

YAYIN VE IGS HASSAS EFEMERİSLERİNİN BİR GPS TEST AĞINDA KARŞILAŞTIRILMASI VE İNCELENMESİ

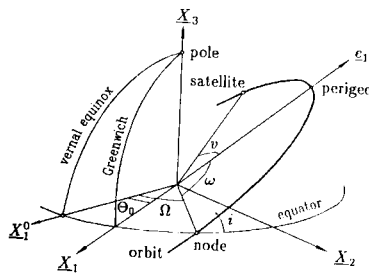
Metin SOYCAN, Arzu SOYCAN

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü,
Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, Barbaros Bulvarı Beşiktaş-Yıldız/İSTANBUL
e-mail: soycan@yildiz.edu.tr, topbas@yildiz.edu.tr

Özet: Bilindiği gibi, pratikte kullanılan yayın efemerisi olup, bu efemeris 5 kontrol istasyonundan elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle, ilgili GPS haftasına bağlı olarak referans alınan yörüngedeki uydu bilgileri ile oluşturulmaktadır. Pratikte bir çok GPS uygulamasında yayın efemerisinin sağladığı duyarlık yeterli olmaktadır. Oysa yüksek duyarlık gerektiren mühendislik ve jeodezik uygulamalarda, söz konusu yüksek duyarlığa erişebilmek için bir çok parametrenin dikkate alınması gerekmektedir. Bunlardan birisi de uydu yörünge bilgilerinin iyileştirilmesidir. IGS tüm yeryüzüne dağılmış yaklaşık 300 noktada kesintisiz 24 saat boyunca 30sn aralıklarla yapılan gözlemlerin değerlendirilmesi ile haftalık hassas efemerisler belirlenmektedir. Bu efemerislere internet aracılığı ile ulaşılabilir ve pratikte kullanılabilir mümkündür. Bu çalışma kapsamında oluşturulan 8 nokta ve bu noktaların birbirleriyle oluşturduğu 22 baz vektöründen oluşan test ağı 3-6 saat süreli oturumlar ile ölçülmüş ve hem yayın efemerisi hem de IGS hassas efemerisi ile kullanılarak değerlendirilmiş ve baz vektörleri çözülmüş, her iki çözüm arasındaki farklar irdelenerek yorumlanmış ve hassas efemerisin nokta konumları üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

1. GİRİŞ

Jeodezik ölçme teknikleri arasında, günümüzde en yaygın olan GPS ölçme tekniği, bilindiği gibi uzay, kullanıcı ve kontrol birimi olarak üç ana birimden oluşmaktadır. Uzay birimi içerisinde yer alan uyduların, hareketleri ve konumları yani yörüngeleri, yer izleme istasyonlarından yapılan ölçülerle belirlenmekte ve uydu konum bilgilerinin bulunduğu efemeris verileri oluşturulmaktadır. Uydu hareketleri Kepler yasaları ile ifade edilmekte ve uydu konumu Şekil 1'de verilen 6 Kepler yörünge parametresi ile tanımlanmaktadır [Aydın, Ö vd., 2001].



- Ω : Yükselen düğüm noktasının rektasansiyonu
- i : Yörünge eğimi
- w : Perige noktasının yüksekliği
- a : Elipsin büyük yarı eksenini
- e : Yörünge eksantrisitesi
- f : Gerçek anamoli

Şekil 1: Kepler yörünge parametreleri

Yeryüzündeki herhangi bir noktanın konumunun belirlenmesinde, içerisinde uydu yörünge bilgilerinin bulunduğu efemeris verileri kullanılmaktadır. Efemeris verileri, kepler yörünge bilgileri ile birlikte uyduların anlık konumlarını ifade etmektedir. Bilinen uydu koordinatları ve taşıyıcı faz, pseudorange ve doppler verileri ile uydu alıcı uzaklıklarının belirlenmesi ile nokta koordinatları hesaplanabilmektedir. Yukarıda da değinildiği gibi, uydu koordinatları efemeris bilgileri içerisinde yer almakta ve GPS ile ölçülen baz vektörü ve nokta konum doğrulukları, büyük ölçüde efemeris, yani uydu koordinatlarının doğruluğuna bağlı olarak değişmektedir. Jeodezik amaçlı GPS ölçmeleri rölatif konum belirleme ilkesine göre yapılmakta ve konumu bilinen nokta ile konumu belirlenecek nokta arasındaki b baz vektörü ölçülmektedir. Uydu koordinatlarının doğruluğu ile ölçülen baz vektörü doğruluğu arasındaki ilişki;

$$\frac{\sigma_r}{r} = \frac{\sigma_b}{b} \quad (1)$$

eşitliği ile tanımlanabilir [Remondi ve Hoffman-Wellenhof, 1989]. Burada;

σ_r :Uydu konum hatası

σ_b :Ölçülen bazın hatası

r :Uydu ile alıcı arasındaki uzaklık

b :Ölçülen bazın uzunluğunu ifade etmektedir.

