

ORTAGONAL YATAY AÇILAR İLE ÖLÇÜ YÜZEYİ TOPOGRAFİSİ ÇIKARIMI VE SICAKLIK KOMPENZASYONU

Hayriye AKA, İhsan AKYÜZ
METRONORM A.Ş., İstanbul, Türkiye

Özet

Bu bildiride, boyutsal ölçüm işlemlerinde referans düzlem olarak kullanılan tüm sınıflardaki ölçü yüzeylerinin kalibrasyonu amacıyla, ortagonal yatay açı ölçümleri ile grid şeklinde bölüntülenmiş topografinin belirlenmesi ve simultane kaydedilen sıcaklık farklarına bağlı kompenzasyon gerçekleştirilmesi adımlarından oluşan bir kalibrasyon yönetimi araştırılmış ve uygulamalardan yola çıkılarak tartışmaya ve geliştirmeye açılmıştır.

0.02/1000 hassasiyetinde, bir su terazisi-sinüs barı çifti ile alınan ölçümler ve özel yüzey problemleri aracılığıyla sıcaklık ölçümü değerlendirmeye alınmakta, grid büyüklüğüne bağlı sayıdaki lineer zincirleme denklemlerin çifte tanımlanmış sınır koşullarının uzlaştırılması ve çözümünden yükseklik sapmalarını çıkararak, gözlenen sıcaklık değişimleri için 20 °C referans koşula göre düzeltme yapılmaktadır.

Son olarak, yöntemin devreye alınışı ile elde edilen sonuçlara göre yapılan kalibrasyon örneğine yer verilmiştir. Yöntemin kullanımına yönelik çevre (ortam koşulları), sistem (su terazisi, sıcaklık ölçüm sistemi, yazılım), insan (kullanım, yerleştirme, okuma hataları) etkileşimlerinin ölçü belirsizliğine katkısı araştırılmış ve gerekli şartlar sağlandığında DIN 876-00 sınıfı yüzeylerin dahi kalibre edilebileceği gösterilmiştir.

1. Tanımlar

Ölçü Yüzeyi

Üzerinde hassas ölçme işlemleri yapılmak üzere tasarlanmış ve genellikle çelik, pik döküm veya granitten yapılan düzgün yüzlerdir. Boyutsal ölçümlerin bir referans düzlem eşliğinde yapıldığı işyerlerinde ve laboratuvarlarda sıkça kullanılır.

Toleranslar / Kriterler

Yüzey Kalitesi: Yüzey üzerinde muhtelif nedenlerle meydana gelen izler, yüzey dalgası, prüz gibi düzensizliklerin toplamının ifadesidir.

Yüzey Prüzlüğü: Yüzeyde imalat aşamasında oluşan kesme ve makina besleme özelliklerinin neden olduğu µm mertebesinde incelenen düzensizliklerdir.

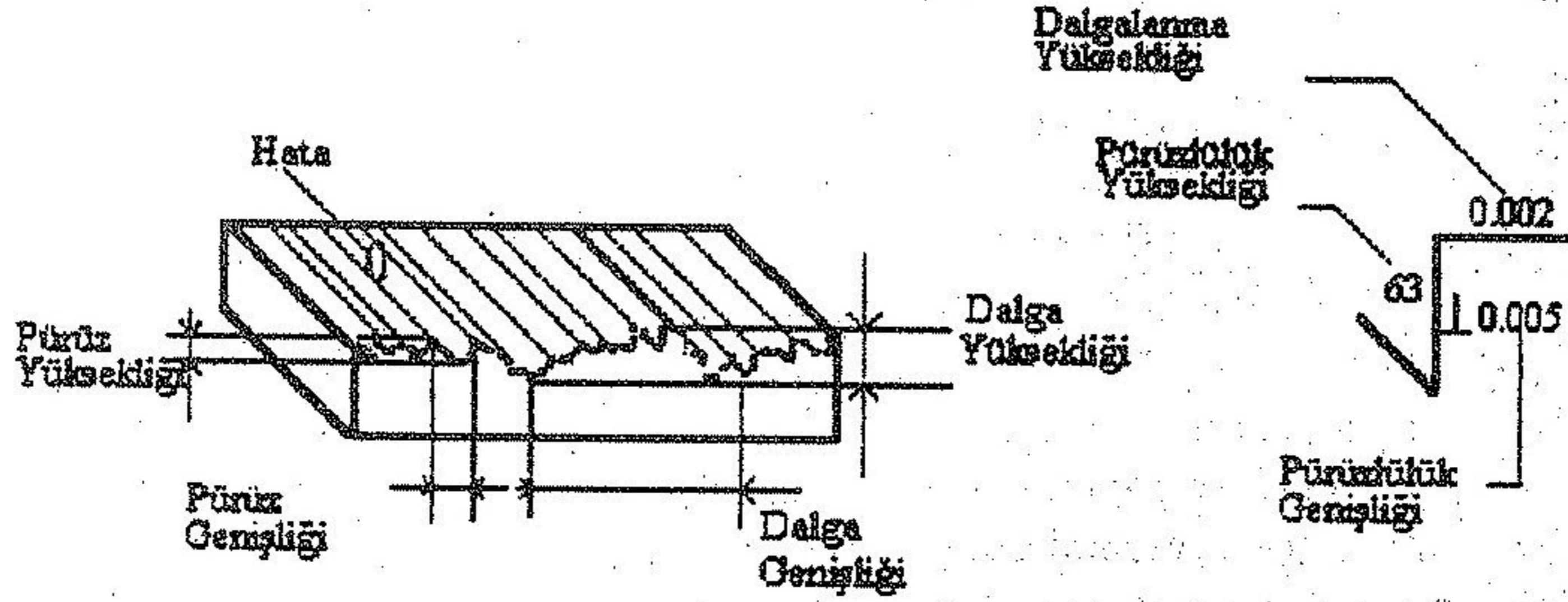
Yüzey Dalgalanması: Prüzlüğe oranla daha büyük genliklere tepe ve çukurlar şeklinde oluşan düzensizliklerdir.

Yüzey Düzlemselliği: Söz konusu yüzey, iki paralel ideal düzlem arasına hiçbir yüzey içiçe geçmeyecek şekilde hapsedildiğinde, ideal düzlemler arasında, ortadaki yüzeye temasları durumundaki mesafe, yüzeyin düzlemsellik sapmasıdır. (Şekil 2b)

