

MEKANİK KARŞILAŞTIRMA YÖNTEMİ İLE UZUN MASTAR BLOKLARININ YÜKSEK HASSASİYETTE KALİBRASYONU VE TÜRKİYE'NİN DÜNYADAKİ YERİ

Tanfer YANDAYAN
Sibel Aslı AKGÖZ

ÖZET

SI birimi "metre" nin endüstriye aktarılmasında birinci seviye transfer standart olarak kullanılan uzun mastar blokların düşük belirsizlikle kalibrasyonu son derece önem arz etmektedir. Bu bildiriye TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarında yapılan çalışmalarla, (125-1000) mm arasındaki uzun mastar bloklar için verilen belirsizlik değerinin mekanik karşılaştırma yöntemi kullanılarak, 3 kat mertebesine kadar nasıl düşürüldüğünün tarihsel süreci, hangi çevresel etkilerin önemli olduğu ve bunların nasıl kontrol altında tutulduğu anlatılacaktır. Ayrıca uluslararası karşılaştırmalar ile test edilen bu küçük belirsizliğin diğer ulusal metroloji enstitüleri ile karşılaştırılması ve dünyada uzun mastar bloklar için en düşük belirsizlik veren ikinci kurum olunması ve daha da aşağıya çekmek için yeni yapılan çalışmalar hakkında bilgilendirme yapılacaktır. Çalışmanın, boyutsal ve sıcaklık ölçümlerinde belirsizliklerini düşürmek isteyen laboratuvarlar ve araştırma yapan firma, kurum vs. için yol gösterici olacağı beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: uzun mastar blok, mekanik karşılaştırma yöntemi, uzun mastar blok komparatörü, mastar blok ölçümlerine sıcaklığın etkisi, belirsizlik.

ABSTRACT

Precise calibration of long gauge blocks, used for dissemination of SI unit metre in industry is very important. In this paper we describe how reduction of calibration uncertainty (three times) for long gauge blocks (125-1000) mm) using mechanical comparison method is achieved in TUBITAK UME and which are the important uncertainty parameters and how they were handled. We also compare this small uncertainty value (second in ranking in the world) tested in international comparison with the other National Metrology Institutes. We believe that the paper will be useful for those labs that would like to improve their facilities and established new ones for calibration of long gauge blocks.

Key Words: long gauge block, long gauge block comparator, temperature influences on gauge block measurement, uncertainty.

1. GİRİŞ

Metre biriminin endüstriye aktarılmasında birinci seviye transfer standart olarak kullanılan uzun mastar bloklar, üç boyutlu koordinat ölçme cihazlarının kalibrasyonları gibi, ölçme alet ve cihazlarının kontrol, ayar ve kalibrasyonlarında referans olarak kullanılmaları ve endüstri 4 uygulamalarının öne çıkmasıyla daha da önemli hale gelmiştir. Ayrıca üretim aşamasında nihai ürünün kontrolünde, ölçümünde, bazen de ölçme cihazları ile birlikte kullanılarak (ölçüm cihazının setlenmesi, ayarlanması vs.) izlenebilirliğin nihai ürüne direkt olarak aktarılması uzun mastar bloklar ile sağlanmaktadır. Bu nedenle mastar blokların kalibrasyonları ve kalibrasyon için verilen belirsizlik değerleri, cihazların ve ürünlerin uygunluk değerlendirilmesi aşamasında son derece önemlidir.

Uzun master blokların kalibrasyonları için interferometrik ve mekanik karşılaştırma olmak üzere iki farklı yöntem kullanılır. Birinci seviye ölçüm olan interferometrik yöntemde belirsizlik değeri, ikinci seviye ölçüm olan mekanik karşılaştırma yönteminden daha düşüktür. Ancak bu, her interferometrik ölçüm sistemi için geçerli değildir: Mekanik karşılaştırma ölçüm yöntemi kullanan bazı hassas cihazlar ile gerçekleştirilen ölçümlerin belirsizlik değeri, interferometrik yöntem kullanan çoğu cihazla gerçekleştirilen ölçümlerin belirsizlik değerinden daha iyi elde edilebilmektedir.

Mekanik yöntem, son derece pratik ve interferometrik yöntemle göre daha az maliyetli bir yöntem olmasının yanında, master blokların kullanım alanları da düşünüldüğünde, metroloji dünyasında önemli bir yer tutmaktadır. TÜBİTAK UME, 20 yılı aşkın süredir uzun master blok kalibrasyonu için verdiği hizmeti, izlenebilirlik sağlayıcı olduğunun sorumluluğu ile belirsizlik değerini zaman içinde daha da iyileştirerek üst seviyede vermeye devam etmektedir. Öyle ki, bugün bu alanda verilen belirsizlik değeri çoğu interferometrik ölçüm sistemi ile yapılan belirsizlik değerinden daha düşüktür. Bu nedenle düşük belirsizlikle kalibrasyona ihtiyaç duyarak çalışmalar yapan firmalar ve diğer ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinin bir kısmı, referans masterlarını UME'ye göndererek kendi izlenebilirliklerini TÜBİTAK UME Boyutsal lab. üzerinden alarak sağlamaktadırlar. Bu durum ulusal metroloji enstitülerinin kendi ülkelerinde izlenebilirlik dağıtıcısı oldukları düşünüldüğünde düşük belirsizlikle izlenebilirlik sağlayabilmeleri bakımından son derece önem arz etmektedir.

Bu bildiriye TÜBİTAK UME tarafından, mekanik karşılaştırma yöntemiyle, (125-1000) mm arasındaki uzun masterlar için verilen (0.075 0.400) μm belirsizlik değerinin, (0.051 0.167) μm değerleri arasına nasıl düşürüldüğü, hangi çevresel etkilerin önemli olduğu ve bunların nasıl kontrol altında tutulduğu anlatılacaktır. EURAMET.L-K1.2011 (2011-2015) karşılaştırmasına yapılan katılımla test edilen bu küçük belirsizliğin diğer ulusal metroloji enstitüleri ile karşılaştırılması ve dünyada uzun master bloklar için en düşük belirsizlik veren 2. kurum olunması ve daha da aşağıya çekmek için yeni yapılan çalışmalar hakkında bilgilendirme yapılacaktır. Çalışma, boyutsal ölçümlerde belirsizliklerini düşürmek isteyen laboratuvarlar ve araştırma yapan firma, kurum vs. için yol gösterici olacaktır.

2. UZUN MASTAR BLOKLAR ve KALİBRASYONU

Belirli standartlara uygun olarak üretilmiş, birbirine paralel iki düz ölçme yüzeyi arasında SI uzunluk birimi "metre" yi taşıyan (125-1000) mm nominal boydaki transfer ölçme elemanlarına uzun master blok denir (**Şekil 1**). Uzun master bloklar için yaygın kullanılan standart, kısa master bloklarda olduğu gibi EN ISO 3650:98 "Geometrical Product Specifications – Length Standards- Gauge Blocks " uluslararası standardıdır [1]. Bunun dışında ASME B89.1.9-2002 "Gauge Blocks" Amerikan standardı master bloklar için kullanılan diğer bir standarttır [2].



(a)



(b)

Şekil 1. Uzun master blokları ve kullanımı; (a) 200 mm uzun master bloğu (b) Uzun master bloklar kullanarak ölçme cihazı kalibrasyonu - SI uzunluk birimi "metre"ye izlenebilirliğin sağlanması.

Yukarıda belirtilen standartlarda hem uzun hem de kısa master blok özellikleri anlatılmaktadır. Burada en önemli kısım uzun master blok tanımlamasının 100 mm den daha uzun boylardaki master bloklar için verilen belirleyici özellik olmasının yanında, kalibrasyon ve kullanım durumlarının da farklı olmasıdır. Uzun master blokları genel kullanım koşullarında olduğu gibi yatay konumda kalibre edilirler. Eğer dikey konumda kalibre edilirse, standartlarda belirtildiği gibi boy değerleri yatay konumdaki kullanımlarına göre düzeltilmelidir. Bu düzeltmenin gerekliliği kalibrasyon belirsizliği ve kullanıcının hassasiyet talebine göre değişebilir. Bazen bu düzeltme değeri adı geçen taleplere göre çok küçük kaldığından herhangi bir işlem uygulanmayabilir [3].

Uzun master blok kalibrasyonlarının yapılmasında, interferometrik ve mekanik karşılaştırma yöntemi olmak üzere 2 farklı yöntem kullanılmaktadır:

- 1- İnterferometrik Yöntem
- 2- Mekanik karşılaştırma yöntemi

İnterferometrik yöntem; ışığın dalgaboyu referans alınarak, uzunluk birimi "metre" nin master bloğuna aktarıldığı, birinci seviye bir ölçümdür. Bunun için kullanılan cihazlar master blok interferometreleridir. İnterferometrik yöntem birincil seviye mutlak bir ölçüm yöntemidir ve genelde düşük bir belirsizlik ile sonuç bulunur.

