

# 1 m'ye KADAR ÖLÇME BLOĞU KALİBRASYONU ve SICAKLIĞIN ÖLÇÜM SONUÇLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Karun Alper Tiftikçi, Şakir Baytaroğlu

TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü(UME), P.K. 21, 41470 Gebze-KOCAELİ

## Özet

Boyutsal metroloji alanında yapılan çalışmalarda karşılaşılan en önemli problem, sıcaklık sorunudur. Kullanılan metod ne olursa olsun sıcaklığın yapılan ölçüm üzerindeki önemli etkisi azalmayacak ve hatta ölçme belirsizliği azaldıkça, diğer bir deyişle mutlak ölçüm metodları kullanılmaya başlanınca sıcaklığın etkisi daha kritik bir rol oynamaya başlayacaktır. Bu çalışmada 0.5 mm - 1000 mm arası ölçme bloklarının yapıları, genel özellikleri ve kalibrasyon prosedürlerinden bahsedildikten sonra ölçüm ve ölçüm sonucuna etkileyen parametreler tanıtılacak ve bunların içinden sıcaklık etkisi detaylı olarak incelenecektir.

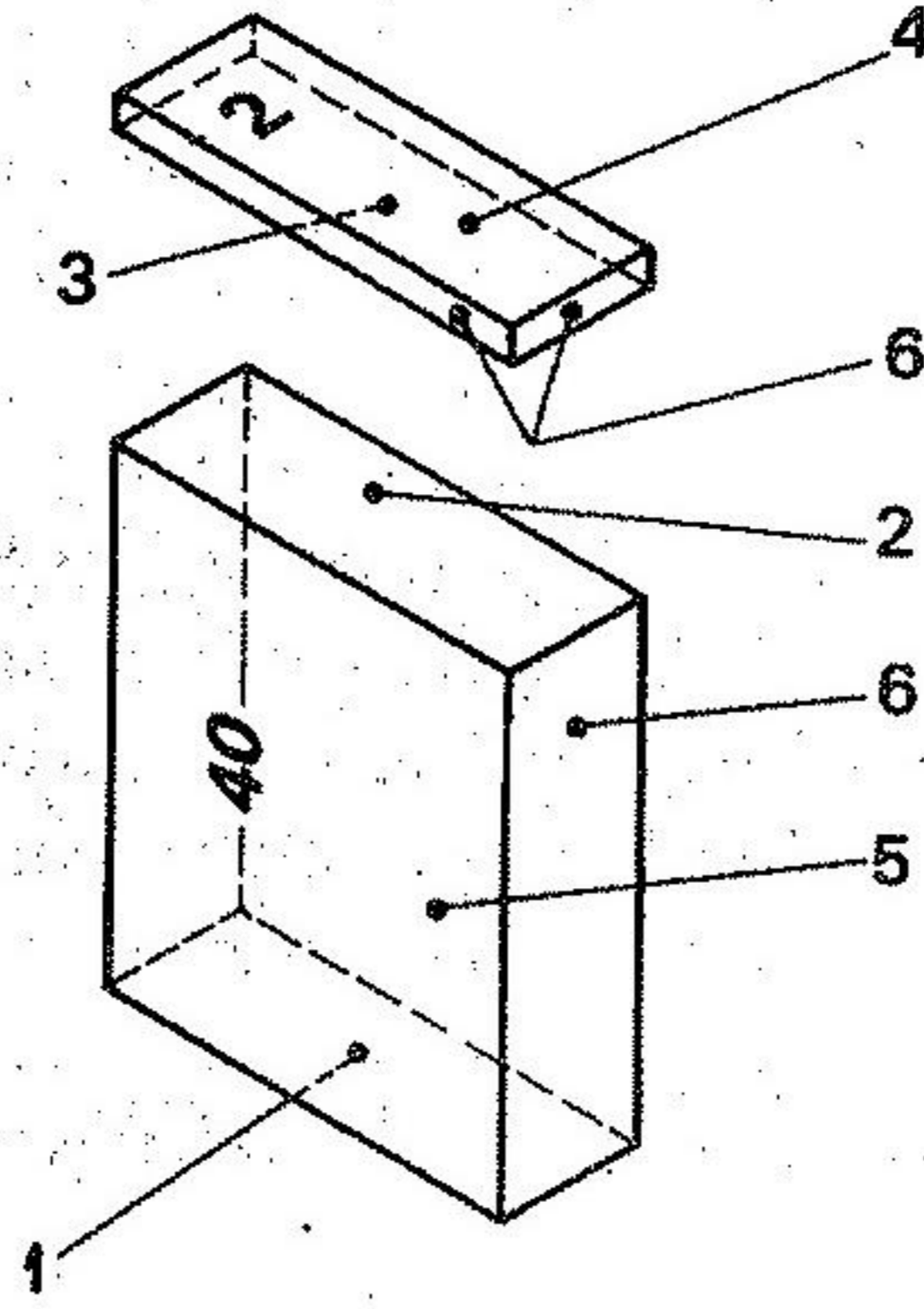
## 1.Giriş

18 yy. sonunda başlayan sanayi devrimi, gelişen teknoloji ve sanayide üretim safhasındaki sorunları çözebilmek için birimlerin sanayiye hassasiyetle aktarılma ihtiyacı doğmuş ve böylece ölçme sisteminin referanslarını teşkil edecek etalonlar geliştirilmeye başlanmıştır.

Uzunluk biriminin hassasiyetle sanayiye aktarılması ve muhafaza edilmesi için transfer elemanları olarak Ölçme Blokları geliştirilmiştir. İlk ölçme blokları 1896 yılında İsveç'li mühendis C.F. Johansson tarafından imal edildiği için bugün halen uzunluk mastarları onun adı ile de anılmaktadır. Günümüzde uzunluk birimi metre, 1983 yılında kabul edilen yeni tanımına göre; "Işığın,  $1/c$  zaman aralığında vakum ortamda katettiği mesafe ( $c = 299.792.458$ ) olarak tanımlanmaktadır [1]". Böylece uzunluk birimi tanıma uygun olarak gerçekleştirilen birincil standartan enterferometrik yöntemler kullanılarak ölçme bloğuna transfer edilmekte ve bu yöntem ile kalibre edilmiş ölçme bloklarından sanayinin kullandığı çalışma standartlarına transfer edilmektedir.

## 2. Ölçme Blokları

**Tanım :** İlgili normlarda ölçme blokları; dikdörtgen kesitli, paralel ve düz iki ölçme yüzeyi arasında hassaslıkla uzunluk birimini muhafaza eden ölçme elemanları olarak tanımlanmaktadır [2,3,4,5].



1, 2, 3, 4 ölçme yüzeyleri, 5-6 yan yüzeyler

Şekil 1: Ölçme Bloklarının Şematik Gösterimi

Ölçme blokları genellikle yüksek karbonlu ve krom alaşımli aşınmaya karşı dayanıklı sertleşebilen çeliklerden imal edilmektedir. Ölçme bloklarının imal edileceği malzemeler aşağıdaki şartları sağlamalıdır.

- Sertleştirilebilirlik özelliğine sahip olmalıdır,
- Sertleşme işlemi boyunca şekil değiştirmemelidir,
- Aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır,
- Sıcaklıkla şekil değiştirme katsayısı iyi bir şekilde bilinmeli ve mümkünse düşük olmalıdır,
- Malzeme maliyeti düşük ve kolay işlenebilirlik özelliğine sahip olmalıdır.

Ölçme blokları imalinde genelde aşağıda belirtilen malzemeler kullanılmaktadır;

- Makina çeliği,
- Krom alaşımlı çelikler,
- Paslanmaz çelikler,
- Tungsten Karbür,
- Krom karbür,
- Seramik,

Günümüzde kullanılan ölçme bloklarının malzemeleri çelik, sert metal ve seramik olmak üzere 3 temel grupta toplayabiliriz.

