

## TELLÜROMETRE CA 1000 İLE KENAR ÖLÇMELERİ

Dr. Müh. Rasim DENİZ

### ÖZET :

Bu yazında, mikrodalga uzaklık ölçmelerinin genel özellikleri, ground swing hatası, Tellürometre CA 1000'in teknik yenilikleri açıklanmakta ve Marmara Bölgesinin değişik kesimlerinde Ülke Nirengi Ağına bağlı olarak tesis edilen ağlarda bu aletle yapılan kenar ölçmelerinin sonuçları verilmektedir.

### 1. GİRİŞ :

Günümüzde, geliştirilmiş olan mikrodalga uzaklık ölçerler ve elektro-optik uzaklık ölçerler farklı üstünlükler sahiptirler. Elektro-optik uzaklık ölçerler kısa boyalarda yüksek presizyon sağlarlar, ölçme zamanları kısadır ve sayısal çıkışlıdırlar. Uzun boyalarda, elektro-optik uzaklık ölçerlerin presizyonlarına ulaşan mikrodalga uzaklık ölçerlerle, iyi olmayan görüş koşullarında (sis, duman, v.b.) gündüz ve gece yöneltme sağlanabilmekte ve ölçme yapılmaktadır. Bu aletlerle büyük ölçme uzaklıklarına (150 km) ulaşılmıştır.

Elektro-optik uzaklık ölçerlerin ölçme uzaklıkları hava koşullarına bağlıdır ve yöneltme için çok iyi görüş gerekmektedir. Bu nedenlerle de mikrodalga uzaklık ölçerler özellikle uzun boyaların ölçülmesinde güncelliklerini korumaktadır.

Tellürometre CA 1000, en yeni mikrodalga uzaklık ölçer modellerinden biridir ve önemli sayılabilen yeniliklere sahiptir. Bu aletin mikrodalga uzaklık ölçerler içindeki yerini belirleyebilmek için mikrodalga uzaklık ölçmelerini kısaca gözden geçirmek uygun olacaktır.

### 2. MIKRODALGA UZAKLIK ÖLÇMELERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ :

Mikrodalga uzaklık ölçerler, dalga boyları 8 mm ile 10 cm arasında değişen taşıyıcı mikrodalgalarla çalışmaktadır. Bu taşıyıcı dalgalarla frekans modülasyonu ile modülasyon dalgaları bindirilmekte ve master istasyonunda, remote istasyonuna gidip gelen modülasyon dalgalarının faz farkları (eski modellerde gidiş-dönüş zamanı) ölçülen uzunluk belirlenmektedir.

Mikrodalga uzaklık ölçmelerindeki hatalar ; alet hataları, atmosferik düzeltme hatası, indirgeme hataları ve ground swing hatası olarak gruplandırılabilir. Bu hatalardan ilk üçü elektro-optik uzaklık ölçmelerinde de oluşan hatalardır.

Aletsel hatalar kalibrasyonla, atmosferik düzeltme hatası çok sayıda atmosferik ölçme yaparak ve bu ölçülerin uygun atmosferik modellerle değerlendirilmesiyle, indirgeme hataları ise daha presizyonlu yükseklik verileri ile giderilebilir. Mikrodalga uzaklık ölçmelerinin karakteristik hatası ground swing hatasıdır.

### 2.1. Ground swing hatası :

Bir mikrodalga uzaklık ölçmesinde, kenar boyunca yayılan taşıyıcı dalga, yer yüzeyine veya başka yüzeylere rastladığında dağılır veya yansır. Yansıyan dalga alıcıya girer ve doğrudan dalga ile birleşir. Alette değerlendirilen bu birleşik dalga doğru olmayan uzunluk değerleri verir. Doğrudan dalga ile elde edilmesi gereken uzunluk değeri ile birleşik dalgadan elde edilen uzunluk değeri ile birleşik dalgadan elde edilen uzunluk değeri arasındaki fark "ground swing hatası" olarak adlandırılır. Bu hatanın büyülüğu; yansıyan dalganın gücüne, yansıyan dalga ile doğrudan dalga arasındaki yol farkına, doğrudan dalganın ve yansıyan dalganın fazlarına bağlıdır.

