

# METROLOJİ



# METROLOJİ

---

© TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü  
Bu yapının bütün hakları TÜBİTAK UME'ye aittir. TÜBİTAK UME'nin izni olmadan hiçbir bölümü kopya edilerek  
çoğaltılamaz. Kaynak gösterilmek şartı ile kitaptan alıntı yapılabilir.



# METROLOJİ

## ***Metroloji***

1. Basım, Şubat 2013 (1000 adet)

ISBN 978-975-403-731-9

© TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü

Bu yapının bütün hakları TÜBİTAK UME'ye aittir. TÜBİTAK UME'nin izni olmadan hiçbir bölümü kopya edilerek çoğaltılamaz. Kaynak gösterilmek şartı ile kitaptan alıntı yapılabilir.

TÜBİTAK UME

TÜBİTAK Gebze Yerleşkesi

Barış Mah., Dr. Zeki Acar Cad. No:1

41470 Gebze – Kocaeli

Tel : (262) 679 50 00

Faks : (262) 679 50 01

E-posta : ume@tubitak.gov.tr

www.ume.tubitak.gov.tr

Sayfa Tasarımı : Sema SUBAT

Kapak Tasarımı: Uğur AKKAYA

Baskı:

Promat Basım Yayın San. ve Tic. A.Ş.

Sanayi Mah. 1673 Sok. No.34

Esenyurt – İstanbul

Tel : (212) 622 63 63

Faks : (212) 605 07 98

E-posta : info@promat.com.tr

www.promat.com.tr

# İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	i
ŞEKİLLER .....	v
TABLolar .....	xvi
ÖNSÖZ .....	1
<b>1. METROLOJİ .....</b>	<b>3</b>
1.1. Metrolojiye Giriş .....	3
1.2. Tarihçe .....	3
<b>2. METROLOJİ TERİMLERİ VE KAVRAMLARI .....</b>	<b>16</b>
2.1. Temel Terim ve Kavramlar .....	16
2.2. Yasal Metroloji ile İlgili Terim ve Kavramlar .....	21
<b>3. ULUSLARARASI METROLOJİ SİSTEMİ .....</b>	<b>23</b>
3.1. Bilimsel Metroloji .....	23
3.1.1 Metre Konvansiyonu ve Uluslararası Yapılanma .....	23
3.1.2 BIPM .....	24
3.1.3 Bölgesel Metroloji Organizasyonları .....	24
3.1.4 Ulusal Metroloji Enstitüleri .....	26
3.1.5 Yetkilendirilmiş Enstitüler .....	26
3.1.6 Karşılıklı Tanıma Düzenlemesi (MRA) .....	27
3.2. Endüstriyel Metroloji .....	28
3.2.1 Kapsam Alanları .....	28
3.2.2 İzlenebilirlik .....	28
3.2.3 Akreditasyon .....	28
3.2.4 Uluslararası Laboratuvarlar Akreditasyon Birliği (ILAC) .....	28
3.2.5 Bölgesel Akreditasyon Organizasyonları .....	29
3.2.6 Ulusal Akreditasyon Kuruluşları .....	30
3.2.7 Çok Taraflı Anlaşma (MLA) .....	30
3.3. Yasal Metroloji .....	31
3.3.1 Yasal Metrolojinin Kapsam Alanları .....	33
3.3.2 Uluslararası Yasal Metroloji Organizasyonu (OIML) .....	33
3.3.3 Yasal Metrolojiyle İrtibat Halinde Olan Organizasyonlar .....	34
3.3.4 Karşılıklı Kabul Düzenlemesi .....	34
3.3.5 Piyasa Gözetimi ve Denetimi .....	36
<b>4. TÜRKİYE'DE METROLOJİ İLE İLGİLİ ORGANİZASYONLAR .....</b>	<b>39</b>
4.1. TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) .....	40
4.2. Metroloji ve Standardizasyon Genel Müdürlüğü .....	42
4.3. Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) .....	43
4.4. Türk Standardları Enstitüsü (TSE) .....	45
<b>5. ULUSLARARASI BİRİMLER SİSTEMİ (SI) .....</b>	<b>46</b>
5.1. Temel Birimler .....	46
5.2. Türetilmiş Birimler .....	47
5.3. Diğer Birimler .....	50

5.4.	Birim Sembolleri ve Yazım Kuralları .....	52
5.5.	Sayısal Gösterim .....	52
<b>6.</b>	<b>ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ</b> .....	<b>53</b>
6.1.	Genel Tanımlar ve Kavramlar .....	55
6.2.	Bileşik Standart Ölçüm Belirsizliği .....	67
6.3.	Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği .....	67
6.4.	Ölçüm Sonuçlarının Raporlanması .....	68
<b>7.</b>	<b>ÖLÇÜM ALANLARI</b> .....	<b>70</b>
7.1.	UZUNLUK ÖLÇÜMLERİ .....	70
7.1.1	UZUNLUK .....	70
7.1.1.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	70
7.1.1.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	73
7.1.2	AÇI .....	127
7.1.2.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	127
7.1.2.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	127
7.2.	ZAMAN VE FREKANS ÖLÇÜMLERİ .....	133
7.2.1.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	133
7.2.1.2	Ölçüm Standartları .....	137
7.3.	SICAKLIK VE NEM ÖLÇÜMLERİ .....	145
7.3.1	SICAKLIK .....	145
7.3.1.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	146
7.3.1.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	146
7.3.2	NEM .....	160
7.3.2.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	160
7.3.2.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	162
7.4.	ELEKTRİK VE MANYETİZMA ÖLÇÜMLERİ .....	169
7.4.1	AKIM .....	169
7.4.1.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	169
7.4.1.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	173
7.4.2	GERİLİM .....	180
7.4.2.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	180
7.4.2.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	184
7.4.2.3	Yüksek Gerilim Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	201
7.4.3	DİRENÇ .....	208
7.4.3.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	208
7.4.3.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	215
7.4.3.3	AC Direnç Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	224
7.4.3.4	AC Direnç Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	226
7.4.4	İNDÜKTANS .....	227
7.4.4.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	227
7.4.4.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	232
7.4.5	KAPASİTANS .....	235
7.4.5.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	237
7.4.5.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	241

7.4.6	ELEKTRİKSEL GÜÇ VE ENERJİ .....	245
7.4.6.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	245
7.4.6.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	247
7.4.7	RF GÜÇ .....	256
7.4.7.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	256
7.4.7.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	258
7.4.8	ELEKTRİK YÜKÜ .....	264
7.4.8.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	264
7.4.8.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	265
7.4.9	MANYETİK ALAN VE MANYETİK AKI YOĞUNLUĞU .....	266
7.4.9.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	266
7.4.9.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	272
7.4.10	ELEKTRİK ALAN .....	278
7.4.10.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	278
7.4.10.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	283
7.5.	KÜTLE VE TÜRETİLMİŞ BÜYÜKLÜKLERİN ÖLÇÜMLERİ .....	296
7.5.1	KÜTLE .....	296
7.5.1.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	296
7.5.1.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	302
7.5.2	KUVVET.....	309
7.5.2.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	309
7.5.2.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	314
7.5.3	HACİM VE YOĞUNLUK.....	318
7.5.3.1	Hacim SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı.....	318
7.5.3.2	Yoğunluk SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	319
7.5.3.3	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	321
7.5.4	VİSKOZİTE .....	327
7.5.4.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	327
7.5.4.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	331
7.5.5	TORK.....	339
7.5.5.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	340
7.5.5.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	344
7.5.6	SERTLİK.....	348
7.5.6.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	348
7.5.6.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	351
7.5.7	BASINÇ.....	367
7.5.7.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	367
7.5.7.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	370
7.5.7.3	Vakum Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	385
7.6.	FOTOMETRİK VE RADYOMETRİK ÖLÇÜMLER .....	393
7.6.1	IŞIK ŞİDDETİ .....	393
7.6.1.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	393
7.6.1.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	396
7.6.2	IŞIK AKISI .....	400

