

ÖLÇÜ LOKMALARI İLE İLGİLİ KARŞILAŞTIRMALI VE MUTLAK KALİBRASYONLARDA ÖLÇÜMLERİ ETKİYEN FAKTÖRLER.

Yrd. Doç. Dr. Ahmet EKERİM*, Dr. Şakir BAYTAROĞLU**

* İSTANBUL Yıldız Teknik Üniversitesi, ** NUROL Makina Ve Sanayi A.Ş.

ÖZET

Boyutsal Metrolojide, Ölçü Lokmalarının kalibrasyonu önemli bir yeri tutmaktadır. Ölçü lokmalarının kalibrasyonu sırasında, ölçüm sonucu etkileyen bir çok etken mevcuttur. Mutlak ve mukayeseli ölçümlerde, havanın kırılma indisi, optik düzlem etkisi, ölçü lokmalarının konumu, elektro -mekanik prob ile mukayeseli ölçümlerde ölçü probu etkisi, ölçü lokmalarının yüzey kalitesi ve yüzey durumu, ortam şartları ve ölçme referan standardı gibi faktörler kalibrasyon sonucunu üzerinde etki etmektedir. Bu çalışmada etki faktörleri detaylı olarak ele alınmış ve sonuç üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

GİRİŞ

Boyutsal metrolojide ölçü lokmaları ölçüm ve kalibrasyonu önemli bir yeri vardır. Kalibrasyon esnasında , ölçüm sonucuna tesir eden bir çok etken mevcuttur. Ölçü lokmalarının mutlak ve mukayeseli kalibrasyonlarda , ortam koşullarından, kalibrasyon düzeneği gibi bir çok etki faktörü vardır. Kalibrasyon sırasında en önemli etki faktörler;

- a. Havanın kırılma indisi,
- b. Optik referans düzleminin etkisi,
- c. Ölçü lokmalarının konum etkisi ve ölçüme problemlerinin temas etkisi,
- d. Ortam sıcaklığın etkisi ve stabilizasyon süresi,
- e. Sıcaklığın değişiminin ölçü lokmalarının uzama katsayısı üzerindeki etkisi,
- f. Sıcaklık ölçerlerin kalibrasyonu,
- g. Ölçmede kullanılan laserin kalibrasyonu ve doğruluğu,
- h. Ölçü lokmalarının yüzey durumu ve kalitesi,
- i. Uzunluk ve boyutsal metroloji laboratuvarlarının ortam şartları,

sayabiliriz. Bu çalışmada bu etki faktörleri ele alınarak her birinin ölçü lokmalarının üzerindeki etkisi açıklanmaya çalışılmıştır [16,20].

Havanın Kırılma İndisi. Enterferometrik Ölçümler Üzerindeki Etkisi.

Enterferometrik ölçüm ve kalibrasyonlarda kullanılan ışık kaynağının dalga boyu " λ " vakuma göre tanımlanmaktadır. Ancak, kalibrasyon ve ölçümlerde ortamın kırılma indisi, ışığın dalga boyu ortamın kırılma indisine bağlıdır. Ampirik olarak bu etki şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\lambda_a = n\lambda_v$$

Ortamın kırılma indisi; atmosferik basınç, nem, ortam sıcaklığı, ortam içinde bulunan gaz karışımları gibi etki faktörlerine bağlıdır.

Referans standart ortam koşullarında ($p=101325$ Pa., $T = 20^\circ\text{C}$, $R_h = \% 50$) ortamın kırılma indisi $n = 1.0027$ 'dir. Konu ile ilgili kaynaklar incelendiğinde, ortam sıcaklığına, neme ve atmosferik basınç değerine bağlı ve kırılma indisini hesaplanması için bir çok matematiksel formüller geliştirilmiştir. Bunlar arasında en çok kullanılan matematiksel ifadeler aşağıda verilmiştir;

$$n = \left[0.933 - 0.003(t - 20) - 0.36(P - 760) + 0.005(\rho - 10) - 0.014(k - 3) \right] 10^{-6} \quad (1)$$

$$n = 1 + 9.7443 * 10^{-6} P \left[\frac{(1 + 10^{-6}(26.7 - 0.1871))}{0.934915 + 0.00203887} \right] - 1.089 * 10^{-6} \text{Re}^{0.0325T_0} \quad (2)$$

$$(n - 1) = 0.04722300(173.3 - R^2)^{-1} \quad (3)$$

$$(n - 1)_\phi = (n - 1)_s \frac{(0.00138813P)}{(110.00367t)} \quad (4)$$

93325 - 106 665 Pa hava basıncı ve 15-30 °C aralığında " n " değeri 1.025-1.15 arasında değerler almakta ve dalga boyu üzerindeki belirsizlik etkisi $1*10^{-9}$ dan küçük olduğu literatürde belirtilmektedir. Enterferometrik ölçümlerde havanın kırılma indisinin tesbitinde sıklıkla 2 numaralı ifade kullanılmaktadır. Bazı enterferometrik ölçüm sistemleri içerisinde bulunan sıcaklık, nem ve basınç sensörlerinden okunan değerler sistem içinde bulunan mikroişlemciye değerler sürekli aktararak ortamın kırılma indisi hesaplanmakta ve enterferometrede kullanılan ışın kaynağının dalga boyu otomatik olarak düzeltilmektedir. Klasik enterferometrelerde ise kalibrasyon / ölçüm öncesi ve ölçüm sonrası okunan basınç, sıcaklık ve nem değerleri kullanılarak çeşitli cetvel veya yukarıda belirtilmiş formüllerden biri kullanılarak havanın kırılma indisi hesap edilebilir [4,5,8,14,15,].

