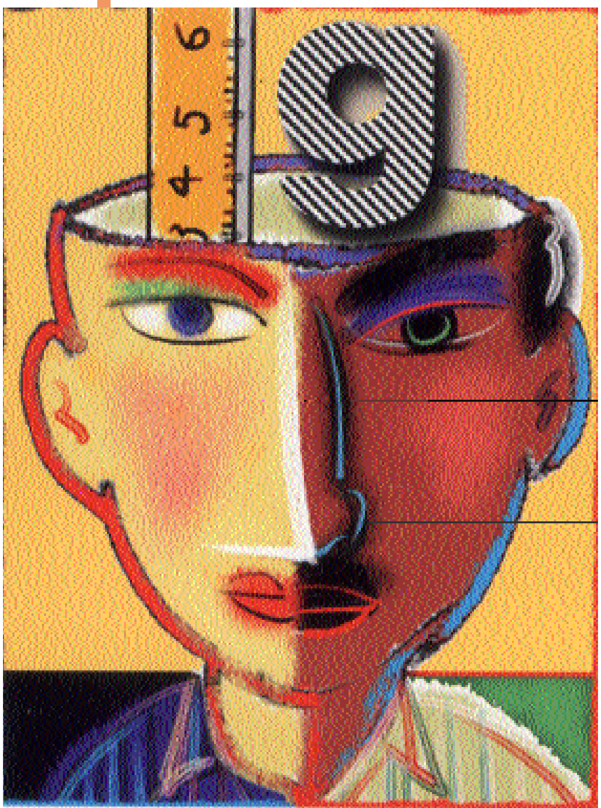
Büyüklüklerin Ölçülmesi

Boyutlar, Birimler

Sayılar... Yaşantımızın her bölümünde onlarla karşı karşıyayız. Doğum tarihimiz, boy ve kilomuz, hastalanınca ateşimiz, ekmeğin fiyatı, arabanın beygir gücü, depremin büyüklüğü, Sirius'un parlaklığı, en yakın gökadanın uzaklığı, evrenin yaşı... Hepsi sayılarla belirli. Ya boyutlar; birimler?

Sayısal belirlemelerde, sayılarla birlikte söylenen, ölçek veya birim anlamı taşıyan sözcük veya sözcük kümeleri çoğu zaman dikkatimizden kaçar; sanki sayıya otomatik olarak eklenmiştir. "Üç kilo almışım", "12 hektar orman kül oldu", "bebek dört ayda yedi santim boy attı" gibi örneklerde, sayılarla birimler birbirinden ayrılmayan, âdeta kalıplaşmış bir bütün oluşturur. Bütünlük bağı bazen o denli kuvvetlidir ki, birimi söylemeye dahi gerek duymayız: "1.80 boyunda biri", "Ateşim 40'a fırlamış" derken bu eksikliğin farkına bile varmayız. Günlük hayatta bu farkına varmayış hiç de önemli değil. Ama, karşılaştığımız benzer bir ifadedeki en küçük bir kalıpdışılık hemen dikkatimizi çeker. "3 ton almışım", "12 orman kül oldu", "bebek 4 cm'de 7 ay uzadı" sözlerini duyar duymaz, ortada bir yanlışlık olup olmadığını, yanlışlık yoksa, sayısal belirlemenin alışılagelmiş veya yadırgamayacağımız bir formda nasıl olacağını bulmaya çalışırız. "Ateşim 100'e çıkmış" diye yakınan dostumuzun bu olağanüstü ateşini inanılır kabul edebilmek için, onun yurtdışından yeni dönmüş olduğunu hatırlayarak, biraz düşünme ve hesaptan sonra, "O kadar da kötü değil; ateşin normalin biraz üstünde!" deriz. Ortada gerçekten de bir yanlışlık yoktur. 100 derece (Fahrenheit) ateş, normal vücut sıcaklığının bir-iki derece üstünde olan 38 derece ateşle hemen hemen aynıdır. Demek ki 100 derece Fahrenheit sıcaklık 38 derece Celsius sıcaklıkla (veya başka bir sıcaklıkla) karşılaştırılabiliyor; çünkü ikisi de sıcaklık belirtiyor. Öte yandan, 6.5 kilo geldiği söylenen bir bebeğin, 4 ayda 7 cm uzadığı iddia edilen bebeğe göre daha mı ağır veya hafif olduğunu, hangisinin daha hızlı geliştiğini (bu bilgilerle) kestirmek mümkün değil.



Elmalar ve Armutlar

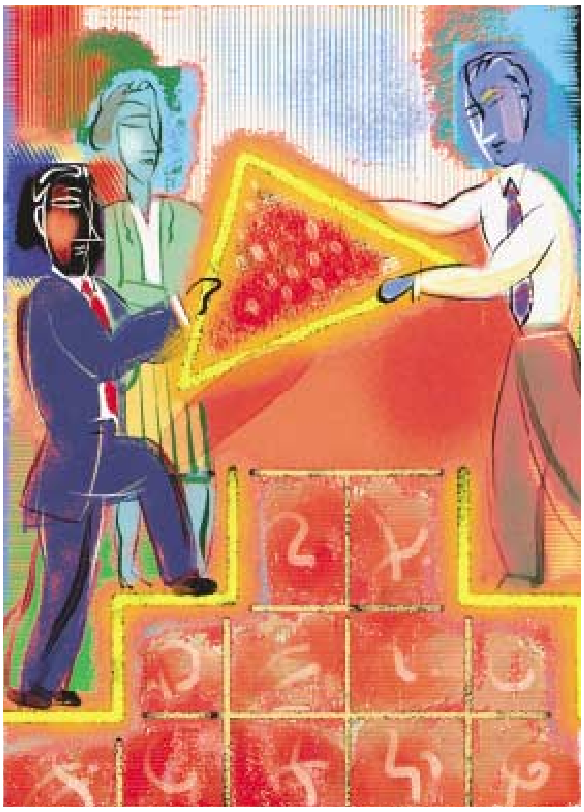
Nedir bu iki örneği birbirinden bu denli farklı yapan şey? Karşılaştırmanın mümkün olduğu ve olmadığı, basit veya karmaşık pek çok örnek bulabilirsiniz. 1200 g demir ve 1 kg tuzdan hangisinin daha ağır olduğu sorusu anlamlıdır ve cevabı vardır. Ama, 1 kg tuz mu yoksa 10 m halat mı daha ağırdır (ya da uzundur, veya sıcaktır) diye sormak; bir tarlanın yüzölçümünü beygir gücü cinsinden vermek saçmadır; en azından bazı ek bilgi veya kabullere dayanmadan cevaplandırılamaz. Büyüklüğü ölçülebilen çoklukların (niceliklerin) büyüklüklerinin birbirleriyle karşılaştırılabilmeleri için, bu büyüklüklerin bazı ortak nitelikleri olmalıdır. Bu ortak nitelikler genel anlamda birer *boyut*tur. *Uzunluk*, *ağırlık*, *sıcaklık*, *zaman* birbirleriyle karşılaştırılamayan, o nedenle de toplanıp çıkarılamayan, farklı boyutlardır. Tıpkı elmalarla armutlar için söylendiği gibi... Ne yazık ki o örnek belleklerde ilkokuldan bir hatıra olarak kalır; yükseköğrenimde dahi konunun temeline pek dokunulmaz. Teknik öğrenim yılları, birimler, çeviri tablo ve formülleri içinde boğuşarak geçer.