**Çelikler :** Yapılan çalışmalarda, çelik setler çok uzun bir çalışma ömrü ve uzunluk birimini standartlarda öngörülen toleranslarda muhafaza ettiği görülmüştür. Bununla beraber her kullanımdan sonra dikkatli bir temizlik yapılmalı ve sık kullanılmıyorsa kullanım sonrası, koruyucu asitik olmayan gres veya yağ ile korozyona karşı korunmalıdırlar. Kullanılan malzemeler aşağıdaki özellikleri yerine getirmelidir;

- Kullanılan malzeme yüksek alaşımlı çelik olmalı,
- 64 Rc sertliğe sahip olmalı,
- Malzeme boyutsal kararlılığa sahip ve ısı işlem sırasında boyut değişimi minimum olmalı.

**Tungsten Karbür :** Tungsten karbür veya diğer karbürlerden yapılmış olan ölçme blokları yüksek yüzey sertliği ve aşınma mukavemetinin yanı sıra aşağıda belirtilmiş özelliklere sahiptirler.

- Sertlik değeri çeliklere göre daha büyüktür,
- Korozyona karşı, çeliklere göre daha dayanıklıdır.,
- Boyut kararlılığı yüksek ve düşük uzama katsayısına sahiptir.

**Seramik :** Bir çok uygulamada diğer malzemelere göre daha yüksek bir aşınma direncine, daha yüksek dayanıma ve daha yüksek boyutsal kararlılığa sahip olmaları en büyük avantajlardandır. Diğer bir özelliği ise koroziv ortamlardan etkilenmemesidir. Ayrıca bu özelliklere ek olarak;

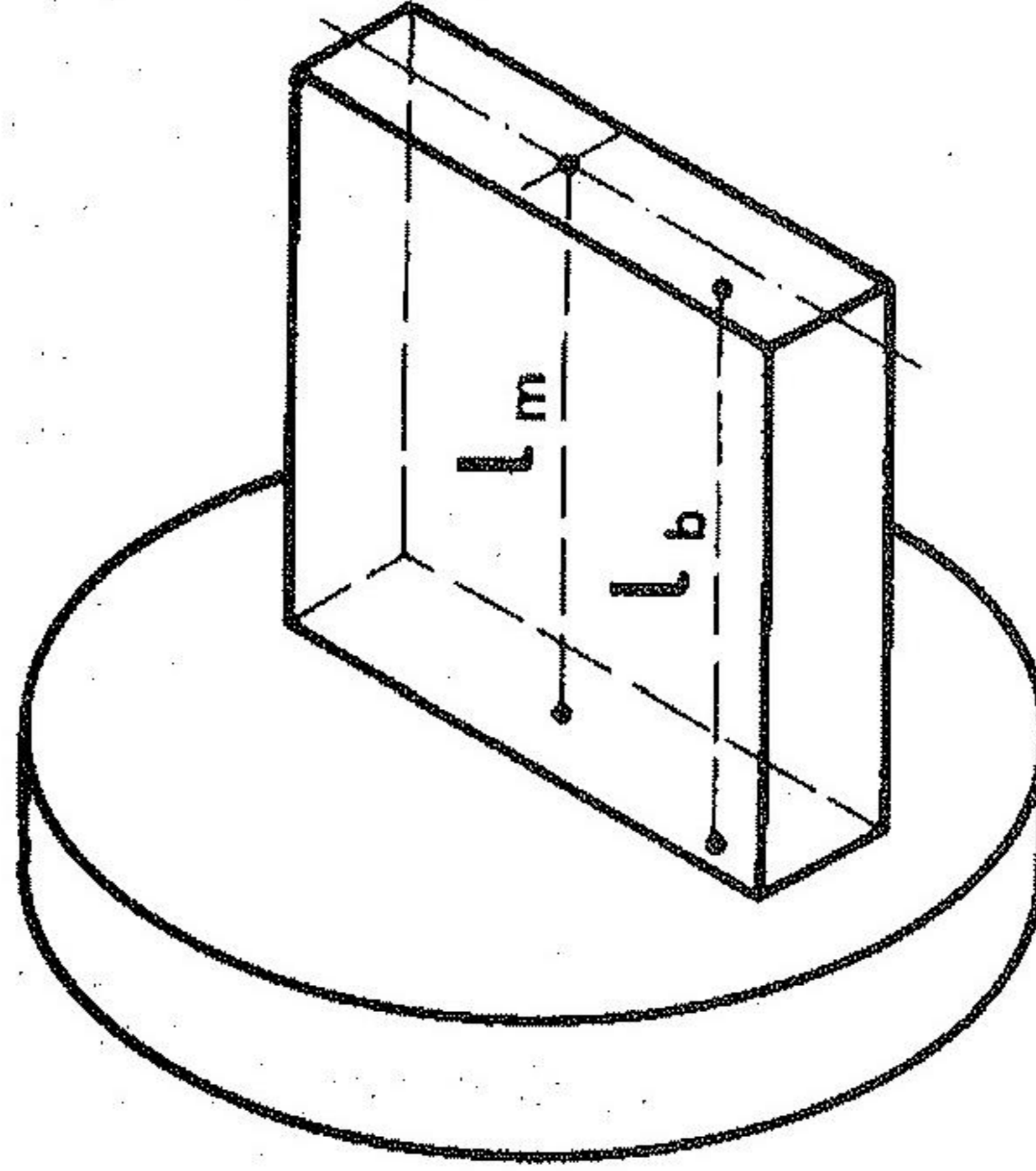
- Yüksek aşınma mukavemetine,
- Yaklaşık 1400 Hv'e ulaşan sertlik değerine,
- Çeliğe yakın uzama katsayısına,
- Çok düşük sürtünme katsayısına,

sahiptir.

Dezavantajı ise; yüzeydeki mikro hataların eğilme özelliklerini çok kötü yönde etkilemesidir. Ayrıca darbe dayanımı düşük bir malzemedir.

### 3. Ölçme Bloğu Kalibrasyonu

Uzunluk biriminin hassasiyetle alt seviyelere aktarılabilmesi için kullanılan ölçme bloklarının, zaman içinde kullanım hataları, aşınma, malzemenin doğal deformasyonu gibi nedenlerle, koruduğu boyutun doğruluğunun teyid edilebilmesi için, belirli aralıklarla kalibrasyona ihtiyacı vardır.



