

2. BÖLÜM

BİYOTIP CİHAZ TEKNOLOJİSİ VE ÖLÇMEYE GİRİŞ

(Bir şey ölçülünceye kadar o şey hakkında bir şey söylenemez)

Lord Kelvin (1824-1907)

2.1 Giriş

- Genel anlamda bilim ve mühendislikte, özel anlamda elektronik ve biyotıp cihaz teknolojisinde pek çok konu ölçüme dayanır.
- İster arıza aramak, isterse analiz yoluyla yeni bir devre tasarlamak amacıyla olsun, ölçmede genelde takip edilen yol, bir alet kullanarak (genellikle elektronik) ölçümü gerçekleştirmektir.

2.2 Sayıların İfade Edilmesinde Uyulacak Esaslar

- Günlük hayatta genellikle kesin sayılarla ifade edilebilen şeylerle uğraşırız; altı adet kitap, 7,50 YTL, yedi kişi.
- Bütün bunlar sayılabilir ve kesin bir rakamsal ifadeyle gösterilebilir. Bu durumda sayıyı ifade eden bütün basamaklar önemlidir. Halbuki bazı durumlarda, belli oranlarda hata içeren ölçümler yapabiliriz. Örneğin, birisinin boyunu ne kadar düzgün durduğuna bağlı olarak 175,8 veya 176 cm şeklinde ölçebiliriz. Tartıda ağırlığı 62 kg olarak ölçebilirsiniz, fakat tartının ibresi sıfırdan biraz sapmış olabilir. Saatini ara sıra yeniden düzeltme ihtiyacı duymayan bir kişi yoktur.
- **Temel sayılar (1,2,3,4,5,6,7,8 ve 9 gibi tamsayılar) her zaman önemlidir.** Sıfır (0) sadece gerçekten sıfırı veya yokluk durumunu ifade ettiğinde önemli olur. Örneğin, “0,60” tam olarak 6/10 manasına gelir ve yaklaşık 0,6 diye kabul edilemez; buradaki sıfırlar önemlidir. Eğer sayı 0,6 diye yazılmış olsaydı, $6/10 \pm$ belli bir hata veya belirsizlik var diye yorumlanabilirdi.
- Sayıları miktar belirtmek üzere kullandığımızda da ifade biçiminin önemi ortaya çıkar. Örnek olarak, “16 litre” ifadesi bize sıvının miktarının 15 litre ile 17 litre arasında bir yerde olduğunu anlatabilir. Eğer sıvıyı ölçmekte kullandığımız alet daha hassas ise “16,0 litre” gibi bir ifade kullanabiliriz. Bu bize değer in tam 16 litre

olduğunu ve $\pm$ az bir hatanın bulunduğunu yani sıvı miktarının 15,9 ile 16,1 litre arasında bir yerde olduğunu gösterir.

Günlük hayattaki bir ölçüm olayını ele alalım. 15 Voltluk bir elektriksel potansiyel fark bir sayısal voltmetre ile ölçülecektir. Ölçü aleti 00,00'dan 19,99 V'a kadar olan değerleri gösterebilsin. Ölçü aletinin doğruluğu $\pm\%1$ 'dir. Buna ek olarak sayısal voltmetreler ± 1 sayılı bir hataya sahiptirler. Bahsedilen sayısal voltmetre için;

En önemli basamak ↗ 19,99 ↘ En düşük değerli basamak

Son basamaktaki bu artma eksilme olayı 15,00 V'luk gerilimin $(15,00-00,01)=14,99$ V ile $(15,00+00,01)=15,01$ V arasında bir değer olarak okunmasına neden olur. Dahası $\pm\%1$ 'lik bir ölçme hatası da söz konusudur. Dolayısıyla $\pm(15V * 0,01)= \pm 0,15V$ 'luk bir hata vardır. Böylece; ölçülen gerilim $(15,00-0,15)$ ile $(15,00+0,15)$ arasında ya da +14,84 V ile 15,16 V arasında olacaktır.

Eğer her iki hata da eksi işaretliyse;

Okuma: $(15,00V-0,01V-0,15V)=14,84V$ (En kötü durum)

Her iki hata da pozitifse;

Okuma: $(15,00V+0,01V+0,15V)=15,16V$ (En kötü durum)

- İyi ölçümler yapabilmek ve ölçü aletinin doğruluk ve güvenilirliğinden emin olmak için basamakların doğru ifade edilmesi konusunda yeterli bilgiye sahip olmak gerekir.

2.3 Bilimsel Notasyon

Bilimsel notasyon çok büyük ve çok küçük sayıların 1 ile 10 arasındaki rakamlarla 10'un kuvvetlerinin çarpımından ibaret sayılarla ifade edilmesini sağlayan basit bir aritmetik kısaltma şeklidir.

Bir sayının bilimsel notasyonla ifade şekli;

$$\text{Sayılar} \rightarrow n_{ij} \times 10^{x \leftarrow \text{kuvvet}} \leftarrow 10 \text{ tabanı}$$

Örneğin, eğer bir profesörün yaşı 47 ise bilimsel notasyon kullanılarak şu şekilde yazılabilir;

$$\text{Yaş} = 4,7 * 10^{+1} \text{ yıl} \quad 2.1$$

Eğer kuvvet eksi işaretliyse, $1/10^x$ ile aynı anlama gelir. Başka bir deyişle;

$$10^{-x} = 1/10^{+x} \quad 2.2$$

Bilimsel notasyon özellikle virgülden sonraki sayısı az olan sayıları ifade etmekte faydalıdır. Eğer bir insan beynindeki dalgaları, kafatası yüzeyindeki potansiyelleri (elektroanselograf) ölçerek izlemek istiyorsak ve gerilimi 143,6 mV olarak ölçtüyssek, bunu $1,44 * 10^{-4}$ V olarak ifade etmeyi uygun bulabiliriz.

2.4 Birimler ve Fiziksel Sabitler

Tıp, mühendislik ve bilimsel uygulamalarla uyumlu olmak bakımından kitapta ya santimetre-kilogram-saniye (CGS) ya da metre-kilogram-saniye (MKS) birim sistemi kullanılacaktır.

Çizelge 2.1 Metrik Önekler

Metrik Önek	Çarpım	Sembo l
Tera	10^{12}	T
Giga	10^9	G
Mega	10^6	M
Kilo	10^3	k
Hekto	10^2	h
Deka	10^1	da
Desi	10^{-1}	d
Santi	10^{-2}	c
Mili	10^{-3}	m
Mikro	10^{-6}	μ
Nano	10^{-9}	n
Piko	10^{-12}	p
Femto	10^{-15}	f
Atto	10^{-18}	a

Çizelge 2.2 Standart Fiziksel Birimler

Büyüklik	Birim	Sembol
Kapasite	Farad	F
Elektriksel yük	Coulomb	C
İletkenlik	Siemens	S
Öz iletkenlik	Siemens/metre	S/m
Akım	Amper	A
Enerji	Joule (watt-saniye)	J
Alan	Volt/metre	E
Akı yoğunluğu	Weber	(volt-saniye)
Frekans	Hertz	Hz
Endüktans	Henry	H
Uzunluk	Metre	m
Kütle	Gram	gr
Güç	Watt	W
Direnç	Ohm	Ω
Zaman	Saniye	sn
Hız	Metre/saniye	m/sn
Elektriksel potansiyel	Volt	V

Çizelge 2.3 Fiziksel Sabitler

Sabit	Değer	Sembol
Boltzmann sabiti	$1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K	K
Elektriksel yük (e-)	$1.6 \cdot 10^{-19}$ C	q
Elektron(Volt)	$1.6 \cdot 10^{-19}$ j	eV
Elektron(Kütle)	$9.12 \cdot 10^{-31}$ kg	m
Boşluğun geçirgenliği	$4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m	U_o
Boşluğun dielektrik katsayısı	$8.85 \cdot 10^{-12}$ F/m	ϵ_o
Plank sabiti	$6.626 \cdot 10^{-34}$ J.sn	h
Elektromanyetik dalga hızı	3.108 m/sn	c
Pi	3.14159265 4	π