Acaba boyut, birim kavramları nasıl ortaya çıktı? Kullanılabilmeleri için önce tanımlanmaları, biliniyor olmaları gerekli miydi? Belki de gerekmiyordu. Durum aslında pek çok başka kavram için de geçerli; uzun süre kullanıldıktan, değişik koşullarda doğru veya yanlış uygulandıktan sonra, daha fazla yanlışı önleyebilmek için kavramın tanımlanmasına ihtiyaç duyulabilir. İnsanlar herhalde önce birimlere ihtiyaç duyup, ihtiyaca göre onları icadetmek, kullanmak zorunda kaldılar. Çok uzun, değişik uygulamalardan sonra, boyut ve birimlerin tanımlanması, sağlam bir temele dayandırılması ancak son birkaç yüzyıl içinde gelişebildi. Sayma fikrini geliştirip sayıyı icadettikten sonra, insanlar başlangıçta ancak "tane tane" sayabildikleri türden çokluklar yanında başka çoklukların da bulunduğunun farkına vardılar. Karşılaştıkları yeni bir şeyin, "az" veya "çok" diye nitelendirebilecekleri bir çokluğun ne kadar "büyük" olduğunu anlamak ve anlatmak için, onu, aynı "büyüklük"te kabul edebilecekleri eşit parçalara bölerek, kaç "tane" eşit parça ortaya çıkmış olduğunu saymış olmalılar. Bu, bugün *birim* ve *ölçme* adını verdiğimiz uygulamaların doğuşudur. "Büyüklük", insanın o zamanki deneyim ve yeteneklerine bağlı, dolayısiyle onlarla sınırlı olarak algılayabildiği bazı özelliklerdi: Görünür hacim, uzunluk, elde veya sırtta taşınırken duyulan ağırlık gibi. Bir çokluğu eşit parçalara bölebildikten sonra, bölünme sayısını değiştirerek, ortaya çıkan eşit parçaları değişik sayılarda yeniden biraraya getirerek, yeni büyüklükler, yeni birimler yaratmak da mümkündü. Bu da, bir yandan ölçmeye kolaylık getirirken, bir yandan da çeşitliliği arttırıyordu.

Geçmişte Yaşam

O çağlarda yaşadığınızı düşünün. Yaşamınız için gerekli olan ve önceleri doğadan kendi kendinize karşılayabildiğiniz temel ihtiyaçlarınızın çeşidi ve miktarı, yaşamınızı daha da iyileştirmeyi, karşılaştığınız güçlükleri, riskleri azaltmayı istediğiniz ölçüde, gittikçe genişliyor. Benzer gelişmeleri yaşayan komşularınızda ve komşu topluluklarda gördüğünüz bazı şeylere de sahip olmak istiyorsunuz, ama onları üretemiyorsunuz. Aynı durum komşularınız için de söz konusu; onlar da kendilerinde olmayan ve sizin ürettiğiniz bazı şeylere ilgi duyuyor. Böylece, yapılması, üretilmesi imkânsız veya güç olanı komşudan tedarik etme fikri ortaya çıkıyor. Akla gelebilecek ilk iki çözümden biri zorbalık, öteki değiş-tokuş gerektiriyor. Acaba hangisine daha önce başvuruldu, bu önemli değil; ama savaşın da ticaretin de günümüze kadar sürüp gelen baş uğraşlar olduğu ortada.

İlkel ticaretin, hattâ savaş ganimetini paylaşmanın kavgasız çözümü, tarafların bir birim ve ölçü sistemi üzerinde uzlaşmasını gerektiriyordu. Henüz para icadedilmemişti; ama, meselâ bir avuç tuz yirmi avuç buğdayla, kavgaya gerek duymadan değiştirilebilirdi. Yirmi kulaç ip karşılığında dört sazan alabilirdiniz. Böylece, her toplulukta, her pazar yerinde, ve her çağda değişik olabilen, sayısız birimin ortaya çıkacağı açık. "Avuç" yanında "kulaç"ı da icadetmek gerekiyordu; aksi halde tuz karşılığında ip alamazdınız; çünkü ipi avuçlayarak veya tuzu kulaçlayarak ölçemiyordunuz. Fakat boyut kavramıyla henüz tanışmamış olmanız kullanmanıza engel değildi. Kavram sizi farkında olmadan kullanmaya zorluyordu: Ölçmek için tasarladığınız özel büyüklükteki parçayı, yani birimi, elde ederken, eşit parçalara böldüğünüz asıl çokluğun bu bölünme şekline en



uygun düşen özelliğiyle, yani boyutuyla, biriminizin boyutu aynı olmalıydı. Puzu ipmiş gibi, balıkları tuzmuş gibi bölmek pek uygun değildi. Avuç, kulaç, ve taneyi bu yüzden ayrı ayrı icadetmek zorundaydınız. Ama, aynı bölünme tarzına uygun olarak seçeceğiniz eşit parçaların, yani birimlerin büyüklüklerinin seçiminde serbestti-niz. Meselâ ip gibi, bez gibi *uzunluk* boyutundaki ölçmeler için arşın da, kulaç da, endaze de kullanılabilirdi; sadece, seçim kullanışlılığa veya alışkanlığa bağlıydı. Benzer şekilde, *hacim* boyutunda ölçme yaparken, avuç, tas, kazan gibi birimler de birbiri yerine geçebiliyordu.

