

GNSS ALMANAKLARININ DOĞRULUK ANALİZLERİ

Sermet ÖĞÜTCÜ^{1*}

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya
(sermetogutcu@konya.edu.tr)

Öz

Küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS) şu anda küresel olarak hizmet veren GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU navigasyon uydu sistemlerinden oluşmaktadır. GNSS almanakları, GNSS alıcılarının uydulara ilk kilitlenme zamanını hızlandırma ve görev planlamasında kullanılmaktadır. GNSS almanakları belirli aralıklarla internet üzerinden yayınlanmaktadır. Bu çalışmada GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU navigasyon uydu sistemlerinin almanak verilerinin zamana bağlı doğruluk analizleri yapılmıştır. Almanak referans zamanından 1 gün-1 hafta-1 ay-2 ay-4 ay sonraki zaman dilimleri seçilerek GNSS uydu yer merkezli yer sabit (ECEF) koordinatları almanak verilerinden hesaplanmıştır. Bu koordinatlar uyduların hassas efemeris koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Koordinatlardaki hataların, duyarlılık kaybı (DOP) değerlerine nasıl yansıdığı GPS uyduları için ayrıca test edilmiştir. Hesaplamalarda MATLAB ortamında yazılmış olan bir program kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, GNSS manevrasına (delta-v manevrası) maruz kalmamış olan uydular için 4 ay'a kadar GNSS almanaklarının görev planlanmasında güvenilir bir şekilde kullanılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Almanak, BEIDOU, GALILEO, GLONASS, GPS.

ACCURACY ANALYSIS OF GNSS ALMANAC

Abstract

The global navigation satellite system (GNSS) is now consists of GPS, GLONASS, GALILEO and BEIDOU navigation satellite system serve globally. GNSS almanacs are used in mission planning and accelerating the GNSS receivers' initial lock-in time. GNSS almanacs are periodically published on the Internet. In this study, time-dependent accuracy analyzes of GPS, GLONASS, GALILEO and BEIDOU navigation satellite system's almanac data were performed. The GNSS satellite Earth Centered Earth Fixed (ECEF) coordinates are calculated from the almanac data by selecting the 1 day-1 week-1 month-2 months-4 months away from the Almanac reference time. The impact of errors in ECEF coordinates for DOP values are calculated for GPS satellites. Calculations are carried out in MATLAB environment. The results have shown that GNSS almanacs can reliably be used for task planning up to 4 months for satellites that have not been exposed to GNSS Delta-v maneuver.

Keywords: Almanac, BEIDOU, GALILEO, GLONASS, GPS.

1. GİRİŞ

Küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS) almanakları uydu koordinatlarının geleceğe yönelik koordinatlarının km mertebesinde bir doğruluk ile elde edilmesi işleminde kullanılmaktadır (Guo vd., 2017). GNSS almanakları, doğruluğu yayın efemerisine

(Montenbruck vd., 2015) göre düşürülmüş kepler yörünge parametrelerini içermektedir. GNSS almanakları geleceğe yönelik kampanya türünde (Wunderlich vd., 2011) planlanan GNSS ölçümlerinde görev planlaması işlemlerinde kullanılmaktadır. Elde edilen duyarlılık kaybı (DOP) değerlerine göre ölçüm için en uygun zaman aralığı seçilebilmektedir (Dussault vd., 2001). GNSS almanakları ayrıca

* Sorumlu Yazar

GNSS alıcılarının açıldıktan sonra uydulara kilitlenme aşamasındaki süreci kısaltmaktadırlar (Lehtinen vd., 2008; URL1). Alıcının önceden kayıt etmiş olduğu almanak verisi ne kadar güncel ise uydulara ilk kilitlenme o kadar hızlı olmaktadır. Almanak bilgilerini içeren kepler parametrelerinin zamana bağlı olarak doğruluğu düşmektedir. GNSS alıcılarının içerisindeki yazılım en son kayıt edilen almanak tarihi ile ölçüm tarihine göre uydulardan yayınlanan almanak verilerini tekrar kayıt edebilir veya en son kayıt edilen dosyayı kullanabilir. Yazılımın içerisinde belirlenen bu zaman farkı sınırı üretici firmaya göre değişmektedir. Bu zaman farkı çok kısa tutulursa alıcı her açıldığı zaman gereksiz yere almanak dosyasını kayıt edecek ve bu durum zaman kaybına ve alıcının bataryasının gereksiz yere kullanılmasına yol açacaktır. Bu zaman farkı olması gerektiği sınırdan çok uzun tutulursa uydu koordinat doğruluğu oldukça düşeceği için ilk kilitlenme aşaması olması gerektiğinden uzun sürecektir. Ma ve Zhou (2014), GPS uyduları için almanak referans zamanı ve bu zamandan üç gün sonraki zaman göz önüne alarak GPS uydularının koordinatlarını almanak parametrelerinden belirlemişlerdir. Almanak verileri kullanılarak belirlenen yer merkezli yer sabit koordinatlar (ECEF), uyduların hassas efemeris koordinatları (Dow vd., 2005) ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, üç boyutta ortalama ECEF koordinat hatasının 1 ile 3 km arasında kaldığını göstermektedir. Kurt ve Şentürk (2014), 1 (PRN) numaralı GPS uydusunun koordinatlarını 24 Mart 2014 tarihi için 5 dk aralıklarla almanak verilerinden yararlanarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak üç boyutta ECEF koordinatlarında 3.9 km'lik bir hata elde edilmiştir. GNSS uydularına ait almanak verileri web ortamında belirli aralıklarla yayınlanmaktadır. GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uydularının almanak verileri için sırasıyla (URL2;URL3;URL4;URL5) web kaynakları incelenebilir. Yazarın bilgisi dahilinde şu ana kadar ki yapılan çalışmalar sadece GPS uydularının almanak doğruluğu üzerinedir. Ancak diğer küresel hizmet veren GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uydularının almanak analizleri henüz kapsamlı bir şekilde yapılmamıştır. Bu çalışmanın temel amacı küresel hizmet veren bütün GNSS sistemlerinin almanak dosya tarihinin uydu

