

## KUMPAS KALİBRASYONUNDA ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ HESAPLAMA ÖRNEĞİ ve BELİRSİZLİĞİN ISO 14253-1'E GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

*Derya TURGAY*

Sımkal Kalibrasyon ve Danışmanlık Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.  
Yakacık Caddesi No: 111 Kartal 34870 İstanbul  
Tel: 0216 4887777 E-Mail: derya.turgay@simkal.com.tr

### ÖZET

Bildiride, master blokları (Johansson masterları) kullanılarak yapılan kumpas kalibrasyonlarında belirsizlik kaynakları ele alınarak, dijital bir kumpasta örnek ölçüm belirsizliği hesaplanacak, bu belirsizliğin, yapılan kalibrasyonun veya ölçümün değerlendirilmesinde nasıl kullanılacağından bahsedilecek, bu arada, tolerans/ölçüm belirsizliği ilişkisine, genel bakış açısından değinilecektir.

### GİRİŞ

Belirsizlik bileşenleri şu şekilde tahmin edilmiştir:

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| Referanstan kaynaklanan: | 1. Masterların sistematik hataları<br>2. Masterların sertifika belirsizliği<br>3. Ölçüm noktasında birden fazla master kullanılmışsa, masterların birleşme belirsizliği<br>4. Masterlarda zaman içinde gerçekleşebilecek ölçü kayması (Drift) |
| Yöntemden kaynaklanan:   | 5. Tekrarlanabilirlik<br>6. Sıcaklık genişmesi hataları   |
| Ortamdan kaynaklanan:    | 7. Sıcaklık genişmesi hataları  |
| Aletten kaynaklanan:     | 8. Sıfırlama hatası<br>9. Taksimat okuma veya dijital yuvarlama hataları  |

### Belirsizlik Bütçesi:

$u'$ : Toplam belirsizlik,  $u$ : Genişletilmiş toplam belirsizlik =  $2 * u'$  ( $k=2$ , %95 güvenirlilik seviyesi)

$$u' = \pm \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2 + S_7^2 + S_8^2 + S_9^2} \quad (S_1, S_2, \dots, S_9 : \text{Belirsizlik değerlerinin standart sapmaları})$$

### UYGULAMA ÖRNEĞİ

Kumpas ölçme aralığı: 150 mm, çözünürlük: 0.01 mm, referans masterlar çelik, ortam 20±2°C seçildiğinde

Tekrar şartları altında yapılmış ölçümlerde deneysel standart sapma hesaplanıp, bunun dışında diğerlerinde standart sapmayı bulmak için, değişim aralığı dikdörtgen dağılım kabul edilerek, hata değeri  $\sqrt{3}$ ' e bölünüyor olsun. Bu durumda,

1. Masterların sertifikası incelenerek, ölçü teşkilinde birden fazla sayıda master kullanılma hali de dikkate alınarak, ölçme aralığı içinde olabilecek en büyük ölçü hatası 1.5 µm bulunmuş olsun.

$$S_1 = 1.5 / \sqrt{3} = 0.9 \mu\text{m} \quad [\text{Dikdörtgen Dağılım}]$$

sertifika belirsizliği  $U_{95} = \pm (0,1 \mu\text{m} + 10^{-3} \cdot L)$  olsun.  $L_{\text{max}} = 150 \text{ mm}$  için  $U_{95} = 0.25 \mu\text{m}$  [ $k=2$ ].

$$S_2 = 0.25 / 2 = 0.125 \mu\text{m} \quad [k=1]$$

3. Ölçü teşkilinde en fazla 3 adet master kullanılıyor olsun. Her birleşme için 1.5 µm belirsizlik kabul edilerek, en fazla 2 birleşme için:  $\sqrt{1.5^2 + 1.5^2} = 2.1 \mu\text{m}$

$$S_3 = 2.1 / \sqrt{3} = 1.2 \mu\text{m} \quad [\text{Dikdörtgen Dağılım}]$$

4. Masterların tek sertifikası mevcut olsun. Bu durumda masterların standardı olan TS EN ISO 3650 (1999)' a bakıldığında; bu standartta 1 ve 2 doğruluk sınıfında masterlar için, masterları kullanmasak bile yıl başına  $(0.05 + 0.5 \cdot L) \mu\text{m}$ , L: m kayma (ölçü değişimi) olabileceği belirtilmiş. Masterların 18 ayda bir kalibre ettirilmesi hali için norm değer 1.5 ile çarpılsa ve kullanım sıklığına bağlı olarak, olabilecek aşınma etkileri de düşünülerek, çıkan değer, örneğin 2 kat daha büyük düşünülse,

$$(0.15 + 1.5 \cdot L) \mu\text{m}, L: m \rightarrow 150 \text{ mm için kayma} = 0.4 \mu\text{m}, S_4 = 0.4 / \sqrt{3} = 0.23 \mu\text{m} \quad [\text{Dikdörtgen Dağılım}]$$

