

## ANKARA GPS TEST AĞININ OLUŞTURULMASI

Ar.Gör.Dr. Nihat ERSOY

Ar.Gör. Fahri KARTAL

### ÖZET :

Yersel yöntemlerle oluşturulan klasik jeodezik ağların mevcut durumları ve dezavantajlarından bahsedilerek, bu ağların süratli ekonomik ve çok daha duyarlı olarak oluşturulması için GPS ölçme yönteminin önemi vurgulanmıştır.

Bu çalışmada tüm kullanıcıların kullanımına açık olmak amacı ile oluşturulan 8 noktalı Ankara GPS Test Ağının, GPS ölçüleri ile değerlendirilmesi ve analizi yapılarak ülke sisteminde tüm noktaların üç boyutlu koordinatları çok duyarlı bir şekilde hesaplanmıştır.

### 1. GİRİŐ

Ülkemizde sanayileşmenin getirdiği kentleşme toprak rantını da beraberinde getirmiştir. Böylece toprağın kullanımı, planlaması ülke menfaatleri için önemli bir unsur olmaktadır. Planlama yapılabilmesi için de nitelikli altlıklara olan ihtiyaç belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Bu altlıkların nitelikli olması yanında sayısal olması ve sürekli güncelleştirilmesi gerekmektedir.

21. yüzyıla girerken bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler mesleğimizde de birçok gelişmeye sebebiyet vermiştir. Yüksek hızdaki bilgisayarlar, analitik çiziciler, grafik workstation, total station, GPS alıcılar sayısal aletlerin uygulamaya girmesi ile çizgi haritacığundan sayısal haritacığa bir geçiş başlamıştır.

Bu teknolojik gelişmeler doğrultusunda ihtiyacımıza cevap verebilecek alternatiflerin yapılması şartlı sağlıklı ve ekonomik olabilmektedir. Böylece ihtiyaçlara anında cevap verebilen karar mekanizması, statik bir yapıdan dinamik bir yapıya kavuşturulmu olacaktır.

