ÖLÇME TEKNİĞİ

ÖLÇÜM SONUÇLARININ ANALİZİ-I

Ders Öğretim Üyesi
Dr. Öğr. Üyesi. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN

Ders Kitabı

- **ÖLÇME TEKNİĞİ, Prof. Dr. Tezcan Şekercioğlu, Birsen yayınevi.**

Yardımcı Kaynaklar

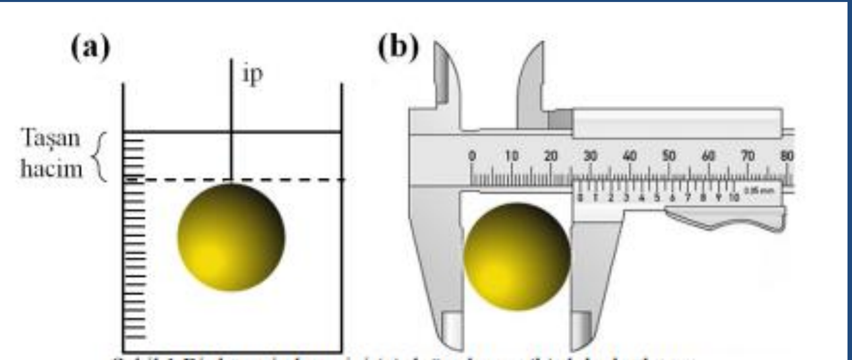
- ***METROLOJİ, 1. BASIM, ŞUBAT 2013 , TÜBİTAK ULUSAL METROLOJİ ENSTİTÜSÜ***
- **Doğan ERBAHAR, Ders Notları, Gebze Teknik Üniversitesi**
- **ÖLÇME TEKNİĞİ (Boyut, Basınç, Akış ve Sıcaklık Ölçmeleri), Prof. Dr. Osman GENCELİ, Birsen yayınevi.**

- Deneyler ve gözlemler ölçüm adı verilen işlemler vasıtası ile sonuçlandırılır.

- Ölçülen büyüklüklere fiziksel nicelikler ismi verilir. Ölçmek en basit ifadesi ile bir fiziksel niceliği kendi türünden ve standart kabul edilen bir birim ile karşılaştırmak ve o birimden kaç tane barındırdığını sayısal olarak belirlemek demektir.

- Her ölçme ölçüm aletinin hassasiyetine bağlı olarak belli bir miktar belirsizlik içerir ve ölçüm sonucunu rapor ederken bu belirsizliklerin de gösterilmesi ve işlenmesi gerekir.

Ölçümleri genelde doğrudan ve dolaylı olarak ikiye ayırmak mümkündür. Doğrudan ölçme, ölçülen niceliği kendi türünden başka bir nicelik ile karşılaştırılarak gerçekleştirilir.



Şekil 1 Bir kürenin hacmini (a) doğrudan ve (b) dolaylı ölçme

- Bir kürenin hacmini dereceli bir silindirde bulunan bir sıvıya batırıp yükselttiği su miktarının hacmini ölçmek suretiyle belirlemek kürenin hacmini doğrudan ölçmeye bir örnektir.

- Doğrudan ölçmeye bir diğer örnek ise belli bir uzunluğu cetvel ile ölçmek olarak verilebilir.

- Dolaylı ölçme ise genelde ölçülmek istenen nicelikten başka "türde" bir niceliğin ölçümüne dayanır ve buradan sonuca hesap yolu ile ulaşılır.

- Kürenin hacmi örneği göz önüne alınacak olursa bir kumpas yardımı ile çapı ölçmek, bunu ikiye bölüp yarıçapı bulmak ve buradan kürenin hacim formülü olan $(4/3)\prod r\ 3$ ü kullanarak hacime ulaşmak dolaylı ölçmenin tipik bir örneğidir.

Fiziksel Nicelikler

Fiziksel nicelikler temel ve türetilmiş nicelikler olarak ikiye ayrılır.

Uluslararası bilimsel standartlarda kabul edilmiş temel nicelikler: kütle, mesafe, zaman, sıcaklık, madde miktarı, elektrik akımı ve ışık şiddetidir.

