hareketi osilator çıkışında önemli bir değişime neden olsun. Bu da rektifiye edildikten sonra geri besleme motoruna o şekilde uygulanır ki, başlangıçtaki tahrik edici kuvvet dengelensin.

Geri besleme bobini içinden akan akım, vericinin çıktı sinyali olarak kullanılır. Açıklığın hassas ayarlamalar, vektör dirseği etkin açısının değiştirilmesinden etkilenir. Fakat büyük değişimler, şekil 9.40'da gösterilen, osilator/amplifikatör devresinin etkin kazancını değiştirmekle yapılır.

Pnömatik kuvvet-denge vericileri ile olduğu gibi, kuvvet-denge mekanizması ile bir arada kullanılabilecek, cihaz basıncı ve mutlak basınç algılayıcıları ve şekil 9.41-9.44'de gösterilen diferansiyel basınç algılayıcıları piyasada bol miktarda vardır. Bunlar mutlak ve cihaz basınç ölçümleri için 1.3 kPa dan 85 MPa a kadar ve diferansiyel basınçlar için 1 kPa dan 14 MPa a kadar ve tüm aralığın yüzde 0.5 i doğrulukta ölçüm olanağı sağlarlar.



Şekil 9.41 Cihaz basıncı ölçümleri için körük tipli ilk eleman, (The Foxboro Co. izniyle).



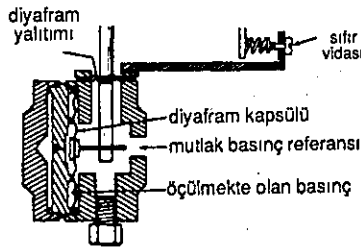
Şekil 9.42 Bourdon tipi ilk eleman, (The Foxboro Co. izniyle).

9.3.4 Kuvvet-Ölçülen Basınç Vericileri

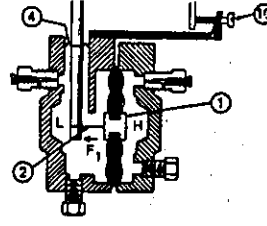
Daha önce belirtilen kuvvet-denge basınç vericilerine ilave olarak, elastik bir elemanın, uygulanan basınç etkisiyle oluşan, sapmasını belirlemek suretiyle basınç ölçen yeni vericiler de vardır. Bunlardan biri, vericilerin Foxboro 820 serisi olup, bunda kuvvet, devamlı bir manyetik alan içine yerleştirilmiş ön gerilmeli bir tele uygulanır.

Bu tel, gerekli bir parçası olduğu bir osilatör devresi tarafından rezonans (ya da doğal) frekansında titreştirilir. İdeal sistem için rezonans frekansı telin boyu, gerilim karekökü ve kütesinin bir fonksiyonudur.

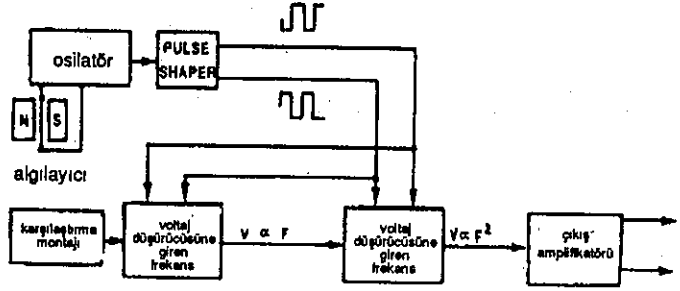
Yardımcı elektronik devreler, osilatör ve osilatör frekansını, 4-20 mA d.c gibi, standart bir sinyale dönüştüren elemanları içerir. Şekil 9.45 de görüldüğü gibi osilatör sinyalleri, bir vurum şekillendiricisi üzerinden, kademeli dizi bi-



Şekil 9.43 Düşük mutlak basınç ölçümleri için diyafram gurubu, (The Foxboro Company izniyle).



Şekil 9.44 Diferansiyel basınç ölçümleri için diyafram gurubu, (The Foxboro Company izniyle).

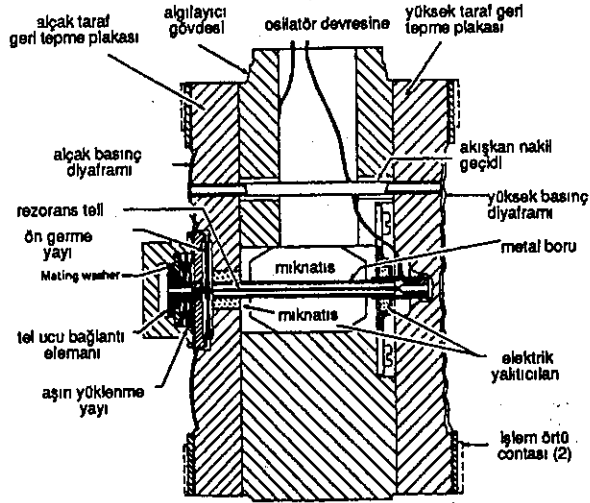


Şekil 9.45 Rezonanstel basınç vericisi için işlevsel elektronik devre, (The Foxboro Company izniyle).

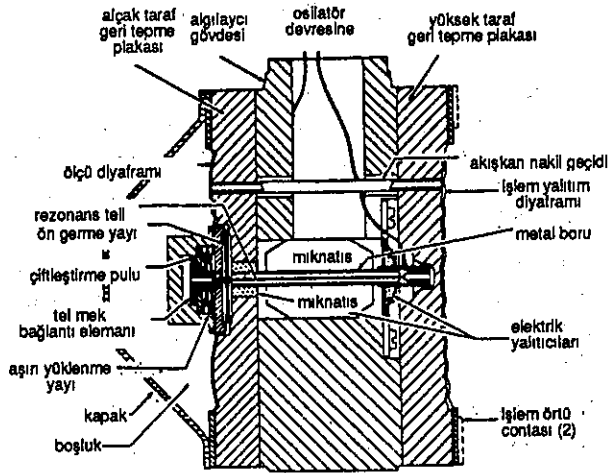
çiminde tanzim edilmiş, iki frekans dönüştürücüsüne geçer. Bunların her biri uygulanan frekans ve kendi giriş voltajı çarpımına eşit bir çıktı üretir. Böylece ikinci dönüştürücünün çıktısı, frekansın ve dolayısıyla teldeki gerilimin karesiyle orantılıdır. Bu nedenle de voltaj, ilk (birinci) eleman tarafından üretilen kuvvet ile bu kuvvet ise ölçülmekte olan basınç ile orantılıdır.

Helezonik Bourdon tüpü, cihaz basıncı, diferansiyel basınç ve mutlak basınç gibi, rezonans tel sisteminin ilk elemanlarına ait görüntüler, sırasıyla şekil 9.46-9.49 da gösterilmiştir. Titreşen telin deformasyon göstergesi olarak kullanılan Bölüm 4'te tartışılmıştır.

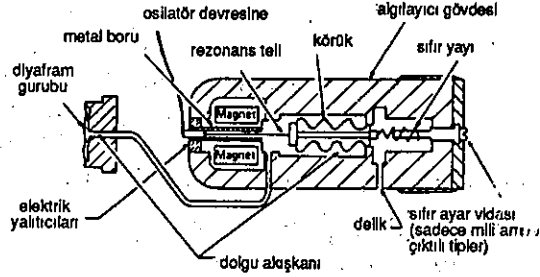
Basınç transdüsörlerinin bir ikinci gurubu, bir diferansiyel kapasitörün sabit plakaları arasında hareketli elektrot olarak yerleştirilen algılayıcı diyaframın sapmasının ölçümünü içerir. Buna bir örnek olarak Siemens Teleperm K vericisi anılabilir. Diferansiyel basınç ve mutlak basınç için, ölçü hücresinin tanzimi, şekil 9.50 de gösterilmiştir.



**Şekil 9.46 Difarensiel basınç ölçümü için diyafram gurubu düzenlemesi,
The Forboxo Co. izniyle.**



**Şekil 9.47 Mutlak basınç ölçümü için diyafram gurubu düzenlemesi,
The Forboxo Co. izniyle.**



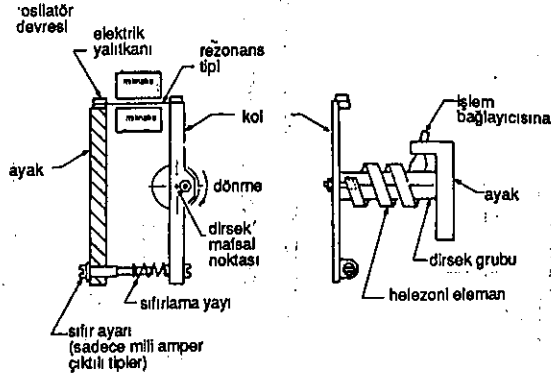
Şekil 9.48 Rezonanste algılayıcı için cihaz basıncı düzenlemesi, The Forboxo Co. izniyle.

Bu hücre yassı silindirik şeklinde olup, her iki taraftan basınç oluşturan diyaframlarla kapatılmıştır. Bu diyaframlar akışkan ile algılayıcı arasında ortal yüzeyi oluştururlar. Aşırı yüklenme konumunda bunlar gövdede imalat esnasında oluşturulan eş uygunluklara otururlar. Algılayıcı, duyarlı diyafram tarafından ikiye bölünmüş içi boş seramik bir bölme içerir. Bölmelerin iç akışkanla doldurulmuş ve bir bilezik diyaframla yalıtılmışlardır. Her iki bölmenin iç cidarları metal kaplanmış ve diferansiyel kapasitörün sabit plakalarını oluşturmuşlardır. Algılayıcı diyafram ise, kapasitörün hareketli plakasını oluşturmaktadır.

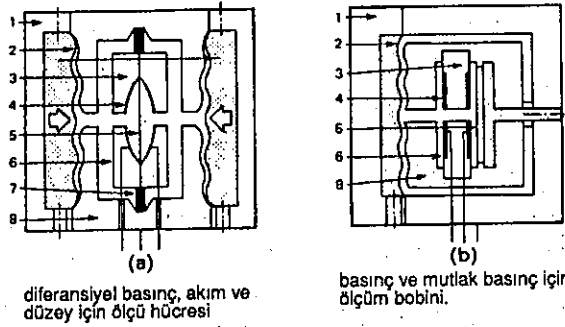
Ölçüm hücresi, bir diferansiyel basınç etkisine sokulduğu zaman, duyarlı diyafram, kapasitansta bir değişime neden olacak biçimde, hafifçe yer değiştirir. Kapasitanstaki bu değişim, beraberce kullanılan ölçüm devresi tarafından, 4-20 mA d.c. gibi standart bir iletim sinyaline dönüştürülür.

Mutlak basınç ölçmek için ölçüm hücresinin bir tarafı, karşılaştırma (referans) basıncı oluşturacak şekilde boşaltılır. Buna karşın cihaz basıncını ölçmek için bir taraf atmosfere açılır.

Bu durumlarda ayırıcı diyaframın sağlamlığı ölçüm aralığını belirler. Yüksek basınçlar için diyafram bir yay tarafından takfiye edilmiştir.



Şekil 9.49 Rezonans tel algılayıcı için helezoni Bourdon tüp düzenlemeleri, The Forboxo Co. izniyle.



1. İşlem flansı
2. Yalıtıcı diyafram
3. Seramik bölme
4. Sabit elektrot
5. Algılayıcı diyafram
6. Dolgu sıvısı
7. Bilezik diyaframı
8. Ölçü elemanı muhafazası

Şekil 9.50 Kapasitans tipi diferansiyel ve mutlak basınç algılayıcıları, Siemens Ltd. izniyle.

Şekil 9.51 mutlak ve cihaz basıncı transdüktörleri için esas devreyi ve şekil 9.52 ise, kare kökü çıkış devresi içeren, diferansiyel basınç transdüsörlerinin ilgili detayını göstermektedir.

Her iki modelde de algılayıcı diyafram, kapasitör dedektöründe hareketli elektrot gibi etki yapar. Kapasitörlerin etkin değerleri aşağıdaki gibidirler.

$$C_1 = \frac{A\epsilon}{d_0} + C_s$$

$$C_2 = \frac{A\epsilon}{d_0 + \Delta d} + C_s$$

Burada A elektrod etkin alanını, ϵ dielektrik akışkanının geçirij yeteneğini, d_0 sabit elektrotlar ve algılayıcı elektrotlar arası etkin mesafeyi, Δd algılayıcı elektrotun yer değişimini ve C_s parazit kapasitansı ifade eder. Buradan aşağıdaki bağıntı türetilir:

$$\frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_s} = \frac{\Delta d}{d_0}$$

Bu ise, Δd nin diferansiyel basınçla orantılı olduğu sürece, algılayıcı diyaframın sapma sabitinin aynısıdır. Bu nedenle de tam bir köprü devre ağıyla ölçülebilir. Parazit kapasitans etkilerini dengelemek için, köprü devresine C_c kapasitörü sokulmuştur, ancak besleme gerilimi, C_1 ve C_2 'ninkilerin karşılı fazda seçilmiştir.

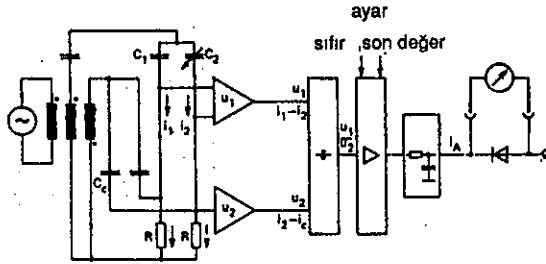
Eğer C_1, C_2 ve C_c kapasitörlerin empedansları, kendi dirençlerine oranla yüksek iseler, bu dirençler üzerinden akan akımlar, kapasitanslarla orantılı olacaklardır. Böylece U_1 amplifikatörün çıktısı, $(i_1 - i_2)$ ile; U_2 amplifikatör çıktısı da $(i_2 - i_c)$ ile orantılıdır. Bu iki sinyal bir bölme kademesine uygulandıkları zaman, sonuç sinyal algılayıcı elektrodun yer değiştirmesi ve dolayısı ile de uygulanan basınç ile orantılı olacaktır. Diferansiyel basınç vericisi için, C_1 ve C_2 nin her ikisi de değişkendir. Ancak kanıtlanabilir ki

$$\frac{\Delta d}{d_0} = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2 - 2C_s}$$

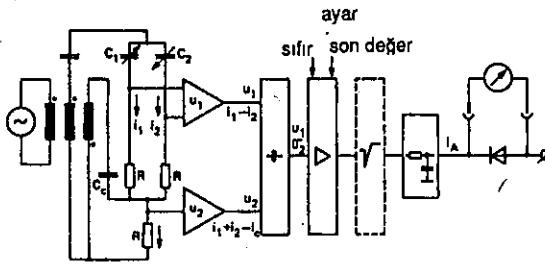
$$\frac{\Delta d}{d_0} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 + i_2 - i_c} \quad \text{önceki gibi aynı koşulları uygulayarak}$$

elde edilir. $(i_1 - i_2)$ ve $(i_1 + i_2 - i_c)$, U_1 ve U_2 amplifikatörlerin girdi sinyalleri ile orantılı olduklarından, bölme kademesinden alınacak çıktı, uygulanan basınç ile orantılıdır.

Çoğu diferansiyel basınç transdüktörleri akımları ölçmek için orifis levha ile birlikte kullanılırlar. Eğer, bu nedenle, bölme kademesinden alınan çıktı, bir karekök alma devresine uygulanırsa bu durumda, son çıktı akım debisiyle orantılı duruma girecektir.



Şekil 9.51 Cihaz ve mutlak basınç kapasitans algılayıcı için elektronik devrenin işlem diyagramı, Siemens Ltd. izniyle.



Şekil 9.52 Cihaz ve diferansiyel basınç kapasitans algılayıcı için elektronik devrenin işlem diyagramı, Siemens Ltd. izniyle.

9.4 Kaynakça

Hewson, J.E. *Process Instrumentation Manifolds their Selection and Use*. Instrument Society of America, (1981).

Lyons, J.L. *The Designer's Handbook of pressure-Sensing*. Van Nostrand Reinhold, (1980).

Neubert, H.K.P., *Instrument Transducers, an Introduction to their Performance and Design*. Clarendon Press. (19757).

10 VAKUMUN ÖLÇÜMÜ

D.J. PACEY

10.1 Giriş

10.1.1 Ölçüm Sistemleri

Vakum deyimi, atmosfer basıncı altındaki basınçlar dizisini tanımlar. Dolayısıyla vakumun ölçümü, bu tür basınçların ölçümü demektir. Basınç kuvvetin alana bölümü olarak tanımlanır ve SI birimi newton/metre² (Nm⁻²) ya da Paskal (Pa) dır. Basınç, civa ya da su gibi uygun sıvıların, basınç tarafından kaldırılacak sütunlarının yüksekliği olarak da ifade edilebilir. Günümüzde kullanılan basınç birimleri arasındaki tablo 10.1'de gösterilmiştir.

Mühendislikte çoktan beri usul olarak atmosfer basıncı referans (karşılaştırma basıncı) olarak alınmış ve bunun altındaki basınç, inçkare başına paund vakum yada özel bir sur kullanıldığında inç vakum olarak belirtilmiştir. Ancak atmosfer basıncındaki devamlı değişim, eğer göz ardı edilmeyecekse, bizi hataya götürecektir. Bu nedenle referans olarak sıfır basıncı kullanmak ve bunun üstündeki basınçları ölçmek daha iyidir. Bu yolla tanımlanan basınçlara mutlak basınçlar denir.

10.1.2 Ölçme Yöntemleri

Basınç kuvvet/alan olarak tanımlandığından bunun ölçümü belli bir alana uygulanan kuvvetin doğrudan ya da dolaylı ölçümünü içerir. Bu ölçümü yapan geyçe mutlak geyç denir. Bu cihazın elde edilen çıktı ve alanlar, uzunluklar, bazan sıcaklıklar ve elastikiyet modülü gibi cihazla ilgili bilinen fiziksel büyüklükler yardımı ile basınçlar elde edilir. Bu yolla elde edilen basınç mevcut gaz karışımlarına ya da buhara bağlı değildir.

Tablo 10.1 Basınç birimleri arasındaki ilişki

	N/m ² (Pa)	torr	mb	atm
N/m ² (Pa)	1	7.50x10 ⁻³	10 ⁻²	9.87x10 ⁻⁶
torr	133.3	1	1.333	1.316x10 ⁻³
mb	100	0.750	1	9.87x10 ⁻⁴
atm	1.013x10 ⁵	760	1.013x10 ³	1

Vakumun bir çok teknolojik uygulamaları, vakumun sağladığı uzun serbest geçitleri, düşük molekül çarpma hızlarını kullanır. Bunlar basıncın, atmosfer basıncının pek küçük bir kesri kadar basınçlara gereksinme duyarlar. Buralarda gazın uyguladığı kuvvet ölçülemeyecek derecede küçük olduğundan, mutlak geyçler kullanılamaz duruma girerler. Bu durumda mutlak olmayan geyçler kullanılır. Bu geyçler, basınçları doğrudan değil, termik iletkenlik, iyonlarına ayrılabilirlik ya da viskozite gibi basınçla ilişkili gaz özelliklerini belirleyerek dolaylı ölçerler. Bu geyçler, her ölçülecek gaz için, her zaman bir mutlak geyç kullanılarak ayarlanmak zorundadırlar. Ticari geyçler genelde kuru hava kullanarak ayarlanmış olarak piyasaya sürülürler. Bunlar, eğer ölçülecek kuru hava ise, daima doğru sonuç verirler. Uygulamada, vakum cihazlarındaki gaz bileşiklerinde bunu gerçekleştirmek zordur; dolayısıyla hatalar ortaya çıkabilir. Bu sorun aşağıda verilen yolla giderilebilir. Eğer termik iletkenliğindeki değişimleri kullanan bir geyç, 10^{-1} Pa'lık bir basınç gösteriyorsa, bu 10^{-1} Pa'lık kuru hava basıncına eşdeğer olarak kaydedilir. Bu demektir ki, vakum cihazının içindeki bilinmeyen gaz, 10^{-1} Pa. basıncı altındaki havanın termik iletkenliğine sahiptir. Ama basınç 10^{-1} Pa değildir.

10.1.3 Mutlak Olmayan Geyçlerin Seçimi

Yukarıda belirtilen geyç, termik iletkenliği ölçtüğünden dolayı özellikle, termos şişeleri yapımında kullanılan ya da içlerinde düşük sıcaklık deneyleri yürütülen vakum sistemlerinde ve termik iletkenliğin önemli rol oynadığı yerlerde kullanılabilir. Aynı şekilde bir iyonizasyon geyci de, radyo lambaları, içinde gazların iyonlarına ayrılma özelliklerinin önemli olduğu katot tüpü imalatlarında kullanılan sistemler için uygun olurdu. Genelde geyçteki fiziki işlemleri vakum cihazlarındakilere mümkün olduğu oranda, uydurmak arzu edilir.

