

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONUM BELİRLEME ALGORİTMA UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Bilgen TUNCER**

**Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği**

**Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği**

**OCAK 2009**



**KONUM BELİRLEME ALGORİTMA UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Bilgen TUNCER**  
**(504041336)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Ocak 2009**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selçuk PAKER**  
**Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Sedef KENT**  
**Yrd. Doç. Dr. Feza BUZLUCA**

**ŞUBAT 2009**



## **ÖNSÖZ**

Çalışma süresince bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Selçuk Parker'e ve sevgili eşim Metin Kaplan'a teşekkür ederim.

Aralık 2008

Bilgen Tuncer  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisi

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>KISALTMALAR.....</b>	<b>v</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ.....</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>viii</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Önemi ve Amaçları.....	1
1.2 Tezin Kapsam ve Sınırları.....	2
<b>2. GENEL BİLGİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 GPS Sinyal ve Data Yapısı.....	4
2.1.1 C/A Kodu.....	4
2.1.2 Navigasyon Data Yapısı.....	5
2.2 GPS Sinyalinin Alıcı Kısımında Değerlendirilmesi.....	6
2.2.1 İzleme.....	8
2.2.2 Navigasyon Verisinin Elde Edilmesi.....	8
2.2.3 Konum Hesaplanması.....	9
<b>3. HATA KAYNAKLARI.....</b>	<b>11</b>
3.1 Uydu Yörünge Hatası.....	13
3.2 Atmosferik Etkiler.....	13
3.2.1 İyonosferik Etki.....	14
3.2.2 Troposferik Etki.....	14
<b>4. KONUM BELİRLEMEDE MATEMATİKSEL YÖNTEMLER.....</b>	<b>15</b>
<b>5. UYGULAMA.....</b>	<b>19</b>
5.1 Kullanılan Geliştirme Kütüphanesi.....	19
5.2 Cygwin Kurulması.....	19
5.3 GPSKTK'nin Derlenmesi.....	19
5.4 Kullanılan Sınıflar ve Algoritmalar.....	19
5.4.1 ModeledPR.....	20
5.4.2 SolverWMS.....	20
5.4.3 MOPSWeight.....	21
5.4.4 MOPSTropModel.....	22
5.4.5 IonoModel.....	22
5.4.6 GPSEphemerisStore.....	23
5.4.7 ExtractData.....	23
5.4.8 Bancroft.....	24
5.5 Hazırlanan Yazılım.....	24
5.6 Uygulamanın Test Edilmesi.....	27
5.6.1 RINEX Dosyalarının Oluşturulması.....	27
5.6.2 Konum Belirleme.....	27
5.6.3 Alınan Sabit Referans Noktası.....	28
5.7 Sonuçların Değerlendirilmesi.....	28

<b>6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>33</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>34</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>35</b>

## **KISALTMALAR**

<b>ECEF</b>	: Earth-Centered Earth-Fixed
<b>DGPS</b>	: Differential Global Positioning System
<b>GNSS</b>	: Global Navigation Satellite System
<b>GPS</b>	: Global Positioning System
<b>GPSTK</b>	: Global Positioning System Tool Kit
<b>ISTA</b>	: İTÜ İnşaat Fakültesinde bulunan jeodezik sabit nokta
<b>PRN</b>	: PseudoRandom Noise
<b>RF</b>	: Radio Frequency
<b>RINEX</b>	: The Receiver Independent Exchange Format



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 5.1:</b> ModeledPseudorangeBase değişkenleri.....	32
<b>Çizelge 5.2:</b> MOPSWeight değişkenleri.....	22
<b>Çizelge 5.3:</b> ExtractData değişkenleri.....	24
<b>Çizelge 5.4:</b> ISTA Enlem-Boylam bilgileri.....	28

