

Enver Sadıkoğlu*

Őakir Baytaroğlu**

Okan Yılmaz***

*Dr., Fizik Bşlümü

** Dr., Makine Mühendisliği

***Yüksek Lisans., Fizik Bşlümü

TÜBİTAK ÜME

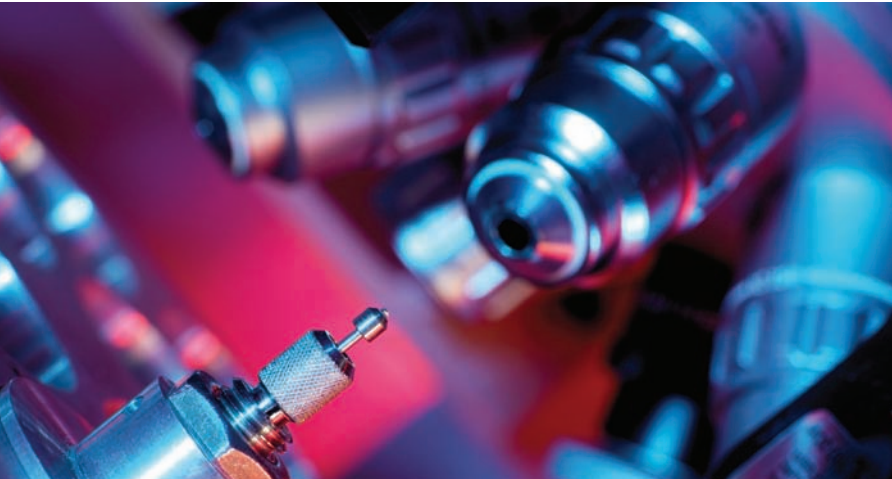
(Ulusal Metroloji Enstitüsü)

Dünya Metroloji Gününü Kutluyoruz

Ya Ölç(e)meseydik?

Teknolojinin baş döndürücü bir hızla geliştiği günümüzde bilimsel araştırma, sanayi, ticaret, savunma, sağlık gibi alanlarda yapılan çalışmaların başarıyla sonuçlandırılması hassas, güvenilir ve doğru ölçümlere bağlıdır.

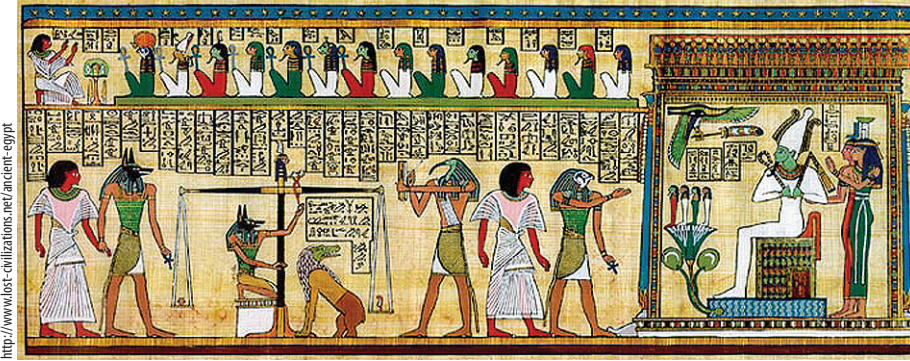
Bugün toplumun hemen her kesiminin sahip olmayı olağan saydığı, örneğin televizyon, bilgisayar gibi ev eşyalarının, otomotiv ürünlerinin ekonomik olabilmesini sağlayan seri üretim, bu ürünleri oluşturan yüzlerce parçanın hassas olarak aynı karakterde yapılabilmesinin sonucudur. Bu ise boyutun, sıcaklığın, ağırlığın, gücün, akımın, basıncın ve çeşitli malzeme karakteristiklerinin doğru olarak ölçülebilmesiyle sağlanabilmektedir.



Visual Photos

Hastanelerde yapılan tahliller ve tahlil sonuçlarına bağlı olarak doğru tedavi yöntemlerinin belirlenmesi, tedavi sırasında uygulanması gereken etki veya dozun doğru seviyede olması, evlerimizde veya işyerlerinde kullanılan elektrik, su ve gaz sayaçlarının kullanılması ve sayaçlardan okunan değere bağlı olarak düzenlenen faturalar, ihracat ve ithalatta belirli ürünlerin belirli standartlara, direktiflere ve diğer şartnamelere uygunluğunun tescili gibi işlemler doğru ve güvenilir ölçümler gerektirir. Bu nedenlerle, yapılan ölçümlerin sonuçlarını güvence altına almak gibi evrensel bir ihtiyaca cevap veren metroloji ön plana çıkmaktadır.

