



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**GPS YAYIN EFEMERİSİNİN FARKLI  
EPOKLAR İÇİN KULLANILMASINDA  
DOĞRULUKLARININ İNCELENMESİ**

**Sümevra ERVURAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mayıs-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Sümevra Ervural tarafından hazırlanan “GPS Yayın Efemerisinin Farklı Epoklar İçin Kullanılmasında Doğruluklarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 23/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

#### Üye - Danışman

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

#### Üye

Doç. Dr. Salih ALÇAY

### İmza

.....  
.....  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Sümevra ERVURAL

Tarih: 12 / 06 / 2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## GPS YAYIN EFEMERİSİNİN FARKLI EPOKLAR İÇİN KULLANILMASINDA DOĞRULUKLARININ İNCELENMESİ

Sümeyra ERVURAL

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ekrem TUŞAT**

**2019, 45 Sayfa**

**Jüri  
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ (Başkan)  
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
Doç. Dr. Salih ALÇAY**

GPS ile konum belirlemede yayın efemerisi ve hassas efemeris olarak iki farklı yörünge bilgisi bulunmaktadır. Yayın efemerisinin pratik birçok GPS uygulamasında sağladığı duyarlık yeterli olmaktadır. Daha yüksek hassasiyet beklenen uygulamalarda ise IGS hassas efemeris verileri kullanılmaktadır. Yayın efemerisi izleme istasyonlarındaki gözlemlerden türetilen verilerin değerlendirilmesiyle referans alınan yörüngedeki uyduların bilgileri ile oluşturulmaktadır ve anlık olarak yayınlanmaktadır. Hassas efemeris verileri ise IGS yörünge bilgilerinden yararlanılarak 24 saat boyunca 30 saniye aralıklarla yapılan gözlemlerin değerlendirilmesiyle oluşmaktadır. Bu çalışmada yayın ve hassas efemeris verilerinin koordinatlar üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. 1 Ocak 2018 tarih 00:00 zamanına ait yayın efemerisi bilgileri kullanılarak, 31 Aralık 2017 tarih 22:00 zamanı ile 1 Ocak 2018 tarih 02:00 zamanı arasında uyduların 15 dakika aralıklarla ECEF koordinatları hesaplanmıştır. Böylece hem yayın epogu hem de farklı epoklar için yayın ve hassas efemeris verileri arasındaki farklar incelenmiştir. X,Y, Z değerlerinin en küçük ve en büyük farkları düzensiz dağılım göstermiş olup, ortalama değerler üç bileşen içinde sıfıra yakın elde edilmiştir. Hesaplamalarda değiştirilen zaman parametresinin (t) pozitif olduğu durumlarda farkların 3 m'nin altında olduğu görülürken, t değerinin negatif alındığı durumlarda ise bu fark 3.8 m'ye yaklaşmıştır. Standart sapma üç bileşende de yaklaşık aynı değerleri vermiş ve sıfır anından uzaklaştıkça standart sapma değerinin arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** GPS, Hassas Efemeris, Kepler Yörünge Parametreleri, Yayın Efemerisi

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**THE INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF THE GPS BROADCAST  
EPHEMERIDES USING FOR DIFFERENT EPOCHS**

**Sümeyra ERVURAL**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Geomatic Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Ekrem TUŞAT**

**2019, 45 Pages**

**Jury  
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECI  
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
Assoc. Prof. Dr. Salih ALÇAY**

GPS has two different orbit information in terms of precise ephemeris and broadcast ephemeris. In many practical GPS applications, the accuracy of broadcast ephemeris is sufficient. IGS precise ephemeris is used in applications where high accuracy is expected. The broadcast ephemeris is generated by the satellite information that is referenced by the evaluation of the data derived from the observations in the monitoring stations and is published in real time. Precise ephemeris generated by evaluating the observations made at 30 second intervals for 24 hours using IGS data. In this study, it is aimed to investigate the effects of broadcast and precise ephemeris data on station coordinates. ECEF coordinates of satellites were calculated at 15 minutes intervals between 22:00 on December 31, 2017 and 02:00 on January 1, 2018. Thus, the differences between the broadcast ephemeris and the precise ephemeris data were examined for both at the ephemeris epoch and for different epochs. The minimum and maximum differences of X, Y, Z values showed irregular distribution and mean values were obtained as nearly zero in three components. In cases where the time variable (t) changed in the calculations was positive, the difference was found to be below 3 m, whereas in cases where t value was negative, this difference approached 3.8 m. The standard deviation gave approximately the same values in all three components, and the standard deviation value increased as it differs from the zero epoch was increased.

**Keywords:** broadcast ephemeris, GPS, Kepler orbital parameters, precise ephemeris.

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleri ile çalışmamı yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Ekrem TUŞAT'a, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Harita Mühendisliği öğretim üyelerine, teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Sümevra ERVURAL  
KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KEPLER HAREKETİ VE KEPLER YÖRÜNGE ELEMANLARI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Kepler Hareketi.....	3
2.2. Kepler Yörünge Elemanları .....	6
<b>3. GPS UYDU YÖRÜNGELERİ (EFEMERİSLER) .....</b>	<b>8</b>
3.1. Yayın Efemerisi (Broadcast Ephemeris) .....	12
3.1.1. Yörünge Tanımlaması.....	14
3.2. Hassas Efemeris .....	16
3.2.1. NGS Hassas Efemerisi.....	18
3.2.2. IGS Hassas Efemerisi .....	19
<b>4. YAYIN VE IGS HASSAS EFEMERİSLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>	<b>23</b>
4.1. Uygulamada Kullanılan Veriler .....	23
4.2. Uydu Konum Hesapları .....	24
4.3. Yayın ve IGS Hassas Efemerislerinin Karşılaştırılması Uygulaması.....	27
4.4. Bulgular .....	28
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>40</b>
5.1. Sonuçlar .....	40
5.2. Öneriler .....	41
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>45</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\pi$	:Pi Sayısı
R	:m Kütlesinin Güneş'in Kütle Merkezine Uzaklığı
$\nu$	:Gerçek Anomali Değeri
a	:Yörünge elipsinin büyük yarı eksen
e	:Dış Merkezlik (Eksantrisite)
p	:Elips Parametresi
P	:Bir Gezegenin Tam Dolanım Süresi (Devir/Periyot),
$\Omega$	:Düğüm Noktasının Gök Ekvator Düzleminde Yaptığı Aç
i	:Ekvator Düzlemi İle Uydu Yörüngesi Arasındaki Aç
$\omega$	:Yerberi (Perigee) Noktasının Argümanı
Pe	:Yerberi'den Uydunun Geçiş Zamanı
b	:Baz Uzunluğu
$i_0$	:Yörünge Düzleminin Eğimi
$\Omega_0$	:Yükselen Düğümün Sağ Yükselişi
$\Delta n$	:Ortalama Hareket Farkı (radyan/saniye)

### Kısaltmalar

CDDIS	:Crustal Dynamics Data Information System
ECEF	:Earth-centered and Earth-fixed
ERP	:Earth Rotation Parameters
ESA	:European Space Agency
FGCC	:Federal Geodetic Control Committee
GFZ	:Geo Forschungs Zentrum
GPS	:Global Positioning System
ICD	:Interface Control Document
IERS	:International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGN	:Institute Geographique National
IGS	:International GNSS Service
ITRF	:International Terrestrial Reference Frame
JPL	:Jet Propulsion Laboratory
NASA	:National Aeronautics and Space Administration
NGS	:National Geodetic Survey
NIMA	:National Imagery and Mapping Agency
NOAA	:National Oceanic and Atmospheric Administration
NRCAN	:Natural Resources Canada
OPNET	:Optimized Network Engineering Tools
RINEX	:Receiver Independent Exchange Format
SIO	:Scripps Institution Oceanography
SV	:Satellite Verification
WGS84	: World Geodetic System 1984



## 1. GİRİŞ

Günümüzde GNSS sistemleri kullanılarak yüksek doğrulukta konum belirlemek mümkün olabilmektedir. Tüm yersel konum belirleme uygulamaları GNSS uydularının pozisyonlarıyla başlamaktadır, bu nedenle yörünge bilgisi tüm GNSS uygulamaları için oldukça önemlidir (Yoon, 2015). 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 (Global Positioning System) 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.

GPS, uydu teknolojisine dayalı bir global konum belirleme sistemidir. Çalışma prensibi alıcı ile aynı anda gözlenen birkaç uydu arasındaki mesafenin ölçülerek konumun hesaplanması şeklindedir. Bilinen uydu koordinatlarından başlayarak uygun bir referans çerçevesinde kullanıcı antenin koordinatları hesaplanabilir. Dünya yüzeyinden yaklaşık 20200 km yüksekliğinde toplamda 24 adet GPS uydusu bulunmaktadır. Uydular dünyanın her yerinde günün herhangi bir saatinde ufuk açısının üzerinde en az dört uydu görebilecek şekilde konumlandırılmıştır(Seeber, 2008). Uyduların konumları kullanıcıya GPS sinyalleri şeklinde yayınlanır. Aynı zamanda alıcının hızını konum değişikliğine bakarak belirleyebiliriz (Xu ve Xu, 2016) .

Son yıllardaki gelişmelerle birlikte GPS artık günlük yaşam, endüstri, araştırma ve eğitim gibi alanlarda zorunluluk haline gelmiştir. Örneğin hava, deniz ve kara navigasyonu, statik ve kinematik konum belirleme, uçuş durumu izleme, jeodezik ve kadastral ölçmeler, hidrografik çalışmalar, CBS'nin veri tabanının geliştirilmesi, araç takip sistemleri gibi bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uydu jeodezisinde birçok uygulama, zamana bağlı konum belirleyebilmek için belirli bir andaki uydu yörünge elemanları ve bozulmaları kullanarak hesaplanan uydu yörünge bilgisine ihtiyaç duymaktadır (Kim ve Kim, 2015). Kepler kanunlarından faydalanılarak ihtiyaç duyulan uydu yörünge bilgisine ulaşmak ve yörüngedeki hareketi belirlemek mümkündür. Güneş Sisteminde bulunan gezegenlerin hareketlerini açıklayan üç matematiksel yasa Kepler'in hareket yasaları olarak adlandırılır. Alman astronom ve matematikçi Johannes Kepler (1572-1630) tarafından ortaya atılmıştır (Wilson, 1970).

Kepler elipsini belirleyebilmemiz için gerekli yörünge parametreleri bir navigasyon mesajı şeklinde yayınlanmaktadır. Böylece bu efemeris verileri anlık konum belirlememizi sağlayan birçok GNSS uygulaması için önemli bir konudur. Yayın efemerisi ve hassas efemeris olarak sınıflandırılan efemeris verileri farklı duyarlılıklarda olup uygulamada beklenen hassasiyete göre seçilebilmektedir.

Bu çalışmada Kepler hareketi ve Kepler yörünge elemanları ikinci bölümde, GPS uydu yörüngeleri üçüncü bölümde, gerçekleştirilen uygulama dördüncü bölümde, sonuç ve öneriler ise beşinci bölümde ele alınmıştır.



## 2. KEPLER HAREKETİ VE KEPLER YÖRÜNGE ELEMANLARI

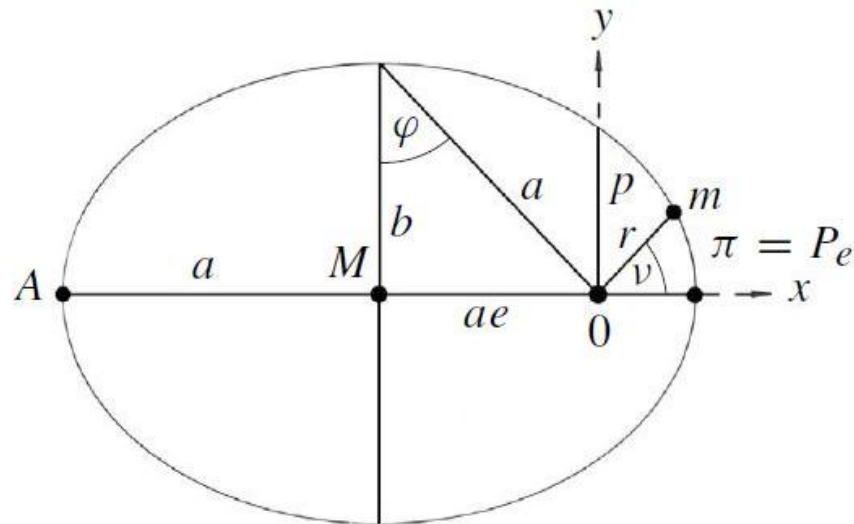
GPS sisteminin ana prensibi, uydulardan alıcılara gönderilen sinyal yollarını ölçerek konum belirlemeye dayanmaktadır. Bundan dolayı uydu yörüngeleri bu hesaplamalarda önemli bir yer tutmaktadır. Uydu yörüngeleri ve bu yörüngedeki hareketlerini belirlemek için Kepler kanunlarından yararlanılmaktadır (Karaali ve Yıldırım, 1996). Kepler kanunları; uydunun güneş sistemi içerisinde yaptığı yörünge hareketini açıklamakta olup bu bölümde temel yörünge teorisinden bahsedilecektir.