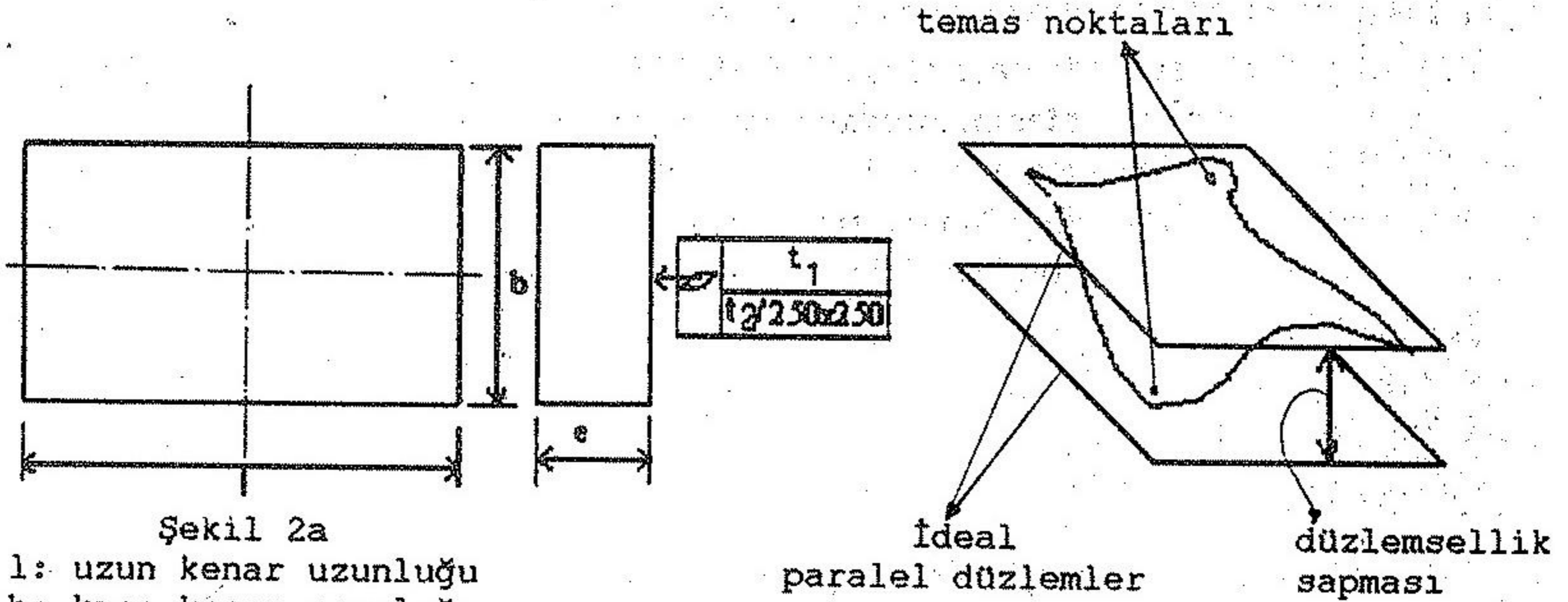
Ölçü yüzeyi kalibrasyonlarında yüzeyin düzlemselliği araştırıldığından global yüzey topografisi çıkartılır.

Ölçü Yüzeylerinin Sınıflandırılması / Standartlar

DIN 876 standardına göre ölçü yüzeyleri düzlemsellik toleranslarına göre 00, 0, I, II. sınıf ölçü yüzeyleri şeklinde sınıflandırılır.



Şekil 1



Şekil 2a

l: uzun kenar uzunluğu
b: kısa kenar uzunluğu
e: yükseklik

İdeal paralel düzlemler

temas noktaları
düzlemsellik sapması

Şekil 2b

Şekil 2b. Yüzey düzlemselliği

SINIF	DÜZLEMSELLİK TOLERANSI (µm)
00	2(1+I/1000)
0	4(1+I/1000)
1	1(1+I/1000)
2	20(1+I/1000)

I : Uzun Kenar Uzunluğu (mm)

Tablo I

Sıcaklık Etkisi (Deformasyon)

Maddelerin molekül yapılarına bağlı olarak sıcaklığın artması veya azalması ile çeşitli şekillerde deformasyonu söz konusu olduğundan ölçü yüzeyleri için de yüzeyin çeşitli noktalarında, farklı sıcaklık dengelerinden kaynaklanan deformasyonun ölçüm sonuçlarına etkisi incelenmelidir. Yüzey üzerindeki ölçme işlemleri μm mertebesinde yapıldığından ölçü yüzeyi malzemesinin ısıl genişleme katsayısına bağlı olarak, sıcaklıktaki birkaç $^{\circ}\text{C}$ lik bir değişim hassas sınıflarda (00,0) hatalara neden olabilecektir. Bu nedenle yüzey üzerinde homojen olmayan sıcaklık dağılımından kaynaklanan deformasyona ilişkin gerekli düzeltmeler yapılmalıdır.

Isıl genişleme katsayısı: $5.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (granit) $11.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (çelik)

2. Ölçü Yüzeyi Kalibrasyonlarında Kullanılmakta Olan Yöntemler

Işık sızdırma yöntemi

Yüzey üzerine yerleştirilen, düzlüğü kalibre edilerek uygun bulunmuş kılıç gönyeler (DIN874) kullanılarak, yüzey ve gönye temas çizgisi arasından sızan ışık miktarı gözlenerek ölçülür. Kullanılan ışık kaynağının, yüzeyi ısıtma olasılığına karşı soğuk ışık kaynağı olması gerekir. Işık sızdırma yönteminde sızan ışık miktarı gözle okunur. Referans aralıklarla (5, 10, 15, 20... μm) yeterince alıştırmaya yapmış bir göz 5 μm hassas okumalar yapabileceği için bu yöntem I. ve II. sınıf ölçü yüzeylerinin kalibrasyonu için yeterli bir yöntemdir. Işık sızması hiç olmayan bölgelerde sapma 0.5 μm 'den küçüktür. (Sapmanın 50 μm dan da büyük olduğundan kuşku duyulduğunda, aralıklar sentil çakıları ile kontrol edilir.)

Açısal ölçümler

Ölçü yüzeylerinin, açısal ölçmeler yapıldıktan sonra ölçümlerin yükseklik sapmalarına dönüştürülerek kalibre edildiği bu metodlarda optik, elektronik ve mekanik açı ölçüm teçizatları kullanılır.

Elektronik: Ölçü yüzeylerinin, tesbit edilen ölçüm noktalarında açı ölçümü yapılarak kalibre edilmesinde en sık kullanılan cihazlar mikro sarkaçlı kapasitif veya indüktif sensörlerle ölçüm yapan üç ayaklı açı sensörleridir.

Mekanik: Bu bildiriye bir varyasyonu geliştirildiği şekilde, hassas su terazileri ile yatay açılar belli bir sistematığe göre ölçülerek, yüksek sapmalarının belirlendiği metodlardır.

Optik: Işık kaynağından çıkan ışıkların lenslerden geçerek yüzey üzerindeki ayna veya başka bir yansıtıcı tarafından yansıtılması ile yüzey üzerindeki aynanın yerleştirildiği noktalarda açısal ölçümler alınarak (otokolimatör) yüzeyin düzlemselliğinin araştırıldığı metodur.