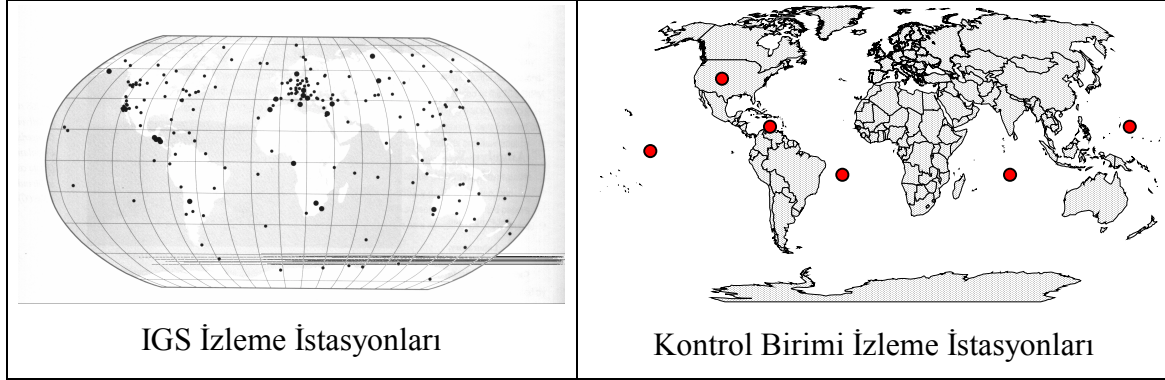
Pratikte kullanılan efemeris, GPS'in kontrol birimini oluşturan 6 noktadan yapılan ölçülerle elde edilen yayın efemerisidir. Yayın efemerisi, bir çok uygulamada yeterli doğruluğu sağlarken; yüksek duyarlık gerektiren uygulamalar için yeterli olmayabilmektedir. Böyle durumlarda, yayın efemerisi yerine, daha fazla kontrol noktası kullanılarak oluşturulan IGS hassas efemerisleri kullanılabilir. Bu çalışmada, yayın ve hassas efemerislerin sunmuş olduğu doğrulukların araştırılması için duyarlı konumları ITRF94 sisteminde bilinen nirengi noktalarında 6-10 saat aralığında değişen GPS ölçüleri yapılarak, yayın ve IGS hassas efemeris kullanılarak ayrı ayrı değerlendirilmeler yapılmış elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2. GPS UYDU EFEMERİSLERİ

2.1 Yayın Efemerisi

Bilindiği gibi GPS kontrol birimi izleme ve kontrol istasyonlarından oluşmaktadır. Bu istasyonlar tüm GPS uydularından pseudorange, doppler ve taşıyıcı faz gibi izleme ölçümü yapmaktadır. Bu dataların değerlendirilmesi, ilgili GPS haftasına bağlı olarak referans alınan yörüngedeki uydu bilgileri ile yapılmaktadır. Referans yörüngesiyle, 12-24 saatlik son izleme dataları kullanılarak birtakım algoritmalarla yörünge belirlenebilir. Yörüngelerin daha sonraki konumları ekstrapolasyon ile tespit edilmektedir. Ekstrapolasyon birkaç gün için yapılabilmesine rağmen, esas alınan günlük prediksyondur. 24 saati aşan bir yayın yörünge her saat için ekstrapole edilmiş yay kullanılarak tanımlanmaktadır. 6 istasyonda toplanan verilerden uyduların zamana

bağlı olarak koordinatlarının prediksyonu yapılmaktadır. Kullanıcı birim broadcast efemerise navigasyon mesajından ulaşabilir. GPS alıcıları saniyede 50 bit olacak şekilde broadcast mesajı toplar. Bu mesaj uyduların yörüngeleri, saatleri ve durumları hakkında bilgi vermektedir[Hoffman-Wellenhof, vd., 1997].



Şekil 2: IGS ve kontrol birimi izleme istasyonları

2.2 IGS Hassas Efemerisi

IGS(International GPS Service for geodynamics) 1989 yılında GPS ürünleri ile jeodezik ve jeofizik araştırmalara destek olmak, dünya çapında kurulan global bir GPS ağı ile bir takım çalışmaları kolaylaştırmak ve GPS uygulamaları için söz konusu çalışmaları standartlaştırmak amacıyla kurulmuş bir kuruluştur. Tüm yeryüzüne dağılmış ve sayıları 2002 yılı itibarıyla 295 olan jeodezik standartlara sahip sürekli izleme istasyonuna sahiptir. İzleme istasyonlarından elde edilen veriler 3 global veri merkezinde ve 6 bölgesel veri merkezinde arşivlenmektedir. 8 ayrı analiz merkezinde, söz konusu veriler düzenli olarak değerlendirilmekte ve merkez analiz koordinatörüne gönderilmekte, burada irdelenerek kullanıcılara yayınlanmaktadır.IGS global izleme istasyonlarından elde ettiği verileri;

