

## GPS EFEMERİS BİLGİSİNİN GÖRELİ KONUMLAMADA KOORDİNATLARA VE BAZ BİLEŞENLERİNE ETKİSİ

**Ekrem TUŞAT**

S.Ü. Hadim Meslek Yüksekokulu, Konya

**Bayram TURGUT**

S.Ü. Müh-Mim. Fakültesi, Jeod. ve Fot. Müh. Bölümü, Konya

**Makalenin Geliş Tarihi:** 01.12.2003

**ÖZET:** GPS Sisteminde, yayın efemerisi ve hassas efemeris olmak üzere, iki tür yörünge bilgisi kullanılmaktadır. Yayın efemerisi, anlık konum belirleme uygulamalarında, GPS navigasyon mesajının bir parçası olarak yayınlanmakta olup pek çok uygulama için duyarlılığı yeterli olmaktadır. Bunun yanında yüksek duyarlılık gerektiren uygulamalarda, GPS verilerinin gözlem sonrası büroda değerlendirilmesi aşamasında hassas yörünge bilgisinin kullanılması tercih edilmektedir. Bu çalışmada Konya Metropolitan sahası ve civarındaki 7 adet nokta ve uzunlukları 7~90 km arasında değişen 12 adet bazdan oluşan bir test ağında efemeris bilgisinin koordinatlara ve baz bileşenlerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla efemeris bilgisi olarak hem gözlem esnasında kayıt edilen yayın efemerisi hem de IGS tarafından SP3 formatında internet üzerinden yayınlanan hassas efemeris bilgilerine göre değerlendirme yapılmıştır. Her iki yöntemle de elde edilen sonuçlar arasındaki farklar karşılaştırılarak, efemeris bilgisinin görelî konumlamaya etkisi yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** GPS, Yayın efemerisi, hassas efemeris

### GPS Ephemeris Effects of Relative Positioning On the Coordinates and Baseline Components

**ABSTRACT:** GPS system provides two types of ephemeris information for satellite orbits which are broadcast and precise ephemeris. Broadcast ephemeris is transmitted as a part of GPS navigation message and used in the applications that need real time positioning. It's precision met accuracy requirement of this applications. However, for the applications requiring high accuracy, precise ephemeris data can be preferred during the post process of GPS observation. In this study, the effect of ephemeris data on the coordinate and baselines were investigated. For this reason a test network, which is constituted of 7 points and 12 baselines in the lengths of 7 to 90 km, is used. The process was done by using broadcast ephemeris transmitted as a part of navigation message on GPS observation collected and also precise ephemeris in SP3 format broadcasted on the internet by IGS. Consequently, the differences between the result obtained from both cases were compared and the effects of orbit data was explained on relative positioning.

**Key words:** GPS, Broadcast ephemeris, precise ephemeris

### GİRİŞ

GPS Navigasyon Mesajı içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşük olduğu yada kasıtlı olarak yanlış yayınlanması durumunda karşılaşılan hataya efemeris hatası denir. Bu hata,

modellendirilmesi zor olan bozucu etkilerden birisidir. Efemeris hatası uydu yörüngelerinin daha duyarlı hesabını gerektirmektedir. Bu da uydulara etki eden kuvvetlerin çok iyi ölçülmesi yada modellendirilmesine bağlıdır. Efemeris hatası uydu konumlarının kestiriminin (prediksiyonunun) bir sonucu olduğundan, bu

hatanın büyüklüğü kontrol bölümü tarafından uydulara yapılan en son yükleme zamanından uzaklaştıkça artacaktır. Uydu yörünge hatasının (uydu konum hatası) ölçülen baz bileşenlerinde neden olacağı hata (1) eşitliği ile verilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2001).

$$\frac{\Delta b(m)}{b(km)} = \frac{\Delta r(m)}{\rho_R^{SV}(km)} \quad (1)$$

$\Delta b$  : Ölçülen baz bileşenindeki hata

$b$  : Ölçülen baz

$\Delta r$  : Yörünge hatası(Uydu konum hatası)

$\rho_R^{SV}$  : Uydu-Alıcı uzaklığıdır.