Şekil 2: Ölçme Bloklarında  $l_m$  ve  $l_b$  değerleri

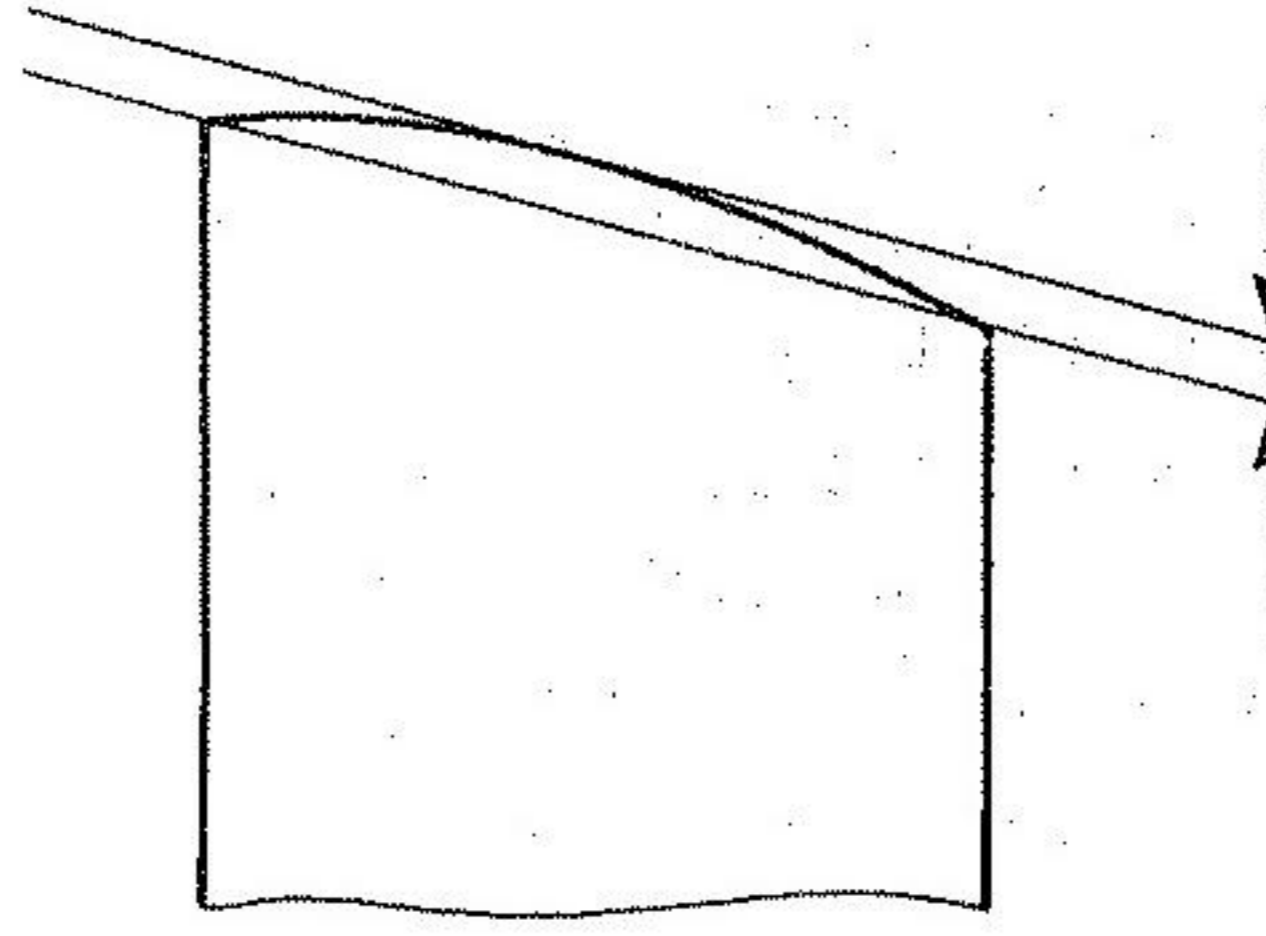
Ölçme bloğunun kalibrasyonunu 3 ana grup altında inceleyebiliriz

- Kabul işlemi ve kalibrasyon için hazırlanması,
- Kalibrasyonu gerçekleştirilmesi,
- Düzeltme ve sonuçların değerlendirilmesi,

### 3.1.Ön Hazırlık Safhası

Kutusundan çıkarılan ölçme blokları Petrolyum Benzin ile silinerek koruyucu yağ ve benzeri maddelerden temizlenir. Bu işlem, ölçme bloğunun yüzeyi tüm yağ, toz ve kirlere arındırılıncaya kadar devam eder. Temizleme işlemi tamamlandıktan sonra ölçme bloğu bir cımbız veya bir pnömatik taşıma sistemi ile alınarak kalibrasyon yapılacak cihazın yakınına yerleştirilir. Daha sonra her iki yüzeyde uygun temizleme bezi ile silinerek yüzeyler parlatılır. Eğer ölçme bloğunun manyetik özelliği varsa manyetiklik yok edici (demagnetizer) kullanılarak ölçme bloğu manyetik özelliğinden arındırılır.

### 3.2.Ölçme Yüzeyinin Kontrolü (Optik Cam ile Muayene)



Şekil 3: Ölçme Bloklarındaki  $f_e$  düzlemsellikten sapma

Bu işlemde amaçlanan, ölçme bloklarının kalibrasyonu için ön şart teşkil eden yüzey kalitesinin kontrol edilmesidir. Bu işlem sırasında aşağıdaki prosedür takip edilmelidir;

- Petrolyum benzin ile optik camın yüzeyi temizlenir,
- Optik cam ile ölçme bloğunun yüzeyleri temizleme bezi ile iyice silindikten sonra yumuşak kıl fırça ile tekrar temizlenir,
- Ölçme bloğu optik camın üzerine yerleştirilmeden bir üfleç yardımıyla her iki yüzeyde son bir kez temizlenir ve ölçme bloğu optik camın üzerine yerleştirilir.
- Ölçme bloğu çevrilmeden optik camın üzerine bastırılır. Böylelikle yapışacak yüzey incelenebilir.
- Eğer bir bozukluk tespit edilecek olursa ölçme bloğunun yüzeyi düzeltme işlemine tabi tutulur.
- Eğer herhangi bir hasar mevcut değil ise ölçme bloğu çevrilerek iyice yapışması sağlanır.

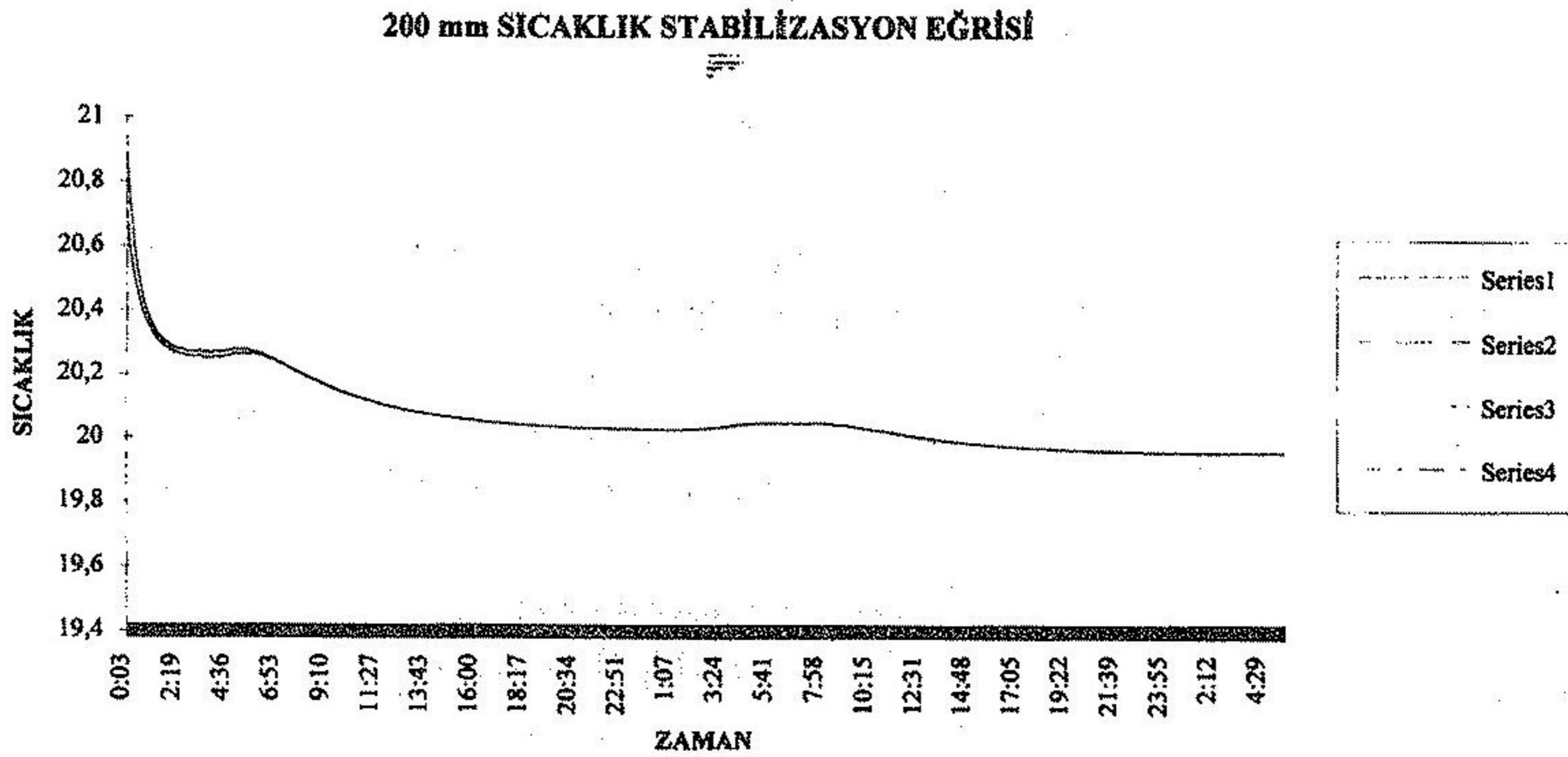
Ölçme blokları optik cam ile kontrol edildiklerinde hiçbir girişim deseninin, renkli bölge ve beyaz bölgenin oluşmaması gerekir. Bazen ölçüm belirsizliğine bağlı olarak bu sayılan kriterlerin bazıları kısmen yumuşatılabilir.

