

# **GNSS TABANLI YÖNELİM BELİRLEME SİSTEMİNİN TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ**

## **DESIGN AND DEVELOPMENT OF GNSS BASED ATTITUDE DETERMINATION SYSTEM**

**MUSAB RAMAZAN AKASLAN**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ YAKUP ÖZKAZANÇ**  
**Tez Danışmanı**

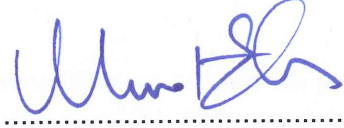
Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

Musab Ramazan AKASLAN'ın hazırladığı “GNSS Tabanlı Yönelim Belirleme Sisteminin Tasarımı ve Geliştirilmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Murat Efe

Başkan



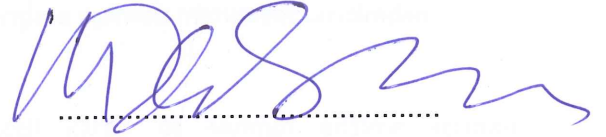
Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ

Danışman



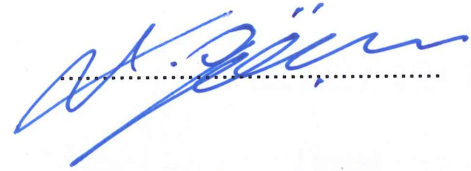
Dr. Öğr. Üyesi Derya Altunay

Üye



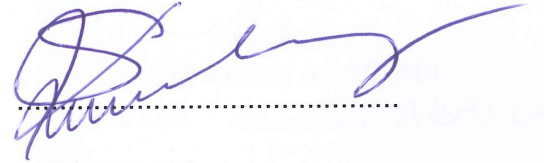
Dr. Öğr. Üyesi Dinçer Gökçen

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Şölen Kumbay Yıldız

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin / raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “ Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. <sup>(1)</sup>
- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... Ay ertelenmiştir. <sup>(2)</sup>
- o Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. <sup>(3)</sup>

01 / 10 / 2018

(İmza)

Öğrencinin Adı SOYADI

Musab Ramazan AKASLAN

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir
  - (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. Şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü ve fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
  - (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir\*. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
- Madde 7. 2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

\* Tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.

**Canım oğullarım Ahmet ve Mustafa'ya...**

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01/10/2018



MUSAB RAMAZAN AKASLAN

## ÖZET

# GNNS TABANLI YÖNELİM BELİRLEME SİSTEMİNİN TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

**Musab Ramazan AKASLAN**

**Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ**

**Eylül 2018, 119 sayfa**

Bu çalışma kapsamında, GNSS sistemi kullanılarak yönelim belirleme konusu ele alınmıştır. Yönelim kavramı bir hava aracının duruşunu ifade etmek üzere koordinat sistemleri ve koordinat sistemleri arasındaki dönüşümlerle birlikte tanımlanmıştır. Yönelim bulmak için konum çıktılarını kullandığımız GNSS alıcıları hakkında gerekli bilgiler verilmiş ve sistemin çalışma prensiplerinden söz edilmiştir. GNSS sistemlerinden en yaygın kullanılanı olan ABD menşeli NAVSTAR GPS hakkında ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir. Konum ve taşıyıcı faz kullanılarak yönelim belirleyen çeşitli yöntemler ortaya konularak yöntemler arasında karşılaştırmalarda bulunulmuştur.

Saha çalışmaları kapsamında farklı büyüklükteki platformlar için referans olarak kullanılabilecek konum ölçümleri yapılmıştır. Konum ölçümleri almak üzere U blox Neo M8T alıcısı ve Raspberry Pi Model 3B vasıtasıyla C dilinde yazılmış bir arayüzle birlikte kullanılmıştır. Konum ölçümleri kullanılarak farklı referans hatları için yönelim sonuçları hesaplanmış ve yönelim çıktılarının hataları değerlendirilmiştir. Yönelim algoritmaları MATLAB ortamında modellenmiştir. GNSS sistemleri kullanarak yönelim

belirlemek için tipik hataların mertebesi hakkında referans değerler ortaya çıkarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yönelim Belirleme, GNSS, GPS, Seyrüsefer, Euler açıları, Koordinat Sistemleri.



## **ABSTRACT**

### **DESIGN AND DEVELOPMENT OF GNSS BASED ATTITUDE DETERMINATION SYSTEM**

**Musab Ramazan AKASLAN**

**Master of Science, Department of Electrical and Electronics  
Engineering**

**Supervisor: Lecturer Dr. Yakup ÖZKAZANÇ**

**September 2018, 119 pages**

In the scope of this study, attitude determination using GNSS systems is discussed. The concept of attitude is defined together with transformations between coordinate systems to express the position of an aerial vehicle. Necessary information has been given about the GNSS receivers where we use the position outputs to determine the attitude and the working principles of the system are mentioned. Detailed information about the US-made NAVSTAR GPS, which is the most widely used GNSS system, is included. A number of methods for determining attitude by using position and carrier phase have been discovered and compared among methods.

Within the scope of field studies, position measurements have been made which can be used as reference for different sized platforms. It has been used Ublox NEO M8T GNSS receiver with interface software is written in C language which run on Raspberry Pi Model 3B. Attitude results were calculated for different baselines using position measurements and the errors of the attitude outputs were evaluated. Attitude determination algorithms implemented in the MATLAB environment. In order to attitude determination using the GNSS systems, reference values for the typical attitude errors were derived.

**Keywords:** Attitude Determination, GNSS, GPS, Navigation, Euler Angles, Coordinate Systems.



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında derin bilgi birikimi ve eşsiz vizyonu ile beni yönlendiren, düşünce, fikir ve hayal dünyama katkılarını ömür boyu kullanacağımı düşündüğüm Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ'a yürekten teşekkürlerimi sunuyorum.

Konum kaydetme sistemi yazılımının oluşturulmasında emeği geçen başarılı meslektaşım ve yakın dostum Yunus YURTTÜRK'e, samimi dostluklarından dolayı Mehmet Hıdır EL, Muhammet Mustafa ERCAN, Alican DÖNMEZ ve Burak YILMAZTÜRK'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamla ilgili teşvik ve tavsiyelerinden dolayı mesai arkadaşlarım Ahmet DEMİRYÜREK, Ali Can ARIK ve Onur ÇULHA'ya çok teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman koşulsuz desteğini hissettiğim başta babam Hayrettin AKASLAN ve annem Safiye AKASLAN olmak üzere kardeşlerim Ayşenur YAVUZ ve Mervenur AKASLAN'a ve eşim Esra AKASLAN'a çok teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER TABLOSU

|                                                                        |      |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                                             | i    |
| ABSTRACT .....                                                         | iii  |
| TEŞEKKÜR .....                                                         | v    |
| İÇİNDEKİLER TABLOSU .....                                              | vi   |
| ŞEKİLLER.....                                                          | viii |
| ÇİZELGELER.....                                                        | xii  |
| SİMGELER .....                                                         | xiv  |
| KISALTMALAR .....                                                      | xv   |
| SÖZLÜKÇE .....                                                         | xvi  |
| 1 GİRİŞ.....                                                           | 1    |
| 1.1 Tezin Amacı .....                                                  | 4    |
| 1.2 Tezin Kapsamı .....                                                | 4    |
| 2 YÖNELİM KAVRAMI VE KOORDİNAT SİSTEMLERİ.....                         | 5    |
| 2.1 Koordinat Sistemleri Ve Dönüşüm Matrisleri .....                   | 5    |
| 2.1.1 Koordinat Sistemleri .....                                       | 5    |
| 2.1.2 Dönme Matrisi ve Koordinat Sistemleri Arasındaki Dönüşümler..... | 9    |
| 2.1.3 Euler Açılarını .....                                            | 10   |
| 2.1.4 Dönme Matrisi .....                                              | 11   |
| 2.1.5 Koordinat Sistemleri Arasındaki Dönüşümler.....                  | 12   |
| 2.2 Yönelim Geometrisi.....                                            | 14   |
| 3 KÜRESEL KONUMLANDIRMA UYDU SİSTEMLERİ .....                          | 17   |
| 3.1 GPS Alt Sistemleri.....                                            | 18   |
| 3.1.1 Uzay Bölümü .....                                                | 18   |
| 3.1.2 Kontrol Bölümü.....                                              | 19   |
| 3.1.3 Kullanıcı Bölümü .....                                           | 20   |
| 3.2 GPS Çalışma Prensipleri .....                                      | 23   |
| 3.3 GPS Sinyal Yapısı.....                                             | 24   |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4 GPS Hata Kaynakları ve Doğruluk Ölçekleri.....                                                             | 27  |
| 3.4.1 Hata Kaynakları.....                                                                                     | 27  |
| 3.4.2 Doğruluk Ölçekleri .....                                                                                 | 29  |
| 4 KÜRESEL KONUMLANDIRMA UYDU SİSTEMLERİ İLE YÖNELİM BELİRLEME.....                                             | 31  |
| 4.1 Yönelim Parametrelerinin Konum Sonuçlarından Doğrudan Çözümlemlenerek Belirlenmesi Yöntemi.....            | 31  |
| 4.2 Eşdoğrusal Olmayan Referans (Non-Collinear Baseline) Vektörleri Kullanarak Yönelim Belirleme Yöntemi ..... | 36  |
| 4.3 Taşıyıcı Faz Ölçümlerinin Bağlı Farklarını Kullanarak Yönelim Belirleme Yöntemi .....                      | 40  |
| 5 SAHA ÇALIŞMALARI .....                                                                                       | 44  |
| 5.1 GPS Alıcısı Seçimi ve Konum Kaydetme Sisteminin Kurulması .....                                            | 44  |
| 5.2 Ölçümler ve Yönelim Hesaplamaları .....                                                                    | 48  |
| 5.2.1 Yönelim Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi .....                                                   | 48  |
| 5.2.2 3 Metrelik Referans Hattı İçin Yönelim Sonuçları .....                                                   | 53  |
| 5.2.3 10 Metrelik Referans Hattı İçin Yönelim Sonuçlar .....                                                   | 61  |
| 5.2.4 Bir ANKA Platformuna Yerleştirilmiş Sanal Bir Sistemin Yönelim Sonuçları...                              | 68  |
| 5.2.5 Airbus A380 Uçağına Yerleştirilmiş Sanal Bir Sistemin Yönelim Sonuçları ....                             | 75  |
| 5.2.6 100 – 200 Metre Referans Hattı İçin Yönelim Sonuçlar .....                                               | 85  |
| 5.2.7 1 kilometrelik Referans Hattı İçin Yönelim Sonuçlar .....                                                | 93  |
| 5.2.8 10 kilometrelik Referans Hatları İçin Yönelim Sonuçlar.....                                              | 99  |
| 6 SONUÇLAR.....                                                                                                | 104 |
| KAYNAKLAR.....                                                                                                 | 109 |
| EKLER.....                                                                                                     | 112 |
| EK 1: VERİ KAYDETME SİSTEMİ PROGRAMLAMA KODLARI .....                                                          | 112 |
| EK 2: YÖNELİM ALGORİTMALARI PROGRAMLAMA KODLARI .....                                                          | 114 |

## ŞEKİLLER

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 Portolan Haritası.....                                                                                    | 1  |
| Şekil 1.2 Ankara Tokyo arasında çizilen rotalar.....                                                                | 2  |
| Şekil 1.3 Ankara'dan Tokyo'ya giden en kısa yol üzerinde gerçekleştirilmesi gereken yönelim grafiği.....            | 3  |
| Şekil 2.1 Dünyanın elipsoid modeli.....                                                                             | 5  |
| Şekil 2.2 Seyrüsefer koordinat sistemi ve ECEF koordinat sistemi [26] .....                                         | 7  |
| Şekil 2.3 Üç antenle oluşturulmuş gövde çerçevesi koordinat sistemi [10].....                                       | 8  |
| Şekil 2.4 Platform gövde çerçevesi ile anten gövde çerçevesinin hizalanması .....                                   | 9  |
| Şekil 2.5 Bir hava aracının 3 ekseninde yönelim geometrisi [8].....                                                 | 14 |
| Şekil 2.6 Bir hava aracının dik ekseninde yönelim geometrisi [25].....                                              | 15 |
| Şekil 2.7 Bir hava aracının yanal ekseninde yönelim geometrisi [25] .....                                           | 16 |
| Şekil 2.8 Bir hava aracının boy ekseninde yönelim geometrisi [25] .....                                             | 16 |
| Şekil 3.1 GPS uydu ağı [2].....                                                                                     | 19 |
| Şekil 3.2 GPS kontrol istasyonlarının coğrafik konumları [27].....                                                  | 20 |
| Şekil 3.3 Standart bir GPS alıcısının alt bileşenleri.....                                                          | 21 |
| Şekil 3.4 Seramik GPS mikro şerit anten.....                                                                        | 21 |
| Şekil 3.5 Örnek bir antenin sağ el dairesel polarize ve yarı küresel ışıma örüntüsü .....                           | 21 |
| Şekil 3.6 GPS alıcılarının genel modeli.....                                                                        | 22 |
| Şekil 3.7 Alıcı iki noktadan birinde olacak şekilde kesişen üç küre [2].....                                        | 24 |
| Şekil 3.8 GPS sinyal mimarisi [7] .....                                                                             | 25 |
| Şekil 3.9 Sol: C/A kod serisini özilintisi Sağ: C/A kod serisini çapraz ilintisi [7].....                           | 26 |
| Şekil 3.10 Seyrüsefer mesaj formatı [2] .....                                                                       | 27 |
| Şekil 3.11 (a) İyi uydu geometrisi (b) kötü uydu geometrisi .....                                                   | 29 |
| Şekil 4.1 Gövde çerçevesinde anten/alıcı yerleşimi.....                                                             | 31 |
| Şekil 4.2 Seyrüsefer çerçevesinde alıcı konumları ile yunuslama ve sapma açıları.....                               | 32 |
| Şekil 4.3 ECEF çerçevesinde alıcı konumları ve yuvarlanma açısı.....                                                | 34 |
| Şekil 4.4 Yönelim parametrelerinin bulunmasını ifade eden blok diyagram.....                                        | 35 |
| Şekil 4.5 Seyrüsefer koordinat Sistemi ve $u_1$ , $u_2$ vektörleri .....                                            | 36 |
| Şekil 4.6 Anten gövde koordinat sistemi koordinatları ve $b_1$ , $b_2$ vektörleri.....                              | 37 |
| Şekil 4.7 Eşdoğrusal Olmayan Referans Hattı Vektörleri Kullanarak Yönelim Belirleme Yönteminin blok diyagramı ..... | 39 |
| Şekil 4.8 Uzaklık farkının faz farkına etkisini gösteren görsel .....                                               | 42 |
| Şekil 5.1 Veri toplamak ve işlemek üzere kurulan sistemin blok diyagramı .....                                      | 44 |
| Şekil 5.2 Seramik yama tipi GPS anteni .....                                                                        | 45 |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.3 Neo-7 ve Neo-M8T alıcıları.....                                                                                                      | 46 |
| Şekil 5.4 Raspberry Pi Model 3B .....                                                                                                          | 47 |
| Şekil 5.5 Alıcı yerleşimleri (3 metrelik referans hattı).....                                                                                  | 53 |
| Şekil 5.6 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (3 m. referans hattı, Master GPS).....                                                     | 54 |
| Şekil 5.7 Yükseklik sonuçları (3 m. referans hattı, Master GPS) .....                                                                          | 54 |
| Şekil 5.8 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (3 m. referans hattı için Slave 1 GPS) .....                                               | 55 |
| Şekil 5.9 Yükseklik sonuçları (3 m. referans hattı için Slave 1 GPS) .....                                                                     | 56 |
| Şekil 5.10 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (3 m. referans hattı için Slave 2 GPS)<br>.....                                           | 57 |
| Şekil 5.11 Yükseklik sonuçları (3 m. referans hattı için Slave 2 GPS).....                                                                     | 57 |
| Şekil 5.12 Anlık yönelim sonuçları (3 m. referans hattı).....                                                                                  | 59 |
| Şekil 5.13 Konum sonuçlarının birikimli ortalaması alınarak hesaplanan yönelim sonuçları<br>(3m . referans hattı).....                         | 59 |
| Şekil 5.14 120 saniyelik bir pencere içerisinde ortalama alınarak hesaplanan yönelim<br>standart sapma grafiği (3m. referans hattı) .....      | 60 |
| Şekil 5.15 10 metrelik referans hattı için alıcı yerleşimleri .....                                                                            | 61 |
| Şekil 5.16 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (10 m. referans hattı, Master GPS)..                                                      | 62 |
| Şekil 5.17 Yükseklik sonuçları (10 m. referans hattı, Master GPS).....                                                                         | 62 |
| Şekil 5.18 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (10 m. referans hattı, Slave 1 GPS).                                                      | 63 |
| Şekil 5.19 Yükseklik sonuçları (10 m. referans hattı, Slave 1 GPS).....                                                                        | 64 |
| Şekil 5.20 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (10 m. referans hattı, Slave 2 GPS).                                                      | 65 |
| Şekil 5.21 Yükseklik sonuçları (10 m. referans hattı, Slave 2 GPS).....                                                                        | 65 |
| Şekil 5.22 Anlık yönelim sonuçları (10 m. referans hattı).....                                                                                 | 66 |
| Şekil 5.23 Birikimli konum sonuçları kullanılarak elde edilen yönelim sonuçları (10 m.<br>referans hattı).....                                 | 67 |
| Şekil 5.24 Anlık yönelim sonuçlarının 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplanan<br>standart sapma değerleri (10 m. referans hattı) ..... | 67 |
| Şekil 5.25 ANKA platformu üzerine yerleştirilecek GPS alıcıları.....                                                                           | 69 |
| Şekil 5.26 Anlık yönelim sonuçları (Anka platformu).....                                                                                       | 70 |
| Şekil 5.27 Konum sonuçlarının birikimli ortalaması alınarak hesaplanan yönelim sonuçları<br>(Anka Platformu).....                              | 71 |
| Şekil 5.28 Anlık yönelim sonuçlarının 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplanan<br>standart sapma değerleri (Anka Platformu).....        | 71 |
| Şekil 5.29 Anlık yönelim sonuçları (Anka platformu - Ölçeklendirilmiş Veri).....                                                               | 74 |
| Şekil 5.30 Konum sonuçlarının birikimli ortalaması alınarak hesaplanan yönelim sonuçları<br>(Anka Platformu - Ölçeklendirilmiş Veri) .....     | 74 |

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.31 Airbus A380 platformu üzerine yerleşecek anten konumları.....                                                                          | 76  |
| Şekil 5.32 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 1).....                                                                       | 78  |
| Şekil 5.33 Konum sonuçlarının birikimli ortalaması alınarak hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 1).....                 | 78  |
| Şekil 5.34 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 2).....                                                                       | 79  |
| Şekil 5.35 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu–Senaryo2).....                                                           | 80  |
| Şekil 5.36 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 3).....                                                                       | 81  |
| Şekil 5.37 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu,Senaryo 3).....                                                          | 81  |
| Şekil 5.38 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 4).....                                                                       | 82  |
| Şekil 5.39 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 4) .....                                                       | 83  |
| Şekil 5.40 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – 4 Alıcı) .....                                                                        | 84  |
| Şekil 5.41 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – 4 Alıcı) .....                                                         | 84  |
| Şekil 5.42 100-200 m referans hattı için GPS ölçümü alınan noktaların haritadaki görüntüsü .....                                                  | 86  |
| Şekil 5.43 Anlık yönelim sonuçları (100 -200 m. referans hattı).....                                                                              | 87  |
| Şekil 5.44 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (100 -200 m. referans hattı).....                                                               | 88  |
| Şekil 5.45 Anlık yönelim sonuçlarının 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri (100 -200 m. referans hattı) ..... | 88  |
| Şekil 5.46 Dar açılı konumlandırılmış 100-200 m referans hattı için GPS ölçümü alınan noktaların haritadaki görüntüsü .....                       | 90  |
| Şekil 5.47 Anlık yönelim sonuçları (100-200 m. referans hattı dar açılı konumlandırılmış) ...                                                     | 91  |
| Şekil 5.48 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (100-200 m. referans hattı dar açılı konumlandırılmış) .....                                    | 92  |
| Şekil 5.49 1 km referans hattı için GPS ölçümü alınan noktaların haritadaki görüntüsü.....                                                        | 94  |
| Şekil 5.50 Anlık yönelim sonuçları (1 km referans hattı) .....                                                                                    | 95  |
| Şekil 5.51 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (1 km referans hattı).....                                                                      | 95  |
| Şekil 5.52 Dar açılı konfigüreasyonda alıcıların konumlarının harita gösterimi (1 km referans hattı).....                                         | 97  |
| Şekil 5.53 Anlık Yönelim sonuçları (1 km referans hattı dar açılı konumlandırılmış).....                                                          | 98  |
| Şekil 5.54 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (1 km referans hattı dar açılı konumlandırılmış) .....                                          | 98  |
| Şekil 5.55 10 km uzunluğundaki referans hattı için ölçümü alınan konumlar .....                                                                   | 100 |
| Şekil 5.56 Anlık yönelim sonuçları (10 km. referans hattı).....                                                                                   | 101 |
| Şekil 5.57 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (10 km. referans hattı) .....                                                                   | 102 |
| Şekil 6.1 Farklı referans hattı uzunlukları için yuvarlanma açısı standart sapma değerleri .                                                      | 106 |
| Şekil 6.2 Farklı referans hattı uzunlukları için yuvarlanma açısı standart sapma değerleri .                                                      | 106 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 6.3 Farklı referans hattı uzunlukları için yunuslama açısı standart sapma değerleri .. | 107 |
| Şekil 6.4 Farklı referans hattı uzunlukları için yunuslama açısı standart sapma değerleri .. | 107 |
| Şekil 6.5 Farklı referans hattı uzunlukları için sapma açısı standart sapma değerleri.....   | 108 |
| Şekil 6.6 Farklı referans hattı uzunlukları için sapma açısı standart sapma değerleri.....   | 108 |



## ÇİZELGELER

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 WGS84 sistemini dönüşümün parametreleri.....                                                                             | 6  |
| Çizelge 5.1 Kullandığımız alıcıların teknik özellikleri [19,20] .....                                                                | 46 |
| Çizelge 5.2 Toplanan konum verilerinin doğruluk ölçeklendirmeleri (3 m. Referans hattı)....                                          | 48 |
| Çizelge 5.3 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (3 m. doğrudan hesaplama) .....                                                  | 49 |
| Çizelge 5.4 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (3 m. Eşdoğrusal olmayan referans hattı vektörleri kullanarak hesaplama).....    | 49 |
| Çizelge 5.5 Toplanan verilerin doğruluk ölçeklendirmeleri (10 m. Referans hattı).....                                                | 50 |
| Çizelge 5.6 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (10 m. doğrudan hesaplama).....                                                  | 50 |
| Çizelge 5.7 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (10 m. Eşdoğrusal olmayan referans hattı vektörleri kullanarak hesaplama).....   | 51 |
| Çizelge 5.8 Toplanan verilerin doğruluk ölçeklendirmeleri (100 m. Referans hattı).....                                               | 51 |
| Çizelge 5.9 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (100 m. doğrudan hesaplama).....                                                 | 52 |
| Çizelge 5.10 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (100 m. Eşdoğrusal olmayan referans hattı vektörleri kullanarak hesaplama)..... | 52 |
| Çizelge 5.11 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (3 m. referans hattı için Master GPS) .....                                                 | 55 |
| Çizelge 5.12 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (3 m. referans hattı için Slave 1 GPS) .....                                                | 56 |
| Çizelge 5.13 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (3 m. referans hattı için Slave 2 GPS) .....                                                | 58 |
| Çizelge 5.14 Yönelim performansı (3 m uzunluğunda referans hattı).....                                                               | 60 |
| Çizelge 5.15 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (10 m. referans hattı, Master GPS) .....                                                    | 63 |
| Çizelge 5.16 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (10 m. referans hattı, Slave 1 GPS) .....                                                   | 64 |
| Çizelge 5.17 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (10 m. referans hattı, Slave 2 GPS) .....                                                   | 66 |
| Çizelge 5.18 Yönelim performansı (10 m uzunluğunda referans hattı).....                                                              | 68 |
| Çizelge 5.19 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (Anka Platformu için) .....                                                                 | 69 |
| Çizelge 5.20 Yönelim performansı (Anka platformu) .....                                                                              | 72 |
| Çizelge 5.21 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (Anka Platformu modifiye edilmiş veriler) .....                                             | 73 |
| Çizelge 5.22 Yönelim performansı (Anka platformu - Ölçeklendirilmiş Veri).....                                                       | 75 |
| Çizelge 5.23 Konum doğruluk ölçeklendirmeleri. (Airbus A380 Platformu).....                                                          | 77 |
| Çizelge 5.24 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – Senaryo 1) .....                                                           | 79 |
| Çizelge 5.25 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – Senaryo 2) .....                                                           | 80 |
| Çizelge 5.26 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – Senaryo 3) .....                                                           | 82 |
| Çizelge 5.27 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – Senaryo 4) .....                                                           | 83 |
| Çizelge 5.28 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – 4 Alıcı).....                                                              | 85 |
| Çizelge 5.29 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (100 -200 m. referans hattı için).....                                                      | 86 |
| Çizelge 5.30 Yönelim performansı (100-200 m. referans hattı) .....                                                                   | 89 |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 5.31 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (100-200 m. referans hattı dar açılı konumlandırılmış) ..... | 90  |
| Çizelge 5.32 Yönelim performansı (100-200 m. referans hattı dar açılı konumlandırılmış) ..            | 92  |
| Çizelge 5.33 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (1 km. referans hattı için) .....                            | 94  |
| Çizelge 5.34 Yönelim performansı (1 km referans hattı).....                                           | 96  |
| Çizelge 5.35 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (1 km. referans hattı için dar açılı konumlandırılmış) ..... | 97  |
| Çizelge 5.36 Yönelim performansı (1 km. referans hattı dar açılı konumlandırılmış).....               | 99  |
| Çizelge 5.37 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (10 km. referans hattı) .....                                | 101 |
| Çizelge 5.38 Yönelim performansı (10 km. referans hattı) .....                                        | 102 |
| Çizelge 6.1 Referans hattı uzunluklarına göre ortalama yönelim standart sapma sonuçları .....         | 105 |



## SİMGELER

|           |                                      |
|-----------|--------------------------------------|
| $\varphi$ | Enlem                                |
| $\lambda$ | Boylam                               |
| $h$       | Yükseklik                            |
| $\psi$    | Sapma Açısı                          |
| $\theta$  | Yunuslama Açısı                      |
| $\Phi$    | Yuvarlanma Açısı                     |
| $\rho$    | Sözde uzaklık                        |
| $a$       | Ekvatoryal yarıçap                   |
| $f$       | Elipsoidin basıklığı                 |
| $b$       | Kutuplardaki yarıçap                 |
| $e$       | dışmerkezlilik katsayısı             |
| $M_e$     | Meridyen eğrilik yarıçapı            |
| $N_e$     | Dik eğrilik yarıçapı                 |
| $R_m$     | Dünyanın yarıçapının ortalama değeri |

## KISALTMALAR

|       |                                    |                                    |
|-------|------------------------------------|------------------------------------|
| GNSS  | Global Navigation Satellite System | Küresel Uydu Konumlama Sistemi     |
| GPS   | Global Positioning Service         | Küresel Konumlama Sistemi          |
| IMU   | Inertial Measurement Unit          | Ataletsel Ölçüm Ünitesi            |
| WGS84 | World Geodetic System 1984         | Dünya Jeodezik Modeli 1984         |
| ENU   | East North Up                      | Doğu Kuzey Yukarı                  |
| ECEF  | Earth Centered Earth Fixed         | Yeryuvarı Merkezli Yeryuvarı Sabit |
| CEP   | Circular Error Probability         | Dairesel Hata Olasılığı            |
| SEP   | Spherical Error Probability        | Küresel Hata Olasılığı             |
| DRMS  | Distance Root Mean Squared         | Ortalama Karekök Mesafesi          |
| MRSE  | Mean Radial Spherical Error        | Küresel Hatanın Ortalama Yarıçapı  |
| LOS   | Line Of Sight                      | Görüş Hattı                        |
| C/A   | Coarse Acquisition                 | Kaba Belirleme                     |
| PRN   | Pseudorandom noise                 | Sözde Rasgele Gürültü              |
| SVD   | Singular Value Decomposition       | Tekil Değer Ayrışımı               |
| TOA   | Time Of Arrival                    | Varış Süresi                       |

## SÖZLÜKÇE

|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| Ataletsel Seyrüsefer Sistemi | Inertial Navigation Unit |
| Belirten                     | Determinant              |
| Devrik                       | Transpose                |
| Dikgen                       | Orthogonal               |
| Dönüölçer                    | Gyroscope                |
| İvmeölçer                    | Accelometer              |
| Manyetometre                 | Magnetometer             |
| Sapma                        | Yaw                      |
| Yunuslama                    | Pitch                    |
| Yuvarlanma                   | Roll                     |

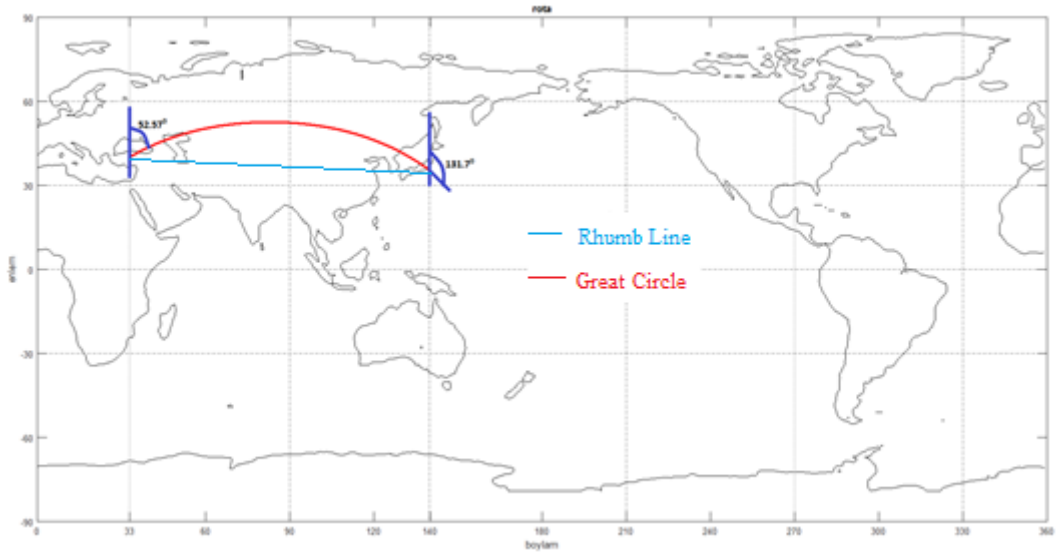
# 1 GİRİŞ

Bir noktadan başka bir noktaya gitmek için yönelim belirleme ihtiyacı tarih boyunca gerekliliğini hiç kaybetmemiştir. Hareketli bir insan veya araç gideceği yere varmak üzere yol noktaları oluşturmak ve yol noktaları arasında gitmesi gereken yönü belirlemek zorundadır. Antik çağda insanlar güneş, yıldızlar ve rüzgarları kullanarak yön tayini gerçekleştirmişlerdir. 11. Yüzyılda Çin’de ilk pusulalar kullanılmaya başlanmıştır. Pusula ile yön bulmaya başlayan insanlar Şekil 1.1 ile gösterildiği gibi harita üzerinde bir noktadan bir noktaya gitmek için nasıl bir rota izlenmesi gerektiğini gösteren düz çizgiler (ing. rhumb line, loxodromic navigation, kerte hattı) çizmiş ve bu çizgileri pusuladaki yön bilgisiyle birlikte kullanarak seyrüsefer gerçekleştirmişlerdir [1]. Bu tip haritalar Portolan haritası (ing. Portolan chart) veya kılavuz kitabı olarak bilinmektedir. Bu tür seyrüsefer gerçekleştiren insanlar bir noktadan başka bir noktaya giderken sabit bir yönde sürekli ilerleyerek gideceği yere varmışlardır. Bu yöntem güvenli bir yöntem olsa da dünyanın yuvarlaklığını hesaba katınca yolu uzatmaya sebebiyet verecek şekilde verimsiz bir seyrüsefer tipidir.

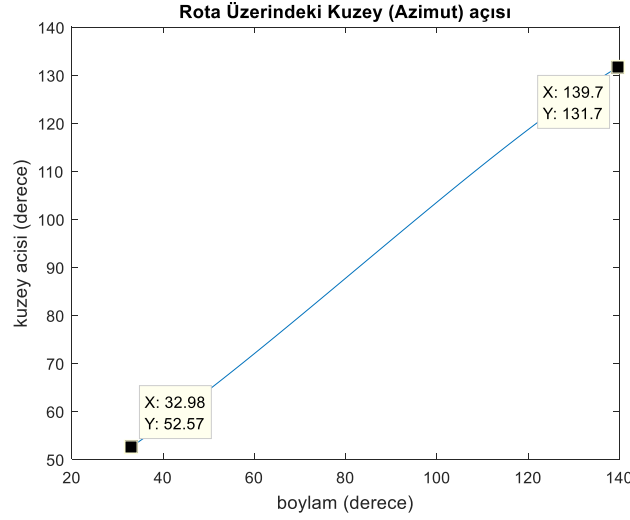


Şekil 1.1 Portolan Haritası

Günümüzde de kullanılan ve bir noktadan başka bir noktaya en kısa mesafeden gitmeye yarayan yöntem büyük daire seyrüseferi veya ortodromik seyrüsefer (ing. Great Circle Navigation, orthodromic navigation) olarak adlandırılmaktadır. Büyük daire seyrüseferinde bir noktadan başka bir noktaya giderken yönelim sürekli hesaplanarak dünyanın eliptik yapısı göz ardı edilmez. Şekil 1.2 ile Ankara Esenboğa havalimanından Tokyo Haneda Havalimanına gitmek isteyen bir uçak için hesaplanan rota görülmektedir, Şekil 1.3 ise uçağın rota üzerine yapması gereken kuzey açısı yani kuzey yöneliminin grafiği gösterilmiştir. Uçak bu uçuşunu yaklaşık 8758 kilometre olacak şekilde gerçekleştirecektir. Aynı yolculuğu Portolan haritasında olduğu gibi 93.08 derecelik tek bir kuzey açısında ilerleyerek oluşturduğu Şekil 1.2’de mavi çizgiyle gösterilen rotada kerte hattı üzerinden yapmış olsaydı yaklaşık 9413 km gitmesi gerekcekti.



Şekil 1.2 Ankara Tokyo arasında çizilen rotalar



Şekil 1.3 Ankara'dan Tokyo'ya giden en kısa yol üzerinde gerçekleştirilmesi gereken yönelim grafiği

Seyrüsefer yapan araç sürekli olarak yönelimini belirlemek, bulunduğu konuma ve gitmek istediği konuma göre gelecekte olması gereken yönelimini kestirmek ve buna göre yönelim denetimi yapmak zorundadır.

Hassas konum ihtiyacı bulunan durumlarda sinyallerin geliş süresinden konum sonucu veren radyo tabanlı seyrüsefer sistemleri kullanılmaktadır. Karasal sistemler, uydu tabanlı sistemler ve farklı sinyal tipleri kullanan çeşitli radyo tabanlı seyrüsefer sistemleri bulunmaktadır. Yüksek hassasiyete sahip sistemlerin frekansı göreceli olarak yüksek olmaktadır ve bu sistemlerde kullanıcının görüş hattı üzerinde (LOS) bulunması gerekmektedir. Göreceli olarak düşük frekans ve düşük hassasiyete sahip sistemlerin ise görüş hattı üzerinde bulunmasına ihtiyaç yoktur.

İlk uydu tabanlı sistemler (ABD'nin Transit isimli sistemi, US Navy Navigation System ve Rusların Tsikada sistemi vb.) iki boyutlu konum belirleme servisi sağlamaktaydı. Bu sistemlerin kullanıcıları alıcılarının konumlarını hesaplaması için 10 ile 15 dakika arasında beklemleri gerekmekteydi. Bu sistemler yavaş ve deniz seviyesindeki gemi seyrüseferi için uygundu ancak yüksek hızlardaki kullanıma uygun değildi.

1960'lı yıllarda aralarında ABD Savunma Bakanlığı öncülüğünde üç boyutlu pozisyon belirlemek üzere NAVSTAR GPS isimli uydu tabanlı sistemlerin geliştirilmesi için çalışmalara başlanmıştır. NAVSTAR GPS günümüzde uygun GPS alıcıları

vasıtasıyla sürekli olarak dünyanın her bölgesine kullanıcı sayısı sınırlaması olmaksızın 3 boyutlu hassas konum, hız ve zaman bilgisi sağlamaktadır [2].

Rusya tarafından geliştirilen ve NAVSTAR GPS sisteminin bir benzeri olan sistem GLONASS (Global Navigation Satellite System) olarak adlandırılmaktadır. Çin tarafından geliştirilen bölgesel uydu tabanlı radyo seyrüsefer sistemi ise Beidou olarak bilinmektedir [3].

### **1.1 Tezin Amacı**

Hava araçlarında yönelim belirleme işlemleri için kullanılan birincil sistem ataletsel seyrüsefer sistemleridir (ing. Inertial Measurement Unit: IMU). Bu sistemler bünyesinde taşıdığı ivmeölçerler, dönüölçerler ve manyetometrelerin sonuçlarını referans aldıkları ilk yönelim bilgisine sürekli olarak entegre ederek yönelim hesaplayan sistemlerdir. Sensör sonuçlarının hatalı olması ve yönelim sonuçlarının bu hatalı sonuçların akümüle edilerek hesaplanması sistemin zamanla birlikte hatasının da artmasına yol açmaktadır. Bu sebeple seyrüsefer sistemlerinde ataletsel seyrüsefer sistemleriyle birlikte GPS alıcıları da kullanılmaktadır. GPS alıcıları konum, hız ve zaman çıktısı veren sistemlerdir. Bu çalışma kapsamında sadece GPS alıcıları kullanarak, ataletsel seyrüsefer sistemlerinden bağımsız bir yönelim belirleme sistemi geliştirilmesi, farklı büyüklükteki uygulamalar için kullanımının getireceği faydanın ortaya çıkarılması ve literatürdeki yöntemlerin karşılaştırılması hedeflenmiştir.

