

OIML R 111 – 1

2004 Basımı

ULUSLARARASI TAVSİYE

E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ ve M₃ Sınıfı Ağırlıklar

Bölüm 1: Metrolojik ve Teknik Gereker

Poids des classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ et M₃

Partie 1: Exigences métrologiques et techniques



ORGANISATION INTERNATIONALE
DE MÉTROLOGIE LÉGALE

INTERNATIONAL ORGANIZATION
OF LEGAL METROLOGY

İçerik

Genel	4
1 KAPSAM	4
2 TERMİNOLOJİ	5
3 SEMBOLLER	8
4 AĞIRLIKLARA İLİŞKİN BİRİMLER VE NOMİNAL DEĞERLER	13
Metrolojik Gerekler	14
5 DOĞRULAMADA İZİN VERİLEN EN BÜYÜK HATALAR	14
Teknik Gerekler	16
6 ŞEKİL	16
7 YAPI	17
8 MATERYAL	19
9 MANYETİZMA	20
10 YOĞUNLUK	20
11 YÜZEY KOŞULLARI	22
12 AYAR	22
13 İŞARETLEME	23
14 SUNUM	25
Metrolojik kontroller	25
15 METROLOJİK KONTROLE SUNUM	25
16 KONTROL İŞARETLERİ	27
EkA Çeşitli biçim ve boyutlara örnekler	29
Ek B	32
Ek C	68
Ek D	79
Ek E	83

Önsöz

Uluslararası Yasal Metroloji Organizasyonu (OIML), temel amacı Üye Ülkelerinin ulusal metroloji kurumları veya ilgili kuruluşları tarafından uygulanan düzenlemelerin ve metrolojik kontrollerin uyumlaştırılması olan, dünya çapında, hükümetler arası bir organizasyondur.

OIML yayınlarının iki temel kategorisi şöyledir:

Uluslararası Tavsiyeler (OIML R), belirli ölçü aletlerinin uyması gereken metrolojik özellikleri ortaya koyan ve uygunluklarının kontrol edilmesine yönelik yöntem ve ekipmanı belirleyen model düzenlemelerdir; OIML Üye Ülkeleri bu Tavsiyeleri mümkün olan en yüksek seviyede uygular.

Uluslararası Belgeler (OIML D), bilgi verme amaçlıdır ve metroloji kurumlarının çalışmalarını iyileştirmeye yöneliktir.

OIML Taslak Tavsiyeleri ve Belgeleri Üye Ülkeler tarafından oluşturulan teknik komiteler veya alt komiteler tarafından hazırlanmaktadır. Belirli uluslararası ve bölgesel kuruluşlar da fikir alma düzeyinde katkı sağlamaktadır.

İstenen şartların birbiriyle çelişmemesi amacıyla OIML ile ISO ve IEC gibi belirli kuruluşlar arasında işbirliği anlaşmaları yapılmıştır; dolayısıyla ölçü aleti üreticileri ve kullanıcıları, test laboratuvarları vs. OIML yayınlarını bu diğer kuruluşların yayınları ile aynı anda uygulayabilirler.

Uluslararası Tavsiyeler ve Uluslararası Belgeler Fransızca (F) ve İngilizce (E) olarak yayınlanmakta ve periyodik revizyona tabi tutulmaktadır.

Bu yayın (OIML R 111-1, 2004 Basımı) TC 9/SC 3 *Ağırlıklar* tarafından hazırlanmıştır. 2004 yılında Uluslararası Yasal Metroloji Konferansı'nda kabul edilmiştir.

OIML Yayınları OIML web sayfasından PDF formatında indirilebilir. OIML Yayınları hakkında daha ayrıntılı bilgi Organizasyonun merkez binasından edinilebilir:

Bureau International de Métrologie Légale

11, rue Turgot - 75009 Paris - France

Telephone: 33 (0)1 48 78 12 82

Fax: 33 (0)1 42 82 17 27

E-mail: biml@oiml.org

Internet: www.oiml.org

E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ ve M₃ Sınıfı Ağırlıklar

Genel

1 KAPSAM

1.1 Bu tavsiyede, aşağıda belirtilen amaçlar için kullanılan ağırlıklara yönelik teknik (ör: temel fiziksel özellikler) ve metrolojik gerekler yer almaktadır:

Tartı aletlerinin doğrulanmasında etalon (standart) olarak;

Daha düşük bir doğruluk sınıfındaki ağırlıkların doğrulanması ve kalibrasyonunda olarak;

Tartı aletleri ile birlikte kullanılan ağırlıklar.

1.2 Uygulama

Bu Tavsiye, E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ ve M₃ doğruluk sınıfındaki 1 mg'den 5000 kg'ye kadar nominal kütle değerine sahip olan ağırlıklar için geçerlidir.

1.3 Ağırlıkların minimum doğruluk sınıfı

Ağırlıkların veya tartı aletlerinin doğrulanmasında etalon olarak kullanılan ağırlıkların doğruluk sınıfı, ilgili OIML Tavsiyelerinde belirtilen şartlara uygun olmalıdır.

1.3.1 OIML ağırlık sınıfları aşağıda belirtilen şekilde tanımlanmıştır:

E₁ sınıfı: Ulusal kütle etalonları (uluslararası kilogram prototipinden sağlanan değerlerdeki) ile E₂ ve daha aşağı sınıflardaki ağırlıklar arasında izlenebilirliği sağlayan ağırlıklardır.

E₂ sınıfı: F₁ sınıfı ağırlıkların doğrulanması ve kalibrasyonunu sağlayan ve I. sınıf özel hassasiyete sahip tartı aletleri ile birlikte kullanılan ağırlıklardır. E₂ sınıfı ağırlıklar veya ağırlık setlerinin kalibrasyon sertifikası olmalıdır (bkz. 15.2.2.2). E₁ sınıfı ağırlıklara yönelik yüzey sertliği, manyetik uyumluluk ve manyetizasyon şartlarına uygun olmaları ve kalibrasyon sertifikalarının 15.2.2.1. bölümde belirtilen verileri sağlaması durumunda E₁ sınıfı ağırlık olarak kullanılabilirler.

F₁ sınıfı: F₂ sınıfı ağırlıkların doğrulanması ve kalibrasyonunu sağlayan ve I. sınıf özel hassasiyete veya II. sınıf yüksek hassasiyete sahip tartı aletleri ile birlikte kullanılan ağırlıklardır.

F₂ sınıfı: M₁ (ve M₂) sınıfı ağırlıkların doğrulanması ve kalibrasyonunda kullanılan ağırlıklardır. Bu ağırlıklar aynı zamanda II. sınıf yüksek hassasiyete sahip tartı aletleri ile birlikte önemli ticari işlemlerde (ör: değerli metaller ve taşlar) kullanılırlar.

M₁ sınıfı: M₂ sınıfı ağırlıkların doğrulanması ve kalibrasyonunu sağlayan ve III. sınıf orta hassasiyete sahip tartı aletleri ile birlikte kullanılan ağırlıklardır.

M₂ sınıfı: M₃ sınıfı ağırlıkların doğrulanması ve kalibrasyonunu sağlayan ve III. sınıf orta hassasiyete sahip tartı aletleri ile birlikte genel ticari işlemlerde kullanılan ağırlıklardır.

M₃ sınıfı: III. sınıf orta hassasiyete veya IIII sınıf normal hassasiyete sahip tartı aletleri ile birlikte kullanılan ağırlıklardır.

M₁₋₂ ve M₂₋₃ sınıfları: III. sınıf orta hassasiyete sahip tartı aletleri ile birlikte kullanılan 50 kilogramdan 5000 kilograma kadar olan ağırlıklardır.

Not: Bir tartı aletinin doğrulanmasında kullanılan ağırlığın hata payı, alet için izin verilen en büyük hatanın 1/3'ünü aşmamalıdır. Bu değerler OIML R 76 *Otomatik Olmayan Tartı Aletleri* (1992) yayınının 3.7.1. bölümünde listelenmiştir.

2 TERMİNOLOJİ

Bu Tavsiyede kullanılan terminoloji, *Metrolojide Kullanılan Temel ve Genel Terimler Sözlüğü* (1993 basımı) [1] ve *Yasal Metroloji Terimleri Sözlüğünde* (2000 basımı) [2] yer alan terminoloji ile uyumludur. Bunun yanı sıra, bu Tavsiyede aşağıda belirtilen tanımlar geçerlidir.

2.1 Doğruluk Sınıfı

Kütle değerlerini belirli sınırlar içinde tutmak için tasarlanmış, metrolojik gereklere uygun olan bir ağırlığın veya ağırlık setinin sınıfı.

2.2 Terazi

Görünür kütleyi gösteren ve aşağıda belirtilen güçlere hassas olan alet:

$$F_g = m \times g$$

Yer çekimi

$$F_b = V \times \rho_a \times g = \frac{m}{\rho} \rho_a \times g$$

Yer değiştiren havanın ağırlığına eşit olan kaldırma kuvveti (buoyancy)

$$F_z = \mu_0 \iiint_V (M + \chi H) \frac{\partial H}{\partial z} dV$$

Ağırlık ve terazi ve/veya çevre arasındaki manyetik etkileşimin dik bileşeni

H ve M vektör; z kartezyen koordinatıdır.

Manyetik etkiler önemsiz düzeydeyse, örneğin ağırlığın kalıcı manyetizasyonu (M) ve manyetik duyarlılığı (χ) düşükse ve terazi belirli bir kütleyle sahip etalon ağırlıklarla kalibre edilmişse, terazi, normal koşullar altında bir cismin konvansiyonel kütesini, m_c , göstermek için kullanılabilir.

2.3 Kalibrasyon

Belirlenmiş koşullar altında, ölçü aleti veya ölçüm sisteminin gösterdiği değerler veya maddi ölçüm veya referans materyalin gösterdiği değerlerle, ölçülen büyüklüğün bunlara karşılık geldiği bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisi.

Not 1: Kalibrasyon sonucu, ölçülen büyüklüğe ait değerlerin gösterge değerine aktarılmasına veya gösterge değerinde yapılacak düzeltmelerin belirlenmesine olanak verir.

Not 2: Kalibrasyon, etki miktarları gibi diğer metrolojik özellikleri de belirleyebilir.

Not 3: Kalibrasyon sonucu, kalibrasyon sertifikası veya kalibrasyon raporu adı verilen dokümanlara kaydedilebilir.

2.3.1 Kalibrasyon sertifikası (rapor)

Kalibrasyon sonucunu kaydeden, yalnızca yetkili veya akredite laboratuvarlar tarafından verilen sertifika.

2.4 Uygunluk belgesi

Belirtilen ağırlık, ağırlık seti veya bunlara ait numunelerin bu Tavsiyenin ilgili şartlarına uygun olduğunu gösteren, ulusal yetkili kurum tarafından verilen belge (*bkz. OIML Ölçü Aletleri için Belgelendirme Sistemi*).

2.5 Kontrol standardı

Standartlar, ölçüm işlemleri ve sonuçlarının kabul edilebilir istatistiksel sınırlar içerisinde olduğunu "kontrol eden", istatistiksel kontrol sürecinde kullanılan standart.

2.6 Karşılaştırma

Ölçülecek miktarın değerinin, aynı miktarın bilinen bir değeri ile karşılaştırılmasına dayanan ölçüm yöntemi.

2.7 Konvansiyonel kütle (kütlelerin konvansiyonel değeri)

OIML D 28 *Havada tartım sonucu konvansiyonel değer* [3] yayınına uygun olarak, havada tartım sonucu ortaya çıkan konvansiyonel değer. 20 °C referans sıcaklıkta alınan bir ağırlığın konvansiyonel kütlesi, 1.2 kg m⁻³ referans yoğunluğu (ρ_0) olan havada dengelenen 8000 kg m⁻³ yoğunluğundaki (ρ_{ref}) referans ağırlığın kütlesidir.

2.8 Cismin yoğunluğu

Formülde belirtildiği şekilde, kütle bölü hacim $\rho = \frac{m}{V}$

2.9 Manyetizma

Çekici veya itici bir güç yaratan etki.

2.9.1 Manyetik dipol moment (m_d)

Manyetik dipol parametresi. Bir dipol tarafından oluşturulan manyetik alan gücü ve aynı zamanda dipol ve manyetize olan numune arasındaki güç, bu dipol momenti ile orantılıdır. Dipol ve manyetik duyarlılığı olan numune arasındaki güç, dipol momentinin karesi ile orantılıdır.

2.9.2 Manyetik alan gücü (H)

Kalıcı mıknatıs gibi manyetik bir materyal veya elektrik devreleri tarafından yaratılan yerel manyetik yoğunluk.

2.9.3 Manyetik güç ($F_1, F_2, F_a, F_b, F_{max}$, ve F_z)

Manyetik olan veya manyetik duyarlılığa sahip bir materyal üzerinde dış manyetik alanlar tarafından üretilen güç.

2.9.4 Manyetik geçirgenlik (μ)

Bir ortamın bir manyetik alanı değiştirebilme yeteneğinin ölçüsü.

2.9.5 Manyetik sabit (boşluğun manyetik geçirgenliği (μ_0))

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$$

2.9.6 (Hacim) manyetik duyarlılık (χ)

Bir ortamın bir manyetik alanı değiştirebilme yeteneğinin ölçüsü. $\mu / \mu_0 = 1 + \chi$ bağıntısı doğrultusunda manyetik geçirgenlik ile ilişkilidir. μ / μ_0 miktarı bazen rölatif geçirgenlik μ_r olarak adlandırılır.

2.9.7 (Kalıcı) manyetizasyon (M)

Manyetik bir dış alan olmadan, ağırlıklar gibi maddesel cisimlerin manyetik halini parametre (genellikle manyetizasyon, büyüklüğü ve yönü madde içerisinde sabit olmayabilen bir vektördür). Bir cismin manyetizasyonu boşlukta homojen olmayan bir manyetik alan yaratır ve dolayısıyla diğer maddeler üzerinde manyetik güç oluşturabilir.

2.10 İzin verilen en büyük hata (\bar{d}_m veya mpe)

İlgili referans ağırlıklarla belirlenen, ölçülen konvansiyonel kütle ile bir ağırlığın nominal değeri arasındaki farkın ulusal düzenlemelerle müsaade edilen maksimum kesin değeri.

2.11 Pürüzlülük parametresi veya R-parametresi (R_a veya R_z)

Bir numunenin değerlendirilen pürüzlülük profilini belirten parametre. R harfi değerlendirilen profilin tipini belirtir, bu durumda R harfi pürüzlülük profiline işaret eder. Bir numunenin değerlendirilen profili farklı profil tiplerinde ifade edilebilir: pürüzlülük profili veya R-parametresi; birincil profil veya P-parametresi; dalgalılık profili veya W-parametresi [4].

2.12 Hassasiyet ağırlığı

Tartı aletinin hassasiyetinin belirlenmesinde kullanılan ağırlık (bkz. OIML R 76-1 T.4.1)

2.13 Ağırlık seti

Ağırlığın en düşük nominal değere sahip kütlesi ile (en düşük nominal değere sahip ağırlık kütlelerinin serinin en küçük basamağını oluşturduğu) sıralı serideki bütün ağırlık kütlelerinin toplamı arasındaki bütün yüklerin tartılmasına olanak verecek şekilde düzenlenmiş bir şekilde sunulan ağırlıklar serisi veya grubu. Ağırlıklar benzer metrolojik özelliklere ve bu Tavsiyenin 4.3. maddesinde açıklandığı şekilde aynı veya farklı nominal değerlere ve aynı doğruluk sınıfına sahiptirler.

2.14 Sıcaklık (t)

Celsius derecesinde, Kelvin ölçeği olarak adlandırılan mutlak termodinamik sıcaklık ölçeği ile ilişkilidir : $t = T - 273.15$ K.

2.15 Test

Belirli bir prosedüre uygun olarak bir ürünün, maddenin, ekipmanın, organizmanın, fiziksel fenomenin, işlemin veya hizmetin bir veya daha fazla özelliğini veya performansını tespit etmek için yürütülen teknik işlem. (ISO/IEC Kılavuzu 2:1996 Standardizasyon ve İlgili Faaliyetler – Genel Terimler 13.1 Test tanımına dayanmaktadır).

2.16 Test ağırlığı (m_t)

Bu Tavsiyeye uygun olarak test edilecek ağırlık.

2.17 Tip

Ağırlıkların veya ağırlık setinin uygun olduğu belirli model.

2.17.1 Tip değerlendirmesi

Bu Tavsiyenin belgelenen şartları doğrultusunda bir tip ağırlık veya ağırlık setinin performansının sistematik bir şekilde muayene ve test edilmesi (test sonuçları test raporunda sunulur).

2.17.2 Tip onayı

Ağırlık ve ağırlık seti tipine yönelik tip değerlendirmesi test raporu ve profesyonel fikirler temelinde, yasal uygulamalar için tipin bu Tavsiyenin zorunlu gereklerine uygunluğu konusunda sorumlu kurum tarafından gerçekleştirilen karar verme süreci.

2.18 Doğrulama

Ağırlığın doğrulama konusundaki düzenlemelerde belirtilen şartları tamamıyla yerine getirdiğinin tespit edilmesi ve onaylanması amacıyla yasal metrolojiye ilişkin ulusal hizmetten sorumlu kurum (veya yasal olarak yetkili diğer bir kurum) tarafından yürütülen bütün işlemler.

2.18.1 İlk doğrulama

Ağırlık veya ağırlık setinin belirtilen tipi yineleyecek şekilde üretilip üretilmediğinin, bu tipe ve düzenlemelere uygun olup olmadığının ve metrolojik özelliklerinin bu tipe ait kopyaların ilk doğrulaması için gerekli olan sınırlar içerisinde olup olmadığının belirlenmesi amacıyla, alet/ ağırlık kullanılmaya başlamadan önce yürütülen testler ve görsel muayeneler. Ağırlık veya ağırlık seti bütün test ve muayenelerden geçerse, damgalama ve/veya doğrulama belgesinin verilmesi yoluyla yasal özellikleri onaylanır. (OIML D 20 *Ölçü aletlerinin ilk ve müteakip doğrulamaları ve buna ilişkin süreçler* (1988) adlı yayından alınmıştır.)

2.18.2 Müteakip doğrulama veya kullanım süresinde denetim

İlk doğrulamadan sonra bir süredir kullanımda olan ağırlıkların veya ağırlık setlerinin düzenlemelere uygun olmaya devam ettiği veya yeniden uygun duruma getirildiğinin ve metrolojik özelliklerinin gereken sınırlar içerisinde olduğunun tespit edilmesi amacıyla, yasal metroloji kurumunun bir yetkilisi (denetçi) tarafından yürütülen testler ve görsel muayeneler. Ağırlık veya ağırlık seti bütün test ve muayenelerden geçerse, yasal özellikleri onaylanır veya damgalama ve/veya doğrulama belgesinin verilmesi yoluyla yeniden kabul edilir. Bir grup ağırlığın doğrulanması için numune alma yöntemi kullanılmışsa, grup içerisindeki bütün elemanlar doğrulanmış sayılır.

2.19 Ağırlık

Kütlenin fiziksel ve metrolojik özelliklerine (şekil, boyut, materyal, yüzey özellikleri, nominal değer, yoğunluk, manyetik özellikler ve izin verilen en büyük hata) göre gerçekleştirilen maddesel ölçümü.

2.20 Bir cismin ağırlığı (F_g)

Cismin dünya tarafından etkilendiği yerçekimi gücü. Ağırlık kelimesi, güç ile aynı özellikteki miktarı ifade eder: bir cismin ağırlığı, kütlesinin ve yerçekiminden kaynaklanan ivmesinin sonucudur.

3 SEMBOLLER

Sembol	Birim	Tanım
A	m ²	alan
B	T	Ortamdaki manyetik endüksiyon
B_E	T	Ağırlık olmadan ortamdaki manyetik alanı ölçen gaussmetre
B_0	T	Boşluktaki manyetik endüksiyon
C	-	Hava kaldırma kuvveti (buoyancy) için düzeltme faktörü
C_a	-	Havada tartım sırasında havanın yoğunluğuna ilişkin kaldırma kuvveti

		düzeltilme faktörü
C_{al}	-	Suda tartım sırasında havanın yoğunluğuna ilişkin kaldırma kuvveti düzeltilme faktörü
C_s	-	Hassasiyet ağırlığının yoğunluğuna ilişkin kaldırma kuvveti düzeltilme faktörü
D	kg	Merkezden kaçıklık (eccentricity) testinden elde edilen minimum ve maksimum değerler arasındaki tartım sonucu farklılıkları
d	kg	ölçüm aralığı
F_1	N	İlk ölçüm sonuçları için kütle karşılaştırıcısında görülen ortalama kütle değişikliği kullanılarak hesaplanan ortalama kuvvet
F_2	N	İkinci ölçüm sonuçları için kütle karşılaştırıcısında görülen ortalama kütle değişikliği kullanılarak hesaplanan ortalama kuvvet
F_a	N	Manyetik duyarlılık için kullanılan ortalama kuvvet
F_b	N	Manyetizasyon için kullanılan ortalama kuvvet
F_g	N	Yerçekimi kuvveti
F_{max}	N	Manyetik duyarlılık için maksimum kuvvet
F_z	N	Bir kütle karşılaştırıcısı ve dikey veya 'z' yönündeki bir ağırlık arasında manyetik güç
g	$m s^{-2}$	Yerçekimi ivmesi
h	mm veya ı	yükseklik
H	$A m^{-1}$	Çekim alanı kuvveti
H_{EZ}	$A m^{-1}$	Dünyanın çekim alanı kuvvetinin dikey unsuru
hr	%	rölatif nem
ΔI	kg	$\Delta I = I_t - I_r$ olması durumunda terazinin gösterge farkı
ΔI_a	kg	$\Delta I_a = I_{ta} - I_{ra}$ olması durumunda terazinin havadaki gösterge farkı
ΔI_l	kg	$\Delta I_l = I_{tl} - I_{rl}$ olması durumunda terazinin sıvıdaki gösterge farkı
ΔI_s	kg	Hassasiyet ağırlığı nedeniyle ölçüm sonucundaki değişiklik
I	kg	Ölçü aletlerindeki gösterge (ölçüm bölümü)
I_a	-	Geometrik düzeltilme faktörü [6]

I_b	-	Geometrik düzeltme faktörü [6]
I_{dl}	-	Yer değiştiren sıvı farkına ilişkin terazi göstergesi
I_l	-	Kap ve içinde bulunan sıvıya ilişkin terazi göstergesi
I_{l+t}	-	Sıvı içeren kap ve ağırlık için terazi göstergesi
I_{ta}	-	havadaki test ağırlığına ilişkin terazi göstergesi (darası alındıktan sonra)
I_{tl}	-	Sıvıdaki test ağırlığına ilişkin terazi göstergesi (darası alındıktan sonra)
J	-	Test ağırlığı sayısı veya ölçüm sayısına ilişkin ifade
k	-	Kapsama faktörü; genellikle 2 veya 3'tür (Ölçümde belirsizliğin ifade edilmesine ilişkin rehber (GUM) (1995)) [7]
m	kg	Sert bir cismin (ağırlık) kütlesi
M	$A m^{-1}$	Kalıcı manyetizasyon (bkz. $\mu_0 M$)
M_v	$kg mol^{-1}$	Suyun molar kütlesi (denklem E.1)
M_a	$kg mol^{-1}$	Kuru havanın molar kütlesi
m_c	kg	Ağırlığın konvansiyonel kütlesi
m_{cr}	kg	Referans ağırlığın konvansiyonel kütlesi
m_{ct}	kg	Test ağırlığının konvansiyonel kütlesi
$\overline{\Delta m_c}$	-	Test ve referans ağırlığı ile referans ağırlığın ρ_{ref} yoğunluğu arasında gözlenen ortalama tartım farkı
m_d	$A m^2$	Manyetik moment (manyetizma ölçerde (susceptometer) kullanılan mıknatısların momentini)
m_0	kg	Kütle, ağırlığın nominal değeri (ör: 1 kg)
m_r	kg	İkisi de havada ve ikisi de sıvı içerisinde iken referans ağırlığın test ağırlığı ile karşılaştırılmasına yönelik kütlesi
m_{ra}	kg	İkisi de havada iken referans ağırlığın test ağırlığı ile karşılaştırılmasının yönelik kütlesi
m_{rl}	kg	Etalonlar havada test ağırlığı sıvı içerisindeyken, referans ağırlıkların test ağırlığı ile karşılaştırılmasına yönelik kütlesi
m_s	kg	Hassasiyet ağırlığının kütlesi
m_t	kg	Test ağırlığının kütlesi

m_{wa}	kg	Havadaki ağırlığın kütlesi
m_{ml}	kg	Sıvı içerisindeki ağırlığın kütlesi
Δm	kg	kütle farkı (genellikle test ve referans ağırlık arasındaki)
$\overline{\Delta m}$	kg	Yaklaşık olarak aynı standart sapmaya sahip aynı tartım gruplarından veya serilerinden oluşan ölçüm serilerinin ortamları değeri
Δm_c	kg	Konvansiyonel kütle farkı
n	-	Ölçüm dizilerinin sayısına ilişkin ifade
p	Pa veya hPa	basınç
p_{sv}	Pa	Nemli havanın doymuş buhar basıncı
R	J/(mol K)	Molar gaz sabiti
R_a	μm	sertlik profilinin (R-parametresi) (bzk. 11.madde) orta yüksekliği
R_z	μm	sertlik profilinin (R-parametresi) (bzk. 11.madde) maksimum yüksekliği
r	-	Referans ağırlığına ilişkin ifade
s	kg	Standart sapma
s	-	Hassasiyet ağırlığına ilişkin ifade
T	K	1990 yılına ait Uluslararası Sıcaklık Ölçeği (ITS-90) kullanılarak ifade edilen termodinamik ısı
t	-	Test ağırlığına ilişkin ifade
t	$^{\circ}C$	$T = T - 273.15$ K iken Celsius derecesinde sıcaklık
t_{ref}	$^{\circ}C$	Referans sıcaklık
U	kg	belirsizlik, genişletilmiş belirsizlik
u	kg	Belirsizlik, standart belirsizlik
$u(m_r)$	kg	Referans ağırlığın belirsizliği
u_b	kg	Hava kaldırma kuvvetinin düzeltilmesindeki belirsizlik
u_{ba}	kg	Teraziden kaynaklanan belirsizlik
$u_{ba}(\overline{\Delta m_c})$	kg	Terazinin birleşik standart belirsizliği
u_c	kg	Birleşik standart belirsizlik

u_d	kg	Dijital terazinin gösterge çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik
u_E	kg	Merkezden kaçıklığa (eccentricity) bağlı belirsizlik
u_{inst}	kg	Referans ağırlığın dengesizliğinden kaynaklanan belirsizlik
u_{ma}	kg	Manyetizmadan kaynaklanan belirsizlik
u_s	kg	Terazinin hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik
u_w	kg	Tartım işleminden kaynaklanan belirsizlik
V	m^3	Katı bir cismin (ağırlık) hacmi
V_{ri}	m^3	Bir grup ağırlığın i .inci referans ağırlığının hacmi
x_v	-	Su buharının mol kısmı
Z	-	sıkıştırılabilirlik faktörü
Z_1	mm	Ağırlığın tepesinden mıknatısın merkezine olan uzaklık
Z_0	mm	Mıknatısın merkezinden ağırlığın altına olan uzaklık
ρ_a	$kg\ m^{-3}$	Nemli havanın yoğunluğu
ρ_0	$kg\ m^{-3}$	Referans değer $1.2\ kg\ m^{-3}$ 'e eşit olmak üzere havanın yoğunluğu
ρ_r	$kg\ m^{-3}$	m_r kütle ile referans ağırlığın yoğunluğu
ρ_{ra}	$kg\ m^{-3}$	m_{ra} kütle ile referans ağırlığın yoğunluğu
ρ_{ref}	$kg\ m^{-3}$	Referans yoğunluk ($8000\ kg\ m^{-3}$)
ρ_{ri}	$kg\ m^{-3}$	m_{ri} kütle ile referans ağırlığın yoğunluğu
ρ_s	$kg\ m^{-3}$	Hassasiyet ağırlığın yoğunluğu
ρ_t	$kg\ m^{-3}$	Test edilen ağırlığın yoğunluğu
ρ_x	$kg\ m^{-3}$	Alaşımın ağırlığı (x)
ρ_y	$kg\ m^{-3}$	Alaşımın ağırlığı (y)
$\delta m/m_0$	-	Ağırlıklarda izin verilen en büyük rölatif hata
μ	$N\ A^{-2}$	Manyetik geçirgenlik
μ_r	-	Rölatif manyetik geçirgenlik (μ/μ_0)
μ_0	$N\ A^{-2}$	Manyetik sabit (boşluğun manyetik geçirgenliği) $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ NA^{-2}$

$\mu_0 M$	T	Manyetik polarizasyon
X	-	(hacim) manyetik duyarlılık

4 AĞIRLIKLARA İLİŞKİN BİRİMLER VE NOMİNAL DEĞERLER

4.1 Birimler

Kullanılan birimler şöyledir:

- Kütle için miligram (mg), gram (g) ve kilogram (kg);
- Yoğunluk için, metreküp başına kilogram (kg m^{-3}).

4.2 Nominal Değerler

Ağırlıkların veya ağırlık setlerinin kütlelerine ilişkin nominal değerler 1×10^n kg, 2×10^n kg veya 5×10^n kg kapasitelerine eşit olmalıdır (" n " pozitif veya negatif bir tam sayıyı veya sıfırı temsil etmektedir).

4.3 Ağırlık dizisi (sequence)

4.3.1 Bir ağırlık seti farklı nominal değer dizilerinden oluşabilir. Bir ağırlık setinde ağırlık dizileri kullanılıyorsa, aşağıda belirtilen tek ağırlık dizileri kullanılır:

(1; 1; 2; 5) $\times 10^n$ kg;

(1; 1; 1; 2; 5) $\times 10^n$ kg;

(1; 2; 2; 5) $\times 10^n$ kg; veya

(1; 1; 2; 2; 5) $\times 10^n$ kg

("n" pozitif veya negatif bir tam sayıyı veya sıfırı temsil etmektedir.)

4.3.2 Bir ağırlık seti, hepsi aynı nominal değere sahip birkaç ağırlıktan da oluşabilir (ör: her parçası 5×10^n kg nominal kapasiteye sahip 10 parça).

Metrolojik Gereklar

5 DOĞRULAMADA İZİN VERİLEN EN BÜYÜK HATALAR

5.1 İlk ve müteakip doğrulamada veya kullanım süresindeki denetimde izin verilen en büyük hatalar

5.1.1 Ağırlıkların ilk doğrulamasında izin verilen en büyük hatalar 1. Tabloda sunulmuştur; bunlar konvansiyonel kütle bazındadır.

5.1.2 Müteakip doğrulama ve kullanım süresindeki doğrulamalarda izin verilen en büyük hatalar her ülkenin kendi takdirine bırakılmıştır. Ancak, izin verilen en büyük hatalar 1. Tabloda sunulanlardan daha büyükse, ağırlığın ilgili OIML sınıfına mensup olduğu belirtilemez.

5.2 Genişletilmiş belirsizlik

$k = 2$ iken her ağırlık için konvansiyonel kütle için genişletilmiş belirsizliği (U) Tablo 1'de belirtilen izin verilen en büyük hatanın üçte birinden az veya bu değere eşit olmalıdır.

$$U \leq 1/3\delta m$$

5.3 Konvansiyonel kütle

5.3.1 Her ağırlık için konvansiyonel kütle m_c (5.2'de belirtilen genişletilmiş belirsizlik (U) temelinde belirlenen) ağırlığın nominal değerinden (m_0) izin verilen en büyük değer (δm) eksi genişletilmiş belirsizlik hesaplamasından daha yüksek bir farklılık gösteremez.

$$m_0 - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_0 + (\delta m - U)$$

5.3.2 Uygun verileri (15.2.1 bölümünde belirtilen) içeren sertifikalara sahip E_1 ve E_2 sınıfı ağırlıklar için nominal değerden sapma ($m_c - m_0$) kullanıcı tarafından dikkate alınmalıdır.

