

FİZİKTE POPÜLER KONULAR

Prof.Dr. Erol AYGÜN

ÖLÇMEDE BİLİMSELLİK VE ANLAMLI RAKAMLAR

Çağımız bilim ve teknolojisi hassasiyet üzerine kurulmuştur. Roketler, uçaklar, gemiler, trenler ve otomobiller insan (pilot) kontrolü yerine bilgisayar kontrollü otomatik pilotlarla yönlendirilmektedir. Hatta çok büyük fabrikalar daha hemen hemen hiç insan (işçi) kullanmadan otomatik sistemlerle (robotlarla) işletilebilmektedir. Bu kadar önemli işlerin kazasız (hatasız) olarak bir düzen içinde yürütülebilmesi çok incelikli (hassas) ölçme ve hesaplamalar gerektirmektedir. Bu sebeple ölçme de bilimsellik yani bir ölçmenin **doğruluğu** (accuracy) ve **hassasiyeti** (precision) teknolojik uygulama açısından çok büyük önem arz etmektedir. Ayrıca bilimsel anlamda ölçmede doğruluk ve hassasiyet kavramları yanında, ölçme sonuçlarını ifade eden rakamların bir **anlamı** vardır; belirli basamaktan öteye rakamlar sıralanamaz; yani anlamsız rakamların sonuca yazılmaması gerekir. Bu yazıda "ölçmenin bilimselliği ve anlamlı rakamlar" konusu lise öğrencilerinin anlayacağı bir seviyede ele alınmıştır.

Fizikte, miktan bilinmeyen bir büyüklüğü, aynı cinsten bir birim büyüklük (standart) ile karşılaştırarak kaç katı olduğunu saptamaya **ÖLÇME** denir. Doğal bilimlerde (fizik, kimya, biyoloji...) yapılan her ölçme, bir miktar hatalıdır. Hatasız bir ölçme yapma olasılığı çok zayıftır. Bir ölçmede bu çok zayıf olasılık gerçekleşebilir; yani verilen sonuç tam doğru olabilir. Fakat bu sonucun **gerçek değer** olduğunun, başka ölçme yöntemleri ile doğrulanması gerekir ve hatta o deneyin doğru olduğu bilinen bir teorisi varsa deney sonucu teorik sonucu ile de aynı olmalıdır. Aslında teoriler deney ve gözlemlerle doğrulandığı sürece geçerlilik kazanırlar. Görülüyor ki, bir ölçmede bulunan sonucun **gerçek değer** olduğunu iddia etmek zordur. O halde ne yapılabilir? Bir ölçü sonucunun bir miktar hatalı olması tamamen yanlış olduğu anlamına gelmez. Bu durumda sonuçtaki hatanın miktan önem kazanır.

Günlük yaşantıda, çarşıdaki alış-verişlerde yapılan ölçmelerde de hata vardır. Fakat oradaki hata miktan bazen önemli olmayabilir. Örneğin 1000 gram domates almak istediğimizde alınan domatesin gerçek kütlesi 998 gram ise, bu ölçmedeki hata bizi bü-

yük bir zarara uğratmaz. Fakat domates yerine altın alındığı düşünülürse, 2 gramlık hata önem kazanır. Fizik laboratuvarlarında ve bir eczacı ilaç tertip ederken, yapılan ölçmelerdeki hata miktan da önemlidir; hatta tehlikeli (öldürücü) olabilir.

Ölçme yaparken iki tür hata ile karşılaşılır. Bunlar **Sistemli hatalar** ve **rastlantı hatalarıdır**.

Sistemli Hatalar : Bunlar kullanılan ölçü aletinden, deneyciden ve izlenen yöntemden ileri gelen hatalardır. Kullanılan ölçü aleti kısmen bozuk veya iyi kalibre edilmemiş (Doğru eşelendirilmemişse) sonuçlara sistemli olarak bir hata girer. Sistemli hataların büyük bir kısmı kalibrasyon hatalarıdır (Bir ölçü aleti yaparken, onun okumalarını bir standart eşelle karşılaştırarak, eşelini ayarlamaya kalibrasyon denir). Deneyci kullandığı ölçü aletini doğru ve tam olarak okumuyorsa, bu durum da sonuca sistemli olarak hata katar. Aynı şekilde, yöntemin iyi olmaması da ölçü sonucunu sistemli olarak hata katar. Sistemli hata her ölçmede tekrarlanır, yani sonuca girer.

