

TMMOB Makine Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi  
III.Ulusal Ölçümbilim Kongresi 7-8 Ekim 1999 Eskişehir-Türkiye

## KUVVET ÖLÇME CİHAZLARININ ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ

*Cihan Kuzu, Sinan Fank, Çetin Doğan, Hayrettin Parlaktürk*

TÜBİTAK – Ulusal Metroloji Enstitüsü, P.K. 21, 41470 Gebze-KOCAELİ

Tel:262 6466355,

E-mail : cihan.kuzu@ume.tubitak.gov.tr

### ÖZET

Kuvvet ölçme cihazları olarak adlandırılan sistemler, uygulanan yük karşısında elastik olarak deformasyona uğrayan bir eleman ve bu elemandaki elastik deformasyonu göstermeye yarayan bir gösterge elemandan oluşmaktadır. Kuvvet ölçme cihazları değeri çok iyi bilinen bir kuvvetin veya yükün elastik eleman üzerine belirli prosedürler dahilinde uygulanması ile kalibre edilirler ve uygulanan yüke karşılık gelen çıkış değerleri göstergeden okunarak kaydedilir ve değerlendirilir. Bu değerlendirme çeşitli yazılı standartlarda tarif edildiği şekilde, cihazın tekrarlanabilirlik, histerisiz, linearite ve sıfır hatalarının hesaplanması şeklinde yapılır. Bu hesaplamalardan sonra cihaz iki türlü doğruluk değeri verilerek ifade edilir. Bunlardan birincisi yine yazılı standartlarda, belirli hata sınırlarına göre tablo halinde verilen doğruluk sınıflarıdır. İkincisi ise hesaplanması daha karmaşık olmasına rağmen daha kullanışlı olan ve cihazın toplam karakteristiğini ifade eden genişletilmiş ölçüm belirsizlik hesabıdır. Bu çalışmada EN 10002-3 standardına göre kalibre edilen kuvvet ölçme cihazlarının genişletilmiş ölçüm belirsizliğinin nasıl hesaplandığı anlatılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Kuvvet ölçme cihazı, kuvvet standardı makinası, ölçüm belirsizliği

### 1.GİRİŞ

Ölçüm sonuçlarının doğru değerlendirilmesi sonuçların güvenilirliklerine bağlı olup, her ölçüm sonucunda alınan değer mutlaka bir şüphe içerir. Bundan dolayı ölçüm sonucu verilirken, ölçülen veya hesaplanan değer belirsizliği ölçüm sonucu ile verilmelidir. Yani ölçülen büyüklüğün gerçek değerinin belirli bir olasılıkla bulunduğu aralık ifade edilmelidir. Ölçüm hatası, ölçüm sonucunda bulunan değer ile gerçek değer arasındaki farktır. Genel olarak gerçek değer kesin olarak bilinemediğinden hata da kesin olarak bilinememekte, sadece tahmin edilebilmektedir. İşte hatanın tahmin edilmesi olayı ölçüm belirsizliği olarak ifade edilmektedir. Son zamanlarda yapılan yoğun çalışmalara rağmen ölçüm belirsizliğini bulmak için henüz evrensel bir metod geliştirilememiştir. Ölçüm hataları iki grupta toplanabilir: Bunlar rastgele ve sistematik hatalardır. Aynı sistem ve prosedür tekrar edildiğinde ölçümler arasında önceden tahmin edilemeyen bir fark oluşuyorsa buna rastgele hata denir. Eğer tekrar edilen ölçümlerin ortalamasının gerçek değerden belirli ve sabit bir sapması var ve bu sapma önceden tahmin edilebiliyorsa buna da sistematik hata denir.



