

# ANKARA TEST AĞINDA GPS ÖLÇÜLERİİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İbrahim KINIK

Kemal ŞAHİN

İlhan ŞANLI

## ÖZET

Hızla gelişen Uydu Jeodezisi ve özellikle GPS jeodezik ve fotogrametrik problemlerin çözümünde yepyeni ıufuklar açmaktadır. Esas olarak askeri amaçlarla geliştirilen ve en son olarak Körfez Savaşında sonucu belirleyecek düzeyde yoğun olarak kullanılan NAVSTAR GPS sistemi yakın gelecekte günlük yaşamda vazgeçilmez bir yer alacaktır.

Günümüzde GPS teknigiyle dünyanın herhangi bir yerinde, kullanılan uydu ephemerisi ve ölçü süresine bağlı olarak 50cm'den 10m'ye değişen duyarlıklarla üç boyutta mutlak konum belirlemek olasıdır. GPS sisteminin yüksek doğruluk gerektiren global ve bölgesel kabuk hareketlerinin belirlenmesi, ülke temel jeodezik ağlarının iyileştirilmesi ve lokal ağların oluşturulması gibi bilimsel ve klasik mühendislik ölçmelerinde relativ konum belirleme duyarlıklarını 0.01-100ppm arasında değiştirmektedir.

Bu yazının amacı, GPS ile ilgili kavramları kısaca açıklamak ve ANKARA bölgesinde tesis edilen GPS Test Ağında yapılan GPS ölçü ve değerlendirilmeleri hakkında açıklayıcı bilgi vermektir.

## ABSTRACT

*The Satellite Geodesy, especially GPS, in its rapid ascension is opening new horizons in solving geodetic and photogrammetric problems. The NAVSTAR GPS, originally was improved for the military purposes and recently proved its best in the Gulf war, will play an indisputable role in daily life applications of near future.*

*Nowadays it is possible to determine three dimensional absolute position with GPS anywhere on the earth in accuracy varying from 0.5m to 10m depending on observation period and satellite ephemeris used. Accuracy of relative positioning achieved by GPS varies from 0.01 to 100ppm in scientific and engineering projects requiring high accuracy such as monito-*

*ring of global and regional crustal motion, redefinition of national primary geodetic networks and establishing and/or densification of local networks.*

*The purpose of this study is to define some of the concepts of GPS and present the evaluations about observations and computations of Ankara Test Network established in Ankara region.*

## 1. GİRİŞ

1973 Yılından beri süratle gelişmekte olan Global Positioning System (GPS), Jeodezi ve Fotogrametri problemlerinin çözümünde yepyeni olanaklar sunmaktadır. Haritacılıkta çok daha uzun zamandan beri kullanılmakta olan klasik ölçme tekniklerinin kontrol noktaları arasında görüş gereği, bunun için ölçme faaliyetlerinde harcanan yoğun çaba, zaman, ulaşım problemleri, hava koşullarına bağlılık ve buna karşılık anlık konumlama ihtiyaçlarının karşılanamaması uydı jeodezisinin hızla gelişmesiyle problem olmaktan çıkmaktadır. 1973 Yılına kadar yer yakını uydularla geliştirilen TRANSİT sistemi, bir noktanın konumunun yaklaşık 1m hata ile belirlenebilmesi için birkaç günlük ölçü ve duyarlı efemerisler ile uzun süren ölçü sonrası değerlendirmeleri (post processing) gerektiriyordu. Yaklaşık 90 dakika aralıklarıla izlenebilen bir TRANSİT uydusu ile ancak çok alçak hızda navigasyon olanağı idi. Bu sorunların çözümü için I. Smith (1964), R. Easton (1970) ve C. Counselman (Massachusetts Institute of Technology, MIT) (1972) tarafından önerilen uydı sistemi ve bu uydulardan yayınlanacak radyo dalgaları ve zaman kodlarının yerdeki alicılarda kaydedilmesi fikri ile GPS'in jeodezik amaçlı kullanımının temelleri atılmış oldu. Counselman ve Shapiro, ilk kez GPS taşıyıcı sinyalinin (carrier beat phase) farklı alicılarda aynı anda kaydedilen fazlarının farklarını (differencing) kullanarak iki nokta arasındaki konum farklarının birkaç milimetre (kısa bazlar) doğrulukla ölçülebileceğini gösterdi /4/.

Başlangıçta ölçüler, iki veya daha çok GPS alıcısının eş zamanlı olarak birkaç saat ölçü yapması (static surveying) şeklinde yürütüldü. Daha sonra Remondi (1986), sabit bir alıcı etrafında hareketli alicilar ile, kısa bazların (20km'ye kadar) birkaç dakikada santimetrenin altında doğrulukla ölçülebileceğini ortaya koydu. Gerçekte oldukça karmaşık olmasına karşın, kulancılığa son derece kolaylaştırılmış çözümler sunan GPS bugün ve gelecekte kaçınılmaz bir yol olacaktır.

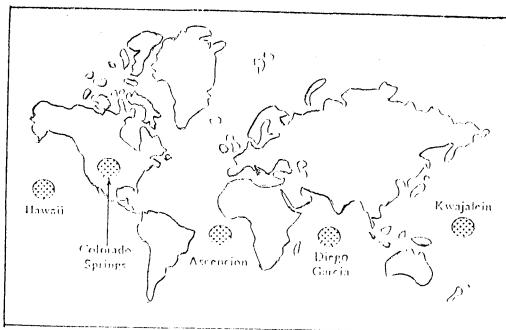
Uydu jeodezisi ile ilgili teorik çalışmaları dikkatle izleyen Harita Genel Komutanlığı 1987 yılından bu yana Satellite Laser Ranging (SLR) ve (GPS) konusunda yoğun pratik çalışmalar içindedir.

Bu yazının 2. nci bölümünde, daha sonraki bölgelerde kullanılan GPS ile ilgili kavramlar kısaca tanıtılmaktadır. 3. üncü bölümde GPS ölçülerinin değerlendirildiği GAMIT isimli program hakkında genel bilgiler verilmektedir. 4. üncü bölümde, yerel ağlarda GPS kullanılarak nokta sıklaştırması konusundaki sorunları irdelemek, gelecekte yapılacak GPS ölçüleri için standartlar belirlemek ve kalıcı bir test ağı oluşturmak amacıyla Ankara yakınlarında doğu-batı yönünde 25km, kuzey-güney yönünde 55km'lik bir bölgede tesis ve ölçümü yapılan Ankara Test Ağı GPS ölçülerinin değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar irdelemektedir.

## 2. GPS İLE İLGİLİ GENEL KAVRAMLAR

İlk çalışmalarına 1973 yılında ABD Savunma Bakanlığı tarafından askeri amaçlarla başlanan NAVSTAR (NAVigation System using Time And Ranging) GPS (Global Positioning System), uydulardan yayınlanan radyo sinyalleri yardımıyla her türlü hava koşulunda, gece ve gündüz, süratli, doğru ve ekonomik olarak, noktalar arası görüş gereği olmaksızın üç boyutta konum belirleme sistemidir. Navigasyon ihtiyacına yönelik olarak tasarlanan sistem, konumlanmanın yanısıra çok duyarlı zaman ve hız belirleme olanağı sağlar /1/. Herhangi bir noktada her an uygun geometride en az 4 uydu (15° lik yükseklik açısı ile 4-8 uydu, 5° lik yükseklik açısı ile 10-12 uydu) görülebileceği şekilde planlanmış 24 uydu (21 Esas, 3 yedek) sistemin uzay bölümünü oluşturur. Bu uydular yerden yaklaşık 20183km uzaklıkta, ekvatorla 55° lik açı yapan 6 ayrı yörüngede düzleminde yerleştirilmiş olup 12 saatlik peryotlara sahiptir. Her uydu iki farklı sinyal (1575.42 MHz frekansında, yaklaşık 19cm dalga boyunda L1 ve 1227.60 MHz frekansında ve yaklaşık 24cm dalga boyunda L2) yayınlar /2/,/3/.

Bugünlerde 19 aktif (4 Blok I, 15 Blok II) uydu mevcut olup tüm uyduların Temmuz 1993'te tamamlanması planlanmaktadır. GPS uyduları Dünya üzerine dağılmış, duyarlı (cesium) saatleri olan çift frekanslı alıcılarla donatılmış, konumları çok iyi bilinen (5 adet) izleme istasyonlarından sürekli olarak izlenmektedir (Şekil-1). "Kontrol Bölümü" olarak adlandırılan bu istasyonlarda hesaplanan uydu-istasyon mesafeleri ve meteorolojik ölçüler, uydu-



Şekil-1 : GPS Uydu Kontrol İstasyonları

ların zamana göre koordinatlarını ve uydu saat düzeltmelerini hesaplamak üzere ana kontrol istasyonuna (Colorado, ABD) aktarılır.

İstatistik analizlerle kestirilen uydu yörüngə bilgileri Ascension, Diego Garcia ve Kwajalein'de bulunan yer antenlerinden uydlara gönderilir. Uydu- ların yörüngelerinde gerekli manevralar yedeği ile değiştirme gibi işlemler- den ana kontrol istasyonu sorumludur /1/.

Uydular, 10.23 MHz temel frekansının 154 ve 120 tam katı olan L1 ve L2 taşıyıcı sinyalleri üzerine kodlar yardımıyla uydu yörüngə ve saat bilgile- rini modüle ederek C/A kodu, P kodu ve navigasyon mesajı olmak üzere üç fark- li veri üretip yayınlar.

Her uygunun özel bir elektronik donanım ile (tapped feedback shift re- gister) belli bir matematik modelle göre raslantısal olarak ürettiği bu kod- lara "pseudorandom noise" (PRN) adı verilir. Uyduların tanımlanmasında PRN no.larının kullanımı tercih edilir /4/.

Coarse/acquisition code (C/A-code) veya standart code (S-code) adı verilen, normal olarak yalnızca L1 üzerinden (bazen L2 üzerinden P code yerine) 1.023 MHz saat hızında yayınlanan 300m dalga boyuna sahip sinyal, tüm kulla- nıcılara hiçbir sınırlama olmaksızın açıktır (Standard Positioning Service, SPS).

Precision code (P-code) denilen L1 ve L2 üzerinden 10.23 MHz ile yayın- lanan yaklaşık 30m dalga boyundaki sinyal esas olarak askeri amaçlarla ya- yınlanmaktadır ve ABD Savunma Dairesi (DOD) tarafından, ABD'nin savunma ge- reksinimleri ve uluslararası anlaşmalarına göre sadece sınırlı sayıda kul- lanıcıya (ABD, NATO askeri kullanıcıları ve belirli sivil kullanıcılar) açıktır (Precise Positioning Service). Bu kontrol özel ek donanımlar ve karşılıklı anlaşmalar ile sağlanır.

GPS ile konumlamada kullanıcıların ulaşabileceği maksimum doğruluklar, DOD tarafından, iki şekilde kontrol altında tutulabilir:

a. Selective Availability (S/A): Uydu konum bilgilerinin (yayın efermerisi) doğruluğu kasıtlı olarak azaltılır.(SA Tekniği, Epsilon)

b. Uydu saat bilgilerine yapay hatalar yüklenir (dither).

Doğrulukların azaltılması dışında taklit edilmiş GPS sinyalleri ile yanılış konumlama (spoofing) söz konusu olabilir /3/, /4/.

P-code kullanılması ile her iki bozucu etkiden ve taklit sinyallerden korunabilir (Anti-spoofing, A-S). P-code ile (PPS) üç boyutta (%95 istatistik güven ile) konumlama (navigasyon) doğruluğu  $\pm 16m$ , C/A-code ile (SPS) başıç zamanlarında iki boyutta (%95 istatistik güven ile) konumlama doğruluğu  $\pm 100m$  ve üç boyutta  $\pm 156m$  olarak ifade edilmektedir/3/.

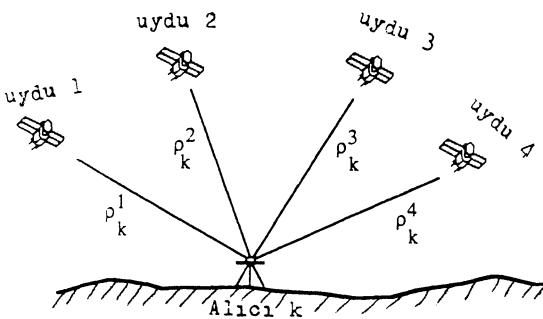
A-S özelliği, ABD tarafından, taklit edilmiş sinyallerden korunmak amacıyla ile, kullanıcıları uyarmaksızın, belirsiz zamanlarda aktif hale getirilecektir. A-S aktif iken P-code özel bir şifreleme (cripto) ile Y-code hâline dönüşür. Y-code'dan, yalnızca yetkili kullanıcılar yararlanabilir.C/A-code, A-S'ten etkilenmez /3/.