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Yerküre ve GPS sistemi uydu ağı.....	3
Şekil 2.2: Navigasyon veri yapısı.....	5
Şekil 2.3: Alıcı cihazın kanal yapısı.....	6
Şekil 2.4: Uydu tanıma işlemi.....	8
Şekil 3.1: Mesafe ölçümünün zamanla ilişkisi.....	12
Şekil 3.2: Atmosferik etki.....	14
Şekil 4.1: Geometrik düzlem.....	15
Şekil 5.1: ModeledPR.....	20
Şekil 5.2: SolverWMS.....	20
Şekil 5.3: SolverBase.....	21
Şekil 5.4: MOPSWeigh. ....	21
Şekil 5.5: MOPSTropModel.....	22
Şekil 5.6: GPSEphemerisStore.....	23
Şekil 5.7: ExtractData.....	23
Şekil 5.8: Bancroft.....	24
Şekil 5.9: Konum belirleme akış diyagramı.....	26
Şekil 5.10: Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yönteminin iyileştirmeleri.....	28
Şekil 5.11: Konum bulmada hata miktarı.....	29
Şekil 5.12: Uydu 16 için troposferik düzeltmeler.....	29
Şekil 5.13: Uydu 18 için troposferik düzeltmeler.....	30
Şekil 5.14: Uydu 16 için iyonosferik düzeltmeler.....	30
Şekil 5.15: Uydu 18 için iyonosferik düzeltmeler.....	31

## ÖZET

### KONUM BELİRLEME ALGORİTMA UYGULAMALARI

GPS (Global Position System) askeri ve sivil alanlarda konum belirleme ve izleme fonksiyonlarını sağlamak için tasarlanmış bir sistemdir. Bunun yanı sıra, GPS'den elde edilen veriler harita, meteoroloji gibi diğer disiplinlerde de kullanılır. Günümüzde GPS verilerinden faydalanarak yeni kullanım alanları oluşturulduğu gibi var olan uygulamalarda verimliliği arttırmak için kullanılan algoritmaların iyileştirilmesine ve yeni algoritmaların oluşturulmasına dair birçok çalışma bulunmaktadır.

Yapılan çalışma, konum belirlemede kullanılan 'Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yöntemi'nin verimliliğini, açık kaynak kodundan faydalanarak geliştirilen uygulamadan elde edilen sonucun, konumu bilinen referans noktasına olan uzaklık değeri ile karşılaştırıp belirlenmesini amaçlamaktadır. Ayrıca, GPS'de hataya sebep olan kaynaklardan iyonosferik ve trofosferik etkilerin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmaların verimliliğini de gösterir.

Birinci bölüm, yukarıda belirtilen çalışmanın amacını detaylı bir şekilde anlatır. Ayrıca tezin kapsam ve sınırlamaları hakkında okuyucuyu bilgilendirir.

İkinci bölümde, konum belirleme sistemini oluşturan kısımlara kısaca değinilmiştir. Bununla birlikte çalışma boyunca kullanılan bazı terimler detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, GPS hata kaynakları anlatılmaktadır. Hata kaynaklarının etkisini ortadan kaldırmak amacı ile bazı yöntemler geliştirilmiştir. Yapılan çalışmaların verimliliği bir tablo halinde gösterilmektedir.

Dördüncü bölümde, Yerküre'nin merkezi sıfır noktası kabul edilerek oluşturulan geometrik düzlemde uyduların koordinat bilgisi ve uydu ile alıcı arasındaki mesafeden yararlanarak alıcının konumunun nasıl bulunduğunu matematiksel ifadeler ile anlatır. Elde edilen lineer olmayan denklem, 'Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yöntemi' kullanılarak konum bilgisini verir.

Beşinci bölüm, uygulama için oluşturulmuş yazılım hakkında ve ayrıca test düzeneği ve test sonuçları hakkındaki bilgileri içerir.

Sonuç kısmında yapılan çalışma hakkında değerlendirme ve önerilere yer verilmiştir.

## **SUMMARY**

### **APPLICATION OF ALGORITHM FOR POSITIONING**

GPS (**G**lobal **P**osition **S**ystem) is a technology which is developed to get position and track a receiver in both military and civil applications. In addition to that, information produced by this system is used by different disciplines such as meteorology, geodesy. Today, not only new application areas are created using GPS, but also to keep up with efficiency new algorithms are created and current algorithms are modified.

In this research, the position of a user is found applying Weighted Least Square algorithm to the range between receiver and satellites. The aim is to figure out the effect of algorithm on the result. To do so, the value which is calculated by application which is developed on Open Source libraries, is compared with the position of a fixed and well-known point. In addition, the correction of the error sources such as ionospheric and tropospheric effects are observed.