7.6.2.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	400
7.6.2.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	401
7.6.3	AYDINLIK DÜZEYİ.....	405
7.6.3.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	405
7.6.3.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	405
7.6.4	PARILTI .....	407
7.6.4.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	407
7.6.4.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	407
7.6.5	OPTİK GÜÇ .....	410
7.6.5.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	410
7.6.5.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	411
7.6.6	IŞINIM DÜZEYİ.....	419
7.6.6.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	419
7.6.6.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	419
7.6.7	IŞIMA.....	423
7.6.7.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	423
7.6.7.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	423
7.7.	AKIŞKAN ÖLÇÜMLERİ.....	426
7.7.1	DEBİ .....	426
7.7.1.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	426
7.7.1.2	Gaz Akışı Ölçüm Standartları ve Yöntemleri .....	427
7.7.1.3	Sıvı Akışı Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	432
7.8.	AKUSTİK, ULTRASONİK VE TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ .....	448
7.8.1	AKUSTİK - SES BASINCI .....	448
7.8.1.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	448
7.8.1.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	454
7.8.2	ULTRASONİK GÜÇ .....	457
7.8.2.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	457
7.8.2.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	457
7.8.3	TİTREŞİM - İVME .....	463
7.8.3.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi ve Dağıtımı .....	464
7.8.3.2	Ölçüm Standartları ve Yöntemleri.....	473
7.9.	KİMYASAL METROLOJİ.....	476
7.9.1	MADDE MİKTARI.....	476
7.9.1.1	SI Biriminin Tanımı, Elde Edilmesi .....	476
7.9.2	KİMYASAL ÖLÇÜMLERDE KALİTE .....	478
7.9.2.1	Kimyasal Ölçümlerde Kalitenin Sağlanması .....	478
7.9.2.2	Metodun Geçerli Kılınması .....	480
7.9.2.3	Kimyasal Ölçümlerde Belirsizlik Hesaplaması .....	487
7.9.2.4	Kimyasal Ölçümlerde İzlenebilirliğin Sağlanması.....	492
7.9.2.5	Sertifikalı Referans Malzemeler.....	494
8.	KAYNAKLAR .....	497
	DİZİN.....	508

# ŞEKİLLER

Şekil 1. Royal Cubit .....	4
Şekil 2. Metre Konvansiyonu belgesindeki Osmanlı Devleti adına Miralay Hüsnü Bey'in imzası.....	5
Şekil 3. Yazılı ilk standart niteliğini taşıyan Kanunname-i İhtisab-ı Bursa fermanı .....	6
Şekil 4. Metre Konvansiyonuna göre metrolojideki uluslararası yapılanma.....	24
Şekil 5. Kütle için metrolojide ölçüm standartları hiyerarşisi .....	31
Şekil 6. OIML ile irtibat halinde olan uluslararası, bölgesel ve diğer organizasyonlar .....	35
Şekil 7. Ülkelerin kalite alt yapıları için önemli unsurlar .....	39
Şekil 8. Metroloji ile ilgili organizasyonlar .....	39
Şekil 9. CIPM MRA'e üye ülkeler .....	42
Şekil 10. EA ve MLA üyesi ülkeler.....	44
Şekil 11. ILAC MRA üyesi ülkeler.....	44
Şekil 12. Karşılaştırma sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	54
Şekil 13. Ölçüm sonucunun değerlendirilmesi .....	55
Şekil 14. Ölçüme ait devre şeması.....	57
Şekil 15. Ölçüm kesinliği, ölçüm doğruluğu ve ortalama değerin gösterimi.....	59
Şekil 16. Ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterim .....	64
Şekil 17. Metrenin tanımı ile endüstriyel uygulamalar arasındaki izlenebilirliği özetleyen akış diyagramı	71
Şekil 18. Uzunluk ölçümleri izlenebilirlik zinciri (% 95, k=2).....	72
Şekil 19. Ölçüm skalası üzerinde boyutsal metrolojisi uygulama alanları.....	73
Şekil 20. SI birimlerinin zaman birimi saniye ile bağlantısı ve türetilmesi .....	75
Şekil 21. Yıllara göre mikrodalga ve optik standartlardaki gelişmeler .....	75
Şekil 22. Lazer rezonatörünün blok şeması ve He-Ne/ $I_2$ lazerinin görüntüsü.....	76
Şekil 23. Lazer frekansının, atomların enerji geçişlerine kilitlenmesi deneyinin blok şeması .....	77
Şekil 24. Lazer frekanslarına uygun gelen atom ve molekülerin rezonans kalite faktörleri. ....	78
Şekil 25. Lazer frekansının, interferometre boyutuna kilitlenmesi deneyinin blok şeması.....	78
Şekil 26. İki lazer frekans farkının "beat" deneyi tekniği ile ölçülmesi .....	79
Şekil 27. İki Nd:YAG/ $I_2$ lazerinin frekans kararlılığının ortalama zamana göre değişimi.....	80
Şekil 28. İki He-Ne/ $I_2$ lazerinin frekans kararlılığının ortalama zamana göre değişimi.....	81
Şekil 29. fs COMB temelli lazer mutlak frekans ölçüm sisteminin blok şeması .....	81
Şekil 30. Ti:Sa femtosaniye COMB lazerinin görüntüsü .....	82
Şekil 31. Master blokları .....	83
Şekil 32. İnterferometrik ölçüm için hazırlanmış master blokları (Platenlara yapıştırılmış).....	83
Şekil 33. Master bloklarının sınıfları ve aralarındaki farklar .....	84
Şekil 34. Master blok interferometresi kullanarak master blok kalibrasyonu .....	85
Şekil 35. Master blok komparatörleri kullanarak master blok kalibrasyonu .....	85
Şekil 36. Master bloklarının sınıflarına göre kullanımı ve izlenebilirliğin aktarımı.....	86
Şekil 37. Master blok yüzeylerinde meydana gelen hasarlar ve tespiti.....	87
Şekil 38. Master blok boyunca gönderilen Lazer ışını.....	88
Şekil 39. Master blok boyundaki ışığın dalgaboyunun ( $\lambda$ ) tam (N) ve kesirli kısımlarının ( $\Delta l$ ) hesaba katılarak master bloğun boyunun (L) elde edilmesi.....	88
Şekil 40. (a) Michelson İnterferometresi ışın optik yolları (b) Twyman-Green prensibine göre çalışan Master Blok İnterferometresi .....	89
Şekil 41. UME Köster uzun master blok interferometresi ve frekansı kararlı lazerler .....	90
Şekil 42. Düz, küresel ve bozulmuş ilerleyen dalga yüzleri.....	91
Şekil 43. Twyman-Green interferometresi.....	92