10.1.4 Ölçümün Doğruluğu

Uygun bir geyç seçmiş olmak için, geyç başlığında görülen basıncın, vakum cihazındaki basınç ile aynı olduğundan emin olmak gerekir. Bunun için önce geyç başlığı, basıncın ölçüleceği yere mümkün olduğu oranda yakın bir noktaya ve elde edilebilecek en kalın ve kısa boru ile bağlanır. İkinci olarak, basınç dengesi oluşabilmesi için yeterli zaman verilir. Bu özellikle basıncın 10^{-1} Pa'dan daha düşük olduğu koşullarda ve vakum cihazıyla karşılıklı kuvvetli ilişki içinde olan iyonizasyon geyçlerinin kullanıldığı hallerde önemlidir. Genelde birçok dakika süren zamana gereksinme vardır. Mutlak olmayan geyçler kullanılırken, ideal koşullarda bile, doğruluk nadiren yüzde ± 20 den daha

iyi olabilir. Dikkatlice uygulanan iyonizasyon geyçlerinde ise bu değer yüzde ± 50 den daha kötüdür. Ortalamayı temsil edebilecek doğruluk değerleri, çeşitli geyçleri için diğer önemli bilgilerle berebar bu bölümün sonunda tablo 10.2 de verilmiştir.

10.2 Mutlak Geyçler

10.2.1 Mekanik Geyçler

Bu geyçler, gaz ve buhar basınçlarını, bir basınç farkının uygulandığı boru ya da diyaframlarda oluşan mekanik deformasyonları kullanarak ölçerler. Eğer duyarlı elemanın bir tarafı iyi bir vakuma açık ise bu geyç mutlaktır.

10.2.1.1 Bourdon Tüp Geyci

Bu guruba dahil, klasik bir geyç eğer iyi yapılmış ise 100 Pa'a kadar düşük basınçların ölçümünde kullanılabilir. Bunun yapısı Bölüm 9 da basınç ölçümü başlığı altında tanıtılmıştır.

10.2.1.2 Kuvarz Spiral Geyçler

Bu geyç, seçilen herhangi bir karşılaştırma basıncından 100 Pa üstüne kadar bir aralıkta diferansiyel basınçları ölçer. Bu geyç, paslanma yapan gazlar ya da buharlarla kullanılmaya uygundur.

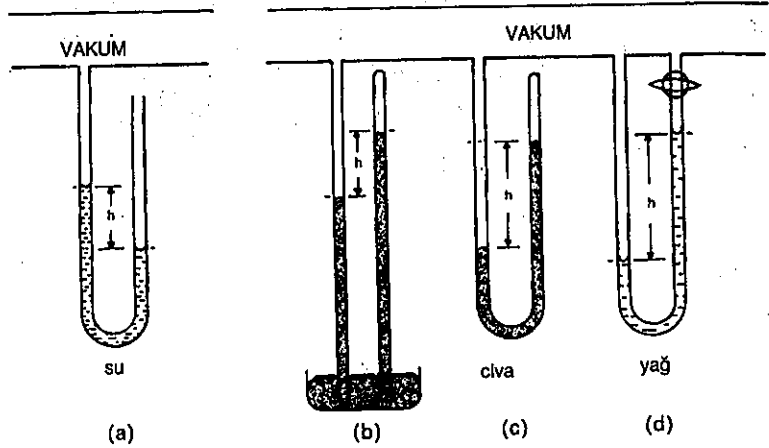
Yapısı Duyarlı eleman, 0.5 mm çaplı kuvarzın bir silindirik bobin şeklinde bükülerek, genelde 20 mm çapında ve 30 mm boyunda bir boru haline sokulur. Basınç bu borunun içine uygulanırken bobin basıncına bağlı olarak açılır. Basınç değişimine göre açılan bobinin hareketi bobinin alt ucun yerleştirilen bir aynı tarafından bir ışın lekesi halinde yansıtılır. Tüm gurup, kaliteli cam ya da kuvars bir muhafazaya yerleştirilmiştir. Bu geyç istenen karşılaştırma basıncına göre ayarlanabilir. Eğer ayarlama sıfır basınca göre yapılmış ise, geyç mutlak basınçları belirler.

10.2.1.3 Diyafram Geyçi

Bu geyç 10 Pa'a kadar düşük gaz ve buhar basınçlarını ölçer. Yapısı Bölüm 9 da tanımlanmıştır.

10.2.2 Sıvı Manometreler

Bu geyçler, atmosfer basıncından yaklaşık 1 Pa'a kadar, gaz ve buhar basınçlarını, gaz ya da buhar tarafından, bir sıvı sütununun, genelde civa, su ya da yağ, ağırlığına karşı uygulanan kuvvetin dengelemesi ile ölçer. Bu cihaz en basit basınç ölçüm olanağı sağlar.



Şekil 10.1 Sıvı Manometreler.

Yapısı Çeşitli sıvı manometrelerinin yapısı bölüm 9 da açıklanmıştır.

Çalışması Bağlı basıncın ölçülmesi için, Şekil 10.1(a) da gösterilen açık manometre kullanılabilir. Bu durumda düzler arasındaki h farkı, vakumu doğrudan inç su olarak, ya da suyunun yoğunluğu ρ ve yerçekimi ivmesi g olmak üzere vakum $p = h \rho g$ formülünü kullanarak SI birimleri ile tanımlanabilir. Mutlak basıncın ölçümü, şekil 10.1(b), (c), (d) de gösterildiği gibi bir çok yöntemle belirlenebilecek bir vakum karşılaştırmasına gereksinme gösterir. Şeklin (b) kısmında kullanılan barometre borusu aynı sıvı ile dolu, genelde civa, havuza daldırılmıştır. Daha derli toplu tip (c) de gösterilmiştir. Bu da gene civa kullanır ve borunun kapalı tarafının havası boşaltılmıştır. Yağ kullanan, kullanışlı bir diğer seçenek (d) de gösterilmiştir. Burada cihaz sıfır basınç altında iken üst açılabilir ve ölçüme başlamadan hemen önce kapatılır. Vakum ölçümünde yağ kullanırken, zorluk erimiş gazların açığa çıkmasından kaynaklanabilir. Bu gazlar, basıncın yavaşça azaltılması ile yavaşça uzaklaştırılmak zorundadırlar.

10.2.3 McLeod Geyçi

Görevi Bu geyç gazların basıncını, sadece 5×10^{-4} Pa'dan atmosfer basıncına kadar, belli hacimdeki bir örnek gazın belli bir basınç altında tutulması halinde uyguladığı kuvvetin ölçülmesi ile belirler.

Yapısı Şekil 10.2 de görüldüğü gibi camdan yapılmış olup, manometrik sıvı olarak civa kullanır. Ölçüm kılcal borusu E ve karşılaştırma kılcal borusu F, eşit kapılar etkileri eşitlemek için, eşit boyda kesilmişlerdir. R sifonu, sıvı azot ya da katı karbon dioksitin buharlaştırılması ile dondurularak, civa buharlarının geyçten kaçmaları önlenmiştir. T musluğu geyç için vakumu, onun başka bir sistme nakli esnasında besler.

Çalışması Normal olarak civa A da durur ve kolon ile ölçüm kılcal borusunun, vakum cihazının 10^{-2} Pa altındaki basıncına erişmesine izin verir. Bu dengenin oluşması için dakikalarca zamana gereksinime vardır. Ölçüm yapmak için, M haznesine havanın geçmesine müsaade ederek, civanın yavaşça yükselmesi sağlanır. Yükselen civa B ye varınca V hacminde bir gaz örneği yalıtılmış olur ve belirtilen basınç bu anda geyçteki basınçtır.

Karşılaştırma kılcal borusundaki civa sıfıra getirilir, ölçüm kılcal borusundaki civa tepesinin düzeyi ve h, kapanan a alanındaki gaz sütunu, ölçülür. M haznesindeki gaz basıncı düşürülerek civanın geri dönmesi sağlanmış ve geyç yeni bir ölçüme hazır hale getirilir.

Basıncın Hesaplanması Yalıtılan gaz örneğine Boyle Yasası uygulayarak, aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\text{ilk basınç} \times \text{ilk hacim} = \text{Son basınç} \times \text{son hacim}$$

ya da

$$pV = (h\rho g + p) ah$$

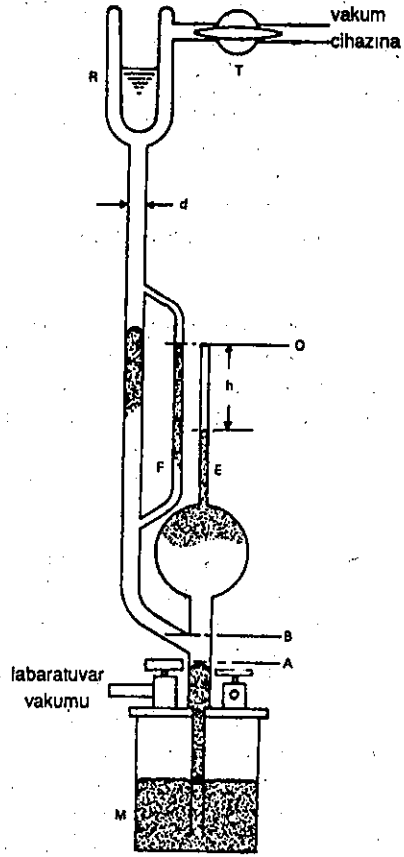
Burada p civanın yoğunluğu ve g yerçekimi ivmesidir.

Böylece

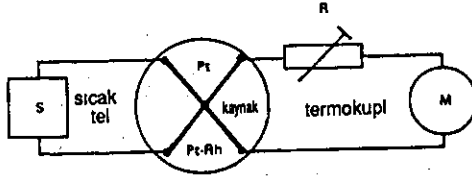
$$p = \frac{ah^2}{V - ah} \rho g$$

Düşük basınçlar ölçülürken son hacim a.h, ilk hacim V den çok daha küçüktür.

Bu nedenle,



Şekil 10.2 Mcleod geyçi



Şekil 10.3 Termokupl geyçi

Görülüyor ki, $p \propto h^2$ dir. Bu bize kareli bir ölçü skalası verir. Alanı gösteren a değeri, kapılar boru içinde boyu belli bir civa damlasını tartarak belirlenebilir. V hacmi ise, A düzeyinden başlayarak kalan ve ölçüm kapılar borusunu kapalı ucuna kadar dolduran damıtılmış su miktarını tartarak bulunabilir. Bu ölçümlerin her ikisi de imalatçı firma tarafından yürütülür ve bundan sonra bilinen basınçlar serisine uyan h değerleri hesaplanarak, doğrudan skala üzerine yazılır.

Ishii Etkisi Bu geyçler birlikte, hemen hemen her durumda, soğutulmuş sifon kullanım gereksinmesi, daima daha düşük basınç ölçümüne neden olmaktadır. Bu düşük ölçüm büyük moleküllü gazlarda daha büyük olmaktadır. Bu olay ilk olarak 1915 de Gaede tarafından fark edilmiş, 1962 de ise Ishii ve Nakayama tarafından detaylı incelenmiştir. Bunlara göre bu etki A noktasından başlayan civa buharından kaynaklanmaktadır. A noktasından başlayan civa buharı irtibat borusunu geçerek sifonda yoğunlaşır. Bu hareket esnasında civa buharı ile karşılaşan gaz molekülüleri, buhar tarafından beraber sürüklenerek ölçülecek basıncın bu noktalarda düşmesine neden olurlar. Bu etki büyük moleküllü gazlarda daha fazladır. Çünkü gaz molekülüleri büyüdükçe daha büyük hedef oluşturmakta ve daha kolay sürüklenerek esas bünyeden ayrılmaktadırlar. Hata, civa levhası akımını düşürerek, azaltılabilir. Bunu yapabilmek için de ya civayı A noktasında yapay soğutmak ya da irtibat borusunun d çapını küçültmek gereklidir. Sonuncu durumda geycin değişen basınca karşı tepki zamanı uzatılmış olur.

Çapı $d = 1$ cm ve civa sıcaklığı 300 K olan bir geyçte yaklaşık hata, helyum içinde yüzde -4, azot için yüzde -25 ve ksenon için yüzde -40 dir.

$$p = \frac{a}{V} \cdot \rho g \cdot h^2$$

10.3 Mutlak Olmayan Geyçler

10.3.1 Termit İletkenlik Geyçler

Görevi Bu geyçler gazların ve buharların 1000 Pa'dan 10^{-1} Pa'a kadar olan basınçlarını, tüm ölçüm aralında görülen gaz iletkenliği değişimlerini kullanarak, ölçer. Her gaz için, mutlak geyce karşı ayarlama gereklidir. Duyarlı eleman olarak elektriksel ısıtılmış tel kullanımı nedeniyle, bu geyçler sıcak-tel geyçleri olarak bilinirler.

10.3.1.1 Termokupl Geyç (Voege 1906)

Yapısı Yaklaşık 320 K de çalışan elektriksel olarak ısıtılmış bir tel, vakum cihazına bağlanmış bir cam ya da metal bir zarfın içine, yerleştirilmiştir. Bir termokupl bu telin ortasına bağlanarak, basın etkisiyle telin sıcaklığında oluşan değişimlerin izlenmesini olası kılar. Kolaylık için şekil 10.3 de gösterilen yapı kullanılabilir. Çaprazlama birleştirilen teller kesim noktasında kaynaklanarak birbirinin aynı olmayan bir çift tel sıcak teli ve diğer çift ise termokuplu oluşturur.

Çalışması Dengeli hale getirilmiş bir elektrik kaynağı S, sıcak tele bağlanmış ve teli istenen sıcaklığa getirmek üzere ayarlanmıştır. R direnci millivoltmetre M ile seri bağlanmış olup, cihazın sıfır ayarını yapmak için kullanılır. Basıncın artması, sıcak telin ısı kaybını artırarak, sıcaklığının düşmesine neden olur. Bu ise termokupl'ın, M tarafından kaydedilen, çıktısını düşürür. Bu çıktı da sonuç olarak kuru hava basıncı ile ölçeklendirilir.

10.3.1.2 Pirani Geyçi (Pirami 1906)

Yapısı 320 K sıcaklıkta çalışmak üzere elektrik kuvveti ile ısıtılmış bir platin ya da tungsten tel, vakum cihazına bağlanmış, bir cam ya da metal borunun eksenini boyunca monte edilmiştir. Basıncı meydana gelen değişimler tel sıcaklığında değişimlere neden olur. Bu değişimler, aynı anda telin elektrik direncinde oluşan ilgili değişimleri kullanarak, izlenir. Tel sıcaklığı aynı zamanda oda sıcaklığında oluşabilecek değişimlerle de etkilenebilir. Bu etkiler düşük bir basınçta kapatılmış, eşdeğer bir kukla geyç başı kullanımı ile dengelenebilir. Geyç ve kuklabaşı Şekil 10.4 ve 10.5 de gösterilmiştir. Ekonomik olması yönünden bazen kukla başı yerine, aynı direnç ve aynı direnç termik katsayısına sahip bir tel, geyce yakın bir yere takılır.

Çalışması Geyç ve kukla başları, Şekil 10.6 da gösterildiği gibi Wheatstone köprüsünün yan yana iki kolunu oluştururlar. Bu tanzim aynı zamanda, geyç başını kontrol ünitesine bağlayan iletkenlerin direnci üzerindeki,

sıcaklık değişimi etkilerini de dengelediğinden, basıncın uzaktan izlenmesini sağlar. R ve Z dirençleri köprüsünün diğer kollarını oluştururlar. Z değişken olarak sıfır ayarlaması için kullanılır. Güç kararlı hale sokulmuş Sakaynağından sağlanır. M ölçeri köprüdeki dengelenmemiş akımı ölçer. M ölçeri

Tel çalışma sıcaklığına getirilir ve basınç düşük ise M den geçirentakımı sıfırlıyacak şekilde köprü dengelenir. Basıncıdaki bir artma, ısı kaybının artmasına ve tel sıcaklığında bir düşmeye neden olur. Eğer güç girişi sabit tutulursa tel sıcaklığı düşerek, direncin düşmesine ve sonuç olarak M de bir akımın akmasına neden olacaktır. Bu akım ise, kuru havanın basıncını verecek şekilde ayarlanır. Diğer bir seçenek olarak, tel sıcaklığındaki düşme giriş voltajını arttırmakla önlenebilir ve tel sıcaklığı sabit kalır. Bu durumda da girdi voltajı başınca bağlı olacak ve voltajı ölçen alet basıncı gösterecek şekilde



Şekil 10.4 Pirani geç başı



Şekil 10.5 Pirani kukla başı

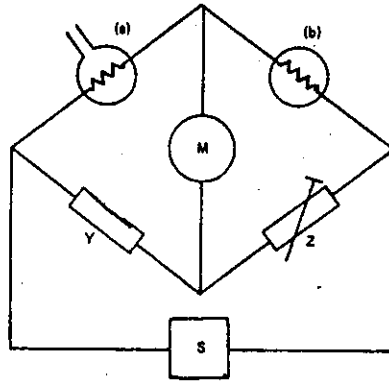
ayarlanabilir. Köprünün sabit dengesi basit bir elektronik devresi ile sürdürülebilir. Bu tanzim biçimi, geycin yüksek basınç duyarlılığını 10^4 Pa'a da daha yükseğe, genişletmekte etkindir. Yeterki basıncın bu sınır değerine kadar tel sıcaklığı sabit tutulabilsin.

10.3.1.3 Termistör Geyç

Bu geyç yapı olarak pirami geyçine çok benzer. Ancak burada duyarlı tel yerini, duyarlı eleman olarak, yarı iletken malzemeden yapılmış küçük bir boncuk alır. Bu termistör boncuk, metalik oksitlerin karışımından yaklaşık 0.2 mm çapında imal edilmiştir. 0.02 mm çapın da platin iki tele bu boncuk o şekilde monte edilmiştir ki, akım bunun içinden akabilsin. Yarı iletken, bir metalden çok daha büyük direnç termik katsayısına sahip olduğundan, daha büyük duyarlılık elde edilmiştir. Buna ek olarak, bunun güç gereksinimi de daha küçük olup, pil kullanımına izin verir ve ani basınç değişimlerine çok daha hızlı tepki gösterir.

10.3.2 İyonizasyon Geyçleri

Bu geyçler, gaz ve buharların 10^3 Pa'dan 10^{-8} Pa'ya kadar uzanan aralıktaki basınçlarını ölçerken, elektronların çarpmasıyla gaz içinde oluşan iyonlar tarafından taşınan akımı kullanırlar. Soğuk katot geyç içinde, iyonların çarpması ile katoddan elektronlar çıkarken, sıcak katot geyçlerinde elektronlar ısıtılmış tel tarafından yayılırlar.

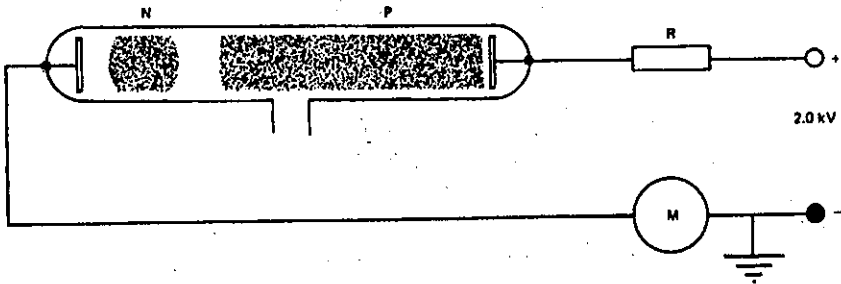


Şekil 10.6 Pireni geyç devresi.

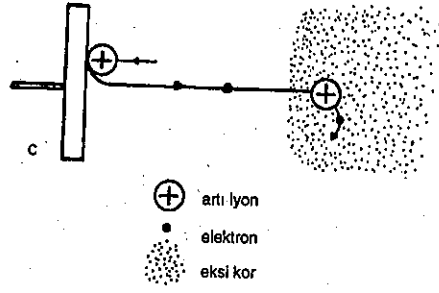
10.3.2.1 Boşaltma Tüp Geyci

Yapısı Bu en basit soğuk katot iyonizasyon geyci olup, 10^3 Pa'dan 10^{-1} Pa'a kadar olan basınçlar aralığında çalışır. Şekil 10.7 de gösterilen geyç başı, yaklaşık 15 cm boyunda ve 1 cm çapında bir cam tüpten oluşmakta ve vakum cihazına bağlanmaktadır. Yassı ya da silindirik şeklinde metal elektrot, tüpün her iki ucuna monte edilmiş bir cam/metal sızdırmaz kenetine bağlanmıştır. Alüminyum, kullanım esnasında kolay çözülerek tüp iç cidarını metal filmi ile kaplamadığından, tercih edilir. 2.0 mA de 2.0 kV luk çıktı veren kararlı bir güç kaynağı, elektrodlara çaprazvari, akımı sınırlayan yaklaşık $2M\Omega$ luk direnci ve basınçları ölçmek için taksimatlandırılmış 1 mA lık sayaca seri bağlanmıştır.