### 2.1. Kepler Hareketi

Johannes Kepler (1571-1630), esas olarak Danimarka'da çalışan bir astronom olan Tycho Brahe (1546-1601) tarafından toplanan gözlemsel veri toplamının deneysel bir çalışmasından elde edilen gezegensel hareketi üç yasa şeklinde açıklamıştır. Bu üç yasa gezegensel yörünge hareketin bir tanımını oluşturur. Bu üç yasa Güneş Sistemi içinde gerçek harekete uygun bir yaklaşım vermektedir. Çünkü gezegensel kütleler Güneş'in kütlesi ile kıyaslandığında ihmal edilebilir boyuttadır. Ayrıca Güneş'in dahil olduğu mesafelerin genişliği düşünüldüğünde Güneş bir kütle merkezi olarak değerlendirilebilir (Seeber, 2008). Yani kütle noktalarının bozulmamış yer çekimsel hareketine Kepler Hareketi denilmektedir. Bu hareketin üç yasası aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Her gezegenin yörüngesi elips şeklindedir ve Güneş bu yörünge elipsinin odak noktasında yer almaktadır.

Yörünge elipsinin açıklanmasındaki ana yasadır. Genel ilişkiler Şekil 2.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1. Yörünge elipsinin geometrisi (Seeber, 2008)

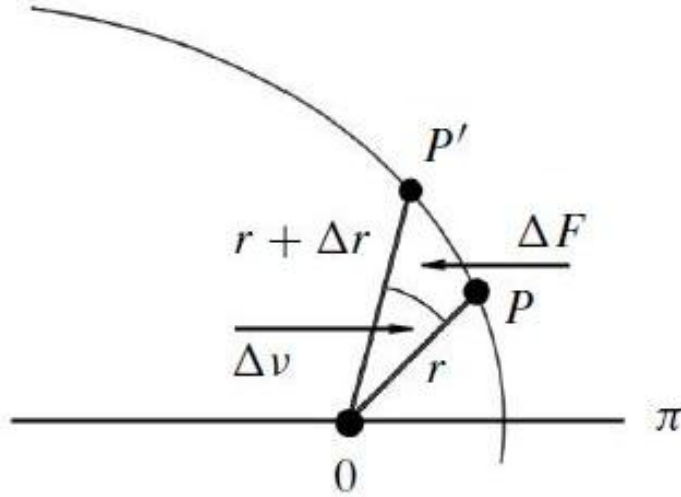
Şekildeki elipsin  $A\pi$  eksenine “apsides çizgisi” adı verilir. A noktası yörünge düzleminin kütle merkezine en uzak noktayı ifade ederken yörünge üzerindeki  $\pi$  noktası enberi adı verilen merkeze en yakın noktadır. 0 noktası Güneş’in merkezi kabul edilirse A günöte (en uzak nokta)  $\pi$  ise günberi (en yakın nokta) olarak isimlendirilir. Şekildeki elips için;  $r$  değeri  $m$  kütlelerinin Güneş’in kütle merkezine uzaklığı,  $v$  açısı gerçek anomaliyi,  $a$  değeri yarı büyük eksen,  $e$  değeri dış merkezliği ve  $p$  değeri elipsin parametresini ifade etmektedir. Eliptik eğrinin denklemi,

$$r = \frac{p}{1+e \cos v} \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir. Aynı zamanda bu denklem Kepler Yasalarının birincisinin matematiksel formunu vermektedir (Seeber, 2008).

2. Güneş’le gezegenlerin ağırlık merkezlerini birleştiren doğru (yarıçap vektörü) eşit zamanlarda eşit alanlar tarar.

Kepler’in, aynı zamanda Alanlar Yasası olarak da adlandırılan ikinci yasa, bir gezegenin yörüngesindeki hızını tanımlar. Yani bu yasa gezegen hızının sabit olmadığını yani gezegenin yere en yakın olduğu noktada (perigee) hızlı, yere en uzak olduğu noktada (apogee) yavaş olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. 2. Kepler'in ikinci yasasına göre uydu hareketi

Kepler'in, aynı zamanda Alanlar Yasası olarak da adlandırılan ikinci yasası, bir gezegenin yörüngesindeki hızını tanımlar. Bu yasa ile  $r$  ve  $v$  kutupsal koordinatlarıyla bir gezegenin yerini zamanın bir fonksiyonu olarak belirlemek mümkündür. Denklem (2.2) gezegenin taradığı alanı ifade etmektedir.

$$\Delta F \approx \frac{1}{2} \times r^2 \times \Delta v \quad (2.2)$$

3. "P", bir gezegenin tam dolanım süresi (devir/periyot), "a" yörünge elipsinin büyük yarıçapı olarak alındığında, iki gezegen için aşağıdaki denklem geçerlidir

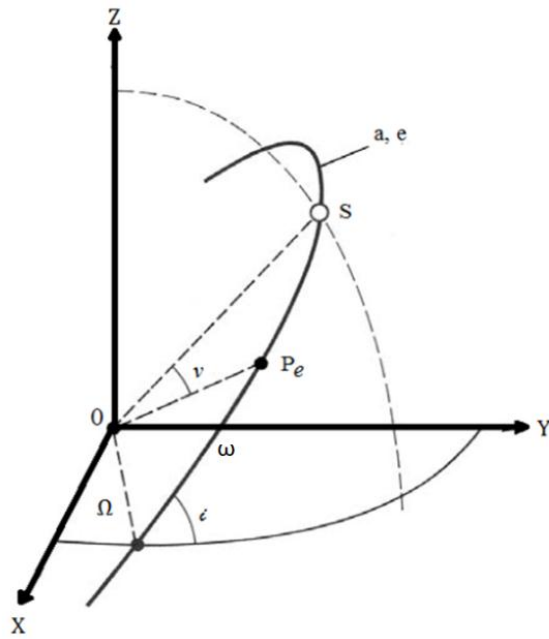
$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{P_1^2}{P_2^2} \quad (2.3)$$

Başka bir ifadeyle yörünge periyodunun karesi, iki cismin merkezleri arasındaki uzaklığın küpü ile doğru orantılıdır (Roddy, 2006).

Daha sonraki yıllarda, Kepler'in 3. yasasına Newton tarafından yapılan katkılar ve ek teoriler de dikkate alındığında, bir uydunun istenilen zaman noktası için yörüngesindeki pozisyonunu hesaplamak mümkündür. Hesabın yapılabilmesi için başlangıç değerlerine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle yörünge parametreleri ile uydunun bir zaman noktasındaki konumunun bilinmesi gerekir (Altiner, 1992).

## 2.2. Kepler Yörünge Elemanları

Kepler yörünge elemanları ile bir uydunun yörüngesini belirlemek için gereken parametrelerdir. Bir uydunun Kepler hareketinin veya yörüngesinin bulunması ve uydunun bu yörünge üzerindeki konumunun belirlenmesi için, uydu yörüngesine ait 6 tane parametreye ihtiyaç vardır (Gökalp, 1995). Bunlar Şekil 2.3 ve Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kepler yörünge elemanları (Seeber, 2008)

Yörünge elemanları uzaydaki yörüngeyi boyutunu, şeklini, yönünü ve yörüngede uydunun konumunu tanımladığı için yörünge elemanları bilindiğinde kolayca yörünge elipsini görselleştirilebilir (İpek, 2017).

Çizelge 2.1. Kepler yörünge parametreleri

Parametre	Açıklama
$\Omega$	Düğüm noktasının ilkbahar noktasından itibaren gök ekvator düzleminde yaptığı açı
$i$	Ekvator düzlemi ile uydu yörüngesi arasındaki açı
$\omega$	Yerberi (Perigee) noktasının argümanı
$a$	Yörünge elipsinin büyük yarı eksen
$e$	Dış merkezlik (Eksantrisite)
$P_e$	Yerberi (Perigee) den uydunun geçiş zamanı

Kepler yörünge elemanlarından yarı ana eksen ( $a$ ) yörünge boyutunu ve dış merkezlik ( $e$ ) yörünge şeklini belirtir. Yerberi (Perigee) argümanı ( $\omega$ ) ise yörünge yönünü belirtir. Yani yükselen düğüm ile Yerberi arasındaki açı uydunun hareket yönünü gösterir (İpek, 2017).

### 3. GPS UYDU YÖRÜNGELERİ (EFEMERİSLER)

Efemeris verileri herhangi bir zamanda uydunun anlık konumunun hesaplanmasını sağlayan bir Kepler elipsini ifade eder (Parkinson ve ark., 1996). Bir GPS navigasyon mesajı şeklinde yayınlanan yayın efemerisi ve saat bilgileri anlık konum belirleme uygulamalarında kullanılmaktadır. GPS navigasyon mesajında uydudan alıcıya iletilen bilgiler ile Kepler elemanları kullanılarak uydu yörüngeleri tahmin edilir. Ekstrapolasyonun doğası gereği, yayın efemerisleri, kesin uygulamalar için yeterince yüksek hassasiyete sahip değildir (Xu ve Xu, 2016). Navigasyon uydu konumu ve saatinin hesaplanması, GPS konum belirlemede genel bir görevdir ve bu görev için gereken veriler navigasyon mesajlarından ve IGS hassas efemerislerinden elde edilebilir (Kim ve Kim, 2015). Diğer yandan ölçü sonrası büroda yapılan değerlendirme aşamasında hassas GPS yörünge ve saat bilgileri kullanılmakta olup elde edilen sonuçlarda yayın efemerisine göre daha yüksek doğruluk elde edilmektedir. GPS ile elde edilen verilerdeki noktaların konum doğruluğu efemeris bilgilerinin doğruluğu ile orantılıdır.

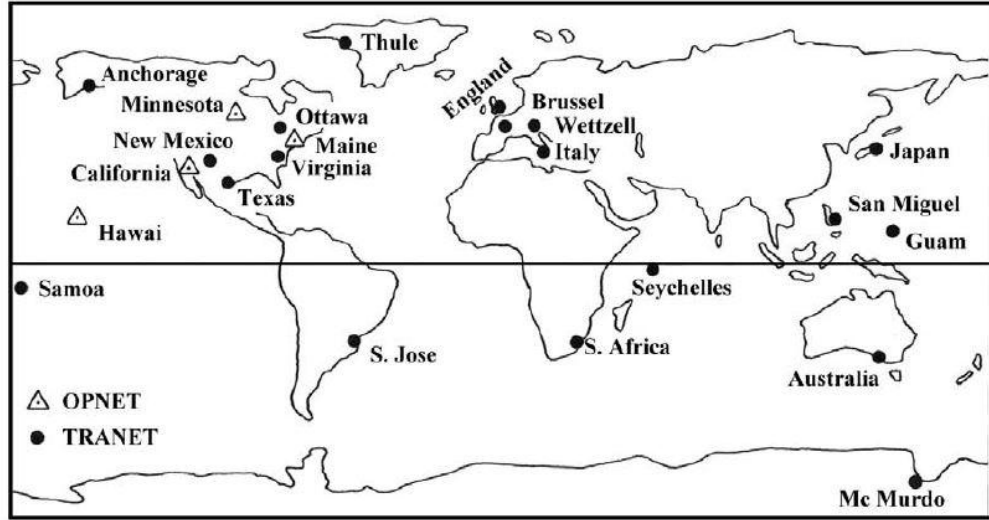
Bütün GPS uyduları dünya üzerinde uygun dağılmış, çok hassas saatlerle donatılmış, konumu iyi bilinen altı sabit istasyonundan izlenmektedir. Bu istasyonların bir tanesi ana kontrol, 5 tanesi ise izleme istasyonudur. Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan "Colorado Springs" ana kontrol istasyonunu, "Ascension", "Cape Canaveral", "Colorado Springs", "Diego Garcia", "Hawaii" ve "Kwajalein" ise izleme istasyonlarını oluşturmaktadır. Ana kontrol istasyonu tüm sistemin kontrolünden, her uydu için uydu efemeris bilgilerinin ve saat düzeltmelerinin hesabından sorumludur. İzleme istasyonlarının görevi ise uydu efemerislerinin belirlenebilmesi için gerekli verileri toplamaktır. Bütün uydular izleme istasyonlarından sürekli olarak izlenir ve gönderdiği sinyaller kaydedilir. Kaydedilen bu veriler ana kontrol istasyonuna aktarılır (Karaali ve Yıldırım, 1996). "Ascension", "Diego Garcia", "Cape Canaveral" ve "Kwajalein" istasyonlarında efemeris bilgilerini ve saat düzeltmelerini uydulara yükleyebilmek için ek olarak yer antenleri de bulunmaktadır.