In the chapter one, the aim of work which is explained above is explained in details. Moreover, reader is informed about the scope and restrictions about the research.

In the second chapter, divisions of the GPS system such as satellites, control system on earth is described. Furthermore, the terms which are used in this research are explained.

In the chapter three, error sources in GPS are described. In addition to that, algorithms which are developed to get rid of this errors are explained. The efficiency and amount of error caused by related source is shown in a table.

In chapter four, the mathematical equation between the known parameters such as, coordinate information of satellite and ranges between the receiver and satellites, unknown parameters such as, position of receiver and clock error. Weighted Least Square algorithm is used to solve this nonlinear equation.

In chapter five, software developed on open source library and also the library itself are explained. Moreover, testbed and results are explained in this chapter.

In conclusion, evaluation of research and suggestions for further researches can be found.



## 1. GİRİŞ

GPS (Global Position System) askeri ve sivil alanlarda konum belirleme ve izleme fonksiyonlarını sağlamak için tasarlanmış bir sistemdir. Bunun yanı sıra, GPS'den elde edilen veriler harita, meteoroloji gibi diğer disiplinlerde de kullanılır. Günümüzde GPS verilerinden faydalanarak yeni kullanım alanları oluşturulduğu gibi var olan uygulamalarda verimliliği arttırmak için kullanılan algoritmaların iyileştirilmesine ve yeni algoritmaların oluşturulmasına dair birçok çalışma bulunmaktadır.

### 1.1 Tezin Önemi ve Amaçları

Konum bulmada en önemli amaç sıfır hatalı sonuca erişmektir. Bunun için, hataya sebep olabilecek etkilerin yok edilmesi için gerek hesaplama yöntemlerinin verimliliği üzerinde gerekse hata kaynaklarının bertaraf edilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır.

Yapılan çalışma, konum belirlemede kullanılan 'Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yöntemi' nin verimliliğini, açık kaynak kodundan faydalanarak geliştirilen uygulamadan elde edilen sonucun, konumu bilinen referans noktasına olan uzaklık değeri ile karşılaştırıp belirlenmesini amaçlamaktadır. Ayrıca, GPS'de hataya sebep olan kaynaklardan iyonosferik ve trofosferik etkilerin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmaların verimliliğini de gösterir.

Projenin amacına ulaşması için gereken adımlar aşağıda gösterilmektedir:

1. Alıcıdan bağımsız hassas konum bulma işleminin, hazır kütüphaneler (GPSTK) kullanılarak gerçekleştirilmesi,
2. RINEX dosyasından yola çıkarak sözde uzaklıkların ve atmosferik modellerin hesaplanması,
3. Bulunan sözde uzaklıklar ve atmosferik modellerde, 'Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler' yöntemi kullanılarak hata miktarının bulunması,

4. 'Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler' yönteminin sağladığı katkının değerlendirilmesi,
5. Hazırlanan kullanıcı düzeyi yazılımın hesapladığı koordinatların doğruluğunun ISTA (İTÜ İnşaat Fakültesinde bulunan jeodezik sabit nokta) ile karşılaştırılması.

## **1.2 Tezin Kapsam ve Sınırları**

Veri toplamada Garmin Etrex cihazı kullanılmıştır. Cihazın ürettiği RINEX dosyasının formatı 2.0'dir. Kullanılan kütüphane ise versiyon 3.0'a kadar çalışmak için tasarlanmıştır. Cihazın ve formatın en yeni teknoloji olması durumunda alınacak sonuçlar farklılık arzedecektir.

Kullanıcının hareketli olması durumunda, cihazdan alınan veriler, test etmek için yeterli olmadığından, kullanıcının sabit olduğu durum üzerinde odaklanıldı.

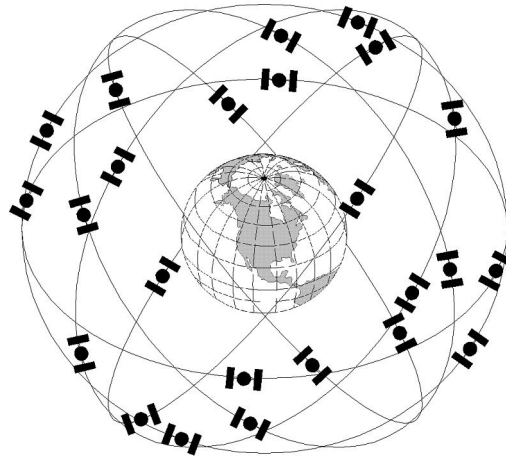
Tez boyunca DGPS ile ilgilenilmemiştir.