Bir alıcı ile uydu arasındaki mesafe, GPS sinyalinin uydudan çıkış anı (Transmission ,  $t^T$ ) ile o alıcıda sinyalin alındığı an (Reception,  $t_R^T$ ) arasında geçen  $\Delta t$  zaman farkının ışık hızı ile çarpılması sonucu hesaplanabilir (Şekil-2). Bu amaçla alıcılar tarafından üretilen ve uydu sinyalleri ile aynı özellikteki kodların korelasyonundan yararlanılır. Genellikle alıcı saatleri ekonomik nedenlerle uydu saatlerine göre daha az duyarlıdır.Uydu ve alıcı saat hataları nedeniyle  $t^T$  ve  $t_R^T$  anı için  $dt^T$  ve  $dt_R^T$  düzeltmeleri ile sinyalin yayılması sırasında iyonosfer ve troposfer nedeniyle gecikmeleri ( $I$  ve  $T$ ) dikkate alındığında uydu-alıcı arasındaki mesafe,

$$\rho = \left[ (t_R^T + dt_R^T) - (t^T + dt^T) \right] \cdot c + I + T \quad (1)$$

eşitliği ile verilir ve pseudo-range olarak adlandırılır /5/. Burada  $c$  , ışığın boşluktaki hızıdır.

(1) eşitliğiyle tanımlı pseudo-range, uydu koordinatları ( $x^i, y^i, z^i$ ), alıcı koordinatları ( $x_k^i, y_k^i, z_k^i$ ) olmak üzere



Şekil-2 : Pseudo-range, Nokta Konumlama

$$\rho = \sqrt{(x^i - x_k) + (y^i - y_k) + (z^i - z_k)} \quad (2)$$

eşitliğiyle ifade edilebilir.

(1) eşitliğinde alıcı ve uydu saat hataları ( $dt_R$  ve  $dt^T$ ), üç adet alıcı koordinatı ( $x_k, y_k, z_k$ ), iyonosferik ve troposferik gecikmeler (I ve T) olmak üzere 7 bilinmeyen vardır. Uydu saat hataları uydu sinyalleri içinde verilen katsayılar ile polinomlar biçiminde modellendirilebilir. İyonosfer ve troposfer gecikmeleri, farklı dalga boyunda (L1 ve L2) ölçme yaparak (karşılaştıkları direncin farklı olacağı düşüncesiyle) veya uygun matematik modeller ile hesaplanarak çözümlenebilir. Sonuç olarak alıcı saat hatası ve üç alıcı koordinat bilinmeyeni, en az 4 uydudan ölçüller ile ( $i = 1, \dots, 4$ )

$$\rho_k^i = \sqrt{(x^i - x_k) + (y^i - y_k) + (z^i - z_k) + c \cdot dt_R} \quad (3)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Böylece, alıcı koordinatları, kullanılan koda (P-code veya C/A-code) ve uydu geometrisine bağlı doğruluklar ile anında (real-time) ve mutlak anlamda belirlenebilir. Bu yöntem, alıcının sabit olması durumunda statik, hareketli olması durumunda kinematik konumlama (navigation) olarak tanımlanır.

Pseudo-range'ler ile anında konumlama navigasyon amacı için yeterli doğruluk sağlar ve pratik olarak büyük önem taşır. Ancak mühendislik hizmetleri için çok daha duyarlı sonuçlar gereklidir. Bu amaçla uydu sinyali ve alıcı

sinyali taşıyıcı fazlarının karşılaştırılması yoluna gidilir. Uydusunun  $t^T$  anında yayınlandığı sinyalin fazı  $\phi_s(t^T)$ , GPS alıcısının içinde üretilen sinyalin uydu sinyalinin alındığı  $t_R$  anındaki fazı  $\phi_R(t_R)$  olarak gösterilirse anlık faz farkı,

$$\phi_s(t^T) - \phi_R(t_R) \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Sinyal, uydudan alıcıya  $\rho$  mesafesini  $c$  hızıyla katederek  $\Delta t$  kadar sonra ulaşır. Bu nedenle

$$t^T = t_R - \Delta t = t_R - \frac{\rho}{c} \quad (5)$$

dir. Bu durumda (4) eşitliği,

$$\phi_s(t_R - \Delta t) - \phi_R(t_R) \quad (6)$$

olarak yazılabilir /6/.

Uydu osilatörünün kısa süre içinde çok az değişim gösterdiği düşünülecek ve Taylor açılımında ilk iki terim ile yetinilerek

$$\phi_s(t_R - \Delta t) = \phi_s(t_R) - \frac{\partial \phi_s(t_R)}{\partial t_R} \cdot \Delta t \quad (7)$$

yazılabilir. Fazın zamana göre türevi frekansı ifade ettiğinden (6) eşitliği

$$\phi_s(t_R) - f_s \cdot \Delta t - \phi_R(t_R) \quad (8)$$

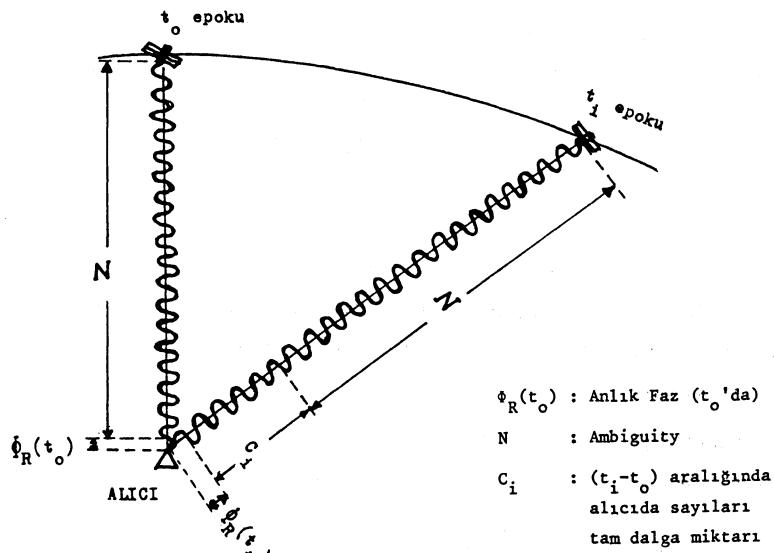
haline gelir.  $\Delta t = \rho/c$  olduğu hatırlanarak, (8) eşitliği,

$$AF = -f_s \cdot \frac{\rho}{c} + \phi_s(t_R) - \phi_R(t_R) \quad (9)$$

olarak yazılabilir. Burada AF, uydu sinyali taşıyıcı dalga fazı ile alıcıda üretilen referans sinyali fazı arasındaki farkı (Anlık Faz) ifade etmektedir. Son eşitlikteki  $\phi_s(t_R) - \phi_R(t_R)$  faz farkı, alıcı saat hatası ( $\delta$ ) ve uydu sinyal frekansı ( $f_s$ ) cinsinden  $\delta \cdot f_s$  ile tanımlanarak

$$AF = - f_s \frac{\rho}{c} + \delta \cdot f_s \quad (10)$$

yazılabilir. Eşitlikte geçen  $f$  uydu sinyali frekansının cycle/saniye,  $\rho$  uydu-alıcı mesafesinin metre,  $c$  ışık hızının metre/saniye biriminde olduğu dikkate alınırsa anlık fazın (AF) cycle biriminde olacağı açıktır.



Şekil-3 : Anlık Faz ve Faz Belirsizliği  
 (Scherrer R., The WM GPS Primer'dan)

Bir alicıda ilk ölçünün yapıldığı  $t_0$  epokunda yapılan (AF), yalnızca taşıyıcı dalganın en son parçasıdır. Uydu-alıcı arasındaki  $N$  sayıdaki tam dalga boyu sayısı belirli değildir. Buna, "taşıyıcı dalga faz belirsizliği" ("Carrier beat phase ambiguity" veya kısaca "ambiguity") adı verilir (Şekil-3). Böylece anlık faz,  $N$  sayıda tam dalganın da eklenmesiyle

$$AF = - f_s \frac{\rho}{c} + \delta \cdot f_s + N \quad (11)$$

şeklinde elde edilir. Başlangıç epokundan sonraki ölçüler için alici içindeki sayıç arada geçen tam dalga boyalarını sayacağından, her uydu için ayrı bir  $N$  bilinmeyeni hesaplanmalıdır. Ölçüler devam ederken uydu sinyallerinin alınmasında (alicidan, uydudan veya sinyal yolu üzerinde bir engelden) karşılaşılacak herhangi bir problemden dolayı faz sıçramaları (cycle

slip) meydana gelebilir. Böyle durumlarda, uydu sinyallerinin kopukluğunun meydana geldiği andan sonraki ölçüler, oluşan kayma miktarı kadar düzelttilmelidir. Faz belirsizliğinin çözümü ve faz sıçramalarının giderilmesi(cycle slip repairing) GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde (post processing) çok yoğun çaba harcanan ve ayrıntılı bilgi, deneyim gerektiren işlemleri oluşturmaktadır.

(11) Eşitliğinde genel olarak ifade edilen anlık faz  $t_i$  anı (epoku), j uyodusu ve k istasyonu (alıcısı) için,

$$AF_k^j(t_i) = -\frac{f^j}{c} \cdot \rho_k^j(f_k(t_i)) + \delta_k(t_i) \cdot f^j + N_k^j \quad (12)$$

şeklinde yazılabilir.

Taşıyıcı faz farkı ölçülerinin pseudo-range'lere göre çok daha duyarlı olması birden fazla alıcının, aynı anda, (eş zamanlı) aynı uydulardan alınan sinyallerden yararla, birbirine göre konum farklarının hesaplanması olası hale getirir.

Aynı uydunun (j) 1 ve 2 istasyonlarındaki alıcılarda aynı epoktaki ( $t_i$ ) anlık fazlarının farkı

$$SAF_{1,2}^j(t_i) = AF_2^j(t_i) - AF_1^j(t_i) \quad (13)$$

eşitliği ile ifade edilebilir ve "single difference" olarak adlandırılır(Şekil-4.a). Single difference, farklı iki uydu ve tek bir alıcı için de alınabilir (Şekil-4.b).

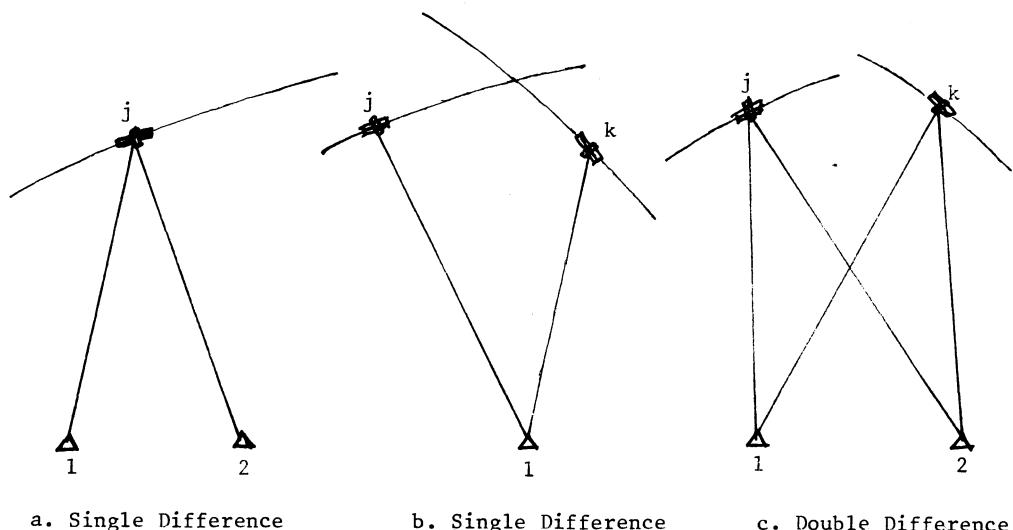
1 ve 2 alıcılarının j ve k uydularına ait single difference'larının

$$DAF_{1,2}^{j,k}(t_i) = SAF^k(t_i) - SAF^j(t_i) \quad (14)$$

eşitliğiyle ifade edilen farkı "double difference" olarak adlandırılır(Şekil-4.c).  $t_i$  epoku için hesaplanan double difference ile  $t_{i+1}$  epokuna ait double difference arasındaki

$$TAF_{1,2}^{j,k} = DAF_{1,2}^{j,k}(t_{i+1}) - DAF^{(j,k)}(t_i) \quad (15)$$

fark, "triple difference" olarak adlandırılır. Anlık fazlara ilişkin diğer farkların alınması (differencing) ve detaylı formüller ile her yöntemin avantajlarına ilişkin detaylar /1/, /4/, /5/, /6/, /7/ de bulunabilir.