Ana kontrol ve izleme istasyonları sayesinde günlük olarak uyduların sağlıklı bir şekilde çalışması sağlanmaktadır. Günde bir ya da iki defa uydulara bilgi yükleme işlemleri yapılmaktadır. Efemeris parametrelerinin GPS uydu yörüngelerine uyumu 4-



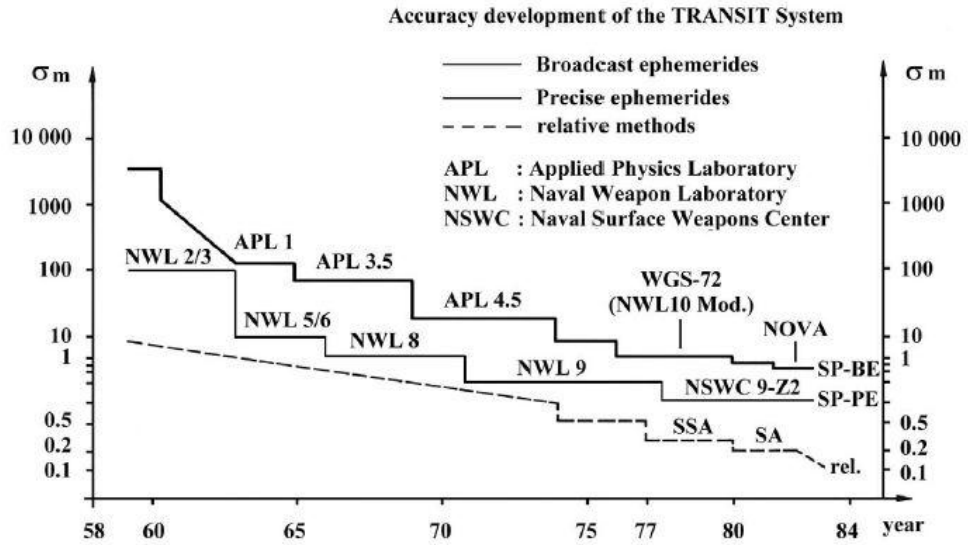
6 saat kadar geçerlidir. Bu süreyi aştıkça zamanla orantılı olarak bozulma da artmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2017).

Yayın efemerisleri, işlemsel ağ'ın (OPERational NETwork (OPNET)) izleme istasyonlarındaki gözlemlere dayanarak, bir yörünge entegrasyon sürecinden üretilmektedir. TRANSIT durumunda ise ABD'de Maine, Minnesota, California ve Hawaii olmak üzere dört istasyon vardır. Bunlar Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. OPNET ve TRANET denetleme istasyonları (Seeber, 2008)

Hassas yörünge tespiti için gravite alanı bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Gravite alanı parametreleri daha önceki deneysel TRANSIT uyduları ile yapılan gözlemlere dayanarak TRANSIT sisteminin geliştirilmesiyle belirlenmiştir. Yirmi yıldan uzun süredir yörünge tahmininin doğruluğunun gelişimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. TRANSIT sisteminin doğruluğunun gelişimi (Seeber, 2008)

Alıcı tarafından toplanan navigasyon mesajı içerisindeki uydu yörünge bilgilerinin doğruluğu yeterli seviyede olmadığı için jeodezik amaçlı çalışmalarda kullanılmaya uygun değildir. Efemeris verilerindeki herhangi bir hata, GPS tabanlı konum belirlemenin doğruluğunu direkt olarak etkilemektedir (Warren ve Raquet, 2003). Bu navigasyon mesajı içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşük olması veya kasıtlı olarak yanlış yayınlanması durumunda oluşan hatalara efemeris hatası denilmektedir. Uydu yörüngelerinden kaynaklanan hataların fark edilmesi daha zor olup diğer hatalar gibi kolaylıkla elenememekte, modellenememektedir (Vural, 2005). Efemeris hatasının yok edilmesi uydu yörüngelerinin daha hassas olarak hesaplanması ile mümkündür. Bu da uydulara etki eden kuvvetlerin çok iyi ölçülmesi ya da modellendirilmesine bağlıdır (Tuşat ve Turgut, 2004).

Efemeris hatası uydu konumlarının kestiriminin (prediksiyonunun) bir sonucu olduğu için kontrol bölümü tarafından uydulara yapılan en son yükleme zamanından sonra zamanla orantılı olarak bu hatanın büyüklüğü artacaktır. Uydu yörünge hatalarının aşağıdaki bağıntıda ifade edildiği gibi kullanıcılar için bir etkisi olmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2017)

$$\frac{\Delta b(m)}{b(km)} = \frac{\Delta r(m)}{\rho_R^{SV}(km)} \quad (3.1)$$

Burada;

$\Delta r$  : Uydu yörünge hatası,

$\Delta b$  : Sonuçta baza etki edecek hata,

$b$  : Baz uzunluğu

$\rho_R^{SV}$  : Uydu-alıcı arası kaba uzaklık,

olarak ifade edilmektedir.

Bu denklemde uydu-alıcı mesafesi yaklaşık 20200 km olarak seçilirse elde edilen baz uzunlukları ve farklı efemeris hataları (uydu koordinatlarındaki hatalar) Çizelge 3.1’de gösterilmiştir (Kahveci ve Yıldız, 2017).

**Çizelge 3.1.** Efemeris hatalarından kaynaklanan ölçülen kenarlardaki hata oranları (Kahveci ve Yıldız, 2017)

Efemeris Hatası (m)	Baz Uzunluğu (km)	Baz Hatası (ppm)	Baz Hatası (mm)
2.5	1	-	-
2.5	10	0.1	1
2.5	100	0.1	12
2.5	1000	0.1	124
0.05	1	-	-
0.05	10	-	-
0.05	100	0.002	0.2
0.05	1000	0.002	2.5

Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi efemeris hatasının etkisi baz uzunluğunun kısa olduğu durumlarda oldukça azdır. Fakat baz uzunluğunun birkaç yüz kilometreyi bulması halinde hatanın büyüklüğü de artmaktadır. Bu durumda yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalar için efemeris hatası sorun olmaktadır. Yayın efemerisi verileri kullanılarak uygun geometrideki en az dört uydudan alınan sinyallerle anlık

konum belirlenmesinde elde edilen üç boyutta nokta konum hatası yaklaşık  $\pm 25$  metredir (Kahveci ve Yıldız, 2017).

Efemeris hatasının en temel sebepleri atmosferik sürtünmenin ve güneşin radyasyon basıncının modellenmemiş olmasıdır. Gerçek yörünge ve tahmini yörünge büyüklükleri özellikle yüksek güneş aktivite dönemlerinde değişkenlik gösterebilir. Konum belirlemenin doğruluğunu artırmak için her bir istasyonda yaklaşık 30-50 uydu geçişi gözlenmelidir. Bir yayın efemerisiyle elde edilen jeosentrik koordinatların kesinliği  $\pm 2-5$  cm'den daha iyi değildir, çünkü o zamanki referans sistemiyle sınırlı bir zaman dilimi içindeki gözlemler yoluyla doğruluğu daha yüksek bir seviyede gerçekleştirilememiştir (Seeber, 2008).

Bu bölüm üç alt başlık ile organize edilmiştir. Bölüm 3.1'de yayın efemerisi, bölüm 3.2'de NGS hassas efemerisi ve bölüm 3.3'te ise IGS hassas efemerisi hakkında bilgi verilmiştir.

### **3.1. Yayın Efemerisi (Broadcast Ephemeris)**

Yayın efemerisleri yeryüzüne dağılmış altı GPS Kontrol Bölümü izleme istasyonları tarafından yapılan gözlemler yardımıyla üretilmektedir. Bu istasyonlar bütün GPS uydularından pseudorange, doppler ve taşıyıcı faz gibi izleme ölçümü yapmaktadır. Bu dataların değerlendirilmesi için ilgili GPS haftasına bağlı olarak referans alınan yörüngedeki uydu bilgileri kullanılmaktadır. Referans yörüngesiyle, 12-24 saatlik son izleme dataları kullanılarak yörünge belirlenebilir (Soycan ve Soycan, 2002).

Ana kontrol istasyonu düzeltilmiş bilgileri uydulara yükler ve GPS uyduları tarafından kullanıcıya “yayın” olarak iletilir. Yayın bilgisine GPS navigasyon mesajı dosyası olarak ulaşılabilen olup, her bir uydu için koordinatları ve saat düzeltmesini hesaplamak üzere gerekli Kepler parametrelerini verir. Navigasyon mesajı Denetleme Merkezi tarafından belirlenir ve GPS uyduları tarafından kullanıcıya “yayın” olarak iletilir. Yayın efemerisi verileri anlık olarak yayınlanmakta ve yaklaşık 12 ile 36 saatlik bir süre için geçerli olmaktadır. Bu efemeris WGS84 sisteminde (World Geodetic System 1984) ve sonuçta elde edilen doğruluk 5-10 m arasında bulunmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2017). Efemerisin doğruluğunu geliştirmek için WGS84 istasyon koordinatları, 1994'te ITRF91, 1996'da ITRF94 ve son olarak ITRF2008 koordinatları

ile yer değiştirilmiş ve son halini almıştır. Yayın efemerisi verileri uydu navigasyon mesajındaki önemli bir içeriktir ve verilerdeki hata sadece kullanıcının konum belirleme doğruluğunu değil aynı zamanda navigasyon uygulamasının güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini de doğrudan etkilemektedir (Jia ve ark., 2014).

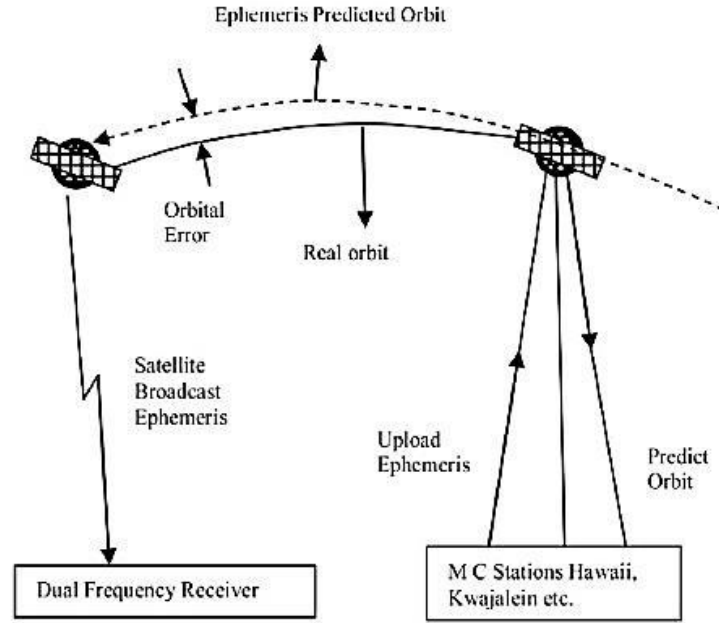
Yayın efemerisleri iki aşamada üretilirler. İlk olarak referans efemerisi izleme istasyonlarından birkaç günlük gözlemlere dayanan uydu belirlenimi için oldukça gelişmiş bir yazılım paketi kullanılarak üretilir (off-line). İkinci olarak izleme istasyonlarındaki güncel gözlemler ve referans efemerisi arasındaki farklılıklar türetilir ve referans efemerisine tahmin düzeltmeleri için bir Doğrusal Kalman Filtre Algoritması işlenir. Bu amaç için kod (codepseudorange) ve taşıyıcı gözlemler tüm izleme istasyonlarındaki tüm görünür uydular için yapılır. Veri troposferik ve iyonosferik gecikmeler, Dünya'nın dönüşü ve görelî etkiler için doğrulanır. Doğrulanmış ölçüler ve taşıyıcı destekli düzeltilmiş gözlemler Kalman filtresi sürecine girer ve aşağıdaki durumları tahmin etmek için kullanılır (Parkinson ve ark., 1996).

- Epoktaki uydu konumu
- Epoktaki uydu hızı
- Uydu başına üç saat parametreleri
- Uydu başına güneş radyasyon basıncı katsayıları
- y eksenî ivme sapması
- İzleme istasyonu başına iki saat parametreleri
- İzleme istasyonu başına bir troposferik ölçek faktörü

Elementlerdeki tahmini düzensizlikler uydu referans efemerisini düzeltmek ve yayın efemerisini üretmek için kullanılır. Benzer yolla uydu saat hareketi tahmin edilir ve ikinci dereceden bir polinom formunda veri sinyalinî içerir.