Çalışması Geyç çalışırken, tüp içinde birçok farklı parıltılı korlaşmalar belirir. Bunların renkleri içerde var olan gazlara bağlıdır. Bu korlar artı kor P ve eksi kor N olarak adlandırılır ve gazın iyonlaşmasından kaynaklanırlar. İşlem Şekil 10.8 de açıklanmış olup, bir pozitif iyon C katoduna çarptığında bir elektron açığa çıkar. Elektrot anoda doğru ivmelendirilir ve belli bir yol katettikten sonra bir gaz molekülüne çarparak, eksi koru oluşturan iyonları üretir. Eksi koru oluşturan iyonlar yeni elektronların çıkartıldığı, katoda doğru çekilirler. Kendi kendine devam eden bu işlem, başlamak için bir miktar iyon gereksinme gösterir. Bu işlem, ortamda var olan radyoaktif zerreler tarafından başlatılabilir. Ancak devre kapatıldıktan sonra bir gecikme süresi ile karşılaşılabılır. Çalışılacak basınçlar aralığı, elektron yolunun uzunluğu ile belirlenir. 10^3 Pa'nın üstünde, elektronların hareketi, gaz moleküllerinin yüksek sayısı tarafından engellenirken, yaklaşık 10^{-1} Pa'nın altında ise elektronlar tüm tüp boyunca, herhangi bir gaz molekülü ile karşılaşmadan ve iyonizasyon oluşturmada hareket eder.



Şekil 10.7 Boşaltma-tüp geyci.



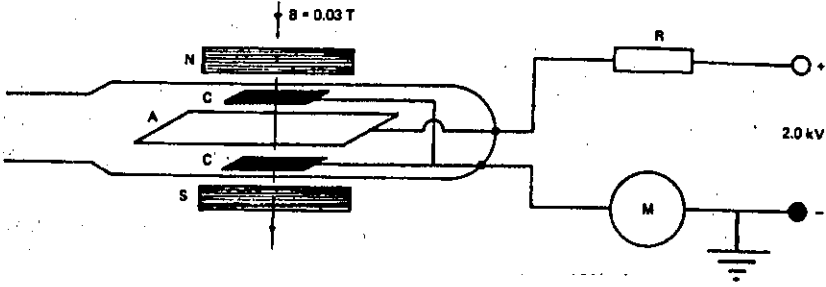
Şekil 10.8 Kor boşaltmasında taşıyıcıların üretilmesi.

10.3.2.2 Penning İyonizasyon Geyci (Penning 1937)

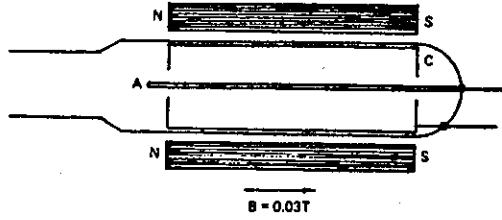
Bu soğuk-katot geyci duyarlı, basit ve sağlam olup, bu nedenle geniş bir endüstriyel uygulama alanı bulur. 1 Pa'dan 10^{-5} Pa'a kadar gaz ve buhar basınçlarını ölçen bu geyç, Şekil 10.9 da gösterilmiştir.

Yapısı Vakum cihazına bağlanan bir cam ya da metal zarf, manyetik olmayan metalden yapılmış, birbirine yaklaşık 2 cm mesafede ve birbirleriyle elektriksel bağlantılı, iki paralel katot plakası "C" nı içerir. Bunların arasındaki boşluğun ortasına, onlara paralel bir tel anod bilezik A yerleştirilmiştir. Zarfın dışına, bir devamlı mıknatıs gurubu yerleştirilmiş olup, enine yaklaşık 0.03 T lik bir B manyetik akışı oluşturulmuştur. Bu elektron yolunu bir hayli uzatarak, düşük basınçlarda bile devamlı bir kor boşalmasını sağlamıştır. Başka bir, yüksek duyarlı yapı seçeneği Klemperer (1947) tarafından, şekil 10.10 da görüldüğü gibi, geliştirilmiştir. Bu yaklaşık 30 mm çapında ve 50 mm boyunda manyetik olmayan silindir biçiminde bir katod C kullanır. bu geyç zarfını oluşturmakta olup, eksen boyunca 1 mm çapında sert bir anod teli A yerleştirilmiştir. Silindir şeklinde daimi bir mıknatıs ya da selenoid sayesinde eksenel doğrultuda, yaklaşık 0.03 T şiddetinde bir B manyetik akı sağlanmıştır.

Çalışması 2mA lik bir akım verebilecek kararlı bir 2.0 kV luk güç kaynağı, basınçları ölçmek üzere taksimatlandırılmış, 1 mA lik bir M sayacına seri bağlanmıştır. 2M Ω luk ayar direnci R, basınç ölçüm aralığının üst sınırında, akımı 1mA da sınırlar. Geyçte elektron yolları Şekil 10.11 de gösterilmiştir. Kesit olarak gösterilen elektrot gurubu, açıklama amacıyla, iki bölgeye bölünmüştür. Manyetik alanın sağ tarafında var olmadığı düşünülmüştür ve Katottan hareket eden bir elektron anod bileziği düzlemi içinde çokmeden önce bir çok defa salınarak elektron yolunu uzatır. Sol tarafta ise manyetik akının var olması, elektronun salınım yolu üzerinde bir de helezoni (sarmal) hareketine neden olarak, yolu biraz daha uzatır. Bu iki işlemin birleştirilmiş etkisi, elektron yolunu küçük bir hacim içinde birçok metre düzeyine çıkarır.



Şekil 10.9 Penning geyçi.



Şekil 10.10 Penning geyçinin silindirik şeklindeki tipi.

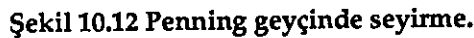
Basınç değişirken, tüm gaz boşaltımları ani şekil değişimine maruz kalırlar. Bu tarz değişimler, basınç artarken geyç akımında ani olarak yüzde 5 ila 10 değişime neden olurlar. Bu değişim, basınç olayın olduğu andaki değerin altına düşürülmedikçe giderilemez. Şekil 10.12 de gösterilen etki, seyirme (histerisis) olarak bilinir ve verilen bir basınç p için birbirinden farklı iki, i_1 ve i_2 akım elde edildiğinden belirsizliğe neden olur. Dikkatli tasarımla bu etki en küçük değere düşürülebilir ve geyç çalışma aralığının dışında görülmesi sağlanabilir.

10.3.2.3. Sıcak-Katod İyonizasyon geyçi (Buckley 1916)

Bu elde edilebilecek duyarlı geyç olup, eşsiz bir özelliğe sahiptir. Bu özellik, 100 Pa'dan 10^{-8} Pa'a kadar olan basınçlar aralığında okumalarını, basınçlarla doğrudan orantılı olmasıdır.

Yapısı Şekil 10.13'de gösterilen geyç başının yapısı özel bir üç elektrotlu

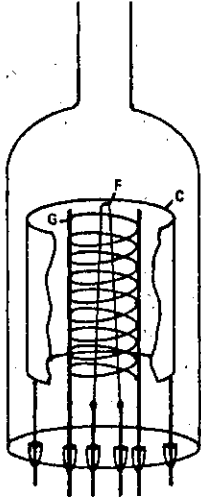
Çalışması Geyç başı, şekil 10.14'de gösterildiği gibi sağlam elektrik gereçleri ile donatılmıştır. Isıtma teli ızgara tarafından çekilen elektronları üretmek üzere ısıtılır. Elektronların bir kısmı hemen toplanır. Geri kalan kısmı toplanmadan önce ızgara içerisinde defalarca salınır ve gaz moleküllerine çarparak iyon oluşturmurlar. Elektron akımı i_{M_1} tarafından ölçülmekte olup, genel-



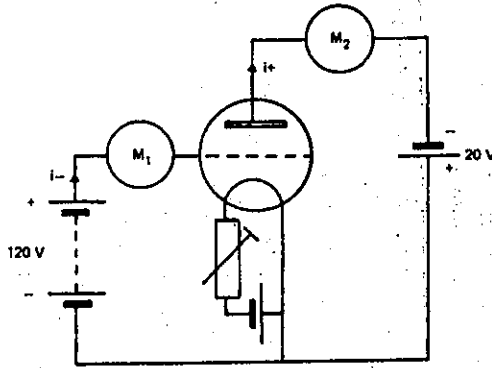
de 0.1mA ve 5.0 mA arasındadır. Izgara ve iyon toplayıcısı arasında oluşturulan iyonlar, M_2 tarafından gösterilen i_+ iyon akımını oluştururlar. Elektronların elektron toplayıcısına erişmelerini engellemek için 20 V luk bir negatif biyas uygulanır. İnce ısıtma teli ile ızgara arasında oluşturulan iyonlar ince ısıtma teli tarafından çekilirler. Bunların tele değmeleri tel yüzeyini soğutarak onun etkin ömrünü azaltırlar. Bu duruma, özellikle 1 Pa'nın üstündeki basınçlarla çalışırken ve oksijen gibi aktif gazların var olduğu koşullarda raslanır.

Gazlardan arındırmak Geyç çok duyarlı olduğundan, elektrotları ve zarfı kaplayan gaz molekülleri, onları en yüksek güvenilir sıcaklığa kadar ısıtarak uzaklaştırmak zorunludur. Isıtma teli için istenen sıcaklık, tel akımını arttırmak suretiyle elde edilebilir. Izgara ve iyon toplayıcısı ise, ince tel kaynak olarak kullanılmak üzere elektron bombardımanı ile ısıtılabilirler. Ticari geyç kontrol birimleri bu işlemi şart koşarlar. Zarf bir fırında ya da bir sıcak hava tabancası yardımı ile ısıtılır.

Pompalama işlem esnasında geyç gaz moleküllerinin vakum cihazından uzaklaştırır ve böylece bir pompa işlevi görür. Bu iş iki yolla sağlanır. Birincisinde, kızgın tel bgesinde aktif gaz molekülleri kendilerini, iyon toplayıcısı yüzeyine, rerler. Pompalama hızı, ısı teli sıcaklığını



şekil 10.13 Sıcak katot iyonizasyon geyi.



şekil 10.14 Sıcak-katot iyonizasyon geyi.

iyon toplayıcısı yüzeyine, örerler. Pompalama hızı, ısı teli sıcaklığını düşürmek ve iyonların salınımların yavaşlatmak suretiyle azaltılabilir.

İyon akımı ve basınç arasındaki bağıntı Eğer basınç P, iyon akımı i_+ , ve elektron akımı i_- ise, belli bir gaz için, diyelim azot, ispatlanmıştır ki,

$$i_+ \propto p_i \quad 10.1$$

dolayısıyla,

$$i_+ = k p_i \quad 10.2$$

Burada K bir sabit olup, azot için geyç faktörü olarak adlandırılır. Bunun SI birimi Pa^{-1} ve değeri ortalama bir geyç için 0.1Pa^{-1} 'dir. Bu değer, özel bir geyç için imalatçısı tarafından verilmiştir. Diğer gazlar için

$$i_+ = CK p_i \quad 10.3$$

Burada C azota bağlı duyarlılıktır. Bu duyarlılığın çeşitli gazlar için değerleri aşağıda verilmiştir.

Gaz	He	H ₂	N ₂	Hava	Ar	Xe	Organik buharlar
C	0.16	0.25	1.00	1.02	1.10	3.50	>4.

Denklem (10.3) gösteriyor ki, verilen bir gaz ve i_- değeri için

$$i_+ \propto p \quad 10.3$$

Geyçin bu değerli özelliği, ısı teli sıcaklığını kontrol eden ve geyç basıncı aşırı arttığından, ısı teli devresini açabilen, bir elektronik servo sistemi yardımı ile elde edilebilir.

10.3.2.4 Bayard-Alpert iyonizasyon Geyçi (1950)

Yumuşak X- ışını etkisi Bölüm 10.3.2.3'de tanıtılan klasik iyonizasyon geyçi, 10^{-6}Pa 'ın altındaki basınçları ölçme gücünde değildir. Bunun nedeni, geyçte oluşan ve mevcut gaza bağımlı olmayan işlemler tarafından, iyon toplayıcı devresi içinde, üretilen yapay, sahte akımlardır. Bu akım, elektronların ızgaraya çarptıkları zaman meydana gelen yumuşak X- ışınları tarafından üretilir. Bu doğal olay "yumuşak X- ışını etkisi" olarak adlandırılır. Bu radyasyonun dalga boyu λ aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

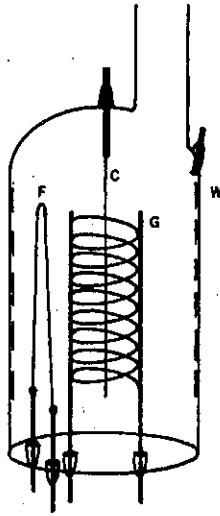
$$\lambda = 1200 / V \text{ nm} \quad 10.4$$

Burada V ızgara potansiyelidir. Eğer bu 120 V ise $\lambda = 10 \text{nm}$ dir. Bu dalga boyundaki radyasyon, geyç zarfının içinden kaçamaz. Ama iyon toplayıcısı tarafından soğrularak, ızgara tarafından toplanan, fotoelektronların ortaya

çıkmasına neden olur. Toplayıcı devresinde bir elektronun kaybı, bir artı iyon kazancından ayırt edilemez. Böylece işlem kararlı bir sahte iyon akımı üretmek gerçek iyon akımı üzerine yükler. Sahte akım yaklaşık 10^{-10} A olup, 10^{-6} Pa' da gerçek akım büyüklüğü düzeyindedir. Bu nedenle bu değerin altındaki basınçların, bu tür geyçle ölçülmesi zordur. Bayard ve Alpert tarafından geliştirilen değişik tasarım Şekil 10.15 de gösterilmiştir. Bununla iyon toplama alanı ve buna bağlı olarak sahte akım, 10^3 kat düşürülmüş ve ölçüm aralığı 10^{-9} Pa'ya kadar genişletilmiştir.

Yapısı İnce F ısı teli, eksenî boyunca monte edilmiş, 0.1 mm çapında ince bir tungsten toplayıcı C teline sahip, silindirik şeklindeki bir G ızgarasının dışına yerleştirilmiştir. Elektrotlar yüzey gerilimi kararlı hale sokmak için, iç yüzü şeffaf W iletkeni ile kaplanmış, bir cam zarfın içine yerleştirilmişlerdir.

Çalışması Bu geyç, klasik iyonizasyon geyçi ile aynı usulde çalışır. Isı telinden kaynaklanan elektronlar ızgara hacmi içinde salınarak orada iyonları oluştururlar. Bu iyonlar ızgaranın artı potansiyeli tarafından, onlar için tek kaçacak ortamı oluşturan, iyon toplayıcısına doğru itilirler. Böylece, küçük alanına rağmen, bu elektrot fevkelade iyi bir iyon toplayıcısıdır.



Şekil 10.15 Bayard-Alpert iyonizasyon geyçi.

TABLO 10.2 : Geyçlerin Özellikleri

Geyç	Basınç aralığı (Pa)	Doğruluk % ±	Fiat*	Belli başlı avantajlar	Belli başlı sınırlamalar
Bourdon tüp	$10^5 - 10^2$	10	A	Basit. Sağlam	100Pa. altında doğruluk zayıflar
kuvaz spiral	$10^5 - 10$	10	B	Diferansiyel	oldukça kırılğan
Diyafram	$10^5 - 10$	5	B	İyi genel amaçlı	Sıfır ayarı değişir
Sıvı monometreler	$10^5 - 10^2$	5 - 10	A	Basit doğrudan	Buhar vakumu kirlenebilir
McLeod	$10^5 - 5 \times 10^{-1}$	5 - 10	C	Geniş basınç aralığı Ayarlama için kullanılır	kesintili sadece GAZ ölçer
Termokupl	$10^3 - 10^{-1}$	20	B	Basit. Sağlam. Ucuz	Tepki ani değildir.
Pirani	$10^3 - 10^{-2}$	10	C	Sağlam	Isı teli kirlenmesinden dolayı sıfır değişir
Termistör	$10^3 - 10^{-2}$	10	C	Çabuk tepki düşük akım tüketimi.	-----
Boşaltma tüpü	$10^3 - 1$	20	B	Çok basit. Sağlam.	Sınırlı basınç aralığı
Penning	$1 - 10^{-5}$	10 - 20	C	Duyarlı. Bsit. Sağlam.	Geniş pompalama etkisi. Seyirme
Sıcak - katod iyon	$10^2 - 10^{-6}$	10 - 30	D	Duyarlı Lineer Skala.	İsteli kolay hasar görülür. Dikkatli kullanım ister
Bayard - Albert	$1 - 10^{-8}$	10 - 30	D	Yukardaki gibi, daha iyi düşük basınç ile	Yukardaki gibi.

* Fiat ölçgeği (t) : A 0 - 50; B 50 - 200; C 200 - 400; D 400 - 600

10.4 Kaynakça

B.S.I. 1951. *Glossary of Terms Used in Vacuum Technology. Part I Terms of General Application*. British Standards Institution (1969).

Carpenter, L.G., *Vacuum Technology*, Hilger, (1970).

Leck, J.H., *Pressure Measurement in Vacuum Systems*, Institute of Physics, (1964).

Pirani, M. and Yarwood, J., *Principles of Vacuum Engineering*. Chapman & Hall, (1961).

Ward, L. and Bunn, J.P. *Introduction to the Theory and Practice of High Vacuum Technology* Butterworth, (1967).

11 TANECİKLERİN BOYUTLANDIRILMASI

W.L. SINOWSIL

11.1 Giriş

Taneciğin büyüklüğü, onun davranışları içinde son derece önemli bir faktördür. Ama sadece bir kaç örnek verecek olursak, büyüklük taneciğin kimyasal reaksiyona girme yeteneğine, optik özelliklerine, gaz akışlarındaki davranışlarına ve alabilecekleri elektrik yüküne etki yapar. Büyüklüğün belirlenmesi için uygulanan yöntemler, genelde, bu etkilerden birine dayandırılır.

Tanecik teknolojisi karmaşık bir konudur. Bu karmaşanın en önemli nedeni parçacıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki farklılıklardır. Çıplak göze basit gri bir toz gibi görünen şey, mikroskop altında gözleendiğinde şekil renk ve büyüklükte hayret verici farklılıklar gösterebilir. Tanecik katı, delikli ya da gazla dolu olabilir. Yüzey yapısı, porozite, özgül ağırlık v.s. taneciğin davranışlarına son derece büyük etkiye sahip olabilirler. Taneciklerin nem soğurma yetenekleri, ortamdaki diğer kimyasal maddelerle ya da bir birleriyle reaksiyona girmeleri gerçekte kendi büyüklüklerini etkilediği gibi, işlemleri de zorlaştırabilir. Tanecik büyüklüklerini incelemeye çalışan uzman, taneciklerin kimyasal reaksiyonları nedeniyle birbirleriyle bağlanma, mekanik yapışma ya da elektrostatik yüklenme problemi ile savaşmak zorundadır. Bu problem tanecik boyutları küçüldükçe büyür. Uzman aynı zamanda şu hususta da haberdar olmalıdır ki, tanecikleri bir birinden ayırmak için uygulanan kuvvet kolay ufulanabilir tanecikleri kırmaya yeterli olabilir.

Ölçümlerin bir tanecik üzerinde yapılacağı zaman seçim çok önemli bir faktördür. Önemli noktalar şunlardır:

- a) Bir değeri olması için numune kaynağını temsil etmek zorundadır.
- b) İncelemeden önce ve inceleme sürecinde numunenin özelliklerini değiştirmesini önlemek için tedbir alınmalıdır.
- c) Tanecikli malzemeler; dökülürken, titretilirken ya da herhangi bir şekilde hareket ettirilirken kendi kendine ayrışma eğilimi gösterir. Kaba tanecikler yığınların dışına doğru aşağı akma eğilimi gösterir. Titreşim halinde tepeye çıkar ve bir bantlı besleyiciye terk ederken ileri fırlatılır. Bu faktörlerin, özellikle örneği alt fraksiyonlarına ayırmaya çalışırken önemle göz önünde bulundurulmaları gereklidir.

11.2 Taneciklerin Tanımlanması

Çoğu tanecikler düzenli olarak, şekillendirilmiş olmadıklarından özgün büyüklük tanımlamak mümkün değildir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, standart bir yöntem, eşdeğer kürenin çapını kullanmaktır. Ancak düzensiz şekillenmiş bir tanecik, eşdeğerliği tanımlamak için seçilen özel değişkene bağlı olarak hemen hemen sınırsız sayıda eşdeğer küreye sahip olabilir.