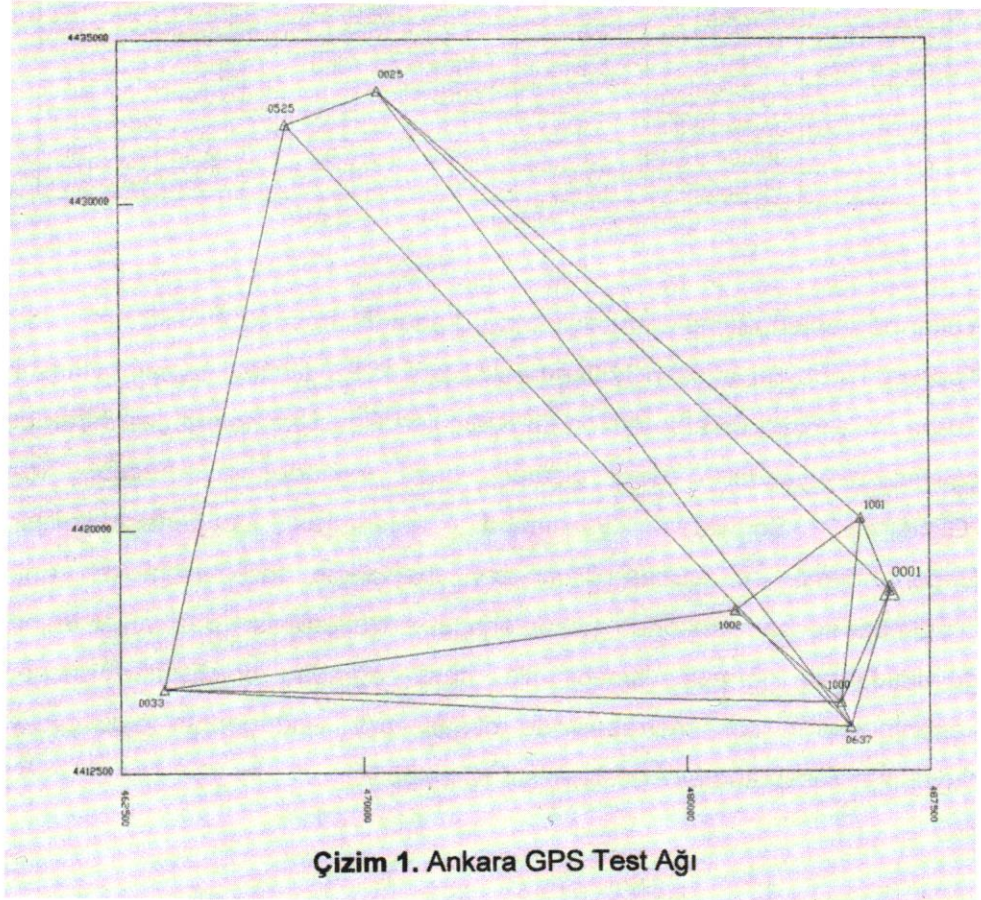
## 2. KLASİK JEODEZİK AĞLAR

Alternatifin sağlıklı ve duyarlı yapılabilmesi için duyarlı nirengi kontrol noktalarına ihtiyaç vardır. Bu amaçla kontrol noktaları, günümüzde kadar sadece klasik yöntemlerle tesis edilmekteydi. Harita çalışmalarında tesis edilen nirengi noktalarının ölçmeleri ve hesapları, yüksek derecedeki noktalara dayandırılarak yapıldığından, çalışma bölgesinde koordinat belli UJA (Ulusal Jeodezik Ağ) noktasına ihtiyaç vardır. Bu noktalar hassas çalışmalarda bazen yeterli doğruluğu vermeyebilirler, özellikle skatırma noktaları için yeterli duyarlıktan bahsetmek imkansızdır.

Klasik ağlarda ağnoktasını belirlemek için doğrultular, ölçeğini belirlemek içinde kenar ölçmeleri yapılır. Bu ölçmeleri yapan aletlerin duyarlılığına insan faktörünün yaptığı hatalar eklenince klasik yöntemle oluşturulan ağların duyarlılığı iyice düşmektedir. Duyarlılığından dolayı, noktalar arası görüş zorunluğu, her hava şartında çalışmamak ve ölçmelerin uzun sürmesi klasik yöntemlerin dezavantajları olarak sayılabilir. Bu nedenledir ki, kontrol ağlarının tesisi, zaman ve para olarak ölçme ve harita projelerinde önemli bir yer tutar.

### 3. ANKARA GPS TEST AĞI

GPS yönteminin hem jeodezik hemde başka amaçlar için ülkemizde de yoğun olarak kullanılmaya başlanması ile, her kurumun bu yöntemle kendi test ağını kurup kullanıcılara kapalı tutması nedeni ile 24 saat ölçü almaya elverişli doğruluğu yüksek ve tüm kullanıcılara açık olmak amacı ile daha önce mevcut olan 0025 (Susuz köyü), 0033 (Meşedağ) ve 0637 (Oran) numaralı UJA noktaları ile 0525 numaralı ASKİ noktası ve 0001 numaralı Arsa Ofisi noktalarına ilaveten çatı üzerine tesis edilen 1000 numaralı Dikmen ve 1002 numaralı ODTÜ noktaları ile Bahçeli de zeminde tesis edilen 1001 numaralı 3 yeni noktanın eklenmesi ile Ankara sıfıncı derece GPS Test Ağı oluşturuldu (Çizim.1).





Ankara GPS test ağını oluşturan tüm noktalar 15° lik yükseklik açısı üzerinden GPS sinyallerini alabilecek gökyüzü görüşüne açık noktalardır. Ölçme yapılacak bölgenin yaklaşık koordinatlarına göre, ölçmelerin yapılacağı tarihlerdeki uydu sayıları ve uydu duyarlık bilgileri (PDOP) göz önüne alınarak, günün en uygun ölçme saatlerini ve ölçme sürelerini içeren statik GPS ölçme planı hazırlanmıştır (Çizelge.1).