Ölçüm bilimi olarak tanımladığımız metrolojinin tarihçesi bin yıllarla ifade edilmektedir. İnsanoğlu, çok eski tarihlerden beri ihtiyaçlarını karşılamak için ölçümle uğraşmış ve belirli büyüklüklerin değerini somut olarak rakam ve birim cinsinden belirlemek için her zaman karşılaştırma yapılacak bir referansa ihtiyaç duymuştur. Milattan önce vücut organlarından yararlanılarak tanımlanan uzunluk birimi, Mısır'da ilk ölçüm birimlerinden firavun dirseği ve tanımı gerçekleştiren nesne kubit ve +4 °C'de 1 dm³ suyun ağırlığının referans ağırlık olarak kabul edilmesi, insanoğlunun ölçümlerde kullanabileceği birimler ve birim standartları arayışındaki serüvenlerden bazı örneklerdir. Yüzyıllar boyunca farklı ölçüm birimlerinin tanımlarını kişilerden ve bölgelerden bağımsız olarak tanımlayabilmek için olağanüstü çaba harcanmıştır.



Türklerin Anadolu toprakları üzerindeki uygarlık örneklerinden biri de standardizasyon ve ölçü birliği oluşturulması konusunda gösterdikleri çabadır. Bursa, Edirne, Sivas, Erzurum, Diyarbakır, Çankırı, Aydın, Mardin, Karahisar, Rize, Amasya, İçel, Arapkir, Kara-

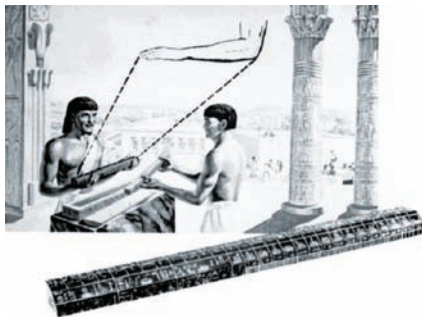
man ve daha pek çok yerin mahalli özelliklerine göre yaklaşık beş yüz yıl önce bugünün eşdeğeri olan standard kuralları konulmuştur. Standardın bugünkü anlamıyla kullanıldığı yazılı en eski belge ise Sultan Beyazıt tarafından fermanda olarak hazırlanan "Kanunname-i İhtisab-ı Bursa" belgesidir. Bu belgede kalite, boyut, ambalaj gibi konularda yazılı kurallar getirilmiş, narh ve ceza hükümlerine de yer verilmiştir. Fermanda bugünkü standardizasyon sistemine benzeyen bir sistem oluşturulmuş ve birçok maddenin özellikleri ayrı ayrı belirtilerek ilk standartlar olarak tarihe geçmiştir. Bu dönemde ülkemizde çeşitli ağırlık, uzunluk, hacim, alan birimleri kullanılmaktaydı. Bu birimlerin doğruluğu Ahilik kurumu aracılığıyla kontrol edilmekteydi. Okka, çeki, kantar, arşın, rub, endaze, kirâh, hilal, çuvaldız, masura, kamsı, lüle gibi birim-

çüm birimleri konusundaki kargaşayı gidermek üzere ölçüm birimlerini tanımlamak; birim standartlarının tanımlarına uygun olarak çözüm ve öneriler üretmek; ülkelerde bu doğrultuda gerçekleştirilen faaliyetlerin koordinasyonunu sağlamak için gerekli idari yapıların oluşturulmasını sağlamaktı. Konvansiyonun imzalanmasıyla temel metroloji alanındaki faaliyetlerin koordinasyonu için Uluslararası Ölçüler ve Ağırlıklar Bürosu (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) ve Uluslararası Ölçüler ve Ağırlıklar Komitesi (Comité International des Poids et Mesures, CIPM) oluşturulmuştur.

Başlangıç aşamasında faaliyetler kütle ve uzunluk olmak üzere iki ölçüm birimi standardının tanımlanması ve oluşturulmasına odaklanmıştır. 20. yüzyılda bu birimlere zaman ve elektrik akımı, daha sonra da ışık şiddeti ve termodinamik sıcaklık birimleri eklenmiştir. Tüm bu çalışmaların sonucunda 1960 yılında 11. Uluslararası Ölçüler ve Ağırlıklar Konferansı'nda yeni ölçüm birimleri sisteminin kabul edilmesi konusunda karar alındı. Uluslararası Birimler Sistemi (System International, SI) altı temel ve birçok da türetilmiş birimden oluşmaktaydı. 1970 yılında altı temel birime madde miktarı birimi mol'un de eklenmesi ile SI Birimler Sistemi bugün kullanılmakta olduğumuz halini aldı. SI Birimler Sistemi'ni oluşturan yedi temel birim, kütle birimi kilogram, uzunluk birimi metre, zaman birimi saniye, elektrik akımı birimi Amper, ışık şiddeti birimi kandela, termodinamik sıcaklık birimi Kelvin ve madde miktarı birimi moldur. SI Birimler Sistemi'nde yer alan türetilmiş birimlerin sayısı ise yüzlerle ifade edilmektedir.

SI Birimler Sistemi'nde yer alan her birimin bir tanımı vardır. Birimlerin tanımları doğadaki olaylar ve temel fizik kurallarına dayanılarak yapılmıştır. Tanımın çok kısa olmasına rağmen, tanıma göre birim değerini gerçekleştirilmesine olanak sağlayacak bir referans standardın oluşturulması için CIPM ta-

Metroloji tarihinde kayıtlara ilk olarak geçen uzunluk ölçüm birimi Eski Mısır devletinde kullanılan kubit (cubit).



ler o dönemde kullanılan bazı ölçü birimleridir.