3. Sıcaklık Dağılımı

Prizmatik bir parçanın ısınması sırasında sıcaklık artışı kenarlardan başlayıp merkeze doğru yayılacağından parçanın merkezi kenarlara göre soğuk olacaktır. Bu nedenle parça içinde oluşan ısıl gerilmeler kenarlarda baskı gerilmeleri olurken merkeze doğru çekme gerilmelerine dönüşür. Gerilmelerin neden olduğu gerinme, sıcaklığın üç boyutta üniform

dağılımı halinde

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \alpha \Delta T, \alpha : \text{Isıl genleşme katsayısı (m/m}^0\text{C)}, \Delta T : \text{Sıcaklık değişimi }^0\text{C} \quad (1)$$

$$\delta = \varepsilon L = \alpha \Delta T L, \delta : \text{Uzama (m)}, L : \text{İlk uzunluk (m)} \quad (2)$$

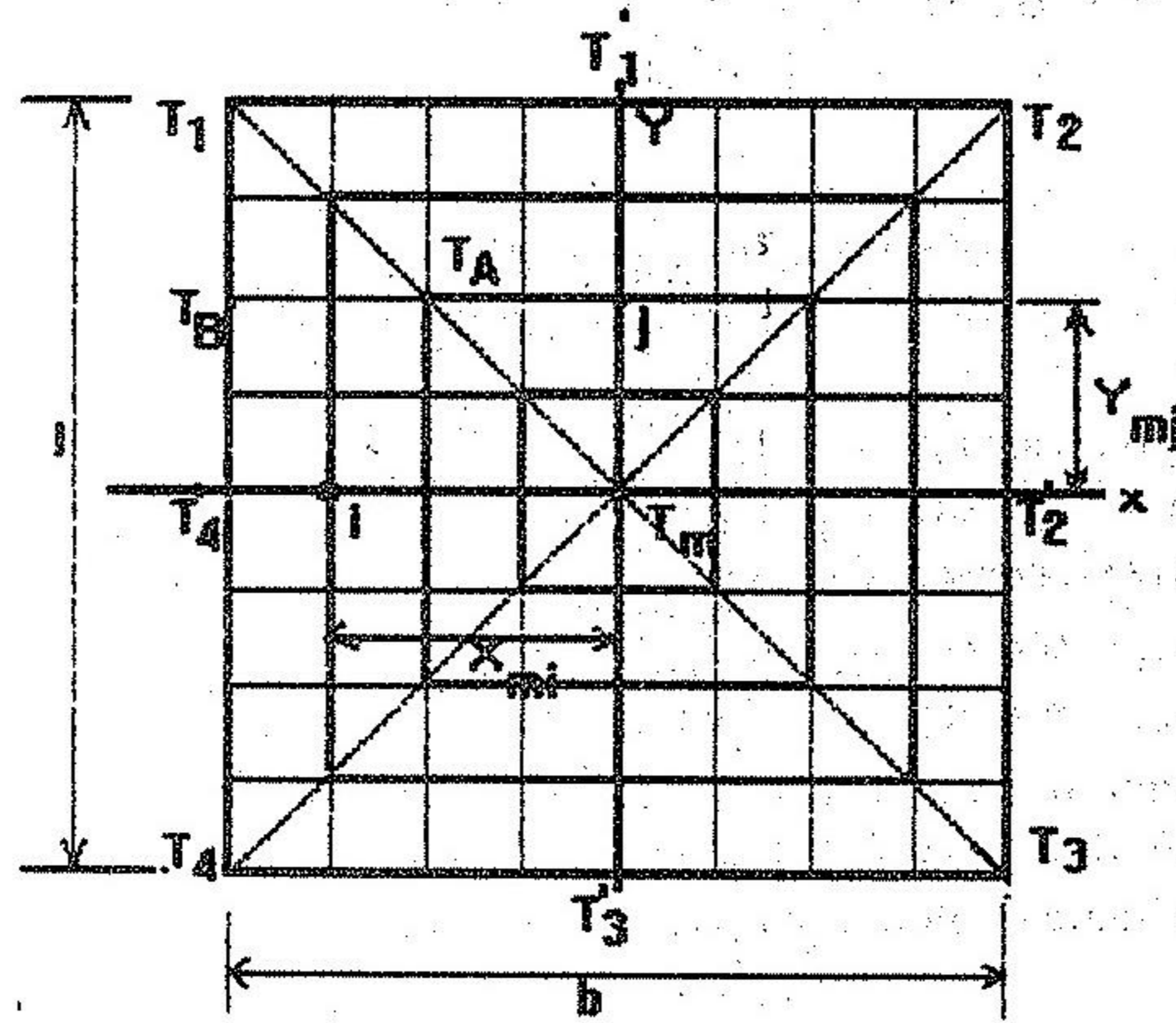
$$\sigma = \varepsilon E = \alpha \Delta T E, \sigma : \text{normal gerilme (pa)}, E : \text{Elastisite modülü (pa)} \quad (3)$$

Deformasyon miktarı metre konvensiyonu çerçevesinde 20 ⁰C sıcaklık referans alınarak bulunur. (20 ⁰C'de kondisyonlanmış bir boyutsal ölçüm aletinde deformasyon sıfırdır.)

Düş yüzeylerden ısınma / soğuma durumunda, şekil 4'de gösterildiği gibi parça yüzeyi üzerinde küresel deformasyon olur. Sıcaklığın tüme yüzey üzerinde ölçülmesi mümkün olmadığından, uygulamada muhtelif "aproximation" teknikleri kullanılır. Bu çalışmada, deformasyona neden olan sıcaklık dağılımının merkezden kenarlara doğru lineer değiştiği ve yüzeyin yüksekliği, uzunluğuna oranla çok küçük olduğundan, tabandan üst yüzeye doğru sıcaklık gradyanının olmadığı varsayımı yapılarak, üst yüzeyin köşe noktalarında ve merkezinde sıcaklık ölçümü yapılması öngörülmüştür.

Merkez ve köşelerde alınan sıcaklık ölçümlerine dayanılarak ölçü yüzeyinin dört kenarı boyunca lineer sıcaklık dağılımı varsayımı ile dış kenarlar üzerinde sıcaklık lineer olarak dağıtılır. Buna bağlı olarak

$$T_1' = \frac{T_1 + T_2}{2}; T_2' = \frac{T_2 + T_3}{2}; T_3' = \frac{T_3 + T_4}{2}; T_4' = \frac{T_1 + T_4}{2}; T_B = T_1 + \frac{T_4 - T_1}{2} (X_{1B}) \quad (4)$$



Şekil 4. Sıcaklık Dağılımı

X ve Y eksenleri üzerinde bulunan düğüm noktalarının sıcaklıkları da merkezden kenarlara lineer sıcaklık dağılımı yaklaşımı ile merkez ve eksen üzerindeki kenar noktası sıcaklığı arasında lineer dağıtılır. Örneğin X ekseninde bulunan i düğümünün sıcaklığı ile Y ekseninde bulunan j düğümünün sıcaklığı

$$T_4' - T_m$$

$$T_1' - T_m$$

$$T_i = T_m + \frac{1}{b/2} |X_{mi}|; T_j = T_m + \frac{1}{1/2} |Y_{mj}| \text{ olarak bulunur.} \quad (5)$$

Diğer noktaların sıcaklıkları da bilinen bu sıcaklıklardan yararlanılarak yatay çizgiler (şekle göre) üzerinde lineer dağıtılacaktır. Örneğin şekildeki A noktasının sıcaklığı

$$T_A = T_J + \frac{T_B - T_J}{b/2} |X_{AJ}|; \quad (6)$$

4. Yüzey Topğrafisinin Çıkartılması

Ölçme noktalarının belirlenmesi

Ölçüm alınacak noktalar, yüzey üzeri grid şeklinde bölüntülenerek belirlenir. Grid büyüklükleri yüzey dalgalanmasını yansıtmada yeterli bir boyut olacağı ve açı ölçümünde kullanılan sinüs barı 100 mm'nin katları uzunluğunda imal edildiği için 100 mm olarak seçilmiştir. Yüzeyin bölüntülenmesinden önce yüzeyin temizliği özel temizlik sıvıları ve anti-statik ile yapılarak partikül bırakacak maddeler kullanılmaz. Yüzey üzerinde ilk işaretleme, cetveller kullanılarak yüzeyin merkezinin tesbit edilmesidir. İşaretleme 100 mm'lik adımlarla yüzeyin yalnızca kenarına yapıştırılan etiketlerle yapılır. Ölçüm anında iki karşılıklı kenar etiketi hizasına yerleştirilen cetvelden referans olarak ölçüm noktalarına ulaşılır (Şekil 5).