Yayınlanan navigasyon mesajı içerisinde hız vektörleri, başlangıç durumu veya uydulara ait jeosentrik konumların yayınlanması yerine Pseudo-Kepler elemanları ve bunlara ilişkin zamana bağlı düzeltmeler yer almaktadır. Hesaplanan yeni elemanlar iki saatte bir yayınlanmaktadır.

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. Her uydunun yörüngeyel çözümü, Şekil 3.3'te gösterilen gerçek uydu konumlarından farklı olan yayın efemerisleri kullanılarak tahmin edilir.



Şekil 3.3. Uydu efemeris hataları

Bu sapma, yerçekimi modelindeki belirsizlik, yörünge gösterimlerinin sınırlı doğruluğu ve uydulara güneş radyasyonu basıncı ve atmosferik sürüklenme gibi uydular üzerinde yetersiz şekilde modellenmiş yüzey kuvvetleri nedeniyle ortaya çıkmıştır (Bidikar ve ark., 2014).

### 3.1.1. Yörünge Tanımlaması

Kalman filtresi işleminde tahmin edilen uydu konumları daha sonra ilave pertürbasyon parametreleriyle Kepler elemanları şeklinde ifade edilir. Çizelge 3.2’de uydu yörüngesini ve uydu saatinin durumunu tanımlayan tüm parametreler gösterilmektedir.

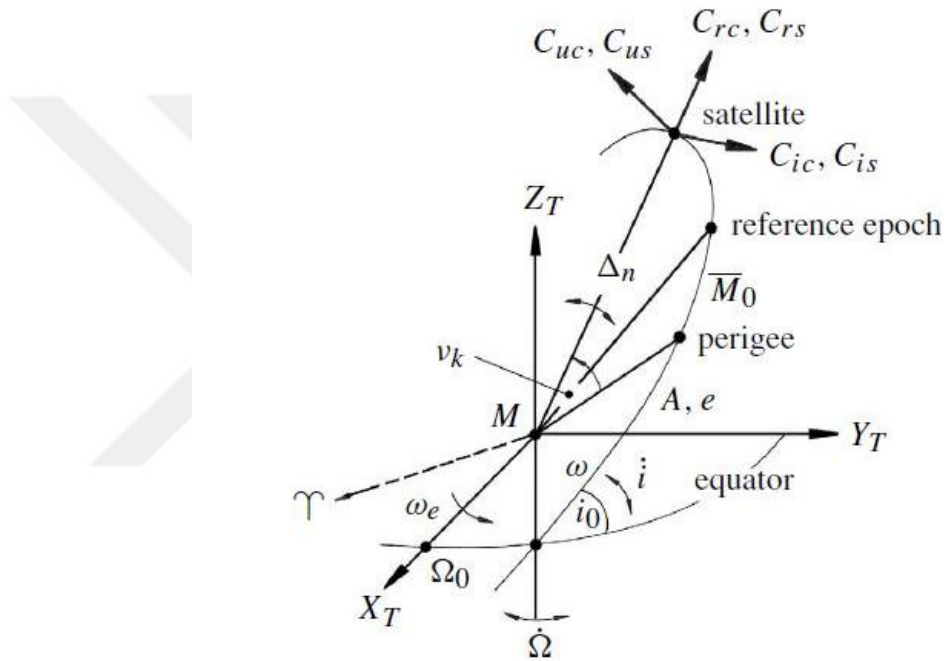
Parametreler efemeris için  $t_{0e}$  ve saat için  $t_{0c}$  verilmiş referans epokuna işaret eder ve bunlar dört saat eğri formuna dayanır (Goldstein, 2010). Bu nedenle, uydu yörünge gösterimine bir dizi farklı bozulmuş (perturbed) Kepler yörüngeleri yoluyla ulaşılır.

Çizelge 3.2. Yayın efemerisi katsayıları (Xu ve Xu, 2016)

Parametre	Açıklaması
SV-id	Uydu Numarası
$t_{0c}$	Uydu Saatinin Referans Epoku
$a_0, a_1, a_2$	Saat Hatasının Polinom Katsayıları
$t_{0e}$	Efemeris Referans Epoku
$\sqrt{a}$	Yörünge Elipsin Büyük Yarı Ekseninin Karekökü
$e$	Elipsin Eksantrikliği
$M_0$	Referans Epoğundaki Ortalama Anomali
$\omega$	Perigee Argümanı
$i_0$	Yörünge Düzleminin Eğimi
$\Omega_0$	Yükselen Düğümün Sağ Yükselişi
$\Delta n$	Ortalama Hareket Farkı (radyan/saniye)
$idot$	Eğim Açısı Oranı (radyan/saniye)
$\Omega$	Yükselen Düğüm Noktası Rektasansiyonundaki Değişim Oranı (radyan/saniye)
$C_{uc}, C_{us}$	Perigee argümanı İçin Düzeltme Katsayıları (radyan)
$C_{rc}, C_{rs}$	Jeosentrik Yarıçap İçin Düzeltme Katsayıları (metre)
$C_{ic}, C_{is}$	Eğim Açısı İçin Düzeltme Katsayıları (radyan)

Günümüzde her iki saatte bir yeni bir veri seti yayınlanmaktadır. Farklı örtüşen gösterimler arasında birkaç desimetreye ulaşabilen farklar olabilir fakat Chebyshev polinomları gibi uygun yaklaşım teknikleri kullanılarak düzeltilebilir.

Çizelge 3.2’de ki parametreler uydu zamanı ve uydu koordinatlarını hesaplamak için kullanılır. Tablodaki  $t_{0e}$ ,  $t_{0c}$ ,  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  parametreleri uydu zamanını düzeltmek için kullanılır.  $\sqrt{a}$ ,  $e$ ,  $i_0$ ,  $\Omega_0$ ,  $\omega$ ,  $M_0$  parametreleri ise Kepler elipsini belirler. Diğer dokuz  $\Delta n$ ,  $\dot{\Omega}$ ,  $C_{uc}$ ,  $C_{us}$ ,  $C_{rc}$ ,  $C_{rs}$ ,  $C_{ic}$ ,  $C_{is}$  parametreleri ise pertürbasyon parametreleridir. Şekil 3.4’de Kepler ve pertürbasyon parametreleri yer almaktadır.



Şekil 3.4. Yayın mesajı içindeki Kepler ve pertürbasyon parametreleri (Seeber, 2008)

### 3.2. Hassas Efemeris

Hassas efemeris, dünya genelinde dağılmış çok sayıda istasyondan gelen uydu verilerini değerlendirerek elde edilir. İnternet üzerinden ücretsiz olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Çizelge 3.3’de hassas yörünge ve saat bilgilerini üreten kuruluşlardan en çok bilinenler ve bu kuruluşların kullanmakta oldukları yazılımlar gösterilmiştir. Bunların dışında hassas yörünge bilgisi üreten çok sayıda kurum ve kuruluş bulunmaktadır.



**Çizelge 3.3.** Hassas yörünge ve saat bilgileri üreten kurum ve kuruluşlardan bazıları (Kahveci ve Yıldız, 2017)

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

Uydu verilerinin değerlendirildiği istasyonların bazılarında hem kod hem de görünürdeki tüm uyduların taşıyıcı fazlarını ölçebilen çift-frekans alıcıları kurulmuştur. Yüksek hassasiyetli osilatörlerin (rubidyum-sezyum atomik standardı) kullanılması ile yörünge hataları istasyon saatinin zaman hatalarından arındırılabilir. Troposferik yayılma gecikmesi su buharı radyometreleriyle belirlenebilir (Seeber, 2008).

Hassas efemeris verileri daha duyarlı sonuçlar elde etmek için kullanılan, herkes tarafından erişilebilen, açık kaynak verilerdir. Bu veriler ABD NOAA kuruluşu (National Oceanic and Atmospheric Administration) sorumluluğunda üretilmektedir. Hassas efemeris verileri IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) noktalarına ait (garner.ucsd.edu) duyarlıklı koordinatlar kullanılarak hesaplanmakta olup yayınlanan bu veriler farklı formatlarda kullanıcıya ulaştırılmaktadır. Başlıca ilk kullanılan formatlar SP1, ECF1, SP2, ECF2, EF13 şeklindedir. Daha sonra ikinci jenerasyon olarak adlandırılan veri formatları ise SP3, ECF3, EF18' dir. Veri dosyaları içinde en çok kullanılanı SP3 formatında olmaktadır. Bu format 1mm ve 1 pikosaniye hassasiyetindedir (Vural, 2005).

Yayınlanan efemeris dosyalarında her bir uydu için 15 dakikada bir olmak üzere konum ve hız vektörleri yer almaktadır. Eğer alıcı pozisyonu 15 dakikadan küçük bir aralıkla belirlenirse, her gözlem döneminde uydu koordinatlarını enterpolasyon hesabı ile belirlemek gerekmektedir (Grzegorz ve ark., 2015). Biri uydunun kütle merkezine göre diğeri uydunun anten faz merkezine göre iki çeşit hassas efemeris veri şekli bulunmaktadır. IGS final yörüngeleri ve NIMA (National Imagery and Mapping Agency) hassas efemerisi verilerinin 2001 yılında yapılan karşılaştırılmasında aralarında 20 cm'den daha az fark olduğu belirlenmiştir. NIMA hassas efemerislerine

internet üzerinden serbestçe ulaşılabilir. Hassas yörüngeler ve düzeltilmiş saat parametreleri çok istasyonlu GPS ağlarının işlem sonrasında ya da Hassas Nokta Konumlaması (PPP) modunda tek alıcı verisinin düzeltilmesinde kullanılabilir.

Hassas efemeris verisi ve düzeltilmiş saat parametrelerine erişim için başka bir kaynak olarak NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory) söylenebilir. Her 15 dakikada bir konum ve hız değerleri ve her 5 dakikada bir de saat parametre değerleri verilmektedir. Yörüngeler ve saatler aynı değerlendirme sürecinden geçtiği için birbiriyle tutarlıdır. Final yörüngeleri yaklaşık iki haftadan sonra kullanılabilmekte olup hızlı yörüngeler ise 20 saat içinde verilmektedir. Bu yörüngelerde yaklaşık 20 cm doğruluk elde edilebilmektedir.

JPL yörüngeleri aynı zamanda referans niteliğinde olmayan (non-fiducial) yörüngeler olarak verilir. Örneğin yörüngeler, izleme istasyonlarının ITRF (International Terrestrial Reference System) koordinatlarından bağımsız serbest bir referans noktası (datum) içinde tahmin edilir. Referans noktası yerine yörüngelerden ve saatlerden türetilir. İyileştirilmiş ağ daha sonra problemsiz bir şekilde herhangi bir veriye dönüştürülebilir. GIPSY OASIS II yazılım paketiyle, Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) modunda tek alıcı ile GPS verilerinin işlenmesi için öncelikle hassas JPL yörüngeleri ve saatler gerekir. Ayarlanmış saatler için doğruluk 100 pikosaniye seviyesindedir.

Hassas efemerislerin doğruluğu yaklaşık birkaç santimetre seviyesindedir (IGS, 2019). Günümüzde halen kullanılmakta olan birçok jeodezik kontrol noktası, nokta konum belirleme teknikleri ve hassas efemerisler ile belirlenmiştir (Seeber, 2008).

### **3.2.1. NGS Hassas Efemerisi**

NGS Hassas Efemerisi verileri A.B.D. NOAA kuruluşu sorumluluğunda üretilmektedir. NGS Hassas efemerisi gözlem anından itibaren kullanıcıların hizmetine 2 ile 6 gün arasındaki sürelerde (UNIX-sıkıştırılmış formatında) internet aracılığı ile sunulmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2017).

NGS efemerisi ITRF sisteminde ve IERS noktalarına ait hassas koordinatlar kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu efemeris verileri ASCII olarak SP3 (Standart Product 3) formatında üretilmektedir. NGS, SP3 formatındaki dosya isimlendirilmesinde “NGSOwwwwn.aaa” genel tanımlanması kullanılmaktadır (Tuşat ve Turgut, 2004).

Burada;

www: GPS haftasını,

*örneğin; 1064*

n: Haftanın gününü,

*örneğin;*

*n = 0 Pazar*

*n = 1 Pazartesi*

*n = 6 Cumartesi*

aaa: Dosya türünü,

*örneğin; SP3 (efemeris)*

SUM: Özet bilgiyi,

ERP: Yer dönme parametrelerini,

ifade etmektedir.