Örneğin bir tanecikle hacımsal olarak eşdeğer olan bir kürenin çapı, o tanecikle yüz ölçümü olarak eşdeğer olan küreninkinden farklı olabilir.

Bir kenarı X olan küp şeklinde bir tanecik ele alalım. Bununla hacımsel eşdeğer olan kürenin çapı $X(6/\pi)^{1/3}$ yani, $1,24X$ olacaktır. Buna karşın bir tanecik ile yüzeysel eşdeğer olan kürenin çapı $X(6/\pi)^{1/2}$, yani $1,38X$ olacaktır. Seçilen eşdeğerlik inceleme yöntemi ile genelde ilişkilidir. Ölçümün amacına uyan inceleme yöntemini seçmek, elbette akla uygundur. Ancak bazı koşullarda, uygulama ve ekonomi açısından karmaşık olabilir.

Bazen eşdeğer çapı, işlemler için özellikle uygun değilken, yapılan gerçek ölçme uygun olmaktadır. Bu durumda tanecik büyüklüğü ölçüm parametreleri ile verilir. Bunun en güzel örneği son hızdır (kısım 11.3'e bak). Eğer, örneğin, bir gaz akışının tanecik üzerindeki aerodinamik etkilerini belirlemek amacıyla bilgilere gereksinime varsa, son hız tanecik büyüklüğünden daha uygun olmaktadır. Hatta tanecikler küre biçimli olsalar bile, dönüşüm tanecik yoğunluklarındaki muhtemel değişimlerden dolayı karmaşık olabilir. Bazen tanecik büyüklüğünü belirlemek için "Vel" deyimi kullanılır. 1 Vel lik tanecik, standart atmosfer koşullarında ve durgun havada 10 mm s^{-1} serbest düşme hızına sahiptir. Eşdeğer çaplar bildirilirken eşdeğerlik esasının açıkça belirtilmesi önemlidir (eşdeğer kütle, hacim, yüzey alanı, izdüşüm alanı v.b.).

11.2.1 İstatistiksel Ortalama Çaplar

Düzensiz şekillendirilmiş bir taneciğin mikroskopla incelenmesi, ortalama tanecik çapının belirlenmesi için başka yöntemler akla gelir. Diyelim ki çok sayıda özdeş tanecik mikroskop camının üzerine tamamen rastgele yerleştirilmişlerdir. Mikroskopun herhangi bir doğrultusu esas alınarak her bir tanecik üzerinde yapılan ölçümlerin ortalaması, bize istatistiksel ortalama çapını verir. İstatistiksel ortalama çap olarak teklif edilen tanımlar serisi aşağıda verilmiştir (şekil 11.1'e bak):

- a) **Ferêt Çapı:** Bir taneciğin her doğrultuda dıştan dışa ölçülmüş genişliklerin ortalaması.

- b) **Martin çapı:** Her doğrultuda ölçülen bir taneciğin izdüşüm alanını ikiye bölen ip boylarının ortalaması.
- c) **İzdüşüm Alan Çapı:** Taneciğin her yönden alınmış izdüşüm alanlarına eşdeğer dairelerin çaplarının ortalaması.
- d) **Gölge Kesme Çapı:** Bir taneciğin gölgesinin başlangıç hattının altında kalmayacak şekilde hareket ettirilmesi gerekli uzaklıkların, her doğrultu için yapılan ölçüm değerlerinin ortalaması.

Mikroskop camı üzerinde tanecikler en kararlı yüzeyleri üzerinde yatacaklarından, yukarıda belirtildiği gibi ölçümleri yapılan bir gurup tanecik gerçekte rastgele yerleştirilmiş olmazlar. Bu durumda yukarıda belirtilen çaplar iki boyutlu istatistiksel ortalama çaplarıdır.

11.3 Son Hız

Bir taneciğin son hızı, ivmelendiren ve sürükleyen kuvvetlerin etkisiyle, sonuçlanan hızdır. Bu genelde bir taneciğin durgun havada yerçekimi etkisi altındaki hızıdır. Bir taneciğin son hızı ile çapı arasındaki ilişki, tanecik bölgeindeki akımın laminar ya da türbülans olduğuna bağlıdır.

Laminer akımda tanecik, türbülanslı akış durumundan, daha çabuk düşer. Türbülans akımda parça kendini en büyük sürüklenme için ayarlama meyli gösterirken, sürüklenme taneciğin dümen suyundaki girdaplar tarafından artırılır.

Bir taneciğe etkiyen sürüklenme kuvveti F için genel denklem aşağıda verilmiştir.

$$F = Kd^n V^n \eta^{2-n} \rho_0^{n-1}$$

Burada K sürüklenme sabiti olup, şekil, yüzey v.b. değişkenlere bağlıdır. d tanecik boyutu (bir kürenin çapı), V bağıl hız, η akışkan viskozitesi, ρ_0 akışkan yoğunluğu ve n laminar akım için 1'den türbülans akım için 2'ye kadar değişen bir sabittir.

Bazı düzgün şekilli tanecikler için K hesaplanabilir. Örneğin bir küre için laminar akımda, $K=3\pi$ dir.

Böylece yukarıdaki bağıntıdan laminar akım küreleri için şu bağıntı türetilir.

$$F = 3\pi dV\eta$$

Bu da Stokes Yasası olarak adlandırılır.

Sürüklenme kuvveti ile yerçekimi kuvvetini eşitliyerek,

$$3\pi dV_T\eta = \frac{\pi d^3}{6}(\rho - \rho_0)g$$

elde edilir. Burada ρ tanecik yoğunluğu ve V_T son hızdır. Böylece,

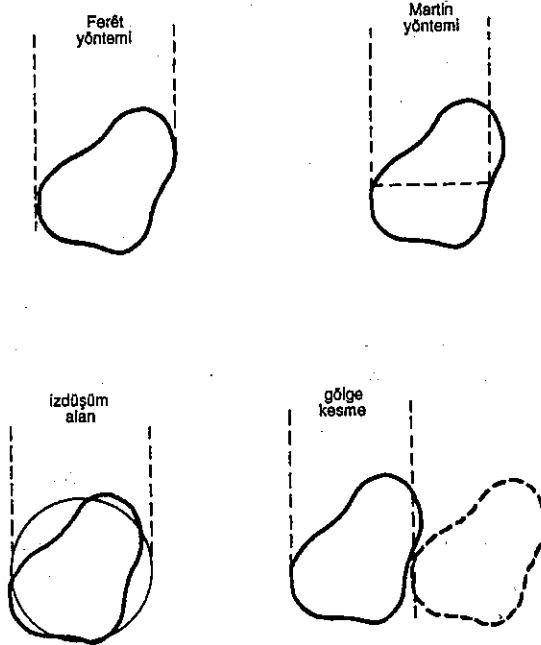
$$V_T = (\rho - \rho_0) \frac{gd^2}{18\eta}$$

bulunur.

Eğer düzensiz şekillendirilmiş bir taneciğin son hızı, ρ ve η ile beraber ölçülmüş ise, d için bulunan değere Stokes çapı denir. Bunun için bazen de aerodinamik çap deyimi kullanılır.

Bu son tanımda, birim yoğunlukta bir eşdeğer Stokes küresi belirtilir. Eğer Reynold sayısı,

$$Re = \frac{\rho_0 V d}{\eta}$$



Şekil 11.1 İstatistiksel Çaplar.

0.2 den küçük ise kürelerle ölçülen Stokes çaplarının doğru olduğu (hatalar yüzde <2) saptanmıştır. Re nin yüksek değerlerinde hesaplanan çaplar çok küçüktür. Re arttıkça, η şiddeti 2 ye doğru artar. Akışın tamamen türbülans olduğu Re >1000 için, Newton'a göre, küre için K değeri $\pi/16$ ya doğru yaklaşır.

Büyükülüğün, akışkan moleküllerinin ortalama serbest yoluna (standart atmosferde kuru hava için $\sim 0.1\mu\text{m}$) yaklaştığı çok küçük tanecikler için sürüklenme kuvveti Stokes tarafından verilen değerden daha düşüktür. Cunningham, Stokes denklemi için bir düzeltme bulmuştur:

$$F = 3\pi dV\eta \frac{1}{1 + (b\lambda/d)}$$

Burada λ ortalama serbest yol ve b akışkana bağlı bir sabittir. (Örneğin, standart atmosferde kuru hava için $b \approx 1.7$)

11.4 Taneciklerin Sebep Olduğu Optik Etkiler

Işık bir tanecik süspansiyonunun içinden geçerken ışınların bir kısmı soğrulur, bir kısmı dağılır ve bir bölümü ise etkilenmez. Bu bağlı oranlar parça büyüklüğüne, ışığın dalga boyuna ve ortamın bağlı indisine bağlıdır. Akışkanın molekülleri de ışığı dağıtırlar.

Bazı optik, tanecik büyüklüğü analiz yöntemleri, tane büyüklüğünü, geçirilen yani etkilenmemiş ışığın ölçümü ile belirlemek isterken, diğer yöntemler dağılan ışığı ölçer. Bazıları taneciklerin süspansiyonu üzerinde, bazıları da teksel tanecikler üzerinde işlem yapar. Işığın tanecikler tarafından dağılımı teorisi karmaşıktır. Rayleigh'in çapları $d \ll \lambda$ (dalga boyu) olan taneciklere uyguladığı tezi, gösterir ki dağılan ışının çokluğu, d^6/λ^4 ile orantılıdır. Aynı şekilde bu dağılımın yoğunluğu, izlenen açı ile değişim gösterdiği de kanıtlanmıştır. Bu da yine d ye bağlıdır. Ama d büyüklüğü, λ ya yaklaşıncı Mie'nin daha sağlam görülen tezi belirler ki, dağılma yoğunluğu d^2 ile yani parçanın kesit alanıyla orantılıdır. Ancak buradaki alan geometrik alandan K faktörü kadar farklıdır. K faktörü dağılma sabiti ya da verimlilik faktörü olarak bilinir ve d, λ ve kırılma oranını birleştirir. $d \ll \lambda$ olduğu yerde iki teori de benzerdir. Ama $d = \lambda$ olduğu bölgede K salınarak (tipik olarak yaklaşık 1.5 ile 5 arasında) ortalama 2 değerine doğru yaklaşım gösterir. Yaklaşık $d = 5\lambda$ nun ötesinde taneciğin kesir alanı geometrik alanın iki katıdır. d/λ büyürken tercih edilen dağılma açısı küçülür ve daha belirgin hale girer ve ileriye doğru dağılma hakim olur (kırılma).

Eğer ışın tek frekanslı değil ise K nın salınımı yaklaşık ortalama 2 değerinde düzleşir.

Geçirilen ışık yoğunluğu I_T nin gelen ışık yoğunluğu I_0 a oranı Lambert-Beer yasası ile verilmiştir.

$$\frac{I_T}{I_0} = \exp\left(-K \frac{a}{A}\right)$$

Burada a ışık hüzmesi içindeki, taneciklerin toplam izdüşüm alanı, A ışın alanı ve K dağılma sabitidir. Bu genelde aşağıdaki gibi sadeleştirilir.

$$\begin{aligned} \text{Optik yoğunluk } D &= \log_{10} I_0/I_T \\ &= 0.4343K (a/A) \end{aligned}$$

Dağılma sabiti bazen tanecik sönüm katsayısı olarakta adlandırılır. Bu sönük katsayısı ξ ile karıştırılmamalıdır. Eğer bir ışık hüzmesinin bir L yolu geçiş yoğunluğu I_0 dan I_T ye değişiyorsa,

$$I_T / I_0 = \xi L$$

Burada K , ξ tarafından içerilmiştir.

Sönüm $= \ln(I_0/I_T)$, optik yoğunluğun Napier dağılımı eşdeğeridir.

Her ne kadar K değerinin gerçekte 2 olduğu gösterilmiş ise de, daha büyük tanecikler için ($\sim 30\mu$) dağılma açısı küçüktür ve ışığın yaklaşık yarısı ileriye doğru dağıtılmıştır. Buna göre, izleme mesafesine ve algılayıcı büyüklüğüne bağlı olarak, ileriye yönelik dağılan ışının çoğu elde edilebilir ve K nın etkin değeri yukarıdaki bağıntıda, 1 gibi düşük olabilirdi. Açıkça görülecektir ki, ışık iletiminde taneciklerin dağılımı, izdüşüm alanının basit bir fonksiyonu değildir.

Yukarıda belirtilen " K " üzerindeki sınırlamaları akılda tutarak, bir tanecik dağılımı içinden geçirilen ışığın yoğunluğunu, büyüklük bantları içinde, alan konsantrasyonlarının toplanması ile tahmin etmek mümkündür. Her ortalama çap d bantının içinde etkin olan a/A , $1.5 KcL/pd$ dir. Burada c kütle konsantrasyonu, L optik yol uzunluğu ve p tanecik yoğunluğudur.

11.5 Tanecik Şekli

Her ne kadar bir taneciğe bir eşdeğer çap verebilirsek de, örneğin bir Ferêt çapı d_F , bu yalnız başına taneciği tanımlıyamaz. Aynı Ferêt çapına sahip iki tanecik çok değişik şekillere sahip olabilirler. Diyebiliriz ki, eşdeğer bir kürenin hacmi,

$$\frac{\pi}{6} (d_F)^3$$

dır, ama unutmamalıyız ki, gerçek hacim V muhtemelen çok farklıdır. Heywood şekil katsayısı kullanımını önermektedir. Bir taneciğe bir α_{VF} katsayısı tayin edebiliriz. Şöyle ki,

$$V = \alpha_{VF} (d_F)^3$$

Böylece eğer, gerçekte d_F yi bilerek tanecik hacmi V yi ölçen, bir başka boyut analiz yöntemi kullanırsak, biz α_{VF} yi hesaplayabiliriz. Aynı şekilde tanecik yüzey alanı S yi ölçerek, bir α_{SF} tanımlayabiliriz. Şöyle ki;

$$V = \alpha_{SF} (d_F)^2$$

Burada α_{SF} hacim şekil katsayısı olarak adlandırılır. (Ferêt çapına dayandırılarak).

Kuşkusuz diğer şekil katsayıları da vardır ve bunlar diğer çap tanımları ile birleştirilmişlerdir.

$\alpha_S / \alpha_V = \alpha_{SV}$ oranı yüzey alan şekil katsayısı olarak adlandırılır.

Bu konu BS 4359 (1970) Pt III de kapsanmış olup, ayrı kaynaktan bir dizi düzgün şekiller için çeşitli katsayıların tanım ve tabloları verilmiştir. Bu şekiller küpler, elipsoidler v.b. ve bir dizi yaygın tanecikleri kapsar. α_S , α_V ve α_{SV} katsayıları beraberce taneciğin şekli hakkında, sayısal değerler şeklinde çok iyi belirtiler verirler.

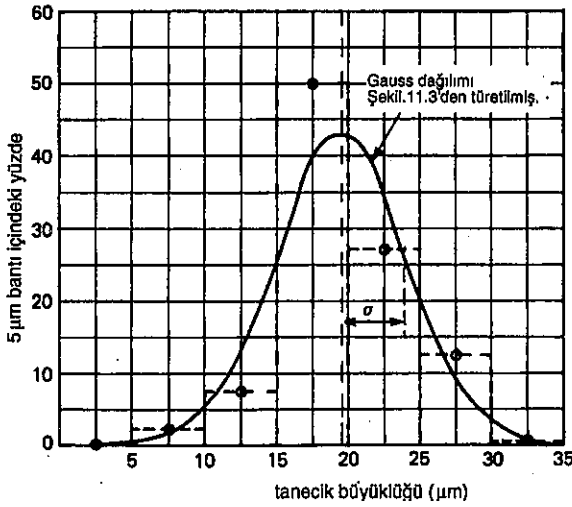
11.6 Bir Gurup Taneciğin Tanımlama Yöntemleri

Taneciklerin tanımlanması için kullanılmak üzere bir dizi çap seçeneği belirtmiş bulunuyoruz. Grup halinde taneciklerin tanımlanması için değişik yöntemler de vardır. Bunlar hepsi taneciklerin sayısal değerlerinin çap bantları içinde takdir edilmesine ilişkindir. Ama diğer niceliklerde taneciklerin sayısı, taneciklerin kütlesi, hacim, yüzey alanı v.b. olabilir. Tanecik eşdeğer çapının tanımında olduğu gibi, yapılan analizlerin ana dayanağının açıkça belirtilmesi önemlidir.

Bir boyut analiz sonuçlarının belirtilmesi için birçok yöntem vardır. Belki de en kolay anlaşılana, değerleri tablo halinde vermektir. Buna bir hazi örnek Tablo 11.1 olabilir. Burada 0 dan 40 μ m ye kadar 5 μ m büyüklük aralıklarının kapsadığı tanecik kütleleri gösterilmiştir. Bunun en önemli dezavantajı tanecikler arasındaki farkların ne olduğunu anlamak için oldukça çok deneyime gereksinme göstermesidir.

Tablo 11.1 Aynı boyutların cetvel halinde verilmesinin değişik yöntemleri

(a) Büyüklik bantı (aralığı)	Bantta kütle miktarı %	(b) Belirtilen büyüklik	Belirtilen büyüklikten az %
0-5	0.1	5	0.1
5-10	2.4	10	2.5
10-15	7.5	15	10.0
15-20	50.0	20	60.0
20-25	27.0	25	87.0
25-30	12.5	30	99.5
>30	0.5		

**Şekil 11.2 Bağlı yüzde kütle-frekans eğrisi.**

Eğer sonuçlar grafiklerle ifade edilirse, bu tip farklar çok daha açık görülebilir. Bu yöntem her büyüklik aralığı için elde edilen nicelikleri ki bunlar kütle, hacim, yüzey alanı ya da tanecik sayısı olabilir büyüklüklere bağlı bir eğri halinde çizmektir. Yani ordinat ekseninde ölçülen nicelik absis ekseninde ise tanecik büyüklüğünü göstererek ve her iki ekseninde de lineer ölçek kullanarak ilişki eğrisini çizmek. Buna bağlı frekans eğrisi denir. Bu yöntemin uygulanması olarak, tablo 11.2'deki değerler kullanılıp, şekil 11.2 oluşturulmuştur.

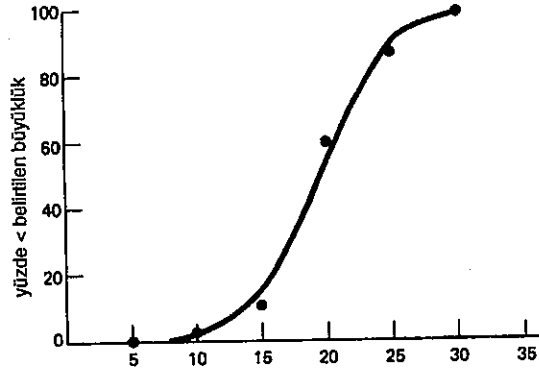
İstatistikten biraz anlayan öğrenciler, bunu normal ya da Gauss dağılımı (bu da gösterilmiş) ile karşılaştırmağa teşvik edilecektir. Uygulamada Gauss dağılımları toz örneklerle pek kullanılmazlar, ancak bu basit örnek ilkeyi anlatmak için yararlıdır.

11.6.1 Gauss Dağılımları Ya da Normal Dağılımlar

Bir Gauss dağılımı eğrisi denklemini aşağıda verilmiştir.

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp - \left[\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2} \right]$$

Burada $\int y dx$, eğri altındaki alan, numunenin toplam niceliğini (burada da nicelik sayı, kütle, hacim vb. olabilir) belirler. x sembolü dağılımın aritmetik ortalamasını ve σ dağılımının standart sapmasını belirler. Standart sapma serpilmenin bir ölçüsüdür. Sadece bu iki değişken Gauss dağılımını belirler. Gösterilebilir ki, eğri altındaki toplam alanın yüzde 68.26'sı, $x = \bar{x} \pm \sigma$ ile belirlenen sınırları arasında kapsanmıştır. Biz burada y vs x değerlerini, 5 μ m lik eşit artışlara karşılık çizdik. Aynı kolaylıkta bir histogram da çizmiş olabilirdik. Şu anda belirtilmelidir ki, eğer herhangi bir dağılım normal ya da Gauss dağılımı göstermezse, bu durumda diğer eğrilerin hiçbirisi, yani sayı, hacim yüzey alanı dağılımları, Gauss dağılımı olmayacaktır.



Şekil 11.3 Kümülatif yüzde kütle-frekans eğrisi, Lineer eksenler kullanılmış.