- Yüksek doğruluklu GPS uydu efemerisleri
- Yer dönme parametreleri
- IGS izleme istasyonları koordinatları ve bu noktalara ait hız vektörleri
- GPS uydu ve IGS izleme istasyonlarına ilişkin saat bilgileri
- Zenit gecikmeleri

oluşturmak için kullanılmaktadır. IGS tarafından oluşturulan hassas yörüngeler üç farklı tipte olup bunlar, IGS sonuç(IGS final), IGS hızlı(IGS rapid), IGS Kestirim(IGS Predicted/IGS Ultra Rapid) olarak sıralanabilir. Bu farklı yörünge tiplerine ilişkin doğruluk ve diğer bilgiler tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1:IGS yörünge ürünleri

GPS UYDU EFEMERİSİ	DOĞRULUK	ELDE ETME SÜRESİ	GÜNCELLEME	ÖRNEKLEME ARALIĞI
Yayın Efemerisi	~260cm	Anlık		Günlük
Kestirim(Ultra Hızlı)	~25cm	Anlık	Günde iki kere	15 dakika
Hızlı	5cm	17 saat	Günde bir kere	15 dakika
Sonuç	<5cm	~13 gün	Haftada bir kere	15 dakika

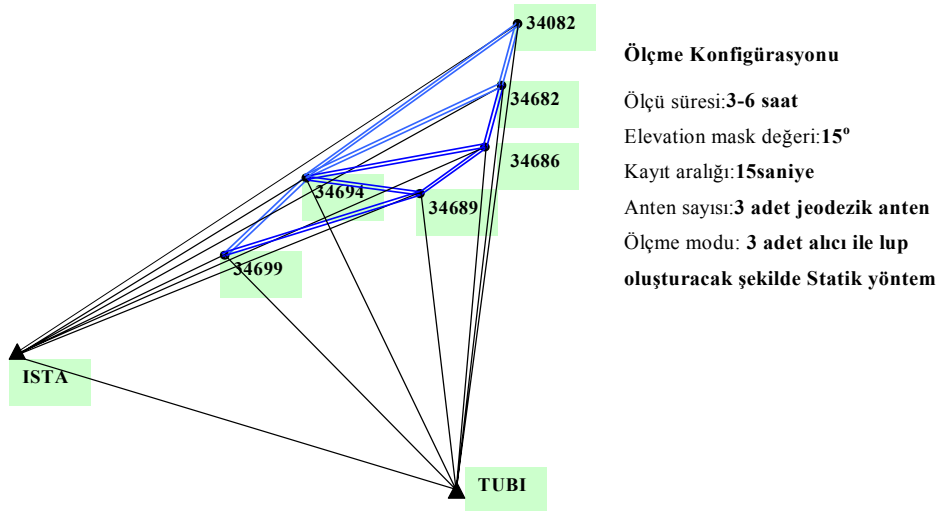
IGS hassas yörünge oluşturmak için şekil 2’de gösterilen izleme istasyonlarından elde edilen verileri kullanmakta ve analiz edildikten sonra efemeris bilgileri SP3 (Standart Product 3) adı verilen bir ASCII dosya formatında oluşturulmaktadır[<http://igsb.jpl.nasa.gov/igsb/data/format/sp3.txt>]. IGS’in efemeris bilgilerine bir çok Web sitesinden ulaşılabilir. Bunlardan bazıları;

- <http://igsb.jpl.nasa.gov>
 - <http://igs.ifag.de>
 - <http://lox.ucsd.edu>
 - <http://igs.ensg.ign.fr>
 - <http://geo.tudelft.nl/>
 - <http://geodaf.mt.asi.it/>
- olarak sıralanabilir.

3. YAYIN VE IGS HASSAS EFEMERİSLERİNİN BİR GPS TEST AĞINDA KARŞILAŞTIRIMASI

3.1 Test Bölgesi ve Kullanılan Donanım ve Yazılım Hakkında Bilgi

Test bölgesinde Ashtech Z-Surveyor isimli 3 adet GPS alıcısı ve ayrıca ISTA ve TUBI sabit GPS noktalarına ilişkin veriler kullanılmıştır.GPS ölçülerinin değerlendirilmesi Ashtech firmasına ait Winprism yazılımı ile yapılmıştır. Test bölgesi şekilde görüldüğü gibi, ITRF94 ve ED50 koordinatları bilinen 6 İGNA(İstanbul GPS Nirengi Ağı) noktası kullanılmıştır[IGNA Teknik Rapor]. 6 IGNA noktasının birbirleri ile ve ISTA ve TUBI sabit GPS noktaları ile oluşturduğu toplam 22 adet baz vektörü 3-6 saatlik eşzamanlı GPS gözlemleri ile, hem yayın efemerisi kullanılarak hem de IGS sonuç efemerisi kullanılarak hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