Uydu-alıcı uzaklığı yaklaşık 20200 km kabul edilirse, bu eşitlikten yararlanarak farklı efemeris hataları (uydu koordinatlarındaki hatalar) ve baz uzunlukları için elde edilecek uzunluk hataları Tablo 1’de sunulmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2001).

Tablo 1 incelendiğinde birkaç kilometrelik baz uzunlukları için efemeris hatasının etkisi oldukça küçüktür. Ancak, baz uzunluklarının birkaç yüz kilometreyi bulduğu durumlarda bu hatanın büyüklüğü artmaktadır, bu ise GPS sisteminin yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalarda ve çok uzun bazlarda kullanılmasında sorun oluşturmaktadır.

Efemeris hatası yukarıda açıklanan doğal nedenlerden kaynaklanabildiği gibi, GPS mesajları içerisinde de kasıtlı olarak artırılabilir. Tüm kullanıcıların hiçbir kısıtlama olmaksızın ulaşabildiği yayın (broadcast) efemerisi kullanılarak, uygun

geometrideki 4 uydudan eşzamanlı olarak kaydedilen sinyaller yardımıyla anlık konum belirlendiğinde elde edilen üç boyutta nokta konum hatası yaklaşık  $\pm 25$  m’dir. Ancak ABD.’nin savunma politikaları gereği bu hata miktarları uyduların kestirilen koordinatlarında ve uydu saatlerinde uygulanan yapay bozucu etkilerle anlık konum belirleme doğruluğu, C/A kod kullanılarak, %95 istatistik güven ile iki boyutta  $\pm 100$  m ve üç boyutta  $\pm 156$  m’dir. P-Kod kullanılması durumunda bu etkiler söz konusu olmayıp üç boyutta elde edilen konum doğruluğu (%95 istatistik güven ile)  $\pm 8-10$  m’dir (Kahveci ve Yıldız, 2001).

### GPS UYDU YÖRÜNGELERİ (EFEMERİSLER)

Anlık (real-time) konum belirleme uygulamalarında GPS Navigasyon Mesajının bir parçası olarak yayınlanan yayın (broadcast) efemerisi ve saat bilgileri kullanılmaktadır. Diğer taraftan, GPS verilerinin ölçü sonrası büroda değerlendirilmesi (post process) aşamasında duyarlı GPS yörünge ve saat bilgilerinin kullanılması tercih edilmektedir.

### Yayın Efemerisi (Broadcast Ephemeris)

Yayın efemeris bilgileri GPS Kontrol Bölümü izleme istasyonlarından toplanan kod (pseudorange) gözlemlerine dayalı olarak üretilmektedir. Yayın efemerisi anlık olarak (anında) yayınlanmakta olup yaklaşık 12 ile 36 saatlik bir süre için geçerlidir. Yalnızca 6 izleme

Tablo 1. Efemeris hataları nedeniyle ölçülen kenarlardaki hata oranları.  
Table 1. Error ratios of measured baselines because of ephemeris error.

Efemeris Hatası (m)	Baz Uzunluğu (km)	Baz Hatası (ppm)	Baz Hatası (mm)
2.5	1	--	--
2.5	10	0.124	1
2.5	100	0.124	12
2.5	1000	0.124	124
0.05	1	--	--
0.05	10	--	--
0.05	100	0.0025	0.2
0.05	1000	0.0025	2.5

istasyonunda toplanan verilerle üretildiği düşünülürken elde edilen doğruluğun (~5- 10 m) oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yayın efemerisi WGS84 sisteminde olup, yayınlanan parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Yayın efemerisi sayısal integrasyon yöntemi ile hesaplanmakta olup, Navigasyon Mesajı içerisinde başlangıç durumu ve hız vektörleri yada uydulara ait jeosentrik konumların yayınlanması yerine Pseudo-Kepler elemanları ve bunlardan bazılarına ilişkin zamana bağlı değişimleri (düzeltmeler) yayınlanmaktadır. Hesaplanan yeni elemanlar iki saatte bir güncellenerek yayınlanmaktadır. (Kahveci ve Yıldız, 2001; Kınık, 1999).