Yukarıdaki sunuşun avantajı, örnekler arasındaki küçük farkların hazır görünür olmasıdır. Ancak x ve δ değerlerinin kolayca ölçülebilmesi yararlı olabilirdi ki bu, yukarıdaki durumda bu kolaylık yoktur. Bunun için iki seçenek vardır. biri kümülatif frekans yüzdesi eğrisinin, şekil 11.3 de görüldüğü gibi yine lineer eksenler üzerine çizimidir. Bu yöntemde verilen değerden küçük (ya da büyük)lerin yüzdeleri çizilebilir. Başka bir seçenek olarak aynı veriler bir lineer-ihhtimal kağıdına çizilmiştir. Burada eksenlerden biri, yüzde frekans eksen, o şekilde tanzim edilmiştir ki, Gauss dağılımı, şekil 11.4 de gösterildiği gibi, bir doğru oluştursun. Boyut analizi gibi kesin olmayan bilimde sonucu belirgin avantaja sahipti, ama her ikisinde de aritmetik ortalama değeri $\bar{x}$, x 'in yüzde 50 noktasındaki değeri olacak ve σ değeri de aşağıdaki gibi elde edilebilecektir. Normal bir dağılımın yüzde 68.26'sı $\bar{x} \pm \sigma$ ve $\bar{x} \pm 2\sigma$ değerleri arasında kapsandığından, aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$\sigma = x_{\%84} - \bar{x} = \bar{x} - x_{\%16}$$

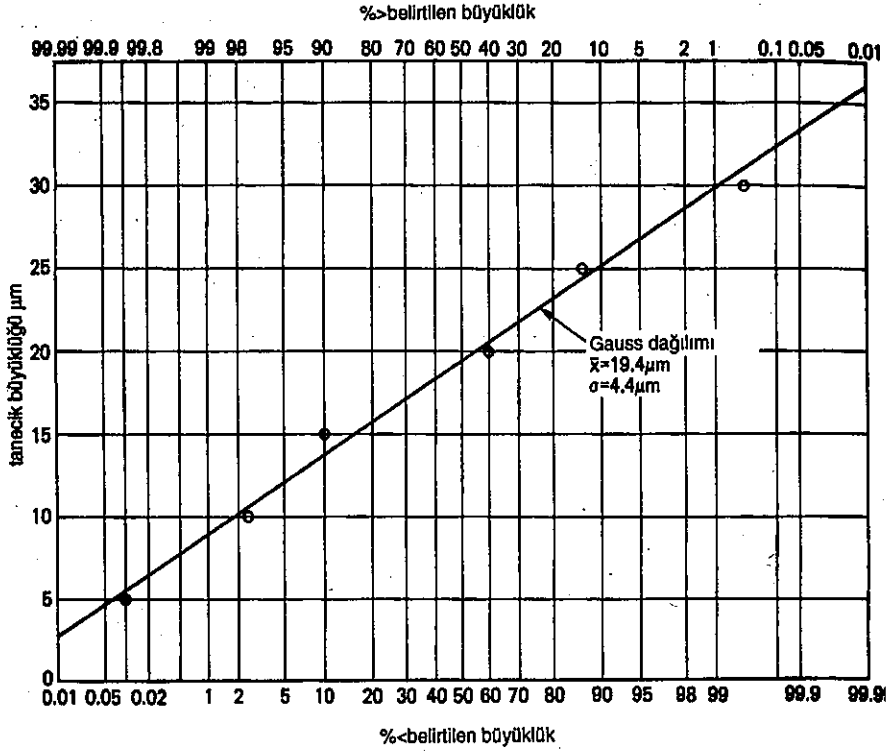
$$= \frac{1}{2}(x_{\%84} - x_{\%16})$$

Çünkü $x_{\%84} - x_{\%16}$, toplam niceliğin yüzde 68'ini kapsamaktadır.

Bir Gauss dağılımına uyumun yakınlığı, şekil 11.4'de, şekil 11.2 ve şekil 11.3 den çok daha açıktır. Olasılık kâğıdı ile, her iki ekstrem uçta, küçük farklar ya da hatalar, doğrunun şekli üzerinde büyütülmüş bir etki yaratır. Bu kağıt dağılımın normal olmadığı halde de kullanılabilir, ancak bu durumda grafik doğru bir çizgi olmaz ve standart sapma artık bir anlam taşımaz. Eğer dağılım normal değilse yüzde 50 büyüklük, aritmetik ortalama değil orta büyüklük olarak adlandırılır. Aritmetik ortalamanın bulunması aşağıdaki hesaplamayı gerektirir.

$$\bar{x} = \Sigma (\text{büyüklük aralığındaki yüzde } X \text{ büyüklük aralığının ortalaması})/100$$

Ayrıca hesaplamanın hangi esasa göre (kütle, yüzey alanı, hacim ya da tanecik sayısı) yapıldığı belirtilmelidir. Her biri ayrı ortalama ve orta değerleri verir.



Şekil 11.4 Kümülatif (birikmiş) Kütle-frekans yüzdesi grafiği
Lineer x yüzde ölçekleri kullanılmıştır.

11.6.2 Log - Normal Dağılım

Tozların Gauss dağılımı gibi oluşmasına pek az rastlanır. Şekil 11.2'deki gibi bir grafik, tipik olarak, küçük tanecik boylarına doğru, bükülürdü. Bununla birlikte deneyimler kanıtlamıştır ki, toz dağılımı Log-normal olma eğilimi gösterir. Böylece, tanecik büyüklüğü için bir logaritmik eksen kullanımı ile yüzde tekrür grafiği çizimi simetrik bir eğriye çok yakın bir kopya üretir ve Log-olasılık kağıdı üzerine bir kümülatif yüzdesi çizimi genelde bir doğruya yaklaşan eğri verir, şekil 11.5.

Gerçek bir log-normal dağılımda denklem şu hale girer:

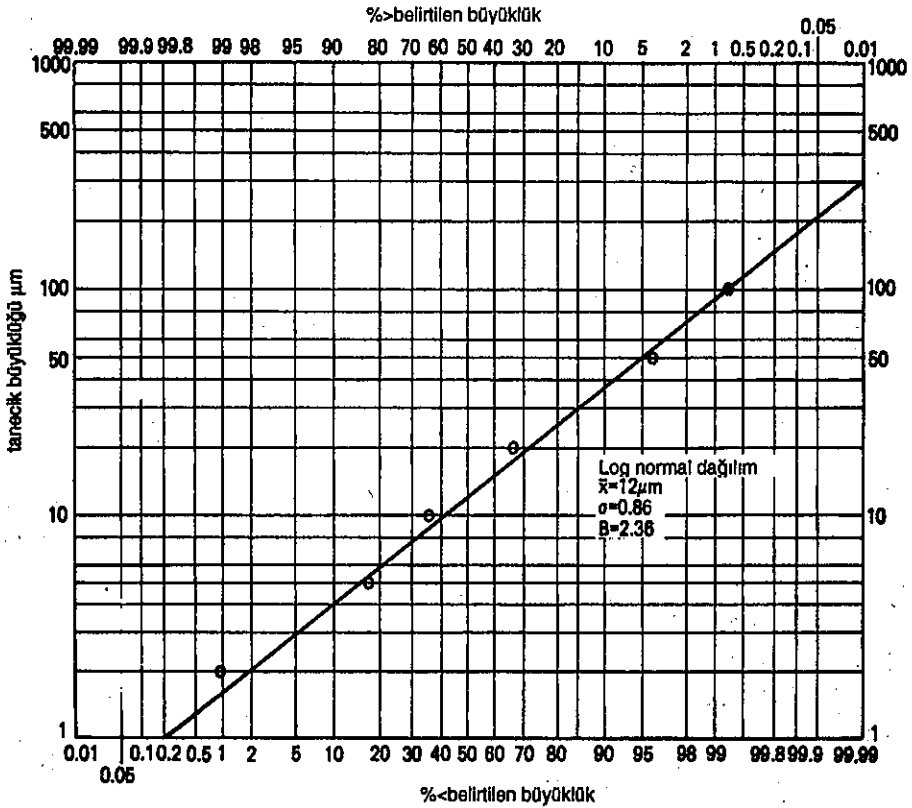
$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln x - \overline{\ln x})^2}{2\sigma^2} \right]$$

Burada $\text{fyd}(\ln x)$, toplam niceliği temsil etmek üzere bir log eksen kullanılması ile elde edilen eğrinin altındaki alanı ve σ ise burada log dağılımının standart sapmasının ifadesi olarak ifade eder ve bir önceki formülden farklıdır. $\ln x$ ifadesi, büyüklüğün logaritmasının aritmetik ortalamasıdır. Öyle ki burada $\bar{x}$ dağılımın geometrik ortalamasıdır. Bir kümülatif yüzde diyagramında $\bar{x}$, geometrik ortalama tanecik büyüklüğü, yüzde 50 büyüklük olup, σ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma = \ln x_{84} - \ln \bar{x} = \ln x_{84} - \ln x_{16}$$

$$= \ln \frac{x_{84}}{\bar{x}} = \ln \frac{\bar{x}}{x_{16}}$$

$$= \frac{1}{2} \ln \frac{x_{84}}{x_{16}}$$



Şekil 11.5 Kümülatif kütle, frekans yüzdesi grafiği 10 tabanlı logx yüzde ölçekleri kullanılmıştır.

Eğer x , 10 tabanlı logaritma X ihtimal kağıdı üzerinde çizilecek olursa,

$$\sigma = \frac{1}{2} \ln 10 \log_{10} \frac{x_{84}}{x_{16}}$$
$$= 1.15 \log_{10} \frac{x_{84}}{x_{16}}$$

gene $\bar{x}$ ve σ dağılımı tanımlarlar.

Bazan σ yerine, onun bir log-normal dağılımın standart sapması olduğunu göstermek için, $\ln B$ kullanılır.

$$B = \sqrt{\frac{x_{84}}{x_{16}}}$$

Eğer yüzde kümülatif grafiği tam bir doğru değilse, standart sapmanın türetilmesi tam anlamlı değildir ve yüzde 50 büyüklük yine orta büyüklüktür. Buna rağmen, uygulamada bu tür eğriler genelde, büyüklük analizlerinin karşılaştırılması için kullanılmakta olup bazen bir doğru grafiği elde etmek için matematik işlemlerde faydalı olmaktadır.

Log normal dağılımın bir özelliği şu ki, eğer kullanılan bir yöntem, örneğin bir kütle/tanecik büyüklüğü analizi log-normal özellikleri gösteriyorsa, bu durumda bütün diğer yöntemler de log-normal olacaktır. Açıkça $\bar{x}$ değeri değişik olacaktır. Log-olasılık grafikleri tanecik büyüklükleri aralığının büyük olduğu zaman, özellikle kullanışlıdır.

11.6.3 Rosin-Rammler Dağılımı

Bazı dağılımlar, örneğin öğütülmüş kömür, son derece çarpık olur. Rosin ve Rammler doğru bir kümülatif dağılım yüzdesi elde etmek için ilave bir yöntem geliştirmiştir. Eğer x in üstündeki büyüklüklerin yüzdesi R ise kanıtlanmıştır ki,

$$\log \log(100/R) = K + n \log x$$

Burada K bir sabit, n malzemenin bir özelliğidir.

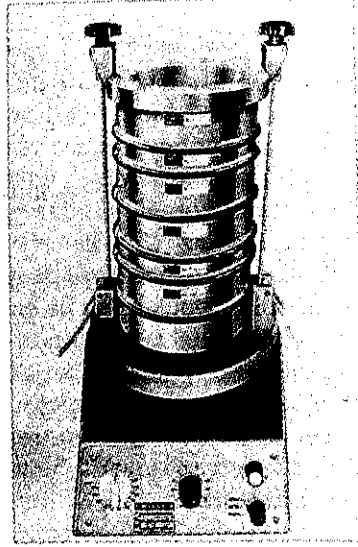
Rosin-Rammler dağılımı tamamlayıcı olarak kapsanmıştır, ama kullanımı genelde önerilmez.

Bazan bir dağılımın geniş bir alanı kapsamaması halinde birden fazla analiz yönteminin kullanımı zorunludur. Grafiklerde bazan dönüm noktalarında, biçim ve yoğunluk etkileri nedeniyle oluşan süreksizliklere de rastlanmaktadır (Kısım 11.5 de şekil faktörüne bak).

11.7. Büyüklüğü Doğrudan Ölçen Analiz Yöntemleri

11.7.1. Eleme

Eleme, en ucuz, en çok uygulanan ve muhtemelen en kolay anlaşılmış büyüklük analiz yöntemidir. Bu, geniş bir büyüklük aralığını da kapsar. Delik büyüklüğü 5µm den birçok santimetreye kadar olan elekler satın almak mümkündür. Ancak ince malzeme elemek özel yöntem gerektirir ve British Standard 410:(1962) alt delik sınırı 45 µm ile sınırlamıştır. Elekler, metalik olmayandan (yani poliyester) paslanmaz çeliğe kadar bir dizi çeşitli malzemelerden yapılırlar. Yaygın imalat yöntemi telleri ya da iplikleri örmektir, ancak en ince elekler levhalara elektrikle delik açma ile oluşturulur. İngiliz Standardı (B.S.) delik büyüklüklerinde ve tel aralıklarında v.b. en düşük toleransları vermektedir. Amerika, Alman ve I.S.O. Standartları da çok benzer ölçülerde olup kullanılabilirler. İngiliz standard terminolojisi bir inçlik delik ağında ki tel sayısına dayandırılmıştır. Böylece B.S. elek numarası 200 olan bir elek, inç başına 200 tele sahip olup, 52 µm çaplı olarak belirlenmiş tel ile nominal büyüklüğü 75 µm kare olan deliklere sahiptir. İlk olarak küresel tanecikler içeren bir örnekte 75 µm den daha küçük olan B.S. numarası 200 olan elekten geçerler. deneme örneği, aşağıdan yukarıya doğru büyüyecek şekilde ilgilenilen çaplı eleklerden oluşan elek yığının en üstüne dökülür. Toz tamamen alttaki deliksiz kapakta toplanır. Elekler yığını, taneciklerin kendine özgü düzeyleri buluncaya kadar sarsılır ve bundan sonra her elekteki kütle tartılır. Delik büyüklüğüne ait tolerans, ölçüm aralıklarında kesim olmayan ölçmeler verebilir. Diğer taraftan düzgün şekilli olmayan tanecikler de, bir ya da birkaç boyutlu deliğin nominal büyüklüğünden daha büyük olsa bile, bu delikten geçebilirler. Bu nedenle taneciklerin büyüklüklerini elek çapı cinsinden bildirmek adet halini almıştır. Elemek, asla başlangıçta görülebileceği gibi tamamen doğru değildir. Örneğin büyük tanecikler için küçüklerin geçebileceği delikleri tıkmak zor değildir. Dolayısıyla burada bir belirsizlik başlar, acaba küçük tanecikler geçebilecek boş delik bulabildiler mi? Büyük taneciğin küçük delikten geçmesi ve küçük taneciğin geçebileceği delikten geçememesi olaylarının her ikisi de, eleğe yerleştirilen malzemenin niceliğine çok bağlı olduklarından, genel bir kaide olarak bu nicelik küçük tutulur. Bu nicelik hakkında keyfi bir miktar vermek olası değildir, çünkü bu olay malzemeye, büyüklük dağılımına, taneciklerin şekline ve yüzey yapılarına, malzemenin yapışkanlığına ve belli bir oranda da eleğin kendisine bağlıdır. Uygun miktar ve uygun sallama süresi en iyi olarak deneysel bulunabilir. Genelde nicelikte azaltma yapmak, eleme zamanını arttırmaktan daha avantajlıdır ve genelde 10 dakikadan daha kısa bir zamanda tekrarlanabilir, sonuçlar elde edilebilir. Uzmanın eleme esnasında bazı taneciklerin kırılabileceğinden de haberdar olması gereklidir.



Şekil 11.6 Fritsch Anaysette elek sarsıcısı.

Birçok firmalar elek takımları ve çeşitli mekanik yöntemler kullanan salama sistemleri imal etmektedirler. Bu mekanik sistemlerin bazılarında dönme hareketine de rastlanır. Amaç, can sıklılığını azaltmanın ötesinde salama esnasında taneciklerin elekten sıçrayıp tekrar eleğe düşerek geçecek boş delik bulma şanslarını arttırmaktır. Şekil 11.6 da titreşimle çalışan bir örnek görülmektedir. Titreşimde genlik ayarlanabilir ve vurumlu hale sokulabilir.

Herhangi mekanik titreşen mekanizmanın bir özelliği şu ki, mekanizma rezonansa girebilir ve özellikle elek yüzeylerinde dalgaların kesiştiği durgun noktalar ve karşıt noktalar oluşarak elek yüzünün bazı bölgeleri gerçekten hareketsiz hale gelebilir. Bu belli bir derecede genliği ayarlamakla giderilebilir. Ancak üstteki elek belki de saydam kapak kullanılarak izlenebilirse de aynı şans aşağıdaki elekler için yoktur ve oralarda da, değişik yerlerde, durgun noktalar oluşabilir. Bu olay için bir çözüm her eleğe birkaç, (5-10) 10mm çaplı, akiktaşı bilyası yerleştirmektir. Bunlar eleği ve çok kırılgan olan malzeme hariç, tanecikleri tahrip edecek ağırlıkta değildir. Ama durgun noktaları ortadan kaldıracırlar. Dolayısıyla de etkin eleme yüzeyini arttırırlar.

Kuru elemanın yararlı bir özelliği araştırma amacıyla yakın büyüklükteki örnekleri uygun bir nitelikte ayırmanın sağlanabilmesidir.

Her ne kadar çoğu elemeler kuru koşullarda yapılırsalarda bazı zor malzemeler ve kuşkusuz çok daha ince elekler, bir sur, genelde içinde taneciklerin erimediği su, ile beraber kullanılabilir. Elek yığınının tepesi ve tabanı su girişi ve çıkışına uygun hale getirilmiş ve gerektiğinde pompa kullanılmıştır.

Günümüzde, eleme esnasında, aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya su, ya da hava akımı sağlayarak, deliklerin tıkanmasını önleyen ve tanecik geçişlerini kolaylaştıran, eleme sistemleri piyasaya sürülmüştür.

Her büyüklük bantındaki numuneler, eleklerden yumuşak bir fırça yardımı ile dikkatlice boşaltılıp, tartıldıktan sonra, sonuçlar genelde her kısım için, toplam kütlenin yüzdesi olarak verilirler.

Islak elemelerde malzeme yıkanır, süzülür, 105°C da kurutulur ve tartılır. Çoğu tozlar hidroskopiktirler, bu nedenle dikkatlice kurutulur ve soğuyuncaya kadar desikatörde tutulur ve tartılırlar. Sıcak numunelerden kaynaklanan konvaksiyon akımı önemli hatalara neden olabilir.

11.7.2 Mikroskopta Saymak

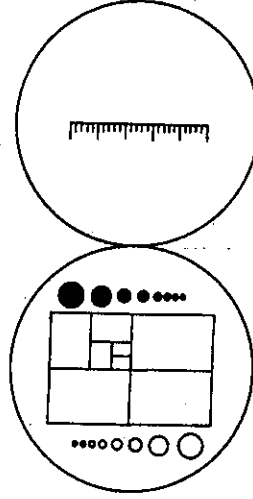
11.7.2.1 Temel Metotlar

Güncel mikroskoplarla uzman, geniş bir büyütme aralığı, geniş bir optik alan, stereoskopik görünüm ve mesafe ayar mercekleri, zoom, olanakların üstten ve alttan aydınlatma ile birlikte, kullanılabilme yeteneğine sahiptir. Bunlar ve ayarlanmış olan kalburcuk, mikroskopun boyut analizinde kullanımlarını, önemli ölçüde, sıkıntılı olmaktan çıkarmışlardır. Ancak yine de en bezdirici uğraşı olma özelliğini taşımaktadır. Bu yöntemin avantajı taneciklerin büyüklüklerinin saptanması yanında mikroskopta, onların şekillerinin, yüzey yapılarının, renklerinin vb. inceden inceye incelenmesinin mümkün oluşudur.

Büyüklükleri ışık dalga boyuna erişecek düzeyde küçük olan taneciklerin muayenesinde optik mikroskop kullanılabilir. Ancak bu denli küçük tanecikler, ışığın girişim ve dağılım etkileri önemli ölçüde hatalara neden olur ve ışık dalga boyunun altında tanecikler artık çözümlenemezler. Mikroskopta ölçüm İngiliz Standardı 3046 da kapsanmıştır.

0.001µm'na doğru yaklaşan daha küçük tanecikler elektron mikroskobu kullanılarak incelenebilirler.

Mikroskobun iki ana dezavantajı vardır. Birincisi odaklamanın sınırlı derinliği, bu demektir ki büyük bir taneciği ölçmek için birkaç defa odaklama ayarı gereklidir. İkincisi diğer metodların çoğundan daha fazla örneğin iyi temsil edilebilirliğine bağlıdır.



Şekil 11.7 Göz merceği kolburcuğu örnekleri.

