

FİZİKTE POPÜLER KONULAR

Prof.Dr. Erol AYGÜN

BİLİM DİLİ : BİRİM SİSTEMLERİ (Atomik Metre, Atomik Saat)

İnsanoğlu toplum halinde yaşamaya başladığı klan dönemlerinden beri, diğer kişi ya da klanlarla alış-veriş yapma ihtiyacını duymuştur. Bu alış-verişler, o dönemlerde **takas** (mal değiştirme) usulü ile olmuştur. Topluluklar uygarlaştıkça, teknoloji ortaya çıktı ve gelişti, para kavramı oluşmuş ve **malin**, **bir birim ölçülerek** para karşılığında verilmesi, yani satılması olayı başlamış, bunun sonucu olarak da takas usulü alış-veriş hemen hemen tarihe karışmıştır. Bu gelişmeler, ölçme kavramını gündeme getirmiş, bunun sonucu olarak da **birim sistemleri** ortaya çıkmıştır. Birim sistemleri, kişi, kuruluş ve devletler arası alış-verişleri ölçeklediği gibi, aynı zamanda bilgi aktarımını da anlaşılır hale getirmekte, yani onu da ölçeklendirmektedir. Örneğin pozitif bilimlerde bir kitap yazılırken, hesaplamalar ve ölçmelerde yazarın kullandığı bir birim sistemi vardır. O halde pozitif bilimlerle ilgili eserlerde anlatım dili yanında bir de **birim dili** kullanılır. Bu açıdan birim sistemleri, pozitif bilimlerin aktarılmasında önemli bir araç, anlatım dilini destekleyen ikinci bir dil gibidir.

Asırlar öncesinde, ulaşım zorluğu sebebiyle toplumlar, birbirinden kopuk yaşamışlardır. Bunun sonucu olarak farklı birim sistemleri geliştirmişlerdir. İnsanoğlu daha o aşamada, herhangi bir ölçme için neyi **birim** kabul edeceğini pek kolay belirleyememiş, örneğin uzunluk birimi olarak **kulaç**, **adım**, **ayak** kullanılmıştır. Fakat bu birimlerin, insandan insana değişmesi, yani her insanın kulacı, adımı veya ayak boyu farklı olması, uzunluk için seçilen bu birimlerin üçünün de tartışmalı olduğunu göstermiştir. Uzunluk için öyle bir birim seçilmeliydi ki, kimse itiraz etmesin, o birimin her an her yerde koyu sabit kalsın. Bu temel mantık üzerine Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Kuruluşu oluşturulmuştur. Yoksa her toplum ya da devletin farklı birim kabul etmesi gibi bir durum ortaya çıkacağından uluslararası alış-veriş, çok büyük problemlerle karşı karşıya kalmış olacaktır. Özellikle uzunluğu örnek olarak yapılan bu tartışma, günlük yaşamda kullanılan ve kullanılmayan her fiziksel kavram için geçerlidir. Kütle, zaman, enerji, güç, hız, kuvvet, sıcaklık, ısı... hep birer birimle öl-

çülmek durumundadır. Birimlerin bütün uluslar tarafından tanınması, bilinmesi gerekir ki, alış-veriş kolayca yapılabilir. Bu açıdan **birim sistemleri**, sanki bir konuşma dili gibidir. Karşınızdakinin sizi anlaması için, o dili bilmesi gerekir. Nasıl bir ihtiyaçtan kaynaklandığı burada kısaca açıklanan **birim sistemlerinin**, oluşturulma mekanizmasını ve konunun bilimsel yanını görelim.