Tablo 1 Ağırlıklar için izin verilen en büyük hatalar (mg cinsinden $\pm \delta m$)

Nominal value*	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Class F ₂	Class M ₁	Class M ₁₋₂	Class M ₂	Class M ₂₋₃	Class M ₃
5 000 kg			25 000	80 000	250 000	500 000	800 000	1 600 000	2 500 000
2 000 kg			10 000	30 000	100 000	200 000	300 000	600 000	1 000 000
1 000 kg		1 600	5 000	16 000	50 000	100 000	160 000	300 000	500 000
500 kg		800	2 500	8 000	25 000	50 000	80 000	160 000	250 000
200 kg		300	1 000	3 000	10 000	20 000	30 000	60 000	100 000
100 kg		160	500	1 600	5 000	10 000	16 000	30 000	50 000
50 kg	25	80	250	800	2 500	5 000	8 000	16 000	25 000
20 kg	10	30	100	300	1 000		3 000		10 000
10 kg	5.0	16	50	160	500		1 600		5 000
5 kg	2.5	8.0	25	80	250		800		2 500
2 kg	1.0	3.0	10	30	100		300		1 000
1 kg	0.5	1.6	5.0	16	50		160		500
500 g	0.25	0.8	2.5	8.0	25		80		250
200 g	0.10	0.3	1.0	3.0	10		30		100
100 g	0.05	0.16	0.5	1.6	5.0		16		50
50 g	0.03	0.10	0.3	1.0	3.0		10		30
20 g	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5		8.0		25
10 g	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0		6.0		20
5 g	0.016	0.05	0.16	0.5	1.6		5.0		16
2 g	0.012	0.04	0.12	0.4	1.2		4.0		12
1 g	0.010	0.03	0.10	0.3	1.0		3.0		10
500 mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8		2.5		
200 mg	0.006	0.020	0.06	0.20	0.6		2.0		
100 mg	0.005	0.016	0.05	0.16	0.5		1.6		
50 mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4				
20 mg	0.003	0.010	0.03	0.10	0.3				
10 mg	0.003	0.008	0.025	0.08	0.25				
5 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20				
2 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20				
1 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20				

* Tablo 1'de gösterilen nominal ağırlık değerleri R 111 dahilindeki sınıflar için izin verilen en küçük ve en büyük ağırlıkları belirtmektedir; izin verilen en büyük hatalar ve isimlendirmeler burada belirtilen değerlerden yukarıda veya aşağıda belirtilemez. Örneğin, M₂ ağırlık sınıfı için en küçük nominal değer 100 mg, en büyük değer ise 5000 kg'dır. 50 mg'lık bir ağırlık R 111 M₂ sınıfı olarak kabul edilmez ve M₁ sınıfının izin verilen en büyük değerlerine ve diğer şartlarına (ör: şekil veya işaret) uygun olmalıdır. Aksi takdirde ağırlık R 111'e uygun olarak tanımlanamaz.

Teknik Gereker

6 ŞEKİL

6.1 Genel

6.1.1 Üretimlerinin kolaylaştırılması amacıyla ağırlıkların basit bir geometrik şekli olmalıdır. Aşınmalarının önlenmesi bakımından keskin kenar veya köşeleri olmamalı ve yüzeyde birikmelerin (ör: toz) önlenmesi bakımından belirgin boşlukları olmamalıdır.

6.1.2 Belirli bir ağırlık setine dahil ağırlıkların, 1 g veya daha düşük ağırlıklar hariç olmak üzere, şekilleri aynı olmalıdır.

6.2 1 g'a kadar olan ağırlıklar (1 g dahil)

6.2.1 1 g'dan az olan ağırlıklar, kolay tutmayı sağlayacak şekilde, Tablo 2'de belirtilen şekillere uygun olarak poligonal levha veya tel şeklinde olmalıdır.

6.2.2 1 g'lık ağırlıklar poligonal levha veya tel şeklinde olabilir (bkz. 6.3.1). Nominal değerleri işaretlenmeyen ağırlıkların şekli Tablo 2'de verilen değerlere uygun olmalıdır.

Tablo 2 1 g'dan az veya 1 g'a eşit ağırlıkların şekilleri

Nominal değerler	Poligonal levhalar	Teller		
5, 50, 500 mg	Beşgen	Beşgen	veya	5 kısımlı
2, 20, 200 mg	Kare	Kare		2 kısımlı
1, 10, 100, 1000 mg	Üçgen	Üçgen		1 kısımlı

6.2.3 Bir ağırlık seti, bir diziden diğerine farklılık gösteren birden fazla şekil dizisinden oluşabilir. Ancak, bir dizi serisinde, farklı şekillerdeki ağırlıklardan oluşan bir dizi, aynı şekle sahip ağırlıklardan oluşan iki dizinin arasına konulamaz.

6.3 1 g ile 50 kg arasındaki ağırlıklar

6.3.1 1 kg'lık bir ağırlık, 1 g'lık ağırlıkların katları veya alt katlarının şeklinde olabilir.

6.3.2 Nominal değerleri 1 g'dan 50 kg'a kadar olan ağırlıklar Ek A'da sunulan Şekil ve Tablolarda gösterilen dış ebatlara sahip olabilirler.

6.3.2.1 Bu ağırlıklar aynı zamanda silindirik şeklinde veya hafif sivri koni şeklinde olabilirler (Şekil A.1'de sunulan örnek). Bu cisimlerin yükseklikleri çaplarının 3/4'ü veya 5/4'ü arasında olmalıdır.

6.3.2.2 Bu ağırlıklar, cismin çapı çarpı 0.5 veya 1 yüksekliğinde olan taşıma topuzuna da (lifting knob) sahip olabilirler.

6.3.3 Yukarıda belirtilen şekillere ek olarak (6.3.2), 5 kg'dan 50 kg'a kadar olan ağırlıklar, tutulma yöntemlerine uygun olan farklı bir şekle de sahip olabilirler. Taşıma topuzu yerine, ağırlıkla birlikte gelen aks, kulp, kanca veya halka gibi sert taşıma aletleri de olabilir.

6.3.4 Nominal değerleri 5 kg'dan 50 kg'a kadar olan M sınıfı ağırlıklar da yuvarlak kenarlı ve sert kulplu dikdörtgen paralelkenar şeklinde olabilir. Bu ağırlıklara ilişkin tipik ebat örnekleri Şekil A.2 ve A.3'te gösterilmiştir.

6.4 50 kg'dan büyük ağırlıklar (50 kg dahil)

6.4.1 50 kg'dan büyük ağırlıklar (50 kg dahil olmak üzere) silindir, dikdörtgen veya başka uygun şekillerde olabilirler. Şekiller ağırlıkların güvenli bir şekilde saklanmasını ve tutulmasını sağlamalıdır.

6.4.2 50 kg'dan büyük ağırlıklar (50 kg dahil olmak üzere) aks, kulp, kanca veya halka gibi sert taşıma aletleri ile birlikte sunulabilir.

6.4.3 M sınıfı ağırlıklar süz bir yerde (veya ray üzerinde) hareket ettirilecekse, sınırlı alana sahip tekerlek veya oyukları olmalıdır.

7 YAPI

7.1 E Sınıfı Ağırlıklar

7.1.1 1 mg ile 50 kg arasındaki E sınıfı ağırlıklar

1 mg ile 50 kg arasındaki E sınıfı ağırlıkların hava alan hiçbir boşluğu bulunmamalıdır. Tek parça materyalden oluşmalıdırlar.

7.1.2 50 kg'dan büyük E₂ sınıfı ağırlıklar

7.1.2.1 50 kg'dan büyük E₂ sınıfı ağırlıkların ayar boşluğu olabilir. Bu boşluğun hacmi, ağırlığın toplam hacminin 1/1000'ini aşmamalıdır. Boşluk mühürlenebilir olmalı ve su ve hava geçirmez olmalıdır (ör: bir bağlantı vasıtasıyla). Tornavida veya topuz, kulp, halka vb. taşıma aletleri vasıtasıyla sıkıştırılan bir tıkaç ayar boşluğunu kapatır. Tıkacın materyali ağırlığıinkiyle aynı olmalı ve E₂ sınıfının yüzey şartlarına uygun olmalıdır.

7.1.2.2 İlk ayardan sonra, ayar boşluğunun toplam hacminin yaklaşık ½'si boş kalır.

7.2 F Sınıfı Ağırlıklar

F sınıfı ağırlıklar aynı materyalden üretilen bir veya daha fazla parçadan oluşabilir.

7.2.1 1 g ile 50 kg arasındaki F sınıfı ağırlıklar

7.2.1.1 1 g ile 50 kg arasındaki F sınıfı ağırlıkların ayar boşluğu olabilir. Bu boşluğun hacmi, ağırlığın toplam hacminin ¼'ünü aşmamalıdır. Boşluk bir kaldırma topuzu veya uygun başka bir alet vasıtasıyla kapatılır.

7.2.1.2 İlk ayardan sonra, ayar boşluğunun toplam hacminin yaklaşık ½'si boş kalır.

7.2.2 50 kg'dan büyük F sınıfı ağırlıklar

50 kg'dan büyük F sınıfı ağırlıklar, farklı parçaların birleştirilmesinden oluşan, kapalı, kaynak yapılmış, hava ve su geçirmez bir kutudan oluşabilir. Kutunun içeriği, kutunun üretildiği materyalden farklı olabilir ancak F₁ ve F₂ sınıflarının manyetik özelliklerine ilişkin şartlara uygun olmalıdır. Ortamdaki hava basıncındaki değişiklikler, kaldırma, şok, vb. durumlarda deformasyon olmaması amacıyla kutunun duvarları yeterince sert olmalıdır. Kütle ve hacim arasındaki oran Tablo 5'te sunulan yoğunluk şartlarına uygun olmalıdır.

7.2.2.1 F sınıfı ağırlıkların ayar boşluğu olabilir. Bu boşluğun hacmi, ağırlığın toplam hacminin 1/20'sini aşmamalıdır. Boşluk mühürlenebilir olmalı ve su ve hava geçirmez olmalıdır (ör: bir bağlantı vasıtasıyla). Tornavida veya topuz, kulp, halka vb. taşıma aletleri vasıtasıyla sıkıştırılan bir tıkaç, ayar boşluğunu kapatır.

7.2.2.2 İlk ayardan sonra, ayar boşluğunun toplam hacminin yaklaşık 1/2'si boş kalır.

7.3 M Sınıfı Ağırlıklar

7.3.1 1 g ile 50 kg arasındaki M₁, M₂ ve M₃ sınıfı ağırlıklar

7.3.1.1 1 g ile 10 g arasındaki M₁, M₂ ve M₃ sınıfı ağırlıklar herhangi bir oyuk olmadan, ayar boşluksuz olmalıdır. 20 g ile 50 g arasındaki M₁, M₂ ve M₃ sınıfı ağırlıklar için ayar boşluğu ihtiyaridir. 100 g ile 50 kg arasındaki M₁, M₂ ve M₃ sınıfı ağırlıkların ayar boşluğu olmalıdır. Ancak, 20 g ile 200 g arasındaki M₁, M₂ ve M₃ sınıfı paslanmaz çelik ağırlıklar için ayar boşluğu ihtiyaridir. Ayar boşluğu, dış maddelerin veya molozların yığılmasına izin vermeyecek şekilde tasarlanmalı, boşluğun güvenli bir şekilde kapanmasına ve ek ayarlamalar için yeniden açılmasına olanak sağlamalıdır. Ayar boşluğunun hacmi, ağırlığın toplam hacminin 1/4'ünü aşmamalıdır.

7.3.1.2 İlk ayardan sonra, ayar boşluğunun toplam hacminin yaklaşık 1/2'si boş kalır.

7.3.2 100 g ile 50 kg arasındaki M₁, M₂ ve M₃ sınıfı silindir yapıdaki (bkz. Şekil A.1) ağırlıkların ayar boşluğu, ağırlığın dik ekseni ile eşekseni olmalı, topuzun üst yüzüne açılmalı ve giriş yeri ağırlığın çapında genişlemelidir. Boşluk tornavida vasıtasıyla bir tıkaç ile (bkz. Şekil A.1, seçenek 1) veya ortasında tutma boşluğu olan bir disk ile (bkz. Şekil A.1, seçenek 3) kapatılmalıdır. Tıkaç veya disk pirinç veya uygun başka bir metal malzemedden yapılmalıdır ve çapın genişleyen kısmında bulunan dairesel iç oluğa sokulan bir kurşun tıkaç veya benzer bir materyalle mühürlenmelidir.

7.3.3 5 kg ile 50 kg arasındaki M₁, M₂ ve M₃ sınıfı dikdörtgen paralelkenar ağırlıkların ayar boşlukları boru şeklindeki kulpun içinde yer alır veya kulpta oyuk yoksa ayar boşluğu ağırlığın üst kısımlarından birine, ağırlığın yan veya üst yüzüne açılacak şekilde konulur (bkz. Şekil A.2 ve A.3).

7.3.3.1 Ayar boşluğu boru şeklindeki kulpun içindeyse (bkz. Şekil A.2), boşluk tornavida vasıtasıyla bir tıkaç ile veya ortasında tutma boşluğu olan bir disk ile kapatılmalıdır. Tıkaç veya disk pirinç veya uygun başka bir metal malzemedden yapılmalıdır ve çapın genişleyen kısmında bulunan dairesel iç oluğa sokulan bir kurşun tıkaç veya benzer bir materyalle kapatılmalıdır.

7.3.3.2 Ayar boşluğu ağırlığın üst kısımlarından birinde ve ağırlığın yan veya üst yüzüne açılacak şekildeyse (bkz. Şekil A.3), boşluk yumuşak çelikten veya başka bir uygun materyalden yapılan bir levha ile kapatılmalı ve koni şeklinde bir bölmesi olan bir gövdenin içine sokulan kurşun tıkaç veya benzer bir malzeme ile mühürlenmelidir.

7.3.4 50 kg'dan büyük M sınıfı ağırlıklar (50 kg dahil)

Ağırlıkların toz veya moloz yığılmasına neden olabilecek herhangi bir boşluğu olmamalıdır.

7.3.4.1 Ağırlıkların bir veya daha fazla ayar boşluğu bulunur. Ayar boşluklarının toplam hacmi, ağırlığın toplam hacminin 1/10'undan fazla olmamalıdır. Boşluklar mühürlenebilir olmalı ve su ve hava geçirmez olmalıdır (ör: bir bağlantı vasıtasıyla). Boşluklar, tornavida veya bir taşıma aleti (ör: topuz veya kulp) vasıtasıyla sıkıştırılan bir tıkaç ile mühürlenebilmelidir.

7.3.4.2 İlk ayardan sonra, ayar boşluğunun toplam hacminin en az 1/3'ü boş kalır.

8 MATERYAL

8.1 Genel

Ağırlıklar paslanmaz olmalıdır. Materyal, ağırlıkların kütleindeki değişikliğin, normal kullanım koşullarında ve kullanıldıkları amaca göre, hassasiyet sınıflarında (bkz. Tablo 1) izin verilen en büyük hatalara oranla önemsiz derecede olacağı kalitede olmalıdır.

8.2 E₁ ve E₂ sınıfı ağırlıklar

8.2.1 1 g veya daha büyük ağırlıklar için materyalin sertliği ve eskimeye dayanıklı oluşu östenitik paslanmaz çeliğe benzer veya bundan daha iyi olmalıdır.

8.3 F sınıfı ağırlıklar

1 g veya daha büyük F sınıfı ağırlıkların yüzeyi, sertleştirilmesi ve paslanmaya karşı dayanıklılığının artırılması için uygun bir metal tabaka ile kaplanabilir.

8.3.1 1 g veya daha büyük F sınıfı ağırlıklar için kullanılan materyalin sertliği ve kırılabilirliği en az pirince eşit olmalıdır.

8.3.2 50 kg ve daha büyük F sınıfı ağırlıklarda bütün ağırlık veya dış yüzeyi için kullanılan materyallerin sertliği ve kırılabilirliği en az paslanmaz çeliğe eşit olmalıdır.

8.4 50 kg veya daha küçük M₁, M₂ ve M₃ sınıfı ağırlıklar

1 g veya daha büyük ağırlıkların yüzeyi sertleştirilmesi ve paslanmaya karşı dayanıklılığının artırılması için uygun bir tabaka ile kaplanabilir.

8.4.1 1 g'dan daha küçük M sınıfı ağırlıklar, paslanmaya ve oksidasyona yeterince dayanıklı bir materyalden yapılmalıdır.

8.4.2 5 kg'nin altındaki M₁ sınıfı silindir ağırlıklar ve 100 g'ın altındaki M₂ ve M₃ sınıfı silindir ağırlıklar pirinçten veya sertliği ve paslanmaya karşı dayanıklılığı pirince benzer veya pirinçten daha iyi bir materyalden yapılmalıdır. 50 kg ve daha küçük M₁, M₂ ve M₃ sınıfı silindir ağırlıklar dökme demirden veya sertliği ve paslanmazlığı dökme demire benzer veya bundan daha iyi bir materyalden yapılmalıdır.

8.4.3 5 kg ile 50 kg arasındaki dikdörtgen paralelkenar ağırlıklar paslanmaya karşı dayanıklılığı en az dökme demir kadar olan bir materyalden yapılmalıdır. Kırılabilirliği dökme demirinkinden fazla olmamalıdır.

8.4.4 Dikdörtgen paralelkenar ağırlıkların kulpları ağırlıkla birleşik şekilde dikişsiz çelik boru veya dökme demirden yapılmalıdır.

8.5 50 kg'dan büyük M sınıfı ağırlıklar

8.5.1 Ağırlıkların yüzeyi paslanmaya karşı dayanıklılıklarının artırılması için uygun bir tabaka ile kaplanabilir. Bu tabaka şoklara ve dış hava koşullarına dayanıklı olmalıdır.

8.5.2 Ağırlıklar paslanmaya karşı dayanıklılığı en az dökme demir kadar olan bir veya daha fazla materyalden yapılmalıdır.

8.5.3 Materyal, normal kullanım koşullarında yüklere ve şoklara dayanacak sertlikte ve güçte olmalıdır.

8.5.4 Dikdörtgen paralelkenar ağırlıkların kulpları ağırlıkla birleşik şekilde dikişsiz çelik boru veya dökme demirden yapılmalıdır.

9 MANYETİZMA

9.1 Polarizasyon Limitleri

Polarizasyon ($\mu_0 M$) açısından ifade edilen manyetizasyon (M) Tablo 3'te verilen değerleri aşmamalıdır.

Tablo 3 Maksimum polarizasyon, $\mu_0 M, (\mu T)$

Ağırlık sınıfı	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂	M ₁	M ₁₋₂	M ₂	M ₂₋₃	M ₃
Maksimum polarizasyon, $\mu_0 M, (\mu T)$	2.5	8	25	80	250	500	800	1600	2500

9.2 Manyetik duyarlılık limitleri

Ağırlığın duyarlılığı Tablo 4'te verilen değerleri aşmamalıdır.

Tablo 4 Maksimum duyarlılık, χ

Ağırlık sınıfı	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂
$m \leq 1 \text{ g}$	0.25	0.9	10	-
$2 \text{ g} \leq m \leq 10 \text{ g}$	0.06	0.18	0.7	4
$20 \text{ g} \leq m$	0.02	0.07	0.2	0.8

9.3 Manyetizasyon ve duyarlılığın lokal ölçümlerinden elde edilen değerler bu limitlerin altındaysa, ağırlığın manyetizmasından kaynaklanan belirsizlik unsurlarının önemsiz olduğu düşünülebilir. Tablo 3 ve 4'te sunulan maksimum kalıcı manyetizasyon ve manyetik duyarlılıklar, terazi kefelerinde büyük olasılıkla yer alan manyetik alanlarda ve manyetik alan dalgalarında, test ağırlığına ilişkin izin verilen en büyük hatanın 1/10'undan daha düşük bir değişikliğe neden olacak şekilde düzenlenmiştir.

10 YOĞUNLUK

10.1 Genel

Ağırlıklar için kullanılan materyalin yoğunluğu Tablo 5'te belirtilmiştir; bu yoğunluk, belirlenen hava yoğunluğundan %10 oranındaki bir sapmanın, Tablo 1'de sunulan izin verilen en büyük hata sabit değerinin ¼'ünü aşmayacağı şekilde olmalıdır.

Tablo 5 Yoğunluğa ilişkin minimum ve maksimum sınırlar (ρ_{\min} , ρ_{\max})

Nominal değer	$\rho_{\min}, \rho_{\max} (10^3 \text{ kg m}^{-3})$							
	Ağırlık sınıfı (M_3 sınıfı için değer belirtilmemiştir)							
	E_1	E_2	F_1	F_2	M_1	M_{1-2}	M_2	M_{2-3}
$\geq 100 \text{ g}$	7.934-8.067	7.81-8.21	7.39-8.73	6.4-10.7	≥ 4.4	> 3.0	≥ 2.3	≥ 1.5
50 g	7.92-8.08	7.74-8.28	7.27-8.89	6.0-12.0	≥ 4.0			
20 g	7.84-8.17	7.50-8.57	6.6-10.1	4.8-24.0	≥ 2.6			
10 g	7.74-8.28	7.27-8.89	6.0-12.0	≥ 4.0	≥ 2.0			
5 g	7.62-8.42	6.9-9.6	5.3-16.0	≥ 3.0				
2 g	7.27-8.89	6.0-12.0	≥ 4.0	≥ 2.0				
1 g	6.9-9.6	5.3-16.0	≥ 3.0					
500 mg	6.3-10.9	≥ 4.4	≥ 2.2					
200 mg	5.3- 16.0	≥ 3.0						
100 mg	≥ 4.4							
50 mg	≥ 3.4							
20 mg	≥ 2.3							

Not 1: Ağırlıkların yoğunluğuna ilişkin kural. $\delta m / m_0$ ağırlıklar üzerinde izin verilen en büyük rölatif hata olsun. Ağırlığın yoğunluğu, ρ , aşağıda belirtilen durumlara uymalıdır.

$$\delta m / m_0 < 6 \times 10^{-5} \text{ ise } 8000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1 + 10^5 \left(\frac{\delta m / m_0}{6} \right)} \leq \rho \leq 8000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1 - 10^5 \left(\frac{\delta m / m_0}{6} \right)}$$

$$\delta m / m_0 \geq 6 \times 10^{-5} \text{ ise } 8000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1 + 10^5 \left(\frac{\delta m / m_0}{6} \right)} \leq \rho \text{ if } \delta m / m_0 \geq 6 \times 10^{-5}$$

Not 2: Ağırlıkların yoğunluğuna ilişkin şartlardan ayrı olarak, özellikle referans ağırlıkları ve nominal değeri yüksek olan ağırlıklar için 8000 kg m^{-3} yoğunluğunun sağlanması istenmektedir. Örneğin, içine etalonun toplam nominal kütesinin yaklaşık %30'u kadar kütleyle sahip kurşun dolgu yerleştirilebilecek özel bir boşluğu olan dökme demir bir cisim kullanılabilir.

10.2 Hava yoğunluğu sapmasına ilişkin düzeltmeler

10.2.1 Hava yoğunluğu, ρ_a , $\rho_0 = 1.2 \text{ kg m}^{-3}$ değerinden $\pm \%10$ 'un üzerinde saparsa ve test ağırlığının yoğunluğu, ρ_t , referans ağırlığının yoğunluğundan, ρ_r , saparsa, konvansiyonel kütle aşağıda gösterildiği gibi C terimi ile düzeltilebilir:

$$m_{ct} = m_{cr} (1 + C) + \overline{\Delta m_c} \quad (10.1-1)$$

$\overline{\Delta m_c}$ test ve referans ağırlıkları arasında gözlenen ortalama tartım farkı,

ρ_r referans ağırlığın yoğunluğu,

m_{ct} ve m_{cr} sırasıyla test ve referans ağırlıklarının konvansiyonel kütlesi iken,

$$C = (\rho_a - \rho_0) \left[\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right] \quad (10.2-2)$$

10.2.2 Terazilerin kalibrasyonu/doğrulanması için kullanılan ağırlıklar

Ağırlıkların konvansiyonel kütleleri kullanılırken, rakım ve hava yoğunluğundaki ilgili değişiklikler ölçüm hatasını etkileyebilir; dolayısıyla 10.2.1'de belirtilen kaldırma kuvveti düzeltme faktörü kullanılmalıdır, bu da ağırlığın yoğunluğunun bilinmesini gerektirir. E sınıfı ağırlıklar 330 m'nin üzerinde kullanılacaksa, ağırlıkların yoğunluğu da ilgili belirsizlikleriyle birlikte sunulmalıdır. F₁ sınıfı için aynı durum 800 m'nin üzerindeki yükseklikler için geçerlidir. Diğer durumlarda üretici, konvansiyonel kütle standartlarına ilişkin ağırlık sınıflarını belirlerken, yüksek rakımdaki düşük kaldırma kuvvetini göz önünde bulundurmalıdır.

11 YÜZEY KOŞULLARI

11.1 Genel

Normal kullanım koşullarında yüzey özellikleri, ağırlığın kütesindeki herhangi bir değişikliğin izin verilen en büyük hata değerine göre önemsiz bir etki yapacağı şekilde olmalıdır.

11.1.1 Ağırlıkların yüzeyleri (taban ve köşeler dahil olmak üzere) pürüzsüz, kenarları yuvarlak olmalıdır.

11.1.2 E ve F sınıfı ağırlıkların yüzeyleri delikli olmamalıdır ve gözle yapılan muayenede parlak bir görüntü sunmalıdır. Şüphe veya anlaşmazlık olan durumlar haricinde gözle muayene yeterli olabilir. Bu durumda Tablo 6'da sunulan değerler kullanılır. 50 kg'den büyük ağırlıklar için izin verilen maksimum yüzey pürüzsüzlüğü değerleri Tablo 6'de belirtilen değerlerin iki katı olmalıdır.

Tablo 6 Yüzey pürüzlüğüne ilişkin maksimum değerler

Sınıf	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂
R _z (μ m)	0.5	1	2	5
R _a (μ m)	0.1	0.2	0.4	1

11.1.3 1 g ile 50 kg arasındaki M₁, M₂ ve M₃ sınıfı silindirik ağırlıkların yüzeyleri pürüzsüz olmalıdır ve gözle yapılan muayenede delikli bir görüntü sunmamalıdır. 100 g ve 50 kg arasındaki M₁, M₂ ve M₃ sınıfı dökme ağırlıkların ve 50 kg'den büyük M sınıfı bütün ağırlıkların cilaları, dikkatli bir şekilde kum kalıpta yapılan dökme demir cilasına benzer olmalıdır.

12 AYAR

Belirli bir nominal değerde olan ağırlıklar, bu ağırlığın havada tartılması sonucunda elde edilen konvansiyonel değer, ağırlığın ait olduğu doğruluk sınıfı için belirlenen izin verilen en büyük hata sınırları içerisinde olan bu nominal değere eşit olacağı şekilde ayarlanmalıdır.

12.1 E sınıfı ağırlıklar

Ağırlıklar aşındırma, bileme veya uygun başka bir yöntemle ayarlanır. İşlemin sonucunda ağırlık yüzey şartlarına uygun olmalıdır. Ayar boşluğuna sahip 50 kg'nin üzerindeki ağırlıklar, yapıldıkları materyalin aynısı ile ayarlanmalıdır.

12.2 F sınıfı ağırlıklar

Bütün halinde olan ağırlıklar, yüzeyi değiştirmeyecek şekilde, aşındırma, bileme veya uygun başka bir yöntemle ayarlanır. Ayar boşluğu olan ağırlıklar yapıldıkları materyalin aynısı ile veya paslanmaz çelik, pirinç, teneke, molibden veya tungsten ile ayarlanmalıdır.

12.3 M sınıfı ağırlıklar

12.3.1 1 mg ile 1 g arasındaki ince levha ve tel ağırlıklar kesme, aşındırma veya bileme yöntemiyle ayarlanır.

12.3.2 Ayar boşluğu olmayan silindirik ağırlıklar bileme yoluyla ayarlanır.

12.3.3 Ayar kapasitesi (kabı) olan ağırlıklar kurşun gibi yoğun, metalik materyalin eklenmesi veya çıkartılması yoluyla ayarlanır.

12.4 Referans koşullar

Standart ağırlıkların ayarlanması ile ilgili referans koşullar aşağıda belirtilmiştir:

- Standart referans yoğunluk: 8000 kg m^{-3}
- Ortamdaki hava yoğunluğu: 1.2 kg m^{-3}
- Havanın kaldırma gücüne ilişkin düzeltme faktörü olmadan $20 \text{ }^\circ\text{C}$ havadaki denge

13 İŞARETLEME

13.1 Genel

E sınıfı ağırlıklar ve 6.2.2'de belirtilen 1 g'lık ağırlıklar hariç olmak üzere, 1 g ve katlarındaki ağırlıklar, ağırlığın yüzey kalitesi ve stabilitesi işaretlenmeden veya ağırlığın işaretlenmesinde kullanılan işlemlerden etkilenmeden, nominal değerlerini net olarak gösterecek şekilde işaretlenmelidir.

13.1.1 Ağırlıkların kütlelerine ilişkin nominal değerleri belirten sayılar aşağıda belirtilen değerleri temsil eder:

- 1 kg ve üzerindeki kütleler için kilogram;
- 1 g ile 500 g arasındaki ağırlıklar için gram

13.1.2 Bir set içerisindeki aynı iki veya üç ağırlık, yüzeyin merkezine konulan bir veya iki yıldız veya nokta ile net bir şekilde birbirinden ayrılmalıdır (bir veya iki kanca ile belirtilecek olan tel ağırlıklar hariç).

13.2 E sınıfı ağırlıklar

Sınıf, E sınıfı ağırlıkların kutularının kapağında (bkz. 14.1) belirtmelidir. E sınıfı ağırlıklar, ağırlığın diğer bir E sınıfı ağırlıktan ayırt edilebilmesi amacıyla işaretlenmesi durumunda veya ağırlığın yüzey kalitesi ve stabilitesinin işaretlenmeden veya ağırlığın işaretlenmesinde kullanılan işlemlerden etkilenmemesi durumunda işaretlenebilir. Kullanıcı işaretlemelerine ilişkin maksimum sayılar Tablo 7'de sunulmuştur.

E₂ sınıfı ağırlıklara, E₁ sınıfı ağırlıklardan ayırt edilebilmeleri amacıyla, üst yüzeylerine merkezden dışarıda bir nokta koyulabilir.

13.3 F sınıfı ağırlıklar

13.1'e uygun olarak, 1 g veya daha büyük ağırlıkların üzerinde, basmak veya oymak suretiyle nominal değerleri yazılabilir (birimin adı veya sembolü olmadan).

13.3.1 F₁ sınıfı ağırlıkların üzerinde sınıf belirtilmemelidir.

13.3.2 1 g veya daha büyük F₂ sınıfı ağırlıkların üzerinde referans sınıfları nominal değerleriyle birlikte "F" biçiminde belirtilir.

13.4 M₁, M₂ ve M₃ sınıfı ağırlıklar

13.4.1 50 kg ile 5000 kg arasındaki dikdörtgen ağırlıkların üzerinde, ağırlığın nominal miktarı ve "kg" sembolü, Şekil A.2 ve A.3'te gösterildiği gibi, ağırlığın üzerine oyuk veya kabartma şeklinde yazılır.

13.4.2 1 g ile 5000 kg arasındaki silindirik ağırlıklarda, ağırlığın nominal miktarı ve "kg" sembolü, Şekil A.1'de gösterildiği gibi, topuzun üzerine oyuk veya kabartma şeklinde yazılır. 500 g ile 5000 kg arasındaki silindirik ağırlıklarda yazı, ağırlığın silindirik yüzeyine de yeniden yazılabilir.