### **1.2 Tezin Kapsamı**

Bölüm 2’de yönelim kavramı, koordinat sistemleri ve koordinat sistemlerinin birbiri arasında dönüşümü için kullanılan yöntemler verilmiştir. Bölüm 3’te günümüzde kullanılan seyrüsefer sistemlerinin en önemli bileşenlerinden birisi olan uydu tabanlı seyrüsefer sistemlerinden en bilineni ve yaygın kullanılanı GPS sistemi hakkında ayrıntılı bilgi verilmektedir. Bölüm 4’te GPS alıcılarının yönelim sonucu vermesi için kullanılan yöntemlerden ve yaklaşımlardan bahsedilmektedir. Bölüm 5’te GPS kullanılarak elde edilen konum ölçümü sonuçları, yönelim hesaplamaları ve bu hesaplamaların çözümlemeleri yapılmaktadır. Bölüm 6’da tez kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2 YÖNELİM KAVRAMI VE KOORDİNAT SİSTEMLERİ

### 2.1 Koordinat Sistemleri Ve Dönüşüm Matrisleri

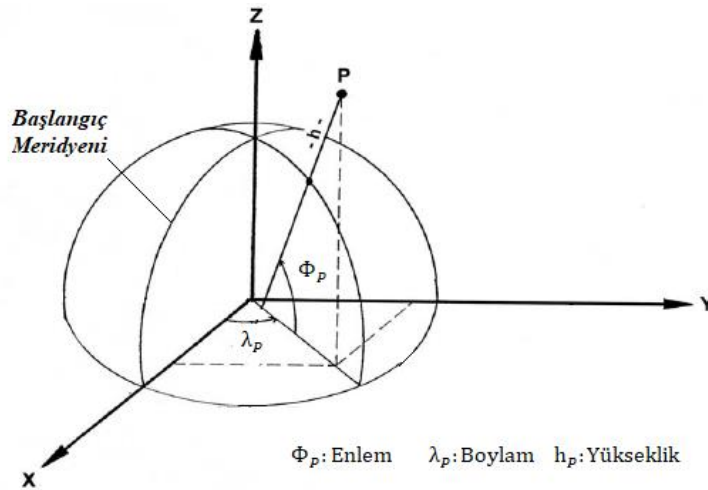
Bir hava aracının konumunu, hız vektörünü ve yönelimini tanımlamak için öncelikle koordinat sistemlerini ve ilgili çerçeveleri tanımlamamız gerekmektedir.

#### 2.1.1 Koordinat Sistemleri

Bu başlık altında yer alan alt başlıklarda koordinat sistemleri hakkında gerekli temel bilgiler sunulmuştur.

##### 2.1.1.1 Jeodezik Koordinat Sistemi (WGS 84)

GPS uygulamalarında dünyanın standart fiziksel modeli olarak WGS84 (World Geodetic System 1984) jeodezik sistemi kullanılmaktadır. Bu model GPS alıcılarında kestirilen enlem, boylam ve yükseklik sonuçlarının hassasiyetle türetilmesi için kullanılmaktadır. Yeryuvarının kendine özgü yapısı WGS84 elipsoid modeli Şekil 2.1 ile verilen görsel ile ifade edilebilmektedir. Bu modelde dünyanın ekvatoryal düzlemdeki yarıçapı (a) 6378,137 km kutup düzleminde yarıçapı (b) ise 6356,752 km olarak kabul edilmektedir. [3]



Şekil 2.1 Dünyanın elipsoid modeli

Çizelge 2.1 ile verilen koordinat dönüşüm parametreleri WGS84 sisteminin diğer koordinatlara dönüşümünü sağlarken kullanılan parametrelerdir.

Çizelge 2.1 WGS84 sistemini dönüşümün parametreleri

| Parametre | Parametre Tanımları                  |
|-----------|--------------------------------------|
| $a$       | Ekvatoryal yarıçap                   |
| $f$       | Elipsoidin basıklığı                 |
| $b$       | Kutuplardaki yarıçap                 |
| $e$       | Dışmerkezlilik katsayısı             |
| $N_e$     | Dik eğrilik yarıçapı                 |
| $R_m$     | Dünyanın yarıçapının ortalama değeri |

Çizelge 2.1 ile verilen koordinat dönüşüm parametreleri için denklemler aşağıdaki gibidir [2]:

$$a = 6378,137 \text{ km}$$

$$e^2 = 0.00669437999014$$

$$R_m = 6371 \text{ km}$$

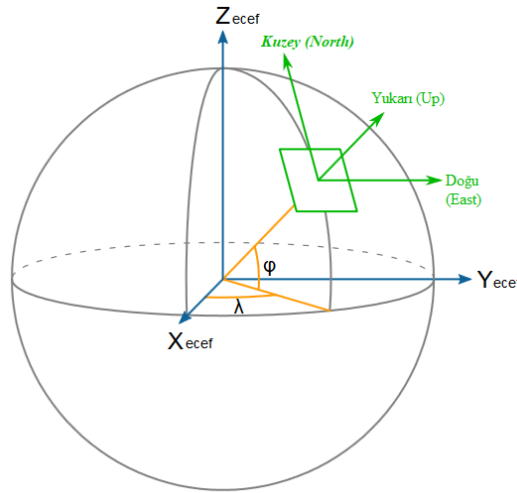
$$f = 0.0034$$

$$b = 6,356.752 \text{ km}$$

$$N_e = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_p}}$$

### 2.1.1.2 Yeryuvarı Merkezli Yeryuvarı Sabit (ECEF: Earth Centered Earth Fixed) Koordinat Sistemi

Şekil 2.2 ile gösterilen elipsoid modelin yerleştiği X,Y,Z eksenleri ECEF koordinat sisteminin eksenlerini oluşturmaktadır. Bu koordinat sisteminde (0,0,0) orijin noktası dünyanın kütle merkezi olarak kabul edilmektedir. Orijin noktasından kuzey kutbuna doğru çizilen doğru z eksenini, ekvatoryal düzlemde Greenwich'den geçen başlangıç meridyenini kesen doğru x eksenini oluşturmaktadır. x ve z eksenlerine sağ el kuralına göre dik duran eksen ise y eksenini oluşturmaktadır. Dünya ile aynı hızda dönen bu sistemde, dünya üzerinde bulunan herhangi bir noktanın koordinatları sabittir. Bu koordinat sistemi, diğer koordinat sistemleri arasında dönüşüm yapılırken ara basamak olarak kullanılan önemli bir referans koordinat sistemidir. [6]



Şekil 2.2 Seyrüsefer koordinat sistemi ve ECEF koordinat sistemi [26]

### 2.1.1.3 Seyrüsefer Koordinat Sistemi

Seyrüsefer koordinat sistemi platformun yönelim ölçümünün referansı olarak kullanılmaktadır. Bu koordinat sistemi ENU (East, North, Up), “local geodetic”, “local level” veya “navigation frame” olarak da bilinmektedir. Bu koordinat sisteminin eksen ve orijin tanımlamaları aşağıdaki gibidir.

Orijin: Çoklu anten sisteminde master anteninin bulunduğu yer olarak seçilir.

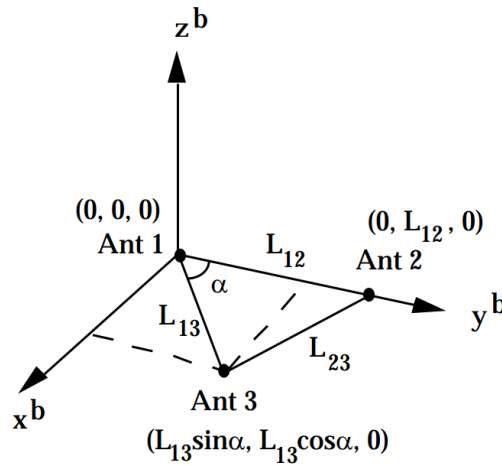
X-ekseni (East): Elipsoid doğu yönüne doğru

Y-ekseni (North): Elipsoid kuzey yönüne doğru

Z-ekseni (Up): Elipsoid normalden yukarıya doğru ve x-y eksenlerine sağ el kuralına göre dik yönde olacak şekilde tanımlanmıştır.

#### 2.1.1.4 Anten – Platform Gövde Çerçevesi Koordinat Sistemi

Anten gövde çerçevesi koordinat sistemi genellikle üç GPS anteninin bir düzlem oluşturacak şekilde seçilmesiyle şekillendirilmektedir. Anten veya platformun düzlemi tanımlandıktan sonra koordinat sistemi kurulabilir. Anten 1'in olduğu nokta merkez olarak seçilir, y-ekseni (sapma doğrultusu) ise Anten 1'den Anten 2'ye doğru olarak seçilir. x-ekseni ise y-eksenine dik ve Anten 1, Anten 2 ve Anten 3'ün aynı düzlemde (x-y düzlemi) yer alacağı şekilde seçilir. Z-ekseni ise x-y eksenine sağ el kuralına göre dik olarak oluşturulur [10]. Anten konumları ve gövde çerçevesi için oluşturulan görsel Şekil 2.3 ile verilmiştir.

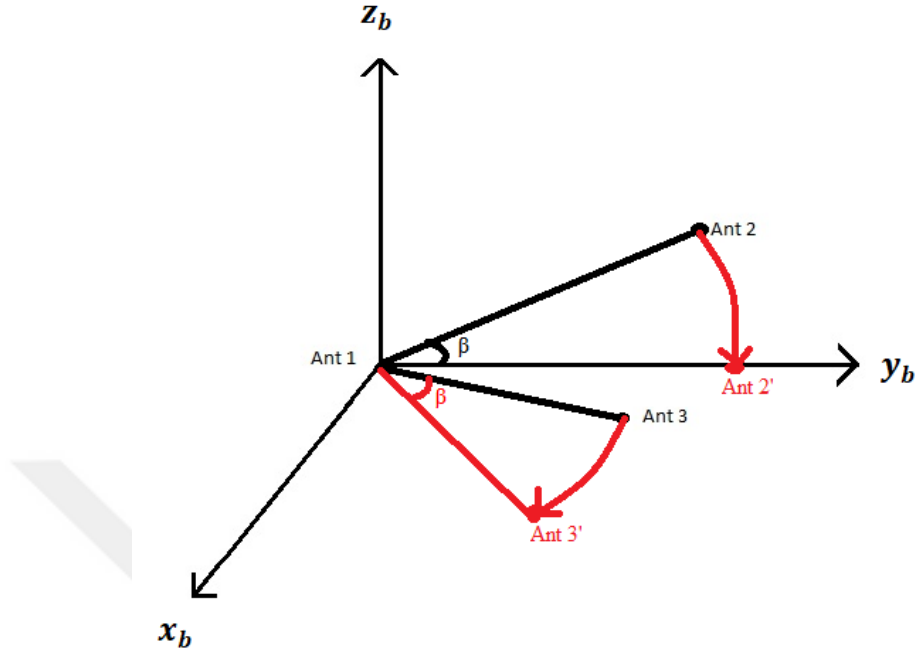


Şekil 2.3 Üç antenle oluşturulmuş gövde çerçevesi koordinat sistemi [10]

Anten gövde çerçevesi koordinat sistemi sabit ve antenlerin birbirine göre göreceli konumu bütün kinematik hareketler için aynı kalacak şekildedir.

Anten cisim çerçevesi koordinat sistemi araç platform koordinat sistemiyle aynı veya paralel olabilir. Eğer böyleyse anten cisim çerçevesi yönelim bilgisi ile araç platform

yönelim bilgisi eşit olacaktır. Ancak böyle olmadığı durumda bu iki koordinat sistemi için hizalama açıları bulunmalı ve düzeltilmelidir.



Şekil 2.4 Platform gövde çerçevesi ile anten gövde çerçevesinin hizalanması

Şekil 2.4 ile gösterilen sistemde anten çerçevesi ile araç çerçevesi Anten 2 ve Anten 3 konumunun z eksenini etrafında döndürülmesiyle hizalanmış olacaktır. Z eksenini etrafında döndürme işlemi için seyrüsefer koordinat sistemindeki koordinatlar Eşitlik 2.1'deki şekilde döndürme matrisi ile çarpılarak hizalanmış koordinatlar buluncaktır.

$$\begin{pmatrix} E' \\ N' \\ U' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\beta & \sin\beta & 0 \\ -\sin\beta & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E \\ N \\ U \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

### 2.1.2 Dönme Matrisi ve Koordinat Sistemleri Arasındaki Dönüşümler

İki koordinat sistemini eksenleri üst üste getirmek için taşıma (translation) ve döndürme (rotation) işlemleri kullanılmaktadır. Koordinat sistemlerine uygulanacak taşıma işlemleri yönelimi değiştirmemektedir. Bu sebeple yönelim hesaplamalarında iki koordinat sisteminin merkezinin aynı olduğunu kabul edilir. Bir sistem diğer koordinat sistemine koordinat eksenleri üzerinde ardışık dönüşümler uygulayarak dönüştürülebilir Bu dönüşümler Euler açıları ile karakterize edilmektedir.

### 2.1.3 Euler Açıları

Katı bir cismin duruşunu istenilen herhangi bir yönelime getirmek için gövde çerçevesinin eksenleri etrafında döndürmek gerekmektedir. Bu yönlendirme işlemi için cismi gövde merkezli referans sistemin üç eksenini etrafında art arda döndürmek yeterlidir. Aynı şekilde koordinat sistemleri de başka bir koordinat sistemine ardışık döndürme işlemleriyle dönüştürülebilir ve her bir dönüşüm bir matris ile ifade edilebilir. Örneğin bir koordinat sistemi sırasıyla x-ekseni etrafında  $\theta$  açısı kadar döndürülerek  $(x',y',z')$  koordinat sistemi, bu sistem  $y'$  eksenini etrafında  $\Phi$  açısı kadar döndürülerek  $(x'',y'',z'')$  koordinat sistemi ve bu sistem  $z''$  eksenini etrafında  $\psi$  açısı kadar döndürülerek istenen her koordinat sistemine dönüştürülebilir. Bu örnekte eksenler üzerinde döndürme sıralaması x-y-z şeklinde sıralandı. Ancak eksenleri döndürme sıralaması tamamen seçime bağlıdır ve bir koordinat sistemi herhangi bir sıralama uygulanarak bir başka koordinat sistemine dönüştürülebilir. Bu sıralamalardan toplamda 12 farklı sıralama, 12 farklı Euler açı kümesi ve 12 farklı dönme matrisi bulunmaktadır [9,16]. Dönüşüm sıralaması; işlem kolaylığı ve rahat fiziksel ifade elde etmek üzere seçilebilir. Biz bu çalışmada bir hava aracının yöneliminin tanımlanması için en sık kullanılan z-x-y sıralamasını kullanacağız. Bu dönüşümde:

x-ekseni etrafında  $\theta$  yunuslama (ing. pitch) açısı kadar uygulanacak döndürme işlemi için dönüşüm matrisi:

$$R_x(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

-y-ekseni etrafında  $\Phi$  yuvarlanma (ing. roll) açısı kadar uygulanacak döndürme işlemi için dönüşüm matrisi:

$$R_y(\Phi) = \begin{pmatrix} \cos\Phi & 0 & -\sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

z-ekseni etrafında  $\psi$  sapma (ing. yaw) açısı kadar uygulanacak döndürme işlemi için dönüşüm matrisi:

$$R_z(\psi) = \begin{pmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

olarak verilmektedir.

#### 2.1.4 Dönme Matrisi

Euler açılarını kullanacak şekilde A çerçevesindeki bir koordinat sistemini z-x-y eksenleri etrafında döndürerek B çerçevesindeki koordinat sistemine çevirmek için aşağıdaki matris çarpımı kullanılır.

$$\begin{aligned} R_{\psi\theta\Phi} &= R_y(\Phi)R_x(\theta)R_z(\psi) \\ &= \begin{pmatrix} \cos\Phi & 0 & -\sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} c(\Phi)c(\psi) - s(\Phi)s(\theta)s(\psi) & c(\Phi)s(\psi) + s(\Phi)s(\theta)c(\psi) & -s(\Phi)c(\theta) \\ -c(\theta)s(\psi) & c(\theta)c(\psi) & s(\theta) \\ s(\Phi)c(\psi) + c(\Phi)s(\theta)s(\psi) & s(\Phi)s(\psi) - c(\Phi)s(\theta)c(\psi) & c(\Phi)c(\theta) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Burada:

$c$ : cosinus

$s$ : sinüs fonksiyonlarını ifade etmektedir.

Yönelim (dönme) matrisi belirteni (determinant) bire eşit ve dikgen (orthogonal) bir matrisdir. Dikgen olduğu için devriği (transpose) tersine eşittir.

$$\det R = 1$$

$$R^T = R^{-1}$$

İki koordinat sistemi arasındaki yönelim, dönme matrisi ile eksiksiz olarak tanımlanır.

### 2.1.5 Koordinat Sistemleri Arasındaki Dönüşümler

Tez kapsamında kullanılan koordinat sistemleri arasındaki dönüşümler aşağıda verilmiştir.

#### 2.1.5.1 Jeodezik Koordinat Sistemi (WGS84) Yeryuvarı Merkezli Yeryuvarı Sabit Koordinat Sistemi (ECEF) dönüşümü

GPS alıcılarının jeodezik koordinat sistemindeki konum çıktılarını yeryuvarı merkezli yeryuvarı sabit koordinat sisteminde karşılık gelen konumlara dönüştürmek için 2.6, 2.7 ve 2.8 Eşitlikleri kullanılır. Bu eşitliklerde yer alan parametreler daha önceki bölümde tanımlanmıştır [16].

$$X_{ECEF} = \left( \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \Phi}} + h \right) \cos \Phi \cos \lambda \quad (2.6)$$

$$Y_{ECEF} = \left( \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \Phi}} + h \right) \cos \Phi \sin \lambda \quad (2.7)$$

$$Z_{ECEF} = \left( \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \Phi}} + h \right) \sin \Phi \quad (2.8)$$

#### 2.1.5.2 ECEF Koordinat Sistemi Seyrüsefer (ENU) Koordinat Sistemi Dönüşümü

Seyrüsefer koordinat sisteminin orjini ile ECEF koordinat sisteminin orjini üst üste değildir. Bu sebeple ECEF konumlarını seyrüsefer koordinat sisteminde ifade etmek için dönüşüm ile birlikte orjinin taşıma işlemi de gerçekleştirilmelidir. Orjin bizim çalışmamızda Master GPS Anteninin yani Anten 1'in konumu olarak alınacaktır.

$$\begin{pmatrix} E \\ N \\ U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \lambda_m & \cos \lambda_m & 0 \\ -\sin \Phi_m \cos \lambda_m & -\sin \Phi_m \sin \lambda_m & \cos \Phi_m \\ \cos \Phi_m \cos \lambda_m & \cos \Phi_m \sin \lambda_m & \sin \Phi_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i^{ECEF} - x_m^{ECEF} \\ y_i^{ECEF} - y_m^{ECEF} \\ z_i^{ECEF} - z_m^{ECEF} \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

$(x_m^{ECEF}, y_m^{ECEF}, z_m^{ECEF})$ : referans noktası (master antenin ECEF konumu)

$(x_i^{ECEF}, y_i^{ECEF}, z_i^{ECEF})$ : i'ninci "slave" antenin ECEF konumu

$(E, N, U)$ : i'ninci "slave" antenin seyrüsefer çerçevesi konumu

$\Phi_m$ : Master Antenin GPS alıcısı tarafından ölçülen enlemi (WGS84)

$\lambda_m$ : Master Antenin GPS alıcısı tarafından ölçülen boylamı (WGS84)

$$\begin{pmatrix} E_m \\ N_m \\ U_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

Seyrüsefer çerçevesinde master antenin konumunu merkez noktası olarak seçtiğimiz için bu koordinat sistemindeki konumu her zaman (0,0,0) olacaktır.

### 2.1.5.3 Seyrüsefer (ENU) koordinat sistemi Gövde Çerçevesi Dönüşümü

Seyrüsefer koordinat sistemi ile gövde çerçevesi koordinat sistemi arasındaki dönüşüm Euler açılarını yani yönelim parametrelerini belirlemektedir. Dolayısıyla iki koordinat sisteminin de eksenleri biliniyorsa Eşitlik 2.11 ile verilen formül kullanılarak dönüşüm matrisi ve yönelim bulunabilmektedir [9].

$\psi$ ; sapma açısı

$\theta$ ; yunuslama açısı

$\Phi$ ; yuvarlanma açısı

$$\begin{pmatrix} x^b \\ y^b \\ z^b \end{pmatrix} = R_y(\Phi)R_x(\theta)R_z(\psi) \begin{pmatrix} E \\ N \\ U \end{pmatrix} = R(\Phi, \theta, \psi) \begin{pmatrix} E \\ N \\ U \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

$$\begin{pmatrix} x^b \\ y^b \\ z^b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c(\Phi)c(\psi) - s(\Phi)s(\theta)s(\psi) & c(\Phi)s(\psi) + s(\Phi)s(\theta)c(\psi) & -s(\Phi)c(\theta) \\ -c(\theta)s(\psi) & c(\theta)c(\psi) & s(\theta) \\ s(\Phi)c(\psi) + c(\Phi)s(\theta)s(\psi) & s(\Phi)s(\psi) - c(\Phi)s(\theta)c(\psi) & c(\Phi)c(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E \\ N \\ U \end{pmatrix}$$

Yönelim parametrelerinin seyrüsefer çerçevesi ile gövde çerçevesi arasındaki dönüşüm matrisinden çıkarılışı için Eşitlik 2.11, 2.13 ve 2.14 kullanılmaktadır.

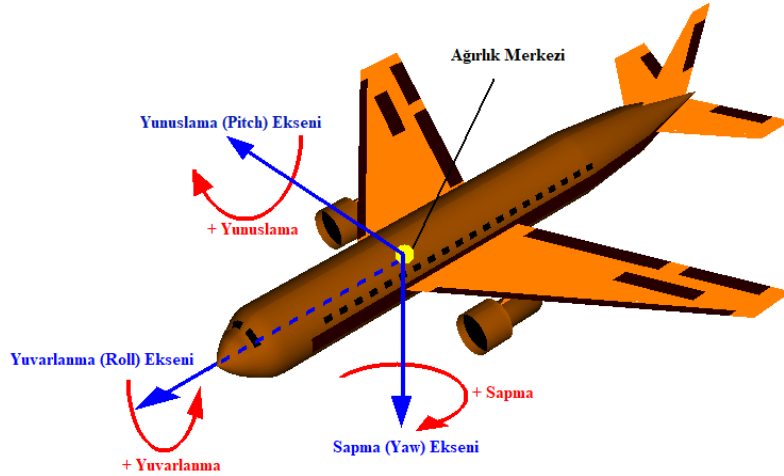
$$\psi = -\tan^{-1}\left(\frac{R(2,1)}{R(2,2)}\right) \quad (2.12)$$

$$\theta = \sin^{-1}(R(2,3)) \quad (2.13)$$

$$\Phi = -\tan^{-1}\left(\frac{R(1,3)}{R(3,3)}\right) \quad (2.14)$$

## 2.2 Yönelim Geometrisi

Bir hava aracının yönelimi yuvarlanma, yunuslama ve sapma parametreleri ile ifade edilmektedir. Bu parametreler Şekil 2.5 ile gösterildiği gibi referans çerçevesinin oluşturduğu seyrüsefer koordinat sistemi ile hava aracının gövde çerçevesi arasındaki sapmadan kaynaklanan açı parametreleridir. Yönelim parametreleri seyrüsefer koordinat sistemi ile gövde koordinat sistemi arasında dönüşümü yapan Euler dönüşüm açıları olarak da ifade edilebilir.

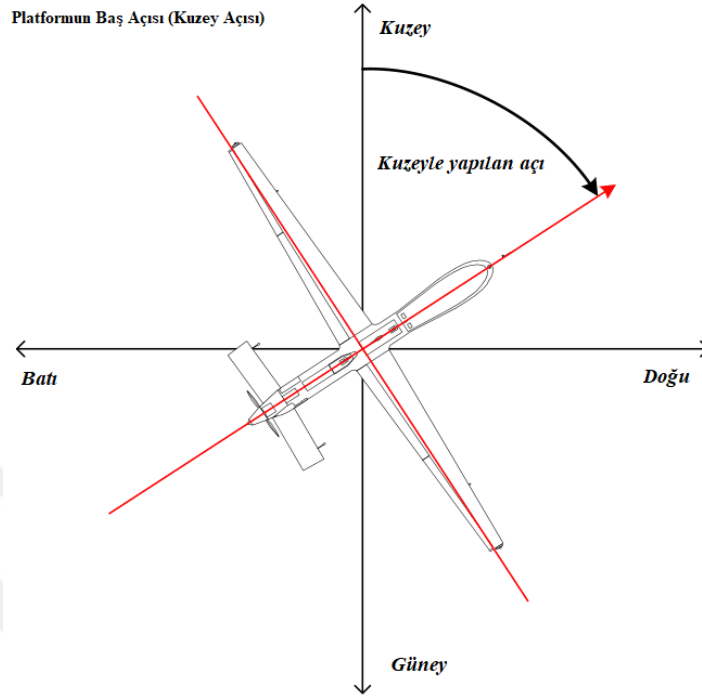


Şekil 2.5 Bir hava aracının 3 eksenli yönelim geometrisi [8]

### Dik Eksen (Sapma Eksen)

Dik eksen veya sapma eksen olarak adlandırılan eksenin orijini kütle merkezidir ve hava aracından aşağı yönü gösteren eksendir. Bu eksen etrafındaki hareket sapma olarak adlandırılır, seyrüsefer koordinat sisteminde referans olarak gerçek kuzey eksenini aldığı için platformun kuzey açısını belirtmektedir. Şekil 2.6 ile gösterildiği

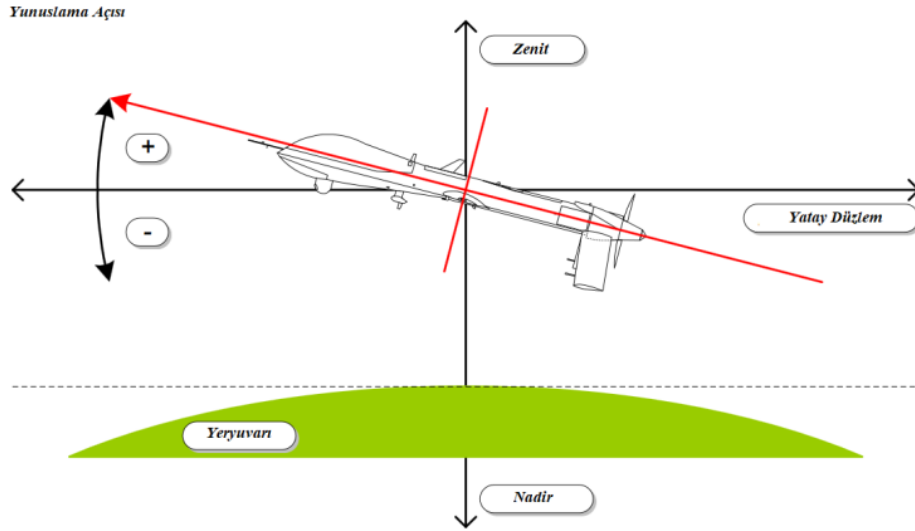
gibi hava aracının kuyruktan buruna doğru oluşturduğu vektöre ile kuzey kutbundan çizilen yayın oluşturduğu açı kuzey açısını belirtmektedir.



Şekil 2.6 Bir hava aracının dik eksende yönelim geometrisi [25]

### Yanal Eksen (Yunuslama Eksen)

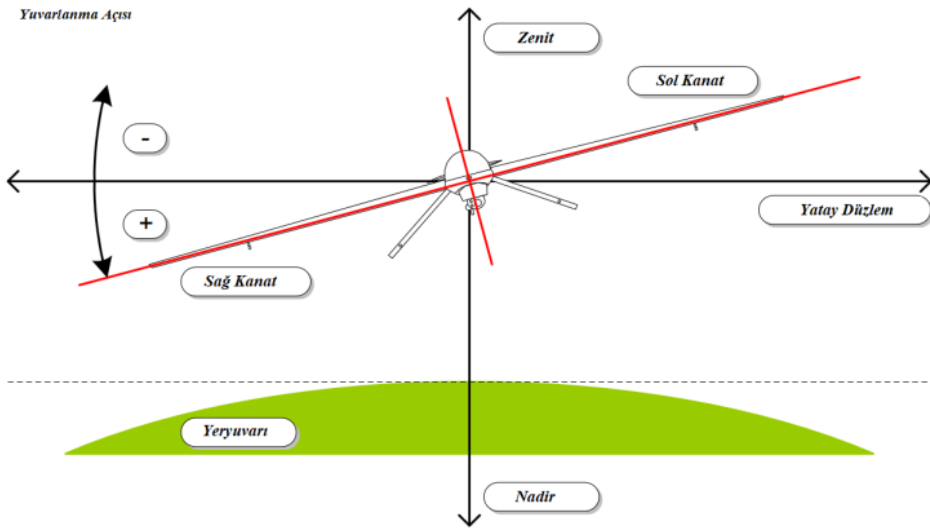
Yanal eksen veya yunuslama eksen olarak adlandırılan eksenin orijini kütle merkezidir ve hava aracının sağ kanadı gösteren eksenidir. Bir kanattan diğerine çizilen doğruya paraleldir. Bu eksen etrafında oluşan hareket yunuslama hareketi olarak adlandırılır. Pozitif yunuslama açısı Şekil 2.7 ile gösterildiği gibi uçağın burnunu havaya kuyruğunu yere doğru yönlendirdiğinde oluşturduğu yönelim durumunda oluşmaktadır.



Şekil 2.7 Bir hava aracının yanıl eksende yönelim geometrisi [25]

### Boy Ekseni (Yuvarlanma Ekseni)

Boy ekseni veya yuvarlanma ekseni olarak adlandırılan eksenin orijini kütle merkezidir ve hava aracının burnunu gösteren eksenler. Kuyruktan burna doğru çizilen doğruya paraleldir. Bu eksen etrafında oluşan hareket yuvarlanma hareketi olarak ifade edilir. Pozitif yuvarlanma açısı Şekil 2.8 ile gösterildiği gibi uçağın sol kanadının sağ kanadından yukarıda olduğu durumda oluşmaktadır.



Şekil 2.8 Bir hava aracının boy ekseninde yönelim geometrisi [25]

### 3 KÜRESEL KONUMLANDIRMA UYDU SİSTEMLERİ

Seyrüsefer bir aracı bir yerden başka bir yere götürme bilimi olarak tanımlanmaktadır. Herkes günlük hayatta bir yerden başka bir yere giderken çevresinde bulunan yer işaretlerini kullanarak seyrüsefer yapmaktadır. Bazı durumlarda konum bilgisinin daha hassas bilinmesi gerekebilmektedir. Bu durumda konum sonucu veren radyo tabanlı seyrüsefer sistemleri kullanılmaktadır. Karasal sistemler, uydu tabanlı sistemler ve farklı sinyal tipleri kullanan çeşitli radyo tabanlı seyrüsefer sistemleri bulunmaktadır. Yüksek hassasiyete sahip sistemlerin frekansı göreceli olarak yüksek olmaktadır ve bu sistemlerde kullanıcının görüş hattı üzerinde (LOS) bulunması gerekmektedir. Göreceli olarak düşük frekans ve düşük hassasiyete sahip sistemlerin ise görüş hattı üzerinde bulunmasına ihtiyaç yoktur.

İlk uydu tabanlı sistemler (ABD'nin Transit isimli sistemi US Navy Navigation System, Rusların Tsikada sistemi) iki boyutlu konumlama servisi sağlamaktaydı. Bu sistemlerin kullanıcıları alıcılarının konumlarını hesaplaması için 10 ile 15 dakika arasında beklemleri gerekmekteydi. Bu sistemler yavaş ve deniz seviyesindeki gemi seyrüseferi için uygundu ancak yüksek hızlardaki kullanıma uygun değildi.

1960'lı yıllarda ABD Savunma Bakanlığı öncülüğünde üç boyutlu konum belirlemek üzere NAVSTAR GPS isimli uydu tabanlı sistemlerin geliştirilmesi için çalışmalara başlanmıştır. İlk uydusu 1978 senesinde yörüngeye oturan ve 1993'te 24 uyduyla küresel kapsamda kullanılabilir hale gelen NAVSTAR GPS günümüzde uygun GPS alıcıları vasıtasıyla sürekli olarak dünyanın her bölgesine kullanıcı sayısı sınırlaması olmaksızın 3 boyutlu hassas konum, hız ve zaman bilgisi sağlamaktadır.

Rusya tarafından geliştirilen NAVSTAR GPS sisteminin bir benzeri GLONASS (Global Navigation Satellite System) olarak adlandırılmaktadır. Çin tarafından geliştirilen bölgesel uydu tabanlı radyo seyrüsefer sistemini ismi ise Beidou olarak bilinmektedir.

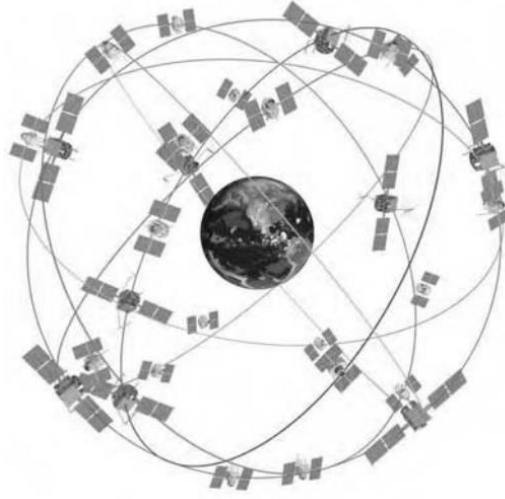
Aşağıdaki başlıklarda uydu tabanlı radyo seyrüsefer sistemlerinin en yaygın kullanılan NAVSTAR GPS sistemi ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

### **3.1 GPS Alt Sistemleri**

GPS sistemi Uzay Bölümü, Kontrol Bölümü ve Kullanıcı Bölümü olmak üzere üç ana alt bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler aşağıdaki başlıklarda incelenmektedir.

#### **3.1.1 Uzay Bölümü**

NAVSTAR GPS sisteminde uzay bölümünde 14 Mart 2018 tarihi itibarıyla 31 fonksiyonel uydu bulunmaktadır. Uydular dünya merkezli olmak üzere altı farklı yörünge üzerinde hareket etmektedir. Bu yörüngeler A,B,C,D,E ve F olarak adlandırılmaktadır. A yörüngesinde 4, B, C ve E yörüngesinde 5, F yörüngesinde ise 6 uydu bulunmaktadır. Uydu sayıları güncel uydu bloklarının yörüngeye yerleştirilmesi ve bazı uyduların ömrünü doldurması sebebiyle farklı sayıdadır. Ancak her bir yörüngede en az dört uydu bulunmaktadır. Uydular teknolojilerine göre bloklara ayrılmaktadır, şu an 1 Blok IIA, 11 Blok IIR, 7 Blok IIR-M ve 12 Blok IIF uyduları fonksiyonel olarak uzayda yer almaktadır. GPS III/IIF uydu bloğu ise üretim aşamasındadır ve 2018 içerisinde ilk kez fırlatılacaktır. Bütün uydular sivil L1 C/A ve askeri P(Y) sinyali yaymaktadır. Bunlara ek olarak L2C sinyali 19 uydu (IIR-M ve IIF) L5 sinyali (1176.45 MHz) 12 uydu (IIF) tarafından yayınlanmaktadır. Dördüncü nesil sivil sinyal olan L1C sinyali ise III/IIF bloğu ile yayınlanmaya başlanacaktır. Bir GPS uydusunun yörünge periyodu 11 saat 58 dakikadır. Yörüngeler ekvatoryal düzlemi  $55^{\circ}$  açıyla kesecek şekilde birbirinden  $60^{\circ}$  açı farkıyla ayrıştırılmıştır. Yörüngelerin yarıçapı 26600 km yani yerden yüksekliği yaklaşık 20200 km olacak şekildedir [21].

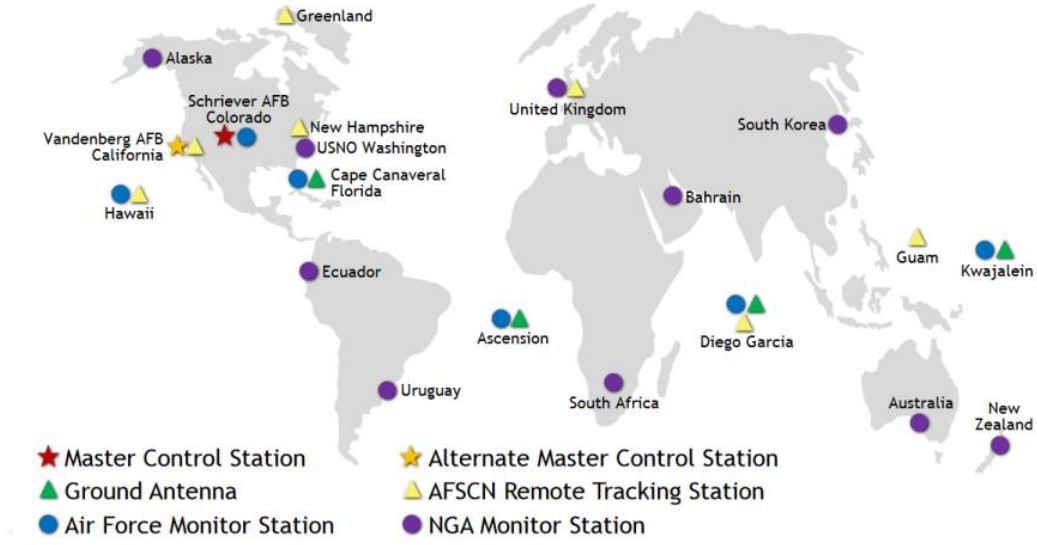


Şekil 3.1 GPS uydu ağı [2]

### 3.1.2 Kontrol Bölümü

Kontrol bölümü uydu bölümünü izleyen, komuta ve denetimini sağlayan bölümdür. Kontrol bölümü uydu hareketini izleyerek gerekli yörünge düzeltme komutlarını, zaman bilgisini izleyerek gerekli zaman düzeltme komutlarını uydulara iletir. Kontrol birimi ephemeris bilgilerini oluşturur ve seyrüsefer mesajını uydulara gönderir. Şekil 3.2 ile görülebileceği gibi dünya üzerinde 11 tane komuta-kontrol istasyonu ile 16 tane izleme istasyonu bulunmaktadır [22]. Ana kontrol istasyonu Schriever, Colorado'da ABD Hava Kuvvetleri Üssünde yer almaktadır. İzleme istasyonları seyrüsefer sinyal takibi, mesafe ve taşıyıcı frekans ölçümü, atmosferik veri ölçümleri yapmaktadır. Ana kontrol merkezi ise kaynak tahsisi, seyrüsefer mesajı üretimi, uydu senkronizasyonu ve GPS sisteminin performansını çıkararak raporlamaktadır.