Böylece, bir yandan yeni farkına varılan ve eski birimlerle ölçülemeyen boyutların ortaya çıkması, öte yandan birim oluşturmadaki seçme özgürlüğü sayesinde, birim kolleksiyonu alabildiğine zenginleşti. Dünya üzerinde son yüzyılda geçerli olan birimleri araştırıp toparlasaydınız, elde edeceğiniz liste, birimler diyarına uyarlanmış çetrefil bir "Babil kulesi" olurdu. Sadece uzunluk veya uzaklık ölçmede yakın zamanlarda kullanılmış (bazıları hâlâ da kullanılmakta olan) birimleri hatırlayın: parmak, karış, ayak, adım, arşın, endaze, kulaç, merhale, fersah, mil, deniz mili,… ve dünyanın değişik ülkelerinde daha pek çoğu. Üstelik, metrik dediğimiz birimleri, astronomide kullanılan birimleri henüz saymadık. Globalleşme, bu ünlü deyimin doğuşundan yıllar önce birimler dünyasında başarıldı; ve Türkiye de dahil pek çok ülke, standart olarak bir Uluslararası Birimler Sistemi (SI, Systéme International d'Unitès) kabul ettiler. Rasyonel ve ortak bir birimler sisteminin iletişimde sağlayacağı ekonominin, bilim ve teknoloji alanındaki, endüstrideki, gelişmeleri hızlandırıcı rolünün ne derece önemli olduğu açık. Dünya üzerinde artık, özel bazı farklılık ve ekler dışında, SI birimleri yaygın olarak kullanılıyor. Fakat alışkanlık, eski birimlerden vazgeçmeye büyük engel. Atmosfer, dönüm, beygirgücü, parmak (inch), deniz mili gibi birimler hâlâ işlerliklerini koruyorlar.

Boyut ve Birim

Gelin, şimdi bu iki önemli kavramı, boyut ve birim kavramlarını, daha yakından tanımaya çalışalım. Bir çokluğun ne kadar büyük veya küçük, ne kadar fazla veya az olduğunu bilmek isteriz. Çünkü onu bir başka çoklukla karşılaştırıp, büyüklüklerinin, mıktarlarının, vb. eşit olup olmadığını; eşit değilse, hangisinin ne kadar farklı olduğunu söyleyebilmemizi gerektiren bir durumla karşı karşıyayızdır. Bu bilimin temelinde vardır: ölçmek ve karşılaştırmak… İşin özüne inersek, karşılaştırdığımız iki çokluğun maddesel dünyada neye ait veya neyle ilişkili olduğunun, bazı özel durumlar dışında, hiç de önemi olmadığını görürüz. Eğer 1200 g demir 1 kg tuzdan daha ağırsa, 1200 g tuz da 1 kg demirden daha ağırdır. Ayrıca 1200 g süt 1 kg pirinçten, 1200 g sülfürik asit 1 kg havadan daha ağırdır. Aslında sadece 1200 gramla 1 kilogramı (1000 gramı), yani herhangi iki kütlenin büyüklüklerini karşılaştırmaktayız. Örnekleri çoğaltabilirsiniz.

Belli bir süre içinde 500 watt (gücünde bir motor, ısıtıcı, lâmba) mı daha çok enerji harcar, 600 watt (yutan sürtünmeli fren, çeken saç kurutucu, buzdolabı) mı?

Saatte 30 kilometre (giden bir bisiklet, koşucu, uçan serçe) mi, yoksa saniyede 1 metre (esen rüzgâr, akan ırmak, yanan fitil) mi daha hızlıdır; hangisi (eğer gerideyse) ötekine yetişir?

Karşılaştırdığımız "şey"lerin sonucu etkilemediğini vurgulamak için onları parantez içinde verdik. Güçlerin karşılaştırıldığı birinci örneğin cevabı çok açık: 600, 500'den büyük olduğu için 600 W güç `e 500 W güçten büyüktür; o halde, eşit bir sürede, buzdolabı, fren, veya kurutucu, daha küçük güçteki motor, ısıtıcı, veya lâmbadan daha çok enerji harcayacaktır. İkinci örnekte ise, saatte 30 km ile saniyede 1 m olan iki "hız"ı karşılaştırıyoruz. Bu mümkün, ama birimler farklı. Yapılacak şey, önce birimleri eşitlemek, meselâ saniyede 1 m'yi saatte 3.6 km'ye çevirmektir. Artık, hangi grubun daha hızlı olduğuna karar vermek için, sadece 30 ile 3.6 sayılarını karşılaştırmamız yeter; ortak birime ihtiyacımız yok.

Demek ki, karşılaştırma ancak *uzunluk, kütle, ağırlık, güç, hız, sıcaklık, zaman,…* gibi özelliklerden veya kavramlardan sadece biri esas alınarak yapılabiliyor. Bunların genel adı *boyut*; daha açık olarak belirtmek için, *uzunluk boyutu, kütle boyutu, hız boyutu* gibi ifadeler de kullanabilirsiniz. Uzunluğu ağırlıkla, zamanı sıcaklıkla karşılaştıramazsınız. Fizikteki bazı kanunları veya tanımları kullanarak bunlar arasında bağlar kurabilir, yeni boyutlar tanımlayabilirsiniz: *Hız = Uzaklık / Zaman* gibi. Ama yine de, meselâ *hız*ı ne *uzaklık*la ne de *zaman*la karşılaştıramazsınız.

