

STANDART OLMAYAN AĞIRLIKLARIN KALİBRASYONU

M. Barış TUĞCU
Semih YAZICI
Uğur YÜCESAN

ÖZET

Günümüzde üretim, deney ve ölçümün her alanında kullanılan ağırlıkların değerlerinin doğru bir şekilde bilinebilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple Uluslararası Yasal Metroloji Organizasyonu (OIML) tarafından metrolojik ve teknik gereksinimleri tanımlanmış olan ağırlık standartları mevcuttur. OIML tarafından belirlenmiş olan bu standartlar, tavsiye niteliğinde olsa da dünya genelinde tam olarak uygulanmamaktadır. Ancak 74/148/EEC Avrupa Direktifi ile ülkemizin de kabul ettiği Avrupa yasaları tarafından kabul edilmiştir. OIML tarafından tanımlanmamış nominal değeri bilinen veya bilinmeyen ağırlıkların kalibrasyon ve doğrulaması ise kabul görmüş bir prosedür dahilinde yapılmamaktadır. Bu çalışmada, NISTIR 6969 dokümanı temel alınarak, ağırlık merkezi tahmin edilebilen, yoğunluğu sabit ve homojen olan ağırlıkların kalibrasyonlarına yönelik bir prosedür tanımlanmıştır. Prosedür doğrultusunda E1 sınıfı referans ağırlıklar ile gerçekleştirilen örnek kalibrasyon ve hesaplamaların, OIML R111 dokümanı ile uyumlu olduğu, bu dokümanda verilen malzeme bilgileri ve çevrim sayıları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçların ülkemiz dahilinde kütle kalibrasyonu hizmeti veren kuruluş ve laboratuvarlar tarafından faydalı olacağı, uygulamalar arasındaki farklılık ve kopukluğun giderilmesi yönünde bir adım atılacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Standart olmayan ağırlıklar, Nominal değeri belli olmayan ağırlıklar, Kütle kalibrasyonu.

ABSTRACT

Today, it is of great importance to know the values and accuracy of weights used in all areas such as production, test and measurement. For this reason, there are weight standards which the metrological and technical requirements defined by the International Organization for Legal Metrology (OIML). These standards, set by the OIML, are not fully implemented worldwide, since they are just for recommendation. However, the European directive 74/148 / EEC has been adopted by the European laws of which Turkey is a member. Calibration and verification of non-OIML weights not defined by OIML is not performed within an accepted procedure. In this study, based on NISTIR 6969 document, a procedure for calibrating the weights of which the center of gravity is predictable, the density is constant and homogeneous is defined. In accordance with the procedure, sample calibration and calculations with E1 class reference weights were observed to be in compliance with the OIML R111 document and it was observed that the material information and cycle numbers given in this document were appropriate. It is thought that the results will be useful by organizations and laboratories providing mass calibration services in our country, and a step will be taken towards eliminating the differences and disparities between applications.

Keywords: Nonstandard weights, Weights without nominal value, Mass calibration.

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere kütle birimi kilogramın tanımı 2018 yılına kadar maddi bir ölçüte bağlı kalınarak Uluslararası Kilogram Prototipi (IPK) aracılığı ile yapıyordu. Referans standardı % 90 Platin ve % 10 İridyum alaşımından, 39 mm yüksekliğinde ve 39 mm çapında silindir şeklinde imal edilmiş olan, Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nda (BIPM) üç cam fanus içerisinde muhafaza edilen ve erişimi Ağırlıklar ve Ölçüler Komitesi'nin (CIPM) sıkı denetimiyle kontrol edilen Kilogram birimi "IPK'nin kütlesine eşittir" şeklinde tanımlanmaktaydı. Bu tanım yapılırken IPK kütlesinde hiçbir değişimin olmadığı varsayılmış, değişimin test edilebilirliği mümkün olmamakla birlikte, kilogram birimi için izlenebilirlik yalnızca BIPM tarafından sağlanabilmektedir.