### 3.3. Hasarlı Ölçme Bloklarını Düzeltme İşlemi

Optik camla muayenede tespit edilen kusurlar düzeltme işlemine tabi tutularak mümkün olduğunca giderilmeye çalışılır. Bu işlem için yüzey düzeltme taşları kullanılabilir. Her düzeltme işlemini takiben ölçme bloğu tekrar iyice temizlenmeli ve optik cam ile tekrar kontrol edilmelidir.

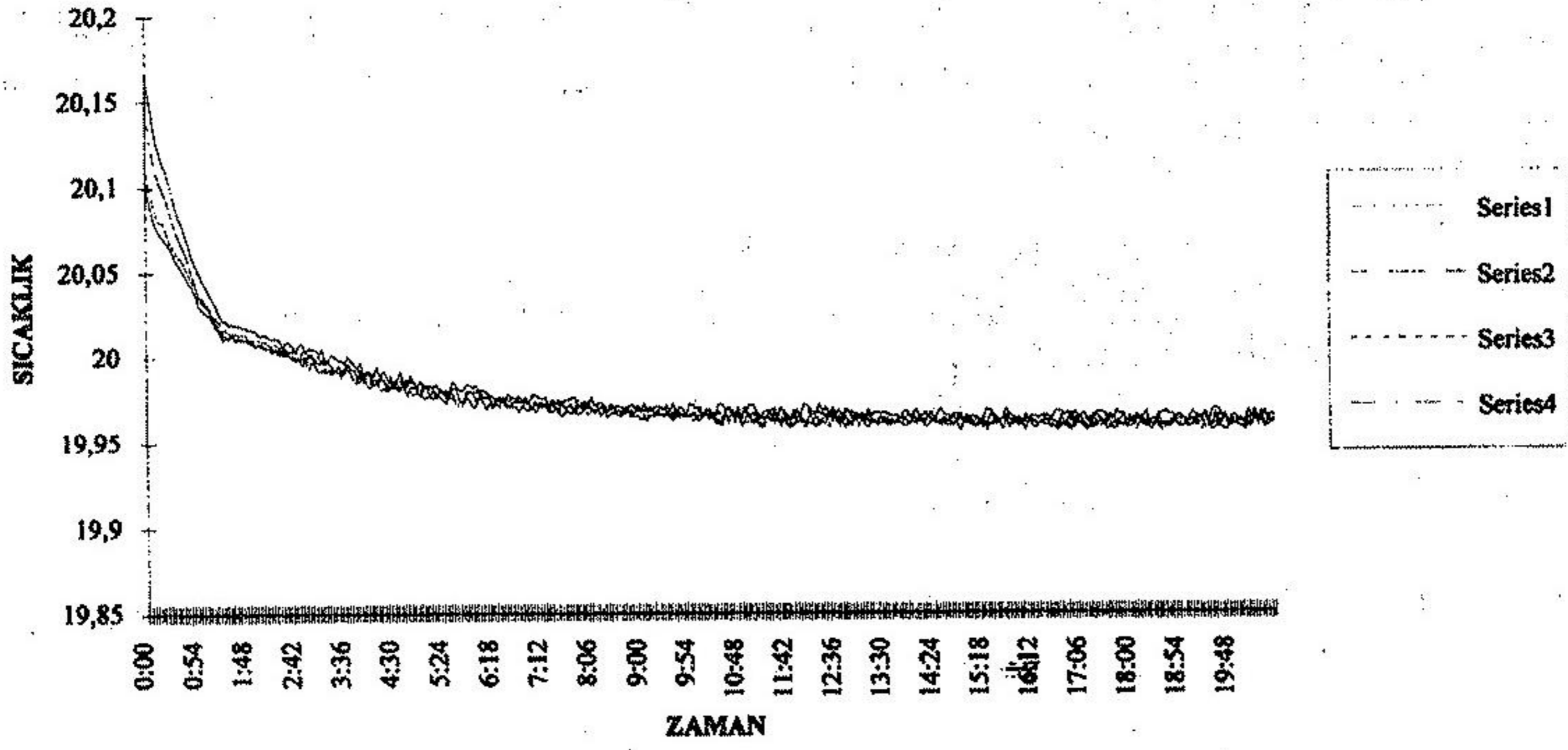
### 3.4. Sıcaklık Kararlılığı

Referans ölçme blokları ile test ölçme blokları komparatöre yakın bir yerde ısıl dengeye gelmeleri için bir müddet bekletilir. Bu işlem ölçme blokları granit bir yüzey üzerine yerleştirilerek de gerçekleştirilir. Kalibrasyon işlemine ancak referans, test ve komparatör aynı sıcaklık değerlerine ulaştığı zaman başlanabilir. Pratik uygulamalar sonucunda elde edilen sonuç kalibrasyona başlamadan önce bir gecenin geçmesidir. Kalibrasyon işlemine uzun ölçme blokları ile başlanmalıdır. Konuyla ilgili UME'de elde edilmiş deneysel sonuçların grafiksel gösterimi (200 mm, 300 mm, 600 mm) için aşağıda verilmiştir.



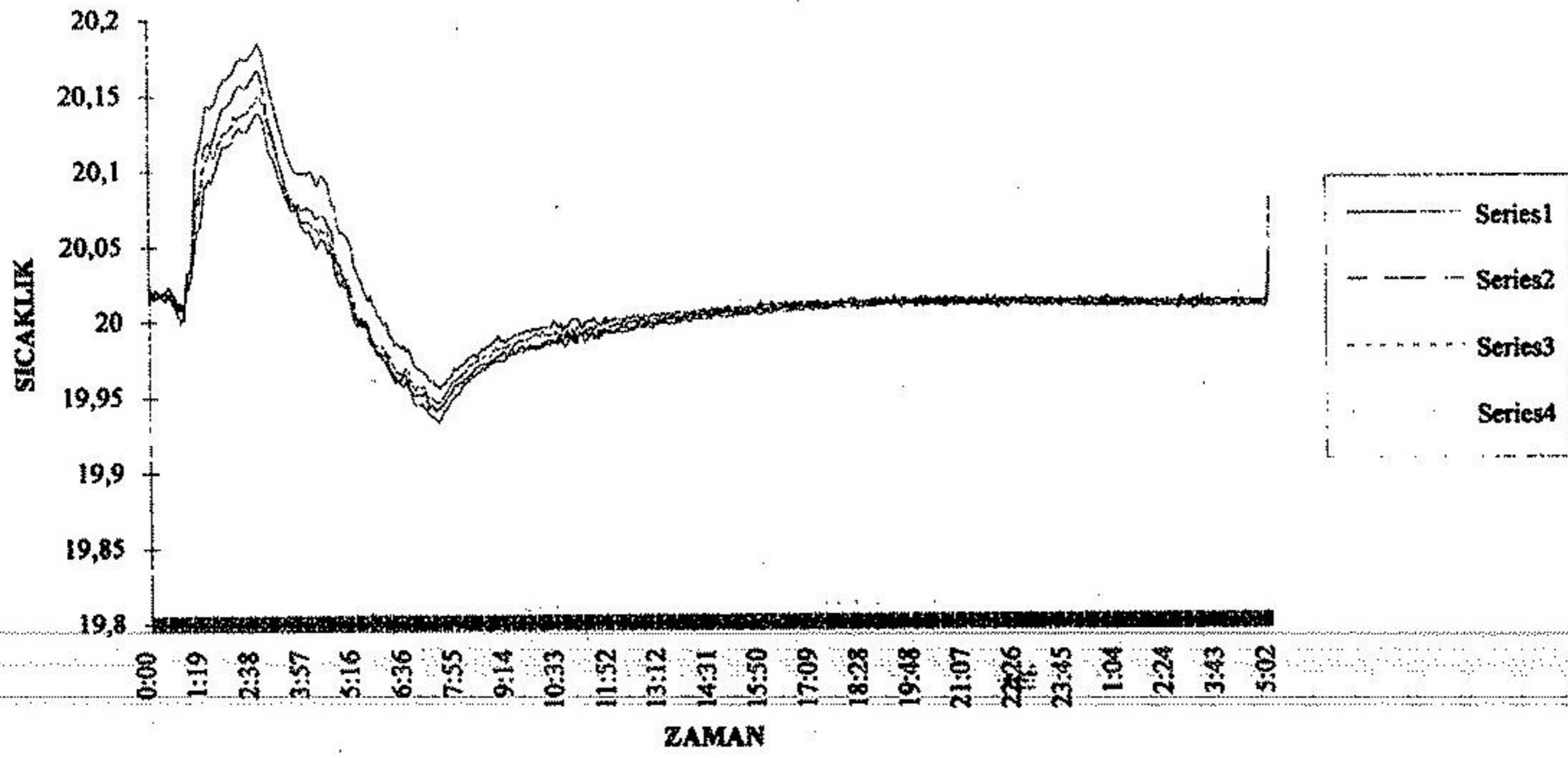
Şekil 4: 200 mm Ölçme Bloğunun Isıl Denge Eğrisi