Ground swing hatası, Fejer ve Wadley (1957) tarafından yaklaşık olarak,

$$\Delta T = \frac{r \cdot \lambda_m}{2\pi} \cos \frac{2\pi \Delta d}{\lambda_c} \sin \frac{2\pi \Delta d}{\lambda_m} \quad (1)$$

eşitliğiyle verilmektedir /1/. Burada;

$\Delta T$  = Ground swing hatası (m)

$r$  = Yansıma katsayısı (çalılık ve engebeli arazide en az 0,1 değerini ve durgun veya donmuş su yüzeyinde ise en çok 0,4 değerini alır.)

$\Delta d$  = Doğrudan dalga ile yansımış dalga arasındaki yol farkı (m)

$\lambda_m$  = Modülasyon dalga boyu (m)

$\lambda_c$  = Taşıyıcı dalga boyu (m) dur.

Yol farkı,

$$\Delta d = \frac{2h_1 h_2}{D} \quad (2)$$

eşitliğinden bulunabilir. Burada;

$h_1, h_2$  = istasyon noktalarının yansıtıcı zeminden  
olan yükseklikleri (m)

$D$  = İki istasyon arasındaki yatay uzunluk (m)  
dur.

Ground swing eşitliği incelendiğinde; bir kenar ölçüsü için  $\Delta d, r, \lambda_M$   
değişmez olacağından,

$$\frac{\lambda_m}{2\pi} \sin \frac{2\pi\Delta d}{\lambda_m} = \Delta = \text{değişmez}$$

elde edilir. Böylece, ground swing hatasının genişliği  $\Delta r$  olacaktır. Eşitlikteki  $\cos(2\pi\Delta d/\lambda_c)$  teriminde taşıyıcı dalga boyu değiştirilirse, ground swing hatası da peryodik olarak değişecektir. Her taşıyıcı dalgaya karşılık elde edilen ince okumaların, bir ince okuma-taşıyıcı dalga koordinat sistemindeki çizimi "ground swing eğrisi" olarak adlandırılır. Bu eğrinin peryodu;

$$K = \frac{\lambda_{c_L} - \lambda_{c_L}}{\lambda_{c_L} \cdot \lambda_{c_L}} \Delta d \quad (3)$$

eşitliğinden bulunabilir. Burada;

$\lambda_{c_L}$  = En küçük taşıyıcı frekansa karşılık dalga boyu

$\lambda_{c_H}$  = En büyük taşıyıcı frekansa karşılık dalga boyu  
dur. Ground swing hatasının peryodik karakteri nedeniyle, doğru uzunluk değerini bulabilmek için tam peryodlu eğrinin elde edilmesi gereklidir.

## 2.2. Ground swing hatasının ölçülerden giderilmesi :

Ground swing hmasını azaltmak ve ölçülerden gidermek için birkaç uygulama vardır. Bunlardan biri, uygun ölçme yöntemi ile bu hatanın belirlenmesi ve ölçülerden giderilmesidir. Taşıyıcı dalga değiştirilerek elde edilen tam peryodu ince okumaların aritmetik ortalaması teorik olarak doğrudan dalga ile elde edilmesi gereken değerdir. Tellürometre ve benzeri modellerde (Electrotape DM-20, Telemeter OG-2, Distameter 111 gibi) bu ölçme yöntemi uygulanır.

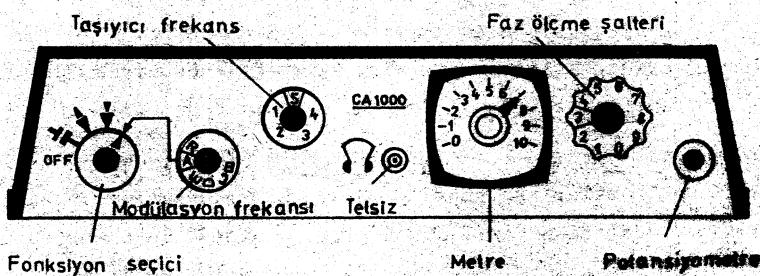
Ground swing hatasını küçültmenin bir yolu da yansımaya olasılığını azaltır. Bunun için beam genişliği küçültülmelidir. Beam genişliği taşıyıcı dalganın bir fonksiyonu olduğundan, taşıyıcı dalga boyu küçültüleerek beam daraltılabilir.