TÜBİTAK UME'nin de yer aldığı ve 14-16 Kasım 2018 tarihlerinde Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu'nun (BIPM) evsahipliğinde Fransa'nın Versailles kentinde gerçekleştirilen 26. Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansında (CGPM) içerisinde kilogramın da yer aldığı dört temel birimin tanımlarındaki değişiklikler oybirliğiyle kabul edilmiştir. Buna göre kilogram biriminin yeni tanımı Planck sabiti sayısal değeri $h = 6,626070015 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ alınarak yapılmıştır. Bu tanımda SI birimlerinden metre ışığın vakumdaki hızı (c) ile saniye ise Sezyum-133 atomunun ince yapı seviyeleri arasındaki geçiş frekansı ($\Delta\nu_{Cs}$) ile tanımlanmaktadır. Dolayısıyla kilogram yeni tanımı metre ve saniye ile ilişkilendirilmiştir. Yeni tanımla birlikte değeri evrensel bir sabit ile belirlenmiş olan kilogram biriminin izlenebilirliğinin BIPM tarafından verilmesi zorunluluğu ortadan kalkmıştır [1].

Kütle kalibrasyonunda referans doküman olarak kullanılan OIML R111-1 veya ASTM E617 gibi rehber ve standartlar, kalibrasyonu yapılacak olan ağırlığa ait şekil, imalat, malzeme, manyetiklik, yoğunluk, yüzey koşulları, ayar ve işaretleme hususlarını barındıran çeşitli teknik gereksinim ve şartlar barındırmaktadır. Ancak üretimin kimi aşamaları ve bazı deneylerde, bahsi geçen standartların kapsamında olmayan çok farklı şekil ve özellikte ağırlıklar kullanılmaktadır. Bu ağırlıklara ait çeşitli örnekler, Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Standart olmayan ağırlık çeşitleri

Bu tip ağırlıkların konvansiyonel kütle değerlerinin belirlenebilmesi için öncelikle aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir:

1.1 Test Ağırlığının Ağırlık Merkezi

Kütle kalibrasyonu esnasında referans veya test ağırlıklarının ağırlık merkezlerinin doğru tespit edilmesi, ölçüm sonuçlarının güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Standart ağırlıklar için bunun tespiti oldukça kolaydır, zira bu tip ağırlıklar üretim esnasında ilgili rehber veya standardın bu şartını sağlamak durumundadır ve ağırlığın tam ortasında olduğu kabul edilmektedir.

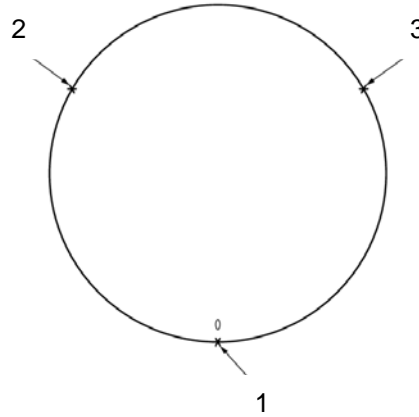
$\delta(x, y, z)$ yoğunluğuna sahip herhangi bir katı maddenin G'nin ağırlık merkezi $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$, üçlü integral alınarak aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$\bar{x} = \frac{1}{M} \iiint_G x \delta(x, y, z) dV,$$

$$\bar{y} = \frac{1}{M} \iiint_G y \delta(x, y, z) dV,$$

$$\bar{z} = \frac{1}{M} \iiint_G z \delta(x, y, z) dV$$

Bu matematiksel yöntem, maliyet ve zaman açısından kalibrasyonu yapılan her ağırlık için kullanıma uygun değildir. Bu sebeple kullanılacak bir yöntem, test ağırlığının Şekil 2'de gösterildiği gibi kuvvet kalibrasyonuna benzer bir şekilde en az 3 çevrime tabi tutulması ve her bir çevrimde belirlenmiş bir noktası terazi kefesinin üzerinde 120° döndürülerek ölçümlerin alınmasıdır [2].



Şekil 2. Test ağırlığının terazi kefesinin üzerinde konumlandırılacağı pozisyonlar

Elde edilen ölçüm sonuçlarının ortalaması, hesaplamalarda test ağırlığının değeri olarak kullanılmalıdır. Bu yöntem ile ölçümlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için kullanılan terazinin tekrarlanabilirliği bilinmeli, gerekirse düzeltme yapılmalıdır.

1.2 Test Ağırlığının Yoğunluğu

Kalibrasyona başlamadan önce test ağırlığının yoğunluğu tespit edilmeli, alaşımın malzemesi biliniyorsa OIML R111-1 Tablo B.7'deki yoğunluk ve yoğunluk belirsizliği değerleri kullanılmalıdır. Aynı zamanda test ağırlığının yoğunluğunun hacim içerisinde homojen bir şekilde dağılmış olması gerekmektedir [3].