koordinat doğruluğuna etkisini araştırmak ve güvenilir, kolay kullanımı olan bir GNSS görev planlama yazılımı oluşturmaktır.

2. YÖNTEM

Aşağıdaki bölüm başlıklarında geliştirilen yazılım (Bölüm 2.1), GNSS almanaklarından uydu konum hesabı ve almanak dosya türleri (Bölüm 2.2) açıklanmıştır.

2.1. GNSS Uydu Yörünge ve Simülasyon Yazılımı

GNSS almanaklarının zamana bağlı doğruluk analizlerinin yapabilmek amacıyla MATLAB programlama dili kullanılarak bir yazılım oluşturulmuştur. Yazılım GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uydularına ait almanak dosyalarını okuyarak istenilen zaman aralığı için uydu yörüngelerini simüle etmektedir. Belirlenen zaman aralığı, istenilen konum ve uydu yükseklik açısına bağlı olarak DOP değerlerini (PDOP, GDOP, HDOP, VDOP, TDOP) ve görünen uydu sayısını vermektedir. İsteğe bağlı olarak uydu sistemleri birleştirilebilir veya ayrı bir şekilde seçilerek analizler yapılabilir. Yazılım almanak dosyalarını okurken çeşitli kontroller yapmaktadır. Bu kontrollerden en önemlileri uydu sağlık durumları, almanak dosyalarının tarihi ve formatıdır. Sağlıksız uydular hesaplama işlemine dahil edilmeden atılmaktadır. Görev planlaması için ileriye yönelik belirlenen tarih ile almanak tarihi arasında uyumsuz bir durum söz konusu ise yazılım kullanıcıya uyarı vermektedir. Okutulan almanak dosyalarının formatı olması gereken formatta değil ise yazılım format hatası uyarısı vermektedir. Ayrıca almanak dosyasında bulunamayan uydularda uyarı olarak kullanıcıya bildirilmektedir.

GNSS_MISSION_PLANNING

Input geodetic latitude, longitude, ellipsoidal height and cut-off angle

Input start time

Input duration and time interval

Input GPS yuma almanac file Input GLONASS agl almanac file Input GALILEO xml almanac file Input BEIDOU excel almanac file