Ground swing hatasının genliği, modülasyon dalga boyuna da bağlıdır. Modülasyon dalga boyu küçültürelere bu genlik bir minimumda tutulabilir. Wild Firmasının geliştirdiği Distomat DI-60 ve aynı ölçme ve çalışma ilkesine sahip olan Siemens-Albiswerke Firmasının ürettiği SIAL MD 60C ve SIAL MD 60S mikrodalga uzaklık ölçerlerinde  $\lambda_A/2=1m$  kullanılmaktadır. Böylece, maksimum ground swing genliği çok küçüldüğünden, taşıyıcı dalga boyu değiştirilerek izlenmesine gerek kalmamıştır. Sonuçta bu aletlerde elektro-optik uzaklık ölçerlerdeki gibi, uzunluk değerleri sayısal çıkışlı olarak elde edilmektedir.

En presizyonlu mikrodalga uzaklık ölçer olan Tellürometre MRA-4'te ise, hem taşıyıcı dalga boyu ve hem de modülasyon dalga boyu küçültülmüştür.

### 3. TELLÜROMETRE CA 1000'İN TEKNİK ÖZELLİKLERİ :

CA 1000, 1973'te pazarlanmıştır. Aletin dizaynı; bütünlük, boyut ağırlık ve maliyet yönünden diğer mikrodalga uzaklık ölçerlerle karşılaştırıldığında oldukça kapsamlı değişim göstermektedir. Bataryasız 2 kg. ve alete takılan nikel-kadmiyum batarya ile 4 kg gelmektedir. (Şekil:1)



Şekil:1 CA 1000'in master Ünitesi

CA 1000'in diğer aletlere göre özellikleri aşağıdaki biçimde sıralanabilir :

- a- Yapım yönünden özellikleri
  - 1- Taşıyıcı dalgalar (3 cm) klystron yerine gun divodlarla elde edilmektedir.
  - 2- Modülasyon frekansları için bir tek kuartz kullanılmaktadır. İnce ölçek ( $\lambda_A$ ) 6 metredir.
  - 3-  $0^{\circ}\text{C}$  nin üzerindeki sıcaklıklarda, sıcaklığa bağlı olmayan kuartz osilatörleri kullanılarak kristalin frekansı termostatsız denetlenmektedir.
  - 4-  $0^{\circ}\text{C}$  nin altındaki sıcaklıklarda ise ısıticilar devreye girerek kristalin frekansı denetlenmektedir.
  - 5- Güç harcaması diğer mikrodalga uzaklık ölçerlerin  $1/10$  u kadardır.
  - 6- Sayısal çıkışlı analog faz farkı Ölçme düzeneyle  $\pm 6$  mm lik okuma doğruluğuna ulaşmaktadır.
  - 7- Karşı istasyonla otomatik frekans bağlantısı vardır.
  - 8- Anten değiştirilebilir. Standart antenle 10 km. büyük antenle 30 km. ölçülebilmektedir.
  - 9- Sistem, bir ünite master ve diğer remote olarak planlanmıştır.
- b- Ölçme teknigindeki yenilikler:
- 1- Beam genişliği nedeniyle ( $20^{\circ}$ ) karşı istasyon çabuk bulunur.
  - 2- Isınma zamanı yoktur.
  - 3- Frekans taşınması otomatik olduğundan ölçme zamanı kısadır.
  - 4- Ground swing eğrisinin genliği metrede izlenerek bulunabilir ve böylece ortalama değer bir defada okunabilir.

#### 4- CA 1000 İLE İLGİLİ ARASTIRMA SONUCLARI :

CA 1000 ile ilgili laboratuar testleri ve arazi ölçmelerinde elde edilen bazı sonuçlar şunlardır.

- Laboratuar çalışmaları sonucu modülasyon frekanslarının çevre sıcaklığı değişimlerinden etkilenmediği kanıtlanmıştır. Ancak kristalin yaşaması nedeniyle yıllık  $1 \cdot 10^{-6}$  mertebesinde ölçek değişimleri bulunmaktadır /2/
- Ortalama kenar uzunluğu 8200 m olan Garmisch-Partenkirchen Test Ağının kenarları CA 1000 ile karşılıklı 2 şer kez ölçülmüş ve çift ölçülerin

değerlendirilmesinden bir kenar ölçmesinin karesel ortalama hatası  $\pm 0,9$  cm bulunmuştur.

- Aynı ağdaki jeodimetre 6BL ölçülerile CA 1000 ölçülerile arasındaki farklardan, bir kenar ölçmesinin karesel ortalama hatası  $\pm 3,8$  cm ( $1,5$  cm +  $0,5$  cm/km) bulunmuştur.