13.4.3 M₁ sınıfı ağırlıklara nominal değer ile birlikte "M₁" veya "M" işareti Şekil A.2 ve A.3'te gösterildiği şekilde oyuk veya kabartma olarak yazılır. Dikdörtgen şeklindeki M₁ ağırlıklarda Şekil A.2 ve A.3'te gösterildiği gibi üreticinin işareti ağırlıkların merkez kısmına oyuk veya kabartma şeklinde yazılabilir.

13.4.4 M₂ sınıfı dikdörtgen ağırlıkların üzerinde nominal değerleri belirtilmelidir, aynı zamanda "M₂" işareti de Şekil A.2 ve A.3'te gösterildiği gibi oyuk veya kabartma şeklinde yazılabilir.

13.4.5 M₃ sınıfı dikdörtgen ağırlıkların üzerinde oyuk veya kabartma şeklinde "M₃" veya "X" işareti ve Şekil A.2 ve A.3'te gösterilen konumda nominal değer yazılır.

13.4.6 M₂ ve M₃ ağırlıkların üzerinde (tel ağırlıklar hariç) üreticinin işareti, Şekil A.1, A.2 ve A.3'te gösterildiği gibi oyuk veya kabartma olarak aşağıda belirtilen konumlara konulabilir:

- Dikdörtgen ağırlıkların merkez kısmına;
- Silindirik ağırlıkların topuzunun üst yüzüne;
- Kulplu M₃ silindirik ağırlıkların silindirinin üst yüzüne.

13.4.7 50 kg veya daha büyük M₃ sınıfı ağırlıklar

Ağırlığın üzerine nominal değer ve birim sembolü yazılır.

13.5 M₁₋₂ ve M₂₋₃ sınıfı ağırlıklar

M₁₋₂ sınıfı ağırlıkların üzerine "M₁₋₂" işareti, M₂₋₃ sınıfı ağırlıkların üzerine de "M₂₋₃" işareti, nominal değer ve "kg" sembolü ile birlikte oyuk veya kabartma olarak konulur. M₁₋₂ ve M₂₋₃ sınıfı ağırlıkların üzerinde üreticinin işareti, Şekil A.1, A.2 ve A.3'te diğer M sınıfı ağırlıklar için gösterilen boyutlara benzer şekilde, oyuk veya kabartma olarak yüzeyin üst kısmına konulabilir.

13.6 Kullanıcı işareti

Kullanıcının tek ağırlıkları net bir şekilde tanımlaması iyi bir uygulamadır; bu uygulama ağırlığı kalibrasyon sertifikası veya doğrulama belgesi ile ilişkilendirmeyi kolaylaştırır.

Tablo 7 Kullanıcı işaretlerinin maksimum sayısı

Sınıf	Nominal değer	Harfin yüksekliği	İşaret, sayı veya harflerin maksimum sayısı
E, F, M ₁ ve M ₂	< 1 g	1 mm	2
E ₁	≥ 1 g	2 mm	3
E ₂	≥ 1 g	3 mm	5
F ₁ - M ₂	1 g to 100 g	3 mm	5
F ₁ - M ₂	200 g to 10 kg	5 mm	5
F ₁ - M ₂	≥ 20 kg	7 mm	5

Kullanıcı işaretleri, nominal değer veya sınıf ile karıştırılmayacak şekilde konulan işaret, sayı veya harflerden oluşur.

14 SUNUM

14.1 Genel

M₁₋₂, M₂, M₂₋₃, ve M₃ sınıfı ağırlıklar hariç olmak üzere, ağırlıklar aşağıda belirtilen şartlara uygun olarak sunulmalıdır:

14.1.1 Ağırlıkların içinde bulunduğu kutunun kapağı, "E₁", "E₂", "F₁", "F₂" veya "M₁" biçiminde sınıflarını belirtecek şekilde işaretlenmelidir.

14.1.2 Aynı sete dahil olan ağırlıklar aynı doğruluk sınıfından olmalıdır.

14.2 E ve F sınıfı ağırlıklar

14.2.1 Tek ağırlıklar ve ağırlık setleri, şok veya titremeden kaynaklanan aşınma veya hasarlara karşı korunmalıdır. Ağırlıklar ahşap, plastik veya ayrı boşlukları olan uygun herhangi bir materyalden yapılmış kutularda bulunmalıdır.

14.2.2 E ve F sınıfı ağırlıkların taşınmasında kullanılan araç, ağırlığın yüzeyini çizmeyecek veya değiştirmeyecek bir yapıya sahip olmalıdır.

14.3 M₁ sınıfı ağırlıklar

14.3.1 500 g ve üzerindeki M₁ sınıfı silindirik ağırlıklar (tek tek veya set halinde), ayrı boşlukları olan bir kutuda bulunmalıdır.

14.3.2 İnce levha ve tel ağırlıklar ayrı boşlukları olan bir kutuda bulunmalıdır; sınıf referansı (M₁) kutunun kapağına yazılmalıdır.

Metrolojik kontroller

15 METROLOJİK KONTROLE SUNUM

Ağırlıkların metrolojiye ilişkin devlet kontrolüne tabi olduğu bir ülkede, ulusal mevzuata bağlı olarak bu kontroller şunların bir veya birkaç tanesini içerebilir: tip onayı, kalibrasyon, yeniden kalibrasyon, doğrulama, ilk doğrulama ve müteakip doğrulama. Tablo 8 değerlendirmenin hangi aşamasında hangi testlerin yapılması gerektiğinin belirlenmesi konusuna yol göstermektedir.

Tablo 8 Tip onayı için hangi testlerin yapılacağına ilişkin belirlenmesine ilişkin rehber ve ilk doğrulama ve müteakip doğrulamaya ilişkin önerilen testler

Test	Yoğunluk ρ			Yüzey pürüzlülüğü			Manyetik duyarlılık χ			Kalıcı manyetizasyon M			Konvansiyonel kütle m_0		
	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M
TA	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√
IV	√ ⁺			V	V	V	√	√		√	√	√	√	√	√
SV				V	V	V				*	*	*	√	√	√

- Açıklamalar:
- TA Tip onayı
 - IV Ağırlığın kullanılmaya başlanacağına yapılan ilk doğrulama
 - SV Müteakip veya periyodik doğrulama
 - Test uygulanmaz
 - V Sadece gözle muayene
 - √ Test gerekli
 - * Şüpheli durumda, ağırlığın kalıcı manyetizasyonu müteakip doğrulama sırasında test edilebilir.
 - + Yalnızca E₁ sınıfı için geçerlidir, E₂ için değil.

15.1 Tip Onayı

15.1.1 Her üretici veya yetkili temsilci, üretimini yapacağı ağırlık modelini veya tipini, model veya tipin kanuni şartlara uygun olduğunu kanıtlamak amacıyla sorumlu kuruma sunabilir. Zorunlu test prosedürleri bu Tavsiyenin B ve C Eklerinde verilmiştir. Tip onayı için zorunlu test raporu formatı R 111-2'de sunulmuştur. Tablo 8'de tip onayına ilişkin zorunlu testler gösterilmektedir.

15.1.2 Onaylanan bir model veya tip, tip onayı alındıktan sonra özel yetki olmadan değiştirilemez (bkz. OIML B 3 *OIML Ölçü Aletlerine İlişkin Sertifika Sistemi*).

15.2 Kalibrasyon ve doğrulama

Ağırlıkların veya ağırlık setlerinin kalibrasyonu ve doğrulaması, ulusal mevzuata ve kullanım amacına bağlı olarak ulusal yetkili kuruluşun veya kullanıcının sorumluluğundadır. Kalibrasyon ve doğrulama sertifikaları yalnızca yetkili veya akredite laboratuvarlar tarafından verilebilir. Ulusal standartlara olan izlenebilirlik korunmalıdır.

15.2.1 Kalibrasyon ve doğrulama sertifikaları

Bir kalibrasyon veya doğrulama sertifikası en az şunları belirtmelidir: her ağırlığın konvansiyonel kütlesi, m_c , ağırlığın kalibrasyon öncesinde ayarlanıp ayarlanmadığına ilişkin bilgi, genişletilmiş belirsizlik, U , ve kapsama faktörünün değeri, k .

15.2.2 E sınıfı ağırlıkların yanında kalibrasyon sertifikası olmalıdır.

15.2.2.1 E₁ sınıfı ağırlıklara ilişkin sertifika en az şunları içermelidir: konvansiyonel kütle değerleri, m_c , genişletilmiş belirsizlik, U , kapsama faktörü, k , ve her ağırlığın yoğunluğu veya

hacmi. Bunlara ek olarak sertifikada yoğunluğun veya hacmin ölçüldüğü veya tahmin edildiği belirtilmelidir.

15.2.2.2 E₂ sınıfı ağırlıkların sertifikalarında en az aşağıdaki bilgiler verilmelidir:

a) Her ağırlığın konvansiyonel kütle değeri, m_c , genişletilmiş belirsizlik, U , ve kapsama faktörü, k , veya

b) E₁ sınıfı ağırlıkların kalibrasyon sertifikaları için istenen bilgiler (1.3.1.a koşullarının altında)

15.3 Yeniden kalibrasyon, ilk doğrulama ve müteakip doğrulama

15.3.1 Tablo 8'de ilk doğrulama ve müteakip doğrulama için önerilen testler sunulmuştur. Kalibrasyona veya ilk doğrulamaya tabi olan ağırlık kategorileri yeniden kalibrasyona veya müteakip doğrulamaya da tabi olmalıdır, böylece metrolojik özelliklerini korudukları doğrulanabilir. Yeniden kalibrasyon veya müteakip doğrulama sırasında hatalı bulunan ağırlıklar bertaraf edilir veya yeniden ayarlanır.

15.3.2 Müteakip doğrulama için, en az seviyede, ağırlıklar tasarım ve yüzey koşullarına ilişkin gözle muayene edilmeli ve kütle, sertifikasına ve OIML Uygunluk Sertifikasına göre kontrol edilmelidir.

16 KONTROL İŞARETLERİ

16.1 Genel

Kalibrasyon sertifikası veriliyorsa ağırlıklar üzerine kontrol işareti yapıştırılması gerekmez.

16.2 E sınıfı ağırlıklar

16.2.1 Kontrol işaretleri kasa üzerine yapıştırılabilir.

16.2.2 Tek tek ağırlıklar ya da ağırlık setleri için kalibrasyon sertifikası metroloji yetkililerince (örn. Akredite kalibrasyon servisleri ya da laboratuvarları) verilebilir.

16.3 F sınıfı ağırlıklar

16.3.1 F₁ sınıfı ağırlıklar

Ağırlıklar metroloji kontrollerine tabi ise, bu kontrollerin işaretleri ağırlıkların içine konulduğu kasa üzerine yapıştırılır.

16.3.2 F₂ sınıfı ağırlıklar

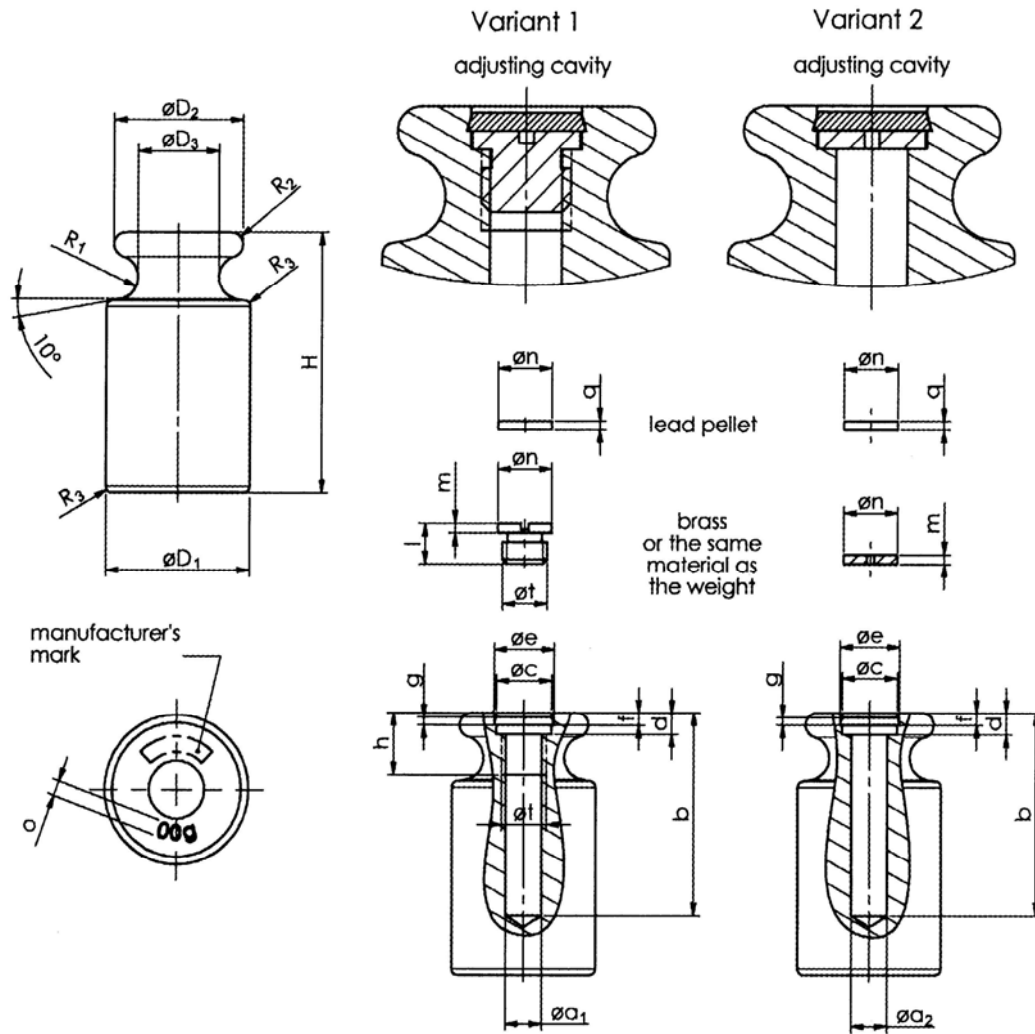
Silindirik F₂ sınıfı ağırlıklar metroloji kontrollerine tabi ise, uygun kontrol işaretlerinin ayar boşluğu mührüne yapıştırılması gerekir. Ayar boşluğu olmayan ağırlıklar için, kontrol işaretleri tabana ya da ağırlıkların içine konulduğu kasa üzerine yapıştırılmalıdır.

16.4 M sınıfı ağırlıklar

16.4.1 M_1 , M_2 ve M_3 sınıfı ağırlıklar metroloji kontrollerine tabi ise, uygun kontrol işaretlerinin ayar boşluğu mühürüne eklenmelidir. Ayar boşluğu olmayan ağırlıklar için kontrol işaretlerinin tabana yapıştırılması gerekir.

16.4.2 If thin plate and wire class M_1 weights are subject to metrological controls, the appropriate control marks shall be affixed to the case.

EKA
Çeşitli biçim ve boyutlara örnekler



Annex A. Examples of different shapes and dimensions
A.1 Table of dimensions (in millimeters)

Nominal value	D ₁	D ₂	D ₃	H	R ₁	R ₂	R ₃	o	a ₁	a ₂	b ^①	c	d	e	f	g	h	i	m	n	q	t
1 g	6	5,5	3		0,9	0,5	0,5	1														
2 g	6	5,5	3		0,9	0,5	0,5	1														
5 g	8	7	4,5		1,25	0,7	0,5	1														
10 g	10	9	6		1,5	0,8	0,5	1														
20 g	13	11,5	7,5		1,8	1	0,5	1,5														
50 g	18	16	10		2,5	1,5	1	2														
20 g	13	11,5	7,5		1,8	1	0,5	1,5	3,5	3	18	5,5	2,5	6,5	1,5	1	9	5	1	5	1	M4 x 0,5
50 g	18	16	10		2,5	1,5	1	2	5,5	4,5	25	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M6 x 0,5
100 g	22	20	13		3,5	2	1	2	5,5	4,5	30	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M6 x 0,5
200 g	28	25	16		4	2,25	1,5	3,2	6,9	7	40	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1
500 g	38	34	22		5,5	3	1,5	3,2	6,9	7	50	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1
1 kg	48	43	27		7	4	2	5	12,4	12	65	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5
2 kg	60	54	36		9	5	2	5	12,4	12	80	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5
5 kg	80	72	46		12	6,5	2	10	18,4	18	120	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5
10 kg	100	90	58		15	8,5	3	10	18,4	18	160	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5
20 kg	128	112	74		18	11	3	10	18,4	18	160	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5

① The depth of the adjusting cavities is given only as an indication

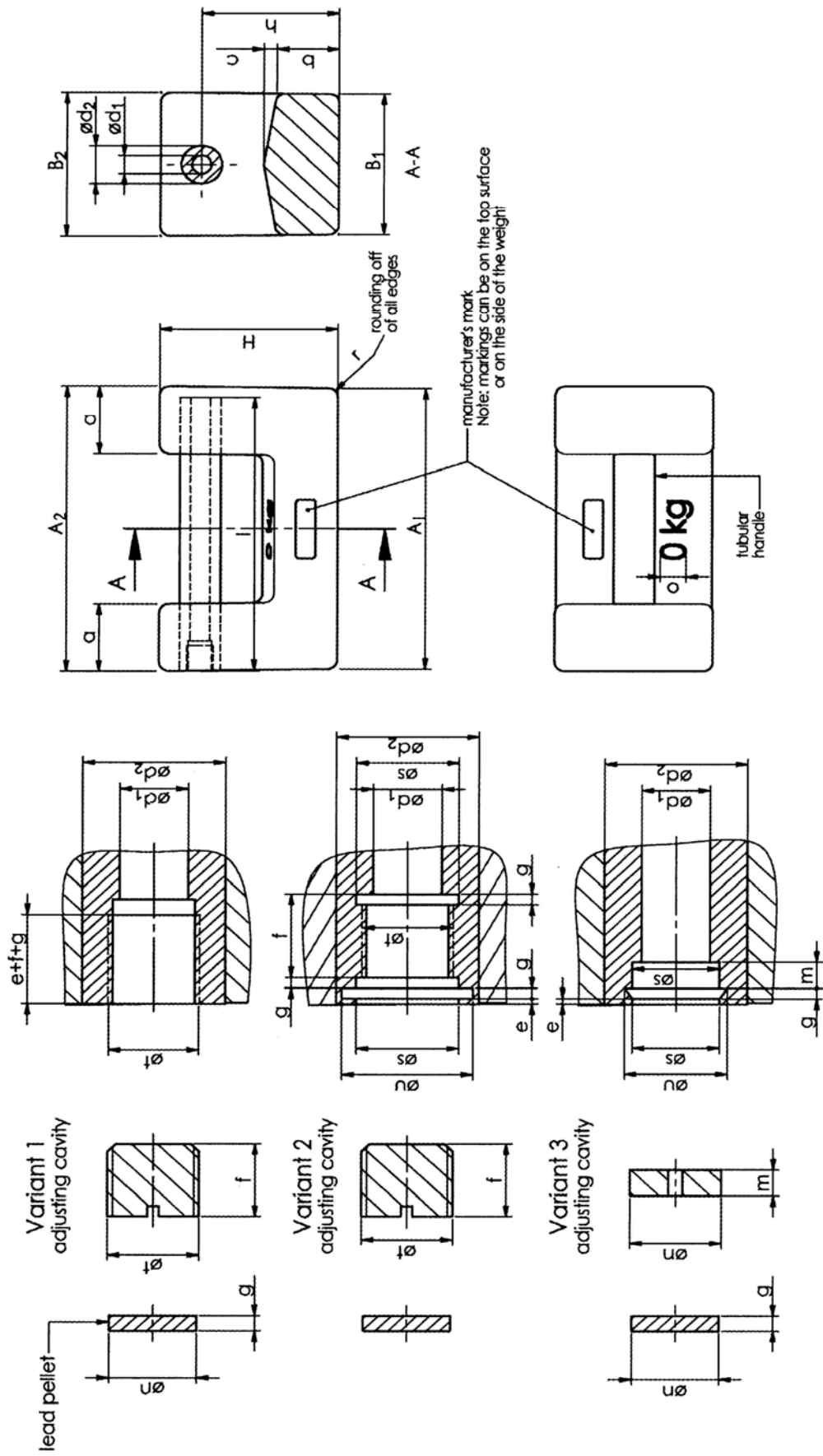
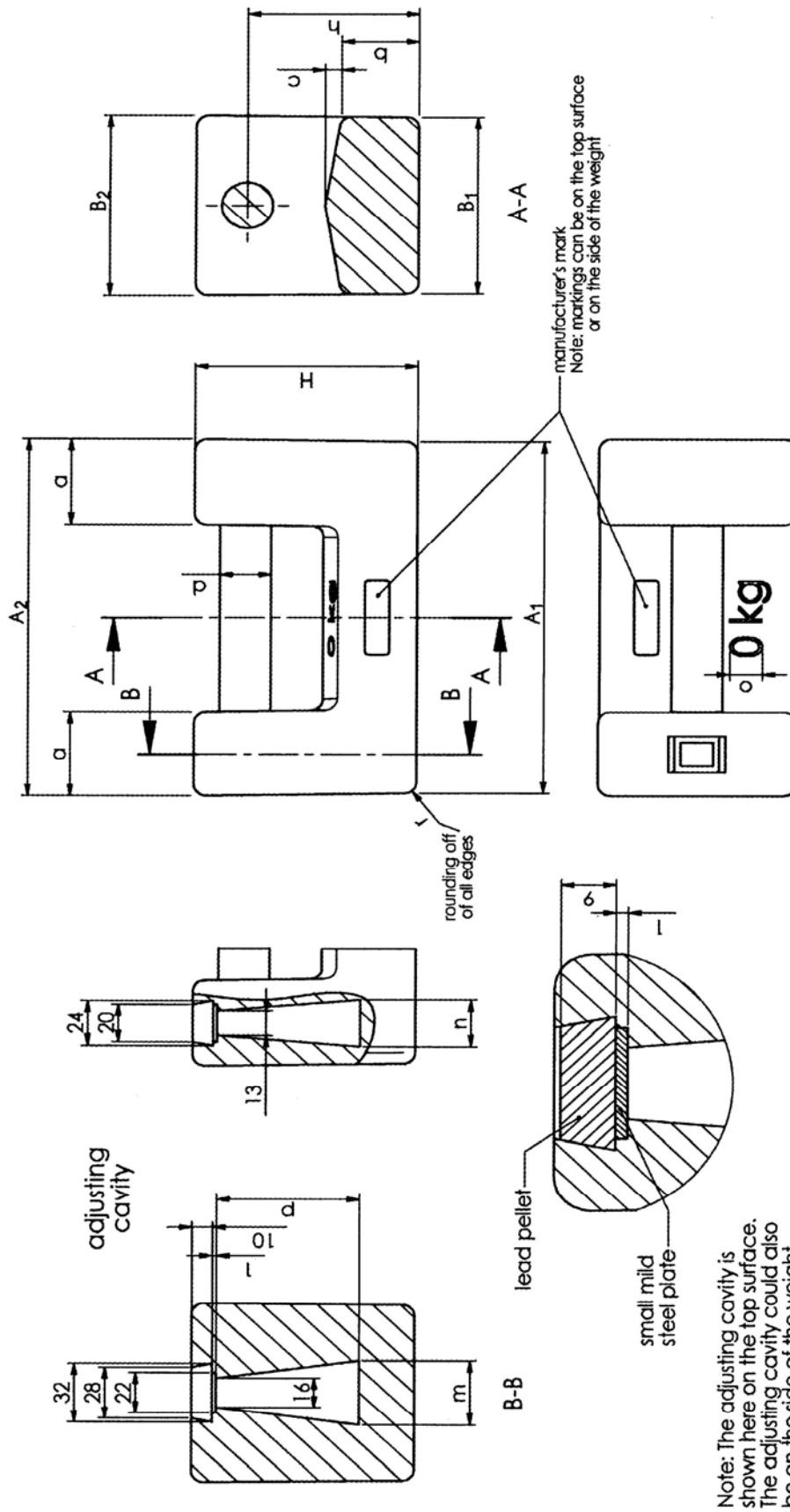


Table of dimensions (in millimeter)

Nominal value	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	H	a	b	c	d ₁	d ₂	e	f	g	h	i	m	n	o	r	s	t	u
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	12	19	1	14	2	66	145	5	16	12	5	16,5	M16x1,5	18
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	12	25	1	14	2	84	185	5	16	16	6	16,5	M16x1,5	18
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	24	29	2	21	3	109	220	8	27	20	8	27,5	M27x1,5	30
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	24	40	2	21	3	152	300	8	27	25	10	27,5	M27x1,5	30

Dimensions A and A' as well as B and B' can be reversed.



Note: The adjusting cavity is shown here on the top surface. The adjusting cavity could also be on the side of the weight

Table of dimensions (in millimeter)

Nominal value	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	H	a	b	c	d	h	m	n	o	p	r
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	19	66	16	13	12	55	5
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	25	84	35	25	16	70	6
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	29	109	50	30	20	95	8
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	40	152	70	40	25	148	10

Dimensions A and A' as well as B and B' can be reversed. The internal dimensions m, n, p of the adjusting cavities are given only as an indication.

Ek B

Ağırlıklar için test prosedürleri (Zorunlu)

B.1 Giriş

Bu ekte, ağırlıkların seçilen özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler yer alır. Bu yöntemler tek tek ağırlıklara ya da ağırlık setlerine uygulanabilir.

B.1.1 Test raporlarında her bir testin yöntemi belirtilmelidir. Bu Ekte yer alan yöntemler ilgili bölüm numaralarıyla birlikte not edilmelidir. Başka bir yöntemin kullanılması halinde ise yöntemin geçerliliği belgelerle kanıtlanmalıdır.

B.1.2 “Konvansiyonel kütle” terimi “gerçek kütle” teriminin kullanıldığı yoğunluk bölümü haricinde her yerde kullanılabilir (bkz 2.6).

B.2 Test sırası

Ön değerlendirmeler ve testler aşağıdaki sırada yapılır (mümkünse):

- Kontrol listesine uygun olarak belgelerin gözden geçirilmesi ve görsel kontrolü (bkz R 111-2 *Test Rapor Formatı*);
- Ağırlıkların temizlenmesi (B.4);
- Yüzey pürüzlülüğü (B.5);
- Manyetizma (B.6);
- Yoğunluk (B.7);

Not: Yoğunluk sisteminde kullanılan sıvı su haricinde bir sıviysa yoğunluk ölçümünden sonra temizlik tekrarlanmalıdır (kullanılan diğer sıvılar [örn. florokarbonlar] alkol gibi bir çözücüyle temizlenmesi gereken kalıntılar bırakır).

- Konvansiyonel kütlelerin ölçümü (Ek C).

B.3 Belgenin gözden geçirilmesi ve görsel kontrol

B.3.1 İdari muayene

15.1'e uygun olarak sunulan belgenin gerekli fotoğraflar, çizimler, ilgili teknik şartname vs. dahil olmak üzere uygun ve doğru olup olmadığını kontrol edin.

B.3.2 Ağırlığın belgelerle kıyaslanması

Ağırlığın fiziksel görünümü ve tartım durumunun belgelerle uygunluğunu kontrol edin (bu Tavsiyenin 6, 7, 8, 14 ve 15.1 maddelerine uygun olarak).

B.3.3 Ön muayene

B.3.3.1 Metroloji özellikleri

R 111-2 *Test Rapor Formatına* uygun olarak metroloji özellikleri yazın.

B.3.3.2 İşaretleme (Bu Tavsiyenin 13 ve 16 bölümüne uygun olarak)

İşaretleme R 111-2 *Test Rapor Formatına* uygun olarak kontrol edin.

B.4 Ağırlıkların temizlenmesi

B.4.1 Herhangi bir ölçüm yapılmadan ağırlıkları temizlemek gerekir çünkü temizlik süreci ağırlığın kütesini değiştirebilir. Temizlik sırasında tartım materyalinin önemli bir miktarı yerinden oynatılmamalıdır. Ağırlıklar kirlenmeyecek şekilde kullanılmalı ve saklanmalıdır. Kalibrasyondan önce, toz ve diğer yabancı maddelerin temizlenmesi gerekir. Ağırlığın yüzey özelliklerini değiştirmemeye özen gösterilmelidir (örn. Ağırlığın çizilmemesi vs).

Bir ağırlık yukarıda belirtilen yöntemlerle temizlenemeyecek kadar kirliyse, ağırlığın tamamı ya da bir bölümü temiz alkol, damıtılmış su ya da diğer çözeltilerle yıkanabilir. İçinde boşluk bulunan ağırlıklar çözelti içine batırılmamalıdır yoksa sıvı içeriye sızabilir. Kullanılan ağırlığın sabitliğinin izlenmesi gerekiyorsa, ağırlığın kütlesi mümkünse temizlenmeden önce belirlenmelidir.

B.4.2 Ağırlıklar çözeltilerle temizlendikten sonra Tablo B1’de verilen sürelerde sabitlenmelidirler.

Tablo B.1 Temizlemenin ardından stabilizasyon süresi

Ağırlık sınıfı	E1	E2	F1	F2 - M3 arası
Alkolle temizlendikten sonra	7–10 gün	3–6 gün	1–2 gün	1 saat
Damıtılmış suyla temizlendikten sonra	4–6 gün	2–3 gün	1 gün	1 saat

B.4.3 Termal stabilizasyon Herhangi bir kalibrasyon testi yapılmadan önce, ağırlıkların laboratuvar ortamı koşullarına uygun hale getirilmesi gerekir. Özellikle E₁, E₂ ve F₁ sınıfı ağırlıkların tartım alanındaki sıcaklığa yakın olması gerekir.

B.4.3.1 Sıcaklık stabilizasyonu için gerekli zorunlu asgari süreler (ağırlık büyüklüğü, ağırlık sınıfı, ağırlıklar arasındaki ilk sıcaklık farkı ve laboratuvardaki oda sıcaklığına bağlı olarak) Tablo B.2’de gösterilmiştir. Pratik bir uygulama olarak 24 saatlik bir bekleme süresi önerilir.

Tablo B.2 [11] Saat olarak termal stabilizasyon

ΔT^*	Nominal değer	E1 Sınıfı	E2 Sınıfı	F1 Sınıfı	F2 Sınıfı
$\pm 20\text{ }^\circ\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	79	5
	100, 200, 500 kg	-	70	33	4
	10, 20, 50 kg	45	27	12	3
	1, 2, 5 kg	18	12	6	2
	100, 200, 500 g	8	5	3	1
	10, 20, 50 g	2	2	1	1
	< 10 g		1		0.5
$\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	1	1
	100, 200, 500 kg	-	40	2	1
	10, 20, 50 kg	36	18	4	1
	1, 2, 5 kg	15	8	3	1
	100, 200, 500 g	6	4	2	0.5
	10, 20, 50 g	2	1	1	0.5
	< 10 g		0.5		

ΔT^*	Nominal değer	E1 Sınıfı	E2 Sınıfı	F1 Sınıfı	F2 Sınıfı
$\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	1	0.5
	100, 200, 500 kg	-	16	1	0.5
	10, 20, 50 kg	27	10	1	0.5
	1, 2, 5 kg	12	5	1	0.5
	100, 200, 500 g	5	3	1	0.5
	< 100 g	2	1		0.5
$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	-	-
	100, 200, 500 kg	-	1	0.5	0.5
	10, 20, 50 kg	11	1	0.5	0.5
	1, 2, 5 kg	7	1	0.5	0.5
	100, 200, 500 g	3	1	0.5	0.5
	< 100 g	1		0.5	

* ΔT = Ağırlık sıcaklığı ve laboratuvar sıcaklığı arasındaki ön fark.

B.5 Yüzey pürüzlülüğü

B.5.1 Giriş

Ağırlık kütesinin sabitliği büyük ölçüde ağırlığın yüzey yapısına bağlıdır. Pürüzsüz yüzeyi olan bir ağırlığın aynı koşullarda pürüzlü yüzeyi olan ağırlıktan daha sabit olması beklenir. Ağırlık yüzeyinin yüzey pürüzlülüğü belirlenirken temiz olması çok önemlidir.