### Hassas Efemeris (Precise Ephemeris)

Duyarlı yörünge ve saat bilgileri çok sayıda devlet kurumu ve bilimsel kuruluşlar tarafından hesaplanarak internet aracılığı ile tüm kullanıcılara ücretsiz olarak sunulmaktadır. Bu duyarlı yörünge ve saat bilgilerini üreten kurum ve kuruluşlardan en çok bilinenleri Tablo 3’ te verilmiştir. Bunların dışında duyarlı yörünge bilgisi üreten çok sayıda kurum ve kuruluş saymak olanaklıdır (Kahveci ve Yıldız, 2001).

Tablo 2. Yayın efemerisi parametre bilgileri.

Table 2. Broadcast ephemeris parameters.

$M_0$	Referans anında ortalama anomali
$\Delta n$	Hesaplanan değerden ortalama hareket farkı
$E$	Eksentrisite
$\sqrt{a}$	Büyük yarı eksenin karekökü
$\Omega_0$	Referans anındaki rektasansiyon
$i_0$	Referans anındaki eğim açısı
$\omega$	Yer yakını noktası (Perigee) argümanı
$\dot{\Omega}$	Rektasansiyon değişim hızı
$C_{uc}$	Enlem argümanına kosinüs harmonik düzeltme miktarı
$C_{us}$	Enlem argümanına sinüs harmonik düzeltme miktarı
$C_{rc}$	Yörünge yarıçapına kosinüs harmonik düzeltme miktarı
$C_{rs}$	Yörünge yarıçapına sinüs harmonik düzeltme miktarı
$C_{ic}$	Eğim açısına kosinüs harmonik düzeltme miktarı
$C_{is}$	Eğim açısına sinüs harmonik düzeltme miktarı
$t_{oe}$	Efemeris referans zamanı
IOD	Veri yaşı (Efemeris için)

Tablo 3. Duyarlı yörünge/saat bilgileri üreten kurum ve kuruluşlar.

Table 3. Foundations producing precise orbit and clock data.

Kurum/Kuruluş Adı	Kullanılan Yazılım
Jet Propulsion Laboratory (JPL)	GIPSY-OASIS II
Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC)	GAMIT
Center for Orbit Determination in Europe (CODE)	BERNESE
National Geodetic Survey (NGS)	PAGE5

### NGS hassas efemerisi

NGS Hassas Efemerisinin üretilmesinden A.B.D. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) sorumludur. NGS Hassas efemerisi gözlem anından itibaren 2 ile 6 gün arasında kullanıcıların hizmetine internet aracılığı ile UNIX-sıkıştırılmış formatta sunulmaktadır.

NGS efemerisi ITRF sisteminde ve IERS noktalarına ait duyarlı koordinatlar kullanılarak hesaplanmakta olup, SP3 (Standart Product 3) formatında ASCII olarak üretilmektedir. NGS, SP3 formatındaki dosya isimlendirilmesinde **NGSOwwwn.aaa** genel tanımlanması kullanılmaktadır.

**Wwww:** GPS haftasını, örn. 1064  
**N** : **Haftanın** gününü örnek;  
 n = 0 Pazar  
 n = 1 Pazartesi  
 n = 6 Cumartesi

**aaa** : **Dosya** türünü, örnek;  
 SP3 (efemeris)  
 SUM (özet bilgi)  
 ERP (yer dönme parametreleri)

### IGS hassas efemerisi

IGS (International GPS Service for Geodynamics) yörünge bilgilerinin (efemerisleri) üretimi 21 Haziran 1992 tarihinde gerçekleştirilen deneme amaçlı bir GPS ölçü kampanyası ile başlatılmıştır. Daha önce açıklanan yayın ve NGS duyarlı efemerislerinin tersine IGS yörüngeleri, duyarlı P-Kod alıcılarının kurulu olduğu yoğun bir global ağda yapılan faz gözlemlerinden yararlanılarak oluşturulmaktadır.

