

GPS Yayın Efemerisi Doğruluğunun İncelenmesi

Sümeýra ERVURAL^{1*}, Ekrem TUŞAT²

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya
(sumeyraglmz@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-7470-3938

² Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(etusat@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-4130-3764

Öz

GPS ile konum belirlemede, konum belirleme yöntemine ve hedeflenen doğruluğa bağlı olarak iki farklı yörünge bilgisinden bahsedilebilir. Bunlar; yayın (broadcast) efemerisi ve hassas (precise) efemerisidir. Gerçek zamanlı konum belirlemede yayın efemerisi kullanılmakta olup yaklaşık 1-10 m doğruluğu elde etmek olanaklıdır. Ancak daha yüksek doğruluk beklenen uygulamalar ve özellikle ölçü sonrası büro hesaplamaları ile konum belirleme (statik GPS) için IGS hassas efemeris verileri tercih edilmektedir. Yayın efemeris bilgileri dünyaya dağılmış GPS Kontrol Bölümü izleme istasyonları tarafından yapılan gözlemler yardımıyla üretilmekte ve anlık olarak yayınlanmaktadır. Hassas efemeris verileri ise IGS yörünge bilgilerinden yararlanılarak 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla yapılan gözlemlerin değerlendirilmesiyle oluşmaktadır. Bunun sonucunda haftalık hassas efemerisler yayınlanmaktadır. Bir navigasyon mesajı şeklinde yayınlanan bu efemeris verileri herhangi bir zamanda uydunun anlık konumunun hesaplanabilmesini sağlayan bir Kepler elipsini ifade eder. Bu çalışmada ilk olarak 1 Ocak 2018 tarih 00:00 zamanına ait yayın efemerisi bilgisinden hesaplanan X, Y ve Z koordinatları ile aynı zamana ait IGS sonuç hassas efemeris verisi arasında karşılaştırma yapılarak yayın ve hassas efemeris verilerinin koordinatlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Daha sonra 31 Aralık 2017 tarih 22:00 zamanı ile 1 Ocak 2018 tarih 02:00 zamanı arasında 15 dakika aralıklarla X, Y ve Z koordinatları hesaplanmış ve aynı şekilde hassas efemeris verileriyle farkları alınmıştır. Bu uygulamada seçilen zamanın değiştirilmesiyle elde edilen yayın efemerisi ve hassas efemeris verileri aralarındaki farklar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: GPS, yayın efemerisi, hassas efemeris, Kepler yörünge parametreleri

Analyzing of GPS Broadcast Ephemeris Accuracy

Abstract

The GPS positioning, depending on the target location accuracy and detection methods may be mentioned two different orbital information. These are broadcast ephemeris and precise ephemeris. In real-time geodetic applications, generally broadcast ephemeris is used and it is sufficient by providing about 5-10 m accuracy. Precise ephemeris data are preferred for applications with higher accuracy. Publication ephemeris information is produced and instantaneously released by observations made by six GPS Control Departments monitoring stations. Precise ephemeris data are obtained by evaluating the observations made at 30 second intervals for 24 hours using IGS orbital information. As a result, weekly precise ephemeris are published. This ephemeris data, published as a navigation message, refers to a Kepler ellipse that allows the instantaneous location of the satellite to be calculated at any given time. In this study, the X, Y and Z coordinates calculated from the broadcast ephemeris information of the 00:00h of January 1, 2018 and the effects IGS final precise ephemeris data on coordinates were investigated by comparing the ephemeris data of the same time. Then, X, Y and Z coordinates were calculated at 15 min intervals between 22:00h of 31 December 2017 and 02:00h on January 1, 2018, and the differences were obtained with precise ephemeris data. In this application, the relation

* Sorumlu Yazar

between the broadcast ephemeris and the precise ephemeris data obtained by changing the time chosen was examined.

Keywords: GPS, broadcast ephemeris, precise ephemeris, Kepler orbit parameters.

1. GİRİŞ

GNSS sistemleri kullanılarak yüksek doğrulukta konum belirlemek mümkün olabilmektedir. GNSS verilerinin doğruluğu birçok faktöre bağlıdır. Örneğin, GNSS alıcısının özellikleri, verilerin kaydedildiği andaki GNSS uydularının geometrisi, ölçü noktasındaki çevrenin özellikleri ve atmosferik etkiler GNSS verilerinin doğruluğunu etkileyen en önemli faktörlerdir. GPS sistemi, kullanıcılara açılmış ilk GNSS sistemi olmakla birlikte son yıllarda, GLONASS, QZSS, Beidou, Galileo vb. gibi pek çok yeni GNSS sistemi de kullanıcıların hizmetine açılmıştır. Böylece artık kullanıcıların elindeki GNSS alıcılarının özelliklerine (kanal sayısı, jeodezik alıcı, navigasyon alıcı vb.) bağlı olarak tüm bu uydu sistemlerinden gerçek amanlı olarak yararlanmak olanaklı hale gelmiştir.

