

TORK ÖLÇME CİHAZLARININ ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİNİN HESAPLANMASI

Çetin DOĞAN
Osman AKKOYUNLU

ÖZET

Tork ölçme cihazlarının kalibrasyon belirsizliğini hesaplamaya yönelik çalışmalar, hem uygulamada duyulan ihtiyaçları karşılayacak, hem de günün teknolojik seviyesini yansıtacak şekilde gelişmektedir. Bu çalışmalar kullanıcıya, çoğu kez yenilenen ulusal veya uluslararası standartlar aracılığı ile kısmen de özel uygulamaların bir sonucu olarak ulaşmaktadır.

Tork ölçümünün yapıldığı çeşitli makina veya kalibrasyon ekipmanlarında istenilen doğrulukta tork değerinin elde edilmesi, tork değeri üzerindeki belirsizlik hesaplamalarının önemini arttırmaktadır. Bildiri, robot uygulamalarından, kalibrasyon veya vida sıkmakta kullanılan tork kontrol araçlarına kadar bir çok yerde tork ölçümünden beklenen performansı artırmak amacı ile, tork ölçme cihazlarının kabul görmüş belirsizlik hesaplama tekniklerini tartışmaktadır. Bu amaçla bildiride, tork ölçme cihazlarının statik kalibrasyonuna yönelik önerilen DIN 51309:2005 ve EURAMET/cg-14/v.01:2007 standartlarının belirsizlik hesaplama teknikleri değerlendirilmiştir [1, 2].

1. GİRİŞ

Kalibrasyonu yapılan tork ölçme cihazının belirsizlik hesaplaması, ölçülmesi hedeflenen kalibrasyon sonucu, buna etki eden bozucu parametreler ve uygulanan kalibrasyon prosedürü ile doğrudan ilişkilidir. DIN 51309:2005 ve EURAMET/cg-14/v.01:2007 standartlarının, tork ölçme cihazının sınıflandırmalarında ve belirsizliğinin hesaplanmasında kullandığı parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Bu standartların her ikisinde de, tork ölçüm cihazlarına uygulanacak kalibrasyon yöntemleri ile veri alma teknikleri aynıdır. Fakat bu verilerin işlenmesinde kullanılan yaklaşımlar farklıdır. Bu fark, tork ölçüm cihazlarının kullanımlarındaki farklılıktan ortaya çıkmaktadır.

Her iki standart tork anahtarlarının kalibrasyonunu kapsam dışı tutmuştur. Bu nedenle tork anahtarlarının belirsizliğine etki eden kuvvet kolunun değişiminden kaynaklanan hatalar Tablo 1'de verilen parametrelere ayrıca eklenmelidir. Her iki yöntemin statik tork uygulamalarını modellediği, dinamik uygulamalar için yeterli olmadığı ve kalibrasyon sonucunun ve belirsizlik hesaplamaların laboratuvar ortam şartları ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır. Tork ölçme cihazlarının kullanım koşulları ile kalibrasyonları esnasında tanımlanan koşullar arasındaki farktan dolayı, ölçüm sonucunda ve belirsizlik değerlerinde oluşacak değişimler ayrıca dikkate alınmalı ve sonuçlara eklenmelidir.

Tablo 1: Tork Ölçüm Cihazlarının Sınıflandırılmasında Ve Belirsizliğinin Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler.

Açılama	Sembol
Tekrar gerçekleştirilebilirlik, (farklı montaj pozisyonlarında)	b
Tekrarlanabilirlik, (aynı montaj pozisyonunda)	b'
Sıfırdaki kalıntı hatası	f ₀
Tersinebilirlik (histerisiz)	h
Çözünürlük	r
Enterpolasyon hatasından veya Gösterge hatası	f _a veya f _g

2. KALİBRASYON SONUCU

Kalibrasyon sonucunun hesaplanabilmesi için, öncelikle gösterge değeri X'in tanımlanması gerekmektedir. Bu değer, tork uygulanmış (yüklenmiş) haldeki gösterge sinyali ile yüksüz haldeki gösterge sinyali arasındaki fark olarak ifade edilir (formül 1, 2). Tanımlamadan anlaşılacağı gibi, sıfırlamanın yapıldığı cihazlarda gösterge değeri doğrudan okunan değere eşittir. Sıfırlamanın yapılmadığı durumlarda ise gösterge değerinin formül 1 ve 2'den hesaplanması gerekmektedir.