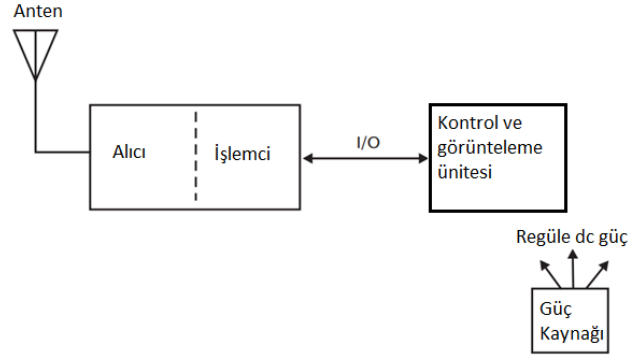
## GPS Control Segment



Şekil 3.2 GPS kontrol istasyonlarının coğrafik konumları [27]

### 3.1.3 Kullanıcı Bölümü

Kullanıcı bölümü tipik olarak GPS alıcısı olarak adlandırılan uydudan yayılan L bant sinyali kullanarak konum, hız ve zaman sonucu üreten bir donanımdır. İlk alıcılar askeri amaçlarla üretilen analog, ağır ve büyük donanımlardı. Bu donanımlar teknolojinin gelişimi ile birlikte küçülmekte ve ucuzlamaktadır. Günümüzde GPS; askeri sistemler başta olmak üzere birçok sivil uygulamalarda da önemli kullanım alanlarına sahiptir. GPS'in başlıca askeri kullanım alanları her türlü askeri seyrüsefer, arama kurtarma ve hedef bulma fonksiyonu olarak sıralanabilir. Başlıca sivil kullanım alanları olarak ise havacılık ve her türlü sivil araç seyrüseferi, uzay araçlarının güdümü, jeodezik ölçümler ve denizcilik gibi çeşitli kullanım alanları örnek gösterilebilir. Şekil 3.3 ile standart bir GPS alıcısının alt bileşenleri gösterilmiştir.



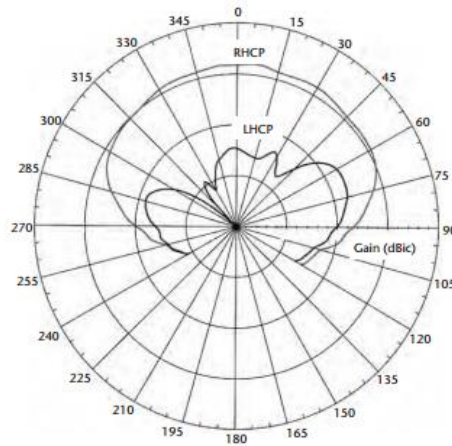
Şekil 3.3 Standart bir GPS alıcısının alt bileşenleri

### Anten

Uydu sinyalleri sağ el dairesel polarize ve yarı küresel ışıma örüntüsü olan bir anten üzerinden alınmaktadır. Örnek olarak pasif bir mikro şerit anten Şekil 3.4 ile ışıma örüntüsü ise Şekil 3.5 ile gösterilmiştir.



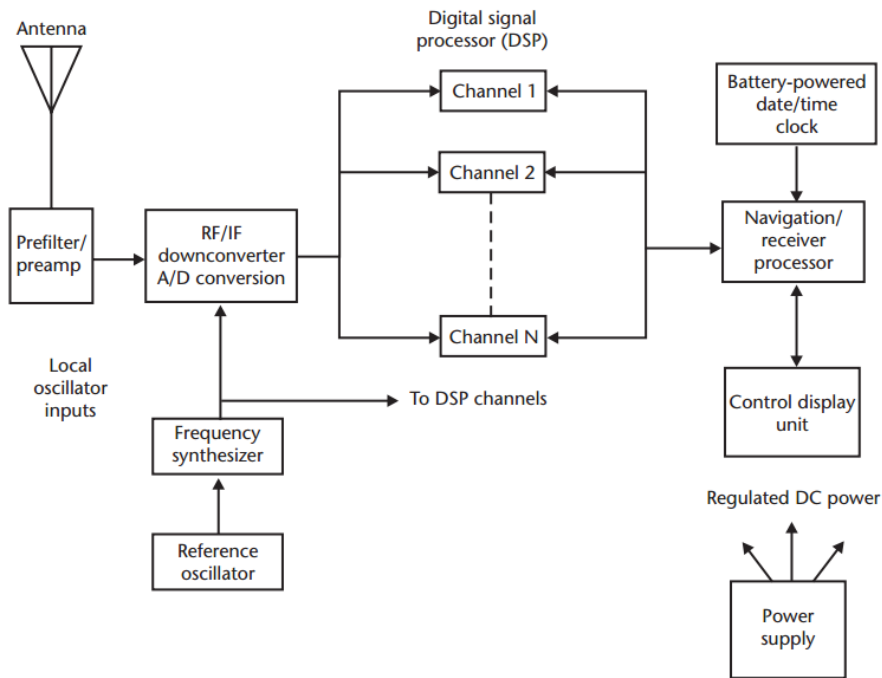
Şekil 3.4 Seramik GPS mikro şerit anten



Şekil 3.5 Örnek bir antenin sağ el dairesel polarize ve yarı küresel ışıma örüntüsü

## Alıcı

Temel olarak bir GPS alıcısı hangi sinyalleri kullandığına göre sınıflandırılır. Bunlar L1 C/A kodunu kullanan GPS alıcıları ile L1 C/A kodunu ve P(Y) kodunu birlikte kullanan GPS alıcıları olarak değerlendirilebilir. Bu sinyallere ek olarak L2 frekans bandında (1227 MHz) yer alan L2C sivil sinyali de artık kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde kullanılan modern GPS alıcıları çok sayıda uyduyu eş zamanlı takip edecek şekilde çok kanallı olarak tasarlanmıştır. Çok kanallı bir GPS alıcısının basitleştirilmiş blok diyagramı Şekil 3.6 ile gösterilmiştir. Antenden sonra gelen ön kat bloğunda bant dışında kalan RF girişimlerin filtrelenmesi ve yükseltilmesi gerçekleştirilmektedir. Bu bloktan sonra RF sinyal frekansı sayısallaştırılmak üzere IF frekansına düşürülür. IF frekansındaki sinyal ADC ile sayısallaştırılarak N kanallı DSP bloğuna iletilerek uydu takibi işlemleri gerçekleştirilir. İşlemci bloğu DSP bloğunun çıktılarını konum, hız ve zaman hesaplayacak şekilde çözmektedir. Temel GPS alıcısının blok diyagramı ve çalışma modeli bu şekilde özetlenebilir [5].



Şekil 3.6 GPS alıcılarının genel modeli

### 3.2 GPS Çalışma Prensibi

GPS kullanıcı konumu için sinyal geliş süresi (TOA: time of arrival) metodunu kullanmaktadır. Bu metotta konumu bilinen bir sinyal kaynağından gelen sinyalin süresini hesaplayarak kullanıcı ile sinyal kaynağı arasındaki uzaklık bulunmaktadır. Teoride konumu bilinen üç farklı noktaya olan uzaklığını bilen bir kişi Şekil 3.7 ile gösterildiği gibi kesişim noktalarını kullanarak kendi konumunu üç boyutta hesaplayabilmektedir. Bu yöntem Üçgenleştirme (ing. Trilateration) olarak adlandırılmaktadır. Bir GPS alıcısındaki zaman bilgisinin uydulardaki zaman bilgisiyle tam senkronize olmaması sebebiyle üç boyutlu konum bilgisi ile birlikte bir de zaman bilinmeyen ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple GPS uydularından konum elde etmek üzere en az dört uydudan sinyal alınmasına ihtiyaç vardır. GPS alıcısı konumu  $(x_a, y_a, z_a)$  olsun, her bir uydunun konumu  $(x_i, y_i, z_i)$   $i=1,2,3,4$  olmak üzere  $b$  ise zaman senkronizasyonundan kaynaklanan mesafe hatasıdır.

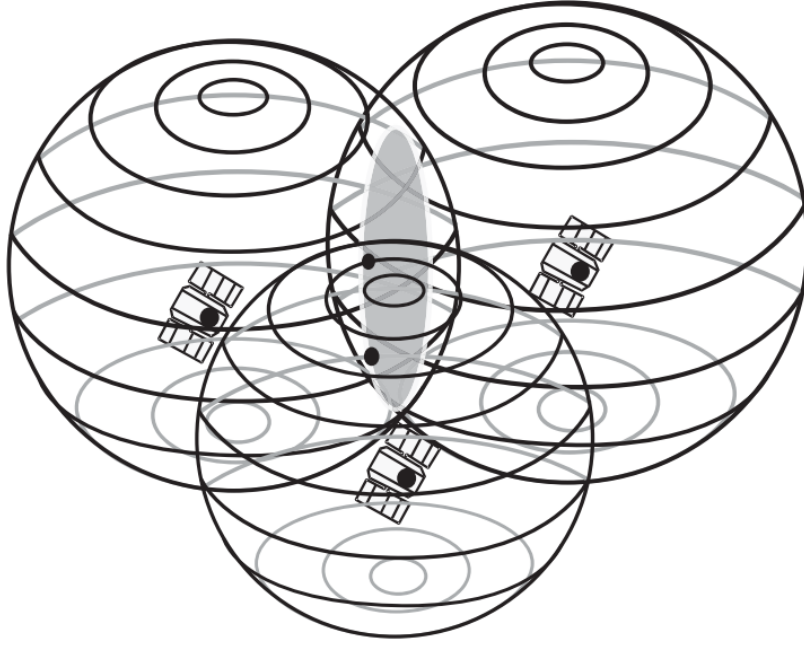
$$\rho_1 = \sqrt{(x_a - x_1)^2 + (y_a - y_1)^2 + (z_a - z_1)^2} - b$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_a - x_2)^2 + (y_a - y_2)^2 + (z_a - z_2)^2} - b$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_a - x_3)^2 + (y_a - y_3)^2 + (z_a - z_3)^2} - b$$

$$\rho_4 = \sqrt{(x_a - x_4)^2 + (y_a - y_4)^2 + (z_a - z_4)^2} - b$$

Sözde uzaklık (Pseudorange),  $\rho_i$ , sinyal geliş süresinden hesaplanır. Geriye kalan dört bilinmeyenli dört denklem çözülerek alıcı konumu ve zaman senkronizasyonundan kaynaklanan mesafe hatası bulunur.



Şekil 3.7 Alıcı iki noktadan birinde olacak şekilde kesişen üç küre [2]

### 3.3 GPS Sinyal Yapısı

Günümüzde küresel kapsama sağlayan iki GPS frekans bandı bulunmaktadır. L1 olarak adlandırılan sinyal 1575,42 MHz merkez frekansı etrafında L2 ise 1227,6 MHz etrafında yayın yapmaktadır.

$f_{L1} = 1575.42 \text{ MHz}$ : L1 bant taşıyıcı frekansı

$f_{L2} = 1227.6 \text{ MHz}$ : L2 bant taşıyıcı frekansı

Uyduların yayınladığı sinyalin yapısı Eşitlik 3.1 ile verilmiştir [7]:

$$s^k = \sqrt{2P_c} \left( x^k(t) \oplus D^k(t) \right) \cos(2\pi f_{L1}t + \theta_{L1}) \quad (3.1)$$

$$+ \sqrt{2P_{Y1}} y^k \oplus D^k \sin(2\pi f_{L1}t + \theta_{L1})$$

$$+ \sqrt{2P_{Y2}} y^k \oplus D^k \sin(2\pi f_{L2}t + \theta_{L2})$$

$s^k$ : k numaralı uydudan gelen sinyal

$x^k$ : C/A kod serisi (chip rate = 1.023 MHz)

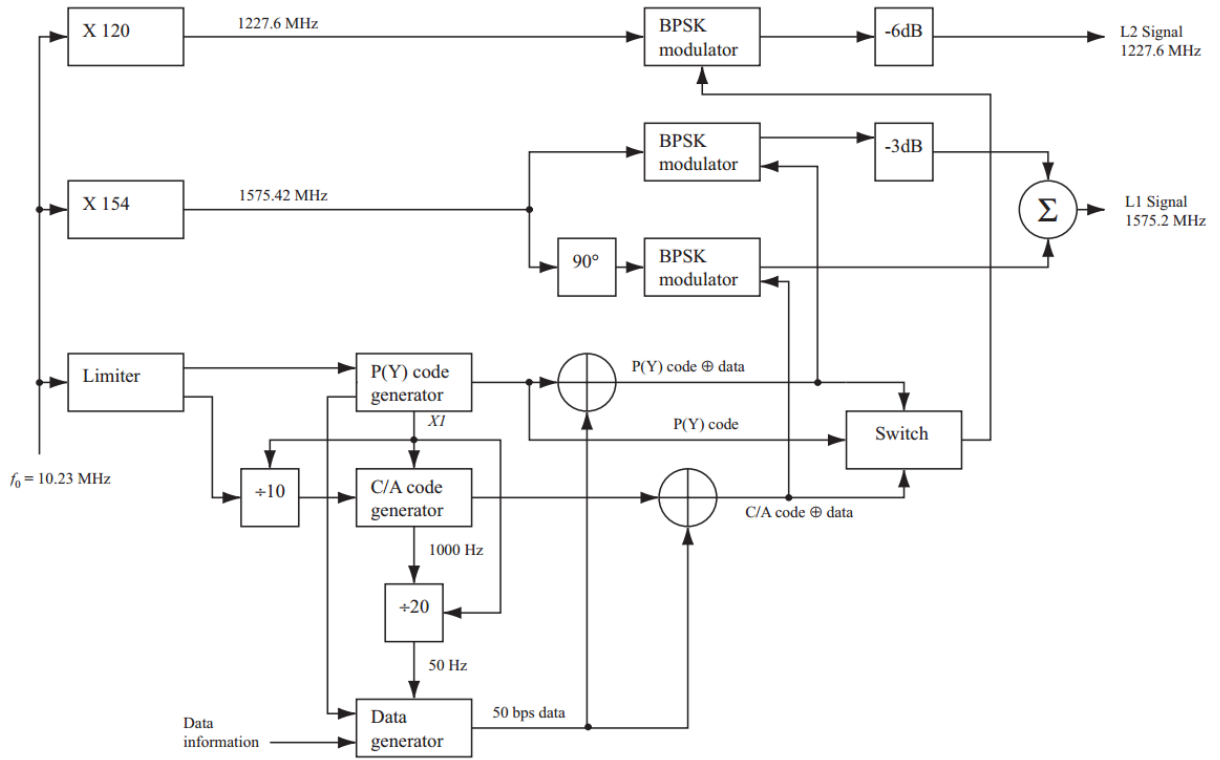
$y^k$ : P(Y) kod serisi (chip rate = 10.23 MHz)

$D^k$ : Seyrüsefer mesajı (data rate = 50 Hz)

$P_C, P_{Y1}, P_{Y2}$ : İlgili banttaki sinyallerin güç seviyeleri

$\theta_{L1}, \theta_{L2}$ : Faz kayması

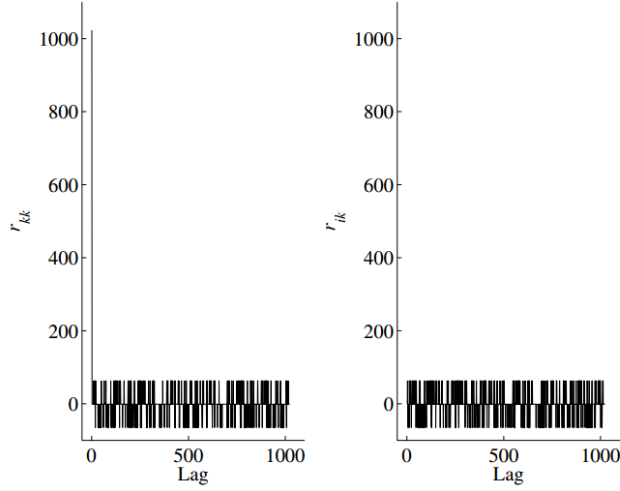
$\oplus$ : XOR operatörü, ikili (binary) iki sayının mod 2 toplamını ifade etmektedir



Şekil 3.8 GPS sinyal mimarisi [7]

### C/A kod serisi

C/A kod serisi 1023 bit uzunluğunda sözde rasgele gürültüdür (ing Pseudorandom noise: PRN). 1023 kHz bit tekrarlama frekansı bulunmaktadır, yani yaklaşık 1 milisaniyede bir kendini tekrarlamaktadır. C/A kodunun sözde rasgele gürültü olması tekrar üretilebileceğini ve özilintilerinin (ing. Autocorrelation) çapraz ilintilerinden (ing. Cross Correlation) çok daha büyük olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 3.9 Sol: C/A kod serisini özilintisi Sağ: C/A kod serisini çapraz ilintisi [7]

Şekil 3.9 ile görüldüğü üzere C/A kodun özilintisi sadece kendisiyle aynı fazda olduğu durumda 1023 değerine ulaşmaktadır. Özilinti aynı fazda olmadığı ve çapraz ilintinin her durumunda 65 değerinden düşük olmaktadır.

Faz farkı olmadığı durumda özilinti

$$r_{kk}(0) = 2^n - 1 = 1023$$

Faz farkı olduğu durumda özilinti

$$r_{kk}(i) \leq 2^{\frac{n+2}{2}} + 1 \quad i \neq 0$$

$$r_{kk}(i) \leq 65 \quad i \neq 0$$

Çapraz ilinti

$$r_{ik}(i) \leq 65$$

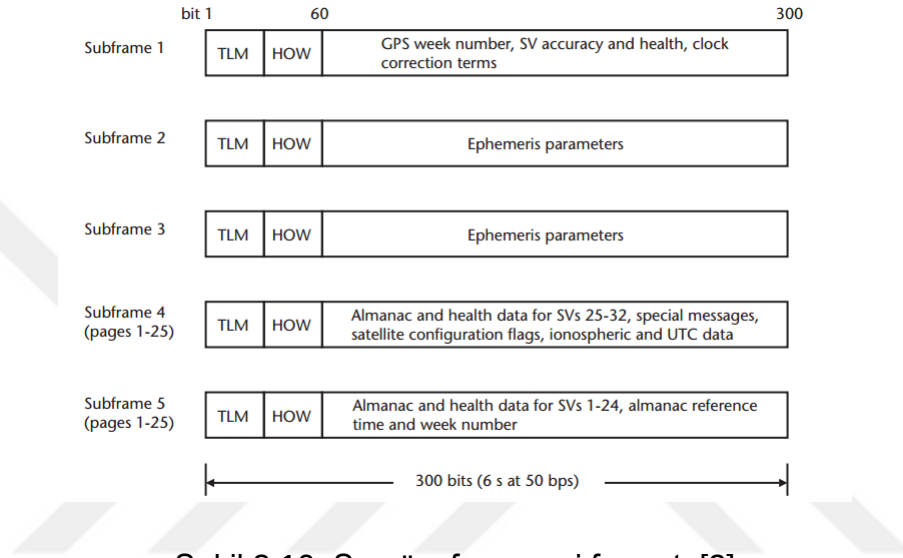
olarak ortaya çıkmaktadır.

GPS sisteminde de her uyduya ait ayrı bir C/A kod ile yayın yapılmaktadır.

### Seyrüsefer Mesajı

50 bps veri hızına sahip olan uydu verilerini ve yörünge verilerini içeren seyrüsefer mesajıdır. GPS kontrol bölümü tarafından uydulara yüklenmektedir Bu veri kullanıcıya hassas konumunu hesaplaması için gereken bilgiyi sağlamaktadır.

Görünen her uydunun hassas konumunu ve seyrüsefer sinyalinin gönderilme zamanını içermektedir. Şekil 3.10 ile gösterildiği gibi 5 tane 300 bitlik ‘subframe’ yapısından oluşmaktadır. Bu yapılar zaman bilgisi, uydunun çalışma durumunu, zaman düzeltmesini, iyonosfer bilgisini, ephemeris ve almanak verilerini içermektedir. HOW (HandOver Word) verisi alıcıya hangi subframe verisini elde ettiğini telemetry verisi ise kontrol bölümünün veri yükleme durumunuyla ilgili bilgileri sağlamaktadır [2].



Şekil 3.10 Seyrüsefer mesaj formatı [2]

### 3.4 GPS Hata Kaynakları ve Doğruluk Ölçekleri

GPS sisteminin sonuç doğruluğu temel olarak sözde uzaklık ve taşıyıcı faz ölçümleri ile birlikte yayınlanan seyrüsefer mesajının doğruluğuna bağlıdır. Bu bölümde sonuç doğruluğunu etkileyen başlıca hatalar incelenecektir.

#### 3.4.1 Hata Kaynakları

Bu bölümde GPS sonuçlarını etkileyen başlıca hata kaynakları verilmiştir.

#### Uydudan Kaynaklanan Saat Hataları

Uydular sinyal üretiminde zaman referans kaynağı olarak bünyelerinde bulundurdıkları atomik saatleri kullanmaktadırlar. Bu saatler oldukça kararlı olmalarına rağmen seyrüsefer mesajının içerisinde uydu ile GPS zamanı arasındaki

zaman düzeltmesi bilgisi yer almaktadır. Navigasyon mesajından gelen zaman düzeltmesi bilgisinin kullanılmasına rağmen 0.3 – 0.4. metre hataya sebep olacak senkronizasyon hataları kalabilmektedir.

### **Ephemeris Hatası**

Kontrol bölümü uydu konumunu ve yörüngesini kestirip seyrüsefer mesajına yüklemektedir. Uydunun yayınladığı seyrüsefer mesajı bu konum ve yörünge bilgisini içerdiği için kontrol bölümünün kestiriminden kaynaklanan bazı uydu konumu hataları ortaya çıkmaktadır. Bu hata seyrüsefer mesajının uyduya yüklenmesinin ardından zamanla birlikte artmaktadır.

### **İyonosferden Kaynaklanan Hatalar**

Dünyanın yüzeyinden 70 km ile 1000 km arasında bulunan iyonosfer gaz molekülleri içermektedir. Bu molekülleri güneş ışınları iyonize ederek iyonosfer tabakasında serbest iyonlar oluşturmaktadır. Pozitif ve negatif yüklü iyonlar elektromanyetik dalganın ilerlemesini etkilediği için GPS sinyallerini de etkilemektedir. Sonuç olarak iyonosferik sapma (ing. ionospheric divergence) olarak adlandırılan fenomen oluşarak sözde uzaklık ve taşıyıcı faz ölçümlerini metre seviyesinde etkilecek hatalara yol açmaktadır.

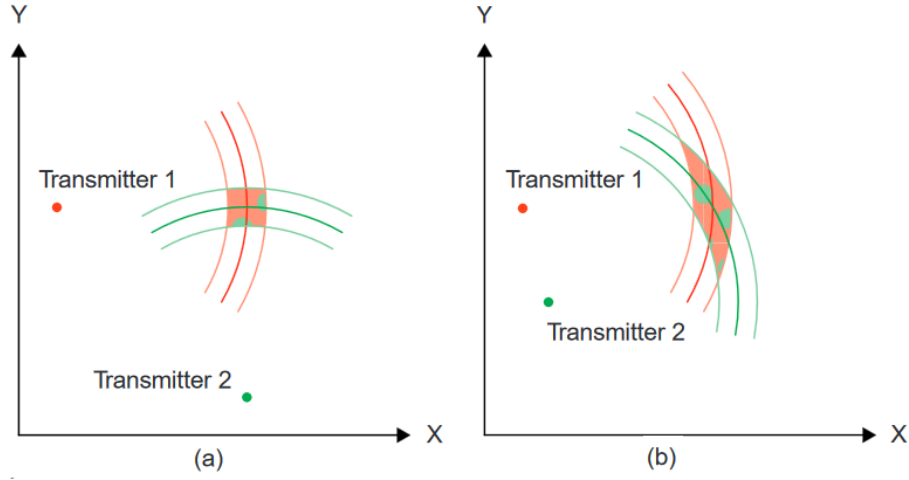
### **Çoklu Yol (multipath) Etkisinden Kaynaklanan Hatalar**

Alıcı tarafında sözde uzaklık ve taşıyıcı fazı ölçümlerini en fazla etkileyen hatalardan birisi de sinyallerin çevreden yansımalarıdır. Çevrede bulunan bina, ağaç veya dağ gibi yapılardan yansarak gelen GPS sinyalleri alıcı tarafından algılanarak işlendiği durumda çıkacak sonuç hatalı olacaktır.

### **Uydu Geometrisi ve Hassasiyet Kaybı**

Sözde uzaklık hesabının yapılmasının ardından farklı uydulara olan sözde uzaklıkların kesiştirilmesi sonucunda konum sonuçlarının ortaya çıkacağını GPS'in çalışma prensibini anlattığımız bölümde değinmiştik. Konum hesabının yapıldığı uyduların yörüngedeki geometrik dağılımı konum sonucunu etkilemektedir. Bu durumu ifade etmek için hassasiyet kaybı anlamına gelen DOP (ing. Dilution Of Precision) değeri kullanılmaktadır. Şekil 3.11 ile gösterilen uydu geometrilerinde a

geometrisinin hassasiyet kaybına sebep olacak belirsizlik bölgesinin b geometrisine göre daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 3.11 (a) İyi uydu geometrisi (b) kötü uydu geometrisi

### 3.4.2 Doğruluk Ölçekleri

GPS alıcısı hatalarını iki boyutta ifade etmek üzere CEP ve DRMS ölçeklendirmeleri üç boyutta ifade etmek üzere SEP ve MRSE ölçekleri tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar alt başlıklar şeklinde ifade edilmektedir [17,18]. Doğruluk ölçeklendirme hesaplamalarında kullanılacak enlem, boylam ve yükseklik standart sapma değerleri ' $\sigma_y$ ', ' $\sigma_x$ ', ' $\sigma_z$ ' aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$\sigma_x$ : enlem standart hatası (m)

$$\sigma_x = E[(\hat{x} - m)(\hat{x} - m)^T] \quad (3.2)$$

$\sigma_y$ : boylam standart hatası (m)

$$\sigma_y = E[(\hat{y} - m)(\hat{y} - m)^T] \quad (3.3)$$

$\sigma_z$ : dikey konum standart hatası (m)

$$\sigma_z = E[(\hat{z} - m)(\hat{z} - m)^T] \quad (3.4)$$

### CEP (Circular Error Probability)

CEP yatay pozisyonun yüzde 50 ihtimalle içinde bulunacağı bir çemberin yarıçapını belirtmektedir. Örneğin 5 metre CEP değeri yatay pozisyon sonuçlarının yarısının merkezi doğru konum olacak şekilde 5 metre yarıçapı olan bir çemberin içinde bulunacağını belirtmektedir [18].

$$CEP = 0.589(\sigma_y + \sigma_x) \quad (3.5)$$

### DRMS (Distance Root Mean Squared)

İki boyutlu hassasiyeti karakterize eden DRMS değeri CEP değeri gibi bir GPS alıcısının hassasiyetini ifade etmek üzere sıkça kullanılmaktadır. DRMS hesaplamak üzere yatay konum hatalarının standart sapması aşağıdaki formüldeki gibi kullanılmaktadır. DRMS değeri yatay konumun yüzde 65 ihtimalle içinde bulunacağı bir çemberin yarıçapını belirtmektedir. DRMS değerini iki ile çarparsak bu değer yüzde 95'e üç ile çarparsak yüzde 97.5'e çıkmaktadır [17].

$$DRMS = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2} \quad (3.6)$$

### SEP (Spherical Error Probability)

SEP üç boyutlu pozisyonun yüzde 50 ihtimalle içinde bulunacağı bir kürenin yarıçapını belirtmektedir. Örneğin 5 metre SEP değeri konum sonuçlarının yarısının merkezi doğru konum olacak şekilde 5 metre yarıçapı olan bir kürenin içinde bulunacağını belirtmektedir [17].

$$SEP = 0.51(\sigma_y + \sigma_x + \sigma_z) \quad (3.7)$$

### MRSE (Mean Radial Spherical Error)

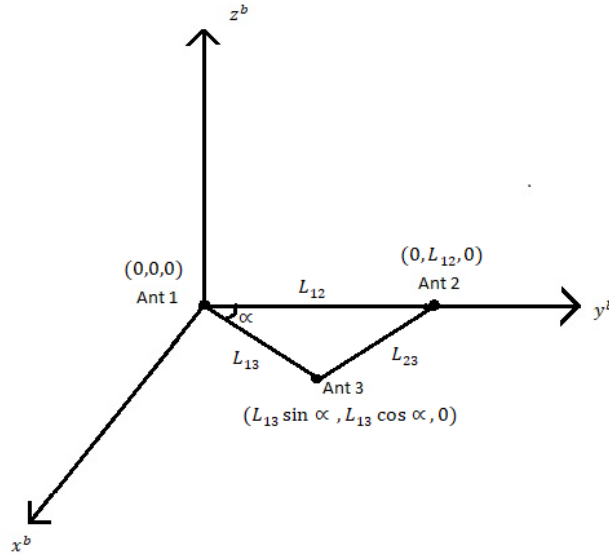
MRSE üç boyutlu pozisyon sonuçlarının yüzde 61 ihtimalle içinde bulunacağı doğru konumun merkez noktası olan bir kürenin yarıçapını belirtmektedir [17].

$$MRSE = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2 + \sigma_z^2} \quad (3.8)$$

## 4 KÜRESEL KONUMLANDIRMA UYDU SİSTEMLERİ İLE YÖNELİM BELİRLEME

### 4.1 Yönelim Parametrelerinin Konum Sonuçlarından Doğrudan Çözülünerek Belirlenmesi Yöntemi

Seyrüsefer koordinat sistemi ile gövde koordinat sistemi arasındaki dönüşümü gerçekleştiren açı parametrelerinin yönelimi ifade ettiğinden 2.1.5.3 bölümünde bahsetmiştik. Antenlerin gövde çerçevesi koordinatları ve yerleşimleri Şekil 4.1 ile gösterilmiştir. Antenler platforma gövde koordinat sistemindeki konumu değişmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Anten gövde koordinat sistemindeki konumlar Eşitlik 4-1 ile verilmiştir.



Şekil 4.1 Gövde çerçevesinde anten/alıcı yerleşimi

$L_{12}$ : Master anten ile Slave 1 anten arasındaki uzaklık (m.)

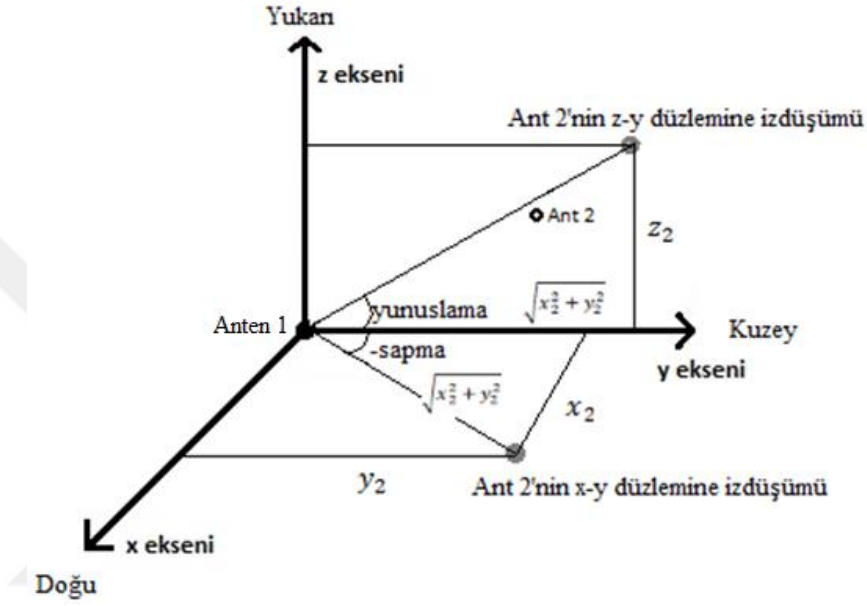
$L_{13}$ : Master anten ile Slave 2 anten arasındaki uzaklık (m.)

$\alpha$ :  $L_{12}$  doğrusu ile  $L_{13}$  doğrusu arasındaki açı (derece)

$$\begin{pmatrix} x_1^b & y_1^b & z_1^b \\ x_2^b & y_2^b & z_2^b \\ x_3^b & y_3^b & z_3^b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{12} & 0 \\ L_{13} \sin \alpha & L_{13} \cos \alpha & 0 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

$\mathbf{b}_i = (x_i^b \ y_i^b \ z_i^b)$ : i'ninci antenin gövde çerçevesi koordinatları

Şekil 4.2 ile yönelim açı parametrelerinin bulunacağı refrans koordinat sistemi olan seyrüsefer koordinat sistemi ile gövde koordinat sisteminde yer alan Anten 1 ile Anten 2 görülmektedir. Gövde çerçevesi koordinat sistemindeki konumla seyrüsefer koordinat sistemi arasındaki Anten 2 dönüşümü bize sapma ve yunuslama açılarını verecektir [9,10].



Şekil 4.2 Seyrüsefer çerçevesinde alıcı konumları ile yunuslama ve sapma açıları

$x_2$ : 2. Antenin (Slave 1) seyrüsefer koordinat sistemindeki x eksenindeki konumu

$y_2$ : 2. Antenin (Slave 1) seyrüsefer koordinat sistemindeki y eksenindeki konumu

$z_2$ : 2. Antenin (Slave 1) seyrüsefer koordinat sistemindeki z eksenindeki konumu

Sapma:

$$\psi = -\tan^{-1}(x_2/y_2) \quad (4.2)$$

Yunuslama

$$\theta = \tan^{-1}(z_2/\sqrt{(x_2)^2 + (y_2)^2}) \quad (4.3)$$

Platformun yaptığı yuvarlanma açısını bulabilmek için ise Anten 3'ü (Slave 2) kullanacağız. Ancak Anten 3'ün konumu sapma ve yunuslama açılarından da etkilendiği için Anten 3'ün konumundaki sapma ve yunuslama hareketlerinin etkisini çıkarmamız gerekmektedir. Anten 3'ün konumundaki sapma hareketinden kaynaklanan değişimi çıkarmak için Anten 3 konumunun z eksenini etrafında sapma açısı kadar döndürülmesi gerekmektedir. Anten 3'ün seyrüsefer koordinat sistemindeki konumu  $u_3 = (x_3, y_3, z_3)$  olsun,  $u_3$  konumunu z eksenini etrafında  $\psi$  sapma açısı kadar döndürerek  $u'_3 = (x'_3, y'_3, z'_3)$  konumunu elde ederiz.  $u_3$  konumunu saçma açısı kadar döndürmek üzere Eşitlik 4.4 ile verilen  $R_3(\psi)$  matrisi ile  $u_3$  konumunun çarpılması gerekmektedir.

$$R_3(\psi) = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

$$u'_3 = R_3(\psi)u_3 \quad (4.5)$$

$$b_3 = R_2(\Phi)R_1(\theta)R_3(\psi)u_3 \quad (4.6)$$

$$b_3 = R_2(\Phi)R_1(\theta)u'_3 \quad (4.7)$$

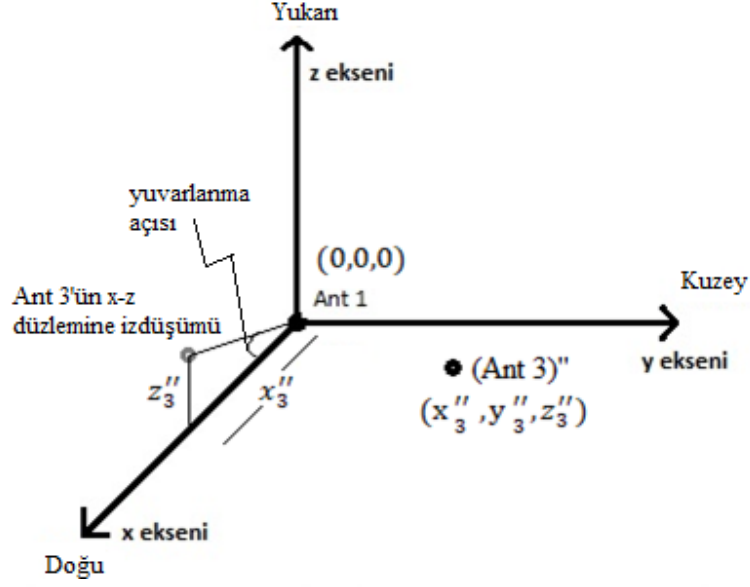
Anten 3 üzerindeki yuvarlanma hareketinin etkisini çıkarmak için ise  $u'_3$  konumunu x eksenini etrafında yunuslama açısı kadar döndürülmesi gerekmektedir bu sebeple  $u'_3$  konumunu  $\theta$  kadar döndürerek  $u''_3 = (x''_3, y''_3, z''_3)$  konumunu elde ederiz.

$$R_1(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

$$u''_3 = R_1(\theta)u'_3 \quad (4.9)$$

$$b_3 = R_2(\Phi)R_1(\theta)u'_3 \quad (4.10)$$

$$b_3 = R_2(\Phi)u''_3 \quad (4.11)$$



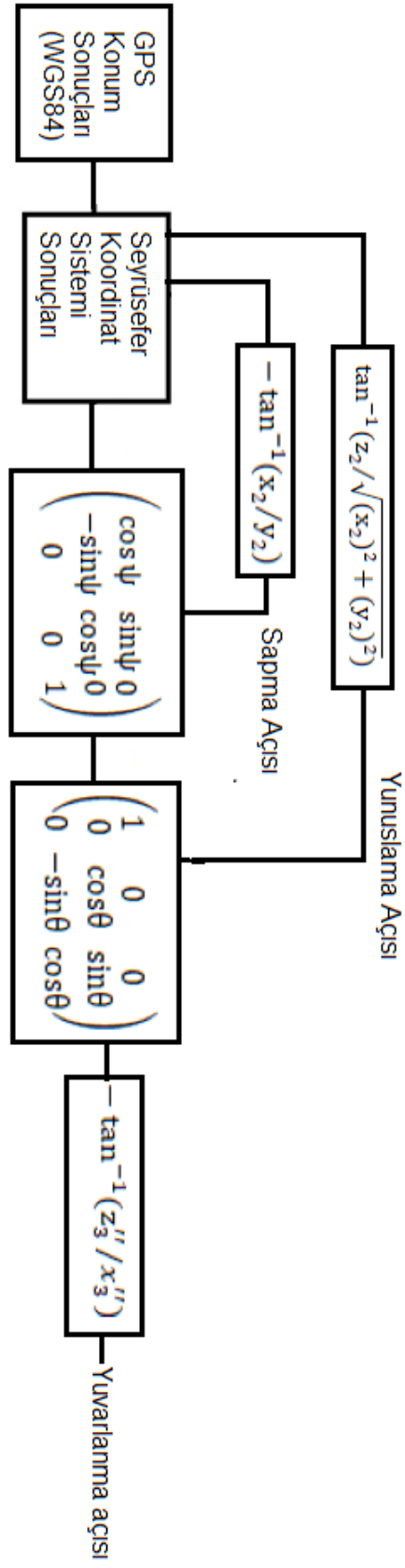
Şekil 4.3 ECEF çerçevesinde alıcı konumları ve yuvarlanma açısı

Ortaya çıkan Anten 3 konumu  $\Phi$  yuvarlanma açısını bulmamız için yeterli olacaktır.