## 2. GENEL BİLGİ

GPS (**G**lobal **P**osition **S**ystem) askeri ve sivil alanlarda konum belirleme ve izleme fonksiyonlarını sağlamak için tasarlanmış bir sistemdir.

GPS sistemi 3 ana kısımdan oluşur. Bunlar uzay bölümü, yerkürede kontrol birimi ve alıcı kısmıdır.

Uzay bölümü 24 uydudan oluşur. Uydular, sıfır noktası Dünya'nın merkezi olmak üzere toplam 6 yörünge düzlemine yerleştirilmiştir. Her bir yörünge düzleminde 4 uydu bulunmaktadır. Uydu ile Dünya merkezi arasındaki mesafe yaklaşık 26,600 km'dir. Şekil 2.1, GPS sistemini oluşturan uydu ağını göstermektedir.



Şekil 2.1 : Yerküre ve GPS sistemi uydu ağı

Uydular kendi durumları, pozisyonları ve diğer veriler hakkında bilgi yayımlarlar. Kontrol bölümü, ana kontrol istasyonu (Master Control Station) ve görüntüleme istasyonu olmak üzere iki kısımdan oluşur. Kontrol bölümü ihtiyaç duyulan uydu konum bilgilerini, uydulara yüklenilmek üzere düzeltilmiş uydu parametrelerini ve diğer bilgileri görüntüler.

Kullanıcı kısmı uydulardan gelen sinyalleri kullanıp konum ve zaman bilgilerini hesaplayan GPS alıcısından oluşur.



## 2.1 GPS Sinyal ve Data Yapısı

GPS işareti, yüksek frekans bandında (UHF) yer alan L1 (1575.42 MHz) ve L2 (1227.60 MHz) radyo frekansları üzerinden yayımlanır ve aşağıda belirtilen üç ana kısımdan oluşur:

- **Taşıyıcı:** L1 ve ya L2 taşıyıcı frekansıdır.
- **Navigasyon datası:** Uydu yörünge bilgilerini içerir. Bu bilgiler yukarıda bahsedildiği gibi, uydulara yüklenilmek üzere kontrol bölümü tarafından güncellenirler. Bölüm 2.1.2'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.
- **PRN (PseudoRandom Noise) Kodu:** Her GPS uydusu iki tür PRN kodu yaymaktadır. Bunlar C/A kodu (the coarse acquisition code) ve şifrelenmiş hassas P kodu (the encrypted precision code) olarak isimlendirilmiştir. C/A kodu 1023 chip<sup>1</sup>'lik bir diziden oluşur ve 1ms'de bir kendini tekrarlar (chip frekansı 1.023 MHz'dir). C/A kodu sivil uygulamalar için kullanılır ve sadece L1 taşıyıcı frekansı üzerinde modüle edilir. P kodu ise yaklaşık  $2.35 \times 10^4$  chip'lik bir diziden oluşur ve chip frekansı 10.23 MHz'dir. Kendisini haftada bir Cumartesi gecesini Pazar gününe bağlayan gecede tekrar eder. Askeri uygulamalarda kullanılan P kodu hem L1 hem de L2 taşıyıcı frekansları üzerinde modüle edilir.

### 2.1.1 C/A kodu

C/A kodunun iki önemli işlevi vardır:

Birincisi, kendisine gönderen sinyalin hangi uydudan geldiğini, alıcı C/A kodu ile öğrenir.

İkincisi ise alıcının gönderilen C/A kodu ve kendisinin ürettiği C/A kodu arasındaki zaman farkını hesaplanarak sözde uzaklık değerinde kestirimde bulunmasıdır.

Her uydu kendine özgü C/A kodu üretir ve dizilimi her uydu için bellidir. 1023 chip'lik uzunluğa sahip C/A kodunda 512 bir ve 511 sıfır vardır.