Şekil 44. Fizeau interferometresi .....	92
Şekil 45. Mach-Zehnder interferometresi .....	92
Şekil 46. Referans düz yüzey ile karşılaştırılarak elde edilmiş düz bir yüzeye ait .....	93
Şekil 47. Zygo Verifire AT Düzlemsellik İnterferometresi ve ölçümün şematik görüntüsü .....	94
Şekil 48. Zygo Verifire AT Düzlemsellik İnterferometresi ve ölçümün şematik görüntüsü .....	94
Şekil 49. Sıfır saçak indirgeme işlemi.....	95
Şekil 50. Zygo Verifire At İnterferometresi ile ölçülen optik bir düzlemin MetroPro yazılımı görüntüsü.....	95
Şekil 51. PV ve rms değerlerinin şematik gösterimi .....	96
Şekil 52. Optik referans yüzeyin paralellik ayarı yapılmamış saçak görüntüsü. ....	96
Şekil 53. Yüzeyin herhangi bir kesiti alınarak bu kesit boyunca yüzeyin profili.....	96
Şekil 54. Bir kusurlu yüzey üzerinde alınan interferans saçakları .....	97
Şekil 55. Bir kusurlu yüzey üzerinde alınan saçakların işlenmiş yüzey görüntüsü .....	97
Şekil 56. Üzerinde kanallar oluşmuş bir yüzeyden alınan saçakların işlenmiş yüzey görüntüsü.....	97
Şekil 57. Farklı tip mikrometreler .....	98
Şekil 58. Optik cam ile ölçüm çeneleri paralellik ölçümü.....	98
Şekil 59. Kumpaslar.....	99
Şekil 60. Farklı tip mihengirler .....	99
Şekil 61. Farklı tip ve şekildeki ölçü saatleri .....	100
Şekil 62. Çap standartları .....	101
Şekil 63. Halka, küre ve pim masterlar .....	101
Şekil 64. Atölye masterları.....	102
Şekil 65. UME üniversal ölçüm cihazı .....	103
Şekil 66. Lazer interferometre ile çap ölçümleri (UME).....	103
Şekil 67. Bir silindir veya kürenin yuvarlaklık profili (radyal sapmalar yüzlerce kez büyütülmektedir) .....	104
Şekil 68. Düz bir yüzeyin doğrusallık ölçümü .....	105
Şekil 69. Silindirik bir parçanın karşılıklı yüzeylerinin birbirine paralelliği.....	105
Şekil 70. Yuvarlaklık parametresi ve teknik resimde gösterimi .....	106
Şekil 71. Doğrusallık parametresi ve teknik resimde gösterimi.....	106
Şekil 72. Paralellik parametresi ve teknik resimde gösterimi .....	106
Şekil 73. Diklik parametresi ve teknik resimde gösterimi .....	106
Şekil 74. Sınıf 1'den 4'e kadar yüzey sapmaları .....	107
Şekil 75. Form ölçüm cihazı .....	108
Şekil 76. Form ölçümlerinde izlenebilirlik zinciri .....	109
Şekil 77. Form ölçüm cihazını kalibre etmekte kullanılan standartlar .....	109
Şekil 78. Bir flick standart ölçüm profili (Radyal sapmalar yüzlerce kez büyütülmüştür.) .....	110
Şekil 79. Sabit köprülü CMM .....	111
Şekil 80. Kolon CMM .....	111
Şekil 81. Hareketli mesnetli yatay kollu CMM .....	112
Şekil 82. Gantry CMM .....	112
Şekil 83. L-Şeklinde köprülü CMM .....	113
Şekil 84. Hareketli köprülü CMM .....	113
Şekil 85. Köprülü tip CMM .....	113
Şekil 86. CMM kalibrasyonunda kullanılan özel masterlar .....	114
Şekil 87. $R_a$ parametresi .....	115
Şekil 88. $R_z$ ve $R_{max}$ parametreleri .....	115
Şekil 89. Bir iş parçasının üzerinde pürüzlülüğün değerlendirileceği profilin tespiti.....	115
Şekil 90. Tipik bir pürüzlülük ölçüm grafiği .....	116
Şekil 91. İğne uçlu indüktif yüzey ölçüm cihazları .....	116

Şekil 92. Derinlik standartları.....	117
Şekil 93. Pürüzlülük standardı.....	117
Şekil 94. Pürüzlülük ölçümlerinde izlenebilirlik zinciri.....	118
Şekil 95. Pürüzlülük ölçüm düzeneğinde oluşan titreşim/gürültüyü .....	118
Şekil 96. Şerit metreler .....	119
Şekil 97. Atölye cetvelleri.....	119
Şekil 98. Tek ve iki boyutlu cam skala örnekleri.....	119
Şekil 99. Adım (stage) mikrometresi örnekleri ve kullanıldığı sertlik ölçme cihazı.....	120
Şekil 100. Linescale kullanılan 5 m BENCH ve form cihazı üzerindeki görünümü .....	120
Şekil 101. Optik okunmalı linescale ve linescale kullanabilen prob örnekleri .....	120
Şekil 102. Çözünürlük hedefleri.....	121
Şekil 103. Hassas cam skala.....	121
Şekil 104. Nanometrik skalalar .....	121
Şekil 105. Optik takımlama cihazları kullanımına örnek.....	122
Şekil 106. Her iki ekseninde ölçüm yapabilen mikrometrelere sahip ayar teleskopu ve her iki ekseninde ölçüm yapabilen optik mikrometre.....	123
Şekil 107. Cihazlarda bulunan hedef örnekleri ve her iki ekseninde ölçüm yapabilen optik mikrometre ...	123
Şekil 108. Kolimatörler.....	124
Şekil 109. Otomatik nivo, hassas nivo.....	124
Şekil 110. Otomatik nivolarda kompensatör sistemi .....	125
Şekil 111. Jig-Transit.....	125
Şekil 112. Elektronik teodolite .....	125
Şekil 113. Total station .....	125
Şekil 114. Radyanın tanımı .....	127
Şekil 115. Trigonometrik prensip ile uzunluk birimi "metre"den açı biriminin elde edilmesi.....	127
Şekil 116. Açı ölçümleri izlenebilirlik zinciri .....	128
Şekil 117. Dairenin bölünmesi ile açı biriminin elde edilmesi: Temel referans $2\pi$ radyan, tam daire .....	129
Şekil 118. Uzunluk biriminden açı birimi radyanın elde edilmesi .....	129
Şekil 119. Açı master blokları .....	130
Şekil 120. 12 yüzlü çelik poligon .....	130
Şekil 121. 1440 İndeks TABLA.....	130
Şekil 122. Otokolimatör .....	131
Şekil 123. Lazer interferometre açı optikleri .....	131
Şekil 124. Döner tabla .....	132
Şekil 125. Seviye ölçer .....	132
Şekil 126. Klinometre.....	132
Şekil 127. Açı ölçer, su terazisi ve gönye çok yaygın genel kullanıma sahip açı ekipmanlarıdır.....	132
Şekil 128. Evrensel Zaman Ölçeği (Universal Time Scale, UT1).....	133
Şekil 129. Ephemeris Zaman Ölçeği (ET).....	134
Şekil 130. $^{133}\text{Cs}$ Atomunun aşırı-ince yapısı (Hyperfine Structure).....	134
Şekil 131. Zaman frekans sistemi izlenebilirlik piramidi .....	135
Şekil 132. Uluslararası zaman bağlantı organizasyonu .....	136
Şekil 133. Koordineli Evrensel Zaman UTC'nın gerçekleştirilmesi ve izlenebilirliğin sağlanması .....	136
Şekil 134. Frekans standartları rezonatörleri.....	137
Şekil 135. a) İlk gerçekleştirilen atomik saat, b) Yonga ölçekli atomik osilatör .....	137
Şekil 136. Atomik frekans standardı.....	138
Şekil 137. Tek Yönlü zaman dağıtımı.....	139
Şekil 138. Çift Yönlü zaman dağıtımı. ....	139