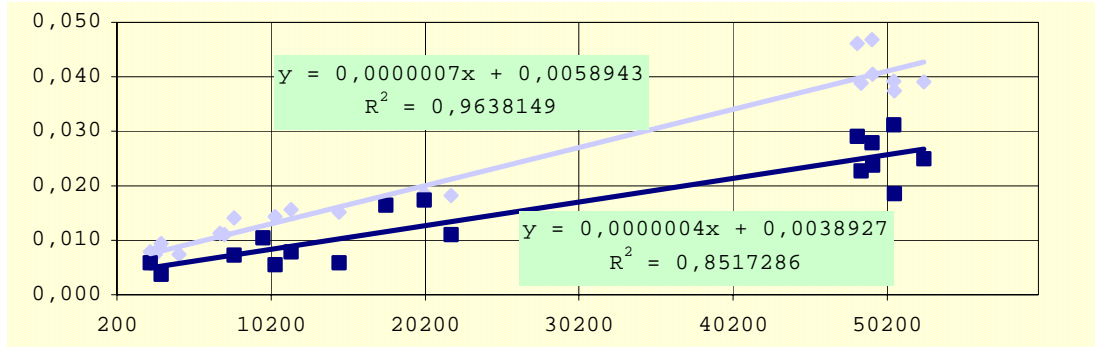


Şekil 3: Test ağı

Her iki efemeris verisi ile hesaplanan baz vektörleri ayrı ayrı değerlendirilerek, baz vektörü ölçme doğrulukları hesaplanmıştır. Test ağı ISTA sabit GPS noktası sabit olmak üzere, minimum sabitle zorlamasız dengeleme yaklaşımına göre dengelenmiş, dengelenmiş ölçüler, düzeltmeler, dengelenmiş koordinatlar belirlenerek karşılaştırılmıştır.

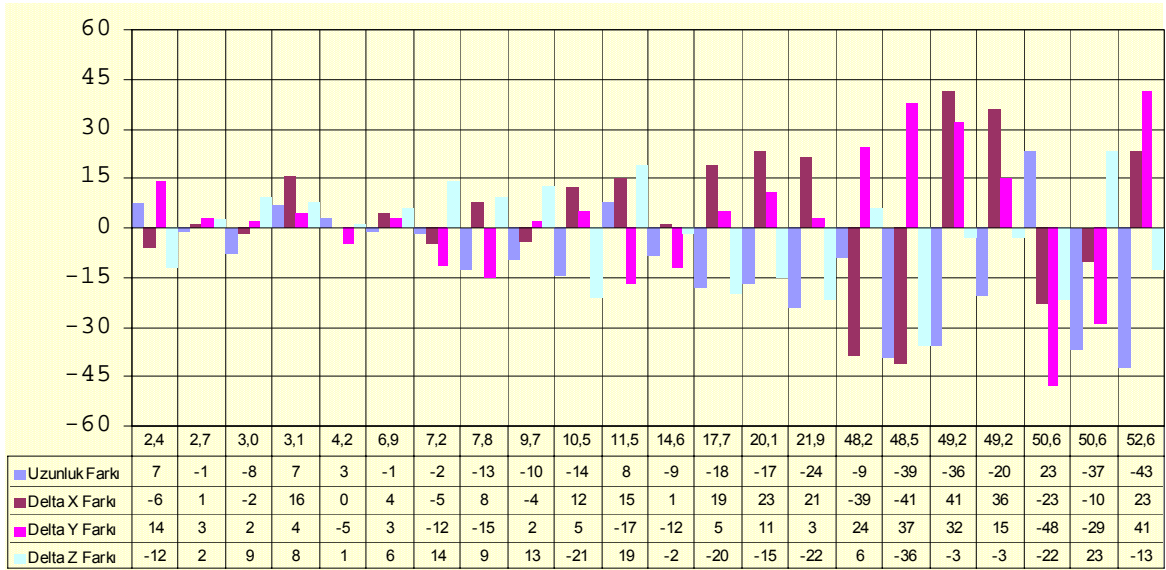
Tablo 2: Yayın ve IGS efemerisi ile bulunan baz vektörleri bileşenleri ve standart sapmaları