Choose GNSS constellation for plotting and printing

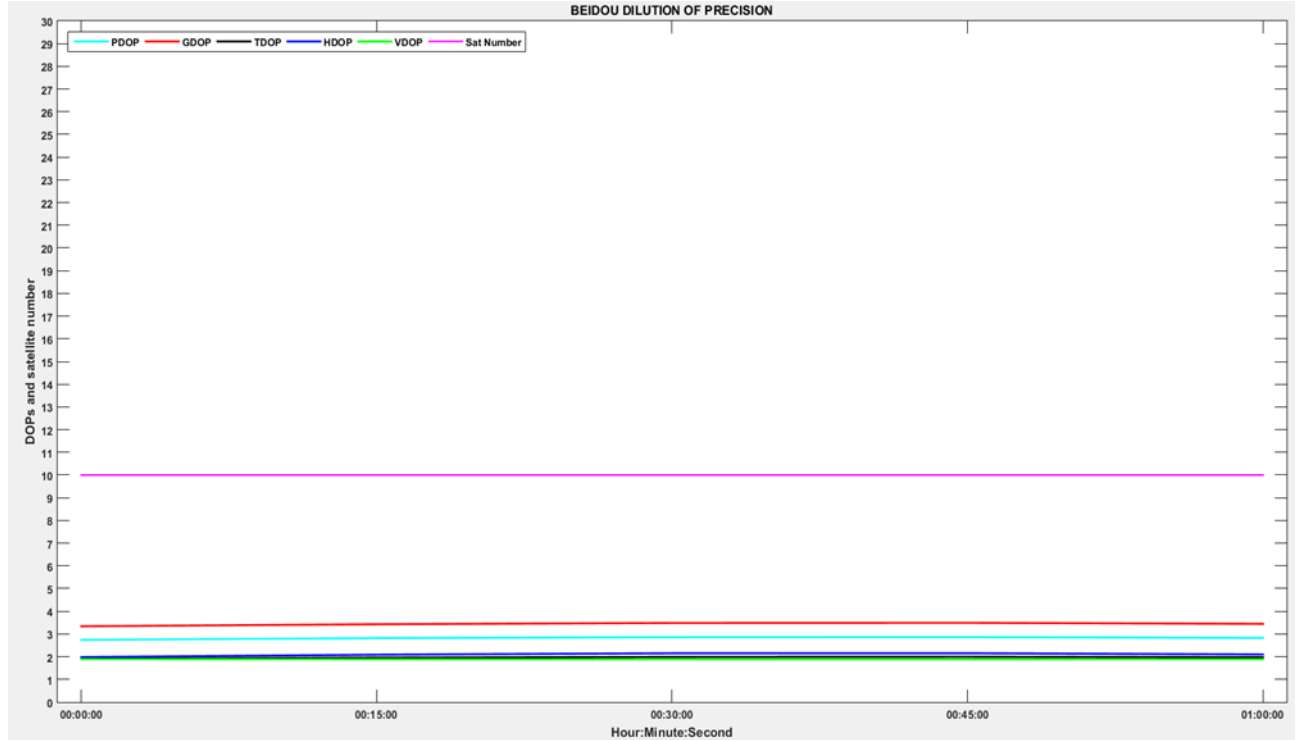
GPS GLONASS GALILEO BEIDOU

Print the results

Şekil 1. Yazılımın ara yüzü

Şekil 2 ve Tablo 1’de BEIDOU uyduları için 2017/01/02 tarihinde Çin’in başkenti Pekin bölgesi konumunda 5 derece uydu yüksekliğinde 1 saat zaman diliminde 15 dk

aralıklarla hesaplanmış olan DOP değerleri, uydu görünürlüğü ve kayıt edilen dosya örnek olarak gösterilmiştir.



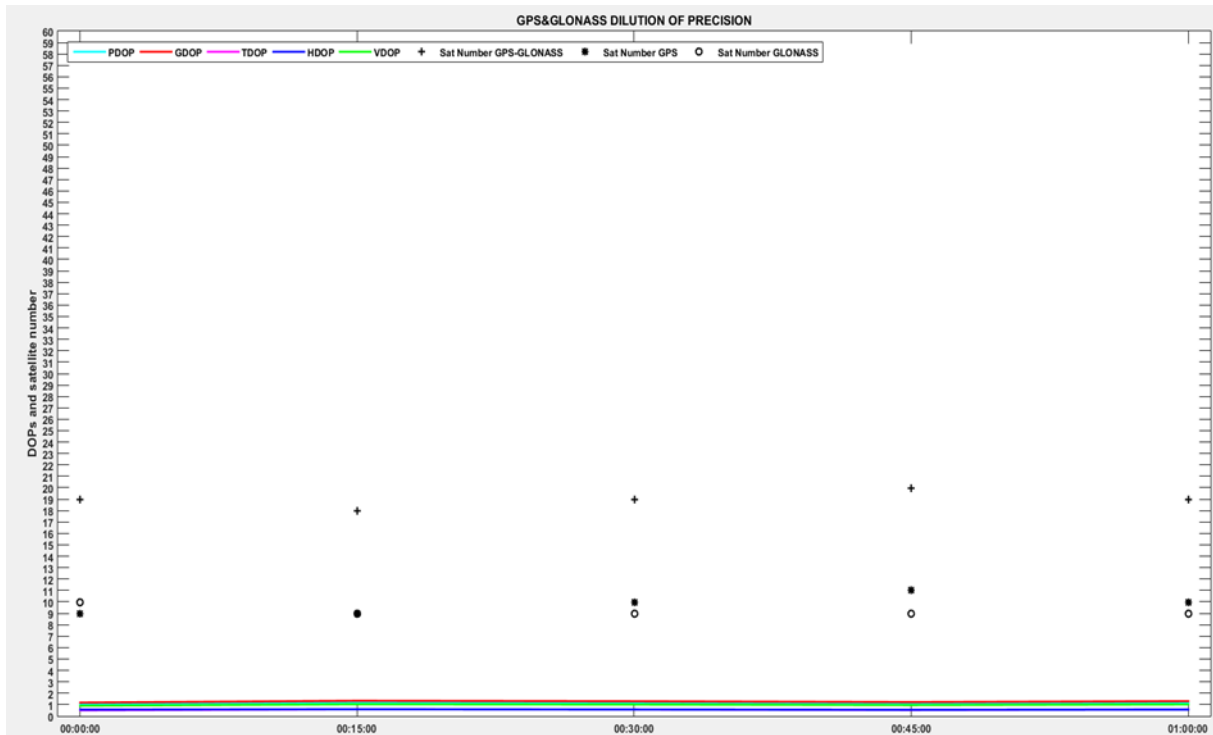
Şekil 2. BEIDOU uyduları için 15dk aralıklarla hesaplanan DOP değerleri ve uydu görünürlükleri