Yuvarlanma açısı :

$$\Phi = -\tan^{-1}(z''_3/x''_3) \quad (4.12)$$

Bu bölümde yapılan işlemleri kısaca özetlememiz gerekirse WGS84 sistedeki GPS konum çıktılarını seyrüsefer koordinat sistemine çevirdikten sonra Anten 2 (Slave 1) sonuçlarından yunuslama ve sapma açılarını hesaplayabiliriz. Bulunan sapma ve yunuslama açılarını kullanarak  $u_3 = (x_3, y_3, z_3)$  Anten 3 konumunu z ekseni etrafında döndürerek  $u'_3 = (x'_3, y'_3, z'_3)$ , ardından x ekseni etrafında döndürerek  $u''_3 = (x''_3, y''_3, z''_3)$  konumunu elde edebiliriz.  $u''_3 = (x''_3, y''_3, z''_3)$  konumunu kullanarak yuvarlanma açısını hesaplayabiliriz. Yapılan işlemlerin blok diyagramını ifade eden görsel Şekil 4.4 ile verilmiştir [10].

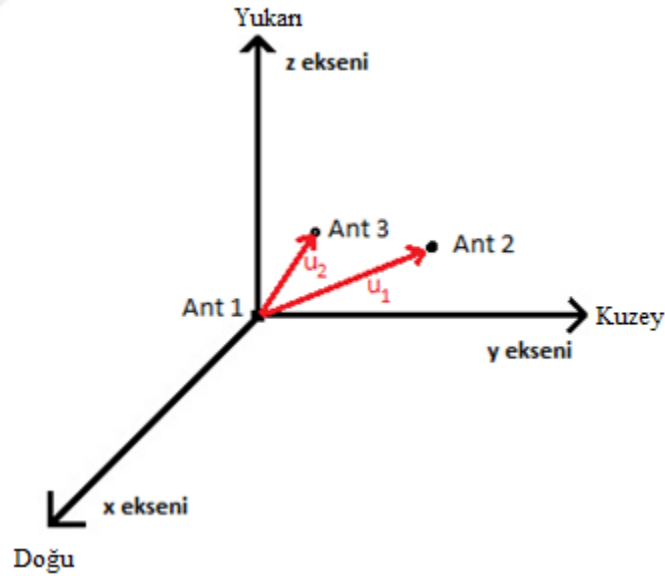


Şekil 4.4 Yönelim parametrelerinin bulunmasını ifade eden blok diyagram

## 4.2 Eşdoğrusal Olmayan Referans (Non-Collinear Baseline) Vektörleri Kullanarak Yönelim Belirleme Yöntemi

Yönelim bulmak üzere kullanılan çözüm yöntemlerinden birisi de anten platformunu tanımlayan eşdoğrusal olmayan iki referans hattı vektörü kullanarak yönelim kestirimi yapmaktır. Bu yöntemde seyrüsefer koordinat sistemindeki anten konumları kullanılarak antenler arasında vektörler çizilecektir. Ardından aynı antenler için gövde koordinat sistemindeki anten konumları kullanılarak antenler arasında vektörler çizilecektir. Çizilen bu vektörler arasındaki ilişkiyi kullanarak yönelim parametreleri belirlenir.

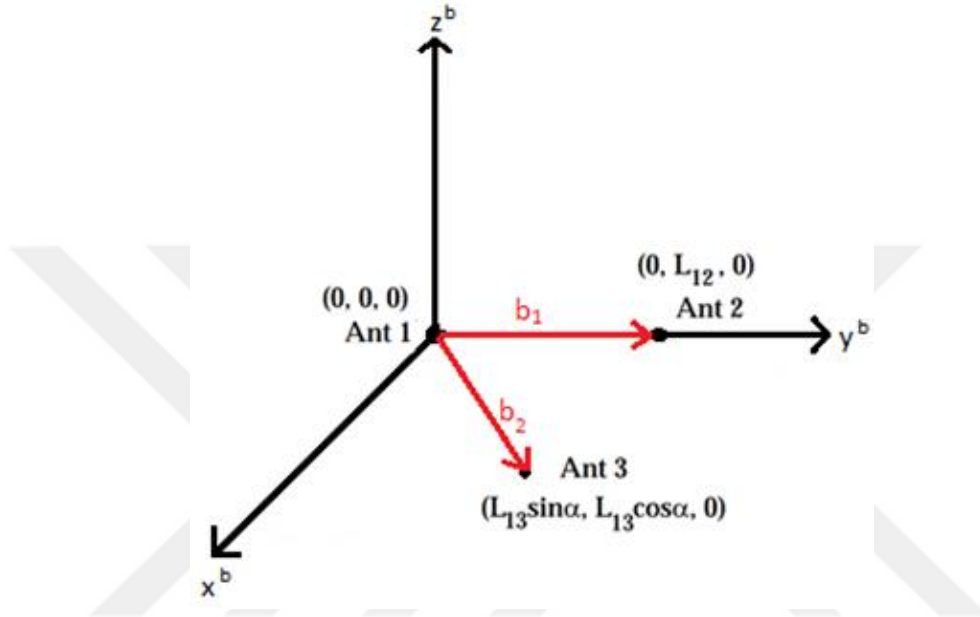
Öncelikle seyrüsefer koordinat sisteminde vektörleri tanımlayalım. Anten konumları GPS alıcılarından WGS84 sisteminde elde edilmektedir. Bu sistemdeki konum sonuçlarını seyrüsefer koordinat sistemine dönüştürdükten sonra gerekli vektörleri tanımlayabiliriz. Bu vektörler Şekil 4.5 gösterilen Anten 1 ile Anten 2 konumları kullanılarak çizilen  $u_1$  vektörü ve Anten 1 ile Anten 3 konumları kullanılarak çizilen  $u_2$  vektörüdür.



Şekil 4.5 Seyrüsefer koordinat Sistemi ve  $u_1$  ,  $u_2$  vektörleri

Seyrüsefer koordinat sisteminde çizilen vektörlerin ardından gövde çerçevesinde çizilecek vektörleri tanımlayalım. Antenlerin gövde çerçevesini daha önceki tanımlamıştık, burada da kısaca değinmemiz gerekirse anten gövde çerçevesi

koordinat sisteminde antenlerin konumları herhangi bir şekilde değişmeyen ve baştan tanımlanan konumlardır. Bu konumlar Şekil 4.6 ile görülmektedir. Antenlerin gövde çerçevesi konumları kullanılarak Anten 1 ile Anten 2 arasındaki vektör bulunabilir, bu vektöre  $\mathbf{b}_1$  diyelim. Yine gövde çerçevesi konumları kullanılarak Anten 1 ile Anten 3 arasındaki vektör bulunabilir, bu vektöre de  $\mathbf{b}_2$  diyelim. Şekil 4.6 ile gösterilen çizimde gövde koordinat sisteminde anten konumları ile  $\mathbf{b}_1$  ve  $\mathbf{b}_2$  vektörleri görülmektedir.



Şekil 4.6 Anten gövde koordinat sistemi koordinatları ve  $\mathbf{b}_1$ ,  $\mathbf{b}_2$  vektörleri

Seyrüsefer koordinat sisteminde çizdiğimiz vektörü yönelim parametrelerini kullanarak döndürürsek gövde çerçevesinde çizdiğimiz vektöre ulaşabiliriz. Ancak biz iki farklı koordinat sistemindeki vektörleri biliyoruz ve yönelim parametrelerini arıyoruz. Bu sebeple Eşitlik 4.13 ile ifade edilen denklemleri sağlayacak ' $R$ ' yönelim matrisini iki farklı koordinat sistemini kullanarak elde ettiğimiz vektörleri kullanarak nümerik yöntemlerle hesaplayacağız.

$$R\mathbf{u}_1 = \mathbf{b}_1, \quad R\mathbf{u}_2 = \mathbf{b}_2 \quad (4.13)$$

Eşitlik 4-14'deki işlemler vasıtasıyla  $\mathbf{u}_1$  ve  $\mathbf{u}_2$  vektörlerinin kapsamına eşdeğer, birbirine dik bir üçlü vektörle ( $\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2, \mathbf{g}_3$ ) referans çerçeve kurulabilir [10]. Bu referans çerçeveye  $\mathbf{u}_1$  ve  $\mathbf{u}_2$  vektörlerinin oluşturduğu bir eksen takımı da diyebiliriz. Bu eksen

takımının bir eksenini  $\mathbf{u}_1$  vektörü yönünde, ikinci eksenini  $\mathbf{u}_1$  ve  $\mathbf{u}_2$  vektörlerine dik olan yönde diğer eksenini ise bulunan iki eksene dik olacak şekildedir.

$$\mathbf{g}_1 = \mathbf{u}_1, \quad \mathbf{g}_2 = \mathbf{u}_1 \times \frac{\mathbf{u}_2}{|\mathbf{u}_1 \times \mathbf{u}_2|}, \quad \mathbf{g}_3 = \mathbf{g}_1 \times \mathbf{g}_2 \quad (4.14)$$

Aynı şekilde Eşitlik 4.15'deki işlemler kullanılarak  $\mathbf{b}_1$  ve  $\mathbf{b}_2$  vektörlerinin kapsamına eşdeğer, dik bir üçlü vektörle  $(\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \mathbf{s}_3)$  gövde çerçevesi kurulabilir. Bu gövde çerçeveye  $\mathbf{b}_1$  ve  $\mathbf{b}_2$  vektörlerinin oluşturduğu bir eksen takımı da diyebiliriz. Bu eksen takımının bir eksenini  $\mathbf{b}_1$  vektörü yönünde, ikinci eksenini  $\mathbf{b}_1$  ve  $\mathbf{b}_2$  vektörlerine dik olan yönde diğer eksenini ise bulunan iki eksene dik olacak şekildedir.

$$\mathbf{s}_1 = \mathbf{b}_1, \quad \mathbf{s}_2 = \mathbf{b}_1 \times \frac{\mathbf{b}_2}{|\mathbf{b}_1 \times \mathbf{b}_2|}, \quad \mathbf{s}_3 = \mathbf{s}_1 \times \mathbf{s}_2 \quad (4.15)$$

Yönelimin tanımı gereği seyrüsefer koordinat sistemindeki  $\mathbf{M}_g = (\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2, \mathbf{g}_3)$  vektörü dönüşüm matrisi  $\mathbf{R}$  ile çarpıldığında gövde çerçevesi koordinat sistemindeki  $\mathbf{M}_s = (\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \mathbf{s}_3)$  vektörü elde edilmektedir.

$$\mathbf{R}\mathbf{M}_g = \mathbf{M}_s \quad (4.16)$$

Bu eşitlik kullanılarak  $\mathbf{R}$ , yönelim matrisi aşağıdaki şekilde bulunabilir

$$\mathbf{R} = \mathbf{M}_s \mathbf{M}_g^T \quad (4.17)$$

Dönüşüm matrisi,  $\mathbf{R}$ , oluşturulduktan sonra yönelim parametreleri Eşitlik 2.12, 2.13 ve 2.14 ile verilen eşitlikler kullanılarak elde edilebilir [9,10].

yuvarlanma açısı:

$$\psi = -\tan^{-1}\left(\frac{R(2,1)}{R(2,2)}\right) \quad (4.18)$$

yunuslama açısı:

$$\theta = \sin^{-1}(R(2,3)) \quad (4.19)$$

sapma açısı:

$$\Phi = -\tan^{-1}\left(\frac{R(1,3)}{R(3,3)}\right) \quad (4.20)$$



Bu metodu kısaca özetlemek gerekirse GPS alıcılarından ölçtüğümüz anten konumlarından  $\mathbf{u}_1$  ve  $\mathbf{u}_2$  vektörlerini oluşturuyoruz.  $\mathbf{u}_1$  ve  $\mathbf{u}_2$  vektörlerini kullanarak antenlerin birbirine göre duruşunu ifade eden dik bir üçlü eksen takımı  $\mathbf{M}_g = (\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2, \mathbf{g}_3)$  belirliyoruz. Anten yerleşimini yaptığımızda belirlenen ve herhangi bir etkiyle değişmeyen gövde çerçevesi konumlarını kullanarak  $\mathbf{b}_1$  ve  $\mathbf{b}_2$  vektörlerini oluşturuyoruz.  $\mathbf{b}_1$  ve  $\mathbf{b}_2$  vektörlerini kullanarak antenlerin birbirine göre duruşunu ifade eden dik bir üçlü eksen takımı  $\mathbf{M}_s = (\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \mathbf{s}_3)$  belirliyoruz. Bu işlemlerin ardından elimizde seyrüsefer koordinat sisteminde ve gövde çerçevesi koordinat sisteminde tanımlanmış eksen takımları bulunmaktadır. Bu eksen takımları arasındaki farklılık bize yönelimi vermektedir.

Bu metot türetimi açısından basit ve hesaplama açısından hızlıdır. Yönelim matrisi hesaplamak için trigonometrik fonksiyon veya ters trigonometrik hesaplamalara ihtiyaç duymaz. İstatistik bakış açısından ise bu metot standart altı (suboptimal) bir yöntemdir. Çünkü vektörlerin sadece kısmi bilgileri kullanılmaktadır ve bir zaman için sadece iki vektör kullanılabilir.

#### 4.3 Taşıyıcı Faz Ölçümlerinin Bağlı Farklarını Kullanarak Yönelim Belirleme Yöntemi

Wahba 1965’de yönelim bulma problemini Eşitlik 4.21 ile verilen en küçük kare (ing. least square) maliyet fonksiyonu değerini minimize eden en uygun  $R(3 \times 3)$  yönelim matrisinin bulunması problemi olarak tanımlamıştır. Maliyet fonksiyonu ise şu şekildedir:

$$J(\mathbf{R}) = \sum_{i=1}^n w_i \|\mathbf{b}_i - \mathbf{R}\mathbf{u}_i\|^2 \quad (4.21)$$

$\mathbf{b}_i$ : gövde çerçevesinde platformun konum vektörü

$\mathbf{u}_i$ : seyrüsefer çerçevesindeki birim konum vektörü

$w_i$ : ilgili  $\mathbf{u}_i$  vektörü için kullanılacak ağırlıklandırma faktörü

Bazı cebirsel işlemler kullanılarak kayıp fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$J(R) = tr(\mathbf{B}^T \mathbf{B}) + tr(\mathbf{U}^T \mathbf{U}) - 2tr(\mathbf{R} \mathbf{A}^T) \quad (4.22)$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{B} \mathbf{U}^T$$

$$\mathbf{B} = (\sqrt{w_1} \mathbf{b}_1, \sqrt{w_2} \mathbf{b}_2, \dots, \sqrt{w_n} \mathbf{b}_n)$$

$$\mathbf{U} = (\sqrt{w_1} \mathbf{u}_1, \sqrt{w_2} \mathbf{u}_2, \dots, \sqrt{w_n} \mathbf{u}_n)$$

Burada  $tr$  fonksiyonu matrisin izini (trace) ifade etmektedir.

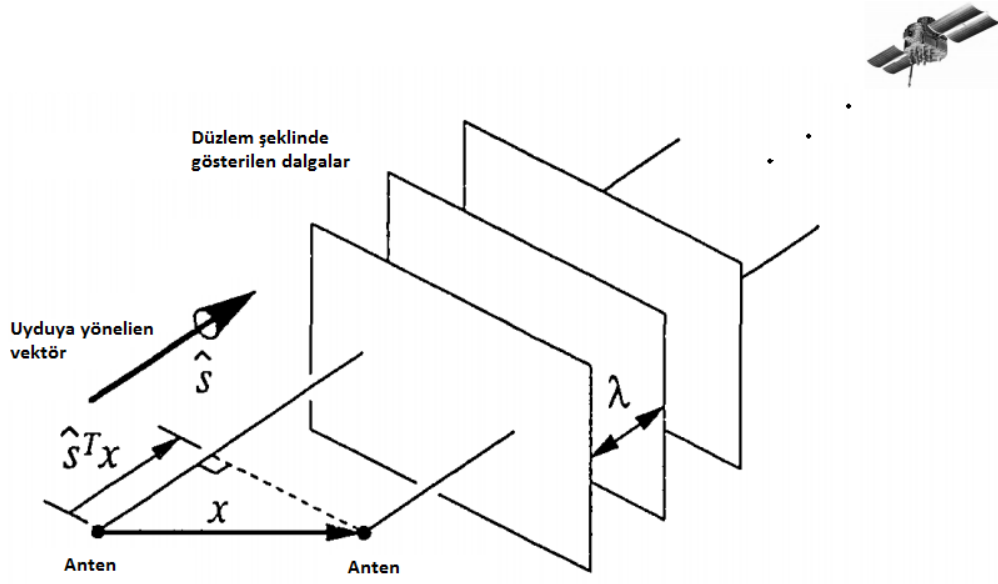
Maliyet fonksiyonu değerini minimize etmenin denklemde yer alan son terimin maksimize edilmesi ile mümkün olmasından dolayı maliyet fonksiyonu minimizasyon problemini Eşitlik 4.23 ile verilen  $J'(\mathbf{R})$  değerini maksimize etmek şeklinde yeniden tanımlayabiliriz.

$$J'(\mathbf{R}) = 2tr(\mathbf{R} \mathbf{A}^T) \quad (4.23)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan  $\mathbf{R}$  (3x3) yönelim matrisinin doğrudan hesaplanması için çeşitli nümerik yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en bilinenlerden SVD (Singular Value Decomposition) metodu 1988'de Markley tarafından ve q-metodu Davenport tarafından ortaya çıkarılmıştır. Çözüm yöntemlerinin hepsi  $\mathbf{A}$  matrisinin bir takım SVD veya özdeğer ayrışımı (ing. eigenvalue decomposition) yöntemlerinden veya bunların varyantlarından oluşmaktadır.

SVD ve özdeğer ayrışımı yöntemlerinin sakıncalarından birisi kestirim yapılan yönelim parametrelerinin doğruluk analizinin karmaşıklığıdır. İki yönteme de hata üretimi üzerinde kovaryans analiz formüllerinin ayrı ayrı türetmek zorundadır. Bu da hata analizi için uzun formüller ve ekstra hesap hatası demektir. SVD ve özdeğer ayrışımı metodlarının sakıncalarından diğeri de  $\mathbf{b}_i$  ve  $\mathbf{u}_i$  vektörlerinin varyans ve kovaryans bilgisinin kestirim işlemi esnasında tam olarak hesaba katılmamasıdır. Bu durumda  $\mathbf{b}_i$  ve  $\mathbf{u}_i$  den kaynaklanan hatalar kestirim içerisinde artarak ilerleyecektir.

Markley ve Mortari yönelim bulmak üzere vektör takibi ile Wahba'nın maliyet fonksiyonunun minimizasyonu ile ilgili kestirim metodlarını sunarak geleneksel yöntemler arasında karşılaştırmalar yapmıştır [28].



Şekil 4.8 Uzaklık farkının faz farkına etkisini gösteren görsel

Bu problemlerin önüne geçmek için Cohen 1992 senesinde kayıp fonksiyonu denklemini GPS çoklu anten yönelim bulma amacıyla kullanılacak özel bir forma dönüştürdü. Cohen tarafından ortaya çıkarılmış kayıp fonksiyonu aşağıdaki şekildedir [11,14]:

$$J(\mathbf{R}) = \|\mathbf{W}_B^{1/2}(\Delta\Phi - \mathbf{B}^T \mathbf{R} \mathbf{S})\mathbf{W}_S^{1/2}\|_F^2 \quad (4.24)$$

Bir  $\mathbf{M}$  matrisi için Frobenius norm şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\|\mathbf{M}\|_F^2 \equiv \sum_{i,j} |m_{ij}|^2 = \text{tr}(\mathbf{M}^T \mathbf{M}) \quad (4.25)$$

$$\Delta\Phi = \begin{pmatrix} \Delta\varphi_{11} & \Delta\varphi_{12} & \Delta\varphi_{13} & \cdots & \Delta\varphi_{1m} \\ \Delta\varphi_{21} & \Delta\varphi_{22} & \Delta\varphi_{23} & \cdots & \Delta\varphi_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \Delta\varphi_{n1} & \Delta\varphi_{n2} & \Delta\varphi_{n3} & \cdots & \Delta\varphi_{nm} \end{pmatrix} \quad (4.26)$$

$$\Delta\varphi_{ij} = \hat{s}_j^T x_i - k_{ij} + \beta_i + v_{ij} \quad (4.27)$$

$\Delta\varphi_{ij}$ : i referans hattından j uydusuna olan taşıyıcı faz ölçümü farkı

$k$ : tam sayı belirsizliği (ing. integer ambiguity)

$\beta$ : antenden alıcıya kadar olan yoldan kaynaklanan yol farkı hatası ( $0 \leq \beta < 1$ )

$\mathbf{B} = (\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_n)$ : gövde çerçevesinde referans hattı vektörlerinin oluşturduğu matris

$\mathbf{S} = (\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_n)$ : Görüş hattı birim vektörlerini içeren matris

$\mathbf{R}$ : Dönüşüm matrisi

$\mathbf{W}_S$ : diferansiyel faz ölçümleri türevlerinin ağırlıklandırma matrisi

$\mathbf{W}_B$ : gövde çerçevesinde referans hattı ağırlıklandırma matrisi

$v_{ij}$ : gürültü

Taşıyıcı fazı çıktısı veren GPS alıcılarından taşıyıcı fazı ölçümleri alarak referans hatları arasındaki faz farkı değeri  $\Delta\phi_{ij}$  elde edilmektedir. Bu değer Eşitlik 4.24 ile verilen kayıp fonksiyonunda  $\mathbf{R}$  dönüşüm matrisi kestirimi için kullanılacaktır.

Wang, Zhan ve Zhang GPS ile yönelim belirleme probleminde tam sayı belirsizliğini daha verimli bir şekilde bulacak şekilde analitik çözümleme ve belirsizlik fonksiyonu metodunu birleştirerek geleneksel taşıyıcı fazı belirleme yöntemiyle karşılaştırmıştır [29]. Juang ve Huang yönelim belirleme problemine yapay sinir ağları yaklaşımı ile çözüm sunarak algoritmalarını oluşturdukları bir test platformu vasıtasıyla doğrulamışlardır [30]. Hoyle, Lachapelle, Cannon ve Wang 2002 senesinde düşük bütçeli ve yüksek bütçeli GPS alıcılarının yönelim belirleme sistemi üzerindeki etkisini incelemiştir [31].

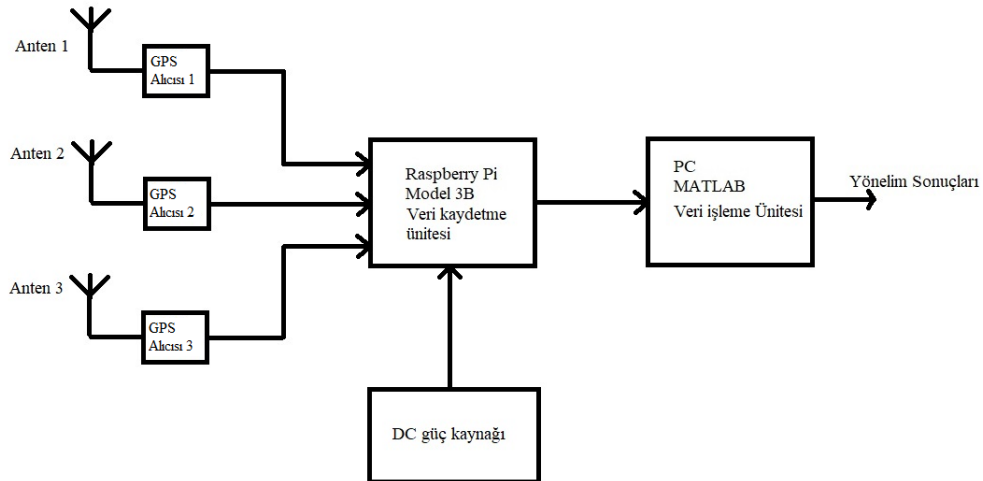
Elimizde taşıyıcı fazı çıktısı verebilen alıcı bulunmadığından dolayı bu yöntem tez kapsamında gerçekleştirilememiştir. Tez kapsamında 4.1 ve 4.2’de açıklanan iki yöntem gerçekleştirilmiş ve saha çalışmaları ile karşılaştırmalı olarak çalışılmıştır.

## 5 SAHA ÇALIŞMALARI

### 5.1 GPS Alıcısı Seçimi ve Konum Kaydetme Sisteminin Kurulması

Konum kaydetme sistemi GPS alıcısı, GPS anteni, güç kaynağı olarak kullanılan bir güç bankası ve Raspberry pi model 3B kartından oluşmaktadır. Konum kaydetmek için GPS alıcısını çalıştıran ve gelen konumu kaydeden yazılım C dilinde yazılmıştır.

Tez çalışmasının başlangıcında yönelim hesaplayabilecek kadar hassas konum sonucu ve taşıyıcı fazı ölçümü yapan alıcıları incelenmiştir. Bu kapsamda alınabilecek düşük bütçeli GPS alıcıları arasından U-blox firmasına ait Neo-7M serisi GPS modülünü konum hassasiyeti görece iyi olduğu için tercih edilmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında yine U-blox firmasına ait daha ileri seviye bir alıcı olan Neo-M8T serisi modül tedarik edilmiştir. İki alıcı eş zamanlı ve eş konumda çalıştırılıp veri kaydedilmiştir. Yaklaşık 20 dakikalık veri toplanarak yapılan testlerde elde edilen sonuçlara göre; Neo-7M için 4.8 metre CEP değeri Neo-M8T için ise 2.5 metre CEP değeri bulunmuştur. Ayrıca Neo-M8T alıcısının GPS uydularıyla birlikte Rus menşeli Glonass uydularını da kullandığı ortaya çıkmıştır. Neo-M8T serisi ürününün daha iyi sonuçlar verdiğini test sonuçlarından elde ettikten sonra yönelim bulma çalışmalarında Neo-M8T modülü kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 5.1 Veri toplamak ve işlemek üzere kurulan sistemin blok diyagramı

## GPS Anteni

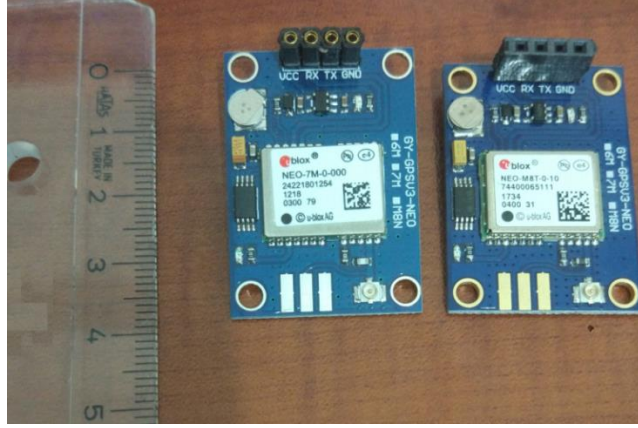
Yönelim bulmak üzere kurulan sistemin GPS anteni olarak Şekil 5.2 ile görülen seramik yama (ing. patch) tipi 25 x 25 x 4.6 mm. boyutlarında anten kullanılmıştır. Bu anten sağ el dairesel polarize, tipik olarak 2 dBic kazanca sahip, boyut ve ucuz maliyetinden ötürü yaygın bir şekilde kullanılan pasif bir antendir.



Şekil 5.2 Seramik yama tipi GPS anteni

## GPS Alıcısı

Konum sonuçları elde etmek üzere Şekil 5.3 ile görülen U blox firmasına ait Neo-7M ve Neo-M8T alıcıları kullanılmaktadır. Kullanılan Neo-7M alıcısı sadece GPS uydularını kullanarak konum sonucu verebilmiştir. Neo-7M alıcısının teknik dökümanında Glonass uydularını da kullanabileceği belirtilmektedir ancak Glonass uydularını kullanabilmesi için gereken güç seviyesi -139 dBm GPS uyduları için ihtiyaç duyduğu güç seviyesi -148 dBm olarak belirtilmiştir [19]. Bizim alıcımızın Glonass uydularını pozisyon sonucu üretirken kullanmama sebebi bu güç ihtiyacındaki farklılık veya alıcının yazılımsal konfigürasyonun Glonass uydularına açılmamış olması olabileceği değerlendirilmiştir. Elimizdeki Neo-M8T alıcısının ise GPS uyduları ile birlikte Glonass uydularını kullanarak konum sonucu üretebildiği gözlenmiştir.



Şekil 5.3 Neo-7 ve Neo-M8T alıcıları

Çizelge 5.1 ile Neo-7M ve Neo-M8T alıcıları ile ilgili ayrıntılı teknik özellikleri içeren bilgiler verilmiştir. Eş zamanlı ve eş konumda yapılan testlerde Neo-M8T alıcısının 2.5 m. CEP değerine Neo-7M alıcısının ise 4.8 m. CEP değerine sahip olduğu ortalama olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1 Kullandığımız alıcıların teknik özellikleri [19,20]

|                                    | Neo 7M [19]                                                                           | Neo M8T [20]                                                                         |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Pozisyon Hassasiyeti               | 2.5 m. CEP                                                                            | 2.5 m. CEP                                                                           |
| Soğuk Başlatma                     | 29 saniye                                                                             | 25 saniye                                                                            |
| Alıcı Hassasiyeti (Soğuk başlatma) | -148 dBm (GPS)<br>-139 dBm (Glonass)                                                  | -157 dBm (GPS&Glonass)                                                               |
| Güç gereksinimi                    | 1.65 V – 3.6 V                                                                        | 1.4 V to 3.6 V                                                                       |
| Arayüz                             | UART, USB, SPI, DDC                                                                   | UART, USB, SPI, DDC                                                                  |
| Protokol                           | NMEA(default), UBX,<br>RTCM                                                           | NMEA (default), UBX,<br>RTCM                                                         |
| Çıktılar                           | UTC Time,<br>Pozisyon<br>PDOP, HDOP, VDOP,<br>Uydu elevation ve<br>azimuth, Uydu SNR, | UTC Time,<br>Pozisyon<br>PDOP, HDOP, VDOP,<br>Uydu elevation ve<br>azimuth, Uydu SNR |

## Raspberry Pi Kartı

GPS alıcılarını çalıştırmak ve GPS alıcılarından gelen veriyi çözüp kaydetmek üzere tek kartlık bir bilgisayar olarak kullandığımız Raspberry Pi Model 3 B Şekil 5.4 ile görülmektedir.



Şekil 5.4 Raspberry Pi Model 3B

Kullandığımız Raspberry Pi modülünde veri iletimi, güç, toprak vb. ihtiyaçlar için kullanılabilecek 40 adet GPIO pini ile birlikte GPS alıcılarının kontrolünü sağladığımız USB portlarından 4 tane bulunuyor. Raspberry Pi üzerinde 1.2 GHz hızında Broadcom BCM2837 64bit ARMv7 işlemci, 1 GB RAM, sabit disk olarak kullanılabilen 32 GB Micro SD kart, WIFI ve bluetooth bulunmaktadır. Raspberry Pi, linux tabanlı Raspbian işletim sistemi ile birlikte çalışmaktadır. USB veya GPIO arayüzünden konum sonuçlarını okumak ve kaydetmek için kullandığımız C programlama dilinde yazılan programlama kodları EK 1’de yer almaktadır.

## MATLAB

MATLAB (matrix laboratory), çok paradigmalı sayısal hesaplama yazılımı ve dördüncü nesil programlama dilidir. MathWorks şirketinin sahibi olduğu bir programlama dili olan MATLAB kullanıcıya, matris işleme, fonksiyon ve veri çizme, algoritma uygulama, kullanıcı arayüzü oluşturma, C, C++, Java, ve Fortran gibi diğer dillerde yazılmış programlarla arabağlama imkanı tanır [23].

MATLAB programını yönelim belirleme sisteminde GPS konum çıktılarını incelemek, konum değişimini görüntülemek, doğruluk ölçeklendirmelerini yapmak ve yönelim belirleme algoritmalarını gerçeklemek üzere kullanıyoruz. MATLAB ortamında gerçeklediğimiz yönelim algoritmaları fonksiyonlar halinde EK 2’de verilmiştir.

## 5.2 Ölçümler ve Yönelim Hesaplamaları

### 5.2.1 Yönelim Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

Kullandığımız GPS alıcılarının çıktıları arasında taşıyıcı fazı olmadığı için 4.3 başlığı altında anlatılan taşıyıcı fazı çıktısının gerektiği yöntem kullanılamamıştır. 4.1 başlığı altında sunulan doğrudan hesaplama yöntemi ile 4.2 başlığı altında sunulan eşdoğrusal olmayan referans hatları kullanılarak yönelim hesaplanan yöntemler gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde aynı verilerin kullanılmasıyla yöntemler karşılaştırılmıştır.

3 metrelik referans hattı oluşturmak üzere toplanan veriler kullanılarak iki yöntemle de yönelim sonuçları elde edilmiştir. Bu veriler 06.04.2018 tarihinde saat 16:00-16:30 aralığında yaklaşık 1800 saniye, Ankara Keçiören’de açık bir pazar alanında alınmıştır. Alınan verilere ait doğruluk ölçeklendirmeleri ve konum standart sapma değerleri Çizelge 5.2 ile verilmiştir.

Çizelge 5.2 Toplanan konum verilerinin doğruluk ölçeklendirmeleri (3 m. Referans hattı)

|                  | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>Anten  | 1.2382                            | 1.1752                             | 2.1073                                | 1.4239  | 2.128   | 1.5492      | 2.6101      |
| Slave 1<br>Anten | 1.3593                            | 1.3419                             | 2.3677                                | 1.5937  | 2.3283  | 1.5438      | 2.9223      |
| Slave 2<br>Anten | 1.2792                            | 1.1757                             | 1.8699                                | 1.4483  | 1.9956  | 1.4259      | 2.4484      |

Yönelim sonuçlarını değerlendirmek üzere standart sapmalar belirlenmiştir. Doğrudan hesaplama yöntemi ile bulunan yönelim sonuçlarının standart sapma değerleri Çizelge 5.3 ile verilmiştir.

Çizelge 5.3 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (3 m. doğrudan hesaplama)

|                   | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|-------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Yönelim           | 27.0601                                        | 19.6038                                       | 7.0629                                    |
| Birikimli Yönelim | 5.6217                                         | 5.7046                                        | 1.4957                                    |

Eşdoğrusal olmayan referans hattı vektörleri kullanarak yönelim hesaplama yöntemi ile bulunan yönelim sonuçlarının standart sapma değerleri Çizelge 5.4 ile verilmiştir.

Çizelge 5.4 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (3 m. Eşdoğrusal olmayan referans hattı vektörleri kullanarak hesaplama)

|                   | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|-------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Yönelim           | 22.8922                                        | 23.6504                                       | 14.1408                                   |
| Birikimli Yönelim | 5.5939                                         | 6.0892                                        | 2.2840                                    |

10 metrelik referans hattı oluşturmak üzere toplanan verileri kullanılarak iki yöntemle de yönelim sonuçları elde edilmiştir. Bu veriler 07.04.2018 tarihinde saat 11:45–12:15 aralığında yaklaşık 1200 saniye, Ankara Keçiören’de açık bir pazar alanında alınmıştır. Alınan verilere ait doğruluk ölçeklendirmeleri ve konum standart sapma değerleri Çizelge 5.5 ile verilmiştir.

Çizelge 5.5 Toplanan verilerin doğruluk ölçeklendirmeleri (10 m. Referans hattı)

|                  | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>Anten  | 0.9360                            | 0.6184                             | 1.371                                 | 0.9173  | 1.3903  | 1.2122      | 1.6838      |
| Slave 1<br>Anten | 0.5313                            | 1.2474                             | 0.7042                                | 1.0494  | 1.2921  | 1.2869      | 1.4908      |
| Slave 2<br>Anten | 0.4371                            | 0.7556                             | 0.7017                                | 0.7037  | 0.9405  | 0.9267      | 1.0916      |

Yönelim sonuçlarını değerlendirmek üzere standart sapmalarını ortaya çıkardık. Doğrudan hesaplama yöntemi ile bulunan yönelim sonuçlarının standart sapma değerleri Çizelge 5.6 ile verilmiştir.