Burada önemli bir noktanın da hatırlanması gerekir. Boyut ortaklığı aritmetik toplama ve çıkarmanın da ön koşuludur. Aynı boyutta değerlendirilebilen fiziksel çokluklar, gerektiğinde birbirine eklenebilir veya farkları alınabilir. İki uzunluğun toplamı veya farkı da bir uzunluktur. Uzunluğa hızı ekleyemez, zamanın sıcaklıktan farkını düşünemezsiniz. İki fiziksel çokluğun aynı boyutta olması, bunların aralarında karşılaştırılabilmelerine, toplanıp çıkarılabilmelerine izin verir. Bununla birlikte, sonucu sayısal olarak elde etmek için bazı işlemlere gerek olacaktır. Önce çoklukların büyüklükleri ölçülerek *ölçü*leri bulunmalı, ve eğer iki ölçme farklı birimlerle yapılmışsa, sonra bu ölçüler aynı (ortak) birimi baz alan değerlere dönüştürülmeli. Olabilecek yanlış anlamaları, karışıklığı önlemek için, *büyüklük, birim*, ve *ölçü* kavramlarını titizlikle birbirinden ayırmamızda yarar var. Yukarıdaki düşünce ve bilgilerden, bu üç kavramın birbirine şu şekilde bağlı olması gerektiğini çıkarmışsınızdır:

BÜYÜKLÜK = ÖLÇÜ × **Birim**

Büyüklüğü **B** ile ifade edilen herhangi bir fiziksel çokluk için, yukarıdaki bağıntı sembolik olarak da yazılabilir. Eğer birimi **b** ile, ve o birimle ölçüldüğünde elde edilen ölçüyü de B ile gösterirsek,

$\mathbf{B} = B \times \mathbf{b}$

eşitliği genel olarak herhangi bir fiziksel çokluk için geçerli kabul edilebilir. Büyüklük ve birim aynı boyuttadır; çünkü birimi, aynı boyuttaki bir başka büyüklüğü eşit parçalara bölerek elde etmiştik. Büyüklük ve birimin aynı boyuta sahip olduklarını göstermek için onları **kalın** harflerle (**B** ve **b**) gösterdik. Normal büyük harfle, B ile, gösterdiğimiz ölçü ise boyutsuzdur, yani sadece bir sayıdır. Belli bir ipin uzunluğu, uzunluk boyutunda bir büyüklüktür. Onu ölçmekte kullanmayı tasarladığımız birim ip parçasının uzunluğu da uzunluk boyutunda bir büyüklüktür; ama, *ölçü*sünün "1" (bir) olduğunu kabul ettiğimiz özel bir büyüklüktür. Eğer ipi tam 8 tane "birim uzunlukta" parçaya bölebiliyorsak şöyle yazabiliriz:

İPİN UZUNLUĞU = Sekiz × **Birim uzunluk**
veya

$\mathbf{L} = 8 \times \mathbf{l}$

Burada ipin uzunluğu **L** büyüklük, L = 8 ölçü, ve birim uzunluk **l** de birimdir. Bir eşitliğin -daha genel olarak büyük, eşit, veya küçük olma, toplama-çıkarma ilişkilerinin- tutarlı olması, yani bir anlam taşıması için, ilişkide yer alan her "terim"in aynı boyuta sahip olması gerekir. Yukarıdaki eşitliğin tutarlı olmasını da, her iki tarafta görülen uzunluk boyutunun aynı olması sağlıyor. Boyut olan *uzunluk*, sanki terimlerdeki bir ortak çarpanmış, ve kısaltılabilirmiş gibi düşünülebilir.

Peki, birim dediğimiz parçayı nasıl seçeceğiz? Son örneğimizde, elimizdeki ipi önce ikiye katlayıp kat yerini işaret ederek, sonra aynı şeyi iki defa daha yaparak, sekiz "tane" birbirine eşit uzunlukta parçaya bölmüş ve bu parçalardan birini de birim kabul etmiş olduğumuz anlaşılıyor. Böylece ipin uzunluğu da tam tamına sekiz birim geliyor. Şimdi de, boyları sekiz birime yakın, ama birbirinden farklı ip parçalarının uzunluklarını ölçmek istediğimizi düşünelim. Aynı birimle başka bir ipi ölçtüğümüz zaman, ne tam 8 birimle, ne de tam 9 birimle denk düşmediğini, arada bir yerde olduğunu görürsek ne yapacaktık? Belki de elimizdeki birim **l** yi tekrar ikiye bölüp, daha küçük yeni bir birim olan **l'** ($\mathbf{l'} = \frac{1}{2}\,\mathbf{l}$) ile ölçüyü tam getirme şansımızı deneyecektik. Yeni ölçmenin sonucu tabii ki 16'dan fazla 18'den az çıkacaktı. Tam 17 diye ölçmüşsek, sonucu bildirmek için önümüzde iki yol olacaktı; uzunluk yeni birimle de eski birimle de ifade edilebilirdi:

$\mathbf{L} = 17\,\mathbf{l'}$ veya $\mathbf{L} = (8 + \frac{1}{2})\,\mathbf{l}$

Başka bir ipin uzunluğu belki de tam 17 yeni birim gelmeyecekti. O zaman da yeni birimi biraz daha küçültmek için tekrar ikiye bölecek, ve elde edeceğimiz yeni yeni birim **l''** ($\mathbf{l''} = \frac{1}{4}\,\mathbf{l}$) sayesinde, meselâ ip biraz daha uzunsa,

$$L = 35\,l'' = (17 + {}^{1}/_{2})\,l' = (8 + {}^{1}/_{4} + {}^{1}/_{2})\,l$$
$$= 17\,{}^{1}/_{2}\,l' \qquad = 8\,{}^{3}/_{3}\,l$$

veya, biraz daha kısaysa,

$$L = 33\,l'' = (17 - {}^{1}/_{2})\,l' = (8 + {}^{1}/_{2} - {}^{1}/_{4})\,l$$
$$= 16\,{}^{1}/_{2}\,l' \qquad = 8\,{}^{1}/_{4}\,l$$