IGS yörüngelerinin resmi olarak dağıtımı 1 Ocak 1994 tarihinde başlamış olup, dağıtım IGS merkezi (IGS CBIS;IGS Central Bureau Information System) ile global ve bölgesel veri analiz merkezleri tarafından yapılmaktadır. Günümüzde IGS, bilimsel çalışma ve mühendislik uygulamalarında yeterli doğrulukta kullanılacak GPS ölçülerinin toplanması, arşivlenmesi ve dağıtımından sorumludur. Bu GPS ölçüleri aşağıdaki ürünlerin elde edilmesi için kullanılmaktadır:

- Yüksek doğruluklu GPS uydu efemerisleri,
- Yer dönme parametreleri (ERP),
- IGS izleme istasyonlarının koordinatları ve bunların hareket miktarları (hızları) ,
- GPS uyduları ve IGS izleme istasyonlarına ilişkin saat bilgileri,
- Troposferik zenit gecikme değerlerinin hesabı

IGS ürünleri, ITRF sisteminin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, deniz düzeyindeki değişimlerin belirlenmesi ve iyonosferik çalışmaların gerektirdiği yüksek doğruluğu sağlamaktadır.

IGS üç farklı yörünge bilgisi üretmekte olup bunlar; IGS Sonuç (IGS Final), IGS Hızlı (IGS Rapid; IGR) ve IGS Ultra Hızlı (IGS Ultra Rapid; IGU) efemerisleridir. Efemeris dışındaki IGS ürünleri, saat parametreleri, kutup parametreleri, UT1-UTC, ITRF sisteminde uydu ve nokta koordinatları, iyonosfer modelleri, alıcı anteni kalibrasyon tabloları şeklinde sayılabilir. Günümüzde elde edilen IGS yörünge doğrulukları Tablo 4' te verilen bu ürünler tüm kullanıcılara açık olan <ftp://igsb.jpl.nasa.gov> ve <http://www.aiub.unibe.ch> internet adreslerinden ücretsiz olarak temin edilebilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2001; IGS, 2003).

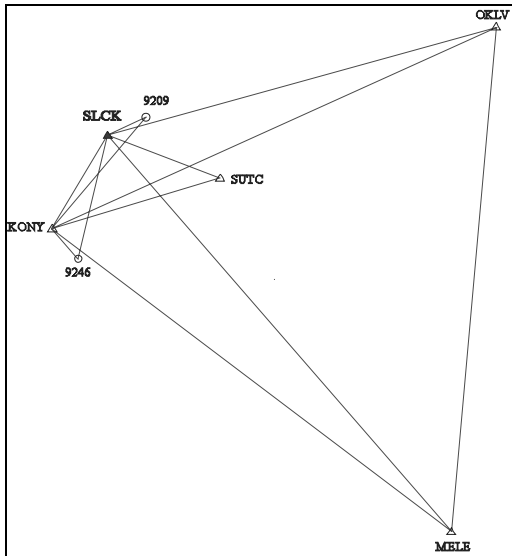
Tablo 4. IGS yörünge doğrulukları.

Table 4. Accuracies of IGS orbits.

Yörünge	Doğruluk	Elde Etme Süresi
Yayın Efemerisi (Broadcast)	~260 cm / 7 ns	Anlık (real time)
IGS Kestirim (predicted)	~0.25 cm / 5 ns	Anlık
IGS Hızlı	5 cm / 0.2 ns	17 saat sonra
IGS Sonuç	< 5 cm / 0.1 ns	13 gün sonra

## SAYISAL UYGULAMA

Efemeris bilgisinin koordinatlara ve baz bileşenlerine etkisini araştırmak amacıyla Konya Metropolitan sahası ve civarındaki 7 adet nokta ve uzunlukları 7~90 km arasında değişen 12 adet bazdan oluşan bir test ağı oluşturulmuştur (Şekil 1). Yapılan sayısal uygulamada, değerlendirme esnasında seçilen parametrelerden sadece yörünge bilgileri değiştirilerek aynı bazlara ve noktalara ilişkin yayın (broadcast) ve hassas (IGS) efemerisin koordinatlara ve baz bileşenlerine etkisi araştırılmıştır.