Sekil-4 : Anlık Faz Farkları

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde özellikle uzun bazların hesaplanmasıında uzun dalga boylu, küçük ölçü hatalarına sahip, atmosferden az etkilenen ve belirsizliklerin (ambiguity) kolay çözülebildiği faz ölçülerini idealdir. Ancak bu özelliklerin tümü bir arada olamayacağından çeşitli lineer kombinasyonlar kullanılır. Genel olarak  $\phi_1$  ve  $\phi_2$  fazlarının bir kombinasyonu,

$$\Phi = a \phi_1 + b \phi_2 \quad (\text{cycle}) \quad (16)$$

olarak tanımlanabilir. Burada  $a$  ve  $b$ , yeni bir ölçü kombinasyonu oluşturmak üzere seçilecek katsayılardır. Yeni kombinasyonun frekansı ve dalga boyu,

$$f = a f_1 + b f_2 \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad (17)$$

eşitliğiyle hesaplanır /4/, /8/.

L1 ve L2 fazlarının çok kullanılan bazı kombinasyonları Tablo-1'de özetlenmiştir /8/.

SEMBOL	FAZ KOMBINASYONU	KATSAYILAR		Tam Dalga Boyu(cm)	Iyonosfer Bias	Ölçü Hatası(mm)
		a	b			
$\phi_{L1}$	L1	+1	0	19.0	0.779	3.0
$\phi_{L2}$	L2	0	+1	24.4	1.283	3.9
$\phi_{\Delta}$	Wide - Lane	+1	-1	86.2	-1.000	19.4
$\phi_{\Sigma}$	Narrow - Lane	+1	+1	10.7	+1.000	2.4
$\phi_o$	Iyonosfer-free	~+9	~-7	~5.4	0.000	10.3

Tablo-1 : Çok Kullanılan Faz Kombinasyonları

"Iyonosfer-Bias" ile ölçünün iyonosferden kaynaklanan hatasının büyütülme oranı, "ölçü hatası" ile farkları alınmamış ölçülerin 1 σ düzeyinde hataları (noise) ifade edilmektedir /8/.

L1 ve L2'nin 86.2cm dalga boyundaki wide-lane kombinasyonu "ambiguity" belirlemeye kolaylık sağlar. Ölçülerin iyonosferden çok farklı biçimde etkileniği uzun bazların değerlendirilmesinde iyonosfer-free kombinasyonu, bu etkilerin mm düzeyine indirgenmesi amacıyla kullanılır. Çift frekanslı GPS ölçülerinde daha anlamlı lineer kombinasyonlar, faz ve kod ölçülerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilebilir /8/.

Kod ve faz farkı ölçülerinden dengelenmiş nokta koordinatlarının elde edilmesi için matematik model şu şekilde tanımlanabilir:

$$R_k^i(t) = \rho_k^i(t) + c \cdot \delta^i(t) - c \cdot \delta_k(t) \quad (18)$$

Bu eşitlikte,  $R_k^i$  t anında k alıcısı ile i uydu arasında ölçülen pseudo-range'i,  $\rho_k^i$  uydu ile alıcı arasındaki geometrik mesafeyi, c ışık hızını,  $\delta^i(t)$  i uydusunun saat hatasını,  $\delta_k(t)$  k alıcısının saat hatasını göstermektedir. (2) Eşitliğiyle verilen  $\rho_k^i(t)$ , uydu koordinatlarının bilindiği (efemeris) ve alıcı koordinatlarının

$$X_k = X_k^0 + \delta X_k \quad Y_k = Y_k^0 + \delta Y_k \quad Z_k = Z_k^0 + \delta Z_k \quad (19)$$

şeklinde yaklaşık koordinatlar ve bilinmeyen farkları olarak iki parçaya ayrıldığı düşünülerek Taylor açılımı ile,

$$\rho_k^i(t) = \rho_k^{io}(t) - \frac{x^i(t) - x_k^o}{[\rho_k^{io}(t)]^2} \delta X_k - \frac{y^i(t) - y_k^o}{[\rho_k^{io}(t)]^2} \delta Y_k - \frac{z^i(t) - z_k^o}{[\rho_k^{io}(t)]^2} \delta Z_k \quad (20)$$

şeklinde doğrusallaştırılır. Son eşitlikte  $\delta X_k$ ,  $\delta Y_k$ ,  $\delta Z_k$  koordinat bilinme- yenlerinin katsayıları sırasıyla  $\alpha_k^i$ ,  $\beta_k^i$ ,  $\gamma_k^i$  ile gösterilirse, (18) eşitliği,

$$R_k^i(t) - \rho_k^{io}(t) - c \cdot \delta^i(t) = \alpha_k^i \cdot \delta X_k + \beta_k^i \cdot \delta Y_k + \gamma_k^i \cdot \delta Z_k - c \cdot \delta_k(t) \quad (21)$$

olarak yazılabilir.  $\delta^i(t)$  uydu saat hatası, uydu yayınlarında verilen katsayı- lar ile bilinmektedir. (21) eşitliğinin sol tarafına  $\lambda^i$  denir ve 4 uydu için ( $i=1,2,3,4$ ) eşitlik yazılıp düzenlenirse matris formunda

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & \beta_k^1 & \gamma_k^1 & -c \\ \alpha_k^1 & 2 & \beta_k^2 & \gamma_k^2 & -c \\ \alpha_k^2 & \beta_k^3 & \gamma_k^3 & -c \\ \alpha_k^3 & \beta_k^4 & \gamma_k^4 & -c \\ \alpha_k^4 & \beta_k^4 & \gamma_k^4 & -c \end{bmatrix} \quad \underline{\delta X^T} = \begin{bmatrix} \delta X_k \\ \delta Y_k \\ \delta Z_k \\ \delta_k(t) \end{bmatrix} \quad \underline{\lambda} = \begin{bmatrix} \lambda^1 \\ \lambda^2 \\ \lambda^3 \\ \lambda^4 \end{bmatrix} \quad (22)$$

doğrusal eşitlikleri elde edilir /4/.

Alicı koordinatları ve alicı saat hatasından oluşan 4 bilinmeyenin çözümü amacıyla, 4 uydu ve tek bir epok için yazılan (22) eşitliği, mevcut uydu sayısı ve fazla sayıda epok için genişletilir ve en küçük kareler ilkesine göre çözülür. Dengeli alicı koordinatları (19)'dan elde edilir.

Relatif konumlamada en çok kullanılan double difference (faz farkı) ölçü- leri de benzer biçimde koordinat farkları ile ifade edilebilir. (14) Eşitli- ğiyle verilen double difference ölçüsü, (12) ve (13) eşitlikleri yardımıyla düzenlenirse,

$$\phi_{1,2}^{j,k}(t) = \frac{1}{\lambda} \cdot \rho_{1,2}^{j,k}(t) + N_{1,2}^{j,k} \quad (23)$$

haline gelir. İlk terimde bulunan  $\rho_{1,2}^{j,k}$

$$\rho_{1,2}^{j,k} = \rho_2^k(t) - \rho_1^j(t) - \rho_1^k(t) + \rho_1^j(t) \quad (24)$$

şeklinde açık yazılarak ve (20) eşitliği dikkate alınarak (22)'ye benzer doğ- rusal formlar elde edilebilir. GPS ölçülerinin matematik modelleri için ge- niş bilgi /7/, /4/, ve /5/ te bulunabilir.

### 3. GAMIT YAZILIMININ TANITILMASI

MIT'de GPS ölçülerinin değerlendirilmesi için hazırlanmış bulunan (Gps At MIT) GAMIT yazılımı, faz farkı ölçülerini kullanarak üç boyutta relatif istasyon koordinatlarını ve/veya uydu yörüngelerini en küçük kareler yöntemiyle belirlemeye yarayan bilimsel amaçlı bir program paketidir. Yazılım, MIT'nin "Earth, Atmospheric and Planetary Sciences" bölümü bilimsel araştırma grubu (R.W.King, T.A.Herring, Y.Bock, K.L.Feigl, D.N.Dong, M.H.Murray) tarafından FORTRAN 77 dilinde hazırlanmıştır.

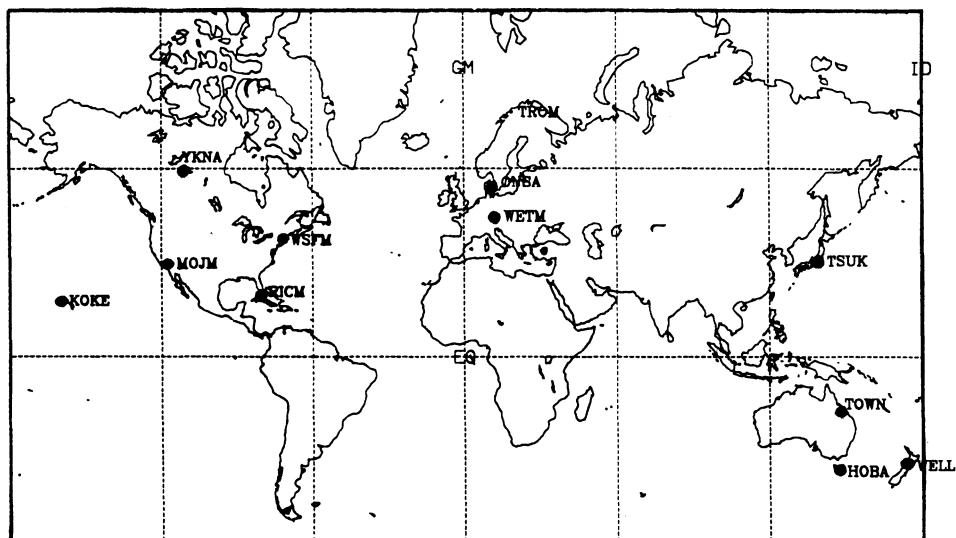
Esas olarak kabuk hareketlerinin GPS ölçülerini yardımıyla incelenmesi amaçlandığından, yazılım bilimsel araştırmaya yönelik hazırlanmış ve mümkün olan en yüksek duyarlığa ulaşmaya çalışılmıştır. Yazılım sürekli gelişimekte ancak aynı hızda dokümant edilememektedir. Yazılımin hazırlanmasında ticari düşünce olmadığından ancak ortak projeler kapsamındaki araştırma çalışmalarında kullanılabilmektedir. Halen Harita Genel Komutanlığında kullanılmakta olan 8 no.lu version, unix (Ultronix 32) işletim sisteminde çalışmaktadır. Yazılım aynı anda 12 uydu ve 25 alıcı (istasyon) için derlenmiş olup gerek duyulduğunda genişletilebilmektedir. Yazılımda istasyon koordinatlarının ve (uydu yörüngelerinin iyileştirmesi yapılması durumunda) yöründe parametrelerinin kestiriminde "double difference" ölçülerini kullanılır. Ayrıca, alıcı saat hatalarının modellendirilmesi amacıyla pseudo-range ölçülerini ile faz belirsizliklerinin saptanması ve faz kayıklıklarının giderilmesi (cycle slip editing) için "triple difference" ölçülerini de kullanılır.

GPS alıcıları, yapımcı firmaların belirlediği formata göre uydu sinyallerini kaydedeler. Bir alıcıda kaydedilen bilgiler faz ölçülerini, yayın efemeris bilgileri (Broadcast Ephemeris data) ve atmosferik bilgiler (Meteorological data) olmak üzere üç ayrı kütükte toplanır (raw data, ham ölçü). Alıcı cinsine göre farklı desendeki bu bilgiler, alıcılardan bağımsız bir formata (Receiver INdependent EXchange format, RINEX) dönüştürülür. Her firma kendi alıcısı için RINEX formata dönüştürüp sağlayan bir yazılımı hazırlar.

GPS ölçülerini, ikişer alıcının eş zamanlı ölçülerinin oluşturduğu baz çözümleri veya mevcut alıcıların tümüne ait eş zamanlı ölçülerin oluşturduğu bir grup (session) çözümü şeklinde değerlendirilebilir. Aynı gün içinde birden çok grup çözümü yapılabilir. Birden çok günlük ölçülerini içeren bir proje çalışması "kampanya çözümü" olarak değerlendirilebilir.

ABD Savunma Dairesi (DOD) tarafından şekil-1'deki yer izleme istasyonlarından (Kontrol Bölümü) yararlanılarak hesaplanan ve düzenli olarak yayınlanan efemerisin (yayın efemerisi) belirlediği uydu konumları, Selective Availability aktif değilse, 0.5-1.0 ppm (10-20m)'dır. Diğer deyişle uyduların gerçek konumu ile yayın efemerisinde verilen konumları arasındaki 10-20m düzeyindeki hatalardan dolayı hesaplanacak bazlara yansıyacak hata 0.5-1.0ppm kadar olacaktır. Bu değer 20km'lik baz için 1-2cm, 50km'lik baz için 2.5 - 5.0cm'ye karşılık gelir. Bu nedenle, özel amaçlı jeodezik ölçmeler dışında kısa mesafelerde pratik olarak yayın efemerisinin yeterli olduğu söylenebilir.