Şekil 139. Ortak görüş yöntemi .....	139
Şekil 140. Doğrudan frekans ölçüm yöntemi düzeneği .....	142
Şekil 141. Faz ölçüm yöntemi düzeneği .....	143
Şekil 142. İki frekans standardının GPS sistemi ile karşılaştırılması .....	144
Şekil 143. Planck Işınım Kanunu .....	145
Şekil 144. ITS-90 uluslararası sıcaklık ölçeği .....	148
Şekil 145. ITS-90 UME sıcaklık ölçeği .....	149
Şekil 146. UME yapımı sabit nokta .....	149
Şekil 147. Suyun Üçlü Noktası (SÜN) faz diyagramı .....	150
Şekil 148. Standart platin direnç termometre .....	151
Şekil 149. Platin direnç termometre .....	152
Şekil 150. Termoelektrik akım devresi .....	153
Şekil 151. Platin bazlı ısılıçift örneğinde buz noktasının referans noktası olarak kullanılarak elektriksel bağlantılarının yapılması .....	154
Şekil 152. Siyah cisim kavitesi .....	156
Şekil 153. Siyah cisim kavitesi .....	157
Şekil 154. Radyasyon termometre iç yapısı .....	158
Şekil 155. Sıcaklık ölçümlerinde izlenebilirlik zinciri .....	159
Şekil 156. İki-basınç yöntemi ile çalışan nem kaynağı sistemi .....	163
Şekil 157. İki-sıcaklık yöntemi ile çalışan sistem .....	164
Şekil 158. İki-akış yöntemi ile çalışan sistem .....	164
Şekil 159. Tuz eriyikleri ile yapılan ölçüm .....	165
Şekil 160. Empedans bağıl nem sensörü ana bileşenleri .....	166
Şekil 161. Direnç bağıl nem sensörü ana bileşenleri .....	166
Şekil 162. Mekanik nem ölçer .....	166
Şekil 163. Rutubet ölçer .....	166
Şekil 164. Psikometre .....	167
Şekil 165. Nem ölçer izlenebilirlik zinciri .....	168
Şekil 166. SI Amper biriminin tanımı .....	171
Şekil 167. Mekanik birimler üzerinden elektriksel temel birim olan Amperin elde edilişi .....	171
Şekil 168. RMS değerleri aynı olan AC ve DC akım, aynı direnç üzerinde eşit ısı oluştur .....	172
Şekil 169. DC Akım şöntü ile DC akım kaynağı kalibrasyonu .....	173
Şekil 170. DC akım şöntü kullanılarak multimetrenin "DC akım" fonksiyonu kalibrasyonu .....	173
Şekil 171. DC akım izlenebilirliği .....	174
Şekil 172. Isıl-çift yapıları bir Isıl Çevirici .....	175
Şekil 173. Isıl Çevirici-Şönt .....	175
Şekil 174. Muhafazalanmış Isıl Çevirici .....	176
Şekil 175. Çok eklemlili Isıl çevirici .....	176
Şekil 176. Elektronik yapıları ısı çevirici .....	177
Şekil 177. Isıl Çevirici ile AC Akım kaynağı ölçüm sistemi .....	178
Şekil 178. AC akım izlenebilirliği .....	179
Şekil 179. Volt'un SI birimlerinde elde edilmesi .....	180
Şekil 180. RMS değerleri aynı olan AC ve DC gerilim, aynı direnç üzerinde eşit ısı oluştur .....	182
Şekil 181. Gerilim izlenebilirliğinin sanayide kullanılan ölçümlere aktarımı .....	183
Şekil 182. Doymuş Weston pilinin yapısı .....	184
Şekil 183. DC Josephson etkisi .....	186
Şekil 184. Josephson ekleminde oluşan sabit gerilim adımları (Shapiro adımları) .....	187
Şekil 185. Çeşitli zayıf eklem tipleri a) Nokta teması b) Mikroköprü c) Josephson eklemleri .....	188

Şekil 186. 1930-2000 yılları arasında DC gerilim ölçümlerinde uyum .....	189
Şekil 187. 10 Volt PTB dizisi çipi .....	190
Şekil 188. Konvansiyonel Josephson Gerilim Standardı Sistemi blok şeması .....	190
Şekil 189. DC gerilim standartlarının karşılaştırma yöntemi ile kalibrasyonu .....	191
Şekil 190. DC Gerilim Standartların karşılaştırılmasında kullanılan ölçüm sistemi.....	192
Şekil 191. Yalın bölücü .....	193
Şekil 192. Kelvin Varley Gerilim Bölücü yapısı.....	194
Şekil 193. Bir DC gerilim kalibratöründe PWMDAC .....	194
Şekil 194. DC gerilim izlenebilirliği .....	195
Şekil 195. Isıl-çift yapıları bir ısı çevirici .....	196
Şekil 196. Tek eklemli ısı gerilim çevirici .....	196
Şekil 197. Çok eklemli ısı çevirici .....	197
Şekil 198. Elektronik yapıları ısı çevirici.....	198
Şekil 199. Isıl çevirici ile AC gerilim ölçüm sistemi.....	199
Şekil 200. AC gerilim izlenebilirliği.....	200
Şekil 201. Dirençsel gerilim bölücünün temel eşdeğer devresi.....	201
Şekil 202. TÜBİTAK UME yapımı DC yüksek gerilim bölücü.....	202
Şekil 203. TÜBİTAK UME yapımı AC/DC tepe değer ölçüm cihazı.....	202
Şekil 204. Gerilim transformatörlerinin temel devreleri a) Endüktif b) Kapasitif .....	203
Şekil 205. Kapasitif gerilim bölücünün temel eşdeğer devresi .....	204
Şekil 206. TÜBİTAK UME yapımı AC yüksek gerilim bölücü.....	204
Şekil 207. Standart yıldırım darbe dalga formu (1,2/50 µs).....	205
Şekil 208. Standart anahtarlama darbe dalga formu (250/2500 µs) .....	205
Şekil 209. Darbe yüksek gerilim ölçümleri için küresel elektrot düzenleri.....	206
Şekil 210. Darbe yüksek gerilim bölücü .....	207
Şekil 211. Darbe yüksek gerilim kayıt cihazı .....	207
Şekil 212. Kuantum Hall Sisteminde platolar .....	209
Şekil 213. Yıllara göre, deneysel olarak 1 Ohm direncinin ve $(h/e^2)$ ifadesinin elde edilme belirsizliklerinin değişimi.....	210
Şekil 214. UME Kuantum Hall Sistemi .....	211
Şekil 215. Düşük sıcaklık akım karşılaştırma köprüsü devre şeması .....	211
Şekil 216. Akım karşılaştırma köprüsü devre şeması .....	212
Şekil 217. BVD ile yapılan ölçüm köprüsü.....	213
Şekil 218. Klasik Wheatstone köprüsü .....	214
Şekil 219. Değiştirilmiş Wheatstone köprüsü .....	214
Şekil 220. Reichsanstalt tipi dirençler.....	215
Şekil 221. Rosa tipi standart direncin yapısı .....	216
Şekil 222. SR104 10 kΩ direnç standardı .....	216
Şekil 223. İki uçlu direnç ölçüm yöntemi .....	217
Şekil 224. Dört uçlu direnç ölçüm yöntemi .....	218
Şekil 225. Kullanılan sistemin şematik gösterimi.....	219
Şekil 226. İletkenlik ölçüm düzeneği .....	220
Şekil 227. Numunenin boyutsal ölçümlerinin gerçekleştirilmesi.....	220
Şekil 228. Van der Pauw bağlantı tekniği.....	221
Şekil 229. Van der Pauw yönteminde alınan ölçümler .....	221
Şekil 230. Dört uçlu prob blok şema.....	221
Şekil 231. Girdap Akımı çalışma prensibi.....	222
Şekil 232. AC İletkenlik Standartları .....	223