Mekanik karşılaştırma yönteminde ise test master bloğun boyu, referans olarak kullanılan diğer bir uzun master bloğun boyuna bağlı olarak bulunur. Ölçülmek istenilen test master bloğun boyu; prob ile referansın boyu ve testin boyu arasındaki ölçülen fark, gereken düzeltmeler yapıldıktan sonra, sonuca eklenerek bulunur.

Her iki yöntemi uygulayan uzun ve kısa master blok kalibrasyon cihazları vardır. Bu cihazların kontrolü, kalibrasyonları, karşılaştırılması ve doğrulanması hangi gruba ait ise (kısa master blok grubunda ise kısa master bloklar, uzun master blok grubunda ise uzun master bloklar kullanılarak) o master grubu ile yapılmalıdır. Örneğin uzun master blok (125-1000) mm ölçümü için yapılmış bir interferometrenin, mekanik komparatörün veya kullanılacak üniversal ölçüm cihazının doğrulanmasının, kontrolünün veya karşılaştırmaya katılımının kısa master blokları (0.5-100 mm) ile yapılması doğru değildir. Bunun için cihazın ölçüm aralığını kapsayacak master blokların örn. (150-500-900) mm gibi seçilmesi gerekir. Eğer 1000 mm ölçme kabiliyeti olan bir cihaz, 10 mm gibi kısa master blok ile kontrol edilirse, benzetmek gerekirse, binek araç kullanarak ehliyet sınavına girip tıraş ağırlı vasıta ehliyeti almaya benzer. Bunun işlevsel olamayacağı açıkça görülmektedir.

Uzun master blokların mekanik yöntem ile kalibrasyonunun en büyük avantajı, master bloğun kullanım şekli nasılsa kalibrasyonunun bu şekle uygun olarak yapılmasının sağlanmasıdır. Ayrıca uzun master bloklarının çok büyük bir kısmının yüzeyi, interferometrik yöntem ile kalibre edilebilecek yüzey formuna sahip değildir. Ayrıca, interferometrik yöntemle göre kalibrasyonun çok daha hızlı ve çabuk yapılması, maliyet açısından da mekanik yöntemi öne çıkartmaktadır.

Tüm bu avantajların yanında, eğer istenilen belirsizlik değerleri de elde edilebilirse, mekanik yöntem ile uzun master blok kalibrasyonu son derece avantajlıdır.

2.1. Uzun master bloklarının mekanik yöntem ile kalibrasyonu

Endüstride çok farklı boyutsal ölçüm cihazlarının ve standartlarının kalibrasyonunu yapabilen 1 boyutlu ölçme komparatörleri, diğer bir deyişle üniversal ölçüm cihazları (SIP, ULM, MAHR vs.) eğer doğru bir şekilde kullanılırsa, bu cihazlar ile uzun master blok kalibrasyonu yapıldığında iyi sonuçlar almak mümkündür. Özellikle üretici firmalar tarafından sunulan uzun master blok kalibrasyon aparatlarının bu cihazlar ile kullanılması tavsiye edilir.

Burada diğer önemli bir husus ise sıcaklık ölçümü ve kompanzasyonudur ki, genelde bu durum işin görünmeyen kısmıdır. Bu konuda gerekli önlemler alınmadan, sıcaklık okuma değerleri otomatik olarak üretici firma yazılımına girilip kalibrasyon yapılırsa, hatalı sonuçlar almak söz konusu olabilir.

Unutulmamalıdır ki, doğru bir boyut ölçümü için (özellikle uzunluk değeri 125-1000 mm gibi uzun olanlar) ilk olarak doğru bir sıcaklık ölçümü yapmak gerekir. Çünkü boyut ölçümleri 20°C “referans sıcaklık” değerine göre verilir. Tam olarak 20°C ortam sıcaklığında ölçüm yapmak mümkün değildir. Fakat bunun bilincinde olup, sıcaklık ölçümü konusu ve etkileri dikkate alınarak yapılan bir kalibrasyonla en doğru sonuçları, düşük belirsizlikte elde edebiliriz.

Üniversal ölçüm cihazları kullanıldığında, sıcaklık etkileri düşürülerek çok iyi belirsizlik değerlerine ulaşmak mümkündür. Bu konuda 2000’li yılların başında TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarında bir çalışma yapılmıştır ve çalışma yayınlanmıştır [3]. Bu makalede gösterildiği gibi $U = [(150^2) + (0.5L)^2]^{1/2}$ nm L:mm, genişletilmiş belirsizlikle ticari üniversal ölçüm cihazları kullanılarak uzun master bloğu kalibrasyonu yapmak mümkündür. Örneğin bu formül ile 500 mm boyunda bir master için belirsizlik $U = 292$ nm (yani yaklaşık 0.3 µm) (k=2) ve 1000 mm için belirsizlik $U = 522$ nm (0.53 µm) (k=2)’dir. **Eğer bu değerlerin çok altına inilebilecekse, özel cihazları satın almak ya da imalatını yapmak mantıklıdır.** Çünkü uzun master blok kalibrasyonuna ilave olarak, çap, vida vs. diğer birçok boyutsal ölçümleri de yapabilen ve çoğu laboratuvarında mevcut olan üniversal ölçüm cihazlarını aynı zamanda uzun master blok kalibrasyonu için de kullanmak en mantıklı yaklaşımdır.

2.2. Mekanik yöntem ile kalibrasyon sırasında belirsizlik parametreleri

Mekanik kalibrasyonda düşük belirsizlik elde edebilmek için ilk olarak, kullanılan referans master bloğun düşük belirsizlik ile kalibrasyonunun yapılması gerekir. Bunun yanında mekanik yöntem ile uzun master blok kalibrasyonu için dikkate alınması gereken parametreler aşağıda sıralanmıştır.

- Referans master bloğu (Belirsizlik değeri, yıllık kayma miktarı-tarihsel veriler)
- Ölçüm cihazı kalibrasyonu ve hataları (lineer pozisyon, probun hareketi sırasında oluşan pitch, yaw gibi açısal rotasyon hataları ve bunların bulunmasındaki belirsizlikler)
- Ölçme probu kuvveti ve test-referans master bloklarının elastik değişimi
- Test masterin ölçme yüzeyinin geometrisi
- Ölçüm sırasında alınan sonuçların kayma durumu, önlemler ve tekrarlanabilirliği
- Sıcaklık etkisi
 - Referans, test ve komparatör skalası sıcaklıkla uzama katsayısı
 - Referans, test ve komparatör skalası sıcaklık değerleri, sıcaklık sensörlerinin belirsizliği

Tüm bu parametreler dikkate alınarak kullanıcılar kendi ortam şartlarına, cihazlarına ve referanslarına göre belirsizliklerini hesaplayabilirler. Yukarıda bulunan parametreler içinde, iyileştirmeye açık ve master blok boyuna göre önem arz eden sıcaklık etkisi üzerinde aşağıda ayrıca durulmaktadır.

2.3. Master blok kalibrasyonu belirsizliği için sıcaklık etkisi

Master blok kalibrasyonlarında doğru ölçüm için en önemli etkilerden biri sıcaklık ölçümleri ve sıcaklık ölçümüyle direkt alakası olan sıcaklıkla uzama katsayısı değerleridir. Sıcaklık değişimi sebebiyle oluşabilecek boy değişimi, aşağıda verilen temel denklem ile tespit edilir:

$$\Delta L = \alpha \times \Delta T \times L \quad (1)$$

Burada,

ΔL : Boydaki uzama miktarı (örn. mm)

α : Malzemenin sıcaklıkla uzama katsayısı (1/°C, bazen ppm kullanılır-parts per million-milyonda bir)

ΔT : Sıcaklık değişimi °C

L : Nominal boy değeri (örn. mm)

1 no.lu denklemde L boyu sabittir. ΔT ve α değerleri ise sıcaklık sensörlerinin kabiliyetine, ortam şartlarına, uzama katsayısına ve bilinme durumuna göre değişkenlik gösterebilir. Kısaca bu parametrelerdeki değişimlerden ve bilinmelerindeki hatalardan dolayı gelecek bazı belirsizlikler ortaya

çıkacaktır. Bunu bulmanın en iyi yolu, bu değişkenlere göre 1 no.lu denklemin kısmi türevlerini almaktır. Aşağıda 1 no.lu denklemin kısmi türevi alınıp, belirsizlik hesabı için varyanslar yazılmıştır [4];

$$(u_{\Delta L})^2 = (u_{\alpha} \times \Delta T \times L)^2 + (u_{\Delta T} \times \alpha \times L)^2 \quad (2)$$

$u_{\Delta L}$: Boydaki uzama miktarının bulunmasındaki belirsizlik (örn. mm).

u_{α} : Sıcaklıkla Uzama Katsayısı (α)'nın bilinmesindeki belirsizlik / test-ref. master blok malzemeleri arasındaki sıcaklıkla uzama katsayıları (α) farkı, (1/°C).