Çizelge 2.4 Dönüşüm Katsayıları

1 inç	= 2.54 cm.
1 inç	= 25.4 mm.
1 ft	= 0.305 m
1 mil	= 1.61 km
1 deniz mili	= 6080 ft.
1 kara mili	= 5280 ft.
1 mili inç	= $2.54 \cdot 10^{-5}$ m.
1 kg	= 2.2 lb
1 kg	= 1000 gr.
1 gr.	= 1000 mgr.
1 neper	= 8,686 dB
1 gaus	= 10000 Tesla
1 torr	= 1 mmHg

2.5 Ortalama Nedir?

- Ortalama sözcüğü bir grup nümerik veri içerisinde en tipik veya en beklendik değer manasına gelir.
- Yapılan ölçümlerde mutlak surette gözlem veya ölçüm hatası vardır. Hiçbir cetvel bir birinin aynısı değildir ve hiçbir cetvelin aynı cisme uygulaması aynı sonucu vermez. En mükemmel bir çift göz bile her ölçümde ölçü aletinin kadranından aynı değeri okuyamaz.
- Kısacası, yapılan her ölçümde bir diğerine göre az da olsa farklılık söz konusudur. Doğal olaylar, herhangi bir sebepten dolayı değişebilir; kan basıncı ve kalp ritmi herhangi bir dış faktörden bağımsız olarak bir atımdan ötekine değişebilir. Bu farklılıkları ortadan kaldırmanın bir yolu içlerinden en tipik olanını seçmektir.

- Ortalamanın gerçekte birkaç çeşidi vardır; fakat en çok kullanılanları **aritmetik ortalama** (genellikle sadece ortalama diye anılır), **medyan ve mod**'dur. Her birisi diğerinden farklıdır ve her biri doğru yerde kullanıldıklarında tam doğru ortalamayı verir. Çizelge 2.5'teki veriye daha yakından bakalım.
- Bir böğürtlen çalısının belli bir süre için gözlemlemesini ele alalım. Gözlemcinin 28 böğürtlen salkımı ve farklı salkımlarda 1 ile 8 arasında böğürtlen saydığını düşünelim.
- Aritmetik ortalama çoğu insanın günlük yaşamda sıkça kullandığı bir ortalama tipidir. **Ortalama bütün sayı değerlerinin toplamının sayı adedine bölünmesidir** ve formül şeklinde ifade edilirse;

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

2.3

Çizelge 2.5'teki toplam 28 salkımdaki böğürtlen tanelerinin toplamı 125'tir. Bu durumda ortalama;

$$\bar{X} = 125/28 = 4,46$$

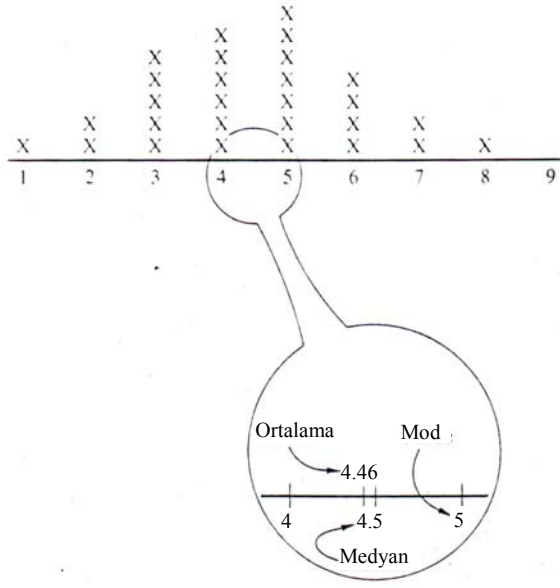
2.4

Ortalama 4,46'dır, fakat 0,46 tane böğürtlen tanesi bulmak söz konusu olamaz. Bu ortalama aritmetik ortalama değildir.

Çizelge 2.5 Böğürtlen Salkımı Verileri

4 6 5 5 3 6 4 3 4 5 3 1 6 5 2 5 2 3 4 4 5 7 7 8 4 6 5

- Medyan başka bir ortalama türüdür: veri serisinin sıralamada tam ortada kalan değeri medyandır, yani değerlerin tam yarısının bu değer üstünde, geri kalanın ise altında olduğu değerdir.
- Mod, sıralı verilerin bir ortalamasıdır ve veri serisi içerisinde en çok rastlanan değer olarak tanımlanır.



Şekil 2.1 28 veri değeri için veri dağılımı (X tablosu)

- Farklı ortalamalar, farklı durumlar için kullanılır. Eğer veriler mükemmel simetriye sahiplerse, o zaman aritmetik, medyan ve mod ortalama aynı sayıdır. Eğer aritmetik, medyan ve mod ortalamalar aynı sayı değilse, bunun manası verilerin ortalama etrafında simetrik dağılmadığı anlamına gelir.
- Böğürtlen ağacı ile ilgili örnekte dağılım neredeyse simetriktir ve böylece aritmetik ortalama kullanılabilir.
- Aritmetik ortalama genellikle ölçüm verisinin simetrik olduğu durumlarda, medyan verinin yüksek derecede asimetric olduğu durumlarda, mod ise bir veri kümesinde en sık tekrarlanan değer olarak ele alınır.
- Diğer ortalama çeşitleri ise geometrik ortalama ile harmonik ortalamadır.
- Geometrik ortalama verinin çok simetrik olmadığı özellikle biyolojik çalışmalarda kullanılır.
- Geometrik ortalamayı bulmak için, her bir değerın logaritması alınıp, bunların toplanması ve sonra da logaritmik ortalamanın alınması gerekir. Daha sonra elde edilen bu logaritmik ortalamanın ters logaritması alınır.

→ Harmonik ortalama, verilerin km/saat veya YTL/deste gibi oransal veriler şeklinde ifade edildiği durumlarda kullanılır. Harmonik ortalamanın ifadesi verinin aritmetik tersinin ortalamasının aritmetik tersidir;

$$H.O = \frac{1}{\left(\frac{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \dots + \frac{1}{X_n}}{n} \right)} \quad 2.5$$

2.5.1 Karelerin Ortalamasının Kökü (rms) ve Karelerin Toplamının Kökü (rss)

- Diğer ortalama şekillerine bazen biyotıpta, mühendislik ve teknolojide rastlarız;
 - bileşik ortalama,
 - karelerin ortalamasının kökü (rms),
 - karelerin toplamının kökü (rss) gibi.
- Bileşik ortalama, fonksiyon eğrisinin altında kalan alanın ortalamanın alındığı aralığa bölünmesiyle hesaplanır;

$$\bar{X} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} X \cdot dt \quad 2.6$$

- Bileşik ortalama, elektronik devrelerde çok sık kullanılır. Direnç-kondansatör (RC) alçak geçiren filtrelerin veya RC işlemsel yükselteç (op-amp) devrelerinin hesaplamalarında bu ortalama şekli sıkça kullanılır. Devrenin çıkışı giriş işaretinin zamana göre alınmış integralidir.
- RMS değeri elektriksel devrelerde ve belli bazı teknolojilerde kullanılmaktadır. Örneğin, sinüs dalga şekilli bir ac işaretin aynı miktarda ısıyı verecek bir dc gerilimle karşılaştırılması gerekebilir. Bir ac dalgasının verdiği ısıya eşdeğer ısıtma gücü sağlayan dc gerilim değeri, o ac dalgasının etkin (rms) gerilim değeridir. Rms değerinin matematiksel tanımı,

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} (V(t))^2 \cdot dt}$$

2.7

Burada,

V_{rms} : rms değeri, (V)

T: t_1 'den t_2 'ye kadar olan zaman aralığı, (s)

$V(t)$: zamanla değişen gerilim fonksiyonu

Sinüs dalgasının özel durumu için gerilimin rms değeri $V_p/1,414$, veya $0,707V_p$ 'dir. Burada V_p tepe değeridir. Fakat başka dalga şekilleri için Eş. 2.7 farklı sonuçlar verir.