Karbondiyoksit CO₂ Miktarının Kırılma İndisi Üzerindeki Etkisi

Havada bulunan gazların kırılma indisi üzerindeki etkileri, bu gazların molar konsantrasyonları ile doğru orantılıdır. Standart havadaki 0.0003 CO₂ miktarı (30.6 Pa 'lık kısmi basınç 'ta) havanın kırılma indisi " n " üzerinde $4.5*10^{-9}$ 'dan küçük bir etki yapmaktadır. Havadaki karbon dioksit miktarına bağlı olarak havanın kırılma indisini veren matematiksel ifade aşağıda verilmiştir;

$$(n - 1)_x = [1 + 0.540(x - 0.0003)](n - 1)_s \quad (5)$$

Su Buhar Basıncının Etkisi

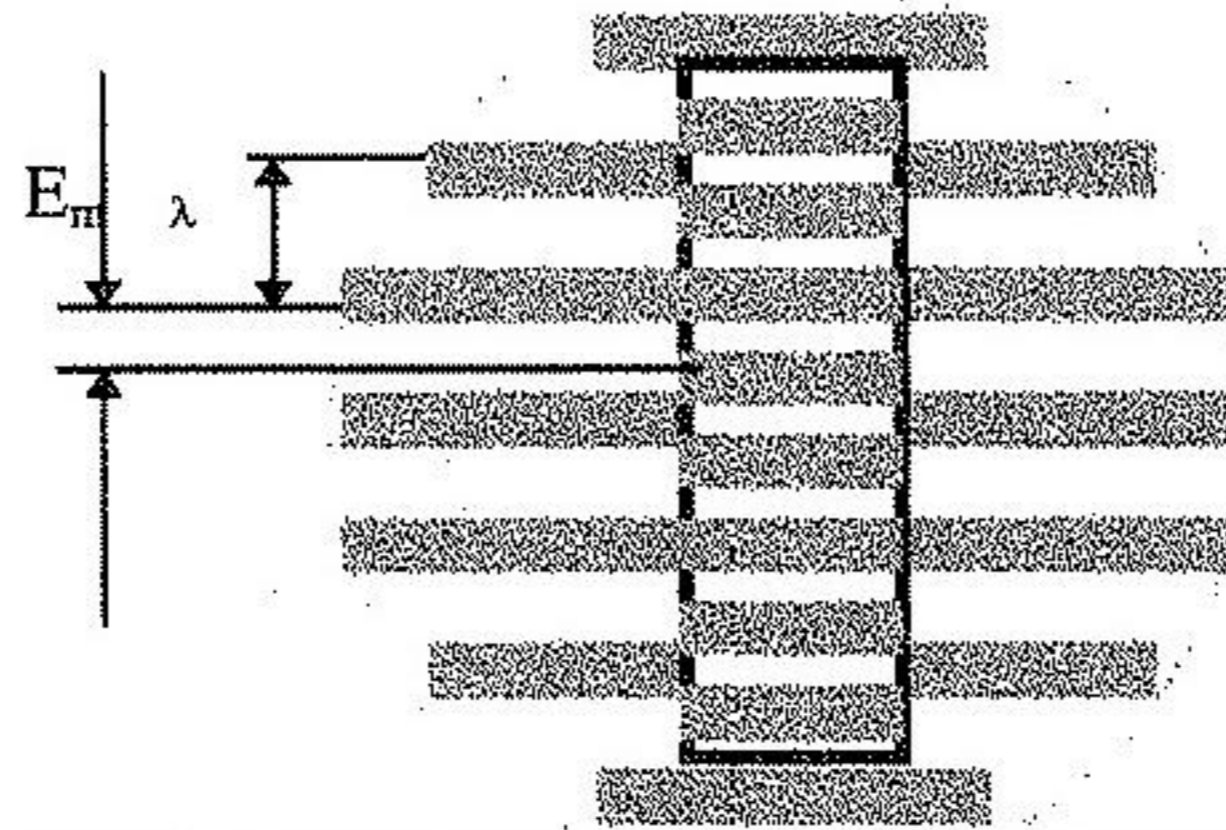
Metroloji laboratuvarlarının şartlandırılmış havası içerisinde % 1 ile %2 arasında su buharı mevcut'tur ve kırılma indisi 4 ile $8 \cdot 10^{-8}$ düzeyinde bir etki yapmaktadır. Bu etki, CO₂ etkisinden büyüktür. Dolayısıyla enterferometrik kalibrasyon / ölçümler sırasında şartlandırılmış havada bulunan su buhar miktarının kontrol edilebilmesi için tedbirler alınmalıdır [10,11,12,13,]

Referans Optik Düzlem Etkisi

Ölçü lokmalarının mutlak enterferometrik kalibrasyon ve ölçüm yöntemlerinde ölçü lokmalarının alt yüzeyi moleküler adezyon seviyesinde referans düzleme yapıştırılmaktadır. Bu düzlem, optik kalitede olup düzlemsizlik değeri $\lambda/20$ 'den küçüktür. Bu düzlemin amacı ölçü lokmalarının üst yüzeyinde oluşan girişim saçakları ile referans düzlem üzerinde oluşan girişim saçakları arasındaki oransal artık değerini hesap etmek ve ölçü lokmasının üst ve alt yüzey arasındaki mesafeyi dalga boyu cinsinden ifade etmektir. Optik değerden mekanik boyuta geçilebilmesi için aşağıdaki etki faktörlerini göz önüne tutulması gerekmektedir.

- Referans düzlemin, ölçü lokmalarının alt ve üst yüzeylerin form hataları,
- Ölçü lokmalarının ve referans düzlemin yüzey pürüzlülük değeri,
- Referans düzlemin ve ölçü lokmalarının malzeme özellikleri
(uzamakatsayısı, malzeme v.s gibi)

Özellikle elektromanyetik dalganın, enterferometrenin optik ayna kollarında oluşan yansımalar ölçme yüzeylerin iyi kontrol edilmemiş ise önemli sayılacak derecede sistematik hatalar oluşturabilmektedir [13, 16,19, 20,21].