Yayın efemerisinin yeterli olmadığı durumlarda yörunge hatalarının etkisi, ABD National Geodetic Survey (NGS) tarafından sağlanan hassas efemeris (precise ephemeris) kullanılarak giderilebilir. Ancak daha kolay bir çözüm, Dünya'nın çeşitli yerlerine dağılmış sabit izleme istasyonlarından oluşan izleme ağlarındaki (Cooperative International Gps NETwork, CIGNET veya International Gps geodynamics Service, IGS gibi) eş zamanlı GPS ölçüleri ve bu istasyonların çok doğru olarak bilinen konumları yardımıyla "yörunge iyileştirmesi" yapmaktadır.(Şekil-5). OCAK 1991 tarihinden bu yana Ankara'da faaliyet



Şekil-5 : CIGNET Ağı Sabit İzleme İstasyonları

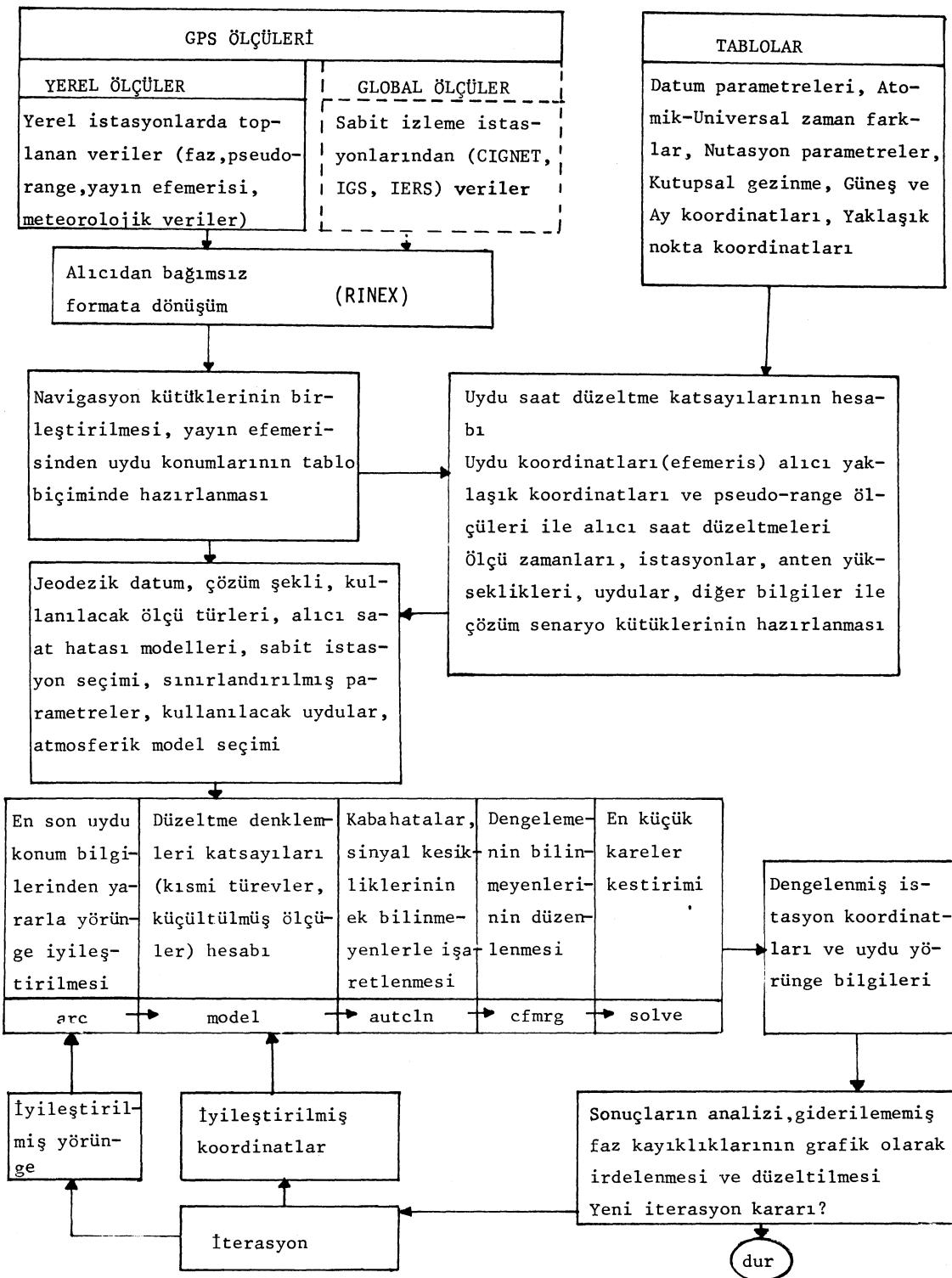
gösteren Ankara Sabit GPS İstasyonu da CIGNET Ağının bir noktasıdır.

GAMIT yazılımı ile yörunge iyileştirme, yerel ağ noktalarındaki ölçülerin global izleme istasyonlarındaki ölçülerle birlikte değerlendirilmesi ile yapılabilir. Diğer bir yol, önce yalnızca global data ile yörüngenin iyileştirilmesi ve daha sonra iyileştirilmiş yörunge ile yalnızca yerel datanın değerlendirilmesi şeklindedir.

Gamit programı, baz çözümlerinden daha çok kampanya çözümleri için uygundur. Bir kampanyanın çözümüne başlamadan önce, ölçünün yapıldığı günleri de içerecek şekilde zamana göre Ay ve Güneş koordinatlarını, Kutupsal gezimde değerlerini, Uluslararası Atomik Zaman ile Universal Zaman farklarını, Nutasyon parametrelerini içeren tabloların (LUNTAB, SOLTAB, POLE, UT1, NUTABL) hazırlanması gereklidir. Yalnızca yayın efemerisi ile yerel ağ noktaları belirleneceğse noktaların yaklaşık koordinatları (ölçü sırasında GPS alıcılarından alınabilir), uydu yörüngelerinin iyileştirilmesi düşünülüyorsa eş zamanlı ölçülerinden yararlanılacak Dünya Sabit İzleme İstasyonlarının(CIGNET, IGS,...) kesin koordinatları da tablo halinde (LFILE) düzenlenir.

Rutin bir değerlendirmede GAMIT programının işlem adımları şékil-6'da özetlenmiştir. Çözüm için bir bağımsız adım, RINEX formata dönüşür. Bundan sonra her ölçü günü için ölçülen anten yüksekliklerinin gerçek faz merkezlerine dönüştürülmüş değerleri; ölçünün başlangıç ve bitiş zamanları, sinyal aralıkları, hangi uydulardan yararlanıldığı belirlenerek bir "çözüm senaryo kütüğü" hazırlanır. Ayrıca her alıcı için alıcı koordinatları, uydu koordinatları, pseudorange ölçülerini yardımıyla alıcı saat hataları ve düzeltme değerleri bir kütükte (k-file) listelenir. Uydu saat hatalarına ilişkin yayınlanan parametreler de düzeltme denklem katsayılarının hesabında kullanılmak üzere ayrı bir kütükte (j-file) listelenir.

Daha sonra çözüm için kullanılacak jeodezik datum, çözümde uygulanacak yol (yalnızca yerel çözüm veya yörunge iyileştirme), kullanılacak ölçü türleri (L1, L2, diğer kombinasyonlar), çözümde koordinatları sabit alınacak istasyonlar (varsayımsa), alıcı saat modelleri, çözümde kullanılacak uydular, kullanılacak atmosferik model, uydu izleme yükseklik açısı (cutoff), standart meteorolojik bilgilerin veya ölçü değerlerinin kullanılması, kullanılacak ıslak ve kuru zenit gecikme modelleri (Saastamoinen, Marini and Murray,Chao) belirlenerek bir prosedür hazırlanır. GAMIT yazılımında standart olarak (default) "SAASTAMOINEN" modeli kullanılır.



Şekil-6 : GAMIT Programında İşlem Adımları

Hazırlanan prosedürün çalıştırılması ile "yığın" halinde ARC, MODEL, AUTCLN, CFMRG ve SOLVE altprogram bölümleri sırasıyla aktif hale gelir. ARC programı mevcut en son uydu konum bilgilerinden yararlanarak iyileştirilmiş yörüngeleri hesaplar. MODEL, faz farkı ölçülerinin bilinmeyenlere (istasyon koordinatları, istasyon zenit gecikme modelleri, alıcı saat düzeltme katsayıları, uydu yörünge başlangıç parametreleri ve non-gravitational kuvvet parametreleri, faz belirsizlikleri) göre türevleri ile ölçüler ve yaklaşık değerlerle hesaplanan ölçüler arasındaki farkları (küçültülmüş ölçüler, 0-C) hesaplar.

AUTCLN, ölçüleri tarayarak, faz kesikliklerini belli ölçülere göre irdeleyerek ek bilinmeyenler ile işaretler. Ölçülerin çeşitli nedenlerle (Faz kayıklığı, multipath, saat hataları) anı değişikliklerini kullanıcının irdelemesi amacıyla grafik kütükler hazırlar. CFMRG, dengelemenin bilinmeyen vektörünü düzenler. SOLVE, hazırlanmış kütükleri kullanarak en küçük kareler kestirimine göre parametre kestirimini yapar.

Sonuçların analizi ile son çözüm kabul edilebilir veya yeni bir iterasyona karar verilebilir. Sonuç yeterli görülmemişse AUTCLN tarafından hazırlanmış olan grafik kütükler üzerinde (c-file) faz kayıklıkları ve diğer sorunlar giderilerek ölçü hataları yok edilmeye çalışılır.

GAMIT yazılımının çıktısında aşağıdaki bilgiler yer alır:

- a. Programın çalıştırıldığı tarih, operatör,
- b. Çözümde kullanılan uydlar (PRN no.ları), alıcıların bulunduğu istasyonlar,
- c. İstasyonlar ve uydlara göre double difference ölçülerinin sayıları,
- d. Çözüm standartları, sınırlamalar (yörünge ve atmosferik modeller),
- e. Yaklaşık koordinatlar, dengeleme sonunda hesaplanan kesin koordinatlar, koordinatların hataları,
- f. Alıcı saat hataları, atmosferik parametrelerin kesin değerleri,
- g. Baz bileşenleri, bazlar, hataları ve korelasyonları,
- h. Dengeleme sonrası birim ağırlıklı ölçünün standart sapması,
- i. Yörünge iyileştirmesi yapılmışsa her uydu için yörünge elemanları ve aralarındaki korelasyonlar.

GAMIT yazılımı ve kullanılmasıyla ilgili detaylar /2/ ve /14/'te bulunabilir.