yazabilecektik. Görüyoruz ki, bu şekilde devam ederek, daha küçük birimlerle ölçme duyarlılığını yükseltmek mümkün. Bu, sadece uzunluk birimleri değil, bütün birimler için söz konusu. İlk birimden hareketle, yeni, daha küçük birimler elde etmekte değişik yollar kullanılabileceği için, ortaya aynı boyutla ilgili sayısız birim sistemi çıkması da doğal karşılanmalı. Eldeki ilk birimi 2'ye bölebileceğimiz gibi, 3'e, 6'ya, 10'a, 12'ye, 60'a da bölebilir, hatta bunları karıştırabilirdik de. Anglo-sakson birimlerinin uygulamada yolaçtığı güçlük ve karışıklıklar, 2, 3, 12 gibi birim katsayılarına dayandırılmış olmalarındandır. 10'a dayalı SI birimleriyse, yaygın olarak ondalık (onlu) sayı sistemini kullandığımız için, gerek gösterimde gerekse hesaplamalarda büyük ekonomi ve kolaylık sağlar. (12"$_{\text{(inch)}}$ = 1'$_{\text{(foot)}}$ olduğuna göre, 5' 8 $_{9/64"}$ + 2' 5 $_{7/16"}$ toplam uzunluğunun nasıl hesaplanacağını düşünün, ve dengi olan 1.731 m + 0.748 m ile karşılaştırın.)

Küçüklü-Büyüklü Birimler; Anlamlı-Anlamsız Rakamlar

Yeni birimlere, sadece ölçü duyarlılığını yükseltmek için değil, ölçüm sonucu çok büyük sayılara erişebilecek büyüklükleri daha kolay ölçebilmek ve sonucu makul büyüklükte sayılarla ifade edebilmek için de ihtiyaç duyulur. O takdirde, başlangıçtaki birim bazı katsayılarla çarpılarak büyültülür. SI birimlerinde bu katsayı yine 10 ve 10'un kuvvetleridir. Ölçülen büyüklüğün ölçüsünün çok büyük veya çok küçük bir sayı çıkmaması, böylece, sayısal gösteriminin kolay anlaşılır, büyüklük derecesinin kolay kavranabilir olması, seçilen birimle sağlanır. Örnek vermek gerekirse, yol haritalarında şehirlerarası uzaklıkların *ölçü*sü, üçü dördü geçmeyen, birkaç rakamlı sayılarla verilir. Bu, birim olarak kilometrenin seçilmesiyle sağlanır. Bu suretle, başka birimler kullanıldığında ondalık virgülün solunda veya sağında verilmesi gerekli olacak bol sıfırlı rakam kalabalığından kurtulunur. Ankara-İstanbul arasının 454 262 metre, 454 262 370 milimetre, veya 0.000 000 000 048 ışıkyıl şeklinde verildiğini düşünün, ve bunları 454 kilometre ile karşılaştırın.

Ayrıca, ilk iki ölçüdeki (veya ikinciyi kilometreye çevirerek elde edilecek 454.262 370 km'deki) 454'ü izleyen rakamların gereksizliğini de kolayca görebilirsiniz. Bu gibi sayısal ölçü belirlemelerinin büyük çoğunluğunda üç, bilemediniz dört *anlamlı rakam* verilmesi yeterlidir. Yolun 450-küsur kilometre şeklinde bilinmesi, kaç saat yolculuk yapacağınız hakkında yeterli fikir verdiği için önemlidir. Ama, 450 km'den sonra kaç kilometre, kaç metre daha gideceğiniz, yola çıkışta ve varışta seçeceğiniz ara yollara, virajları ne kadar içten veya dıştan aldığınıza, molalara; milimetrelerse, yapacağınız ufak tefek manevralara bağlı olarak değişir. Çok özel bir durum bu ayrıntıların belirtilmesini gerektiriyor olabilir. O takdirde, artık *anlamlı* olduğu kabul edilen altı veya dokuz rakam verilirken, bunların ölçüm veya hesap sonucu elde edilebilecek (tekrar tekrar elde edilebilecek!) gerçek rakamlar olması beklenir. Bunların dayandırıldığı özel durum da ayrıntılarıyla biliniyor demektir. Bilinmiyorsa, 454'ten sonraki rakamlar hiç bir anlam taşımadığı için, belirtilmeleri ne gereklidir, ne de beklenir. (Anlamsızlığı vurgulamak için ölçünün 454.Σμ∀ 0♣© km şeklinde yazıldığını düşünün.) Başka bir ifadeyle, kilometreden daha küçük birimler varsa, bunlar Ankara-İstanbul arası yolculuk düşünülerek yaratılmamıştır. Zaten çok değişken olan Ay'ın Dünya'dan uzaklığı içinse hiç değildir. Ama öte yandan, bir Dünya-Ay seyahati veya Jüpiter yakın geçişi için metreler, mikrosaniyeler önemli olabilir; çok küçük hatalar bile başarıyı etkileyebilir. Böyle durumlarda ölçeğinizi küçültür ve alışılagelmişin çok üstünde sayıda *anlamlı rakam* bilmek istersiniz; ve ancak onları doğru olarak elde edebiliyorsanız, yani gerçekten anlam taşıyorlarsa kullanırsınız.

Birim Dönüşümü

Öğrenilmesi güç gelen ve doğru-dürüst kavranılmadığı takdirde kolaylıkla pek çok yanlışın yapılmasına neden olan konulardan biri de birimleri birbirine dönüştürmektir. Temel ders ve referans kitapları, teknik elkitapları vb. ayrıntılı birim dönüştürme tablolarıyla doludur. Çok az sayıda temel birim üzerinde yapılandırılmış olan SI ile bunun dışındaki sistemler arasında, tutarlı, birebir ilişkiler olması gerekir. Ama, aklınıza gelen her dönüşüm çiftini bulabileceğiniz bir sayısal dönüştürme tablosu hazırlamak ne mümkündür, ne de gereklidir. Birbirine dönüştürülmesi istenilen iki birim sisteminin kendi iç yapıları biliniyorsa, aralarındaki bağın sadece temel birimler için kurulması, karşılaşılabilecek bütün dönüşüm bağıntıları için yeterlidir.