Ölçüm birimleri ve standartları ile ilgili yıllardır yürütülen çalışmaları daha düzenli hale getirmek ve farklı ülkelerde gerçekleştirilen faaliyetlerin koordinasyonunu sağlamak üzere 1875 yılında Paris'te Metre Konvansiyonu imzalanmıştır. 20 Mayıs 1875 tarihinde imzalanan Metre Konvansiyonu metrolojide yeni bir çağ açtığı için 20 Mayıs "Dünya Metroloji Günü" olarak kutlanmaktadır. Konvansiyonu imzalayan ülkeler arasında Osmanlı İmparatorluğu da yer almıştır.

Metre Konvansiyonu'nun temel amaçları ülkeler arasında kullanılan öl-

SI Birimlerinin Tanımları

Uzunluk: Metre (m)

Metre, ışığın saniyenin $1/299792458$ kesri zaman aralığında vakum ortamda kat ettiği mesafedir.

Kütle: Kilogram (kg)

Kilogram, uluslararası kilogram prototipinin kütlesine eşit kütledir.

Termodinamik Sıcaklık

Birimi: Kelvin (K)

Termodinamik sıcaklık birimi Kelvin, suyun üçlü noktasının termodinamik sıcaklığının $1/273,16$ kesridir.

Madde miktarı: mol (mol)

Mol, karbon 12'nin $0,012$ kg'daki atom sayısını içeren madde miktarıdır.

Zaman: Saniye (s)

Saniye, Sezyum 133 atomunun taban durumunun iki ince yapı düzeyi arasındaki geçişe karşılık gelen ışınımın 9192631776 periyodunun süresidir.

Elektrik Akımı: Amper (A)

Amper, sonsuz uzunluktaki ihmal edilebilir dairesel kesiti olan, birbirinden 1 metre uzaklıkta yerleştirilmiş iki paralel iletkenin, birbirlerini etkiledikleri metre başına 2×10^{-7} N'luk kuvveti üreten sabit akımdır.

Işık Şiddeti: Kandela (cd)

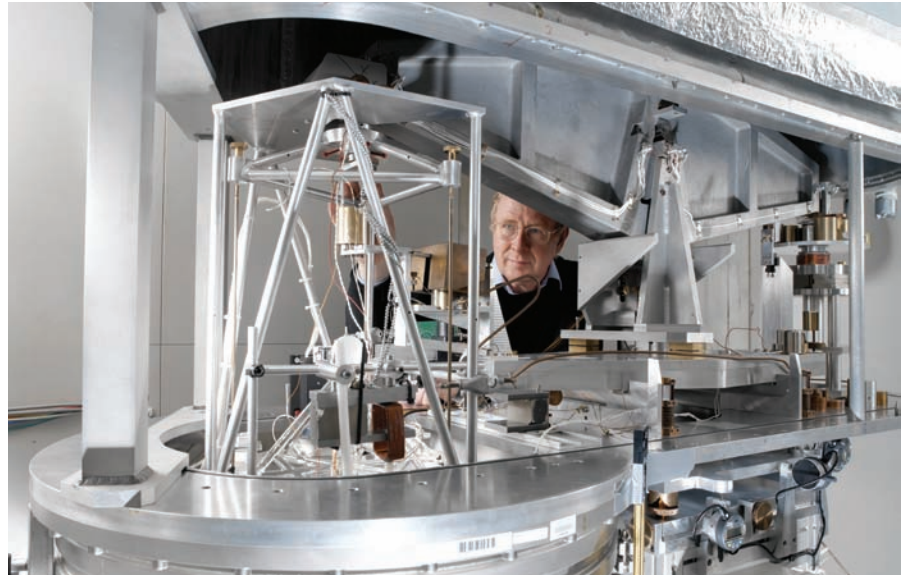
Kandela, Steradyan başına $1/683$ Watt radyant şiddeti olan 540×10^{12} Hertz frekanslı monokromatik ışınım yayan bir kaynağın verilen bir yöndeki ışık şiddetidir.