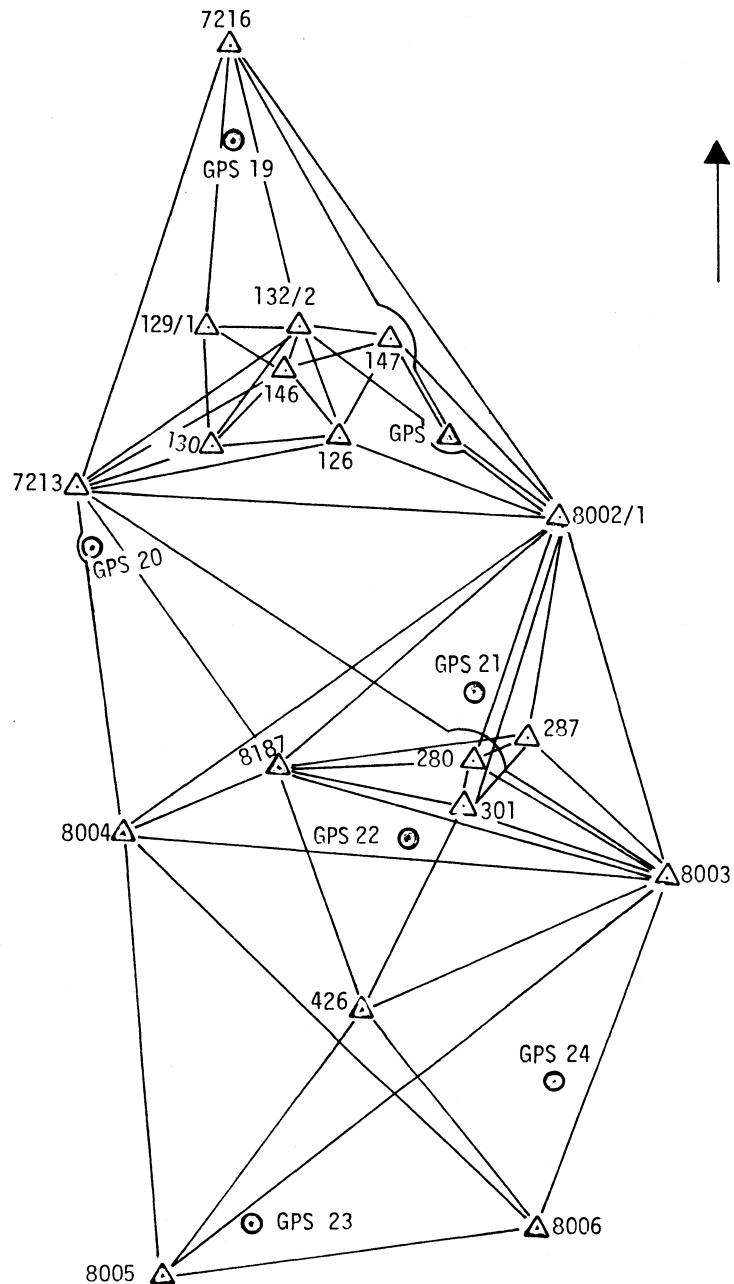
#### 4. SAYISAL UYGULAMALAR

GPS'in nokta sıklaştırımda kullanımıyla ilgili sorunlara pratik yanıtlar aramak, özellikle yükseklik belirlemedeki etkinliğini araştırmak, daha sonra yapılabilecek çeşitli eğitim ve alet testi gibi uygulamalarda kalıcı bir test ağı gereksinimini karşılamak üzere Ankara bölgesinde Harita Genel Komutanlığından Şekil-7'de görülen "Ankara GPS Test Ağı" tesis edilmiştir.

Bu ağ, ülke temel yatay kontrol ağının 8 adet 1 ncı derece, 1 adet 2 ncı derece, 10 adet 3 ncü derece yatay kontrol noktası ile 6 adet 1 ncı ve 2 ncı derece düşey kontrol noktasından oluşmaktadır. 1991 Yılının başından itibaren Lodumlu/ANKARA bölgesinde faaliyet gösteren Ankara Sabit GPS İstasyonu da ağa dahil edilmiştir. Ağın tüm yatay kontrol noktalarında zemin tesisleri standart pilye şeklinde yeniden inşa edilmiştir. Ağın her noktasında duyarlı yükseklik bilgileri elde etmek üzere Gölbaşı-Haymana arasında duyarlı nivelman geçisi yapılmıştır. Ağın hem klasik hem de GPS ölçülerile en duyarlı biçimde ölçülüp sonuçların karşılaştırılması düşünüldüğünden uyduların görüşlebilirliği açısından GPS ölçüsüne uygun olmayan nivelman noktaları en yakın uygun yerlere taşınıp zemin tesisleri yapılmıştır.

Ağın 20 adet noktasında tüm diğer noktalara 24 dizi yatay açı ölçüsü ve her doğrultuya karşılıklı 4 dizi düşey açı ölçüsü yapılmıştır. Ağın kenarları (129 adet) Rangemaster III EDM aleti ile karşılıklı olarak ölçülmüştür. Düşey kontrol ağının 6 adet noktasının yatay kontrol noktalarına bağlantısı (açı, kenar ölçüler) yapılmamıştır. Ağda 106km (II ncı derece) duyarlı nivelman ölçüsü yapılmıştır. Bu ölçülerin km başına karesel ortalama hatası  $\pm 2.4\text{mm}$  olarak hesaplanmıştır. Çok kısa kenarlardan oluşan küçük üçgenlerin de bulunmasına rağmen üçgen kapanmaları  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  nin altındadır.

Ankara GPS test ağı 31 Ağustos - 3 Eylül 1991 tarihleri arasında (243, 244, 245, 246 ncı Julian Günleri) 11 adet Trimble 4000 SST alıcısı ile ölçülmüştür. Herbiri 6 saatlik GPS ölçüsü içeren 4 günlük ölçü planı Tablo-2' dedir. Ölçü planından da anlaşılacağı gibi, ağın tüm noktalarında GPS ölçüsü yapmak için yeterli sayıda alıcı temin edilemediğinden ancak 15 noktada GPS ölçüsü yapılmıştır. Tüm GPS ölçüler, GAMIT yazılımı ve yayın efermerisi kullanılarak günlük çözümler halinde ve Meşedağ noktasının ITRF89 referans sistemindeki koordinatları sabit tutularak değerlendirilmiştir.



Şekil-7: ANKARA GPS TEST AÇI

- Karşılıklı açı ve kenar ölçüleri
- Yalnızca GPS ölçüleri yapılan nivelman noktaları
- △ Yükseklikleri hassas nivelman ile belirlenmiş nirengi noktaları

Tablo-2: Ankara Test Ağı GPS Ölçüleri Planı

GÜN	GPS ALICILARI VE ÖLÇÜ YAPILAN NOKTALAR										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
243	7216	8004	8005	8003	8006	7213	426	8187	8002	GPS22	GPS23
244	7216	8004	8005	8003	8006	7213	GPS19	GPS34	8002	GPS22	GPS23
245	GPS21	8004	8005	GPS20	GPS19	7213	426	8187	8002	GPS22	GPS23
246	GPS21	8004	8005	8003	GPS19	7213	426	8187	GPS20	GPS24	GPS23

Meşedağ'ın ITRF89 koordinatları, Alman Uygulamalı Jeodezi Araştırma Enstitüsü (IfAG) ile birlikte yürütülen GPS çalışmaları kapsamında (1990) hesaplanmıştır /9/. ITRF89 sistemi, WGS84 sistemine çok yakın, birçok pratik amaç için eşit kabul edilebilecek bir sistem olup sonuç olarak çözümün WGS84'te yapıldığı söylenebilir /13/.

Meşedağ'in sabit koordinatları (referans sisteminde orijini belirlemek üzere) ve uydu yayın efemerisi (ölçek ve üç dönüklük elemanını belirlemek üzere) yardımıyla belirlenen kartezyen koordinat sisteminde (XYZ) her ölçü gününe ait dengelenmiş nokta koordinatları ve koordinatlara ait varyans - kovaryans matrisi; baz bileşenleri ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) ve bazlar ile bunların standart sapmaları (STD) hesaplanmıştır. Sonuçların örnek bir bölümü Tablo-3'te listelenmiştir. Ayrıca, her baza ait nokta çiftinin ilk noktasında oluşturulan yerel dik koordinat sistemindeki (merkezi noktanın kendisi, U eksenin o noktadan geçen elipsoid normali, N eksenin o noktanın meridyen düzleme içinde kuzey yönünde ve U'ya dik, E eksenin U ve N eksenlerine dik) kuzey-güney ( $\Delta N$ ), doğu-batı ( $\Delta E$ ), yükseklik ( $\Delta H$ ) bileşenleri ile standart sapmaları hesaplanmış ve örnek bir bölümü Tablo-4'te listelenmiştir.

Tablo-3 ve Tablo-4'ten görüleceği gibi 2-35km uzunluğunda bazlar 2-4mm duyarlılıkla ölçülebilmekte, baz bileşenlerinin birbirinden bağımsız günlük çözümleri arasındaki farklar cm düzeyinde kalmaktadır.

Tablo-3'te bir bölümü listelenen günlük baz çözümlerinin tamamının (yazılıcada bir gün ölçülen bazlar dışında) ortalamaları ile günlere göre farklılıklar alınarak tablo-5'te listelenmiştir. Tablo-5.a'da listelenen 243'üncü gün sonuçlarının (en az iki kez tekrarlanmış baz ölçülerinin) ortalama değerinden farklı en az 0.3mm ve en çok 13.4mm; tablo-5.b'de listelenen 244'üncü gün

Tablo-3: Ankara GPS Test Ağına Ait Baz Bileşenleri, Bazlar ve Standart Sapmaları

NOKTA SINDAN	SINA	GÜN	ΔX ( m )	STD ( mm )	ΔY ( m )	STD ( mm )	ΔZ ( m )	STD ( mm )	BAZ ( m )	STD ( mm )
7216	7213	243	13663.0259	7.9	876.0923	5.6	-13916.8349	8.2	19522.4002	2.1
		244	13663.0095	7.9	876.0900	5.5	-13916.8348	8.2	19522.3885	2.1
		ort	13663.0177		876.0911		-13916.8348		19522.3944	
8002/1	7213	243	10395.0525	7.9	-17925.7756	5.7	1083.9621	8.2	20750.0728	2.3
		244	10395.0395	7.9	-17925.7867	5.7	1083.9556	8.2	20750.0756	2.3
		245	10395.0421	7.9	-17925.7893	5.8	1083.9468	8.3	20750.0786	2.4
		ort	10395.0447		-17925.7839		1083.9548		20750.0757	
7213	8003	243	-4643.5515	7.9	26867.7706	5.8	-12510.3162	8.2	29999.1279	2.7
		244	-4643.5463	7.9	26867.7601	5.8	-12510.3157	8.2	29999.1175	2.7
		246	-4643.5451	7.9	26867.7707	5.9	-12510.3128	8.2	29999.1257	2.9
		ort	-4643.5476		26867.7671		-12510.3149		29999.1237	
		243	-6597.6323	7.9	-7239.4970	5.6	11294.0902	8.2	14949.7673	2.3
8004	7213	244	-6597.6303	7.9	-7239.5018	5.6	11294.0985	8.2	14949.7750	2.3
		245	-6597.6361	7.9	-7239.5037	5.6	11294.1086	8.2	14949.7861	2.4
		246	-6597.6451	7.9	-7239.5129	5.6	11294.0941	8.2	14949.7836	2.3
		ort	-6597.6359		-7239.5039		11294.0979		14949.7780	
		243	-15671.9971	8.0	-15394.2725	5.6	25571.1317	8.3	33711.6878	2.6
8005	7213	244	-15671.9810	8.0	-15394.2579	5.7	25571.1444	8.3	33711.6833	2.5
		245	-15671.9808	8.1	-15394.2613	5.7	25571.1422	8.5	33711.6831	2.8
		246	-15671.9935	8.1	-15394.2648	5.6	25571.1387	8.4	33711.6879	2.7
		ort	-15671.9881		-15394.2641		25571.1393		33711.6855	
		243	-4889.1860	7.9	-26638.1656	5.8	22435.0446	8.2	35168.5545	2.9
8006	7213	244	-4889.1803	7.9	-26638.1493	5.7	22435.0524	8.1	35168.5464	2.7
		ort	-4889.1831		-26638.1574		22435.0485		35168.5504	
		243	-12256.6194	9.3	-17451.9545	6.2	23986.4802	10.5	32095.8980	3.4
GPS-23	7213	244	-12256.6192	9.3	-17451.9445	6.2	23986.4786	10.5	32095.8913	3.4
		245	-12256.6146	9.3	-17451.9470	6.3	23986.4855	10.5	32095.8961	3.5
		246	-12256.6236	9.3	-17451.9507	6.2	23986.4805	10.5	32095.8978	3.5
		ort	-12256.6192		-17451.9492		23986.4812		32095.8958	
		243	-73.2415	8.2	-18245.1236	5.8	12297.2929	8.3	22002.5743	2.6
GPS-22	7213	244	-73.2322	7.9	-18245.1105	5.7	12297.3008	8.2	22002.5687	2.5
		245	-73.2438	7.9	-18245.1255	5.7	12297.2899	8.2	22002.5750	2.7
		ort	-73.2392		-18245.1195		12297.2945		22002.5727	
426	7213	243	-5323.6873	7.9	-18008.0370	5.6	17244.7885	8.1	25495.3677	2.6
		245	-5323.6753	7.9	-18008.0266	5.7	17244.8021	8.2	25495.3670	2.7
		246	-5323.6852	7.9	-18008.0288	5.7	17244.7953	8.1	25495.3660	2.6
		ort	-5323.6826		-18008.0308		17244.7953		25495.3669	
8187	7213	243	-1387.9206	7.9	-11526.3141	5.6	8813.2877	8.2	14575.8801	2.4
		245	-1387.9127	7.9	-11526.3121	5.6	8813.3067	8.2	14575.8892	2.5
		246	-1387.9293	7.9	-11526.3115	5.6	8813.3050	8.1	14575.8893	2.5
		ort	-1387.9209		-11526.3126		8813.2998		14575.8862	
7213	GPS-19	244	-11484.5077	7.9	853.1384	5.6	10449.5747	8.2	15550.4139	2.0
		245	-11484.4775	7.9	853.1585	5.5	10449.5999	8.2	15550.4097	2.0
		246	-11484.4677	7.8	853.1637	5.5	10449.6068	8.2	15550.4073	2.0
		ort	-11484.4843		853.1595		10449.5938		15550.4103	
7213	GPS-24	244	1544.0483	8.1	24880.3201	5.9	17991.9811	8.4	30742.8983	2.7
		246	1544.0552	8.1	24880.3281	6.1	-17991.9860	8.4	30742.9080	2.9
		ort	1544.0518		24880.3241		-17991.9836		30742.9031	
GPS-21	7213	245	4524.8264	8.1	-18363.6274	5.9	7744.3706	8.3	20437.0287	2.6
		246	4524.8110	8.1	-18363.6322	5.8	7744.3599	8.3	20437.0255	2.6
		ort	4524.8187		-18363.6293		7744.3653		20437.0271	
GPS-20	7213	245	-585.3045	8.1	-1481.8471	5.6	1789.7693	8.4	2390.1837	2.6
		246	-585.3190	8.0	-1481.8543	5.6	1789.7481	8.4	2390.1821	2.7
		ort	-585.3117		-1481.8507		1789.7545		2390.1829	