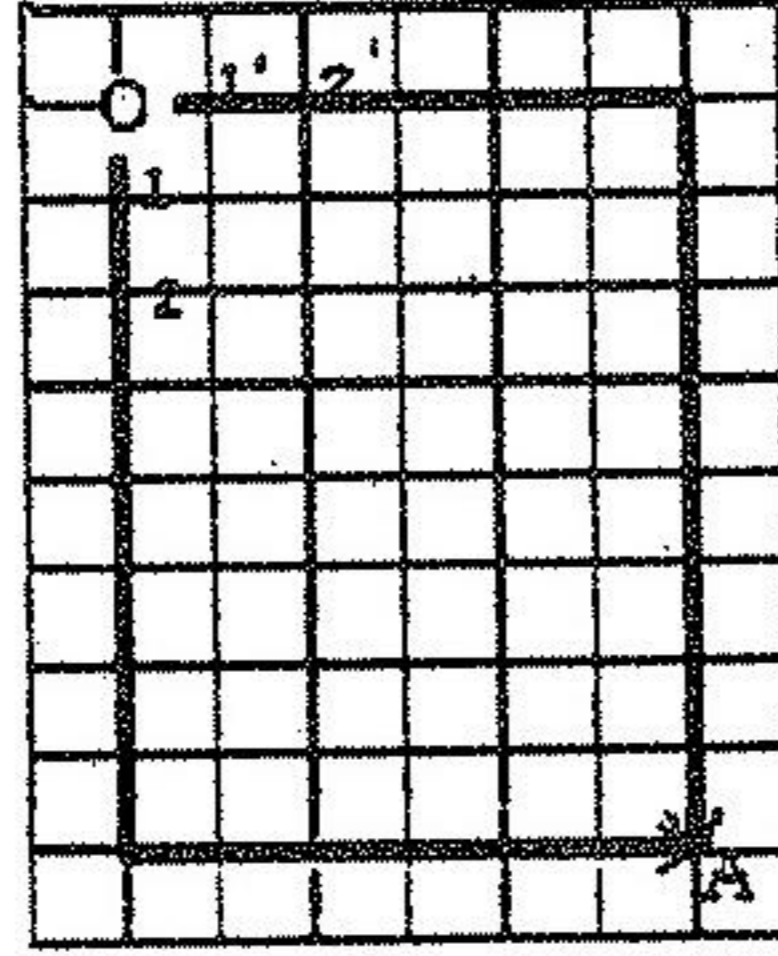
Açısal ölçümlerin alınması

Ölçümlerin alınmasında 200 mm'lik, DIN 2273 sinüs barı ve 0.02/1000 hassasiyetle ölçme yapabilen su terazisi kullanılmıştır. Böylelikle yaklaşık 1'lik açı okunabilirliği ile ölçüm yapılabilmektedir.

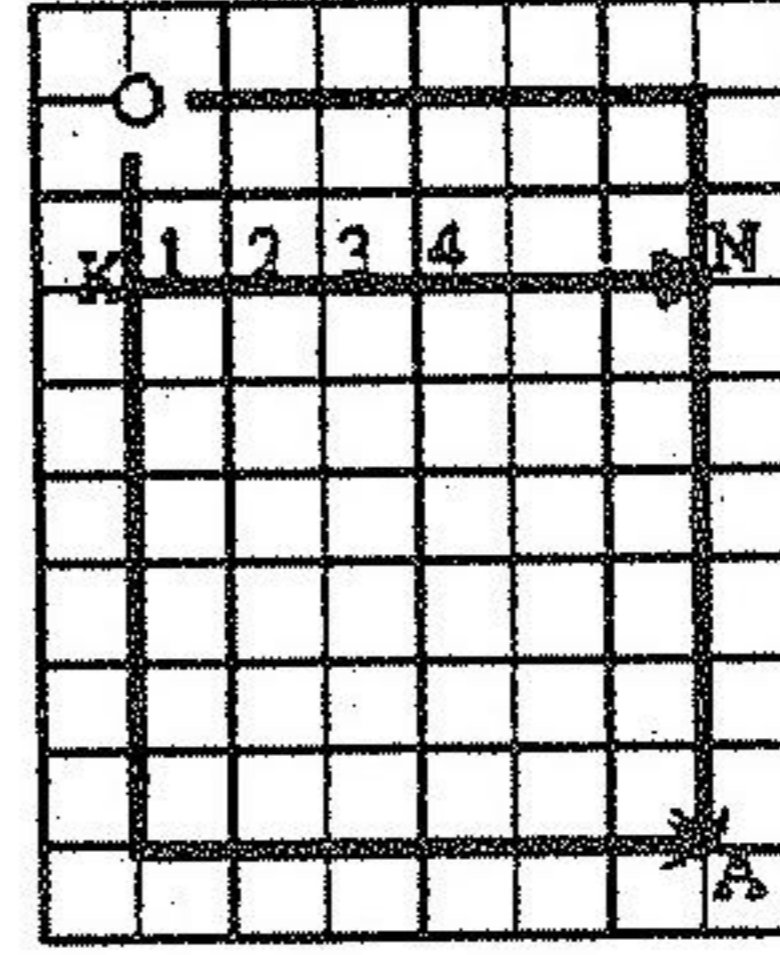
Ölçümlere, ölçü yüzeyinin köşelerinden birisi, referans alınarak başlanır. Yüzey üzerinde farklı kombinasyonlarda ölçüm yapmak mümkün olmakla beraber her kombinasyon, yapılabilecek hatalar yüzünden birbirinden nisbeten farklı sonuçlar verebilir. Bu nedenle en iyi kombinasyonun belirlenmesi ve hataların minimizasyon yöntemleri için çok sayıda deneme ve araştırma yapılmıştır. Referansa göre çapraz uç noktadaki hatanın yük edilerek (şekil 5), diğer ölçüm noktalarından uzlaştırılmış kenarlara olan uzaklık ile orantılı olarak hatanın yok edilmesi metodu en uygun yol olarak bulunmuştur. (Bu yöntem ileriki safhalarda detaylandırılacaktır).

İlk ölçümler alınırken referans noktadan başlayarak, saat yönünde ve saatin tersi yönünde ölçümler alınarak, referansın çaprazındaki uç noktaya iki yönden ulaşılır. Böylelikle ölçü yüzeyini çevreleyen ölçümler alınmış olur. Diğer noktaların ölçüm değerleri, yüzeyin kısa kenarına paralel olan çizgiler üzerinde alınır. (Şekil 6)

Sinüs barı ve su terazisi uzunluğu 200 mm olduğundan ve ölçüm noktaları 100 mm aralıkla belirlendiğinden sinüs barı temas silindirleri, ölçüm noktası ortada kalacak şekilde bu noktaya komşu olan noktalar üzerine yerleştirilerek ölçüm alınır.