Tabiatta bunlar haricindeki diğer bütün nicelikler bunlardan türetilebilir. (örnek: hız = uzunluk/zaman, alan = uzunluk2 , yoğunluk = kütle/uzunluk3 , kuvvet = kütle x uzunluk/zaman2 , vs...)

Standart birimler (SI: Système International)

Temel fiziksel niceliklerin uluslararası standartlarca belirlenmiş birimleri ve *boyut sembolleri* Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Temel fiziksel nicelikler, birimleri, birim kısaltmaları ve boyut sembolleri

Fiziksel Nicelik	SI birimi	Kısaltması	Boyut sembolü
Kütle	kilogram	kg	M
Zaman	saniye	s	T
Uzunluk	metre	m	L
Sıcaklık	Kelvin	K	Θ
Elektrik akımı	Amper	A	I
Madde miktarı	mol	mol	N
Işık şiddeti	kandela	cd	J

Türetilmiş fiziksel nicelikler de bir önceki bölümün sonunda örnek verilen mantık çerçevesindeki türetilme şekli ile birimlendirilirler. (örnek: hızın birimi m/s, yoğunluğun birimi kg/m^3, alanın birimi m^2, vs...) Bunun haricinde uzun türetimler sonucu elde edilen nicelikleri kolaylık açısından farklı biçimde isimlendirmek de oldukça yaygındır. Bu tip özel adlandırılmış niceliklerin en sık kullanılanları Tablo 2'de SI temel birimleri cinsinden ifadeleri ile birlikte verilmiştir.

Tablo 2 Birimleri özel isimlendirilen türetilmiş fiziksel nicelikler.

Fiziksel Nicelik	Birim	Kısaltması	Diğer birimler cinsinden	SI birimleri cinsinden
Açı	radyan	rad		$m.m^{-1}$
Katı açı	steradyan	sr		$m^2.m^{-2}$
Frekans	Hertz	Hz		s^{-1}
Kuvvet, ağırlık	Newton	N		$kg.m.s^{-2}$
Basınç, stres	Pascal	Pa	N/m2	$kg.m^{-1}.s^{-2}$
Enerji, iş, ısı	Joule	J	N.m	$kg.m^2.s^{-2}$
Güç, ışıma akısı	Watt	W	J/s	$kg.m^2.s^{-3}$
Yük	Coulomb	C		A.s
Potansiyel farkı	Volt	V	W/A	$kg.m^2.s^{-3}.A^{-1}$
Kapasitans	Farad	F	C/V	$kg^{-1}.m^{-2}.s^4.A^2$
Direnç	Ohm	Ω	V/A	$kg.m^2.s^{-3}.A^{-2}$
İletkenlik	Siemens	S	A/V	$kg^{-1}.m^{-2}.s^3.A^{-2}$
Manyetik akı	Weber	Wb	V.s	$kg.m^2.s^{-2}.A^{-1}$
Manyetik alan	Tesla	T	Wb/m^2	$kg.s^{-2}.A^{-1}$
İndüktans	Henry	H	Wb/A	$kg.m^2.s^{-2}.A^{-2}$
Radyoaktivite	Becquerel	Bq		s^{-1}
Işık akısı	lümen	lm	cd.sr	Cd
Aydınlanma	lüx	lx	lm/m^2	$m^{-2}.cd$

Boyut analizi

Boyut analizi temel bilimlerde ve mühendislikte sıklıkla kullanılan çok güçlü bir analiz yöntemdir.

En basit tanımı ile yazılan bir eşitliğin sağ ve sol tarafının boyutlarının birbiri ile aynı olması gerekliliğini ifade eder.

Eğer iki fiziksel nicelik birbirleri ile mukayese edilebilir büyüklükleri ifade ediyorlarsa bunlar aynı boyuta sahiptir denir.

Örnek olarak 2 cm ile 3 inç farklı birimlerle ifade edilmiş olsalar bile uzunluk [L] boyutuna sahip niceliklerdir.

Öte yandan 3 kg ile 4 s birbirleri ile mukayese edilemez çünkü biri kütle [M] diğeri ise zaman [T] boyutundadır.