Kuvvet ölçme cihazları kullanıldıkları alanlara göre, kuvvet dönüştürücüleri, yük hücreleri, dinamometreler, yük reseptörleri şeklinde adlandırılmakta ve bu cihazlar terazilerden kantarlara, metrolojik çalışmalardan her türlü endüstriyel test ve uygulamalara kadar çok yoğun bir kullanıma sahiptirler. Bu cihazlar uygulanan yük karşısında elastik deformasyona uğrayan bir yay elemanı ve bu deformasyonu dijital veya analog olarak göstermeye yarayan bir gösterge elemanından oluşmaktadır. UME'de kuvvet dönüştürücüleri EN 10002-3 standardında belirtilen prosedüre göre kalibre edilmektedir [1]. Bu prosedüre göre önce dönüştürücüye maksimum ile ardıl kuvvetlerin uygulanacağı yönde (basma veya çekme) üç defa ön yükleme yapılır; aynı, şekilde yükleme yönünün değişmesi durumunda maksimum kuvvet yeni yönde üç defa uygulanmaktadır. Daha sonra, cihazın kapasitesinin onda biri artımlarla aynı pozisyonda iki seri kuvvet uygulanır. Ardından, artan ve azalan değerlerde en az iki ilave kuvvet serisi uygulanır. Bu serilerin her biri dönüştürücünün kendi eksenini etrafında 120° döndürülmesiyle uygulanır. Mesela; 0°, 120° ve 240° pozisyonlarında veya zorunlu koşullarda ; 0°, 180°, 360° pozisyonlarında artan-azalan serileri uygulanabilir. Yükleme arasında yüksüz duruma karşılık gelen gösterge değerleri, sıfır yüke dönülmesinin ardından en az 30 saniye bekledikten sonra kaydedilir. Kuvvet dönüştürücüsüne bir sonraki kalibrasyon kuvvet serileri uygulanmadan önce, maksimum kuvvet bir kez uygulanır. Elektrik kuvvet ölçme cihazının kalibrasyonuna başlanmadan önce sıfır sinyali kaydedilir.

## 2. BELİRSİZLİK BİLEŞENLERİ ve TAHMİNİ VARYANSLARI

Yeni Avrupa Standardı EN 10002-3'ün, üye ülkeler tarafından 1992'de kabul edilmesi ile Avrupa'da kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyon ve sınıflandırmaları için tek bir prosedür uygulanmaya başlanmıştır. EN 10002-3'ün sınıflandırma bileşenleri WECC Doc. 19'a göre [2] standart ölçüm belirsizliğini elde etmek için girdi büyüklüklerini kullanırlar. Kuvvet dönüştürücülerinin belirsizlik bileşenleri tekrarlanan gözlemlerle bulunmakta ve değişik hesaplamalar sonucunda elde edilmiş sonuçları sunmaktadır. Belirsizlik bileşenlerinin olasılık dağılımları ve tahmini varyansları aşağıda tablo halinde verilmiştir[3]. Burada  $a$  belirsizlik bileşenlerinin yarım aralık değeridir.

Tablo 1. Kuvvet Ölçme Cihazı Bileşenlerinin Tahmini Varyansları

Belirsizlik Bileşenleri	Olasılık Dağılımları	Tahmini Bağlı Varyans
Dönümlü bağlı tekrarlanabilirlik hatası	U-dağılım	$u_{(dl)}^2 = a^2 / 2$
Dönümsüz bağlı tekrarlanabilirlik hatası	Dikdörtgen dağılım	$u_{(dzt)}^2 = a^2 / 3$
Bağlı interpolasyon hatası	Üçgen dağılım	$u_{(int)}^2 = a^2 / 6$
Bağlı sıfır hatası	Dikdörtgen dağılım	$u_{(sif)}^2 = a^2 / 3$
Çözünürlük hatası	Dikdörtgen dağılım	$u_{(çöz)}^2 = a^2 / 3$
Tersinebilirlik hatası	Dikdörtgen dağılım	$u_{(ter)}^2 = a^2 / 3$

### 2.1. Dönümlü Bağlı Tekrarlanabilirlik Hatası ve Tahmini Varyansı

Bu hata kuvvet ölçme cihazının 0°, 120° ve 240° döndürülmesi esnasında artan serilerin her bir kalibrasyon adımındaki maksimum kayma miktarına bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$b = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_r} \times 100 \quad (1)$$



$$X_r = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (2)$$

Burada

- $X_{\max}$  : maksimum sehim,
- $X_{\min}$  : minimum sehim,
- $X_r$  : Dönümlü sehimlerin ortalama değeri,
- $X_{1,2,3}$  : Artan test kuvvetlerindeki sehim,