Tahmin edilebileceği gibi sistemli hatası olan bir ölçü sonucu gerçek değerden bir yönde sapar. Bulunan sonuç gerçek değerden ya küçük veya büyük olabilir. Gerçek değeri x_0 olan bir uzunluk ölçüldüğünde x_1 değeri bulunmuş ise $(x_1 - x_0)$ farkına **hata miktarı** veya **ölçü hatası** denir. Bir ölçme ne kadar az sistemli hata içeriyorsa, bulunan sonuç gerçek değere o kadar yakındır.

Sistemli hatayı sonuçtan, kısmen de olsa elemek için başvurulan yollar şunlardır:

- 1) Kalibrasyon hatası fark edilmiş ise alınan verilerde uygun düzeltmeler yapılır.
- 2) Okuma hatası (kişisel hata) fark edilmiş ise yine verilerde uygun düzeltmeler yapılır.
- 3) Eğer sistemli hata fark edilemiyor ise, deney koşulları değiştirilerek (Başka alet, başka kişi, başka yöntem ve başka çevresel koşullar) ölçmeler tekrarlanır ve farklı koşullarda bulunan sonuçların ortalaması alınır. Görülüyor ki, tek bir ölçmenin bilimsel olarak pek anlamı yoktur. Ölçme birden fazla sayıda tekrarlanıp, uygun şekilde ortalaması alınmalıdır.

Bir ölçmenin sonucunu sistemli hatadan tamamen arındırmak imkânsızdır. Ancak kısmen arındırılabilir. Görüldüğü gibi, bir ölçü sonucunun **doğruluğu**, (accuracy) içerdiği sistemli hata ile ilişkilidir. Sistemli hata ne kadar küçükse, bulunan sonuç gerçek değere o kadar yakındır. Sistemli hata küçüldükçe doğruluk artar.

Rastlantı Hataları : Deney anında önceden sezilemeyen ve deneyi veya deney koşullarını (dolayısıyla yine deneyi) geçici olarak etkileyen olaylardan ileri gelen hatalara rastlantı hataları denir. Örneğin şimşek çakması sonucunda bir anlık voltaj düşmesinin veya artmasının bir elektrik deneyini etkileme-

si sonucu meydana gelen hata bir rastlantı hatasıdır. Rastlantı hatası her gözleme (ölçmeye) girmez. Halbuki, sistemli hata her gözlemede sonuca aynen girer, yani tekrar eder.

Rastlantı hataları fazla olan bir grup ölçüde, sonuçların gerçek değer etrafında dağılım yarıçapı da büyük olur. Başka bir deyişle rastlantı hataları az olan bir grup ölçüde, sonuçlar hakiki değere yakın dağılırlar. Sonuçlarının dağılımı küçük olan deneylere hassas (precise) deney denir. Bir ölçmenin hassasiyeti bulunan sonuçların birbirine ne derece yakın olduğu demektir. Deneyde hassasiyet arttıkça sonuçların dağılım yarıçapı küçülür. O halde bir değişimin (sabitin) bilimsel olarak ölçümü söz konusu ise, ölçme işlemi verilen bilgiler ışığında ve mutlaka çok sayıda tekrarlanarak yapılır, hesaplanarak bulunan ortalaması, sonuç olarak ilan edilmelidir. Bulunan ortalama değer gerçek değerle çakışabilir, onun yakınında olabilir veya gerçek değerden uzakta olabilir. Bulunan ortalama değer hakiki değerden uzak olması, ölçmenin doğruluğunun kötü olduğunu ve ölçüde önemli bir sistematik hata olduğunu gösterir. Buradan şu yargılar çıkarılabilir: Bir deneyin çok hassas olması doğruluğunun büyük olması, demek değildir. Diğer bir söyleyişle büyük doğruluklu bir deney, çok hassas bir deneydir diyemeyiz. Her iki hal de ikilem durumlara götürür. Yani çok hassas bir deneyin sonucu büyük doğruluklu olabilir de olmayabilir de. Keza büyük doğruluklu bir deney çok hassas olabilir veya olmayabilir. O halde bilimsel ölçü sonuçları kaba bir sınıflandırma ile şu dört grupta toplanabilir:

- Çok hassas ve büyük doğruluklu
- Çok hassas ve küçük doğruluklu
- Az hassas ve büyük doğruluklu
- Az hassas ve küçük doğruluklu