Tarih	Zaman	Oturum No	Ölçülen Nokta Numaraları	Kullanılan Alıcı
03.06.1994	07:00-09:00	1	0001,0025,0637	Trimble 4000 SSE
	10:30-12:00	2	0525,0025,0637	Trimble 4000 SSE
04.06.1994	17:00-18:30	3	0525,0033,0637	Trimble 4000 SSE
22.12.1995	09:00-11:00	4	1001,1000,0001	Trimble 4000 SSE
	12:00-14:00	5	1002,1000,1001	Trimble 4000 SSE
	15:00-17:00	6	1002,1000,0033	Trimble 4000 SSE
23.12.1995	10:00-12:00	7	0637,1000	Trimble 4000 SSE
05.01.1996	14:00-15:30	8	0001,0637,1000	Topcon Turbo SII
	16:00-17:30	9	0001,1000,1001	Topcon Turbo SII
06.01.1996	06:30-08:00	10	1000,1001,1002	Topcon Turbo SII
	08:30-10:00	11	0033,1000,1002	Topcon Turbo SII
	14:30-16:00	12	0025,1001	Topcon Turbo SII

**Çizelge 1.** Ankara GPS Test Ağı

Yukarıda verilen ölçme planı dahilinde 3 adet Trimble 4000 SSE ile 3 adet Topcon Turbo SII alıcıları kullanılarak Statik GPS ölçüleri tamamlanmıştır. Turbo SII alıcıları ile elde edilen GPS ölçüleri Rinex formatına çevrilerek bu çalışmada yapılan tüm ölçüler baz vektörlerinin hesabı için "GPSurvey Software" yazılımına aktarılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda Tam sayı başlangıç faz bilinmeyenlerinin çözülmesi ile baz vektörleri hesaplanmıştır. Hesaplanan baz vektörlerinin duyarlıklarını görmek amacı ile test ağında oluşturulan üçgen kapanmalarının mm mertebesinde olması baz vektörlerinin oldukça iyi duyarlılıkta hesaplandığını göstermiştir (Çizelge.2).

Üçgen Köşe No'ları	Kapanış X(Yönünde) mm	Kapanış X(Yönünde) mm	Kapanış X(Yönünde) mm	Toplam Mesafe m	Toplam Hata ppm
1000,0001,1001	0.3	0.2	0.3	11941	0.03
1000,1002,1001	4.8	6.9	3.1	14904	0.60
1000,1002,0033	3.2	3.5	0.3	43135	0.11
1000,0637,0001	6.7	6.6	30.0	8957	3.51
0025,0639,0001	0.1	0.3	0.3	50757	0.01
0025,0637,0525	17.8	17.7	32.1	52850	0.77
0033,0637,0525	4.9	0.6	4.9	64419	0.10

**Çizelge 2.** Ankara Test Ağı Baz Vektörleri İçin Üçgen Kapanmaları

#### 4. GPS BAZ VEKTÖRLERİNİN DENGELENMESİ

8 noktalı Ankara GPS Test Ağı'nın iç duyarlılığını gerçekçi bir şekilde belirlemek amacı ile dengeleme, bir noktanın koordinatlarının sabit alınması ile serbest ağı dengelemesi şeklinde en küçük kareler yöntemine göre Geolab paket yazılımı ile yapılmıştır. Dengelemelerde her GPS baz vektörü için GPS baz vektörü hesaplarında elde edilen varyans kovaryans matrisleri kullanılmıştır. Ayrıca anten yüksekliği ve merkezleştirme hatası olarak 5 mm'lik bir konum hatası dengelemelere eklenmiştir.

##### 4.1. WGS-84 Datumunda Dengeleme

Hesaplanan GPS baz vektörlerinin Geolab dengeleme yazılımına aktarılması ile 0001 nolu noktanın WGS-84 koordinatları,

$$\varphi = 39^{\circ} 53' 47''.3861 \quad \text{Enlem}$$

$$\lambda = 32^{\circ} 50' 22''.3462 \quad \text{Boylam}$$

$$h = 1034.00 \text{ m} \quad \text{Elipsoid yüksekliği}$$

sabit alınarak WGS-84 datumunda dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonucu ile ilgili istatistiksel bilgiler ile dengeli koordinatlar ve hata elipsoidinin eksenleri Çizelge.3 ve 4 verilmiştir.