Çizelge 5.6 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (10 m. doğrudan hesaplama)

|                   | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|-------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Yönelim           | 7.6629                                         | 4.7219                                        | 4.4516                                    |
| Birikimli Yönelim | 2.2926                                         | 1.7147                                        | 1.9704                                    |

Eşdoğrusal olmayan referans hattı vektörleri kullanarak hesaplama yöntemi ile bulunan yönelim sonuçlarının standart sapma değerleri Çizelge 5.7 ile verilmiştir.

Çizelge 5.7 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (10 m. Eşdoğrusal olmayan referans hattı vektörleri kullanarak hesaplama)

|                   | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|-------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Yönelim           | 7.6343                                         | 4.7636                                        | 4.7935                                    |
| Birikimli Yönelim | 2.2797                                         | 1.7198                                        | 2.2256                                    |

100 metrelik referans hattı oluşturmak üzere toplanan verileri kullanılarak iki yöntemle de yönelim sonuçları elde edilmiştir. Bu veriler 31.03.2018 tarihinde saat 17.15-17:30 aralığında yaklaşık 1200 saniye, Ankara Keçiören'de açık bir pazar alanında ve yakınlardaki yol kenarlarından alınmıştır. Alınan verilere ait doğruluk ölçeklendirmeleri ve konum standart değerleri Çizelge 5.8 ile verilmiştir.

Çizelge 5.8 Toplanan verilerin doğruluk ölçeklendirmeleri (100 m. Referans hattı)

|                  | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>Anten  | 0.513                             | 1.2474                             | 0.7042                                | 1.0494  | 1.2921  | 1.2869      | 1.4908      |
| Slave 1<br>Anten | 2.0527                            | 2.881                              | 1.5615                                | 2.9108  | 3.2061  | 3.2417      | 3.6692      |
| Slave 2<br>Anten | 1.0279                            | 1.0787                             | 0.8693                                | 1.2429  | 1.3995  | 1.4318      | 1.6267      |

Yönelim sonuçlarını değerlendirmek üzere standart sapmalarını ortaya çıkardık. Doğrudan hesaplama yöntemi ile bulunan yönelim sonuçlarının standart sapma değerleri Çizelge 5.9 ile verilmiştir.

Çizelge 5.9 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (100 m. doğrudan hesaplama)

|                   | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|-------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Yönelim           | 0.4546                                         | 0.7231                                        | 1.0951                                    |
| Birikimli Yönelim | 0.1859                                         | 0.4165                                        | 0.7723                                    |

Eşdoğrusal olmayan referans hattı vektörleri kullanarak hesaplama yöntemi ile bulunan yönelim sonuçlarının standart sapma değerleri Çizelge 5.10 ile verilmiştir.

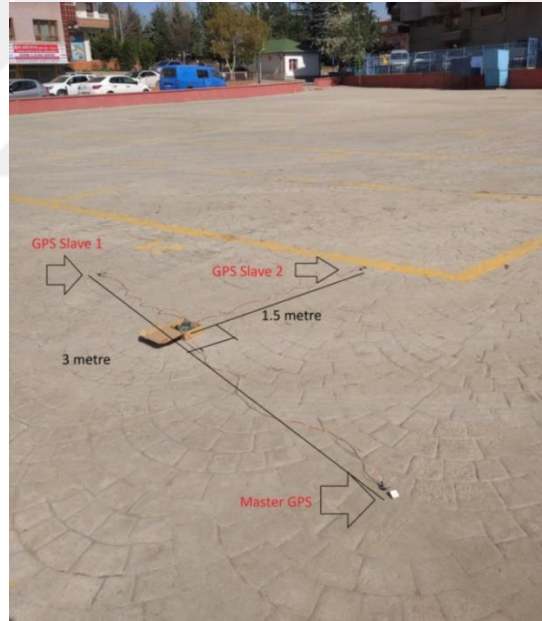
Çizelge 5.10 Yönelim sonuçlarının standart sapmaları (100 m. Eşdoğrusal olmayan referans hattı vektörleri kullanarak hesaplama)

|                   | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|-------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Yönelim           | 0.4546                                         | 0.7230                                        | 1.0922                                    |
| Birikimli Yönelim | 0.1859                                         | 0.4164                                        | 0.7744                                    |

Bu bölümde 3 metre, 10 metre ve 100 metre referans hattı uzunluğunda yönelim hesaplamak üzere topladığımız verileri kullanarak yönelim hesapladık ve sonuçların standart sapmalarını verdik. Hesaplanan yönelim sonuçları sonraki bölümde verildiği için bu bölümde yöntemleri karşılaştırmak üzere standart sapma değerleri tablolar şeklinde verilmiştir. Yönelim sonuçlarının standart sapmalarını değerlendirdiğimizde iki yöntemin 10 metre ve 100 metrelik referans hatları için yakın sonuçlar verdiğini gördük. Ancak 3 metre uzunluğundaki referans hattında doğrudan hesaplama yönteminin yunuslama ve sapma hesaplamalarında daha doğru sonuçlar verdiğini gözlemledik. Bu nedenle bundan sonraki bölümlerde yönelim belirlemek için doğrudan hesaplama yöntemi tercih edilmiştir.

### 5.2.2 3 Metrelik Referans Hattı İçin Yönelim Sonuçları

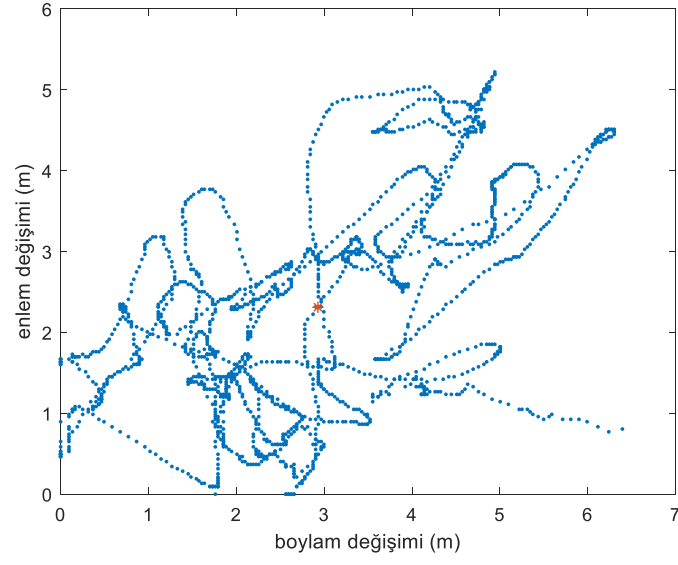
Bu bölümde Master GPS alıcısı ile Slave 1 GPS alıcısı arasında 3 metrelik bir referans hattı oluşturulmuştur. Slave 2 GPS alıcısı ise bu referans hattına 1,5 metre uzaklıkta yer almaktadır. Antenlerin yerleşimi Şekil 5.5 ile gösterilmiştir. Şekil 5.5’de verilen Master GPS alıcısı, gövde koordinat sisteminin verildiği Şekil 4.1 ile Anten 1’e karşılık gelmektedir. Slave 1 GPS alıcısı Şekil 4.1 ile verilen Anten 2’ye karşılık gelmektedir. Slave 2 GPS alıcısı Şekil 4.1 ile verilen Anten 3’e karşılık gelmektedir. Toplanan veriler 06.04.2018 tarihinde saat 16:00-16:30 (GMT+3) aralığında yaklaşık 1800 saniye, Ankara Keçiören’de Subayevleri mahallesi mevkiinde açık bir pazar alanında alınmıştır. GPS alıcıları konum sonuçlarında kullanmak üzere 12 uydu yakalamıştır. Bu uyduların ortalama 8 tanesi GPS geri kalan 4 tanesi ise Glonass uydularıdır.



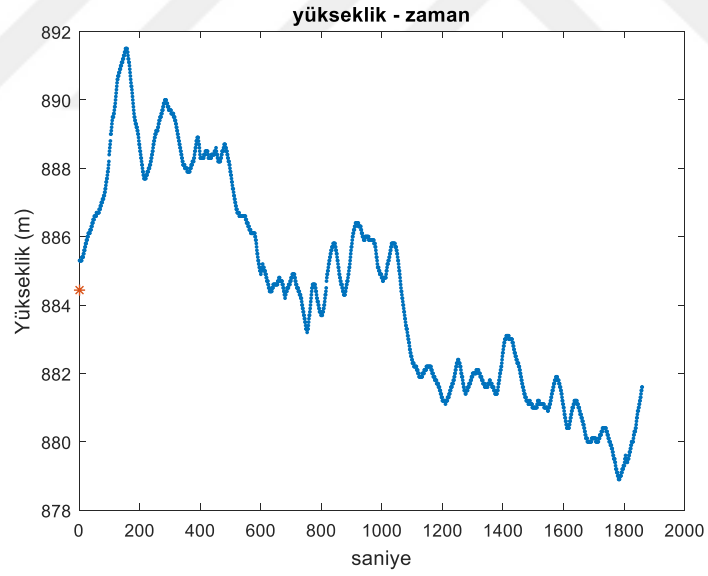
Şekil 5.5 Alıcı yerleşimleri (3 metrelik referans hattı)

### Master GPS Alıcısı Konum Grafikleri

Master GPS alıcısı ile kaydettiğimiz konumlardan elde edilen enlem ve boylam değişimi Şekil 5.6 ile yükseklik sonuçları ise Şekil 5.7 ile verilmiştir.



şekil 5.6 Enlem boyam sonuçlarının değişim grafiği (3 m. referans hattı, Master GPS)



şekil 5.7 Yükseklik sonuçları (3 m. referans hattı, Master GPS)

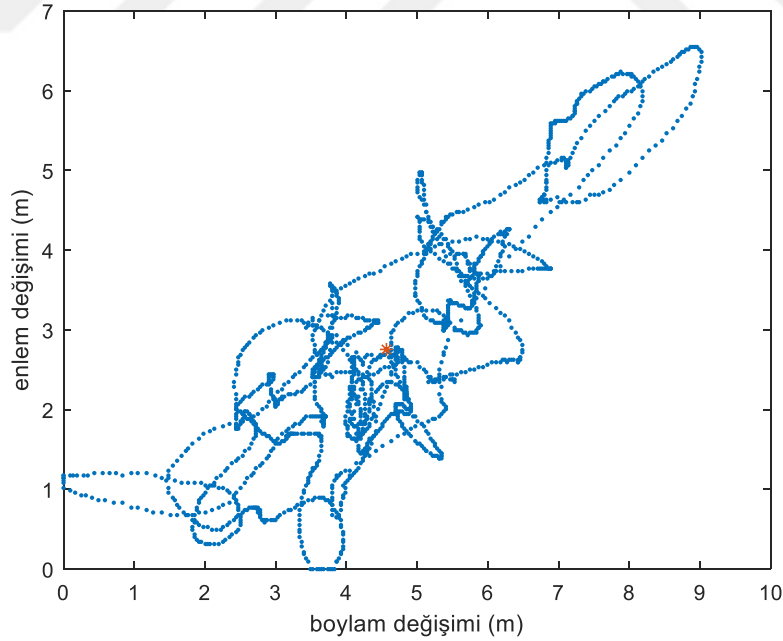
3 m. referans hattı için Master GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.11 ile verilmiştir.

Çizelge 5.11 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (3 m. referans hattı için Master GPS)

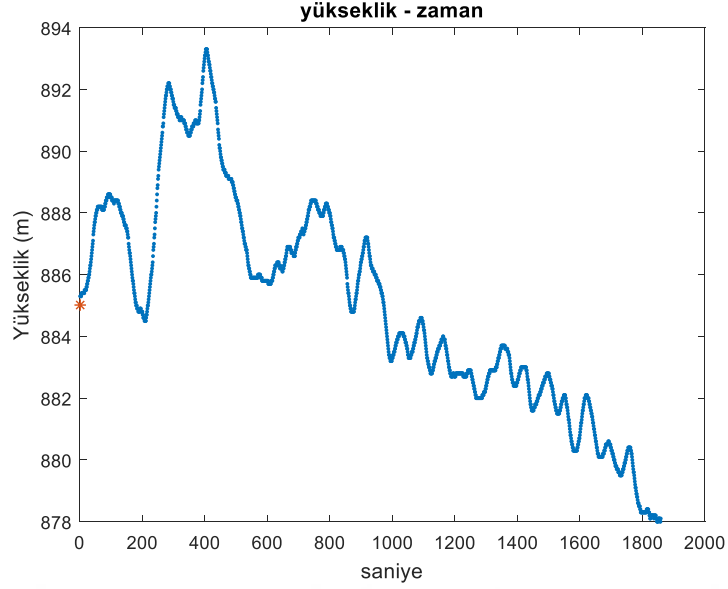
|                 | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>Anten | 1.2382                            | 1.1752                             | 2.1073                                | 1.4239  | 2.128   | 1.5492      | 2.6101      |

### Slave 1 GPS Alıcısı Konum Grafikleri

Slave 1 GPS alıcısı ile kaydettiğimiz konumlardan elde edilen enlem ve boylam değişimi Şekil 5.8 ile yükseklik sonuçları ise Şekil 5.9 ile verilmiştir.



Şekil 5.8 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (3 m. referans hattı için Slave 1 GPS)



Şekil 5.9 Yükseklik sonuçları (3 m. referans hattı için Slave 1 GPS)

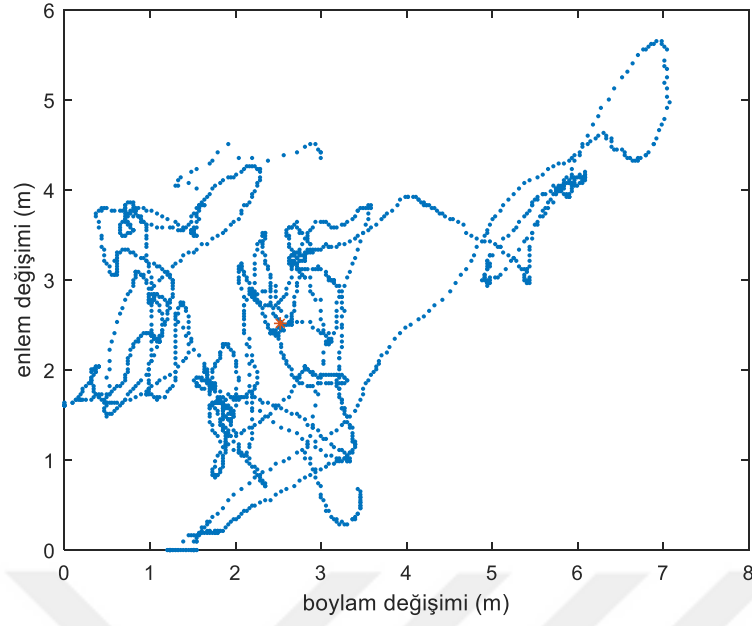
3 m. referans hattı için Slave 1 GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.12 ile verilmiştir.

Çizelge 5.12 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (3 m. referans hattı için Slave 1 GPS)

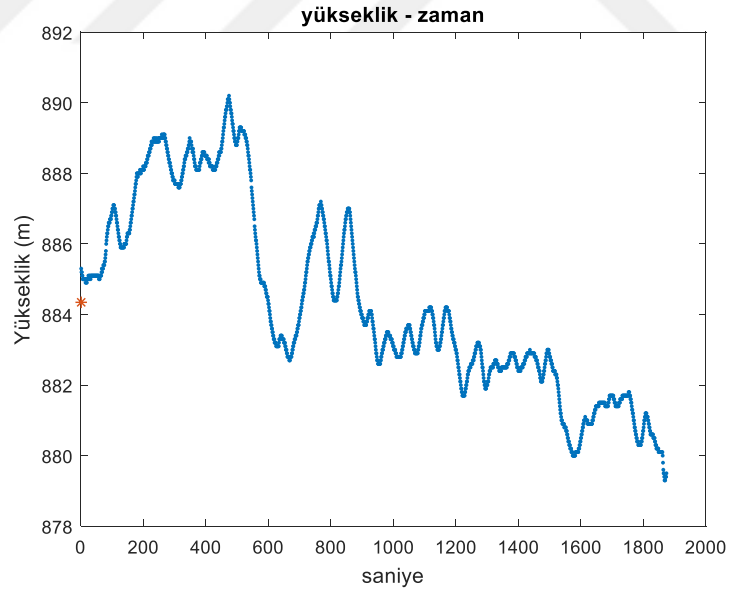
|                  | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Slave 1<br>Anten | 1.3593                            | 1.3419                             | 2.3677                                | 1.5937  | 2.3283  | 1.5438      | 2.9223      |

### Slave 2 GPS Alıcısı Konum Grafikleri

Slave 2 GPS alıcısı ile kaydettiğimiz konumlardan elde edilen enlem ve boylam değişimi Şekil 5.10 ile yükseklik sonuçlarının değişimi ise Şekil 5.11 ile verilmiştir.



şekil 5.10 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (3 m. referans hattı için Slave 2 GPS)



şekil 5.11 Yükseklik sonuçları (3 m. referans hattı için Slave 2 GPS)

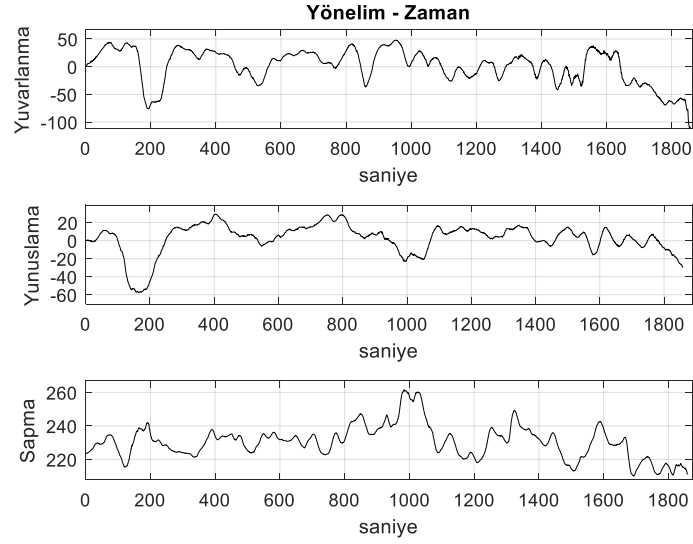
3 m. referans hattı için Slave 2 GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.13 ile verilmiştir.

Çizelge 5.13 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (3 m. referans hattı için Slave 2 GPS)

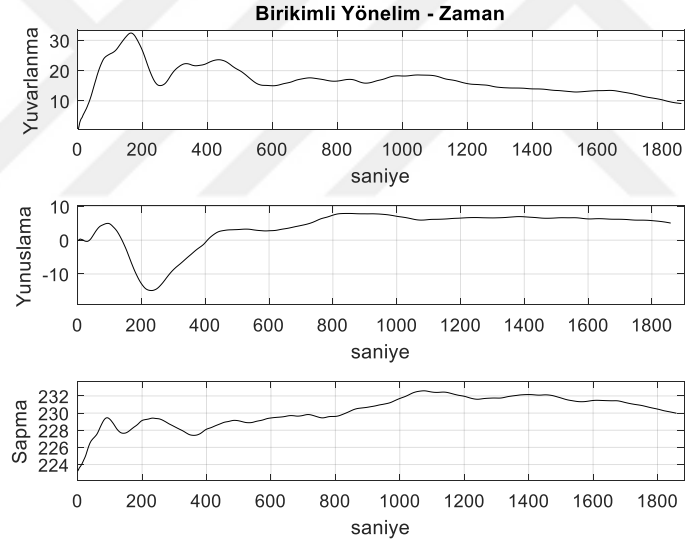
|                  | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Slave 2<br>Anten | 1.2792                            | 1.1757                             | 1.8699                                | 1.4483  | 1.9956  | 1.4259      | 2.4484      |

### 3 Metrelik Referans Hattı İçin Bulunan Yönelim Sonuçları

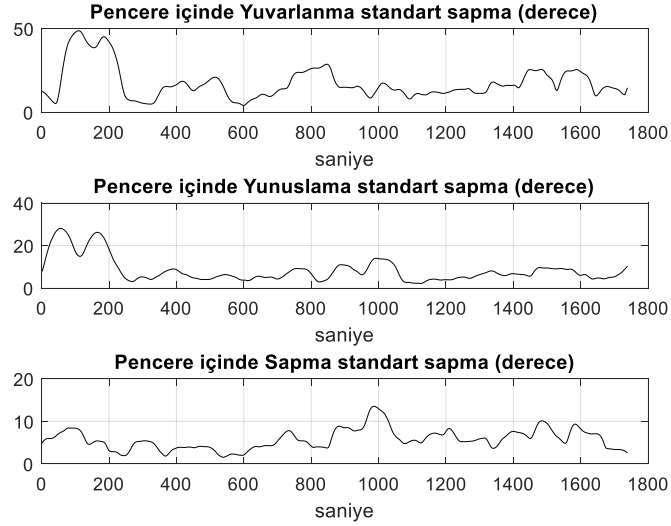
Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçlarını Şekil 5.12 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımızı görsel Şekil 5.13 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir. Örneğin 800. saniyede ilk 800 konum sonucunun ortalaması alınarak yönelim hesaplama işlemi yapılmıştır. Standart sapma değerlerini 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplayarak verdiğimiz grafik Şekil 5.14 ile görülmektedir. Bu grafik 120 saniyelik konum verisinin ortalamasıyla yönelim bulduğumuzda ortaya çıkan sonucun standart sapmasını ifade etmektedir. Bu sayede, 120 saniyelik hareketsiz bekleme süresinin ardından yönelim hesaplamalarının ne ölçüde doğru olduğu değerlendirilebilecektir.



Şekil 5.12 Anlık yönelim sonuçları (3 m. referans hattı)



Şekil 5.13 Konum sonuçlarının birikimli ortalaması alınarak hesaplanan yönelim sonuçları (3m . referans hattı)



Şekil 5.14 120 saniyelik bir pencere içerisinde ortalama alınarak hesaplanan yönelim standart sapma grafiği (3m. referans hattı)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile 3 m. uzunluğunda referans hattı oluşturarak yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.14 ile verilmiştir

Çizelge 5.14 Yönelim performansı (3 m uzunluğunda referans hattı)

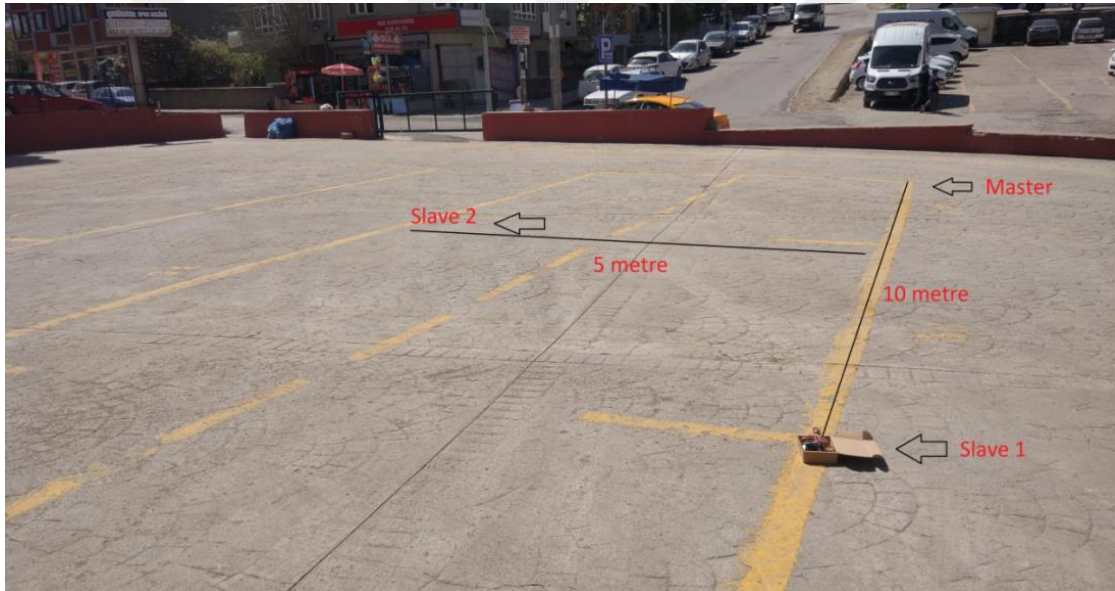
|                           | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|---------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim             | 27.0601                                        | 19.6038                                       | 7.0629                                    |
| Birikimli Yönelim         | 5.6217                                         | 5.7046                                        | 1.4957                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 17.4760                                        | 8.2851                                        | 5.7606                                    |

Bu tabloya göre 3 metrelik referans hattı kullanmak doğru yönelim sonuçları elde etmek için antenlerin birbirine fazla yakın konumlandırılmış olduğu anlamına gelmektedir. Özellikle yuvarlanma ve yunuslama açısı hesaplamalarında yüksek hatalara sebep olabilecek kadar yakın yerleşimin olduğunu sonuçlardan çıkarabiliyoruz. Birikimli yönelim sonuçlarını incelediğimizde sonuçların en azından sapma açısı için kabul edilebilir seviyeye indiğini gözlemleyebiliyoruz. 120 saniyelik

pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri 120 saniyenin yönelim standart sapmasını en iyi 6 derece mertebesine indirebildiğini gösteriyor.

### 5.2.3 10 Metrelik Referans Hattı İçin Yönelim Sonuçlar

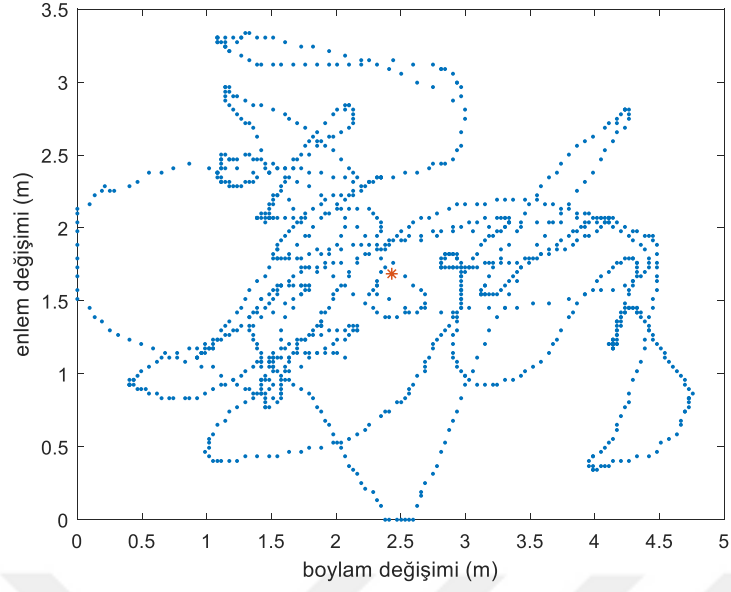
Bu kısımda Master GPS alıcısı ile Slave 1 GPS alıcısı arasında 10 metrelik bir referans hattı oluşturulmuştur. Slave 2 GPS alıcısı ise bu referans hattına 5 metre uzaklıkta yer almaktadır. Antenlerin yerleşimi Şekil 5.15 ile gösterilmiştir. Bu veriler 07.04.2018 tarihinde saat 11:45-12:15 (GMT+3) aralığında yaklaşık 1200 saniye, Ankara Keçiören'de Subayevleri mahallesi mevkiinde açık bir pazar alanında alınmıştır. GPS alıcıları konum sonuçlarında kullanmak üzere kısa süreliğine 11 uyduya düşse de çoğunlukla 12 uydu yakalayabilmiştir. Bu uyduların ortalama 8 tanesi GPS geri kalan 4 tanesi ise Glonass uydularıdır.



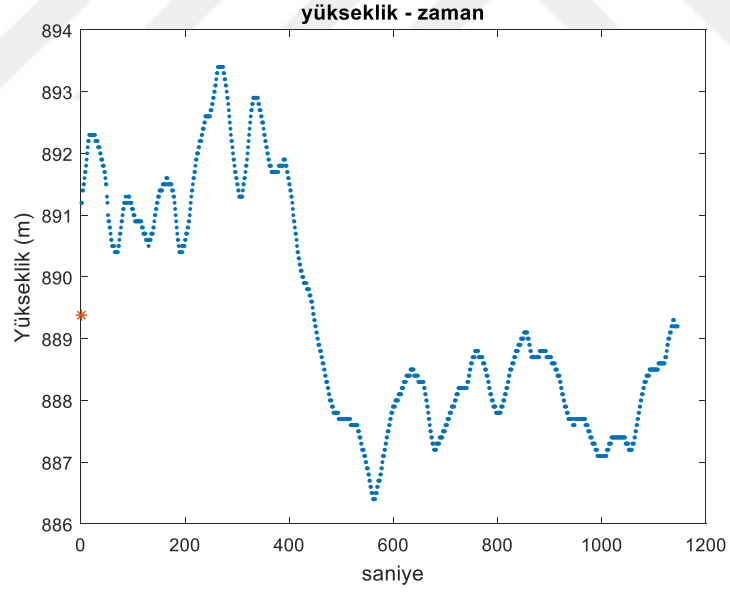
Şekil 5.15 10 metrelik referans hattı için alıcı yerleşimleri

### Master GPS alıcısı için konum doğruluğu grafikleri

Master GPS alıcısı ile kaydettiğimiz konumlardan elde edilen enlem ve boylam değişimi Şekil 5.16 ile yükseklik sonuçları ise Şekil 5.17 ile verilmiştir.



Şekil 5.16 Enlem boylam sonuçlarının değışim grafiğı (10 m. referans hattı, Master GPS)



Şekil 5.17 Yükseklik sonuçları (10 m. referans hattı, Master GPS)

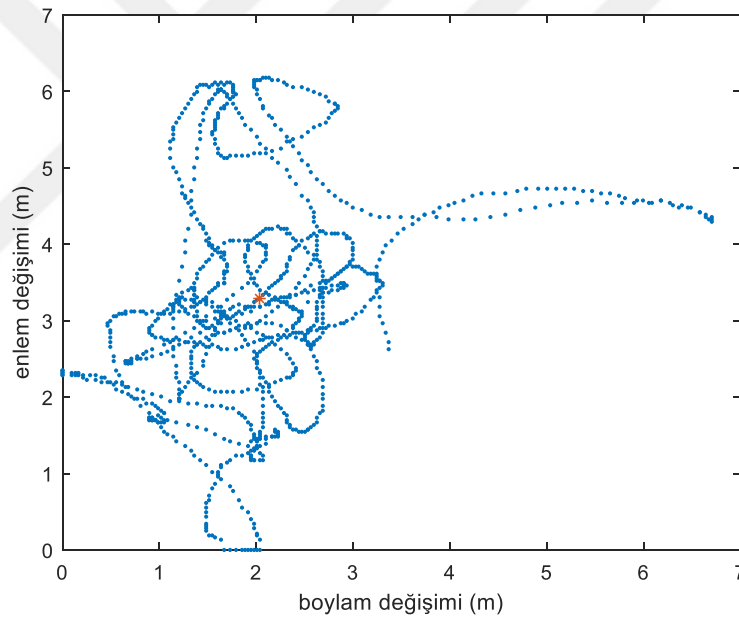
10 m. referans hattı için Master GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.15 ile verilmiştir.

Çizelge 5.15 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (10 m. referans hattı, Master GPS)

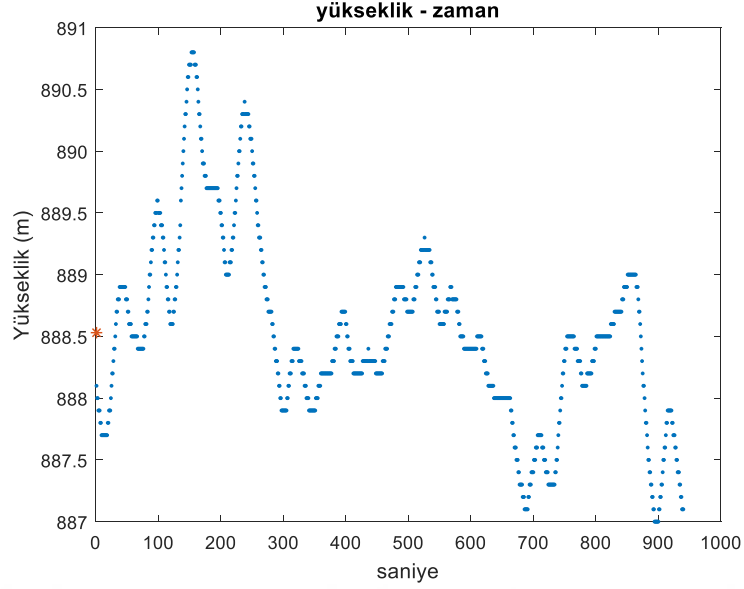
|               | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|---------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>GPS | 0.9360                            | 0.6184                             | 1.371                                 | 0.9173  | 1.3903  | 1.2122      | 1.6838      |

### Slave 1 GPS alıcısı ölçümlerinin konum doğruluğu grafikleri

Slave 1 GPS alıcısı ile kaydettiğimiz konumlardan elde edilen enlem ve boylam değişimi Şekil 5.18 ile yükseklik sonuçları ise Şekil 5.19 ile verilmiştir.



Şekil 5.18 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (10 m. referans hattı, Slave 1 GPS)



Şekil 5.19 Yükseklik sonuçları (10 m. referans hattı, Slave 1 GPS)

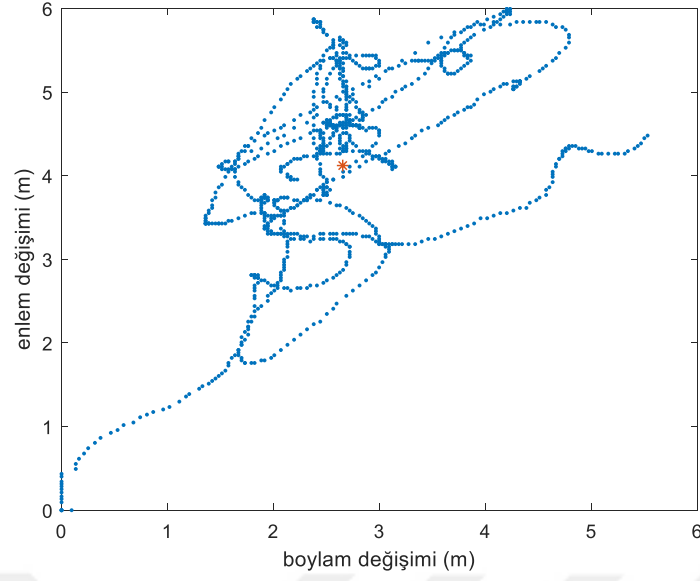
10 m. referans hattı için Master GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.16 ile verilmiştir.

Çizelge 5.16 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (10 m. referans hattı, Slave 1 GPS)

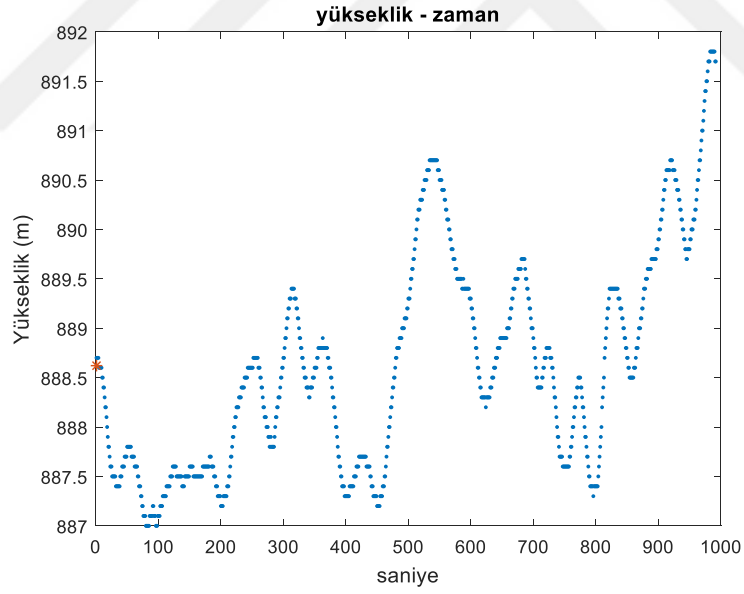
|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Slave 1<br>GPS | 0.5313                            | 1.2474                             | 0.7042                                | 1.0494  | 1.2921  | 1.2869      | 1.4908      |

### Slave 2 GPS alıcısı ölçümlerinin konum doğruluğu grafikleri

Slave 2 GPS alıcısı ile kaydettiğimiz konumlardan elde edilen enlem ve boylam değişimi Şekil 5.20 ile yükseklik sonuçlarının değişimi ise Şekil 5.21 ile verilmiştir.



Şekil 5.20 Enlem boylam sonuçlarının değişim grafiği (10 m. referans hattı, Slave 2 GPS)



Şekil 5.21 Yükseklik sonuçları (10 m. referans hattı, Slave 2 GPS)

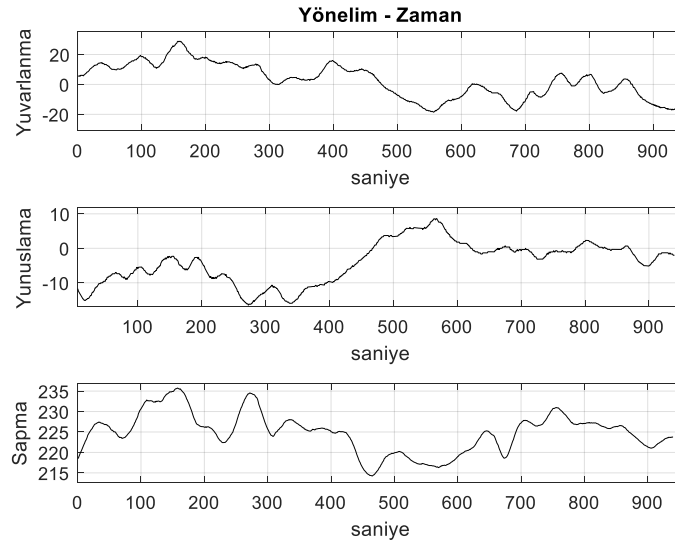
10 m. referans hattı için Slave 2 GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.17 ile verilmiştir.