- Rss ortalaması, birbirleriyle hiçbir ilgisi olmayan farklı verilerin birleştirilip tek bir sayı elde edilmesi gerektiğinde kullanılır. Örneğin, elektronik devrelerdeki gürültü sinyalleri istenmeyen hatalardır ve birkaç farklı bağımsız kaynaktan gelebilir. n tane bağımsız gürültü kaynağı ($V_{n1}, V_{n2}, V_{n3}, \dots, V_{nn}$) olduğu durumda;

$$V_{rss} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (vn_i)^2}$$

2.8

$$V_{rss} = \sqrt{(vn_1)^2 + (vn_2)^2 + (vn_3)^2 + \dots + (vn_n)^2}$$

2.9

- Rss metodu bazen, birbiriyle ilişkisi olmayan bir dizi hata teriminden tek değerli bir hata terimi bulmak için veya aynı değerlerin bir dizi ölçümünden tek değerli bir standart hata çıkarmak için kullanılır.

Örnek 2.1: Bir elektronik yükselteç devresinde birbiriyle ilişkisiz gerilim değerlerini veren 5 tane bağımsız gürültü kaynağı bulunmaktadır. $V_{n1}=25$ nV, $V_{n2}=56$ nV, $V_{n3}=-33$ nV, $V_{n4}=-10$ nV, $V_{n5}=62$ nV. Bu durumda bileşik gürültü işaretinin rss değeri nedir?

Çözüm:

$$V_{rss} = \sqrt{(vn_1)^2 + (vn_2)^2 + (vn_3)^2 + (vn_4)^2 + (vn_5)^2} nV$$

$$V_{rss} = \sqrt{(25)^2 + (56)^2 + (-33)^2 + (-10)^2 + (62)^2} nV$$

$$V_{rss} = \sqrt{625 + 3136 + 1089 + 100 + 3844} nV$$

$$V_{rss} = 93.8 nV$$

Bu örnekte hesaplanan rss değerinin bileşke elemanlarının toplamına eşit olmadığına dikkat ediniz.

- Biyomedikal ölçümlerde elde edilen verilerle ilgili olarak ortalama değerleri verirken, doğru ortalama tipini vermek konusunda dikkatli olunmalı ve kavram çerçevesinde ortalamanın ne manaya geldiğini iyi bilmeliyiz.

2.6 Ölçüm Teorisinin Temelleri

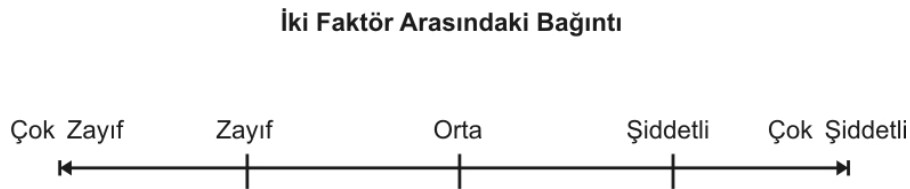
- Ölçüm işlemi, bir büyüklüğü doğruluğu tartışılmaz bir referansla veya standartla karşılaştırma yapmaktır.
- Ölçüm işlemi bir veya birkaç farklı amacı yerine getirmek üzere yapılır; fiziksel bir olay hakkında bilgi toplamak, belirli bazı sabitlerin değerlerini belirlemek, bir olayın gelişimini izlemek, bir takım bazı işlemleri kontrol etmek, diğer bazı parametrelerle arasındaki ilişkiyi bulmak gibi.

2.6.1 Veri sınıfları

- Ölçümlerden kaynaklanan veriler temelde iki ana bölüme ayrılır.
 - o nitel (kalitatif)
 - o nicel (kantatif) veri sınıfları.
- **Niteliksel veriler:** Niteliksel veriler sayılamaz veya kategoriye sokulamazlar. Bu tip veriler bir faktörün olup olmadığını, iyi mi yada kötü mü olduğunu, bozuk mu yada sağlam mı olduğunu, erkek yada dişi gibi ırk ve cinsiyetle ilgili şeyleri içerir.

- **Niteliksel veriler** doğal olarak sayı içermezler ve bu nedenle bazen niceliksel verilerden daha az kesinlik taşırlar. Niteliksel veriler **nominal** ve **ordinal** veriler olmak üzere iki alt sınıfa ayrılır.
 - o **Nominal** veriler doğal olarak bir sıralama veya öncelik içermeyen tip niteliksel verilerdir. Örnek olarak isim listeleri, etiketler ve gruplandırmalar verilebilir.
 - o **Ordinal** veriler sıralamaya izin verirler, fakat veri noktaları arasındaki boşluklar ya yoktur ya da bir anlamı yoktur.

Şekil 2.5'deki gibi 5 noktalı bir ölçek, değerlendirme amacı güden sorgulamalara rakamlar atamak için kullanılabilir.



Şekil 3.8 Niteliksel verilerle kullanılan bir 5 noktalı ölçek

Şekil 2.5 Niteliksel verilerle kullanılan bir 5 noktalı ölçek

- **Niceliksel Veriler** : Niceliksel veriler doğal olarak bir faktörün sayılarla ifade edilmesine olanak sağlayan verilerdir. Örnekler arasında paranın miktarı, uzunluk, sıcaklık, birim başına düşen kusur sayısı, kusurlu cihazların sayısı, gerilim, basınç, ağırlık sayılabilir.
- Niteliksel veriler de **aralık verisi** ve **orantılı veri** olmak üzere iki alt sınıfa ayrılır.
 - o **Aralık verisi**, farklılıkların anlamlı bir karşılaştırılma yapılmasına olanak sağlar fakat iki veya daha fazla faktör arasında bir karşılaştırma yapmak mümkün olmaz. Bu tür ölçümler rasgele seçilmiş standart sıfır noktaları referans alınarak seçilir.

Sıcaklık ölçümünde kullanılan Celcius ölçeğinde sıfır derece suyun donma noktası olarak kabul edilmiştir. Diğer rasgele referans noktası ise suyun kaynama noktası olan 100°C 'dir.

Sıcaklık farkları hakkında manalı tartışmalar yapabiliriz. Fakat farklılıkları bir ölçeğe vurmamız mümkün olmaz (40°C 'lik sıcaklık, 20°C 'lik sıcaklığın iki katına eşit bir sıcaklık değildir).

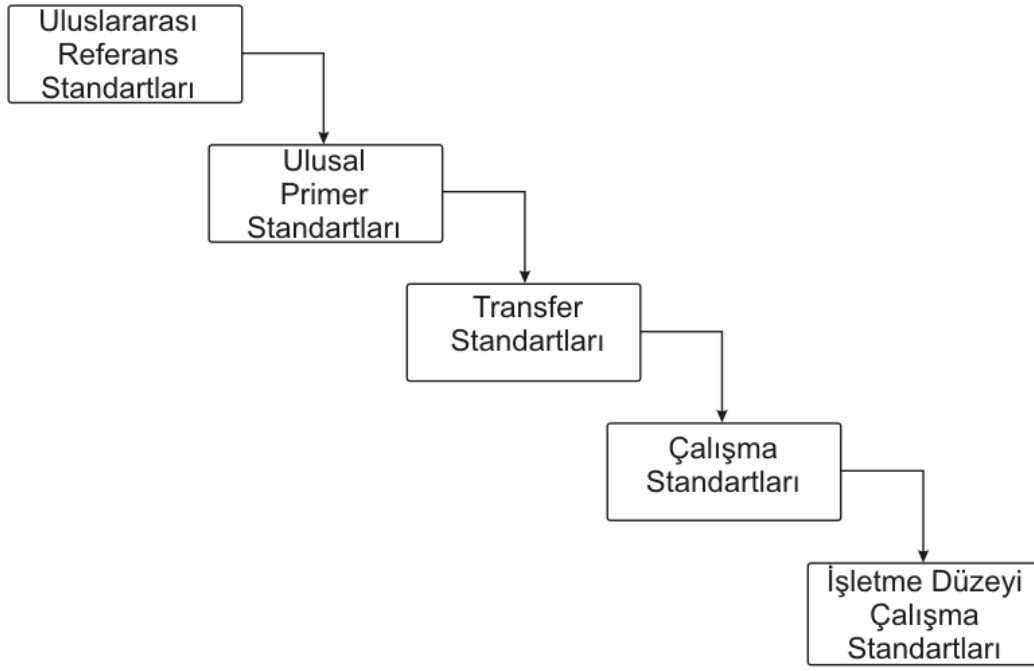
- o **Orantılı veriler**, bir takım sabit veya doğal sıfır noktaları mesela ağırlıklar, basınç ve sıcaklıklar üzerine kurulmuştur. Kelvin ölçeğinde sıfır referans noktası fizikçilerin mutlak sıfır dediği yani bütün moleküllerin hareketliliğinin durduğu noktadır (0°K yaklaşık $-273,16^{\circ}\text{C}$ 'ye denk gelir). Böylece, 0°K doğal bir sıfır noktasını ifade eder.