Ankara GPS Test Ağı		İstatistiksel Bilgiler		
Sabit Nokta Sayısı	1	Dengelemenin Ortalama Relatif Hatası RMS = 2.44 ppm		
Serbest Nokta Sayısı	7			
Toplam Nokta Sayısı (k)	8			
GPS Baz Vektörleri		Bağıl Hatalar (ppm)		
Vektör Sayısı (m)	28	Minimum = 1.19		
Vektör Bileşenleri Sayısı (n = 3m)	84	Maksimum = 8.46		
Dengeleme Bilgileri		Konum Hataları (cm)		
Sabit Sayısı (d = 3 koordinat sabiti)	3	$m_\phi$	$m_\lambda$	$m_h$
Parametre Sayısı (u = 3k)	24	Max = 3.2	Max = 2.2	Max = 2.8
Serbestlik Derecesi (f = n + d - u)	63	RMS = 1.8	RMS = 1.3	RMS = 1.9

**Çizelge 3.** WGS-84 Datumunda Dengeleme Sonucu İstatistiksel Bilgiler

Nok No :	Enlem $\phi$ (° , ' , ")	Boylam $\lambda$ (° , ' , ")	Elipsoid Yükseklği (m)	GK Kuzey (m)	GK Doğu (m)	Hata Elipsoidi		
						A (cm)	B (cm)	C (cm)
0001	395347.386	325022.346	1034.000	4418048.945	486277.085	0.0	0.0	0.0
1000	395155.982	324919.419	1264.841	4414615.822	484775.322	1.0	0.0	1.0
1001	395500.950	324944.864	935.138	4420319.487	485390.985	1.0	0.0	1.0
0025	400204.398	323917.630	1040.108	4433422.916	470545.160	2.0	1.0	1.0
1002	395328.669	324701.930	973.142	4417481.697	481514.540	1.0	1.0	1.0
0033	395209.174	323438.517	1287.702	4415093.018	463840.827	2.0	1.0	1.0
0637	395131.200	324931.681	1340.025	4413850.909	485065.273	1.0	0.0	1.0
0525	400130.668	323716.881	977.555	4432394.193	467677.951	2.0	1.0	1.0

**Çizelge 4.** WGS-84 Datumunda Dengeleme Sonucu Nokta Koordinatları

#### 4.2. ED-50 Datumunda Dengeleme

Ülkemizde ölçme çalışmaları ED-50 datumunda yapıldığından test ağını oluşturan yeni noktalarında ülke koordinat sisteminde koordinatlarının hesaplanması gerekir. Bunun için WGS-84 ve ED-50 datumunda koordinatları bilinen eştenik noktaların yardımı ile üç boyutlu uzayda 7 parametrelili (3 kayıklık, 3 dönüklük, 1 ölçek faktörü) benzerlik dönüşümü yapılmıştır. Dönüşüm parametreleri ve koordinatlara gelen düzeltmeler hesaplanmıştır (Çizelge.5 ve 6).



Nokta No	ED-50 Datumunda Koordinatlar			WGS-84 Datumunda Koordinatlar		
	$\phi$	$\lambda$	h	$\phi$	$\lambda$	h
0025	400207.1853	323918.3549	1040.2800	400204.3985	323917.6299	1040.1128
0033	395211.9763	323439.2510	1287.6200	395209.1740	323438.5175	1287.7131
0637	395134.0017	324932.3921	1339.9600	395131.2003	324931.6814	1340.0207

**Çizelge 5.** Datuamlar Arası Dönüşüm İçin Dengeli Koordinatlar

Nok. No	ED-50 Koordinatlarına Gelen Düzeltmeler						Dönüşüm Parametreleri			
	dx	dy	dz (m)	d $\phi$	d $\lambda$	H (m)	Tx	104.317±7.50	Wx	0.000 ± 0.00
0025	-0.050	0.034	0.029	0.037	0.073	0.000	Ty	87.340 ± 4.81	Wy	0.000 ± 0.00
0033	0.011	0.001	-0.019	-0.021	-0.007	-0.005	Tz	108.409 ± 7.41	Wz	0.000 ± 0.00
0637	0.039	-0.035	-0.009	-0.016	-0.066	0.004	k	1.0000063		6.34 ppm
							Dönüşümün Ortalama Hatası		0.040 m.	