Bir ölçüde gerçek değeri bulma olasılığı oldukça zayıf olduğuna ve bulunsa bile bulunan değer gerçek değer olduğunu iddia etmek pek kolay olmadığına göre, bilimsel bir ölçüde sonuç verirken, o sonucun doğruluğu ve ölçmenin hassasiyeti hakkında bilgi vermek gerekir. Doğruluk ve hassasiyet hakkında yargıya varabilmek için gözlemler (ölçmeler) çok sayıda tekrarlanır ve sonuçlar üzerinde bazı **istatistik hesaplar** yapılarak, bulunan ortalama sonuç ile birlikte hata sınırları da aşağıda olduğu gibi ilan edilir: Örneğin gerçek değeri x_0 olan bir uzunluk, sırttaki tüm öğrenciler tarafından milimetrik eşelli bir cetvelle aynı ölçülmüş olsun. Öğrencilerin sonuç olarak hapsinin aynı rakamı söyleyemeyeceği açıktır. Söylenen rakamların ortalaması \bar{x} ise bilimsel olarak sonuç,

$$x \text{ (ölçülen)} = \bar{x} \pm \sigma$$

şeklinde ilan edilir. Burada σ 'ya standart sapma denir ve bu sayı ortalama değer etrafındaki dağılım yarıçapı olarak düşünülebilir. Fen bilimleri derslerin-

de \bar{x} ve σ 'nın nasıl hesaplanacağı öğretilmektedir. Bir deneyin bilimsel olarak anlamlı olabilmesi için gerçek değer x_0 'ın, \bar{x} 'ye σ 'yı bir defa ekleyip, bir defa da çıkartarak bulunan iki nokta arasında kalması gerekir.

Bilimsel ölçmelerde sonuca giren hatalarla doğrudan doğruya ilişkili ve onunla birlikte düşünülmesi gereken diğer bir husus da sonucun kaç rakamla verileceği konusudur. Bir dizi rakamlardan oluşan bir sonuçtaki rakamlardan bir kısmı gereksiz **-bilimsel olarak anlamsız-** olabilir. Şimdi de bu konuyu görelim:

Anlamlı Rakamlar : Bir ölçü sonucu 25,123456 (birim) şeklinde verilmiş ise, bu sonucun sahibi her basamaktaki sayının doğruluğunu iddia ediyor demektir. Herhangi bir basamaktaki sayıda şüphesi varsa, o basamaktan sonrasını yazmak anlamsızdır. Bilimsel ölçü sonuçları ilan edilirken emin olunmayan bir tek basamakla verilmelidir. O emin olunmayan son basamak için de bir hata hesabı yapılarak sınırlar yani σ değeri verilir. Bilimsel çalışmalarda sonuçlar, bu çerçevede verilir. Öğrenciler de laboratuvar deney sonuçlarını böyle vermeliyimdir.

Deneyel sonuç ilan ederken kaç basamaklı sayı yazılması gerektiğini, anlamsız rakamlardan nasıl kurtulacağını bir örnekle görelim: Kenarları a, b olan bir dikdörtgenin alanını hesaplayalım. Dikdörtgenin a kenarını verniyeli cetvelle (en küçük bölümü 0,1 mm) ve b kenarını da milimetrik metre (en küçük bölümü 1 mm) ile ölçelim. $a = 5,34$ cm ve $b = 124,2$ cm ölçülmüş olsun.

$$a \quad S = a \cdot b$$

b

Ölçü aletlerinin (verniyeli cetvel ve metre) eşellerine göre a ve b ancak böyle yazılabilir. Hatta a ve b'yi sonuç olarak vermek gerekse idi;

$$a = (5,34 \pm 0,01) \text{ cm}$$

$$b = (124,2 \pm 0,1) \text{ cm}$$

şeklinde yazılması gerekirdi. Bizden dikdörtgenin alanının hesabı isteniyor. O halde;

$$S = a \times b$$

$$= 5,34 \times 124,2$$

$$= 663,228 \text{ cm}^2$$

olur. Fakat sonucu bu şekilde vermek hatalıdır. Yanlış değil, fakat hatalı, bilimsel anlam açısından hatalıdır. O halde bilimsel olarak doğru sonuç nedir, sorusunun cevabını, çarpmayı tekrar yaparak bulalım. Şüpheli olduğumuz rakamlar üzerine işareti koyarak çarpmayı tekrarlayalım ve şüphelinin sonuç içinde nasıl ilerlediğini görelim:

ZEKÂSAYAR

(Geçen sayıda yayınlanan soruların cevapları)

ÖDEME PLANI : Beklenilenin aksine 1. plan daha ekonomiktir.