- Sıcaklığın 100°K ' den 200°K 'ya yükselmesi, iki kat sıcaklık artışı olduğunu gösterir.

2.6.2 Ölçüm standartları

- Ölçüm bilimi olan metrolojide, faktörleri karşılaştırmak için gerekli ölçeğe standart denir. Bütün standartlar eşit öneme sahip değildir, aralarında bir hiyerarşi vardır. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi sıralamada; uluslararası referans standartları, çalışma standartları ve atölye düzeyi ikincil standartlar ve en sonda ölçü aletleri ve cetveller vardır.

- **Uluslararası Referans Standartları** : Uluslararası Standartlar Enstitüsü (ISI) belirler.
- **Birincil (Primer) Standartlar** : Ülkeler tarafından ulusal düzeyde tutulan prensip standartlarıdır.
- **Transfer Standartları** : Daha düşük düzeylerde yer alan standartların kalibresinde kullanılırlar. Transfer standartları periyodik olarak birincil standartlarla kalibre edilirler.
- **Çalışma Standartları** : Yetkili ulusal bir laboratuvar tarafından transfer standartları ile karşılaştırılırlar.



Şekil 3.9 Standartların Hiyerarşisi
Şekil 2.6 Standartların hiyerarşisi

- **İkincil (Sekonder) Standartlar** : Atölye veya fabrika ortamında ölçüm cihazlarının ve cetvellerin kalibresi için kullanılır.
- **Ölçü Aletleri ve Cetveller** : Ölçüm yapmak ve veri toplamak için kullanılırlar.

2.6.3 Sapma ve Hata

- Bütün ölçümler, ölçüm işlemindeki kusurlar ve gerçekte ölçülen değerdeki değişimler sebebiyle belli miktarda sapma içerir.
- Hata, ölçüm büyüklüğünü ölçmekte kullanılan sensör veya dönüştürücünün ölçtüğü değer gerçekteki değere sapmasıdır.
- Bazı hatalar, yapılan ölçümün cinsine (ve dolayısıyla kullanılan ölçü aletinin fonksiyonuna) bağlıken, diğerleri ölçülen işlemdeki doğal değişimlerden kaynaklanır.
- Hata doğal kaynaklıdır ve ölçümü yapan kişinin hatası değildir.
- Hata, yanlış ile aynı şey değildir.
 - o Mutlak hata $X \pm x$ cm veya benzer başka birimlerle ifade edilir.
 - o Bağıl hata $X \pm \%1$ cm gibi bir ifadeyle belirtilir.

- o Bir elektriksel devrede bir gerilim $4.5 \text{ V} \pm \%1$ gibi bir ifadeyle gösterilmiş olabilir. Hangi ifadenin kullanılacağı geleneklere, şahsi seçimlere veya duruma en uygun hangisinin olduğu gibi koşullara bağlıdır.



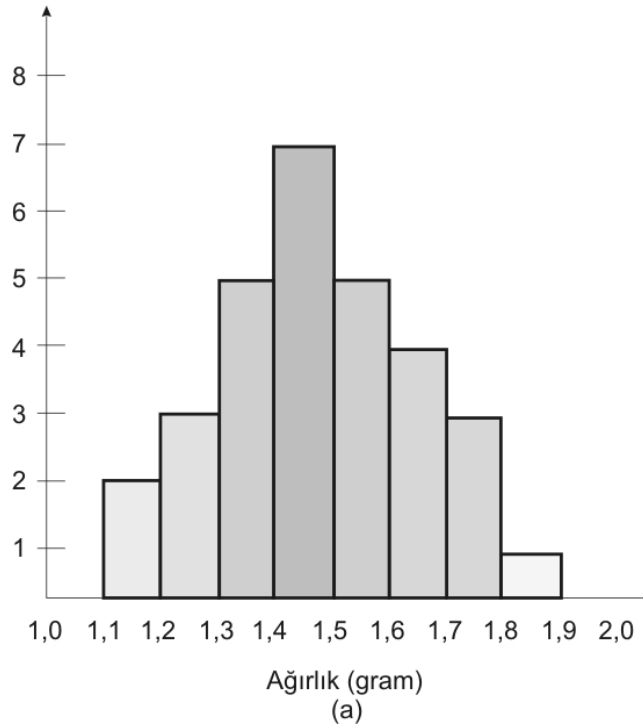
Bir kondansatörün ağırlığını ölçmek istiyoruz. Kataloglarda elemanın ağırlığı 1,45 gram verilmekte, fakat aynı kondansatörler hassas bir terazide tartıldıklarında Çizelge 2.8’da verilen sonuçlar elde edilmektedir. Hiçbir kondansatör 1,45 gram olarak belirtilen ağırlığı tam vermemiş, onun yerine 1,45 gram etrafında bir dağılım göstermişlerdir.

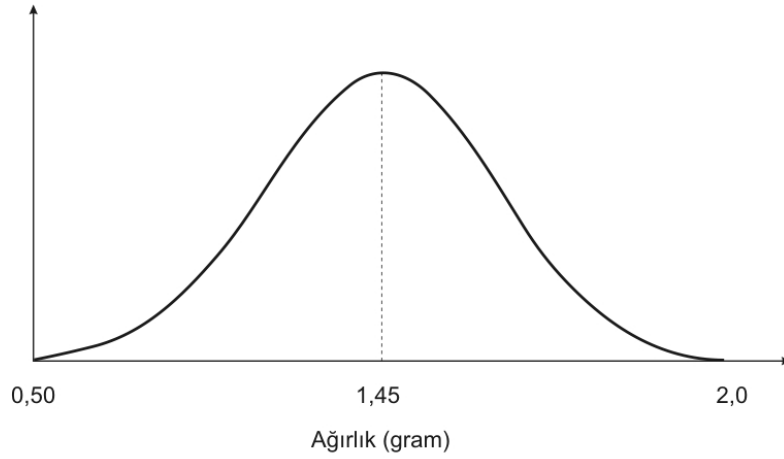
Çizelge 2.8 Sıralı Veri Noktaları (küçükten büyüğe)

1.16	1.18	1.2	1.26	1.26	1.3	1.3	1.3	1.33	1.35	1.4	1.4
1.4	1.4	1.4	1.43	1.48	1.5	1.5	1.5	1.5	1.53	1.6	1.6
1.62	1.65	1.7	1.7	1.7	1.81						



Eğer çok büyük sayıda kondansatörü gözden geçirip ağırlıklarını Şekil 2.7a’daki gibi histogram şeklinde grafik haline getirirsek, belli bir şekil oluştuğunu görürüz. Uygun koşullar sağlandığı taktirde, çeşitli ağırlıklar tanıdık çan eğrisi şeklini meydana getirirler ki bu durum normal dağılım eğrisi, Gauss eğrisi veya Laplace eğrisi diye tanımlanır (Şekil 2.7b).





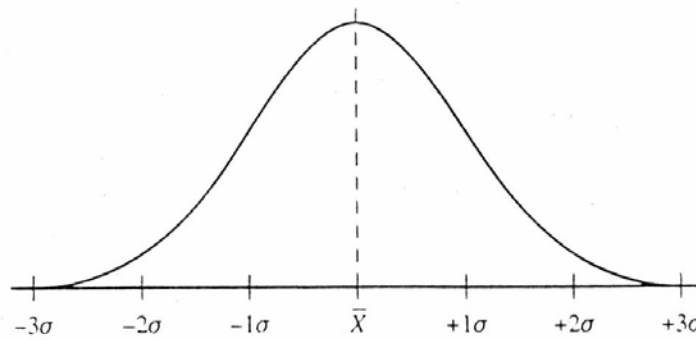
(b)

Şekil 2.7 a) bar grafik şeklinde ve b) çizgi şeklinde (normal dağılım eğrisi).