**Çizelge 6.** WGS-84 ve ED-50 Datuamları Arası Dönüşüm Özeti

Test ağını oluşturan alanın küçük olması nedeni ile dönüklük açıları belirlenemeyeceğinden sıfır alınmıştır. Baz vektörlerinde orijin kayıklığından arındığını dikkate alarak sadece WGS-84 datumunda hesaplanan baz vektörlerine dengeleme sonucu bulunan 6.34 ppm' lik bir ölçek farkı düzeltilmesi getirilerek WGS-84 datumunda hesaplanan baz vektörleri ED-50 datumuna dönüştürülmüştür.

ED-50 datumuna dönüştürülen baz vektörlerinin ölçü olarak alınması ile dengeleme; ED-50 datumunda koordinatları bilinen 0025, 0033 ve 0637 nolu noktaların sabit alınması ile ED-50 datumunda yapılmıştır. Dengeleme sonucu ile ilgili istatistiksel bilgiler ile dengeli koordinatlar ve hata elipsoidinin eksenleri Çizelge.7 ve 8 verilmiştir.

Ankara GPS Test Ağı		İstatistiksel Bilgiler		
Sabit Nokta Sayısı	3	Dengelemenin		
Serbest Nokta Sayısı	5	Ortalama Relatif Hatası		
Toplam Nokta Sayısı (k)	8	RMS = 11.40 ppm		
GPS Baz Vektörleri		Bağıl Hatalar (ppm)		
Vektör Sayısı (m)	17	Minimum = 1.73		
Vektör Bileşenleri Sayısı (n = 3m)	51	Maksimum = 44.17		
Dengeleme Bilgileri		Konum Hataları (cm)		
Sabit Sayısı (d = 3 koordinat sabiti)	9	$m_e$	$m_\lambda$	$m_h$
Parametre Sayısı (u = 3k)	24	Max =6.4	Max = 4.5	Max = 7.7
Serbestlik Derecesi (f = n + d - u)	36	RMS =4.9	RMS= 3.9	RMS= 6.4

**Çizelge 7.** ED-50 Datumunda Dengeleme Sonucu İstatistiksel Bilgiler

Nok No :	Enlem $\phi$ (° ' ")	Boylam $\lambda$ (° ' ")	Ortometrik Yükseklik (m)	GK Kuzey (m)	GK Doğu (m)	Hata Elipsoidi		
						A (cm)	B (cm)	C (cm)
0001	395350.184	325023.055	998.030	4415210.805	486293.466	5.0	3.0	5.0
0025	400207.185	323918.355	1004.140	4433584.850	470561.360	0.0	0.0	0.0
0033	395211.976	323439.251	1251.840	4415254.891	463857.040	0.0	0.0	0.0
0525	400133.457	323717.611	941.630	4432556.167	467694.163	5.0	4.0	6.0
0637	395134.002	324932.392	1304.100	4414012.770	485081.660	0.0	0.0	0.0
1000	395158.783	324920.130	1228.920	4414777.670	484791.703	4.0	3.0	5.0
1001	395503.746	324945.575	899.160	4420481.372	485407.366	5.0	4.0	7.0
1002	395331.468	324702.645	937.210	4417643.567	481530.899	6.0	5.0	8.0

**Çizelge 8.** ED-50 Datumunda Dengeleme Sonucu Nokta Koordinatları

Çizelgelerden görüleceği gibi konum hataları yaklaşık 2-3 misli büyümesine rağmen ED-50 datumundaki ortalama relatif hata 11.4 ppm bulunmuştur. Elde edilen ortometrik yükseklikler 5. bölümde açıklanan yöntemle bulunmuştur

## 5. ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERİN HESABI

GPS yöntemi ile relatif olarak konumlandırılan noktaların koordinatları ya kartezyen (X,Y,Z) veya elipsoidal ( $\phi, \lambda, h$ ) koordinatlar olarak elde edilir. Bu nedenle iki nokta arasındaki yükseklik farkı da elipsoid yükseklik farkıdır.