Uydu jeodezisinde birçok uygulama, zamana bağlı konum belirleyebilmek için belirli bir andaki uydu yörünge elemanları ve bozulmaları kullanarak hesaplanan uydu yörünge bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Bu bilgi yayınlanan navigasyon mesajından elde edilmektedir (Kim ve Kim 2015). Jeodezik uygulamalarda elde edilen sonuçların doğruluğu kullanılan uydu yörünge bilgisinin hassasiyetine bağlıdır. Uydularla Global Konum Belirleme Sistemleri ile bağlı koordinatların belirlenmesi gibi jeodezik uygulamalar için elde edilen doğruluk giderek artmaktadır. Koordinatlarda 1 cm'lik bağlı doğruluk koşulu, uydu yörüngelerinin birkaç metre doğruluk seviyesinde veya daha da iyi olması gerekliliğini ifade eder (Seeber 1993).

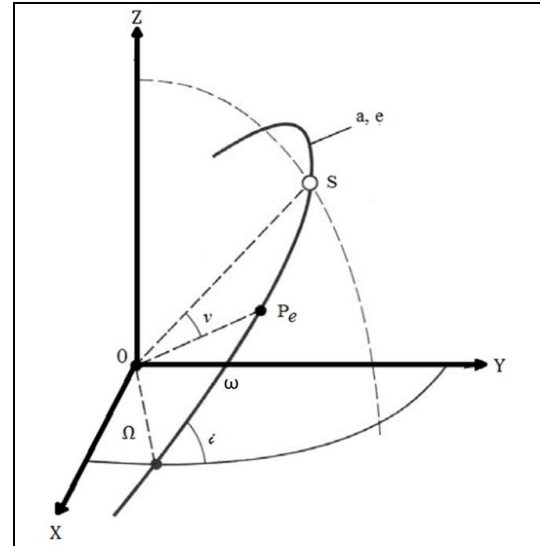
Uydu yörüngeleri ve bu yörünge üzerindeki hareketlerini belirlemek için Kepler kanunlarından yararlanılmaktadır. Kepler kanunları; uydunun güneş sistemi içerisinde yaptığı yörünge hareketini açıklamaktadır (Karaali ve Yıldırım 1996). Bu üç hareket kanunu aşağıdaki gibidir:

- Uydu yörüngesi odak noktalarının birinde yerin ağırlık merkezinin bulunduğu bir elipstir.
- Uydunun yer merkezli konum vektörü yörüngede eşit zaman içinde yörünge üzerinde eşit alanı tarar. Bu kanun uydu hızının sabit olmadığını yani uydunun yere en yakın olduğu noktada (perigee) hızlı, yere en uzak olduğu noktada (apogee) yavaş olduğunu göstermektedir.
- Uydunun yörüngesel dönmesini tamamladığı P süresinin karesi, yörünge elipsinin büyük yarı eksenini olan a 'nın küpü ile doğru orantılı ve sabittir (Formül 1).

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{\mu} \quad (1)$$

Burada $\mu = GM$ olup, G , uluslararası gravite sabiti, M , dünyanın kütesidir.

Bir uydunun Kepler hareketinin veya yörüngesinin bulunması ve uydunun bu yörünge üzerindeki konumunun belirlenmesi için, uydu yörüngesine ait 6 tane parametreye ihtiyaç vardır. Bunlar Şekil 1 ve Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kepler Yörünge Elemanları (Seeber 1993)

Kepler yörünge elemanlarından yarı ana eksen (a) yörüngenin boyutunu ve dış merkezlik (e)

yörüngenin şeklini belirtir. Yerberi (Perigee) argümanı (ω) ise yörüngenin yönünü belirtir. Yani yükselen düğüm ile Yerberi arasındaki açı uydunun hareket yönünü gösterir (İpek 2017).

Tablo 1. Kepler Yörünge Parametreleri

Parametre	Açıklama
Ω	Düğüm noktasının ilkbahar noktasından itibaren gök ekvator düzleminde yaptığı açı
i	Ekvator düzlemi ile uydu yörüngesi arasındaki açı
ω	Yerberi (Perigee) noktasının argümanı
a	Yörünge elipsinin büyük yarı eksenini
e	Dış merkezlik (Eksantrisite)
Pe	Yerberi (Perigee) den uydunun geçiş zamanı

2. GPS UYDU YÖRÜNGELERİ (EFEMERİSLER)

Efemeris verileri herhangi bir zamanda uydunun anlık konumunun hesaplanmasını sağlayan bir Kepler elipsini ifade eder (Parkinson ve Spilker, 1996). İki tür efemeristen söz edilebilir.

Yayın efemerisleri bir navigasyon mesajı şeklinde yayınlanmakta olup anlık konum belirleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Hassas efemeris ise daha çok GPS verilerinin ölçü sonrası büroda değerlendirilme aşamasında kullanılmaktadır (Tuşat ve Turgut 2004). GPS ile elde edilen verilerdeki noktaların konum doğruluğu efemeris bilgilerinin doğruluğu ile orantılıdır.