NO	NO	YAYIN		IGS		NO	NO	YAYIN		IGS	
		Baz Bileşenleri	S.sapm	Baz Bileşenleri	S.sapm			Baz Bileşenleri	S.sapm	Baz Bileşenleri	S.sapm
ISTA	TUBI	2487,037	0,019	2487,047	0,012	682	994	7152,157	0,007	7152,161	0,009
		43015,592	0,026	43015,621	0,010			-4917,750	0,006	-4917,752	0,002
		-26603,943	0,019	-26603,966	0,010			-4271,707	0,005	-4271,720	0,005
ISTA	382	-16212,620	0,014	-16212,641	0,006	686	4689	2348,787	0,007	2348,771	0,002
		10502,335	0,006	10502,332	0,007			-1367,607	0,006	-1367,611	0,003
		10246,344	0,010	10246,366	0,006			-1441,563	0,002	-1441,571	0,001
ISTA	682	-14661,333	0,011	-14661,356	0,010	686	994	5110,842	0,009	5110,847	0,006
		10870,851	0,012	10870,840	0,011			-4320,616	0,005	-4320,604	0,006
		8509,883	0,009	8509,898	0,009			-2607,584	0,004	-2607,598	0,004
ISTA	686	-12620,032	0,009	-12620,051	0,010	4689	994	2762,059	0,003	2762,059	0,003
		10273,660	0,011	10273,655	0,007			-2952,956	0,006	-2952,951	0,002
		6845,761	0,009	6845,781	0,011			-1166,003	0,003	-1166,004	0,004
ISTA	4689	-10271,270	0,010	-10271,271	0,003	4689	699	4985,394	0,006	4985,390	0,005
		8906,019	0,009	8906,031	0,004			-3666,388	0,009	-3666,391	0,008
		5404,180	0,007	5404,182	0,003			-3035,762	0,003	-3035,768	0,006
ISTA	994	-7509,176	0,010	-7509,188	0,005	994	699	2223,307	0,001	2223,309	0,002
		5953,075	0,009	5953,070	0,002			-713,419	0,006	-713,421	0,001
		4238,162	0,005	4238,183	0,001			-1869,745	0,006	-1869,754	0,001
ISTA	699	-5285,863	0,009	-5285,871	0,006	682	686	2041,330	0,002	2041,329	0,001
		5239,634	0,009	5239,649	0,004			-597,162	0,001	-597,165	0,005
		2368,440	0,006	2368,431	0,001			-1664,114	0,007	-1664,116	0,006
TUBI	382	-18699,643	0,027	-18699,666	0,012	TUBI	994	-9996,162	0,018	-9996,198	0,014
		-32513,227	0,019	-32513,268	0,016			-37062,529	0,023	-37062,544	0,012
		36850,352	0,021	36850,365	0,015			30842,137	0,028	30842,140	0,015
TUBI	682	-17148,417	0,031	-17148,394	0,019	TUBI	699	-7772,965	0,031	-7772,926	0,020
		-32144,850	0,016	-32144,802	0,016			-37775,952	0,021	-37775,976	0,018
		35113,849	0,018	35113,871	0,019			28972,392	0,027	28972,386	0,011
TUBI	686	-15107,032	0,028	-15107,073	0,019	382	682	1551,286	0,004	1551,292	0,003
		-32741,931	0,033	-32741,963	0,015			368,494	0,006	368,480	0,001
		33449,750	0,018	33449,753	0,014			-1736,475	0,003	-1736,463	0,005
TUBI	4689	-12758,377	0,022	-12758,336	0,002	382	994	8703,437	0,009	8703,422	0,004
		-34109,553	0,020	-34109,590	0,015			-4549,287	0,008	-4549,270	0,003
		32008,135	0,025	32008,171	0,017			-6008,181	0,010	-6008,200	0,006



Şekil 4: Baz uzunluğu ölçme doğruluğunun doğrusal regresyonla araştırılması

Yayın ve IGS efemerisi kullanılarak belirlenen baz vektörlerinin ölçme doğruluklarının belirlenebilmesi için; baz uzunluğu ve standart sapma değerine bağlı olarak oluşturulan veri kümesi, doğrusal regresyon ile irdelenmiştir[Soycan ve Topbaş,2002](Şekil4). Buna göre, yayın efemerisi kullanıldığında 5.8mm+0.7ppm, IGS efemerisi kullanıldığında 3.9mm+0.4ppm’lik ölçme doğruluğu elde edildiği görülmüştür. Her iki efemeris ile değerlendirilen baz vektörü uzunlukları ve bileşenleri arasındaki farklar grafik olarak şekil 5’de gösterilmiştir. Söz konusu farkların istatistiksel değerlendirmesi ise tablo3’de verilmiştir.