- Normal dağılım eğrilerinin kullanım alanlarından birisi de bize verilerin dağılımının bir ölçüsünü vermesidir. Verinin bu özelliğini varyans veya standart sapma kavramlarıyla özetleyebiliriz. Şekil 2.8 de görüldüğü gibi bütün veri grubu için standart sapma σ (sigma) ile, varyans ise σ^2 ile gösterilir. Varyansın ifadesi;

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}$$

2.10



Şekil 2.8 Standart Sapma

- Varyansın kareköküne eşit olan standart sapmanın ifadesi ise;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

2.11

- Verinin küçük bir bölümünün örneklenmesi durumunda σ^2 yerine s^2 ve σ yerine s konulur ve paydadaki N , $(N-1)$ ile değiştirilir.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{(N-1)}$$

2.12

ve

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{(N-1)}}$$

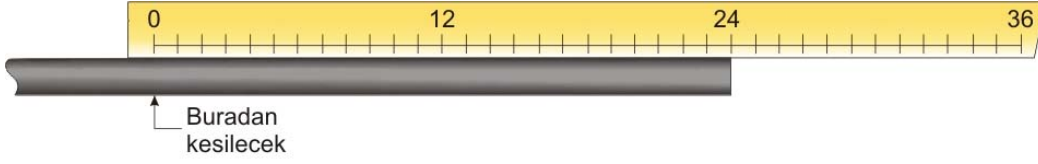
2.13

2.7 Ölçüm Sınıfları

- Ölçüm sınıfları;
 - o doğrudan,
 - o dolaylı,
 - o sıfırlamalı
 - hassasiyet ve doğruluk
 - çözünürlük
 - geçerlik
 - güvenilirlik
- Ölçüm hatası

2.7.1 Doğrudan Ölçme

- Doğrudan ölçümler, ölçüm büyüklüğünün kalibre edilmiş bir standart ölçekle doğrudan karşılaştırılmasıyla yapılır (Şekil 2.9).

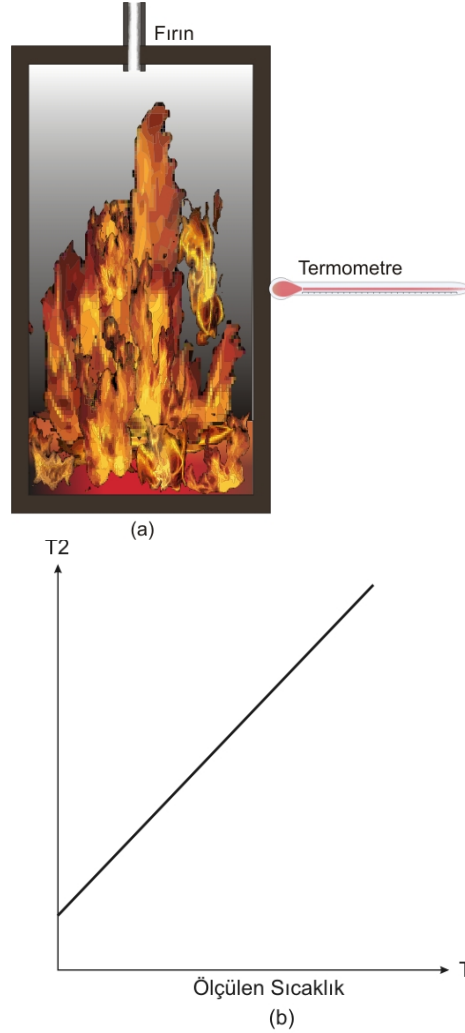


Şekil 4.1 Kablonun uzunluğunun bir cetvelle ölçülmesi

Şekil 2.9 Kablonun uzunluğunun bir cetvelle ölçülmesi

2.7.2 Dolaylı Ölçme

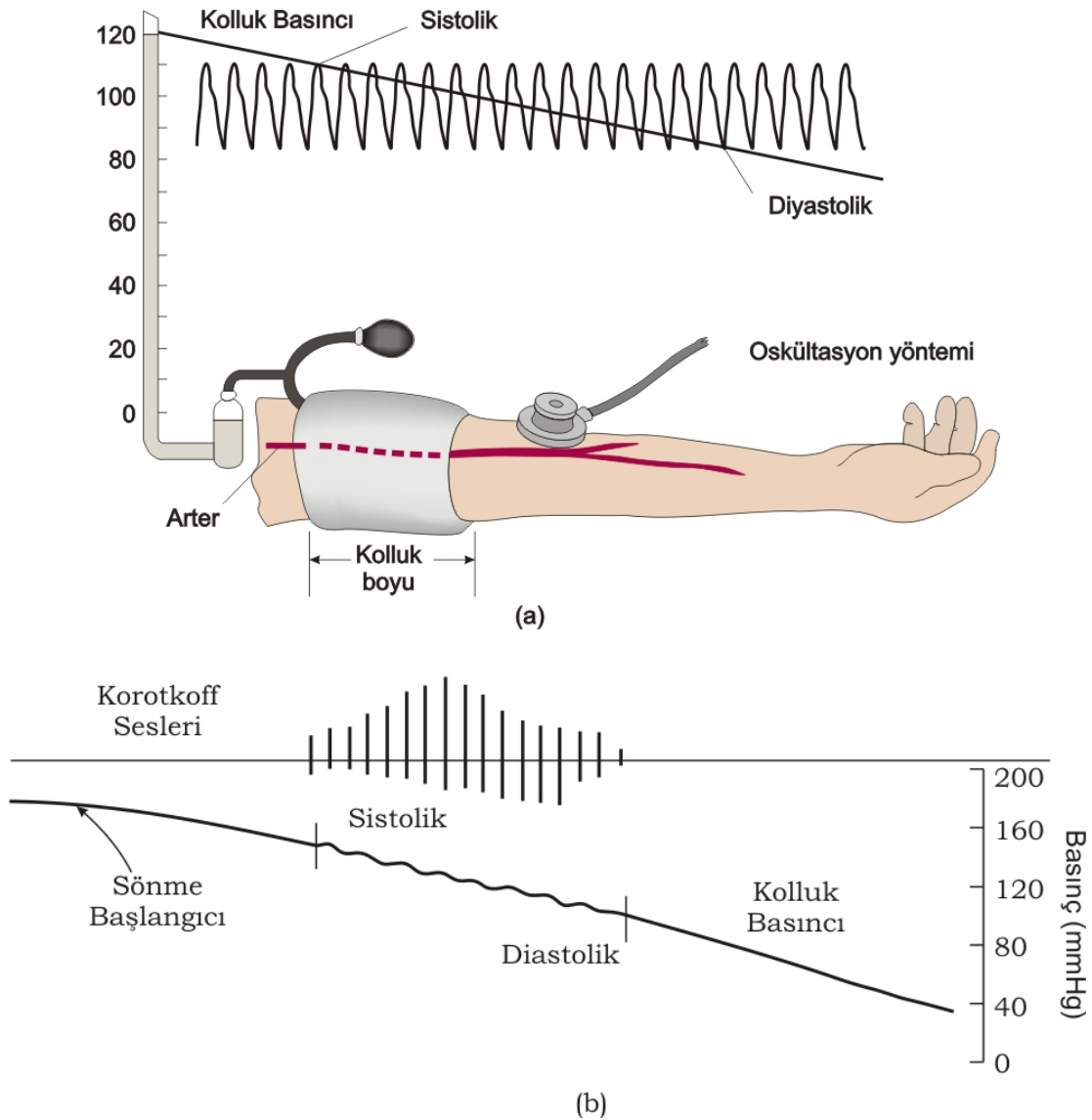
- o Asıl ölçme büyüklüğünden farklı bir şey ölçerek asıl ölçme büyüklüğü hakkında sonuç elde edilen ölçümlerdir (Şekil 2.10a ve 2.10b).



Şekil 4.2 a) Fırın duvarı üzerindeki ölçüm noktası b) Ölçülen ve iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik.

- Şekil 2.10 a) Fırın duvarı üzerindeki ölçüm noktası
b) Ölçülen ve iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılmasını veren grafik.