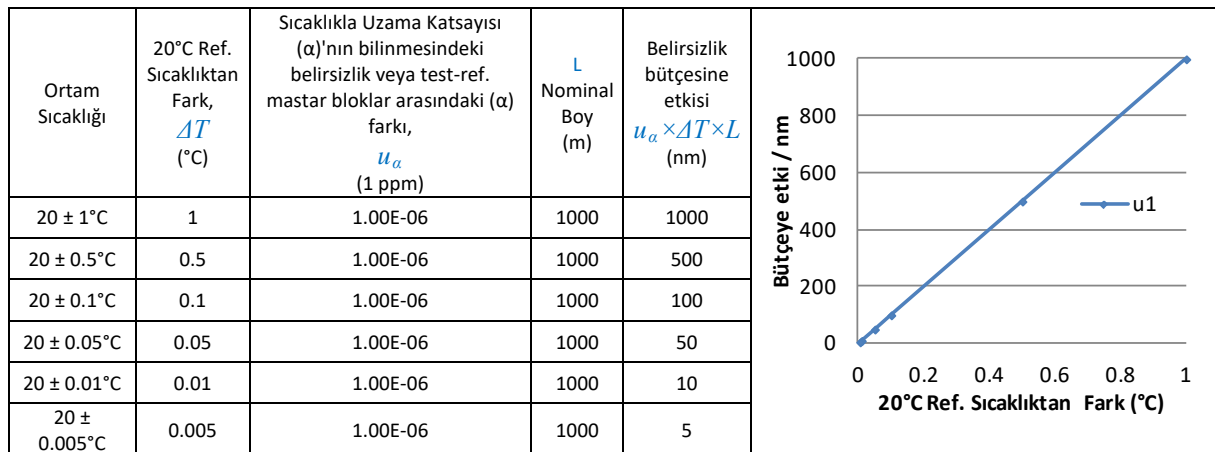
$u_{\Delta T}$: Master bloğun sıcaklığının tespit edilmesinin belirsizliği / Test-Ref. master bloklar arasındaki sıcaklık farkı (°C). Her iki masterın sıcaklık değerlerinin ölçülüp, iki master arasındaki sıcaklık farkı bulunur.

Denklem 2, denklem 1' in ΔT ve α değerlerine göre kısmi türevlerinin alınmış halidir. Burada ΔT ve α değerlerinin değişim miktarı, kolay anlaşılması ve belirsizlik ile kolay irtibat kurulması açısından genel gösterimi olan δ_{α} , $\delta_{\Delta T}$ yerine u_{α} , $u_{\Delta T}$ olarak gösterilmiştir.

2 no.lu denklemde birinci kısım (mavi olan), Sıcaklıkla Uzama Katsayısı (α)'nın bilinmesindeki belirsizlik veya test-ref. master bloklarının sıcaklıkla uzama katsayıları arasındaki fark neticesinde, iki masterın 20°C referans. sıcaklıktan farklı bir sıcaklıkta buldukları zaman aralarında oluşabilecek boy farkının nasıl hesaplanacağını göstermektedir.

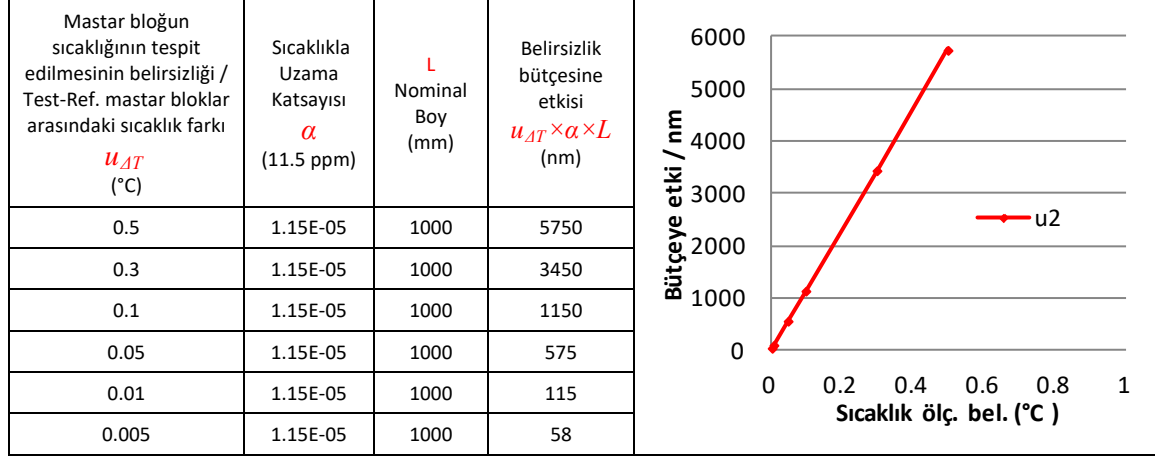
Kırmızı olan ikinci kısım ise, Master bloğun sıcaklığının tespit edilmesinin belirsizliği / Test-Ref. master bloklar arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek boy değişiminin nasıl hesaplanacağını göstermektedir.

Şekil 2' de denklem 2'nin birinci kısmı kullanılarak, 1000 mm master boyu için; α : 11.5×10^{-6} sıcaklıkla uzama katsayısının $\pm 1 \times 10^{-6}$ (1 ppm) belirsizlikte bilinmesi durumunda, 20°C Ref. Sıcaklıktan farklı ortam sıcaklıklarında, master blok boyunun değişim değeri dikkate alınarak düzeltme yapıldığında oluşabilecek belirsizlik değerleri hesaplanmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi, master blokların ölçümünün yapıldığı ortam sıcaklığı, 20°C referans sıcaklıktan uzaklaştıkça, düzeltme yapılsa dahi, yapılan düzeltmenin değerinin bilinmesindeki belirsizlik artmaktadır. Kısaca Şekil 2'deki grafikte gösterilen hata değerinin uzun master bloğun ölçüm sonucu değerine etkisi olacaktır. Bu sebeple bu değer ölçüm belirsizliği değerine, ortam şartlarının sıcaklık değeri dikkate alınarak eklenir.



Şekil 2 Sıcaklıkla Uzama Katsayısı (α)'nın bilinmesindeki belirsizlik veya test-ref. master bloklarının sıcaklıkla uzama katsayıları arasındaki fark neticesinde, iki masterın 20°C ref. sıcaklıktan farklı bir sıcaklıktaki ortamda buldukları zaman aralarında oluşabilecek boy farkı değerleri; diğer bir değişle, α : 11.5×10^{-6} olarak alındığında yapılacak bir düzeltme sonucu farklı ortam şartlarında hesaplanan ilgili düzeltmeye ait belirsizlik değerleri.

Şekil 3'de denklem 2' nin ikinci kısmı kullanılarak, ortalama sıcaklıkla uzama katsayısı 11.5×10^{-6} olan 1000 mm boyundaki master bloğun sıcaklığının tespit edilmesinin belirsizliği / Test-Ref. master bloklar arasındaki sıcaklık farkından dolayı, master boyunun değişim değeri dikkate alınarak düzeltme yapıldığında oluşabilecek belirsizlik değerleri hesaplanmıştır. **Şekil 3'** te görüldüğü gibi, test-ref. master bloklar arasındaki sıcaklık farkı ne kadar küçükse ve bu sıcaklık değeri ne kadar düşük bir belirsizlikle tespit edilirse, bulunacak ΔL düzeltme değerinin doğruluğu iyi olacak ve belirsizlik bütçesine katılacak değer düşük olacaktır.



Şekil 3 Master bloğun sıcaklığının tespit edilmesinin belirsizliği / Test-Ref. master bloklar arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek boy değişimi değerleri farklı sıcaklık ölçüm belirsizliği değerlerine göre hesaplanmıştır. Bu değerler, düzeltme yapıldığında oluşabilecek muhtemel hataları diğer değişle belirsizlik bütçesine katılacak değerleri göstermektedir.

Tüm bu analizler sonucu, düşük belirsizlikle kalibrasyon yapabilmek için, aşağıda belirtilen iki ana konu son derece önemlidir;

- Masterlar blokların bulunduğu ortam sıcaklığının 20°C referans sıcaklıktan farkı ve kararlılığı
- Master blok sıcaklık değerlerinin düşük bir belirsizlikle ölçülmesi

Yukarıda anlatılan analizlerin TÜBİTAK UME'de bulunan 1m Mekanik Master Blok Komparatöründe nasıl uygulandığı ve uygulama sonucunda dünyada Almanya Ulusal Metroloji Enstitüsü (PTB)' den sonra ikinci sırada en düşük belirsizliği TÜBİTAK UME'nin nasıl verebildiği 3. bölümde anlatılmıştır.