Şekil 1. Test ağı.

Figure 1. Test network

2002.264 ve 2002.265 günü 1.5<sup>h</sup>- 6<sup>h</sup> arasında değişen süreler ile statik yöntemle yapılan ölçüler kullanılarak efemeris bilgisinin koordinat

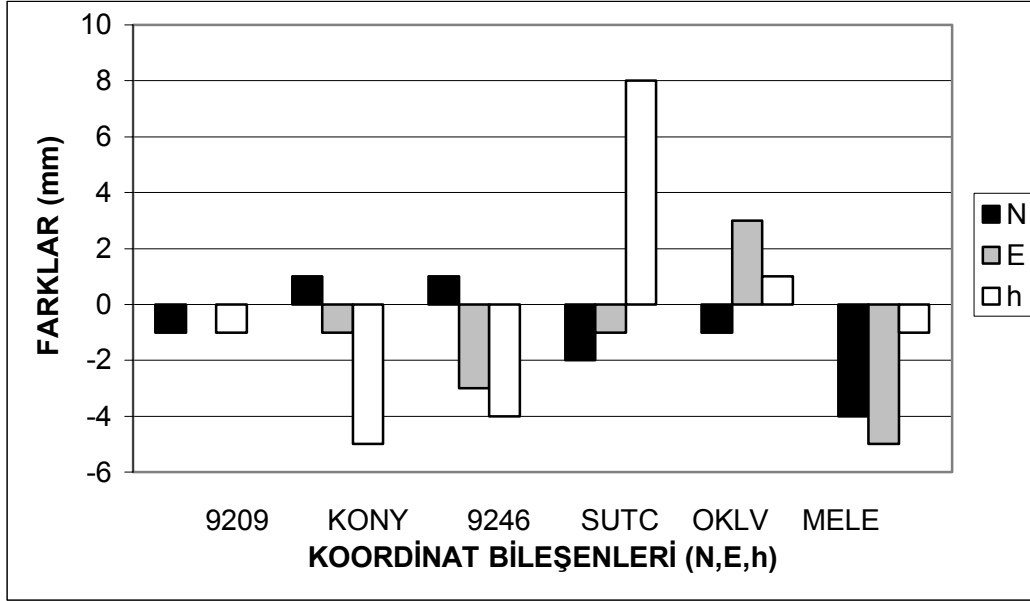
bileşenleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla pratik uygulamalarda kullanılan Trimble Geomatics Office (TGO) yazılımı kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmede; troposfer modeli olarak Saastamoinen standart troposfer modeli kullanılmış, uydu yükseklik açısı 15° seçilmiştir. Başlangıç faz bilinmeyi çözümlerinde ve iyonosferik etkinin modellendirilmesinde 30 km ye kadar olan bazlarda iyonosferden bağımsız başlangıç faz bilinmeyi tamsayı çözüm (iono free fixed), 30 km den uzun bazlarda iyonosferden bağımsız başlangıç faz bilinmeyi kesirli çözüm (iyonosfer free float) kullanılmıştır. Elde edilen baz çözüm sonuçları, lup kapanmaları incelenip bütün kapanmalarım 0.447 ppm' den küçük olduğu görüldükten sonra, SLCK noktasının 2002.264 epoğundaki ITRF koordinatları sabit alınarak % 95 güven seviyesi ile dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonucunda her iki yöntemle göre de koordinatların standart sapmaları 1cm. nin altında kalmıştır. Dengeleme sonucu yayın efemerisi ve hassas efemerise göre bulunan koordinat arasındaki farklar Tablo 5 de, bu farkların grafik gösterimi Şekil 2 de verilmiştir.