Şekil 5



Şekil 6

Yükseklik sapmalarının çıkartılması

Ölçü yüzeyi üzerinde alınan tüm ölçmeler açısal ve rölativ olduğundan yüzey üzerindeki ölçüm noktalarının seçilen referans noktasına göre yükseklik sapmalarının μm cinsinden belirlenmesi gerekir. Yükseklik sapmaları bulunurken yapılan tüm işlemler, 'Açısal Ölçümlerin Alınması' bölümünde anlatılan sıraya bağlı olarak yapılır. Bu nedenle öncelikle yüzeyi dıştan çevreleyen noktaların yükseklik sapmalarının bulunması gereklidir. Çünkü bu çerçeve içinde kalan noktaların ölçüm değerleri çerçeve üzerindeki ölçüm sonuçlarına bağlı olarak bulunacaktır.

Saniye cinsinden alınan açısal ölçümlerin uzunluk birimine (μm) çevrilmesi:

$$h = \sin(\theta/3600) \times 100 \times 10^3 \text{ } (\mu\text{m}); \theta: \text{okunan açı değeri} \quad (7)$$

a) Yüzeyi Dıştan Çevreleyen Noktaların Yükseklik Sapmalarının Çıkartılması

Dış çerçeve boyunca ölçümler referanstan başlayarak saat yönünde ve saat tersi yönünde alındığından bu noktaların yükseklik sapmaları bulunurken dikkat edilecek iki nokta

-Tüm noktalardaki yükseklik sapmalarının bir önceki noktaya göre rölativ hesaplanacağı

-Referansın Çaprazındaki uç nokta için, saat yönü ve saat tersi yönünde alınan ölçümler sonucu iki ayrı değer bulunduğu ve iki sonuç arasında bir uzlaştırma yapılacağı ve bunun çevrede alınan tüm ölçüm sonuçlarına yansıtılacağıdır.

Rölativ olarak okunan ölçüm değerlerinin mutlak değerlerinin bulunması:

$$h_2 = h_1 + h_{2/1} \quad (8)$$

$h_2 = 2 \text{ Nr}'\text{lı}$ noktanın mutlak yükseklik sapması (Şekil 5).

$h_{2/1} = 2 \text{ Nr}'\text{lı}$ noktanın $1 \text{ Nr}'\text{lı}$ noktaya göre okunan rölativ değeri = $h_2 - h_1$

$h_1 = 1 \text{ Nr}'\text{lı}$ noktanın mutlak yükseklik sapması (Şekil 5).

Saat tersi yönünde alınan ölçüm sonuçları bu şekilde yükseklik sapması olarak bulunduktan sonra aynı şekilde saat yönündeki ölçüm noktalarının mutlak yükseklik sapmaları da bulunur.

Uzlaştırma: O referans noktasından başlayarak saat yönünde ve saatin tersi yönünde alınan ölçümlerle A noktasına iki yönden ulaşıldığında, ölçümlerin alınması sırasında oluşan türlü hatalar nedeniyle A noktasında iki ayrı ölçüm sonucu elde edilebilir. Bu farklılığın yok

edilmesi için bir uzlaştırma işlemi gereklidir.

Uzlaştırma işlemi için A noktası, belirlenen iki ölçüm değerinin tam ortasında bir değer alacak şekilde alınan iki ölçüm sonucu birbiri ile karşılaştırılır.

$h_{A'}$: A noktasının saat yönünde alınan ölçüm değeri

$h_{A''}$: A noktasının saat tersi yönünde alınan ölçüm değeri

h_A : A noktasının gerçek yükseklik sapması

h_A : $(h_{A'} + h_{A''}) / 2$

Böylece A' noktası ve A'' noktası belirli bir miktarda yer değiştirecektir. Bu yer değiştirme miktarı saat yönünde ve saat tersi yönünde alınan diğer ölçüm noktalarının sapmalarına da, bu noktaların referansa olan uzaklıkları ile orantılı olarak yansıtılır. Bu durumda ölçü yüzeyini dıştan çevreleyen ve saat yönünde bulunan ölçüm noktaları için gerçek yükseklik sapması;

$$h_{ig} = h_i - \left(\frac{h_{A'} - h_{A''}}{2} \times \frac{L_i}{L_A} \right) \text{ olur.} \quad (11)$$

Şekildeki 1' noktasının gerçek yükseklik sapması;

$$h_{1'g} = h_{1'} - \left(\frac{h_{A'} - h_{A''}}{2} \times \frac{L_1}{L_A} \right) \quad (12)$$

Ölçü yüzeyinin dıştan çevreleyen ve Saat tersi yönünde bulunan ölçüm noktaları için gerçek yükseklik sapması;

$$h_{ig} = h_i - \left(\frac{h_{A''} - h_{A'}}{2} \times \frac{L_i}{L_A} \right) \quad (13)$$

Şekildeki 1 noktasının gerçek yükseklik sapması;

$$h_{1g} = h_1 - \left(\frac{h_{A''} - h_{A'}}{2} \times \frac{L_1}{L_A} \right) \text{ olarak bulunur.} \quad (14)$$

Burada;

h_{ig} : i noktasının gerçek yükseklik sapmasıdır. (μm)

h_i : uzlaştırma işlemi yapılmadan önce i noktasının mutlak yükseklik sapmasıdır (μm).

L_i : i noktasının referans noktasına olan uzaklığıdır (mm).

L_A : A noktasının referans noktasına olan uzaklığıdır (mm).

b) İç Düğüm Noktalarının Yükseklik Sapmalarının Çıkartılması

İç noktalarda ölçümler kısa kenara paralel çizgiler boyunca alındığından bu noktaların yükseklik sapmaları da daha önce bulunan dış yüzeyi çevreleyen noktaların yükseklik sapmalarına bağlı olarak bulunacaktır.

Şekil 6'daki K sırası üzerindeki noktalarda ölçümler uzlaştırma esnasında 1 Nr. 11 nokta referans alanı olarak alınmış, diğer noktaların açısal sapmaları ise bir önceki noktaya göre rölative olarak ölçülmüştür.

$$h_2 = h_1 + h_{2/1} \quad (15)$$

Burada;

$h_1 = 1$ Nr. lı noktanın gerçek yükseklik sapması (Şekil 6).

$h_{2/1} = 2$ Nr. lı noktanın 1 Nr. lı noktaya göre rölativ yükseklik sapması

aynı şekilde herhangi bir sıra üzerindeki herhangi bir i noktasının mutlak yükseklik sapması

$$h_i = h_j + h_{i/j} \text{ olur. Burada} \quad (16)$$

$h_j = j$ noktasından bir önceki ölçüm noktasının mutlak yükseklik sapması

$h_{i/j} = i$ noktasının j noktasına göre rölativ olarak ölçülen yükseklik sapması değeri.

