

ÖLÇME TEKNİĞİ



Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU

ÖNSÖZ

Ölçme, günlük hayatımızın ve endüstriyel uygulamaların kaçınılmaz işlemlerinden olup, teknolojinin gelişmesiyle birlikte önemi giderek artmaktadır. Ölçme tekniğinde kullanılan temel SI birimleri, uzunluk (m), kütle (kg), zaman (s), sıcaklık (K), elektrik akımı (A), ışık şiddeti (cd), madde miktarı (mol) ve bunlardan türetilen kuvvet, basınç, güç gibi birimler hayatımızın her anında yer almaktadır. Fiziksel büyüklüklerin ölçülebilmesi ve kontrol edilebilmesi amacıyla çok farklı alet, cihaz ve yöntemler geliştirilmiştir. Elektronik, optik ve ultrasonik yöntemlerin geliştirilmesi ve kullanımını her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu yüzden ölçme alet ve cihazlarının çalışma prensipleri arasında da büyük farklılıklar vardır. Bu prensiplerin hepsine hakim olmak zor olduğu için, cihaz ve aletlerin çalışma prensipleri açıklanırken genel prensipler üzerinde durularak, ince detaylara girilmemiştir.

Kitap, mekanik ölçümler ağırlıklı olmak üzere, makine, mekatronik, imalat ve otomotiv alanlarında eğitim gören önlisans ve lisans öğrencileri için hazırlanmıştır. Birinci bölümde ölçme tekniğine genel bir giriş yapılmış ve temel kavramlar açıklanmıştır. Günümüzde hala büyük televizyon kanallarında ve bazı Türkçe literatürde, zaman birimi saniye (s) yerine (sn) ve gram (g) yerine (gr) yazılmaktadır. Bu yüzden teknik insanlar arasında aynı dili konuşmak amacıyla, ikinci bölümde SI birim sistemi üzerinde durulmuştur. Diğer bölümlerde sırasıyla, ölçüm sonuçlarının hata ve belirsizlik analizleri, uzunluk ölçümü, ISO tolerans sistemi, kontrol masterları, birim uzama, gerilme, sertlik, kuvvet, moment, devir sayısı, yüzey pürüzlülüğü, titreşim, gürültü, basınç, sıcaklık, akış ve seviye ölçüm yöntemleri açıklanmaya çalışılmıştır. Son bölümde ise ölçüm raporu hazırlanması üzerinde durulmuş ve iki adet örnek verilmiştir. Konuların daha iyi anlaşılması amacıyla bazı bölüm sonlarına çözümlü problemler eklenmiştir.

Şekil ve grafikler AutoCAD ve SolidWorks ortamında çizilmiştir. Resimlerin çizilmesinde büyük katkısı olan lisans öğrencilerime, bilgi paylaşımı ve kitabın renkli basılmasındaki katkılarından dolayı Mega Danışmanlık Temsilcilik Dış Tic. A.Ş.'ne ve kitabın basımını gerçekleştiren Birsen Yayınevi'ne çok teşekkür ederim. Kavram ve yazım hatalarının tarafıma bildirilmesinden memnuniyet duyarım. Kitabın teknik eğitim alan öğrencilere, ilgili mühendislere ve teknik elemanlara faydalı olmasını dilerim.

Nisan 2016, Denizli

Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU
Pamukkale Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Kınıklı Kampüsü / DENİZLİ
e-posta: tsekerci@pau.edu.tr

İÇİNDEKİLER

Bölüm Adı	Sayfa
1 GİRİŞ	1
1.1 Ölçme, Kalite ve Kontrol	1
1.2 Ölçmenin Tarihsel Gelişimi	2
1.3 Ölçme Çeşitleri	5
1.4 Ölçmede Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	5
1.5 Ölçme ile İlgili Tanımlar	6
1.6 Ölçme Sistemleri	11
1.7 Statik ve Dinamik Ölçme	12
2 SI BİRİM SİSTEMİ	14
2.1 Uluslararası Birim Sistemi	14
2.2 Temel SI Birimleri	15
2.3 Türetilmiş SI Birimleri	18
2.4 SI Birim ve Sembollerinin Yazım Kuralları	20
2.5 Çözümlü Problemler	22
3 ÖLÇÜM SONUÇLARININ ANALİZİ	23
3.1 Ölçüm Hatası	23
3.2 Ölçmede Hatayı Etkileyen Faktörler	24
3.3 Ölçmede Hata Çeşitleri	25
3.4 Standart Sapma	26
3.5 Hata Analizi	27
3.5.1 Akılcı Yaklaşım	28
3.5.2 Belirsizlik Analizi	28
3.6 Normal Hata Dağılımı	30
3.7 Chauvenet Kriteri	32
3.8 En Küçük Kareler Yöntemi	33
3.8.1 Korelasyon Katsayısı	35
3.8.2 Excel Programı ile Regresyon Analizi	35
3.9 Çözümlü Problemler	38
4 UZUNLUK ÖLÇÜMÜ	43
4.1 Uzunluk Ölçme Aletleri	43
4.2 Uzunluk Ölçümünde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	44
4.3 Uzunluk Birimleri	45
4.4 Kumpaslar	46
4.4.1 Metrik Kumpaslar	48
4.4.2 İnç Kumpaslar	53