Günümüzde bilimsel çalışmalarda ve mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek GPS ölçümlerinin toplanması, arşivlenmesi ve dağıtılmasından Jeodinamik için Uluslararası GPS Servisi (IGS) sorumludur. Yayın ve NGS hassas efemerislerinin aksine IGS hassas efemeris yörünge bilgileri, duyarlı P-Kod alıcılarının kurulu olduğu global ağda yapılan faz gözlemlerinden elde edilmektedir. IGS yörünge doğrulukları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. IGS Yörünge Doğrulukları (IGS, 2019)

Yörünge	Doğruluk	Elde Etme Süresi
Yayın Efemerisi (Broadcast)	~100 cm / 5 ns	Anlık
IGS Kestirim (predicted)	~5 cm / 3 ns	Anlık
IGS Kestirim (observed)	~3 cm / 150 ps	3-9 saat
IGS Hızlı (Rapid)	2.5 cm / 75 ps	17-41 saat
IGS Sonuç (Final)	< 2.5 cm / 20 ps	1-18 gün

2.1. Yayın Efemerisi

Yayın efemerisleri yeryüzüne dağılmış altı GPS Kontrol Bölümü izleme istasyonları tarafından yapılan gözlemler yardımıyla üretilmektedir. Ana kontrol istasyonu düzeltilmiş bilgileri uydulara yükler ve GPS uyduları tarafından kullanıcıya “yayın” olarak iletilir. Yayın bilgisine GPS navigasyon mesajı dosyası olarak ulaşılabilmekte olup, her bir uydu için koordinatları ve saat düzeltilmesini hesaplamak üzere gerekli Kepler parametrelerini verir. Bu efemeris verileri aynı zamanda uydunun saatini GPS saati ile eşleştirmek için gereken süreyi de içerir. Uydu saatindeki hata ve yörünge parametreleri hatalı yörünge kestirme hesabıyla sonuçlanır (Bidikar vd. 2014).

Yayın efemerisleri ölçme sonrası değerlendirmede de kullanılabildiği gibi genellikle gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılır. Bu efemeris ile elde edilen uydu koordinat doğrulukları yaklaşık ± 5 m civarında olup birçok jeodezik uygulamada yeterli doğruluğu vermektedir (Seeber 1993). Fakat çözümünde kullanılan ekstrapolasyondan dolayı yüksek duyarlılık gerektiren uygulamalar için yeterli olmamaktadır (Xu 2016).

2.2. Hassas Efemeris

Hassas efemeris, dünya genelinde dağılmış çok sayıda istasyondan gelen uydu verilerini değerlendirerek elde edilir. İnternet üzerinden ücretsiz olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Hassas efemeris bilgilerini üreten kurum ve kuruluşlardan en çok bilinenleri Tablo 3’te gösterilmiştir. Bunların dışında hassas yörünge bilgisi üreten çok sayıda kurum ve kuruluş bulunmaktadır.

Tablo 3. Hassas Yörünge ve Saat Bilgileri Üreten Kurum ve Kuruluşlardan Bazıları (Kahveci ve Yıldız 2009)

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

Efemeris dosyalarında her uydu için 15 dakika aralıklarla km cinsinde X, Y, Z konum vektörleri ve ilgili saat hataları yer almaktadır. Bu veri dosyaları kullanılarak enterpolasyon yöntemiyle istenilen herhangi bir zaman için yörünge hesabı yapılabilir (Xu 2016).

Hassas efemerislerin doğruluğu yaklaşık birkaç santimetre seviyesindedir (IGS 2019). Günümüzde halen kullanılmakta olan birçok jeodezik kontrol noktası, nokta konumlandırma teknikleri ve hassas efemerisler ile belirlenmiştir (Seeber 1993).

3. YÖNTEM

Bu çalışmada koordinatların belirlenmesinde efemeris bilgisinin etkileri incelenmiştir. Uygulamada 1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 zamanına ait hassas (igs19821.sp3) efemeris (IGS sonuç) ve yayın (brdc0010.18n) efemerisi ile 31 Aralık 2017 tarihine ait hassas (igs19820.sp3) efemeris bilgileri kullanılmıştır. Efemeris verileri ile ECEF koordinat sisteminde koordinatlar hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. ECEF koordinat sisteminde bir GPS uydu yörüngesini hesaplamak için kullanılan RINEX navigasyon dosyasının 1 numaralı uyduya ait veri bloğu Şekil 2' de verilirken hesaplama için kullanılacak olan algoritmalar Tablo 4'de gösterilmiştir.

```

2 NAVIGATION DATA RINEX VERSION / TYPE
CRINEXN V1.6.0 UX CDIS 01-JAN-18 23:30 PGM / RGN BY / DATE
IGS BROADCAST EPHemeris FILE COMMENT
0.7451D-08 -0.1490D-07 -0.5960D-07 0.1192D-06 ION ALPHA
0.9216D+05 -0.1147D+06 -0.1311D+06 0.7209D+06 ION BETA
-0.931322574615D-09-0.266453525910D-14 319488 1982 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
18 LEAP SECONDS
END OF HEADER

1 18 1 1 0 0 0.0-0.207438133657D-04-0.272848410532D-11 0.000000000000D+00
0.570000000000D+02-0.933437500000D+02 0.384158858901D-08-0.240481491488D+01
-0.479072332382D-05 0.722405873239D-02 0.124592334032D-04 0.515368130112D+04
0.864000000000D+05 0.186264514923D-07-0.115918152708D+00-0.63329350738D-07
0.970129298099D+00 0.144343750000D+03 0.623034676009D+00-0.747388274579D-08
0.379301513716D-09 0.100000000000D+01 0.198200000000D+04 0.000000000000D+00
0.200000000000D+01 0.000000000000D+00 0.558793544769D-08 0.570000000000D+02
0.893700000000D+05 0.400000000000D+01 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00
    
```