$$X_i = I_i - I_{0,i} \quad , \text{ artan yöndeki gösterge değeri} \quad (1)$$

$$X'_i = I'_i - I_{0,i} \quad , \text{ azalan yöndeki gösterge değeri} \quad (2)$$

- I_i : Artan yöndeki sıfırlanmamış gösterge sinyali
 $I_{0,i}$: Azalan yöndeki sıfırlanmamış gösterge sinyali
 i : ölçümün yapıldığı her bir tork adımı

DIN 51309:2005 kalibrasyon sonucu için iki ayrı yöntem önermektedir. Birinci yöntem ile kalibrasyon sonucu elde edilirken sadece artan tork değerlerini dikkate alınır (formül 3). Böylelikle histerisiz kalibrasyon sonucu ve belirsizlik değeri üzerindeki etkisi tamamen ihmal edilir ve hesaplamalara katılmaz. Bu yöntem, yüksek doğruluklu tork ölçümlerinde ve/veya sadece artan (sıkma) yönündeki tork uygulamalarında tercih edilir. Özellikle ölü ağırlıklı tork kalibrasyon makinalarının karşılaştırılmalarında ve benzer şekilde artan yönde tork uygulanarak yapılan diğer kalibrasyonları ile sıkma yönündeki vidalı bağlantılar için bu yöntem sıklıkla kullanılır. Yöntemin kullanılması, aynı zamanda istenilen doğruluğa bağlı olarak kalibrasyon sonucu ile uygulanan kalibrasyon torkları arasında 3.dereceden veya 1. dereceden bir uygunluk eğrisinin (denkleminin) kullanılmasını gerektirir.

DIN 51309:2005'de önerilen ikinci yöntem ise, artan ve azalan tork değerlerini aynı anda dikkate alarak kalibrasyon sonucunu hesaplar (formül 4). II. durumda histerisiz etkisi hem kalibrasyon sonucuna hemde belirsizlik hesaplamalarına doğrudan katılmaktadır. Tork ölçme cihazının hem artan hem de azalan yönde kullanıldığı uygulamalar için bu yöntem önerilir. Bu yöntem, Kalibrasyon sonucu ile uygulanan kalibrasyon torkları arasında 1.dereceden bir uygunluk eğrisinin (denkleminin) kullanılmasını veya tork ölçme cihazına ait göstergenin tork birimi cinsinden tanımlanmış bir skalaya sahip olmasını gerektirir.

EURAMET/cg-14/V.01:2007'de ise (DIN 51309:2005'in aksine) her koşul için sadece artan tork değerleri için bir kalibrasyon sonucu vermektedir (formül 5). Bu nedenle artan ve azalan tork değerlerinin kullanıldığı uygulamalar için çok uygun değildir. EURAMET/cg-14/V.01:2007'de verilen kalibrasyon sonucu, tüm uygunluk eğrileri için geçerlidir. Bu nedenle, birinci veya üçüncü dereceden uygunluk eğrileri ile tanımlanmış skalalar için farklı bir kalibrasyon sonucu ataması yoktur. Bu standardın ön gördüğü kalibrasyon sonucu, sadece artan değerleri içerdiğinden histerisiz etkisini içermemektedir. Histerisiz etkisi aynı zamanda belirsizlik hesaplamalarına da katılmamaktadır, ancak sınıflandırma kriterleri olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, tork ölçme cihazının sıfıra geri dönüş

hatası da belirsizlik hesaplamalarına da katılmamaktadır, ancak sınıflandırma kriterleri olarak kullanılmaktadır.