Yörünge bilgisinin baz uzunluğuna göre etkisini araştırmak için, yapılan değerlendirme sonucu hesaplanan bazlar incelenmiştir. Buna göre, hassas ve yayın efemerisin baz bileşenlerindeki farklar ve oransal olarak karşılıkları Tablo 6' da, bu farkların grafik gösterimi Şekil 3' te verilmiştir. Farkların baz uzunluğuna bağlı değişimlerinin grafik gösterimi ise Şekil 4' te verilmiştir.

Tablo 5. Yayın efemerisi ve hassas efemerise göre bulunan koordinatların farkları.

Table 5. Coordinate differances computed with respect to broadcast and precise ephemeris.

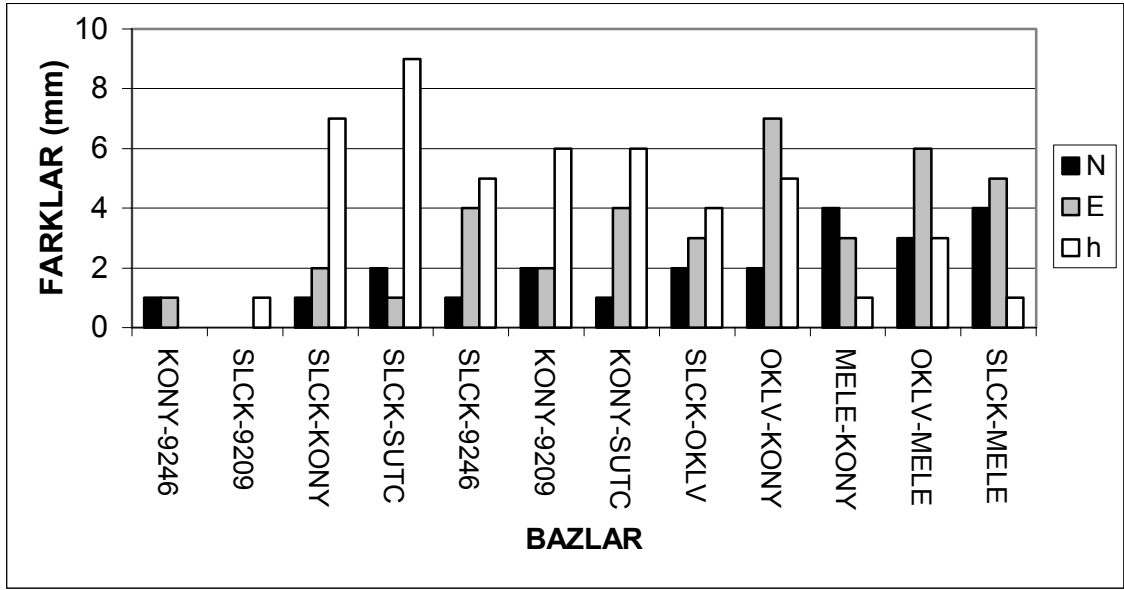
Nokta No	$\Delta N$ (mm)	$\Delta E$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	$\Delta N$ (ppm)	$\Delta E$ (ppm)	$\Delta h$ (ppm)
9209	-1	0	-1	0,133	0	0,133
KONY	1	-1	-5	0,051	0,051	0,254
9246	1	-3	-4	0,044	0,131	0,174
SUTC	-2	-1	8	0,094	0,047	0,377
OKLV	-1	3	1	0,014	0,042	0,014
MELE	-4	-5	-1	0,043	0,053	0,011



Şekil 2. Yayın efemerisi ve hassas efemerisin koordinat bileşenlerindeki farkları.  
Figure 2. Differences of coordinate components (N,E,h) of broadcast and precise ephemeris.