Lamları hazırlamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Burada en önemli faktör örneğin her yönüyle temsil edilmiş olmasıdır. Taneciklerin de birbirinden iyi ayrılmış olmaları gerekir. Yaygın yöntem lam üzerine örnekten biraz almak ve tanecikleri birbirinden ayıran metamol ya da propanal gibi bir organik sıvıdan bir damla damlatmaktır. Arkasından buharlaşma taneciklerinin uygun biçimde yerlerinde kalmasını sağlar. Kuşkusuz sıvı taneciklerle reaksiyona girmemeli, ama onları ıslatabilmelidir. Yumuşak bir fırça ile karıştırma işi kolaylaştırabilir. Eğer tanecikler üstünde yapıştırıcı bir örtü varsa bunun önceden yıkama ile giderilmesi gerekir. Burada uygulanacak bir yöntem, tanecikleri çalkalamak, muhtemelen suda ve bol bir zaman süresince taneciklerin çökmesini sağlamak ve sonra üstteki suyu dikkatlice dökmek, gerekirse işlemi tekrarlamaktır. Kuşkusuz tanecikler sıvıda eriyecek türden olmamalıdır. Bazen örnek çalkalanır ve bir damla lam üzerine taşınır. Temsil edilebilirlik sadece birkaç örnekten elde edilen sonuçların tekrarlanabilirliği ile denenebilir. Süspansiyondan tanecikleri süspansiyon içinde bir filme aktarmak şeklinde teknikleri de geliştirilmiştir. Bazen tanecikleri yapışkan bir sıvı ile kaplanmış lam üzerinde toplamakta mümkündür. Yapışkan olarak, gres, jelatin ya da lastik eriyiği kullanılabilir.

Eski mikroskopla sayma yöntemleri, optik mikrometreler kullanılırdı. Bunlarda çapraz bir saç (kıl) yardımı ile taneciklerin birbiri ardından sayılması ve mesafelerin ölçümü mümkündür. Kuşkusuz, bu hem yavaş hem de can sıkıcı idi, günümüzde çok kullanılan yöntem ayarlanmış kalburcuk kullanımıdır. Alan kalburcukları bir ölçekle çukurlaştırılmışlardır. Örneğin, Şekil 11.7 de görülen kalburcuklar, nominal olarak, 20 μm , 100 μm ve 1 mm lik aralıklarla oluşturulmuştur. Ayarlama büyütme oranına bağlı olup, bu genelde son olarak parçanın yavaşça göz merceğine bağlı hareketi ile ya da varsa zumun ayarı ile yapılır.

Ayar, alan kalburcuğun, benzer ve hassas olarak işlenmiş bir raf kalburcuğu ile karşılaştırmak suretiyle yapılır. Ayar yapıldıktan sonra raf kalburcuğu çıkartılarak örnek kızağı takılır ve tanecikler belli usullerle sayılır ve bir dağılım eğrisi oluşturmağa yeterli, örneğin on bant oluşturaçak şekilde gruplandırılırlar. Sayım ve ayırım işlerini yapabilmek için özel çizgili kalburcuklar mevcuttur.

Bazı kalburcuklar, donuk (ışık geçirmez) ve saydam çember sistemleri içerecek şekilde tasarlanmışlardır. Boy dizini çeşitli şekilde yapılmıştır. Bu taneciklerin değişik büyüklük bantlarına ayrılmasına yardım eder. Tanecik hangi daire içerisine giriyorsa ona göre bir banta yerleştirilir.

Düzensiz şekillendirilmiş taneciklerin büyüklüklerine göre ayırımında mikroskopla sayma bir peşin hükümü beraber getirmektedir. Çünkü tanecikler en kararlı konumda yüzeye yatarlar. Bir örnek kızağı üzerinde rastgele yerleşmiş taneciklerin büyüklüklerine göre dağılım analizi yapılırken, sabit bir eksen boyu ölçme yapılır. Bu ise bize iki boyutlu bir istatistiki ortalama çapı verir.

Yukarıda tanıtılan yöntemler, iki boyutlu Ferêt çarpımı, kızağın uzun eksenini doğrultusundaki bir doğrultuda ölçer. Aynı şekilde iki boyutlu ortalama Martin çarpımı, izdüşüm alanı ya da gölge kesme çapını da ölçmek mümkündür.

Üç boyutlu ortalama çapını elde etmek için, mikroskop kızağı (lamı) üzerinde tanecikleri, gerçek rastgele şekilde, oturtmak ve tespit etmek için özel işlem kademelerinin uygulanmasına gereksinme vardır.

11.7.2.2 Yarı Otomatik Mikroskop Büyüklük Analiz Cihazları

Yarı otomatik yöntemler, gerçek sayımın yine uzman tarafından yapıldığı ancak, özellikle kayıt işleminin kolaylaştırıldığı ya da hızlandırıldığı yöntemlerdir.

Watson gölge-kesme göz merceği, normal mikroskop göz merceğinin yerini alan bir aygıt olup, çift görüntü sağlar. Bunlar arasındaki aralık, sabit bir

doğrultuda ayarlanmış sabit bir yumru kullanarak yapılabilir. Watson göz merceğinde gölgeler, birbirlerinden ayırt edilebilmek için kırmızı ve yeşil olarak renklendirilmiştir. Bu uygulamada, örneği içeren kızak bir çok eşit alana bölünür ve tanecikler gölge kesme usuluyla ölçülür ve sayılır.

Bazı yöntemler mikroskop yoluyla fotoğraf alma ilkesine göre geliştirilmiştir. Bu amaçla özellikle elektron mikroskobu kullanılır. Genellikle fotoğrafın büyütülmüşü ya da ekrana yansımaları kullanılır ve inceleme için karşılaştırma yardımcıları kullanılır. Zeiss-Endler analiz cihazı, her taneciğe uyacak şekilde ayarlanabilen çeşitli çaplı ışık noktaları üretmek için ayarlanmış bir diyafram kullanılır. Ayar, çoklu bir kesici yoluyla elektronik olarak sekiz sayaca bağlanmıştır. Böylece bir ayak kesicisine basarak taneciklerin her birini sekiz çeşitli büyüklükten uygun olanına yerleştirir. Her parça alanına, tekrarı önlemek için, sayılan her tanecik için bir delik açılır.

11.7.2.3 Otomatik Mikroskop Büyüklük Analiz Cihazı

Mikroskop alanı ya da mikroskop fotoğraflarının incelenmesi için birçok sistem geliştirilmiştir. Bunlardan biri televizyon tarama sistemine benzerdir. Görüntünün yoğunluğundaki değişim, tanecik büyüklüğüne dönüştürülebilir ve bilgiler bir bilgisayarda incelenerek, istatistiksel çapların büyüklüğünü sayılarla belirleyen detaylar üretilir. Bu aynı zamanda şekil faktörünü de hesaplayabilir. Quantimet adlı bir sistem, günümüzde, alanı 650 000 üniteye bölerek, dijital yöntem kullanır.

11.7.3 Doğrudan Optik Yöntemler

Malvern Instrument Ltd., asılı durumdaki taneciklerin incelenmesinde bir laser ve ileriye doğru dağıtma yöntemi kullanmıştır. Bir Laser'den çıkan paralel ışınlar bir mercek içinden, geçerek odakta şiddetli bir nokta oluşturur. Bir tanecik üzerine düşen ışık sapıtılmış ve eksen üzerinde ve merceklerin odak düzlemi içine merkezlenmiş bir Fraunhofer sapıtma halkaları sistemi içindeki bir odağa getirilmiştir. Çaplar, taneciklerin çaplarının bir fonksiyonu olan dağılma açılarından, tercih edilenlere uyarlar. Her halkadaki yoğunluk, bu çaptaki taneciklerin toplam kesit alanı ile orantılıdır. Bu nedenle yoğunluktaki değişim büyüklük dağılımını yansıtır. Düzensiz şekillenmiş tanecikler bulanık halkalar oluşturur. Merceğin odak düzlemine yerleştirilen çok halkalar bir algılayıcı, hacim dağılımını hesaplayan bilgisayara, verileri iletir. Bu aynı zamanda dağılımın tipini, normal mi, log-normal mi ya da Rosin-Rammler mi olduğunu tayin eder.

Taneciklerin mercekler eksenine bağlı konumları, dağılım modelini etkilemez. Böylece hareketin hızı göz önüne alınmaz. Bu yöntem, bu nedenle,

bilgisayarla beraber, enjektörden püskürtülen yakıtların analizinde kullanılmıştı. İddia edilen aralık 1 den 500 μ m den daha yukarıya kadardır.

Bir boyut analizinin bilgisayara bağlanmasının açık avantajları vardır. Sonuçların genelde çok çabuk alınmasının dışında, taneciklerin mekanik yapışmaları nedeniyle analizde karışıklık ve belirsizliklere neden olduğundan; çoğu yöntemlerde, bu yapışık tanecikleri ayırma zorunlu hale girmektedir. Bilgisayarlar ile kullanımında ise böyle bir sorun yoktur.

11.8 Son Hızı Ölçen Analiz Yöntemleri

Daha önce de tartışıldığı gibi, bir taneciğin son hızı büyüklüğü ile ilişkili olup, özellikle ilgi alanı aerodinamik ise, kullanılır bir yöntemi temsil eder. Yöntemler ana hatlarıyla, çöktürme, yıkayarak ayırma ve çarpırma olarak sınıflandırılabilir.

11.8.1 Çöktürme (Sedimentasyon)

Bir tanecikler gurubu, örneğin yerçekimi etkisi ile çökmekte iseler, tanecikler son hızlarına göre birbirlerinden ayrılır. Bu doğal olay tanecikleri birbirlerinden ayırmak amacıyla üç yolda kullanılabilir.

- Tanecikler ve çökme ortamı evvela iyice karıştırılır. Sonra, çökme ortamının özelliklerinin zamanla ve derinlikle değişimleri ölçülür.
- Tanecikler ve çökme ortamı (a) da olduğu gibi iyice karıştırılır. Sonra, sıvı sütununun tabanındaki çökme miktarları üzerinde ölçme yapılır.
- Tanecikler akışkan sütununun tepesine bırakılır ve tabana varışları izlenir.
- Grubundaki yöntemlere "azar azar artma" deyimini de kullanılmaktadır. Yani çökelen akışkan azar azar artan derinliklerde incelenir.
- Grubuna da bazan kümülatif deyimini kullanılır. Bu deyimle sütunun altında toplanan tanecikler kastedilir.
- Grubu da kümülatiftir, ama bu bazen iki-tabaka olarak da tanımlanır. Yani denemeye başlarken iki ayrı akışkan vardır. Birisi altakine oranla ince ve tüm tanecikleri içeren tabaka ve alttaki kalın berrak tabakadır.

11.8.1.1 Azar Azar Artma Yöntemleri

Diyelim ki, $t=0$ anında, homojen dağılmış tanecikler, içinde son hızları V olan bazı özel tanecikleri içermektedir. Ani ivme ihmal edilecek olursa, bir t_1 zaman sonunda tüm özel tanecikler $h=Vt_1$, mesafesi düşerler. Bu özel taneciklerin h derinliğindeki konsantrasyonu sabit kalacaktır, taban hariç. Aksine h derinliğinin üstündeki tabakada bu özel taneciklerden hiç kalmayacaktır. Kuşkusuz aynı yargı tüm tanecikler içinde geçerli olacak, ancak h ve V değerleri, doğal olarak değişik olacaklardır.

Bu demektir ki, t zamanında ve h derinliğinde yapılan ölçüm son hızları V den düşük olan taneciklerin konsantrasyonu olup, dolayısıyla yöntemimiz kümülatif dağılımın ölçüsüdür.

Aşağıda verilen yöntemler bu genel ilkeyi kullanırlar.

Andreasen Borusu Bu alet nispeten büyük (~550 ml) bir cam kap ve bunun tabanına, cam destek üzerine oturtulmuş, bir pipetten oluşmaktadır. Yüzde 1 konsantrasyondaki örnek, kabın içine dökülerek, seçilen bir akışkan içinde uygun bir dağılım sağlanır. Akışkanın pipet alt ucundan itibaren yüksekliği 200 mm de hassas ayarlanır.

Yeterince alt üst edilerek homojen bir karışım elde edildikten sonra tanecikler çökmeye bırakılır. Önceden belirlenen zaman aralıkları ile, 1 dakika, 2 dakika, 4 dakika v.s. olabilir. 10 ml lik numuneler dikkatlice pipet yoluyla alınır. Alınmalar yavaş, 20 saniye sürecek şekilde, yapılarak pipet ucundaki hatalara neden olabilecek karışmalar önlenir. Pipetle alma süresi her akış periyodunun ortasına denk gelecek şekilde seçilir. Her seferinde alınan numunelerde kuru madde tartılır ve ayrıca meydana gelecek seviye düşmesi için düzeltmeler uygulanır. Elde edilen sonuçlar bize toplam kütle/son hız dağılımını verir. Bu da kütle/büyüklik vb. birimlere, daha önce tartışıldığı gibi, dönüştürülebilir. Uygun seçilmiş bir akışkan ile bu yöntem 1-100 μ m tanecik büyüklükleri aralığında ölçmeler için kullanılabilir. Koşullar Stokes koşullarına uyacak şekilde kontrol altında tutulur. Yani Laminer akış ve kuşkusuz hızın akışkan koşullarına uygunluğu gözönünde bulundurulur. Sıvı koşulları sıvı yoğunluğu ve viskozitesi olup, bunlar da sıcaklıklara bağlıdır.

Yoğunluk Ölçen Yöntemler Birçok uygulamalar, akışkan/tanecikler karışımının yoğunluğunun değişik zamanlarda ya da aynı zamanda ama değişik derinliklerde ölçümünü içerir. Başlangıçta, karıştırma tamamlandıktan sonra, yoğunluk homojen olup, akışkan ve taneciklerin yoğunluğuna ve taneciklerin kütle konsantrasyonuna bağlıdır. Bir çökme periyodundan sonra yoğunluk derinliğe bağlı olarak değişir.

Yoğunluk ölçümünün bir yöntemi bir hidrometre kullanılır. Bu yöntem, hidrometre tüpünün akışkana daldırılmasını, genel akışkan yüksekliğini değiştirdiğinden karmaşıktır. Ayrıca bazı beklenmedik taneciklerin tüpün üst kısmına çökmesi ve tüpün alt kısmında ise tanecik bulunmaması karışım ortamında kesintilere neden olabilir. Keza tüp etrafındaki hareketler düşey doğrultuda değildir. Bu sorunlar, yöntemin basitliğini gölgeleyecek ağırlıktadırlar.

Akışkanın genel yüksekliğindeki yükselmenin üstesinden gelen zarif bir hidrometre yöntemi, bir tüp yerine birçok dalgıç olarak adlandırılan, teksele hidrometreler kullanır. Bunların her biri küçük bir gövdeye sahip olup tamamen akışkan içine daldırılmışlardır. Ancak bunların bireysel yoğunlukları o şekilde ayarlanmıştır ki, önceden seçilen zaman sonunda bu dalgalar, çökme sütünü içinde, her biri, yoğunluğuna uyan derinlikte olmak üzere dağılırlar. Konumların hassas ölçümü istenen bilgileri verir. Burada en önemli sorun dalgıçların görülebilmelerindeki zorluktur.

Bir özgül-ağırlık terazisi kullanılabilir. Terazi kollarından biri sabit bir derinliğe kadar akışkana daldırılır. Kolun ucundaki topa etkiyen yüzdürme kuvvetinde, zamana bağlı olarak, oluşan değişim gere istenen bilgileri verir.

Fotoçöktürme Bir fotoçöktürme ölçerinde, çökme bir lamba ve bir fotosel sistemi (kısım 11.3'e bak) yardımı ile izlenir. İzleme mesafesi küçük olup, 15 µm'den büyük tanecikler için, dağılma katsayısı K değeri hızla 2'den 1'e doğru azalır. Bilindiği gibi;

Optik yoğunluk $D = 0.4343 K a/A$

Burada a/A alan konsantrasyonudur. Akışkan içinde hiçbir taneciğin olmadığı durumda D ve K değerlerinin D_0 ve K_0 olduğunu varsayalım. Bütün taneciklerin varlığında ve iyice karıştırılmış halde de ise bu değerler D_1 ve K_1 olsun. Buna göre t zamanında ve h yükseklikte, $h=Vt$, olup burada V mevcut taneciklerin son, hızının üst sınırıdır. Eğer D ve K ya uyan değerler D_v ve K_v ise son hızları V den küçük taneciklerin kısmi yüzey alanı şu bağıntı ile bellidir:

$$\frac{\left(\frac{D_v}{K_v} - \frac{D_0}{K_0}\right)}{\left(\frac{D_1}{K_1} - \frac{D_0}{K_0}\right)}$$

Böylece kümülatif yüzey alanı son hız dağılımını ölçen bir yöntemle sahip olabiliriz.

D'yi sabit bir yükseklikte, ya da tüm çökme bölgesini inceleyen özel çökme ölçerler piyasada vardır. Genelde $K_v = K_1 = K_0$ olduğu kabul edilir ve düzeltmeler verilen uygun tablo ya da grafiklerle yapılır. Çoğu fotoçöktürme ölçerleri, K değerinin 2 olarak kalmasını sağlamak amacıyla dar ışın optiği kullanılır. WASP (geniş - açı inceleyen foto çöktürme ölçeri) (GAİF), sapıtılan çoğu ışınları yakalayacak şekilde fotosel'i akışkana yakın tutar ve K değeri bunlarda 1'e yakındır. 200 mm lik çöktürme sütünü, otomatik olarak sabit bir hızda izlenir ve optik yoğunluk, bir grafik verecek şekilde, sürekli kaydedilir. Bu da, kümülatif kütle boyutu ya da kümülatif yüzey alan boyutu dağılımı olarak değerlendirilebilir.

X ışını çöktürmesi, fotoçöktürmeye benzerdir. Ancak bunda ışıının yerini X-ışını alır ve geçirgenlik yoğunluğu, yüzey alanına değil, tanciklerin kütle sine bağlıdır. Yani

$$I_T = I_0 \exp (-KC)$$

Burada c taneciklerin kütsel konsentrasyonu ve K bir sabittir. Diğer taraftan X-ışını yoğunluğu

$$D = \log_{10} \frac{I_0}{I_T}$$

bağıntısı ile verilir.

11.8.1.2 Kümülatif Yöntemler

Sedimentasyon dengesi (Çökme Dengesi) Diyelim ki $t=0$ zamanında taneciklerin homojen bir süspansiyonu, tabanında bir terazi kefesine bulunan bir sütun içinde kapsanmıştır.

Yine diyelim ki son hızları V_1 'den büyük olan taneciklerin kütlesi W_1 olsun, eğer h sütun yüksekliği ise, $t_1 = h/V_1$ zamanında tüm bu tanecikler terazi kefesine ulaşmış olacaklardır. Ancak terazi kefesindeki M_1 kütlesi daha aşağılardan çökmeye başlayan bir miktar küçük tanecikleri de içerecektir. Bu durumda

$$M_1 = W_1 + t \frac{dM}{dt}$$

olduğu gösterilir ve M ve t nin ölçümleri, W nin değerlendirilmesinde kullanı-

labilirler. İngiliz Standardı BS3402 Kısım 2, M nin bu değerin geometrik dizi şeklinde artan, örneğin 1, 2, 4, 8 vb. t saniye zamanlarında dikkate alınmasını ileri sürer. Sonra t/dt , 2. nci durumda sabittir. n ve (n-1) 'inci terimlerin zaman içindeki ilerleyişleri kıyaslandığında;

$$W_n = M_n - 2 (M_n - M_{n-1})$$

elde edilir.

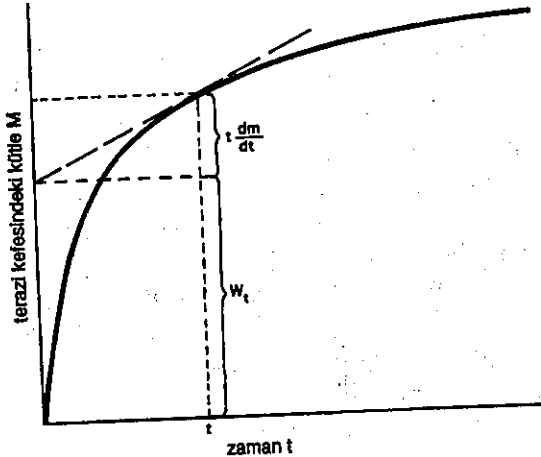
M in son değeri giren sonuç kütleyle eşit varsayılır.