Çerçeve içinde gördüğünüz örneklerden ilki, 20 mph (saatte 20 mil) rüzgâr hızının saniyede kaç metreye karşılık geldiği sorusunu ele alıyor. İlk yaklaşım (i), direkt bir dönüşüm tablosunu kullanmak. Tabiidir ki böyle bir tablo karşılaşabileceğimiz bütün hızları göstermez; ara değerler için hesap yapmak gerekir. Diğer bir yol, sonucu orantı ilişkileriyle bulmak (ii); daha sağlam bir yaklaşım ise (iii), hızı hıza dönüştürmek yerine, dönüşümü hızın türetildiği temel boyutlar olan uzaklık ve zaman için yapmaktır. Böylece, sayıca çok az olan (bu nedenle kolay hatırlanabilen) temel boyutlardaki dönüşüm bağıntılarından yararlanarak, bütün türetilmiş boyutlar için, birim dönüşümü sistematik olarak gerçekleştirilebilir. Metodun temelini, verilen büyüklüğü uygun olarak seçilmiş, boyutsuz "1" lerle çarparak (yani büyüklüğü ve boyutunu değiştirmeden), ve elde edilen ifadede açıkça görülen temel birimleri kısaltarak, istenilen birime ulaşmak teşkil eder. Meselâ *1 mil = 1609 m* birim ilişkisinden iki değişik "1" elde edilebilir.:

$$\frac{1 mil}{1609 m} = 1 \text{ veya } \frac{1609 m}{1 mil} = 1$$

Her ikisi de uzunlukların oranı olduğu için boyutsuzdur. Ama bunların yalnız ikincisi, 20 mil/saat ile çarpılınca "mil" biriminin kısaltılmasına imkân verir; öteki uygun değildir. Karşılaşılan birim ne kadar karmaşık veya alışılmadık olursa olsun, uygun birimlerle oluşturulan yeterli sayıda "1" leri doğru şekilde düzenleyerek, her zaman sonuca varmak mümkündür. Çerçeve içinde başka bir örnek görüyorsunuz. Mühendislik bilgilerine dayanarak yapılan hesapların sonucu, acaip bir hız birimiyle ortaya çıkmış olsa da doğru. Hızı, söz konusu olayı zihinde kolayca canlandırmaya elverişli bir birime, saniyede milimetreye, çevirmek için sonucun hangi "1" lerle çarpılması gerektiği görülüyor.

Yeni Boyutlar, Yeni Birimler

Bilimin gelişmesi, doğada karşılaşılan yeni olayların açıklanması ve yapılan yanlışların ayıklanıp, yerlerine doğruların (veya daha doğruların) konmasıyla olur. Bu ise, olayların gözlemlenmesi ve yorumlanması yanında, ölçmeyi de gerektirir. Yaptığımız bir gözlem, getirdiğimiz açıklama, veya ileri sürdüğümüz yeni bir model veya teori, sayılarla desteklenmedikçe inandırıcılığı zayıftır. Sayılar ise, burada kullandığımız terminolojiyle, gerekli ölçmeler sonunda ortaya çıkan *ölçü*lerdir. Ölçülmesi gereken şey, yeni bir teorinin veya kanunun tanımladığı yeni bir kavram olabilir. Bundan da basit olarak, pratik bir ihtiyacı karşılamak üzere ortaya atılacak bir ölçme modeline veya işlemine dayanan yeni bir büyüklük de olabilir. Temelde, ister teorem veya kanun, ister model adını alsın, yeni bir kavramı tanımlayan bir bağıntı vardır karşımızda.

Sadece uzunluk ölçmeyi becerebiliyorken, bir gün bir tarlanın büyüklüğünü ölçmek zorunda kaldığımızı düşünün. Eşit parçalara bölerek birim elde edip bunlardan kaç "tane" olduğunu sayma fikrini tarlaya uyarlamanın bir yolu, meselâ dikdörtgen şeklindeki bir tarlanın kenarlarını aynı uzunluk birimine bölüp işaretleyerek, elde ettiğimiz noktaları karşılıklı birleştirmektir. Ortaya çıkan birbirine eşit kare şeklindeki *birim* tarla alanlarının sayısı, tarlanın büyüklük ölçüsü olacaktır. Bunları ya teker teker sayarız, veya çizgilerle ayrılan enine (veya boyuna) sıraların sayısını her sırada yer alan birim karelerin sayısıyla çarparız. Bu sayılarsa, aslında tarlanın bitişik iki kenarının uzunluklarının ölçüsüdür. Bu düşünceyle

Tarlanın alanı = Kenar uzunluğu × Öteki kenar uzunluğu

veya

$\mathbf{S = L_1 \times L_2}$

tanımını yapabiliriz. Her büyüklüğün ölçü ve birimini ayrı ayrı göstererek yazarsak (ölçü ve birim arasındaki çarpma işaretinden vazgeçerek)

$$S\,\mathbf{s} = L_1\,\mathbf{l} \times L_2\,\mathbf{l} = L_1\,L_2\,\mathbf{l}^2$$

olur. Öte yandan, tarlanın ölçüsünü

$$S = L_1\,L_2$$

şeklinde bulmuştuk; o halde tarla alanının ölçüldüğü birimin de

$$\mathbf{s} = \mathbf{l}^2$$

olması gerekir. Böylece yeni bir birim, alan birimi, uzunluk biriminin karesi şeklinde tanımlanmış olur. Buna paralel olarak da, yeni bir boyut olan alan boyutu, uzunluk boyutunun ikinci kuvvetine eşit olmalıdır.

Benzer şekilde, sadece uzunlukları ve zamanı ölçebiliyorken, birim zamanda alınan yolun "çabukluk" ölçüsü olabileceğini düşünerek, ve buna "hız" adını vererek, hızı şöyle tanımlayabiliriz:

Hız = Uzaklık / Zaman

$$\mathbf{V = L / T}$$

$$V\,\mathbf{v} = (L\,\mathbf{l}) / (T\,\mathbf{t})$$

Artık hızın ölçüsü V ve birimi **v** şu şekilde belli olur:

$V = L / T$; $\mathbf{v} = \mathbf{l} / \mathbf{t}$

Ve boyutu da uzunluğun zamana bölünmesiyle elde edilir. **l** = 1 m, **t** = 1 s ise, **v** = 1 m / (1 s) = 1 m/s demektir; kilometre ve saat birimleri de **v** = 1 km/saat verir.