B.5.1.1 Görünürde çizigi olmayan yeni ağırlıklar için, yüzey pürüzlülüğü iyi belirlenmiş bir yöntemle sayısal olarak belirlenebilir. Çok çizikli yüzeyler için bu daha zor olur. Boyutsal metrolojide, yüzey pürüzlülüğü çizik gibi yüzey kusurlarından net bir biçimde ayrılır. Ancak, ağırlık toza maruz kaldığında çizikler kir toplar, böylece çizik miktarı yüzeyin çizilmemiş kısmının pürüzlülüğüne paralel olarak değerlendirilir. Yüzey pürüzlülüğü değerlendirmesi sadece 1 gr'a eşit ve daha büyük E ve F sınıfı ağırlıklar için uygundur.

B.5.2 Genel değerlendirme

Bir ağırlığın pürüzlülüğü değerlendirilirken öncelikle görsel kontrol yapılır. Ancak E ve F sınıfı ağırlıklar için, bir stylus aleti (SI) kullanılarak, pürüzlülük mukayese numunesiyle (CS) bir değerlendirme yapılabilir.

Uyarı: Stylus aletinin kullanımı ağırlık yüzeyine zarar verebilir ya da yüzeyi çizebilir.

Yüzey pürüzlülüğü çeşitli pürüzlülük parametreleriyle belirlenebilir. Her bir parametre, yüzeyin belirli bir işlevi için önemli olan yüzey özelliğini açıklar.

B.5.2.1 Mukayese numunesi (CS yöntemi)

Yüzey pürüzlülüğünün gerçek değerine gerek duyulmuyor ve yalnızca belirli bir şarta uyum aranıyorsa, yüzey belirli bir mukayese numunesiyle görsel olarak pürüzlülük kontrolüne tabi tutulabilir. Bu numune, belirginliği artan pürüzlü kısımların yüzey tanziminden oluşur. Numune akredite bir laboratuvar tarafından kalibre edilmişse ve belgesi varsa belgelendirilmiş kabul edilir. Belgeye pürüzlülük parametresi, R_z ya da R_a da dahil edilmelidir. Mukayese numunesinin yüzeyinde benzer bir düzen olmalı ve üretimde ağırlık yüzeyleri ile benzer makine yöntemleri kullanılmalıdır. Ağırlıkların silindirik yüzeyin yanı sıra düz yüzeyleri de olduğu için, biri silindirik diğeri düz yüzeyli olmak üzere iki set numune kullanılır.

B.5.2.2 Stylus aleti (SI yöntemi)

Stylus aleti yüzey pürüzlülüğünü konvansiyonel olarak ölçer. Bu aletle, keskin bir stylus, yüzeyde bir hat boyunca dikkatle uygulanır ve stylus aletinin dikey hareketleri hat boyunca pozisyon işlevi olarak kaydedilir. Bu sayede, yüzeyin bir profili kaydedilmiş olur.

Uyarı: Style aletinin kullanımı ağırlığın yüzeyine zarar verebilir ya da yüzeyi çizebilir.

B.5.2.3 Diğer aletler

Dağılan ışığın ölçümü gibi pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan aletler gibi geleneksel aletlerden farklı aletler de vardır [12].

B.5.3 Test prosedürleri

B.5.3.1 Görsel kontrol (E, F ve M sınıfı ağırlıklar)

B.5.3.1.1 Aparat

- İyi aydınlatılmış oda;
- Laboratuvar eldivenleri;
- Tiftiksiz bez.

B.5.3.1.2 Ölçüm prosedürü

B.5.3.1.2.1 Yeni ağırlıklar

- Bütün ağırlıklar için yüzey ağırlığını görsel olarak kontrol edin: 1) Yüzeyde girinti çıkıntı ya da derin çizikler olup olmadığını not edin; 2) Yüzeyler pürüzsüz olmalıdır (bkz 11.1.1); 3) Kenarlar sivri olmamalıdır; 4) 1 gr-10 kg arası ağırlıklarda ağırlığın yüzeyi gözenekli olmamalıdır.
- E ve F sınıfları için, ağırlık yüzeyini görsel olarak kontrol edin: 1) Yüzeyler gözenekli olmamalıdır (bkz 11.1.2); 2) Yüzeyler parlak olmalıdır.
- M sınıfı 1 gr – 50 kg arası silindirik ağırlıklar için ağırlığın yüzeyi pürüzsüz ve gözeneksiz olmalıdır.
- M sınıfı dikdörtgen ağırlıklar için (5 kg, 10 kg, 20 kg ve 50 kg), yüzeyin cilası gri dökme demir gibi olmalıdır (11.1.3).
- 50 kg'a eşit ya da büyük M_3 sınıfı ağırlıklar için, yüzey sızdırmazlığını koruyarak korozyona karşı koruma sağlayacak materyallerle yüzey kaplanabilir. Bu kaplama, şok ve diğer atmosfer koşullarına dayanıklı olmalıdır (8.5.1).

B.5.3.1.2.2 Kullanılmış ağırlıklar

B.5.3.1.2.1'in yanı sıra, aşağıda belirtildiği şekilde ağırlık yüzeyindeki izleri kontrol edin.

Ağırlık yüzeyini görsel olarak kontrol edin. Kullanılmış ağırlıklarda çoğu zaman özellikle alt yüzeyde çizikler olur: 1) çiziklerin sayısı ve derinliği ağırlığın yeterli sabitliği (adequate stability) ile uyumluysa ağırlık uygundur; 2) Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi sırasında, tek tek çizikler ve diğer kusurlar dikkate alınmamalıdır; ya da 3) çizikler yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesine imkan vermeyecek kadar çoksa ağırlık uygun değildir.

B.5.3.1.3 Sonuçların kaydedilmesi

Değerlendirmeleri, değerlendirme yöntemi olarak "görsel kontrol" ibaresini belirterek ve R 111-2 *Test Rapor Formatında* yer alan formları kullanarak kaydedin.

B.5.3.2 Pürüzlülük mukayese numunesi (CS yöntemi) (E ve F sınıfı ağırlıklar)

Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlülük mukayese numuneleriyle görsel olarak kıyaslanabilir.

B.5.3.2.1 Aparat

- Temiz ve onaylanmış bir pürüzlülük mukayese numunesi (bkz. B.5.2.1);
- İyi aydınlatılmış bir oda;
- Laboratuvar eldivenleri;
- Tiftiksiz bez.

B.5.3.2.2 Ölçüm Prosedürü

- Alkole batırılmış temiz tiftiksiz bezle mukayese numunesinin yüzeyini temizleyin. Ağırlığın yüzeyi temiz görünmüyorsa onun da temizlenmesi gerekir.

Not: Temizlik sırasında ağırlığın kütlesi çok değişebilir. Ağırlıkların temizliği için B.4'e bakınız.

- İki yüzey birbirine paralel duracak şekilde ağırlığı mukayese numunesi kesitine karşı tutun.
- Her iki yüzeye farklı açılardan aynı anda bakın.
- Ağırlığın pürüzlülüğünün pürüzlülük mukayese numunesinin belirli kesitinden az ya da çok olup olmadığına bakın.
- Mukayese numunesinin farklı bölümleriyle bunu tekrarlayın ve üst limiti belirleyin.

B.5.3.2.3 Sonuçların rapor edilmesi

Değerlendirme yöntemi olarak "CS" ibaresini belirterek ve R 111-2 *Test Rapor Formatında* yer alan formları kullanarak test ağırlığına en yakın R_a ve R_z değerlerini kaydedin. Görsel değerlendirmede ağırlık yüzeyi pürüzlülüğünün, R_z ya da R_a , 11.1.2'de belirtilen en yüksek değerden küçük olduğu açıkça görülüyorsa, daha fazla pürüzlülük ölçümüne gerek yoktur. Şüpheli bir durumda ise, pürüzlülük, R_z ya da R_a , stylus aleti ile tekrar ölçülmelidir.

B.5.3.3 Stylus aleti kullanılarak yapılan sertlik ölçümü (SI yöntemi) (E ve F sınıfı)

Bu bölüm yalnızca yüzey sertlik gereksiniminin görsel incelemeyle net bir biçimde değerlendirilemediği ağırlıkları kapsar. Kullanımdan önce stylus aletinin ISO 5436 [13]'e uygun olarak belgelendirilen kalibrasyon numuneleri kullanılarak kalibrasyonu sağlanmalıdır. Ancak uzunluk biriminin izlenebilirliği belgelendirilmişse diğer aletler kullanılabilir.

B.5.3.3.1 Aparat

a) ISO 3274 [14]'te belirtildiği şekliyle Stylus aleti, b) laboratuvar eldivenleri.

B.5.3.3.2 Ölçüm prosedürü (ISO 4288 [15]'e uygun)

a) En az 6 ölçüm yapın: 1) iki tanesi düzlemin üst yüzeyinde; ve 2) dört tanesi silindirik yüzey üzerinde.

b) izlenen profillerdeki çizilme ve siğir yüzey hasarını buna dahil etmeyin.

c) Ölçülen yüzey sertlik değerlerinin hepsi, R_z ya da R_a , 11.1.2.'deki Tablo 6'da belirlenen en yüksek değerlerden küçük olmalıdır.

B.5.3.3.3 Sonuçların bildirilmesi

Değerlendirme yöntemini "SI" olarak belirterek R_a ve R_z değerlerini R 111-2 *Test Rapor Formatında* yer alan formları kullanarak test ağırlığına en yakın değerleri kaydedin.

B.6 Manyetizma

B.6.1 Giriş

Sistematik araştırma yapılmaksızın manyetik güçler kütlenin belirlenmesinde yerçekimi etkisinden ayırt edilemeyeceği için manyetik güçler tartım sürecini olumsuz etkileyebilir. Manyetik güçler kütle standardı, tartım için kullanılan kütle komparatörü ve yakında bulunan diğer manyetik nesnelere arasındaki ve iki kütle standardı arasındaki karşılıklı etkileşimden ortaya çıkabilir.

B.6.1.1 Genel hususlar

Kütle standartlarının manyetik özellikleri (manyetizasyon ve hassasiyet), manyetik etkileşimlerin önemsiz düzeyde olduğunun temin edilebilmesi açısından kütle kalibrasyonundan önce (Ek C) belirlenmelidir. Manyetizma testini geçemeyen ağırlık kalibre edilmemelidir.

B.6.1.1.1 Alüminyumdan yapılmış ağırlıkların manyetik özelliklerini ölçmeye gerek yoktur çünkü onlar 0.01'den az manyetik hassasiyetle, χ , manyetik kabul edilmez. Bunun yanı sıra, küçük ağırlıklar (< 2 g) ve düşük doğruluk sınıfındaki (F_1 ve düşük < 20 g) ağırlıklar için, üreticide bulunan ağırlık yapımında kullanılan materyalin manyetik özelliklerine bakmak gerekir (bkz. B.6.3).

B.6.1.1.2 M sınıfında yer alan ağırlıklar dökme demir ya da basit çelik alaşımdan yapılmıştır. Buna bağlı olarak, M sınıfı ağırlıkların ağırlık ile tartı aleti arasındaki manyetik etkileşime bağlı olarak E ve F sınıf ağırlıklara nazaran daha büyük rölatif hatası bulunur. Bütün metallerin belirli bir manyetik hassasiyeti vardır. Ancak, manyetik katışıklığa sahip alaşımların hassasiyeti fazladır, bu nedenle manyetize olabilirler.

Not: Ağırlıkların yanlarındaki manyetik etkilerin de dikkate alınması gerekir ancak R 111'in bu versiyonunda kapsama alınmamıştır.

B.6.1.2 Test prosedürlerine genel bakış

B.6.2 ile B.6.6 arasındaki bölümlerde ağırlıkların manyetizasyonunun (B.6.2 and B.6.4) belirlenmesine iki kabul gören yöntem ve manyetizasyonun ve manyetik hassasiyetin hesaplanmasında kullanılan formül de dahil olmak üzere manyetik hassasiyetin (B.6.3, B.6.4, B.6.5, B.6.6) belirlenmesinde kabul gören dört yöntem açıklanmaktadır. Kalıcı manyetizasyon ve manyetik hassasiyet limitleri 9.1 ve 9.2'de verilmiştir. Çeşitli doğruluk sınıfları ve nominal kütleler için önerilen yöntemler B.3(a), B.3(b) ve B.3(c) tablolarında gösterilmiştir. Geçerliliği test raporuna ekli belgelerde gösterilen alternatif yöntemler de kullanılabilir.

Not: Ağırlıkların manyetizasyonunun kapsamlı olarak belirlenmesi pratik olmayacaktır. Burada gösterilen yöntemler, etkili olduğu kanıtlanmış yaklaşımlara dayalıdır. Burada gösterilen farklı yöntemlerin

sonuçlarının tutarsız olması halinde, tercih sırası şöyle olur: B.6.4, B.6.2 (Hall probu), B.6.2 (fluxgate probu).

B.6.2 Kalıcı manyetizasyonun belirlenme yöntemi, Gaussmetre

Bir ağırlığın kalıcı manyetizasyonunun ağırlığa yakın bir manyetik alanı Gaussmetreyle ölçümü tahmin edilebilir. Bu yöntem Tablo B.3 (c)'de sıralanan bütün doğruluk sınıfları için kullanılabilir.

B.6.2.1 Genel hususlar

- Testin yapıldığı odanın teste başlamadan önce Gaussmetreyle ortamın manyetik alan yönü için kontrol edilmesi gerekir. Testin demirmanyetik nesnelere bulunmadığı bir alanda yapılması gerekir. Test operatörü demir içeren nesnelere taşımamalıdır.
- Manyetik alanı sözcüğü bir Hall sensörü (tercih edilir) ya da fluxgate manyetometreyle ağırlığa bağlı olarak ölçün. Fluxgate manyetometre 100 g'dan küçük ağırlıklar için kullanılmamalıdır. Probu duyarlı ekseninin ağırlığın yüzeyine dik gelecek şekilde ayarlayın.
- Prob tarafından algılanan ortam manyetik indüksiyonunun sifıra yakın olacağı yönde ölçüm yapılmalıdır.
- Bunun yerine, ortam indüksiyonunun değeri ağırlığın mevcut olduğu durumda ölçülen indüksiyondan düşülebilir.

B.6.2.2 Aparatlar

- Gaussmetre (Hall sensörü ya da fluxgate manyetometre gibi);
- Ağırlıkları kaldırmak için kullanılan aletler (örn. laboratuvar eldivenleri, tiftiksiz kumaş, laboratuvar cımbızı); ve
- iyi aydınlatılmış oda.

B.6.2.3 Ölçüm prosedürü

- Ölçeri (meter) sıfırlayın.
- Probu manyetik olmayan bir yüzey üzerine yerleştirin.
- Probu belirli bir yönetime sevk ederek manyetik alanı okuyun. Değer, ortam manyetik alanının ölçümünü verir. Okunan bu değer daha sonra ağırlığın üzerinde ya da yakınında alınan okumalardan düşülür.
- Probe yönelimini korurken ağırlığı sensörün üzerine yerleştirin. Ağırlık dibinin merkezi sensör üzerine yerleştirilmelidir. Ağırlığı merkezden kenara taşıyarak homojen manyetizasyonu kontrol edin ve okumadaki farkları gözlemleyin. Rahat bir şekilde azalmazsa, ağırlık homojen olarak manyetize olmamış demektir.
- Eğer homojen olarak manyetize olmuşsa, ölçümler ağırlık yüzeyine yakın olarak dibin merkezinde temas olmadan Gaussmetredeki açıklamalara uygun olarak yapılabilir.

Not: Fluxgate gibi bazı problemler için sensör probun sonundan belirli bir mesafe uzakta yerleştirilir [16]. Bu durum genellikle ağırlığın mümkün olduğu kadar yakınına yerleştirilen Hall sensörüyle elde edilen alan kuvveti için düşük çaplara neden olur. Ağırlık homojen bir biçimde manyetize edilmişse, ölçümler silindirik ağırlığın en azından yarıçapı ya da dikdörtgen ağırlığın en azından en büyük boyutu kadar yüzey mesafesinde ağırlığın merkez eksenini boyunca yapılır. Probu okumaları aşağıda verilen formülle düzeltilmelidir.

- f) Göstergesi okuyun (mT olarak olabilir). μT olarak kaydedin.
- g) Tepesini ölçmek için (yalnızca üstü düz ağırlıklar için) ağırlığı ters çevirin ve yukarıdaki d-f aşamalarını tekrar edin.
- h) Prob okumasını düzeltin ve aşağıdaki denklemlerle polarizasyonu $\mu_0 M$, hesap edin:

$$\mu_0 M = \frac{2B}{\frac{d+h}{\sqrt{R^2 + (d+h)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2 + d^2}}} - f(B_E) \quad (B.6.2-1)$$

$$M \text{ sınıfı için } f(B_E) = 5.4 B_E \quad (B.6.2-2)$$

$$\text{ve E ve F sınıfları için } f(B_E) = \frac{\chi}{1 + 0.23\chi} B_E \quad (B.6.2-3)$$

burada: B = mevcut ağırlıklarla birlikte Gaussmetre göstergesi (ortam alanı düşülmüş, bkz c);
 B_E = mevcut olmayan ağırlık ile ortamın manyetik alanının Gaussmeter göstergesi;
 d = sensör elemanının (prob içinde) merkezi ile ağırlık yüzeyi arasındaki mesafe
 h = ağırlığın yüksekliği;
 R = silindirik ağırlığın yarı çapı, ya da dikdörtgen ağırlık durumunda ağırlığın ölçülen düzlem ile aynı alana sahip dairenin yarı çapı
Not: B ve B_E , bazı durumlarda, farklı olabilir. i) Kullanılan ekipman ile mesafe her durumda bu test raporunda not edilmelidir.

- i) Kullanılan ekipman ve uzaklık her durumda bu test raporuna not edilmelidir.

B.6.2.4 Belirsizlik

Bu araçlar, Tablo 3'te verilen hata limitinin üçte birinden az bir belirsizlik limitiyle manyetizasyonun belirlenmesi gereksinimiyle doğru orantılı belirsizlikle kalibre edilir. Bu prosedür manyetizasyonun belirsizliğini yaklaşık %30 (Gaussmetre kalibrasyon belirsizliği dahil) oranında genişletir, U ($k = 2$). Yöntemdeki sadeleştirmeler bu belirsizliği gidermez. Bu şekilde belirlenen manyetizasyon çok kullanışlı bir değer değildir.

B.6.2.5 Sonuçların kaydedilmesi

R 111-2 *Test Rapor Formatını* kullanarak ölçüm sonuçlarını kaydedin.

B.6.3 Materyal belirleme

Manyetik hassasiyet, ağırlığın üretilmesinde kullanılan metal parçadan alınan test parçası üzerinde B.6.4 prosedürünün uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Bu durumda, ölçümün büyüyen belirsizliği, U ($k = 2$), metal parçada bu parametrenin muhtemel varyasyonu da dikkate alınarak %20 arttırılabilir. Ancak, tamamlanan ağırlıkların hepsi, Tablo 3'te verilen gerekleri yerine getirmelidir. Manyetik hassasiyetin ölçümünde uygunluk etkilerine bağlı olarak ağırlığa uygulanan manyetik alanın küçük olması gerekir (tipik çelik alaşım için $<4\text{kAm}^{-1}$).

B.6.3.1 Alüminyumdan üretilen ağırlıkların manyetik hassasiyeti vardır, $\chi \ll 0.01$.

B.6.3.2 2 g'dan küçük ağırlıklar için, üretimde kullanılmış materyalin manyetik özelliklerine ilişkin üreticide bulunan şartnameye bakınız.

B.6.3.3 20 g'dan küçük F sınıfı ağırlıklar için, üretimde kullanılmış materyalin manyetik özelliklerine ilişkin üreticide bulunan şartnameye bakınız.

B.6.4 Manyetik hassasiyet ve kalıcı manyetizasyon, susceptometre yöntemi

B.6.4.1 Test prensipleri

Kuvvetli kalıcı mıknatısın (bkz. Şekil B.1) manyetik alanında yer alan kütle standardı üzerine uygulanan kuvvetle ölçülen zayıf manyetik ağırlıkların kalıcı manyetizasyonu ile manyetik hassasiyeti belirlemek için bu yöntem kullanılır.

Bu yöntem yalnızca manyetik hassasiyeti, $\chi < 1$, olan ağırlıklara uygundur. Susceptometre yöntemi çok parçalı ağırlıklar için önerilmez. Bu yöntemi kullanabilmek için referans [6]'yı bilmek gerekir. Tipik bir uygulamada, susceptometre'nin tabloda mıknatısa yakın ve dik olarak yukarısında sınırlı seviyede ölçüm hacmi (10 cm^3 gibi) olur. 2 kg'dan büyük ağırlıklar için ölçümü ağırlığın tabanının ortasında yapın (kalıcı manyetizasyonu taban boyunca çeşitli noktalarda ölçmek gerekiyorsa susceptometre yerine Gaussmetre kullanın). Genellikle ağırlık dik tutulur. Yanların ya da yukarısının manyetik özelliklerinin ölçülebilmesi için daha kapsamlı yöntemlere gerek vardır [6].

B.6.4.2 Genel hususlar

Çok yüksek manyetik alana ($> 2 \text{ kA m}^{-1}$ - E_1 sınıfı tipik çelik alaşım için) maruz kaldığında kullanılan **prosedüre bağlı olarak test ağırlığında kalıcı manyetizasyon** oluşma riski vardır. E_1 sınıfı ağırlıkların testleri için örneğin Z_0 mesafesinde ağırlığın tabanı ile mıknatısın yarı yüksekliği arası yaklaşık 20 mm'dir (bkz. Şekil B.1). Numunenin hassasiyeti düzgün bir sinyal veremeyecek kadar küçük ise Z_0 'ı azaltın [6]. Yüksek hassasiyetli ağırlıkları test ederken ek önlemlere gerek duyulur (bkz B.6.4.5 c).

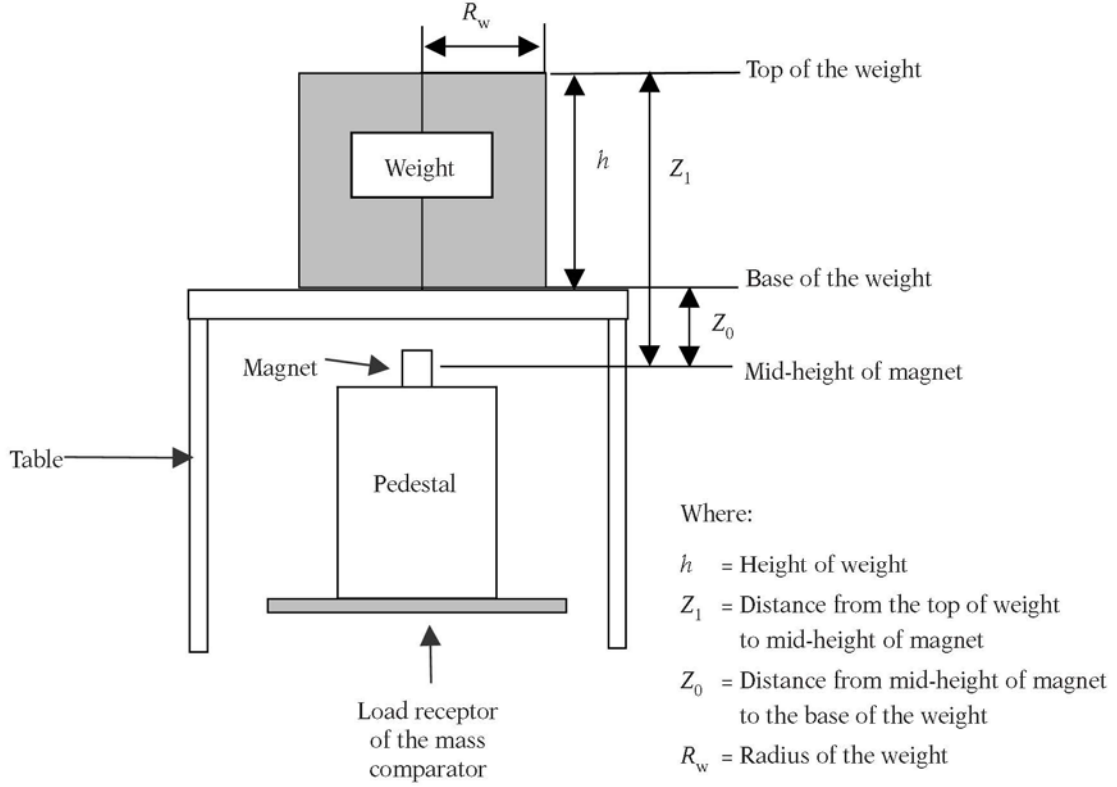
B.6.4.3 Aparat

- Ölçek aralığı $10 \mu\text{g}$ 'den büyük olmayan bir tartı aleti;
- Ağırlığı koymak üzere manyetik olmayan masa;
- Üzerine mıknatısları koymak için bir silindir;
- manyetik momenti 0.1 A m^2 düzeninde, m_d , olan silindirik mıknatıslar (bu moment hacmi yaklaşık 100 mm^3 olan tipik samaryum-kobalt ya da neodimyum-demir-bor mıknatısları için tipiktir) [6].

B.6.4.4 Aparatın görünümü

Yükseklik-çap oranının 1 olması kabul edilebilir olsa da mıknatısın yüksekliğinin çapın 0.87 misline eşit olması tercih edilir [6]. Z_0 , mıknatısın yarı yüksekliği ile ağırlık tabanı arasındaki mesafedir.

Figure B.1 Apparatus for magnetic susceptibility and magnetization, the susceptometer method



B.6.4.5 Ölçüm prosedürü

Test, büyük demirli cisimlerin olmadığı bir ortamda yapılmalıdır. Operatörün de üzerinde demir ya da demirli cisim olmamalıdır.

- a) Farklı parametreleri ölçün (Z_0 , R_w , h), aparatın resmine bakın, Şekil B.1, ayrıca Z_0 ölçümüne bakın [6].
- b) Yer çekimine bağlı ivme değeri, g , yaklaşık %1 oranında bilinmelidir.
- c) Miknatısı kuzey kutbu aşağıyı gösterecek şekilde yerleştirin (silindirik miknatısın kuzey kutbu, pusula ibresinin bulmaya çalıştığı uçtur). Çift kutuplu momente, m_d , ihtiyaç duyulur.

Miknatıs, masanın üst yüzeyinde maksimum bir alan oluşturur

$$H = \frac{m_d}{2\pi \times Z_0^3} \quad (B.6.4-1)$$

H , $A m^{-1}$ cinsindedir; m_d , $A m^2$ olarak; Z_0 ise m olarak yer alır.

Öncelikle E_1 sınıfı ağırlıklar test edilirken H 'nin $2000 A m^{-1}$ 'i, E_2 sınıfı ağırlıklar test edilirken $800 A m^{-1}$ 'i, başka sınıflardaki ağırlıklar test edilirken de $200 A m^{-1}$ 'i aşmaması önemlidir. H alanı, yalnızca susceptometre sinyalinin çok düşük olması halinde arttırılabilir. Bu durumda H alanı, yüksekliğin azaltılmasıyla, Z_0 arttırılabilir.

- d) Aleti sıfırlayın.
- e) Ağırlığı masanın üzerine eksenini manyetik dikey eksenine kesecek şekilde yerleştirin ve ölçümü alın. Ağırlığı kendi dikey eksenini etrafında açıları büyütürken birkaç defa döndürün ve her

pozisyonda ölçümü alın. Aşağıdaki prosedürlerde, ağırlığı okumanın sıfırdan en büyük sapmayı gösterdiği açıya çevirin.

- f) Ağırlığı masanın üzerine üç defa doğrudan mıknatıs üzerine yerleştirin. Ağırlığın iyi ortalandığından emin olun. 1) Yükün yerleştirildiği zamanı, okumanın alındığı zamanı ve yükün geri alındığı zamanı kaydedin 2) Tekrarlanan okumalardan Δm_1 'i hesaplayın. Genellikle Δm_1 negatiftir, bu durum mıknatısın ağırlığa çok az çekildiğini gösterir. 3) F_1 kuvveti $F_1 = -\Delta m_1 \times g$ olarak belirlenmiştir (B.6.4-2).
- g) Ölçüm ters yüz edilen mıknatısla tekrarlanmalıdır. 1) Z_0 mesafesi sabit tutulmalıdır. 2) Aleti sıfır noktasına getirin. 3) Yeniden ağırlığı masanın üzerine üç defa doğrudan mıknatısın üzerine yerleştirin. Ağırlığın ortalanmasına özen gösterin. 4) Yükün yerleştirildiği zamanı, ölçümün yapıldığı zamanı ve yükün çekildiği zamanı kaydedin. 5) Tekrarlanan ölçümlerden Δm_2 'yi hesaplayın. Normalde Δm_2 negatif ancak Δm_1 'den çok farklı olur 6) F_2 kuvveti $F_2 = -\Delta m_2 \times g$ olarak hesaplanır (B.6.4-3)
- h) Yukarıdaki d-g işlemlerini tekrarlayın.

B.6.4.6 Hesaplamalar

Aşağıda verilen denklemlere farklı parametreler yerleştirerek ağırlığın manyetik hassasiyetini, χ , ve kalıcı manyetizasyonunu, M_z , hesaplayın. Havanın hassasiyetinin her zaman önemsenmeyecek kadar düşük olduğunu varsayın.

B.6.4.6.1 F_1 ve F_2 'nin ikisinin birden ölçüldüğü durumlarda, **manyetik hassasiyet** ifadesi şöyle verilir:

$$\chi = \frac{F_a}{I_a \times F_{\max} - 0.4F_a} \quad (B.6.4-4)$$

burada:
$$F_{\max} = \frac{3\mu_0}{64\pi} \times \frac{m_d^2}{Z_0^4}$$

(B.6.4-5)

$$F_a = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

Manyetik polarizasyon için ise:

$$\mu_0 M_z = \frac{F_b}{\frac{m_d}{Z_0} \times \frac{1}{4\pi} \times I_b} - \frac{\chi}{1 + 0.23\chi} B_{EZ} \quad (B.6.4-6) \quad (B.6.4-7)$$

burada:
$$F_b = \frac{F_1 - F_2}{2} \quad (B.6.4-8)$$

B_{EZ} laboratuvarın manyetik indüksiyon ortamının dikey unsurudur. Genellikle, B_{EZ} laboratuvarın bulunduğu yerde toprağın manyetik indüksiyonunun dikey unsuru olarak alınabilir; bu durumda, enleme bağlı olarak $-48\mu T < B_{EZ} < 60 \mu T$ olur. B_{EZ} 'in çapı ekvatorda sıfır, kutuplarda ise en yüksek değerdedir. B_{EZ} göstergesi kuzey yarımkürede pozitif, güney yarımkürede ise negatiftir.

B.6.4.6.2 Yukarıdaki geometrik düzeltme faktörleri, I_a , ve I_b , sırasıyla şu şekilde verilmiştir:

$$(B.6.4-9) \quad I_a = 1 - \left[\frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 - \frac{1 + \left(\frac{R_w}{Z_0} \right)^2}{\left[1 + \left(\frac{R_w}{Z_0} \right)^2 \right]^3} + \left[\frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 \times \frac{1 + \left(\frac{R_w}{Z_1} \right)^2}{\left[1 + \left(\frac{R_w}{Z_1} \right)^2 \right]^3}$$

(B.6.4-10)

$$I_b = 2\pi \left[\frac{\left(\frac{R_w}{Z_0} \right)^2}{\left(1 + \left(\frac{R_w}{Z_0} \right)^2 \right)^{3/2}} - \frac{\left(\frac{R_w}{Z_0} \right)^2 / \left(\frac{Z_1}{Z_0} \right)^3}{\left(1 + \left(\frac{R_w}{Z_1/Z_0} \right)^2 \right)^{3/2}} \right]$$

I_a ve I_b ile ilgili daha fazla bilgi için [6]'ya bakınız. Havanın hassasiyeti tüm uygulamalarda göz ardı edilebilir.