3. TÜBİTAK UME'de UZUN MASTAR BLOK KALİBRASYONU

TÜBİTAK UME 1990 yıllardan bu yana uzun master blok kalibrasyonu için Türk Alman işbirliği projesi kapsamında Almanya ulusal metroloji enstitüsü PTB tarafından hibe olarak verilen 1m Master Blok Komparatörünü kullanmaktadır. 1980' li yılların sonunda, PTB tarafından tasarımı yapılan bu cihazdan Almanya'da iki adet yaptırılmıştır ve bir tanesi PTB tarafından hala kullanılmaktadır. PTB bu cihaz ile mekanik karşılaştırma yöntemi ile dünyada en düşük belirsizlik olan

$$U = Q[30, 0.12L] \text{ nm} \quad L: \text{ mm}$$

değeri ile kalibrasyon hizmeti vermektedir.

İkinci 1m Master Blok Komparatörü ise TÜBİTAK UME'ye getirilip kurulmuştur. 1990'lı yıllarda bu cihaz ile TÜBİTAK UME'nin vermiş olduğu belirsizlik değeri,

$$U = (50 + 0.50 \times L) \text{ nm}, \quad L: \text{ mm}$$

iken 2000'li yıllarda 2. bölümde belirtilen analizler yapıldıktan sonra, cihaz ile daha düşük belirsizliklerde kalibrasyon hizmeti verilebileceği tespit edilmiştir. Bunun için TÜBİTAK UME boyutsal laboratuvarında önemli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi sıcaklık sensörlerinin kalibrasyonu ve belirsizliğe etkisinin azaltılmasıdır.

Bu çalışmalar kademe kademe yürütülmüş, ilk olarak 2004 yılında katılan EUROMET.L-K2 (2002-2005) karşılaştırması [5] ve daha sonra EURAMET.L-K1.2011 (2012-2014) karşılaştırmasında [6] son olarak aşağıda verilen belirsizlik değeri ile çok iyi sonuçlar alınmıştır.

$$U = Q[47, 0.16 L] \text{ nm} \quad L: \text{ mm}$$

Verilen belirsizlik formüllerine göre, L: 1000 mm master uzun master boyuna göre bulunan U belirsizlik değerleri için karşılaştırılması **Tablo 1'** de gösterilmektedir.

Tablo 1. Uzun Master Komparatörü kullanarak verilen belirsizlik değerlerinin TÜBİTAK UME'de yıllara göre iyileştirilmesi ve PTB ile karşılaştırılması

Kurum adı ve hizmet yılı	Belirsizlik formülü	1000 mm master blok için U belirsizlik değeri (nm)
PTB (1990-2019)	$U = Q[30, 0.12L] \text{ nm} \quad L: \text{ mm}$	124
TÜBİTAK UME 1990-2000	$U = (50 + 0.50 \times L) \text{ nm}, \quad L: \text{ mm}$	550
TÜBİTAK UME 2000-2014	$U = Q[56, 0.40 L] \text{ nm} \quad L: \text{ mm}$	404
TÜBİTAK UME 2014-2019	$U = Q[47, 0.16 L] \text{ nm} \quad L: \text{ mm}$	167
TÜBİTAK UME hedef 2020	$U = Q[30, 0.10L] \text{ nm} \quad L: \text{ mm}$	104

3.1. TÜBİTAK UME 1m Master Blok Komparatörü

TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarında kullanımda olan uzun master blok komparatörü, Almanya'da, PTB ve TÜBİTAK UME için özel tasarım olarak 1980' li yıllarda üretilmesine rağmen, 2019 yılında mekanik karşılaştırma yöntemiyle uzun master bloğu kalibrasyonu için hala dünyada en iyi ölçüm belirsizliği ile ölçüm yapılan cihazdır. Bu özel tasarım komparatör, universal ölçüm cihazları gibi, bir gövde üzerinde bulunan hareketli 2 punta arasında master bloklarını tutan ve bir indüktif prob yardımı ile karşılaştıran hassas bir cihazdır. **Şekil 4'te** TÜBİTAK UME'nin 1m master blok komparatörünün fotoğrafları mevcuttur; (a) cihazın görünümü (b) cihazın ölçüm için sahip olduğu uzaktan kumanda ile gerçekleştirilen hareket mekanizmaları.

Cihazın en önemli özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

Ölçümün yapıldığı gövde etrafında 20°C sıcaklığında su dolaşmaktadır. Ayrıca tüm cihazın etrafı strafor/alüminyum sandviç malzemeden yapılmış kabin içerisindedir. Bu çok iyi bir termal izolasyon ortamı sağlamaktadır.

Cihaz, binanın temelinden bağımsız bir temeli olan sismik kütle olarak adlandırılan bir zemin üzerinde yerleştirilmiş olup, çevredeki titreşimlerden etkilenmemektedir.

İstenilen uzun master blok boyuna göre puntalar ayarlanıp, uzun master bloklar serbest bir şekilde işaretli ölçüm noktalarından yerleştirilebilmektedir. Masterlar yerleştirildikleri yere herhangi bir kuvvet ile bağlanmayıp, tamamen serbest olarak yerleşmektedir. Bu durum, master blok boyunda olabilecek boy değişimlerini minimuma indirir ve en ideal koşullarda ölçüm ortamı sağlar.

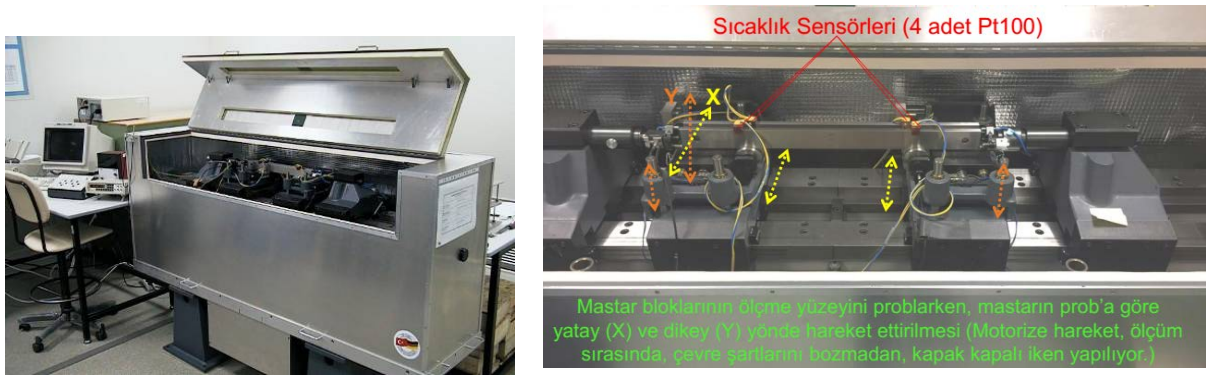
Ölçme işlemi; probun hareketi, referans ve test masterın tüm hareketleri uzaktan kumanda edilir ve tüm bunlar kabin kapısı kapalı iken yapılır. Böylece operatörün termal dengeyi bozması söz konusu

değildir. Masterların ölçme noktaları otomatik olarak sensörlerin yardımı ile tespit edilir ve masterlar, probun ölçme noktalarında, 0,5mm'den daha küçük bir çap içinde ölçüm alabileceği şekilde konumlandırılır. Bu özellikler, her iki master yüzeyinde son derece tekrarlanabilir probleme yapmaya imkan verir.

Cihazda 4 adet sıcaklık ölçme sensörü (4 adet Pt100) bulunmaktadır. Bunlardan 2 tanesi test master, diğer 2 tanesi referans master blok üzerine masterların sağ ve sol bölgelerine yerleştirilir. Bu, ortamın termal dağılımı hakkında önemli bilgi vermesinin yanında, masterların sıcaklığının düşük bir belirsizlikle ölçülmesini sağlar.

4 adet Pt100 sensörü bir multimetrenin tarayıcı kısmına bağlanır ve sırasıyla tüm sensörlerden veri alınarak sıcaklık değişimleri direnç değişimi olarak tespit edilir. Direnç değerleri, her bir Pt100'e ait kalibrasyon denklemi ile sıcaklık değerlerine çevrilir ve 0,01 °C' nin altında bir belirsizlikle masterların sıcaklık ölçümleri yapılır.

Master bloklarının 0,01°C'nin altında bir belirsizlikle sıcaklık ölçümünün yapılabilmesi için, Pt100 sıcaklık sensörlerinin düşük belirsizlikte kalibrasyonunun yapılması ve daha sonra bunu sağlayıp sağlamadığının kontrolü gerekir. Aşağıdaki bölümde bu işlemin nasıl yapıldığı anlatılmaktadır.



Şekil 4. TÜBİTAK UME 1m Master Blok Komparatörü

3.2 TÜBİTAK UME 1m Master Blok Komparatörü sıcaklık sensörleri kalibrasyonu

Pt100 sensörlerin master yüzeyine çok iyi konumlandırılabilmesi için, Pt100'ler özel yaylı bir mekanizmaya oturtulmuş olup, kablo bağlantıları açık olarak imal edilmiştir. Bu sebeple kalibrasyonları sırasında sıvı ortamda bekletilmesi söz konusu değildir. Kısaca ortam sıcaklığı değişiminin birkaç miliKelvin (mK) olduğu, kuru bir kabin gerekmektedir.