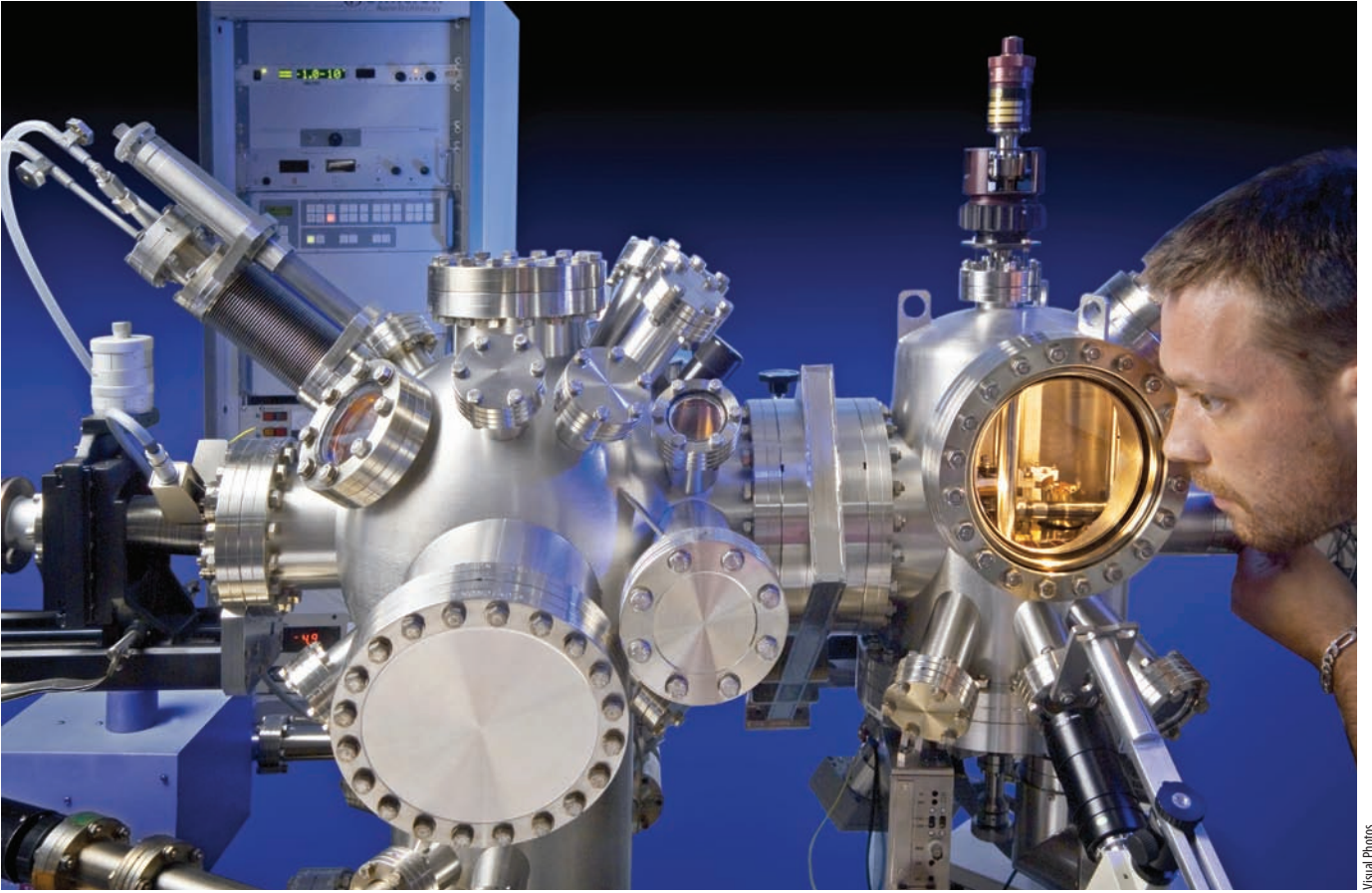
rafından öneriler üretilmekte ve bunlar tüm dünyada uygulanmaktadır. Örneğin uzunluk birimi ışığın vakum ortamında belirli bir sürede kat ettiği mesafe olarak tanımlanmıştır. Uzunluk standardını gerçekleştirmek için kullanılan araçlar ise frekansları belirli atomların ve moleküllerin enerji geçişlerine kilitli değişik tip lazerler, farklı tiplerde interferometreler (lazer ışınıyla girişim sağlanan optik bir cihaz) olarak sıralanabilir. Ölçüm birimleri standartlarını oluşturma ve koruma çalışmaları yoğun araştırma ve geliştirme faaliyetleri içermektedir. Oluşturulan standartların her türlü şarttan nasıl etkilendiği araştırılıp dikkate alındıktan sonra, günümüzde ulaşılacak en yüksek doğruluk değerleri elde edilebilmektedir. Birimlerin standartları, tanımlarına uygun olarak, gelişmiş ülkelerde bulunan "Ulusal Metroloji Enstitüleri" tarafından oluşturulmaktadır. Günümüzde önde gelen metroloji enstitüleri tarafından uzunluk birimi standardı için beyan edilen en düşük belirsizlik değeri, diğer bir ifade ile ölçüm sonucundaki şüphenin rakamsal gösterimi, trilyonda bir olarak açıklanmaktadır. Şerit metre veya cetvel ile uzunluk ölçümü yaptığınızda ölçüm sonucunun bir lazerin dalgaboyuna boyuna bağlı olduğunu biliyor musunuz? Milimetre kadar hata ya-

pabileceğimiz bir ölçüm cihazı için, ülkeler lazerin dalgaboyu ve ışık hızına dayalı picometre (10^{-12} m) hassasiyetinde ulusal ölçüm standartları oluşturmakta ve korumaktadır. Gerçekten bu seviyedeki standartlara ihtiyacımızın olup olmadığı çok basit bir örnekle cevaplandırılabilir.