B.6.4.6.3 Yukarıda verilen formüller sadece silindirik ağırlık içindir. Ağırlığın kusursuz silindir biçimi yoksa, ek düzeltmeler ya da daha büyük belirsizlik gerekebilir. Örneğin, girintili taban, topuz, vs. için yapılacak diğer hesaplamalar [6]'da detaylarıyla verilmiştir. Bu tür şekil etkilerinin düzeltmeleri %10'a tekabül eden en küçük kütlelerde (2 gr) en büyüktür.

B.6.4.7 Belirsizlik

Bu prosedür %10-20 aralığında manyetik hassasiyet için belirsizlik yaratır. Bu yöntemdeki belirsizlik küçük ağırlıklar için daha fazladır [17, 18, 40].

B.6.4.8 Sonuçların kaydedilmesi

Sonuçları R 111-2 *Test Rapor Formatında* yer alan formları kullanarak kaydedin.

B.6.5 Manyetik hassasiyet, çekme yöntemi

B.6.5.1 Test ilkeleri

Bu yöntemle belirlenen miktar, kütle standardı üzerindeki manyetik kuvvet ile geçirgenlik standarı üzerindeki ilgili kuvvetin kıyaslanmasıyla belirlenen rölatif manyetik geçirgenliktir (bkz Şekil B.2). Manyetik hassasiyet, χ , rölatif manyetik geçirgenlik ile manyetik hassasiyet arasındaki ilişki için denklem kullanılarak hesaplanır ($\mu_r = 1 + \chi$).

Bu yöntem 20 g ve daha büyük ağırlıklar ve $E_2 - F_2$ sınıfı ağırlıklar için kullanılabilir [18 ve 19] (ayrıca bkz Tablo B.3(b)). Genellikle bu yöntem için $1.01 \leq \mu_r \leq 2.5$ ($0.01 \leq \chi \leq 1.5$) aralığında manyetik geçirgenliği belirlemek için uygun aletler kullanılır.

B.6.5.2 Genel hususlar

Bu yöntemin dezavantajı kullanılan aletlerin kalibrasyonunun zor olmasıdır.

Uyarı: Bu prosedürde test ağırlığında kalıcı manyetizasyona neden olma riski vardır.

Mıknatıs, manyetik geçirgenliği büyük olan ağırlık ya da referans materyaline çekilir.

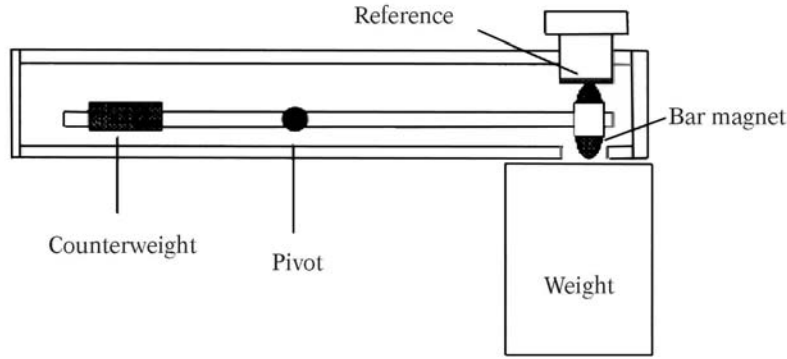
B.6.5.3 Aparat

- pivot üzerinde abra (counterweight) ile dengelenmiş bir mıknatıs (Şekil B.2);
- bilinen manyetik geçirgenliği olan bir referans materyali;
- ağırlıkları kaldırmak için kullanılan aletler (örn. Laboratuvar eldivenleri, tiftiksiz bez, laboratuvar cımbızları);
- iyi aydınlatılmış oda.

B.6.5.4 Aparatın görünümü

Şekil B.2'de aparatın görünümü verilmiştir. Genellikle alet içerisinde çeşitli ek unsurlar (referans materyalleri) yer alır.

Figure B.2 Apparatus for magnetic susceptibility, the attracting method



B.6.5.5 Ölçüm prosedürü

- alet içerisine bilinen rölatif manyetik geçirgenliği olan uygun bir referans materyali yerleştirin.
- aşağıyı gösteren mıknatısla sabit pozisyonda aleti yükleyin.
- ağırlığı alete doğru alete değene kadar yaklaştırın (bilinen referans materyaliyle bar mıknatısı (bar magnet)).
- ağırlığı dikkatli bir şekilde aletten kaldırın.
- ağırlık bar mıknatısını çekiyorsa, ağırlığın rölatif geçirgenliği referans materyalininkinden yüksek demektir.
- Bu test, ağırlığın üstünde ve altında farklı noktalarda yapılmalıdır. Hassasiyet belirlemelerinde izlenebilirliği sağlamak için prosedürün bilinen hassasiyet numunesi (örn. B.6.4'teki susceptometre ile belirlendiği şekilde) üzerindeki ölçümlerle tekrarlanması gerekir.

B.6.5.6 Belirsizlik

Aletin yaklaşık geçirgenlik belirsizliği en düşük geçirgenlikte ($\mu_r = 1.01$) % 0.3 (%30 hassasiyette) ve en yüksek geçirgenlikte ($\mu_r = 2.5$). %8'dir (% 13 hassasiyette). Ölçüm prosedürünün daha büyük belirsizlikleri olabilir [19].

B.6.5.7 Sonuçların kaydedilmesi

Sonuçları R 111-2 *Test Rapor Formatında* yer alan formları kullanarak kaydedin.

B.6.6 Manyetik Hassasiyet, fluxgate yöntemi

B.6.6.1 Testin İlkeleri

Bu yöntem ile nesneye yakın yerleştirilen kalıcı bir mıknatıs içeren geçirgenlik probu fluxgate magnetometre kullanılarak nesnenin göreceli manyetik geçirgenliği belirlenir [20].

Uyarı: Prosedürün test ağırlığında kalıcı manyetizmaya neden olma riski vardır.

B.6.6.2 Genel Hususlar

Normalde bu yöntem için kullanılan araçlar, $1.0001 \leq \mu_r \leq 2.00$ ($0.0001 \leq \chi \leq 1.00$) aralığında manyetik geçirgenliği belirlemekte kullanılır. Bu belirlemelerde izlenebilirliğin sağlanabilmesi için prosedür bilinen bir hassasiyet örneği üzerinde yapılan ölçümlerde tekrarlanır (örn. Akredite olmuş bir laboratuvar tarafından onaylanmış uygun referanslı materyal).

B.6.6.3 Aparat

- a) Kalıcı mıknatıslı geçirgenlik probu olan bir fluxgate magnetometresi;
- b) Bilinen manyetik geçirgenliğin referans materyali;
- c) Ağırlık kaldırma araçları (örn. Laboratuvar eldivenleri, tiftiksiz kumaş, laboratuvar cımbızı);
- d) İyi aydınlatılmış bir oda.

B.6.6.4 Ölçüm prosedürü

Üretici tarafından verilen şartnameye bakınız.

B.6.6.5 Belirsizlik

Araç, $1.005 \leq \mu_r \leq 1.05$ ($0.005 \leq \chi \leq 0.05$) [20] aralığında yaklaşık %0.2 geçirgenlik belirsizliğine sahiptir (hassasiyette % 40 ila % 4). Üretici tarafından verilen şartnameye bakınız.

B.6.6.6 Sonuçların kaydedilmesi

Ölçüm sonuçlarını R 111-2 *Test Rapor Formatında* yer alan formları kullanarak kaydedin.

B.6.7 Ağırlık Sınıfı ve Ağırlık Büyüklüğü ile Manyetizasyon ve Hassasiyetin Belirlenmesinde Önerilen Yöntemler

B.6.7.1 Biten ağırlıklarda yapılan ölçümler.

B.6.7.2 Tüm doğruluk sınıflarında manyetizmanın belirlenmesi için Gaussmeter (B.6.2), kullanılabilir. ≥ 1 g nominal değerler için Hall sensör ve ≥ 100 g nominal değerler için Fluxgate kullanılır.

B.6.7.3 B.3(a), (b) ve (c) tabloları çeşitli ağırlık sınıfları için önerilen prosedürleri gösterir.

Tablo B.3(a) Kalıcı manyetizma, susceptometer yöntemi (B.6.4)

Ağırlık Büyüklüğü	Sınıf
≥ 20 g	E1, E2, F1 ve F2 Ayar boşluğu olmayan ağırlıklar
$2 \text{ g} \leq m < 20$ g	E1, E2 ve F1
≤ 2 g	E1 ve E2

Tablo B.3(b) Hassasiyet

Weight size	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Class F ₂
5 000 kg				
2 000 kg				
1 000 kg		F	F	F
500 kg		A	A	A
200 kg		S*	S*	S*
100 kg				
50 kg	S F	F A S	F A S	F A S
20 kg				
10 kg				
5 kg				
2 kg				
1 kg				
500 g				
200 g				
100 g	S	S	A S	A S
50 g				
20 g				
10 g				
5 g				
2 g				
1 g	Sp	Sp	Sp	Sp
500 mg				
200 mg				
100 mg				
50 mg				
20 mg				
10 mg				
5 mg				
2 mg				
1 mg				

Weight size: Ağırlığın büyüklüğü

Sp Malzemelere ilişkin şartlar (B.6.3)

S Ayar boşluğu olmayan ağırlıklar için Susceptometer (B.6.4)

A Çekme yöntemi (B.6.5)

F Fluxgate + kalıcı mıknatıs (B.6.6)

S* 100 kg-1000 kg arası E₂ sınıfı ağırlıklar için F ve A yöntemler tercih edilir. Çünkü uygun aleti kurup susceptometer ölçümlerini yapmak için harcanan çaba, 100 kg-1000 kg arası E₂ sınıfı ağırlıklar için F ve A yöntemlerle kıyaslandığında yararını aşar. Çok parçalı ağırlıklar için ise susceptometer yöntemi önerilmez.

Tablo B.3(c) Kalıcı manyetizasyon, Gaussmetre (B.6.2)

Ağırlık büyüklüğü	Doğruluk sınıfı
≥ 1 g (Hall sensörü) ≥ 100 g (Fluxgate)	E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3, M3

B.7 Yoğunluk

B.7.1 Giriş

Tablo 5'te ağırlıklar için yoğunluk limitleri belirtilmiştir. Aşağıda ağırlıkların yoğunluğunun belirlenmesinde tercih edilen altı yöntem yer almaktadır. Test raporuna eklenecek uygun belgelerde geçerliliği tanındığı takdirde florokarbon sıvısına batırılmış teraziyle tartma [21] ya da akustik volumetre kullanma [22, 23] gibi alternatif yöntemler de kullanılabilir. A, B, C ve D gibi test yöntemlerinde yoğunluk referansı olarak su ya da diğer bir test sıvısı kullanılır. E ve F yöntemleri düşük ağırlık sınıfları için ya da sıvıya batırmak mümkün olmadığında uygun düşen yöntemlerdir. Tablo B.4'te yoğunluk belirlemede kullanılan yöntemler özetlenmiştir. Tablo B.8'de (B.7'nin sonunda) sınıfa göre yoğunluk belirleme yöntemleri yer alır.

Tablo B.4 Yoğunluk belirleme Yöntemleri

Yöntem	Açıklama
A	En doğru yöntemdir. Hem havada hem de yoğunluğu bilinen bir sıvıda referans ağırlığı ile test ağırlığının mukayese edildiği hidrostatik tekniktir.
B	En hızlı ve en uygun yöntemdir. Ağırlığı suda tartmak ve terazinin göstergesini tabloda gösterilen limit değerlere göre doğrulamak ya da yoğunluğu terazi göstergesinden ve test ağırlığının bilinen gerçek kütesinden hesaplamak bu yöntemin işlem basamaklarını oluşturur.
C	Test ağırlığının kütle ve hacminin ayrı ayrı belirlenmesi. Ağırlık, terazi kefesine yerleştirilen bir su küvetinde bekletilerek terazinin göstergesindeki artıştan hacim hesaplanır.

D	Bu teknik, 1 kg'den büyük ağırlıklar için uygundur. İçeride bir test ağırlık olarak ya da olmadan doğru olarak belirlenmiş hacim kapasitesi bulunan sıvıyla dolu test kabının tartılması işlemidir.
E	Bu teknik, boşlukları olan ve bu nedenle suya batırılması gereken ağırlıklar için uygundur. Ağırlık boyutlarından hacim hesaplanır.
F	Ağırlığın üretiminde kullanılan bilinen alaşım kompozitine dayanarak yoğunluğun hesap edilmesidir.

B.7.1.1 Yoğunluk limitlerinin doğrulanmasında kullanılan test yönteminin belirsizliği de hesaba katılmalıdır. Tablo B.5'te her yöntemle ilişkin genel belirsizlik sunulmaktadır. Her ağırlık için yoğunluğun artan belirsizliği, U (for $k = 2$), limitler dahilinde olmalıdır:

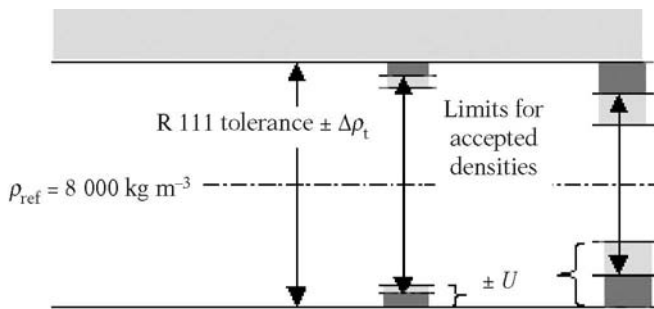
$$\rho_{\min} + U \leq \rho \leq \rho_{\max} - U \quad (B.7.1-1)$$

Ancak, yoğunluk testinin belirsizliği düşük tutulabilirse, Şekil B.3'te görüldüğü gibi doğrulama için daha fazla sonuç çeşitliliği kabul edilebilir. Dikkatli bir çalışmayla düşük belirsizlik sağlanabilir.

Tablo B.5 Yöntem ve ağırlığa göre (kg ve m⁻³) tahmin edilen tipik belirsizlikler U ($k = 2$ için)

Yöntem	50 kg	1 kg	1 g
A1	-	1.5	60
A2/A3	-	3	60
B1	5	5	60
B2	20	20	60
C	10	10	100
D	5	10	-
E	30	40	600
F	130 to 600		

Figür B.3 Ölçüm belirsizliğine bağlı yoğunluk toleransı ve doğrulama limitleri



B.7.2 Genel hususlar

B.7.2.1 Referans sıcaklık

Yoğunluk ifadesinin referans sıcaklığı 20 °C'dir. Ölçüm farklı bir sıcaklıkta yapılırsa (diğer standart laboratuvar sıcaklıkları 23 °C ya da 27 °C'dir), yoğunluk materyalin hacim büyüme katsayısı, γ , da kullanılarak 20 °C'de yeniden hesaplanmalıdır. Eğer γ net olarak bilinmiyorsa paslanmaz çelik ağırlıklarda şu önerilir: $\gamma = 50 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

$$\rho(t_{\text{ref}}) = \rho(t_{\text{meas}}) \times [1 + \gamma(t_{\text{meas}} - t_{\text{ref}})] \quad (\text{B.7.2-1})$$

Ölçüm belirsizliği:

$$u^2(\rho(t_{\text{ref}})) = u^2(\rho(t_{\text{meas}})) \left[\frac{\rho(t_{\text{ref}})}{\rho(t_{\text{meas}})} \right]^2 + u^2(\gamma) \rho^2(t_{\text{meas}}) (t_{\text{meas}} - t_{\text{ref}})^2 + u^2(t_{\text{meas}}) \rho^2(t_{\text{meas}}) \gamma^2$$

B.7.2.2 Küçük ağırlıklar için doğrulama gereklilikleri

Tablo 5'te limit değerleri verilmeyen küçük ağırlıkların yoğunluklarının kontrol edilmesi gerekmez. 1 g'dan küçük ağırlıkların yoğunluğu ağırlığın yapıldığı materyal ile ilgili olarak üreticinin verdiği bilgilere göre F yöntemine göre belirlenmelidir.

B.7.2.3 Batırma sıvısı

Batırma sıvısı ağırlıkları etkilememelidir. Yoğunluğunun sıcaklık fonksiyonu iyi bilindiği [24] [25]¹ve saflığının kontrolü kolay olduğu için damıtılmış ve havası alınmış su tercih edilir [26]². Bu bölümdeki denklemler sıvı yoğunluğu için sabit bir değer olarak kabul edilir. Hesap makinesiyle yapılan hesaplamalar için Tablo B.6'da su için bazı yoğunluk değerleri sunulmaktadır. Hava yoğunluğu yakınlaştırma formülüyle hesaplanabilir (E.3-1).

Tablo B.6 Su Yoğunluğu

t [°C]	ρ [kg m ⁻³]	$\Delta\rho / \Delta t$ [kg m ⁻³ °C ⁻¹]
18.0	998.593	
18.5	998.499	- 0.190
19.0	998.402	
19.5	998.303	- 0.201
20.0	998.201	
20.5	998.096	- 0.212
21.0	997.989	
21.5	997.879	- 0.222
22.0	997.767	

¹ Testten önce temizlenmemiş bir ağırlık saf suya batırılmasından ve stabilizasyondan sonra daha az bir ağırlık gösterebilir.

² İyi bilinen ve sabit yoğunluklu diğer sıvılar da kullanılabilir. Küçük ölçüm belirsizliklerinin sabit ve iyi bilinen sıcaklık koşullarında çalışması gereklidir. Bu, eğer sıvı sudan daha büyük bir sıcaklık genişleme katsayısına sahipse daha da önemlidir.

22.5	997.652	- 0.232
23.0	997.535	
23.5	997.415	- 0.242
24.0	997.293	

B.7.2.4 Ayar boşluğuna su verilmesi

Ayar boşluğu bulunan ağırlıkların suya batırılmaması gerekir çünkü ölçüm sırasında su boşluklara dolabilir. Bu, ağırlığın hem yoğunluğunu hem de kütesini etkiler ve kütlelerin sabit durmasını engelleyebilir. Boşluklu ağırlıklar için geometrik hacim tespiti önceliklidir. Ancak, eğer bütün su sonradan çekilebilirse, ağırlık içeride sıkışan hava dikkatli bir biçimde boşaltılarak açık boşlukla hidrostatik tartım yapılabilir.

B.7.2.5 Havanın boşaltılması

Suda ölçümün doğru yapılabilmesi için, ağırlıklardan ve ağırlık tutma aletlerinden hava kabarcıklarının alınması çok önemlidir. Bu, özellikle küçük ağırlıklar söz konusu olduğunda, C ve D yöntemlerinde kullanılan su kuvvetlerinin duvarları için de geçerlidir³. Hava kabarcıkları riskini azaltmanın pratik bir yolu, 10-15 dk boyunca saklama bölmesinin içine alt-atmosferik basınç uygulayarak suyun ve su içindeki ağırlığın havasını almaktır⁴.

B.7.2.6 Ağırlık Tutucu ve Asılı Halat

Ağırlığı, suyun altındaki ağırlık tutucuya koymak kazara hem ağırlığın hem de küvetin (cam) hasar görmesine sebep olabilir. Ağırlığı ve ağırlık tutucuyu birlikte batırmak daha iyi olur. Ancak hava kabarcıkları,:

Eğer ağırlık ve ağırlık tutucu ayrı ayrı batırılırsa daha iyi tespit edilir. Ağırlığın düşmesini engelleyecek bir ağırlık tutucu kullanın. Eğer düşük bir ölçüm belirsizliği gerekirse, asılı halatın ince ve temiz olması ve hava/su arayüzünü doğru açıyla geçirmesi gerekir⁵.

B.7.2.7 Kütle ya da Konvansiyonel Kütle

Aşağıda verilen formülde, kütle konvansiyonel kütle ya da normal kütle olarak alınır, çünkü ağırlığın yoğunluğu için gerekli olan ve elde edilen belirsizlik düşünüldüğünde, ağırlığın kütle ve konvansiyonel kütle değerleri arasındaki fark önem taşımaz. Aynı sebepten, konvansiyonel kütle Tablo-1'de gösterilen azami müsaade edilen hataya uygun olduğu takdirde nominal değer ağırlığın kütle ya da konvansiyonel kütesinden alınabilir.

B.7.2.8 Ağırlığın Kurutulması

Ağırlığın su kuvvetinden çekilmesinden sonra, suyun büyük bir kısmı hızla ağırlığın yüzeyine ilerleyecektir. Kalan damlacıklar kuru bir bezle alınmalıdır. Stabilizasyon için, ağırlık uygun bir örtüyle örtülmelidir (havalandırmaya olanak sağlamak için baş aşağı geniş ağız boşluğa gelecek şekilde)

³ Örneğin, 20 mg ağırlıkta 20 µ g terazi göstergesindeki değişiklik 80 kg m⁻³'lük bir yoğunluk sonucunda değişiklik yapıyorsa daha da önemlidir.

⁴ suya doymuş havanın yoğunluğu, havasız suyun yoğunluğundan 0.0025 kg m⁻³ azdır.

⁵ Kıyaslama yönteminde batırılan askının yanı sıra tutucuların da suyun yerini aldığı dikkate alınır. Ayrıca, hava/su arayüzünde menisküs oluşumuna bağlı olarak ortaya çıkan ve aşağıdaki denklemlerde daha önceden yer almayan ekstra kuvvet telafi edilir. Yoğunlukla 2 kg'a kadar olan ağırlıklar için tel çapı, φ , 0.1 ila 0.3 mm'dir.

B.7.3 Test parçasının ölçümü

Yoğunluk ölçümü ağırlığı üretmek için kullanılan metal parçadan alınan tek test parçası üzerinde yapılabilir. Test parçası ağırlığa mümkün olduğu kadar yakın tutulur ve yoğunluk ölçümü için uygun bir hacim ve biçime sahiptir. Test parçasının sertliği, ağırlığın sertliği ile aynıdır ya da ondan daha azdır. Ağırlığın yoğunluğu, test parçasının yoğunluğuna eşit kabul edilir. Değerin standard belirsizliği, test parçasının yoğunluğunun standart belirsizliği ile 5×10^{-5} eşit göreceli bir standart belirsizlik unsuruyla elde edilir.

B.7.4 Test yöntemi A (Hidrostatik kıyaslama)

Bu yöntem üç farklı şekilde izlenebilir:

Yöntem A1 (havada tartılan iki farklı referans ağırlığı):

Havadaki test ve referans ağırlığı kıyaslaması ve sıvıdaki test ağırlığı ve havadaki ikinci referans ağırlığı kıyaslaması;

Yöntem A2 (hava ve sıvıda tartılan referans ağırlıkları):

Test ağırlığı ve havada referans ağırlığı kıyaslaması ile test ağırlığı ve sıvıda (aynı ya da farklı) kıyaslaması; ya da

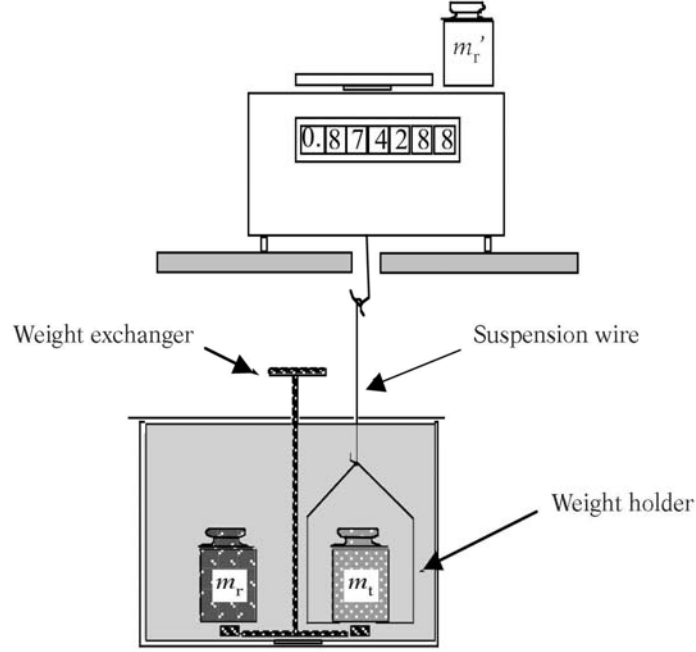
Yöntem A3 (doğrudan tartma):

Test ağırlığının referans ağırlık kütlesi yerine terazi göstergesini kullanarak tartılması.

B.7.4.1 Aparat

- Terazinin altında asılı duran ağırlığı tartmak üzere hazırlanmış yeterli kapasiteye ve yüksek çözünürlüğe (tipik 2×10^{-6} rölatif çözünürlük) sahip laboratuvar terazisi;
- 20 °C ± 0.2 °C arasında termostatik kontrol yapabilen su banyosu;
- Farklı ağırlıklar için askı ve ağırlık tutucular;
- Sudaki ağırlığı yükleyecek ve yükü indirecek mekanizma;
- Bilinen yoğunluğun kütle standartları;
- Ağırlıkları kaldırmak için araçlar (örn. Laboratuvar eldivenleri, tiftiksiz bez, laboratuvar cımbızı);
- İyi aydınlatılmış oda.

Figure B.4 Illustration of method A



B.7.4.2 Test yöntemi A1 (havada tartılan iki farklı referans ağırlığı)

B.7.4.2.1 Ölçüm Prosedürü

Test süresinde sıvının yoğunluğunun ρ_l ve havanın yoğunluğunun ρ_a belirlenmesi:

- İlk tartım (havada test ağırlığı):
 - Test ağırlığını (m_{ta}) havada (ρ_a yoğunluğunda) tartın;
 - Göstergeyi kaydedin (I_{ta});
 - Ağırlığı dikkatli bir biçimde kaldırın (m_{ta}).
- İkinci tartım (havada referans ağırlığı):
 - Havada referans ağırlığını tartın (m_{ra}) (ρ_a yoğunluğundan);
 - Göstergeyi kaydedin (I_{ra});
 - Ağırlığı dikkatli bir biçimde tartın (m_{ra}).
- Üçüncü tartım (sıvıda test ağırlığı):
 - Test ağırlığını (m_{tl}) sıvı banyosunda (ρ_l yoğunluğundan) tartın;
 - Göstergeyi kaydedin (I_{tl});
 - Ağırlığı (m_{tl}) dikkatli bir biçimde kaldırın.
- Dördüncü tartım (havada ikinci referans ağırlığı):
 - Havada referans ağırlığını (m_{rl}) (ρ_a yoğunluğundan) tartın;
 - Göstergeyi kaydedin (I_{rl});
 - Ağırlığı (m_{rl}) dikkatli bir biçimde tartın.

Batırılmış ağırlığın terazi göstergesine yakın bir terazi göstergesi olmasından ötürü ikinci referans ağırlığı (m_{rl}) genellikle ağırlıkların bir kombinasyonudur.

B.7.4.2.2 Hesaplamalar

m_{rl} sembolü kombinasyonun toplam kütesini; ρ_{rl} ise etkin yoğunluğunu temsil eder. Etkin yoğunluk şu şekilde hesaplanır:

$$\rho_{rl} = \frac{\sum_i m_{ri}}{\sum_i V_{ri}} \quad (B.7.4-1)$$

V_{ri} ağırlıkların hacmini ifade eder. Test yoğunluğu ρ_t ise şu şekilde hesaplanır:

$$\rho_t = \frac{\rho_l (C_a m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a (C_{al} m_{rl} + \Delta m_{wl})}{C_a m_{ra} + \Delta m_{wa} - C_{al} m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (B.7.4-2)$$

İken:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} \quad (B.7.4-3)$$

$$C_{al} = 1 - \frac{\rho_{al}}{\rho_{rl}} \quad (B.7.4-4)$$

$$\Delta m_{wa} = (I_{ta} - I_{ra}) C_s \quad (B.7.4-5)$$

$$\Delta m_{wl} = (I_{tl} - I_{rl}) C_s \quad (B.7.4-6)$$

$$C_s = 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_s} \quad (B.7.4-7)$$

ρ_s sembolü, hassasiyet ağırlığının yoğunluğunu temsil eder; ρ_{as} ise terazinin kalibre edilmesi sırasında hava yoğunluğunu ifade eder.

$$\begin{aligned} \text{Rölatif belirsizlik: } \left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 &= \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left(c(\rho_{al}) \frac{u(\rho_{al})}{\rho_{al}} \right)^2 + \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 + \left(c(\rho_{ra}) \frac{u(\rho_{ra})}{\rho_{ra}} \right)^2 + \left(c(\rho_{rl}) \frac{u(\rho_{rl})}{\rho_{rl}} \right)^2 + \\ &+ c^2(m_r) \left[\left(2 \frac{u(m_r)}{m_r} \right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}} \right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{rl}} \right)^2 + \left(\frac{u(m_{cap})}{m_{rl}} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (B.7.4-8)$$

İken: (çoğu durumda önemsiz)

$$c(\rho_a) = -\frac{\rho_a}{\rho_t} \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_{ra}} \right) \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_l} \right)$$

$$c(\rho_{al}) = \frac{\rho_{al}}{\rho_l \rho_{rl}} (\rho_t - \rho_l) \quad (B.7.4-10)$$

$$c(\rho_{ra}) = \frac{\rho_a}{\rho_l \rho_{ra}} (\rho_t - \rho_l) \quad (B.7.4-11)$$

$$c(\rho_{rl}) = -c(\rho_{al}) = -\frac{\rho_{al}}{\rho_l \rho_{rl}} (\rho_t - \rho_l) \quad (B.7.4-12)$$

$$|c(m_r)| = \frac{(\rho_t - \rho_l)}{\rho_l} \quad (B.7.4-13)$$

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left(\frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (B.7.4-14)$$

Referans ağırlıklarının kütle ve yoğunluklarının bağlantısının sağlandığı varsayılır.

$u(m_{cap})$, askının (askı telinin 1 mm çapında olması halinde azami etki 23 mg; tel çapının 0,1 mm olması halinde etki 2.3 mg olur) yüzey gerilimi etkisine bağlı olan belirsizliğini temsil eder.

20 °C civarında, su yoğunluğunun belirsizliği yaklaşık olarak t °C cinsinden (suyun sıcaklığı)

sıcaklık belirsizliği ile aşağıdaki şekilde bağlantılıdır:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(-4.1 \times 10^{-3} \frac{u(t_1)}{t_1}\right)^2 \quad (B.7.4-15)$$

0.05 kg m⁻³'e kadar olan belirsizlikler denklemlerle belirlenir (B.7.4-2).

Çoğu zaman, hava boşluğu düzeltme faktörleri C_a, C_{al} ve C_s birbirinden anlamlı olarak farklı değildir ve aşağıdaki gibi bütünleştirilerek basit denklem haline getirilebilir (B.7.4-2):

$$\rho_t = \frac{\rho_l(m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a(m_{rl} + \Delta m_{wl})}{m_{ra} + \Delta m_{wa} - m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (B.7.4-16)$$

Rölatif belirsizlik:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + c^2(m_r) \left[\left(2 \frac{u(m_r)}{m_r}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{rl}}\right)^2 + \left(\frac{u(m_{cap})}{m_{rl}}\right)^2 + u_C^2 \right]$$

$$\text{İken: } \frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left(\frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (B.7.4-18) \quad c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left(\frac{\rho_t}{\rho_l} - 1 \right) \quad (B.7.4-19)$$

$$|c(m_r)| = \frac{(\rho_t - \rho_l)}{\rho_l} \quad (B.7.4-20) \quad u_C = \left(\frac{\rho_t}{\rho_l} - 1 \right) \left(\frac{\rho_a}{\rho_{ra}} - \frac{\rho_{al}}{\rho_{rl}} \right) \quad (B.7.4-21)$$

0.2 kg m⁻³'e kadar düşük belirsizlikler denklemlerle belirlenir (B.7.4-16).