Şekil 2. 1 Numaralı Uydu için RINEX Veri Bloğu

Tablo 4. Uydu Konum Hesabı Algoritması

Parametre	Eşitlik
Yerçekim sabiti	$GM_e = 3986004418.10^8 m^3 / s^2 (WGS84)$
Yerin açılal dönme hızı	$We = 7.292115146710^{-5} rad / s (WGS84)$
Yörünge büyük yarı eksen	$a = (\sqrt{a})^2$
Ortalama yörünge hızı	$n_0 = \sqrt{\frac{GM}{a^3}}$
Düzeltilmiş yörünge hızı	$n = n_0 + \Delta n$
toe'ye göre zaman	$t_k = t - t_{0e}$
Ortalama anomali	$M_k = M_0 + n \cdot t_k$
Dış merkez anomali	$E_k = M_k - e \cdot \sin E_k$
Gerçek anomali	$v_k = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1-e^2} \cdot \sin E_k}{\cos E_k - e} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{\cos E_k - e}{1 - e \cdot \cos E_k} \right)$
Enlem argümanı	$U_k = \omega + V_k$
Enlem argümanı düzeltmesi	$\delta U_k = C_{uc} \cdot \cos 2U_k + C_{us} \cdot \sin 2U_k$
Yarıçap düzeltmesi	$\delta r_k = C_{rc} \cdot \cos 2U_k + C_{rs} \cdot \sin 2U_k$

Eğim düzeltmesi	$\delta i_{\dot{k}} = C_{ic} \cdot \cos 2U_{\dot{k}} + C_{is} \sin 2U_{\dot{k}}$
Düzeltilmiş enlem argümanı	$\Phi_{\dot{k}} = U_{\dot{k}} + \delta U_{\dot{k}}$
Düzeltilmiş yarıçap	$r_{\dot{k}} = a(1 - e \cdot \cos E_{\dot{k}}) + \delta r_{\dot{k}}$
Düzeltilmiş yörünge eğimi	$i_{\dot{k}} = i_o + i.t_{\dot{k}} + \delta i_{\dot{k}}$
Düzeltilmiş çıkış düğümü boylamı	$\Omega_{\dot{k}} = \Omega_o + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e)t_{\dot{k}} - \dot{\Omega}_e t_{oe}$
Yörünge koordinatları	$X'_{\dot{k}} = r_{\dot{k}} \cdot \cos \Phi_{\dot{k}}$ $Y'_{\dot{k}} = r_{\dot{k}} \cdot \sin \Phi_{\dot{k}}$
Yer merkezli koordinatlar	$X_{\dot{k}} = X'_{\dot{k}} \cdot \cos \Omega_{\dot{k}} - Y'_{\dot{k}} \cdot \sin \Omega_{\dot{k}} \cdot \cos i_{\dot{k}}$ $Y_{\dot{k}} = X'_{\dot{k}} \cdot \sin \Omega_{\dot{k}} + Y'_{\dot{k}} \cdot \cos \Omega_{\dot{k}} \cdot \cos i_{\dot{k}}$ $Z_{\dot{k}} = Y'_{\dot{k}} \cdot \sin i_{\dot{k}}$

İlk olarak 1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 zamanına ait yayınlanan yörünge verileri kullanılarak bütün uydular için ECEF koordinat sistemindeki X, Y ve Z koordinatları hesaplanmış ve aynı zamana ait hassas efemerislerle farkı alınmıştır. Böylece yayın ve IGS hassas efemerisin koordinatlar üzerindeki etkisi gözlenmiştir.

Daha sonra yayın efemeris verileri kullanılarak seçilen 1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 zamanında 15 dakikalık öteleme hesapları yapılmıştır. 31 Aralık 2017 tarih 22:00 zamanı ve 1 Ocak 2018 tarih 02:00 zamanı arasında bütün uydular için 15 dakika aralıklarla ECEF koordinat sistemindeki X, Y, Z koordinatları hesaplanarak aynı şekilde hassas efemeris verileriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar üzerinde her zaman diliminde en yüksek ve en düşük değer, ortalama değer ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Bu uygulamada seçilen zamanın değiştirilmesiyle elde edilen yayın ve hassas efemeris verileri arasındaki ilişki incelenmiştir.