4.5 Mikrometreler	57
4.5.1 Metrik Mikrometreler	60
4.5.2 İnç Mikrometreler	62
4.6 Hassas Markalama, Yükseklik ve Eksen Ölçümü	64
4.7 Komparatörler	65
4.8 İndikatörler	70
4.9 Açıölçerler	71
4.9.1 Bölüntüsüz Sabit Açıölçerler (Gönye)	72
4.9.2 Basit Bölüntülü Açıölçerler	72
4.9.3 Verniyer Bölüntülü Açıölçerler	72
4.9.4 Dijital Açıölçerler	74
4.10 Lazer ile Uzunluk Ölçümü	74
4.11 Çözümlü Problemler	74
5 ISO TOLERANS SİSTEMİ	81
5.1 Boyut Toleransları	81
5.1.1 Tanımlar	81
5.1.2 Tolerans Çizelgeleri	84
5.2 Geometrik Toleranslar	89
5.2.1 Tanımlar	89
5.2.2 Geometrik Tolerans Sembolleri	90
5.2.3 Geometrik Tolerans Örnekleri	95
5.3 Geometrik Toleransların Kontrolü	97
5.4 Çözümlü Problemler	99
6 KONTROL MASTARLARI	104
6.1 Master	104
6.2 Blok Masterlar (Johnson Masterı)	104
6.3 Sınır ve Profil Masterları	106
6.3.1 Kalınlık - Aralık Masterları (Sentil)	106
6.3.2 Çatal Masterlar	107
6.3.3 Tampon Masterlar	107
6.3.4 Vida Masterları	108
6.3.5 Radyüs ve Profil Masterları	110
6.3.6 Özel Masterlar	110
6.4 Pnömatik Master ile Boyut Kontrolü	111
6.5 Çözümlü Problemler	113
7 BİRİM UZAMA VE GERİLME ÖLÇÜMÜ	115
7.1 Giriş	115
7.2 Çekme Eğrisi ve Hooke Kanunu	115
7.3 Strain Gage	117
7.3.1 Strain Gage'in Yapısı	118