Sıranın en sonundaki noktanın yükseklik sapması ise daha önce çevre üzerindeki noktaların yükseklik sapmaları çıkartılırken bulunmuştur. Ölçümler sırasında olabilecek hatalar nedeniyle bu noktanın yeni bulunan yükseklik sapması ile gerçek yükseklik sapması arasında fark olabilir. Bu durumda daha önce yapılan uzlaştırma işlemi burada da uygulanır. Örneğin şekil 6'daki K sırasının en sonundaki ölçüm noktası olan N noktasının gerçek yükseklik sapması h_{Ng} olsun N noktasının K sırası üzerindeki noktalarda alınan ölçüm sonuçlarına göre bulunan mutlak yükseklik sapması değeri h_N olsun N noktasının yükseklik sapması h_{Ng} olacak şekilde h_N noktası h_{Ng} noktasına çekilir. Aynı sıra üzerindeki diğer noktalar da sıranın başındaki ilk ölçüm noktasına uzaklıkları ile orantılı olarak aynı yönde yer değiştirir. Örneğin K sırası üzerindeki 4 Nr. lı noktanın (Şekil 6) gerçek yükseklik sapması;

$$h_{4g} = h_4 - (h_N - h_{Ng}) \times \frac{L_4}{L_N} \text{ olur.} \quad (17)$$

Sıcaklık Kompensasyonu

Yüzey üzerindeki tüm noktaların sıcaklık belirlendikten sonra sıcaklık farkı değerleri $\Delta = T - 20$ ($^{\circ}\text{C}$) = a_{ij} , A (MxN) matrisinin a_{ij} elemanları olarak matris formuna dönüştürülür.

Ölçü yüzeyinin her noktasında sıcaklık değişiminin neden olduğu deformasyon, lineer yaklaşımıyla

$$\delta = \epsilon L = \alpha \Delta T h = \alpha a_{ij} h \quad (\text{mm}) \quad h = \text{Ölçü Taşının Yüksekliği (mm)} \quad (18)$$

olarak elde edilir. Herbir noktanın deformasyonunun bu şekilde hesaplanan değerlerinin D (MxN) matrisinin dij elemanları olarak yazılması ile deformasyon değeri matris formuna dönüştürülür.

$$d_{ij} = \delta / 1000 = \alpha \Delta T h / 1000 = \alpha a_{ij} h = (\mu\text{m}) \quad (\text{mm}) \quad h = \text{Ölçü Taşının Yüksekliği (mm)} \quad (19)$$

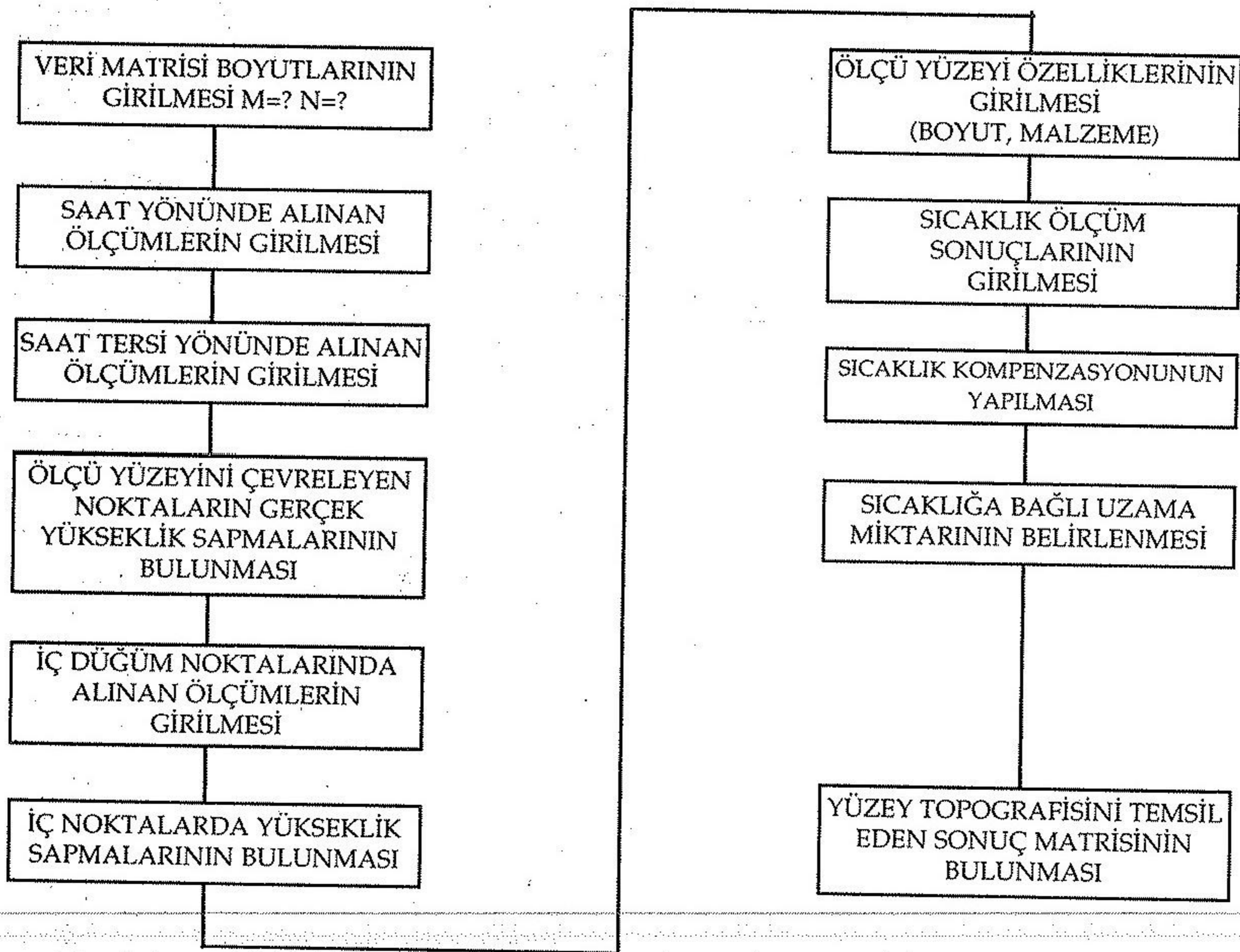
$$A (M \times N) = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{31} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & \dots & \dots & \dots & a_{MN} \end{vmatrix} = ({}^{\circ}\text{C}); \quad D (M \times N) = \begin{vmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & \dots & d_{1N} \\ d_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{31} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{M1} & \dots & \dots & \dots & d_{MN} \end{vmatrix} = (\mu\text{m})$$

Sıcaklık kompensasyonu için yükseklik sapmalarını gösteren değerlerden sıcaklık etkisi ile oluşan uzma miktarları çıkartılarak 20 $^{\circ}\text{C}$ referans koşulu için yüzey topografisi belirlenir.

5. Yazılım

Tüm hesaplamaları bilgisayar yardımıyla yapmak amacıyla Şekil'de verilen algoritma doğrultusunda yazılan bilgisayar programıyla, yüzeyde alınan tüm ölçüm sonuçları ve sıcaklık kayıtları bilgisayara girilmekte ve yüzey topografisi yükseklik sapmalarını μm cinsinden veren bir matris şeklinde bilgisayardan alınmaktadır. Program, boyutları 2500x150 mm'ye kadar olan ölçü yüzeylerinin yüzey topografisi çıkarımı için kullanılabilir.