5. Tekrar şartları altında 10 kez ölçüm yapılmış ve şu değerler bulunmuş olsun: 49.98/3 kez, 49.99/5 kez, 50.00/2 kez Deneysel standart sapma formülü kullanılarak tek değerler tekrarlanabilirlik standart sapması bulunur.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 7.4 \mu\text{m} \quad \text{Ölçümler 3 sıra olarak yapıлып, bunların ortalamasının kullanılması hali için,}$$

$$\text{ortalamanın deneysel standart sapması: } S_{\bar{x}} = S_x / \sqrt{n} \quad (n = \text{ölçüm sayısı}) \Rightarrow S_5 = 7.4 / \sqrt{3} = 4.3 \mu\text{m}$$

6. Kalibrasyon sırasında, kumpas elle tutuluyor, masterlar ise çalışma masası üzerinde dizili duruyor olsun. Bu durumda, kumpasın gövde sıcaklığı masterlara göre daha yüksek olacaktır. Daha önceden, farklı zamanlarda, yüzey termometresi ile ölçümler yapılmış, sıcaklık farkının 2°C içinde kaldığı tespit edilmiş olsun (termometre ile yapılan ölçümün belirsizliği dahil). Bu durumda çelik için sıcaklık genleşme katsayısı  $11.5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}$  alınarak,  $L_{\text{max}} = 150 \text{ mm}$  için uzama farkı hesabı yapıldığında:

$$\Delta L = 11.5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C} \times 2^\circ\text{C} \times 150 \text{ mm} = 0.0035 \text{ mm} \quad S_6 = 3.5 \mu\text{m} / \sqrt{3} = 2 \mu\text{m} \quad [\text{Dikdörtgen Dağılım}]$$

7. Ortam sıcaklığında, 20°C' a göre 2°C değişim olabileceğinden, kumpasla masterın sıcaklık genleşme katsayıları arasında olabilecek farka bağlı olarak, master veya kumpasta, birbirine göre farklı genleşmeler gerçekleşebilecektir. Her ikisi (masterlar ve kumpas) çelik olduğundan, sıcaklık genleşme katsayıları arasında en fazla  $2 \cdot 10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}$  fark olabileceği kabul edilerek, benzer şekilde hesap yapılarak,

$$\Delta L = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2^\circ\text{C} \times 2^\circ\text{C} \times 150 \text{ mm} = 0.0006 \text{ mm} \quad S_7 = 0.6 \mu\text{m} / \sqrt{3} = 0.4 \mu\text{m} \quad [\text{Dikdörtgen Dağılım}]$$

8. Dijital kumpaslarda, kumpas çeneleri kapalıyken ekran değerinde görülen değişim kadar, değişim görülmezse ½ dijital sıfırlama belirsizliği alınmalıdır. Örnekte sıfır konumunda ekran değeri sabit kalıyor olsun. Bu durumda sıfırlama belirsizliğinin 5 µm alınması gerekir.

$$S_8 = 5 / \sqrt{3} = 2.9 \mu\text{m} \quad [\text{Dikdörtgen Dağılım}]$$

9. Dijital kumpaslarda okuma hatası yoktur. Bunun yerine yuvarlama hatası söz konusudur. Bu da en iyi durumda ½ dijital alınabilir.

$$S_9 = 5 / \sqrt{3} = 2.9 \mu\text{m} \quad [\text{Dikdörtgen Dağılım}]$$

$$\text{Toplam belirsizlik } u' = \sqrt{0.9^2 + 0.15^2 + 1.2^2 + 0.23^2 + 4.3^2 + 2^2 + 0.4^2 + 2.9^2 + 2.9^2} = 6.5 \mu\text{m}$$

$$k = 2 \text{ faktörü ile genişletilmiş toplam belirsizlik } u_{95} = 13 \mu\text{m}$$

Bu belirsizlik simetrik olup, +/- olarak düşünülmelidir.