Tablo 1. BEIDOU uyduları için kayıt dosyası örneği

BEIDOU						
Hour/Minute/Second	PDOP	GDOP	TDOP	HDOP	VDOP	sat_num
00:00:00	2.744	3.341	1.907	1.984	1.895	10
00:15:00	2.816	3.430	1.959	2.089	1.887	10
00:30:00	2.862	3.487	1.993	2.153	1.886	10
00:45:00	2.865	3.493	1.999	2.155	1.887	10
01:00:00	2.825	3.448	1.976	2.099	1.891	10

Şekil 3 ve Tablo 2’de ise GPS ve GLONASS uyduları için Ankara IGS istasyonunun konumunda 2017/01/02 tarihinde 5 derece uydu yüksekliğinde 1 saat zaman diliminde 15

dk aralıklarla hesaplanmış olan DOP değerleri, uydu görünürlüğü ve kayıt edilen dosya örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. GPS ve GLONASS uydularının beraber kullanıldığı durumda 15 dk aralıklarla hesaplanan DOP değerleri ve uydu görünürlükleri (ANKR IGS istasyonu için)

Tablo 2. GPS ve GLONASS uydularının beraber kullanıldığı durumda kayıt dosyası örneği

GPS && GLONASS								
Hour/Minute/Second	PDOP	GDOP	TDOP	HDOP	VDOP	GPS-GLONSS_NUMBER	GPS_NUMBER	GLONASS_NUMBER
00:00:00	1.065	1.180	0.508	0.565	0.903	19	9	10
00:15:00	1.198	1.340	0.600	0.599	1.038	18	9	9
00:30:00	1.164	1.299	0.575	0.575	1.013	19	10	9
00:45:00	1.105	1.226	0.531	0.547	0.961	20	11	9
01:00:00	1.170	1.308	0.585	0.570	1.023	19	10	9

2.2. GNSS Almanaklarında Uydu Konum Hesabı ve Dosya Türleri

GPS, GLONASS ve BEIDOU uydu koordinatlarının almanak verilerinden hesabının genel algoritması aynıdır. Tablo 3’de GPS yuma almanak dosyasının içindeki parametreler ve hesaplamada kullanılacak olan simgeler verilmiştir.

Almanak parametrelerinden uydu ECEF koordinatlarının hesabı aşağıdaki eşitlikler aracılığı ile yapılabilir (Montenbruck vd., 2001; Hofmann-Wellenhof vd., 2008).

Tablo 3. Almanak parametreleri

Almanak Parametreleri	Simgesi
Eksantrisite	<i>ecc</i>
Zaman	<i>toe</i>
Yörünge eğimi (rad)	<i>i0</i>
Rektasansiyon değişim hızı (r/s)	<i>Omegadot</i>
Büyük yarı eksen karekökü (m 1/2)	<i>roota</i>
Referans anındaki rektasansiyon (rad)	<i>Omega0</i>
Perigee argümanı (rad)	<i>omega</i>
Ortalama anomali (rad)	<i>M0</i>

$$GM = 3.986004418e14 \text{ (dünya evrensel çekim sabiti, } m^3/sn^2) \quad (1)$$

$$Omegae_{dot} = 7.2921151467e - 5 \text{ (dünya dönme hızı, rad/sn)} \quad (2)$$

$$A = roota * roota \text{ (büyük yarı eksen, m)} \quad (3)$$

$$tk = ((gps_{hafta_{numarası}} - toe) + (gps_{haftası} - almanak_{haftası})) * 604800 \text{ (almanak zamanından itibaren geçen süre, saniye)} \quad (4)$$