1 m komparatöre ait Pt100 sensörlerin kalibrasyonu, 1990'lı yıllarda, TÜBİTAK UME sıcaklık laboratuvarında, sıvı banyolar içinde yer alan, cam pipetler içine Pt100 sensörlerini yerleştirilerek yapılmıştır. Bu kalibrasyonlar için 0,1°C - 0,05°C civarlarında verilen belirsizlik değerleri, arzu edilen master blok kalibrasyon belirsizliği için yeterli olmamıştır.

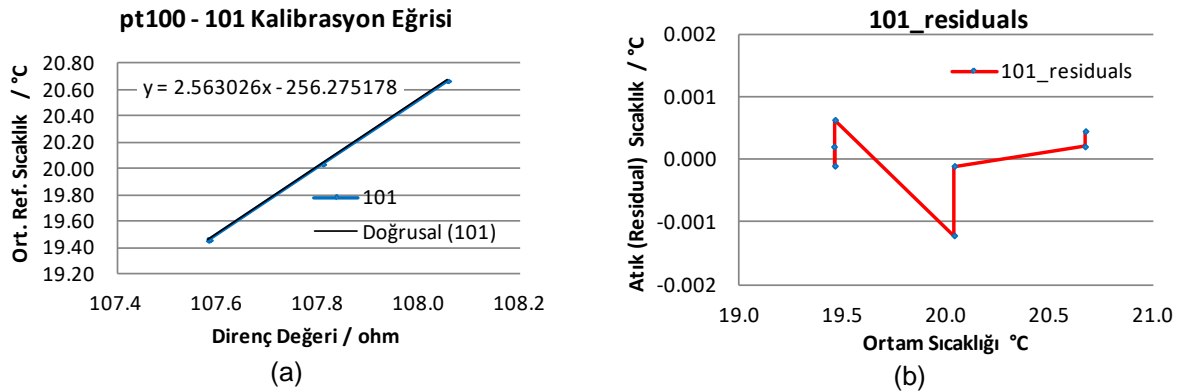
Bölüm 2.2'de anlatılan teorik hesaplamalar dikkate alınarak, Pt100 sensörlerin düşük belirsizlikle kalibrasyonu için, 1998 yılında TÜBİTAK UME boyutsal laboratuvarında bir araştırma çalışması başlatılmıştır. Pt25 referans termometre temin edilmiş, SÜN ve Galyum noktalarında kalibre ettirilerek ve bu değerlere ITS90 denklemi uygulanarak, Pt25 ile 1mK belirsizlikle sıcaklık ölçme kabiliyetine ulaşılmıştır. İlave olarak yapılan çalışmalarla, bir takım özel sistemler geliştirilmiş ve bunların deneme ölçümleri yapılmıştır.

Master blokların sıcaklık ölçümü master yüzeyinden yapılır. Fakat master yüzeyi ile masterın ortası arasında sıcaklık farkı olabilmektedir. Bu durum dikkate alınarak, boyutsal laboratuvarında bu işlem için özel bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde, master blok şekil ve ölçülerinde, master blok

malzemesine yakın malzemeden imal edilen çelik blok ortasına uygun çapta delik delinmiştir. Master şeklindeki blok ortasına delinen deliğe Pt25 referans termometre yerleştirilmiştir. Bu çelik blok etrafına da kalibrasyonu yapılacak 4 adet Pt100, master ölçümünde olduğu gibi yerleştirilmiştir. Ayrıca 4 adet Pt100 yakınına 1 adet ilave Pt25 referans termometre daha yerleştirilmiştir. Amaç, iki Pt25 referans termometre (master ortası ve yüzeyinde) arasındaki sıcaklık farkı değerlerini kontrol ederek, ortamın ısıl dengesini kontrol etmektir.

Ortam sıcaklığı değişiminin birkaç miliKelvin (mK) olduğu kuru ortam için 1m Komparatörün kabini kullanılmıştır. Yapılan işlemi özetlersek; 4 adet Pt100 sensör, master yüzeyinde sıcaklık ölçerken olduğu gibi, özel çelik blok üzerine orjinal mekanizmasıyla tutturulup, yanlarına 2 nolu Pt25, ve blok ortasına 1 nolu Pt25 referans termometre yerleştirildikten sonra, tüm ünite kalın strafor kutu içerisine, küçük strafor parçaları ile beraber alınır. Tüm ekimpanlar, 1m komparatörün kabinine yerleştirilir ve (19-20-21)°C nominal sıcaklıklarda ölçüm almak amacıyla, 1m Komparatörün kabinini besleyen suyun sıcaklığı (Sıvı banyonun suyu) değiştirilerek ölçümler alınır. Her bir nominal sıcaklıkta ölçüm verisi almak için bir gece beklenir. Kabin içindeki ısıl denge takip edilir. Sıcaklık değişimi 30 dakika boyunca, $\pm 2\text{mK}$ bandında iken veri alınır. (19-20-21)°C nominal sıcaklıklarda alınan Pt100' lere ait direnç değerleriyle, her bir Pt100' e ait kalibrasyon denklemi hesaplanır.

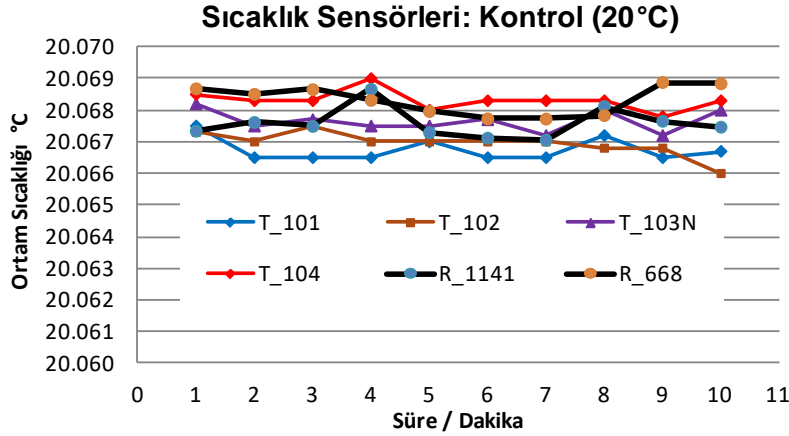
Şekil 5 (a) da, referans termometre değerleri ve Pt100 sensör direnç değerlerini kullanarak 1 nolu sensör için bulunan kalibrasyon eğrisi gösterilmektedir. Bu denklem kullanılarak, aynı direnç değerleri için Pt100 sensörünün sıcaklık değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerlerin, referans değerlerden farkı alınarak atık değerler (residuals) hesaplanarak kalibrasyon denkleminin kesinliği bulunur. **Şekil 5 (b)** de, ilgili kalibrasyon denklemini kullanıldığında teorik olarak olması muhtemel hata değerleri gösterilmektedir. Bu değerler, Pt100 sensörlerin kalibrasyon belirsizliği hesabında kullanılır.



Şekil 5. Pt100 sıcaklık sensörü kalibrasyonu (a) Direnç-Sıcaklık ilişkisini gösteren kalibrasyon eğrisi ve denklemi (b) kalibrasyon eğrisinin teorik performansı ve olabilecek atık (residuals) değerler.

Tüm Pt100 sensörlerin kalibrasyon denklemleri bulunduktan sonra, bu denklemler 1m Komparatör yazılımına girilir ve direnç yerine sıcaklık değerleri okunarak tüm sensörlerin ve sistemin kontrolü yapılır. **Şekil 6'** da bu kontrol sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, tüm sensörlerin sıcaklık okuma değeri 10 dakika boyunca (± 0.0015 °C) bandında salınmış, tüm sonuçların (4 adet Pt100 ve 2 adet Pt25) standart sapması 0.0007 °C (rms), her bir sensör için ayrı ayrı hesaplandığında standart sapma 0.0005 °C (rms)' den daha düşük bulunmuştur.

Geliştirilen bu prosedür yardımıyla, TÜBİTAK UME Boyutsal laboratuvarında, 0.007°C (7 mK) belirsizlikle, Pt100 sensör kalibrasyonu 2000-2005 yılları arasında iç hizmet olarak yapılmaya başlanmıştır. 2005' li yıllardan itibaren, kalite sistem uygulamaları dikkate alınarak, Pt100 sensörlerinin kalibrasyonu TÜBİTAK UME boyutsal lab. ve sıcaklık lab.ın ortak çalışması ile gerçekleştirilmeye başlanmış ve yukarıda anlatılan prosedüre uygun şekilde yapılan kalibrasyonlar ile sıcaklık laboratuvarının verdiği sertifikalar ile belgelendirilmiştir.