### 300 mm SICAKLIK STABİLİZASYON EĞRİSİ



Şekil 5: 300 mm Ölçme Bloğunun Isıl Denge Eğrisi

### 600 mm STABİLİZASYON EĞRİSİ



Şekil 6: 600 mm Ölçme Bloğunun Isıl Denge Eğrisi

#### 4.Karşılaştırma Ölçümleri

Karşılaştırmalı ölçme metodunda ölçülen büyüklük, değeri bilinen aynı cins bir büyüklük ile doğrudan karşılaştırılarak ölçülür. Karşılaştırma ölçümlerinde, komparatör ile yapılan kalibrasyonlarda 3 özellik belirlenir:

- $l_m$  ölçme yüzeyinin orta noktasının boyu,
- $l_b$  ölçme yüzeyinin herhangi bir noktasında ölçme bloğunun boyu,
- $l_b$  boyundaki  $f_s$  sapma aralığı,

##### 4.1.Ölçme Bloklarında $f_s$ Sapma Limiti

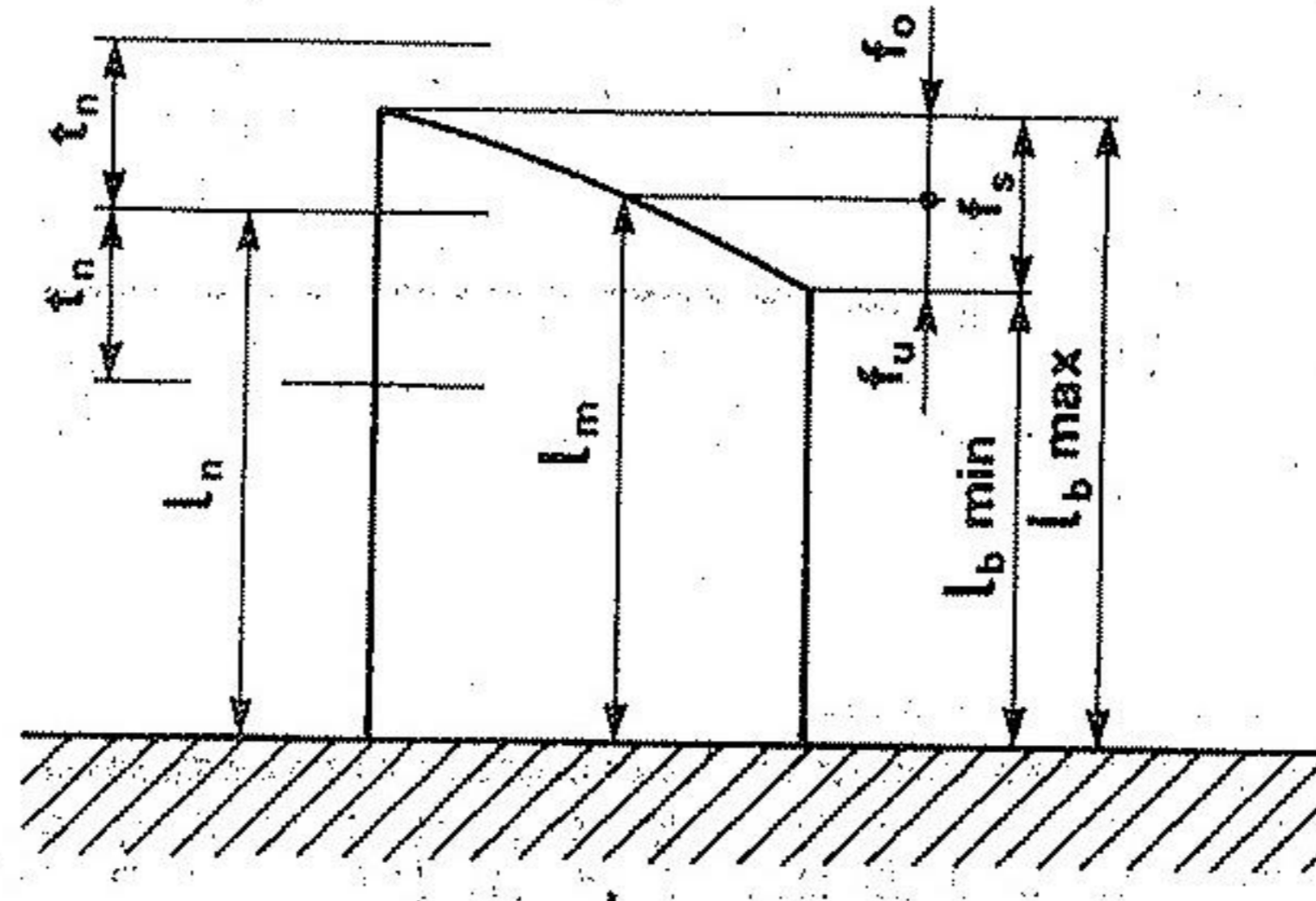
Paralellikten ve düzgünlükten sapmaların bileşimi  $l_{bmax}$  ile  $l_{bmin}$  arasındaki farka eşittir. Bu ise aynı zamanda  $l_m$ 'den itibaren görülen  $f_o$  ve  $f_u$  sapmalarının toplamına eşittir.

$$f_s = l_{bmax} - l_{bmin}$$

$$l_m \text{ 'den görülen maksimum (+) sapma : } f_o = l_{bmax} - l_m$$

$$l_m \text{ 'den görülen maksimum (-) sapma : } f_u = l_m - l_{bmin}$$

Nominal boy  $l_n$ 'den müsaade edilen maksimum sapma  $\pm t_n$  standartlarda belirtilir.