(bkz. Tablo 1)

Boyut analizi, verilen veya türetilen bir denklemin tutarlılığını kontrol etmek gibi basit bir sağlama işlemi olarak kullanılabileceği gibi fiziksel bir niceliğin hangi diğer fiziksel niceliklere bağlı olduğunu araştırmak gibi sofistike amaçlar için de kullanılabilir.

Bunu bir örnek ile inceleyecek olursak serbest bırakılan bir cismin ne kadar sürede yere düşeceğinin hangi niceliklere ve nasıl bağlı olduğunu bulmaya çalışalım:

Denklemimizin sol tarafına cismin düşme süresini sağ tarafına da bunun nelere bağlı olabileceğini yazalım. Bu olası nicelikler genelde kaba gözlemlerle belirlenebilir. Olası nicelikler olarak cismin kütlesi (m), cismin bırakıldığı yükseklik (h) ve yerçekimi ivmesini (g) seçersek aşağıdaki gibi bir denklem varsayabiliriz.

$$t = C.m^{\alpha}.h^{\beta}.g^{\gamma}$$

Burada C denklemde yer alması muhtemel boyutsuz bir matematiksel sabittir. Bunun değeri ancak bir deney ile tespit edilebilir ancak diğer bilinmeyenler olan α, β ve γ boyut analizi ile araştırılabilir. Denklemin sol ve sağ taraflarının boyutlarını yerine yazacak olursak aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

$$[T] = [M]^{\alpha}.[L]^{\beta}.\frac{[L]^{\gamma}}{[T]^{2\gamma}}$$

Sol ve sağ tarafın boyutlarının birbirine eşit olması gerekliliği bize üsler hakkında bağıntılar verir. Herşeyden önce eşitlikte ne solda ne de sağda kütle boyutunda başka bir büyüklük olmadığından $\alpha = 0$ olması gerektiği hemen görülebilir. Öte yandan eşitliğin sol tarafında uzunluk boyutu olmadığından sağ taraftakilerin de birbirini yok etmesi gerekir. Buradan da $\beta + \gamma = 0$ gerekliliği ortaya çıkar. Son olarak solda zaman boyutunun üssü 1 olduğundan sağda da 1 olması gerekliliği $-2\gamma = 1$ denklemini verir ki buradan $\gamma = -1/2$ ve dolayısı ile bir önceki denklemden $\beta = 1/2$ bulunur. Sonuçta cismin düşme zamanı için aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$t = C.\sqrt{\frac{h}{g}}$$

Boyut Analizi: Serbest düşmede alınan yolu veren ifadenin $h=(1/2)gt^2$ olduğunu biliyoruz (burada; h: cismin aldığı yol, g:yerçekimi ivmesi, t: zaman).

Çözüm:

Bu ifadeyi boyutları ile ifade edersek:

h: mesafeyi gösterdiği için uzunluk boyutundadır [L]

t: zamanı gösterdiği için zaman boyutundadır [T]

g: ivme boyutundadır dolayısı ile $[L]/[T^2]$

O halde ifademiz

$$h=1/2gt^2$$

$$[L]=[L/\cancel{T^2}].[\cancel{T^2}]$$ (1/2'nin boyutu yoktur)

Buradan

[L]=[L] olduğunu görürüz.

Serbest düşen bir cismin düştüğü yükseklik ile düşme zamanı arasındaki $h = (1/2).g.t^2$ bağıntısını liseden hatırlayacak olursak buradaki C sabitinin √2 olması gerektiğini bilmek için deney yapmamıza da gerek kalmaz.

Görüldüğü üzere boyut analizi sayesinde fiziksel bir bağıntının ana hatlarını hiçbir fiziksel arka plan bilgisine gerek duymadan sadece kaba 4 varsayımlarla dahi çıkarmak mümkündür. Elbette ki boyut analizinin başarısı başta seçilecek olası değişkenlere bağlıdır.

Örnek problem: Bir gitar telinin titreşim frekansını (f) veren formülü telin üzerindeki gerilme kuvveti (F), telin boyu (L) ve telin boyca yoğunluğu (ρ_{boy}) üzerinden boyut analizi yaparak bulunuz. (Boyca yoğunluk uzunluk başına düşen kütle anlamına gelmektedir.)