Şekil 6. Sıcaklık sensörlerin kalibrasyonu sonrası kullanılacak sıcaklıkta kontrolü: Tüm sensörlerin sıcaklık okuma değeri 10 dakika boyunca (± 0.0015 °C) bandında salınmış, tüm sonuçların (4 adet Pt100 ve 2 adet Pt25) standart sapma 0.0007 °C (rms), her bir sensör için ayrı ayrı hesaplandığında standart sapma 0.0005 °C (rms)' den daha düşük bulunmuştur.

3.3 TÜBİTAK UME 1m Master Blok Komparatörü ile uzun master blok kalibrasyonu

TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı bünyesindeki Master Blokları laboratuvarı 20 ± 0.3 °C ortam koşulları için şartlandırılmıştır. Bu ortam şartlarında sismik kütle üzerinde yer alan 1m Master Komparatörü ayrıca kendi kabini için de (20 ± 0.1) °C' de şartlandırılmıştır. Ölçümler yapılırken ortamın sıcaklık dengesine gelmesine çok dikkat edilmektedir. Bu amaçla daha önce temizleme vs. işlemleri yapılan test master bloğu, 1m komparatörün içine referans master blok ile birlikte, mesai saati bitimine doğru yerleştirilir ve ölçüm için denemeler dahil tüm ayarları yapılır. Gece boyunca bekleme süresinden faydalanılıp, ortam şartları dengeye geldikten sonra sabah ölçümler yapılır. Ölçümleri takiben eğer varsa başka test masterın kalibrasyonu için hazırlıklar yapılır. Hemen ayarları yapıp, akşam mesai saati bitiminde ikinci masterın ölçümü tamamlanıp bir sonraki gün yapılacak başka bir test master blok için işlemler tamamlanır. Bu zaman uygulaması (1000-500) mm arasındaki uzun master bloklar için kullanılır. (125-400) mm arasındaki nominal boylar için, bekleme süreleri daha az olup, öğlede bir master daha ölçülebilmektedir.

Şekil 7 (a)'da kalibrasyon sonucu alınan ham veriler ve ölçüm sonucu yer almaktadır. **Şekil 7 (b)**' de sıralaması gösterilen kalibrasyon işlemi aşağıdaki adımlarda yapılır:

- Ölçüme başlamadan önce yazılım ile otomatik olarak referans ve test master üzerinde (masterın sağında ve solunda) yer alan toplam 4 adet pt100 sıcaklık sensöründen sıcaklık verileri alınır.
- Daha sonra ilk olarak Referans master (R) üzerinden problama yapılır. Bu sırada master yatay ve dikey yönde uzaktan kumanda ile kabin içinde hareket ettirilerek dönüm noktaları bulunur. Dönüm noktası bulunduğu veri probun gösterge değeri "R" olarak kayıt edilir. **Şekil 7 (b)**' de 1 nolu ölçüm.
- Test master uzaktan kumanda ile hareket ettirilerek, iki punta arasına problama için yerleştirilir. Benzer şekilde dönüm noktaları bulunup, probun gösterge değeri "T" olarak kayıt edilir. **Şekil 7 (b)**' de 2 nolu ölçüm.
- Test master blok üzerinde problama tekrar yapılır. Dönüm noktaları bulunup, probun gösterge değeri "T" olarak kayıt edilir. **Şekil 7 (b)**' de 3 nolu ölçüm.
- Referans master uzaktan kumanda ile hareket ettirilerek, iki punta arasına problama için yerleştirilir. Benzer şekilde dönüm noktaları bulunup, probun gösterge değeri "R" olarak kayıt edilir. **Şekil 7 (b)**' de 4 nolu ölçüm.
- Problama işlemlerinden sonra, bir kez daha sıcaklık ölçümleri alınır ve kayıt edilir. Her iki master üzerinden alınan ikişer ölçüm sonucu, birinci set ölçüm tamamlanmış olur.
- Aynı şekilde 4 set daha ölçüm alınarak toplamda 5 set ölçüm ile işlem tamamlanır.

Şekil 7 (b)' de toplanan veriler yazılım ile işlenerek ortalama değerler ve düzeltme değerleri tespit edilir ve gerekli işlemler yapıp nihai sonuç bulunur. Tüm bu işlemler yaklaşık 20 dakika sürer. **Şekil 7'** de tüm ölçümler sırasında alınan sıcaklık değişiminin 0.002 °C' den daha az olduğu, ortam şartlarının (20.000 - 20.010) °C içinde olduğu görülmektedir. Ayrıca çok iyi bir sıcaklık dengesi ve referans sıcaklık 20 °C'ye olan yakınlık sebebiyle sıcaklık düzeltmelerinin maksimum 0.005 µm (5 nm) olduğu görülmektedir.

Şekil 7' de alınan beş ölçümün arasında maksimum farkın 0.01 µm (10 nm) olduğu, bu değerlerin standart sapmasının alınıp, 0.003 µm (3nm) tekrarlanabilirlik değeri olarak belirsizlik bütçesine katılabileceği gösterilmektedir.

Şekil 7 (a)' da verilen formlarda görülen kalibrasyonu yapan ve kontrol edenin (sensör yerleri ve sonuçlar) imzaları ile kalite sistemindeki gereksinimler de yerine getirilmiş olarak güvenli bir ölçüm yapılmaktadır. 1998' li yıllarının başından itibaren boyutsal laboratuvarında yapılan bu ölçüm yöntemi eğitimler sırasında anlatılarak bir çok ulusal ve uluslararası laboratuvarın sistemini geliştirmesine imkan vermiştir.

µm cinsinden	Sıcaklık °C				Sıcaklık °C				Sic-fark.	T-R+Kor.			
Nr.	R	T	T-R	R-sol(1)	T-sol(2)	R-sağ(3)	T-sağ(4)	R-sol(1)	T-sol(2)	R-sağ(3)	T-sağ(4)	Sic-fark.	T-R+Kor.
1	+2,51	+2,42		20,006	20,006	20,0014	20,0024	20,006	20,006	20,0014	20,0024		
	+2,51	+2,42		20,006	20,0054	20,0022	20,0031	20,006	20,0054	20,0022	20,0031		
	+2,51	+2,42	-0,09	20,006	20,0057	20,0018	20,0027	20,006	20,0057	20,0018	20,0027	0,0003	-0,092
2	+2,52	+2,43		20,0062	20,0057	20,0019	20,0024	20,0062	20,0057	20,0019	20,0024		
	+2,53	+2,43		20,007	20,0054	20,0019	20,0031	20,007	20,0054	20,0019	20,0031		
	+2,525	+2,43	-0,095	20,0066	20,0056	20,0019	20,0027	20,0066	20,0056	20,0019	20,0027	-0,0001	-0,095
	+2,53	+2,44		20,0075	20,0054	20,0022	20,0021	20,0075	20,0054	20,0022	20,0021		
	+2,54	+2,44		20,0078	20,006	20,0019	20,0029	20,0078	20,006	20,0019	20,0029		
	+2,535	+2,44	-0,095	20,0077	20,0057	20,002	20,0025	20,0077	20,0057	20,002	20,0025	-0,0007	-0,091
	+2,54	+2,45		20,0083	20,006	20,0019	20,0024	20,0083	20,006	20,0019	20,0024		
	+2,55	+2,46		20,008	20,0062	20,0027	20,0026	20,008	20,0062	20,0027	20,0026		
	+2,545	+2,455	-0,09	20,008	20,0061	20,0023	20,0025	20,008	20,0061	20,0023	20,0025	-0,0009	-0,086
	+2,56	+2,47		20,0075	20,006	20,0024	20,0021	20,0075	20,006	20,0024	20,0021		
	+2,57	+2,46		20,0083	20,0062	20,0027	20,0026	20,0083	20,0062	20,0027	20,0026		
	+2,565	+2,465	-0,1	20,0079	20,0061	20,0026	20,0024	20,0079	20,0061	20,0026	20,0024	-0,001	-0,095

Ölçüm Tarihi: 10.06.2018 Referans'ın Uzunluğu: 500000,248 µm
 Ölçüm Başlangıcı: 07:30:38 Test-Referans Sapma: -0,092 µm
 Ölçüm Sonu: 07:55:35 Test'in Uzunluğu: 500000,156 µm

Orta Noktanın Nominalden Sapması: +0,156 µm

Tarih: 10.06.2018 İmza (Operatör):
 Tarih: 11.06.2018 İmza (Kontrolör):

Sıcaklık Sensörleri Yerleşim Durumu:
 0° Test 4° Düzeltme Test: Sola doğru
 2° Referans 3° Düzeltme Referans: Sola doğru
 1° Referans 3° Düzeltme Referans: Sola doğru

Tarih: 11.06.2018 İmza (Kontrol Eden):

(a)