4. BULGULAR

1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 saati için yayınlanan verilerden hesaplanan ECEF koordinat sistemindeki X, Y ve Z koordinatları ile aynı zamana ait hassas efemeris verileri ve

bu verinin karşılaştırıldığı çizelgeler Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 5. Yayın Efemerisi Verilerinden Hesaplanan Koordinatlar

YAYIN EFEMERİSİ			
18 1 1 0 0 00:00			
SV	X(m)	Y(m)	Z(m)
PG01/1	-7746387.7902	-13820659.3845	-21494942.4716
PG02/2	-16146095.7934	14527213.7790	15627540.0631
PG03/3	-12362480.8175	-22753025.5019	-6038320.6393
PG05/5	-4900809.9500	16694000.4726	19909026.5437
PG06/6	-24712779.6785	7688502.1966	6021510.6784
PG07/7	-22163680.3846	-6866636.3715	13521019.9381
PG08/8	4333532.8797	-25046337.1296	-7426493.4808
PG09/9	-12036085.1535	-10539771.4526	21163355.2617
PG10/10	19069679.6251	3749340.5944	-18140980.2745
PG11/11	-3534266.8310	-16963021.6099	-20714962.0147
PG12/12	9185358.6275	23532040.3514	-8696332.2425
PG13/13	-12056095.1235	23649241.5880	-1219772.0412
PG14/14	17484432.5449	-14927326.4443	-12876711.2420
PG15/15	-999757.4085	24916629.6580	-8766109.0732
PG16/16	5256643.2264	-16163001.0183	20153073.9072
PG17/17	-16954250.2487	6398054.5045	-18984750.5905
PG18/18	20772760.2425	13717704.4358	-8894617.7929
PG19/19	-18042461.5743	13563900.0964	-14444622.3032
PG20/20	12034092.4904	21965766.3276	8752969.0682
PG22/22	-7161011.4258	-22314072.2408	-12240051.0192
PG23/23	-4762876.1044	-20376873.2103	16364016.0608
PG24/24	4650222.6738	15020451.8549	-21522336.9964
PG25/25	17827033.3187	19590600.6024	3092182.3060
PG26/26	13438898.8081	-7595925.3116	21623966.4478
PG27/27	12421154.0722	-22889476.8879	4466444.9541
PG28/28	-18544560.5789	-8914616.1350	-16141433.5266
PG29/29	7867522.2095	15087399.5113	20389820.6573
PG30/30	-26181661.7740	-1244744.4498	4754123.1813
PG31/31	24737691.3380	-7541964.7174	6996503.0608
PG32/32	17216801.8621	-7995767.1809	-18526452.1300

Tablo 6. Hassas Efemeris Dosyasından Alınan Koordinatlar

HASSAS EFEMERİS (PG)			
18 1 1 0 0 00:00			
SV	X(m)	Y(m)	Z(m)
PG01/1	-7746389.210	-13820659.479	-21494943.319
PG02/2	-16146095.026	14527214.173	15627540.391
PG03/3	-12362480.870	-22753026.810	-6038321.404
PG05/5	-4900810.713	16693999.959	19909026.570
PG06/6	-24712780.585	7688503.452	6021512.570
PG07/7	-22163680.755	-6866636.968	13521019.272
PG08/8	4333533.776	-25046338.006	-7426494.909
PG09/9	-12036085.259	-10539771.655	21163356.509
PG10/10	19069680.003	3749341.392	-18140981.202
PG11/11	-3534268.730	-16963022.391	-20714963.195
PG12/12	9185357.848	23532040.166	-8696332.711
PG13/13	-12056096.069	23649242.912	-1219772.260
PG14/14	17484433.477	-14927327.815	-12876711.732
PG15/15	-999757.486	24916629.494	-8766109.619
PG16/16	5256644.115	-16163001.999	20153075.239
PG17/17	-16954250.928	6398056.130	-18984749.562
PG18/18	20772761.087	13717705.750	-8894618.323
PG19/19	-18042461.985	13563899.127	-14444622.602
PG20/20	12034093.628	21965767.793	8752968.685
PG22/22	-7161012.283	-22314072.663	-12240050.279
PG23/23	-4762877.326	-20376871.632	16364017.964
PG24/24	4650223.399	15020452.529	-21522337.630
PG25/25	17827033.275	19590602.218	3092181.529
PG26/26	13438899.779	-7595926.227	21623966.592
PG27/27	12421154.886	-22889477.768	4466444.145
PG28/28	-18544561.327	-8914617.585	-16141434.218
PG29/29	7867521.185	15087399.631	20389820.773
PG30/30	-26181663.067	-1244744.301	4754122.711
PG31/31	24737691.381	-7541964.340	6996502.646
PG32/32	17216802.573	-7995768.161	-18526452.608

Tablo 7. Yayın ve Hassas Efemeris Verilerinden Elde Edilen Koordinatlar Arasındaki Farklar