Çok enteresan ve güzeldir ki, fizikte her kavrama ayrıca bir birim aramaya gerek yoktur. Birkaç kavrama **temel** kabul edip, onlara birimler (temel birimler) belirledikten sonra, geriye kalan diğer fiziksel kavramların birimleri, o temel birimler cinsinden ifade edilebilirler. Bazı toplumlar **uzunluk**, **kütle** ve **zamanı temel kavram** olarak, uzunluk ölçme **metreyi**, kütle için **kilogramı** ve zaman için **saniiyeyi** standart kabul etmiştir. Bu kelimelerin baş harfleri ile MKS birim sistemi ortaya çıkmıştır. Fizikte, **mekanik konularla ilgili** diğer bütün kavramların birimleri, bu temel birimler cinsinden türetilip yazılabilir. Örneğin hızın birimi m/s, ivmenin birimi m/s², kuvvetin birimi kg.m/s² (= Newton), enerjinin birimi kg.m²/s² (= Jül) vb. olur. Bu sebeple üç temel büyüklüğün dışında kalanlara **türeme büyüklükler** denir. Zira bunların birimleri, temel birimler cinsinden türetilirler. Bu türetme, onların **tanımlarından** yararlanılarak yapılır. Örneğin hız = yol/zaman, hızın tanım ifadesidir. Hızın birimi, bu tanımdan belirlenir. Bu açıdan **türeme büyüklükler**, aynı zamanda **tanımlanabilirler** olarak bilinirler; temel büyüklükler ise **tanımlanamazlar** olarak adlandırılırlar. Çünkü tanımlanamazların birimleri, **kabul edilen** büyüklüklerdir. Fakat tanımlanabilirlerin birimleri ise tanım ifadesinden doğrudan ortaya çıkmaktadır.

Metrik sistemi kabul eden toplumlarda MKS birim sistemi oluşurken, başka toplumlar **santimetre**, **gram** ve yine **saniiyeyi** temel büyüklüklerin birimleri olarak kabul ederek CGS birim sistemini kullanır olmuşlardır. İngiliz Milletler Topluluğu ise **foot-pound-saniiyeden** oluşan FPS birim sistemini kabul etmiştir. Sözü edilen bu üç birim sisteminden üçü de, mekanik konularıyla ilgili her türlü ölçmede özdeş anlamda geçerlidir. Ancak üçünün de eksik tarafı, mekaniğin dışındaki kavramları, örneğin elektriksel kavramları ölçmede yetersiz kalmalarıdır. Bu tıkanıklığı gidermek için de, üç temel büyüklüğün yanına sadece bir tane elektriksel büyüklük eklenir. O da, elektrik akım şiddeti **Amper** alınarak, metrik birim sisteminin adı MKSA olur ve artık diğer elektrik kavramlarının birimleri bu dört temel birimler cinsinden türetilirler. Böylece ölçme işleminin yapılabileceği sınırlar genişlemiş, tüm elektrik konularını da kapsamış olur. Bu şekilde sınır genişletme, ısı (termodinamik) konularına da uzatıldığında, yine bir tek ısısal kavramın **temel** kabul edilmesini gerektirdiği görülmüş ve orada da **Kelvin sıcaklık eşelinin birimi** alınarak, metrik birim sisteminin adı MKSA(T) olmuş olur denilebilir. Ancak dört harften fazla yazmak pek

usulden değildir. O nedenle T parantez içinde yazılmıştır. Bu şekilde devamlı, ışık konularını da kapsatmak (birim sisteminin işlediği alan haline getirmek) için **kandela, ışık şiddeti birimi temel kabul edilmiştir**. Daha sonra kimya konularını da kapsatmak üzere madde miktarını temsilen **mol** temel birim kabul edilmiştir. Böylece elimizdeki birim sistemi fizik ve kimyaya ait tüm ölçmeleri kapsar hale getirilmiştir. Dikkat edilirse, **uzunluk, kütle, zaman, akım şiddeti, sıcaklık, kandela ve madde miktarı** olmak üzere 7 adet temel kavramın birimleri **keyfi olarak belirlemek** kaydı ile fizik ve kimyada her türlü ölçme yapılabilmektedir. Bu 7 kavramın dışındaki tüm fizik ve kimya kavramları (büyüklükleri) türeme büyüklükler sınıfına girer ve sayılan oldukça fazladır. Metrik sistemle örnekleme ele alınarak yapılan bu tartışma, CGS ve FPS gibi diğer sistemler için de geçerlidir. Fizikte karşılaşılan tüm birim sistemleri, yukarıda sözü edilen üç birim sisteminden ibaret değildir. Çok küçük boyut ve miktarlarla ilgilenen **atomik birim sistemi** de vardır. Böyle bir yazıda diğer birim sistemlerinden söz etmenin pek faydası olmasa gerek.