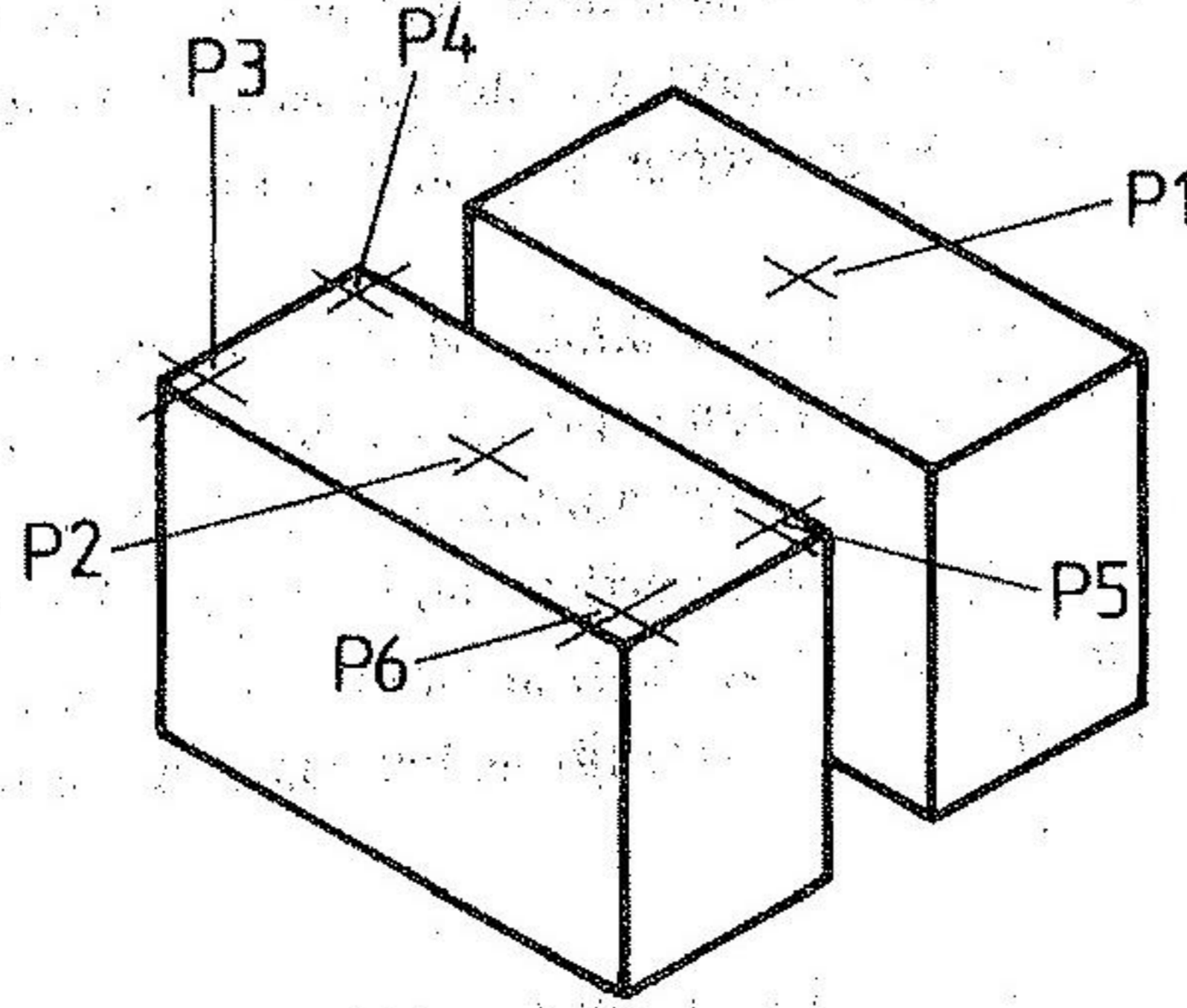


Şekil 7: Ölçme Bloklarında kullanılan boyutsal terimlerin gösterimi

5 noktada ölçüm yapılır. Bunlar, merkez (orta nokta) dışında 4 köşeden yaklaşık 1.5 mm mesafede alınan noktalardır. Bu işlemde hedeflenen sonuç ise ölçme yüzeyinin herhangi bir



noktasındaki uzunluk değeri  $l_b$ 'yi hesaplamaktır. Ölçülmüş olan bu değerler ilgili normlarda izin verilen değerlerle karşılaştırılır ( $\pm t_n$ ).  $f_s$  sapma aralığı ölçüm yapılan 4 köşe noktasının pozitif maksimumu ile negatif minimumu arasındaki fark ile elde edilir. Sonuç ilgili normlarda izin verilen  $t_s$  değerleri ile karşılaştırılır [2].



Şekil 8: 5 Nokta Kalibrasyon Metodu İçin Ölçme Noktalarının Şematik Gösterimi

## 5. Ölçme Ortamının Sağlaması Gereken Şartlar

Yüksek doğruluğa sahip ölçümler için ortam şartları kontrol altında tutulmalıdır. Komparatör ve ölçme teçhizatı laboratuvar koşullarında,  $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , % 55 nem ve titreşimsiz bir ortamda kalibrasyonlar gerçekleştirilmelidir.

## 6. Ölçüm Belirsizliği

Yukarıda belirtilen ortam şartları altında ölçümün belirsizliği için iki temel seviye belirlemek mümkündür.

2. Seviye	: $u = \pm(0.1 + 1 * L)\mu\text{m}$	L (m)
1. Seviye	: $u = \pm(0.05 + 0.5 * L)\mu\text{m}$	L (m)

## 7. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi :

Öncelikle ölçüm sonuçları için gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra her bir ölçme bloğu için kabul edilmiş standartdaki izin verilen sapma ve tolerans değerleri ile karşılaştırılır. Bu işlem sırasında izlenmesi gereken prosedür aşağıdaki gibidir.

- Nominal boyda orta noktada ki (P2) sapma, nominal boyda herhangi bir noktadaki izin verilen sapma  $t_n$  ile karşılaştırılır.
- Aynı şekilde diğer dört noktada elde edilen sapmalar herhangi bir noktada nominal boydan izin verilen sapma değeri ile karşılaştırılır.
- Maksimum pozitif ve negatif sapmalar ( $f_o$  ve  $f_u$ ) birbirleri ile toplanarak elde edilen  $f_s$  sapma aralığı değeri standartlardaki  $t_s$  değeri ile karşılaştırılır.

Bir kalibrasyon işlemi sonunda verilmesi gereken değerler:

- Nominal uzunlukta orta nokta  $l_m$  den sapma değeri,
- $f_s$  sapma aralığı,
- $f_o$  ve  $f_u$  değerleri,

## 8. Ölçüm Sonuçlarının Düzeltilmesi :

### 8.1. Sıcaklık Farklılarından Kaynaklanan Etki :

Referans ve test ölçme blokları arasındaki sıcaklık farkından doğan boyut değişiminin kompanzasyonu için ölçüm sonuçları 20 °C'ye indirgenir. Kalibrasyon sertifikasında verilen değer 20 °C için bulunmuş değerdir. Düşük belirsizlik değerine ulaşılabilmesi için kalibrasyon sırasında 0.01 °C okuma kabiliyetine sahip termometreler kullanılmalıdır.

## 8.2.Farklı Sıcaklıkla Uzama Katsayılarından Kaynaklanan Etki

Standardlarda çelik ölçme blokları için kabul edilen değer  $(11.5 \pm 1 * 10^{-6} K^{-1})$  dir ve daha kesin ve güvenilir bir değer verilmediği sürece de bu şekilde kabul edilir. Bu yüzden referans sıcaklık 20 °C den uzaklaştıkça ölçme belirsizliğimizde o ölçüde büyüyecektir. Aynı durum farklı malzemedan imal edilmiş ölçme bloklarında daha çarpıcı bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla ölçme bloklarının uzama katsayılarının sıcaklık ile olan değişiminin ve belirsizlik değerlerinin yüksek doğrulukla bilinmesi gerekmektedir.

## 8.3.Farklı Malzemelerden Kaynaklanan Etki

Farklı uzama katsayılarına ek olarak ölçme bloğu imalinde kullanılan malzemelerin farklı elastiklik katsayıları mevcuttur. Buna bağlı olarak da ölçme ucu (prob) ile ölçme yüzeyinin temas noktasında farklı deformasyonlar meydana gelir. Farklı malzemedan imal edilmiş ölçme bloğu kalibrasyonlarında bu etki göz önüne alınmalıdır. Böyle kalibrasyonlar için kabul edilecek düzeltme katsayıları yaklaşık olarak verilmektedir. Asıl değerler tekrarlanan karşılaştırmalı ölçümler sonunda elde edilmelidir.