1. Plan

$$\text{İlk yıl} : 50 + 50 = 100$$

$$\text{İkinci yıl} : 60 + 60 = 120$$

$$\text{Üçüncü yıl} : 70 + 70 = 140$$

2. Plan

$$\text{İlk yıl} : 50 + 55 = 105$$

$$\text{İkinci yıl} : 60 + 65 = 125$$

$$\text{Üçüncü yıl} : 70 + 75 = 145$$

Görüldüğü gibi 1. Plan her yıl için 5 altın daha karlıdır.

KUTULAR :

$$\boxed{9} - \boxed{5} = \boxed{4}$$

X

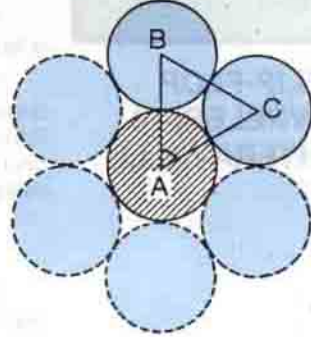
$$\boxed{6} \div \boxed{3} = \boxed{2}$$

=

$$\boxed{1} + \boxed{7} = \boxed{8}$$

KIZILDERİLİLER : Annesidir.

DAİRELER : 6 daire ile çevrelenebilir. Üç dairenin merkezlerini birleştiren üçgen, bir eşkenar üçgendir (Daireler eşit olduğu için). Eşkenar üçgenlerin bir açısı 60 derece olduğu için, 360 derecelik daireye 6 adet daha A açısı yerleştirilebilir. Bu da 6 adet daire demektir.



GARİPKÖY : Esmer yalancı, sarışın ise doğrucudur.

Esmer ve sarışın Garıpköylü'nün türleri ile ilgili dört değişik kombinasyon olabilir. Bu kombinasyonlara göre esmerin vereceği cevaplar aşağıda sıralanmıştır.

	Esmer	Sarışın	Esmerin vereceği
1)	Doğrucu	Doğrucu	Evet
2)	Doğrucu	Yalancı	Evet
3)	Yalancı	Doğrucu	Hayır
4)	Yalancı	Yalancı	Evet

Görüldüğü gibi yalnızca 3. durumda verilen "Hayır" cevabı Dr. X'i belirsizlikten kurtarır. Eğer Dr. X "Evet" cevabı almış olsaydı 1,2 ve 4 no'lu durumlardan hangisi ile karşı karşıya olduğunu belirleyemeyiz. Oysa aldığı cevaptan sonra sonucu doğru olarak bulabildiğini bildiğimize göre tablodaki 3. durum geçerlidir.

$$\begin{array}{r} 124,2^* \\ \times 5,34^* \\ \hline 4968^* \\ 3726^* \\ 6210^* \\ \hline 663,2^* \end{array}$$

Şimdi şu soruya cevap verilmelidir. Virgülden önceki 3 rakamının dahi şüpheli olduğu bir hesapta, daha sonraki şüpheli basamaklardaki sayıların yazmanın anlamı var mıdır? O halde yaptığımız alan hesabı bilimsel olarak

$$S = 663^* \pm \Delta S$$

şeklinde yazılmalıdır. Görüldüğü gibi b' r tek şüpheli

rakam alınmıştır. Şüpheli bu son rakam üzerinde de hata hesabı yapılmalıdır. Bu da fen grubu derslerde öğretilmektedir. Buradaki ΔS hata miktarının, kullanılan ölçü aletlerinin en küçük eşellerine göre değeri hesaplanırsa bilimsel sonucun

$$S = (663 \pm 2) \text{ cm}^2$$

şeklinde olacağı görülür.

Sonuç olarak bu yazıda vurgulanmak istenen bilimsel bir ölçmenin, bakkalın şeker tartmasından çok farklı bir anlam taşımakta olmasıdır. Ölçme ve hesaplamalardaki hassasiyet, çağımızda öyle bir aşamaya varmıştır ki, pilotsuz uzay araçları, otomatik pilotlarla; işsiz fabrikalar robotlarla işletilebilmektedir. Buradan da bilimsel ölçmelerin **hassasiyet ve doğruluğunun** teknolojiye önemli bir katkı olarak görülür. □