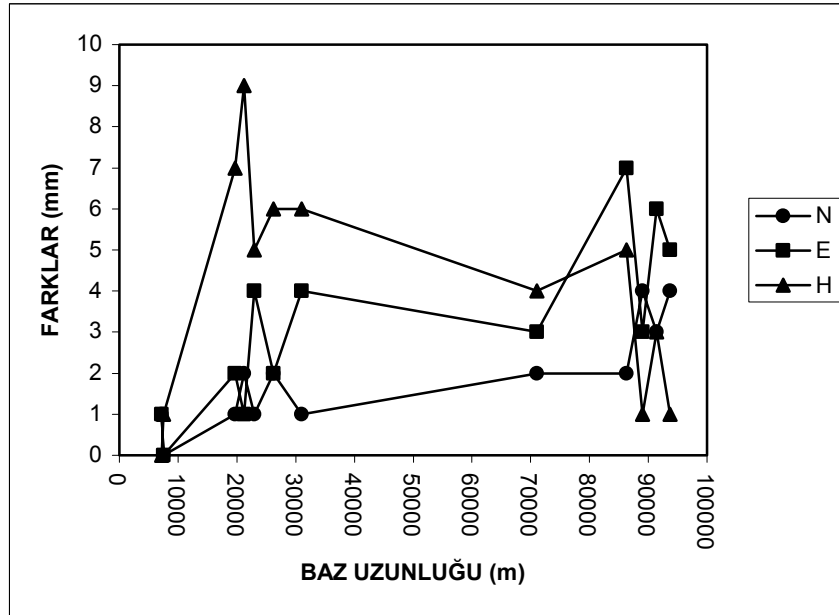
Tablo 6. Yayın efemerisi ve hassas efemerisin baz bileşenlerindeki farkları.  
Table 6. Differences of baseline components of broadcast and precise ephemeris.

BAZ	S (m)	$\Delta N$ (mm)	$\Delta E$ (mm)	$\Delta h$ (mm)	$\Delta N$ (ppm)	$\Delta E$ (ppm)	$\Delta h$ (ppm)
KONY-9246	7157,314	1	1	0	0,140	0,140	0
SLCK-9209	7507,089	0	0	1	0	0	0,133
SLCK-KONY	19649,076	1	-2	-8	0,051	0,102	0,408
SLCK-SUTC	21184,084	-2	-1	9	0,094	0,047	0,425
SLCK-9246	22969,709	1	-4	-5	0,044	0,174	0,220
KONY-9209	26222,022	-2	2	6	0,076	0,076	0,228
KONY-SUTC	30976,334	1	-4	6	0,032	0,129	0,194
SLCK-OKLV	71019,986	-2	3	4	0,028	0,042	0,056
OKLV-KONY	86282,714	2	7	-5	0,023	0,081	0,058
MELE-KONY	89051,645	4	3	-1	0,045	0,034	0,011
OKLV-MELE	91455,792	-3	-6	-3	0,033	0,066	0,033
SLCK-MELE	93689,767	-4	-5	-1	0,043	0,053	0,011



Şekil 3. Yayın ve hassas efemerisin baz bileşenlerindeki farkları.

Figure 3. Differences of baseline components of broadcast and precise ephemeris.



Şekil 4. Yayın ve hassas efemerisin baz uzunluğuna göre farkları.

Figure 4. Differences of broadcast and precise ephemeris with respect to baselines in several length.

## SONUÇ

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde uydu yörünge bilgisi olarak yayın efemerisi veya değişik kurumlarca üretilen hassas efemeris kullanılmaktadır. Bu çalışmada sözü edilen test aşında yapılan ölçme ve değerlendirmede efemeris bilgisi olarak yayın ve hassas efemerisi kullanılarak sayısal uygulama sonuçları irdelenmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde yayın ve hassas efemerisin koordinat bileşenlerindeki farkların; kuzey-güney bileşeninde +1 ile -4 mm, doğu-batı bileşeninde +3 ile -5 mm, yükseklik bileşeninde -5 ile +8 mm arasında değiştiği, farkların milimetre mertebesinde kaldığı görülmektedir.