Şekil 1: Referans Düzlem ve Ölçü Lokmasının Üst Üzeye Üzerinde Oluşan Girişim Saçakları.

Ölçü Lokmalarının Konum Etkisi

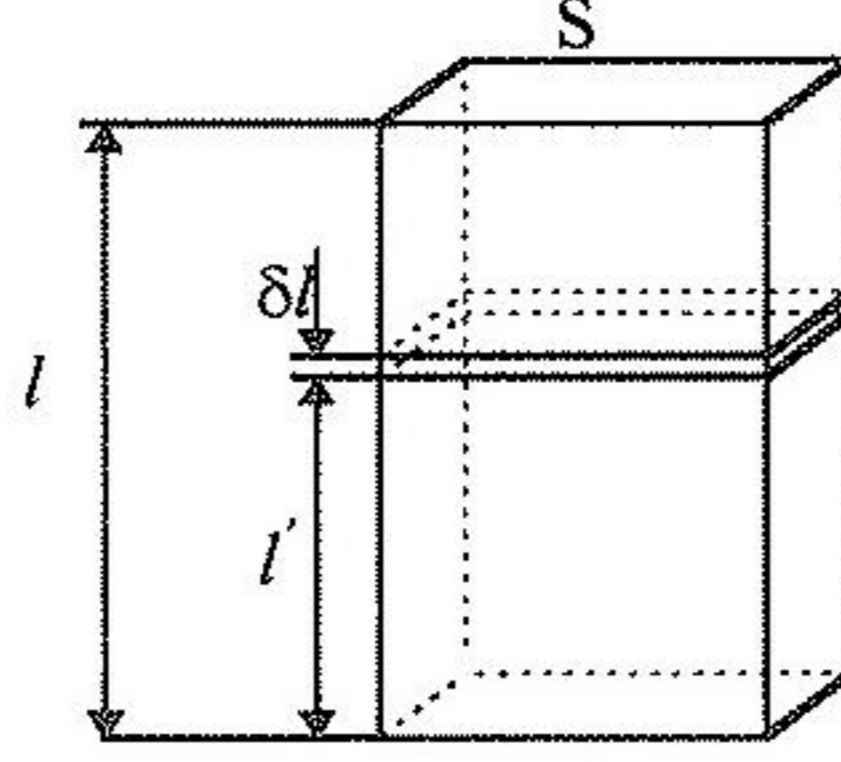
Ölçü lokmalarının ISO ve bazı Avrupa ülkelerinin normlarına göre 350 mm'ye kadar dikey, 350 mm'den büyük olanlara ise yatay konumda ölçümleri tavsiye edilmektedir. Bunun sebebi ise ölçü lokmalarının kendi ağırlıklarının etkisiyle oluşan deformasyonları en aza indirmektir. Dikey konumda ölçülen bir ölçü lokmaları kendi ağırlığının etkisiyle basma tipi bir zorlamaya maruz kalmaktadır. Oluşan deformasyon mukavemet açısından incelendiğinde; δl elemanının oluşturduğu δF kuvvetinin değeri;

$$\delta F = \rho g S \delta l \quad (6)$$

Basma etkisi ile oluşan deformasyon değeri ise ;

$$c = \frac{Fl'}{ES} \quad (7)$$

birim basma değeri δc



Şekil 2: Ölçü Lokmasının Dikey Konumda Ölçülmesi

δl sonlu birim elemanın oluşturduğu birim basma değeri ise;

$$\delta c = \frac{\rho g S \delta l(l)}{(ES)} \quad (8)$$

$$\delta c = \frac{\rho g}{E} l' \delta l' \quad (9)$$

bulunur. Ölçü lokmasında kendi ağırlığının etkisiyle oluşan toplam deformasyon değeri ise;

$$c = \int_0^l \frac{\rho g}{E} l' \delta l' = \frac{\rho g}{2E} l^2 \quad (10)$$

Yukarıdaki ifadeden de görüldüğü gibi dikey konumda bulunan bir ölçü lokması kendi ağırlığının etkisiyle oluşan deformasyonun değeri ölçü lokmasının karesi ile orantılıdır. Bu yöntemle göre 100 - 1000 mm arasında bulunan ve $E= 22 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$, $\rho= 7800 \text{ Kg/m}^3$ ve $g=9.81 \text{ m/s}^2$ için ölçü lokmalarına yapılması gereken düzeltme değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

ÖLÇÜ LOKMASININ NOMİNAL BOYUTU (mm)	ÖLÇÜ LOKMASINA YAPILMASI GEREKEN DÜZELTME DEĞERİ (µm)
100	0.0017
200	0.007
300	0.015
400	0.027
500	0.042
600	0.061
700	0.083
800	0.109
900	0.138
1000	0.170