Bu yöntemde formülün ne şekilde olduğunu bilmemiz gerekmeyebilir.

$$h \propto g^n t^m$$

$$[L]=[\, g^n t^m]$$

$$[L]=[\, L/T^2]^n[T]^m$$

$$[L]=L^n T^{-2n} T^m$$

$$[L]=L^n T^{m-2n}$$

Buradan $n=1$

$m-2n=0$

$n=1$ ve $m=2$ olduğu bulunur. Dolayısı ile $h \propto gt^2$ şeklinde yazabiliriz..

Belirsizlik

Herhangi bir ölçüm aleti ne kadar hassas olursa olsun ölçtüğü büyüklüğü sonsuz sayıda rakam (dolayısı ile sonsuz bir kesinlik) ile rapor etmesi mümkün olamayacağından bütün ölçümler belli bir kesinlik “aralığı” içerisinde anlaşılıp değerlendirilmek zorundadırlar.

Bu aralığa o ölçümün belirsizliği ismi verilir ve ölçülen değerin yanına “±” işareti koyularak ifade edilir.

Örnek olarak boyu 123,4 ± 0.3 mm olarak rapor edilmiş bir çubuğun boyunun 123,1 mm ve 123,7 mm arasında bir değere sahip olduğu anlaşılır. Elbette ki daha hassas bir alet kullanarak belirsizliği daha da küçültmek mümkündür ancak belirsizlik hiçbir zaman sıfır olamaz. Dolayısı ile belirsizlik bilgisini barındırmayan bir ölçüm bilimsel olarak değerlendirilemez.

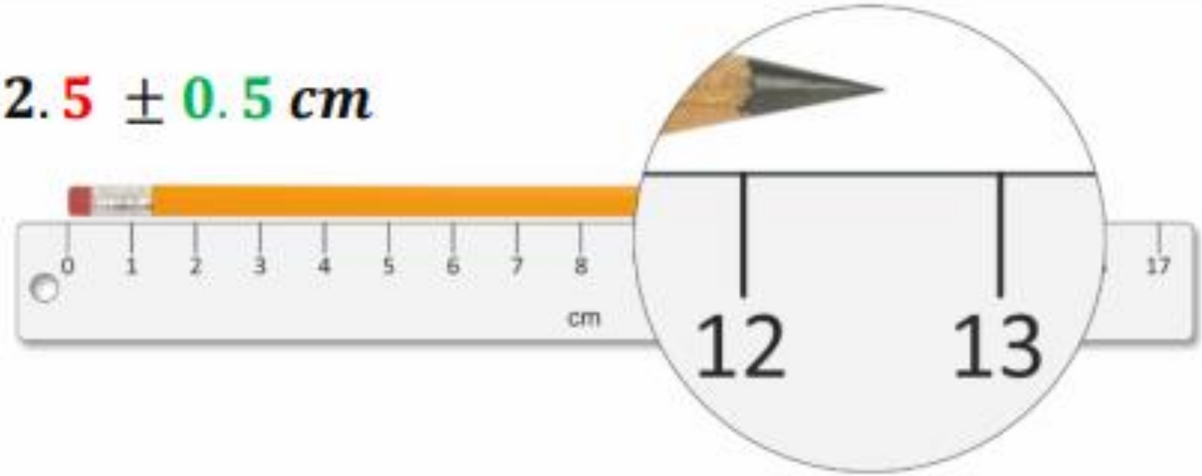
- Bazı karmaşık cihazların okudukları değerlerdeki belirsizlikler açıkça cihazın üzerinde yazarken çoğu cihaz bu bilgiyi rapor ettikleri rakam sayısı ile belli ederler.

- Eğer bir cihazda belirsizlik açıkça verilmiyorsa cihazdan okunan sayının en sağ hanesinin basamağının yarısı kadar bir belirsizlik olduğunu kabul etmek yerinde olur.