B.7.4.3 Yöntem A2 (havada ve sıvıda tartılan referans ağırlıkları)

B.7.4.3.1 Ölçüm prosedürü

B.7.4.2.1 ile aynıdır, tek fark aşağıdaki işlemdir:

d) Dördüncü tartım (sıvıda referans ağırlığı):

- 1) sıvıda referans ağırlığını tartın (m_{rl});
- 2) Kayıt göstergesi (I_{rl});
- 3) Ağırlığı dikkatli bir biçimde kaldırın (m_{rl}).

Referans ağırlığı (m_{rl}) ikinci referans ağırlığıdır ya da havada olanla aynıdır (m_{ra}).

B.7.4.3.2 Hesaplamalar

Test ağırlığının yoğunluğu, ρ_r, (B.7.4-22) ya da (B.7.4-31) denklemleriyle hesaplanır.

i) Aynı referans ağırlığı hava ve sıvı için kullanıldığında, m_{ra} = m_{rl} = m_r ve ρ_{ra} = ρ_{rl} = ρ_r, ise:

$$\rho_t = \frac{\rho_l(C_a m_r + \Delta m_{wa}) - \rho_a(C_l m_r + \Delta m_{wl})}{m_r \frac{\rho_l - \rho_a}{\rho_r} + \Delta m_{wa} - \Delta m_{wl}} \quad (B.7.4-22)$$

$$\text{iken: } C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (B.7.4-23) \quad C_l = 1 - \frac{\rho_l}{\rho_r} \quad (B.7.4-24)$$

Δm_{wa} ve Δm_{wl} (B.7.4-2) denkleminde olduğu gibi tanımlanmıştır (çoğu zaman göz ardı edilebilecek kadar küçük) (B.7.4-27)

Rölatif belirsizlik:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(\rho_l)\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_r)}{\rho_r}\right)^2 + \left(c(m_r)\frac{u(m_r)}{m_r}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wa})\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(m_{cap})}{m_{ra}}\right)^2 \quad (B.7.4-25)$$

$$\text{iken: (çoğu durumda önemsiz)} \quad c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left(\frac{\rho_t - \rho_r}{\rho_l}\right)$$

$$\text{(çoğu durumda önemsiz)} \quad c(\rho_l) = \frac{1}{\rho_t} (\rho_r (1 + \Delta m_{wa} / m_r) - \rho_t)$$

$$c(m_r) = \frac{\rho_r - \rho_t}{\rho_t} \quad (B.7.4-28) \quad c(\Delta m_{wa}) = \frac{\rho_r}{\rho_t} \left(\frac{\rho_l - \rho_t}{\rho_l}\right) \quad (B.7.4-29)$$

$$c(\Delta m_{wl}) = \frac{\rho_r}{\rho_t} \quad (B.7.4-30)$$

0.1 kg m⁻³ 'e kadar düşük belirsizlikler denklemlerle elde edilir (B.7.4-22).
ii) Hava ve sıvı ölçümlerinde farklı referans ağırlıkları kullanıldığında, $m_{ra} \neq m_{rl}$ and $\rho_{ra} \neq \rho_{rl}$ ise:

$$\rho_t = \frac{\rho_l (C_a m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a (C_l m_{rl} + \Delta m_{wl})}{C_a m_{ra} + \Delta m_{wa} - C_l m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (B.7.4-31)$$

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} \quad (B.7.4-32) \quad C_l = 1 - \frac{\rho_l}{\rho_{rl}} \quad (B.7.4-33)$$

Rölatif belirsizlik:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(\rho_l)\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(c(\rho_{ra})\frac{u(\rho_{ra})}{\rho_{ra}}\right)^2 + \left(c(\rho_{rl})\frac{u(\rho_{rl})}{\rho_{rl}}\right)^2 + c^2(m_r) \left[2\frac{u(m_r)}{m_r} + \left(\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2\right] + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(m_{cap})}{m_{ra}}\right)^2$$

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left(\frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (B.7.4-35)$$

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left[1 - \frac{\rho_{rl}}{\rho_{ra}\rho_l} (\rho_{ra} - \rho_t + \rho_l) \right] \quad (\text{negligibly small in most cases}) \quad (B.7.4-36)$$

$$c(\rho_l) = \frac{1}{\rho_t} (\rho_{rl} - \rho_t) \quad (\text{negligibly small in most cases}) \quad (B.7.4-37)$$

$$c(\rho_{ra}) = \frac{\rho_{rl}\rho_a}{\rho_l\rho_{ra}\rho_t} (\rho_l - \rho_t) \quad (B.7.4-38) \quad c(\rho_{rl}) = \frac{\rho_t}{\rho_{rl}} \quad (B.7.4-39)$$

$$c(m_r) = \frac{\rho_{rl}}{\rho_l} \frac{\rho_l - \rho_t}{\rho_t} \quad (B.7.4-40) \quad c(\Delta m_{wl}) = \frac{\rho_{rl}}{\rho_l} \quad (B.7.4-41)$$

Referans ağırlıklarının kütesinin birbiriyle bağlantılı olduğu düşünülür. $u(m_{cap})$ için bkz. B.7.4.2.2.

0.1 kg m⁻³'e kadar düşük belirsizlikler denklemlerle belirlenir (B.7.4-31).

B.7.4.4 Yöntem A3 (doğrudan tartım)

Bir kıyaslama tekniği kullanmak yerine, prosedür doğrudan terazi göstergesinin okunmasıyla sadeleştirilebilir.

B.7.4.4.1 Ölçüm Prosedürü

B.7.4.2.1 ile aynıdır; tek farkı b) ve d) prosedürleri bunda izlenmez.

B.7.4.4.2 Hesaplamalar

Burada kullanılan denklem şöyledir:

$$\rho_t = \frac{I_{ta} \times \rho_l - I_{tl} \times \rho_a}{I_{ta} - I_{tl}} \quad (B.7.4-42)$$

Bu sadeleştirmenin önkoşulu kalibrasyonu sağlanmış bir terazidir. I_{ta} ve I_{tl} , kefede ya da batırılmış tutucuda ağırlık olmaksızın terazinin darası alındıktan sonra sırasıyla havadaki ("a" ifadesi) ve sıvıdaki test ağırlığının tartım değerlerini ifade eder.

Rölatif belirsizlik:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 = \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 + \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left(c(I_{ta}) \frac{u(I_{ta})}{I_{ta}} \right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(I_{tl})}{I_{tl}} \right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(m_{cap})}{I_{tl}} \right)^2 + u_C^2 \quad (B.7.4-42)$$

$$c(\rho_a) = \rho_a \frac{\rho_t - \rho_l}{\rho_t \rho_l} \quad (B.7.4-44) \quad c(I_{ta}) = \frac{\rho_l - \rho_t}{\rho_l} \quad (B.7.4-45)$$

$$c(I_{tl}) = \frac{\rho_t - \rho_l}{\rho_l} \quad (B.7.4-46) \quad u_C = \left(\frac{\rho_l}{\rho_l} - 1 \right) \frac{\rho_a - \rho_{al}}{\rho_{ref}} \quad (B.7.4-47)$$

0.2 kg m⁻³'e kadar düşük belirsizlikler şu denklemlerle belirlenir: (B.7.4-42).

B.7.5 Test Yöntemi B (yoğunluğun doğrulanması)

B.7.5.1 İlkeler

Yöntem B, hidrostatik tekniğin sadeleştirilmiş halidir ve yalnızca sıvıda tartımı kapsar. Test ağırlığı ρ_1 yoğunluğunun su içindeki yeterli kuvvet teli ile asılı kalır. Terazide kütle değeri I_{H} gösterilir.

Bu yöntem iki farklı şekilde yapılabilir:

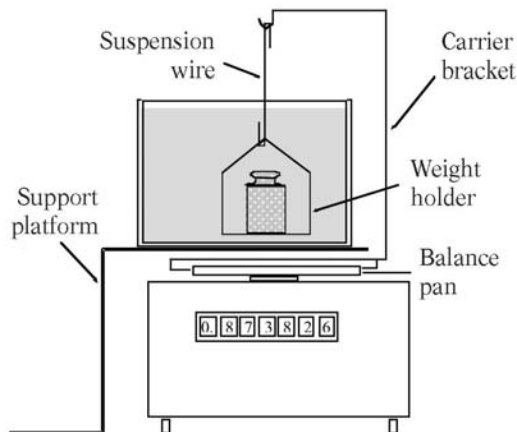
Yöntem B1: Yoğunluğun (B.7.5-1) denklemini ve bunun yanı sıra belirsizlik denklemini (B.7.5-2) (E sınıfı için zorunludur) kullanarak hesaplanması.

Yöntem B2: Yoğunluğun belirtilen aralıktaki olduğunun doğrulanması. Terazi göstergesinin sınırlayıcı değerleri (R 111-2 *Test Rapor Formatı*) bu Tavsiyede yer alan Tablo 5'te verilen en düşük ve en yüksek limitlerde hesaplanmıştır. Yoğunluk belirleme yönteminin tahmin edilen ölçüm belirsizliği ağırlık büyüklüğüne bağlı olarak dikkate alınır. Buna ek bir güvenlik önlemi olarak, en düşük limitler varsayılan 24 °C'lik su sıcaklığına, en yüksek limitler ise 18 °C sıcaklığa dayanmaktadır.

B.7.5.2 Aparat

- Uygun aralıktaki laboratuvar terazileri. Uygun tekrarlanabilirlik düzeyinde 10^{-6} 'lık rölatif çözünürlük tavsiye edilir;
- 18 °C - 24 °C aralığında sabit sıcaklıkta sıvı banyosu. Eğer terazi alttan tartıyla desteklenmişse, banyonun üstünde bir destekle yükseltilebilir (bkz. Şekil B.4) ya da banyo Şekil B.5'te görüldüğü gibi bir destek platformunun üzerine yerleştirilebilir;
- Terazi kefesine iliştilerebilen taşıyıcı braket;
- Uygun askılarla farklı büyüklüklerde ağırlık taşıyıcıları;
- Terazinin kalibrasyonu için referans ağırlıklar;
- Ağırlıkların taşınmasında kullanılan araçlar (örn. Laboratuvar eldivenleri, tiftiksiz bez, laboratuvar cımbızı).

Figure B.5 Illustration of method B



B.7.5.3 Ölçüm Prosedürü

- Ağırlığı (ya da ağırlıkları) 18 °C - 24 °C arasında damıtılmış su banyosuna batırın. Şekil B.5'e göre banyo bir destek platformu üzerine yerleştirilebilir.
- Taşıyıcı braketini terazi kefesine iliştin ve taşıyıcı braketten ağırlık tutucuyu yeterli kuvvette ince askıyla asın böylece ağırlık tutucu tamamen batar.
Askıdaki
Su/hava arayüzü iyi belirlenmiş olmalıdır.
- Sıfır okunacak şekilde terazinin darasını saptayın⁶.
- Ağırlıktan hava kabarcıklarını alın ve ağırlığı tutucuya yerleştirin.
- Askıyı sarsmayın, su yüzeyinde menisküsü kırmamaya özen gösterin.
- Sabitlendiğinde terazi göstergesini (I_{tl}) okuyun ve kaydedin.
- Cımbızları kullanarak test ağırlığını yeniden muhafaza edildiği yere yerleştirin.
- Laboratuvarın çevre koşullarını (hava sıcaklığı, basınç ve nem) ve sıvının sıcaklığını kaydedin.

B.7.5.4 Sonuçlar

B.7.5.4.1 Yöntem B1

Ağırlığın nominal kütlesi m_0 kullanılarak yoğunluğun hesaplanması. Yoğunluk aşağıdakine uygun olarak hesaplanır:

$$\rho_t = \frac{\rho_l m_t}{m_t - I_{tl} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ref}} \right)} \quad (B.7.5-1)$$

Yöntem B1'in belirsizlik ölçümü:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 = \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 + \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(I_{tl})}{I_{tl}} \right)^2 + \left(c(m_t) \frac{u(m_t)}{m_t} \right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(m_{cap})}{I_{tl}} \right)^2 \quad (B.7.5-2)$$

$$\text{İken:} \quad c(m_t) = \frac{m_t (\rho_l - \rho_t)}{\rho_t (m_t - I_{tl})} \quad (B.7.5-3) \quad c(\rho_a) = \frac{\rho_a I_{tl}}{\rho_{ref} (I_{tl} - m_t)} \quad (B.7.5-4)$$

$$c(I_{tl}) = \frac{I_{tl}}{m_t - I_{tl}} \quad (B.7.5-5)$$

$u(m_{cap})$ askıdaki yüzey gerilimine bağlı belirsizliktir (ayrıca bkz B.7.4.2.2).

B1 yöntemi için ölçüm belirsizliği büyük ağırlıklar için tipik olarak $\pm 5 \text{ kg m}^{-3}$ ya da daha üstün olabilir, 1 g ağırlık için $\pm 60 \text{ kgm}^{-3}$ 'a kadar çıkabilir; bu ağırlığın büyüklüğüne ve taşımada gösterilen özene bağlıdır. Ağırlık büyüklüğü azaldıkça ölçüm belirsizliği artar.

⁶ Not: Terazinin tara işlevi yoksa, I_{tl} ikinci ve ilk tartım arasındaki farktır.

B.7.5.4.2 Yöntem B2

Ağırlığın yoğunluğu, ρ_t , ilgili ağırlık büyüklüğü için iki limit değer olan $I_{t(\min)}$ ve $I_{t(\max)}$ kıyaslanarak doğrulanır. Bu sınırlama değerleri $E_1 - F_1$ ağırlık sınıflarında R 111-2 *Test Rapor Formatında* ortaya konulmuştur.

B.7.5.5 Sonuçların Kaydedilmesi

R 111-2 *Test Rapor Formatında* yer alan formları kullanarak ölçüm sonuçlarını kaydedin (Yoğunluk doğrulaması – Yöntem B ve Limit yoğunluk değerleri).

B.7.6 Test yöntemi C (yer değiştirilmiş sıvının tartılmasıyla hacim belirleme)

Bu yöntem, 1 g'dan küçük ağırlıklar için uygun değildir.

B.7.6.1 İlkeler

Bu yöntem iki şekilde gerçekleştirilir:

- 1) Test ağırlığının kütlesi bilinmeden, ya da
- 2) Test ağırlığının kütlesi bilinerek

B.7.6.2 Genel Hususlar

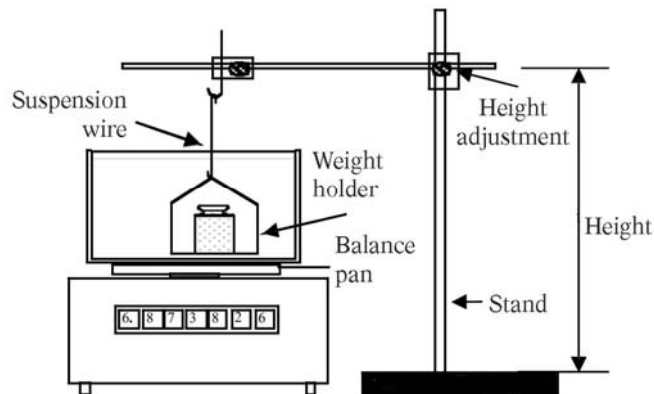
Sudaki ağırlığı etkileyen kaldırma kuvvetini hesaplamak yerine, sıvı içine batırılan ağırlıkla yer değiştiren sıvının hacmini belirlemek mümkündür. Test ağırlığının bilinen ağırlığı m_t kullanılarak yoğunluğu hesaplanabilir.

B.7.6.3 Aparatlar

- a) 10–5 ya da daha iyi çözünürlükte 200 g-100 kg aralığında kapasiteye sahip bir ya da daha fazla laboratuvar terazisi ve uygun tekrarlanabilirlik;
- b) Uygun büyüklükte bir ya da daha fazla sıvı küveti;
- c) Suda salınan ağırlıkları tutmak üzere yükseklik ayarlı stand;
- d) Uygun büyüklükte ağırlık tutucu(lar) için askı tel(ler)i;
- e) Ağırlık taşıma aletleri (örn. Laboratuvar eldivenleri, tiftiksiz bez, laboratuvar cımbızları);
- f) İyi aydınlatılmış oda.

B.7.6.4 Ölçüm Prosedürü

Figure B.6 Illustration of method C



- Terazinin kefesine içi su dolu bir kap koyun.
- Ağırlık tutucuyu asın ve ayrı bir standdan askı telini asın.
- Mümkünse terazinin darasını saptayın. Bu mümkün değilse göstergesi /1 okuyun.
- Ağırlık tutucuyu su yüzeyinin üzerinde asın, ağırlığı tutucu üzerine yerleştirin ve tekrar batırın.
- Yüksekliği, askı teli hava/su arayüzünü aynı yükseklikten geçecek şekilde ayarlayın.
- Göstergesi okuyun, I_{dl} ,
(veya terazinin dara işlevi yoksa $I_2, I_{dl} = I_2 - I_1$).
- Laboratuvarın çevre koşullarını, hava sıcaklığını, basıncı, nemi ve sıvının sıcaklığını kaydedin.
- Laboratuvarın hava yoğunluğunu, ρ_a , ve su banyosunun yoğunluğunu, ρ_1 , denklem (E.3-1) ve Tablo B.6'yı kullanarak belirleyin.

Yer değiştiren suyun ağırlığı, $V_t \rho_1$, ağırlık değeriyle, I_{dl} , gösterilir. Gerekirse, son dara saptaması sırasında buharlaşmayı da hesaba katın⁷.

B.7.6.5 Hesaplamalar

İki okuma arasındaki fark, I_{dl} , havada tartılan yer değiştirmiş sıvıya eşittir. Eğer test ağırlığının kütlesi, m_t , biliniyorsa, I_{dl} ve m_t değerleri, test ağırlığının yoğunluğunun, ρ_t , hesaplanabilmesi için denkleme (B.7.6-1) dahil edilir.

$$\rho_t = \frac{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_1}\right) m_t \times \rho_1}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ref}}\right) \times I_{dl}} \quad (B.7.6-1)$$

m_t bilinmiyorsa, terazide test ağırlığı tartılır, görülen havadaki değer, I_{ta} , denklemde I_{dl} ile birlikte kullanılır (B.7.6-2) ve yoğunluk, ρ_t hesaplanır.

$$\rho_t = \rho_a + (\rho_1 - \rho_a) \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (B.7.6-2)$$

B.7.6.6 Yöntem C'nin Ölçüm Belirsizliği

Denklem (B.7.6-1) için:

$$u^2(\rho_t) = c^2(\rho_a)u^2(\rho_a) + c^2(\rho_1)u^2(\rho_1) + c^2(m_t)u^2(m_t) + c^2(I_{ta})u^2(I_{ta}) + c^2(I_{dl})u_{cap}^2 \quad (B.7.6-3)$$

$$iken: \quad c(\rho_a) = \frac{\rho_1}{\rho_{ref}} - \frac{m_t}{I_{dl}} \quad (B.7.6-4) \quad c(\rho_1) = \frac{m_t}{I_{dl}} \quad (B.7.6-5)$$

$$c(m_t) = \frac{\rho_1}{I_{dl}} \quad (B.7.6-6) \quad c(I_{dl}) = \frac{m_t \rho_1}{I_{dl}^2} \quad (B.7.6-7)$$

⁷ Zamana göre buharlaşma oranının tahmin edilebilmesi, dara ile okuma arasındaki farkın düzeltilebilmesi için birkaç kez okuyun. Ancak, ağırlığın yeniden batırılmadan önce kurulanması gerektiği için yöntem C'yi uygulamak zor olabilir.

Denklem (B.7.6-2) için :

$$u^2(\rho_t) = c^2(\rho_a)u^2(\rho_a) + c^2(\rho_l)u^2(\rho_l) + c^2(I_{ta})u^2(I_{ta}) + c^2(I_{dl})u^2(I_{dl}) + c^2(I_{dl})u_{cap}^2 \quad (B.7.6-8)$$

İken:

$$c(\rho_a) = 1 - \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (B.7.6-9) \quad c(\rho_l) = \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (B.7.6-10)$$

$$c(I_{ta}) = \frac{\rho_l}{I_{dl}} \quad (B.7.6-11) \quad c(I_{dl}) = -\frac{I_{ta}\rho_l}{I_{dl}^2} \quad (B.7.6-12)$$

1 g ≤ m_t ≤ 1 kg aralığında, ağırlıkların büyüklüğüne ve taşımada gösterilen özene bağlı olarak ölçüm belirsizliği ± 100 kg m⁻³ ile ± 10 kg m⁻³ arasındadır. Hesaplanan yoğunluk değerini (ρ_t) Tablo 5'te yer alan en düşük ve en yüksek yoğunluk limitleriyle kıyaslamadan önce, ρ_t değeri, bu yöntemden beklenen belirsizliğe ya da tahmin edilen belirsizlik marjına dayalı olarak büyütülür.

B.7.6.7 Sonuçların kaydedilmesi

R 111-2 *Test Rapor Formatında*, Yoğunluğun belirlenmesi – Yöntem C 'de yer alan formları kullanarak ölçüm sonuçlarını kaydedin.

B.7.7 Test Yöntemi D (Sabit hacimli kap içerisinde yer değiştiren sıvının belirlenmesi)

B.7.7.1 İlke

Büyük ağırlıkların hidrostatik tartıda tartılması zordur. Bu ağırlıkların hacimini belirlemede izlenebilecek bir diğer yöntem ise yerini değiştirdikleri suyun tartılmasıyla dolaylı olarak ağırlığın hacminin belirlenmesidir.

B.7.7.1.1 Kap, iyi belirlenmiş bir seviyeye kadar suyla doldurulur ve bir kez içinde suyla ikinci kez de susuz olmak üzere iki kere tartılır. Bunların terazi göstergeleri I_{1+t} ve I₁'dir. Kabinin ağız kısmı 1 cm'den büyük olamaz ve su ± 0.1 °C tektip (uniform) ve sabit sıcaklıkta tutulur. Ağırlığın hacminin kabın kapasitesine nazaran çok küçük olmamasına, kap üzerindeki mühürde tahribat olmamasına, içeride sıkışmış hava olmamasına dikkat edilmelidir. Bilinen bir sabit sıvı yoğunluğunda, ρ_p, ağırlığın yoğunluğu (B.7.5-1) denklemine benzer olarak (B.7.7-1) denklemine göre (I_{1+t} - I₁) farkından hesaplanır:

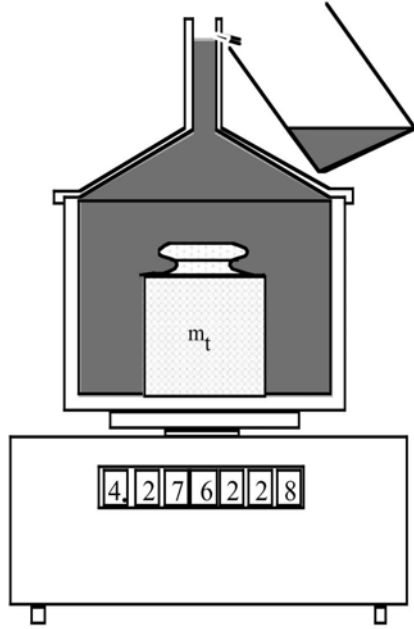
$$\rho_t = \frac{m_0 \rho_l}{m_0 - (I_{1+t} - I_1) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ref}}\right)} \quad (B.7.7-1)$$

B.7.7.2 Aparat

- 5 kg – 1000 kg aralığında kapasiteye sahip ve 10⁻⁶ ya da daha iyi çözünürlükte bir ya da daha çok laboratuvar terazisi;
- Hassas ve kontrol edilebilen dolun seviyesine uygun tasarlanmış şeffaf test kabı/kapları;
- Ağırlıkları kaldırmak için kullanılan araçlar (örn. Laboratuvar eldivenleri, tiftiksiz kumaş, laboratuvar cimbzaları); ve

d) İyi aydınlatılmış bir oda.

B.7.7.3 Ölçüm Prosedürü



- Ağırlığı kaba yerleştirin ve kabı iyi belirlenmiş bir seviyeye kadar suyla doldurun (örneğin, taşma noktasına kadar).
- Kabı ağırlıkla ve suyla tartın.
- Göstergeyi, I_{1+t} , okuyun ve kaydedin,
- Ağırlığı kaldırın ve aynı sıcaklıkta suyla seviyeye kadar doldurun. Suyun sıcaklığı sabit tutulduğu sürece hacmi bilmek gerekmez.
- Kabı sıvıyla birlikte tartın.
- Göstergeyi, I_1 , okuyun ve kaydedin
- ağırlığın kütlesi eksi yer değiştiren suyun kütlesi, iki okuma arasındaki farkın ($I_{1+t} - I_1$) nedenidir⁸.
- Laboratuvarın çevre koşullarını (hava sıcaklığı, basınç, nem) ve sıvının sıcaklığını kaydedin.
- Laboratuvarın hava yoğunluğunu, ρ_a , ve su küvetinin yoğunluğunu, ρ_w , ilgili denklemden (E.3-1) ve Tablo B.6'dan yararlanarak kaydedin.

⁸ D yöntemi tekrarlanıyorsa tekrar batırmadan önce ağırlığı kurutmaya gerek yoktur.

B.7.7.4 Yöntem D'nin Ölçüm Belirsizliği

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(m_t)\frac{u(m_t)}{m_t}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_1)}{\rho_1}\right)^2 + 2(c_1 u_1)^2 + (c_1 u_w)^2 \quad (B.7.7-2)$$

İken:

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a \rho_t (I_{t+1} - I_t)}{\rho_{ref} \rho_1 m_t} \quad (B.7.7-3)$$

$$c(m_t) = \frac{\rho_t - \rho_1}{\rho_1} \quad (B.7.7-4)$$

$$c_1 = \frac{\rho_t}{m_t \rho_1} \quad (B.7.7-5)$$

u_w , ağırlıklı ve ağırlıksız su seviyelerine bağlı belirsizlik etkisidir.

Bu yöntemin belirsizliği 1 kg ağırlık için $\pm 15 \text{ kg m}^{-3}$ ya da daha iyidir; ancak kabın ağzının çok dar olması, suyun $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de tektip ve sabit sıcaklıkta tutulması, ağırlığın hacminin kabın kapasitesine göre çok küçük olmaması, kap üzerindeki mührün tahrip olmaması ve içinde sıkışmış hava olmaması halinde daha büyük ağırlıklarda daha düşüktür.

B.7.7.5 Sonuçların Kaydedilmesi

R 111-2 *Test Rapor Formatında*, Yoğunluğun belirlenmesi – Yöntem C 'de yer alan formları kullanarak ölçüm sonuçlarını kaydedin.

B.7.8 Test yöntemi E (geometrik ölçümle hacmin belirlenmesi)

B.7.8.1 İlke

Ağırlığın hacmi, boyutlarından ve uygun formülle hesaplanabilir. Hacim, boşluk da dahil olmak üzere çeşitli temel yapı taşlarına bölünebilir [27]. Aşağıdaki ağırlıkların Şekil A.1'e göre biçimlendiği düşünülmektedir (burada boşluksuz, bkz. Şekil B.5). Üç basit geometrik yapısı olan topuz (knob) A, yüzük B, ana gövde C için standart formül sunulmuştur [27]. Bazı durumlarda, ağırlığın altında girinti, D olabilir. Hacim unsurlarının hesaplanma yöntemi belirlidir.

B.7.8.1.1 E yönteminde ağırlığın suya batırılmasına gerek yoktur, bu durum boşluklu ağırlıklar için avantajlıdır. Ancak, ölçüm sırasında yüzeyin çizilme riski vardır; bu nedenle, test yöntemi E, E ve F sınıfı ağırlıklarda tercih edilmemelidir.

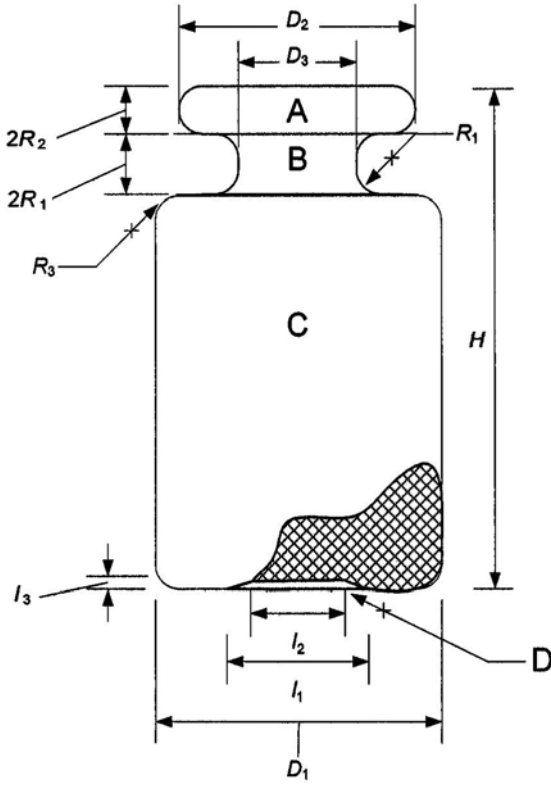
B.7.8.2 Aparat

- Tercihen 0.01 mm çözünürlükte bir ya da daha fazla verniye kompası (vernier calipers),
- Mikrometre (küçük ağırlıklar için);
- Yarıçap göstergesi (ya da Tablo A.1'de yer alan değerleri kullanabilirsiniz);
- Ağırlıkları kaldırmak için kullanılan araçlar (örn. Laboratuvar eldivenleri, tiftiksiz kumaş, laboratuvar cımbızları); ve
- İyi aydınlatılmış bir oda.

B.7.8.3 Ölçüm Prosedürü

- Şekil B.8'e göre yükseklik, çaplar, yarıçaplar ve herhangi bir boşluk ya da girinti boyutunu ölçün
- (B.7.8-1) - (B.7.8-5) arasındaki denklemlere uygun olarak A, B, C ve D parçalarını hesaplayın ve hacimlerini ekleyin.
- Kütle ve hacimden yoğunluğu hesaplayın.

Şekil B.8 Silindirik ağırlığın hacminin belirlenmesi (bkz Tablo A.1)



$$V_A = 2\pi R_2 \left(\frac{D_2^2}{4} - R_2 D_2 + R_2^2 + \frac{\pi R_2 D_2}{4} - \frac{\pi R_2^2}{2} + \frac{2R_2^2}{3} \right) \quad (B.7.8-1)$$

$$V_B = \pi R_1 \left(\frac{D_3^2}{2} + 2R_1 D_3 - \frac{\pi R_1 D_3}{2} - \pi R_1^2 + \frac{10R_1^2}{3} \right) \quad (B.7.8-2)$$

$$V_C = \pi \frac{D_1^2}{4} (H - 2(R_1 + R_2)) - \pi R_3^2 \left(2D_1 - \frac{10R_3}{3} - \frac{\pi D_1}{2} + \pi R_3 \right) \quad (B.7.8-3)$$

$$V_D = \frac{1}{12} l_3 (l_1^2 + l_1 l_2 + l_2^2) \quad (B.7.8-4)$$

$$V_{\text{weight}} = V_A + V_B + V_C - \{V_D\} \quad (B.7.8-5)$$

B.7.8.4 Yöntem E'nin Ölçüm Belirsizliği

Matematiksel modelin mevcut yapısından sapma belirsizliği etkileyen en önemli unsurdur. Ek A'ya göre şekillenen ağırlıklar için belirsizlik aralığı büyük ağırlıklar için 30 kg m^{-3} , büyük ağırlıklar için ise 600 kg m^{-3} 'dir. Boşluklu ya da farklı şekillerdeki ağırlıklar için ise belirsizlik bunun iki katı olabilir [25].

B.7.8.5 Sonuçların kaydedilmesi

R 111-2 *Test Rapor Formatında*, Yoğunluğun belirlenmesi – Yöntem E 'de yer alan formları kullanarak ölçüm sonuçlarını kaydedin.