Tablo-4: Ankara GPS Test Ağına Ait Baz Bileşenleri, Bazlar ve Standart Sapmaları

NOKTA SINDAN	SINA	GÜN	KUZEY-GÜNEY $\Delta N$ ( m )	STD ( mm )	DOĞU-BATI $\Delta E$ ( m )	STD ( mm )	YÜKSEKLİK $\Delta H$ ( m )	STD ( mm )	BAZ S ( m )	STD ( mm )
7216	7213	243	-18358.3339	2.3	-6634.6216	2.1	278.3563	12.3	19522.4002	2.1
		244	-18358.3241	2.2	-6634.6147	2.1	278.3448	12.3	19522.3885	2.1
		ort	-18358.3290		-6634.6182		278.3505		19522.3944	
8002/1	7213	243	1459.7704	2.1	-20698.5681	2.3	-62.2292	12.3	20750.0728	2.3
		244	1459.7761	2.1	-20698.5704	2.2	-62.2464	12.4	20750.0756	2.3
		245	1459.7688	2.2	-20698.5739	2.4	-62.2514	12.4	20750.0786	2.4
		ort	1459.7718		-20698.5708		-62.2423		20750.0757	
7213	8003	243	-16366.6897	2.3	25140.8244	2.4	134.5179	12.3	29999.1279	2.7
		244	-16366.6885	2.3	25140.8127	2.3	134.5172	12.3	29999.1175	2.7
		246	-16366.6906	2.3	25140.8211	2.5	134.5243	12.3	29999.1257	2.9
		ort	-16366.6896		25140.8194		134.5198		29999.1237	
8004	7213	243	14731.5062	2.2	-2543.1735	2.1	-102.6477	12.3	14949.7673	2.3
		244	14731.5131	2.2	-2543.1787	2.1	-102.6431	12.3	14949.7750	2.3
		245	14731.5247	2.3	-2543.1771	2.1	-102.6413	12.4	14949.7861	2.4
		246	14731.5215	2.3	-2543.1800	2.1	-102.6602	12.3	14949.7836	2.3
		ort	14731.5164		-2543.1773		-102.6481		14949.7780	
8005	7213	243	33405.7689	2.6	-4514.0799	2.1	-394.4402	12.4	33711.6878	2.6
		244	33405.7651	2.5	-4514.0763	2.1	-394.4155	12.5	33711.6833	2.5
		245	33405.7645	2.7	-4514.0792	2.2	-394.4182	12.6	33711.6831	2.8
		246	33405.7697	2.6	-4514.0754	2.1	-394.4302	12.5	33711.6879	2.7
		ort	33405.7671		-4514.0777		-394.4260		33711.6855	
8006	7213	243	29105.8441	2.5	-19740.0820	2.3	-78.9387	12.3	35168.5545	2.9
		244	29105.8415	2.4	-19740.0714	2.2	-78.9232	12.2	35168.5464	2.7
		246	29105.8428		-19740.0767		-78.9309		35168.5504	
		ort								
GPS-23	7213	243	31063.6755	3.3	-8074.2793	2.2	-27.2554	14.8	32095.8980	3.4
		244	31063.6707	3.3	-8074.2711	2.2	-27.2521	14.8	32095.8913	3.4
		245	31063.6745	3.4	-8074.2756	2.2	-27.2458	14.8	32095.8961	3.5
		246	31063.6767	3.4	-8074.2739	2.2	-27.2563	14.8	32095.8978	3.5
		ort	31063.6743		-8074.2750		-27.2524		32095.8958	
GPS-22	7213	243	15807.1837	2.4	-15304.1862	2.3	167.6372	12.6	22002.5743	2.6
		244	15807.1807	2.2	-15304.1811	2.2	167.6534	12.4	22002.5687	2.5
		245	15807.1837	2.3	-15304.1874	2.2	167.6326	12.3	22002.5750	2.7
		ort	15807.1827		-15304.1849		167.6411		22002.5727	
426	7213	243	22347.1013	2.3	-12272.7667	2.1	-6.3100	12.2	25495.3677	2.6
		245	22347.1017	2.4	-12272.7644	2.2	-6.3892	12.2	25495.3670	2.7
		246	22347.1025	2.4	-12272.7610	2.2	-6.3009	12.2	25495.3660	2.6
		ort	22347.1018		-12272.7640		-6.3000		25495.3669	
8187	7213	243	11502.6189	2.2	-8952.0505	2.1	-82.6392	12.3	14575.8801	2.4
		245	11502.6286	2.2	-8952.0531	2.1	-82.6211	12.3	14575.8892	2.5
		246	11502.6360	2.2	-8952.0437	2.1	-82.6327	12.2	14575.8893	2.5
		ort	11502.6278		-8952.0491		-82.6310		14575.8862	
7213	GPS-19	244	13928.0711	2.2	6902.5822	2.1	-422.5709	12.3	15550.4139	2.0
		245	13928.0674	2.2	6902.5829	2.1	-422.5269	12.3	15550.4097	2.0
		246	13928.0656	2.2	6902.5820	2.1	-422.5140	12.2	15550.4073	2.0
		ort	13928.0680		6902.5824		-422.5373		15550.4103	
7213	GPS-24	244	-23231.4237	2.3	20134.4407	2.3	-176.2079	12.6	30742.8983	2.7
		245	-23231.4339	2.5	20134.4437	2.4	-176.2033	12.7	30742.9080	2.9
		246	-23231.4288		20134.4422		-176.2056		30742.9031	
		ort								
GPS-21	7213	245	9880.9694	2.2	-17888.4597	2.3	203.9510	12.6	20437.0287	2.6
		246	9880.9710	2.2	-17888.4554	2.3	203.9322	12.6	20437.0255	2.6
		ort	9880.9702		-17888.4575		203.9416		20437.0271	
GPS-20	7213	245	2201.9693	2.2	-933.3082	2.2	148.1995	12.5	2396.1837	2.6
		246	2201.9697	2.2	-933.3064	2.3	148.1790	12.5	2396.1821	2.7
		ort	2201.9695		-933.3073		148.1893		2396.1829	

sonuçlarının farkları en az 0.4mm ve en çok 7.3mm; Tablo-5.c'de listelenen 245'inci gün sonuçlarının farkları en az 0.1mm ve en çok 10.7mm; Tablo-5.d'de listelenen 246'inci gün sonuçlarının farkları en az 0.2mm ve en çok 9.5 mm'dir.

Baz bileşenlerinin ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) ortalama değerleri ile üçgenler şeklinde oluşturulan loplarda kapanma hataları hesaplanmış, sonuçların bir bölümü örnek olarak tablo-6'da listelenmiştir. Üçgen kapanmalarının en büyük değerleri  $\Delta X$  için 1.9cm,  $\Delta Y$  için 1.7cm,  $\Delta Z$  için 3.0cm olmuştur. Üçgen kapanmaları genellikle cm'nin altında kalmaktadır.

Ankara Test Ağı'nda iki veya daha fazla tekrarlanmış GPS ölçüleri ile hesaplanmış bazların ağırlıklı ortalamaları alınarak tablo-7'de listelenmiştir. Bu amaçla ağırlıklar, tablo-3'ten görülebileceği gibi, bazların günlük sonuçlarına ait GAMIT programı tarafından hesaplanmış standart sapmaların yararlanarak hesaplanmıştır. Bazların ortalama değerleri için, günlük baz değerlerinin raslantısal değişken kabul edilip dolaysız ölçüler dengelemesi yapılmak suretiyle hesaplanan ortalama hataları, tablo-8'de listelenmiştir. Bu hatalar ve baz uzunlukları dikkate alınarak hesaplanan oransal hataların ppm cinsinden değerleri tablo-9'da listelenmiştir. Tablo-8'den görüleceği gibi bazlar, ortalama olarak 2.7mm'lik ve en çok 9.1mm'lik karesel ortalama hata ile ölçülmüştür. 8004 ve 8187 noktalarına bağlantılı kenarlar dışında hatalar çok daha düşük düzeydedir. Tablo-9'daki oransal hatalar da dikkate alınarak 8004 ve 8187 noktalarındaki ölçüler tekrar irdelenmiş ancak anlamlı bir sorun saptanamamıştır. Ankara Test Ağı'nda bazlar, ortalama olarak 0.14ppm oransal hata ile (max.0.58ppm) ölçülmüştür.

Dört ayrı günde yapılan GPS ölçülerinin GAMIT sonuçlarının ortalaması alınarak elde edilen bazlar, tablo-10'da EDM ölçüleri ile karşılaştırılmıştır. Tablodan görüleceği gibi, tüm EDM kenarları GPS (GAMIT) kenarlarından büyük olup GPS ve EDM kenarları arasında sistematik bir ölçek farklılığından söz edilebilir. Ancak bu farklılıkların baz uzunlukları ile orantılı linear bir değişimi söz konusu değildir.

Bununla birlikte, EDM ölçülerinin GPS ölçülerinden farklarının baz uzunluklarına oranları ile ortalama olarak 3.61ppm'lik bir ölçek farkı elde edilmektedir. Bu değer, yaklaşık olarak 1/300 000 oransal duyarlığa karşılık gelmekte olup EDM'nin kendi iç duyarlığı ile uyum halindedir. EDM ölçülerinin klasik ölçüler ve GPS ile birlikte değerlendirilmesi sonucunda bu farklılık-

ların kaynağı (alet kalibrasyonuyla ilgili sistematik hatalar, atmosferik ölçüler ve diğer raslantısal hatalar) konusunda bilgiler elde edilecektir. Yapılan ilk değerlendirmelere göre, RANGEMASTER III EDM aleti ile ölçülen kenarlarla ağ dengelendiğinde, aletin duyarlığının  $m_s = 6\text{mm} + 1.5\text{ppm}$  olduğu saptanmıştır. Bu değere göre 20km uzunluğunda bir bazın  $\pm 3.6\text{cm}$  hata ile ölçülmesi beklenebilir. GPS ve EDM ölçüleri arasında benzer ilişkiler, MIT tarafından Almanya'da 35 noktadan oluşturulan bir GPS ağında da irdelenmiştir. GPS ile yatay koordinatların 1ppm. yüksekliğinin 1.6ppm ile belirlendiği bu ağda bazı kenarlar EDM aleti ile (Keuffel and Esser RANGEMASTER II) ölçülüp GPS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta tüm EDM kenarlarının GPS kenarlarından büyük olduğu ancak uzunlukla orantılı bir değişim olmadığı görülmüştür. 7-14km uzunluğunda değişen beş adet baza ait EDM ve GPS ölçüleri arasındaki farklar en az 6mm, en çok 27mm (ortalama 1.8ppm)'dır /10/.

Aynı GPS ölçüleri, Harita Genel Komutanlığında kullanılmakta olan BERNSE isimli diğer bir program ile de değerlendirilmiş ve sonuçlar tablo-10'a dahil edilmiştir. GAMIT ve BERNSE sonuçları arasında büyük bir uyum mevcut olup en büyük fark 12mm'dir. BERNSE programı ile hesaplanan baz uzunlıklarının GAMIT ile hesaplananlara göre büyük olması sistematik bir farkı ifade edebileceğinden ilginç bir sonuç olup faz belirsizliği (ambiguity) ve faz kayıklıkları (cycle slip) belirlenmesinden kaynaklandığı düşünülebilir. BERNSE ve GAMIT sonuçlarının karşılaştırılması daha sonra detaylı olarak incelenecektir.