$$Y_{I,DIN} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_j) \quad \text{DIN 51309:2005 önerilen I. yöntem, Kalibrasyon sonucu sadece artan tork değerlerini içerir.} \quad (3)$$

$$Y_{II,DIN} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{X_j + X'_j}{2} \right) \quad \text{DIN 51309:2005 önerilen II. yöntem, Kalibrasyon sonucu artan ve azalan tork değerlerini içerir.} \quad (4)$$

$$Y_{EA} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_j) \quad \text{EURAMET/cg-14/V.01:2007'de önerilen yöntem, Kalibrasyon sonucu sadece artan tork değerlerini içerir.} \quad (5)$$

n	farklı montaj pozisyonlarındaki artan seri sayısı
X_j	Artan yöndeki sıfırlanmış gösterge değeri
X'_j	Azalan yöndeki sıfırlanmış gösterge değeri
$Y_{I,DIN}$	Kalibrasyon sonucu, DIN durum I için
$Y_{II,DIN}$	Kalibrasyon sonucu, DIN durum II için
Y_{EA}	Kalibrasyon sonucu, EURAMET/cg-14/V.01:2007 için

3. REGRESYON

Kalibrasyon sonucu ile uygulanan kalibrasyon torku arasında belirlenecek uygunluk eğrisi, sabit terimi olmayan 1'inci, 2'nci veya 3'ncü dereceden denklemler ile ifade edilebilir. Tanımlanmış skalalı tork ölçme cihazları için uygunluk eğrisi ataması yapılmaz. Tanımlanmış skala, genellikle gösterge ünitesi ayarlanamayan tork ölçme cihazı için kullanılır, ve tork ölçme cihazına ait gösterge sinyalinin tork birimi cinsinden olmasını gerektirir.

1. dereceden uygunluk denklemi seçimi, özellikle tork ölçme cihazlarının gösterge ünitelerine tek bir katsayının girilebildiği, yani gösterge ayarlarının tek bir değer (skala faktörü) üzerinden yapılabildiği durumlarda kullanılır. Yüksek doğruluklu ölçümlerde 3. dereceden bir denklem seçilir. Bu durumda 3. derecede uygunluk denkleminde ait katsayılar, genellikle bir bilgisayar yardımı ile kullanılır. 2. dereceden denklem içinde bilgisayar desteğine ihtiyaç duyulduğundan, uygulamalarda bunun yerine 3. dereceden uygunluk denklemi tercih edilir.

4. BELİRSİZLİK

Tablo 1'de verilen parametrelerinin belirsizliğe etkisi DIN 51309:2005 ve EURAMET/cg-14/V.01:2007 için sırasıyla tablo 2'de verilmiştir.

DIN 51309:2005 standardı ile iki farklı kalibrasyon sonucu, ve her bir kalibrasyon sonucu için iki farklı regresyon yöntemi belirlemek mümkün olduğundan, bunun sonucunda ortaya çıkan dört farklı sonuç için belirsizlik hesaplaması önermektedir. Oluşan bu dört alternatif, Durum I A ve B ile Durum II A ve B olarak ifade edilmiştir.

EURAMET/cg-14/V.01:2007 standardı tek bir ölçüm sonucu ile bu sonuç için kullanılacak üç ayrı regresyon ve her bir regresyonun yarattığı alternatif için bir belirsizlik hesaplaması önermektedir.

Tablo 2: Tork Ölçüm Cihazlarının Sınıflandırılmasında ve Belirsizliğinin Hesaplanmasında Kullanılan Parametrelerin Dağılım Türleri