- CA 1000 ölçülerinin sıfır noktası eki de bilinmeyen alınarak dengelemenmesinden, bir kenar ölçmesinin karesel ortalama hatası  $\pm 3,6$  cm bulunmuştur. Aynı ağda MRA-3 ve MRA-101 ile yapılan ölçmelerden, bir kenar ölçmesinin karesel ortalama hatası ise  $\pm 6,8$  cm bulunmuştur /3/.

- Ortalama kenar uzunluğu 20 km civarında olan Kaliforniya Test Ağının CA 1000 ile kenar ölçülerinin sıfır noktası ekide bilinmeyen alınarak dengelemenmesi sonucu, bir kenar ölçmesinin karesel ortalama hatası  $\pm 5,1$  cm bulunmaktadır /4/.

#### 5. CA 1000 İLE 1975-1983 YILLARI ARASINDA YAPILAN KENAR ÖLÇMELERİ :

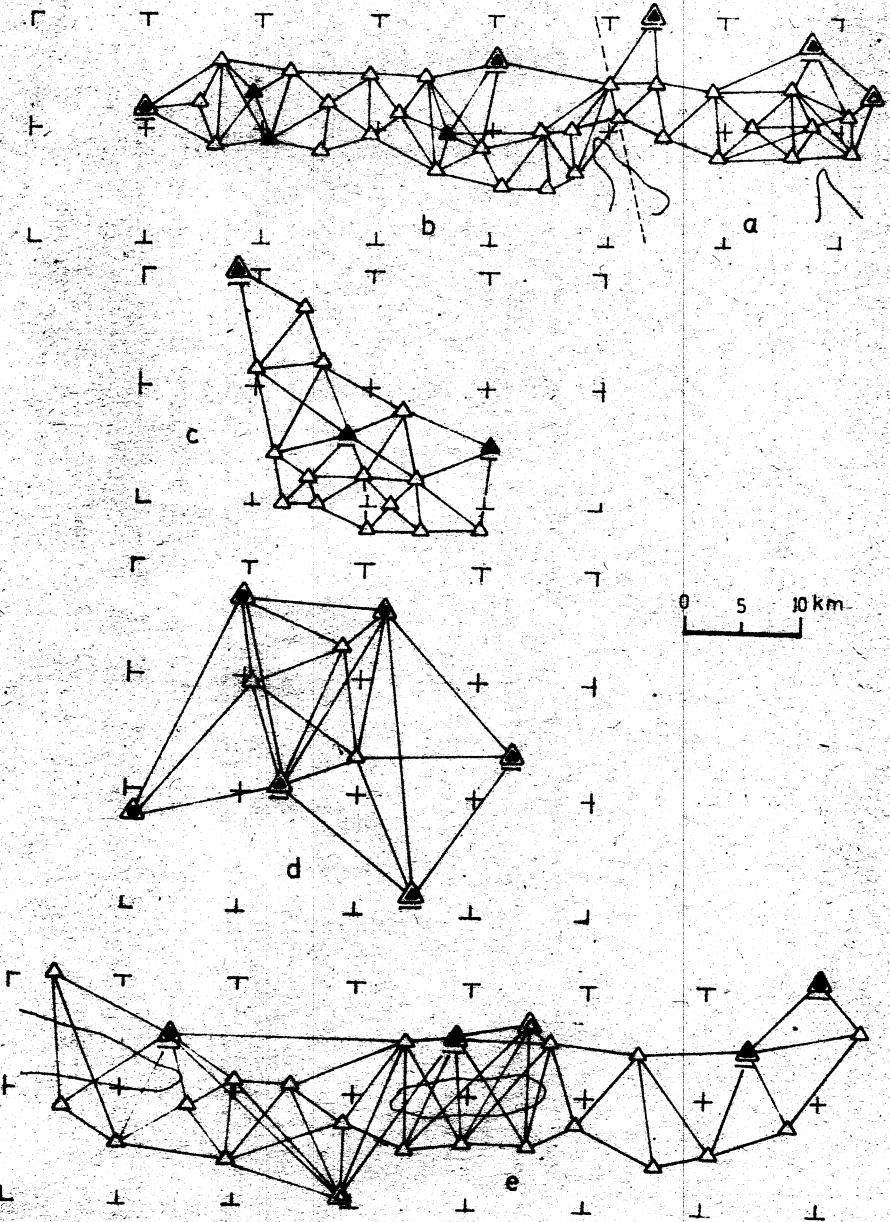
Marmara Bölgesinin değişik kesimlerinde Ülke Nirengi Ağına bağlı olarak tesis edilen ve kenarları CA 1000 ile ölçülen ağlar tarih sırası ile;