AKIŞ ŞEMASI



6. Örnek Kalibrasyon

Yapılan teorik çalışmaları gerçeklemek için granitten yapılmış, boyutları 2000x1500 mm olan bir ölçü yüzeyinin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon öncesinde titreşimsiz, tozdan arındırılmış ve sıcaklığın kontrol altında tutulduğu bir ortam hazırlanmıştır. Ölçü yüzeyi hazırlanan ortamda 24 saat koşullandırma sonrası kalibre edilmiştir. Kalibrasyon öncesinde ölçü yüzeyi özel bir temizlik sıvısı ile temizlenerek ölçüm noktaları işaretlenmiştir. Yüzeyin referans olarak seçilen köşe noktalarından biri üzerinde su terazisi, sinüs barı ve yüzeyin ayar vidaları kullanılarak sıfır ayarı yapılmıştır. Yüzeyin dört köşe noktası ve merkezine yerleştir-

ilen sıcaklık sensörleri ile ölçülen sıcaklık değerleri her 30 dk'da bir kaydedilmiştir.

Aşağıda kalibrasyon sırasında alınan açısal ölçümleri ve sıcaklık ölçüm sonuçlarının gösterildiği kalibrasyon veri formu (Tablo 2) ve Bilgisayar programı ile elde edilen ölçü yüzeyi topografisi (Tablo 3) verilmiştir.

ÖLÇÜ YÜZEYİ KALİBRASYON VERİLERİ (°)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
A	0	1	2	2	2	3	3	2	1	3	-2	-2	-1	-1	-2	
B	2	2	2	1	2	2	1	2	2	-2	0	0	0	-1	-2	-1
C	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	-2	-2	-2	-3	-1
D	2	2	2	2	2	2	1	1	3	1	1	-3	-2	-2	-3	-1
E	2	2	2	1	2	3	3	2	1	3	-2	-3	-3	-2	-2	-2
F	2	2	2	1	1	1	3	2	3	3	-2	-3	-2	-2	-2	-2
G	2	2	2	1	1	3	2	2	2	1	-2	-2	-2	-2	-3	-2
H	2	2	2	1	0	2	1	1	1	0	0	-1	-2	-2	-2	-2
I	1	1	2	1	1	1	3	1	3	3	-1	-2	-2	-2	-2	-2
J	1	1	2	2	2	3	1	2	3	-1	-1	-1	-2	-2	-1	0
K	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-1	1	1	1	1	2	1	3
L	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-3	2	2	1	2	2	1	2	1	1
M	-1	-1	-2	-1	-2	-1	-2	1	2	2	3	2	2	2	2	1
N	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-1	1	2	2	1	3	2	1	2
O	-1	-1	-1	-2	-2	0	2	2	2	2	1	1	3	3	3	2
Ö	-1	-1	-1	0	0	0	-2	-2	1	1	2	2	2	2	1	2
P	-2	-2	-2	-2	-2	-1	1	1	2	2	2	2	2	3	1	3
R	-2	-2	-2	-2	-2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	2
S	-1	-1	-1	-1	1	2	1	2	2	2	-1	-1	-2	-1	-1	-3

SICAKLIK VERİLERİ (°C)				
1.KŞ.	2.KŞ.	3.KŞ.	4.KŞ.	M.
22.1	22.5	22.5	22.8	22.1
22.5	23.1	23.4	23.6	22.9
22.8	23.5	24.0	24.2	23.2
23.5	24.2	24.8	24.9	23.2
23.9	24.3	25.1	25.1	23.3
24.4	24.6	25.4	25.2	23.3

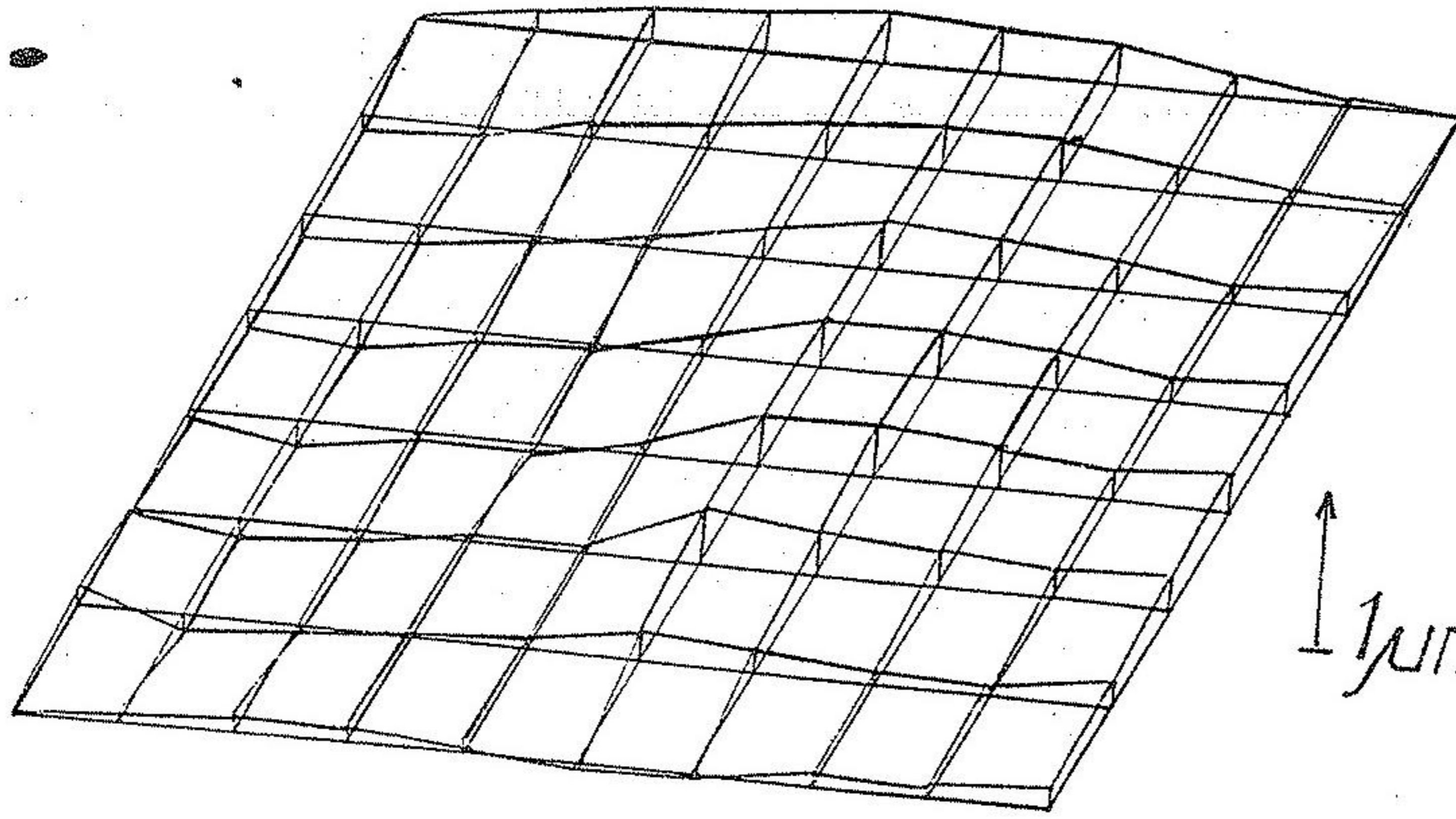
Tablo 2

FİRMA ADI : ÖRNEK
 KOMİSYON Nr. : 001
 MALZEME : GRANİT $\alpha = .0000056$ ($1/^\circ\text{C}$)