µm cinsinden	Sıcaklık °C				Sıcaklık °C				Sic-fark.	T-R+Kor.			
Nr.	R	T	T-R	R-sol(1)	T-sol(2)	R-sağ(3)	T-sağ(4)	R-sol(1)	T-sol(2)	R-sağ(3)	T-sağ(4)	Sic-fark.	T-R+Kor.
1	1+2,51	+2,42	2	20,006	20,006	20,0014	20,0024	20,006	20,006	20,0014	20,0024		
	4+2,51	+2,42	3	20,006	20,0054	20,0022	20,0031	20,006	20,0054	20,0022	20,0031		
	+2,51	+2,42	-0,09	20,006	20,0057	20,0018	20,0027	20,006	20,0057	20,0018	20,0027	0,0003	-0,092
2	+2,52	+2,43		20,0062	20,0057	20,0019	20,0024	20,0062	20,0057	20,0019	20,0024		
	+2,53	+2,43		20,007	20,0054	20,0019	20,0031	20,007	20,0054	20,0019	20,0031		
	+2,525	+2,43	-0,095	20,0066	20,0056	20,0019	20,0027	20,0066	20,0056	20,0019	20,0027	-0,0001	-0,095
	+2,53	+2,44		20,0075	20,0054	20,0022	20,0021	20,0075	20,0054	20,0022	20,0021		
	+2,54	+2,44		20,0078	20,006	20,0019	20,0029	20,0078	20,006	20,0019	20,0029		
	+2,535	+2,44	-0,095	20,0077	20,0057	20,002	20,0025	20,0077	20,0057	20,002	20,0025	-0,0007	-0,091
	+2,54	+2,45		20,0083	20,006	20,0019	20,0024	20,0083	20,006	20,0019	20,0024		
	+2,55	+2,46		20,0078	20,0062	20,0027	20,0026	20,0078	20,0062	20,0027	20,0026		
	+2,545	+2,455	-0,09	20,008	20,0061	20,0023	20,0025	20,008	20,0061	20,0023	20,0025	-0,0009	-0,086
	+2,56	+2,47		20,0075	20,006	20,0024	20,0021	20,0075	20,006	20,0024	20,0021		
	+2,57	+2,46		20,0083	20,0062	20,0027	20,0026	20,0083	20,0062	20,0027	20,0026		
	+2,565	+2,465	-0,1	20,0079	20,0061	20,0026	20,0024	20,0079	20,0061	20,0026	20,0024	-0,001	-0,095

Ölçüm Tarihi: 10.06.2018 Referans'ın Uzunluğu: 500000,248 µm
 Ölçüm Başlangıcı: 07:30:38 Test-Referans Sapma: -0,092 µm
 Ölçüm Sonu: 07:55:35 Test'in Uzunluğu: 500000,156 µm

Orta Noktanın Nominalden Sapması: +0,156 µm

(b)

Şekil 7. 1m Komparatör yazılımından alınan kalibrasyon sonuçları (a) Sertifika çıkarılmak üzere kullanılan ham veri sayfası (not: Master seri noları ve müşteri isimleri üst kısımda yazmaktadır fakat gizliliğin korunması açısından çıkarılmıştır). (b) Veri alma sırası

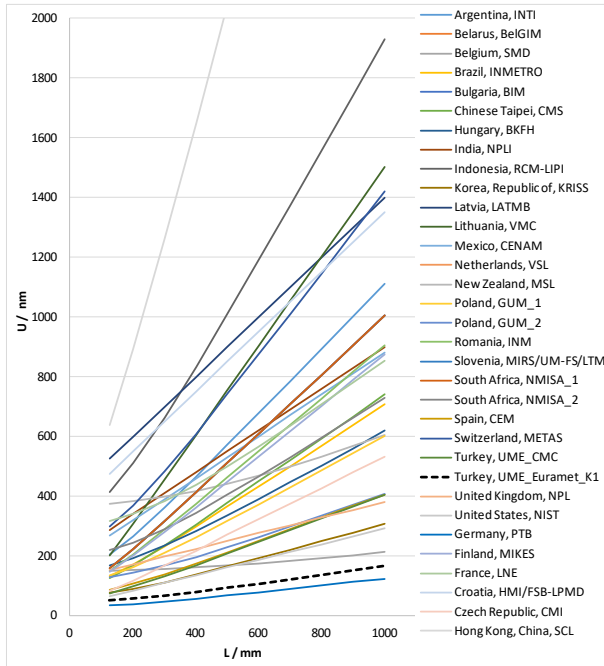
4. DÜNYA'da UZUN MASTAR BLOK KALİBRASYONU ve TÜRKİYE'NİN DÜNYADAKİ YERİ

Uzun master blokların kalibrasyonu hemen her ulusal metroloji enstitüsü (NMI) tarafından gerçekleştirilmekte olup, çoğu enstitü hem interferometrik hem de mekanik olarak ölçme kabiliyetine sahiptir. Her ülkenin belirsizlik değeri ölçüm cihazlarına ve şartlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Boyut birimi metrenin endüstriye aktarılması asli görevi olan NMI'ların hedefleri, doğal olarak verilebilecek en iyi belirsizlik değerine ulaşmaktır. Uzun master blok alanında hemen her ülke endüstrisinde gerek ikinci seviye lab.lar gerekse üretim yapan firmalar uzun master blok alanında çalışmaktadır ve izlenebilirlik ihtiyacındadır. Eğer kendi ülkesindeki NMI'dan ihtiyaç duyulan belirsizlikle hizmet alınamadığında diğer ülke NMI'larından da hizmet alabilmektedirler.

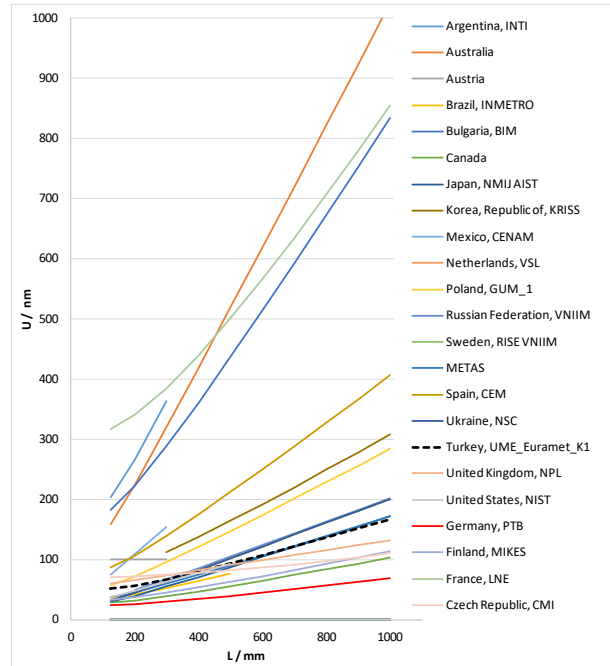
Türkiye'de bundan sorumlu NMI olan TÜBİTAK UME, uzun master blokların mekanik karşılaştırma yöntemiyle kalibrasyonu için verdiği düşük belirsizlik değeri ile dünyada bu yöntemle verilen en iyi belirsizliği PTB'den sonra 2. sırada yer alarak verebilmektedir (**Şekil 8**). Ayrıca mekanik karşılaştırma yöntemi kullanılmasına rağmen dünyada interferometrik yöntemle ölçen birçok NMI'ın verdiği belirsizlik değerinden daha iyi bir belirsizlik değerinde bu ölçümleri gerçekleştirebilmektedir (**Şekil 9**).

Mekanik yöntem ile uzun mastar blok kalibrasyonu belirsizlik değerleri, boy değişimine göre, BIPM (Uluslararası Ölçüler ve Ağırlıklar Bürosu) web sayfasında yer alan ülkeler **Şekil 8'** de gösterilmektedir [7]. Bu veriler BIPM web sayfasında 2018 yılında yayımlanan, TÜBİTAK UME olarak tarafımızdan yazılmasında katkı verdiğimiz, DG1 report to CCL, 2018 (Tartışma Grubu 1, Mastar Blokları CCL 2018) raporunda da yer almaktadır [8]. Bu rapora açık kaynak olarak BIPM web sayfası için bağlantısı verilen kaynak [8] den ulaşılabilir.

Şekil 9' da ise Ulusal Metroloji Enstitülerinin uzun mastar blok ölçümlerindeki belirsizlikleri, BIPM web sayfasındaki [7] metroloji enstitüleri kabiliyetlerine göre hazırlanmıştır. **Şekil 9'** daki grafik, interferometrik yöntem ile uzun mastar bloğu kalibrasyonu için boya göre belirsizlik değerleri ile TÜBİTAK UME'nin mekanik yöntem ile verdiği belirsizlik değerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Interferometrik yöntem ile verilen belirsizlikler içinde, TÜBİTAK UME'nin **mekanik yöntem** ile verdiği belirsizlik değeri 22 ülke içinde 6. sırada yer almaktadır. Kısaca verilen UME değeri 16 tane ülkenin interferometrik olarak verdiği belirsizlik değerinden daha düşüktür.