FARKLAR			
SV	X(m)	Y(m)	Z(m)
PG01/1	-1.4197	-0.0945	-0.8473
PG02/2	0.7674	0.3939	0.3278
PG03/3	-0.0524	-1.3080	-0.7646
PG05/5	-0.7629	-0.5136	0.0262
PG06/6	-0.9064	1.2553	1.8915
PG07/7	-0.3703	-0.5964	-0.6661
PG08/8	0.8962	-0.8763	-1.4281
PG09/9	-0.1054	-0.2023	1.2472
PG10/10	0.3778	0.7975	-0.9274
PG11/11	-1.8989	-0.7810	-1.1802
PG12/12	-0.7795	-0.1854	-0.4684
PG13/13	-0.9454	1.3239	-0.2187
PG14/14	0.9320	-1.3706	-0.4899
PG15/15	-0.0774	-0.1640	-0.5457
PG16/16	0.8885	-0.9806	1.3317
PG17/17	-0.6792	1.6254	1.0285
PG18/18	0.8444	1.3141	-0.5300
PG19/19	-0.4106	-0.9694	-0.2987
PG20/20	1.1375	1.4653	-0.3832
PG22/22	-0.8571	-0.4221	0.7402
PG23/23	-1.2215	1.5783	1.9031
PG24/24	0.7251	0.6740	-0.6335
PG25/25	-0.0437	1.6155	-0.7770
PG26/26	0.9708	-0.9153	0.1441
G27/27	0.8137	-0.8800	-0.8091
PG28/28	-0.7480	-1.4499	-0.6913
PG29/29	-1.0245	0.1196	0.1156
PG30/30	-1.2929	0.1488	-0.4703
PG31/31	0.0429	0.3774	-0.4148
PG32/32	0.7108	-0.9800	-0.4779

Tablo 8. Yayın ve Hassas Efemeris Verilerinden Elde Edilen Koordinatlar Arasındaki Farkların Ortalama, En Büyük, En Küçük ve Standart Sapma Değerleri

	X(m)	Y(m)	Z(m)
ORTALAMA	-0.1496	-0.0000	-0.1422
EN KÜÇÜK	-1.8989	-1.4499	-1.4281
EN BÜYÜK	1.1375	1.6254	1.9031
STD. SAPMA	0.8707	0.9969	0.8668

Bu tablolar incelendiğinde farkların X ekseninde -1.9 m ile +1.1 m, Y ekseninde -1.5 m ile +1.6 m, Z ekseninde -1.4 m ile +1.9 m değerleri arasında olduğu görülmektedir. Tabloda yer alan farkların ortalama değerleri X koordinat bileşeni için ~ -15 cm, Y koordinat bileşeni için ~ 0 cm, Z koordinat bileşeni için ~ -14 cm olup, standart sapmaları ise X koordinat bileşeni için 0.9 m, Y koordinat bileşeni için 1 m, Z koordinat bileşeni için 0.9 m olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yayın efemerisi yörünge verileri kullanılarak 31 Aralık 2017 tarihi 22:00 zamanı ve 1 Ocak 2018 tarihi 00:00 zamanı arasında bütün uydular için t değeri değiştirilerek 15 dakikalık zaman farklarında X, Y ve Z değerleri elde edilmiştir. Bulunan bu değerler yine hassas efemeris değerleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılma sonuçları Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 9. Yayın Efemerisi ve Hassas Efemeris Arasındaki Farkların Minimum, Maksimum, Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (22:00-00:00 arası)

		x	y	z
22 0 0.00	Minimum(m)	-3.265	-2.251	-2.769
	Maksimum(m)	2.907	3.435	3.482
	Ortalama(m)	0.018	0.020	0.090
	Std Sapma(m)	1.585	1.467	1.779
22 15 0.00	Minimum(m)	-3.681	-2.267	-2.646
	Maksimum(m)	2.119	2.607	3.043
	Ortalama(m)	-0.086	-0.040	0.017
	Std Sapma(m)	1.374	1.280	1.592
22 30 0.00	Minimum(m)	-3.810	-2.329	-2.739
	Maksimum(m)	1.653	2.139	2.653
	Ortalama(m)	-0.138	-0.066	-0.036
	Std Sapma(m)	1.246	1.173	1.469
22 45 0.00	Minimum(m)	-3.720	-2.278	-2.729
	Maksimum(m)	1.497	1.959	2.590
	Ortalama(m)	-0.159	-0.072	-0.074

		Std Sapma(m)	1.142	1.089	1.351
23 0 0.00	Minimum(m)	-3.468	-2.087	-2.641	
	Maksimum(m)	1.433	1.868	2.555	
	Ortalama(m)	-0.163	-0.065	-0.101	
	Std Sapma(m)	1.057	1.022	1.227	
23 15 0.00	Minimum(m)	-3.110	-1.820	-2.373	
	Maksimum(m)	1.406	1.869	2.420	
	Ortalama(m)	-0.161	-0.050	-0.119	
	Std Sapma(m)	0.994	0.984	1.108	
23 30 0.00	Minimum(m)	-2.695	-1.580	-2.019	
	Maksimum(m)	1.373	1.852	2.239	
	Ortalama(m)	-0.157	-0.033	-0.130	
	Std Sapma(m)	0.949	0.977	1.003	
23 45 0.00	Minimum(m)	-2.268	-1.515	-1.677	
	Maksimum(m)	1.289	1.765	2.055	
	Ortalama(m)	-0.152	-0.016	-0.136	
	Std Sapma(m)	0.907	0.987	0.920	