### 3.2.2. IGS Hassas Efemerisi

GPS uydu hassas yörüngelerine, işlenmiş sonuçlar şeklinde Uluslararası GPS Hizmeti (IGS-International GPS Service for Geodynamics) aracılığıyla ulaşılabilir. İnternet sayfasından ücretsiz olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Bu tür yörüngeler verisine IGS hassas efemerisleri adı verilir (Xu ve Xu, 2016). Günümüzde hassas efemeris ve diğer GPS ürünleri için en önemli kaynak bugün IGS'dir.

21 Haziran 1992 tarihinde deneme amaçlı gerçekleşen bir GPS ölçü kampanyası ile IGS yörünge bilgilerinin üretimi başlatılmıştır. IGS hassas efemerisi, NGS hassas efemerisi ve yayın efemerisinden farklı olarak duyarlı P-Kod alıcılarının kurulu olduğu yoğun bir küresel ağda yapılan faz gözlemlerinden yararlanılarak elde edilmektedir.

IGS, IAG tarafından kurulan bir servistir. Bir yıldan fazla bir süre pilot aşaması geçirdikten sonra başarılı olmuş ve 1 Ocak 1994 tarihinde resmi olarak faaliyete başlamıştır. IGS merkezi (IGS CBIS; ICS Central Breau Information System) ile bölgesel ve global veri analiz merkezleri tarafından IGS yörüngelerinin dağıtımı yapılmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2017).

1999 yılında ismi jeodinamikler için Uluslararası GPS Servisi'nden Uluslararası GPS Servisi'ne değiştirilmiştir. IGS'nin temel amacı "GPS veri ve ürünlerini jeofizik araştırmalar aracılığıyla desteleyecek bir servis sağlamaktır". IGS, dünya genelinde

belirli kalite kriterlerini karşılayan 300'den fazla istasyondan GPS gözlem veri setlerini toplar, analiz eder, arşivler ve dağıtır. Şekil 3.5'te Türkiye ve Avrupa'da bulunan IGS noktaları gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Avrupa bölgesindeki IGS izleme ağı (Zhang, 2014)

IGS haftalık final yörünge verileri her gün için 15 dakikalık aralıklarla GPS efemeris ve saat değerleri (SP3 formatında), Yer Oryantasyonu Parametreleri (EOP), Jeesantrik istasyon koordinatları ve hızlarından oluşmaktadır (Seeber, 2008). 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. IGS verileri ECEF (Yer Merkezli Yer Sabit - Earth Centered Earth Fixed) koordinat sisteminde verilmiştir (Xu ve Xu, 2016).

Günümüzde IGS, bilimsel çalışma ve mühendislik uygulamaları için yeterli doğruluğu sağlamaktadır. Örneğin GPS ölçüleri aşağıdaki ürünlerin elde edilmesi için kullanılmaktadır.

- Yüksek doğrulukta GPS uydu efemerisleri,
- IGS izleme istasyonlarının hareket miktarları ve bunların koordinatları,
- Troposferik zenit gecikme değerlerinin hesabı

- Yer dönme parametreleri (ERP)
- IGS izleme istasyonlarına ve GPS uydularına ait saat bilgileri

ITRF sisteminin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, deniz yüzeyindeki değişimlerin belirlenmesi ve iyonosferik çalışmalar vb. için yüksek hassasiyetli sonuçlar gerekmektedir. IGS ürünleri aşağıdaki yapısı sayesinde bu hassasiyeti karşılayabilmektedir.

- Yaklaşık 366 tanesi aktif olmak üzere 439 istasyondan oluşan küresel bir izleme ağı,

- Üç küresel veri merkezi,

- CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System at Goddard Space Flight Center, USA)

- IGN (Institut Geographique National, France)

- SIO (Scripps Institution Oceanography)

- Yedi analiz merkezi; CODE, NRCAN (EMR), ESA, JPL, GFZ, NGS ve SIO.

Analiz merkezlerinin görevi günlük küresel verileri aralıksız olarak üretmektir (Kahveci ve Yıldız, 2017).

Kesin istasyon koordinatları ve IGS istasyonlarından gelen orijinal gözlem verileriyle birlikte, dünyadaki her yeni istasyonu doğrudan jeosantrik referans çerçevesine bağlamak mümkündür. Bu nedenle eldeki IGS ürünleri ile, hassas yörüngelere ilişkin tüm gereksinimler yerine getirilir (Seeber, 2008).

Yörüngeler ve saatlere göre IGS Sonuç (IGS Final), IGS Hızlı (IGS Rapid; IGR) ve IGS Ultra Hızlı (IGS Ultra Rapid; IGU) olmak üzere üç farklı yörünge bilgisi IGS tarafından üretilmektedir. Günümüzde elde edilen IGS yörünge doğrulukları Çizelge 3.4'de yer almaktadır.

**Çizelge 3.4.** 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

Ultra hızlı yörüngeler günde iki kez güncellenir (03.00 ve 15.00 UT'de) ve 48 saatlik bir süre için geçerlidir. İlk 27 saat gerçek gözlemlere dayanmakta olup ikinci 21 saat ise öngörülen bir yörünge'dir. Hızlı yörüngeler günlük olarak sonuç yörüngeler ise haftalık olarak güncellenmektedir (Seeber, 2008).

#### 4. YAYIN VE IGS HASSAS EFEMERİSLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu tez çalışmasında efemeris bilgisinin koordinatların belirlenmesi üzerindeki etkileri incelenmiş ve yayın efemerisi ile IGS hassas efemeris verileri karşılaştırılmıştır. Bunun için ilk olarak yayın efemerisi verileri ile ECEF koordinat sisteminde X, Y ve Z koordinatları hesaplanmış ve aynı zamana ait IGS hassas efemeris verileri ile farkları alınmıştır. Daha sonra yayın efemerisi verileri kullanılarak yapılan hesaplamalarda zaman (t) parametresi 15 dakikalık aralıklarla değiştirilerek ECEF koordinat sisteminde X, Y ve Z koordinatları bulunmuştur. Bulunan koordinatların aynı zaman dilimindeki hassas efemeris verileri ile karşılaştırılması yapılarak zamanın değiştirilmesinin yayın ve hassas efemeris arasındaki farka etkisi incelenmiştir. Bu işlemler bütün uydular için tekrarlanmıştır.

##### 4.1. Uygulamada Kullanılan Veriler

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.

2 NAVIGATION DATA				RINEX VERSION / TYPE			
CCRNEXN	V1.6.0	UX	CDDIS	01-JAN-18 23:30	PGM / RUN 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+00-0.633299350738D-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
						0.803700000000D+05	0.400000000000D+01
						0.000000000000D+00	0.000000000000D+00

Şekil 4.1. RINEX veri bloğu (1 numaralı uydu için)

ECEF koordinat sisteminde bir GPS uydu yörüngesini hesaplamak için kullanılan RINEX navigasyon dosyasının 1 numaralı uyduya ait veri bloğu Şekil 4.1'de verilmiştir.

## 4.2. Uydu Konum Hesapları

RINEX navigasyon dosyasından elde edilen verileri belli bir algoritma içerisinde kullanarak ECEF koordinat sisteminde yüksek doğrulukta koordinat hesapları yapılabilmektedir. Uydu konum hesabı için kullanılacak olan algoritmalar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Bu algoritmalar ile bir uydunun ECEF koordinat sisteminde konumunun hesaplanması oldukça basittir.





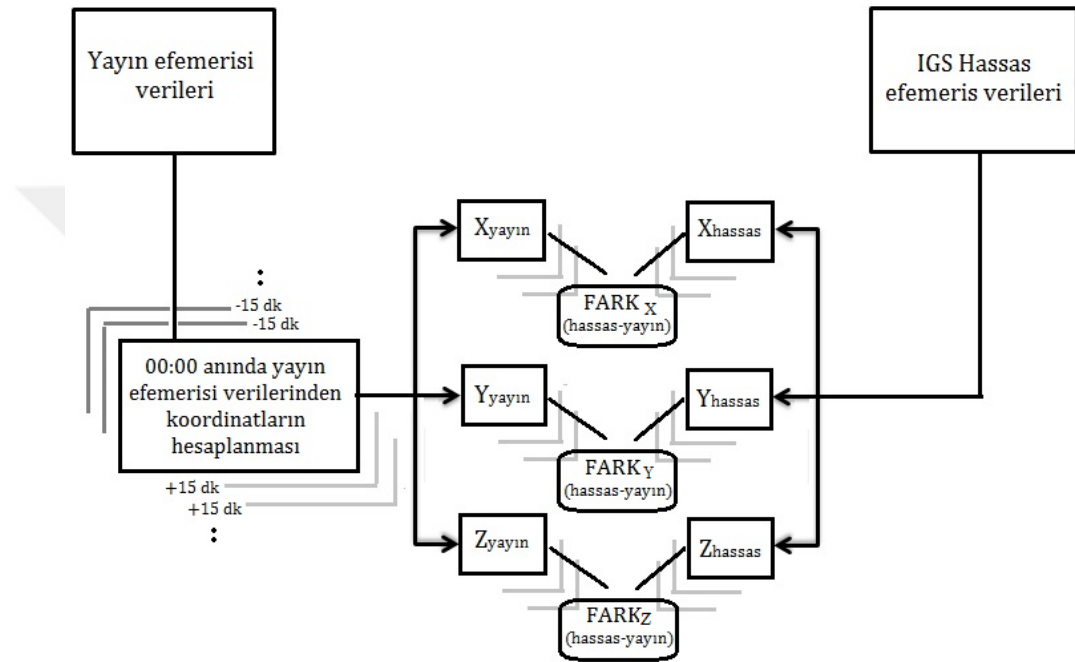
Çizelge 4.1. Uydu konum hesabı algoritmaları

Açıklama	Eşitlik	Denklemler Numarası
Yerçekimi sabiti	$GM_e = 3.986008 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}^2$	(4.1)
Yerin açısal dönme hızı	$\Omega_e = 7.292115167 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$	(4.2)
Yörünge büyük yarı eksen	$a = (\sqrt{a})^2$	(4.3)
Ortalama yörünge hızı	$n_0 = \sqrt{\frac{GM}{a^3}}$	(4.4)
Düzeltilmiş yörünge hızı	$n = n_0 + n$	(4.5)
$t_{0e}$ 'ye göre zaman	$t_k = t - t_{0e}$	(4.6)
Ortalama anomali	$M_k = M_0 + n \cdot t_k$	(4.7)
Dış merkez anomali	$E_k = M_k + e \cdot \sin E_k$	(4.8)
Gerçek anomali	$V_k = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{1-e^2} \cdot \sin E_k}{e \cos E_k}\right)$	(4.9)
Gerçek anomali	$V_k = \cos^{-1}\left(\frac{e + \cos f_n}{1 + e \cos f_n}\right)$	(4.10)
Enlem argümanı	$U_k = \omega + V_k$	(4.11)
Enlem argümanı düzeltmesi	$\delta U_k = C_{uc} \cdot \cos 2U_k + C_{us} \cdot \sin 2U_k$	(4.12)
Yarıçap düzeltmesi	$\delta r_k = C_{re} \cdot \cos 2U_k + C_{rs} \cdot \sin 2U_k$	(4.13)
Eğim düzeltmesi	$\delta i_k = C_{ie} \cdot \cos 2U_k + C_{is} \cdot \sin 2U_k$	(4.14)
Düzeltilmiş enlem argümanı	$\Phi_k = U_k + \delta U_k$	(4.15)
Düzeltilmiş yarıçap	$r_k = a(1 - e \cdot \cos E_k) + \delta r_k$	(4.16)
Düzeltilmiş yörünge eğimi	$i_k = i_0 + i \cdot t_k + \delta i_k$	(4.17)
Düzeltilmiş çıkış düğümü boyları	$\Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e)t_k - \dot{\Omega}_e t_{0e}$	(4.18)
Yörünge koordinatları	$X'_k = r_k \cdot \cos \Phi_k$ $Y'_k = r_k \cdot \sin \Phi_k$	(4.19)
Yer merkezli yer sabit (ECEF) koordinatlar	$X_k = X'_k \cdot \cos \Omega_k - Y'_k \cdot \sin \Omega_k \cdot \cos i_k$ $Y_k = X'_k \cdot \sin \Omega_k + Y'_k \cdot \cos \Omega_k \cdot \cos i_k$ $Z_k = Y'_k \cdot \sin i_k$	(4.20)