Tablo 1: Dikey konumda ölçülen Ölçü Lokmalarının Düzeltme Değerleri

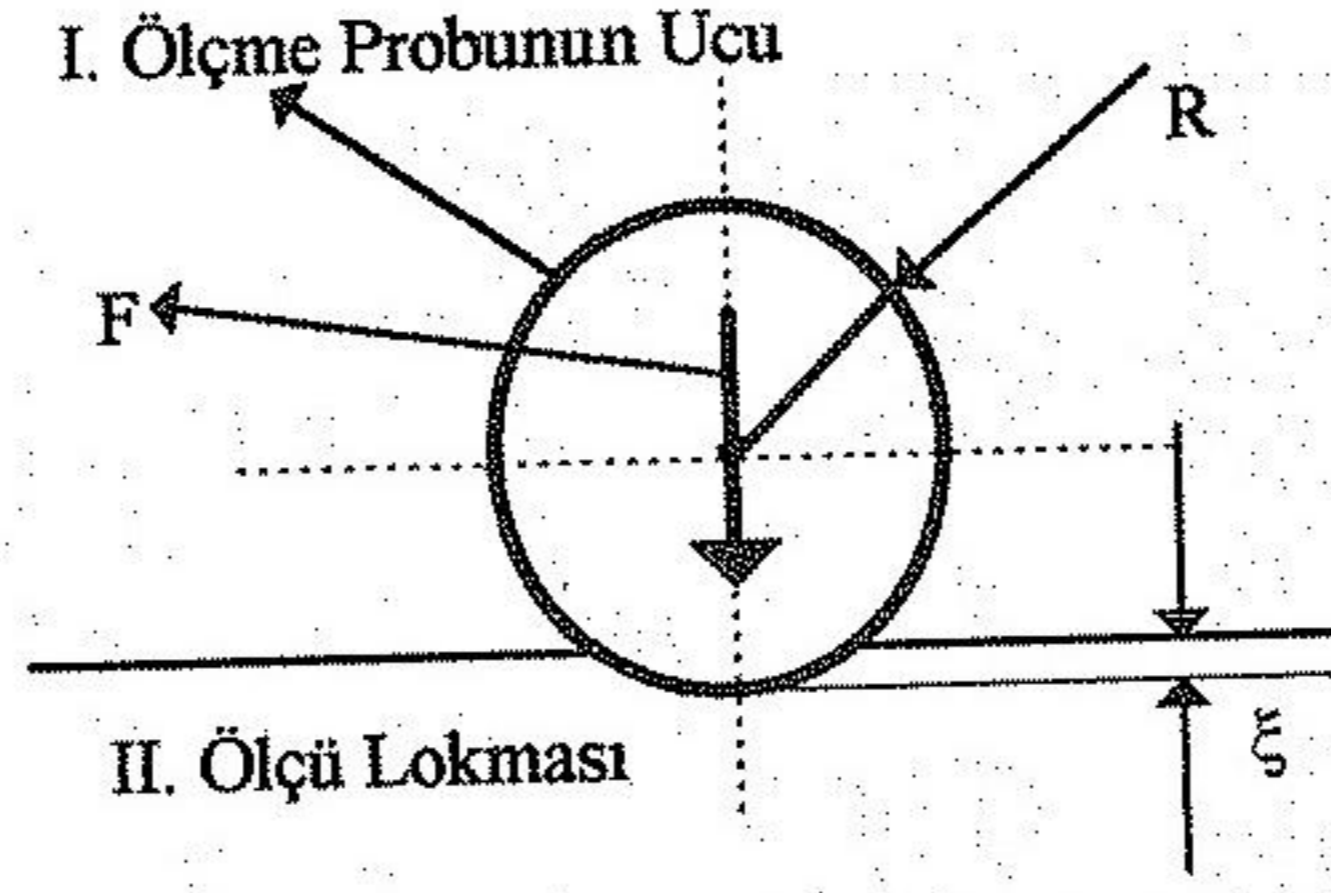
Fakat aynı zamanda referans düzleminde de, ölçü lokmasının kendi ağırlığından dolayı bir deformasyon söz konusudur. Literatürde referans düzleminde oluşan deformasyonun 0.2nm'yi geçmediği belirtilmektedir. Tablodanda anlaşılacağı gibi ölçü lokmalarının dikey konumda yalnız 350 mm'ye kadar kalibrasyon ve ölçümler yapılması tavsiye edilmektedir.

Aynı şekilde ölçü lokmalarının yatay konumda kalibrasyon ve ölçümleri söz konusu olduğunda kendi ağırlıkları etkisiyle bir deformasyon söz konusudur. Ölçü lokmaları yatay konumda kalibrasyon / ölçüm yapıldığında Bassel noktalarında iki mesnet üzerine yerleştirilmektedir. Ve kendi ağırlığından dolayı ölçü lokmalarında bir sehim oluşmakta ve ölçü lokmasında bir bükülme oluşmakta. Dolayısıyla ölçü lokmasının uzunluğunda bir değişim meydana gelmektedir. Literatürde, 350 - 1000mm'e kadar olan ve yatay konumda ölçülen ölçü lokmaların boyut değişimi 0.03 µm'yi aşmadığı belirtilmektedir[1,2,22,23,29,32,,33].

Hertz Temas Etkisi İle Oluşan Deformasyon

Ölçü lokmalarının Kalibrasyon ve ölçümlerinde elektromekanik komparatör ile ölçümler gerçekleştirildiğinde ölçme probunun ölçü lokmasının ölçme yüzeyine ortaya çıkan Hertz kuvvetlerinden dolayı temas deformasyonunun "ξ" oluşmaktadır.

$$\xi = \frac{(3\pi)^{2/3}}{2} P^{2/3} (V_1 + V_2)^{2/3} \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right)^{1/3} \quad (11)$$



Şekil 3 : Ölçme Probu ile Ölçü Lokması Arasında Oluşan Hertz Temas Deformasyonu.