Dönümlü bağıl tekrarlanabilirlik hatasının olasılık U-dağılımdır. Bu dağılımın tahmini varyansı,

$$u^2(dlt) = a^2 / 2 = (b/2)^2 / 2 = b^2 / 8 \quad (3)$$

burada b tekrarlanabilirlik hatası, a ise b hata aralığının yarısıdır.

### 2.2. Dönümsüz Bağıl Tekrarlanabilirlik Hatası ve Tahmini Varyansı

b' şeklinde gösterilen bu hata kuvvet ölçme cihazının 0° konumunda alınan iki seride her kalibrasyon adımı için aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$b' = \frac{|X_2 - X_1|}{X_{wr}} \times 100 \quad (4)$$

$$X_{wr} = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (5)$$

Burada  $X_{1,2}$  : artan test kuvvetlerindeki sehim,

$X_{wr}$  : dönümsüz olarak gerçekleştirilen ölçümlerdeki sehimlerin ortalama değeri,

Dönümsüz bağıl tekrarlanabilirlik hatasının olasılık dağılımı dikdörtgen dağılımdır. Bu dağılımın tahmini varyansı ;

$$u^2(dzt) = a^2 / 3 = (b'/2)^2 / 3 = b'^2 / 12 \quad (6)$$

olup burada b' dönümsüz bağıl tekrarlanabilirlik hatası, a ise bu aralığının yarısıdır.

### 2.3. Bağıl İnterpolasyon Hatası ve Tahmini Varyansı

$$f_c = \frac{X_r - X_a}{X_a} \times 100 \quad (7)$$



Şeklinde ifade edilen interpolasyon hatası, sehimi kalibrasyon kuvvetinin bir bağıntısı olarak veren birinci, ikinci veya üçüncü dereceden bir eşitlik olarak belirlenir. Bu hatanın olasılık dağılımı üçgen olup tahmini varyansı ;

$$u^2(\text{int})=a^2/6=(f_c/2)^2/6=f_c^2/24 \quad (8)$$

burada  $f_c$  interpolasyon hata aralığı,  $a$  ise bu aralığın yarısıdır. Burada  $X_a$ , sehimin hesaplanmış değeridir

#### 2.4. Bağıl Sıfır Hatası ve Tahmini Varyansı

Sıfır hatası,  $f_0$ , göstergenin test başlamadan önceki yüksüz değeri ile test sonucunda yüksüz değeri arasındaki farktan ileri gelir. Hesaplama yöntemi ise;

$$f_0 = \frac{i_f - i_0}{X_N} \times 100 \quad (9)$$

Burada  $i_0$  : gösterge elemanının kuvvet uygulanmadan önceki değeri,

$i_f$  : gösterge elemanının kuvvet uygulandıktan sonraki değeri,

$X_N$  : Maksimum kapasiteye karşılık gelen sehim,

Bağıl sıfır hatasının olasılık dağılımı dikdörtgendir ve tahmini bağıl varyansı ;

$$u^2(\text{sif})=a^2/3=(f_0/2)^2/3=f_0^2/12 \quad (10)$$

Burada  $f_0$  bağıl sıfır hata aralığı değeri,  $a$  ise bu aralığın yarısıdır.

#### 2.5. Bağıl Tersinebilirlik Hatası Ve Tahmini Varyansı

Her bir kalibrasyon adımında artan ve azalan değerler arasındaki farka bağlı olarak belirlenen belirsizlik bileşenidir. Aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$u = \frac{i' - i}{i} \times 100 \quad (11)$$

Burada  $i'$  : gösterge elemanının azalan test kuvvetlerindeki gösterge değeri,

$i$  : gösterge elemanının artan test kuvvetlerindeki gösterge değeri,

Tersinebilirlik hatasının olasılık dağılımı dikdörtgen olup, tahmini varyansı;

$$u^2(\text{ter})=a^2/3=(u/2)^2/3=u^2/12 \quad (12)$$

Burada  $u$  tersinebilirlik hata aralık değeri,  $a$  ise bu değer yarısıdır.