Otuz yılı aşkın bir süredir düzlemsel silikon metal oksit yarıiletken (MOS) alan-etkili transistor (FET) tümleşik devrelerin temelini oluşturmaktadır. 1970'lerde tümleşik devreler yapılarında her biri birkaç on mikrometre ($1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6}$ m) ya da bir saç telinin kalınlığının $1/10$ 'u büyüklüğünde binlerce MOSFET barındırırdı. Günümüzde ise sadece bir yongada her biri birkaç nanometre ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9}$ m) ya da bir saç telinin kalınlığının $1/1000$ 'i büyüklüğünde olan yaklaşık 1 milyar MOSFET bulunmaktadır. Bu gelişmeler sayesinde kişisel bilgisayarlar eskiden bir oda büyüklüğünde iken günümüzde avcumuza sığabilecek kadar küçülmüştür. Mikroelektronikte nanometre ölçeğinde ölçümlerin, bu ölçümlerde kullanılan Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve buna benzer çok karmaşık cihazların performansının güvenceye alınması, doğal olarak hassas ölçüm standartlarının oluşturulmasını zorunlu hale getiriyor. Bu nedenle bugün kullanı-

Kütle birimi kilogramın yeniden tanımının yapılması için geliştirilmiş olan Watt Balans sisteminin İngiltere Ulusal Fizik Laboratuvarı'ndaki (NPL) örneği.





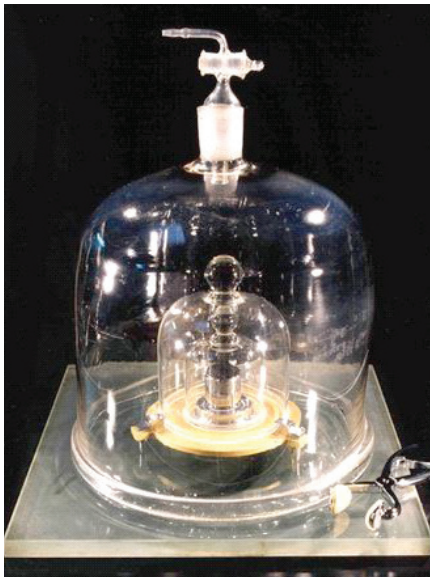
Visual Photos

Malzeme yüzeylerini atom boyutundaki çözünürlükle taranmasına imkan sağlayan Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).

lan ölçüm standartları tatmin edici olsa da, gelecekte yetersiz kalacakları çok açıktır.

Uzunluk birimi ile ilgili örnek diğer temel SI birimleri için de geçerlidir. Bu

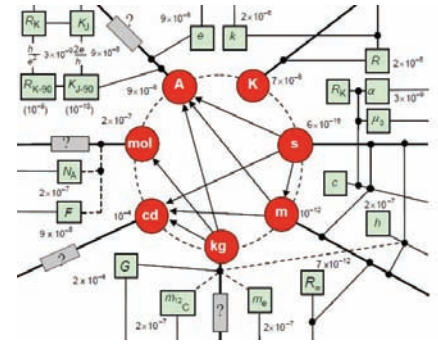
BIPM'de muhafaza edilen uluslararası kilogram prototipi.



www.bipm.org

birimlerden sadece kütle biriminin tanımını günümüzde kullanılmakta olan en eski tanımdır. 1901 yılında yapılmış olan tanıma göre kilogram, uluslararası kilogram prototipinin kütlesine eşittir. Uluslararası kütle prototipi BIPM tarafından korunmaktadır. Ancak son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalar, uluslararası kütle prototipinin değerinin yıldan yıla değiştiğini göstermiştir. Bu nedenle, yakın gelecekte kütle biriminin yeniden tanımlanması hedeflenmiştir.