## DEĞERLENDİRME

İmalat teknolojilerinin gün geçtikçe gelişmesi, bu teknolojilerde bilgisayar kullanımının yaygınlaşması, dolayısıyla insan faktörünün yerini bilgisayar yazılımlarının alması, daha dar toleranslarda parça işlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Ölçüm teknikleri de imalat teknolojilerine paralel olarak gelişmekte, ölçü aletleri de mekanikten elektroniğe doğru kaymaktadır. Kumpas örneğimizi ele alırsak, elektronik kumpaslar giderek yaygınlaşmakta, hatta bunlar yavaş yavaş talaşlı imalat alanlarında da kullanılabilir şekilde, örneğin su geçirmez şekilde imal edilmektedir (tezgah soğutma sıvısı). Ancak, ölçme belirsizliği örneğimizden görülebileceği gibi, aletin elektronik olması, okuma hatalarını ortadan

kaldırmakla birlikte, dijit hataları (yuvarlama, oynama) ortaya çıkmaktadır. Diğer belirsizlik kaynakları için de iyileştirme yapılabilir olmakla birlikte, bunların sıfırlanamayacağı, toleransa bağlı olarak, ancak ihmal edilebilir seviyeye kadar çekilebileceği bilinmelidir. Neticede, hiçbir zaman gerçek değeri ölçmek söz konusu olmayıp, gerçek değere mümkün olduğunca yaklaşmak söz konusudur. Bunu konumuza uygun bir örnekle teyid edelim:

Ölçüm ortamı klima ediliyor, malzeme de yeterli süredir bu ortamda bekliyor ve ortamdaki termometreden 20.0°C okunuyor olsun. Sıcaklık genleşme hatalarından kurtulundu mu? Hayır, sıcaklık genleşme hataları ancak küçültülebildi. Termometre yuvarlama hatası gene var, ancak daha küçük bir değer olarak. Keza termometrenin sertifika belirsizliği, tekrarlanabilirlik, histerisiz vb hatalar da var. Zaten burada ortam sıcaklığının sabit tutulması söz konusu değildir. Dış ortamın sıcak olduğunu, ölçüm ortamının soğutulduğunu düşünelim. Soğutucu çalıştığında içeriden ısı çekiyor olacaktır. Ya da termostat devreyi açmıştır, soğutucu çalışmıyordur. Bu sırada da ortam dışarıdan ısı alıyor olur. Dolayısıyla, sürekli bir sıcaklık değişimi yaşanacaktır. Bundan ölçülecek malzeme de etkileneceğinden, sonuçta malzeme kendi içinde sürekli hareket halinde olacaktır.

Ölçüm belirsizliğinden kurtulunamadığına göre, bu ölçümlerde nasıl ele alınabilir ?

Bir istatistik çalışması veya ticari hesaba bağlı olarak ölçümler yapılabilir. Burada ele alınan ise, yapılan ölçüm sonucunda, Kabul/Ret, Uygun/Uygun Değil veya Şartlı Kabul gibi değerlendirmeler yapılması halidir. Benzer şekilde, kalibrasyon neticesinde de bir değerlendirme yapılmaktadır. Örneğin, Kullanılır / Kullanılmaz / Şartlı Kullanılır gibi.

Değerlendirmenin olabildiğince sağlıklı yapılabilmesi, yani uygun malzemenin ret veya ret malzemenin kabul olarak değerlendirme riskinin azaltılması için, ölçüm belirsizliği ile parça toleransı arasında belli bir oransal fark olması istenir. Örneğin, boyutsal ölçümler için DIN 2257-B.2 de, ölçüm belirsizliğinin parça toleransından en az 5 kat küçük olmasının sağlanması hedeflenmiştir.

Kalibrasyonlar için de, bazı kaynaklarda, istenen belirsizliği sağlamaya yönelik öngörüler yer almaktadır. Örneğin, basınç/vakum kalibrasyonlarında, referans basınç/vakum cihazının doğruluğunun kalibre edilenden 4 kat daha iyi olması (Bkz. TS EN 837-1 ve TS EN 837-3), terazi kalibrasyonlarında, referans yüklerin doğruluğunun tartı aletinin doğruluğundan 3 kat daha iyi olması (Bkz. TS EN 45501) gibi.