Şekil 5: Yayın ve IGS efemeris ile bulunan baz uzunlukları ve bileşenleri arasındaki farkların grafik gösterimi

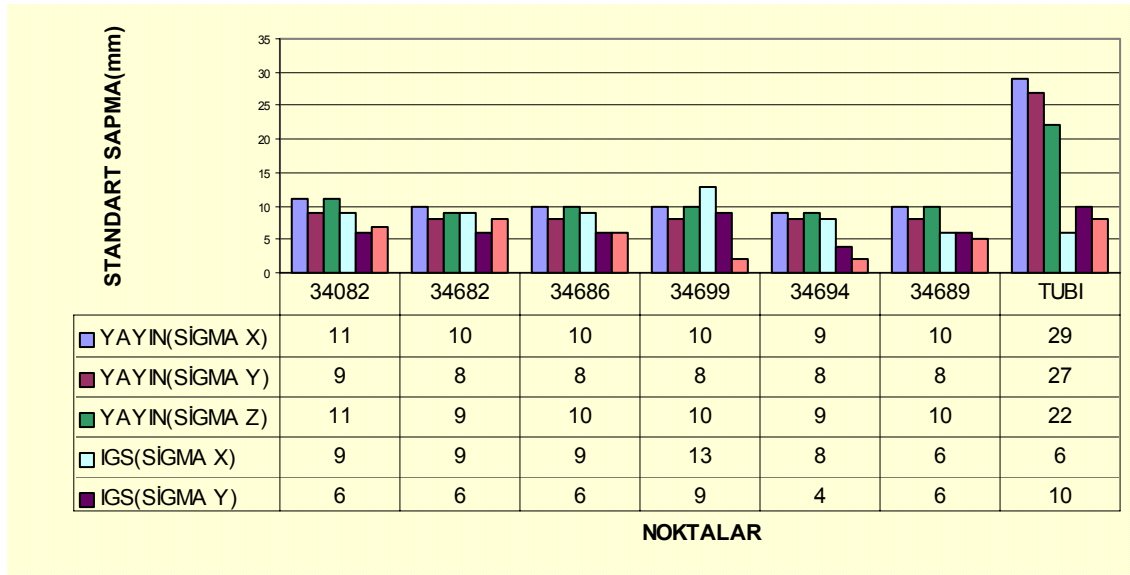
Tablo3: Yayın ve IGS efemerisleri kullanılarak bulunan baz uzunlukları ve bileşenleri arasındaki farkların istatistiksel değerlendirmesi

	Uzunluk Farkı	Delta X Farkı	Delta Y Farkı	Delta Z Farkı
Max.	23mm	41mm	41mm	23mm
Min.	-43mm	-39mm	-48mm	-36mm
Ort.	-11.5mm	4.1mm	2.9mm	-2.9mm
RMS	20.2mm	20.8mm	20.5mm	15.4mm

Her iki efemeris kullanılarak bulunan baz vektörlerinin dengelemesiyle elde edilen X,Y,Z dik koordinatlar, standart sapmaları ve aralarındaki farklar hesaplanarak irdelenmiştir.

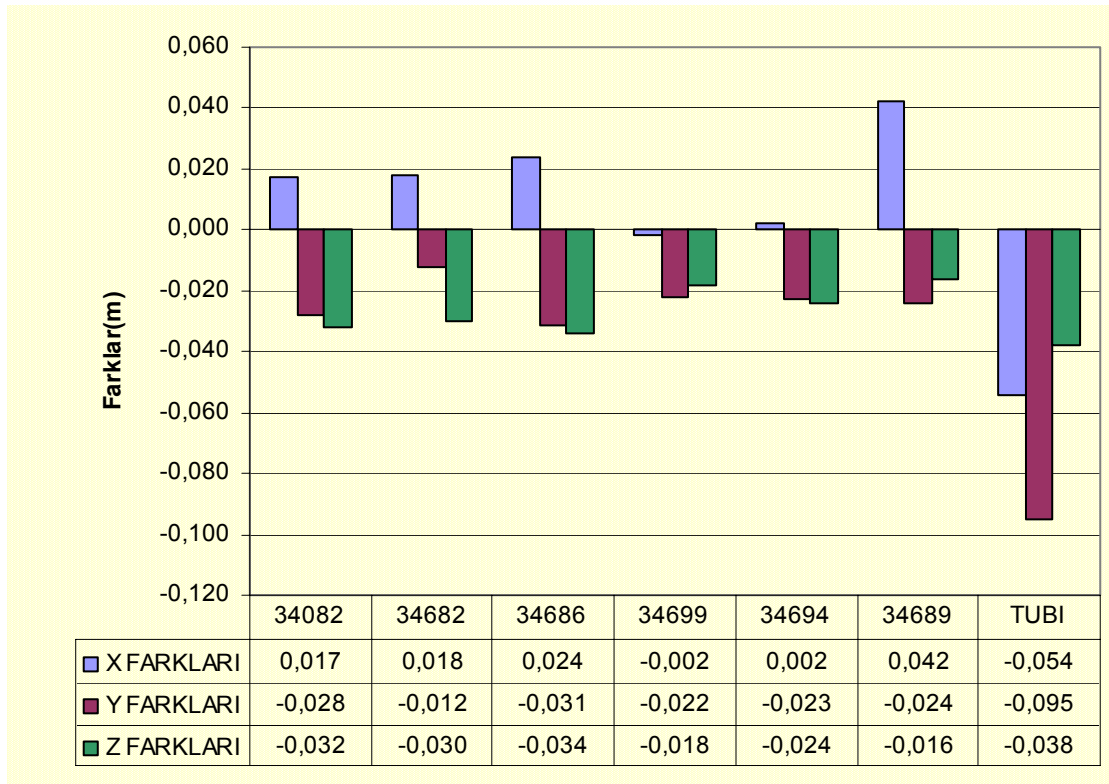
Tablo 4: Yayın ve IGS efemeris kullanılan baz vektörleri dengelenmesinden sonra elde edilen nokta koordinatları, standart sapmaları ve aralarındaki farklar