Parametreler	Hata tipi ve dağılım		Bağıl standard bel. w, %
	DIN 51309:2005	EURAMET/cg-14/v.01:2007	
Çözünürlük, r	Tip B, Dikdörtgen	Tip B, Dikdörtgen	w_r
Tekrar gerçekleştirilebilirlik, b (Farklı montaj serilerine ait artan değerlerden hesaplanır)	Tip B, Dikdörtgen	Tip A, Normal	w_b
Tekrarlanabilirlik, b' (Aynı montaj serilerine ait artan değerlerden hesaplanır)	Tip B, Dikdörtgen	Tip A, Normal	$w_{b'}$
Sıfırdaki kalıntı hatası, f_0	Tip B, Dikdörtgen	-- (belirsizliğe dahil edilmez, sadece sınıflandırma kriter)	w_0
Uygunluk eğrisinden sapma, f_a	Tip B, üçgen (3. dereceden uygunluk denklemi için geçerlidir)	Tip B, üçgen (3. dereceden uygunluk denklemi için geçerlidir)	w_{fa}
	Sistemik hata (1. dereceden uygunluk denklemi için geçerlidir)	Sistemik hata (1. dereceden uygunluk denklemi için geçerlidir)	*
Tanımlanmış skala için gösterge değerinden sapma, f_q	Sistemik hata	Sistemik hata	*
Tersinebilirlik, h (histerisiz)	Sistemik hata	-- (belirsizliğe dahil edilmez, sadece sınıflandırma kriter)	*
Referans cihazın belirsizliği	Tip A, Normal	Tip A, Normal	w_{REF}
* DIN 51309:2005'e göre, kalibre edilmiş tork ölçme cihazında düzeltme yapılmadığından, sistemik hataların varyansı alınmaz, bu hatalar belirsizliğe doğrudan eklenir. EURAMET/cg-14/V.01:2007'e göre de sistemik hatalardan sıfırdaki kalıntı hatası ve histerisiz belirsizlik hesaplamalarının dışında tutulur.			

Çoğu uygulamalarda sıfır kalıntı hatası ihmal edilmesine rağmen, sıfırdaki kalıntı hatasının belli oranda sürünme (creep) etkisini içerdiği unutulmamalıdır. Gösterge değerinin saptanması hem sıfır okumasını hemde uygulanan tork değerine karşılık gelen gösterge sinyalinin okunmasını gerektirdiğinden, iki okumanın yapılması zorunludur (formül 1). Bu nedenle, aşağıda belirtilen tüm belirsizlik hesaplamalarında çözünürlükten kaynaklanan varyans w_r^2 ifadesi 2 ile çarpılmıştır.

4.1. DIN 51309:2005

4.1.1. Durum I-A, Kübik Regresyon, Tanımlanmamış Skala

Genişletilmiş (k=2) bağıl ölçüm belirsizliği aşağıda verilen formül (6) ile her bir tork adımı için hesaplanır.

$$W = k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + 2 \cdot w_r^2 + w_b^2 + w_{b'}^2 + w_0^2 + w_{fa,3}^2} \quad (6)$$

Formül 4'de ki ifade de görüleceği gibi histerisiz etkisi belirsizliğin hesaplamasına katılmamıştır, bu nedenle bu hesaplama sadece formül (1)'de verilen kalibrasyon sonucu için kullanılmaktadır. Uygunluk eğrisinin ise 3. dereceden olması gerekmektedir

4.1.2. Durum I-B, Doğrusal Regresyon, Tanımlanmamış Skala

Uygunluk eğrisinin 1. dereceden seçilmesi durumunda, enterpolasyon hatası sistematik hata olarak ele alınır. Bu nedenle enterpolasyon hatası belirsizlik ifadesine doğrudan katılır. Genişletilmiş ($k=2$) bağıl ölçüm belirsizliği aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$W = k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + 2 \cdot w_r^2 + w_b^2 + w_{b'}^2 + w_0^2 + \left(\frac{f_{a,1}}{Y_{I,DIN}} \cdot 100 \right)^2} \quad (7)$$

Görece olarak daha kaba olan tork ölçüm cihazlarının kalibrasyon sürelerini kısaltabilmek için, aynı konumda tekrarlanabilirlik hatasını için yapılan ölçümler ihmal edilir. Bu durumda farklı montaj pozisyonlarından kaynaklanan tekrarlanabilirlik hatası, aynı konumda ki tekrarlanabilirlik hatası içinde kullanılır ve genişletilmiş ($k=2$) bağıl ölçüm belirsizliği formül (8)'deki gibi hesaplanır.

$$W = k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + 2 \cdot w_r^2 + 2 \cdot w_b^2 + w_0^2 + \left(\frac{f_{a,1}}{Y_{I,DIN}} \cdot 100 \right)^2} \quad (8)$$