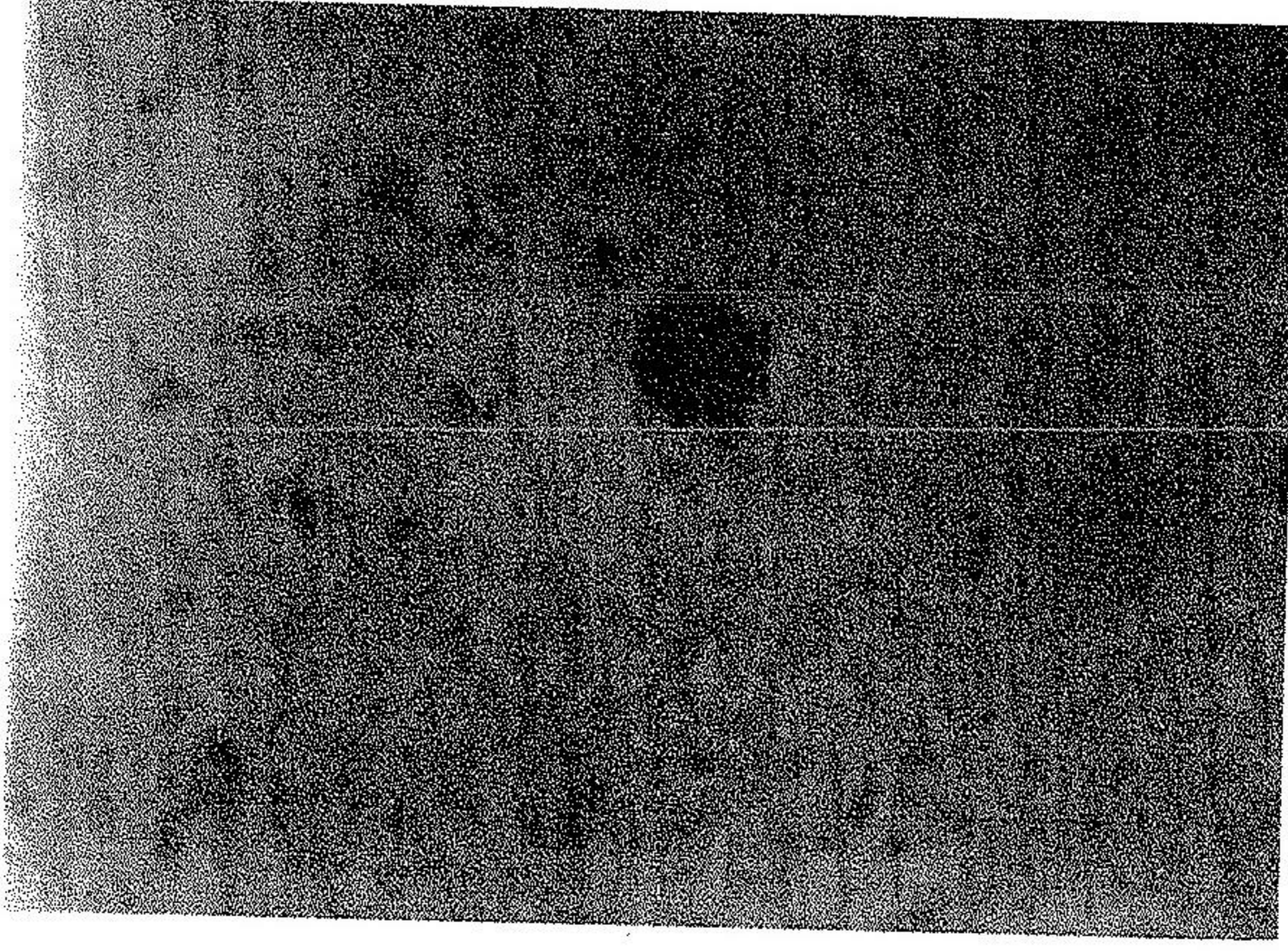
Örneğin 3mm çapında çelik bir bilyanın 1N'luk bir kuvvet etkisi altında alüminyumdan yapılmış düz bir parça üzerine uygulandığında yaklaşık $7.145\mu\text{m}$ 'lik bir deformasyon oluşturmaktadır. Bu örnek boyutsal ölçüm laboratuvarlarında yapılan kontrollerde ölçme temas kuvvetinin önemini ortaya koymaktadır [30,31,32,34].