$$n = \sqrt{GM/A^3} \text{ (ortalama hareket, radyan/saniye)} \quad (5)$$

$$M = M0 + (n * tk) \text{ (radyan)} \quad (6)$$

$$E = M \quad (7)$$

$$E_0 = E \quad (8)$$

$$E = M + (ecc * \sin(E) \text{ (eksentrik anomali, radyan)}) \quad (9)$$

$$dE = E - E_0 \quad (10)$$

$$iterasyon = 0 \quad (11)$$

$$\text{eğer } dE > 1e - 12 \quad (12)$$

$$iterasyon = iterasyon + 1 \quad (13)$$

$$E_0 = E \quad (14)$$

$$E = M + (ecc * \sin(E)) \quad (15)$$

$$dE = E - E_0 \quad (16)$$

son

$$v = \arctan(\sqrt{(1 - e^2)} * \sin(E) / (\cos(E) - ecc)) \text{ (gerçek anomali, radyan)} \quad (17)$$

$$phi = v + omega \quad (18)$$

$$u = phi + cuc * \cos(2 * phi) + cus * \sin(2 * phi) \text{ (enlemin argümanı, radyan)} \quad (19)$$

$$r = A * (1 - ecc * \cos(E) + crc * \cos(2 * phi) + crs * (\sin(2 * phi))) \text{ (uydu ile yer merkezi arasındaki mesafe, metre)} \quad (20)$$

$$i = i0 + idot * tk + cic * \cos(2 * phi) + cis * \sin(2 * phi) \text{ (referans zamandaki uydu yörünge eğim açısı, radyan)} \quad (21)$$

$$Omega = Omega0 + (Omegadot - Omegae_{dot}) * tk - (Omegae_{dot} * toe) \text{ (yükselen düğüm noktasının boylamı, radyan)} \quad (22)$$

$$x1 = \cos(u) * r \text{ (uydu yörünge düzlemi x eksen koordinatı, metre)} \quad (23)$$

$$y1 = \sin(u) * r \text{ (uydu yörünge düzlemi y eksen koordinatı, metre)} \quad (24)$$

$$x_{ecef} = x1 * \cos(Omega) + y1 * \cos(i) * \sin(Omega) \text{ (ECEF x eksen koordinatı, metre)} \quad (25)$$

$$y_{ecef} = x1 * \sin(Omega) + y1 * \cos(i) * \cos(Omega) \text{ (ECEF y eksen koordinatı, metre)} \quad (26)$$

$$z_{ecef} = y1 * \sin(i) \text{ (ECEF z eksen koordinatı, metre)} \quad (27)$$

GLONASS uyduları için almanak parametrelerinden uydu koordinatlarının hesabı analitik olarak yapıldığı için hesabın algoritması GPS, GLONASS ve BEIDOU uydu koordinatlarının hesabından farklılık göstermektedir. Detaylı bilgi için GLONASS ara yüz kontrol dokümanı incelenebilir (URL6).

GPS uyduları için YUMA ve SEM formatlarında olmak üzere iki farklı formatta web üzerinden dosyalar indirilebilmektedir. GLONASS uyduları için agl dosya uzantılı bir format kullanılmaktadır. GALIELO dosyaları için almanak dosyası xml dosya formatında yayınlanmaktadır. Makalenin yazıldığı tarih

göz önüne alındığında, BEIDOU uydularının almanak dosyası için henüz bir format belirlenmemiş olup almanak parametrelerine sadece tablo şeklinde ulaşmak mümkündür.

3. BULGULAR

GNSS almanaklarının doğruluk analizlerini yapabilmek amacıyla 2017/01/01 tarihindeki GPS, GLONASS, GALILEO uydularına ait almanak dosyaları indirilmiştir. Bu referans almanak tarihinden 1 gün-1 hafta-1 ay-2 ay-4 ay sonraki zaman dilimleri seçilerek 00:00:00 (saat-dakika-saniye) zamanında 5 adet uydu için (makalede çok fazla yer kaplamaması için) her sistemde ECEF uydu koordinatları hesaplanmıştır. Makalenin yazım tarihinde güncel BEIDOU almanak dosyası tarihi 2017/31/12 tarihinde olduğu için BEIDOU uyduları için almanak referans tarihinden maksimum 2 ay sonrası için işlem yapılmıştır. Almanak dosyalarından hesaplanan koordinatlar uyduların hassas efemeris dosyasındaki koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Uyduların almanak ve yayın efemeris bilgileri uydu anten faz merkezi referans alınarak yayınlanır ancak uyduların hassas yörünge bilgileri uyduların kütle merkezi referans alınarak yayınlanır (Warren ve Raquet., 2003). Bu fark birkaç metre mertebesinde kaldığı için bu çalışmada göz ardı edilmiştir. Tablo 4-5-6-7’de GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uydularının almanak dosyalarından hesaplanan koordinatları ile hassas efemeris dosyasında yayınlanan koordinatları arasındaki mutlak farklar her bir zaman dilimi için verilmiştir.