Kodunun en önemli karakteristiği C/A kodları arasında korelasyon olmamasıdır. Ayrıca aralarında gecikme olan aynı iki C/A kodu arasında da korelasyon yoktur.

---

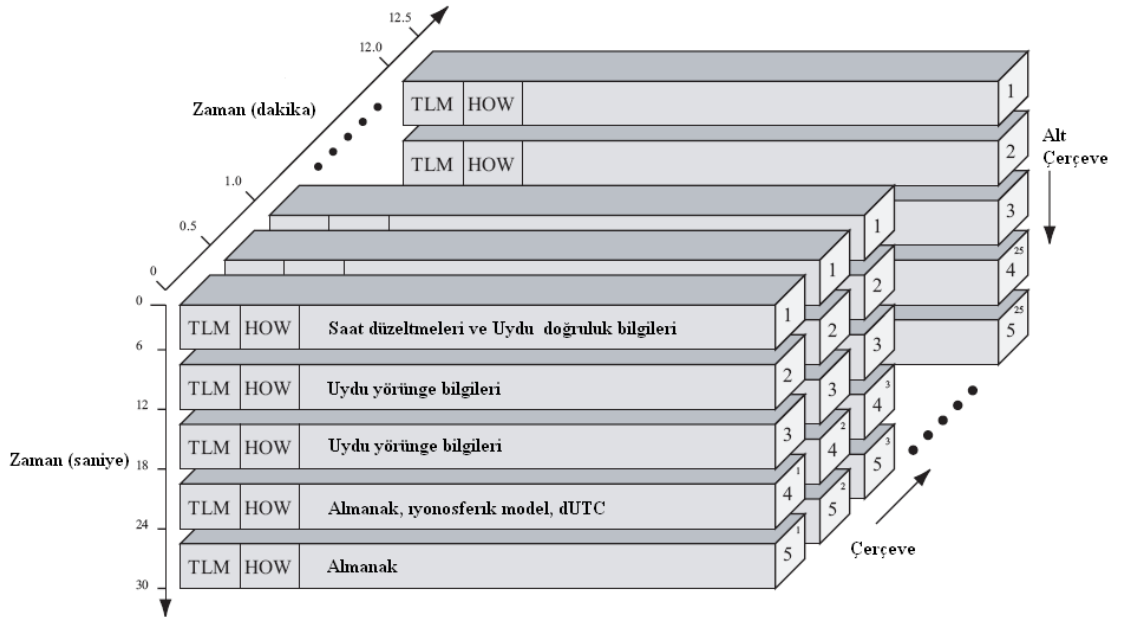
<sup>1</sup> C/A kodu hiçbir veri taşımadığından, literatürde birim olarak 'bit' kavramı yerine 'chip' kavramının kullanılması uygun görülmüştür.

## 2.1.2 Navigasyon data yapısı

Temel formatta navigasyon datası 1500 bitlik bir çerçeveden oluşur. Çerçeve, 5 alt çerçeveye ayrılır. Her bir alt çerçevenin uzunluğu 300 bit'tir ve herbiri 30 bit uzunluğunda olan 10 kelimedenden meydana gelir.

1., 2. ve 3. alt çerçeveler her çerçevede kendini tekrar etmesine karşın, 4. ve 5. alt çerçevelerin, yapı olarak aynı fakat içerik olarak farklı, toplamda 25 türü vardır. Navigasyon datasının veri hızı 50bps olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bir alt çerçeve 6s'de gönderildiği görülür. Toplamda navigasyon datası 12.5 dakika'da alıcıya ulaşır.

Şekil 2.2'de yukarıda anlatılan navigasyon format bilgileri daha açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.2 Navigasyon veri yapısı

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi her alt çerçeve TLM (Telemetry) ve HOW (Handover Words) olarak adlandırılmış iki kelime ile başlar. TLM, çerçeve senkronizasyonu için gereklidir. HOW ise zaman bilgisinin yanında (17 bitlik haftanın zamanı bilgisini), 2 bitlik belirteçler (kanama v.b.) taşır. Diğer 3 bit ise hangi alt çerçevenin içinde yer aldığını belirtir.