Ölçü Lokmalarının Yüzey Durumu ve Yüzey Kalitesi

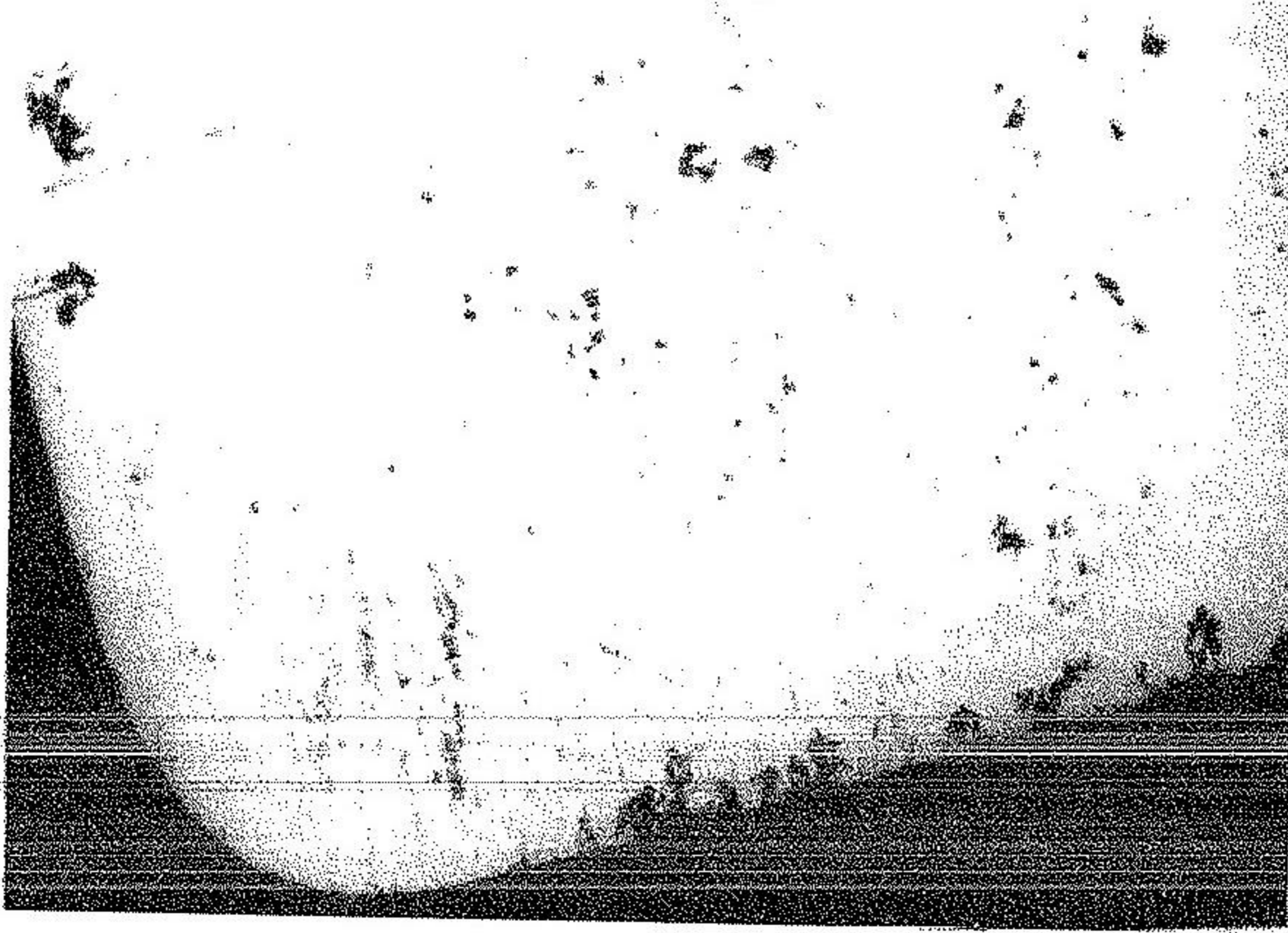
Metroloji Laboratuvarlarında bulunan referans ve transfer ölçü lokmalarının uzunlukları ; Prüsüz ,paralel iki yüzey arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla ölçü lokmalarının yüzey kalitesi ölçü lokmalarının kalibrasyon ve ölçümlerde önemli bir hata kaynağı oluşturur. Enterferometrik olarak kalibre edilen ölçü lokmaları optik kalitede bir yüzeye sahip olmaları gerektirmektedir. "00, ve "K " sınıfında bulunan ölçü lokmalarının yüzey pürüzlülük değeri $R_a \leq 0.001\mu\text{m}$ olmalıdır. Elektromekanik komparatör ile kalibre edilen ölçü lokmalarında ise bu değer yaklaşık olarak $R_a \leq 0.0012\mu\text{m}$ 'i aşmamalıdır. Ölçü lokmalarının yüzey bozukluklarına sebebiyet veren etkenler ;

- Yanlış kullanım,
- Uygun olmayan malzemelerle temizlemek,
- Laboratuvar koşulları,
- Elektromekanik komparatör ile yapılan ölçümlerde temas kuvvetlerinden dolayı ölçü lokmaları yüzeylerinde derin çizikler, korozyon izleri, deforme bölgeler gibi yüzey bozuklukları oluşturmaktadır.

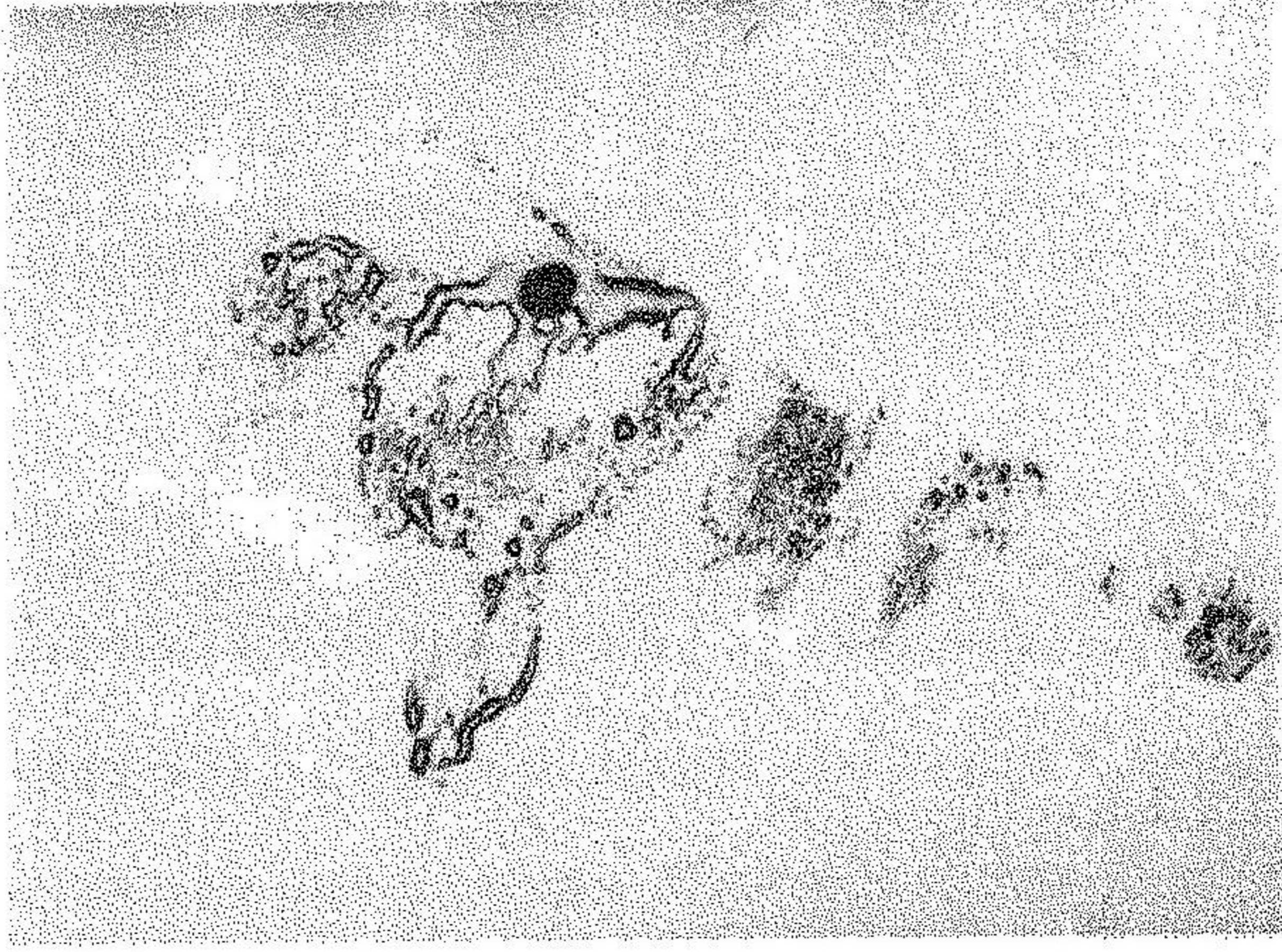
Bu tip yüzey bozukluklarının ölçü lokmalarının mikroskop altındaki görüntüleri aşağıda gösterilmiştir [33,34,35]