2. KONVANSİYONEL KÜTLE HESABI

Kullanılan ağırlıkların sınıfları TSE Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü'nün referans standartları olan E₁ sınıfı (1 g – 10 kg), E₂ sınıfı (10 kg – 20 kg) ve F₁ sınıfı (20 kg – 60 kg) ağırlık setleridir. Standart olmayan ağırlıkların kalibrasyonuna ilişkin bu yöntemde yaklaşım, 1 g ve üzeri ağırlıklar kullanılarak yapılmaktadır (örn. terazide 26,125809 g gösteren bir test ağırlığına karşılık 1 adet 20g, 1 adet 5 g ve 1 adet 1 g ağırlık referans ağırlık olarak kabul edilmektedir). Daha küçük ağırlıkların kullanılması gerçeğe daha yakın bir ölçüm sonucu edilmesini sağlayacaktır ancak kullanılan referans ağırlık adedi arttığı için ölçüm belirsizliği de bir miktar büyüyecektir. Ölçümler açısından asıl zorluk, 1 g'dan küçük ağırlıkların terazi kefesine üzerine diğer ağırlıklar ile birlikte konmasının toplam ağırlık merkezini bozma ihtimalidir zira bu ağırlıkların merkezi bir şekilde yerleştirilmesi daha güç olacaktır.

Bu tip bir kalibrasyon işleminde Bölüm 1.1'de bahsedildiği üzere en az 3 adet ABBA (RTTR) çevrimi yapılması güvenilir bir ölçüm sonucu için minimum çevrim sayısı olarak kabul edilmelidir. Hedeflenen hassasiyet ve ölçüm belirsizliği değerine göre bu sayı artırılabilir.

Kalibrasyon öncesi ve esnasında kaydedilmesi gereken bilgiler şunlardır:

- Referans ağırlıkların konvansiyonel kütle değerleri toplamı (ilgili kalibrasyon sertifikalarından)
- Referans ağırlıkların ölçüm belirsizliği değerleri toplamı (ilgili kalibrasyon sertifikalarından)
- Referans ağırlıkların kayma değerlerinin toplamı
- Referans ağırlıkların kayma değerlerinin belirsizliği
- Test ve referans değerler arasındaki tartım farkı
- Ortam sıcaklık değeri
- Ortam nem değeri
- Ortam basınç değeri
- Test ağırlığına ait yoğunluk değeri
- Test ağırlığının yoğunluğunun ölçüm belirsizliği değeri
- Kullanılan terazinin çözünürlüğü
- Kullanılan terazinin performansından gelen belirsizlik değeri
- Kullanılan terazinin köşe yükü hatası

Kalibrasyonu yapılacak olan test ağırlığının konvansiyonel kütlesi, aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenir [4]:

$$m_{ct} = \frac{M_D \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}\right)}$$

Burada,

$$M_D = m_{cr} + \Delta m_c$$

m_{cr} referans ağırlıkların konvansiyonel kütle değeri

Δm_c tartım farkı

ρ_a havanın yoğunluğu

ρ_r referans ağırlıkların yoğunluğu

ρ_t test ağırlığının yoğunluğu

Bu çalışmada havanın yoğunluğu hesabı için sadeleştirilmiş CIPM eşitliği kullanılmaktadır [3]:

$$\rho_a = \frac{[(0,348444 \times P) - h(0,00252 \times t - 0,020582)]}{(273,15 + t)}$$

Elde edilen hava yoğunluğuna ait belirsizlik değeri, her bir değişkenin ρ_a 'ya göre kısmi türevlerinin alınarak ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$u_{\rho_a} = 2 \times \sqrt{u_t^2 + u_p^2 + u_h^2}$$

Test ağırlığına ait toplam ölçüm belirsizliği ise, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$u_{m_{ct}} = 2 \sqrt{u_{m_{cr}}^2 + u_{m_{crD}}^2 + u_{\rho_a}^2 + u_{\rho_r}^2 + u_{\rho_t}^2 + u_{\delta_d}^2 + u_e^2}$$