Şekil 233. Bir cismin DC gerilim uygulandığında gösterdiği direnç .....	223
Şekil 234. İki terminalli AC direnç eşdeğeri .....	223
Şekil 235. Koaksiyel hesaplanabilir direnç yapısı .....	224
Şekil 236. Quadrifilar hesaplanabilir direnç yapısı .....	225
Şekil 237. Dört uçlu direnç eşdeğer devresi .....	225
Şekil 238. Dört uçlu ekranlı direnç eşdeğer devresi .....	225
Şekil 239. Hesaplanabilir Karşılıklı İndüktans standardı (Science Photo Library'den alınmıştır).....	227
Şekil 240. Paralel LC rezonans devresi .....	228
Şekil 241. Maxwell-Wien Köprüsü .....	229
Şekil 242. 3-gerilim yöntemi devre şeması.....	229
Şekil 243. İndüktans karşılaştırma köprüsü.....	230
Şekil 244. İndüktans biriminin hesaplanabilir kapasitörden elde edilmesi .....	231
Şekil 245. İndüktans biriminin Kuantum Hall direncinden elde edilmesi .....	232
Şekil 246. Standart indüktör .....	232
Şekil 247. Yüksek frekans uygulamaları için kullanılan standart indüktör.....	232
Şekil 248. İndüktans ölçümünde oluşan indüktanslar .....	233
Şekil 249. İndüktans ölçümünde kabloların bükülmesi .....	234
Şekil 250. (a) Paralel iki plaka (b) bu plakalar arasında oluşan elektrik alan çizgileri.....	235
Şekil 251. İletken plakalar arasındaki yalıtkan malzemenin elektrik alan çizgilerine etkisi .....	236
Şekil 252. Farklı gerilimle yüklenmiş başka bir iletkenin etkisi .....	236
Şekil 253. Elektrik alanın ekranlanması .....	237
Şekil 254. Sonsuz uzunluklu iletkenin dört parçaya bölünmesi.....	237
Şekil 255. Hesaplanabilir kapasitör .....	238
Şekil 256. Gerçekleştirilen hesaplanabilir kapasitör .....	238
Şekil 257. Hesaplanabilir kapasitörün çalışması .....	239
Şekil 258. De Sauty kapasitans karşılaştırma köprüsü .....	240
Şekil 259. İndüktif gerilim bölücü ile kapasitans karşılaştırması .....	240
Şekil 260. Kapasitans biriminin elde edilişi.....	241
Şekil 261. 3 Uçlu kapasitör gösterimi ve kapasitanslar .....	242
Şekil 262. 4 Uçlu ekranlı bağlantı şekli.....	244
Şekil 263. Güç ve enerji birim ve alt birimlerinin elde edilmesi ve dağıtımı .....	246
Şekil 264. Sayısal örnekleme ile güç ölçüm sisteminin blok diyagramı .....	247
Şekil 265. MJTC'lı güç ölçüm sisteminin blok diyagramı .....	248
Şekil 266. Sekonder beslemeli kompanzasyonlu akım karşılaştırıcısı kullanılarak yapılan akım transformatörü kalibrasyon sistemi.....	249
Şekil 267. Primer beslemeli, kompanzasyonlu akım karşılaştırıcısı kullanılarak yapılan akım transformatörü kalibrasyon sistemi.....	251
Şekil 268. Yardımcı transformatör ve kompanzasyonlu akım komparatörü kullanılarak yapılan akım transformatörü kalibrasyon sistemi.....	252
Şekil 269. Gerilim transformatörü kalibrasyon sistemi - Kapasitif bölücü yöntemi.....	253
Şekil 270. Gerilim transformatörü kalibrasyon sistemi - Rezistif bölücü yöntemi.....	253
Şekil 271. Gerilim transformatörü kalibrasyon sistemi - Pseudo köprüsü yöntemi .....	254
Şekil 272. Gerilim transformatörü kalibrasyon sistemi - Karşılaştırmalı dengeleme yöntemi .....	254
Şekil 273. Gerilim transformatörü kalibrasyonu - Akım komparatörü kapasitans oran yöntemi .....	255
Şekil 274. Gerilim transformatörü kalibrasyonu - Karşılaştırma yöntemi .....	255
Şekil 275. Mikrodalga güç ölçüm sistemi blok şeması .....	256
Şekil 276. RF güç standartlarının izlenebilirlik zinciri .....	257
Şekil 277. Mikrok calorimetre sistemi.....	258