SERİ Nr. : 123456
 BOYUTLARI : 2000.1500x250mm

ÖLÇÜ YÜZEYİ TOPOGRAFİSİ (mm)															
0.0	0.9	1.8	2.6	3.5	4.4	5.3	6.2	6.4	6.7	6.0	5.3	4.6	3.9	3.2	
0.5	1.1	1.7	1.9	2.5	3.1	3.3	3.9	4.4	3.0	2.5	2.0	1.5	0.5	2.7	
1.4	2.1	2.7	2.9	3.0	3.2	3.8	4.0	4.0	4.4	4.4	2.9	1.5	0.0	1.7	
2.4	2.9	3.4	3.8	4.3	4.8	4.8	4.8	5.5	5.3	5.1	3.0	1.3	-0.3	0.7	
3.4	3.9	4.4	4.4	5.0	6.0	7.0	7.5	7.3	8.1	6.5	4.3	2.2	0.5	0.1	
4.8	5.3	5.8	5.8	5.8	5.8	6.8	7.3	8.1	8.8	7.1	4.9	3.2	1.5	-0.4	
6.3	6.7	7.2	7.2	7.2	8.1	8.6	9.1	9.3	9.0	7.2	5.5	3.7	2.0	-1.0	
7.2	7.8	8.4	8.5	8.1	8.7	8.8	8.9	8.7	8.0	7.3	6.1	4.5	2.8	-1.5	
7.7	7.7	8.2	8.2	8.2	8.2	9.2	9.2	9.9	10.5	9.2	7.4	5.6	3.9	-1.1	
9.1	9.1	9.5	9.9	10.3	11.1	11.1	11.5	12.0	10.6	9.1	7.7	5.8	3.9	-0.2	
8.2	7.5	6.8	6.2	5.0	3.9	2.7	2.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.5	1.5	0.2	
7.2	6.3	5.5	4.7	3.4	2.1	0.3	0.9	1.3	1.1	1.5	1.8	1.7	2.0	1.1	
6.7	5.7	4.2	3.2	1.8	0.8	-0.7	-0.7	-0.5	-0.3	0.4	0.7	0.9	1.1	2.0	
6.1	5.2	3.8	2.4	1.0	-0.5	-1.4	-1.4	-1.5	-1.2	-0.9	-1.1	-0.3	-0.0	2.9	
5.2	4.0	2.8	1.1	-0.6	-1.3	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-1.1	-1.5	-0.9	-0.4	2.4	
4.2	3.2	2.1	1.6	1.1	0.6	-0.9	-2.4	-2.6	-2.8	-2.5	-2.2	-1.9	-1.6	1.8	
2.7	1.2	-0.3	-1.8	-3.4	-4.4	-4.4	-4.5	-4.2	-3.8	-3.5	-3.2	-2.9	-2.1	0.8	
1.2	-0.1	-1.4	-2.6	-3.9	-3.8	-3.6	-3.4	-2.8	-2.3	-2.2	-2.1	-2.0	-1.9	0.2	
0.2	-0.7	-2.0	-2.9	-3.8	-4.2	-3.7	-3.1	-2.1	-1.5	-0.0	0.5	1.0	1.1	-0.3	

Tablo 3



-10-

7. Ölçü Belirsizliği

Kullanılan yöntemle ölçü yüzeylerinin kalibrasyonu sırasında,

-Sinüs barın uzunluk ve paralellik hataları

-Su terazisinin hata payı

-Sıcaklık değişimleri

-Ortamdaki ışık ve ısı kaynakları, titreşim ve toz

-Yazılımdaki yuvarlama hataları

ölçü belirsizliğine neden olmaktadır.

Kullanılan sinüs barın uzunluktaki imalat hatası toleransı $\pm 4\mu\text{m}$ olarak verilmiştir. Bu boyuttaki bir hatanın yükseklik sapmasına katkısı $6.02 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ dolaylarındadır. Sinüs barın paralelliğindeki $2.5 \mu\text{m}$ 'lik hata toleransının, ölçü yüzeyi üzerinde sıfırlama ayarı sinüs bar kullanılarak yapıldığından ve tüm ölçümler sinüs barın bacak yerleştirme sırası aynı tutularak alındığından ölçü belirsizliğine olan etkisi ihmal edilmiştir.

Kullanılan su terazisinin kalibrasyonu sonucu elde edilen standart sapması $0.51''$ dir. Bu değer yükseklik sapması cinsinden değeri ise $0.50\mu\text{m}$ dir. Ayrıca su terazisinin lineerlik testi sonuçlarına göre ölçü yüzeyi kalibrasyonu sırasında okunan değerlerde gerekli düzeltmeler yapılacağından lineerlik hatalarının ölçü belirsizliğine katkısı yok edilmektedir.

Sıcaklık değişimleri kalibrasyon sırasında kontrol altında tutulduğundan ve sonuçlar sıcaklık kompenzasyonu yapılarak yüzey topografisine yansıtıldığından sıcaklık değişimlerinin ölçü belirsizliğine etkisi, sıcaklık ölçümünde kullanılan sensörlerin hata paylarıyla sınırlandırılmıştır. Ayrıca sıcaklık değişiminin yüzeyde $0.5 \mu\text{m}$ 'den küçük sapmalara neden olacak kadar küçük olduğu durumlarda, sıcaklık farklarının yüzeyin sınıflandırmasında etkisi olmayacağından, kompenzasyon yapılması gereksiz olmaktadır.

Yukarıdaki tüm faktörler gözönüne alındığında, okuma hatası yapılmadığı varsayımıyla ölçü belirsizliği, yükseklik sapması olarak $\pm 1 \mu\text{m}$ düzeyinde deklare edilebilmektedir.

8. Sonuç

Boyutsal ölçümlerde kullanılan cihazların kalibrasyonları çoğunlukla yaygın bir şekilde kullanıcı tarafından yapılmakla birlikte, ölçü yüzeylerinin bu kapsam dışında bırakıldığı gözlenmektedir. Burada temel gerekçe, ihtiyaç duyulan elektronik sensörlü, laserli veya optik (otokolimatör) sistemlerinin maliyetlerinin yüksekliği olmaktadır. Oysa gerek ölçüm gerekse değerlendirme aşamasında titiz bir çalışma yapma zorunluluğu göze alındığında, konvansiyonel yöntemlerin sadece süre olarak değil kalibrasyon hassasiyeti olarak da diğer yöntemlerle karşılaştırılabilir verimliliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, gerek ölçüm gerekse değerlendirme bölümleri olabildiğince sadeleştirilmiş konvansiyonel yöntem, özellikle ölçü yüzeylerinin kullanıcılarının dikkatine sunulmuştur.

TEŞEKKÜR : Bu çalışma, METRONORM A.Ş.'nin desteği ve katkıları ile gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

- 1-CEC bcr information, Intercomparison of Flatness Measurements, Luxembourg, 1992.
- 2-DIN, Taschenbuch Langenprüftechnik 1 Grundnormen Messgerate, Beuth 1991.
- 3-Wolfgang Beyer, Industrielle Winkelmessstechnik, expert verlag 1990.
- 4-PTB Abteilung 5, Precision Engineering, Braunschweig 1986.