Ancak toplumlar, böyle farklı birim sistemleri oluşturmakla kendi kendilerine biraz zorluk çıkarmış oluyolar. Örneğin halen, İngiliz Milletler Topluluğu'nda uzunluk birimi olarak **yarda** (= **0,9144 metre**) ve **inç** (= 2,54 cm) kullanılmaktadır. Farklı birim sistemi kullanmak, topluluklar arası ticareti ve iletişimi zorlaştırır. Bu sebeple metrik sisteme yeni bir ad verilerek, **Standard International** kelimelerinin baş harflerinden oluşan SI-Birimleri'ne tüm ülkelerin dönüşü istenmektedir. Ancak İngiliz Milletler Topluluğu bu geçişin hemen yapılamayacağına, zira fabrikalardaki her türlü kalıpların FPS sistemine göre imal edildiği, şimdi onları atıp, metrik sisteme göre yenisinin yapılmasının çok büyük bir ekonomik kayba mal olacağını ileri sürerek, geçişin 20-30 sene gibi bir zaman içinde kademeli olarak gerçekleştirilebileceğini belirtmiştir. Uluslararası düzeyde tek birim sistemine doğru bir gidiş vardır.

Bir birim sistemi kurarken temel büyüklüklerin neler olacağı ve nasıl kabul edilecekleri önemlidir. Yani MKSA'da **metre, kilogram, saniye ve amper** nasıl belirlenecektir? Örneğin, kütle birimi **kg** için hâlâ Paris'te, Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nda bulunan % 90 Pt ve % 10 Ir'dan yapılmış silindirik metal alaşımın kütlesi standart kabul edilmiştir. Uzunluk birimi metre için, uzun yıllar yine aynı büroda bulunan (X-kesitli) bir çubuğun boyu birim kabul edilmiştir. Daha sonra, 14 Ekim 1960 tarihinde toplanan Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Konferansı metreyi atoma bağladı. Bu konferansta metre, Kripton atomunun 86 numaralı izotopunun kuantum enerji seviyeleri arasındaki bir geçişe ait ışığın λ_{Kr} -dalga boyuna bağlı olarak 1 (Atomik Metre) = (1.650.763,73) λ_{Kr} şeklinde belirlendi. Bu şekilde belirlenen "atomik-metre", hiçbir suretle de-

ğişmeyen bir standart oluşturmaktadır. Zaman birimi saniyenin öyküsü ise çok daha ilginçtir ve aşağıda ayrıca ele alınmıştır. Yani her standardın (temel birimin) kabulünün bir öyküsü vardır. Bunları ilgili kiplarda bulmak mümkündür.