7.3.2 Strain Gage Çeşitleri	119		
7.3.3 Strain Gage'lerin Yapıştırılması	119		
7.3.4 Strain İndikatör ve Wheatstone Köprüsü	120		
7.3.5 Sıcaklık Dengeme	123		
7.3.5.1 Aktif - Dummy Yöntemi	123		
7.3.5.2 Sıcaklık Dengeleme Özellikli Gage	124		
7.3.5.3 Bağlantı Kablolarında Sıcaklık Dengelemesi	124		
7.4 Ekstensometreler (Uzama Ölçerler)	125		
7.5 Çözümlü Problemler	127		
8 SERTLİK ÖLÇÜMÜ	131		
8.1 Giriş	131		
8.2 Sertlik Ölçüm Yöntemleri	133		
8.2.1 Statik Yöntemler	133		
8.2.1.1 Brinell Sertlik Ölçümü	133		
8.2.1.2 Rockwell Sertlik Ölçümü	136		
8.2.1.3 Vickers Sertlik Ölçümü	139		
8.2.1.4 Mikrosertlik Ölçme Yöntemleri	141		
8.2.1.4.1 MikroVickers Yöntemi	141		
8.2.1.4.2 Knoop Yöntemi	142		
8.2.2 Dinamik Yöntemler	142		
8.2.2.1 Darbeli Sertlik Ölçümü (Çekiçler)	143		
8.2.2.2 Geri Sıçramalı Sertlik Ölçümü	144		
8.2.2.2.1 Shore Skleroskobu	144		
8.2.2.2.2 Shore Duroskobu	145		
8.2.2.2.3 Durametre	146		
8.2.2.2.4 Leeb Yöntemi	147		
9 KUVVET, MOMENT VE DEVİR SAYISI ÖLÇÜMÜ	149		
9.1 Kuvvet	149		
9.2 Kuvvet Ölçümü	149		
9.2.1 Yay	149		
9.2.2 Elastik Malzeme	150		
9.2.3 Esnek Halka	151		
9.2.4 Strain Gage	151		
9.3 Piezoelektrik Malzeme	152		
9.4 Loadcell	152		
9.5 Döndürme Momenti (Tork)	153		
9.6 Döndürme Momenti Ölçümü	154		
9.6.1 Prony Freni	155		
9.6.2 Beşik Dinamometresi	155		
9.6.3 Tork Sensörleri (Torkmetre)	156		
9.7 Devir Sayısı Ölçümü	157		
9.7.1 Takometreler	157		
		9.7.2 Stroboskoplar	158
		9.8 Çözümlü Problemler	159
10 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ	160		
10.1 Yüzey Kalitesi	160		
10.2 Önemli Pürüzlülük Değerleri	161		
10.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazları	162		
10.3.1 İnterferometrik Mikroskop Yöntemi	163		
10.3.2 Profilometreler	164		
10.3.2.1 Bobinli	164		
10.3.2.2 Piezoelektrik Kristalli	165		
10.3.2.3 İnterferometrik Lazerli	166		
10.4 Pürüzlülük Değerlerinin Teknik Resimde Gösterilmesi	166		
10.5 Tolerans-Yüzey Kalitesi İlişkisi	169		
10.6 Çözümlü Problemler	170		
11 DIŞLI ÇARK ÖLÇÜMÜ	172		
11.1 Dişli Çarklar	172		
11.2 Dişli Çarklarda Temel Büyüklükler	173		
11.3 Dişli Kaliteleri	174		
11.4 Dişli Üretim Hataları	175		
11.5 Dişli Kumпасı	176		
11.6 Dişli Mikrometreleri	177		
11.7 Komparatör ile Kontrol	178		
11.8 Dişli Test Makineleri	179		
12 TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMÜ	184		
12.1 Tanımlar	184		
12.2 Titreşim Ölçerler	185		
12.2.1 Cihaz ve Problar	185		
12.2.2 Akselerometreler (İvme Ölçerler)	186		
12.2.2.1 Kapasitif İvme Ölçerler	186		
12.2.2.2 Piezoelektrik İvme Ölçerler	187		
12.2.2.3 MEMS İvme Ölçerler	189		
12.3 Makinelerde Titreşim	189		
12.4 Gürültü Ölçümü	191		
12.4.1 Tanımlar	191		
12.4.2 Gürültünün Sınıflandırılması	192		
12.5 Gürültü Ölçüm Cihazları	193		
12.5.1 Ses Seviyesi Ölçerler (Sonometre)	193		
12.5.2 Dozimetreler	194		
12.5.3 Sürekli Ölçüm ve İzleme Sistemleri	195		

13 BASINÇ ÖLÇÜMÜ

13.1 Basınç ve Birimleri	196
13.2 Basınç Ölçüm Alanları	196
13.3 Basınç Transduserleri	198
13.4 Basınç Ölçerler	198
13.4.1 Sıvı Sütunlu Basınç Ölçerler	199
13.4.1.1 U Tipi Manometre	200
13.4.1.2 Kuyu Tipi Manometre	200
13.4.1.3 Eğik Manometre	200
13.4.1.4 Genişletilmiş Borulu Manometre	201
13.4.1.5 Mikro Manometre	201
13.4.1.6 Barometre	201
13.4.2 Elastik Elemanlı Basınç Ölçerler	202
13.4.2.1 Bourdon Tüplü Basınç Ölçer	202
13.4.2.2 Diyafram, Kapsül ve Körük Tip Manometreler	202
13.4.3 Elektrik Sinyali ile Basınç Ölçerler	203
13.4.3.1 Piezoelektrik Basınç Ölçer	206
13.4.3.2 Strain Gage ile Basınç Ölçümü	206
13.4.3.3 LVDT Basınç Ölçer	207
13.4.3.4 Kapasitif Basınç Ölçer	207
13.4.3.5 Bridgman Basınç Ölçer	208
13.5 Vakum Ölçümü	208
13.5.1 McLeod Vakum Ölçer	209
13.5.2 Knudsen Vakum Ölçer	209
13.5.3 Pirani Vakum Ölçer	210
13.5.4 İyonizasyonlu Vakum Ölçer	210
13.5.5 Alphanon Vakum Ölçer	211
13.6 Ölü Ağırlık Test Cihazı	212