Çizelge 5.17 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (10 m. referans hattı, Slave 2 GPS)

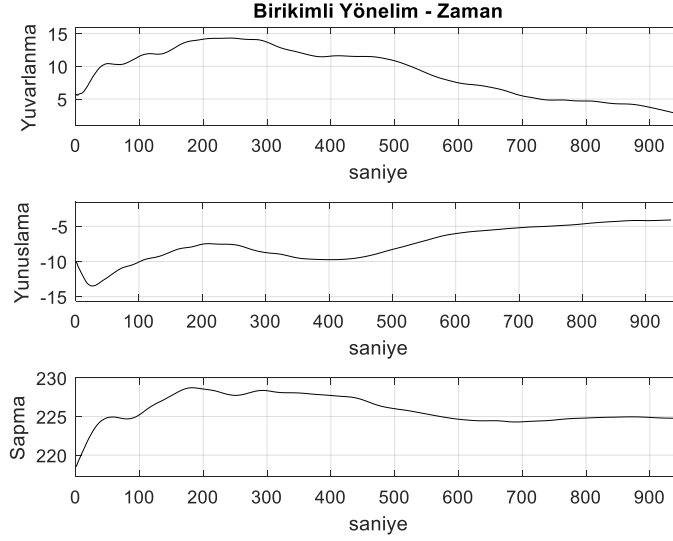
|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Slave 2<br>GPS | 0.4371                            | 0.7556                             | 0.7017                                | 0.7037  | 0.9405  | 0.9267      | 1.0916      |

### Yönelim sonuçları

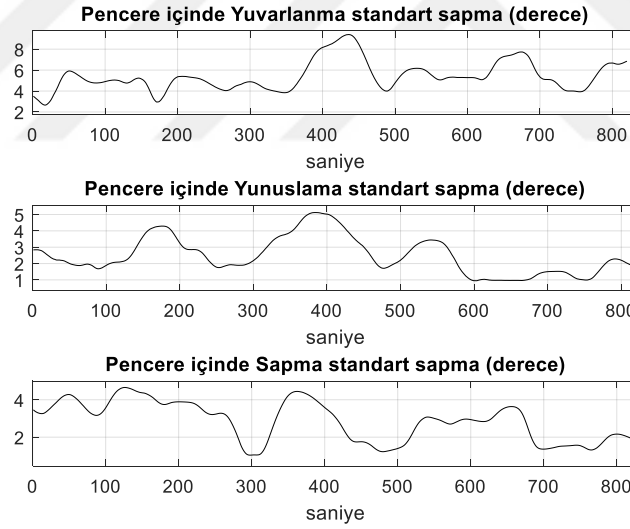
Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçlarını Şekil 5.22 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.23 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir. Standart sapma değerlerini 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplayarak verdiğimiz grafik Şekil 5.24 ile görülmektedir.



Şekil 5.22 Anlık yönelim sonuçları (10 m. referans hattı)



Şekil 5.23 Birikimli konum sonuçları kullanılarak elde edilen yönelim sonuçları (10 m. referans hattı)



Şekil 5.24 Anlık yönelim sonuçlarının 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri (10 m. referans hattı)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile 10 m. uzunluğunda referans hattı oluşturarak yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.18 ile verilmiştir

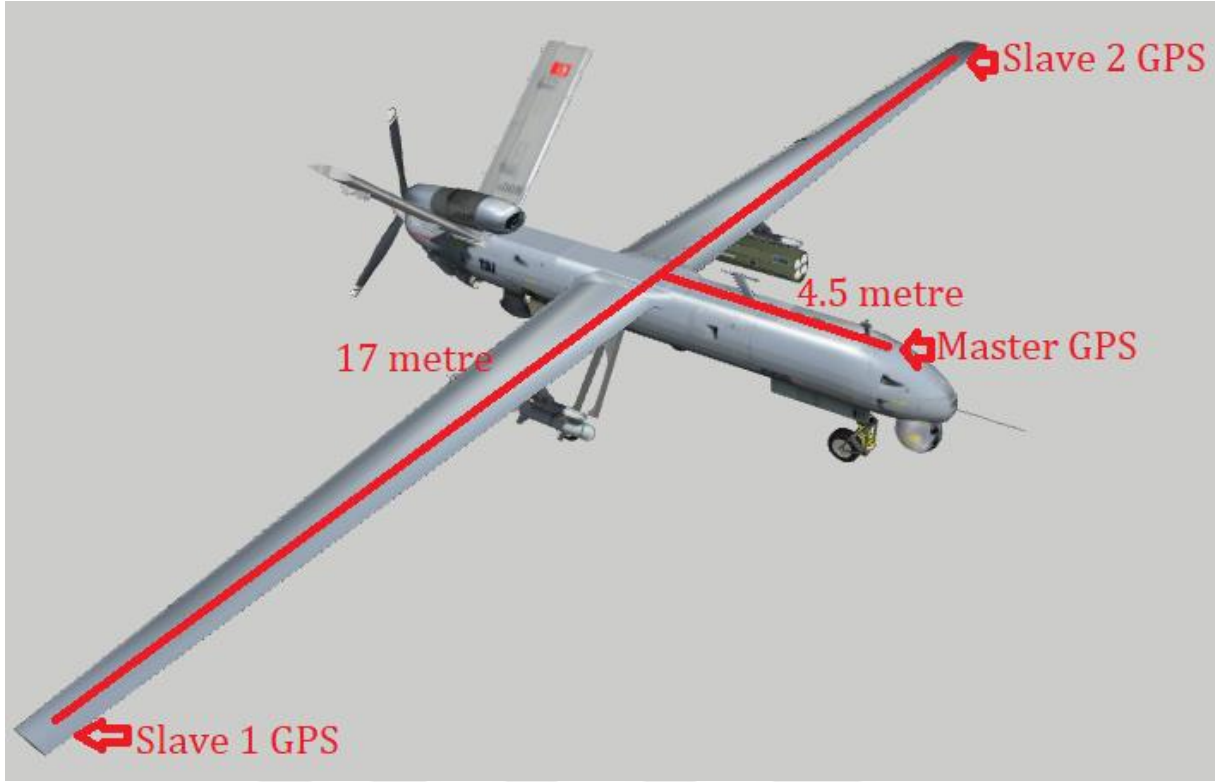
Çizelge 5.18 Yönelim performansı (10 m uzunluğunda referans hattı)

|                           | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|---------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim             | 7.6629                                         | 4.7219                                        | 4.4516                                    |
| Birikimli Yönelim         | 2.2926                                         | 1.7147                                        | 1.9704                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 5.4095                                         | 2.4797                                        | 2.8635                                    |

Bu tabloya göre 10 metrelik referans hattı kullanmak doğru yönelim sonuçları elde etmek için antenlerin birbirine fazla yakın konumlandırılmış olduğu anlamına geliyor. Özellikle yuvarlanma açısı hesaplamalarında yüksek hatalara sebep olabilecek kadar yakın yerleşimin olduğunu sonuçlardan çıkarabiliyoruz. Birikimli yönelim sonuçlarını incelediğimizde ise sonuçların nispeten kabul edilebilir seviyelere indiğini gözlemleyebiliyoruz. 120 saniyelik pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri 120 saniyenin yönelim standart sapmasını en iyi 6 derece mertebesine indirebildiğini gösteriyor.

#### 5.2.4 Bir ANKA Platformuna Yerleştirilmiş Sanal Bir Sistemin Yönelim Sonuçları

Bu kısımda Master GPS alıcısı hayali ANKA platformunun burun kısmına, Slave 1 GPS alıcısı sağ kanat ucuna Slave 2 GPS alıcısı sol kanat ucuna yerleştirildiği varsayılmıştır. Antenlerin yerleşimi ve birbirleri arasındaki mesafe Şekil 5.25 ile gösterilmiştir. Bu veriler 14.04.2018 tarihinde saat 15:50-16:45 (GMT+3) aralığında yaklaşık 1200 saniye, Ankara Keçiören'de Subayevleri mevkiinde açık bir pazar alanında alınmıştır. GPS alıcıları konum sonuçlarında kullanmak üzere kısa süreliğine 11 uyduya düşse de çoğunlukla 12 uydu yakalayabilmiştir. Bu uyduların ortalama 8 tanesi GPS geri kalan 4 tanesi ise Glonass uydularıdır.



Şekil 5.25 ANKA platformu üzerine yerleştirilecek GPS alıcıları

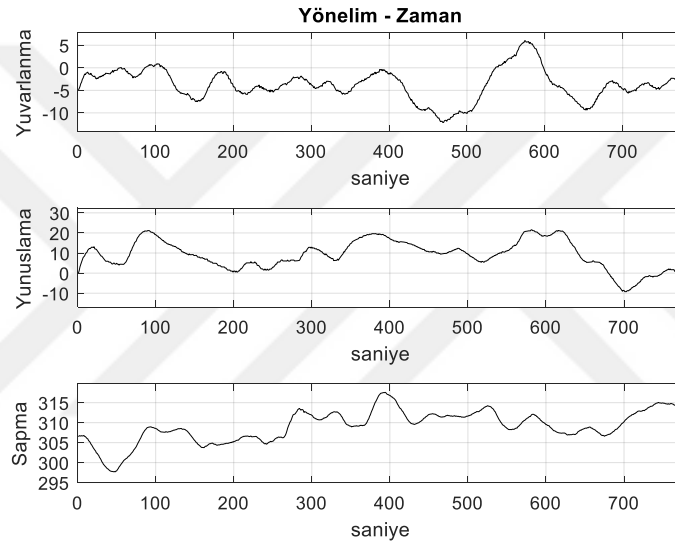
Anka Platformu için GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.19 ile verilmiştir.

Çizelge 5.19 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (Anka Platformu için)

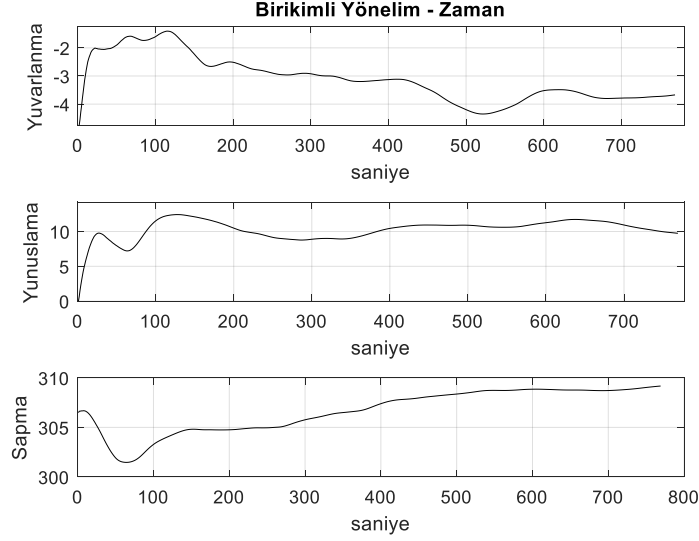
|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>GPS  | 0.6065                            | 0.6696                             | 0.5967                                | 0.7529  | 0.9015  | 0.8848      | 1.0342      |
| Slave 1<br>GPS | 1.5676                            | 1.0329                             | 1.2225                                | 1.5343  | 1.7361  | 1.5574      | 2.0122      |
| Slave 2<br>GPS | 0.6839                            | 0.6261                             | 0.7015                                | 0.7729  | 0.9301  | 0.8653      | 1.0950      |

## Yönelim Sonuçları

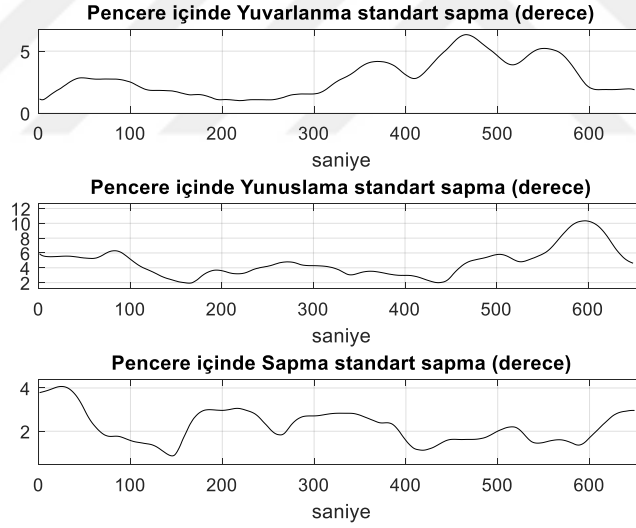
Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçlarını Şekil 5.26 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.27 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir. Standart sapma değerlerini 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplayarak verdiğimiz grafik Şekil 5.28 ile görülmektedir.



Şekil 5.26 Anlık yönelim sonuçları (Anka platformu)



Şekil 5.27 Konum sonuçlarının birikimli ortalaması alınarak hesaplanan yönelim sonuçları (Anka Platformu)



Şekil 5.28 Anlık yönelim sonuçlarının 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri (Anka Platformu)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile Anka platformu büyüklüğünde bir sistem için yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.20 ile verilmiştir

Çizelge 5.20 Yönelim performansı (Anka platformu)

|                           | Yuvarlanma<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|---------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim             | 2.5034                                   | 5.4244                                  | 3.6647                                    |
| Birikimli Yönelim         | 0.7023                                   | 1.9140                                  | 1.6682                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 2.8477                                   | 4.7032                                  | 2.2131                                    |

Bu tabloya göre Anka platformunda bu şekilde bir sistemin en iyi 5 derece standart sapma mertebesinde yunuslama açısı hesaplayabildiği ortaya çıkıyor. Birikimli yönelim sonuçlarını incelediğimizde ise sonuçların nispeten kabul edilebilir seviyelere indiğini gözlemleyebiliyoruz. 120 saniyelik pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri 120 saniyenin yunuslama standart sapmasını en iyi 5 derece mertebesine indirebildiğini gösteriyor. Yuvarlanma açısı hesaplamalarında 120 saniyelik pencere içerisinde yönelim belirleme işlemi standart sapma mertebesinde ters etki göstererek yönelim standart sapmasını arttırmaktadır.

### **Ölçeklendirilmiş Verilerle Konum Hatasını Azaltarak Anka Yönelimi**

Bu bölümde Anka Platformu için toplamış olduğumuz verileri ölçeklendirerek enlem ve boylam hatalarını  $\pm 30$  cm içinde yükseklik hatasını ise  $\pm 60$  cm içinde kalacak şekilde modifiye ettik. Bunu yaparken ki motivasyonumuz Anka Platformunun olası bir Ayrımsal GPS (ing. DGPS – Differential GPS) kullanımı durumunda elde edeceği santimetre seviyesindeki konum doğruluğu karşısında algoritmamızın nasıl bir yönelim sonucu vereceğini görebilmektir. Ayrımsal GPS, konum hatalarını  $\pm 10$  santimetre civarına indirebilen bir GPS iyileştirme servsidir. Yerel kapsama alanına sahip sistemler ve dünya çapında kapsama alanına ayrımsal GPS sistemleri bulunmaktadır. Uydu tabanlı bazı Ayrımsal GPS servislerine TerraStar, veripos, marinestar ve OmniSTAR örnekleri verilebilir.

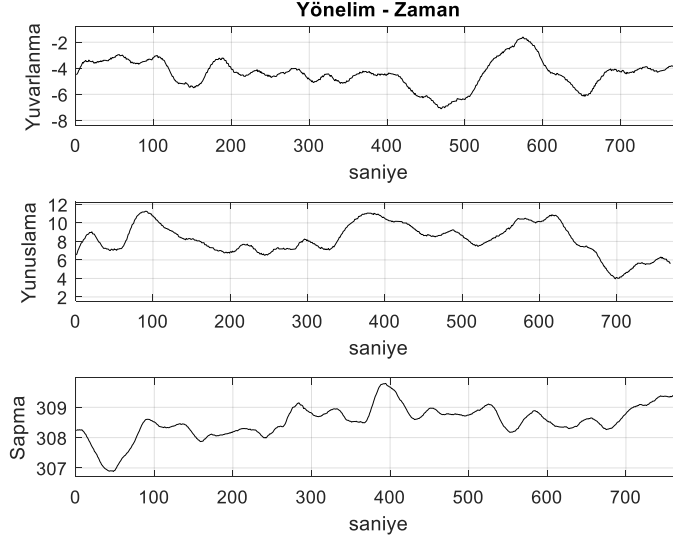
Anka Platformu için GPS konumlarından modifiye edilerek elde edilen verilerin doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.21 ile verilmiştir.

Çizelge 5.21 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (Anka Platformu modifiye edilmiş veriler)

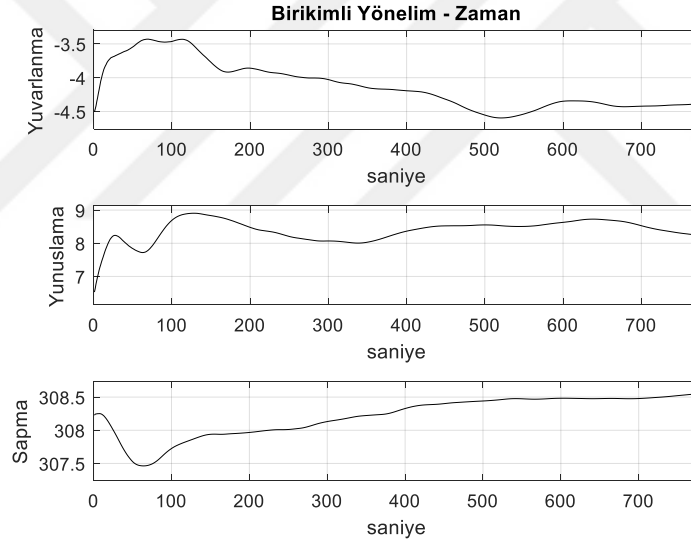
|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRS<br>E (m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|--------------|
| Master<br>GPS  | 0.11                              | 0.11                               | 0.17                                  | 0.13    | 0.20    | 0.20        | 0.23         |
| Slave 1<br>GPS | 0.13                              | 0.12                               | 0.21                                  | 0.15    | 0.23    | 0.18        | 0.27         |
| Slave 2<br>GPS | 0.10                              | 0.12                               | 0.22                                  | 0.14    | 0.23    | 0.21        | 0.27         |

## Yönelim Sonuçları

Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak ve modifiye edilmiş konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçlarını Şekil 5.29 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.30 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir.



Şekil 5.29 Anlık yönelim sonuçları (Anka platformu - Ölçeklendirilmiş Veri)



Şekil 5.30 Konum sonuçlarının birikimli ortalaması alınarak hesaplanan yönelim sonuçları (Anka Platformu - Ölçeklendirilmiş Veri)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile Anka Platformuna sanal bir şekilde yerleştirilerek yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.22 ile verilmiştir

Çizelge 5.22 Yönelim performansı (Anka platformu - Ölçeklendirilmiş Veri)

|                           | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|---------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim             | 0.7861                                         | 1.2890                                        | 0.5188                                    |
| Birikimli Yönelim         | 0.2763                                         | 0.4026                                        | 0.2433                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 0.8299                                         | 1.0812                                        | 0.3000                                    |

Bu tabloya göre Anka platformunda bu şekilde bir sistemin en fazla 1.3 derece standart sapma mertebesinde yunuslama açısı hesaplayabildiği ortaya çıkmaktadır. Birikimli yönelim sonuçlarını incelediğimizde ise sonuçların 0.4 dereceden daha iyi seviyelere indiğini gözlemleyebiliyoruz. 120 saniyelik pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri 120 saniyenin yunuslama standart sapmasını en fazla 1.1 derece mertebesine indirebildiğini gösteriyor. Genel olarak, sapma açısının (kuzey açısının) yuvarlanma ve yunuslama açılarına göre daha kesin bir şekilde belirlenebildiği gözlenmiştir. Bu husus GPS konum hassasiyetinin dikey yönde görece az olması ile açıklanabilir.

#### 5.2.5 Airbus A380 Uçağına Yerleştirilmiş Sanal Bir Sistemin Yönelim Sonuçları

Bu kısımda Master GPS alıcısı hayali bir Airbus A380 platformunun burun kısmına, Slave 1 GPS alıcısı sağ kanat ucuna Slave 2 GPS alıcısı sol kanat ucuna yerleştirilmiştir. Bu konfigürasyonda bu alıcılara ek olarak Slave 3 GPS alıcısı kuyruk kısma yakın bir şekilde konumlandırılmıştır. Antenlerin yerleşimi ve birbirleri arasındaki mesafe Şekil 5.31 ile gösterilmiştir. Bu veriler 15.05.2018 tarihinde saat 18:20-19:50 (GMT+3) aralığında yaklaşık 1100 saniye, Ankara Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü Futbol Sahasında açık alanda alınmıştır. GPS alıcıları konum sonuçlarında kullanmak üzere kısa süreliğine 11 uyduya düşse de çoğunlukla 12 uydu yakalayabilmiştir. Bu uyduların ortalama 8 tanesi GPS geri kalan 4 tanesi ise Glonass uydularıdır. Bu sistemde 4 alıcıyı 3'lü kombinasyonlar halinde kullanarak 4

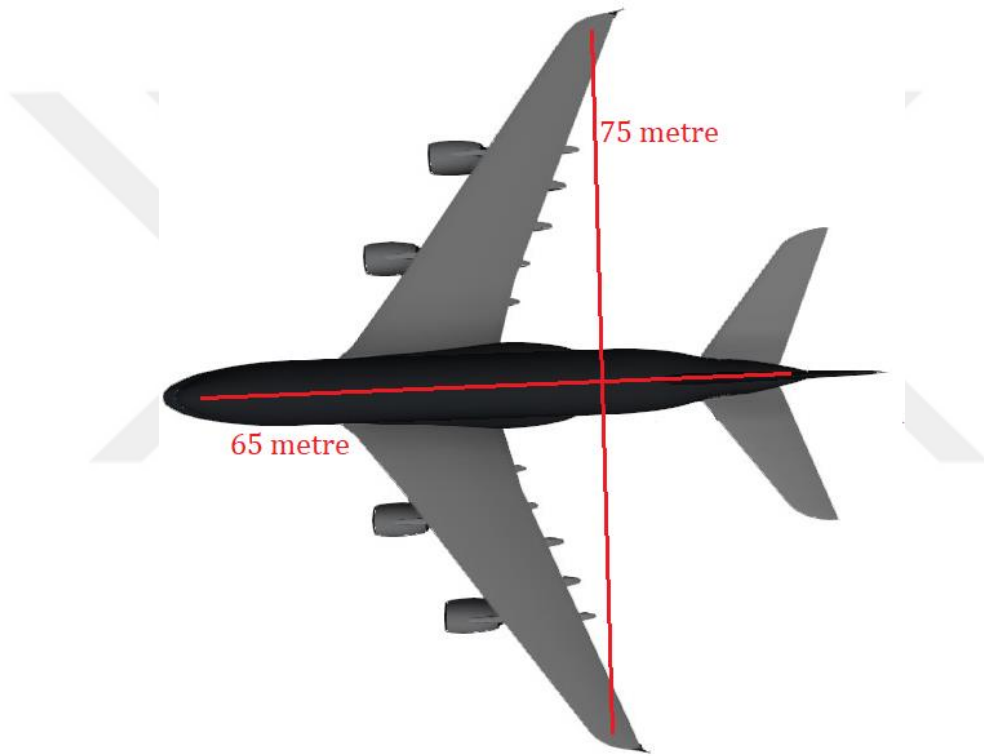
farklı senaryoda yönelim hesaplanmıştır. Ayrıca 4 alıcıyı aynı anda kullanarak da yönelim sonuçları elde edilmiştir.

Senaryo 1: Master GPS Alıcısı, Slave 1 GPS alıcısı ve Slave 2 GPS Alıcısı

Senaryo 2: Master GPS Alıcısı, Slave 1 GPS Alıcısı ve Slave 3 GPS Alıcısı

Senaryo 3: Master GPS Alıcısı, Slave 2 GPS Alıcısı ve Slave 3 GPS Alıcısı

Senaryo 4: Slave 1 GPS Alıcısı, Slave 2 GPS Alıcısı ve Slave 3 GPS alıcısı olacak şekildedir.



Şekil 5.31 Airbus A380 platformu üzerine yerleşecek anten konumları

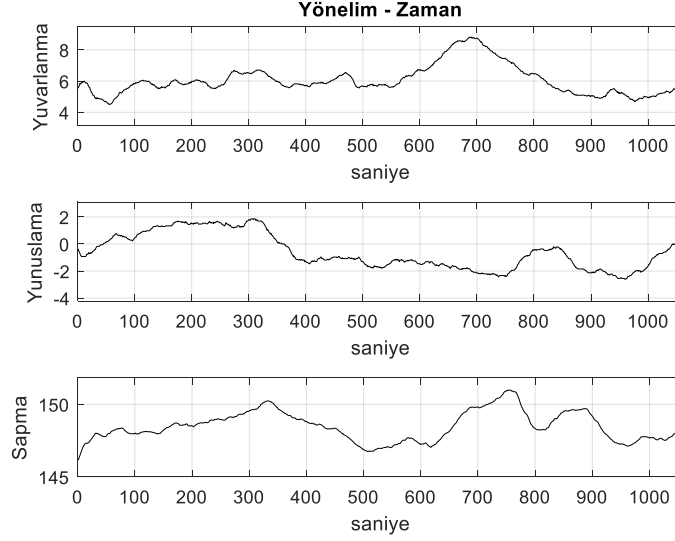
Airbus A380 Platformu için GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.23 ile verilmiştir.

Çizelge 5.23 Konum doğruluk ölçeklendirmeleri. (Airbus A380 Platformu)

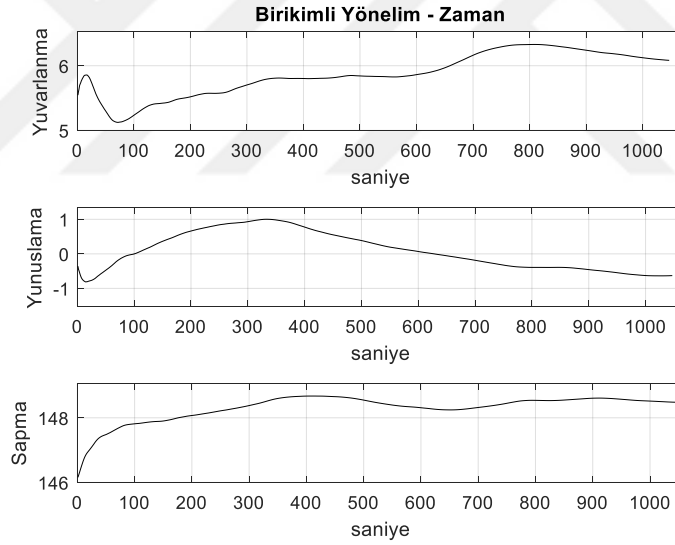
|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>GPS  | 3.23                              | 2.08                               | 0.92                                  | 3.13    | 3.27    | 2.86        | 3.77        |
| Slave 1<br>GPS | 0.89                              | 1.74                               | 1.34                                  | 1.56    | 1.83    | 1.95        | 2.14        |
| Slave 2<br>GPS | 0.21                              | 0.44                               | 0.53                                  | 0.39    | 0.57    | 0.52        | 0.68        |
| Slave 3<br>GPS | 0.76                              | 1.42                               | 0.85                                  | 1.29    | 1.37    | 1.49        | 1.62        |

#### **Master GPS Alıcısı, Slave 1 GPS alıcısı ve Slave 2 GPS Alıcısını Kullanarak Bulunan Yönelim Sonuçları**

Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçlarını Şekil 5.32 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.33 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir.



Şekil 5.32 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 1)



Şekil 5.33 Konum sonuçlarının birikimli ortalaması alınarak hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 1)

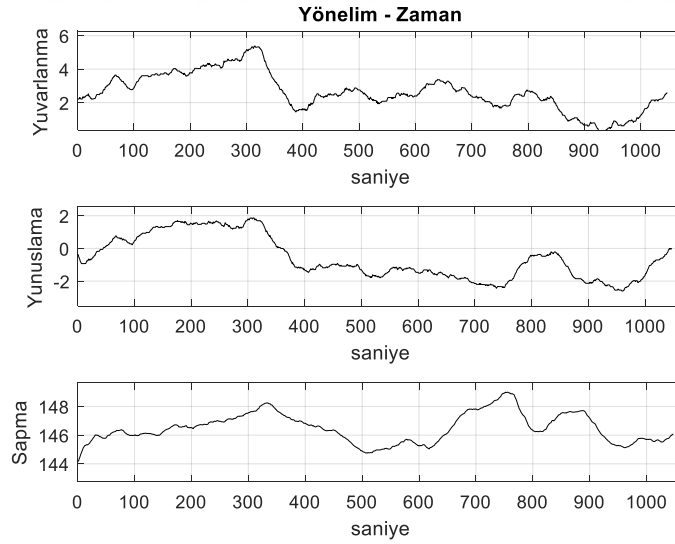
Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile Airbus A380 Platformuna sanal bir şekilde yerleştirilerek yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.24 ile verilmiştir

Çizelge 5.24 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – Senaryo 1)

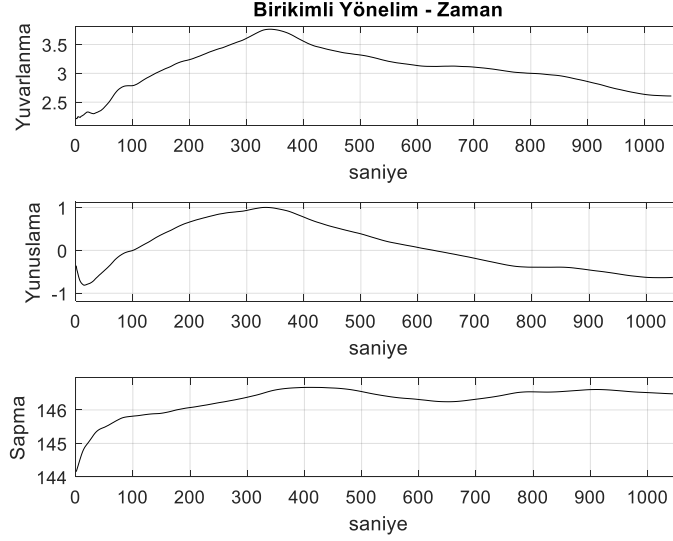
|                           | Yuvarlanma<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|---------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim             | 0.6331                                   | 1.0113                                  | 0.7780                                    |
| Birikimli Yönelim         | 0.2386                                   | 0.4649                                  | 0.4373                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 0.4206                                   | 0.4392                                  | 0.5510                                    |

### Master GPS Alıcısı, Slave 1 GPS Alıcısı Ve Slave 3 GPS Alıcısı Kullanarak Bulunan Yönelim Sonuçları

Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçları Şekil 5.34 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.35 ile görülebilmektedir.



Şekil 5.34 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 2)



Şekil 5.35 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu–Senaryo2)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile Airbus A380 Platformuna sanal bir şekilde yerleştirilerek yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.25 ile verilmiştir

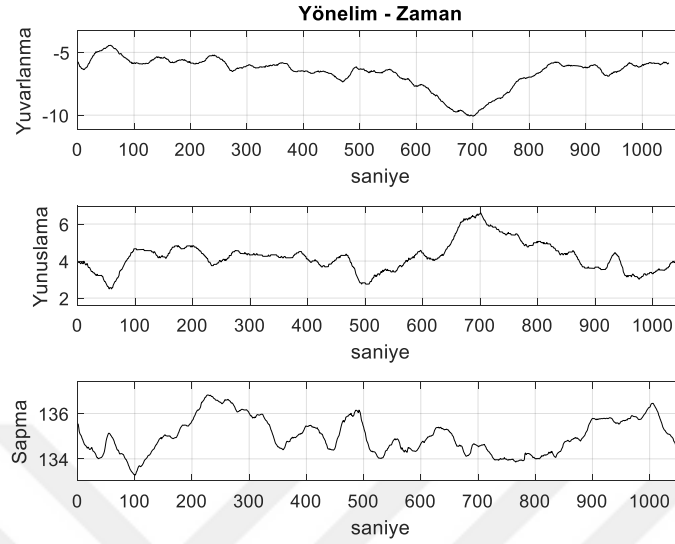
Çizelge 5.25 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – Senaryo 2)

|                           | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|---------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim             | 0.8176                                         | 1.0113                                        | 0.7780                                    |
| Birikimli Yönelim         | 0.3477                                         | 0.4649                                        | 0.4373                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 0.4718                                         | 0.4392                                        | 0.5510                                    |

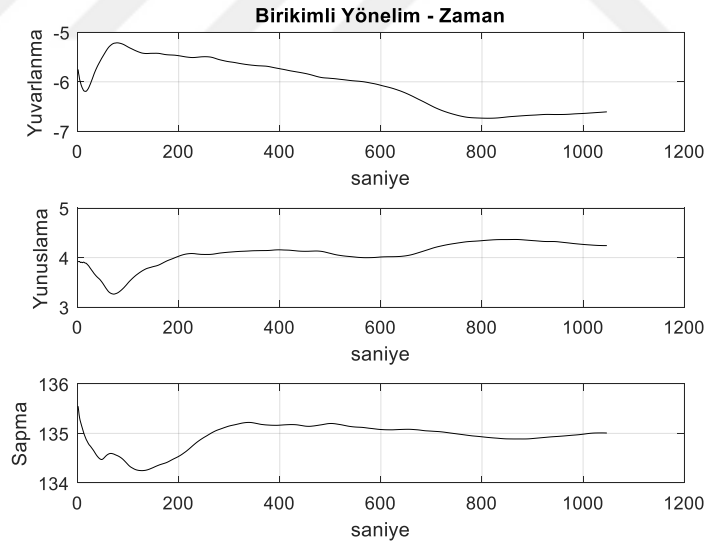
### Slave 3 GPS Alıcısı, Slave 2 GPS Alıcısı ve Master GPS Alıcısı kullanarak elde edilen yönelim sonuçları

Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçları Şekil 5.36 ile verilmiştir. Konum

sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.37 ile görülebilmektedir.



Şekil 5.36 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 3)



Şekil 5.37 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu, Senaryo 3)

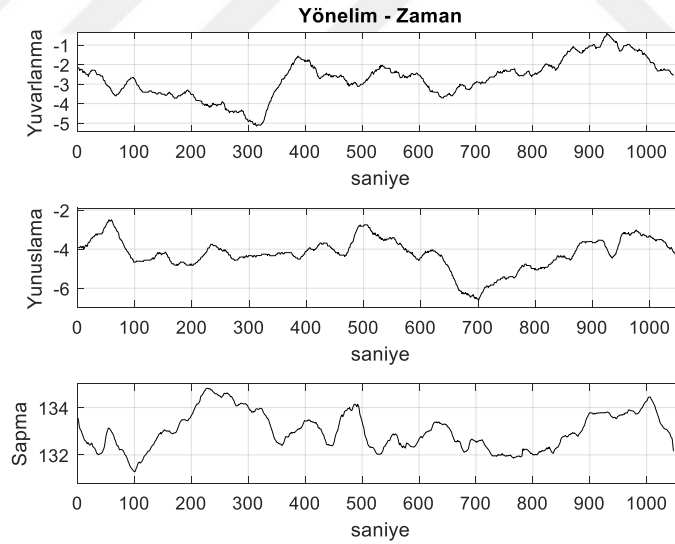
Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile Airbus A380 Platformuna sanal bir şekilde yerleştirilerek yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.26 ile verilmiştir

Çizelge 5.26 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – Senaryo 3)

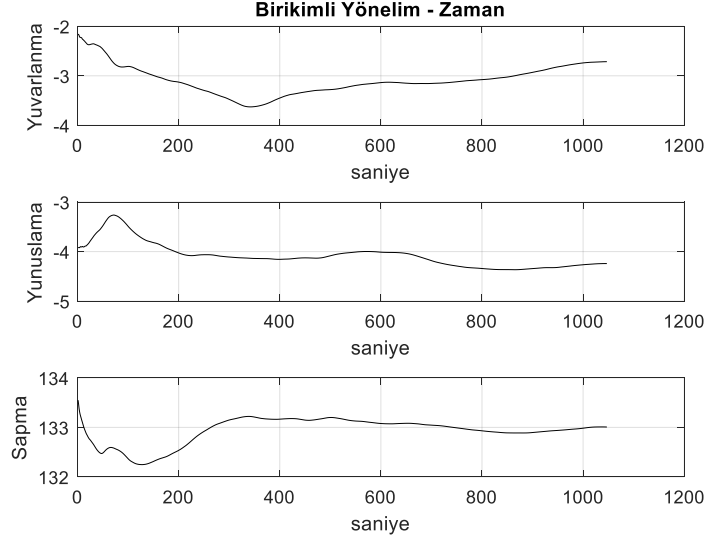
|                           | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|---------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim             | 0.8060                                         | 0.6374                                        | 0.7677                                    |
| Birikimli Yönelim         | 0.3096                                         | 0.2357                                        | 0.2963                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 0.4671                                         | 0.4340                                        | 0.4751                                    |

### Slave 3 GPS Alıcısı, Slave 2 GPS Alıcısı Ve Slave 1 Alıcısı Kullanılarak Elde Edilen Yönelim Sonuçları

Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçları Şekil 5.38 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.39 ile görülebilmektedir.