Ölçüm belirsizliği, her zaman hatalı değerlendirme riskini minimize edecek kadar küçük olmamaktadır. Toleransların küçülmesi, buna karşılık bazı belirsizlik kaynaklarının, örneğin insan faktöründen kaynaklananların buna paralel olarak küçülmemesi, ölçüm veya kalibrasyon sonuçlarının hatalı değerlendirme oranını artırmaktadır. Bu da sonuçta, ölçüm belirsizliğinin daha ciddiye alınmasını gerektirmiştir.

## SONUÇ

Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Kalibrasyon sertifikalarında ölçüm belirsizliğinin yazılmış olması şartı daha sıkı takip edilmektedir. Keza kalite kontrol amacıyla yapılan ölçümlerde de, benzer şekilde, ölçümün belirsizliğinin hesaplanması ve ölçüm formlarına yazılması gittikçe yaygınlaşmaktadır. Örneğin otomotiv tedarikçileri kalite sistemi standardı olan ISO/TS 16949 bu konu için incelenebilir. Burada vurgulayacağımız standart ise ISO 14253-1' dir. Bu standarda göre, uygunluk değerlendirmesi yapılırken, ölçüm belirsizliği hesaba şu şekilde konmalıdır: Sapma + Genişletilmiş Toplam Ölçüm Belirsizliği

Kumpas örneği ele alırsa, kalibrasyon sonucu bu kumpas için bir uygunluk değerlendirmesi yapılacak olsun. Kumpas için doğruluk toleransı  $\pm 0.03$  mm seçilmiş, genişletilmiş ölçüm belirsizliği olan 13  $\mu$ m, risk alınmamak üzere 0.02 mm' ye yuvarlatılmış olsun. Bu durumda, kumpas hakkında, ölçme aralığı içinde 0.01 mm' yi aşan sapma yoksa "Kullanılır" değerlendirilmesi yapılabilecektir. Başka bir bakış açısıyla, doğruluk toleransı, her iki ucundan, ölçüm belirsizliği kadar küçültülmüş olmaktadır.

Değerlendirmenin bu şekilde yapılması, yakın tarihlerde güncellenmiş diğer standartlarda da yer almaktadır. TS EN ISO/IEC 17025 "Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar" ile boyutsal kalibrasyonlar için

yaygın kullanımda olan VDI/VDE/DGQ 2618 serisi talimatlar bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Altta, ISO 14253-1' e uygun olarak hazırlanmış, ILAC-G8:1996 Guidelines on Assessment and Reporting of Compliance with Specification (based on measurements and tests in a laboratory) dokümanından alınarak türkçeleştirilmiş, konuyla ilgili görsel ek yer almaktadır.

ILAC-G8:1996

### Ek A

	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5
	Ölçüm sonucu, belirsizlik aralığının yarısından daha az kadar büyütüldüğünde bile üst sınıra altındadır.	Ölçüm sonucu, belirsizlik aralığının yarısından daha az bir farkla, üst sınıra altındadır. Bu nedenle uygunluktan bahsetmek mümkün değildir.	Ölçüm sonucu sınır değer üzerindedir. Bu nedenle uygun olma veya uygun olmama beyanı mümkün değildir.	Ölçüm sonucu, belirsizlik aralığının yarısından daha az bir farkla üst sınıra üstündedir. Bu nedenle uygun olmama beyanı mümkün değildir.	Ölçüm sonucu, belirsizlik aralığının yarısından daha az kadar aşağı çekildiğinde bile üst sınıra çok üstündedir.
	Bu nedenle, ölçülen spesifikasyonlara uygun olduğu beyan edilir.	Ancak, %95 den daha az güvenilirlik seviyesinin kabul edilebilir olduğu durumda, uygunluk beyan edilebilir.	Ancak % 95 den daha az güvenilirlik seviyesinin kabul edilebilir olduğu ve spesifikasyon limitinin $\leq$ üst sınır olarak tanımlandığı durumda, bir uygunluk beyanı mümkün olabilir. Limitin $<$ üst sınır olarak tanımlandığı durumda uygunluktan bahsetmek mümkün değildir.	Ancak % 95 den daha az güvenilirlik seviyesinin kabul edilebilir olduğu durumda, uygunluktan bahsetmek mümkün değildir.	Bu nedenle, ölçülen spesifikasyonlara uygun değildir.
<b>Tolerans Üst Sınırı</b>					
<b>Tolerans Alt Sınırı</b>					
	<b>Durum 6</b>	<b>Durum 7</b>	<b>Durum 8</b>	<b>Durum 9</b>	<b>Durum 10</b>
	Ölçüm sonucu, belirsizlik aralığının yarısından daha az kadar aşağı çekildiğinde bile alt sınıra üstündedir.	Ölçüm sonucu, belirsizlik aralığının yarısından daha az bir farkla, alt sınıra üstündedir. Bu nedenle uygunluktan bahsetmek mümkün değildir.	Ölçüm sonucu, sınır değer üzerindedir. Bu nedenle uygun olma ya da uygun olmama beyarından bahsetmek mümkün değildir.	Ölçüm sonucu, belirsizlik aralığının yarısından daha az bir farkla alt sınıra altındadır. Bu nedenle uygun olmama beyanı mümkün değildir.	Ölçüm sonucu, belirsizlik aralığının yarısından daha az kadar yukarı çekildiğinde bile alt sınıra çok üstündedir.
	Bu nedenle, ölçülen spesifikasyonlara uygun değildir.	Ancak, %95 den daha az güvenilirlik seviyesinin kabul edilebilir olduğu durumda, uygunluk durumu beyan edilebilir.	Ancak % 95 den daha az güvenilirlik seviyesinin kabul edilebilir olduğu ve spesifikasyon limitinin $\geq$ alt sınır olarak tanımlandığı durumda, bir uygunluk beyanı mümkün olabilir. Limitin $>$ alt sınır olarak tanımlandığı durumda uygunluktan bahsetmek mümkün değildir.	Ancak % 95 den daha az güvenilirlik seviyesinin kabul edilebilir olduğu durumda, uygunluktan bahsetmek mümkün değildir.	Bu nedenle, ölçülen spesifikasyonlara uymamaktadır.