## 9.Sıcaklığın Ölçüm Sonuçları Üzerine Etkisi

Mukayeseli ölçümlerde sıcaklık ölçümlerimizi iki türlü etkiler. Birincisi ölçme bloklarının sıcaklıklarının 20 °C'den sapması, ikincisi ise test ve referans ölçme bloklarının birbirlerinden farklı sıcaklıkta olmalarıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi ölçüm sonuçlarına etkiyen ve sıcaklıktan doğan düzeltmeleri iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlardan birincisi  $K_t$ , sadece referans ile test arasındaki sıcaklık farkından doğan hatayı kompanze edebilmek için, ikincisi  $K_\alpha$ , referans ile test malzemelerinin farklı uzama katsayılarından kaynaklanan hatanın ve ölçüm sonuçlarının 20 °C'ye çevrilmesi için kullanılan düzeltmelerdir. İfadeler daha açık yazılacak olursa;

$$K_t = \alpha_T l_N (t_T - t_R)$$

$$K_\alpha = -(\alpha_T - \alpha_R) l (t_R - 20^\circ C)$$

$\alpha_T$  : Test parçasının sıcaklıkla uzama katsayısı

$\alpha_R$  : Referans parçasının sıcaklıkla uzama katsayısı

$l_N$  : Nominal uzunluk

$t_T$  : Test parçasının sıcaklığı  
 $t_R$  : Referans parçasının sıcaklığı

Yukarıda belirtilen ifadelerden daha genel bir ifadeye geçmek mümkündür. Böylece aynı işlem hem tek bir ifade altında toplanmış hem de sıcaklık ve sıcaklıkla uzama katsayılarının ölçüm sonuçlarına olan etkisi daha net bir şekilde görülmüş olur [7].

$$l_T(1 + \alpha_T(t_T - 20^\circ\text{C})) = l_R(1 + \alpha_R(t_R - 20^\circ\text{C})) + D$$

D: gösterge değeri

Buradan formülde gerekli düzeltmeler yapılırsa;

$$l_T \approx l_R[1 + \alpha_R(t_T - 20^\circ\text{C})(1 - \alpha_T(t_T - 20^\circ\text{C}))] + D$$

Buradan da,

$$l_T \approx l_R + l_R[\alpha_R(t_R - 20^\circ\text{C}) - \alpha_T(t_T - 20^\circ\text{C})]$$

ifadesi elde edilir.

İfadeyi açıp gerekli düzeltmeler yapılırsa;

$$\alpha_R(t_R - 20^\circ\text{C}) - \alpha_T(t_T - 20^\circ\text{C}) = [(\alpha_R + \alpha_T)/2](t_R - t_T) + (\alpha_R - \alpha_T)[(t_R - 20^\circ\text{C}) + (t_T - 20^\circ\text{C})]/2$$

burada;

$(\alpha_R + \alpha_T)/2 = \alpha$  , ortalama sıcaklıkla uzama katsayısı

$(\alpha_R - \alpha_T) = \delta\alpha$  , uzama katsayıları arasındaki fark

$(t_R - t_T) = \delta t$  , sıcaklık farkı

$[(t_R - 20^\circ\text{C}) + (t_T - 20^\circ\text{C})] = \Delta t$  ,  $20^\circ\text{C}$  'den (referans sıcaklıktan) ortalama sapma

Sonuç denklem olarak;

$$l_T = l_R + D + l_R(\alpha\delta t + \delta\alpha\Delta t)$$

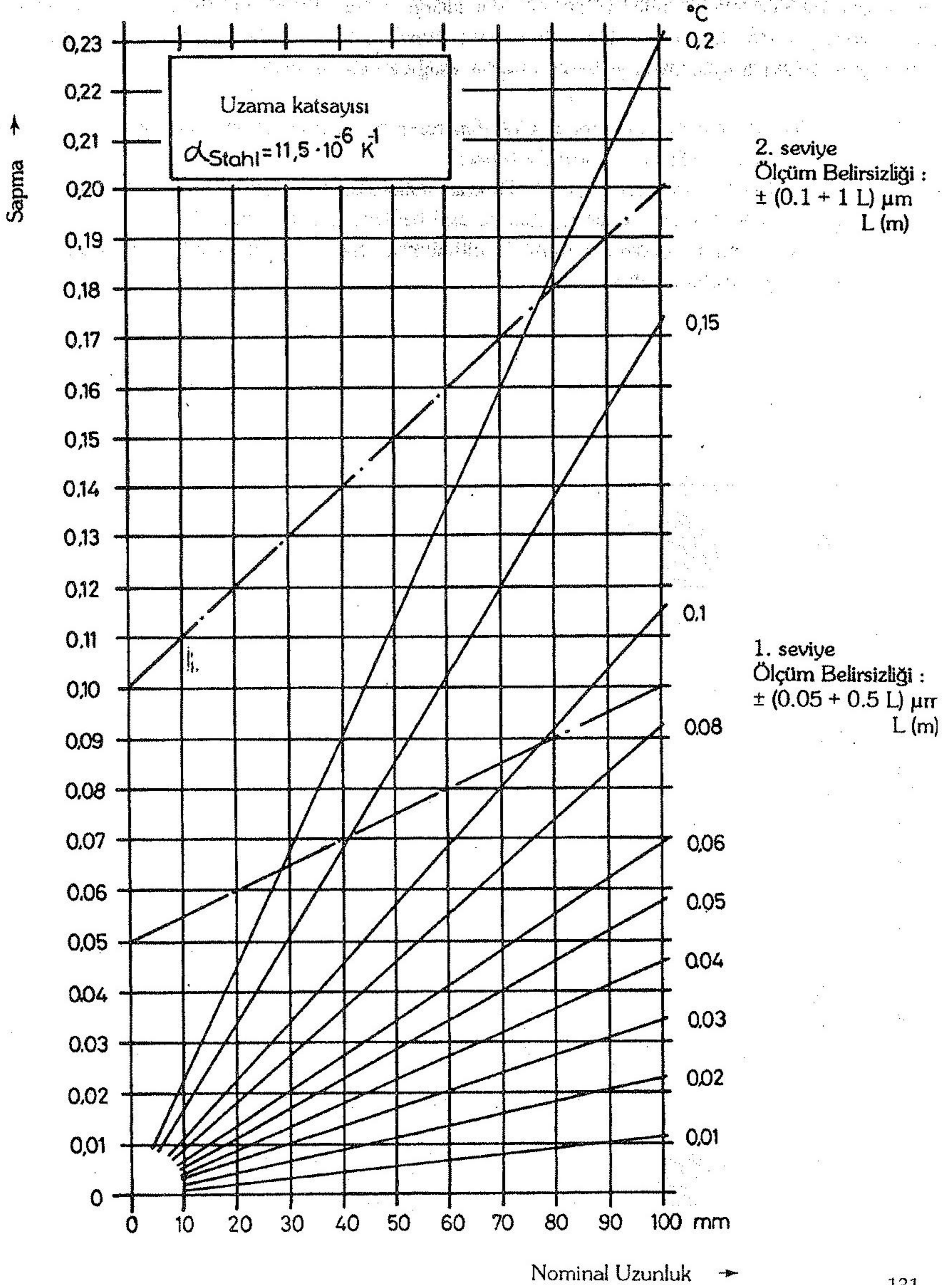
elde edilir.