Bir ağda yapılacak GPS ölçülerinin süresi öncelikle ağır kuruluş amacıyla ve buna bağlı olarak beklenen doğruluklara göre belirlenir. Kararı etkileyebilecek önemli faktörler ölçü döneminde uyduların durumu (zamana göre konumları, sinyallerinin sağlık durumu, sayıları), genel atmosferik ve meteorolojik koşullar, noktaların birbirine göre konum ve uzaklıkları, mevcut donanım olarak sayılabilir. Ankara GPS Test Ağı'nda ölçü süreleri, bu hususlar dikkate alınmaksızın ve bilimsel amaçlarla en yüksek duyarlıklara erişmek amacıyla 6 saat olarak gerçekleştirilmiş olmakla birlikte nokta sıklastırma amacıyla çok daha kısa süreli ölçülerin yeterli olacağı düşünülebilir. Bu amacıyla 243'üncü güne ait ölçülerden bir saatlik bir bölümü alınıp ayrıca değerlendirilmiş ve elde edilen baz uzunlukları, 243'üncü günün altı saatlik sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Farklar tablo-11'de listelenmiştir.

Tablo-5: Ankara GPS Test Ağında Günlük Çözümlere Ait  
Bazların Ortalamaları İle Karşılaştırılması(\*)

a. 243'üncü Gün - Ortalama (\*\*)

	426	8002-1	8004	7216	8187	8006	23	8005	7213	8003
22	-0.07	0.06	0.50	0.60	0.36	0.06	-0.03	0.17	0.16	0.29
426	-0.25	1.13		0.84		0.03	0.20	0.08	-0.13	
8002-1		-0.40	-0.12	-0.48	0.39	0.04	0.21	-0.29	0.55	
8004				0.22	0.31	0.91	1.34	1.28	-1.07	0.94
7216						0.65	0.73	0.71	0.58	0.59
8187							0.88	0.99	-0.61	0.06
8006							0.14	0.37	0.41	0.07
23								0.31	0.22	0.10
8005									0.23	0.24
7213										0.42

b. 244'üncü Gün - Ortalama

	8002-1	8004	7216	8006	23	8005	7213	19	24	8003
22	-0.45	-0.58	-0.60	-0.06	-0.04		-0.40	-0.04		-0.29
8002-1	-0.56	0.12	-0.39	-0.51	-0.41		0.35			-0.55
8004		-0.22	-0.91	-0.22	0.09	-0.30	-0.31	-0.12	-0.80	
7216			-0.65	-0.73	-0.71	-0.59				-0.59
8006				-0.14	-0.36	-0.40				-0.07
23					-0.20	-0.45		0.11	-0.39	
8005						-0.22	0.21	-0.03	-0.56	
7213							0.36	-0.48	-0.62	
19								-0.26	-0.04	
24									-0.49	

c. 245'inci Gün - Ortalama

	22	426	20	8002-1	8004	8187	23	8005	7213	19
21		0.06	0.09		0.41	-0.30	0.03	-0.14	0.16	0.07
22		0.06		0.39	0.08	-0.37	0.08	-0.18	0.23	0.04
426			0.02	0.25	-0.44	-0.19	-0.04	-0.29	0.01	0.07
20					0.14	-0.01	-0.09	-0.23	0.08	0.04
8002-1					0.97	0.49	0.47	0.21	0.29	-0.35
8004						0.63	-0.75	-1.07	0.81	0.42
8187							-0.16	-0.34	0.30	-0.25
23								-0.23	0.03	-0.02
8005									-0.24	-0.29
7213										-0.06

d. 246'ncı Gün - Ortalama

	426	20	8004	8187	23	8005	7213	19	24	8003
21	-0.06	-0.08	-0.41	0.30	-0.03	0.15	-0.16	-0.07		
426		-0.02	-0.68	-0.64	0.02	0.10	-0.09	-0.07		0.13
20			-0.14	0.01	0.09	0.23	-0.08	-0.04		
8004				-0.95	-0.37	-0.31	0.56	-0.11	0.13	-0.15
8187					-0.72	-0.66	0.31	0.25		-0.06
23						0.12	0.20	0.02	-0.10	0.29
8005							0.24	0.08	0.02	0.32
7213								-0.30	0.49	0.20
19									0.27	0.03
24										0.49

(\*) Farklar cm biriminde listelenmiştir.

(\*\*) Tek gün ölçülen bazlara ait farklar listelenmemiştir.

Tablo-6: Üçgenler Şeklinde Oluşturulan Lup Kapanmaları

ÜÇGEN NOKTALARI	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (cm)	ÜÇGEN NOKTALARI	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (cm)
426-8004-8005	-0.05	-0.14	-0.15	8187-8006-GPS24	0.76	0.57	-0.46
426-8004-7213	0.19	0.07	0.02	8187-8006-8003	0.67	0.16	-0.62
426-8004-GPS19	-1.34	-1.23	-1.02	8187-GPS23-8005	-0.24	-0.05	-0.27
426-8004-GPS24	-0.07	-0.88	0.12	8187-GPS23-7213	0.00	0.16	-0.09
426-8004-GPS20	-0.52	-0.69	0.03	8187-GPS23-GPS24	0.28	-0.20	-0.53
426-8004-8003	0.63	-0.08	-0.04	8187-GPS23-GPS21	0.03	0.10	-0.51
426-7216-8187	-0.51	-0.47	0.53	8187-GPS23-GPS20	0.03	0.11	-0.52
426-7216-8006	-1.10	-0.93	-0.40	8187-GPS23-8003	0.32	-0.24	0.07
426-7216-GPS23	-1.29	-0.86	-0.41	8187-8005-7213	0.24	0.21	0.17
426-7216-8005	-1.44	-0.83	-0.73	8187-8005-GPS19	-0.62	-0.35	-1.14
426-7216-7213	-1.30	-0.73	-0.67	8187-8005-GPS24	0.82	-0.03	0.13
426-7216-8003	-1.00	-1.05	-0.48	8187-8005-8003	0.47	-0.21	0.38
426-8187-8006	0.51	0.48	-0.54	8187-7213-GPS24	0.50	-0.51	-0.27
426-8187-GPS20	-0.25	-0.22	0.27	8187-7213-GPS21	0.02	-0.08	-0.60
426-8187-GPS24	-0.58	-0.08	0.53	8187-7213-GPS20	0.02	-0.08	-0.60
426-8187-GPS19	-0.25	-0.23	0.27	8187-7213-8003	0.48	-0.33	0.31
426-8006-GPS23	-0.18	0.06	0.00	8187-GPS24-GPS21	-0.06	0.27	0.45
426-8006-8005	-0.33	0.08	-0.33	8187-GPS24-GPS20	-0.10	0.39	0.55
426-8006-7213	-0.19	0.19	-0.28	8187-GPS24-8003	0.17	0.01	0.64
426-8006-GPS24	-0.33	0.01	0.61	8187-GPS21-8003	-0.05	-0.12	0.58
426-8006-8003	0.12	-0.13	-0.08	8187-GPS20-8003	0.00	-0.24	0.48
426-GPS23-8005	-0.24	-0.05	-0.26	8006-GPS23-8005	-0.09	-0.07	0.06
426-GPS23-7213	0.00	0.16	-0.09	8006-GPS23-7213	0.01	0.03	0.19
426-GPS23-GPS24	-0.30	-0.28	0.00	8006-GPS23-GPS24	-0.15	-0.23	-0.61
426-GPS23-GPS20	-0.23	-0.12	-0.24	8006-8005-7213	0.10	0.11	0.12
426-8005-7213	0.23	0.21	0.17	8006-8005-GPS24	0.23	-0.04	-0.29
426-8005-GPS19	-0.87	-0.58	-0.87	8006-8005-8003	-0.03	0.19	0.13
426-8005-8003	0.42	-0.03	0.37	8006-7213-8003	0.12	0.18	0.11
426-7213-GPS24	-0.08	-0.59	0.25	8006-GPS24-8003	0.27	0.43	0.80
426-7213-GPS20	-0.23	-0.31	-0.34	GPS23-8005-GPS19	0.29	0.11	0.22
426-7213-8003	0.43	-0.14	0.30	GPS23-8005-GPS24	0.30	0.12	0.29
426-GPS19-GPS24	1.66	0.72	1.85	GPS23-8005-GPS21	0.09	0.09	-0.06
426-GPS24-GPS21	0.27	0.12	0.19	GPS23-7213-GPS24	0.22	-0.15	0.17
426-GPS24-GPS20	0.23	0.24	0.30	GPS23-7213-GPS21	-0.01	-0.02	-0.18
426-GPS24-8003	0.71	0.28	0.11	GPS23-7213-GPS20	-0.01	-0.03	-0.18
426-GPS21-8003	0.16	0.30	0.31	GPS23-GPS19-GPS24	0.56	0.27	0.50
8002/1-8004-8187	-0.34	-0.56	-0.37	GPS23-GPS19-8003	0.69	0.32	0.55
8002/1-8004-8006	0.03	-0.12	-0.87	GPS23-GPS24-GPS21	0.19	-0.03	0.43
8002/1-8004-GPS23	-0.17	-0.25	-0.10	GPS23-GPS24-GPS20	0.16	0.08	0.54
8002/1-8004-8005	-0.13	-0.28	-0.11	GPS23-GPS24-8003	0.13	0.05	0.04
8002/1-8004-GPS19	0.79	0.39	1.14	GPS23-GPS21-8003	-0.35	0.22	0.00
8002/1-8004-GPS24	0.38	0.03	-0.60	GPS23-GPS20-8003	-0.30	0.11	-0.11
8002/1-8004-GPS21	0.25	0.04	1.57	8005-7213-GPS19	-0.50	-0.28	-0.25
8002/1-8004-GPS20	0.20	0.15	1.67	8005-7213-GPS24	-0.08	-0.27	-0.23
8002/1-8004-8003	-0.31	-0.39	-0.79	8005-7213-GPS21	-0.10	-0.11	-0.12
8002/1-7216-8187	1.08	0.34	1.38	8005-7213-GPS20	-0.09	-0.10	-0.12
8002/1-7216-GPS23	0.28	0.35	0.61	8005-GPS19-GPS24	0.55	0.26	0.33
8002/1-7216-8005	0.40	0.40	0.54	8005-GPS19-GPS21	-0.97	-0.59	-0.83
8002/1-7216-7213	0.12	0.27	0.40	8005-GPS19-GPS20	-0.97	-0.58	-0.82

Tablo-7: Ankara GPS Test Ağına Ait Bazların Ortalamaları (m)

	426	8002-1	8004	7216	8187	8006	23	8005	7213	19	24	21	20	8003
22	7218.1102	15343.5957	12833.4624	35234.7268	7681.7319	14014.6524	16902.6898	20679.5370	22002.5727	30878.5105	8866.7181	5471.8905	19790.8533	9830.7434
426	22544.5774	12369.1116	41087.1318	11339.8857	10080.0133	9686.3396	13536.8835	25495.3669	36657.6507	7878.6036	13668.5945	23117.6351	14151.1835	
8002-1	22520.9853	24273.7277	15476.8920	27665.5415	32215.6492	35854.1616	20750.0757	20632.1215	21835.4913	8388.8908	19785.5861	15607.7043		
8004		33345.8792	7188.3400	22435.4092	17245.7162	18779.7203	14949.7780	28992.0136	19534.5349	16126.2459	12634.5292	22651.9782		
7216		29950.1110	49220.7015	49440.9333	51812.8084	19522.3944	4444.9965	43735.7954					39363.2657	
8187			20644.1075	19582.3199	23356.6792	14575.8862	25508.3189	16205.0091	9192.3098	12282.7380	16893.9913			
8006				11877.3932	15891.1633	35168.5504	44881.6571	5832.7313					13763.2124	
23					4290.6822	32095.8958	45000.0360	14348.3067	23372.0818	29731.4347	22493.9028			
8005						33711.6855	47396.3188	18628.6764	27102.0657	31412.0568	26738.5012			
7213						15550.4103	30742.9031	20437.0271	2396.1829	29999.1237				
19							39445.7936	26193.6194	17201.0704	35365.4618				
21								13576.1663	38476.6618	8502.0576				
21									12616.2640	9749.2963				
29										28048.4631				

Tablo-8: Ankara GPS Test Ağına Ait Bazların  
Ortalamalarının Hataları (cm)

	426	8002-1	8004	7216	8187	8006	23	8005	7213	19	24	21	20	8003
22	0.07	0.24	0.31	0.60	0.37	0.06	0.04	0.10	0.20	0.04	0.29			
426		0.25	0.57	0.44		0.02	0.15	0.05	0.07	0.06	0.02	0.13		
8002-1			0.49	0.12	0.49	0.39	0.28	0.21	0.17	0.35	0.55			
8004				0.22	0.48	0.91	0.46	0.49	0.43	0.22	0.12	0.41	0.14	0.51
7216					0.65	0.73	0.71	0.58			0.59			
8187						0.47	0.51	0.31	0.25	0.30	0.01	0.06		
8006							0.14	0.36	0.40		0.07			
23								0.13	0.16	0.01	0.10	0.03	0.09	0.20
8005									0.13	0.15	0.02	0.15	0.23	0.28
7213										0.19	0.48	0.16	0.08	0.32
19											0.26	0.07	0.04	0.03
24												0.49		
21												0.08		
20													0.05	