**Navigasyon mesajındaki veri :** TLM ve HOW'a ek olarak her alt çerçeve 16 byte veri taşır.

**Alt Çerçeve 1 :** -Uydu saat ve doğruluk bilgisi- İlk alt çerçeve saat bilgisini içerir. Bu bilgi mesajın uydudan çıkış zamanının hesaplanmasında kullanılır. Ek olarak, bu çerçeve doğruluk verisi taşır, bu bilgiye bakılarak bu mesajın işlenip işlenmeyeceğine karar verilir.

**Alt Çerçeve 2 ve 3 :** -Uydu yörünge bilgisi- Alt çerçeve 2 ve 3 uydu yörünge bilgilerini içerir. Uydu yörünge bilgisi uydunun yörüngesi ile ilgilidir ve uydunun pozisyonunun hesaplanmasında kullanılır.

**Alt Çerçeve 4 ve 5 :** -Destek verileri- Son iki alt çerçeve her 12.5 dakikada bir tekrar eder. Bu çerçeveler almanak verilerini taşır. Almanak yörünge ve zaman bilgilerinden oluşur. Ama bu verilerin doğrulukları biraz azaltılmıştır. Ek olarak her uydu her uyduya ait almanak verisini gönderirken sadece kendisine ait uydu yörünge bilgisini gönderir. Bu çerçeveler içinde gönderilen diğer verilerden bazıları ise, UTC parametreleri, iyonosferik verilerdir.

## 2.2 GPS Sinyalinin Alıcı Kısımda Değerlendirilmesi

Alıcı kısma gelen GPS sinyali, alıcının sınırlı sayıda sahip olduğu kanallar üzerinde işlenir. Şekil 2.3, kanalın yapısını blok halinde gösterir.



Şekil 2.3 Alıcı cihazın kanal yapısı

Cihazın, görüş açısında olan uyduları tespit etmek için bilinen iki yol vardır:

- **Sıcak başlatma (Warm Start):** Alıcı cihazda yüklü olan almanak verisi ile tüm uydu konumları kabaca hesaplanır. Sonuç, alıcının en son hesapladığı konum bilgisi ile karşılaştırılarak gözükmesi gereken muhtemel uydular tespit edilir. Bu hesaplama yöntemi, alıcı cihazın kapalı olduğu müddetçe en son hesapladığı noktadan çok uzaklara gitmesi durumunda ve alıcının sahip olduğu almanak

datasının zaman aşımına uğradığı durumda geçersizdir. Bu durumda cihaz soğuk (Cold Start) başlangıç yapmalıdır.

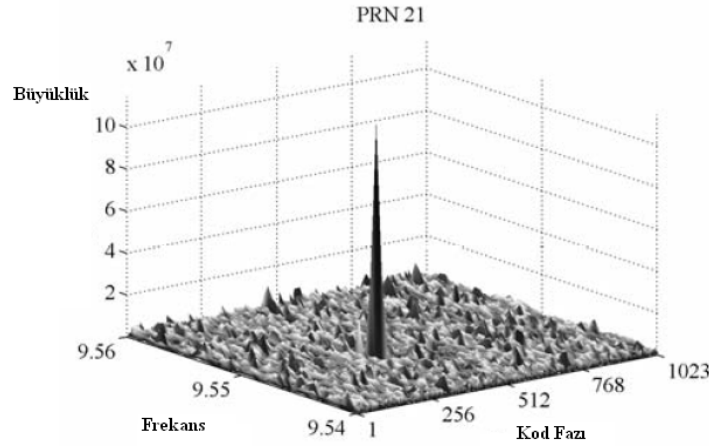
- **Soğuk başlatma (Cold Start):** Alıcı cihazda yüklü bilgiler kullanılmaz. Alıcı bulunduğu konumda, görüş alanında olan uyduları tespit etme çalışır. Bunun için gelen GPS sinyalinin frekans ve C/A kodunun faz bilgisinden faydalanır.

GPS sinyalinin frekans değeri, tüm uydular için aynı olmasına rağmen, uyduların hareketi boyunca Doppler etkisi ile kaymalar oluşur. Kullanıcının ve uydunun, birlikte yüksek hızla hareket etmesi durumunda en büyük kayma oluşur (10 kHz). Kullanıcının sabit olması durumunda kayma miktarı 5 kHz'i aşmaz.