Tablo 4. Zamana bağlı GPS almanak doğruluğu

1 gün sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	0.4	0.08	0.1
02	0.4	0.1	0.6
03	0.1	0.8	0.5
05	0.8	0.2	1.5
06	0.03	0.2	1.1
Ortalama:	0.4	0.3	0.8
1 hafta sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	7.7	0.7	4.7
02	8.2	0.6	3.0
03	0.8	0.1	4.1

05	1.6	0.5	1.3
06	4.6	0.4	6.7
Ortalama:	4.6	0.5	4.0
1 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	25.0	5.2	10.7
02	18.6	32.4	27.8
03 (Delta-v manevrası)	954.3	203.9	497.2
05	27.1	13.2	13.4
06	0.9	32.3	19.5
Ortalama:	17.9	20.8	17.8
2 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	24.5	7.9	85.0
02	5.4	160.0	87.5
03 (Delta-v manevrası)			
05	44.4	117.8	125.5
06	69.4	129.3	20.3
Ortalama	35.9	103.7	79.5
4 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	73.4	286.8	128.3
02	324.6	305.6	452.7
03 (Delta-v manevrası)			
05	530.5	584.5	168.9
06	458.9	85.6	409.4
Ortalama	346.8	315.6	289.8

Tablo 5. Zamana bağlı GLONASS almanak doğruluğu

1 gün sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	4.0	21.7	51.5
02	3.1	47.4	13.9
03	0.2	41.8	29.8
04	2.8	10.7	57.2
05	3.5	27.5	51.7
Ortalama:	2.7	29.8	40.8
1 hafta sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	9.0	52.3	15.3
02	3.1	24.6	56.6
03	3.2	19.1	62.1
04	8.7	53.8	29.2
05	10.1	56.5	18.8
Ortalama:	6.8	41.3	36.4
1 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	27.9	28.1	37.0
02	33.6	35.8	8.0
03	18.5	20.3	46.2
04	8.0	9.2	59.0
05	30.3	34.5	38.6
Ortalama:	23.7	25.6	37.8
2 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	18.3	11.7	84.2
02	47.7	25.3	72.7

03	75.4	22.6	19.0
04	57.1	10.1	37.9
05	11.3	3.5	65.4
Ortalama	42.0	14.6	55.8
4 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	21.9	61.4	174.7
02	119.3	36.5	133.7
03	127.4	91.4	20.5
04	70.0	87.1	83.3
05	12.4	32.1	115.4
Ortalama	70.2	61.7	105.5

Tablo 6. Zamana bağlı GALILEO almanak doğruluğu

1 gün sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	4.0	6.3	8.7
02	3.4	5.5	7.8
08	3.7	4.7	6.3
09	2.5	4.9	3.0
11	3.7	2.1	9.7
Ortalama:	3.5	4.7	7.1
1 hafta sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	20.1	24.0	22.3
02	16.5	20.6	20.9
08	27.1	15.7	26.7
09	33.7	18.3	30.3
11	39.4	12.3	1.4
Ortalama:	27.4	18.2	20.3
1 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	196.2	17.3	37.7
02	163.7	16.2	37.9
08	116.3	88.5	209.2
09	2.8	257.7	141.5
11	74.4	203.8	59.6
Ortalama:	110.7	116.7	97.2
2 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	60.5	209.3	368.2
02	40.5	155.1	280.3
08	413.7	236.5	97.4
09	408.9	60.5	365.2
11	256.1	168.4	323.9
Ortalama	253.9	166.0	287.0
4 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
01	457.5	48.4	853.4
02	345.5	34.9	680.0
08	760.4	546.0	223.2
09	208.3	768.2	730
11	108.8	664.9	648.7
Ortalama	376.1	412.5	627.1

Tablo 7. Zamana bağlı BEIDOU almanak doğruluğu

1 gün sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
11	1.1	0.3	0.2

12	0.2	0.2	0.9
14	1.9	0.8	4.3
01	2.2	1.4	0.5
02	3.2	2.2	8.3
Ortalama:	1.7	1.0	2.8
1 hafta sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
11	0.6	1.5	12.4
12	2.9	10.0	7.7
14	2.0	5.5	4.7
01	15.3	24.4	11.6
02	44.5	4.2	22.9
Ortalama:	13.1	9.1	11.9
1 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
11	2.7	11.1	31.7
12	1.7	35.1	6.5
14	12.0	9.3	14.8
01	203.8	246.2	18.2
02	344.5	43.9	54.7
Ortalama:	112.9	69.1	25.2
2 ay sonra			
PRN	Δx (km)	Δy (km)	Δz (km)
11	20.0	61.8	12.3
12	13.9	62.5	65.4
14	27.2	10.0	59.7
01	Hassas efemeris yok	Hassas efemeris yok	Hassas efemeris yok
02	617.6	79.6	47.1
Ortalama	169.7	53.4	46.1