- Yerin dönme hızı oranı ( $\Omega_e$ ) bir uydunun ECEF koordinatlarını hesaplanmasında kullanılırken WGS84 için bu oran denklem (4.2)'de verilmiştir.
- Yörünge büyük yarı eksen hesabı için denklem (4.3) kullanılmaktadır.
- Düzeltilmiş ortalama hareket hesabı denklem (4.4) ve denklem (4.5) kullanılarak gerçekleştirilir. Burada yer alan  $GM_e$  ifadesi denklem (4.1)'de yer alan sabit değer olarak alınır.
- Tabloda yer alan denklem (4.6) kullanılarak uydu sinyali yayın zamanı GPS zamanına göre senkronize edilmektedir.
- Denklem (4.7)'de yer alan  $M_k$  değeri hesaplanarak ortalama anomali bulunur.
- Ortalama anomali hesaplandıktan sonra denklem (4.8)'de görüldüğü gibi iteratif çözüm ile dış merkez anomali hesaplanır.
- Denklem (4.9)'da ve Denklem (4.10)'da yer alan  $V_k$ , gerçek anomali değerini ifade ederken,  $E_k$  dış merkez anomali hesabından yola çıkılarak elde edilir.
- Enlem argümanı denklem (4.11)'de verilen yaklaşık çözüm ile hesaplanır, enlem argümanı düzeltilmesi denklem (4.15)'de gösterilmiştir. Enlem argümanı kullanılarak düzeltilmiş enlem argümanı (4.12) bulunur.
- Yaklaşık jeosentirik yarıçap değeri hesaplandıktan sonra denklem (4.13)'de verilen yarıçap düzeltilmesi kullanılarak düzeltilmiş jeosentirik yarıçap değeri (4.16) bulunur.
- Denklem (4.14)'te yer alan eğim düzeltilmesi hesabı ile denklem (4.17)'de verilen  $i_k$  düzeltilmiş yörünge eğimi bulunur.
- Yükselen düğüm noktasının düzeltilmiş boylamı, denklem (4.18)'de verilen  $\Omega_k$  değeri ile ifade edilir.
- Denklem (4.19) kullanılarak yörünge düzlemindeki uydu koordinatları  $X'_k$  ve  $Y'_k$  sırasıyla düzeltilmiş yarıçap değeri ile  $\cos\Phi$  ve  $\sin\Phi$  değerlerinin çarpılmasıyla hesaplanır.
- Daha sonra denklem (4.19)'da hesaplanan  $X'_k$  ve  $Y'_k$  değerleri kullanılarak (4.20)'de gösterildiği gibi  $X_k$ ,  $Y_k$  ve  $Z_k$  yer merkezi yer sabit (ekvator düzlemindeki uydu ECEF koordinatları) koordinatları bulunur.

### 4.3. Yayın ve IGS Hassas Efemerislerinin Karşılaştırılması Uygulaması

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.



Şekil 4.2. Uygulamaya ilişkin blok gösterim

Şekil 4.2’de yer alan blok diyagramda gösterildiği gibi yayın efemeris verileri kullanılarak seçilen 1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 zamanındaki verilerden hesaplanan koordinatlar ile IGS hassas efemerisi koordinatları karşılaştırıldıktan sonra 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 hesaplanmış ve yine hassas efemeris verileriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar için her zaman diliminde en yüksek ve en düşük değer, ortalama değer, standart sapma ve mutlak hata değerleri hesaplanmıştır. Bu uygulamada seçilen zamanın değiştirilmesiyle elde edilen yayın ve hassas efemeris verileri arasındaki ilişki incelenmiştir.

#### 4.4. 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 Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5’de verilmiştir.



Çizelge 4.2. 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

Çizelge 4.3. 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

Çizelge 4.4. 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

**Çizelge 4.5.** Yayın ve hassas efemeris verilerinden elde edilen koordinatlar arasındaki farkların ortalama, en büyük, en küçük, standart sapma ve mutlak hata 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 saplamaları 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 zaman (t) parametresi değiştirilerek 15 dakikalık zaman farklarında X, Y ve Z değerleri elde edilmiştir. Bulunan bu değerler yine hassas efemeris değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ek olarak bütün uydular için elde edilen farkların mutlak değerleri alınarak mutlak hata cinsinden karşılaştırma tekrarlanmıştır. Karşılaştırılma sonuçları Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmiştir.



**Çizelge 4.6.** Yayın efemerisi ve hassas efemeris arasındaki farkların en küçük, en büyük, ortalama, standart sapma ve mutlak hata değerleri (22:00-00:00 arası)

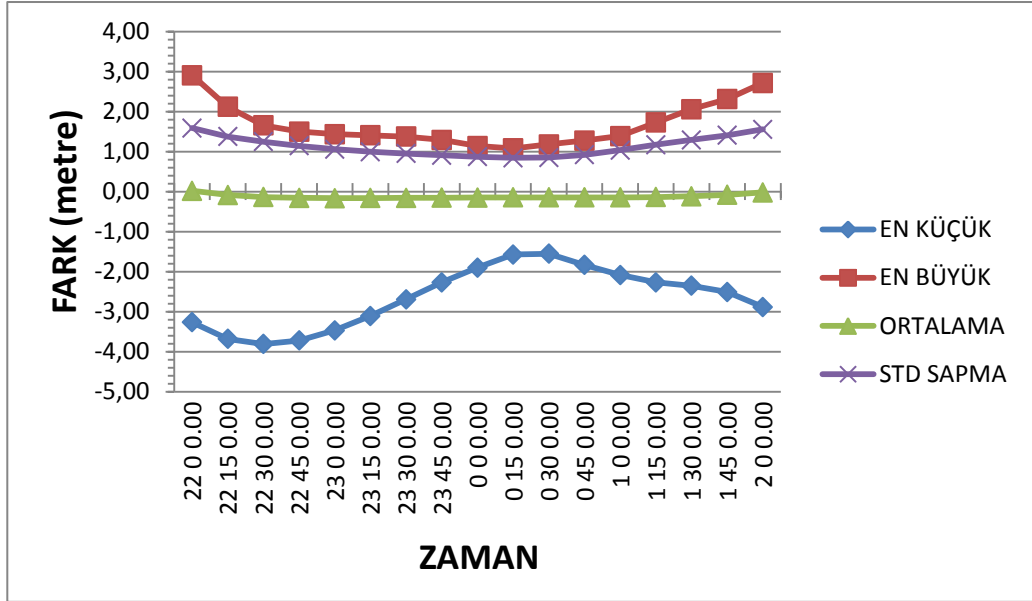
		Hata Değerleri			Mutlak Hata Değerleri		
		x	y	z	x	y	z
22 0 0.00	En küçük(m)	-3.265	-2.251	-2.769	0.183	0.068	0.016
	En büyük(m)	2.907	3.435	3.482	3.265	3.435	3.482
	Ortalama(m)	0.018	0.020	0.090	1.261	1.166	1.522
	Standart Sapma(m)	1.585	1.467	1.779	0.931	0.863	0.881
22 15 0.00	En küçük(m)	-3.681	-2.267	-2.646	0.054	0.020	0.130
	En büyük(m)	2.119	2.607	3.043	3.681	2.607	3.043
	Ortalama(m)	-0.086	-0.040	0.017	1.041	1.014	1.372
	Standart Sapma(m)	1.374	1.280	1.592	0.880	0.7592	0.766
22 30 0.00	En küçük(m)	-3.810	-2.329	-2.739	0.022	0.016	0.040
	En büyük(m)	1.653	2.139	2.653	3.810	2.329	2.739
	Ortalama(m)	-0.138	-0.066	-0.036	0.920	0.922	1.236
	Standart Sapma(m)	1.246	1.173	1.469	0.834	0.707	0.761
22 45 0.00	En küçük(m)	-3.720	-2.278	-2.729	0.005	0.003	0.029
	En büyük(m)	1.497	1.959	2.590	3.720	2.278	2.729
	Ortalama(m)	-0.159	-0.072	-0.074	0.840	0.862	1.095
	Standart Sapma(m)	1.142	1.089	1.351	0.776	0.650	0.768
23 0 0.00	En küçük(m)	-3.468	-2.087	-2.641	0.032	0.056	0.027
	En büyük(m)	1.433	1.868	2.555	3.468	2.087	2.641
	Ortalama(m)	-0.163	-0.065	-0.101	0.782	0.803	0.963
	Standart Sapma(m)	1.057	1.022	1.227	0.716	0.619	0.746
23 15 0.00	En küçük(m)	-3.110	-1.820	-2.373	0.035	0.005	0.052
	En büyük(m)	1.406	1.869	2.420	3.110	1.869	2.420
	Ortalama(m)	-0.161	-0.050	-0.119	0.735	0.760	0.868
	Standart Sapma(m)	0.994	0.984	1.108	0.676	0.611	0.681
23 30 0.00	En küçük(m)	-2.695	-1.580	-2.019	0.090	0.002	0.095
	En büyük(m)	1.373	1.852	2.239	2.695	1.852	2.239
	Ortalama(m)	-0.157	-0.033	-0.130	0.740	0.787	0.803
	Standart Sapma(m)	0.949	0.977	1.003	0.599	0.562	0.596
23 45 0.00	En küçük(m)	-2.268	-1.515	-1.677	0.056	0.054	0.050
	En büyük(m)	1.289	1.765	2.055	2.268	1.765	2.055
	Ortalama(m)	-0.152	-0.016	-0.136	0.767	0.827	0.755
	Standart Sapma(m)	0.907	0.987	0.920	0.489	0.517	0.525

**Çizelge 4.7.** Yayın efemerisi ve hassas efemeris arasındaki farkların en küçük, en büyük, ortalama, standart sapma ve mutlak hata değerleri (00:00 – 02:00 arası)

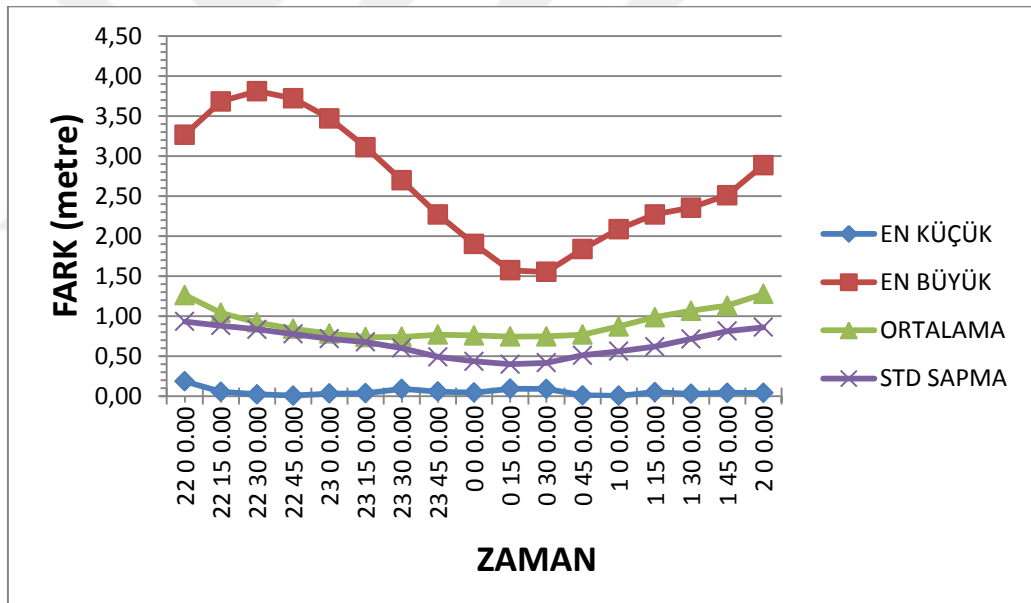
		Hata Değerleri			Mutlak Hata Değerleri		
		x	y	z	x	y	z
0 0 0.00	En küçük(m)	-1.899	-1.450	-1.428	0.043	0.094	0.026
	En büyük(m)	1.138	1.625	1.903	1.899	1.625	1.903
	Ortalama(m)	-0.150	0.000	-0.142	0.757	0.846	0.726
	Standart Sapma(m)	0.871	0.997	0.867	0.435	0.504	0.477
0 15 0.00	En küçük(m)	-1.572	-1.627	-1.380	0.092	0.027	0.002
	En büyük(m)	1.080	1.656	1.923	1.572	1.656	1.923
	Ortalama(m)	-0.147	0.008	-0.147	0.744	0.847	0.674
	Standart Sapma(m)	0.841	0.992	0.853	0.397	0.494	0.530
0 30 0.00	En küçük(m)	-1.551	-1.733	-1.507	0.090	0.055	0.039
	En büyük(m)	1.177	1.660	1.788	1.551	1.733	1.788
	Ortalama(m)	-0.146	0.013	-0.154	0.746	0.836	0.700
	Standart Sapma(m)	0.852	0.985	0.882	0.415	0.499	0.543
0 45 0.00	En küçük(m)	-1.835	-1.811	-1.659	0.009	0.026	0.087
	En büyük(m)	1.273	1.701	1.515	1.835	1.811	1.659
	Ortalama(m)	-0.146	0.016	-0.164	0.767	0.821	0.776
	Standart Sapma(m)	0.920	0.994	0.942	0.509	0.541	0.541
1 0 0.00	En küçük(m)	-2.086	-1.905	-1.945	0.004	0.020	0.024
	En büyük(m)	1.387	1.938	1.254	2.086	1.938	1.945
	Ortalama(m)	-0.145	0.021	-0.172	0.870	0.830	0.848
	Standart Sapma(m)	1.036	1.034	1.013	0.559	0.598	0.561
1 15 0.00	En küçük(m)	-2.270	-2.050	-2.163	0.050	0.089	0.028
	En büyük(m)	1.726	2.125	1.397	2.270	2.125	2.163
	Ortalama(m)	-0.138	0.030	-0.171	0.985	0.891	0.916
	Standart Sapma(m)	1.169	1.102	1.075	0.619	0.627	0.563
1 30 0.00	En küçük(m)	-2.353	-2.147	-2.272	0.028	0.031	0.054
	En büyük(m)	2.058	2.246	1.488	2.353	2.246	2.272
	Ortalama(m)	-0.119	0.043	-0.148	1.066	0.953	0.955
	Standart Sapma(m)	1.292	1.180	1.116	0.713	0.674	0.570
1 45 0.00	En küçük(m)	-2.509	-2.280	-2.250	0.042	0.009	0.026
	En büyük(m)	2.312	2.277	1.973	2.509	2.280	2.250
	Ortalama(m)	-0.081	0.057	-0.090	1.130	1.023	0.953
	Standart Sapma(m)	1.405	1.253	1.161	0.812	0.701	0.646
2 0 0.00	En küçük(m)	-2.885	-2.991	-2.103	0.040	0.000	0.067
	En büyük(m)	2.714	2.186	2.748	2.885	2.991	2.748
	Ortalama(m)	-0.021	0.061	0.019	1.276	1.084	1.050
	Standart Sapma(m)	1.556	1.335	1.302	0.859	0.755	0.744

Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de ifade edilen yayın ve hassas efemeris arasındaki farklara göre X, Y ve Z değerleri için en küçük ve en büyük değerleri düzensiz dağılım gösterirken, bütün uydular için alınan ortalama değerlerin her üç bileşen içinde sıfıra yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir. Farkların mutlak değeri alınarak hesaplanan mutlak hata ise ortalama 1 m civarında bulunmuştur. Hesaplamalarda 1 Ocak 2018 ve 00:00 zamanı referans kabul edildiğinde değiştirilen zaman (t) parametresinin pozitif olduğu durumlarda yayın ve hassas efemeris arasındaki farkın 3 m’nin altında olduğu görülürken, zaman (t) parametresinin 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 değışse bile belirli uydularda bu durumun tekrarlandığı sonucuna varılmıştır.

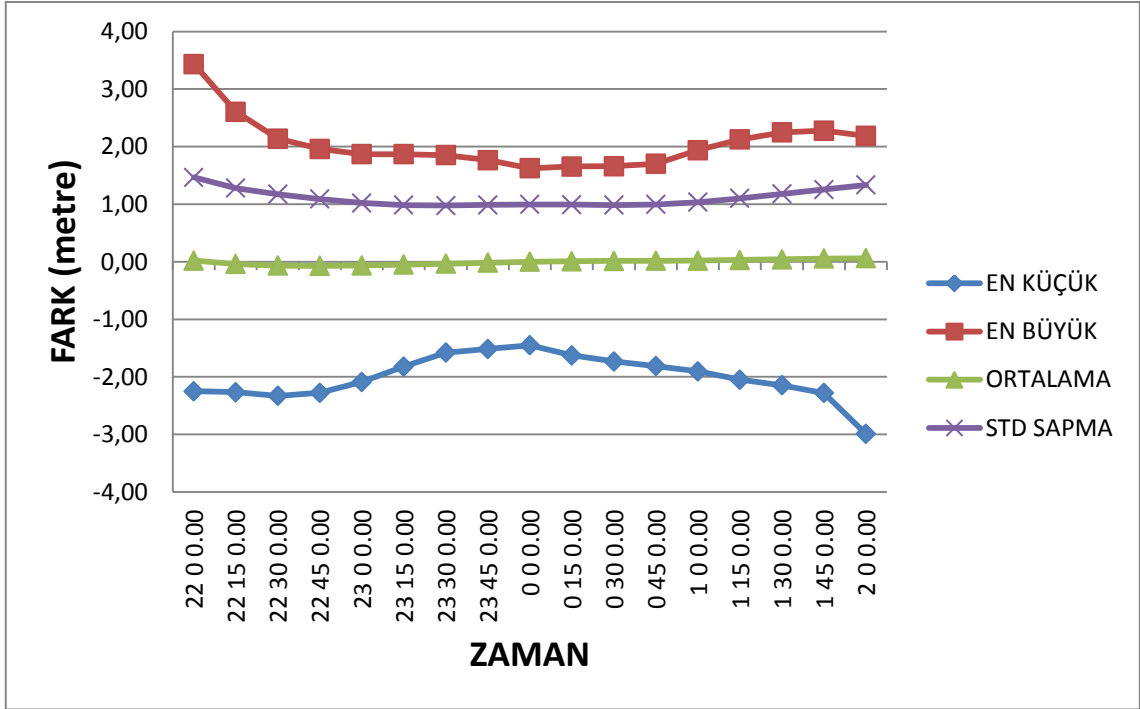
Çizelgelerde ifade edilen X, Y ve Z koordinatlarındaki farklara ve farkların mutlak değerlerine ilişkin en küçük, en büyük, ortalama, standart sapma değerleri zaman ekseninde grafik şekline dönüştürülmüş olup Şekil 4.3.a, Şekil 4.3.b, Şekil 4.4.a, Şekil 4.4.b ve Şekil 4.5.a, Şekil 4.5.b,’de gösterilmiştir.



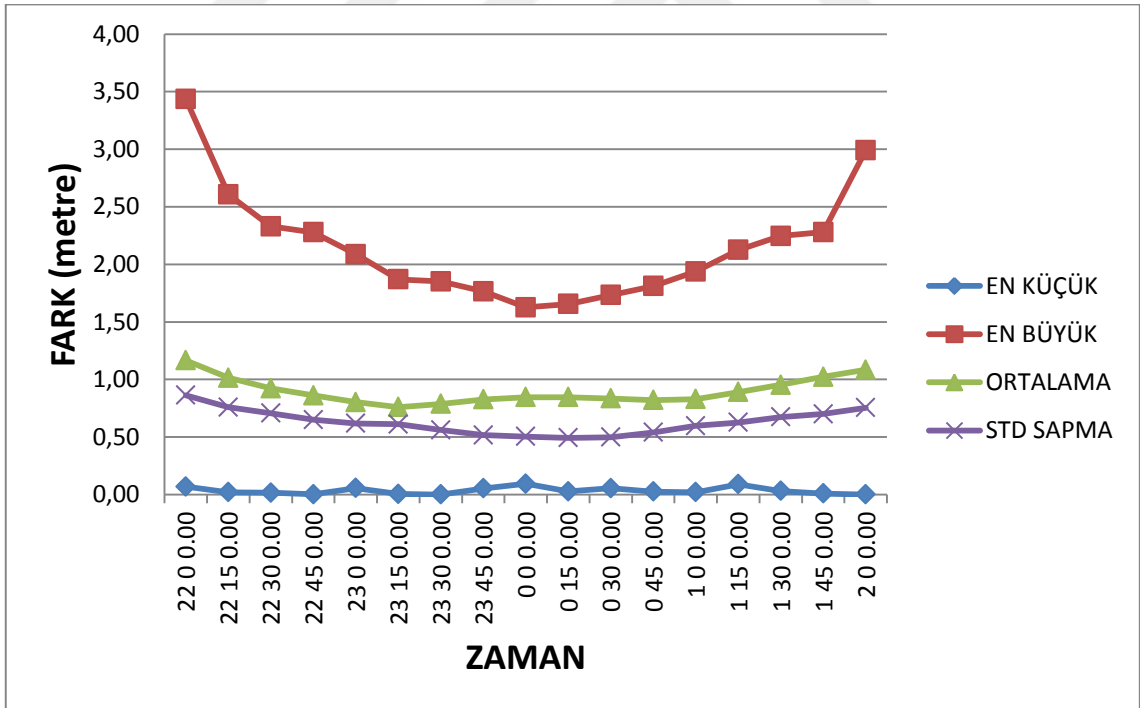
Şekil 4.3.a Hassas efemeris ve yayın efemeris verilerinden elde edilen X koordinatı fark değerleri



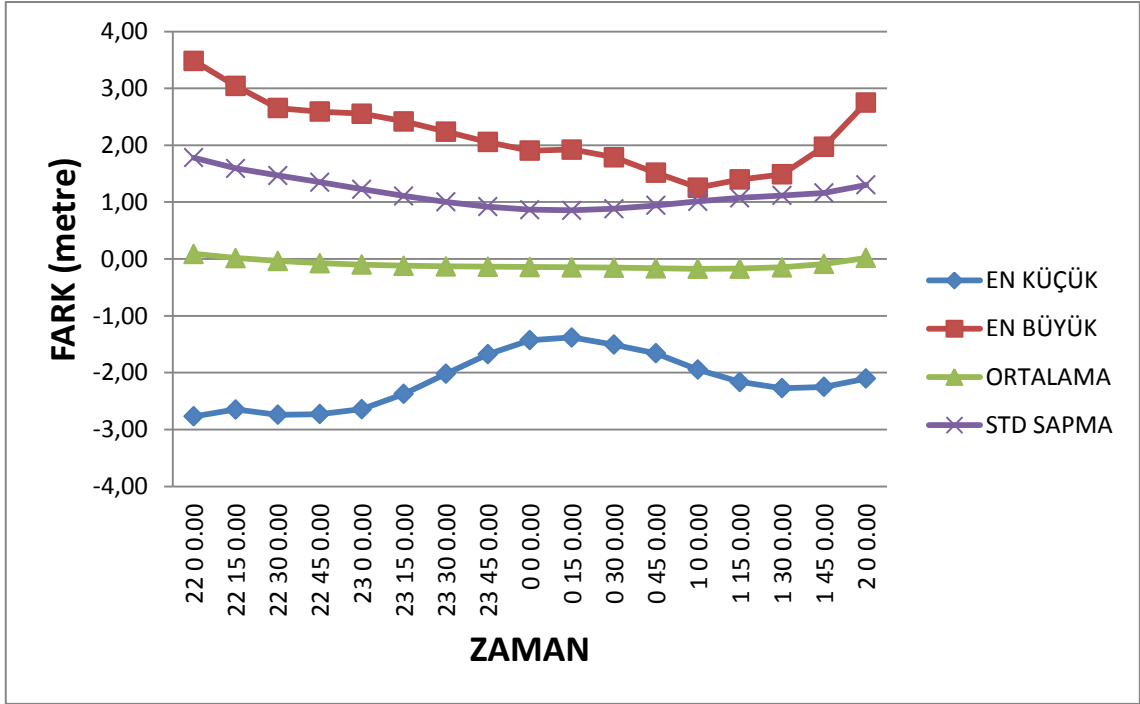
Şekil 4.3.b Hassas efemeris ve yayın efemeris verilerinden elde edilen X koordinatı mutlak hata değerleri



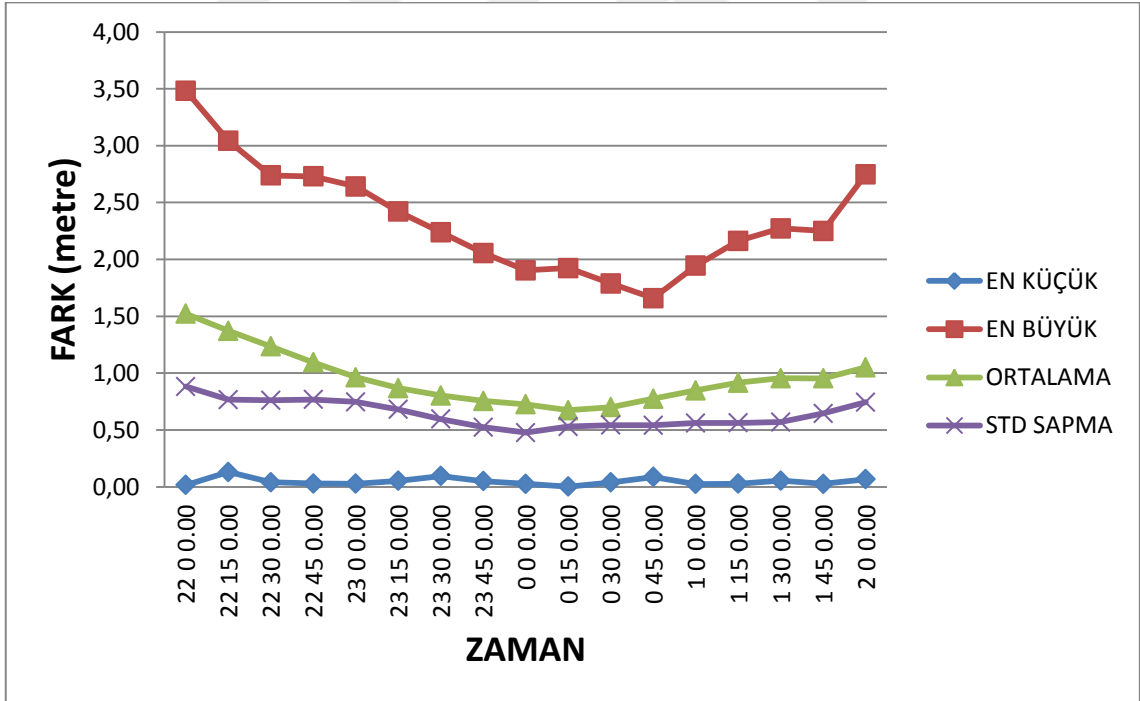
Şekil 4.4.a Hassas efemeris ve yayın efemeris verilerinden elde edilen Y koordinatı fark değerleri