Şekil 278. Barreter ve termistorun sıcaklık katsayıları .....	259
Şekil 279. Otomatik köprü ile güç ölçüm sistemi .....	259
Şekil 280. Isılçift prensip şeması .....	260
Şekil 281. Isılçift güç ölçüm devresi .....	261
Şekil 282. Eş eksenli iletim hattına yerleştirilmiş diyot şeması.....	261
Şekil 283. Diyot karakteristiği .....	262
Şekil 284. Diyot ile güç ölçüm devresi.....	263
Şekil 285. Pozitif - negatif elektrik yükleri ve oluşturdıkları elektrik alan .....	264
Şekil 286. Elektrometre (Üretici: Keithley, Model: 6514).....	265
Şekil 287. Gerilim kalibratörü ve kapasitans standardı ile referans elektrik yükü elde edilmesi .....	265
Şekil 288. Bobin ile oluşturulan manyetik alan çizgileri.....	266
Şekil 289. Manyetik moment .....	268
Şekil 290. Manyetik bölgelerin dış manyetik alan yokken (Sol taraftaki) ve uygulandığındaki durumları	272
Şekil 291. Manyetik alan sensörleri alan şiddeti ve ölçüm bölgesine göre iki kategoriye ayrılır: düşük alan ölçümü için manyetometreler ve yüksek alan ölçümü için gaussmetreler .....	273
Şekil 292. Nükleer devinim. Kendi eksenini etrafında dönen bir protona $H_a$ gibi bir manyetik alanın uygulanması durumunda yalpalama hareketi yapmaktadır (topaç hareketi). .....	274
Şekil 293. Hall etkisi. ....	275
Şekil 294. Farklı popüler fluxmetre tasarımı.....	276
Şekil 295. Yönü ile verilen yüzeydeki her bir nokta yüzey normali olarak adlandırılır. Bir noktadan geçen manyetik akı manyetik alanın bu yöndeki bileşenidir. ....	276
Şekil 296. Tipik bir akımetre cihazı görünümü .....	276
Şekil 297. TEM hücresinin yandan görünüşü.....	281
Şekil 298. TEM hücresi kullanımı ile elektrik alan üretimi ve elektrik alan sensör kalibrasyonu.....	282
Şekil 299. Horn anten kullanımı ile elektrik alan üretimi ve elektrik alan sensör kalibrasyonu .....	283
Şekil 300. Desen gösteriminde kullanılan koordinat sistemi .....	284
Şekil 301. Üç boyutlu simetrik bir desen örneği .....	284
Şekil 302. Yönlü bir anten ve deseni .....	285
Şekil 303. ANSI IEEE C63.5 üç anten yöntemi gösterimi .....	291
Şekil 304. ANSI IEEE C63.5 üç anten yönteminde bir anten çiftinin ölçümü.....	292
Şekil 305. EN 55022 standardı uyarınca elektrik alan seviyesi ölçümleri.....	293
Şekil 306. EN 55022 masa-üstü cihazlar için deney düzeneği .....	294
Şekil 307. MIL-STD 461 uyarınca elektrik alan seviyesi ölçümleri.....	294
Şekil 308. MIL-STD 461 masa-üstü cihazlar için deney düzeneği.....	295
Şekil 309. Çok eksenli monopol ve ortogonal dipol elektrik alan problemlerinin fotoğrafları.....	295
Şekil 310. Ortogonal dipol elektrik alan problemlerinin iç yapısı .....	295
Şekil 311. Uluslararası kilogramprototipi ve 6 yasal kopyası .....	300
Şekil 312. Uluslararası kilogramprototipi .....	300
Şekil 313. Kütle standartları izlenebilirlik zinciri.....	301
Şekil 314. Silindirik biçiminde kütle standartları ve mg ağırlıklar .....	303
Şekil 315. BIPM ve UME'de kullanılan Mettler HK1000MC ve UME-One Prototip Teraziler.....	305
Şekil 316. Elektromanyetik kuvvet kompensasyonlu komparatör terazinin şematik diyagramı .....	305
Şekil 317. Monoblok tartım hücresi (Mettler-Toledo AG ve Sartorius AG).....	306
Şekil 318. a) Referans standardı Ulusal Kilogram Prototip olan, 8 adet bilinmeyen kütle standartlı tartım şemaları b) Her bir şemada 3 ve 10 adet tartım denklemi içeren 1 kg - 100 g arası kadar kütle skalası örneği.....	308
Şekil 319. SI-Birimler ağacında kuvvet birimi Newton'un yeri.....	309
Şekil 320. Kuvvet skalasında izlenebilirlik .....	312

Şekil 321. Kuvvet ölçüm büyüklüğü Newton'un (N) sanayiye yaygınlaştırılması .....	313
Şekil 322. UME 110/1100 kN ölü ağırlıklı manivela büyütmeli kuvvet standardı makinesi.....	315
Şekil 323. UME 11 kN kuvvet standardı makinesi .....	315
Şekil 324. Piezoelektrik malzemelerin kullanım şekilleri .....	315
Şekil 325. Ölçme halkası .....	316
Şekil 326. Direnç uzama ölçerli kuvvet ölçme cihazları .....	317
Şekil 327. Hacim biriminin izlenebilirlik zinciri .....	318
Şekil 328. Yoğunluk biriminin izlenebilirlik zinciri.....	319
Şekil 329. TÜBİTAK UME referans yoğunluk standardı.....	320
Şekil 330. Hidrostatik tartım sistemi düzeneği.....	322
Şekil 331. Referans sıvı yoğunluğu belirleme sistemi ölçüm düzeneği .....	323
Şekil 332. Hidrometre kalibrasyonu ölçüm düzeneği .....	324
Şekil 333. Moleküler katmanlar ve akış durumu .....	327
Şekil 334. Newtonian sıvıların akış karakteristik durumu .....	328
Şekil 335. Non-newtonian sıvıların akış karakteristik durumu.....	328
Şekil 336. Bazı sıvılar ve gazlar için kinematik viskozitesinin sıcaklıkla değişimi.....	329
Şekil 337. TÜBİTAK UME viskozite standardı (Viskozite Skalası).....	332
Şekil 338. Viskozite birimi izlenebilirlik zinciri.....	338
Şekil 339. Falling Ball viskometre.....	333
Şekil 340. Ubbelohde viskometre .....	334
Şekil 341. Ubbelode viskometre doldurma şekli.....	335
Şekil 342. Kinematik viskozite ölçüm düzeneği.....	335
Şekil 343. Tork (dönme momenti) .....	339
Şekil 344. Tork uygulamasına bir örnek, vidalı bağlantı.....	339
Şekil 345. SI Birim ağacında tork biriminin yeri .....	341
Şekil 346. Tork biriminin elde edilmesi. Tork standardı makinesinin şematik görünümü.....	341
Şekil 347. Tork biriminin elde edilmesi için kullanılan fiziksel model .....	342
Şekil 348. Tork standardı makinelerinin (tork kalibrasyon makinelerine) etki eden parametrelerin genel ifadesi .....	343
Şekil 349. Tork ölçüm zinciri.....	344
Şekil 350. Hassas tork ölçüm cihazlarının kalibrasyonu için yaygın kullanılan ölçüm dizgisi şeması örneği .....	345
Şekil 351. Basit tork ölçüm cihazlarının kalibrasyonunda kullanılan ölçüm dizgisi şeması örneği .....	345
Şekil 352. Sertlik uçları .....	349
Şekil 353. Sertlik ölçeğinin oluşturulması ve izlenebilirlik zinciri .....	350
Şekil 354. Mohs sertlik ölçüm standardı (a) ve numunesi (b) .....	351
Şekil 355. Dinamik sertlik ölçüm prensibi ve cihazı.....	352
Şekil 356. Rockwell sertliği ölçme prensibine göre ucun malzeme içindeki konumları.....	353
Şekil 357. Rockwell Sertlik prensibine göre HRC'ye ait kuvvet uygulama döngüsü .....	354
Şekil 358. Rockwell sertlik prensibine göre HRC'ye ait uç hareket döngüsü.....	354
Şekil 359. Rockwell sertliği ölçüm sonucunun ifadesi .....	354
Şekil 360. Brinell sertlik ölçüm prensibi ve meydana gelen izin görüntüsü.....	357
Şekil 361. Brinell sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz görüntüsü .....	357
Şekil 362. Brinell Sertliği Ölçüm Sonucunun İfadesi .....	358
Şekil 363. Vickers sertliği ölçüm için iz oluşturma (a) ve iz ölçümü (b).....	359
Şekil 364. Vickers sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz görüntüsü.....	359
Şekil 365. Vickers sertliği ölçüm sonucunun ifadesi.....	360
Şekil 366. Knoop sertliği elmas ucunun şekli .....	361