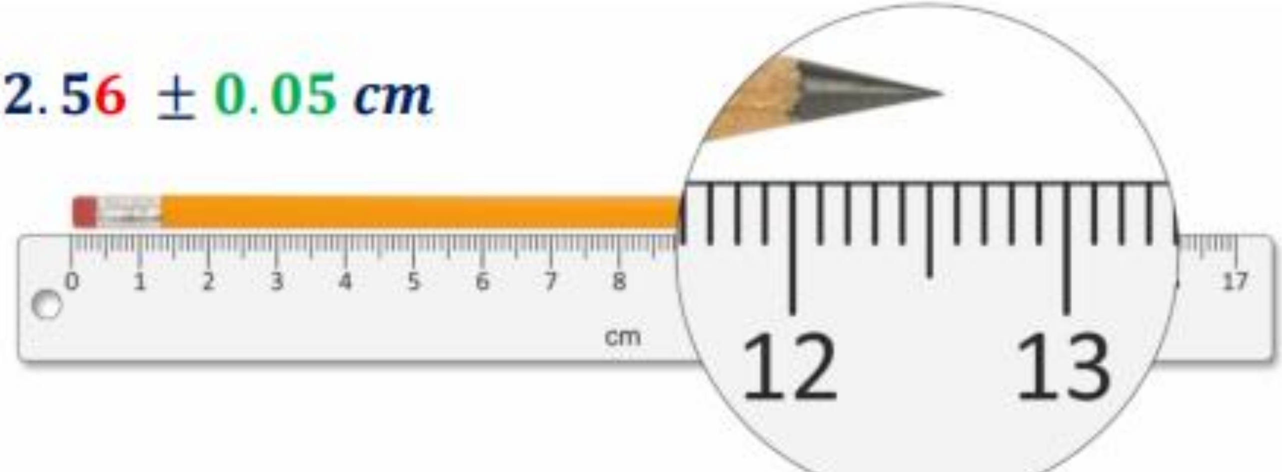
- Örnek olarak elektronik bir tartıda 32,82 gr olarak ölçülen bir ağırlık $32{,}82 \pm 0{,}005$ gr olarak anlaşılmalıdır. (Son hanenin basamağı yüzde birler olduğu için belirsizlik bunun yarısı yani $1/200 = 5/1000 = 0{,}005$ olarak yazılmıştır).

- Bir örnek daha vermek gerekirse milimetrik çizgileri olan bir cetvelle ölçülen uzunluk en yakın milimetreye yuvarlanır ve belirsizlik 0,5 mm olarak yazılır.

$$L = 12.5 \pm 0.5\ cm$$



$$L = 12.56 \pm 0.05\ cm$$



Belirsizliklerin aktarılması

- Çoğu zaman ölçülen büyüklüklerin birbirleri ile işleme sokulması gerekmektedir.
- Örnek olarak bir levhanın alanını dolaylı bir ölçümle ölçmek istersek enini ve boyunu ayrı ayrı ölçüp çarpmak gerekecektir.
- Yine başka bir örnek olarak uzun bir mesafeyi ölçmek gerektiğinde (ve metremizin boyu tek bir ölçüm için yeterli değilse) birkaç ölçüm yapıp toplamak gerekecektir.
- Bu durumda her birinin ayrı belirsizliği olan değerler işleme sokulduğunda bu belirsizliklerin sonuca nasıl yansıyacağını bilmek gerekir. Dört işlem için aşağıdaki kurallar geçerlidir.

- Toplamada ve çıkarmada belirsizlikler toplanır.

Örnek:

$$(23{,}48 \pm 0{,}18) + (12{,}11 \pm 0{,}33) = 35{,}59 \pm 0{,}51$$
$$(23{,}48 \pm 0{,}18) - (12{,}11 \pm 0{,}33) = 11{,}37 \pm 0{,}51$$

- Çarpmada ve bölmede yüzde belirsizlikler toplanır. Bulunan sonuç işlem sonucundaki yüzde belirsizliği ifade eder. Bunu aşağıdaki örnek üzerinde inceleyelim:

$$(23{,}48 \pm 1{,}80) \times (12{,}11 \pm 0{,}33) = 284{,}34 \pm ?$$

Normal çarpım yaptıktan sonra belirsizliği hesaplamak için önce sol taraftaki yüzde belirsizlikler hesaplanır ve toplanır:

$$(23{,}48 \pm \%7{,}66) \times (12{,}11 \pm \%2{,}72) = 284{,}34 \pm \%10{,}38$$

Daha sonra istenirse yüzde belirsizlik $284{,}34 \pm 29{,}51$ olarak değer belirsizliğine çevrilebilir. Aynı sayılar üzerinden bölme örneği verirsek yüzdeleri ve toplamını zaten hesapladığımız için aşağıdaki şekilde sonucu bulabiliriz.