Burada,

$u_{m_{cr}}$	Referans ağırlıkların sertifika belirsizliği (izin verilebilen en büyük hata miktarları)
$u_{m_{crD}}$	Referans ağırlıkların kaymasından gelen ölçüm belirsizliği,
u_{ρ_a}	Havanın yoğunluğunun belirsizliği
u_{ρ_r}	Referans ağırlıkların yoğunluğunun belirsizliği
u_{ρ_t}	Test ağırlığının yoğunluğunun belirsizliği
u_{δ_d}	Terazinin çözünürlüğünden gelen belirsizlik
u_e	Terazinin doğrusallık ve merkezden sapmadan gelen belirsizlik

Aşağıda örnek bir konvansiyonel kütle ve ölçüm belirsizliği hesabı verilmiştir:

Ön bilgiler:

m_{cr}	:	682	g
$u_{m_{cr}}$:	0,371	mg
Δm_c	:	0,1254	g
Sıcaklık	:	21,4	°C
Nem	:	46,4	%rh
Basınç	:	1019,24	mbar
Test ağırlığı yoğ.	:	8000	kg/m ³
Test ağırlığı yoğ. bel.	:	30	kg/m ³
Terazi çözünürlüğü	:	0,0002	g

Tablo 1. Hava Yoğunluğu Belirsizlik Bütçesi

Miktar	Tahmini Değer	Standart Belirsizlik	Olasılık Dağılımı	Hassasiyet	Belirsizlik Katkısı
X_i	x_i	$U(x_i)$		C_i	$U_i(y)$
p	1019,24 mbar	2,5 mbar	normal	0,001182971 kg/m ³ /mbar	0,00295743 kg/m ³
hr	46,4 %Rh	0,75 %Rh	normal	-0,00011321 kg/m ³ /%Rh	8,4907E-05 kg/m ³
T	21,4 °C	0,25 °C	normal	-0,00447261 kg/m ³ /°C	0,00111815 kg/m ³
δf_a	0 kg/m ³	0,000138619 kg/m ³	dikdört-gensel	1	0,00013862 kg/m ³
ρ_a	1,200478045 kg/m ³		k = 1		0,00316592 kg/m ³
ρ_a	1,200478045 kg/m ³		k = 2		0,00633184 kg/m ³

Tablo 2. Konvansiyonel Kütle Değeri ve Belirsizlik Bütçesi

$m_{ct} \approx M_D(1-\rho_a/\rho_B)/(1-\rho_a/\rho_x) *$						
Miktar	Tahmini Değer	Standart Belirsizlik	Olasılık Dağılımı	Hassasiyet	Belirsizlik Katkısı	
X_i	x_i	$U(x_i)$		c_i	$U_i(y)$	
mcr	682,1254 g	0,1292101 mg	normal	0,001	0,000129 g	
δm_{crD}	0 mg	0,074599486 mg	dikdörtgensel	0,001	0,000075 g	
ρ_a	0,00120048 g/m ³	1,20048E-06 g/m ³	normal	-0,5364 $\frac{g}{m^3/g}$	0,000001 g	
ρ_r	7,95 g/m ³	7,950 g/m ³	normal	1,2958E-05 $\frac{g}{m^3/g}$	0,000103 g	
ρ_t	8 g/m ³	0,14 g/m ³	normal	-0,00127969 $\frac{g}{m^3/g}$	0,000179 g	
δd	0,0002 g	8,16497E-05 g	dikdörtgensel	1	0,000082 g	
e	0,00016 g	4,6188E-05 g	dikdörtgensel	1	0,000046 g	
Δm_c	0,1254 g	0,0002 g	normal	1	0,000200 g	
m_{ct}	682,250156 g		k = 1		0,000337 g	
m_{ct}	682,250156 g		k = 2		0,000675 g	

* $M_D = m_{cr} + \Delta m_c$

SONUÇ

Oluşturulan bu metoda göre TSE Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü Kütle Kalibrasyon Laboratuvarı'nda referans ağırlık olarak E1 sınıfı ağırlık seti seçilerek, laboratuvar kapsamı olan 1 g – 60 kg aralığı için bu hesaplamalar dört adet komparatör terazi dikkate alınarak yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre en düşük ölçüm belirsizlikleri her bir aralık için aşağıda verildiği gibi bulunmuştur:

Tablo 3. TSE Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü Kütle Kalibrasyon Laboratuvarı'na Ait Standart Olmayan Ağırlıklar için En İyi Ölçüm Belirsizliği Değerleri