14 SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

14.1 Giriş	214
14.2 Termometreler	216
14.2.1 İdeal Gaz Termometresi	216
14.2.2 Sıvı Genleşmeli Cam Termometreler	217
14.2.3 Gaz ve Sıvılı Basınç Termometreleri	218
14.2.4 Metal Termometreler	219
14.2.5 Elektrik Direnç Termometreleri	220
14.2.6 Termistörler	222
14.2.7 Isıl Çiftler (Termokupl)	223
14.2.8 Elektrik Direnç Termometrelerinin Karşılaştırılması	226
14.3 Pirometreler	227
14.3.1 Radyasyon Pirometresi	227
14.3.2 Optik Pirometre	227

14.3.3 Termal Kameralar (Infrared Termografi)	228
14.4 Sıvı Kristalli Termometreler	230

15 AKIŞ VE SEVİYE ÖLÇÜMÜ

15.1 Akışkanlar	232
15.2 Debi Ölçümü	233
15.2.1 Pozitif Yer Değiştirme Yöntemleri	234
15.2.1.1 Eliptik Dişli Debimetre	234
15.2.1.2 Paletli Akış Ölçerler	235
15.2.1.3 Döner Diskli Akış Ölçerler	235
15.2.1.4 Türbin Tipi Debi ve Hız Ölçerler	236
15.2.2 Basınç Farkı ile Hız ve Debi Ölçümü	236
15.2.2.1 Venturimetre	238
15.2.2.2 Lüle	239
15.2.2.3 Orifis	239
15.2.3 Rotametreler	240
15.2.4 Pitot Tüpü	241
15.2.5 Elektromanyetik Akış Ölçer	242
15.2.6 Vorteksmetre	243
15.2.7 Coriolis Debimetreler	243
15.3 Anemometreler	244
15.3.1 Kızgın Tel - Levha Anemometresi	244
15.3.2 Pervaneli Anemometre	245
15.3.3 Lazer Doppler Anemometresi (LDA)	245
15.3.4 Parçacık Görüntüleme Anemometresi (PGA)	246
15.4 Viskozite Ölçümü	247
15.4.1 Viskozite Birimleri	248
15.4.2 Viskozite Ölçüm Yöntemleri	250
15.4.2.1 Dönme Hareketi ile Çalışan Viskometre	251
15.4.2.2 MacMichael Viskometresi	252
15.4.2.3 Akış Kapları	252
15.4.2.4 Düşen Top Viskometresi	252
15.4.2.5 Titreşimli Viskometre	253
15.4.2.6 Saybolt Viskometre	253
15.4.2.7 Engler Viskometre	254
15.4.2.8 Kılcal Borulu Viskometre	255
15.5 Seviye Ölçümü	256
15.5.1 Bölüntülü Cam Çubuk ve Gözetleme Camları	256
15.5.2 Kuvvet ve Basınç Etkisi ile Seviye Ölçümü	257
15.5.3 Hidrolik Yöntem ile Seviye Ölçümü	258
15.5.4 Manyetik Yöntem ile Seviye Ölçümü	259
15.5.5 Elektriksel Yöntemler ile Seviye Ölçümü	260
15.5.6 Titreşim ile Seviye Ölçümü	260
15.5.7 Ultrasonik Seviye Ölçümü	261

16	ÖLÇÜM RAPORU	
	16.1 Giriş	263
	16.2 Ölçüm Raporunun İçeriği	263
	16.3 Rapor Örnekleri	264
		265
	KAYNAKLAR	
		272
	EKLER	
		275
	EK - 1 Temel ve Türetilmiş SI Birimleri (Özet)	275
	EK - 2 SI Sistemi Dışında Kullanılan Birimler	276
	EK - 3 Bazı Fizik Sabitleri	279
	EK - 4 SI Birimleri ile Birlikte Kullanılan Ön Ekler	280
	EK - 5 Yunan Alfabeti	281
	EK - 6 Standart Normal Dağılım Çizelgesi	282
	EK - 7 Sertlik Karşılaştırma Çizelgesi	284
	EK - 8 ISO VG Yağları İçin Kinematik ve Dinamik Viskozite Hesapları	287
	EK - 9 Makinelere İzin Verilen Titreşim Hızları	288
		289
	DİZİN	
		289