Şekil 367. Knoop Sertlik ölçümü sonucunda meydana gelen iz görüntüsü .....	361
Şekil 368. Knoop sertliği ölçüm sonucunun ifadesi .....	362
Şekil 369. Shore sertlik ölçüm prensibi .....	363
Şekil 370. IRHD sertlik ölçme cihazı .....	364
Şekil 371. UME sertlik standardı makineleri.....	365
Şekil 372. Sertlik test cihazları.....	365
Şekil 373. Sertlik referans blokları .....	366
Şekil 374. Aynı derinlikte tüm noktalarda basınç aynıdır .....	367
Şekil 375. Basınç birimi türetilmiş bir birimdir.....	368
Şekil 376. Barometrik basınç ve irtifa .....	368
Şekil 377. Basınç ölçüm modlarının şematik gösterimi.....	369
Şekil 378. Sıvılı manometrenin temel çalışma prensibi.....	370
Şekil 379. Basit tip piston silindir yapısı şematik gösterimi .....	371
Şekil 380. Hidrolik ve pnömatik pistonlu basınç standartları .....	372
Şekil 381. Pnömatik pistonlu mutlak basınç standardı.....	372
Şekil 382. Piston-silindir ünitesi kalibrasyon düzeneği.....	373
Şekil 383. Manometre.....	374
Şekil 384. Basınç ölçümünde kullanılan elastik elemanlar.....	375
Şekil 385. Bourdon tüplü basınç ölçer .....	376
Şekil 386. Manometrelerin yapısal elemanları .....	377
Şekil 387. Negatif basınç ve vakum ölçen manometreler .....	377
Şekil 388. Birleşik manometre .....	377
Şekil 389. Çift ibreli manometre .....	378
Şekil 390. Çift skalalı manometre.....	378
Şekil 391. Retard manometre.....	379
Şekil 392. Suppressed manometre .....	379
Şekil 393. Basınç dönüştürücü şematik gösterimi.....	381
Şekil 394. Piezoelektrik etkiyi oluşturan hareketler .....	382
Şekil 395. Yapıştırılmayan tip gerinim ölçer .....	383
Şekil 396. Wheatstone köprüsü.....	383
Şekil 397. Yapıştırılabilir tip gerinim ölçer.....	384
Şekil 398. Statik genleşme yöntemi .....	387
Şekil 399. Dinamik genleşme yöntemi .....	388
Şekil 400. Simetrik konfigürasyonda çift taraflı kapasitans diyafram ölçer .....	389
Şekil 401. SRG vakum ölçer.....	390
Şekil 402. Pirani vakum ölçer .....	391
Şekil 403. Vakumda izlenebilirlik şeması .....	392
Şekil 404. Elektromanyetik tayf .....	393
Şekil 405. CIE tarafından 1924 yılında belirlenen insan gözünün ışığa $V(\lambda)$ .....	394
Şekil 406. Işık şiddeti.....	395
Şekil 407. Katı açısı.....	395
Şekil 408. a) Filtre-radyometrenin şematiği, b) Fotodiyotların tuzak dedektör içerisindeki dizilişi .....	397
Şekil 409. Işık şiddeti ölçüm sistemi. SM - servo motor, DHS - doğrusal hareket sistemi.....	398
Şekil 410. Işık akısı biriminin elde edilmesi prensibi .....	400
Şekil 411. Bir gonyofotometre ile taranan küresel yüzey .....	401
Şekil 412. Toplama küresi tabanlı ışık akısı ölçüm prensibi.....	402
Şekil 413. Toplama küresi tabanlı ışık akısı ölçüm düzeneği.....	403
Şekil 414. Göreceli ölçüm hassasiyetinin küre iç kaplamasının yansıtma katsayısına göre değişimi .....	404

Şekil 415. Aydınlik düzeyi.....	405
Şekil 416. Parıltı .....	407
Şekil 417. Parıltı ölçüm düzeneği .....	408
Şekil 418. Mesafeye bağlı geometrik düzeltme katsayısı değişimi .....	409
Şekil 419. Birincil seviye krayojenik radyometre .....	412
Şekil 420. Yansıma tipi silikon fotodiyot tabanlı tuzak dedektörün geometrik dizilimi.....	414
Şekil 421. Dedektör duyarlılığının belirlenmesi .....	415
Şekil 422. Silikon fotodiyodun tayfsal duyarlılığı .....	416
Şekil 423. Isıl bir dedektörün (Pyroelektrik) tayfsal yansıma ve duyarlılık değerleri .....	417
Şekil 424. Karşılaştırmalı yöntem ile duyarlılık ölçüm sistemi.....	418
Şekil 425. Karşılaştırmalı yöntem ile elde edilen çeşitli dedektörlerin duyarlılık değerleri .....	418
Şekil 426. Işıma yapan bir elektromanyetik kaynağın ışınım düzeyi/işıma parametrelerinin elde edilmesi .....	420
Şekil 427. Filtre radyometre tabanlı tayfsal/toplam ışınım düzeyi ölçüm düzeneği.....	421
Şekil 428. Filtre radyometre tabanlı tayfsal/toplam ışınım ölçęinin oluşturulması.....	423
Şekil 429. Bell Prover kalibrasyon sisteminin şematik gösterimi.....	427
Şekil 430. Cıvalı piston sisteminin şematik gösterimi.....	428
Şekil 431. PVTt sistemi şematik gösterimi .....	428
Şekil 432. Tartım esaslı gaz debi kalibrasyon sisteminin şematik gösterimi.....	429
Şekil 433. Referans sayaçların kalibrasyonda kullanılması .....	430
Şekil 434. Sonik Lüle, rotarymetre ve ıslak tip sayaç .....	430
Şekil 435. Türbinmetrenin ölçüm hattına bağlanması ve akış doğrultucularının konumlandırılması. ....	430
Şekil 436. Kütlesel debi ölçüm sistemi. ....	432
Şekil 437. Diverter çalışma eğrisi .....	433
Şekil 438. Örnek bir Türbinmetrenin iç yapısı. ....	435
Şekil 439. Elektromanyetik debimetre prensibinin şematiksel gösterimi.....	436
Şekil 440. Coriolis kütlesel debimetrelerin çalışma prensibinin şematiksel gösterimi.....	437
Şekil 441. Açık devre rüzgar tüneli kesit çizimi ve fotoğrafı. ....	438
Şekil 442. Kapalı devre rüzgar tüneli kesiti ve fotoğrafı. ....	439
Şekil 443. İleri doğru yansımali tek hız bileşenli çift ışık demetli LDA düzeneği.....	440
Şekil 444. İki lazer demetinin oluşturduğu girişim saçakları .....	441
Şekil 445. TÜBİTAK UME Döner Disk Sistemi fotoğrafı. ....	442
Şekil 446. Statik-pitot tüp .....	443
Şekil 447. Kızgın tel anemometresi ölçüm probu.....	444
Şekil 448. Pervaneli anemometre örnekleri.....	445
Şekil 449. Sonik hava hız ölçer .....	446
Şekil 450. Akışkan hızı ve ses yayılım hızı. ....	446
Şekil 451. Kapasitif mikrofon tipleri .....	449
Şekil 452. Kapasitif mikrofonun yapısı .....	450
Şekil 453. Karşılıklık kalibrasyon sırasında mikrofon ve bağlaşımların birleşimi .....	451
Şekil 454. Lazer pistonfonu .....	452
Şekil 455. Akustik ölçümlerde izlenebilirlik zinciri.....	453
Şekil 456. Mikrofonların karşılaştırma kalibrasyonu düzeneği .....	454
Şekil 457. Ses basıncı izlenebilirliğinin alt seviyelere aktarımı .....	455
Şekil 458. Mikrofon kalibrasyonları için aktif bağlaşım .....	456
Şekil 459. Ultrasonik alanında kullanılan izlenebilirlik şeması .....	458
Şekil 460. Ultrasonik güç ölçüm düzeneği: Ultrasonik yayılım yukarı doğru.....	459
Şekil 461. TÜBİTAK UME'de kurulu ultrasonik güç ölçüm düzeneği .....	459