Şekil 8. Uzun mastar blokların mekanik karşılaştırma yöntemi ile kalibrasyonu için CMC (Kalibrasyon Ölçüm Belirsizliği) analizi. Uzun mastar mekanik kalibrasyonu için, BIPM CMC listesinde yer alan ulusal metroloji enstitülerinin kabiliyetleri ve UME'nin yeri (kesik çizgili). Kaynak: Discussion Group on Gauge Blocks – DG1, 2018;



Şekil 9. Uzun mastar blokların interferometrik yöntem ile kalibrasyonu için CMC (Kalibrasyon Ölçüm Belirsizliği) analizi. BIPM CMC listesinde yer alan ulusal metroloji enstitülerinin interferometrik ölçüm için kabiliyetleri ve UME'nin mekanik karşılaştırma yöntemi ile ulaştığı değerini karşılaştırılması (kesik çizgili). Kaynak BIPM CMC.

SONUÇ

Uzun mastar blok kalibrasyonlarının yapılmasında iyi bir sıcaklık ölçümü ve iyi ölçüm şartları sağlandığında mekanik karşılaştırma yöntemiyle, birinci seviye olan interferometrik yöntemle yakın ya da daha iyi belirsizlikle ölçüm yapmak mümkündür. Ayrıca endüstride yaygın kullanımı olan ve uzun mastar blok dışında boyut ölçümleri yapan cihazlar aynı zamanda mastar blok kalibrasyonlarında da kullanılabilir ve iyi bir sıcaklık kontrolü ile özellikle 2. Seviye lab.lar için hem maliyet bakımından hem de ihtiyaç duyulan belirsizlikleri sağlamak bakımından son derece pratik ve kullanışlı bir çözüm sunmaktadır. Eğer çok düşük belirsizlik değerlerine inilemeyecekse pahalı cihazlar alınması ya da bu işleme uygun maliyeti yüksek cihazlar yapılmasındansa, bu ikinci seviye bir boyutlu ölçüm cihazları ile ölçüm yapmak daha uygun görülmektedir.

TÜBİTAK UME Boyutsal laboratuvarı, uzun master blokların mekanik karşılaştırma yöntemiyle verdiği düşük belirsizlik değeri ile Türkiye'nin dünyadaki en düşük belirsizliği veren NMI'lar arasında yer almasını sağlamıştır. Bu sayede ülkemiz endüstrisi daha kaliteli hizmet alıp, yurt dışına bağımlılığı ortadan kalmıştır. TÜBİTAK UME bu hizmetini diğer ülke akredite laboratuvarlarına ve ulusal metroloji enstitülerine de vermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ISO 3650:1998; Geometrical Product Specifications (GPS) -- Length standards -- Gauge blocks
- [2] ASME B89 1 9-2002, Gauge Blocks
- [3] Yandayan T., "Large Measurement Range Mechanical Comparator for Calibration of Long Gauge Blocks," Proc 17th IMEKO World Congress - Metrology in the 3rd Millennium Dubrovnik, Croatia, 1876-1881, June 22-27, 2003.
- [4] ISO/IEC 2008 Uncertainty of measurement: part 3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement ISO/IEC Guide 98-3.
- [5] EUROMET.L-K2; https://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB_ApB_search.asp
- [6] EURAMET.L-K1.2011 ; https://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB_ApB_search.asp
- [7] BIPM web sitesi ülkelerin kapsamı (CMC verileri); <https://kcdb.bipm.org/appendixC/default.asp>
- [8] Discussion Group on Gauge Blocks – DG1, 2018; <https://www.bipm.org/cc/CCL/Allowed/17/CCL-18-13.1-DG1-report-to-CCL-2018.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Tanfer YANDAYAN

1996 yılında Manchester Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde, 'CNC takım tezgahlarında iş parçalarının, lazer ile işlem sırasında temassız ölçümü' konulu projesiyle doktorasını tamamladıktan sonra, Mart 1997'de mecburi hizmetini yapmak üzere TÜBİTAK UME'de çalışmaya başlamıştır. 15 yıl boyunca, TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı sorumluluğu yürüten Tanfer Yandayan, dönem dönem UME Mekanik Grup Koordinatörlüğü yapmıştır. Uzunluk, boyutsal ve açı ölçümleri için uluslar arası alanda ülkemizi temsil etmiş, boyutsal laboratuvarının yurt dışında ilk karşılaştırma ölçümlerine katılmasında ve kalibrasyon kabiliyetlerinin uluslar arası alanda kabul görmesinde ve listelenmesinde, TÜRKAK tarafından laboratuvarın akreditasyonunda, ve ara denetimlerinde boyutsal laboratuvarını hazırlamış ve yöneticiliğini yapmıştır. Dünya Bankası ve Alman hükümeti projelerinin kullanılarak, boyutsal laboratuvarının genişletilmesini, laboratuvar elemanlarının yetiştirilmesini, hizmet sayısının 5 ten 100 lü rakamlara çıkarılmasını, bunların karşılaştırmalar ile desteklenmesini sağlamıştır. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, TÜRKAK'ın kuruluşu sırasındaki çalışmalarında yer almış, TÜRKAK adına ilk laboratuvar akreditasyonu denetimlerine katılmış ve TÜRKAK sektör komitesinde uzun süre görev yapmıştır. Avrupa Bölgesel Metroloji Organizasyonu EURAMET adına, ülkelerin ulusal metroloji enstitülerinin denetimlerine katılan Tanfer YANDAYAN, 2006 yılında, Makine Mühendisliği alanında üniversite doçenti olmuş, 2012 Mayıs itibari ile laboratuvar yöneticiliği görevinden ayrılarak, Avrupa Metroloji Araştırma Programı çalışmalarına daha fazla yönelmiştir. 2008-2012 ve 2012-2016 yılları arasında Güney Asya Ülkelerinin metroloji faaliyetlerini açıklayan Avrupa Komisyonu için rapor hazırlamış ve uyumlaştırma çalışmalarında bulunarak AB çerçeve programları kapsamında 2 adet proje tamamlamıştır. 2012 yılında, 12 farklı ülkeden oluşan 16 proje ortağını bir araya getirip hazırladığı Açı Metrolojisi projesi ile TÜBİTAK UME'ye proje koordinatörlüğü kazandırmıştır. 2013-2016 yılları arasında üst düzey açı ölçümleri konusunda dünyada ses getiren çalışmaların gerçekleştirildiği bu projenin koordinatörlüğünü yapıp tamamlamıştır. Çok sayıda uluslararası konferanslara ve kurumlara davetli konuşmacı olarak katılan Tanfer Yandayan, yabancı akreditasyon organizasyonlarının daveti üzerine eğitimler, danışmanlıklar vermekte ve laboratuvar akreditasyon denetimlerine katılmaktadır. Aynı zamanda akademik çalışmalarına devam eden Tanfer Yandayan, Gebze Teknik Üniversitesinde "Mekanik Ölçüm Prensipleri", Sabancı Üniversitesinde "İmalat Metrolojisi" yüksek lisans derslerini vermektedir. Boyutsal ölçümlerin tüm konularını kapsayan Tanfer Yandayan, bilimsel araştırmalarda daha ziyade açı, master blokları, skala ölçümleri, interferometrik ölçümler, çap ve form ölçümleri konularında çalışmaktadır

Aslı AKGÖZ

Sibel Aslı AKGÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 1997 yılında TÜBİTAK UME Boyutsal Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak işe başlamıştır. Uzmanlık alanları Açık metrolojisi ve Master Bloklar konularındadır. UME'de interferometrik yöntemle master blokların birinci seviyede ölçümlerine başlanması, rutin hale getirilmesinde aktif olarak görev almış, bu alanda çalışmalara başlanmasını ve hizmet verilmesini sağlamıştır. Açık metrolojisi ile ilgili laboratuvarın kurulması ve geliştirilmesinde aktif olarak çalışmalarıyla görev almıştır. Tam bölünemeyen indeks tablaların kalibrasyonu için yeni yöntem geliştirmiştir. 2013-2016 yılları arasında üst düzey açı ölçümleri konusunda dünyada ses getiren çalışmaların gerçekleştirildiği ve yürütücülüğünü TÜBİTAK UME'nin yaptığı SIB 58 Angles açı metrolojisi projesinde çalışmıştır. Uluslararası izlenebilirliği sağlamak için düzenlenen çok sayıda uluslararası anahtar karşılaştırmalara TÜBİTAK UME adına katkıda bulunmuş ve/veya katılmıştır, pilot lab. olarak da karşılaştırma yürütmüştür. Boyutsal ölçümler alanında, ülkemizdeki ilk karşılaştırmalı ölçümleri düzenlemiş, ayrıca iki adet ulusal karşılaştırmaların yürütücülüğünü pilot laboratuvar olarak gerçekleştirmiştir.