B.7.9 Test Yöntemi F (bilinen bileşime dayalı tahmin)

B.7.9.1 İlke

Birçok ağırlık, sınırlı sayıda alaşımların birinden üretilir. Yoğunluğun net değeri her bir alaşımın unsurlarının rölatif oranına bağlıdır. Tipik yoğunluk aralıkları Tablo B.7'dir.

B.7.9.2 Yöntem F1

Tedarikçinin belirli ağırlık sınıfları için aynı alaşımları sürekli olarak sağlaması ve önceki testlerden yoğunluğun bilinmesi halinde, bilinen yoğunluğun aynı alaşım için Tablo B.7'de verilen belirsizliğin üçte biri olması gerekir.

B.7.9.3 Yöntem F2

Belirli bir ağırlık için tedarikçiden alaşım bileşimini alınız. Alaşım elementlerinin konsantrasyon fonksiyonu olarak yoğunluk tablosunun bulunduğu bir fizik/kimya kitabından yoğunluk değerlerini bulunuz. Kitaptaki yoğunluk değerlerini kullanın ve Tablo B.7'deki belirsizlik değerini uygulayınız. E_2 - M_2 sınıflarındaki ağırlıklar için aşağıda Tablo B.7'de verilen "varsayılan yoğunluk" değerleri yeterli olacaktır. M_3 ağırlıklarının yoğunluk sınıfı dikkate alınmamıştır.

Tablo B.7 Yöntem F2 – Ağırlıklar İçin Sık Sık Kullanılan Alaşımların Listesi

Alaşım/materyal	Varsayılan yoğunluk	Belirsizlik ($k = 2$)
Platinyum	21 400 kg m^{-3}	$\pm 150 \text{ kg m}^{-3}$
Nikel gümüş	8 600 kg m^{-3}	$\pm 170 \text{ kg m}^{-3}$
Pirinç	8 400 kg m^{-3}	$\pm 170 \text{ kg m}^{-3}$
Paslanmaz çelik	7 950 kg m^{-3}	$\pm 140 \text{ kg m}^{-3}$
Karbonlu çelik	7 700 kg m^{-3}	$\pm 200 \text{ kg m}^{-3}$
Demir	7 800 kg m^{-3}	$\pm 200 \text{ kg m}^{-3}$
Dökme demir (beyaz)	7 700 kg m^{-3}	$\pm 400 \text{ kg m}^{-3}$
Dökme demir (gri)	7 100 kg m^{-3}	$\pm 600 \text{ kg m}^{-3}$
Alüminyum	2 700 kg m^{-3}	$\pm 130 \text{ kg m}^{-3}$

B.7.9.4 Hesaplamalar

B.7.9.4.1 Ayar boşluğuyla ağırlık yoğunluğu

Boşluğun içinde yoğun materyalli ağırlığın ayarı, ağırlığın yoğunluğunu etkileyebilir. Eğer (ρ_x yoğunluğunda) X alaşımı yüzde x kadar ve ayar materyali Y (yoğunluk ρ_y) nihai kütlenin yüzde y 'si kadar ise, ρ_t aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir:

$$\rho_t = \frac{100}{\frac{x}{\rho_x} + \frac{y}{\rho_y}} \quad (\text{B.7.9-1})$$

B.7.9.4.2 Bileşik ağırlığın yoğunluğu

İki farklı unsurun bir ağırlığı meydana getirmesi ya da farklı yoğunluklarda iki ağırlığın referans olarak kullanılması halinde yoğunluk sonucunun hesaplanabilmesi için aynı denklem kullanılabilir. Ağırlıkların ayarlanmasında tercih edilen metal tungsten ($18\,800 \text{ kg m}^{-3} \pm 200 \text{ kg m}^{-3}$), kurşun ($11\,300 \text{ kg m}^{-3} \pm 150 \text{ kg m}^{-3}$), molibden ($10\,000 \text{ kg m}^{-3} \pm 150 \text{ kg m}^{-3}$) ve kalaydır ($7 \text{ kg m}^{-3} \pm 100 \text{ kg m}^{-3}$).

B.7.9.5 Sonuçların kaydedilmesi

R 111-2 *Test Rapor Formatı*, yoğunluk belirleme – Yöntem F'yi kullanarak ölçüm sonuçlarını kaydedin.

B.7.10 Yoğunluğun belirlenmesi için önerilen yöntemler

Tablo B.8 Ağırlık sınıfları için yoğunluk belirlenmesinde önerilen yöntemler

Weight	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Classes F ₂ , M ₁ , M ₂	
5 000 kg			E, F		
2 000 kg					
1 000 kg					
500 kg					
200 kg					
100 kg					
50 kg	A, C, D	D, E, F	D, E, F	F	
20 kg					
10 kg					
5 kg	A, B1*, C, D				
2 kg					
1 kg	A, B*, C	B, F	B, C, F		
500 g					
200 g					
100 g					
50 g	A, B1*	B, C, F			
20 g					
10 g					
5 g					
2 g	B*, F1	F			
1 g					
500 mg	F1				
200 mg					
100 mg					
50 mg					
20 mg					

* E_1 sınıfı ağırlıklar için B yöntemini kullanırken, yoğunluk değeri (B.7.5-1) denkleminde hesaplanmalıdır.

Not 1: M_3 sınıfı ağırlıklar için yoğunluk dikkate alınmamıştır.

Not 2: Yoğunluk sisteminde kullanılan sıvı su değilse yoğunluk ölçümünden sonra yeniden temizlenmesi gerekir (su haricindeki sıvılar bir kalıntı bıraktığı için, alkol gibi bir çözücü ile iyice temizlenmesi gerekir).

B.8 Eski ve/veya özel ağırlıklara OIML R 111 (2004) sınıfının uygulanması

B.8.1 Kapsam

Bu bölümde 1994'ten önce üretilen ağırlıklar (OIML R 111 1994'te yürürlüğe girmişti) ("94 öncesi") ile özel tasarım ürünü olan ya da özel bir uygulama için imal edilmiş standart olmayan nominal değere sahip ürünlere yer verilecektir.

B.8.1.1 "94 öncesi" ve/veya özel ağırlıklarda, biçim ve yüzey sertliğine ilişkin istisnalar idare edilebilir; yine de bunlar B.8.2 ve B.8.3'te yer alan talimatlara bağlıdır. Eski ağırlıklar, özellikle de ağırlıkların stabilitesine ilişkin yeterli sayıda dokümanın erişilebilir olduğu durumlarda daha çok önem taşır. Aşağıda B.8.2 ve B.8.3'te müsaade edilen belirli istisnalar haricinde R 111 kapsamında yer alan diğer gereklilikler geçerlidir.

B.8.1.2 Bu bölüm kapsamında E_1 to M_3 sınıfları arasında yer alan eski ve/veya özel ağırlıklar yer alır. Bir ağırlığı bir defa sınıflandırmak genellikle yeterli gelir. Müteakip yeniden doğrulamalar ilgili sınıfın tolerans ve koşullarına tabidir.

B.8.2 Yüzey sertliği ile ilgili istisnalar

Bu Tavsiyenin 11.1.2 sayılı paragrafında şöyle demektedir:

"Şüpheli ya da ihtilaf durumları haricinde gözle muayene yeterli gelecektir. Bu durumlarda ise Tablo 6'da yer alan değerler kullanılır. 50 kg üzeri ağırlıklar için müsaade edilen azami yüzey sertliği Tablo 6'da yer verilen değerlerin iki misli olmalıdır."

B.5.3.1.2.2 2)'ye uygun olarak, sertlik muayemesi yapılırken yüzey çizikleri göz ardı edilir.

"94 öncesi" ve/veya özel ağırlıklar konusunda, ağırlıkların kütesinin sabit olduğunu gösteren yeterli belgenin bulunması ve yüzey sertliğinin ilgili sınıf için Tablo 6'daki limitin iki katını aşmaması halinde sertlik kabul edilir.

B.8.3 Sunum

"94 öncesi" ve/veya özel ağırlıklar için ağırlık sınıfının işaretlenmiş olması halinde bu Tavsiyede yer alan paragraf 14'te belirtilen gereklilikler sağlanır. Bu durum, E_1 , E_2 , F_1 , F_2 ve M_1 sınıfları için geçerlidir. 13.4.3'e uygun olarak, M_1 sınıfı ağırlıklar ya " M_1 " ya da "M" olarak işaretlenir.

Ek C

Bir Ağırlık ya da Ağırlık Setinin Kalibrasyonu

(Zorunlu)

C.1 Kapsam

Bu bölümde bir ağırlık setinde yer alan ağırlıkların konvansiyonel kütlelerinin belirlenmesinde izlenebilecek iki yöntem açıklanacaktır:

- 1) Doğrudan kıyaslama yöntemi; ve
- 2) Yalnızca ağırlık setine uygulanabilen alt bölüm/çoğaltma yöntemi.

Tek kefeli teraziler için üretilen ancak sadece bunlarla sınırlı kalmayan ikame tartımları (substitution weighing) üç farklı tartım döngüsü açıklanmaktadır.

Kütlelerin belirlenmesinden önce yeterli doğrulukta ağırlıkların yoğunluğu bilinmelidir. Bunun yanı sıra, kütle belirlemede kullanılan tartı aletlerinin çevre koşulları ve metrolojik özellikleri yeterli doğrulukta bilinmelidir. Konvansiyonel kütlelerin ve belirsizliğinin belirlenmesinde kullanılan formül verilmiştir.

C.2 Genel Gereklilikler

C.2.1 Çevre koşulları

Ağırlıkların kalibrasyonu, oda sıcaklığına⁽¹⁾ yakın sıcaklık ve atmosfer basıncı koşullarında gerçekleştirilmelidir. Önerilen tipik değerler Tablo C.1'de verilmiştir.

Tablo C.1 Kalibrasyon sırasında ortam koşulları (Başarılı sonuçların alınabilmesi için önerilen tipik değerler)

Ağırlık sınıfı	Kalibrasyon sırasında sıcaklık değişimi (2)
E1	12 saatte bir en çok ± 0.5 °C olmak üzere saatte ± 0.3 °C
E2	12 saatte bir en çok ± 1 °C olmak üzere saatte ± 0.7 °C
F1	12 saatte bir en çok ± 2 °C olmak üzere saatte ± 1.5 °C
F2	12 saatte bir en çok ± 3.5 °C olmak üzere saatte ± 2 °C
M1	12 saatte bir en çok ± 5 °C olmak üzere saatte ± 3 °C

Ağırlık sınıfı	Havanın rölatif nem (hr) aralığı (3)
E1	4 saatte bir en çok ± 5 olmak üzere %40-%60
E2	4 saatte bir en çok ± 10 olmak üzere % 40 -%60
F	4 saatte bir en çok ± 15 olmak üzere %40- %60

Not 1: Kütle komparatörü içindeki hava ile ağırlıklar arasındaki sıcaklık farkının mümkün olduğunca az olması çok önemlidir. Referans ağırlığı ile test ağırlığını kalibrasyondan önce ve sonra kütle komparatörü içinde tutmak bu sıcaklık farkını azaltabilir.

Not 2: Bu, laboratuardaki sıcaklık değişimidir. Terazî ve ağırlıkların (bkz B.4.3) termal stabilizasyonu da kalibrasyondan 24 saat önce laboratuvarın uygun sıcaklık stabilizasyonunun yapılmasını gerektirir.

Not 3: Ağırlıkların depolanmasında üst limit çok önem taşır.

C.2.1.1 E_1 ve E_2 sınıf ağırlıklar için sıcaklığın 18 °C - 27 °C arasında olması gerekir. Çevre koşulları, tartı aletinin özellikleri arasında olmalıdır.

C.2.1.2 Eğer hava yoğunluğu 1.2 kg m^{-3} 'ten %10'dan fazla sapma gösterirse, hesaplamalarda kütle değerleri kullanılmalı ve kütleden konvensiyonel kütle hesaplanmalıdır.

C.2.2 Tartı Aleti

Kullanılan tartı aletinin metrolojik özelliği önceki ölçümlerden biliniyor olmalıdır ve tartı aletinin çözünürlüğü, doğrusalığı, tekrarlanabilirliği ve tuhafılığı (eccentricity) (bkz. C.6.4) gerekli belirsizliği sağlayacak düzeyde olmalıdır.

C.2.3 Referans ağırlıkları

Referans ağırlığı genellikle kalibre edilecek ağırlığın (bkz. 1.3.1) doğruluk sınıfından daha üst bir doğruluk sınıfında yer alır. E_1 sınıfı ağırlıkların kalibrasyonunda referans ağırlığının kalibre edilecek ağırlığın metroloji özelliklerine (manyetik özellikler, yüzey sertliği) eş ya da daha iyi olmalıdır.

C.2.3.1 5.2 ve 5.3 izlenir.

C.3 Tartım modelleri

C.3.1 Doğrudan kıyaslama

Genellikle test ağırlığı bir ya da daha fazla referans ağırlığıyla kalibre edilmelidir. Her kıyaslamada, test ağırlığının nominal ağırlığı ile referans ağırlığının eşit olması gerekir. Ölçüm sürecinin izlenmesinde bir kontrol standardı (bkz 2.5) kullanılabilir [28].

Not: E_1 sınıfı bir gramdan düşük ağırlıkların kalibrasyonu yapılırken bazı sıkıntılar ortaya çıkabilir. Bu durum biraz da bu aralıkta yer alan referans ağırlıklarının nispeten büyük belirsizliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, tartı aletlerinin sabit olmaması ve yüzey alanının çok geniş olması da ölçüm belirsizliği konusunda olumsuzluk yaratan diğer sebeplerdir. Bu ağırlıklarda altbölüm yöntemi tavsiye edilir.

C.3.2 Altbölüm (Subdivision)

Bütün bir ağırlık seti, bir ya da daha fazla referans ağırlığı ile kalibre edilebilir [29, 30, 31, 32]. Bu yöntem, set içerisinde her batırma (decade) işleminde birden fazla tartım yapılmasını gerektirir. Bu tartımlarda, eşit toplam nominal kütle ağırlıklarının farklı kombinasyonları kıyaslanır. Bu yöntem, esasen en yüksek doğruluğa ihtiyaç duyulduğunda E_1 sınıfı ağırlık setlerinin kalibrasyonunda kullanılır. Bu yöntemde tek bir referans ağırlığı kullanılırsa tartım eşitliklerinin sayısı, bilinmeyen ağırlıklar ile uygun ayar hesaplamalarının sayısından fazla olmalıdır; bu sayede hatalar önlenmeye çalışılır. Birden fazla referans ağırlığı kullanılıyorsa, eşitliklerin sayısı, bilinmeyen ağırlıkların sayısına eşit olabilir. Bu durumda, ayar hesaplamasına gerek kalmaz. Bu yöntemin avantajı, sonuçlarda yüksek güvenilirlik sağlamasıdır. Ancak, özellikle ayar hesaplamaları olmak üzere bu yöntemler ileri matematik gerektirmektedir [29, 30]. 5, 2, 2*, 1, 1* ($\times 10^n$ g) kütle setlerinde tipik tartı modeli [30, 31] şöyledir:

Tablo C.2 Tipik tartım modeli

Referans ağırlığı	vs	5 + 2 + 2* + 1
Referans ağırlığı	vs	5 + 2 + 2* + 1*
5	vs	2 + 2* + 1
5	vs	2 + 2* + 1*
2 + 1	vs	2* + 1*
2 + 1	vs	2* + 1*
2 + 1*	vs	2* + 1
2 + 1*	vs	2* + 1
2	vs	1 + 1*
2	vs	1 + 1*
2*	vs	1 + 1*
2*	vs	1 + 1*

Bu örnekte, referans ağırlığının nominal değeri $10 (\times 10^n)$ g olmalıdır. 2*, 2 gibi bir nominal değere ulaşmak için kütle kombinasyonu olabilir. 1* ağırlığı, $0.5 + 0.2 + 0.2* + 0.1 (\times 10^n)$ g ağırlıklarının kombinasyonu olabilir ya da kontrol standardı olabilir (bkz 2.5). Hesaplamaları basitleştirmek için bazı kıyaslamalar yapılmıştır. Yukarıdaki tartım modeli, sadece bütün kıyaslamalarda aynı tartı aletinin kullanılması halinde uygulanır.

C.4 Tartım döngüleri

Tek kıyaslama tartımının üç farklı tartım döngüsü için kullanılan kabul edilmiş prosedürler aşağıda C.4.1 ve C.4.2'de açıklanmıştır.

Not: Diğer prosedürler ve tartım döngüleri de kullanılabilir. Eğer $A_1 B_2 A_2$, $A_2 B_2 A_3$ gibi birbirinden bağımsız olmayan tartım döngüleri kullanılmışsa, koşullara göre belirsizliğin değerlendirilmesi ve C.6.1'de verilen formülün buna uygun olarak değiştirilmesi gerekir [33].

Tartım döngülerinde, "A" referans ağırlığının tartılmasını, "B" ise test ağırlığının tartılmasını ifade eder. ABBA ve ABA döngüleri ise E ve F sınıfı ağırlık sınıflarının kalibrasyonunda kullanılır.

$AB_1 \dots B_n A$ döngüsü genellikle M sınıfı ağırlıkların kalibrasyonunda kullanılır ancak E ve F sınıfı ağırlıklar için tavsiye edilmez. Eğer otomatik değişim mekanizmasıyla kütle komparatörü kullanılıyorsa ve sistem korunumlu ortama yüklenmişse bu döngü E ve F sınıfı ağırlık kalibrasyonlarında da uygulanabilir.

ABBA ve ABA döngüleri ise sadece altbölüm (subdivision) ağırlıklarda kullanışlıdır. Birden fazla referans ağırlığı kullanılabilir, bu durumda tartım döngüsü ayrı ayrı her referans ağırlığı için uygulanabilir. Referans ağırlıkları daha sonra birbiriyle kıyaslanabilir.

C.4.1 Test ağırlığının bir referans testiyle kıyaslanması (E ve F sınıfı ağırlıklar için tavsiye edilir)

Birçok tartım döngüsü kullanılabilir [34]. İki ağırlık için ABBA ve ABA olarak bilinen iki döngü

kullanılabilir. Bu döngüler doğrusal sapmayı önler.

ABBA döngüsü ($r_1 t_1 t_2 r_2$):

$$I_{r1\ 1}, I_{t1\ 1}, I_{t2\ 1}, I_{r2\ 1}, \dots, I_{r1\ n}, I_{t1\ n}, I_{t2\ n}, I_{r2\ n}$$

$$\Delta I_i = (I_{t1\ i} - I_{r1\ i} - I_{r2\ i} + I_{t2\ i})/2 \quad (C.4.1-1)$$

$i = 1, \dots, n$

ABA döngüsü ($r_1 t_1 r_2$):

$$I_{r1\ 1}, I_{t1\ 1}, I_{r2\ 1}, \dots, I_{r1\ n}, I_{t1\ n}, I_{r2\ n}$$

$$\Delta I_i = I_{t1\ i} - (I_{r1\ i} + I_{r2\ i})/2 \quad (C.4.1-2)$$

$i = 1, \dots, n$

ABBA ve ABA döngüsünde, n sıra sayısını verir. i değerleri, ağırlıkların tartım kefesinde yerleştirilme sırasında verilmiştir. Burada “r” ve “t” sembolleri sırasıyla referans ağırlığını ve test ağırlığını verir. ΔI_i ise ölçüm sırası i ’den farkı verir.

C.4.1.1 Tartımlar arasındaki zaman aralığı sabit tutulmalıdır.

C.4.1.2 Tartım esnasında tartı aletinin hassasiyetinin belirlenmesi gerekirse, “ m_s ” ‘in hassasiyet ağırlığı olmak üzere ABBA $I_r, I_t, I_{t+m_s}, I_{r+m_s}$, biçimine dönüştürülebilir.

C.4.2 Bir referans ağırlığıyla aynı nominal kütlede farklı test ağırlıklarının kıyaslanması ($AB_1 \dots B_n A$ döngüleri). Birden fazla test ağırlığının $t(j)$ ($j = 1, \dots, J$) aynı nominal ağırlıkla eşzamanlı kalibre edilmesi halinde, ABA tartım döngüsü aşağıdaki şekilde $AB_1 \dots B_n A$ ’ya dönüştürülebilir:

$$AB_1 \dots B_n A \text{ döngüsü: } I_{r1\ 1}, I_{t(1)\ 1}, I_{t(2)\ 1}, \dots, I_{t(J)\ 1}, I_{r2\ 1}, I_{t1\ 2}, I_{t(2)\ 2}, I_{t(J-1)\ 2}, \dots, I_{t(1)\ 2}, I_{r2\ 2}, \dots$$

$$\{I_{r1\ i-1}, I_{t(1)\ i-1}, I_{t(2)\ i-1}, \dots, I_{t(J)\ i-1}, I_{r2\ i-1}, I_{t1\ i}, I_{t(2)\ i}, I_{t(J-1)\ i}, \dots, I_{t(1)\ i}, I_{r2\ i}\}$$

$$\Delta I_{t(j)} = I_{t(j)\ i} - (I_{r1\ i} + I_{r2\ i})/2 \quad (C.4.2-1)$$

$i = 1, \dots, n$

$i = 1, \dots, n$

Tartım ibaresinin sapması önemsiz ise, örneğin gerekli belirsizlikten az ya da üçte birine eşit ise, sırayı tekrarlarken $AB_1 \dots B_n A$ ’daki test ağırlıklarını ters çevirmeye gerek yoktur.

Ağırlıkların sayısının 5 ($J \leq 5$)’ten fazla olmaması gerekir.

C.4.3 Tartım döngülerinin sayısı

Tartım döngü sayısı, n , gerekli belirsizliğe ve ölçümlerin tekrarlanabilir ve yeniden oluşturulabilir olmasına bağlı olmalıdır. $E_1 - M_3$ sınıflarında yapılacak en düşük ölçüm sayısı Tablo C.3’te verilmiştir.

Tablo C.3 En düşük tartım döngü sayısı

Sınıf	E1	E2	F1	F2	M1, M2, M3
En düşük ABBA sayısı	3	2	1	1	1
En düşük ABA sayısı	5	3	2	1	1
En düşük AB ₁ ...B _n A sayısı	5	3	2	1	1

C.5 Veri inceleme

C.5.1 Konvansiyonel kütlenin ortalama farkı – bir test ağırlığı

ABBA ve ABA döngülerinde, test ağırlığı ile döngünün referans ağırlığı arasındaki konvansiyonel kütle farkı, Δm_c , i , aşağıdaki gibidir:

$$\Delta m_c = m_{ct} - m_{cr} \quad (C.5.1-1)$$

$$\Delta m_{ci} = \Delta I_i + m_{cr} C_i \quad (C.5.1-2)$$

$$C_i = (\rho_{ai} - \rho_o) \times \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right) \quad (C.5.1-3)$$

n döngü için konvansiyonel kütlenin ortalama farkı:

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_{ci} \quad (C.5.1-4)$$

C.5.1.1 Ağırlığın ρ_t ya da ρ_r yoğunluğu bilinmiyorsa ancak materyal biliniyorsa, Tablo B.7'de yer alan uygun varsayılan yoğunluk kullanılmalıdır. Ağırlığın yoğunluğunun izin verilen limitlerde olduğu biliniyorsa, 8000 kg m^{-3} değeri kullanılmalıdır.

C.5.1.2 Hava boşluğu düzeltmesi (air buoyancy correction), $|C_i| \leq \frac{1}{3} \frac{U}{m_0}$ halinde önemsiz kabul edilir.

Ancak, C 'nin belirsizlik katkısı önemsiz olmayabilir (bkz. C.6.3.1). Sadece ortalama ya da tek bir hava yoğunluk değeri varsa, boşluk düzeltmesi, $m_{cr} C$, ortalamadan sonra uygulanabilir.

C.5.2 Konvansiyonel kütlenin ortalama farkı – çeşitli test ağırlıkları

AB₁...B_nA tartım döngüsüne uygun olarak birkaç test ağırlığının kalibrasyonunun sağlanması halinde, j ağırlığının (C.5.1-4) denkleminde alınarak ortalama kütle farkı ΔI_j 'nin (C.5.1-2) denkleminde $\Delta I_{i(j)}$ ile yer değiştirmesiyle elde edilir.

C.5.3 Konvansiyonel kütlenin ortalama farkı – çeşitli ölçümler

Δm_{cj} değerlerinden ve bütün ölçümlerin ortalama değerinden yaklaşık olarak eşit standart sapma bulunan çok sayıda (J) eşdeğer ölçüm serisi varsa, bütün ölçümlerin ortalama değeri şöyledir:

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \overline{\Delta m_{cj}} \quad (\text{C.5.3-1})$$

C.5.3.1 Çeşitli ölçüm serileri, tartımların yeniden yapılabilirliğinin incelenmesi gerektiğinde sadece E sınıfı ağırlıkların kalibrasyonunda kullanılabilir.

C.5.4 Test ağırlığının konvansiyonel kütlesi

Test ağırlığının konvansiyonel kütlesi şu formülden hesaplanabilir:

$$m_{ct} = m_{cr} + \overline{\Delta m_c} \quad (\text{C.5.4-1})$$

C.5.4.1 Doğrulamada, referans ağırlığının konvansiyonel kütlesi her zaman bilinmez. Bu durumda, nominal değeri kullanılmalıdır.

C.6 Belirsizlik hesaplamaları

Belirsizlik hesaplamalarında *Ölçümde belirsizlik açıklaması kılavuzu* 1993(E) [7] ve ilgili Avrupa akreditasyon kurumu (EA) belgesi esas alınır [35]. Kaynakçada [28, 29, 30, 31 ve 36] yer alan belirsizlik hesaplamaları kütle kıyaslamalarına dayanır. Belirsizlik, Tip A ya da Tip B değerlendirme yöntemi ile değerlendirilir. Tip A değerlendirmesi, ölçüm dizilerinin istatistiki analizine dayalı olurken, Tip B değerlendirmesi başka bilgilere dayalıdır.

C.6.1 Tartım sürecinin standart belirsizliği, u_w (Tip A)

Tartım sürecinin standart belirsizliği, $u_w(\Delta m_c)$, kütle farkının standart sapmasıdır. n kadar ölçüm döngüsü için:

$$u_w(\overline{\Delta m_c}) = \frac{s(\Delta m_{ci})}{\sqrt{n}} \quad (\text{C.6.1-1})$$

$s(\Delta m_{ci})$ çeşitli ağırlık sınıfları altında belirlenir.

C.6.1.1 F_2 , M_1 , M_2 ve M_3 sınıfları için, ABBA, ABA ya da $AB_1 \dots B_n A$ döngüleri uygulanır. Bu ağırlık sınıfları için, kütle farkının standart sapması eski verilerden bulunamadığı takdirde, şu şekilde tahmin edilir:

$$s(\Delta m_c) = \frac{\max(\Delta m_{ci}) - \min(\Delta m_{ci})}{2 \times \sqrt{3}} \quad (\text{C.6.1-2})$$

$n \geq 3$ ölçüm döngüsü

Standart sapma ayrıca C.6.1.2'de belirtildiği şekilde hesaplanabilir.

C.6.1.2 E_1 , E_2 ve F_1 ağırlık sınıfları için tartım sürecinin $s^2(\Delta m_c)$, kütle farkı değişkeni, Δm_c , aşağıdaki şekilde n ölçüm döngüsünden hesaplanır:

$$s^2(\Delta m_c) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta m_{ci} - \overline{\Delta m_c})^2 \quad (\text{C.6.1-3})$$

$n-1$ serbestlik derecesi vardır.

C.6.1.3 Eğer sadece birkaç ölçüm yapılırsa, $s(\Delta m_c)$ tahmini güvenilir olmayabilir. Benzer koşullarda yapılan önceki ölçümlerden sağlanan tahminlerden yararlanmak gerekir (bkz. D.1.2). Bu mümkün değilse, n en düşük 5 olmalıdır.

C.6.1.4 J değeri kadar ölçüm dizisi olduğunda ($J > 1$ iken), Δm_c değişkeni J dizisi üzerinden toplanarak hesaplanabilir; buna göre:

$$s^2(\Delta m_c) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J s_j^2(\Delta m_{ci}) \quad (\text{C.6.1-4})$$

$J(n-1)$ serbestlik derecesi vardır (D.2).

Not: Dizilerde standart sapmaları farklılaştırmak için $s_j^2(\Delta m)$ 'e " J " ilave edilir.

C.6.2 Referans ağırlığının belirsizliği, $u(m_{cr})$ (Tip B)

Referans ağırlığı kütesinin standart belirsizliği, $u(m_{cr})$, belirtilen genişletilmiş belirsizliğin, U , bölünmesiyle, miktar unsuruyla k (genellikle $k = 2$), kalibrasyon sertifikasından hesaplanmalıdır ve referans ağırlığın $u_{inst}(m_{cr})$ kütesinin sabit olmamasından kaynaklanan belirsizlikle birleştirilmelidir.

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inst}^2(m_{cr})} \quad (\text{C.6.2-1})$$

Referans ağırlığın, $u_{inst}(m_{cr})$, sabit olmamasından kaynaklanan belirsizlik, referans ağırlığın birçok defa kalibre edilmesinin ardından gözlemlenen kütle değişikliklerinden hesap edilebilir. Eski kalibrasyon değerlerine erişilemiyorsa, belirsizlik hesabı tecrübeye dayalı olacaktır.

C.6.2.1 F_1 ya da daha düşük doğruluk sınıfında yer alan doğrulanmış ağırlık referans ağırlık olarak kullanılmışsa ve kütle ile belirsizliğin ifade edilmediği OIML R 111 uygunluk sertifikası bulunuyorsa, belirsizlik ilgili sınıfa ait izin verilen en yüksek hatadan, δm , bulunur:

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\frac{\delta m^2}{3} + u_{inst}^2(m_{cr})} \quad (\text{C.6.2-2})$$

C.6.2.2 Kütle kıyaslamasında referans ağırlıkları kombinasyonlarının kullanılması ve özelliklerinin bilinmemesi halinde, 1'in korelasyon katsayısı varsayılabilir [37]. Bu sayede, belirsizliklerin doğrusal toplamına ulaşılabilir:

$$u(m_{cr}) = \sum_i u(m_{cr_i}) \quad (C.6.2-3)$$

burada $u(m_{cr_i})$ iken, referans ağırlığının standart belirsizliği i olur. Bu, belirsizliğin üst limitini verir.

C.6.3 Hava boşluğu doğrulamasının belirsizliği, u_b (Tip B)

Hava boşluğu doğrulamasının belirsizliği, (C.6.3-1)denkleminde hesaplanabilir [38].

$$u_b^2 = \left[m_{cr} \frac{(\rho_r - \rho_t)}{\rho_r \rho_t} u(\rho_a) \right]^2 + [m_{cr} (\rho_a - \rho_0)]^2 \frac{u^2(\rho_t)}{\rho_t^4} + m_{cr}^2 (\rho_a - \rho_0) [(\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{al} - \rho_0)] \frac{u^2(\rho_r)}{\rho_r^4}$$

Burada ρ_{al} , üst seviyede yer alan referans ağırlığının kullanılmasıyla referans ağırlığının (önceki) kalibrasyonundaki hava yoğunluğudur. (C.6.3-1) denklemini kullanırken referans ağırlığının $u(\rho_r)$, yoğunluk belirsizliği için önceki kalibrasyonda belirsizlik hesaplamasında kullanılan değeri kullandığınızdan emin olun. Daha büyük bir belirsizlik rastgele seçilemez.

C.6.3.1 Hava boşluğu doğrulaması önemsiz olsa bile (bkz C.5.1.2), boşluk etkisinin belirsizlik etkisi önemsiz olmayabilir; bu yüzden $u_b \geq u_c / 3$ (bkz denklem (C.6.3-1) ise dikkate alınması gerekebilir.

C.6.3.2 M_1 , M_2 ve M_3 sınıfları için hava boşluğunun doğrulanmasına bağlı belirsizlik önemsiz olabilir ve genellikle dikkate alınmaz.

C.6.3.3 F_1 ve F_2 sınıfları için, ağırlık yoğunluklarının yeterli doğrulukta bilinmesi gerekir (bkz. Tablo 5).