Şekil 4.4.b Hassas efemeris ve yayın efemeris verilerinden elde edilen Y koordinatı mutlak hata değerleri



Şekil 4.5.a Hassas efemeris ve yayın efemeris verilerinden elde edilen Z koordinatı fark değerleri



Şekil 4.5.b Hassas efemeris ve yayın efemeris verilerinden elde edilen Z koordinatı mutlak hata değerleri

Grafiklerde görülen bir diğer bileşen olarak hesaplanan standart sapma ise X, Y, Z bileşenlerinde ve bu bileşenlerin mutlak hata değerlerinde yaklaşık benzer eğriyi oluşturduğu ve sıfır anından uzaklaştıkça standart sapma değerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Üç bileşen içinde 00:00 zamanında en küçük değerlerde olan standart sapmalar;

- X bileşeninde  $\pm 1.6$  m (mutlak hatada 0.93 m),
- Y bileşeninde  $\pm 1.5$  m (mutlak hatada 0.86 m),
- Z bileşeninde  $\pm 1.8$  m (mutlak hatada 0.88 m) ile en yüksek değerlerini almıştır.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında ilk olarak yayınlanan navigasyon mesajında yer alan parametreler ve bu parametrelerle Kepler yasalarından yararlanılarak uydu yörüngesi ve uydunun konumunun belirlenmesi hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra yayın efemerisi ve hassas efemeris konuları ve kullanım alanları açıklanmıştır.

Uygulamada yayın efemerisi ve hassas efemeris verilerinin koordinatlar üzerindeki etkisini karşılaştırmak amacıyla belli bir zaman dilimine ait yayın efemerisi verisinden hesaplanan X, Y ve Z koordinatları ile aynı zaman dilimindeki IGS sonuç hassas efemeris verisi kullanılmış ve farklar hesaplanmıştır. Daha sonra yayın efemerisi verileri kullanılarak 15 dakikalık öteleme hesapları yapılmış ve yine IGS sonuç hassas efemeris verileriyle karşılaştırma yapılmıştır. Böylece zamanın değiştirilmesiyle elde edilen yayın efemerisi ve hassas efemeris verileri aralarındaki farklar incelenmiştir.

Uygulamanın ilk bölümünde 1 Ocak 2018 tarih 00:00 zamanı belirlenmiş ve yayın efemerisinden X,Y ve Z koordinatları hesaplanmıştır. Sonuçlar aynı tarihe ait IGS sonuç hassas efemeris verisiyle karşılaştırıldığında 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. Bütün uydular için alınan farkların ortalama değerleri X koordinat bileşeni için  $\sim -15$  cm, Y koordinat bileşeni için  $\sim 0$  cm, Z koordinat bileşeni için  $\sim -14$  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. 1 Ocak 2018 tarih ve 00:00 zamanı için yapılan bu uygulamada X,Y ve Z koordinatları için fark değerlerinin 3 m'nin altında kaldığı görülmüştür.

Uygulamanın ikinci bölümünde 31 Aralık 2017 tarihi 22:00 zamanı ve 1 Ocak 2018 tarihi 00:00 zamanı arasında yayın efemerisi yörünge verilerinden bütün uydular için zaman (t) parametresi değiştirilerek her 15 dakikalık aralık için hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar yine hassas efemeris değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre alınan X,Y ve Z fark değerlerinin en küçük ve en büyük değerlerinde düzensiz dağılım görülmektedir. Ayrıca alınan ortalama değerlerin bütün uydularda sıfıra yakın değerlerde olduğu her üç bileşen için gözlenmiştir. Uygulamada zamanda öteleme yapılıp zaman (t) parametresi değiştirilmesiyle elde edilen fark



değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Zaman (t) parametresinin pozitif olduğu durumlarda yayın ve hassas efemeris arasındaki farkın 3 m'nin altında olduğu görülürken, zaman (t) parametresinin negatif alınarak kullanıldığı durumlarda ise bu fark 3.8 m'ye yaklaşmıştır. Koordinatlar arasında en çok X bileşeninde 3m'nin üstüne çıkan fark değerlerinin olduğu ve belirli uydularda zaman değişse bile fark değerinde ki yüksekliğin tekrarlandığı sonucuna varılmıştır.

Hesaplanan standart sapma ise X, Y ve Z bileşenlerinde benzer değerlerde olduğu ve referans alınan zamandan uzaklaştıkça değerlerin arttığı belirlenmiştir. X,Y ve Z koordinatları için en küçük standart sapmalar 00:00 zamanına ait olup, en yüksek değerleri ise X bileşeni için  $\pm 1.6$  m, Y bileşeni için  $\pm 1.5$  m, Z bileşeni için  $\pm 1.8$  m olarak hesaplanmıştır. Mutlak hatalardan elde edilen standart sapma değerleri ise her üç bileşen için yaklaşık 0.9 m olarak bulunmuştur.

## 5.2. Öneriler

Tez çalışmasında yayın efemerisi verileri ile hesaplanan koordinatlar hassas efemeris verileri ile zamana bağlı olarak karşılaştırılmıştır. İki efemeris veri türü de GRS80 referans elipsoidini kullanırken yayın efemeris verileri WGS84 sisteminde, hassas efemeris verileri ise ITRF sistemindedir. Fakat bu iki sistem arasında belirgin bir fark olmadığı bilinmekte olup, efemeris verilerinden elde edilen koordinatların doğruluğuna gravite alanı, troposferik ve iyonosferik faktörler gibi çeşitli etkilerin bulunduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Hassas efemeris ve yayın efemerisi verilerinden elde edilen sonuçlar arasında farkların az olduğu ve bu nedenler mühendislik çalışmalarının çoğu için yayın efemerisinin yeterli doğruluğu sağlayacağı FGCC (Federal Geodetic Control Committee) tarafından yayınlanan kılavuzda belirtilmiştir (Hull, 1989; Tuşat ve Turgut, 2004; Tusat ve Ozyuksel, 2018).

Yayın efemerisi ve hassas efemeris arasında tercih yaparken belirleyici faktörler istenen hassasiyet ve efemeris verilerine ulaşmak için geçen zamandır. Yayın efemerisi verilerine istenilen zaman ulaşılabilmesinin yanında hassasiyeti de mühendislik uygulamalarının çoğu için yeterlidir. Bu özellikleri yayın efemerisinin avantajları olup hassas efemerisle kıyaslandığında kullanımı daha pratiktir. Hassas efemeris verilerine ise anlık olarak ulaşılamayıp yaklaşık bir hafta sonra internet

üzerinden yayınlanmaktadır. Fakat yayın efemerisi ve hassas efemeris verilerinden elde edilen sonuçlarda farkın az olduğu bilinmesine rağmen bazı jeodezik uygulamalar için yayın efemerisi yeterli olmamaktadır. Bu nedenle uygulamadan beklenen hassasiyete göre efemeris türünün seçilmesi ve yüksek hassasiyet gerektiren jeodezik uygulamalar için hassas efemerisin kullanılması daha doğru bir yaklaşımdır.



## KAYNAKLAR

- Altner, Y., 1992, Global Pozisyon Belirleme Sisteminin Ana Hatları, *Harita ve Kadaströ Mühendisliği Dergisi*, 71, 9-54.
- Bidikar, B., Rao, G. S., Ganesh, L. ve Kumar, M. S., 2014, Satellite clock error and orbital solution error estimation for precise navigation applications, *Positioning*, 5 (01), 22.
- Goldstein, D. B., 2010, Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, ICD-GPS-200C, Global Positioning Systems Wing p.
- Gökalp, E., 1995, GPS Ölçme Süresini Kısaltma Amaçlı Yöntem Geliştirme, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Grzegorz, N., Mariusz, F. ve Zofia, B., 2015, Comparison Of Gps Precise Ephemerides Interpolation Methods, *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences, Section Geodesy and Mine Surveying*, 161-170.
- Hull, W. V., 1989, Geometric geodetic accuracy standards and specifications for using GPS relative positioning techniques, National Geodetic Survey, NOAA, p.
- IGS, 2019, International GNSS Service, <http://www.igs.org>: [11.04].
- İpek, M., 2017, Satellite Orbit Estimation Using Kalman Filters, Doktora Tezi, *The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University*.
- Jia, R. X., Li, X. Y., Xia, C. F. ve Jin, D. Y., 2014, Broadcast Ephemeris Accuracy Analysis for GPS Based on Precise Ephemeris, *Applied Mechanics and Materials*, 3667-3670.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2017, GNSS: Uydularla Konum Belirleme Sistemleri: Teori Ve Uygulama, *Ankara*, Nobel Yayınları, p.
- Karaali, C. ve Yıldırım, Ö., 1996, Global konum belirleme sistemi (GPS), *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 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., Enge, P., Axelrad, P. ve Spilker Jr, J. J., 1996, Global positioning system: Theory and applications, American Institute of Aeronautics and Astronautics, p.
- Roddy, D., 2006, Satellite Communications, (Professional Engineering), McGraw-Hill Professional: New York, p.

- Seeber, G., 2008, Satellite geodesy: foundations, methods, and applications, Walter de Gruyter, p.
- Soycan, M. ve Soycan, A., 2002, Yayın ve IGS Hassas Efemerislerinin Bir GPS Test Ağında Karşılaştırılması ve İncelenmesi, *S.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde 30.Yıl Sempozyumu*, Konya.
- Tusat, E. ve Ozyuksel, F., 2018, Comparison of GPS satellite coordinates computed from broadcast and IGS final ephemerides, *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (1), 12-19.
- Tuşat, E. ve Turgut, B., 2004, GPS Efemeris Bilgisinin Göreli Konumlamada Koordinatlara ve Baz Bileşenlerine Etkisi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19(1), 65-72.
- Vural, Ş., 2005, Gps Ölçmelerinde Uygun Ölçme Süresinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Warren, D. L. M. ve Raquet, J. F., 2003, Broadcast vs Precise GPS Ephemerides: A Historical Perspective, *GPS Solutions*, 7, 151-156.
- Wilson, C. A., 1970, From Kepler's laws, so-called, to universal gravitation: empirical factors, *Archive for History of Exact Sciences*, 6 (2), 89-170.
- Xu, G. ve Xu, Y., 2016, GPS: theory, algorithms and applications, Springer, p.
- Yoon, S., 2015, Precise GPS Orbit Determination at National Geodetic Survey: How and Why, *55th Civil GPS Service Interface Committee (CGSIC 2015)*, Florida.
- Zhang, J., 2014, Analysis of seasonal loading-induced displacements from GPS and GRACE, Yüksek Lisans Tezi, *University of Stuttgart Institute of Geodesy, Stuttgart*.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Sümeyra Ervural  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : İzmir – 22.02.1992  
**Telefon** : 05370249076  
**e-mail** : sumeyraglmz@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Özel Üftade Lisesi	<b>2010</b>
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA <b>Harita Mühendisliği</b>	<b>2015</b>
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, KONYA <b>Harita Mühendisliği A.B.D.</b>	-

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2018	ARGE Gayrimenkul Değerleme A.Ş.	Gayrimenkul Değerleme Uzmanı

### UZMANLIK ALANI

Jeodezi

### YABANCI DİLLER

İngilizce (İyi derecede)

### YAYINLAR

Gülmez, S , Tuşat, E ., 2017, The Analysis of GPS Data in Different Observation Periods Using Online GNSS Process Services. International Journal of Environment and Geoinformatics, 4 (1), 43-53. DOI: 10.30897/ijegeo.306492.