Tablo 10. Yayın Efemerisi ve Hassas Efemeris Arasındaki Farkların Minimum, Maksimum, Ortalama ve Standart Sapma Değerleri (00:00 – 02:00 arası)

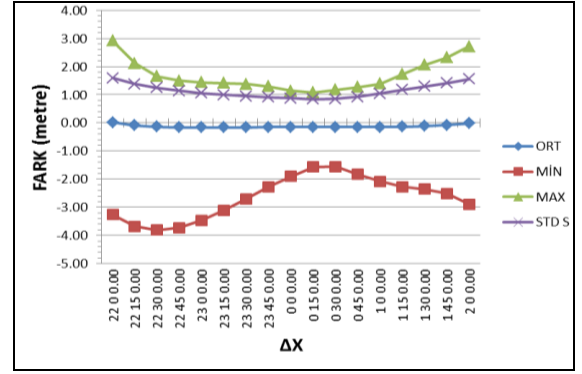
		x	y	z
0 0 0.00	Minimum(m)	-1.899	-1.450	-1.428
	Maksimum(m)	1.138	1.625	1.903
	Ortalama(m)	-0.150	0.000	-0.142
	Std Sapma(m)	0.871	0.997	0.867
0 15 0.00	Minimum(m)	-1.572	-1.627	-1.380
	Maksimum(m)	1.080	1.656	1.923
	Ortalama(m)	-0.147	0.008	-0.147
	Std Sapma(m)	0.841	0.992	0.853
0 30 0.00	Minimum(m)	-1.551	-1.733	-1.507
	Maksimum(m)	1.177	1.660	1.788
	Ortalama(m)	-0.146	0.013	-0.154
	Std Sapma(m)	0.852	0.985	0.882
0 45 0.00	Minimum(m)	-1.835	-1.811	-1.659
	Maksimum(m)	1.273	1.701	1.515
	Ortalama(m)	-0.146	0.016	-0.164
	Std Sapma(m)	0.920	0.994	0.942
1 0 0.00	Minimum(m)	-2.086	-1.905	-1.945
	Maksimum(m)	1.387	1.938	1.254
	Ortalama(m)	-0.145	0.021	-0.172
	Std Sapma(m)	1.036	1.034	1.013
1 15 0.00	Minimum(m)	-2.270	-2.050	-2.163
	Maksimum(m)	1.726	2.125	1.397
	Ortalama(m)	-0.138	0.030	-0.171

Std Sapma(m)	1.169	1.102	1.075
1 30 0.00 Minimum(m)	-2.353	-2.147	-2.272
Maksimum(m)	2.058	2.246	1.488
Ortalama(m)	-0.119	0.043	-0.148
Std Sapma(m)	1.292	1.180	1.116
1 45 0.00 Minimum(m)	-2.509	-2.280	-2.250
Maksimum(m)	2.312	2.277	1.973
Ortalama(m)	-0.081	0.057	-0.090
Std Sapma(m)	1.405	1.253	1.161
2 0 0.00 Minimum(m)	-2.885	-2.991	-2.103
Maksimum(m)	2.714	2.186	2.748
Ortalama(m)	-0.021	0.061	0.019
Std Sapma(m)	1.556	1.335	1.302

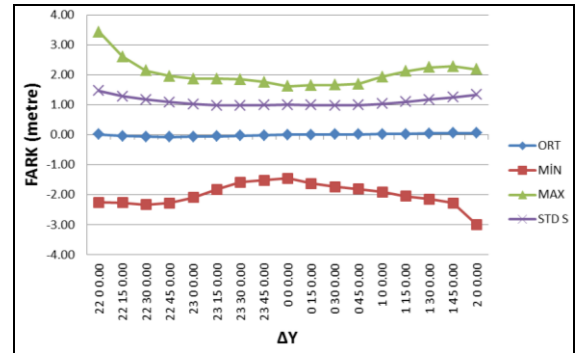
Tablo 9 ve Tablo 10'da ifade edilen yayın ve hassas efemeris arasındaki farklara göre X, Y ve Z değerleri için minimum ve maksimum değerleri düzensiz dağılım gösterirken, bütün uydular için alınan ortalama değerlerin her üç bileşen içinde sıfıra yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir. Hesaplamalarda 1 Ocak 2018 ve 00:00 zamanı referans kabul edildiğinde değiştirilen t değerinin pozitif olduğu durumlarda yayın ve hassas efemeris arasındaki farkın 3 m'nin altında olduğu görülürken, t değerinin negatif alınarak kullanıldığı durumlarda ise bu fark 3.8 m'ye yaklaşmıştır. 3 m'nin üstünde çıkan farkların en çok X bileşeninde olduğu ve zaman değişse bile belirli uydularda bu durumun tekrarlandığı sonucuna varılmıştır.