Tablo 6 incelendiğinde baz bileşenlerinde bulunan farkların; kuzey-güney doğrultusunda -4 ile +4 mm arasında, doğu-batı doğrultusunda -6 ile +7 mm, yükseklik bileşeninde -8 ile +9 mm

arasında değiştiği, yani yayın efemerisi ile hassas efemeristen elde baz bileşenleri arasındaki farkların hepsinin 1 cm altında kaldığı görülmektedir. Yine bu farkların oransal değerleri incelendiğinde maksimum değerlerin; kuzey-güney bileşeninde 0.140 ppm, doğu-batı bileşeninde 0.174 ppm, yükseklik bileşeninde 0.425 ppm olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Geodetic Survey Division' da (1992) hassas ve yayın efemerisi bilgisi kullanılmasından kaynaklanacak farkın, görelî konumlamaya etkisinin 0.2 ppm ile 0.5 ppm kadar olacağı belirtilmektedir.

Şekil 4 incelendiğinde çözüm sonuçlarının doğruluğunu, kullanılan efemeris bilgisinin yanında iyonosferik ve troposferik modellendirmeler, başlangıç faz belirsizliği çözümlerinde sonuçlarda etkili olduğu görülmektedir.

FGCC (Federal Geodetic Control Committee) tarafından mühendislik hizmetlerinde kullanmak amacıyla kurulacak jeodezik ağlarda yayın efemerisinin

kullanılabileceği belirtilmektedir (FGCC,1989). Türkiye için TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) nokta sıklığının ortalama 25-50 km arasında değiştiği düşünülürse, TUTGA' nın sıklaştırılması ile kurulacak jeodezik ağlarda yayın efemerisinin kullanılmasının yeterli doğruluğu sağlayacağı düşünülmektedir (Tuşat, 2003).

Hassas efemeris bilgisinin ölçü anından 14 gün sonra internet üzerinden temin edildiği göz önüne alınırsa, yayın efemerisinin kullanılması uygulama açısından daha pratik ve daha kolaydır. Hassas efemeris ITRF datumunda yayın efemerisi WGS84 datumunda üretildiğine göre, Türkiye' deki büyük ölçekli harita yapım çalışmalarında jeodezik ağların TUTGA veya TUTGA' dan üretilmiş noktalara bağlanması kaydıyla datum olarak WGS84 seçilmesinin yeterli doğruluğu sağlayacağı söylenebilir. Benzer şekilde ICSM (2002)'de datum olarak dengeleme işlemlerinde ITRF (GRS80 elipsoidi), pratik uygulamalarda WGS84 (WGS84 elipsoidi) seçilebileceği belirtilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Federal Geodetic Control Committee (FGCC), 1989, Geometric Geodetic Accuracy Standards And Specifications For Using GPS Relative Positioning Techniques, Version 5.0, p:48
- Geodetic Survey Division, 1992, Guidelines And Specifications For GPS Surveys, Canada Centre For Surveys, Mapping And Remote Sensing Sector, Energy, Mines And Resources Canada, s.63, Ottawa
- Inter-Governmental Committee On Surveying and Mapping (ICSM), 2002, Standards and Practices For Control Surveys (SP1), Version 1.5, Inter-Governmental Committee On Surveying and Mapping, ICSM Publication No:1, s.89, Avustralya
- International GPS Service (IGS), 2003, IGS ProductsTable, GPS Satellite Ephemerides, <http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>
- Kınık, İ., 1999, GPS Ölçme ve Değerlendirmelerinde Hata Kaynakları Üzerine Bir İnceleme, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kahveci, M., Yıldız, F., 2001, Global Konum Belirleme Sistemi Teori-Uygulama, Nobel Yayın Dağıtım, s.184, Ankara
- Tuşat, E., 2003, Büyük Ölçekli Harita Yapımında Jeodezik Amaçlı GPS Ölçü ve Hesap Standartlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.179, Konya