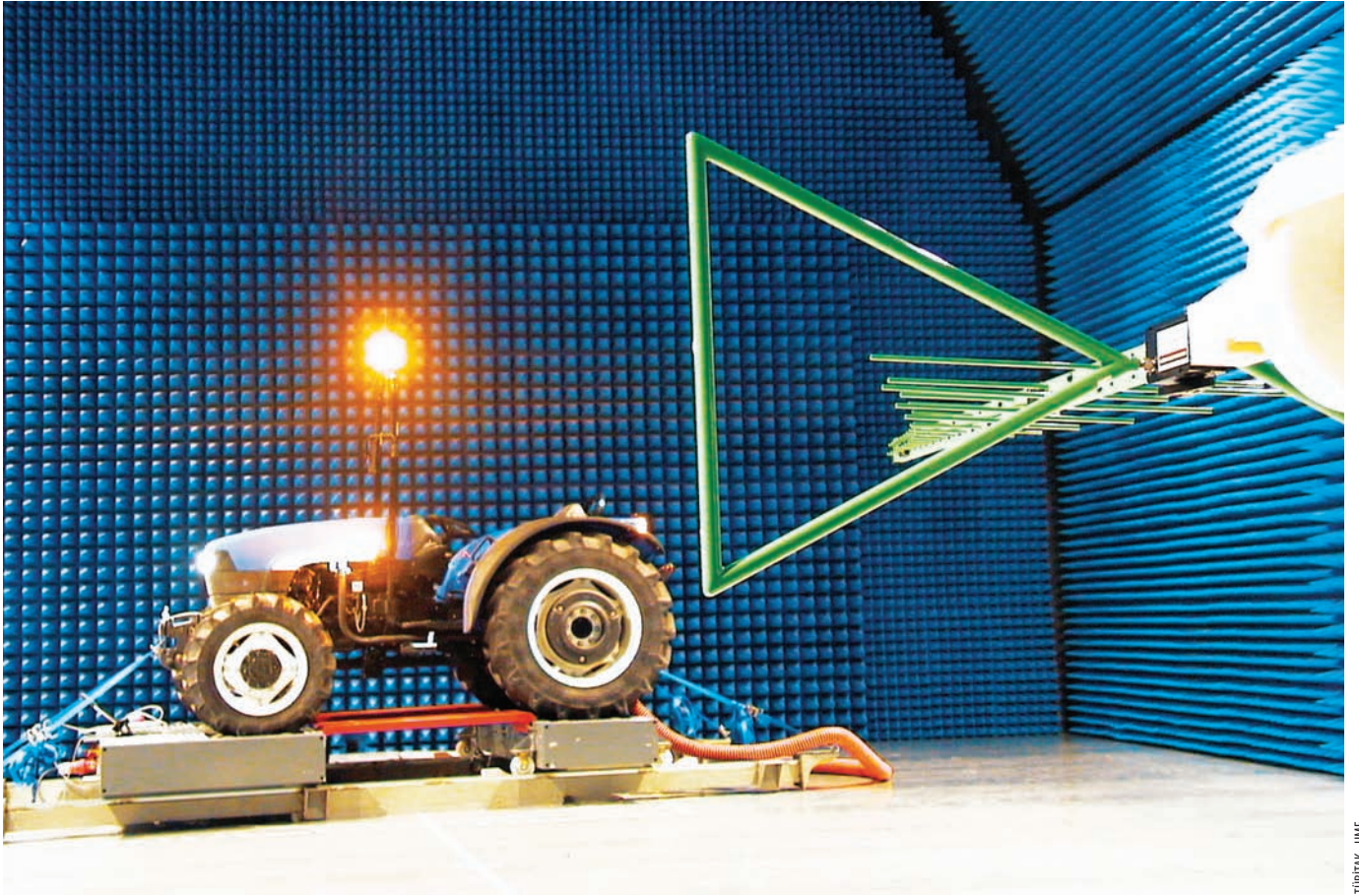
Kütle standardının yeniden tanımlanması metrolojide nispeten yeni bir gelişme olmasına rağmen yıllar boyunca, hatta SI Birimler Sistemi'nin kabul edildiği günden itibaren, temel SI birimlerinin çokluğu ve birim standartlarının tanımlarına uygun olarak oluşturulma şekillerinin çok nesnel olaylara dayandırılmaması, metroloji dünyasında tartışma konusu olmuştur. Bu tartışmaya belli bir ölçüde son vermek üzere



Temel SI Birimleri ve Evrensel Sabitlerle Bağlantısı.

gelecek yıllar için CIPM tarafından yeni bir hedef belirleniyor. Bu hedef, bazı SI birimlerinin Planck sabiti, elektron yükü, Boltzman sabiti, Avogadro sayısı, ışık hızı gibi evrensel sabitler ile ifade edilecek şekilde yeniden tanımlanmasını kapsamaktadır.

Bugün tanımlarının yeniden yapılması planlanan SI temel birimleri arasında kilogram, Amper, Kelvin ve mol yer almaktadır. Temel birimlerin tanımlarının evrensel sabitler üzerinden



TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde ulusal standartlara izlenebilir olarak gerçekleştirilen Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)Deneyleri

yapılmasının çok yeni bir fikir olmadığı söylenebilir. Bu çalışmalar 1983 yılında uzunluk biriminin ışık hızına bağlı olarak tanımlanması ile başladı. Daha sonra temel birimler arasında yer alması bile elektrik direnci (Ohm, Ω) ve elektrik gerilimi (Volt) birimlerinin kuantum Hall ve Josephson etkilerine dayalı olarak tanımlanması bu çalışmalara hız kazandırdı.