Tablolarda ifade edilen X, Y ve Z koordinatlarındaki farklara ilişkin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri zaman ekseninde grafik şekline dönüştürülmüş olup Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

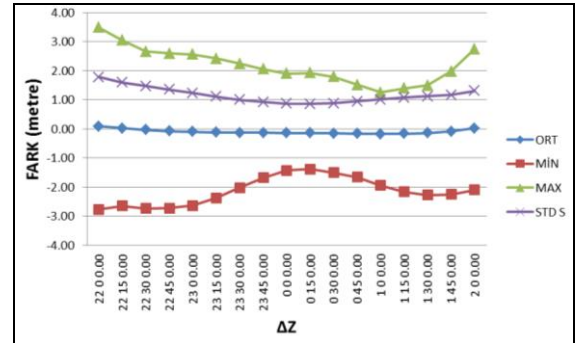
Aşağıdaki verilmiş olan grafiklerde görülen bir diğer bileşen olarak hesaplanan standart sapma ise X, Y ve Z bileşenlerinde yaklaşık benzer eğriyi oluşturduğu ve sıfır anından uzaklaştıkça standart sapma değerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Üç bileşen içinde 00:00 zamanında minimum değerlerde olan standart sapmalar X bileşeni için 1.6 m, Y bileşeni için 1.5 m, Z bileşeni için 1.8 m en yüksek değerlerini almıştır.



Şekil 3. Hassas Efemeris ve Yayın Efemeris Verilerinden elde edilen X Koordinatı Fark Değerleri



Şekil 4. Hassas Efemeris ve Yayın Efemeris Verilerinden elde edilen Y Koordinatı Fark Değerleri



Şekil 5. Hassas Efemeris ve Yayın Efemeris Verilerinden elde edilen Z Koordinatı Fark Değerleri

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yayın ve hassas efemeris verileri ile elde edilen koordinatlar zamana bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Yayın efemeris verileri GRS80 referans elipsoidini kullanan WGS84 sisteminde iken hassas efemeris verileri yine GRS80 referans elipsoidini kullanan ITRF sistemindedir. Ancak bu iki

sistem arasında belirgin bir fark bulunmadığı bilinmektedir. Ayrıca efemeris verilerinden elde edilen koordinatların doğruluğuna gravite alanının, troposferik ve iyonosferik faktörlerin etki ettiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Hassas efemeris ve yayın efemerisi arasındaki farkların az olduğu ve mühendislik çalışmalarının çoğu için yayın efemerisinin yeterli doğruluğu sağlayacağı değerlendirilebilir (Hull 1989, Tuşat ve Turgut 2004, Tusat ve Ozyuksel 2018).

Yayın efemerisi ve hassas efemeris karşılaştırıldığında istenen hassasiyet ve efemeris verilerine ulaşmak için geçen zaman belirleyici faktörler olmaktadır. Mühendislik uygulamalarının çoğu için yayın efemerisi gerekli hassasiyeti sağlarken aynı zamanda bu veriye anlık olarak ulaşılabilir. Bu özellikleri ile hassas efemerise göre kullanımı daha pratiktir. Hassas efemeris verilerine ise yaklaşık bir gün ile iki hafta sonra internet üzerinden ulaşılabilir. Ancak yayın efemerisi verileri ile hassas efemeris verileri arasındaki fark her ne kadar az olsa da yüksek hassasiyet gerektiren jeodezik uygulamalar için hassas efemeris verilerinin kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı söylenebilir.

KAYNAKÇA

- Bidikar, B., Rao, G., S., Ganesh, L., ve Kumar, S., (2014). Satellite clock error and orbital solution error estimation for precise navigation applications. *Positioning*, 5, 22-26.
- Hull, W. V., (1989). Geometric geodetic accuracy standards and specifications for using GPS relative positioning techniques. *MD: National Geodetic Survey*.
- IGS, (2017). International GNSS Service. <http://www.igs.org/>, [Erişim Tarihi; 01.03.2019]
- İpek, M., (2017). Satellite Orbit Estimation Using Kalman Filters. Phd Thesis. In *Middle East Technical University*.
- Kahveci, M., ve Yıldız, F., (2009). GPS/GNSS: uydularla konum belirleme sistemleri: teori ve uygulama. *Nobel Yayınları, Ankara*.
- Karaali, C. ve Yıldırım, Ö., (1996). Global Konum Belirleme Sistemi (GPS). *Pamukkale Üniversitesi Mühendis. Fakültesi Mühendis. Bilim. Derg.*, 2(2), 103-108.
- Kim, M., ve Kim, J., (2015). A Long-term Analysis of the GPS Broadcast Orbit and Clock Error Variations. *Procedia Engineering*, 99, 654-658.

- Parkinson, B., W., ve Spilker, J.J., (1996). Global positioning system: Theory and applications. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 2.
- Seeber, G., (1993). Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications. *Walter de Gruyter*.
- Tuşat, E., Turgut, B., (2004). GPS Efemeris Bilgisinin Göreli Konumlamada Koordinatlara ve Baz Bileşenlerine Etkisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19(1), 65-72.
- Tusat, E., Ozyuksel, F., (2018). Comparison of Gps Satellite Coordinates Computed From Broadcast and Igs Final Ephemerides. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, Vol; 3, Issue 1, pp. 012-019, February, 2018 .
- Xu, G., (2016). GPS: theory, algorithms and applications. *Springer*.