- 1- Trakya Otoyolu, Mahmutbey-Bahşayış kesimi nirengi ağı /5/.
  - 2- Trakya Otoyolu, Bahşayış-Kınalı Köprü kesimi nirengi ağı /6/.
  - 3- Anadolu Otoyolu, Çamlıca-Gebze kesimi nirengi ağı /7/.
  - 4- İznik Ağı (1979 yılında ölçüldü)
  - 5- Anadolu Otoyolu, İzmit-Mudurnu Çayı kesimi nirengi ağı /8/.
- dir.

Ağların şekli ve Ülke Nirengi Ağına bağlanma biçimini Şekil:2 de görülmektedir.

Ağların tüm kenarlarının ölçülmesi planlanmış ancak deniz ve göl yüzeyleri, yüksek gerilim hatları, yoğun bitki örtüsü nedenleriyle bazı kenarlar ölçülememiştir. Ölçmeler, ground swing eğrisi izlenerek yapılmış, ölçme sırasında üç noktalarda psikrometreler ile sıcaklık ve aneroid barometreler ile basınç okunmuştur.

Açıklar, Wild T3 ile İznik Ağında 12 seri ve diğer ağlarda 8'er seri ölçülmüştür.

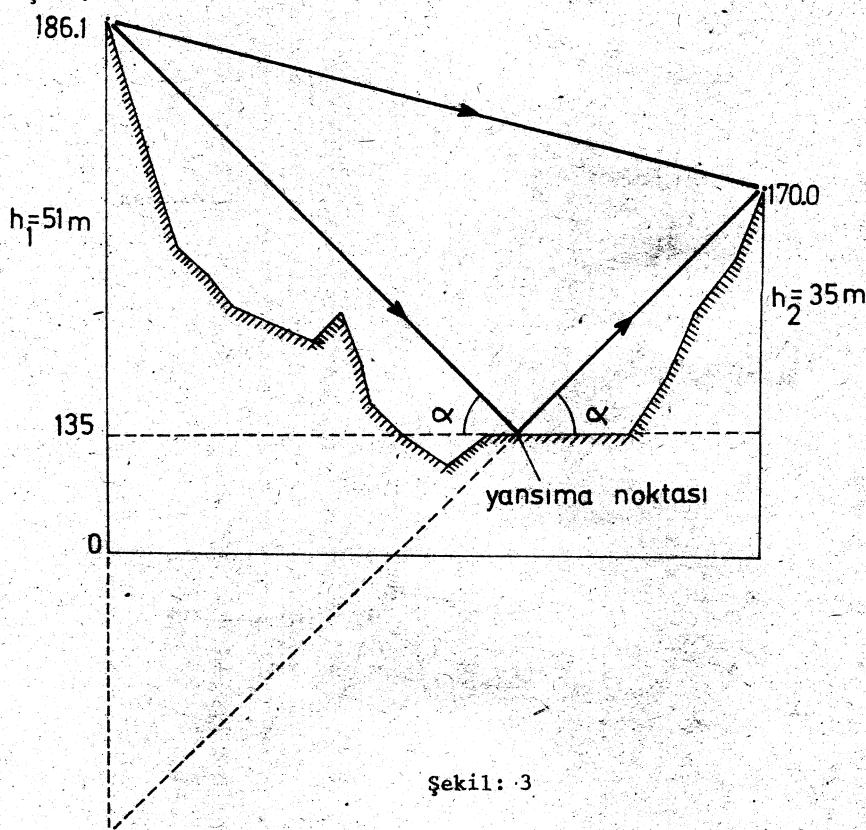


Sekil:2

## 6. ÖLÇÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ :

### 6.1. Ground swing hatasının araştırılması :

CA 1000 ile 1 peryodluk bir ground swing eğrisi elde edebilmek için  $\Delta d=1m$ . ((3) eşitliğinden) olmalıdır. Ölçülen tüm kenarlarda bu koşul sağlandığın- dan peryodik karakterli eğriler elde edilmiştir. Ölçülerden bulunan eğriler ile teorik eğriler karşılaştırılarak, değişik yüzeyler için yansima katsa- yılarının hesaplanması çalışılmıştır. Özellikle yüzeyi düzgün hasat edil- miş buğday tarlaları ile kaplı Bahşayış-Kinalı Köprü ağında, ölçülerden bu- lunan eğriler ile teorik eğriler arasında benzerlikler bulunmuştur. Şekil:3 de profili görülen Kurşunlu Tepe-Keçili Tepe kenarı bu benzerlige örnek alınmıştır.