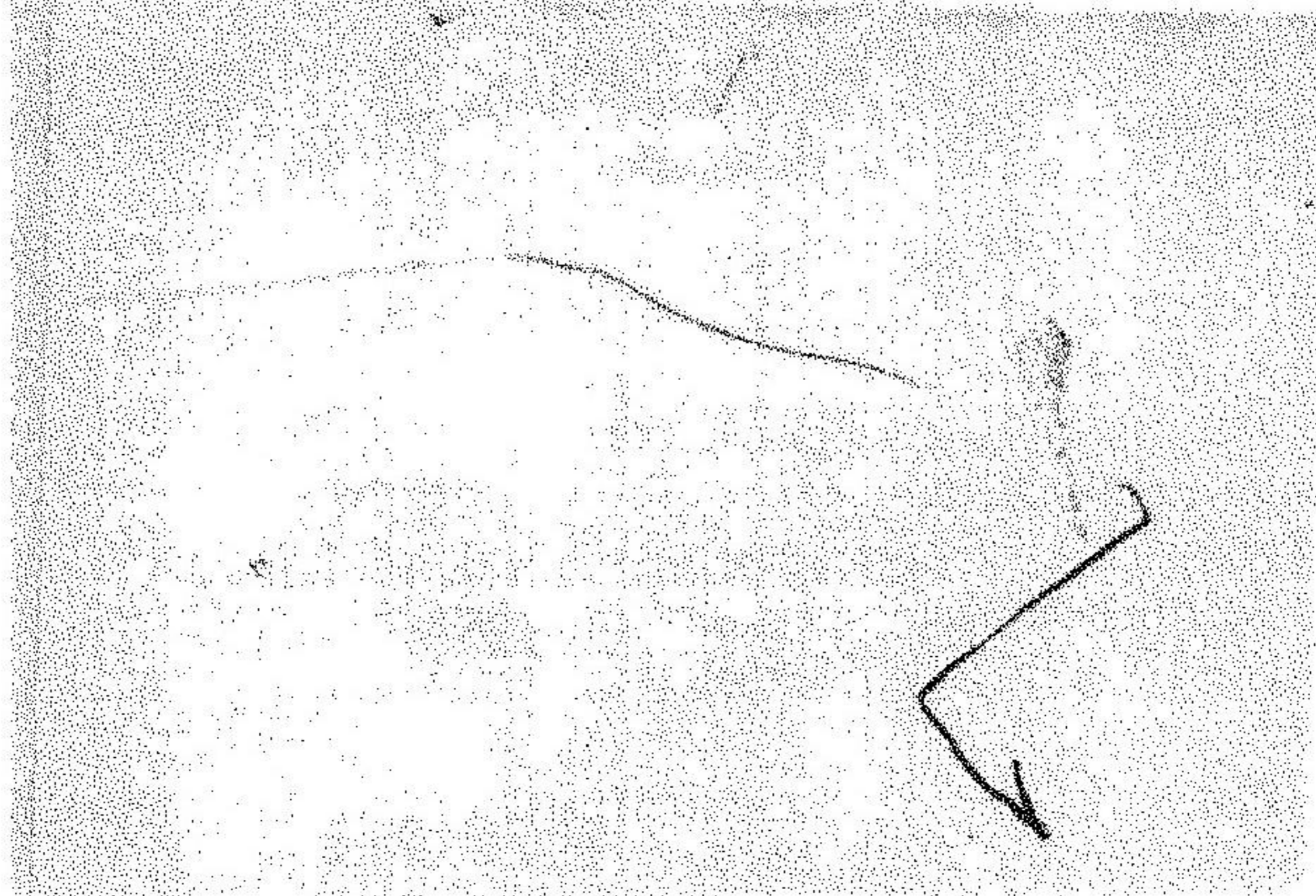
Gösterim 1: Ölçm Probenun, Ölçü Lokması Yüzeyine Oluşturduğu Temas Deformasyon İzi (x 400 Büyütme)



Gösterim 2: İyi Temizlenmemiş ve Uygun Olmayan Ortam Koşullarından Dolayı Oluşan Korozyon İzleri (x 116 Büyütme)



Gösterim 3: Temizlik Malzemelerinin Oluşturduğu Leke ve Korozyon İzleri (x 116 Büyütme)



Gösterim 4: Ölçü Lokması Yüzeyinde Kötü Kullanımdan Dolayı Oluşmuş Çizikler (x 116 Büyütme)

SONUÇ

Birincil ve ikinciye seviye boyutsal metroloji laboratuvarlarında yüksek doğruluklu kalibrasyonlar gerçekleştirmek için kullanılmakta olan "00", "K" ve "0" sınıfı referans ölçü lokmalara yapılan kalibrasyonlarda tüm etki faktörleri gözönünde alınarak yapılmalı. Boyutsal metroloji laboratuvarları referans çevre şartları yanı sıra etki faktörleri ölçebilecek hassasiyet'te kalibre edilmiş teçizatlarla donatılmalıdır.