## 10.Sonuç

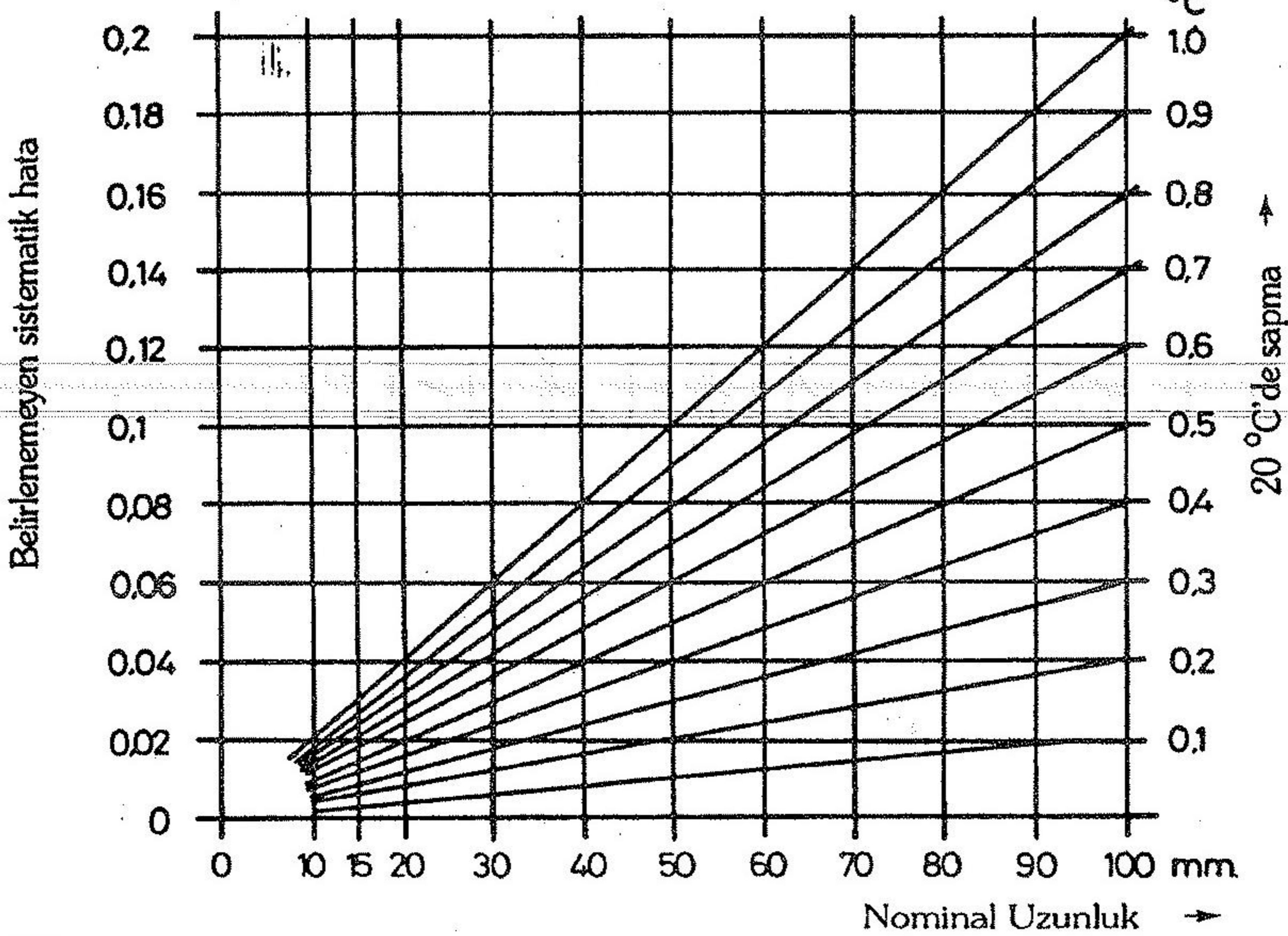
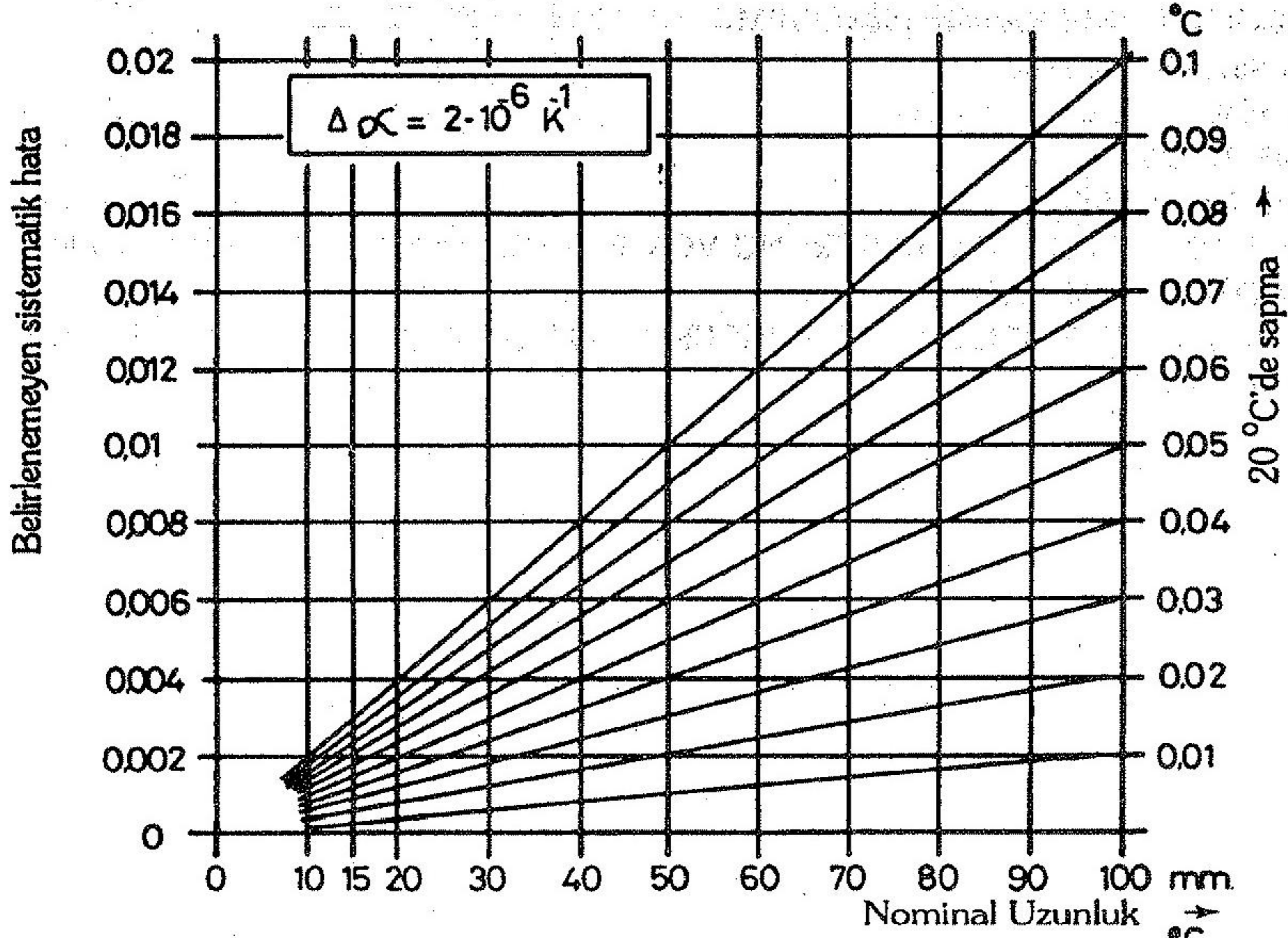
Yukarıdaki ifadelerden ve anlatılanlardan anlaşılacağı üzere yüksek doğrulukla ölçme bloğu kalibrasyonu yapılabilmesi için, etken faktörlerin minimuma indirgenmesi gerekir. Temel olarak kalibrasyon sırasında uyulması gereken kurallar aşağıda belirtilmiştir.

- 1- Kalibrasyon işleminde kullanılan referans ve test ölçme bloklarının aynı malzemeden imal edilmiş olması,
- 2- Referans ile test ölçme bloğu arasındaki sıcaklık farkının ortadan kaldırılması, yani sıcaklık kararlılığı için gerekli beklemenin yapılması [6],
- 3- Yapılan ölçümlerin mümkün olduğunca referans sıcaklık 20°C etrafında gerçekleştirilmelidir [6].

Referans ile test arasındaki sıcaklık farkından dolayı test parçasının normale göre boyundaki sapma



**Çelik gauge bloklar için DIN 861 bölüm 1'de kabul edilen normlara göre mümkün olan maksimum fark için referans ile test ölçme bloğu arasındaki uzama katsayısı farkının ölçüm sonucuna etkisi**



## **Kaynaklar**

- 1 17. CGPM KONFERANSI (1983),BIPM**
- 2 DIN 861, OCAK 1980**
- 3 ISO 3650, 1978-07-15**
- 4 BS 4311, 1968**
- 5 OIML Nr 30, 1981**
- 6 ANLETUN FÜR DIE KALIBRIERUNG VON PARALLELENDMASSEN BIS 100 MM NENNMASS, PTB,DKD**
- 7 GUIDE TO THE EXPRESSION OF UNCERTAINTY IN MEASUREMENT (1993), BIPM, IEC, ISO, OIML**