Tablolardaki farklardan anlaşıldığı gibi almanak referans zamanından uzaklaştıkça uydu doğruluğu önemli bir ölçüde azalmaktadır. Ayrıca almanak referans zamanından sonra bazı uydulara uygulanan delta-v manevraları da o uyduların koordinatlarında önemli ölçüde değişikliğe neden olmaktadır. Dolayısıyla almanaktan hesaplanan koordinatlar ile gerçek koordinatlar arasında yüzlerce km'lik farklar oluşabilmektedir. Delta-v manevraları uyduların hızında veya yörünge koordinatlarında yapılan değişikliği içermektedir. Bu değişikliğin nedenleri uydu yörüngesinin zaman içerisinde olması gerektiği yörüngeden sapması (bozucu etkiler nedeniyle) veya uydunun yeni bir yörüngeye yerleştirilmesidir. Delta-v manevraları ve uydu sinyal kesikliklerinin arşivi için (URL7) kaynağı incelenebilir. Zamana bağlı almanak doğruluğu tablolarındaki ortalama değerlerin hesabında Delta-v manevrasına maruz kalmış uydular kullanılmamıştır. Bazı uyduların Delta-

v manevraları uydunun nominal konumundan çok saptığı için (birkaç bin km) bu tür uyduların xyz bileşenindeki hata değerleri boş bırakılmıştır. Tablo 6 incelendiğinde almanak parametrelerinden hesaplanan GALIEO uydu koordinatlarının GPS, GLONASS ve BEIDOU uydu koordinatlarına göre doğruluğunun daha düşük olduğu görülmektedir. Analizi yapılan BEIDOU uydularından 11-12-14 orta yörünge uyduları (MEO), 01-02 uyduları ise yer merkezli uydulardır (GEO). BEIDOU almanak referans tarihinden 1 ay sonraki zaman dilimi içerisinde 01-02 yer merkezli BEIDOU uydularına Delta-v manevrası yapıldığı anlaşılmaktadır. BEIDOU yer merkezli ve eğimli coğrafi eşzamanlı (IGSO) uydular sabit olarak belirlenen yörünge koordinatlarında kalabilmek için sıklıkla Delta-v manevralarına maruz kalmaktadırlar (Ye vd., 2017). Dolayısıyla almanak parametrelerinden kestirilen yer merkezli uydular ve eğimli coğrafi eşzamanlı BEIDOU uydularının koordinatları orta yörünge uyduları koordinatlarına göre daha düşük bir doğruluk ile belirlenebilmektedir. Almanak parametrelerinden hesaplanan DOP değerleri ile olması gereken DOP değerleri arasındaki farklar almanak dosyasındaki tüm GPS uyduları için test edilmiştir. Olması gereken DOP değerleri ilgili tarihteki GPS uydularının yayın efemeris dosyalarından hesaplanmıştır. Tablo 8'de almanak ve yayın efemerisinden hesaplanan GDOP değerleri verilmiştir.

Tablo 8. Zamana bağlı GDOP değerleri

Almanak referans zamanından geçen süre	Yayın Efemerisi GDOP değeri	Almanak GDOP değeri
1 gün	1.90	2.30
1 hafta	1.85	1.80
1 ay	1.45	1.42
2 ay	1.50	1.65
4 ay	1.50	1.63

Tablo 8'deki GDOP değerlerinden görüldüğü gibi yayın efemerisinden hesaplanan GDOP değerleri ile almanak parametrelerinden hesaplanan GOP değerleri arasındaki farklar oldukça küçüktür. Hesaplama Tablo 4'de

verilen Delta-v manevralarına maruz kalmış uydular da kullanılmıştır. Dolayısıyla GNSS almanak parametreleri 4 ay sonraki bir zaman dilimi içerisinde güvenilir bir şekilde kullanılabilir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU almanak parametrelerinin doğruluğu almanak referans zamanından 1 gün-1 hafta-1 ay-2 ay - 4 ay sonraki zaman dilimleri için test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğruluk açısından incelendiğinden almanak referans zamanından uzaklaştıkça uydu koordinatlarının doğruluğunun düştüğünü göstermektedir. Bir gün sonrası için GPS almanaklarından elde edilen doğruluk km altı ve diğer GNSS sistemlerinden elde edilen doğruluk birkaç km ile 40 km mertebelerindedir. Uydu koordinatlarındaki en büyük bozucu etki Delta-v manevralarıdır. Bu manevralar belirli bir süre önce web üzerinden kullanıcılara duyurulmaktadır. Ancak almanak verileri kullanılarak geleceğe yönelik uydu koordinatlarının kestiriminde bu manevralar bilinmemektedir. Dolayısıyla manevraya maruz kalmış uydu koordinatlarının olması gereken koordinatları ile almanak parametrelerinden kestirilen uydu koordinatları arasında yüzlerce km'lik farklar meydana gelebilmektedir. GNSS sistemleri arasındaki en iyi almanak sonucunun GPS, en kötü almanak sonucunun GALILEO uyduları için olduğu ortaya çıkmıştır. Yayın efemerisindeki GDOP değerleri ile almanak parametrelerinden hesaplanan GDOP değerleri arasındaki farklar GPS uyduları için analiz edilmiştir. Sonuçlar, almanak referans tarihinden 4 ay sonraki zaman dilimi içerisinde GNSS almanaklarının görev planlaması için güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. BEIDOU almanak parametrelerinin yayınlanma sıklığı diğer GNSS sistemlerine göre oldukça düşüktür. Makalenin yazım tarihi göz önüne alındığında en güncel BEIDOU almanak dosyasının tarihi 31/12/2017 tarihine aittir. Bu güncellenme oranının BEIDOU uydularının koordinatlarının ileriye yönelik sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmesi için artırılması yazar tarafından ön görülmektedir. Kullanıma sunulan diğer GNSS görev planlaması yazılımlarının aksine bu çalışmada geliştirilen yazılım kullanılarak istenilen uyduların belirli