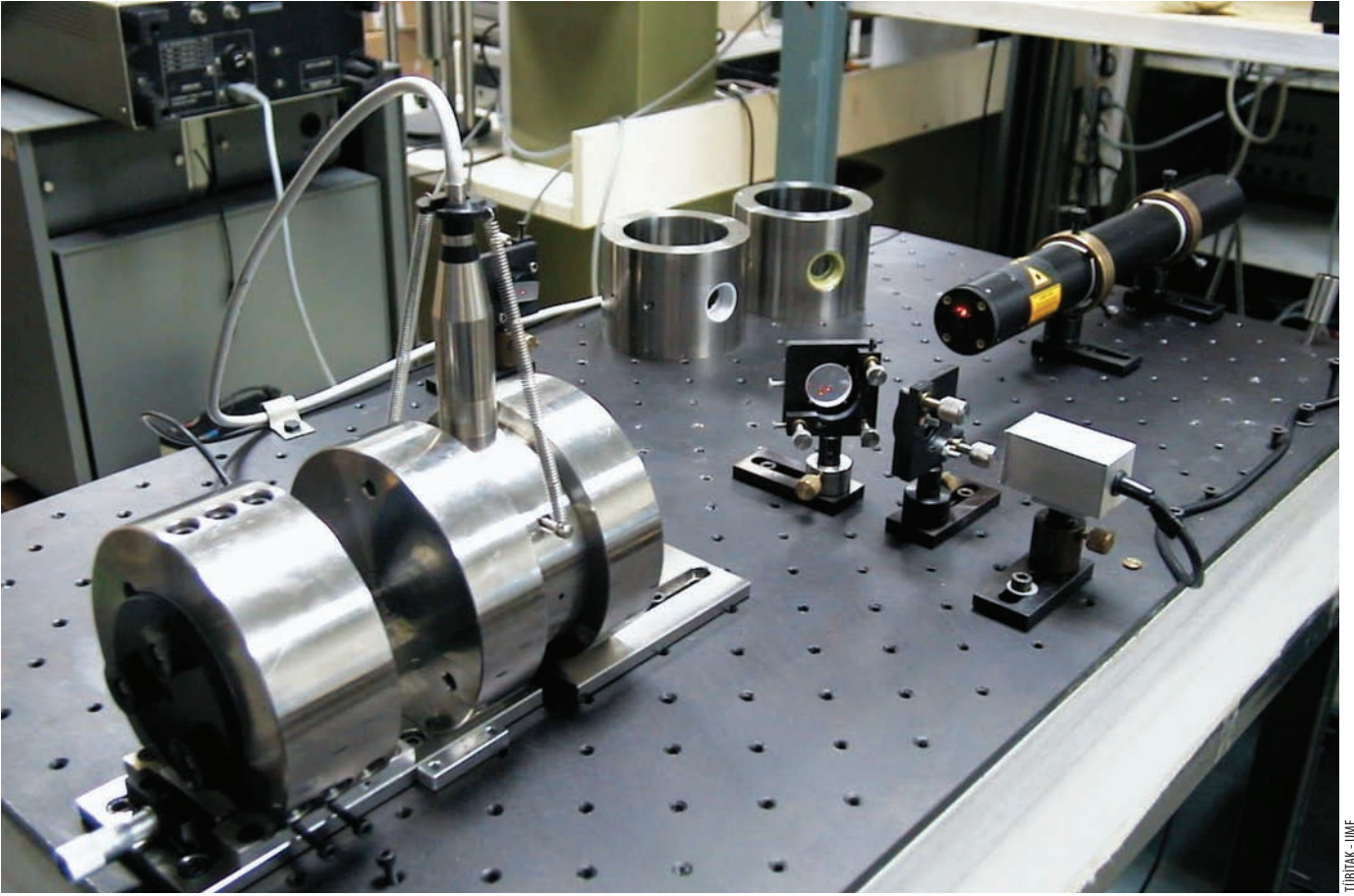
Bir birimin tanımının yeniden yapılması için önce temel fizik yasalarına uygun alternatif yöntemler araştırılır. Araştırmalar olumlu sonuç verdiğinin söylenebilmesi için farklı ülkelerin metroloji enstitüleri tarafından alternatif olarak oluşturulan yeni sistemlerle tutarlı ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmesi gerekmektedir. Örneğin kütle standardı için günümüzün önde gelen metroloji enstitüleri çalışmalarını iki alternatif yöntem, Watt Balans ve silikon küresi üzerine odaklamıştır. Daha çok bilinen Watt Balans çalışmaları, bir küt-

lenin yer çekimi ivmesi etkisinde iken oluşturduğu kuvvetin elektromanyetik etki sonucunda oluşan kuvvet ile dengelenmesi ilkesine dayanmaktadır. Silikon küresi konusundaki çalışmalar ise silikon kristalinin düzgün yapısından yola çıkılarak Avogadro sabiti üzerinden yoğunluk ve hacim değerlerinin elde edilmesi ile kütle değerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. CIPM kararlarına göre birimlerin yeniden tanımlanması için önümüzde çok az zamanın kaldığı söylenebilir. Ancak gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları arasında kayda değer farkların olduğu belirtilmektedir. 19. yüzyılda silindirik bir nesne üzerinden gerçekleştirilen uluslararası kütle prototipinin yerini Watt Balans alacak mı? Oluşturulması hiç de pratik olmayan Amper birimi için yeni tanım, Tek Elektron Tünelleme sistemini ön plana çıkaracak mı? Bunu zaman gösterecek.