Ölçüm Aralığı	Referans Ağırlık Sınıfı	Komparatör Terazi	Ölçüm Belirsizliği (k=2)
1 g ≤ m ≤ 31 g	E ₁	Sartorius, CCE 36	0,02 mg
31 g < m ≤ 510 g	E ₁	Sartorius, CCE 1005	0,05 mg
510 g < m ≤ 5100	E ₁	Sartorius, CCE 5004	0,44 mg
5100 g < m ≤ 10000 g	E ₁	Mettler Toledo, XP 64003L	5,8 mg
10000 g < m ≤ 20000 g	E ₂	Mettler Toledo, XP 64003L	19,8 mg
20000 g < m ≤ 60000 g	F ₁	Mettler Toledo, XP 64003L	117 mg

Sonuçların, OIML R111-1'de verilen E₂, F₁ ve M₁ sınıfı ağırlıkların sahip olabileceği en küçük hata miktarları değerlerinden daha büyük olması beklenmektedir. Tablo 3'te verilmiş ölçüm belirsizliği değerlerinin de bu beklentiye uygun olduğu görülmektedir. Bu, test ağırlıklarına ait yoğunluk ve yoğunluk belirsizliği, merkezden sapma ve terazi performansı gibi değişkenlerin, standart ağırlıklara ait değişkenlere göre daha büyük olması sebebiyle beklenen bir durumdur ve sonuçların uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Açıklanan bu yöntem ile birlikte ülkemizde kütle kalibrasyonu alanında hizmet veren kuruluş ve laboratuvarların standart olmayan ağırlıkların kalibrasyonu faaliyetini kapsamlarına alması, var olan kapsamlar arasında görülen uyumsuzlukların ise ortadan kalkması sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Sheikh, K., "The kilograms's makeover is almost complete", Scientific American, 2016.
- [2] European Committee For Standardization, "EN ISO 376 – Metallic materials - Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines", 2011.
- [3] International Organization of Legal Metrology, "OIML R111-1 Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ and M₃, Part 1: Metrological and technical requirements", 2011.
- [4] Harris L., George, "NISTIR Selected Laboratory and Measurement Practices and Procedures to Support Basic Mass Calibrations", NIST, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

M. Barış TUĞCU

1985 yılı Ankara doğumludur. 2009 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2018 yılında ise Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. Çalışma hayatına 2010 yılında Türk Standardları Enstitüsü Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü'nde başlamıştır. 2013 yılından beri Mekanik ve Kütle Kalibrasyonu Laboratuvarları'nda bölüm sorumlusu olarak görev yapmaktadır. 2016 yılında TÜBİTAK KAMAG projeleri kapsamında faaliyete geçen Kuvvet ve Sertlik Kalibrasyon Laboratuvarlarının kuruluşunda görev almış ve aynı laboratuvarların bölüm sorumluluğu görevine devam etmektedir. 2015 yılından beri terazi, kütle, tork ve malzeme test makinelerinin kalibrasyonu alanlarından TÜRKAK denetçisi olarak görev almaktadır.

Semih YAZICI

1988 yılı İstanbul doğumludur. 2014 yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fizik bölümünü bitirmiştir. 2015 yılında Türk Standardları Enstitüsü Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü'nde mekanik ve kütle kalibrasyon laboratuvarında çalışmaya başlamıştır. 2016 yılından itibaren sertlik ve kuvvet laboratuvarlarında görev almış, aynı tarihten itibaren Hacim Kalibrasyon Laboratuvarı'nın bölüm sorumluluğu görevini sürdürmektedir.

Uğur YÜCESAN

1978 yılı Ankara doğumludur. 2001 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümünü bitirmiştir. 2003 yılında Türk Standardları Enstitüsü Makine ve Malzeme Laboratuvarında Deney Personeli olarak göreve başlamıştır. 2006 yılında Gebze Kalibrasyon Müdürlüğü Boyutsal Kalibrasyon Laboratuvarı Bölüm Sorumlusu olarak atanmıştır. Ayrıca 2011 yılında 107G135 numaralı TÜBİTAK KAMAG projesi kapsamında kurulan Tork Kalibrasyon Laboratuvarı Bölüm Sorumluluğu görevine getirilmiştir. 2014 yılında beri Boyut ve Mekanik Kalibrasyon Teknik Şefi olarak görev yapmaktadır. Aynı zamanda 2011 yılından beri boyutsal ve tork kalibrasyonu alanlarında TÜRKAK denetçisi olarak görev almaktadır.