		X	σ_x	Y	σ_y	Z	σ_z
34082	YAYIN	4192617,749	11	2345352,541	9	4181513,525	11
	IGS	4192617,732	9	2345352,569	6	4181513,557	7
	FARK	0,017		-0,028		-0,032	
34682	YAYIN	4194169,037	10	2345721,035	8	4179777,052	9
	IGS	4194169,019	9	2345721,047	6	4179777,082	8
	FARK	0,018		-0,012		-0,030	
34686	YAYIN	4196210,347	10	2345123,843	8	4178112,915	10
	IGS	4196210,323	9	2345123,874	6	4178112,949	6
	FARK	0,024		-0,031		-0,034	
34699	YAYIN	4203544,497	10	2340089,854	8	4173635,596	10
	IGS	4203544,499	13	2340089,876	9	4173635,614	2
	FARK	-0,002		-0,022		-0,018	
34694	YAYIN	4201321,191	9	2340803,274	8	4175505,343	9
	IGS	4201321,189	8	2340803,297	4	4175505,367	2
	FARK	0,002		-0,023		-0,024	
34689	YAYIN	4198559,135	10	2343756,234	8	4176671,351	10
	IGS	4198559,093	6	2343756,258	6	4176671,367	5
	FARK	0,042		-0,024		-0,016	
TUBI	YAYIN	4211317,376	29	2377865,762	27	4144663,189	22
	IGS	4211317,430	6	2377865,857	10	4144663,227	8
	FARK	-0,054		-0,095		-0,038	



Şekil 6: Yayın ve IGS efemeris kullanılarak çözülen baz vektörü bileşenleri dengelemesi ile bulunan X,Y,Z koordinatlarının standart sapmalarının grafik gösterimi

Yayın efemerisi yerine IGS efemerisi kullanılması, baz bileşenlerinde olduğu gibi, nokta koordinatlarının standart sapmalarını da etkilemektedir. Özellikle, test ağında diğer noktalara en uzak nokta olan TUBI noktasının koordinatlarının standart sapması IGS efemeris kullanılmasıyla büyük ölçüde düşmektedir(Şekil 6).

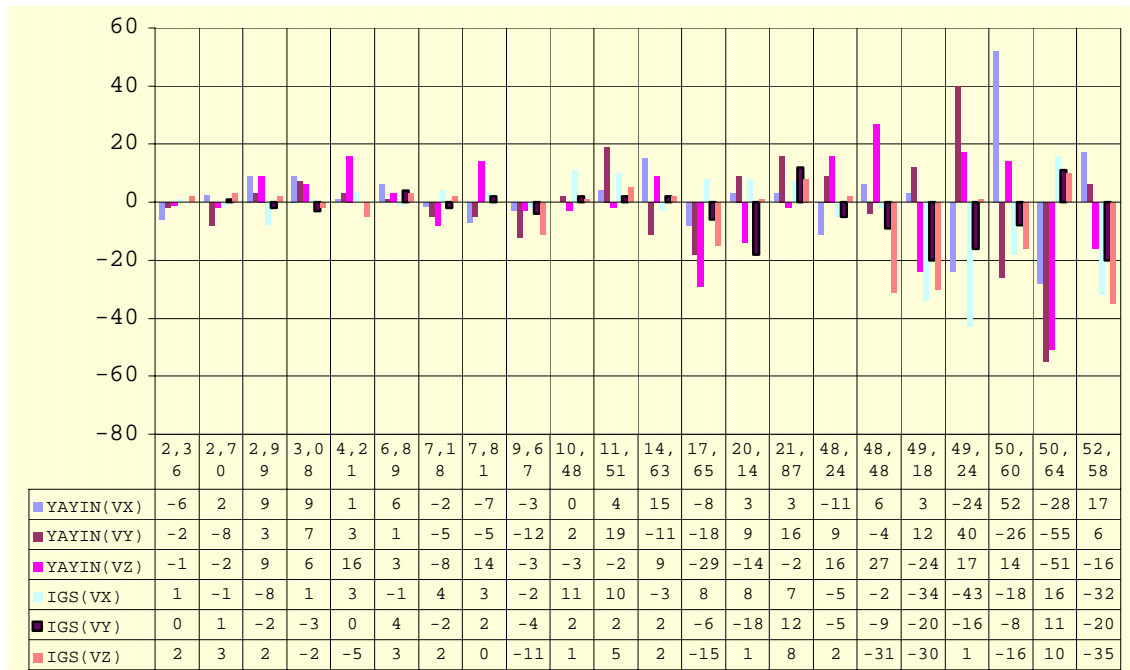


Şekil 7: Yayın ve IGS efemeris ile çözülen baz vektörü bileşenlerinden bulunan X,Y,Z koordinatları arasındaki farklar