M nin devamlı kaydedildiği durumda kullanılabilecek bir diğer yöntem, Şekil 11.8'de gösterildiği gibi teğetler çizmektir. Böylece W, teğetin M eksenini kestiği noktadır. Maalesef teğetin çizimindeki hatadan ötürü, yöntem çok elverişsizdir. Özellikle, eğer bütün zaman, geniş büyüklük aralıkları ile, önceden ölçeklenmiş ise uygulama daha da zorlaşmaktadır. Yöntem M yi, yeniden t ye bağlı değil de, $\ln t$ ye bağlı olarak çizerek geliştirilebilir. Bu durumda,

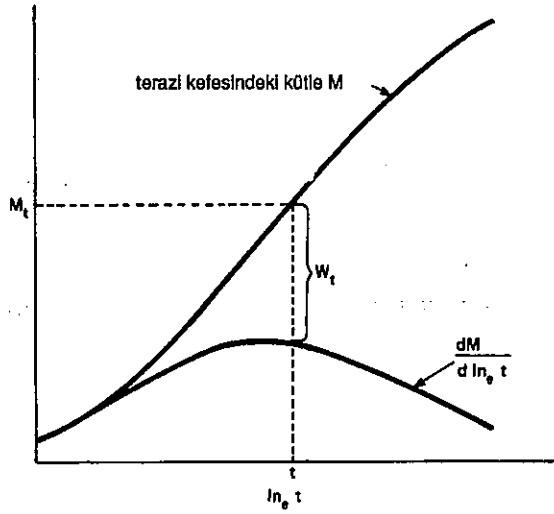
$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{t} \frac{dM}{d(\ln t)}$$

olduğundan yukarıdaki bağıntı, yeniden şöyle yazılabilir:

$$M = W + \frac{dM}{d(\ln t)}$$



Şekil 11.8 Çökeltme dengesi kütlenin zamana bağlı değişim grafiği.



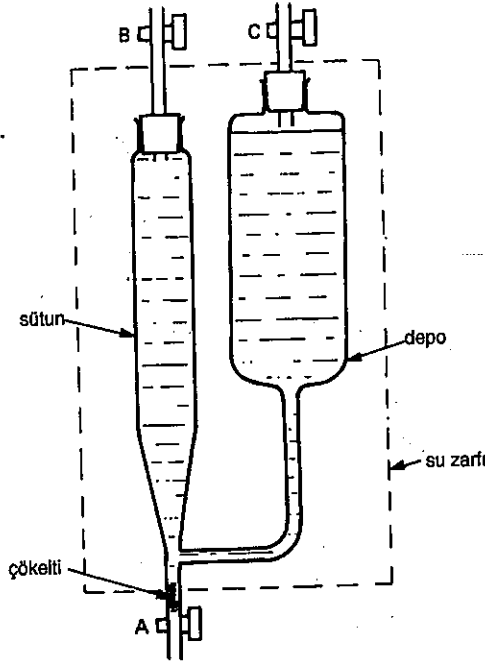
Şekil 11.9 Çökeltme dengesi M ve $dM/d(\ln t)$ nin t ye bağlı değişim grafikleri.

M nin t ye bağlı değişiminin logaritmik kağıda çizilmesi, Şekil 11.9, teğetlerin çok daha hassas çizimlerini mümkün kılarak, $dM/d(\ln t)$ nin, T anındaki eğimi olarak, hesaplanmasını mümkün kılar. $dM/d(\ln t)$ in $\ln t$ ye bağlı değişiminin de aynı kağıda çizilmesi, W 'nin iki eğri arasındaki farkı olarak bulunmasını sağlar.

Bu yöntem başlanıçta sütun kenarlarına ya da terazi kefesi etrafında meydana gelen malzeme kayıplarının hiç birisine inanmaz ve başlanıçta kefe altındaki miktar belirsizdir. Bu faktörler hataya sebep olur.

Piyasada çeşitli ticari akışkan çökeltme terazileri vardır. Bunlar arasında dikkati çekenler, Sartorous, Shimadzu ve Bostock sayılabilir. Bunlar, terazi kefesi üzerindeki sütunda homojen süspansiyon oluşturmaya yarayan yardımcıları da sağlar. Bazılarında kefe altındaki akışkan hiçbir toz içermez. Bütün sütunlar bir termostatik muhafaza içerisine alınmıştır. Sıvı yoğunluğunun ve viskozitesinin sabit kalabilmesi için sıcaklığın değişmemesi önemlidir.

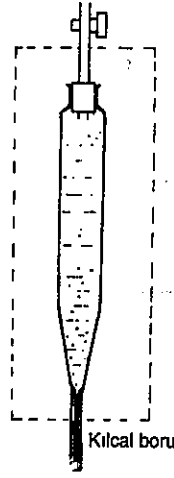
Çökeltme Sütunları Bir çökeltme sütunu, çökeltme terazisi gibi çalışır, ancak devamlı çökeltmeyi tartma yerine, çökeltme önceden ayarlanmış zamanlarda ortamdan alınmakta ve dışarda tartılmakta ve böylece daha kaliteli bir terazinin kullanılmasını mümkün kılmaktadır.



Şekil 11.10 ICI çökeltme sütunu.

Şekil 11.10'da gösterilen ICI çökeltme sütunu tabanda, birkaç santimetre boyunda ince bir boruya doğru, daralır. Yukarısında ve aşağısında musluklar yerleştirilmiştir. Sütunun dar kesitinde bir yan kol sütunu temiz su deposuna bağlar. Toz örneği ana sütunlarının içine doldurulur ve B vanası açık, C vanası kapalı durumda iken A vanasından yukarıya doğru gönderilen basınçlı hava ile karıştırılır. $t=0$ anında A ve B vanaları kapalı C ise açıktır. Çökelen tanecikler yan kolun alt kısmındaki ince boruyda yığılır. Ayarlanmış zamanda A musluğu açılarak temiz sıvının çökelen tanecikleri bir santrifüj borusunun içine ya da bir ölçekli kaba (beker) yıkar. Göz ardı edilebilecek kadar az çökelti sıvısı bu esnada kaybolur. Çökelti süzülür, kurutulur ve tartılır.

BCURA çökeltme sütunu da, karıştırma için bir hava girdisi kullanır (Şekil 11.11). Bu defa alt musluk ve ince boru yerine 1 mm boyunda bir kılcal tüp kullanılmıştır. Üst musluğun kapalı olması halinde, kılcal borudaki yüzey gerilimi akışkan sütununu taşır. Önceden belirlenmiş zamanda, bir kap içindeki temiz akışkan kılcal borunun açık ucuna değdirilir. Yüzey gerilimin bozul-



Şekil 11.11 BCURA çökeltme sütunu.

ması ile çökelti temiz akışkan içine akar. Bundan sonra kap uzaklaştırılır. İlkde herhangi bir çökelti akışkanı kaybolmaz. Ama genelde sütunun üst kısmında kısmi vakum oluşuncaya kadar bir küçük başlangıç kaybı meydana gelir.

Yukarıdaki sistemlerin ucuzluğu avantajlarıdır. Ancak subab duvarlarında çökelmeler ve adezyonla tutulma nedeniyle hatalar oluşmaktadır.

Çökeltmenin izlenmesi için manometrik yöntemler kullanılmıştır. Manometre sütununun tabanına yakın bir yere takılarak içi su ile doldurulur. Çökme esnasında süspansiyonun sürekli yoğunluğu düşeceğinden basınç farklarına neden olur ve bu farklar manometrede takip edilir. Basınç farkları çok küçüktür.

Beta tanecik geri-saçılma yöntemi tabana oturan madde kütlesinin ölçümünde kullanılmıştır. Çökelti doyum kalınlığına erişmemek şartıyla, yoğunluk, atom numarası ve kalınlıkla, yani çökeltinin ağırlığı ile orantılıdır.

Aktarma Eğer homojen akışkan/örnek karışımı t_1 saniye süresince çökelmeye bırakılır ve h derinliğine kadar olan karışım bir pipet yardımı ile diğer bir kaba aktarılırsa, aktarılan taneciklerin hepsinin hızı h/t_1 den düşük olacaktır. Aktarma metodunda, aktarılan karışımın yerine saf akışkan koymak ve karıştırmak suretiyle defalarca tekrarlanabilir, ta ki, üst taraftaki akışkan tamamen saf halde kalabilsin. İşlem tekrarlanır ancak bu defa daha

kısa zaman, t_2 , ile aktarılan akışkan toz kapsamı için incelenir. Her seferinde ölçülen kütle toplam kütlelerin bir fraksiyonu olarak, son hızı h/t_n ve h/t_{n-1} olan kütleleri ifade eder. Doğruluk, h 'nın hassas belirlenmesine, akışkanın aktarılma debisine ve aktarmanın her t değeri için tekrarlanma sayısına bağlı olup yüksek değildir.

İki Tabaka yöntemi Eğer üst tabaka, $t=0$ zamanında, daha alttaki tabakadan açık şekilde daha ince ise, $t=t_1$ zamanında, sütunun tabanına erişecek malzeme sadece hızları h/t_1 den büyük olan tanecikler olacaktır. Burada h sütununun yüksekliğidir. Bu taneciklerin ağırlıklarının ölçümü doğrudan kümülatif dağılımı verecektir. Sıvı iki tabaka yöntemleri, başlatma koşullarının düzenlenmesindeki zorluktan dolayı, pek yaygın kullanılmaz. Granülometre, $t=0$ anına kadar ayrışmayı izleyen bir gözetleme sistemi ve taneciklerin çökmesiyle oluşan basınç değişimlerini ölçen bir manometre kullanır.

Sharples Mikromerografi yaklaşık 2 m yüksekliğinde bir hava sütunu kullanır. Örnek, iç içe geçmiş eş eksenli iki koni arasına sıkıştırılmış azot gazının üflemesi ile tanecikler halinde birine yapışmadan homojen dağılacak şekilde sütuna enjekte edilir. Bir elektronik terazi sütununun tabanına yerleştirilmiş olup buraya varan tanecikleri belirlemek üzere, monitorun yazıcı kalemine irtibatlandırılmıştır. Sütun termik kararlılık sağlamak amacıyla bir muhafaza içine alınmıştır. Hataları çok ince taneciklerin sütun duvarlarına yapışmasından kaynaklanmaktadır. Bu bir dereceye kadar, anti-statik işlemlerle giderilebilir. Kaydedicinin zaman eksenini, çökeltmenin başlangıcı için hızlı sonrası için yavaş olacak şekilde ayarlanabilir. Kırılgan tanecikler kullanılması halinde enjekte noktasında dikkatli davranmak gereklidir.

Santrifuj Yöntemi Küçük tanecikler için yerçekimine dayalı sistemler çok yavaş davranır. Brown hareketleri ve konveksiyon etkileri nedeniyle, ölçülebilecek tanecikler için bir büyüklük sınırı vardır. Bundan daha küçük parçacıklar ölçülemez. Su içerisinde $1 \mu m$ ve hava içerisinde $0.5 \mu m$ büyüklükteki taneciklerin, yerçekimi sistemleriyle ölçümleri mümkün olduğundan, uygulamada en düşük sınır genellikle, yaklaşık olarak $5 \mu m$ alınır. Bu sorun, çökmenin merkezkaçla desteklenmesi sonucu azaltılabilir.

Homojen akışkan karışımında, merkezkaç çökeltmeye ilişkin teori tanecikler için karmaşıktır. Çünkü taneciklerin hızları, dönme merkezine uzaklıkları ile değişir. Ölçmede, yaklaşık değerlendirmeler gereği, yöntemin kullanışını sınırlamaktadır.

İki tabak sistemlerine ilişkin teori kesin olduğundan bunlar daha caziptirler. Maalesef "akma" olarak adlandırılan doğal olayda, tanecikler teker teker çökme yerine birbirleriyle birleşerek, sanki büyük tanecikmiş gibi topluca akarlar. Bu ise sonuçları altüst eder. Akma özellikle başlangıç tabakalarında son derece düşük tanecik konsantrasyonları kullanarak bertaraf edilmiştir.

Üçüncü bir karışmaz, ara tabaka kullanan yöntemler başarı ile uygulanmışlardır.

Teoriler daima, Stokes yasasının tanecik hareketlerine uyarlanabilirliğine dayandırılmıştır. Bu ise, dönme hızına bağlı olarak, en büyük tanecik boyutuna bir engel yükler. Daha büyük tanecikler için bir ek problemde, santrifüjün ivmelenme ve yavaşlamasına göre ortaya çıkmaktadır.

Birçok soruna rağmen, yöntemler 0.01 μm gibi çok küçük tanecikler için avantajlı olup, yerçekimi yöntemlerini beraber kullanan sistemler mevcuttur. En fazla güvenilir görüneni üç tabaka yöntemleri ve optik algılama cihazlarıdır.

11.8.2 Yıkama

Yukarıya doğru V hızı ile akan bir akışkan içinde asılı bulunan bir grup tanecik, ayrılma zorunda kalacaklardır. Son hızları V'den düşük olanlar yukarıya doğru giderken diğerleri aşağı doğru hareket edecektir. Bu işleme "yıkama" denir. Tanecik büyüklüğüne bağlı olarak, akışkan genelde su ya da havadır. Esasta yıkama, taneciklerin büyüklüklerine göre ayırımından ziyade onları sınıflayan bir işlemdir. Yıkama, tanecik gruplarını, verilen bir büyüklüğün altındakiler ve üstündekiler diye ayırır. Kusursuz sistemde akışkan, hızları tam olarak V hızına eşit olan tanecikler dışındakileri tasnif eder ve çöken tanecikler alınabilir. Bunların içinde küçük tanecikler yoktur. Buna rağmen sistem mükemmel değildir. Uygun Stokes koşulları mevcut değildir. Çünkü uygulama koşulları, çökme borusunun boyunu, çaplarına oranla çok kısa tutmaktadır. Diğer taraftan boru cidarlarında hız, diğer kısımlara oranla önemli ölçüde daha küçüktür. Bu ise bazı taneciklerin merkezden yukarıya cidarda aşağıya olmak üzere dönmelerine neden olur. Bu nedenle kesim noktası açık değildir. Çoklu yıkama sistemi, teksel yıkama sistemlerinin seri bağlanmaları ile oluşturulmaktadır. Ancak teksel yıkayıcıların seri içinde çapları büyüyerek gider. Her bölüm, bu nedenle giderek daha küçük parçacıklar toplar.

Su ve hava yıkayıcıların her ikisi de piyasada vardır. Kullanımda örnek en küçük çaplı yıkayıcıya sunulan ve akışkan hızı belli bir değere ayarlanır. Bütün bölmelerde akışkan temizlendiği zaman, sistem durdurulur ve her bölmeden alınan çökeltiler tartılır. Son kısım genelde bir filtre ile tutulur. Bazı tasarımlarda ayırıcı kısımlar küçük taneciklerin üst kısma geçmelerini hızlandırmak için kısa ve konik bir daralma bölgesi ile sona erer.

Şu ana kadar tanıtılan yıkayıcılar karşıt akışlı yıkayıcılardır. İvme (yani yer çekimi) ve sürüklenme ters doğrultudadırlar. Yamal akışlı yıkayıcılarda tasarlanmıştır. Eğer yatay doğrultuda laminar akan bir akışkanın üst düzeyine bir tanecikler örneği yavaşça yedirilirse, iki tabaka çökmesi oluşur. Fakat çökelti yatay olarak ayrışır. Çeşitli büyüklükteki tanecikler değişik yollar izler.

Tanecikler mantıklı bir şekilde yerleştirilmiş, belli ağırlıklı, yapışkan plakalar üzerinde toplanır.

11.8.2.1 Santrifuj Yıkama

Yıkama, genelde akışkan olarak hava kullanımı ile savurma alanında da yapılabilir. İlke olarak, hava ve yüklenen tanecikler içeriye doğru savurma kuvvetine ters hareket eder. Son hızları yeterince düşük olan tanecikler bile içeriye geçerler, diğerleri dışa doğru geçer.

Dönen bir sistem içerisindeki havanın doğal akışı radyal olarak dışa doğrudur. Bu nedenle karşıt akım elde etmek için, hava tahrik edilmek zorundadır. Bazı sistemlerde ayrı bir pompa kullanılmıştır. Diğerlerinde hava merkezde içeriye sokulur, merkezkaç kuvvet altında radyal olarak dışarıya doğru geçer, içeriye doğru kısa bir mesafe hareket etmek için 180° lik dönmeye dışarıya hareket ederek çembere erişir. Yıkama içeriye doğru hareket esnasında oluşur. Bu durumda herhangi bir pompaya gereksinme yoktur, net hava akımı dışa doğrudur.

Dönme hızı ya da hava hızının ayarı kesin tanecik büyüklüğünü etkiler. Hava hızı genelde bir kısma mekanizması ile ayarlanır.

Bir dizi çeşitli santrifuj sistemleri mevcuttur. Bunların yapıları ve büyüklükleri, bunların herbirini değişik büyüklük aralığına uygun yapmak-tadır. Örneğin, bazıları $2-12 \mu\text{m}$ aralığında çok duyarlıdır. Buna karşın bazıları daha büyük tanecikler için daha iyidir. Bazıları ise sürekli yüksek kapasitede çalışabildiklerinden özellikle yakın büyüklüklere sahip taneciklerin ölçümüne uygundur. Bu cihazlar esas itibarıyla, büyüklük analizinden ziyade, kendi doğal amaçları olan sınıflandırmada kullanılır.

Siklon cihazı bir santrifuj aleti olup, tozları taşıyıcı gazlardan ayırmak için kullanılır. Bu konik şekillendirilmiş bir kaptan oluşur. Tozlu hava konik kaba, tabanından teğetsel sokulur ve helezonik bir yol üzerinde hareket ederek tepeye varır ve orada keskin bir dönüş yaparak eksen doğrultusunda geriye, koni tabanına doğru, hareket eder ve tabanda dışarı atılır. Bu, bir ayırıcı cihazdır ve sadece son hızları verilen değerden daha küçük olan tozlar hava ile çıkabilir. Tanecik sınır çapı belli bir koşul için hesaplanır. Büyüklük incelemeleri için, hava hızını giderek arttıran bir dizi siklonun seri tanzimi ile sistemler tasarlanmıştır.

Cyclosizer analiz cihazı, gaz yerine sıvı kullanır. Bu cihazda hız değişimlerini elde etmek için giriş ve çıkış çapları farklı beş adet eşit büyüklükte siklon vardır. Siklonlar kapalı koni en üstte olacak şekilde tanzim edilmişlerdir. Böylece büyük tanecikler belli kısımlarda tutulur geri düşerler ve ayırma tabi tutulabilir. Bu uygulamada büyüklük aralığı $8-50 \mu\text{m}$ dir.

11.8.3 Sıkıştırma

Asılmış tanecikler içeren bir sıvı, bir köşeyi dönmeye zorlandığı zaman son hızları, akışkan hızı ve bükümün geometrisi ile hesaplanan değerden büyük olan tanecikler toplanır ya da sıkıştırılarak tutulur. Kademeli bir sıkıştırıcı, her biri toplayıcı plakasının üst kısmında yer alan bir dizi delikler oluşmaktadır. Delikler yuvarlak delik ya da yarıklar olabilir. Delikler bir birini izleyen kademelerde küçülerek sıkıştırma hızını artırır. Tanecikler deliklere geçerek ya bitişikteki plakada toplanır ya da diğer kademeye geçer. Aerodinamik tane büyüklükleri aralığını, 0,4 μm dan 15 μm 'e kadar, kapsamak üzere tipik olarak altı ile on arasında değişik kademeli sistemler vardır.

Andersen kademeli sıkıştırıcı, gaz akımlarında izokinetik (eş kuvvetli) ayırım yapmak için bir lüle ile beraber, bilgisayara bağlı olarak çalışmak üzere tasarlanmıştır. Burada bir on siklon 15 μm den büyük parçacıkları ve bir fi litre 0,4 μm den küçük parçacıkları yakalar. Sierra oda ya da atmosferik hava için, 0,05 μm den 10 μm ye kadar olan parçacıkları kapsayacak bir ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Biriktirilen tanecikler alınarak tartılır. California Measurement Inc, piezo-elektrik kristalli bir cihaz pazarlamakta olup, bununla, on kademelinin her birinde kütle yığılması izlenir ve anında otomatik çıktı verir.

Sıkıştırma yüzeyi, bir kademededen diğerine tekrar geçişleri önlemek için sık sık bir yapışkanın yardımına gereksinime duyarlar.

11.9 Tanecik Büyüklüğünü Diğer Özelliklerden Yararlanarak Saptayan Analiz Yöntemleri

Şu ana kadar tartışılan yöntemler, ya tane büyüklüğünü doğrudan ölçer ya da taneciğin hızına bağlı bir akışkanın dinamik etkisini ölçerek saptar. Her ne kadar taneciğin hızı da büyüklüğüne bağlı ise de, taneciğin yoğunluğundan, şekil ve yüzey yapısından da etkilenir. Aşağıdaki yöntemler doğrudan tanecik büyüklüğünü ölçmedikleri gibi taneciğin hızına da bağlı değildir.

11.9.1 Coulter Sayacı

Couter sayacı şu ilkeyi kullanır: iletken bir sıvının elektriki direnci, sıvı içine yalıtkan bir maddenin katılması ile arttırılır. Tanecikler ayrı ayrı değerlendirilmişlerdir. Yeterli doğruluk elde edebilmek için ölçülen sıvı hacmi, taneciklerin hacminin benzeri olmak zorundadır.