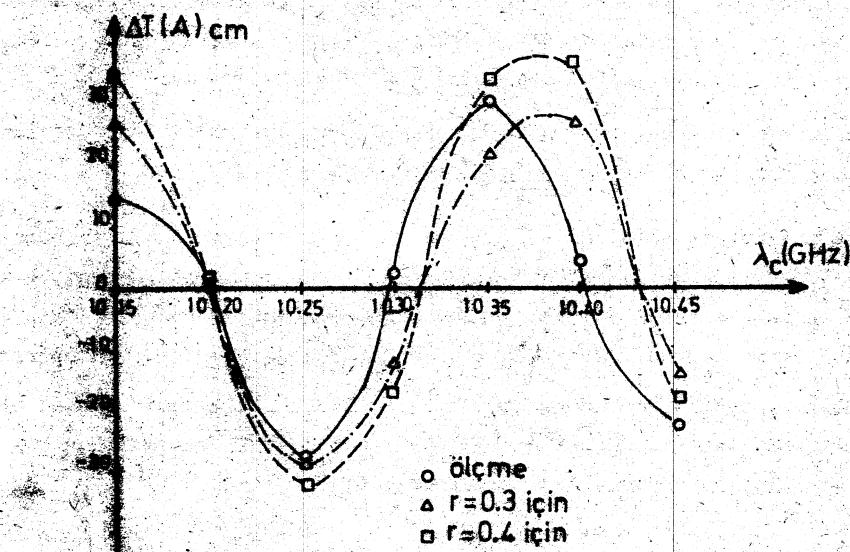
Şekil: 3

Yansıtıcı yüzey, Şekil:3 deki biçimde, düzlem aynalarındaki yansima kuralına uygun olarak bulunabilir. Yansıtıcı yüzeyin yüksekliği belirlendikten sonra, (2) eşitliğinden,  $\Delta d=1,30m$  elde edilir. CA 1000 için;  $\lambda_M=6m, n=1,000325, c = 299792500 \text{ m/s}$  alınarak, (1) eşitliğinden Çizelge:1 değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge : 1

Taşıyıcı dalgalar		Ground swing hatası	
$f_c$	$\lambda_c = \frac{c_0}{n_0 f_c}$	$r = 0,3$ için	$r = 0,4$ için
Ghz	cm	cm	cm
10,15	2,952661	27,6	36,8
10,20	2,938187	0,9	1,2
10,25	2,923855	-27,2	-36,3
10,30	2,909661	-12,2	-16,2
10,35	2,895605	22,2	29,6
10,40	2,881684	28,1	37,4
10,45	2,867896	-13,4	-17,9

Ölçülerden bulunan eğri ve Çizelge:1 e göre çizilen ground swing egrileri Şekil:4 te görülmektedir.



Tüm kenar ölçmelerinde elde edilen en büyük ground swing genliği ve ortala-  
ma genlik Çizelge:2 de verilmiştir. Sonuçlar, (1) eşitliğine göre CA 1000  
için bulunan  $\Delta T_{max} = 0,38$  m değerinden küçüktür.

Yansımayı azaltan ve dalgaları yutan engebeli, ağaçlarla kaplı uzun  
kenarlarda ve yüksekten geçen ölçme dalgaları için ground swing genliği  
küçülmektedir. Örneğin, İznik Ağında bu koşul sağlandığından genlik en  
küçüktür.

Mikrodalga uzaklık ölçmelerinde, aritmetik ortalama ile bulunan uzun-  
luk değerindeki ground swing hatası için belirli bir değer verilmemektedir.  
Ancak /9/ da, bu hatanın genliğin 77,5'ü kadar olabileceği belirtildmiştir.

#### 6.2. Ağların açı-kenar ölçülerine göre dengelenmesinin sonuçları :

Ağların, açı ve kenar ölçülerine göre dengelenmesinden elde edilen so-  
nuçlar Çizelge:2 de görülüyor.

Açı ölçme presizyonları; ağların, iki noktanın koordinatları değişmez  
alınarak doğrultulara göre dengelenmesinden bulunmuştur.