GÜNEŞ SAATİNDEN ATOMİK SAATE ZAMAN BİRİMİNİN ÖYKÜSÜ

Zaman ancak periyodik, yani tekrar eden bir olaydan yararlanarak ölçülebilir. İnsanoğlu zamanın akışını önceleri **güneş saati** ile, sonraları **kum saati** ve **su saati** ile saniye, dakika ve saat birimi olmaksızın ölçmüş, daha da sonraları yaylı-kurmalı saatler kullanılmış, günümüzde ise saniyeli kuartz kristal saatler yaygın bir şekilde kullanılır olmuştur. Korumuz, saniyeli saatlerde bir saniyelik sürenin nasıl belirlendiğidir. İnsanlığın tarihinde kullanılan, güneş saati, kum saati gibi saatlerde saniye, dakika, hatta saatin (60 dakikanın) bilinmesine pek ihtiyaç duyulmamıştır. Akrep ve yelkovanlı saatler, ancak teknolojinin biraz da olsa ilerlediği 16. yüzyıldan itibaren kullanılır olmuştur. Teknolojideki ilerlemeler insan yaşamını o kadar etkilemiştir ki, bir saniyelik zaman süresi büyük anlam kazanmıştır.

Tüm birim sistemleri kurulurken, zaman standardı (birimi) saniye olarak kabul edilmiştir. Ancak saniyenin belirlenmesinde, **oluşum süresi değişmeyen periyodik bir olay** aranırken, bir süre Dünya'nın Güneş etrafında dönme süresinin çok az değişmeler gösterdiği düşünülerek, 1900 yılındaki dönme süresi 31.556.925,9747 saniye alınarak bir saniyelik süre belirlenmiştir. Bu şekilde belirlenen zaman **efemeris** (Fani) **zaman** (FZ) denir. FZ ile saniye,

$$1 \text{ (FZ saniyesi)} = \frac{1900 \text{ yılındaki dönme süresi}}{31.556.925.9747}$$

olarak belirlenmiştir. Bir de Dünya'nın kendi eksen etrafında dönmesine dayandırılan saniye vardır; o da **universal zaman** (UZ) olarak adlandırılır.

$$1 \text{ (UZ saniyesi)} = \frac{\text{Ortalama Güneş Günü}}{86400}$$

şeklinde belirlenmiştir.

20. yüzyılın ikinci yansına gelindiğinde, saniyenin daha sağlıklı bir biçimde seçilmesi (belirlenmesi) gerektiği anlaşıldı. Saniye öyle bir periyodik olaya dayandırılmalı idi ki, o zaman süresi hiç değişmesin. 1967 yılında Paris'te toplanan 13. Uluslararası Birimler ve Standartlar Konferansı zaman birimini **atoma** dayandırdı. Bunun için seçilen atom, sez-yumun 133 numaralı izotopu, yani Cs¹³³ oldu. Cs¹³³ izotopunun, optik elektronlarına ve çekirdeğine ait iki manyetik dipol momentin (iki küçük mıknatısın)

etkileşmesi sonucu atomun enerji spektrumunda ortaya çıkan çok ince yapı yanılmasının, frekans cinsinden $\nu_0 = 9.192.631.670 \text{ Hz}$ ($\lambda_0 \approx 3 \text{ cm}$) olduğu Atom Demetleri Manyetik Rezonans Tekniği ile ölçüldü. Bu frekansın değişmesi hiçbir suretle mümkün değildi. Yani Cs^{133} atomu Dünya'nın, ya da uzayın neresinde bulunursa bulunsun, çok ince yapı enerji yanılmasına ait frekans, hep bu sayılardan ibaretti. Bu titreşimin periyodu ise $T_0 = 1/\nu_0$ ile belirlidir. Atomik zaman (AZ) standardı olan saniye ise, 1 (AZ saniyesi) = $\nu_0 T_0 = 9.192.631.770 T_0$ şeklinde belirlendi. Böylece saniye dediğimiz zaman birimi Cs^{133} atomunun kuantumlu enerji yapısına dayandırıldı.

Günümüzde pek çok insanın kolunda ve cebinde kullanmakta olduğu saatinin kuartz kristal ossilatörünün titreşim frekansı, imalat aşamasında bu atomik frekansla kalibre edilmektedir. Ancak kristalin yaşlanmasından dolayı, bu tür kristal saatlerin titreşim frekansının yılda 0,02 saniye kadar değiştiği de bilinmektedir.