4.1.3. Durum II-A, Doğrusal Regresyon, Tanımlanmamış Skala

Durum II 'da, tork ölçme cihazlarının belirsizliği hesaplanırken, daha genel amaçlı kullanımı dikkate alınmıştır. Doğrusal uygunluk eğrisinden sapmadan kaynaklanan enterpolasyon hatası ile histerisiz hatası sistematik hata olarak ele alınmıştır. Buna rağmen kalibre edilmiş tork ölçme cihazında bu sistematik hatalar düzeltilmediğinden formül (9)'daki gibi genişletilmiş ($k=2$) bağıl ölçüm belirsizliğine eklenerek cihazın belirsizlik aralığı genişletilir. Formül (10), aynı konumda tekrarlanabilirlik hatasının hesaplanmadığı durumlar için kullanılır.

$$W = \left(\left| \frac{f_{a,1}}{Y_{II,DIN}} \right| \cdot 100 \right) + \left(\left| \frac{h}{2 \cdot Y_{II,DIN}} \right| \cdot 100 \right) + k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + 2 \cdot w_r^2 + w_b^2 + w_{b'}^2 + w_0^2} \quad (9)$$

$$W = \left(\left| \frac{f_{a,1}}{Y_{II,DIN}} \right| \cdot 100 \right) + \left(\left| \frac{h}{2 \cdot Y_{II,DIN}} \right| \cdot 100 \right) + k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + 2 \cdot w_r^2 + 2 \cdot w_b^2 + w_0^2} \quad (10)$$

4.1.4. Durum II-B, Tanımlanmış Skala

Gösterge sinyalinin tork birimi cinsinden tanımlanmış olduğu, sabit (ayar katsayısının olmadığı) skalalı tork ölçme cihazları için enterpolasyon denkleminin hesaplanması yararlı olmaz, böyle durumlarda gösterge hatası f_q hesaplanır. Gösterge hatasının doğası gereği sistematik bir hata olmasına rağmen, yeni kalibre edilmiş tork ölçme cihazında bu sistematik hata düzeltilmediğinden formül (11)'daki gibi genişletilmiş ölçüm belirsizliğine eklenerek cihazın belirsizlik aralığı genişletilir. Formül (12), aynı konumda tekrarlanabilirlik hatasının hesaplanmadığı durumlar için kullanılır.

$$W = \left(\left| \frac{f_q}{Y_{II,DIN}} \right| \cdot 100 \right) + \left(\left| \frac{h}{2 \cdot Y_{II,DIN}} \right| \cdot 100 \right) + k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + 2 \cdot w_r^2 + w_b^2 + w_{b'}^2 + w_0^2} \quad (11)$$

$$W = \left(\left| \frac{f_q}{Y_{II,DIN}} \right| \cdot 100 \right) + \left(\left| \frac{h}{2 \cdot Y_{II,DIN}} \right| \cdot 100 \right) + k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + 2 \cdot w_r^2 + 2 \cdot w_b^2 + w_0^2} \quad (12)$$

4.2. EURAMET/cg-14/V.01:2007

EURAMET/cg-14/V.01:2007'de genişletilmiş ($k=2$) bağıl belirsizliği hesaplamalarına, histerisiz etkisi ve sıfır kalıntı hatası katılmamıştır (formül 13,14,15). Belirsizlik hesaplamalarına aynı montaj pozisyonu için tekrarlanabilirlik hatasının katılmadığı daha kaba cihazlar için w_b^2 değerinin iki katı alınmalıdır.

$$W = k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + w_b^2 + w_b^2 + 2 \cdot w_r^2 + w_{f_{a,3}}^2} \quad , \text{ kübik regresyon, tanımlanmamış skala için} \quad (13)$$

$$W = k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + w_b^2 + w_b^2 + 2 \cdot w_r^2 + \left(\frac{f_{a,1}}{Y_{EA}} \cdot 100 \right)^2} \quad , \text{ doğrusal regresyon, tanımlanmamış skala için} \quad (14)$$

$$W = k \cdot \sqrt{w_{REF}^2 + w_b^2 + w_b^2 + 2 \cdot w_r^2 + \left(\frac{f_q}{Y_{EA}} \cdot 100 \right)^2} \quad , \text{ tanımlanmış skala için} \quad (15)$$

Tablo 3: DIN 51309:2005'e ve EURAMET/cg-14/V.01:2007'e Göre Elde Edilen Kalibrasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.