Nokta konum presizyonları; Ülke Nirengi Ağı noktalarının koordinatları  
(Şekil:2 de altları çizili noktalar) değişmez alınarak ağların, doğrultu-  
lara, doğrultu ve kenarlara göre dengelenmesinden bulunmuştur.

Doğrultu-kenar dengelenmesinden bulunan kenar düzeltmelerinin ortalama-  
sı ve en büyük kenar düzeltmesi  $\frac{|V_{ort}|}{|V_{max}|}$  sütununda görülmektedir.

Ölçek katsayısı; ağların, bir noktanın koordinatları ve bir açılık  
açısı değişmez alınarak dengelenmesinden hesaplanan koordinatlarının, Ülke  
Ağının bu ağlarla ortak olan noktalarının koordinatlarına (Şekil:2 de orta-  
ları siyah) Helmert transformasyonu ile dönüştürülmesinden hesaplanmıştır.

Marmara Bölgesi'nde, 3. dereceye kadarki (bu derece dahil) noktalardan olu-  
şan Ülke Nirengi Ağı'nın ölçüği ile CA 1000 in ölçüği arasında 1:350 000  
den daha iyi Ölçek uyuşumu olduğu görülmektedir.

Cizelge : 2

Ağın adı, Ölçülen Kenar sayıısı	Ortalama kenar uzunluğu (km)	Açı pres. (m) $\frac{m_{Port}}{m_{Max}}$	$\frac{m_{Port}}{m_{Max}}$	Açı-Kenar (cm)	Açı-Kenar ve profil (cm)	Karakteristik bitki örtüsü ve profil (cm)	Ground swing genliği ort./max (cm)	$V_{max}$ $V_{max}$ (cm)	$V_{max}$ ort. (cm)	Ölçek Katsayısl k
Mahmutbey- Bahşayış 44 kenar	5.4	± 3.8	$\frac{\pm 13.0}{\pm 16.4}$	$\frac{\pm 5.4}{\pm 6.5}$	Seyrek ağaç ve bugday tarlları, Yayvan U				1.000 001 28	
Bahşayış- Kinalı Köprü 58 kenar	4.9	± 3.7								
Camlica- Gebze 41 kenar	5.4	± 1.6	$\frac{\pm 5.3}{\pm 7.1}$	$\frac{\pm 2.5}{\pm 4.2}$	Hasat edilmiş bugday tarlları, göl ve mera, Yayvan U	$\frac{20}{37}$	$\frac{5.8}{19.9}$		1.000 001 41	
Iznik ağı 28 kenar	12.0	± 4.0	$\frac{\pm 10.4}{\pm 16.7}$	$\frac{\pm 8.3}{\pm 10.2}$	Orman ve binalar Yayvan U	$\frac{7}{35}$	$\frac{3.4}{12.0}$		0.999 999 42	
Izmit- Mudurnu Çayı 47 kenar	11.4	± 5.0	$\frac{\pm 12.7}{\pm 21.2}$	$\frac{\pm 9.3}{\pm 15.5}$	Çam ormanı, Keskin U	$\frac{4}{9}$	$\frac{1.8}{6.1}$		0.999 997 20	
					Yoğun bitki örtüsü göl ve körfez, Yayvan U,L	$\frac{5}{15}$	$\frac{6.5}{19.7}$		1.000 001 53	

6.3. Günlük kenar ölçme sayısı :

CA 1000 ile bir kenar ölçmesi, istasyonlar arasında bağlantı sağlandıktan sonra 15 dakikada yapılmaktadır. Yüksek gerilim hatlarına ve telefon hatlarına çok yakın veya bu hatlar arasından geçen kenarların ölçümlesinde, istasyonlar arasında bağlantı kurma güçlükleri ortaya çıkmıştır. Bunun dışında, tüm ölçmelerde bağlantı kolayca sağlanmıştır.

Günlük kenar ölçme sayısı, mevcut ulaşım vasıtalarına ve noktalara ulaşım bağlı olarak değişmekte beraber, ortalama bir değer verilebilir. İznik Ağında ve İzmit-Mudurnu Çayı Ağında iki vasıta ile diğer ağlarda tek vasıta ile çalışılmıştır. Buna göre, bir günde ortalama 10 saatlik bir çalışma ile ortalama 6-10 arasında kenar ölçülmüştür.

## **YARARLANTILAN KAYNAKLAR**