Üçüncü bir örneği kuvvetin tanımıyla verebiliriz. Newton'un bir cismin hızını belli bir çabuklukla değiştirmek için ne büyüklükte itilmesi (veya çekilmesi) gerektiğini belirten meşhur "hareket kanunu", *kuvvet* adını verdiğimiz bu itme büyüklüğünün tanımı olarak kabul edilebilir:

Kuvvet = Kütle × İvme

veya

$$\mathbf{F = M \times A}$$

Burada *ivme* diye adlandırılan, hızın değişme çabukluğunun (hızını), tıpkı uzaklığın değişme çabukluğu olan *hız*ın tanımına benzeterek ifade edebiliriz:

İvme = Hız / Zaman = (Uzunluk / Zaman) / Zaman = Uzunluk / Zaman²

$$\mathbf{A = V / T = L / T^2}$$

Artık hareket kanununu kullanarak, kuvvetin hem birimini hem de boyutunu kütle, uzunluk, ve zaman cinsinden belirleyebiliriz.

$$\mathbf{F = M\,L / T^2}$$

$$F\,\mathbf{f} = (M\,L / T^2)\,(\mathbf{m}\,\mathbf{l} / \mathbf{t}^2)$$

Eğer ölçüler arasında

$$F = M\,L / T^2$$

bağıntısının olmasını istiyorsak, kuvvetin birimini $\mathbf{m}\,\mathbf{l} / \mathbf{t}^2$ ye eşit seçmemiz gerekir. Eğer **m** = 1 kg, **l** = 1 m, **t** = 1 s ise **f** = 1 kg m/s² dir. Bu yeni birime Newton'un anısına ayrı bir isim verilmiştir: newton (1 N = 1 kg m/s²). Bu ve buna benzer, yeni bir isim vererek yapılan kısaltmalar birim gösteriminde kolaylık ve rahatlık sağlar. Meselâ 1 N/m² = 1 kg/m s² basınç veya gerilme birimidir; ve pascal (Pa) adını alır.

Nereye Kadar?

Yeni tanım ve ilişkilerin yeni boyutlara ve dolayısiyle yeni birimlere ihtiyaç gösterebileceğini, bunların büyüklükler arasında kurulan yeni ilişkiden doğduğunu, ve yeni boyut ve birimlerin eskileri cinsinden belirlenebileceğini gördük. Meselâ, yukarıdaki örneklerden sonra adım adım *enerji* veya mekanik *iş*i, onun hızı olan *güç*ü, *momentum* ve *basınç* gibi kavramları tanımlayarak boyut ve birim bağıntılarını çözebiliriz; boyut ve birimlerin sayısı için belirli bir sınırlama yok. Peki, öteki yönde de ilerleyebilir miyiz? Yani, yukarıda bildiğimizi, tanıdığımızı varsaydığımız üç temel büyüklük olan kütle **M**, uzunluk **L**, zaman **T**, ve bunlara karşılık gelen boyutların sayısı daha aza indirgenebilir mi? Bu büyüklükleri içeren yeni bir fiziksel ilişki varsa, onun böyle bir sonuç çıkarmaya imkân vermesi beklenebilir. Meselâ, gine Newton'a borçlu olduğumuz "kütleçekim kanunu" bu amaçla denenebilir. Kanun, çekim kuvvetinin, birbirini çeken kütlelerin büyüklükleriyle doğru, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olduğunu iddia eder. Kuvveti zaten temel büyüklükler cinsinden çözmüştük. Şimdi elimizde bunları birbirine bağlayan yeni bir ilişki daha var:

$$\mathbf{F = M_1 \times M_2 / L^2}$$

İlişkiyi eskiden yaptığımız gibi ölçü ve birimleri ayırarak çözümlersek

$$F\ (\mathbf{m\ l / t^2}) = M_1\ \mathbf{m} \times M_2\ \mathbf{m} / (L\ \mathbf{l})^2$$