Şekil 5.38 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 4)



Şekil 5.39 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – Senaryo 4)

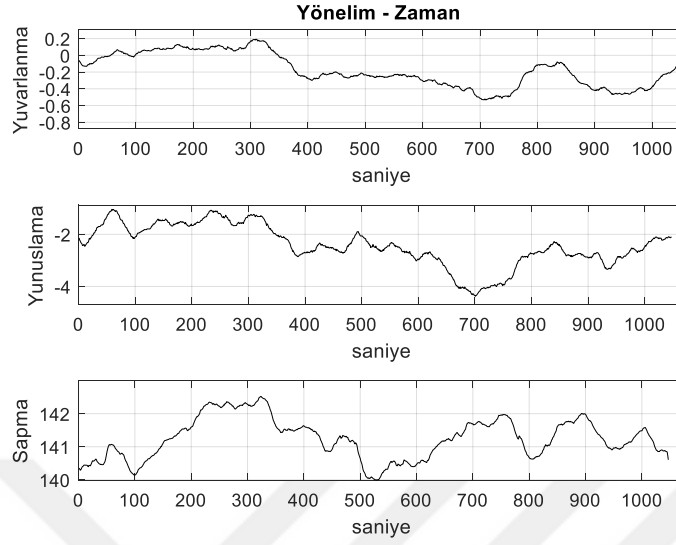
Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile Airbus A380 Platformuna sanal bir şekilde yerleştirilerek yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.27 ile verilmiştir

Çizelge 5.27 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – Senaryo 4)

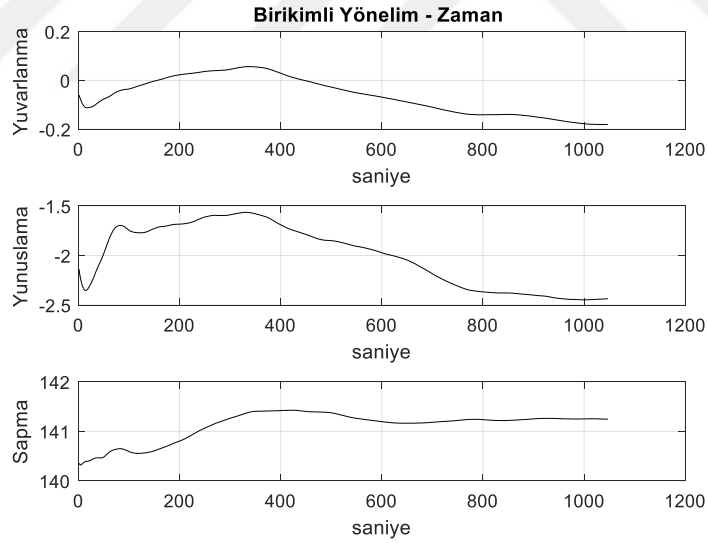
|                           | Yuvarlanma<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma<br>Standart Sapma<br>(derece) | Açısı |
|---------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|-------|
| Anlık Yönelim             | 0.6937                                   | 0.6374                                  | 0.7677                              |       |
| Birikimli Yönelim         | 0.2970                                   | 0.2357                                  | 0.2963                              |       |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 0.4209                                   | 0.4340                                  | 0.4751                              |       |

4 alıcının 3'lü kombinasyonlarından elde edilen yönelimlerin hepsini kullanarak ortalama yönelim hesaplanması ile ortaya çıkan sonuçlar bu bölümde verilmiştir. Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçlarını Şekil 5.40 ile verdik. Konum

sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.41 ile görülebilmektedir.



Şekil 5.40 Anlık yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – 4 Alıcı)



Şekil 5.41 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (Airbus A380 Platformu – 4 Alıcı)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile Airbus A380 Platformuna sanal bir şekilde yerleştirilerek yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.28 ile verilmiştir

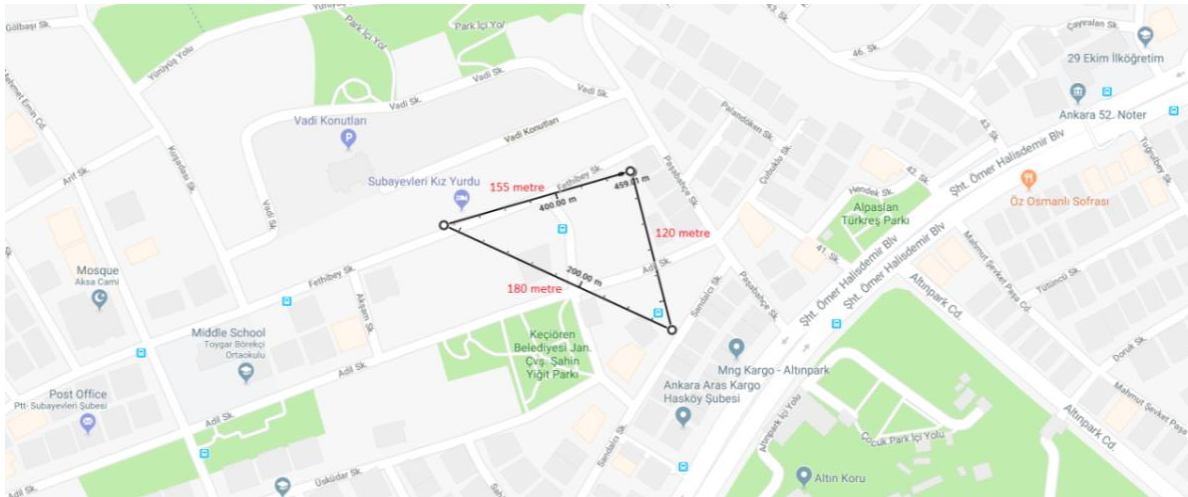
Çizelge 5.28 Yönelim performansı (Airbus A380 Platformu – 4 Alıcı)

|                              | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim 4<br>Alıcı     | 0.1314                                         | 0.5546                                        | 0.5925                                    |
| Birikimli Yönelim 4<br>Alıcı | 0.0491                                         | 0.2142                                        | 0.2697                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim    | 0.0690                                         | 0.3124                                        | 0.3570                                    |

Airbus A380 platformuna sanal bir şekilde yerleştirdiğimiz 4 alıcılı sistemin özellikle yuvarlanma ekseninde hatırı sayılır ölçüde doğru sonuçlar verdiği görülebiliyor. Bu sonuçlar üzerinde Airbus A380 platformunun kanat açıklığının 80 metre olması çok büyük bir etkidir. 3 alıcılı senaryo sonuçlarını verilen standart sapma tabloları üzerinden değerlendirdiğimizde fazladan konulan 4. Alıcının etkisinin de oldukça yüksek olduğunu ve hataları çok azalttığını açıkça ifade edebiliriz.

#### 5.2.6 100 – 200 Metre Referans Hattı İçin Yönelim Sonuçlar

Bu kısımda Master GPS alıcısı ile Slave 1 GPS alıcısı arasında 155 metrelik bir referans hattı oluşturulmuştur. Master GPS alıcısı ile Slave 2 GPS alıcısı arasında 180 metrelik bir mesafe bulunmaktadır. Antenlerin yerleşimi Şekil 5.42 ile gösterilmiştir. Ölçümler Master GPS alıcısından 07:04:2018 tarihinde saat 17.45-18.15 (GMT+3) arasında yaklaşık 1100 saniye, Slave 1 GPS Alıcısından 20.02.2018 tarihinde saat 21.15-21.35 (GMT+3) arasında yaklaşık 800 saniye, Slave 2 GPS Alıcısından 31.03.2018 tarihinde saat 17:25-17:45 (GMT+3) arasında yaklaşık 500 saniye alınmıştır. Veriler Ankara Keçiören Subayevlerinde yol kenarlarından ve açık pazar alanından alınmıştır. GPS alıcıları konum sonuçlarında kullanmak üzere kısa süreliğine 11 uyduya düşse de çoğunlukla 12 uydu yakalayabilmiştir. Bu uyduların ortalama 8 tanesi GPS geri kalan 4 tanesi ise Glonass uydularıdır.



Şekil 5.42 100-200 m referans hattı için GPS ölçümü alınan noktaların haritadaki görüntüsü

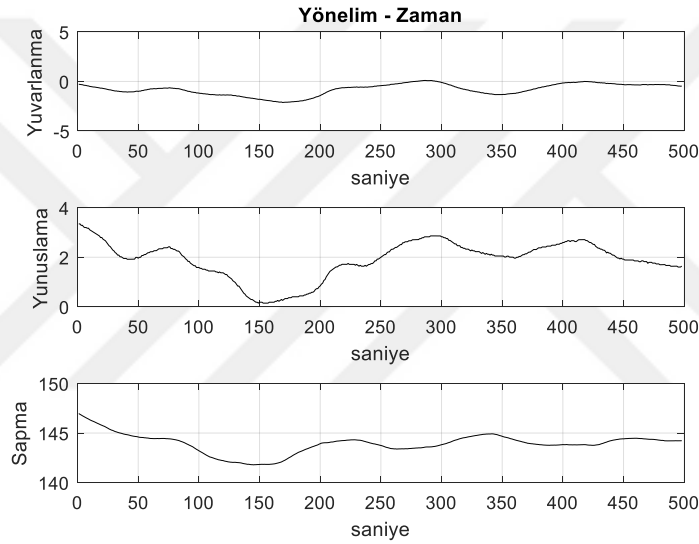
100 -200 m. referans hattı için GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri değerleri Çizelge 5.29 ile verilmiştir.

Çizelge 5.29 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (100 -200 m. referans hattı için)

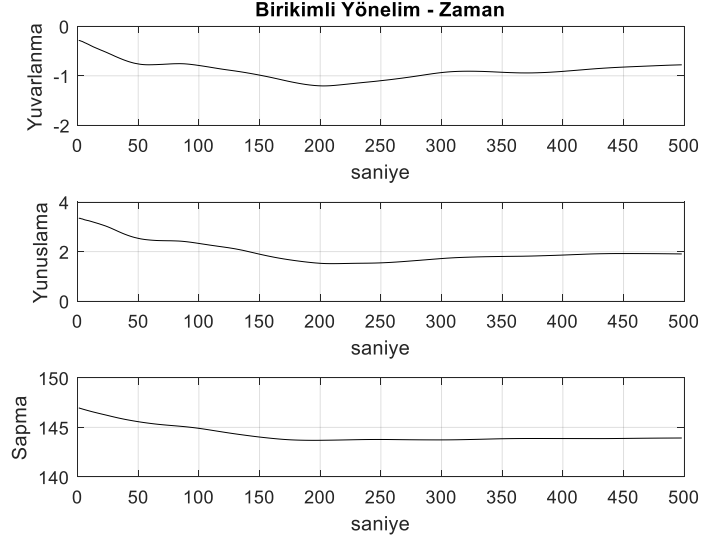
|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>GPS  | 1.24                              | 0.53                               | 0.70                                  | 1.05    | 1.29    | 1.28        | 1.49        |
| Slave 1<br>GPS | 2.88                              | 2.05                               | 1.56                                  | 2.91    | 3.20    | 3.24        | 3.66        |
| Slave 2<br>GPS | 1.07                              | 1.02                               | 0.86                                  | 1.24    | 1.39    | 1.43        | 1.62        |

## Yönelim Sonuçları

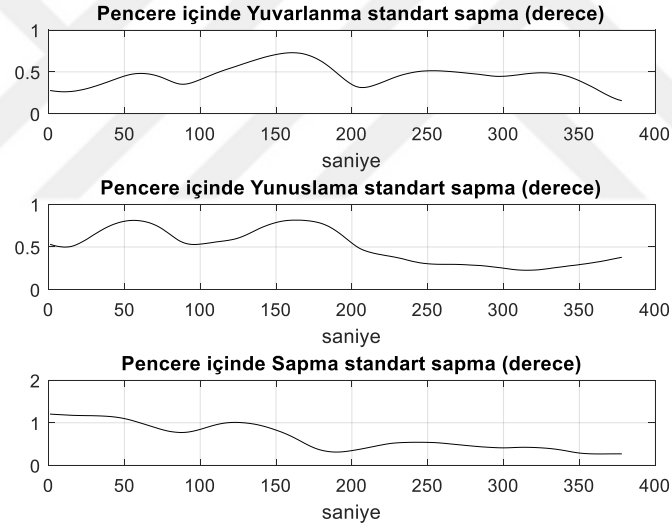
Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçları Şekil 5.43 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.44 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir. Standart sapma değerlerini 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplayarak verdiğimiz grafik Şekil 5.45 ile görülmektedir.



Şekil 5.43 Anlık yönelim sonuçları (100 -200 m. referans hattı)



Şekil 5.44 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (100 -200 m. referans hattı)



Şekil 5.45 Anlık yönelim sonuçlarının 120 saniyelik bir pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri (100 -200 m. referans hattı)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile 100-200 m. uzunluğunda referans hattı oluşturarak yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.30 ile verilmiştir

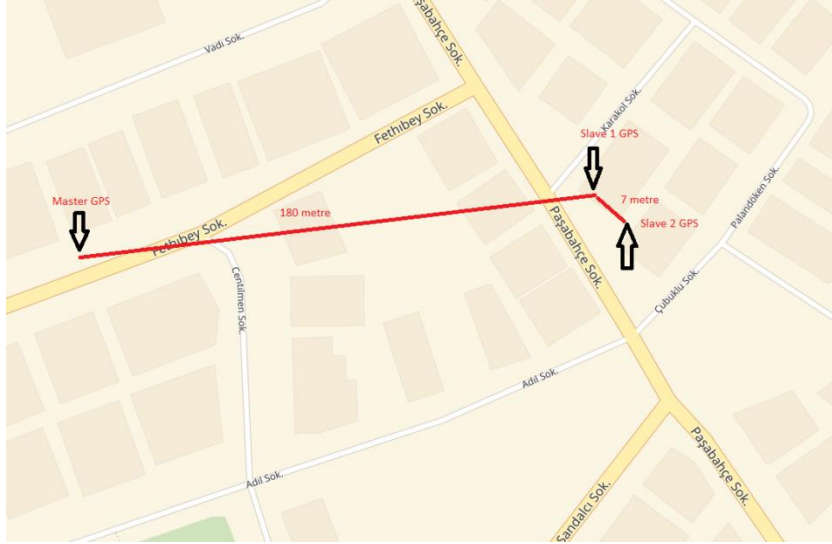
Çizelge 5.30 Yönelim performansı (100-200 m. referans hattı)

|                           | Yuvarlanma<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|---------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim             | 0.4546                                   | 0.7231                                  | 1.0951                                    |
| Birikimli Yönelim         | 0.1859                                   | 0.4165                                  | 0.7723                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 0.4552                                   | 0.5030                                  | 0.6566                                    |

Bu tabloya göre 100-200 metre referans hattı uzunluğuna sahip bir sistemin en fazla 1 derece standart sapma mertebesinde sapma açısı hesaplayabildiği ortaya çıkıyor. Birikimli yönelim sonuçlarını incelediğimizde ise sonuçların 1 derece altında daha iyi seviyelere indiğini gözlemleyebiliyoruz. 120 saniyelik pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri 120 saniyenin sapma standart sapmasını en fazla 0.6 derece mertebesine indirebildiğini gösteriyor. Bu sonuç 120 saniyelik pencere içerisinde bulunan yönelimin de yeterli iyileştirmeyi sağlayabileceğine işaret etmektedir.

#### **Slave 1 ve Slave 2 birbirine yakın Master GPS Uzakken Yönelim Sonuçları (Dar Açı)**

Bu kısımda Master GPS alıcısı ile Slave 1 GPS alıcısı arasında 180 metrelik bir referans hattı oluşturulmuştur. Slave 1 GPS alıcısı ile Slave 2 GPS alıcısı arasında ise 7 metrelik bir mesafe bulunmaktadır. Antenlerin yerleşimi Şekil 5.42 ile gösterilmiştir. Ölçümler Master GPS alıcısından 31.03.2018 tarihinde saat 17:45-17:55 (GMT+3) arasında yaklaşık 500 saniye, Slave 1 GPS Alıcısından 07:04:2018 tarihinde saat 12.05- 12.25 (GMT+3) arasında yaklaşık 950 saniye, Slave 2 GPS Alıcısından 07:04:2018 tarihinde saat 12.25-12.45 (GMT+3) arasında yaklaşık 1000 saniye alınmıştır. Veriler Ankara Keçiören Subayevlerinde mevkiinde yol kenarından ve açık pazar alanından alınmıştır. GPS alıcıları konum sonuçlarında kullanmak üzere kısa süreliğine 11 uyduya düşse de çoğunlukla 12 uydu yakalayabilmiştir.



Şekil 5.46 Dar açılı konumlandırılmış 100-200 m referans hattı için GPS ölçümü alınan noktaların haritadaki görüntüsü

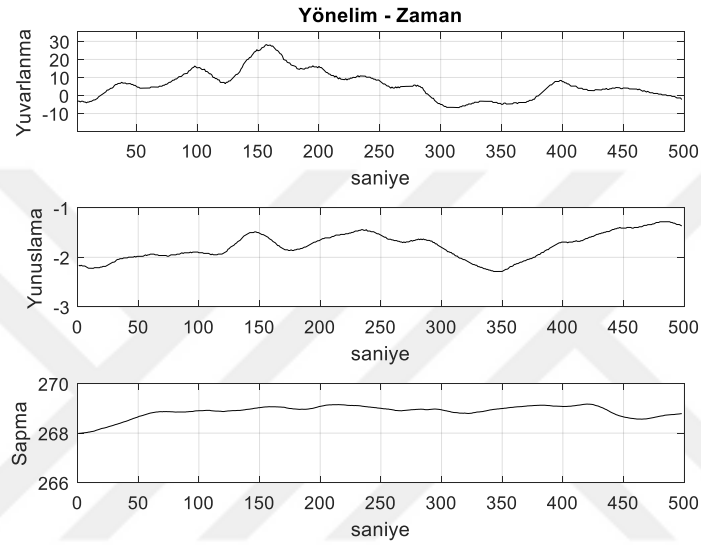
100 -200 m. referans hattında dar açılı konumlandırılmış GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri değerleri Çizelge 5.31 ile verilmiştir.

Çizelge 5.31 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (100-200 m. referans hattı dar açılı konumlandırılmış)

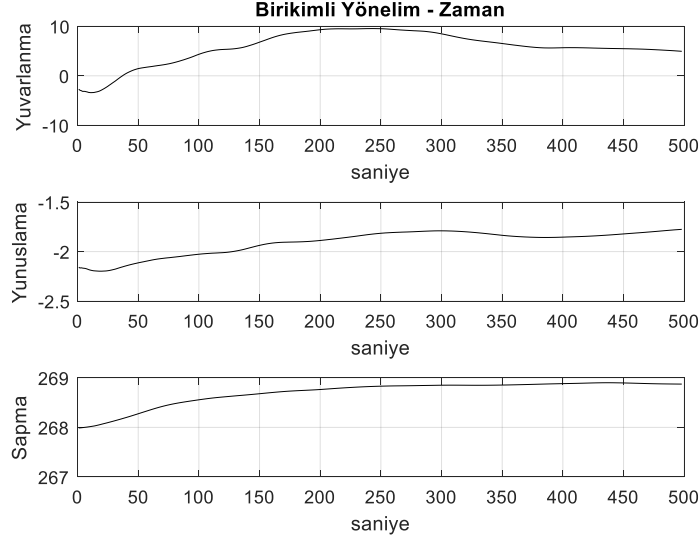
|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>GPS  | 1.07                              | 1.02                               | 0.86                                  | 1.24    | 1.39    | 1.43        | 1.62        |
| Slave 1<br>GPS | 1.24                              | 0.53                               | 0.70                                  | 1.04    | 1.29    | 1.28        | 1.49        |
| Slave 2<br>GPS | 0.75                              | 0.43                               | 0.70                                  | 0.70    | 0.94    | 0.92        | 1.09        |

## Yönelim Sonuçları

Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçları Şekil 5.47 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.48 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir.



Şekil 5.47 Anlık yönelim sonuçları (100-200 m. referans hattı dar açılı konumlandırılmış)



Şekil 5.48 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (100-200 m. referans hattı dar açılı konumlandırılmış)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile 100-200 m. uzunluğunda referans hattını dar açılı olacak şekilde konumlandırarak yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.32 ile verilmiştir

Çizelge 5.32 Yönelim performansı (100-200 m. referans hattı dar açılı konumlandırılmış)

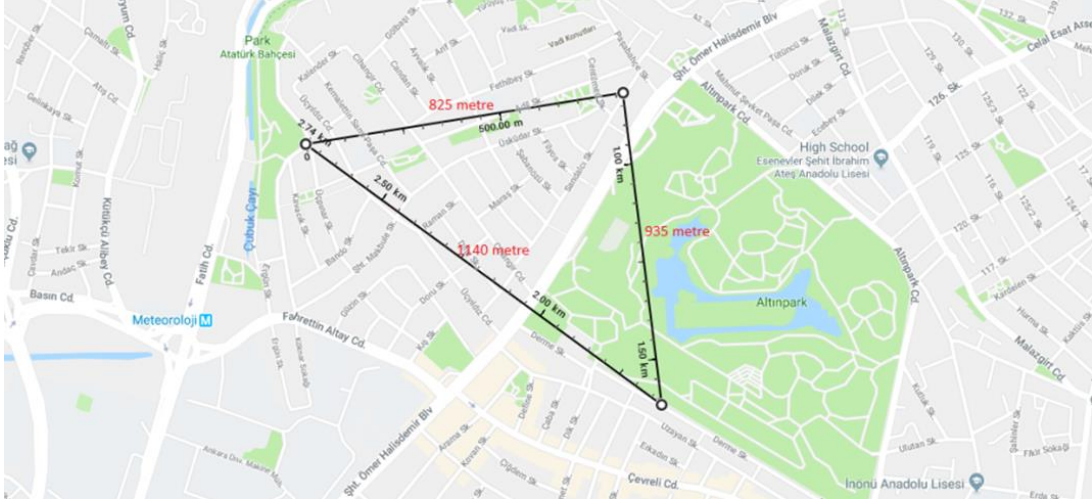
|                        | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim          | 6.8310                                         | 0.1823                                        | 0.2678                                    |
| Birikimli Yönelim      | 3.1631                                         | 0.0947                                        | 0.2145                                    |
| Pencere içinde Yönelim | 5.3256                                         | 0.1860                                        | 0.1156                                    |

Bu tabloya göre 100-200 metre referans hattı uzunluğuna sahip dar açılı konumlandırılmış sistem 7 derece standart sapma mertebesinde yuvarlanma açısı hesaplayabildiği ortaya çıkıyor. Birikimli yönelim sonuçlarını incelediğimizde ise

sonuçların 4 derece altında seviyelere indiğini gözlemleyebiliyoruz. 120 saniyelik pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri 120 saniyenin sapma standart sapmasını en fazla 5 derece mertebesine indirebildiğini gösteriyor. Bu sonuç 120 saniyelik pencere içerisinde bulunan yönelimin de yeterli iyileştirmeyi sağlayamadığına işaret etmektedir. Yunuslama ve sapma açılarının standart sapmalarını incelediğimizde sonuçları gayet iyi olduğu görülmektedir. Yuvarlanma açısı sonuçlarının bu şekilde az hassasiyetle hesaplanma sebebi olarak yuvarlanma kanalında hesaplama yaparken kullanılan Slave 2 GPS alıcısının Slave 1 GPS alıcısına 7 metre yakınlıkta konumlandırılmış olması diye yorumlayabiliriz. Yuvarlanma kanalı için referans hattı uzunluğunun kısa olmasının bu hataların temel sebebi olduğu değerlendirilmiştir.

### **5.2.7 1 kilometrelik Referans Hattı İçin Yönelim Sonuçlar**

Bu kısımda Master GPS alıcısı ile Slave 1 GPS alıcısı arasında 825 metrelik bir referans hattı oluşturulmuştur. Master GPS alıcısı ile Slave 2 GPS alıcısı arasında ise 1140 metrelik bir mesafe bulunmaktadır. Antenlerin yerleşimi Şekil 5.49 ile gösterilmiştir. Master GPS alıcısı ve Slave 2 alıcısı için 31.03.2018 tarihinde saat 18.00-18.40 (GMT+3) aralığında yaklaşık 800 saniye boyunca veri alınmıştır. Master GPS alıcısı için 07.04.2018 tarihinde saat 12.05-12.20 (GMT+3) aralığında yaklaşık 900 saniyelik veri toplanmıştır. Verilerin toplandığı alanlar, Keçiören Subayevleri mevkiinde açık alanda bir park kenarı, pazar yeri ve Altındağ Altınpark kenarında bir açık alandır. GPS alıcıları konum sonuçlarında kullanmak üzere kısa süreliğine 11 uyduya düşse de çoğunlukla 12 uydu yakalayabilmiştir. Bu uyduların ortalama 8 tanesi GPS geri kalan 4 tanesi ise Glonass uydularıdır.



Şekil 5.49 1 km referans hattı için GPS ölçümü alınan noktaların haritadaki görüntüsü

1 km. referans hattı için GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.33 ile verilmiştir.

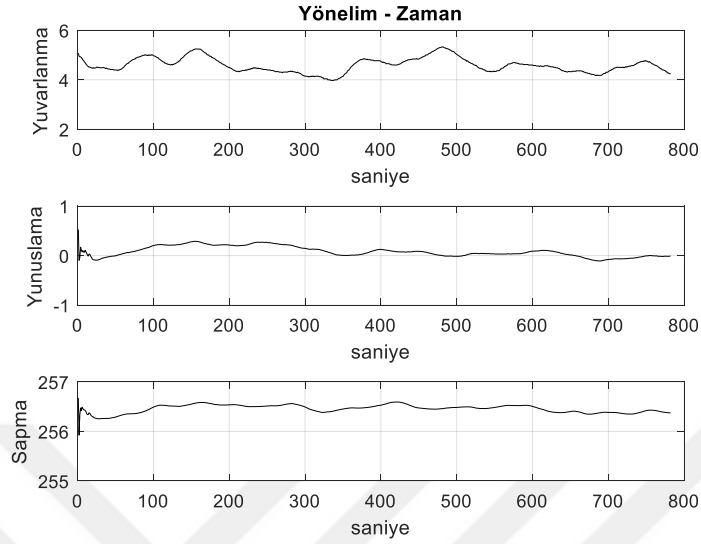
Çizelge 5.33 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (1 km. referans hattı için)

|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>GPS  | 1.24                              | 0.53                               | 0.70                                  | 1.05    | 1.29    | 1.28        | 1.49        |
| Slave 1<br>GPS | 2.88                              | 2.05                               | 1.56                                  | 2.91    | 3.20    | 3.24        | 3.66        |
| Slave 2<br>GPS | 1.07                              | 1.02                               | 0.86                                  | 1.24    | 1.39    | 1.43        | 1.62        |

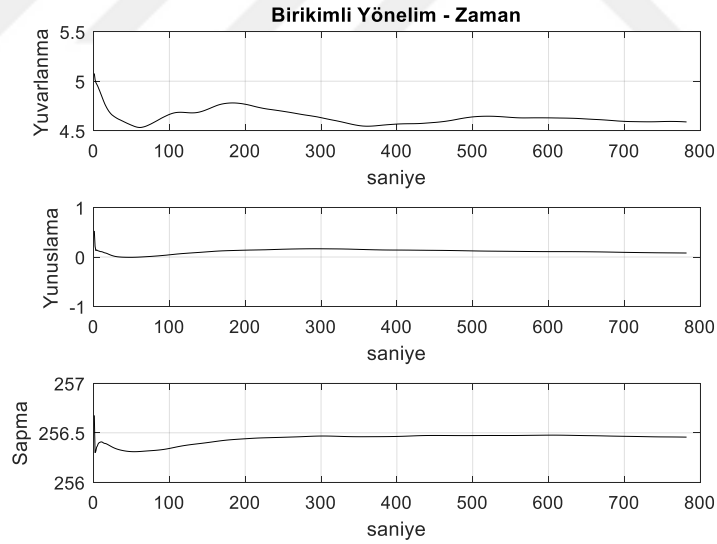
## Yönelim Sonuçları

Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçları Şekil 5.50 ile verilmektedir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması

yaptığımız görsel Şekil 5.51 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir.



Şekil 5.50 Anlık yönelim sonuçları (1 km referans hattı)



Şekil 5.51 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (1 km referans hattı)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile 1 km. uzunluğunda referans hattı oluşturarak yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.34 ile verilmiştir

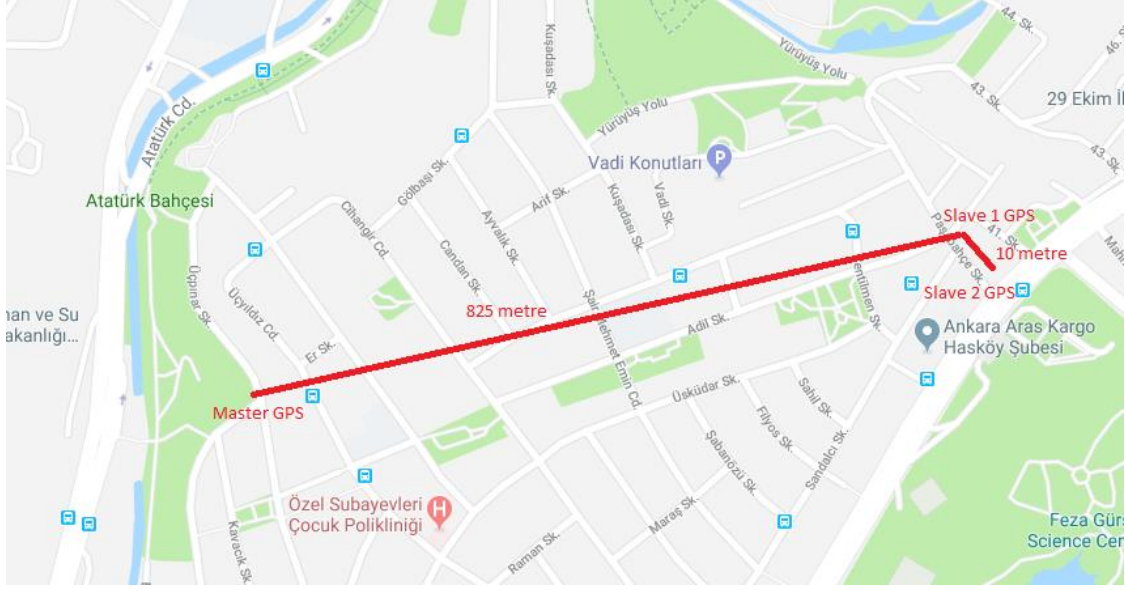
Çizelge 5.34 Yönelim performansı (1 km referans hattı)

|                           | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|---------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim             | 0.2725                                         | 0.1059                                        | 0.0968                                    |
| Birikimli Yönelim         | 0.0913                                         | 0.0607                                        | 0.0541                                    |
| Pencere içinde<br>Yönelim | 0.2167                                         | 0.0488                                        | 0.0456                                    |

Bu tabloya göre 1 km. referans hattı uzunluğuna sahip bir sistemin maksimum 0.28 derece standart sapma mertebesinde yunuslama ve sapma açısı hesaplayabildiği ortaya çıkıyor. Birikimli yönelim sonuçlarını incelediğimizde ise sonuçların 0.1 derece mertebesinde aşağıda kaldığını gözlemleyebiliyoruz. 120 saniyelik pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri 120 saniyenin sapma standart sapmasını en fazla 0.2 derece mertebesine indirebildiğini gösteriyor. Bu sonuç 120 saniyelik pencere içerisinde bulunan yönelimin bu referans uzunluğu için çok fazla gerekli olmayabileceğine işaret etmektedir.

#### **Slave 1 ve Slave 2 birbirine yakın Master GPS Uzakken Yönelim Sonuçları (Dar Açı)**

Bu kısımda Master GPS alıcısı ile Slave 1 GPS alıcısı arasında 825 metrelik bir referans hattı oluşturulmuştur. Slave 1 GPS alıcısı ile Slave 2 GPS alıcısı arasında ise 10 metrelik bir mesafe bulunmaktadır. Antenlerin yerleşimi Şekil 5.49 ile gösterilmiştir. Master GPS alıcısı için 31.03.2018 tarihinde saat 18:00-18:15 (GMT+3) aralığında yaklaşık 800 saniye boyunca veri alınmıştır. Slave 1 ve Slave 2 GPS alıcısı için 07.04.2018 tarihinde saat 12:05-12:45 (GMT+3) aralığında yaklaşık 900 saniyelik veri toplanmıştır. Verilerin toplandığı alanlar, Keçiören Subayevleri mevkiinde açık alanda bir park kenarı ve pazar yeridir. GPS alıcıları konum sonuçlarında kullanmak üzere kısa süreliğine 11 uyduya düşse de çoğunlukla 12 uydu yakalayabilmiştir.



Şekil 5.52 Dar açılı konfigüreasyonda alıcıların konumlarının harita gösterimi (1 km referans hattı)

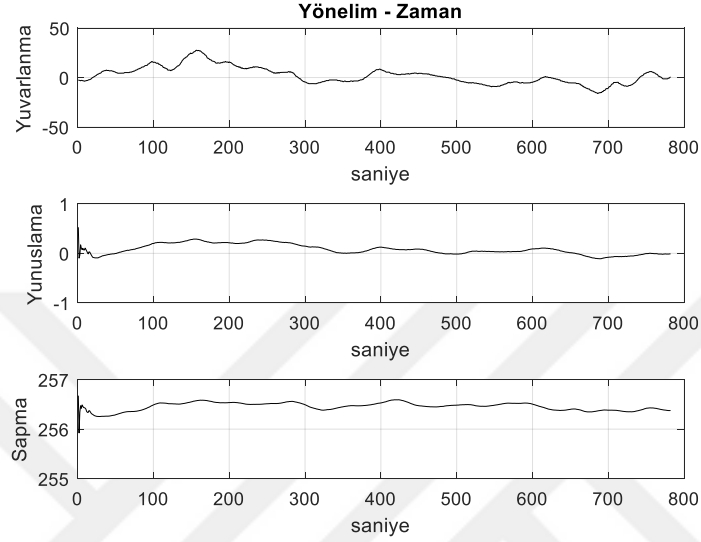
1 km. referans hattı için dar açılı konumlandırılan GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.35 ile verilmiştir.

Çizelge 5.35 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (1 km. referans hattı için dar açılı konumlandırılmış

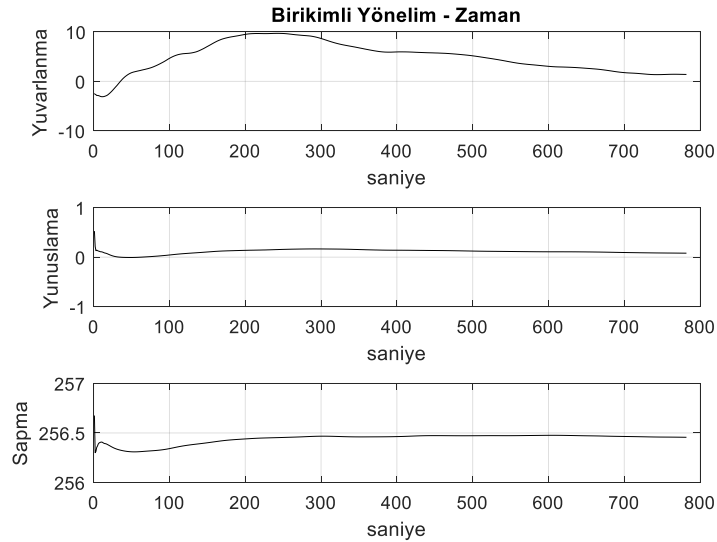
|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>GPS  | 1.24                              | 0.53                               | 0.70                                  | 1.05    | 1.29    | 1.28        | 1.49        |
| Slave 1<br>GPS | 2.88                              | 2.05                               | 1.56                                  | 2.91    | 3.20    | 3.24        | 3.66        |
| Slave 2<br>GPS | 1.07                              | 1.02                               | 0.86                                  | 1.24    | 1.39    | 1.43        | 1.62        |

## Yönelim Sonuçları

Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçları Şekil 5.53 ile verilmektedir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.54 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir.



Şekil 5.53 Anlık Yönelim sonuçları (1 km referans hattı dar açılı konumlandırılmış)



Şekil 5.54 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (1 km referans hattı dar açılı konumlandırılmış)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile 1 km. uzunluğunda referans hattını dar açılı bir biçimde oluşturarak yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.36 ile verilmiştir

Çizelge 5.36 Yönelim performansı (1 km. referans hattı dar açılı konumlandırılmış)

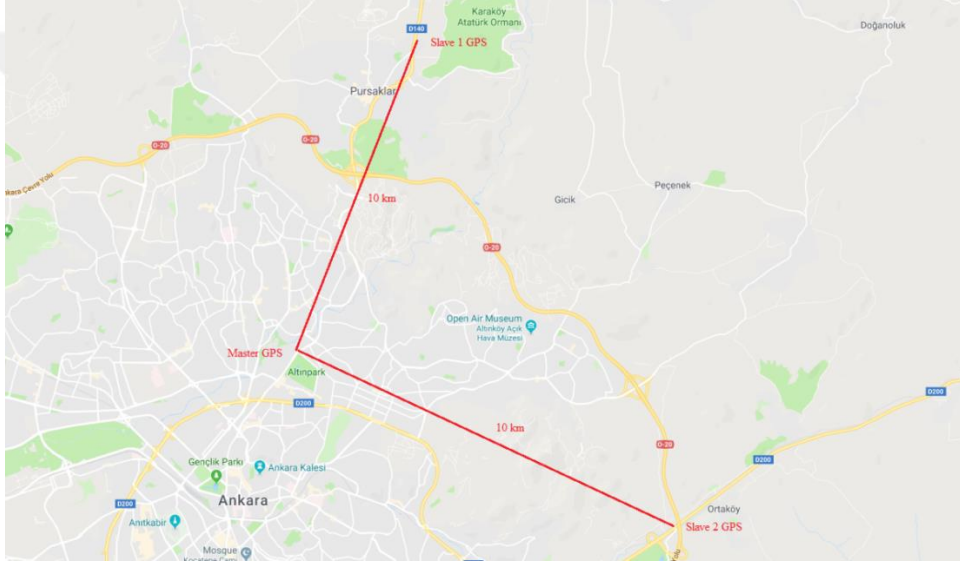
|                        | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim          | 7.2477                                         | 0.1059                                        | 0.0968                                    |
| Birikimli Yönelim      | 3.0929                                         | 0.0607                                        | 0.0541                                    |
| Pencere içinde Yönelim | 4.5985                                         | 0.0488                                        | 0.0456                                    |

Bu tabloya göre 1 km. referans hattı uzunluğuna sahip dar açılı konumlandırılmış bir sistemin 7.3 derece standart sapma mertebesinde yuvarlanma açısı hesaplayabildiği ortaya çıkıyor. Birikimli yönelim sonuçlarını incelediğimizde ise sonuçların en fazla 3 derece mertebesinde kaldığını gözlemleyebiliyoruz. 120 saniyelik pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri 120 saniyenin yuvarlanma açısı standart sapmasını en fazla 4.6 derece mertebesine indirebildiğini gösteriyor. Bu sonuç 120 saniyelik pencere içerisinde bulunan yönelimin bu referans uzunluğu için çok fazla yeterli olmayabileceğine işaret etmektedir. Yuvarlanma açısı sonuçlarının bu şekilde az hassasiyetle hesaplanma sebebi olarak yuvarlanma kanalında hesaplama yaparken kullanılan Slave 2 GPS alıcısının Slave 1 GPS alıcısına 10 metre yakınlıkta konumlandırılmış olması diye yorumlayabiliriz. Yuvarlanma kanalı için referans hattı uzunluğunun kısa olması bu hatalara sebep olduğu değerlendirilmiştir.