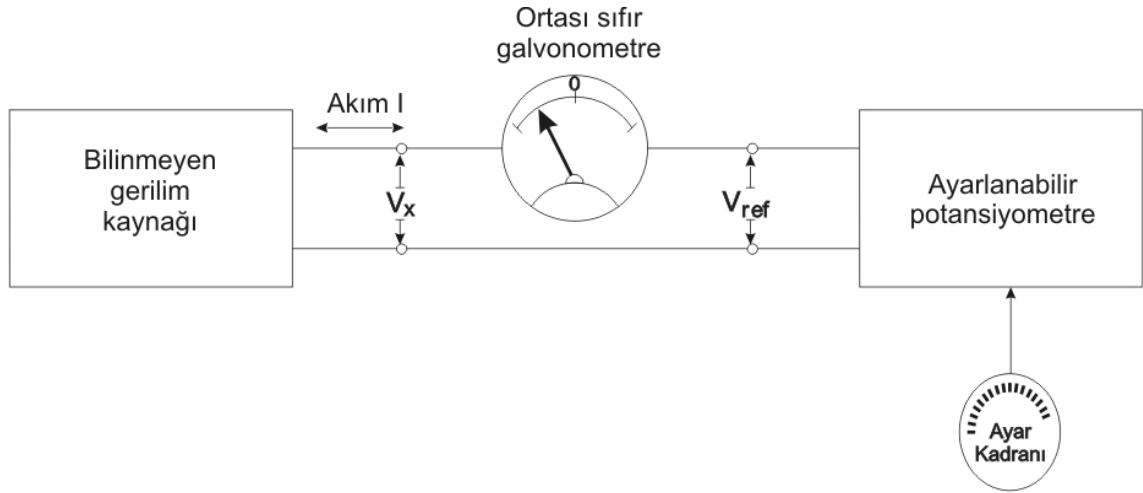
o Dolaylı ölçüme verilecek en genel örneklerden birisi kan basıncının ölçülmesidir. Kan basıncı kol etrafına geçirilen şişirilebilen bir kolluktaki basıncın ölçülmesiyle bulunabilir (Şekil 2.11)



Şekil 2.11 Kan basıncının dolaylı ölçümü

2.7.3 Sıfırlamalı Ölçme

- Sıfırlamalı ölçmeler bilinmeyen bir ölçme büyüklüğünü kalibreli bir referans değeri ile karşılaştırarak yapılır. Karşılaştırılan iki değerden biri değiştirilerek aralarındaki fark sıfır yapılmaya çalışılır. Elektriksel potansiyometre böyle bir alettir, ayarlanabilir kalibreli bir gerilim kaynağı ve bir karşılaştırma aleti (ortası sıfır galvanometre)'den oluşur (Şekil 2.12).



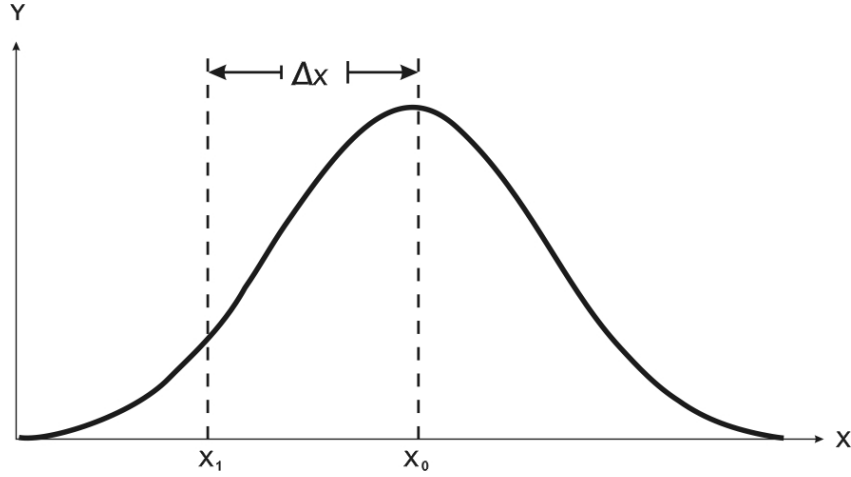
Şekil 2.12 Sıfırlamalı ölçmeye bir örnek.

2.8 Ölçümlerin Yapılmasında Göz Önünde Bulundurulması Gereken Faktörler

- İyi bir ölçüm yapabilmek için bilinmesi gereken kavramlar;
 - o hata,
 - o geçerlilik,
 - o güvenilirlik,
 - o tekrarlanabilirlik,
 - o hassasiyet,
 - o doğruluk
 - o çözünürlük.

2.8.1. Hata

- Her ölçümde belli bir oranda hata vardır. Hata normalden rasgele sapmadır, yanlışlık manasını taşımaz.
- Özellikleri değişmeyen aynı parametre üzerinde sürekli ölçümler veya farklı cihazlarla ve/veya farklı cihaz kullanıcılarıyla ardışık ölçümler yapılıyorsa, yapılan ölçümler belli bir değer (X_0) etrafında yığılma gösterecektir. X_0 gerçek değer kabul edilmekle beraber ölçümde önemli miktarda doğal hata mevcutsa, o zaman ölçülen değer (X_i) gerçek değerden ΔX kadar bir sapma gösterir. Burada $\Delta X \rightarrow 0$ olduğu durumda $X_0 \rightarrow X_i$ olur.



Şekil 2.13 Bir ölçümün doğruluğu ΔX 'in büyüklüğü ile belirlenir.

2.8.2 Geçerlilik

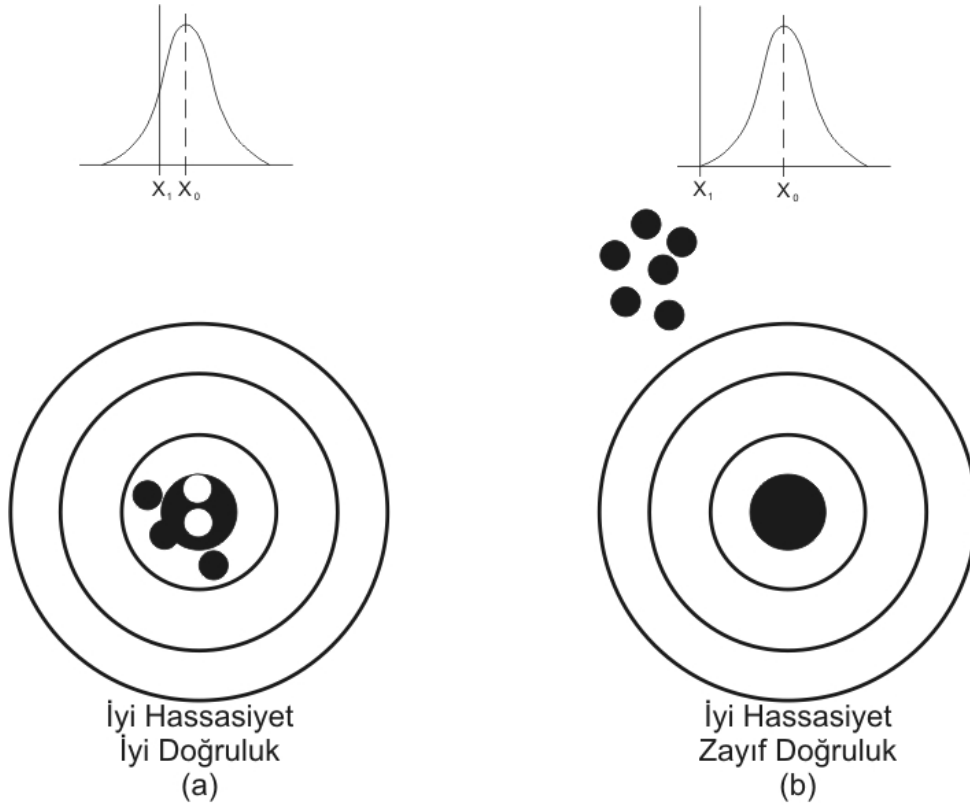
- Bir ölçümün geçerliliği, ölçü aletinin ölçmesi istenen büyüklüğü gerçekte ne kadar iyi ölçtüğü ile ilgili bir ifadedir. Elektronik bir kan basınç ölçme sensörü, gerçekte bir gerilme ölçen aletin diyaframa bağlandığı noktada diyaframın bilinen belli bir alanı üzerindeki basıncın etkisiyle yaptığı gerilmeyi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

2.8.3 Güvenilirlik ve Tekrarlanabilirlik

- Bir ölçümün güvenilirliği, ölçüm büyüklüğünün farklı değerler aldığı farklı denemelerde yapılan ölçümlerin gözden geçirilmesinde bir tutarlılık elde edilmesiyle ilgili bir ifadedir.
- Tekrarlanabilirlik, ölçü aletinin, tam aynı etkiye her seferinde aynı tepkiyi vermesidir. Ne güvenilirlik ne de tekrarlanabilirlik doğrulukla aynı şey değildir. Bir ölçüm, hem oldukça güvenilir hem de tekrarlanabilir olurken aynı zamanda çok hatalı olabilir.