SI birimlerinin yeniden tanımlanması gibi ileri düzey çalışmalar toplu-

ma ne şekilde yansıyacak diye sorulabilir. Sorunun cevabı, SI birimlerinin tanımlarına göre oluşturulan ulusal standartların ülkelerin metroloji sisteminde ve kalite altyapısındaki yeri göz önünde bulundurularak verilebilir.

Ulusal metroloji enstitüleri tarafından tanımlarına uygun olarak gerçekleştirilen referans standartlar, ülke içinde ölçüm birliğini sağlamak üzere kullanıma sunuluyor. Farklı tip ölçümlerde kullanılan değişik cihazların performansları, ulusal veya bir alt seviyede bulunan referans standartların değerleri ile karşılaştırılarak belirlenir. Bu işlem, kalibrasyon olarak adlandırılmaktadır. Kalibrasyonu yapılmış cihazlarla binlerce ölçüm yapılmaktadır. Endüstriyel ortamda kalibrasyonu yapılmış cihazlarla gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları doğrudan ulusal ölçüm standartlarına bağlanmış olmakta, bir başka ifadeyle gerçekleştirilen ölçümlerin izlenebilirliği sağlanmaktadır. Ülkenin



Düşük frekanslarda ses basınç biriminin ulusal standardı - lazer pistonfonu

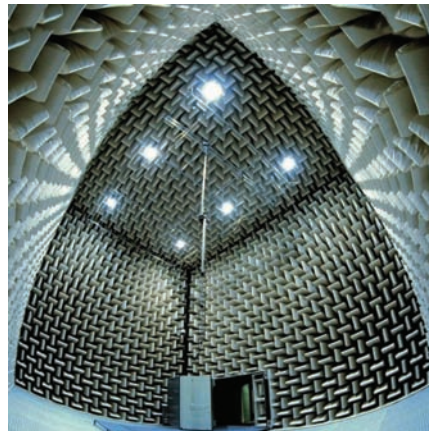
ulusal standardının doğruluk seviyesinin yüksek olması, (standardın belirsizliğinin düşük olması) ülke içinde verilen ölçümlere kademeli olarak yansımaktadır.

Ülke içinde sağlanmış olan izlenebilirliğe ek olarak ülkeler arası entegrasyon da büyük önem taşımaktadır. Bu entegrasyon uzun yıllar boyunca ulusal standartların karşılaştırılması yoluyla sağlanıyordu. Bugün ise Türkiye'nin yer aldığı Karşılıklı Tanınma Anlaşması, farklı ülkelerin ulusal standartları arasındaki denklik derecesinin belirlenmesine ve bu ülkelerin metroloji enstitüleri tarafından düzenlenen sertifika ve raporların karşılıklı olarak tanınmasına olanak sağlamıştır. 1999 yılında imzalanan bu anlaşmanın katılımcı ülke sayısı bugün 70'i geçmiştir.

SI birimleri, ulusal standartların oluşturulması, korunması, sanayiye aktarımı faaliyetleri metrolojideki çözülmesi gereken diğer sorunları unuttur-

mamalıdır. Gün geçtikçe kimyasal ölçümler, DNA algılama ve tıptaki ölçüm problemleri ve buna benzer birçok geleneksel olmayan alan, gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının güvenilirliği için SI birimlerinde izlenebilirliğin sağlanmasını ön plana çıkarmaktadır. Bugün ulaştığımız noktaya bakıldığında sağlık, güvenlik, çevre ve sanayinin farklı

TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde endüstriyel ürünlerinin ses gücü düzeyinin ölçüldüğü tam yansımaz akustik oda



dallarındaki uygulamalar metroloji için yeni ufuklar açmakta ve yeni hedefler koymaktadır. Bu yeni hedeflere ulaşmanın yolu çok yoğun araştırma ve geliştirme faaliyetlerinden geçmektedir. Sorunların birden fazla disiplini içermesi ve olağanüstü geniş kapsamı nedeniyle, hedeflere ulaşmak ancak çok katımlı projelerle mümkün olabilecektir. Avrupa Birliği ülkelerinin 7. Çerçeve Programları kapsamında yürüttüğü birçok ortak araştırma projesi, sorunların ortak çözümü için bir başlangıç noktasıdır. Ortak çözüm arayışlarında ülkemizi temsilen TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü de aktif görev almaktadır.

Kaynaklar

- Altan, A. B., Özmızrak, N., Yalçın, M., Kızıltan, G., Altunbay, S., Varol, N., Peiser, H. S., "Türkiyede Ulusal Metroloji Merkezi Kurulması Üzerinde İnceleme", TÜBİTAK Raporu, 1982.
 Klein, H. A., *The Science of Measurement: A Historical Survey*, Dover, 1989.
 "Kanunname-i İhtisab-ı Bursa", TSE, Ankara.
The International System of Units, 8. Baskı, BIPM, 2006.
 Petley, B. W. R., "The Role of the Fundamental Constants of Physics in Metrology", *Metrologia*, 29, s. 95 -112, 1992.