KAYNAKÇA

1. ALTAN A.B., " Metroloji Organizasyonu: Kalite Kontrolde Yeri, Türkiye'deki Gelişme Durumu " Mühendis ve Makina Cilt 28 Sayı 329 Haziran 1987.
2. BARBATO G., " Basic Metrology and Application " C.N.R. Lavaratto & Bell Torino 1994.
3. BAYER H.F., " Gauge Blocks: Concept, Standardization, Measurement" PTB-Opt- (e, Braunschweig, Februar 1989.
4. BAYER H.F. et al., " Evaluation of the International Intercompareson Measurement (March 1976) with Iodine Stabilized Laser " PTB- ME 17, pg. 139-146,1977.
5. BAYER F., " Flexion des Etalon a Boutes Places Horizontalement Sur des Couteaux " PTB Mitteilomgen,1970.
6. BIPM, " Recmmendations of the Int. Committee for Weights and Measures on the Realization of the Meter " PTB- mitt. Pg. 345-348, 1984.
7. BIPM, Vocabulaire International des Terms Fondamentaux et Generaux de Metrologie " BIPM 1984.
8. BIRCH K.G., " Uncertainty in The Measurement of Gauge Blocks by Interferometry " NPL Report MOM 29,1979.
9. BÖHME H., " Der Einfluss Der Lage Der Untersütungsstellen Von Langen Parallelendmassen auf die Langenmessung " PTB- Mitteilungen 963/86,pg. 159-165,1980.
10. BOSCH R., " Metrologie Dimensionnelle " OCERP Edition,1973.
11. BOUCHAREINE P., " Interferometre a Laser Instrument De Mesure " Fiche Technique. CNAM Departement de Physique-Metrologi pg. 10-41, 1988.
12. CROARKIN C. et al., " Measurement Assurance for Gauge Blocks " NBS Monographi 163, January 1979.
13. DARNEDDE H., " High-Precision Calibration of Long Blocks Using Vacuum Wavelenght Comparator " Metrologia 29 pg. 349-359, 1992.
14. EDLEN B., " Calculation of Air Refractiv Index " Metrologia Vol 2 No. 2 Pğ. 71-80, 1966.
15. EKERİM A., " Ülkemizde Ölçme ve Kalibrasyon Durumu Üzerinde Bir Araştırma " Makina Sempozyumu Sayfa 609-611,1988.
16. ENGELHARD E., " In Metrology of Gauge Blocks " NBS Circular 581 Washington D.c., pg. 1-20, 1957.
17. GENCELİ O.F., " Ölçme Tekniği " Birsen yayınevi , Istanbul 1994.

18. GIACOMO P., " Accuracy in Length Measurement " ACTA IMEKO, pg. 643-648, 1979.
19. GOLUBEV A.N., et al., " Refinement of the Metrological Chain for Calibration of Long -Distance Measurement System " Metrologia No. 4, Vol. 31 June 1994.
20. GONELLA L., " The Unit of Measurement in the Operational Approach to Measurement " IMEKO Proc. Pg. 6-11,1994.
21. HARTMANN O., et al., " The Gauge Block Interferometer of the DAMW of GDR Used for Testing Precision Scales " DAMW Report 1989.
22. HEWITT P.L., "Modern Techniques in Metrology" World Scientific pg. 1-24, 1984.
23. HOFMANN D. et al., " Theoretical, Physical and Metrological Problems of Further Development of Measurement Techniques and Instrumentation in Science and Technology" ACTA IMEKO pg. 607-627, 1979.
24. HOLMES P. et al., " Std. Ref. Temperature for Industrial Length Measurements" Microtecnic 7 (1), 8. ISO-1 1963.
25. HP., " HP Laser Interferometre User Guide et Technical Specification " HP Book, 1991.
26. IKONEN E. et al., " Gauge Block Interferometer Based on One Stabilized Laser and a White- Light Source " Metrologia 30, pg. 95-104, 1993.
27. KRAMER B., " The Art of Measurement " PTB Braunschweig pg. 18-21, 161-197, 1988.
28. LECOLLINET M., " Traitement des Donnees Experimentals " CNAM Cours Universiter, PARIS 1989.
29. MICHELSON A.A., "Valeur du Mètre en Longuersd'Ondes Lumineuses" BIPM PARIS 1894.
30. MILLEA A., " Cartea Metrologului " Editura Tehnica, București 1984.
31. MORE R.W., " Foundation of Mechanical Accuracy " Connecticut 1970.
32. NASH W.A., " Strenght of Material" MIT, Book 1977.
33. SCHATZ B., " Control et Etalonnage des Cales Etalon" Measure Dimentional R. 1 245-1 pg. 1-24, 1981.
34. TÜKEL N., " Ölçme Kontrol Tekniği " I.D.M.M.A. Istanbul 1980.
35. ZELBSTEIN U., " Introduction aux Technques de Conditonnement des Laboratoires" Editions Chiron pg. 7-65, 1980.