Bu kriterler, elektrolitin bir delikle donatılmış dar bir geçit yardımı ile birleştirilen, boyutları kesin olarak bilinen iki ayrı bölmeye doldurmak suretiyle, elde edilebilir. Sabit akım kaynağından elde edilen bir elektrik akımı delik yoluyla bir bölmeden diğer bölmeye geçer. Delikin iki tarafı arasındaki gerilim doğrudan delik direncine bağlıdır.

Uygun şekilde dağılmış numune, bölmelerin birine konur. İyice karıştırılmış elektrolitin dikkatlice izlenen bir hacmi delik yoluyla diğer bölmeye geçer. Örneğin konsantrasyonu (yüzde 0.1 düzeyine), o şekilde ayarlanır ki tanecikler ayrı ayrı geçerler. Her tanecik bir voltaj vurumuna neden olur ve bir vurum yüksekliği ayırıcısı, her biri bir maksimum büyüklüğü temsil eden bir dizi sayaçtan birini yükler.

Coulter sayacının teorisi, özellikle rastgele şekillenmiş tanecikler için karmaşıktır. Ancak kanıtlanmıştır ki, bir ilk yaklaşım için, vurum yüksekliği tanecik hacmi ile doğru orantılıdır. Burada hata, eğer tanecik büyüklüğü delik çapının yüzde 40'ından daha küçük ise, yüzde 6 dan daha düşük olmaktadır. Bu büyüklük sınırlaması aynı zamanda, deliğin tıkanmaması için bir uygulama sınırlamasını da temsil eder. Her ne kadar taneciklerin direngelliği, uygulamada sonuçları etkilerse de, yüzey-filmi etkileri bunu önemsiz hale sokar. Bu yöntem iletken taneciklerle de çalışır.

Tanecik büyüklüğünün alt sınırı, devredeki elektronik gürültü tarafından belirlenmekte ve uygulamada, delik çapının yaklaşık yüzde 4'ü olarak kabul edilir. Piyasada 10 μm den 1 mm'ye kadar çeşitli büyüklükte delikler mevcuttur. Böylece çeşitli delikler kullanarak, ölçüm aralığı 0.4 μm 'den 400 μm ye kadar değişik büyüklükteki tanecikler üzerinde çalışılabilir. Çok geniş büyüklük aralığı içeren numunelerin, ıslak elenerek, deliğin yüzde 40'ından büyük taneciklerden arınması, gereklidir. Küçük taneciklerle uğraşırken, her zaman olduğu gibi, dikkat bulaştırmayı önleme yönünde yoğunlaştırılmalıdır. Kabarcıklar yanlış sinyale neden olurlar. Sulu ya da organik elektrolitler kullanılabilir. Kauçuk polimerlerinden yapılan tanecikler kullanılarak, hazırlanan standart numuneler kullanılarak cihazların ayarlanması genel bir uygulamadır. Yöntem her numune / elektrolit karışımı üzerinde tekrar tekrar deneme yapmaya uygun olup, seyreltmenin yeterli olması halinde, konsantrasyon değişiminin gözardı edilebilecek düzeyde olduğunu görmekte bu yolla mümkündür.

Piyasada 16 ayırıcı kanallı modeller var olup çıktı, tanecik frekans hacmi ya da tanecik kümülatif hacmini veren cetveller şeklinde verilebilir ya da otomatik bir eğri şeklinde çizilebilir.

11.9.2 Hiac Otomatik Tanecik Boy Ayırıcısı

Hiac analizatörü, Coulter'in optik eşdeğeri olarak yorumlanabilir. Bu yöntemde silindirik şeklindeki delik yerine, iki boyutlu huni biçimi verilmiş delik kullanılmıştır. Bu delik geçen tanecik akımını, delik boğazına yerleştirilmiş çok dar bir ışık hüzmesi içinden geçecek şekilde yönlendirir. Bir algılayıcı, ışık hüzmesi içinden geçen her taneciğin oluşturduğu karartmayı ölçer. Tepkiler, taneciğin kesit alanı ile orantılı olup, bir vurum yüksekliği analizatörü yardımı ile sınıflandırılır. 2 μm 'den 9mm'ye kadar olan tanecik

büyükliklerine uyacak şekilde bir dizi delik ler piyasada var olup, herbiri 3 oranında büyüklik aralığını kapsar. Her ne kadar verilen bir tanecik üzerindeki ölçüm, bir eksen doğrultusunda ise de, düzensiz şekillendirilmiş herhangi bir tanecik, herhangi bir özel biçimde yerleştirilmediğinden, ölçülen alıstatistiksel olarak; ortalama kesit alanı olacaktır. Optik yöntemin, iletken yöntemin üzerinde şu konuda bir avantajı vardır: Optik yöntem herhangi bir sıvı ya da gaz içinde çalışabilir yeter ki kısa bir optik yolda (tipik olarak akışkanın 2-3 mm-sinde) yarı şeffaf olsun. Dağılma katsayısı sorunları, standard numune ayarlamaları kullanarak, azaltılmıştır. Cihazlar, hidrolik akışkanların kirletilmesinin ölçümünde, bilgisayarlarla beraber kullanılmıştır. Sabit bir hacimdeki tanecik sayısı, sabit delikli akışkanda tanecikler sayılırken zamanında ölçülmesi ile saptanmaktadır.

11.9.3 Climet Yöntemi

Climet yöntemi, eliptik bir aynanın odaklarından biri yardımıyla hassas yönlendirilmiş bireysel tanecikler tarafından saptırılan, ışığın ölçümünü kullanır. Işık tanecikler üzerine odaklandırılmış olup, iddia edildiğine göre saptırılan ışının yüzde 90'ı aynanın öteki odağındaki bir ışın sayacı tarafından yakalanmıştır. Doğru gelen ışın ise maskelenmiştir. Tepki, vurum-yüksekliğinin değerlendirilmesidir.

11.9.4 Adsorpsiyon Yöntemleri

Bazı işletmelerde, taneciğin gerçek büyüklüğünden çok, yüzey alanının bilinmesi daha önemlidir. Optik yöntemler, taneciğin, püzürleriyle ve boşlukları ile birlikte, gerçek yüzeyi yerine düz bir yüzey vermeye eğilimli olduklarından, uygun olmayabilir. Bazı gazlar cisimlerin yüzeyinde adsorplanır (bir tabaka oluşturur). Yani cismin yüzeyinde belki de molekül kalınlığında, bir tabaka oluşturur. Bu olay absorpsiyonla karıştırılmamalıdır. Adsorpsiyonda gazlar cisimlerin yüzeyindeki boşluklara girerler. Bu konu, burada tartışılmayacak kadar geniştir. İlke şudur: tanecikler evvela, daha önceden var olan adsorbantlardan arındırılır ve bundan sonra özel bir adsorbatla (yüzeye sıvı olan madde ile), yani azotla işlem görür. Azot daha sonra yüzeyde oluşan fark yardımı ile ölçülürler. Eğer yüzey moleküler düzeyde kaplanmış ise yüzey alanı ölçülür. Kuşkusuz bir düzeltme gereklidir. Çünkü genelde bu gerçek durum değildir. Sonuçlar yüzey alanı / hacim ya da yüzey alanı / kütle cinsinden verilir.

11.10 Kaynakça

Bu karmaşık konu hakkında daha fazla bilgi edinmek isteyenler için *Particle Size Measurement* by. T. Allen; and *Particle Size Analysis in Industrial Hygiene* by L. silverman. C.E. Billings and M.W. First tavsiye edilmektedir.

İNDEKS

Sayfa

A

Absorbsiyon	:	345
Açık Kanallarda Akım	:	70
Adsorbsiyon Yöntemi	:	345
Akımın Ölçümü	:	8
Laminar	:	8
Turbulans	:	8
Akım Profili	:	10
Alan Bobin Tahiriki	:	55
Algılayıcıların Yüklenmesi	:	193
Aneometre	:	52
Sıcak Tel	:	79
Aşırı Sıcaklıkta Viskozite	:	103
Azar Azar Atlama Yöntemleri	:	333

B

Bağıl Yoğunluk	:	247
Basınç	:	175
Algılama	:	11
Enerjisi	:	248, 250
Ölçümü	:	248
Tanımı	:	44
Baypas Sayacı	:	338, 339
Bcura Çökeltme Sütunu	:	13
Bernonli Teoremi	:	86
Boru Sondası	:	305
Boşaltma Tüp Geyçi	:	257
Bourdon Tüpü	:	260
Spiral ve Helisel	:	344
Boy Ayırıcısı	:	

	Sayfa
C	
Charles Kanununu	18
Climer Yöntemi	345
Coulter Sayacı	343
Couette Viskozimetresi	98
D	
Dall Tüpü	27
Deneme Halkası	221
Diferansiyel Basınç Aygıtı	22
Diyafram Basınç Elemanları	266
Doğal Frekans	187
Döner Pistonlu Akım Ölçer	37
Döner Kanat	42
Döner Vana	42
Düşü Alan Yöntemi	71
Düzey Ölçümü	162
Uygulaması	162
E	
Eğik Pervane Sayacı	43
Elastik Elemanlar	220
Elektriksel Direnç	119
Elektromanyetik Sonda	81
Elektronik Uzunluk Ölçümü	117
Eleme	326
Eşit Kol Dengesi	216
Eşit Olmayan Kol Dengesi	216
F	
Flanşlı Diyafram	239

	Sayfa
Foto - elastiklik	158
Foto - seller	129
G	
Gauss Dağılımları	321
Gazların Bağıl Yoğunluğu	247
Genlik Ayarlaması	195
Geyç Özellikleri	147
Geyçler	145
Tel	145
Yaprak	145
Yarı iletken	146
Rozet	171
Gözetleme	309
Sıcak katod	31
Gilflo Sensörü	82
Gömme Türleri	83
Gömme Vorteks	329
Göz Merceği Kalburcuğu	
H	
Hagen Poiseuill Yasası	95
Hassasiyet	2
Hedef Akış Ölçü Aleti	34
Helezon Sayaç	44
Hız/Alan Yöntemleri	77
Hiac Tanecik Ayırıcısı	344
Hidrolik Basınç Ölçümü	219
Hidrolik Sayaç	44

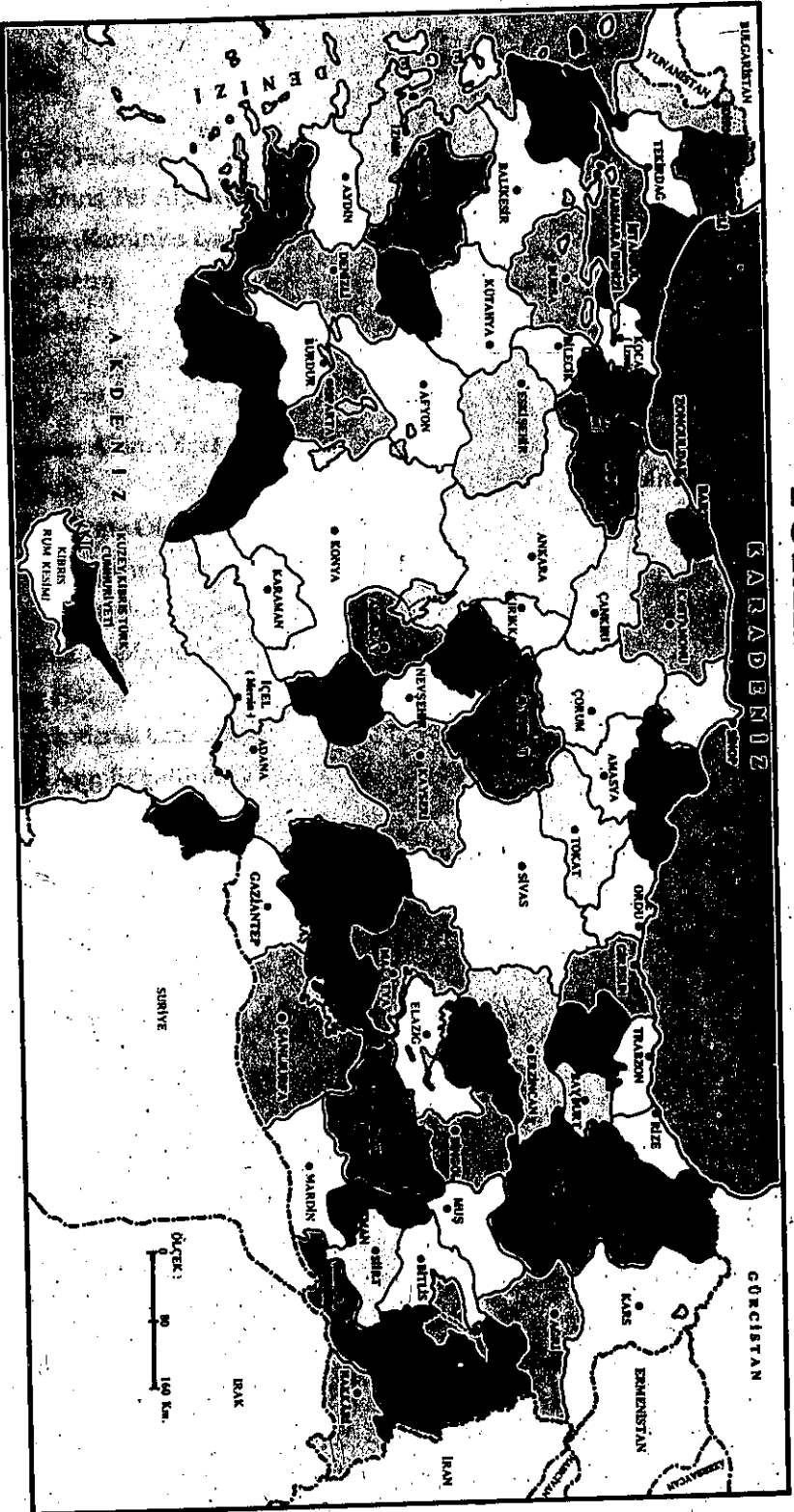
	Sayfa
I - İ	
Islak Gazlar :	21
İçi Çökeltme Sütunu :	338
İç enerji :	11
İstatiksel Ortalama Çaplar :	314
İvme Ölçer Ayarlaması :	195
İvme Ölçümü :	205, 220
İyonizasyon Geyçi :	304
K	
Kapasitans Manometresi :	266
Sondaları :	173
Kapasitif Strengelyçler :	155
Kritik Enerji :	11
Akımı :	20
Konum Algılayıcı Fotoseller :	129
Konum Değişimi Ölçümü :	202
Kuvars - Rezonant Basınç Algılayıcısı :	274
Kuvars Spiral Geyçler :	297
Kuvvet :	215
Dengesi :	178
Ölçüm Yöntemleri :	215, 216
Kütle Akış Ölçeri :	67
Kütle Yay Sismik Algılayıcılar :	197
L	
Laboratuvar Ayar Yöntemleri :	87
Laminer Akım :	9
Laser Doppler Anemometresi :	79
Laser Enterferometresi :	134
Log - Normal Dağılım :	323

	Sayfa
M	
Makina Sağlığının İzlenmesi :	194
Manyetik :	181
Reluktans :	123
McLeod Geyçi :	299, 300
Mekaniksel Uzunluk Ölçümü :	116
Mikroskopta Saymak :	328
Mutlak Olmayan Geyçler :	302
Seçimi :	296
N	
Newton Davranışlar :	92
Olmayan Davranışlar :	92
Nokta Hız Ölçümü :	78
O	
Orifis Plaka :	22
Tipleri :	23
P	
Paralel Levha Viskozimetresi :	100
Penning İyonizasyon Geyçi :	306
Piezzo - Elektrik Algılayıcı :	208, 273
Yükseltici :	211
Transdüktörleri :	223
Pirani Geyçi :	302
Pitot Tüpü :	79
Pnömatik Basınç Vericileri :	280
Pozitif Yerdeğişim :	10

	Sayfa
R	
Radyo Frekansı :	184
Rezonans Tel Algılayıcıları :	290, 291
Rosin - Rammler Dağıtıcı :	325
Rotametre :	29
Rozetler :	146
S - Ş	
Salınan Akım Ölçer :	61
Savrak :	71
Sevro İvme Ölçer :	201
Sıvı Manometreler :	298
Sıvı Yoğunluk Ölçümü :	243
Sismik Algılayıcılar :	197
Son Hız :	315
Şamandıralı Cihazlar :	172
Şarj Amplifikatörü :	270
Schaffer Basınç Ölçeri :	261
Şok Ölçümü :	213
T	
Tanecik Ölçümü :	313
Target Flometre :	34
Tel Geyçler :	145
Termistör Geyç :	304
Termokupl Geyç :	301
Tipik Algılayıcılar :	207
Titreşim :	185
Titreyen Tel Strengencyi :	154
Toplam Enerji :	11
Türbin Akım Ölçer :	77
Türbin Sayaç :	47, 53

	Sayfa
U	
Ultrasonik Akım Ölçer	58
Uzama	142
Oranı	142
Telleri	143
Uzunluk	107
V	
Vakum	295
Ölçüm Sistemleri	295
Y	
Yay Dengesi	221
Yıkama	341
Santrifij	342
Yoğunluk	231
Ölçümü	231, 334, 242
Bağıl Ölçer	232

TÜRKİYE HARİTASI



ÖĞRETMEN MARŞI

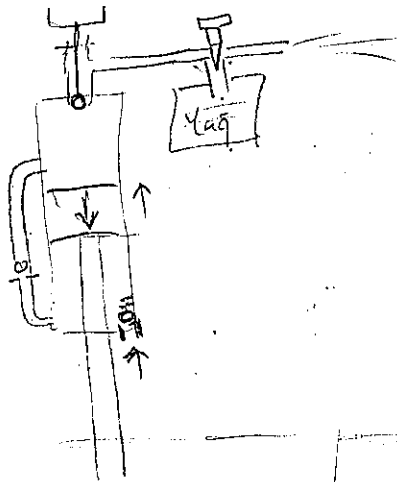
Alnımızda bilgilerden bir çelenk,
Nura doğru can atan Türk genciyiz.
Yeryüzünde yoktur, olmaz Türk'e denk;
Korku bilmez soyumuz.

Şanlı yurdum, her bucağın şanla dolsun;
Yurdum, seni yüceltmeye andlar olsun.

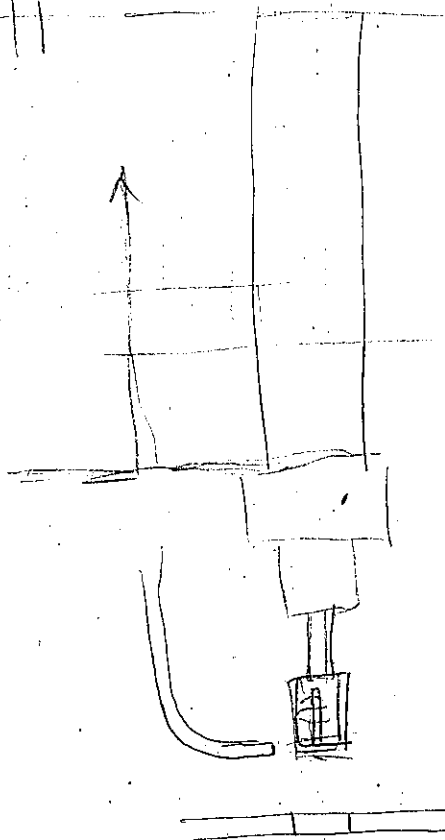
Candan açtık cehle karşı bir savaş,
Ey bu yolda and içen genç arkadaş!
Öğren, öğret halka hakkı, gürle coş;
Durma durma koş.

Şanlı yurdum, her bucağın şanla dolsun;
Yurdum, seni yüceltmeye andlar olsun.

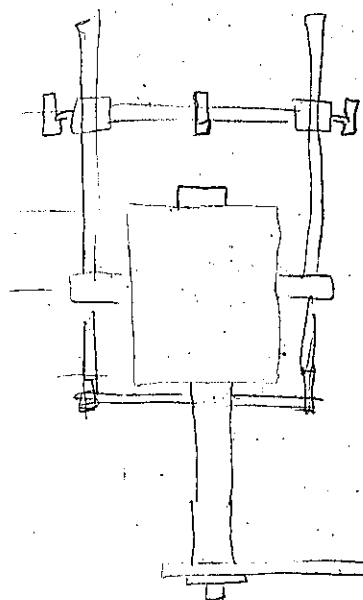
İsmail Hikmet ERTAYLAN



10



0



100

Satış Fiyatı: 92.000

KDV:

KDV'li SATIŞ FİYATI:

550000

TOPTAN SATIŞ

İstanbul Devlet Kitapları Müdürlüğü, Adana, Ankara, Elazığ,
Erzurum, İzmir, Samsun, Trabzon ve Van Bölge Şeflikleri.

PERAKENDE SATIŞ

Milli Eğitim Yayınevleri ve Bakanlık yayınları satıcısı kitapçılar.