◆ = Belli yöntemle göre yapılmış ölçümün sonuç değeri  
I = Seçilmiş yöntemle göre bulunan ölçüm belirsizliği aralığı



## TANIMLAR

Bildiride kullanılan bazı tanımların UME 97-004 Metrolojide Kullanılan Temel ve Genel Terimler Sözlüğü' den alınan açıklamaları:

**Ölçme Cihazının Doğruluğu:** Ölçme cihazının gerçek değere yakın tepkiler verme kabiliyeti  
**Not:** "Doğruluk" nitel bir kavramdır.

**Doğruluk Sınıfı:** Hataları belirli sınırlar içinde tutmak için tasarlanmış metrolojik koşulları sağlayan ölçme cihazlarının sınıfı

**Not:** Doğruluk sınıfı genellikle konvansiyonel bir simge ve bir rakam ile gösterilir ve sınıf dizini olarak adlandırılır.

### Referans Standart

Genel olarak belirli bir mekanda veya belirli bir organizasyonda elde edilebilir en yüksek metrolojik vasa sahip olan ve orada yapılan ölçümlerin kendisinden türetildiği standart

**Çalışma Standardı:** Maddi ölçütleri, ölçme cihazlarını veya referans malzemeleri kalibre veya kontrol etmek için rutin olarak kullanılan standart

**Notlar:**

1. Çalışma standardı genel olarak bir referans standart ile kalibre edilir.
2. Ölçümlerin doğru olarak gerçekleştirildiğinden emin olmak için rutin olarak kullanılan çalışma standardı kontrol standardı olarak adlandırılır.

**Sistemik Hata:** Tekrarlanabilirlik koşulları altında gerçekleştirilen, aynı ölçülen büyüklüğe ait sonsuz sayıdaki ölçümün ortalamasından, ölçülen büyüklüğün gerçek değerinin çıkartılmasıyla elde edilen değer

**Notlar:**

1. Sistemik hata, ölçüm hatasından rasgele hatanın çıkartılmasıyla elde edilen değere eşittir.
2. Gerçek değerde olduğu gibi, sistemik hata ve sebepleri tam olarak bilinemez.

Bildiride, ölçüm belirsizliği içinde geçen tanımlar (deneysel standart sapma, dikdörtgen dağılım, k faktörü vb.) ve ölçüm belirsizliği ile ilgili diğer tanım ve örnek uygulamalar için yararlanabilecek kaynaklar:

UME 95-014 Ölçüm Belirsizliği Kitapçık olarak UME' den satın alınabilir.

EA-04/02 Expressions of the Uncertainty of Measurements in Calibration [www.european-accreditaion.org](http://www.european-accreditaion.org) adresinden indirilebilir.

DKD-3 Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen [www.dkd.info](http://www.dkd.info) adresinden indirilebilir.