zaman aralığında ECEF koordinatları görüntülenebilir. Yazılımın kaynak kodları sayesinde kullanıcının isteği doğrultusunda geliştirmeler yapılabilir. Yazılım MATLAB'ın hiçbir hazır fonksiyonunu kullanmamaktadır dolayısıyla yazılımın çalışması için sadece MATLAB'ın ana modülünün yüklü olması yeterlidir. Yazılımın kaynak kodları (.m dosyası) ve ara yüzü (.fig dosyası) <https://tinyurl.com/y8sxbk6z> adresinden indirilebilir.

KAYNAKÇA

- Dow, J. M., Neilan, R. E., Gendt, G. (2005) The International GPS Service: celebrating the 10th anniversary and looking to the next decade. *Advances in Space Research*, 36(3), 320-326
- Dussault, C., Courtois, R., Ouellet, J. P., Huot, J. (2001). Influence of satellite geometry and differential correction on GPS location accuracy, *Wildlife Society Bulletin*, 171-179.
- Guo, F., Li, X., Zhang, X., Wang, J. (2017). The contribution of multi-GNSS experiment (MGEX) to precise point Positioning. *Advances in Space Research*, 59(11), 2714-2725.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. (2008). *GNSS Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and More* (1st ed.), SpringerWien New York.
- Kurt, O., Şentürk, E. (2014) GPS ALMANAKLARININ ELDE EDİLMESİ. HKMO-Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Çorum, Türkiye.
- Lehtinen, M., Happonen, A., Ikonen, J. (2008). Accuracy and time to first fix using consumer-grade GPS receivers", *Proceedings of 16th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, Split, Croatia.
- Ma, L., Zhou, S. (2014). Positional Accuracy of Gps Satellite Almanac. *Artificial Satellites*, 49(4), 225-231.
- Montenbruck, O., Gill, E. (2001). *Satellite Orbits: Models, Methods, and Applications* (1st ed.). SpringerVerlag, Berlin Heidelberg.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Hauschild, A. (2015). Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective. *GPS solutions*, 19(2), 321-333, 2015.
- Warren, D. L., Raquet, J. F. (2003). Broadcast vs. precise GPS ephemerides: a historical perspective", *GPS Solutions*, 7(3), 151-156.
- Wunderlich, T., Fischell, M., Schafer, T. (2011). 25 Years of wrong GPS Campaign Planning", *Proceedings of 5th International Conference on Engineering Surveying*, Brijuni, Croatia.
- Ye, F., Yuan, Y., Tan, B., Ou, J. (2017). A Robust Method to Detect BeiDou Navigation Satellite System Orbit Maneuvering/Anomalies and Its Applications to Precise Orbit Determination. *Sensors*, 17(5), 1129.
- URL1: www.insidegnss.com/auto/novdec08-gnss-sol-v1.pdf (erişim tarihi 20.03.2018)
- URL2: <https://celestrak.com/GPS/almanac/Yuma/> (erişim tarihi 20.03.2018)
- URL3: <ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/ALMANAC/> (erişim tarihi 20.03.2018)
- URL4: <https://www.gsc-europa.eu/system-status/almanac-data> (erişim tarihi 20.03.2018)
- URL5: <https://www.glonass-iac.ru/en/BEIDOU/ephemeris.php> (erişim tarihi 20.03.2018)
- URL6: [https://www.unavco.org/help/glossary/docs/ICD_GLONASS_4.0_\(1998\)_en.pdf](https://www.unavco.org/help/glossary/docs/ICD_GLONASS_4.0_(1998)_en.pdf) (erişim tarihi 20.03.2018)
- URL7: <http://navigation.services.agi.com/SatelliteOutageCalendar/GPSHistoricalOutages.aspx> (erişim tarihi 20.03.2018)