Kalibrasyon Adımları	EURAMET/cg-14/v.01:2007			DIN 51309:2005, Durum I			DIN 51309:2005, Durum II	
	Kalibrasyon Sonucu	Belirsizlik	Belirsizlik	Kalibrasyon Sonucu	Belirsizlik	Belirsizlik	Kalibrasyon Sonucu	Belirsizlik
Mk	$Y_{I,DIN}$	3. der. uygunluk eğrisi ile	1. der. uygunluk eğrisi ile	$Y_{I,DIN}$	3. der. uygunluk eğrisi ile	1. der. uygunluk eğrisi ile	$Y_{II,DIN}$	1. der. uygunluk eğrisi ile
Nm	mV/V	%	%	mV/V	%	%	mV/V	%
0	--	--	--	--	--	--	--	--
100	0,234136	0,007	0,057	0,234136	0,006	0,057	0,234220	0,049
200	0,468299	0,006	0,045	0,468299	0,006	0,045	0,468427	0,040
300	0,702482	0,007	0,036	0,702482	0,007	0,036	0,702640	0,035
400	0,936680	0,007	0,028	0,936680	0,007	0,028	0,936853	0,031
500	1,170899	0,007	0,021	1,170899	0,007	0,021	1,171073	0,027
600	1,405134	0,008	0,014	1,405134	0,008	0,014	1,405298	0,023
800	1,873650	0,009	0,010	1,873650	0,009	0,010	1,873756	0,016
1000	2,342217	0,011	0,020	2,342217	0,011	0,020	2,342217	0,012

Tablo 3'de verilen örnekte DIN 51309:2005 durum I ile EURAMET/cg-14/V.01:2007 sonuçları arasındaki benzerlik test edilen cihazın yüksek doğrulukta olmasından kaynaklanmaktadır. Düşük doğruluğa sahip cihazlarda iki yöntem arasındaki sonuçların farklılığı daha açık gözlenebilir.

4.3. Sürünme (creep)

Her iki standart da sürünmeden gelen etkiyi belirsizlik hesaplamasına katmamaktadır. Buna karşın DIN 51309:2005 standardının kalibrasyon prosedürü tork ölçüm cihazın sürünmesi hakkında bilgi edinilmesine olanak sağlamaktadır. DIN 51309:2005 standardı her bir montaj pozisyonunun son ön yüklemeden sonra, 3 dakika beklenilmesini ve bu süre içinde sürünme için veri alınmasını tavsiye eder. Bu işlem sonucunda elde edilecek istatistiksel sonucu 3 dakikalık kısa süreli sürünme değerini içerir. Elde edilen bu değer 4 katı ile 20 dakikalık bir sürünme testinden elde edilen sonuç arasında kabul edilebilir bir yakınlık olduğu bilinmektedir [3].

Tork ölçme cihazının sürünme davranışı histerisize göre daha önemlidir ve tork ölçme cihazının gösterdiği histerisiz davranışı ile sürünme davranışı arasındaki ilişki yükleme rejiminin bilinmesi ile

değerlendirmeye alınabilir [3]. Kalibrasyon esnasında tork ölçüm cihazına uygulanan yüklemeye ait rejimin bilinmesine rağmen, cihazın kullanımı esnasındaki yükleme rejimi genelde bilinmez. Bu nedenle sürünmenin tork ölçme cihazının gösterge değeri üzerindeki etkisi kullanıcı tarafından daha fazla önem kazanır.

SONUÇ

Kalibrasyon amaçlı kullanılan referans tork ölçme cihazlı (tork dönüştürücülü) sistemlerden veya diğer tork ölçme makinalarından, uygulanan tork değerini belli bir doğrulukta göstermesi beklenir. Bu nedenle uygulanan torka ait bilginin doğruluğu, referans olarak kullanılan tork ölçme cihazının hangi uygunluk eğrisini, hangi tork kalibrasyon sonucu ile kullandığına doğrudan bağlıdır. Bu nedenle hangi kalibrasyon sonucuna ve uygunluk denklemine göre tork değerinin belirleneceği sorusu, tamamen bu bilginin kullanılacağı yere göre dikkate alınmalıdır.