### 5.2.8 10 kilometrelik Referans Hatları İçin Yönelim Sonuçlar

Bu kısımda Master GPS alıcısı ile Slave 1 GPS alıcısı arasında yaklaşık 10 kilometrelik bir referans hattı oluşturulmuştur. Master GPS alıcısı ile Slave 2 GPS alıcısı arasında da yaklaşık 10 kilometrelik bir mesafe bulunmaktadır. Antenlerin yerleşimi Şekil 5.55 ile gösterilmiştir. Ölçümler Master GPS Alıcısı için 14:04:2018'de

Keçiören Subayevlerinde açık bir Pazar alanında yaklaşık 1100 saniye boyunca alınmıştır. Slave 1 GPS alıcısı için ölçümler Ankara Havaalanı yolu kenarında Pursaklar mevkiinde bir benzin istasyonunda  $40.05^0$  kuzey  $32.91^0$  doğu koordinatlarında 12.05.2018 tarihinde saat 18.20-18:50 arasında yaklaşık 1600 saniye boyunca alınmıştır. Slave 2 GPS alıcısı için ölçümler Ankara Çevre yolu kenarında Mamak mevkiinde bir açık alanda  $39.95^0$  kuzey  $32.96^0$  doğu koordinatlarında 12.05.2018 tarihinde saat 19:05-19:30 arasında yaklaşık 1300 saniye boyunca alınmıştır. GPS alıcıları konum sonuçlarında kullanmak üzere kısa süreliğine 11 uyduya düşse de çoğunlukla 12 uydu yakalayabilmiştir. Bu uyduların ortalama 8 tanesi GPS geri kalan 4 tanesi ise Glonass uydularıdır.



Şekil 5.55 10 km uzunluğundaki referans hattı için ölçümü alınan konumlar

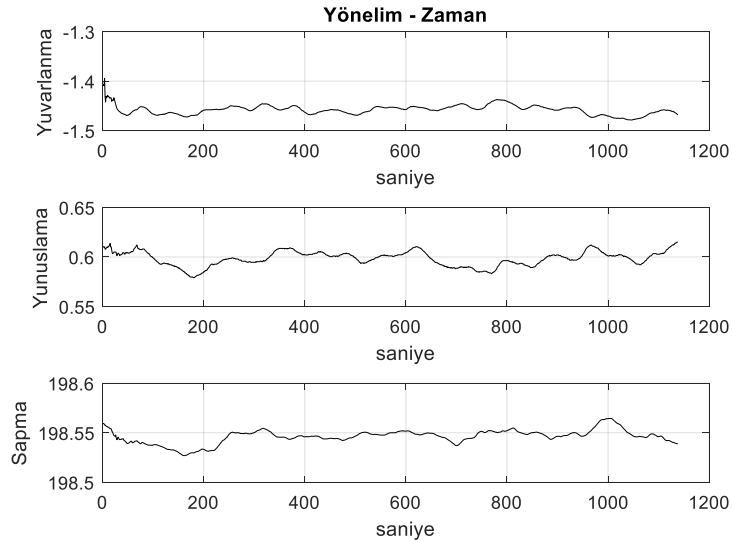
10 km. referans hattı için GPS konumlarından elde edilen doğruluk ölçeklendirmeleri Çizelge 5.37 ile verilmiştir.

Çizelge 5.37 Doğruluk ölçeklendirmeleri. (10 km. referans hattı)

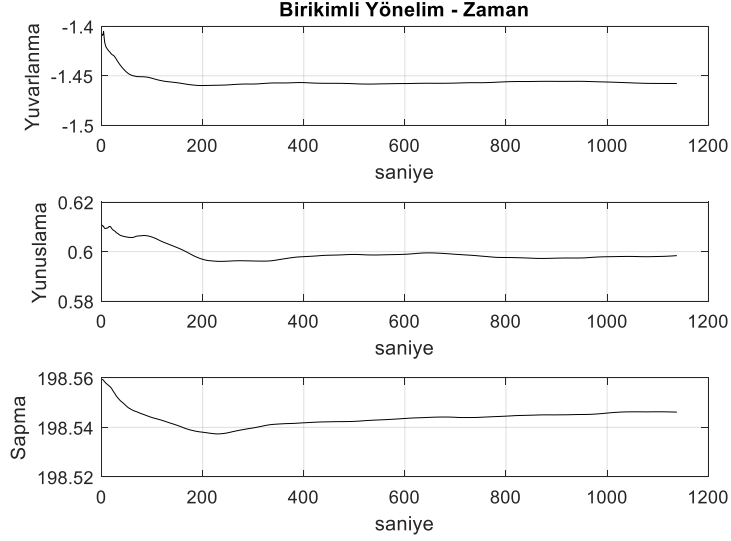
|                | Enlem<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Boylam<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | Yükseklik<br>Standart<br>Sapma<br>(m) | CEP (m) | SEP (m) | DRMS<br>(m) | MRSE<br>(m) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|
| Master<br>GPS  | 0.60                              | 0.66                               | 0.59                                  | 0.75    | 0.90    | 0.88        | 1.03        |
| Slave 1<br>GPS | 1.38                              | 1.10                               | 1.13                                  | 1.47    | 1.62    | 1.76        | 1.92        |
| Slave 2<br>GPS | 1.33                              | 1.40                               | 1.43                                  | 1.61    | 2.00    | 1.92        | 2.29        |

### Yönelim sonuçları

Doğrudan hesaplama yöntemi kullanarak konum sonuçlarından anlık olarak hesapladığımız gerçek zamanlı yönelim sonuçları Şekil 5.56 ile verilmiştir. Konum sonuçlarını birikimli bir şekilde toplayarak ortalamasını alıp yönelim hesaplaması yaptığımız görsel Şekil 5.57 ile görülebilmektedir. Birikimli yönelim grafiğinin alt eksenini kaç tane konum sonucunun ortalamasının alındığını göstermektedir.



Şekil 5.56 Anlık yönelim sonuçları (10 km. referans hattı)



Şekil 5.57 Birikimli hesaplanan yönelim sonuçları (10 km. referans hattı)

Doğrudan yönelim hesaplama yöntemi ile 10 km. uzunluğunda referans hattı oluşturarak yönelim belirlediğimiz bu bölümde yönelim performansına dair yorum getireceğimiz standart sapma değerleri Çizelge 5.38 ile verilmiştir

Çizelge 5.38 Yönelim performansı (10 km. referans hattı)

|                        | Yuvarlanma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Yunuslama Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) | Sapma Açısı<br>Standart Sapma<br>(derece) |
|------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Anlık Yönelim          | 0.0105                                         | 0.0073                                        | 0.0071                                    |
| Birikimli Yönelim      | 0.0089                                         | 0.0035                                        | 0.0043                                    |
| Pencere içinde Yönelim | 0.0053                                         | 0.0047                                        | 0.0039                                    |

Bu tabloya göre 10 km. referans hattı uzunluğuna sahip bir sistemin maksimum 0.01 derece standart sapma mertebesinde yuvarlanma açısı hesaplayabildiği ortaya çıkıyor. Birikimli yönelim sonuçlarını incelediğimizde ise sonuçların en fazla 0.009 derece mertebesinde aşağıda kaldığını gözlemleyebiliyoruz. 120 saniyelik pencere içerisinde hesaplanan standart sapma değerleri 120 saniyenin yuvarlanma standart sapmasını en fazla 0.0053 derece mertebesine indirebildiğini gösteriyor. Bu sonuç 120 saniyelik pencere içerisinde bulunan yönelimin bu referans uzunluğu için olumlu

yönde etkisi olduğunu işaret etmektedir. Standart sapmaları birbirleriyle karşılaştırdığımızda yunuslama ve sapma hesaplamaları bu senaryoda yuvarlanma hesaplamalarına göre daha doğru sonuçlar vermektedir.



## 6 SONUÇLAR

Tez kapsamında, seyrüsefer için gereken yönelim belirleme problemi hem kuramsal olarak araştırılmış hem de GPS alıcılarının konum çıktıları kullanılarak yönelim sonuçları pratikte elde edilmiştir. Bu kapsamda yönelimin ne olduğu tanımlanmış ve ilgili koordinat sistemleri açıklanmıştır. Yönelim bulmak amacıyla kullanılacak olan GPS sistemi araştırılmış ve bütün yönleriyle incelenmiştir.

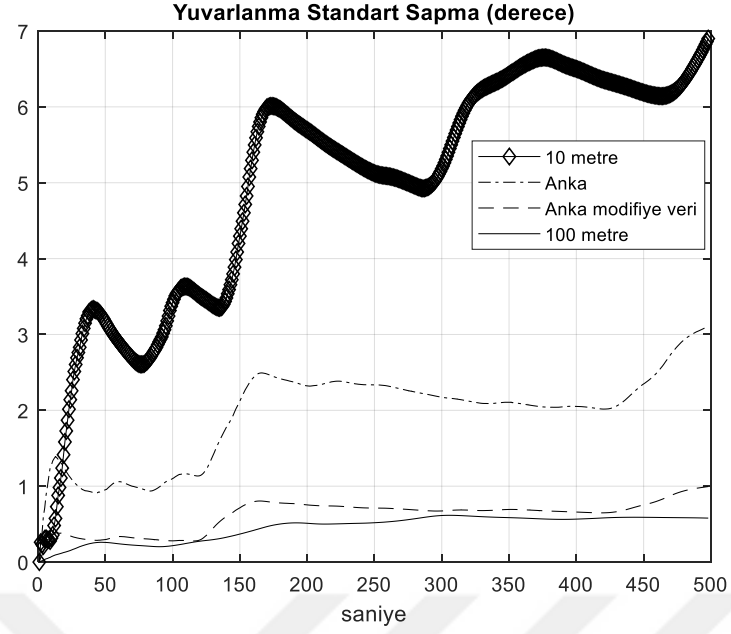
GPS alıcıları, Raspberry pi model 3B ve güç kaynağından oluşan bir veri alma donanımı oluşturulmuştur. GPS alıcısından veri alıp çözmek ve kaydetmek üzere Raspberry Pi üzerinde çalışacak yazılım geliştirilmiştir. Oluşturulan bu sistem ile kaydedilen veriler MATLAB ortamında uygulanan yönelim bulma algoritmalarında kullanılarak yönelim sonuçları elde edilmiştir.

Yönelim bulmak için kullanılacak iki farklı algoritma uygulanarak karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda 10 metre ve daha küçük uzunluklar için daha doğru sonuçlar ortaya çıkaran yöntem olarak yönelim parametrelerinin konum sonuçlarından doğrudan çözümlenerek belirlenmesi yöntemi olduğu ortaya konulmuştur. Yönelim bulmak üzere farklı konumlardan çok sayıda ölçüm alınmış ve farklı referans hatları oluşturulmuştur. Farklı referans hatları uzunluklarında ölçüm alınmış ve yönelim parametrelerinin hassasiyetleri karşılaştırılmıştır.

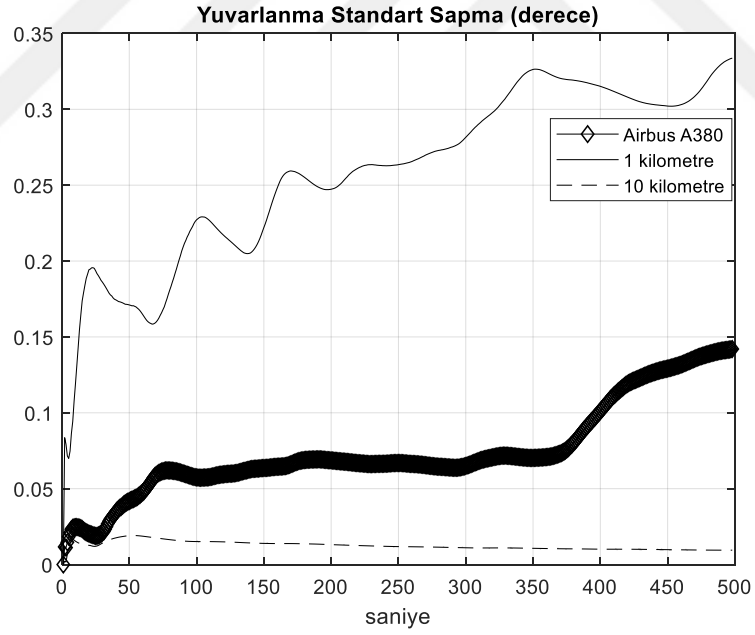
Çizelge 6.1 ile farklı referans hattı uzunlukları için yönelim parametrelerinin standart sapma değerleri sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, referans hattı uzunluğu yani alıcılar arasındaki mesafe sonuçları çok etkin bir biçimde etkilemektedir. Hayali bir Airbus A380 uçağına yerleştirilen 4 alıcılı sistemin 3 alıcılı versiyona göre gözle görülür derecede hatayı azalttığı görülmektedir.

Çizelge 6.1 Referans hattı uzunluklarına göre ortalama yönelim standart sapma sonuçları

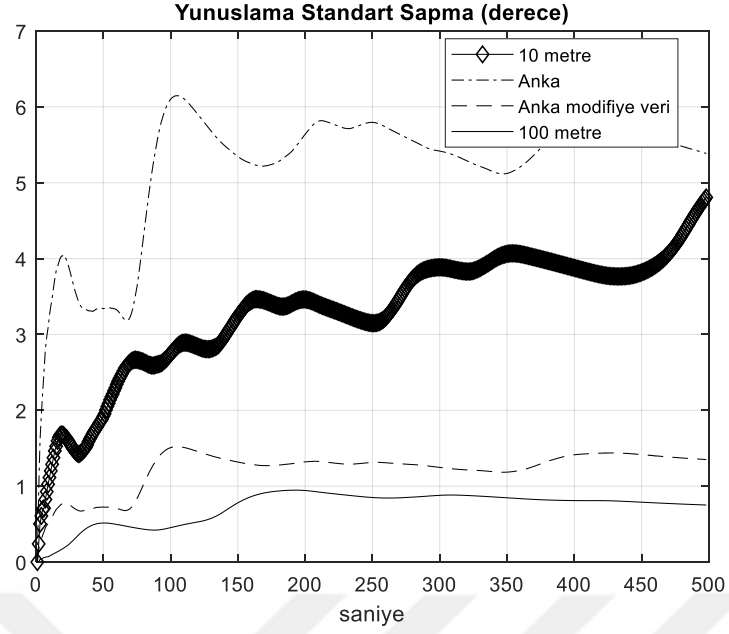
| Referans Hattı Uzunluğu                  | Ortalama Yuvarlanma Açısı Standart Sapma Değeri | Ortalama Yunuslama Açısı Standart Sapma Değeri | Ortalama Sapma Açısı Standart Sapma Değeri |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 3 metre                                  | 27.0601                                         | 19.6038                                        | 7.0629                                     |
| 10 metre                                 | 7.6629                                          | 4.7219                                         | 4.4516                                     |
| Anka (17 metre)                          | 2.5034                                          | 5.4244                                         | 3.6647                                     |
| Anka (17 metre modifiye edilmiş veriler) | 0.7861                                          | 1.2890                                         | 0.5188                                     |
| Airbus A380 75 metre (Senaryo 1)         | 0.6331                                          | 1.0113                                         | 0.7780                                     |
| Airbus A 380 75 metre (Senaryo 2)        | 0.8176                                          | 1.0113                                         | 0.7780                                     |
| Airbus A380 75 metre (Senaryo 3)         | 0.8060                                          | 0.6374                                         | 0.7677                                     |
| Airbus A 380 75 metre (Senaryo 4)        | 0.6937                                          | 0.6374                                         | 0.7677                                     |
| Airbus A380 75 metre (4 alıcı)           | 0.1314                                          | 0.5546                                         | 0.5925                                     |
| 100 metre                                | 0.4546                                          | 0.7231                                         | 1.0951                                     |
| 100 metre (dar açı)                      | 6.8310                                          | 0.1823                                         | 0.2678                                     |
| 1 km                                     | 0.1260                                          | 0.2725                                         | 0.2765                                     |
| 1 km (dar açı)                           | 7.2477                                          | 0.1059                                         | 0.0968                                     |
| 10 km                                    | 0.0105                                          | 0.0073                                         | 0.0071                                     |



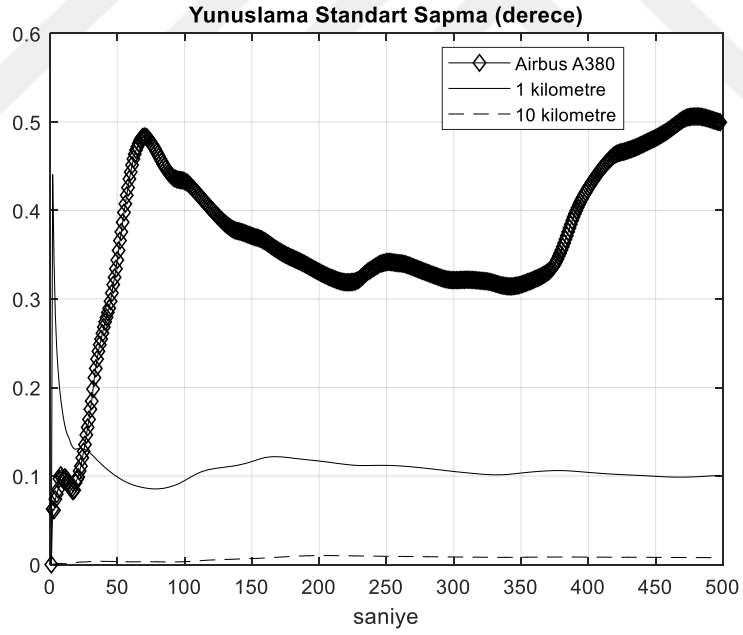
Şekil 6.1 Farklı referans hattı uzunlukları için yuvarlanma açısı standart sapma değerleri



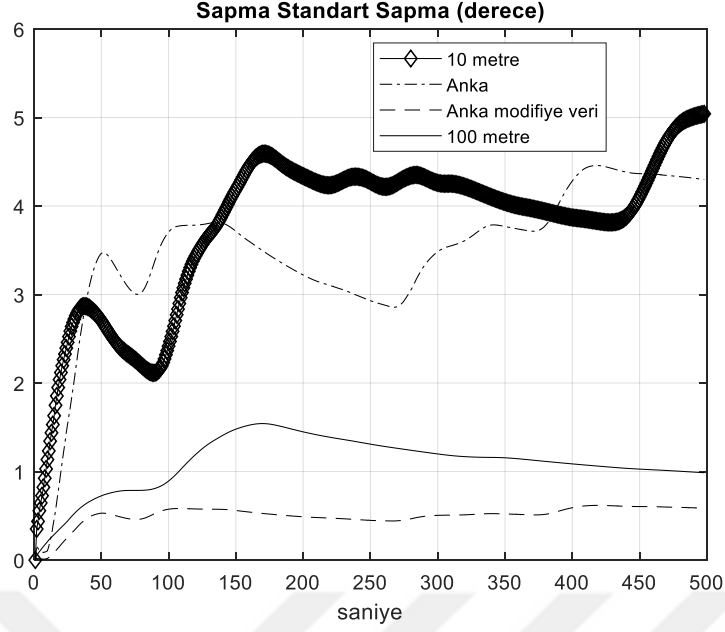
Şekil 6.2 Farklı referans hattı uzunlukları için yuvarlanma açısı standart sapma değerleri



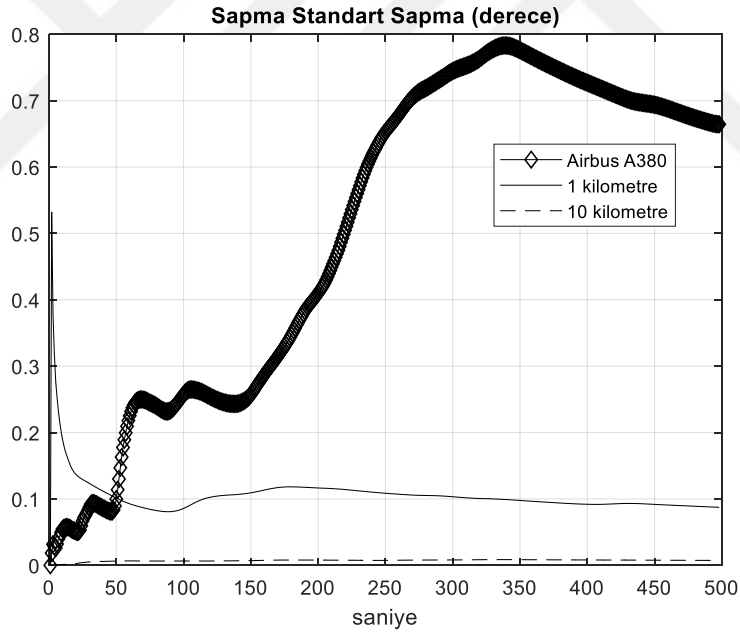
Şekil 6.3 Farklı referans hattı uzunlukları için yunuslama açısı standart sapma değerleri



Şekil 6.4 Farklı referans hattı uzunlukları için yunuslama açısı standart sapma değerleri



Şekil 6.5 Farklı referans hattı uzunlukları için sapma açısı standart sapma değerleri



Şekil 6.6 Farklı referans hattı uzunlukları için sapma açısı standart sapma değerleri

Şekil 6.1 ile Şekil 6.6 arasındaki grafiklerden alıcılar arasındaki farklı mesafelerin kullanımıyla yönelim parametrelerinin standart sapmalarının zamana göre değişimi görülmektedir. Grafiklerden alıcılar arasındaki mesafenin artışı ile hataların azaldığı açıkça anlaşılabilmektedir. Airbus A380 platformu için kullanılan 4 alıcılı konfigürasyonun 3 alıcılı konfigürasyona göre avantajı net bir şekilde anlaşılmaktadır.

## 7 KAYNAKLAR

- [1] Alexander, J., Loxodromes: A Rhumb Way To Go, 2004
- [2] Kaplan, E. D., Understanding GPS, Principles and Applications, Boston – London, Artech House, 1996
- [3] Misra, P., Enge, P., Global Positioning System Signals, Measurements, and Performance-Ganga-Jamuna Press (2006)
- [4] Parkinson, B. W., James J., Spilker Jr., Global Positioning System: Theory and Applications, Washington, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996
- [5] Grewal, Mohinder S., Weill, Lawrence R., Andrews, Angus P., Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration, Wiley, 2007
- [6] Tsui, Y., Bao, J., Fundamentals of Global Positioning System Receivers, A Software Approach, USA, Wiley-Interscience 2005
- [7] Borre, K., Akos, D.M., Bertelsen, N., Rinder, p., Jensen, S.H., A Software Defined GPS and Galileo Receiver, A single Frequency Approach, Boston, Birkhauser, 2007
- [8] <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/rotations.html>
- [9] Wertz, J.R., Spacecraft Attitude Determination and Control (Astrophysics and Space Science Library)-Springer (1978)
- [10] Gang, L., Development of a GPS Multi-Antenna System for Attitude Determination, 1995
- [11] Cohen, C.E., Attitude Determination Using GPS, December 1992

- [12] Powell, J.D., GPS-Based Attitude for Aircraft, 2015
- [13] Axelgrad, P., et al, GPS-Based Attitude Determination Final Report for the Naval Research Laboratory, 1993
- [14] Osborne, M.L., Tolson, R., GPS Attitude Determination Using Deployable-Mounted Antennas, 1996
- [15] Wang, C., Development of a Low-cost GPS-based Attitude Determination System, 2003
- [16] Markley, F.L., Crassidis, J.L., Fundamentals of Spacecraft Attitude Determination and Control, 2014
- [17] GPS Position Accuracy Measures APN-029 Rev 1, Novatel 2003
- [18] Mertikas, S., Error Distributions And Accuracy Measures In Navigation: An Overview, 1985
- [19] U-blox, NEO-7 u-blox 7 GNSS modules Data Sheet  
[https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-7\\_DataSheet\\_%28UBX-13003830%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-7_DataSheet_%28UBX-13003830%29.pdf)
- [20] U-blox, Product Summary NEO/LEA-M8T series u-blox M8 GNSS timing modules  
[https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-LEA-M8T\\_ProductSummary\\_%28UBX-16000801%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-LEA-M8T_ProductSummary_%28UBX-16000801%29.pdf)
- [21] IS-GPS-200H Global Positioning Systems Directorate Systems Engineering & Integration Interface Specification, 2013  
<https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200H.pdf>
- [22] ICD-GPS-240 Rev B Interface Control Document, 2018  
<https://www.gps.gov/technical/icwg/ICD-GPS-240B.pdf>
- [23] <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

- [24] Drake, S.P., Converting GPS Coordinates to Navigation Coordinates, Technical Note , 2002
- [25] MISB ST 0601 UAS Datalink Local Set  
<http://www.gwg.nga.mil/misb//docs/standards/ST0601.8.pdf>
- [26] [https://en.wikipedia.org/wiki/Axes\\_conventions](https://en.wikipedia.org/wiki/Axes_conventions)
- [27] <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>
- [28] Markley, F. L., Mortari, D., Quaternion Attitude Estimation Using Vector Observations, 2007
- [29] Wang Y., Zhan, X., Zhang, Y., Improved ambiguity function method based on analytical resolution for GPS attitude determination, 2007
- [30] Juang, J., Huang, G., Development of GPS-Based Attitude Determination Algorithms, 1997
- [31] Hoyle, V.A., Lachapelle, G., Cannon, M.E., Wang, C., Low-Cost GPS Receivers and Their Feasibility for Attitude Determination, 2002

## 8 EKLER

### 8.1 EK 1: VERİ KAYDETME SİSTEMİ PROGRAMLAMA KODLARI

```
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <termios.h>
#include <string.h>

int main(int argc, char **argv)
{
    FILE *fp;
    int uart0= -1;
    struct termios options;
    char rx_buffer[512];
    int rx_length = 0;
    uart0 = open("/dev/ttyAMA0", O_RDWR | O_NOCTTY );

    if(uart0 != -1){
        //printf("Serial port turned on");
        tcgetattr(uart0, &options);
        options.c_cflag = B9600 | CS8 | CLOCAL | CREAD;
        options.c_iflag = IGNPAR;
        options.c_oflag = 0;
        options.c_lflag = 0;
        tcflush(uart0, TCIFLUSH);
        tcsetattr(uart0, TCSANOW, &options);

        while(1){
```

```

memset(rx_buffer, '\0', 511);

rx_length = read(uart0, (void *)rx_buffer,511);
rx_buffer[rx_length] = '\0';

if(rx_length < 0){
    //printf("Can't read data\n");
}else if(rx_length == 0){
    //printf("data not found\n");
}else{
    printf("%s", rx_buffer);
    fp = fopen("/home/pi/Desktop/GPSPProject
.../AMA0/GPSlogAMA0.txt","a");
    fprintf(fp,"%s",rx_buffer);
}
fclose(fp);
}

}else{
    printf("Serial port can not turned on");
}

return 0;
}

```

## 8.2 EK 2: YÖNELİM ALGORİTMALARI PROGRAMLAMA KODLARI

### Yönelim Parametrelerinin Konum Sonuçlarından Doğrudan Çözümlenerek Belirlenmesi Yöntemi İçin MATLAB Kodları

```
function [roll,pitch,yaw] = attitude(lat1, lon1, h1,lat2,lon2, h2,lat3,lon3, h3)

[x2,y2,z2] = llh2xyz(lat2,lon2, h2); % WGS84 to ECEF
[e2,n2,up2] = xyz2enu(lat1, lon1, h1, x2, y2, z2); % ECEF to Local level frame, ENU
u2 = [e2,n2,up2]; % 2. anten enu konumları, matlab fonksiyonu [xEast,yNorth,zUp] =
geodetic2enu(lat,lon,h,lat0,lon0,h0, wgs84Ellipsoid)

[x3,y3,z3] = llh2xyz(lat3,lon3, h3); % WGS84 to ECEF
[e3,n3,up3] = xyz2enu(lat1, lon1, h1, x3, y3, z3); % ECEF to Local level frame, ENU
u3 = [e3;n3;up3]; % 3. anten enu konumları

psi = -atan2d(u2(1,1),u2(1,2)); % yaw -atan2(x2enu,y2enu);
yaw = psi;
if yaw < 0
    yaw = 180 - yaw ;
end
teta = atan2d(u2(1,3),sqrt(u2(1,1)^2+u2(1,2)^2)); % pitch
pitch = teta;

R3 = [cosd(psi)    sind(psi)    0;
      -sind(psi)   cosd(psi)    0;
       0           0           1]; % yaw dönüşüm matrisi

R1 = [1    0    0;
      0    cosd(teta)    sind(teta);
      0    -sind(teta)   cosd(teta)]; % pitch dönüşüm matrisi

u3p = R3*u3; % 3. anteni z eksenine etrafında yaw kadar döndürür
u3pp = R1*u3p; % 3. anteni x eksenine etrafında pitch kadar döndürür

phi = -atan2d(u3pp(3,1),u3pp(1,1)); % z ekseninde yaw kadar x ekseninde pitch kadar döndürülmüş
enu anten 3 koordinatlarından roll bulunur
roll = phi;
```

## Eşdoğrusal Olmayan Referans Hattı (Non-Collinear Baseline) Vektörleri Kullanarak Yönelim Belirleme Yöntemi İçin MATLAB Kodları

```
function [roll,pitch,yaw] = attitude2(meanLat1,meanLon1, meanheight1,meanLat2,meanLon2,  
meanheight2,meanLat3,meanLon3, meanheight3,L12 ,L13 ,alphad )  
[x2,y2,z2] = llh2xyz(meanLat2,meanLon2,meanheight2);  
[x3,y3,z3] = llh2xyz(meanLat3,meanLon3,meanheight3);  
[e2,n2,up2] = xyz2enu(meanLat1, meanLon1, meanheight1, x2, y2, z2); % ECEF to Local level frame,  
ENU  
[e3,n3,up3] = xyz2enu(meanLat1, meanLon1, meanheight1, x3, y3, z3); % ECEF to Local level frame,  
ENU  
enu2 = [e2,n2,up2];  
enu3 = [e3,n3,up3];  
enu1 = [0,0,0];  
u1 = enu1 - enu2;  
u2 = enu1 - enu3;  
body1 = [0,0,0];  
body2 = [0,L12,0];  
body3 = [L13*sind(alphad),L13*cosd(alphad),0];  
b1 = body1 - body2;  
b2 = body1 - body3;  
g1 = u1/norm(u1);  
g2a = cross(u1,u2);  
g2 = g2a/norm(g2a);  
g3 = cross(g1,g2);  
s1 = b1/norm(b1);  
s2a = cross(b1,b2);  
s2 = s2a/norm(s2a);  
s3 = cross(s1,s2);  
Ms = [s1;s2;s3];  
Mg = [g1;g2;g3];  
R = Ms*Mg';  
pitch = atan2d(R(2,1),R(2,2)) ;  
roll = asind(R(2,3)) ;  
yaw = -atan2d(R(1,3),R(3,3));  
if yaw < 0  
    yaw = 360 - yaw;  
end  
yaw = mod(yaw,360);
```

## Great Circle Rota Oluşturma Algoritması

```
lat1d = 40.11; lon1d = 32.98; % Ankara Esenboğa
lat2d=35.55; lon2d=139.77; % Tokyo haneda
% gcdist1 = gcdistance(lat1d,lon1d,lat2d,lon2d)

lat1 = lat1d*pi/180; lon1 = lon1d*pi/180; lat2 = lat2d*pi/180; lon2 = lon2d*pi/180;
lon12 = lon2 - lon1; % kalkış-varış noktası arasındaki boylam farkı

alpha1 = atan2(sin(lon12),cos(lat1)*tan(lat2)-sin(lat1)*cos(lon12)); % kalkış noktası kuzey açısı
alpha1d = alpha1*180/pi; % kalkış noktası kuzey açısı
alpha2 = atan2(sin(lon12),-cos(lat2)*tan(lat1)+sin(lat2)*cos(lon12)); % varış noktası kuzey açısı
alpha2d = alpha2*180/pi; % varış noktası kuzey açısı
sigma12 = acos(sin(lat1)*sin(lat2)+cos(lat1)*cos(lat2)*cos(lon12)); % kalkış-varış noktası arasındaki
merkez açı farkı
sigma12d = sigma12*180/pi; % kalkış-varış noktası arasındaki merkez açı farkı
R = 6371; % dünyanın yarıçapı
s12 = R*sigma12; % kalkış-varış noktası arasındaki en kısa mesafe - great circle distance
alpha0 = asin(sin(alpha1)*cos(lat1)); % great circle ekvatoru kestiği noktadaki kuzey açısı
alpha0d = alpha0*180/pi; % great circle ekvatoru kestiği noktadaki kuzey açısı
sigma01 = atan2(tan(lat1),cos(alpha1)); % great circle ekvatoru kestiği noktadayla kalkış noktası
arasındaki merkez açı farkı
sigma01d = sigma01*180/pi; % great circle ekvatoru kestiği noktadayla kalkış noktası arasındaki
merkez açı farkı
sigma02 = atan2(tan(lat2),cos(alpha2)); % great circle ekvatoru kestiği noktadayla kalkış noktası
arasındaki merkez açı farkı
sigma02d = sigma02*180/pi; % great circle ekvatoru kestiği noktadayla kalkış noktası arasındaki
merkez açı farkı
lon01 = atan2(sin(alpha0)*sin(sigma01),cos(sigma01)); % great circle ekvatoru kestiği noktayla kalkış
noktası arasındaki boylam farkı
lon01d = lon01*180/pi;
lon0 = lon1 - lon01; % great circle ekvatoru kestiği noktadaki boylam
lon0d = lon0*180/pi; % great circle ekvatoru kestiği noktadaki boylam
% sigmaPd = sigma01d:0.1:sigma02d; % kalkış noktası ile varış noktası arasındaki noktaların merkez
açı farkları
sigmaPd = linspace(sigma01d,sigma02d); % kalkış noktası ile varış noktası arasındaki 100 noktanın
merkez açı farkları
% sigmaPd = (sigma01d + sigma02d)/2;
sigmaP = sigmaPd*pi/180; % kalkış noktası ile varış noktası arasındaki noktaların merkez açı
farkları
lonP = lon0 + atan2(sin(alpha0)*sin(sigmaP),cos(sigmaP)); % rota üzerindeki enlemler
lonPd = lonP*180/pi; % rota üzerindeki enlemler
for i = 1:length(lonPd)
    if (lonPd(1,i) < 180) && (lonPd(1,i) > -180)
        lonPdd(1,i) = lonPd(1,i);
    else
        lonPdd(1,i) = 360 - abs(lonPd(1,i));
    end
end
latP = atan2(cot(alpha0)*sin(lonP-lon0),1); % rota üzerindeki boylamlar
latPd = latP*180/pi; % rota üzerindeki boylamlar
for i = 1:length(latPd)
    if (latPd(1,i) > 180) && (latPd(1,i) < -180)
        latPdd(1,i) = 360 - abs(latPd(1,i));
    else
        latPdd(1,i) = (latPd(1,i));
    end
end
```

```

end
alphaP = atan2(tan(alpha0),cos(sigmaP)); % rota üzerindeki kuzey açıları
alphaPd = alphaP*180/pi; % rota üzerindeki kuzey açıları

```

## Rhumb line Seyrüseferi Algoritması

```

function [C,Cd,dl] = rhumbLK(lat1,lon1,lat2,lon2)
% KAPLAN's oblate earth model
lat1d = rad2deg(lat1);
lat2d = rad2deg(lat2);
lon1d = rad2deg(lon1);
lon2d = rad2deg(lon2);

t = 0.1; % time
a = 6378.137; % km earth radius
f = 1/298.257223563;
e2 = 2*f - f^2;

latm = lat1/2 + lat2/2;
lonm = lon1/2 + lon2/2;
M = (a*(1-e2))/(1-e2*(sin(latm))^2)^(3/2);
N = a/(1-e2*(sin(latm)^2))^(1/2);
latdif = lat2 - lat1;
londif = lon2 - lon1;
C = atan2((N*cos(latm)*londif),(M*latdif)); % radian
Cd = rad2deg(C); % degree
dl = M*(lat2 - lat1)/cos(C); %distance
end

```

## ÖZGEÇMİŞ

### Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Musab Ramazan AKASLAN

Doğum Yeri : NİZİP, (1990)

Medeni Hali : Evli

E-posta : musabakaslan@gmail.com

Adresi : Kavacık Subayevleri mah. Paşabahçe cad. No:13/4 Keçiören Ankara

### Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, (01-2014)

### Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : Profesyonel Yetkinlik

### İş Deneyimi

TÜBİTAK SAGE, (2014-Devam Ediyor)

### Deneyim Alanları

GPS, Sinyal İşleme, RF, Mikrodalga, Radar

### Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

### Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

### Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 24.09.2018

Tez Başlığı / Konusu: GNSS Tabanlı Yönelim Belirleme Sisteminin Tasarımı ve Geliştirilmesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 119 sayfalık kısmına ilişkin, 24/09/2018 tarihinde ~~şahsım~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: Musab Ramazan AKASLAN  
Öğrenci No: N14224824  
Anabilim Dalı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği  
Programı: Tezli Yüksek Lisans  
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza

24.10.2018  
Musab

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ  
(Unvan, Ad Soyad, İmza)