#### 2.6. Çözünürlük Hatası Ve Tahmini Varyansı

EN 10002-3 normunda yer almayan bu hata toplam ölçüm belirsizliği hesabında bir etki büyüklüğü olarak hesaplamalara katılmakta ve aşağıdaki gibi elde edilmektedir:



$$e = \frac{r}{X_r} \times 100 \quad (13)$$

Çözünürlük hatasının olasılık dağılımı dikdörtgen olup tahmini varyansı aşağıdaki gibidir:

$$u^2(\text{çöz}) = a^2/3 = (e/2)^2 / 3 = e^2 / 12 \quad (14)$$

Burada r gösterge elemanının çözünürlüğü, a ise çözünürlük hatasının yarısıdır.

### 3. BİRLEŞTİRİLMİŞ ve GENİŞLETİLMİŞ BELİRSİZLİK HESABI

Her kuvvet adımı için bağıl varyans belirlendikten sonra kuvvet dönüştürücünün birleştirilmiş standart bağıl belirsizliği,  $u_{b(köc)}$ , aşağıdaki denklemle bulunabilir:

$$u_{b(köc)} = \sqrt{u_{(dlr)}^2 + u_{(dat)}^2 + u_{(int)}^2 + u_{(su)}^2 + u_{(ter)}^2 + u_{(çöz)}^2} \quad (15)$$

k=2 için genişletilmiş ölçüm belirsizliği U ise ;

$$U = k \times u_{b(köc)} = 2 \times \sqrt{\frac{b^2}{8} + \frac{b'^2}{12} + \frac{f_c^2}{24} + \frac{f_0^2}{12} + \frac{u^2}{12} + \frac{e^2}{12}} \quad (16) \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

### 4. TOPLAM ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ

Kuvvet ölçme cihazları kalibre edilirken, kullanılan kuvvet standardı makinasının belirsizliği ölçüm sonuçlarına etki ettiği için toplam ölçüm belirsizliği hesabına katılmalıdır.

$$U_{top} = \sqrt{U_{KSM}^2 + U_{KÖC}^2} \quad (17)$$

Burada  $U_{KSM}$ , kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyonunda kullanılan, kuvvet standardı makinasından gelen ölçüm belirsizliğidir ve ölü ağırlıklı makinalarda  $2 \times 10^{-5}$ , manivela ve hidrolik makinalarda ise  $1 \times 10^{-4}$  mertebesindedir [4].

### 5. SONUÇ

Kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyonu sonucu elde edilen ölçüm verilerinin değerlendirilmesi, bu konuda tam bir birlik sağlanamadığı için çeşitli ülkelerde farklı olarak hesaplanmakta ve bu hesaplara göre toplam ölçüm belirsizliği elde edilmektedir. Yapılan incelemelerde, Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan belirsizlik hesap yöntemi en detaylı ve güvenilir olarak görüldüğü için UME Kuvvet Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyonunda da bu teknik kullanılmaktadır. Gümrük Birliğine girmemiz sebebiyle de kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyonları, EN 10002-3 standardına göre gerçekleştirilmekte ve Avrupa ile tam bir uyum içinde çalışmalar sürdürülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1]. EN 10002-3 Metallic Materials-Tensile Testing- Part 3- Calibration of Force Proving Instruments used for the verification System of the Uniaxial Testing Machine, 1992
- [2] WECC Document 19. Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.(1990)
- [3] A. Sawla "Guidance for Determination of the Best Measurement Capability of Force Calibration Machines and Uncertainty of Calibration Results of Force Measuring Devices"
- [4] S. Fank, A. Sawla, H.Ö.Özbay, "Establishment of National Force Scale at UME and Results of Intercomparison Measurement between UME and PTB", Proceedings of IMEKO, Madrid , Spain 1996, p 65-74