C.6.3.4 Hava yoğunluğu ölçülmediğinde ve mekanın ortalama hava yoğunluğu kullanıldığında, hava yoğunluğunun belirsizliği şu şekilde hesap edilir:

$$u(\rho_a) = \frac{0.12}{\sqrt{3}} \text{ [kg m}^{-3}\text{]} \quad (C.6.3-2)$$

Daha düşük bir belirsizlik değeri kullanıldığında destek veri sağlanabilir.

Deniz seviyesinde hava yoğunluğu 1.2 kg m^{-3} olarak alınır.

C.6.3.5 E ağırlık sınıfları için hava yoğunluğunun belirlenmesi gerekir. Belirsizliği genellikle sıcaklık, basınç ve hava neminin belirsizliğinden hesap edilir. E_1 sınıfı için hava yoğunluğunun hesaplanmasında CIPM formülü (1981/91) [3] ya da yaklaşığı kullanılır (bkz. Ek E).

C.6.3.6 Hava yoğunluğu değişkeni:

$$u^2(\rho_a) = u_F^2 + \left(\frac{\partial \rho_a}{\partial p} u_p \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_a}{\partial t} u_t \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_a}{\partial hr} u_{hr} \right)^2 \quad (C.6.3-3)$$

$hr = 0.5$ (50 %) rölatif nem, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $101\,325 \text{ Pa}$ basınç koşullarında, aşağıdaki sayısal

değerler yaklaşık olarak alınır:

$$u_F = [\text{kullanılan formülün belirsizliği}] \text{ (CIPM formülü için: } u_F = 10^{-4} \rho_a \text{)}$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial p} = 10^{-5} \rho_a \text{ Pa}^{-1}$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial t} = -3.4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \rho_a$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial hr} = -10^{-2} \rho_a$$

hr = kesir olarak rölatif nem.

C.6.3.7 Referans ağırlığın yoğunluğu, ρ_r , ve belirsizliği kalibrasyon sertifikasından bilinebilir.

C.6.3.8 E_2 sınıfı ağırlıklar için yoğunluk, ρ_r , her zaman bilinemez, bu nedenle ya ölçülmesi ya da B.7.9.3'te Tablo B.7'den alınması gerekir.

C.6.4 Terazinin belirsizliği u_{ba} (Tip B)

C.6.4.1 Terazi testleri ile kütle komparatörlerine bağlı belirsizlik

Bu unsurun belirlenmesinde önerilen yaklaşım, terazileri ve kütle komparatörlerini belirli aralıklarda test etmek ve test sonuçlarını belirsizlik hesaplamalarında kullanmaktır. E_1 sınıfı ağırlıklar kalibre edilirken, ölçüm sırasında belirsizlik konusunda yeterli bilginin sağlanabilmesi için farklı zamanlarda birkaç test ölçümünün yapılması önerilir.

C.6.4.2 Terazinin hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik

Terazi kütlelerin, m_s , ve standart belirsizliğin, $u(m_s)$, hassasiyet ağırlığı (ağırlıkları) ile kalibre edilmişse, hassasiyetten kaynaklanan belirsizlik etkisi şöyledir:

$$u_s^2 = \left(\Delta m_c\right)^2 \left(\frac{u^2(m_s)}{m_s^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2} \right) \quad (\text{C.6.4-1})$$

burada: ΔI_s hassasiyet ağırlığından kaynaklanan terazi göstergesindeki değişim;

$u(\Delta I_s)$, ΔI_s 'in belirsizliği ve

Δm_c de test ağırlığı ile referans ağırlığı arasındaki ortalama kütle farkıdır.

Hassasiyet zaman, sıcaklık ve yük ile sabit değilse, değişkenliği belirsizlik içinde yer almalıdır.

C.6.4.3 Dijital terazinin gösterge çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik

Ölçek aralığı, d , bulunan dijital teraziler için belirsizlik:

$$u_d = \left(\frac{d/2}{\sqrt{3}} \right) \times \sqrt{2} \quad (\text{C.6.4-2})$$

$\sqrt{2}$ faktörü, biri referans ağırlığı diğeri test ağırlığı ile olmak üzere iki farklı okumadan gelir.

C.6.4.4 Eksantrik yüklemeye bağlı belirsizlik

Bu etkinin önemli olduğu biliniyorsa, büyüklük (magnitude) hesap edilmeli ve gerekirse etkisinin belirsizlik bütçesine dahil edilmesi gerekir.

C.6.4.4.1 Eksantrikliğe bağlı belirsizliğe yönelik makul çözüm:

$$u_E = \frac{\frac{d_1}{d_2} \times D}{2 \times \sqrt{3}} \quad (C.6.4-3)$$

Burada: D , OIML R 76-2'ye uygun olarak gerçekleştirilen eksantriklik testinin en yüksek ve en düşük değerleri arasındaki fark;

d_1 , ağırlıkların merkezleri arasındaki tahmin edilen mesafe; ve

d_2 , yük alıcısının merkezi ile herhangi bir köşe arasındaki mesafedir.

Genellikle, belirsizlik etkisi, u_E , tartım işleminin belirsizliği, u_w , kapsamında alınır (bkz 6.1) ve göz ardı edilebilir.

C.6.4.4.2 Terazilerin otomatik ağırlık değişim mekanizmasıyla kullanılması halinde, iki ağırlık arasındaki gösterge farkı, ΔI , konumlar karşılıklı olarak değiştirildiğinde; $\Delta I_1 \neq \Delta I_2$, farklı olabilir. Bu, eksantrik yükleme hatası olarak yorumlanabilir ve belirsizliği de (C.6.4-4) denkleminde hesaplanır. Bu belirsizlik etkisi, aynı nominal değeri olan ağırlıklarla önceki karşılıklı değiştirilen ölçümlerden biliniyorsa uygulanabilir. Bu değişimin bir kalibrasyon prosedürü sırasında gerçekleştirilmesi halinde, iki gösterge farkının ortalaması tartım sonucu olarak alınır ve u_E göz ardı edilebilir.

$$u_E = \frac{|\Delta I_1 - \Delta I_2|}{2} \quad (C.6.4-4)$$

Not: (C.6.4-4) denkleminin (15) denkleminin ve OIML D 28 içerisinde Not 6 ile aynı matematiksel temele dayalıdır.

C.6.4.5 Manyetizmaya bağlı belirsizlik, u_{ma}

Ağırlık yüksek manyetik hassasiyetli ve/veya manyetize ise, ağırlık ile yük alıcısı arasında manyetik olmayan bir unsur yerleştirilerek manyetik etkileşim azaltılabilir. Ağırlıklar bu Tavsiye gereklerini karşılıyorsa, manyetizmaya bağlı belirsizlik, u_{ma} , sıfır olarak alınabilir.

C.6.4.6 Terazinin kombine standart belirsizliği, u_{ba}

Belirsizlik unsurları ikinci dereceden (quadratically) şu şekilde eklenir:

$$u_{ba} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2 + u_{ma}^2} \quad (C.6.4-5)$$

C.6.5 Büyüyen belirsizlik, $U(m_{ct})$

Test ağırlığının konvansiyonel kütesinin kombine standart belirsizliği şu şekilde verilir:

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\Delta m_c) + u^2(m_{cr}) + u_b^2 + u_{ba}^2} \quad (C.6.5-1)$$

Hava boşluğu düzeltmesi, $m_{cr} C$, uygulanmamışsa (C.5.1.2), u_b 'nin yanı sıra hava boşluğu etkisinin de kombine belirsizliğe dahil edilmesi gerekir (bkz. denklem (15) ve Not 6 [3]):

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\Delta m_c) + u^2(m_{cr}) + u_b^2 + (m_{cr} C)^2 + u_{ba}^2} \quad (C.6.5-2)$$

Test ağırlığının konvansiyonel kütesinin büyüyen belirsizliği, U , şöyledir:

$$U(m_{ct}) = k u_c(m_{ct}) \quad (C.6.5-3)$$

C.6.5.1 Genellikle kapsama (coverage) unsuru, $k = 2$, kullanılmalıdır. Tartım işleminin standart sapma havuzu (pooled standard deviation of the weighing process) bilinmiyorsa ve ölçüm sayısı 10'a çıkmıyorsa (büyük ağırlıklarda ve uzun tartım prosedürlerinde olduğu gibi) ve belirsizlik, $u(\Delta m)$, belirsizlik analizinde (sözelimi $u_w(\Delta m) > u_c(m_t) / 2$) baskın unsur ise, kapsama unsuru, k , %95.5 güvenilirlik seviyesinde ve etkin serbestlik derecesinde, v_{eff} (Welch-Satterthwaite formülünden hesaplandığı şekilde [35]) düşünülen t-dağılımdan hesaplanmalıdır. Farklı etkin serbestlik dereceleri, v_{eff} , için pay (coverage) unsuru aşağıda Tablo C.4'te verilmiştir. Tip B belirsizlik tahminlerinin sonsuz serbestlik dereceleriyle belirlenmesi halinde formül şöyle olur:

$$v_{eff} = (n-1) \times \frac{u_c^4(m_{ct})}{u_w^4(\Delta m_c)} \quad (C.6.5-4)$$

Daha detaylı bilgi için bkz. [8].

Tablo C.4 Farklı etkin serbestlik dereceleri, v_{eff} için pay unsuru, k

v_{eff}	1	2	3	4	5	6	8	10	20	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.37	2.28	2.13	2.00

Ek D

İstatistiki kontrol (bilgi niteliğinde)

D.1 Kontrol standardı

D.1.1 Kontrol standardı genellikle kalibre edilecek ve ‘bilinmeyen’ ağırlık olarak tartım modelinde dahil edilecek test ağırlığı ile aynı tip ve nominal kütleye sahip ağırlıktır. Kontrol prosedürünün en iyi şekilde işleyebilmesi için kontrol standardının model içerisine bilinmeyen ağırlık olarak dahil edilmesi gerekir. Örneğin, 5, 2, 2, 1 olarak adlandırılmış test ağırlıkları için, “1” olarak adlandırılan kontrol standardı tartım modeline dahil edilerek kalibre edilecek ağırlığın 5, 2, 2, 1, 1 olması sağlanır. 1, 1, 1, 1 modelindeki referans kilogramlarına göre kalibre edilecek kilogram ağırlıkları için kontrol standardı (bkz. 2.5) iki referans kilogramı arasındaki fark olabilir.

D.1.2 Kontrol standardının amacı ayrı ayrı kalibrasyonların etkinliğini güvence altına almaktır. Bunun için Kontrol standardı değerlerine gerek vardır. Kontrol standardının kütle farkı için kabul edilen değer, m_{diff} , (genellikle ortalama) eski verilerden toplanır ve en azından 10–15 ölçüme dayalıdır. Herhangi yeni bir kalibrasyon için istatistiki kontrol tekniği kullanılarak kontrol standardı değerinin, m_{diff} , kabul edilen değerle uyuşup uyuşmadığı test edilir. Test t-istatistiğine dayalıdır:

$$t = \frac{|m_{diff} - \bar{m}_{diff}|}{S} \quad (D.1.2-1)$$

Burada: S , $v = n-1$ serbestlik derecesiyle aşağıdaki formülle hesap edilen kütle farkının n kadar eski değerinin is the standard sapmasıdır:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_{diff_i} - \bar{m}_{diff})^2} \quad (D.1.2-2)$$

Aşağıdaki sağlanırsa kalibrasyon süreci kontrol altında kabul edilir:

$t \leq$ öğrencinin v serbestlik derecesiyle t -dağılımının kritik değeri.

D.1.3 S 'nin serbestlik derecelerine dayalı kritik değerler iki yönlü testte $\alpha = 0.05$ önem derecesinde Tablo D.1’de verilmiştir. Serbestlik derecesi büyükse (> 15), tablodaki kritik değer yerine faktör 2’nin kullanılması uygundur. Eğer kalibrasyonun t-testinden kontrol dışı olduğuna kanaat getirilirse, bunun sebebi araştırılmalı ve kalibrasyon sonuçlarının rapor edilmesinden önce durum düzeltilmelidir. Bu test, anormalliklerin ve işlem ortalamasında ani değişimlerin (referans ağırlığı değerindeki değişiklikler de dahil olmak üzere) iki ya da daha fazla standart sapma düzeninde belirlenmesinde etkilidir. Yarım standart sapma ya da kademeli kaymalardan kaynaklanan küçük değişiklikler için önlem almak gereksizdir.

D.1.4 Kontrol standardı üzerinde veriler toplandıkça kabul edilen değer güncellenir. Birçok yaklaşım benimsenebilir, ancak verinin her zaman sapma ya da değişikliklere karşı kontrol edilmesi gerekir. Kontrol standardı değeri, son 10-15 ölçüme göre, aşağıdaki duruma göre “eski” değeri, \bar{m}_{diff} yerine “yeni” değeri, \bar{m}'_{diff} ile değiştirilmiştir

$$t = \frac{|\bar{m}_{diff} - \bar{m}'_{diff}|}{\sqrt{\frac{s_{old}^2}{J} - \frac{s_{new}^2}{K}}} > t_{\alpha/2}(v) \quad (D.1.4-1)$$

Burada J ve K sırasıyla “eski” ve “yeni” ölçüm sayılarını verir, ve $v = J + K - 2$.

D.2 Terazinin hassasiyeti

Terazinin hassasiyeti aynı zamanda istatistiksel kontrol tekniği kullanılarak da izlenebilir. Tartım modelinden kalan standart sapma ya da tekrarlanan ölçümlerin tek ağırlıktaki standart sapması bu testin dayanağını oluşturur. Test aynı terazinin standart sapma geçmişini de temel alır. Eski verilerden m standart sapmalar varsa, s_1, \dots, s_m , eski standart sapmalar:

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum s_i^2} \quad (D.2-1)$$

terazinin standart sapmasının en iyi tahminini verir. Yukarıdaki denkleme göre standart sapmaların serbestlik derecesi v 'dir; burada eski standart sapmalar $m \cdot v$ serbestlik derecesine sahiptir. Her bir ölçüm modeli ya da serisi için kalan standart sapma, s_{new} , eski değerlere göre test edilebilir. Test istatistiği:

$$F = \frac{s_{new}^2}{s_p^2} \quad (D.2-2)$$

D.2.1 Genellikle, yalnızca doğruluktaki bozulmalar test edilir. Terazinin doğruluğu şu durumda kontrol altında düşünülür:

$$F \leq F\text{-dağılımından kritik değer}$$

s_{new} için serbestlik derecesi v ; ve s_p için serbestlik derecesi $m \cdot v$ 'dir. Tek yönlü test için kritik F değerleri $\alpha = 0.05$ önem seviyesinde Tablo D.2'de yer almaktadır. Standart sapmanın azaldığı düşünülüyorsa bunun sebebi araştırılmalı ve durum düzeltilmelidir.

Tablo D.1 $\alpha = 0.05$ ile iki yönlü test için öğrencinin t-dağılımının kritik değerleri

Not : v = serbestlik derecesi

v	Kritik değer	v	Kritik değer	v	Kritik değer	v	Kritik değer	v	Kritik değer
	12.706	11	2.201	21	2.080	31	2.040	41	2.020
	4.303	12	2.179	22	2.074	32	2.037	42	2.018
	3.182	13	2.160	23	2.069	33	2.035	43	2.017
	2.776	14	2.145	24	2.064	34	2.032	44	2.015
	2.571	15	2.131	25	2.060	35	2.030	45	2.014
	2.447	16	2.120	26	2.056	36	2.028	46	2.013
	2.365	17	2.110	27	2.052	37	2.026	47	2.012
	2.306	18	2.101	28	2.048	38	2.024	48	2.011
	2.262	19	2.093	29	2.045	39	2.023	49	2.010
	2.228	20	2.086	30	2.042	40	2.021	50	2.009

Tablo D.2 $\alpha = 0.05$ önem seviyesinde $s_p(m \square v, v)$ 'i aşmayan s_{new} (v serbestlik derecesi) tek yönlü test için F dağılımının kritik değerleri

$F(\alpha, v, v-m)$ $\alpha = 0.05$	v									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m										
1	161.448	19.000	9.277	6.388	5.050	4.284	3.787	3.438	3.179	2.978
2	18.513	6.944	4.757	3.838	3.326	2.996	2.764	2.591	2.456	2.348
3	10.128	5.143	3.863	3.259	2.901	2.661	2.488	2.355	2.250	2.165
4	7.709	4.459	3.490	3.007	2.711	2.508	2.359	2.244	2.153	2.077
5	6.608	4.103	3.287	2.866	2.603	2.421	2.285	2.180	2.096	2.026
6	5.987	3.885	3.160	2.776	2.534	2.364	2.237	2.138	2.059	1.993
7	5.591	3.739	3.072	2.714	2.485	2.324	2.203	2.109	2.032	1.969
8	5.318	3.634	3.009	2.668	2.449	2.295	2.178	2.087	2.013	1.951
9	5.117	3.555	2.960	2.634	2.422	2.272	2.159	2.070	1.998	1.938
10	4.965	3.493	2.922	2.606	2.400	2.254	2.143	2.056	1.986	1.927
11	4.844	3.443	2.892	2.584	2.383	2.239	2.131	2.045	1.976	1.918
12	4.747	3.403	2.866	2.565	2.368	2.227	2.121	2.036	1.968	1.910
13	4.667	3.369	2.845	2.550	2.356	2.217	2.112	2.029	1.961	1.904
14	4.600	3.340	2.827	2.537	2.346	2.209	2.104	2.022	1.955	1.899
15	4.543	3.316	2.812	2.525	2.337	2.201	2.098	2.016	1.950	1.894
16	4.494	3.295	2.798	2.515	2.329	2.195	2.092	2.011	1.945	1.890
17	4.451	3.276	2.786	2.507	2.322	2.189	2.087	2.007	1.942	1.887
18	4.414	3.259	2.776	2.499	2.316	2.184	2.083	2.003	1.938	1.884
19	4.381	3.245	2.766	2.492	2.310	2.179	2.079	2.000	1.935	1.881
20	4.351	3.232	2.758	2.486	2.305	2.175	2.076	1.997	1.932	1.878
30	4.171	3.150	2.706	2.447	2.274	2.149	2.053	1.977	1.915	1.862
40	4.085	3.111	2.680	2.428	2.259	2.136	2.042	1.967	1.906	1.854
50	4.034	3.087	2.665	2.417	2.250	2.129	2.036	1.962	1.901	1.850
60	4.001	3.072	2.655	2.409	2.244	2.124	2.031	1.958	1.897	1.846
70	3.978	3.061	2.648	2.404	2.240	2.120	2.028	1.955	1.895	1.844
80	3.960	3.053	2.642	2.400	2.237	2.117	2.026	1.953	1.893	1.843
90	3.947	3.046	2.638	2.397	2.234	2.115	2.024	1.951	1.891	1.841
100	3.936	3.041	2.635	2.394	2.232	2.114	2.023	1.950	1.890	1.840
∞	3.841	2.996	2.605	2.372	2.214	2.099	2.010	1.938	1.880	1.831

Ek E

CIPM formülü ve yaklaştırma formülü (Bilgi niteliğinde)

E.1 The CIPM formülü

1981 yılında, Comité International des Poids et Mesures (CIPM) [39] nemli havanın yoğunluğunun, ρ_a , belirlenmesinde aşağıdaki formülün kullanılmasını önermiştir:

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT} \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (E.1-1)$$

Burada: p = basınç;

M_a = kuru havanın molar kütlesi;

Z = sıkıştırılabilirlik;

R = molar gaz sabiti;

T = ITS-90 ile termodinamik sıcaklık;

x_v = su buharının gram molekülü; ve

M_v = suyun molar kütlesi.

v

Bu formül, CIPM-81 denklemi olarak bilinir. 1981 yılında yayınlanmasından sonra, kullanılan sabitlerin önerilen değerlerinde çeşitli değişiklikler olmuştur. Formülde kullanılan sabitlerin çoğunun değiştirildiği 1991 tarihli Kütle Komitesinin toplanmasının ardından "Nemli havanın yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılan 1981/91 denklemi" ya da sadece "1981/91 denklemi" olarak bilinmektedir.

E.2 Sabitler

E.2.1 Kuru havanın molar kütlesi, M_a

Kuru havanın molar kütlesi, M_a , aşağıdaki şekilde karbon dioksitin gram molekülü olarak x_{CO_2} kullanılarak hesaplanabilir:

$$M_a = [28.9635 + 12.011 (x_{CO_2} - 0.0004)] \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} \quad (E.2.1-1)$$

Tablo E.1 $x_{CO_2} = 0.0004$ iken M_a/R için önerilen değer

Sabit	1991'de önerilen değer	Birimler
M_a/R	3.483 49	$10^{-3} \text{ kg KJ}^{-1}$

E.2.2 Su buharının gram molekülü, x_v

Rölatif nemin , hr , çiy noktası ısısının, t_r , genişleme faktörü, f , ve nemli hava doymunluğu buhar basıncı, p_{sv} , fonksiyonu olan su buharının gram molekülü şu şekilde verilmiştir:

$$x_v = (hr) f(p, t) \frac{p_{sv}(t)}{p} = f(p, t_r) \frac{p_{sv}(t_r)}{p} \quad (E.2.2-1)$$

Burada: hr = kesir olarak ifade edilen rölatif nem;

p = basıncı;

t = Celsius dereceli sıcaklık;

$p_{sv}(t)$ = nemli havanın doymuş buhar basıncı; ve

t_r = çiy noktası ısısı.

E.2.2.1 Nemli havanın doymuş buhar basıncı, p_{sv} , aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$p_{sv} = 1 \text{ Pa} \times \exp\left(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T}\right) \quad (E.2.2-2)$$

Burada A, B, C, D doymuş buhar basıncı sabiti parametreleridir. Önerilen değerler aşağıdaki gibidir:

Tablo E.2 A, B, C, D sabitleri için önerilen değerler

Sabit	1991'de önerilen değer	Birimler
A	1.237 884 7	10-5 K-2
B	- 1.912 131 6	10-2 K-1
C	33.937 110 47	
D	- 6.343 164 5	103 K

E.2.2.2 Artırma faktörü (enhancement factor), f

Artırma faktörü, f , üç sabitin bir fonksiyonudur (α, β, γ) ve sıcaklık derecesi, t , Celsius cinsindedir. Bu faktör şu şekilde hesaplanabilir:

$$f = \alpha + \beta p + \gamma t^2 \quad (E.2.2-3)$$

Tablo E.3 α, β, γ Sabitleri için önerilen değerler

Sabit	1991'de önerilen değer	Birimler
α	1.000 62	
β	3.14	10-8 Pa-1
γ	5.6	10-7 K-2

E.2.3 Sıkıştırılma faktörü, Z

Sıkıştırılma faktörü, Z, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir:

$$Z = 1 - \frac{p}{T} \left[a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t) x_v + (c_0 + c_1 t) x_v^2 \right] + \frac{p^2}{T^2} (d + e x_v^2) \quad (E.2.3-1)$$

Tablo E.4 $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, c_0, c_1, d, e$ sabitleri için önerilen değerler

Sabit	1991'de önerilen değer	Birimler
a_0	1.581 23	10 ⁻⁶ KPa ⁻¹
a_1	- 2.933 1	10 ⁻⁸ Pa ⁻¹
a_2	1.104 3	10 ⁻¹⁰ K ⁻¹ Pa ⁻¹
b_0	5.707	10 ⁻⁶ KPa ⁻¹
b_1	- 2.051	10 ⁻⁸ Pa ⁻¹
c_0	1.989 8	10 ⁻⁴ KPa ⁻¹
c_1	- 2.376	10 ⁻⁶ Pa ⁻¹
d	1.83	10 ⁻¹¹ K ² Pa ⁻²
e	- 0.765	10 ⁻⁸ K ² Pa ⁻²

E.3 Hava yoğunluğu için yaklaştırma formülü

Hava yoğunluğunun doğru formülü CIPM formülüdür (1981/91) [39]. Ancak yaklaştırma formülü de kullanılabilir:

$$\rho_a = \frac{0.34848 p - 0.009 (hr) \times \exp(0.061 t)}{273.15 + t} \quad (E.3-1)$$

Burada: hava yoğunluğu, ρ_a , kg m⁻³'ten alınır;

basınç, p , mbar ya da hPa olarak verilir;

rölatif nem, hr , yüzde olarak ifade edilir; ve

sıcaklık, t , °C'dir.

(E.3-1) denkleminin rölatif belirsizliği 900 hPa < p < 1100 hPa, 10 °C < t < 30 °C ve hr < 80 % aralığında 2×10^{-4} 'tür.

E₁ ağırlık sınıfı için hava yoğunluğu, ilgili ölçümlere dayalı olarak belirlenmelidir. Yine de, laboratuvarlarda hava yoğunluğunu belirleme imkanı yoksa aşağıdaki yaklaştırma denklemi de kullanılabilir. Deniz seviyesinden yükseklik her zaman bilinir. Buna bağlı olarak, hava yoğunluğu eğer ölçülmemişse, laboratuvar için ortalama değer olarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$\rho_a = \rho_0 \times \exp\left(\frac{-\rho_0}{p_0} gh\right) \quad (E.3-2)$$

Burada: $p_0 = 101\,325$ Pa;

$$\rho_0 = 1.2 \text{ kg m}^{-3};$$

$$g = 9.81 \text{ ms}^{-2}; \text{ ve}$$

h = metre cinsinden belirtilen deniz seviyesinden yükseklik.

Referanslar

- [1] *International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM)* (1993), ISO
- [2] *International vocabulary of terms in legal metrology (VIML)* (2000), OIML
- [3] OIML D 28 *Conventional value of the result of weighing in air* (2004) (D 28 was previously published as OIML R 33)
- [4] ISO 4287:1997 Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions, and surface texture parameters
- [5] ISO/IEC Guide 2:1996 Standardization and related activities - General vocabulary
- [6] Davis, R. S., "Determining the magnetic properties of 1 kg mass standards" J. Res. National Standards and Technology (USA), 100, 209-25, May-June 1995; Errata, 109, 303, March-April 2004
- [7] *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*, first edition, 1993, corrected and reprinted 1995, ISO
- [8] Myklebust T, Källgren H, Lau P, Nielsen L and Riski K, "Testing of weights: Part 3 - Magnetism and convection", *OIML Bulletin XXXVIII* (1997), pp. 5-10
- [9] Gläser, M., "Magnetic interactions between weights and weighing instruments." Meas. Sci. Technol. 12 (2001), pp. 709-715
- [10] ISO 261:1998 – ISO general-purpose metric screw threads – General plan
- [11] Gläser, M., "Change of the apparent mass of weights arising from temperature differences," *Metrologia* 36 (1999), pp. 183–197
- [12] Jean M. Bennett and Lars Mattsson, "Introduction to Surface Roughness and Scattering" Optical Society of America (1989)
- [13] ISO 5436:1985, *Calibration specimens - Stylus instruments - Types, calibration and use of specimens*. (Ed. 1; 20 p; K)
- [14] ISO 3274:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Nominal characteristics of contact (stylus) instruments (Ed. 2; 13 p; G). ISO 3274:1996/Cor 1:1998 (Ed. 1; 1 p; *)
- [15] ISO 4288:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture (Ed. 2; 8 p; D). ISO 4288:1996/Cor 1:1998 (Ed. 1; 1 p; *)
- [16] Myklebust, T., "Methods to determine magnetic properties of weights and magnetic field and field gradients of weights." National Measurement Service, Norway (1995)
- [17] Myklebust, T. 1997 "Intercomparison: Measurement of the volume magnetic susceptibility and magnetisa

- tion of two cylindrical (kg) weights. EUROMET project 324”, Justervesenet (NO)
- [18] Myklebust, T. and Davis, R.S., “Comparison between JV and BIPM to determine the volume susceptibility of one 20 g weight and two 1 g weights”, Justervesenet (1996)
- [19] Myklebust, T. and Börjesson, L., “Comparison of two instruments based on the attracting method.” National Measurement Service, Norway (1995)
- [20] Ueki, M., Nezu, Y. and Ooiwa, A., “New facility for weight calibration service”, Proceedings of the 14th IMEKO World Congress and Bulletin of NRLM vol. 46, No 4, pp. 223–228 (1997)
- [21] Schoonover, R.M. and Davis, R.S., “Quick and Accurate Density Determination of Laboratory Weights”. (Proceedings. 8th Conference. IMEKO Technical Committee TC3 on Measurement of Force and Mass, Krakow, Poland. September 9-10, 1980) (Paper in “Weighing Technology,” pp. 1123–1127, (Druk, Zaklad Poligraficzny Wydawnictwa SIGMA, Warsaw, Poland (1980)
- [22] Kobata, T., Ueki, M., Nezu, Y., Ooiwa, A. and Ishii, Y., “Characterization of an Acoustic Volumeter for Measuring the Volume of Weights”, Proceedings of 15th IMEKO World Congress (1999)
- [23] Ueki, M., Kobata, T., Mizushima, S., Nezu, Y., Ooiwa, A. and Ishii, Y., “Application of an Acoustic Volumeter to Standard Weights”, Proceedings of 15th IMEKO World Congress (1999)
- [24] Bettin, H., Spieweck, F., “Die Dichte des Wassers als Funktion der Temperatur nach Einführung der Internationalen Temperaturskala von 1990”, PTB-Mitt. 1003/90, pp. 195–196
- [25] Tanaka, M., Girard, G., Davis, R., Peuto, A., Bignell, N., [NMIJ, BIPM, IMGC, NML], “Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports”, Metrologia, 2001, 38, n°4, pp. 301–309
- [26] Gorski, W., Toth, H.G., “Destilliertes Wasser als Dichtereferenzmaterial - Die elektrische Leitfähigkeit als Kriterium seiner Güte” - PTB-Mitt. 98 5/88, pp. 324–325
- [27] Lau, P., “Weight Volume and Centre of Gravity”, SP-AR to be published. (Secretariat is updating this reference (9/6/02))
- [28] Croarkin, C., “An Extended Error Model for Comparison Calibration”, Metrologia 26, 107 (1989)
- [29] Schwartz, R. “Guide to mass determination with high accuracy” PTB-Bericht MA-40, Braunschweig, (1995). See also Kochsiek, M., Gläser, M., “Comprehensive Mass Metrology”, Wiley, New York, Sec.3.4, “Mass determination with balances” (Roman Schwartz) (2000)
- [30] Chapman, G.D., “Orthogonal designs for calibrating kilogram submultiples”, NRCC25819. 27 April 1995, National Research Council Canada, Canada
- [31] Morris, E.C., “Decade Design for Weighings of Non-uniform Variance”, Metrologia 29, 373 (1992)
- [32] Cameron, J.M., Croarkin, M.C., and Raybold, R. C.R., “Designs for the calibration of standards of mass”, NBS TN 952 (1977)
- [33] Gläser, M., “Cycles of comparison measurements, uncertainties and efficiencies”, Meas. Sci. Technol 11 (2000), pp. 20–24
- [34] Sutton, C.M. and Clarkson, M.T., “A general approach to comparisons in the presence of drift” Metrologia 30, 487 (1993/94)
- [35] Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, EA-4/02 (1999)
- [36] Bich, W., Cox, M.G., and Harris, P.M., “Uncertainty modelling in mass comparisons”, Metrologia 30, 495 (1993/4)

- [37] Bich, W., "Covariances and restraints in mass metrology", *Metrologia* 27, 111 (1990)
- [38] Gläser, M., "Covariances in the determination of conventional mass." *Metrologia* 37, 249–251 (2000)
- [39] Davis, R.S., "Equation for the determination of the density of moist air" (1981/91), *Metrologia* 29, 67 (1992). Giacomo, P., "Equation for the determination of the density of moist air" (1981), *Metrologia* 18, 33 (1982)
- [40] Chung, J.W., Ryu, K.S., Davis, R.S. "Uncertainty analysis of the BIPM susceptometer", *Metrologia* 38 (2001), pp. 535-541

Printed in France GRANDE IMPRIMERIE DE TROYES