Şekil 462. Ultrasonik güç ölçüm düzeneği: Ultrasonik yayılım aşağı doğru.....	460
Şekil 463. Tam yutucu hedef.....	460
Şekil 464. Referans standart niteliğindeki ivme ölçerler.....	464
Şekil 465. Girişim deseni sayma metodunda kullanılan kalibrasyon düzeneği.....	467
Şekil 466. Bessel Fonksiyonlarının x parametresine göre değişimi.....	468
Şekil 467. Çift çıkışlı homodyne lazer interferometresi .....	469
Şekil 468. Sinüs yaklaşımı yöntemi için ölçüm sistemi .....	470
Şekil 469. Sinüs yaklaşımı yöntemi için kullanılan ölçüm sistemi örneği .....	471
Şekil 470. İvme ölçerlerin karşılaştırma kalibrasyonu düzeneği.....	474
Şekil 471. Titreşim uyarıcı kalibrasyonu düzeneği .....	474
Şekil 472. Titreşim ölçümlerinde izlenebilirlik zinciri.....	475
Şekil 473. İki farklı ölçüme ait veriler ile yapılan duyarlılık değerlendirmesi .....	483
Şekil 474. Kalibrasyon grafiği. ....	485

## TABLOLAR

Tablo 1. Temel SI birimleri .....	47
Tablo 2. Temel SI birimleri ile ifade edilen türetilmiş SI birimler .....	48
Tablo 3. Özel isim ve sembolleri olan türetilmiş SI birimleri.....	48
Tablo 4. Özel isim ve sembolleri olan türetilmiş SI birimleri ( <i>Devam</i> ).....	49
Tablo 5. İsimleri ve sembolleri, türetilmiş SI birimlerinin özel isim ve sembollerini içeren türetilmiş SI birimleri .....	49
Tablo 6. İsimleri ve sembolleri, türetilmiş SI birimlerinin özel isim ve sembollerini içeren türetilmiş SI birimleri ( <i>Devam</i> ) .....	50
Tablo 7. Kabul edilen SI harici birimler .....	50
Tablo 8. Belirli konu alanlarında kullanımları kabul edilen SI harici birimler .....	51
Tablo 9. Belirli konu alanlarında kullanımları kabul edilen ve değerleri deneysel olarak belirlenen SI harici birimler .....	51
Tablo 10. Laboratuvarlararası karşılaştırma sonuçları.....	53
Tablo 11. Ölçüm sonuçları .....	63
Tablo 12. Student dağılımı ile normal dağılım arasındaki farkı dengeleme faktörü.....	65
Tablo 13. Yüzey düzensizliklerinin sınıflandırılması .....	107
Tablo 14. Zaman ve frekans dağıtım yöntemleri.....	140
Tablo 15. Kalibrasyonda kullanılan banyolar ve sıcaklık aralıkları .....	155
Tablo 16. Örnek ısı çevirici AC-DC transfer fark tablosu .....	178
Tablo 17. Örnek ısı gerilim çevirici AC-DC transfer fark tablosu.....	199
Tablo 18. Alan şiddeti ölçer cihaz karakteristikleri .....	273
Tablo 19. EN 55022 elektrik alan limitleri.....	293
Tablo 20. Kütle birimi dönüşüm tablosu.....	300
Tablo 21. OIML R 111'e göre doğruluk sınıfları için bağıl standard belirsizlikler ( $U_c/M_k \leq M_{pe}/6$ ) ve bağıl maksimum müsaade edilen hatalar ( $m_{pe}/m_k$ ).....	303
Tablo 22. OIML R 111'e göre ağırlıklar için müsaade edilen yüzey pürüzlülüğünün maksimum yüksekliği ve ortalama değerleri ( $m_k \leq 50$ kg) .....	303
Tablo 23. OIML R 111'e göre ağırlıklar için verilen manyetik alınganlık değerleri.....	304
Tablo 24. OIML R 111'e göre ağırlıklar için verilen sürekli manyetik polarizasyon değerleri .....	304
Tablo 25. Çeşitli birim sistemlerinde temel birimlerle kuvvet birimi arasındaki ilişki .....	310
Tablo 26. Newton'un İkinci Kanununda için K-sabiti.....	310
Tablo 27. Hacim birimi dönüşüm tablosu .....	319
Tablo 28. Yoğunluk birimi dönüşüm tablosu .....	320
Tablo 29. Dinamik viskozite dönüşüm tablosu .....	330
Tablo 30. Kinematik viskozite dönüşüm tablosu .....	330
Tablo 31. Kapiler tüplü viskometreler.....	334
Tablo 32. Tork birimleri için dönüşüm oranları.....	340
Tablo 33. Tork ölçme cihazlarının kalibrasyonu esnasında dikkate alınan olası parametreler. ....	345
Tablo 34. Tork ölçme cihazlarının belirsizliğine etki eden parametrelerin dağılım fonksiyonları .....	347
Tablo 35. Rockwell sertlik ölçekleri .....	355
Tablo 36. Rockwell sertlik ölçekleri hesaplamaları ve birimleri.....	356

Tablo 37. Brinell sertlik ölçekleri.....	358
Tablo 38. Vickers sertlik ölçekleri.....	360
Tablo 39. Knoop sertlik ölçekleri .....	362
Tablo 40. İkincil basınç ölçerler için fiziksel özellikler .....	374
Tablo 41. Elastik elemanlardaki basınç ölçüm aralıkları .....	375
Tablo 42. Basınç birimleri dönüşüm tablosu .....	385
Tablo 43. Vakum alanındaki birincil ve ikincil seviye standartlar .....	386
Tablo 44. Vakum aralıkları ve basınç değerleri.....	386
Tablo 45. Fotometride ve radyometride kullanılan büyüklükler ve birimleri.....	394
Tablo 46. TÜBİTAK UME'de ölçülebilen optik güç seviyeleri .....	410