Günümüzde çok hassas frekans ölçümü gerektiren bilimsel araştırma yapan laboratuvarlarda kullanılan kristal frekans kaynakları (ikincil standart), zaman zaman atomik frekans (birincil standart) ile kıyaslanarak, $\nu - \nu_0$ sapma farkının ν_0 'a oranını 10^{-11} düzeyinde sabit tutulabilmektedir. Bu işlem için atomik saate direkt bağlı olarak, uluslararası standart frekans yayını yapan istasyonlar vardır. Bu tür istasyonların başında İngiltere'deki **Greenwich** gelir. Bu istasyonlar, telekomünikasyon teknolojisiince belirlenmiş olan 5, 10, 15, 20 ve 25 MHz'lik taşıyıcı dalgalara bindirilerek gönderilen 16 kHz, 24 kHz,.... gibi frekansları sürekli yayınlarlar. Dünya üzerinde araştırma laboratuvarları, atoma dayalı olan bu frekanslardan birini alarak, kendi lokal ossilatörlerinin (ikincil standardın) çıkışını zaman zaman kıyaslayarak, sapma varsa düzeltebilirler. Bu tür bir çalışma, yazar tarafından 22 sene süre ile ODTÜ Fizik Bölümü'nde, yazarın da dahil olduğu Atom Demetleri Manyetik Rezonans Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Söz konusu laboratuvarında bulunan kristal ossilatörün çıkış frekansı, İngiltere'nin Rugby Standart Frekans İstasyonu'ndan yayınlanan 16 kHz'lik atomik frekansla kıyaslanarak, değişim grafikleri kaydedilmiş ve grafiklerin seyriden lokal kristal ossilatörün yaşlanması, bilimsel olarak yorumlanıp, sonuçlar, uluslararası bir dergide yayımlanmıştır.

Günümüzde çok hassasiyet gerektiren saatler, **atomik saniyeye** göre kalibre edilirler. Ancak günlük yaşantıda herkesin kolunda ya da cebindeki kris-

tal saatlerin çok hassas olması da pek gerek yoktur.

Birim sistemlerinin bilimin dili olduğunu vurgulayarak başlanan bu popüler yazının, o vurgulamalarını daha da kuvvetlendirmek için, bilim dilindeki **ön-ekler**, matematiksel anlamları ile birlikte aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablodaki ön-ekler, teknolojiye kullanılan her türlü birime (vat, volt, jül, gram,....vb.) eklenerek kullanılır. Okuyucu tabloyu dikkatle inceleirse, tablonun BİRİM'e yakın olan bölgesini zaten bildiğini ve kullandığını görecektir. Enteresandır ki, bu ön-ekler, bilim-kurgu film senaristleri tarafından, konuya bilimsellik kazandırmak için, diyaloglarda sık sık kullanılmaktadır.

Sonuç olarak **birim sistemleri**, kişi, toplum ve devletlerin karşılıklı olarak birbirini anlamalarını sağlayan ve aralarındaki iletişimi kolaylaştıran bir dildir denebilir. **Atomik metre** ve **atomik saniyenin** kabulleri ise, Ay'a ayak basmış ve 21. yüzyılda uzayın derinliklerine istasyon kurmayı planlayan insanoğlunun akıl ve zekâsının başka bir göstergesi olsa gerek.

Çarpan	Ön-Ek
10^{18}	Eksa-
10^{15}	Peta-
10^{12}	Tera-
10^9	Giga-
10^6	Mega-
10^3	Kilo-
10^2	Hekto-
10^1	Deka-
10^0	BİRİM
10^{-1}	Desi-
10^{-2}	Santi-
10^{-3}	Milli-
10^{-6}	Mikro-
10^{-9}	Nano-
10^{-12}	Piko-
10^{-15}	Femto-
10^{-18}	Atto-

UMUDUNU KAYBETMİŞ OLANIN BAŞKA KAYBEDECEK ŞEYİ YOKTUR.

Boise