$$F\ (\mathbf{m\ l / t^2}) = (M1\ M_2 / L^2)\ (\mathbf{m^2 / l^2})$$

$$F = M_1\ M_2 / L^2 \quad \text{ve} \quad \mathbf{m\ l / t^2 = m^2 / l^2}$$

ve buradan da

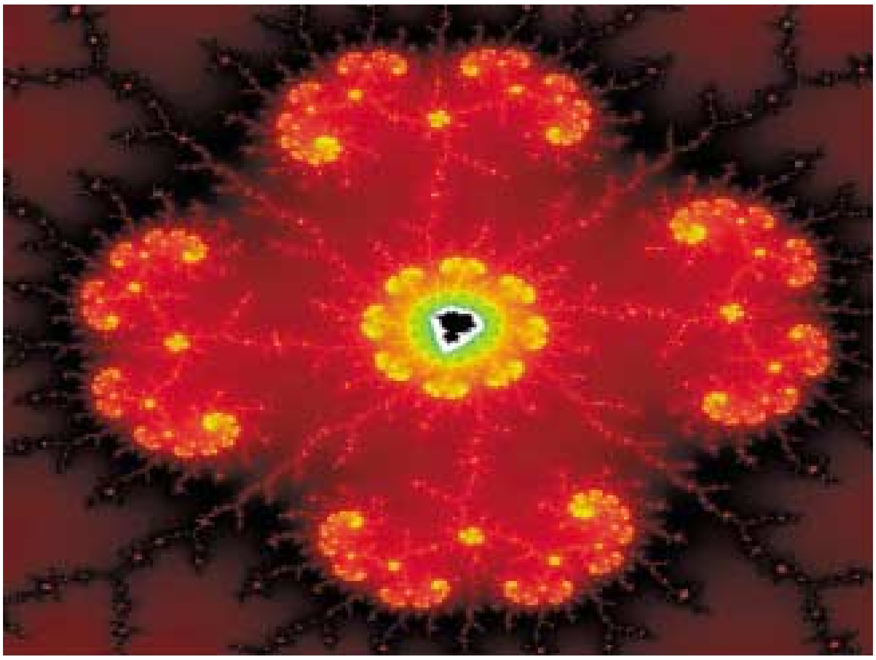
$$\mathbf{m = l^3 / t^2}$$

elde ederek, temel boyutları da birimleri de üçten ikiye indiririz: Uzunluk ve zaman! Artık bütün diğer bileşik boyut ve birimlerin sadece uzunluk ve zamana, yani kinematiğe bağlanabileceği kolayca görülebilir. Meselâ kuvvet birimi için yeni bağıntı $\mathbf{f = l^4 / t^4} = (\mathbf{l / t})^4$ olacaktır: hızın dördüncü kuvveti! Bunun da ötesi, yani bütün boyutları tek bir temel boyuta indirgemek de akla gelebilir. Bu ise, uzunluk (uzay) ve zaman arasında doğal bir bağıntı beklentisini getirir.

Öte yandan, maddesel evrenin işleyişini gözönünde bulundururken, onu meydana getiren, vazgeçilmez temel büyüklüklerin de birbirinden ayırdedilmesi gerekir: Kütle, elektrik yükü, uzunluk, ve zaman… Yukarda yapıldığı gibi, gravitasyon ve atalet ilişkilerini kullanarak, kütle boyutunu yapay şekilde ortadan kaldırmak, maddenin temel ölçütü olan kütlenin olmadığı anlamına gelmez. Üstelik, temel birimlerin sayısında bu kadar aşırı bir tasarrufa ihtiyaç olmadığı da açıktır. Kütle, elektrik yükü, uzunluk, ve zaman üzerine yapılandırılan SI birimleri bugünkü haliyle hemen bütün ihtiyaçlara cevap verebilen, tutarlı, pratiğe elverişli bir sistemdir.

Kesirli Boyutlar

Bilinen birimlerden çarpma ve/veya bölme işlemleriyle yeni, bileşik birimlerin elde edilebildiğini gördük. Bu, bileşik bir birimin temel veya bilinen birimler cinsinden ifadesinde, o



birimlerin sadece tamsayı kuvvetlerinin bulunabileceği anlamına gelir. Tabii ki boyutlar için de aynı durum vardır. Meselâ bir uzunluk birimi olan metre (m) kendisiyle çarpılarak, uzunluğun ikinci kuvvetindeki alan boyutuna ait birim, metrekare (m^2) türetilir; zaman birimi saniye (s) ile iki kez bölünerek ivme birimi m/s^2 elde edilir. Ama, $m^{2/3}$ veya $m^{\sqrt{2}} / s^{4/3}$ gibi birimler (ve bunlara denk gelen boyutlar) düşünülmez; çünkü bunlar, içinde yaşıyor olduğumuzu varsaydığımız ve düzgün olarak algıladığımız uzay-zamanda edinilen makroskopik deneyimlere uygun düşmez. Acaba gerçekten öyle mi?

Birimi nasıl elde ettiğimizi hatırlayalım: Eldeki büyüklüğü <u>eşit</u> parçalara ayırdık. Bunu yaparken, daha doğrusu, nasıl yapılabileceğini düşünürken, o sırada belki de bilinç altından bizi yönlendiren iki varsayıma dayanmak zorundaydık. Biri, büyüklüğün kendi boyutunu koruyarak gerçekten eşit parçalara bölünebileceği varsayımı; öteki, büyüklüğün değişmez olduğu varsayımı. Acaba eşit parçalara bölünme süreci her zaman gerçekten başarılabilir mi? Acınacak derecede buruşturulmuş bir dosya kâğıdını nasıl 10, 100, 1000 <u>eşit alanlı</u> parçaya bölebilirsiniz? Kâğıt düzgün bile olsa, 1 mikrometrekarelik bir alanını nasıl belirleyebilirsiniz? Kâğıdın yüzey alanının gerçekten 297 mm × 210 mm = 623.7 cm^2 olduğuna inanıyor musunuz? Eğer inanıyorsanız, gerçek bir kâğıdı değil, farkına varmadan onunla özdeşleştirdiğiniz, Euclid uzayında ona model olarak seçtiğiniz, matematiksel bir düzlem parçasını düşünüyor olmalısınız. Kâğıdın üzerindeki mikroskopik engebeleri (giderek, moleküllerinin diziliş geometrilerini de) gözönüne alsaydınız, ne ölçüde bir alan elde etmeyi beklerdiniz; 1 m^2, 100 m^2 ?

Bu düşünceler, bütünden birim elde etmenin gerçek hayatta pek de kolay olamayacağını akla getiriyor. Çizgi veya yüzey deyince genellikle zihnimizde canlandırdığımız geometrik varlıklar -ilk başta eğri, kırıklı, köşeli, buruşuk da olmuş olsa- belli bir ölçeğe indiğimizde artık düzgünleşmelerini beklediğimiz şeyler oluyor. Küçülterek veya büyülterek elde ettiğimiz ölçekler de (ölçü çubukları, kareleri) hep birbirine benzer kalıyor. 4 m^2 lik bir halı satın alırken onun "hangi yüzey"inin 4 m^2 olduğunu düşünmüyoruz. Dokusundaki elyafın, ara boşlukların, kalınlığın neden olabileceği belirsizliklere aldırmadan, aynı düzgün 1 m^2 lik birim yüzeyle ölçüyoruz. Halının *gerçek* büyüklüğü 4 m^2 mi? *Gerçek büyüklük* diye birşey var mı? *Büyüklük* neden onu ölçmek için seçilen birime bağlı olmasın? Bu mantık dışı gibi görünüyorsa, yani büyüklüğün değişmezlik özelliğinden vazgeçemiyorsak, acaba ölçü sonuçları seçilen birime beklenmedik bir şekilde bağlı olabilir mi? Örnek olarak, birimi küçültüp binde birine indirsek, yeni ölçümüz eskisinin 1000 katından daha farklı olabilir mi? (Edre-