Tablo-9: Ankara GPS Test Ağına Ait Bazların  
Ortalamalarının Oransal Hataları (ppm)

	426	8002-1	8004	7216	8187	8006	23	8005	7213	19	24	21	20	8003
22	0.09	0.16	0.24	0.17	0.48	0.05	0.02	0.05	0.09	0.01				0.29
426		0.11	0.46	0.39		0.02	0.11	0.02	0.02		0.04	0.00	0.09	
8002-1			0.22	0.05	0.31	0.14	0.09	0.06	0.08	0.17			0.35	
8004						0.07	0.67	0.41	0.27	0.26	0.29	0.08	0.06	0.25
7216								0.13	0.15	0.14	0.30			0.15
8187									0.24	0.23	0.21	0.10		0.32
8006										0.12	0.23	0.12		0.05
23										0.30	0.05	0.00	0.07	0.01
8005											0.04	0.03	0.01	0.05
7213											0.12	0.16	0.08	0.33
19												0.07	0.03	0.01
24														0.58
21														0.05
20														

Tablo-10: Ankara GPS Test Ağında GPS (Gamit ve Bernese Yazılımı) ve EDM  
İle Belirlenen Bazların Karşılaştırılması

NOKTA SINDAN	SINA	I GPS KENARI (GAMIT)	II GPS KENARI (BERNESE)	III E D M KENARI	HATA (cm)	FARK (II-I) (cm)	FARK (III-I) (cm)	(III-I) ----- I (ppm)
7213	7216	19522.394	19522.397	19522.462	1.3	0.3	6.7	3.48
7213	8002/1	20750.076	20750.082	20750.139	1.4	0.6	6.3	3.03
7213	8003	29999.124	29999.136	29999.227	2.0	1.2	10.3	3.43
7213	8004	14949.778	14949.783	14949.837	1.0	0.5	5.9	3.95
7213	8187	14575.886	14575.890	14575.941	0.9	0.4	5.4	3.77
7216	8002/1	24273.728	24273.732	24273.834	1.6	0.4	10.5	4.37
8002/1	8003	15607.704	15607.712	15607.748	1.0	0.8	4.3	2.82
8002/1	8004	22520.985	22520.993	22521.010	1.5	0.8	2.5	1.11
8002/1	8187	15476.892	15476.899	15476.952	1.0	0.7	6.0	3.88
8003	8004	22651.978	22651.989	22652.052	1.5	1.1	7.4	3.27
8003	9005	26738.501	26738.510	26738.566	1.8	0.9	6.5	2.43
8003	8006	13763.212	13763.219	13763.274	0.9	0.7	6.2	4.50
8003	426	14151.184	14151.187	14151.253	0.9	0.3	7.0	4.86
8003	6137	16893.991	16893.995	16894.051	1.1	0.4	5.9	3.55
8004	8005	18779.721	18779.724	18779.790	1.2	0.3	6.8	3.67
8004	8006	22435.409	22435.416	22435.455	1.5	0.7	4.6	2.05
8004	8187	7188.340	7188.342	7188.395	0.4	0.2	5.5	7.65
8005	8000	15891.163	15891.169	15891.195	1.0	0.6	3.2	2.01
8005	426	13536.884	13536.883	13536.934	0.9	-0.1	5.1	3.69
8006	426	10080.013	10080.017	10080.045	0.6	0.4	3.2	3.17
426	8187	11339.886	11339.890	11339.945	0.7	0.4	5.9	5.20
ORTALAMA						0.6	5.9	3.61

Görülebileceği gibi en büyük fark, 35km uzunluğundaki 7213-8006 kenarı için 2.42cm olup 1/1 450 000 oransal hataya karşılık gelmektedir.

Tablo-11: Bir Saatlik GPS Ölçüsü ile Hesaplanan Bazların Altı  
Saatlik GPS Ölçüsü ile Hesaplanan Bazlardan Earkı(cm)

	426	8004	7216	8187	8006	8005	7213	8003
GPS22	0.27	-2.07	-0.98	-0.68	1.88	0.17	0.33	0.84
426		-0.77	0.08	0.50	0.70	0.12	1.67	-0.60
8004			0.11	-1.12	-0.08	-0.80	1.75	-1.45
7216				-0.37	0.77	-0.37	-0.79	-0.07
8187					1.32	-0.02	1.09	0.20
8006						0.95	2.42	-0.06
8005							0.84	-0.09
7213								1.34

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hızla gelişen GPS teknigi, jeodezinin güncel sorunlarına çok çeşitli pratik çözümler sunmaktadır. Günümüzde avuç içine kolayca sıgacak büyülük-teki basit alıcılar ile istenen bir jeodezik referans sisteminde ±20m (SA etkileri dışında) doğruluk ile, sürekli ve sayısal olarak üç boyutta konum, hız ve zaman belirlemek olasıdır. Diğer taraftan, yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi, ülke ağlarında duyarlı relativ konumlama gibi özel amaçlarla kullanılan jeodezik alıcılar ve bilimsel amaçlı yazılımlar ile 1000km'ye varan bazların cm duyarlıkla (0.01ppm) ölçümü ve hesabı mümkündür /11/.

Bu çalışmada doğu-batı yönünde 25, kuzey-güney yönünde 55km'lik bir bölge içinde, kenar uzunlukları 2-50km arasında değişen yerel bir aña çiftprekanslı ve çok duyarlı jeodezik alıcılar (TRIMBLE 4000SST) ile 4 ayrı günde (6 saat/gün) yapılan GPS ölçüleri değerlendirilmiştir. Değerlendirmede daha çok bilimsel amaçlara yönelik olarak hazırlanan GAMIT yazılımı ve yalnızca Ankara Test Ağı Noktalarındaki GPS ölçüleri (yayın efemerisi) kullanılmıştır. Duyarlı efemeris kullanılmamış ve sabit izleme istasyonlarında (CIGNET) eş zamanlı GPS ölçüleri yardımıyla uydu yörüngे iyileştirmesi yapılmamıştır. Ölçüler her gün için ayrı ayrı değerlendirilmiş, kampanya çözümü yapılmayarak günlük çözümlerin ortalamaları alınmıştır.

Ancak tablo-3 ve 4'ten de görüleceği gibi, en uzun bazlarda bile günlük çözüm sonucu hatalar 2-4mm (en büyük 4.7mm) düzeyinde olup baz bileşenlerinin günler arasındaki en büyük farkları 2cm'nin altındadır. Tablo-5'ten görüleceği gibi günlük baz uzunlıklarının 4 günlük ortalamalarından farkı en çok 1.34cm (243'üncü günde 8004-GPS23 kenarı) dir.

Ortalama baz bileşenleri ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) ile üçgenler şeklinde oluşturulan lüpların en büyük kapanma hataları  $\Delta X$  için 1.9cm,  $\Delta Y$  için 1.7cm,  $\Delta Z$  için 3.0 cm'dir (tablo-6).

Bazların ortalama değerleri için dolaysız ölçüler denelemesi ile hesaplanan karesel ortalama hatalar en az  $\pm 0.1\text{mm}$ , en çok  $\pm 9.1\text{mm}'dir$  (tablo-8). Bazların oransal hataları ortalama 0.14ppm, en çok 0.58ppm'dir (tablo-9).

Gerek ölçüm gerek değerlendirmede bu kadar yüksek duyarlıklar ağır kalıcı ve özel amaçlı oluşundan kaynaklanmaktadır. 20-30km kenarlı yerel ağlarda karşılaşılan klasik nokta sıklaştırma problemlerinin çözümü için (static positioning) daha kısa sürede yapılacak GPS ölçülerinin yeterli olabileceği 243'üncü günde 6 saat yerine 1 saatlik ölçü ile yapılan değerlendirmede pratik olarak görülmüştür. Bu sonuçlardan, yeterli sayıda ve uygun geometride uyduların gözlenebildiği zamanlarda çok daha kısa sürelerde yapılacak GPS ölçülerinin nokta sıklaştırmasından beklenen duyarlıklarını sağlayabileceği kolayca söylenebilir.

Diğer taraftan, nokta sıklaştırması amacıyla faz belirsizliklerinin çözümü ve faz kayıklıklarının giderilmesi gibi kullanıcının çok deneyimli olmasını gerektiren ve çok zaman alıcı işlemlerin yoğun olduğu GAMIT ve BERNESE gibi bilimsel amaçlı yazılımlar yerine genellikle yapımcı firmalar tarafından hazırlanan kullanımı kolay yazılımlardan yararlanılabilir. Kısa bazlarda bağıl nokta konumlamada son günlerde kaydedilen gelişmeler, statik konumlamanın gerektirdiği ölçü sürelerini inanılmaz ölçüde azaltmakta, sinyal kesikliklerinden kaynaklanan sorunlar kolayca çözülmektedir /12/. Rapid Static, Fast-Static ve Pseudostatic isimleriyle tanımlanan (benzer) yöntemlerde bir alıcı bilinen bir noktada ölçü yaparken diğer alıcının (alıcıların) yeni noktalarda 2-10 dakikalık sürede ölçü yapması yeterli olmakta ve noktalar arasındaki intikalde sinyal bağlantısına ihtiyaç bulunmamaktadır. GPS21-GPS22 bazının daha sonra rapid static yöntemle, 10 dakika süre ile, Wild System 200 alıcıları kullanılarak ölçülmesi sonucu uzunluğu 6471.880m olarak hesaplanmış olup bu sonuç 4 günlük ölçülerin ortalamasından yalnızca 1.0cm farklıdır.

Bu yazında uzun bazlarda GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde karşılaşılan, detaylı bilgi ve deneyim gerektiren detaylara girilmemiştir. GPS ölçülerinin değerlendirilmesinden sonra elde edilen baz bileşenleri ve bazların (WGS84'te) ülke ağında nokta sıklaştırması amacıyla kullanılması da konu dışı tutulmuştur.

Son gelişmeler de dikkate alındığında, ölçü sırasındaki aletin kurulması, ölçüye başlatılması gibi işlemler dışında kişiden bağımsız olarak sağlanan yüksek duyarlıklar ve çok ekonomik olma özelliği ile GPS'in ülkemizde de güncel yaşamdaki yerini kaçınılmazdır.

## K A Y N A K L A R

- /1/ Wells,D. : Guide To GPS Positioning Canadian GPS Association, 1986.
- /2/ King,R.W.,Collins,J. : Surveying With GPS, Monograph No.9, School of Masters,E.M., Surveying, University of New South Wales, Sydney, 1985.
- /3/ ANP-2(A) : Introduction To Navstar GPS, User Equipment, NATO Unclassified, February, 1991.
- /4/ Wellenhof,B.H., Lichtenegger,H., Collins,J. : Global Positioning System, Theory and Practise, Springer-Verlag, 1992.
- /5/ Leick,A. : GPS Satellite Surveying, Department of Surveying Engineering, University of Maine John Wiley & Sons, 1990.
- /6/ Wellenhof,B.H. : GPS In Practice-From Measurement To Results, Institute of Theoretical Geodesy, Technical University Graz,
- /7/ Remondi,B.W. : Using the global positioning System (GPS) phase observable for relative geodesy: Modeling, processing and results. The University of Texas at Austin, Center for Space Research, 1984.

- /8/ Talbot,N.C. : Recent Advances in GPS Hardware Software. National Conference on GPS Surveying, University of New South Wales, Sydney, Australia, June, 1992.
- /9/ Kınık,İ., Şanlı,İ. : Başlangıçtan Günümüze kadar Türkiye'de yapılan Uydu Jeodezisi Faaliyetleri, 1992.
- /10/ Back,Y.,Abbot,R.I., Gourevitch,A., King,R.W., Counselman,C.C. : Establishment of three-dimensional geodetic control by interferometry with GPS, Journal of Geophysical Research, 90,7689-7703, 1985.
- /11/ FGCC. : Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications For Using GPS Relative Positioning Techniques, Federal Geodetic Control Committee, August 1989.
- /12/ Frei,E., Beutler,G. : Rapid Static Positioning based on the fast ambiguity resolution approach "FARA": theory and first results, Manuscripta Geodetica, Vol: 15, 1990.
- /13/ Boucher,C., Altamimi,Z. : ITRF89 and other realizations of the IERS Terrestrial Reference System for 1989, IERS Technical Note No.:6, 1991,
- /14/ King,R.W. : Documentation for the MIT GPS Analysis Software, Release 8.2, July 1991, (Yayınlanmadı).