Artan ve azalan torkların kullanıldığı tork ölçme sistemlerinde veya kalibrasyon ekipmanlarında, sadece DIN 51309:2005'de Durum II verilen kalibrasyon sonucu ve bu sonuçla beraber verilen birinci dereceden uygunluk denklemi kullanılabilir. Bu durumda, histerisizin ve birinci dereceden uygunluk eğrisinin etkisiyle belirsizlik değeri artmaktadır. Belirsizliği ve doğruluğu iyileştirebilmek için, artan değerler ve azalan değerler için ayrı ayrı kalibrasyon sonuçları elde etmek ve elde edilen bu sonuçların her biri için üçüncü dereceden bir uygunluk eğrisi atamak gerekmektedir. Böylelikle, artan ve azalan torkların kullanıldığı tork ölçme sistemlerinde, cihazlar artan torklarda artan sonuçları ve buna ait üçüncü dereceden uygunluk denklemini, azalan torklarda azalan sonuçları ve buna ait üçüncü dereceden uygunluk denklemini kullanabilmelidirler. Yukarıdaki yöntemlerin hiç birisi henüz bu açılıma uygun bir yaklaşım önermemektedir.

Uygulamada sadece artan torkların kullanıldığı, tork ölçme sistemlerinde veya kalibrasyon ekipmanlarında, tüm uygunluk eğrilerinden herhangi birinin artan tork değerlerinden elde edilen kalibrasyon sonuçları ile beraber yada artan ve azalan tork değerlerinden elde edilen kalibrasyon sonuçlarının birinci dereceden uygunluk eğrisiyle beraber kullanılması mümkündür. Burada üçüncü dereceden uygunluk eğrisi ile daha iyi belirsizlik değerine ulaşıldığı unutulmamalıdır.

Bildiride bahsi geçen tork ölçme cihazlarının kalibrasyon sonucu ve belirsizlik hesaplama teknikleri, kuvvet ölçüm cihazlarına da benzer şekilde uygulanabilir. Böylelikle elde edilecek sonuçlar, çekme-basma makinaları gibi kuvvet uygulaması yapan cihazların performanslarına yansıtılabilir.

KAYNAK

- [1] DIN 51309, Issue: 2005-12, Material testing machines –Calibration of torque measuring devices for static torques
- [2] EURAMET/cg-14/V.01:2007, Guideline on the Calibration of Static Torque Measuring Devices
- [3] D. Röske, "The New version of the German torque calibration standard DIN 51309:2005-12 a comparative overview", IMEKO- 2007, Mexico
- [4] D. Peschel, D. Röske, "Determination of Creep Value Using Short-Term Creep", Proceedings of the XVth IMEKO World Congress, June 13-18, 1999, Osaka, Japan, vol. III, pp. 245-249

ÖZ GEÇMİŞLER

Çetin DOĞAN

1966 yılında Sivas'da doğan Çetin DOĞAN, 1992 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisansını tamamladı. 1996 yılında Ulusal Metroloji Enstitüsünde Araştırmacı olarak çalışmaya başladı ve 2000-2006 yılları arasında TÜBİTAK-UME bünyesindeki "Tork Ölçüm ve Standardları Laboratuvarının" kurulmasında ve "1000 N·m Kapasiteli Ulusal Referans Tork Standardı Makinesinin" gerçekleştirilmesi projesinde görev aldı. Halen TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde çalışmalarını sürdürmektedir.

Osman AKKOYUNLU

1971 yılında Afyon'da doğan Osman AKKOYUNLU, 1995 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünden Fizikçi olarak mezun oldu. 2000 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında Yüksek Lisansını tamamladı. Çalışma hayatına, 1995 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümünde Araştırma Asistanı olarak başladı. 1999 yılında Ulusal Metroloji Enstitüsünde Araştırmacı olarak çalışmaya başladı ve 2000-2006 yılları arasında TÜBİTAK-UME bünyesindeki "Tork Ölçüm ve Standardları Laboratuvarının" kurulmasında ve "1000 N·m Kapasiteli Ulusal Referans Tork Standardı Makinesinin" gerçekleştirilmesi projesinde görev aldı. Halen TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde çalışmalarını sürdürmektedir.