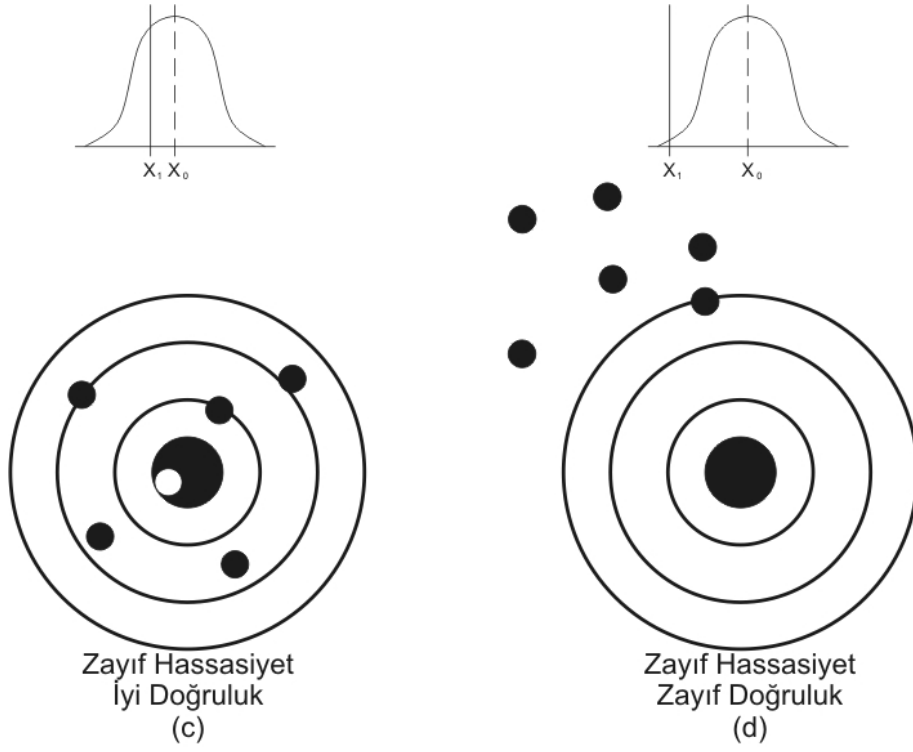
2.8.4 Doğruluk ve Hassasiyet

- Bir ölçümün doğruluğu, hatalardan ne kadar arındırılmış bir ölçüm olduğunu gösteren bir ifadedir. Bir başka ifadeyle, doğruluk, ölçüm büyüklüğü ile standart arasındaki örtüşmenin bir derecesidir.
- Hassasiyet, ardışık ölçümlerin tamlığı hakkında bir ifade olup ölçümün ne derecede rafine olduğunu gösteren bir ölçüttür.
- Doğruluk ve hassasiyet sıklıkla birbirleriyle karıştırılırlar ve yanlışlıkla bu ifadelerin biri diğerinin yerine kullanılır.



Şekil 4.6

Şekil 2.14 a) İyi doğruluk, İyi hassasiyet, b) Zayıf doğruluk, İyi hassasiyet



Şekil 4.6 (devam)

Şekil 2.14 (devam) c) Zayıf hassasiyet, İyi doğruluk, d) Zayıf hassasiyet, Zayıf doğruluk



Pratik ölçümlerde hata etkilerini azaltmakta bazı taktikler etkilidir;

- Ölçümü birkaç defa tekrarlayın ve sonuçların bir ortalamasını alın.
- Eğer mümkünse ölçümü farklı aletlerle tekrarlayın.
- Cetvel, analog ölçü aleti gibi cihazlarla ölçüm yaparken ölçüm kadranının farklı bölgelerini kullanarak ölçümü tekrarlayın.

2.8.5 Çözünürlük

- Bu terim, ölçüm büyüklüğünün birbirine yakın ne kadar küçük parçalara bölünebildiğinin bir derecesini vermektedir. Bunun bir örneği, televizyon istasyonlarının gece vakti yayınladıkları standart T.V. test şeklindeki farklı özellikteki paralel dikey veya yatay çubukların farklı yoğunluklarda dizilişlerinden meydana gelmektedir.

- Sayısal elektronik ölçü aletlerinde, çözünürlük veri kelimesinde kullanılan ikilerin (bitlerin) sayısı ile ifade edilir.
- Bir sistemin çözünürlüğü, veri kelimesindeki (data word) en az ağırlıklı ikili değiştirmeye yetecek kadar ölçüm büyüklüğünde meydana gelen değişim miktarıdır. Örneğin, 0'dan 10V'a kadar olan bir gerilim aralığını tanımlamak için 8 ikil kullanılmışsa, çözünürlük, ikil başına $(10-0)/255$ Volt veya 0.039V/ikil (39 mV/ikil) olur. Bu çözünürlük bazen 1-LSB (en az ağırlıklı ikil) çözünürlüğü diye adlandırılır.

2.9 Hata Sınıfları

Hatanın 4 genel sınıfı mevcuttur; teorik, statik, dinamik ve cihaz etkisi.

2.9.1 Teorik Hata

- Bütün ölçümler, bir ölçüm işlemi esnasında bir değer nasıl davranış sergileyeceğini tahmin eden bir ölçüm teorisine dayandırılarak yapılır.
- Örneğin, tıbbi araştırmalarda ve klinik eczacılıkta ölçümüne ihtiyaç duyulan ortalama atardamar basıncının (OAB) ölçülmesiyle ilgili durumu ele alalım. Araştırmacılar tarafından kullanılan yaklaşık (OAB) eşitliği;

$$\bar{P} = \text{Diyastolik} + \frac{\text{Sistolik} - \text{Diyastolik}}{3} \quad 2.14$$

- Bu eşitlik, bir kalp çevrimi boyunca atardamar basıncının zaman ortalaması gibi belli bir damardaki kan basıncının integralini veren matematiksel bir ifadenin yaklaşık şeklidir:

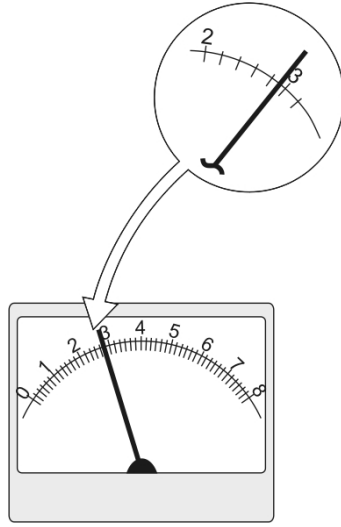
$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} P_{(t)} dt \quad 2.15$$

- Eş. 2.14'deki yaklaşık ifade iyi sonuç verir, fakat Eşitlik 2.15'in basitleştirilmiş hali olduğundan ondan daha çok hataya açıktır.

2.9.2 Statik Hata

Statik Okuma Hataları: Bu hatalar, sensör sisteminin ekranının hatalı okunmasından kaynaklanır.

- Alet kadranı üzerinde ibrenin durduğu iki nokta arasında tam nerede durduğunu kestirememekten kaynaklanan hataya ise interpolasyon (ara değer) hatası adı verilir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 İnterpolasyon (aradeğer) hatası

Çevresel Statik Hatalar : Basınç, elektromanyetik alanlar ve radyasyon gibi faktörler elektronik sensör sistemlerinde dikkate alınması gereken çevresel hata yapıcılarıdır.

Karakteristik Statik Hatalar : Sıfırlama, kazanç, işleme, doğruluk, histeresiz, tekrarlama ve çözünürlük hataları bu sınıfa girer.