$$\frac{(23{,}48 \pm 1{,}80)}{(12{,}11 \pm 0{,}33)} = 1{,}94 \pm \%10{,}38 = 1{,}94 \pm 0{,}20$$

Belirsizliklerin aktarımında her fonksiyona ve işleme uygulanabilecek en genel yöntemlerden biri "*üç defa hesaplama*" yöntemidir. Bu yöntemde işleme giren büyüklük (veya büyüklükler) sırasıyla nominal değerleriyle, "en büyük sonucu verecek şekilde" ve "en küçük sonucu verecek şekilde" hesaplanır ve sonuçtaki belirsizlik nominal değerin sonucu etrafında bu üç sonucu içerecek rapor edilir.

Örnek: $21{,}3 \pm 0{,}4$ ün sinüsünü almamız gerekiyor.
Nominal değer: $\sin(21{,}3) = 0{,}363251$
En büyük değer: $\sin(21{,}7) = 0{,}369746$
En küçük değer: $\sin(19{,}9) = 0{,}340379$ olarak bulunur. Bu durumda sonuç $\sin(21{,}3 \pm 0{,}4) = 0{,}3633(+0{,}0064 - 0{,}0229)$ şeklinde asimetrik olarak yazılır.

Anlamlı rakamlar ve yuvarlama

Belirsizliklerin açıkça yazılmadığı ölçüm aletlerini hatırlayacak olursak bu durumda gözlemcinin, okuduğu sayının en sağındaki rakamın basamağının yarısı kadar bir belirsizlik olduğunu kabul etmesi gerektiğini söylemiştik.

Ölçüm söz konusu olduğunda sayı kavramı artık bir matematikçi ile bir fizikçi için farklı şeyler ifade etmeye başlar. Bir matematikçi için 1,200 ile 1,2 aynı şeyi ifade ederken bir fizikçi bu sayıları iki farklı ölçüm cihazında okuduğunda birinci sayıda ±0,0005 kadar ikincide ise ±0,05 kadar bir "gizli" belirsizlik olduğunu anlar.

Dolayısı ile ölçüm sonuçlarını yazarken gereksiz yere basamak veya küsurat yazmaktan kesinlikle kaçınmak gereklidir çünkü son basamak aynı zamanda sizin belirsizliğinizi belirler.

Başka bir değişle yazılan her basamağın bir anlamı olup olmadığına dikkat edilmesi gerekir.

Bir ölçüm sonucunu belirtmek üzere yazılan, doğru olduğu kesin olarak bilinen ve sonuncusu tahmine dayanan rakamlar anlamlı rakamlardır.

- Bu bağlamda bir ölçümde okunan bir sayıda hangi rakamların anlamlı kabul edilip edilemeyeceği aşağıdaki kurallarla belirlenir:

1- Sıfırdan farklı tüm rakamlar anlamlıdır. (123,45...... 5 anlamlı rakam)

2- Sıfırdan farklı rakamların arasında yer alan sıfırlar anlamlıdır. (10023,00405 ….. 10 anlamlı rakam)

3- En başta yer alan sıfırlar anlamsızdır. (00123,45 ….5 anlamlı rakam 0,00123……. 3 anlamlı rakam)

4- En sonda yer alan sıfırlar söz konusu olduğunda sayı ondalık sayı ise bu sıfırlar anlamlıdır. Tam sayı ise anlamsızdır. (12,300…. 5 anlamlı rakam, 12300 ……..3 anlamlı rakam)

- Burada muhtemelen yegane kafa karıştırıcı olan şey 12300 sayısının 3 anlamlı rakama sahip olduğu kabûlüdür.

- Ancak önce şu istisnâi durumu açıklığa kavuşturalım: Bir gözlemci, aletinin ekranında tam olarak bu sayıyı okuyorsa ve dolayısıyla illa sondaki sıfırların da anlamlı olduğunu ifade etmek istiyorsa bir karışıklığa mahal vermemek için bilimsel notasyona geçip bu sayıyı $1,2300 \times 10^4$ şeklinde ifade etmesi en doğru olan şeydir.