Halbuki harita ve ölçme uygulamalarında bizim yaygın olarak kullandığımız sistem H = ortometrik (ortalama deniz seviyesinden) yüksekliklerdir. Elipsoid yüksekliği ile ortometrik yükseklik arasında,

$$H = h - N \quad (1)$$

bağıntısı vardır. Burada H, h ve N değerleri sırası ile ortometrik, elipsoid ve geoid yüksekliklerini ifade etmektedirler. Çekül sapmaları ihmal edildiğinde iki nokta arasındaki (A ve B) kot farkı için,

$$H_B - H_A = (h_B - h_A) - (N_B - N_A) \quad (2)$$

eşitliği yazılır. Eğer iki nokta arasındaki geoid ve elipsoid yükseklik farkları (dN ve dh) biliniyorsa, (1) nolu bağıntıdan ortometrik yükseklik farkını hesaplamak mümkündür. Elipsoide ait dh farkı GPS ölçülerinden bilindiğine göre burada sorun geoid yükseklik farkı dN ' in hesaplanmasındadır. dN geoid yükseklik farkının hesabı; Gravimetrik Hesap, Yerel Geoid Geçirme (Yüzey geçirme) ve Global Geoid Hesabı olmak üzere 3 yaygın yöntemle belirlenmektedir.

Bu çalışmada, Gravimetrik Hesap yöntemi yeterli sıklıkta gravite değeri olmadığından, Global Geoid Hesabı da jeodezik olarak yeterli duyarlılığı vermediğinden dolayı uygulanamamıştır. Ankara GPS test ağında ortometrik yüksekliklerin hesabı için Ankara' da hesaplanan yerel geoidden faydalanılmıştır.

Ankara Geoidi, ASKİ Ankara Metropolitan Sayısal Harita Üretimi projesinde hesap edilmiştir. Bu projede yaklaşık olarak 5-10 km aralıklı ortometrik yüksekliği bilinen veya hesaplanan 42 noktada GPS ölçüleri yapılmıştır.

Bu ölçülerden hesap edilen elipsoid yükseklikleri yardımı ile hesaplanan geoid yüksekliklerinden analitik bir yüzey geçirerek Ankara Geoidi oluşturulmuştur.

Bu çalışmaya konu olan test ağımızda, Geoidi hesaplanan bölge içerisinde bulunduğundan, hesaplanan geoid yükseklikleri ve 8 noktaya ait elipsoid yükseklikleri yardımı ile 0.029 m RMS duyarlığında Analitik bir yüzey (Geoid) geçirmek sureti ile 8 noktaya ait geoid yükseklikleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu yükseklikler yardımı ile (1) ve (2) nolu eşitliklerle Ankara GPS test ağındaki ortometrik yükseklikler bulunmuştur.

## 6. SONUÇ

Ankara GPS test ağının GPS yöntemi ile oluşturulması sonucunda, Ülke datumunda yersel yöntemlerle koordinatları elde edilen noktalara göre çok daha duyarlı bir şekilde elde edilerek kullanıcıların kolaylıkla yararlanabileceği güvenilir bir üç boyutlu ağ oluşturulmuştur.

Ayrıca analitik bir yüzey geçirilerek bu test ağını oluşturan bölgenin geoid yükseklikleri belirlendiğinden, test ağını oluşturan noktaların ortometrik yükseklikleri duyarlı bir şekilde elde edilerek kullanıcıların hizmetine sunulmuştur.

## KAYNAKLAR

1. **EREN** Kamil, "GPS Surveying (Lecture Notes)" Ministry of Municipal and Rural Affairs Deputy Ministry for Town Planning Surveying and Cadastral Department, Kingdom of Saudi Arabia, 1992.
2. **EREN** Kamil, **KOCAMANOĞLU** Mehmet, "GPS ve Çağdaş Haritacılık", Ankara, 1995.
3. **EREN** Kamil, **UZEL** Turgut, "GPS Ölçmeleri", YTÜ Matbaası, Yayın No:301, İstanbul, 1995.
4. **ERSOY** Nihat, "İstanbul Nirengi Çalışmalarının Yersel ve GPS Ölçüleri ile Değerlendirilmesi ve Analizi", Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, Ocak 1997.
5. **KARTAL** Fahri, "Modern Gözlem Teknikleri ve GPS", Y.T.Ü. İstanbul, 1991.