- Üretim esnasındaki kusurlardan kaynaklanan hatalar da karakteristik statik hatalar sınıfına girmektedir. Cetvel üzerindeki bütün 1 mm'lik aralıkların hepsi tam 1 mm boyunda değildir.
- Sayısal sistemlerde, çözünürlük hatasının yanısıra bir de **kuantalama hatası** vardır. Kuantalama işlemi sonucunda ölçülen değer, kesin ve ayrık belli bir değer almak zorundadır.

2.9.9 Dinamik Hata

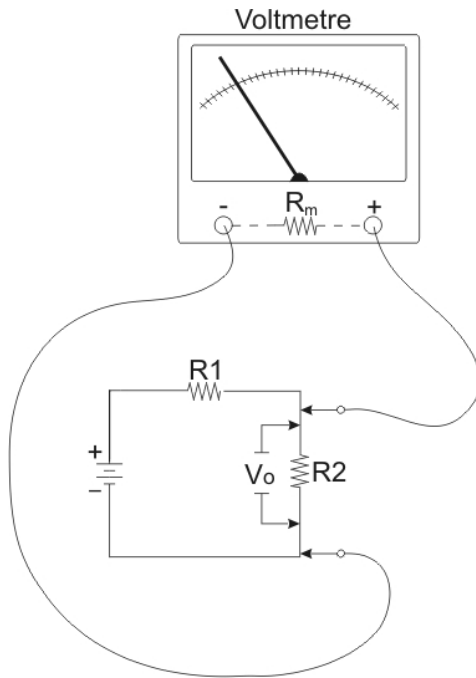
- Dinamik hatalar, ölçüm büyüklüğünün sürekli değişmesi durumunda ortaya çıkarlar.
 - o Mekanik eylemsizliğe sahip analog ibreli bir ölçü aleti
 - o Elektronik enstrümantasyonda frekans veya slew rate kısıtlamaları

2.9.10 Cihaz Araya Girme Hatası



İyi ölçüm yapmanın temel kurallarından birisi, ölçüm işleminin ölçüme etkisinin en az olmasının gerekliliğidir. Aksi halde yapılan ölçüm gerçek değeri değil değiştirilmiş sonucu yansıtacaktır.

- o Basınçölçerin basıncını ölçtüğü sisteme bir miktar hacim eklemesi dolayısıyla basıncın bir miktar düşmesidir.
- o Bir akış ölçer de sisteme uzunluk ekleyebilir, farklı boru kesiti veya türbülans dolayısıyla akış hızının değişmesine neden olabilir.
- o Bir voltmetre düşük iç direnci dolayısıyla elektriksel bir devredeki direnç oranlarının değişmesine ve hatalı bir okumaya neden olabilir (Şekil 2.16).

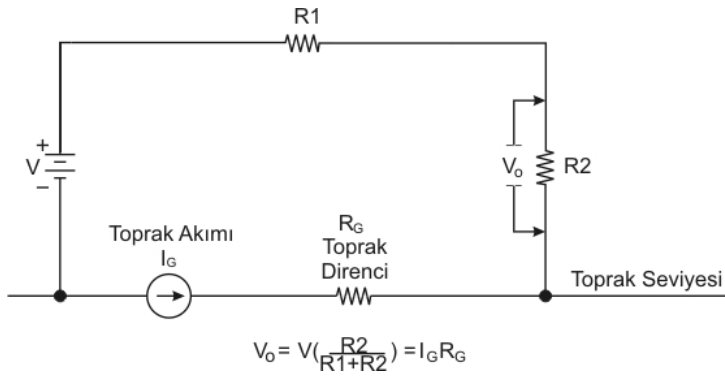


Şekil 2.16 Araya girme hatası dolayısıyla meydana gelen okuma hatası

- Alet araya girme hataları, iyi alet tasarımı ve iyi alet kullanma tecrübesi ile azaltılabilir. Hiçbir ölçü aleti, ölçüm yaptığı sistemi etkilemeden ölçüm yapamaz, ancak uygun metot ve aletlerin seçilmesiyle hatalar en aza indirgenebilir.

2.10 Ölçüm Hatalarıyla Başa Çıkmak

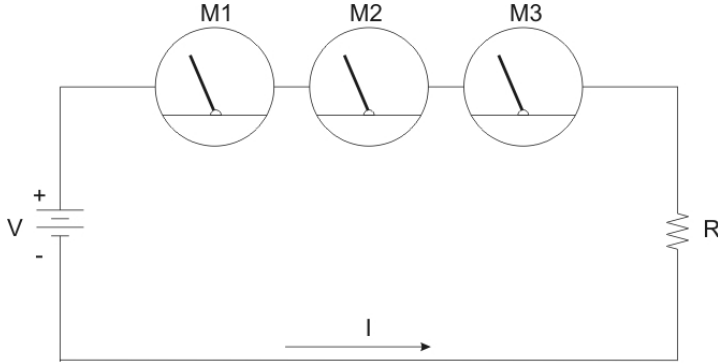
- Ölçüm hataları, birkaç metot kullanılarak en aza indirilebilir. Bu metotların bir kısmı **prosedürler** başlığı altında toplanırken, bir kısmı **istatistiksel** metotlar olarak bilinir.
- Prosedürel metotlarda sonuca etki eden hataları azaltacak hatta en aza indirgeyecek metotlar bulunmaktadır. Örneğin, elektriksel bir devrede, devre dirençlerine nazaran daha yüksek bir giriş empedansına sahip bir voltmetre kullanılabilir.
- Bazı elektronik devrelerdeki önemli hata kaynaklarından birisi, toprak hattındaki gerilim düşümleri ve toprak hattındaki mevcut parazitlerdir.



Şekil 2.17 Toprak hattı gerilim düşümü ve toprak hattı gürültüsü

- Net hatayı azaltmanın bir yolu aynı değişkeni ölçmek için farklı ölçü aletleri kullanmaktır. Şekil 2.18’de, devrede akan akımın 3 ayrı ampermetre (M1,M2,M3) ile ölçüldüğü bir örnek görülmektedir. Bu aletlerin herbirisi bir diğeriyle ilişkisi olmayan (korelasyonsuz) hatalar (3 aynı model birbirinin benzeri alet kullanılmadığı müddetçe) üretmektedir. Doğru akım miktarını 3 aletten elde edilen değerlerin ortalamasını alarak tahmin edebiliriz:

$$M_o = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{3} \quad 2.16$$



Şekil 4.10 Ölçüm hatasını azaltmak için 3 ampermetrenin kullanılması

2.11 Hata Etkileri Analizi

- Bir sistemdeki bütün hata kaynaklarını tanımlamak ve etkilerini tespit etmek üzere bir hata analizi yapılabilir.
- Eğer hatalar birbirinden bağımsız ve tek bir yönde kutuplanmamış rasgele özellikler arz ediyorsa ve büyüklükleri aynı miktarda ise hataların karelerin toplamının karekökü alınarak, ölçüm sisteminin planlanmasında kullanılabilecek bir bileşik hata terimi hesaplanabilir. Hatanın rss'si:

$$\epsilon_{rss} = \sqrt{\sum \epsilon_i^2} \quad 2.17$$

- Hatanın rss terimi ayırık hata bileşenlerinin etkilerinin birleşik bir yaklaşımı veya mantıklı bir tahminidir.
- Bir değer tekrarlanan ölçümü ile elde edilen örnekler örneklenmiş bir popülasyon olarak kabul edilebilir ve böylece işleme tabi tutulabilir. Eğer, aynı parametrenin, N sayıda ölçümünü yaparsak (M1'den Mn'e kadar), bu ölçümlerin ortalamasını aldığımız zaman;

$$\overline{M} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n}{N} \quad 2.18$$

- Eş. 2.18'den elde ettiğimiz ortalama aritmetik ortalamadır. Bu değer genellikle ölçümün doğru sonucu olarak kabul edilir, fakat tek başına hatayla ilgili problem hakkında bilgi vermez. Bu amaçla, ortalamadan standart sapmayı vererek bir düzeltme faktörü ekleriz.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_m}{\sqrt{N}} \quad 2.19$$

Sonuç belirtilirken,

$$M = \overline{M} \pm \sigma_m \quad 2.20$$