Anlamlı rakam kavramı ölçüm sonuçlarını kullanarak işlem yaparken yukarıda anlatılan ve nispeten çetrefilli olan belirsizliklerin aktarımı meselesini büyük ölçüde kolaylaştırır. Bunun için aşağıdaki kurallara dikkat edilmesi yeterlidir.

- İki sayı çarpılır ve bölünürken çıkan sonuç işleme girenler arasında en az sayıda anlamlı rakam içerenin anlamlı rakam sayısına sahip olana kadar yuvarlanır.

Örnekler:

8 x 8 = matematiksel olarak 64'dür. Ancak 64 iki anlamlı rakam içerdiğinden ve girenlerin her biri bir anlamlı rakama sahip olduğundan sonuç bir anlamlı rakama yuvarlanmalıdır yani 60 olarak yazılmalıdır. İlk bakışta yadırganabilecek bu durumu şöyle açalım: 8 olarak ölçülen bir büyüklüğün $\pm0,5$ gibi bir gizli belirsizlik içerdiğini söylemiştik. Dolayısı ile 7,5 ila 8,5 arasında değişebilen bu sayının karesini aldığımızda sonucu 64 olarak yazar isek 63,5 ile 64,5 arasında kalan sahte bir kesinlik atfetmiş oluruz. Oysa gerçekte olan şey kesinliğin 56 ($\sim7,5^2$) ile 72 ($\sim8,5^2$) gibi çok daha geniş bir aralıkta olduğudur ve sonucu tek anlamlı rakam olan 60 olarak yazmak bu belirsizliği ±5 gibi çok daha iyi (en azından doğru mertebede) temsil eder.

$8 \times 8,0 = 60$ (İkinci sayı iki anlamlı rakam içermesine rağmen ilk sayı tek anlamlı rakama sahip dolayısı ile sonucu yine tek anlamlı rakam içerecek şekilde yuvarlıyoruz.)

$8,0 \times 8,0 = 64$ (Artık iki sayı da iki anlamlı rakam içeriyor dolayısı ile sonuç şimdi 64 olarak yazılabilir.)

$8,02 \times 8,02 = 64,3$ (Girenlerin ikisi de 3 anlamlı rakama sahip, 64,3204 olan sonuç 3 anlamlı rakam içerecek kadar yuvarlanmış)

$8 / 2,0 = 4$
$8,6 / 2,0012 = 4,3$
$2 \times 0.8 = 2$

12,250 x 21,3 = 261 (matematiksel olarak 260,925 olan sonucu işleme girenler arasında en az sayıda anlamlı rakam içerenin anlamlı rakam sayısına yani 3 anlamlı rakama yuvarladık.)

- Toplamada ve çıkarmada sonuç, işleme girenler içerisinde son anlamlı rakamı en yüksek basamak değerine sahip olanın son anlamlı basamağına kadar yuvarlanır.

Örnekler:

1 + 1,1 = 2 (1'in son anlamlı rakamı birler basamağında 1,1'in ise onda birler basamağında. Sonuç birler basamağına yuvarlanır.)

123 + 60 = 180 (123'ün son anlamlı rakamı birler, 60'ın son anlamlı rakamı onlar basamağıdır. Dolayısı ile sonuç onlar basamağına yuvarlanır.)

123,25 + 46,0 + 86,26 = 255,5 (46,0'ın son anlamlı rakamı onda birler basamağında diğerlerinin yüzde birler basamağında dolayısı ile sonuç onda birler basamağına yuvarlanır.)

5,67 – 3 = 3 (5,67'nin son anlamlı rakamı yüzde birler, 3'ün ise birler basamağında. Sonuç birler basamağına yuvarlanır.)