Tablo:5 Yayın ve IGS efemeris ile çözülen baz vektörü bileşenlerinden bulunan X,Y,Z koordinatları arasındaki farkların istatistiksel değerlendirmesi

	X Farkı(m)	Y Farkı(m)	Z Farkı(m)
Max.	0,018	-0,012	-0,018
Min.	-0,054	-0,095	-0,038
Ort.	0,007	-0,034	-0,027
RMS	0,029	0,042	0,028

Baz vektörü uzunluğu, bileşenleri, nokta konumları ve standart sapmalarının yanı sıra, test ağıının dengelenmesinde baz vektörlerine getirilecek düzeltmelerde incelenmiş ve IGS efemeris kullanıldığında düzeltmelerin yayın efemerisi kullanılarak hesaplanan düzeltmelere göre daha küçük olduğu görülmüştür. Her iki efemeris kullanılarak elde edilen düzeltmeler grafik olarak Şekil 8'de, bu düzeltmelerin istatistiksel değerlendirmeleri ise tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 8: Yayın ve IGS efemeris ile çözülen baz vektörü bileşenlerine getirilen düzeltmelerin karşılaştırılması

Tablo 6: Yayın ve IGS efemeris ile çözülen baz vektörü bileşenlerine getirilen düzeltmelerin istatistiksel değerlendirmesi

	V _X (mm)	V _Y (mm)	V _Z (mm)	V _X (mm)	V _Y (mm)	V _Z (mm)
Max.	52	40	27	16	12	10
Min.	-28	-55	-51	-43	-20	-35
Ort.	2	-1	-1	-4	-4	-5
RMS	15	18	17	15	9	13

4. SONUÇLAR

Yukarıdaki incelemeler sonunda, yayın efemerisi yerine IGS efemerisinin kullanılmasının GPS ölçme sonuçları üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmüştür. Yayın efemerisi ile $5.8\text{mm}+0.7\text{ppm}$, IGS efemerisi kullanıldığında $3.9\text{mm}+0.4\text{ppm}$ 'lik baz vektörü ölçme doğruluğu elde edilmiştir. Burada, özellikle uzunluğa bağımlı parametre olan 0.3ppm 'lik fark önemlidir. 0.3ppm parametresi 35km 'nin üzerindeki bir uzunlukta 1cm 'nin üzerinde bir değişime yol açmaktadır. Benzer şekilde, nokta konum hataları yayın efemerisinde X,Y,Z yönlerinde sırasıyla 14mm , 13mm , 12mm RMS değerlerine sahipken, IGS efemerisinin kullanılmasıyla bu değerler X,Y,Z yönlerinde sırasıyla, 9mm , 7mm , 6mm 'ye kadar düşmektedir. Baz vektörü bileşenlerine getirilen düzeltmelerin RMS'lerinin incelenmesi sonucu, yayın efemerisi kullanılan çözümde, baz bileşenleri RMS değerleri, X,Y,Z yönlerinde sırasıyla 15mm , 18mm , 17mm , IGS efemerisi kullanılan çözümde, X,Y,Z yönlerinde sırasıyla 15mm , 9mm , 13mm 'lik RMS değerleri elde edilmektedir. Yukarıda belirtilen büyüklükler, özellikle yüksek duyarlılık gerektiren çalışmalarda, göz ardı edilebilecek cinsten büyüklükler değildir. Bu bakımdan, bu tip çalışmalarda, yayın efemerisi yerine Web aracılığıyla kolayca elde edilebilen IGS sonuç efemerisinin kullanılmasında büyük fayda vardır.

5. KAYNAKLAR

- Aydın, Ö., Soycan, M., Topbaş, A., Pırtı, A., Determination of Satellite Orbits and Use of IGS Precise Orbits in Practice, 4. Turkish-German Geodetic Days, Berlin,2001
- Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J., GPS Theory and Practice", New York,1997
- <http://igsceb.jpl.nasa.gov>
- İGNA(İstanbul GPS Nirengi Ağı), Teknik rapor, İ.T.Ü Jeodezi Anabilim Dalı, 1999
- Remondi, B.W and B.Hofmann-Wellenhof ., GPS Broadcast Orbits Versus Precise Orbits, G.P.S an Overview Symposium, Edinburgh,1989
- Soycan M.,Topbaş S.A., Examination of repeability of GPS baselines and determination of the optimum measurement time EGS XXVII General Assembly, Nice,2002