Anlamlı rakamlar ile işlem yaparken dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan bir tanesi de matematiksel sabitlerin anlamlı rakam değerlendirmelerinin dışında tutulması gerekliliğidir. Çünkü matematiksel bir sabit belirsizliği olmayan, TAM bir kesinlik ifade eder. (Dolayısı ile sonsuz sayıda anlamlı rakam içerir gibi de düşünülebilir.) Örnek olarak kinetik enerji hesabında $\frac{1}{2}mv^2$ denklemi kullanılıyorsa anlamlı rakamlar (ve aralarındaki işlemler) fiziksel nicelikler olan m ve v üzerinden tartışılmalıdır. Baştaki ½ yi 1 anlamlı rakama sahip bir sayı gibi düşünmek YANLIŞTIR. Ya değerlendirmeye hiç katmamak ya da 0,500000.... gibi sonsuz sayıda anlamlı rakama sahip olduğunu düşünmek gerekir (ki zaten iki yaklaşım da aynı sonucu verir). Bunun çarpıcı bir örneği olarak bir sarkacın peryodunu 12,3 s olarak ölçtüğümüzü varsayalım. Frekans 1/T formülü ile tanımlandığından bu sarkacın frekansını ifade ederken formüldeki 1 sayısı 1 anlamlı rakama sahip gibi düşünülmez çünkü o matematiksel bir sabittir. Dolayısı ile sonuç yine 3 anlamlı rakama yuvarlanır ve 0,0813 Hz gibi ifade edilir.

Anlamlı rakamlarla işlem yaparken bazı özel fonksiyonlar ile karşılaşıldığında ne yapılması gerektiği aşağıda anlatılmıştır:

- Sayının kuvveti veya kökü alınırken sonuçtaki anlamlı rakam sayıdaki anlamlı rakam kadar olmalıdır.
- **ln(x)** veya **log(x)** fonksiyonu kullanıldığında sonuç x'in anlamlı rakam sayısı kadar "ondalık" muhafaza etmelidir. Örnek: ln(8,3) = 2,1162555... diye giderken virgülden sonra iki anlamlı rakama yuvarlanır: 2,12
- **10^x** durumunda sonuç x'in virgülden sonraki kısmındaki anlamlı rakam sayısı kadar anlamlı rakam içerir. Örnek: $10^{4,3} = 2 \times 10^4$ olarak tek anlamlı rakama yuvarlanmalıdır.
- **e^x** durumunda anlamlı rakam sayısı muhafaza edilir. Örnek: $e^{5,32} = 204$
- **sin(x)** durumunda sonuçtaki anlamlı rakam sayısı x'in anlamlı rakam sayısı ile virgülden sonraki anlamlı rakam sayısının toplamıdır. Örnek: sin(34,21) = 0,562228 gibi 6 anlamlı rakamla yazılabilir. (Sayının kendisi 4 virgülden sonra 2 anlamlı rakama sahip)
- **cos(x)** ve **tan(x)** durumlarında anlamlı rakam sayısı muhafaza edilir. Örnek: cos(12,3) = 0,977

Yuvarlama

- Sayıları yuvarlarken sıkça yapılan hatalardan biri en sağdaki rakamdan başlayarak sola doğru gelmektir. Bu yaklaşım işlemi gereksiz yere uzatırken bazı durumlarda hataya dahi sebep olabilir.

- Doğru olan yöntem sayı kaç anlamlı rakama yuvarlanmak isteniyorsa bir fazla sayıda anlamlı rakamdan sonrasını baştan tamamen atıp sadece son rakamı yuvarlamaktır.

- Örnek: 25,874678 sayısını 4 anlamlı rakama yuvarlamak istiyoruz. En sağdan başlarsak bu işlem 25,88 sonucunu verir. Oysa bu sayı 25,87'ye daha yakındır.

- Doğru olan yöntem 5. anlamlı rakamdan sonrasına hiç bakmayıp sayıyı baştan 25,874 olarak görmek dolayısı ile 25,87'ye yuvarlamaktır.

Hatırlayalım!!

- Aşağıda verilen ölçüm sonuçları anlamlı rakamlar göz önüne alınarak yazılmıştır. Verilen sayılarda kaç tane anlamlı rakam vardır?

a) 24
b) 23.30
c) 1.05
d) 0.0024
e) 125
f) 1.0003
g) 1200

Aşağıdaki işlemlerde kullanılan sayılar anlamlı rakamlar kullanılarak verilmiştir. Sonuçlarınızı anlamlı rakamları ve belirsizliği hesaba katarak hesaplayınız.

a)1.000256×3.5=?
b)1.000256×3.5=?
c)5.3250043+45.54=?
d)5.3250043+45.54=?
e)123÷3=?
f)123÷3=?