C/A kodunun fazı, mevcut data bloğunda C/A kodunun nerede başladığı konusunda bilgi verir.

Alıcı cihaza gelen sinyal, görüş açısında bulunan uydulardan gelen işaretlerin bileşiminden oluşur. Gelen sinyal, alıcıdaki üretilen C/A kodları ile korelasyon işlemine sokulur. Eğer gelen C/A kodu ile üretilen C/A kodu arasında herhangi bir faz kayması yoksa ve kodlar birebir aynı ise en yüksek korelasyon değeri oluşur. Ayrıca yapılan korelasyon işlemi ile üretilen C/A kodundan farklı C/A kodları kaldırılır. Kod karşılaştırma işlemi bittikten sonra, GPS sinyali, alıcı cihaz tarafından üretilen taşıyıcı dalga ile işleme sokulur. Burada amaç taşıyıcı frekansın tamamı ile kaldırılmasıdır. Bunun için, gelen ve üretilen taşıyıcı dalgaların frekansı birbirine yakın olması gerekir. Doppler etkisi ile meydana gelen kaymalar +10 kHz ile -10 kHz arasında değişir. Bu değişim aralığı sınır kabul edilerek, üretilen taşıyıcı dalganın frekansı 500 Hz arttırılıp azaltılarak, denemeye devam edilir. Böylece 41 farklı frekansa sahip işaretlerle karşılaştırılır.

Herbir farklı frekans için, 1023 farklı kod fazı denenir. Bütün mevcut frekanslar ve kod fazları denendiği zaman, bu değerler arasından bir en yüksek değer bulma araması yapılır. Eğer en yüksek değer, belirlenmiş eşik değerini geçerse, uydu bilgisi frekans ve faz kaymasından elde edilir. Şekil 2.4'de tipik bir elde etme çizimi verilmiştir. Bu çizimde çok belli bir tepe değeri görülmektedir ve bu nokta, en yüksek korelasyon değerini göstermektedir.



**Şekil 2.4** Uydu tanıma işlemi

### 2.2.1 İzleme

İzlemenin asıl amacı kod fazının ve frekansın değerlerini düzeltmek ve bu değişkenlerin zaman boyunca davranışlarını izlemektir. Kod fazının son değerinin doğruluğu sonradan hesap edilecek sözde uzaklıkların doğruluğu ile bağlantılıdır. İzleme iki alt parçadan oluşur : kod izleme, taşıyıcı frekans/faz izleme.

- **Kod izleme** : Kod izleme çoğunlukla DLL (Delay Lock Loop) olarak uygulanır. Bu sistemde üç yerel kod üretilir ve gelen sinyal ile korrelasyon yapılmaya çalışılır. Bu üç kopya, kod için sırasıyla erken, hemen ve geç kod isimleri kullanılır. Bu kodların arasındaki fark yarım chip uzunluğundadır.
- **Taşıyıcı frekans/faz izleme** : Diğer bir izleme parçası da taşıyıcı dalga izlemedir. Bu izleme iki türlü yapılabilir; sinyalin fazı izlenerek veya frekans izlenilerek.

İzleme işlemi sürekli çalışarak, frekans değişimlerini zaman fonksiyonu olarak elde eder. Eğer alıcı uydunun izini kaybederse, bu uydu için yeni tanımlama yapılması gerekir.

### 2.2.2 Navigasyon verisinin elde edilmesi

Sinyal uygun olarak izlenebildiği zaman, C/A kodu ve taşıyıcı frekans sinyalden kaldırılabilir. Böylece sadece navigasyon verisi geriye kalır. Navigasyon veri bitinin periyodu 20ms'dir. 30 sn veri okunduktan sonra, alt çerçevenin başı bulunabilir, böylece verinin uydudan gönderilme zamanı da bulunmuş olur.

Uydudan gönderilme zamanı bulunduğu zaman, uydu yörünge bilgileri elde edilmelidir. Bu sonradan uydunun veri gönderme anında konumunun hesaplanmasında kullanılacaktır.

Konum belirleme işlemlerinden hemen önce yapılması gereken son şey, sözde uzaklıkların hesaplanmasıdır. Sözde uzaklıklar uydudan verinin çıkma zamanı ve alıcıya ulaşma zamanına bağlı olarak hesaplanır. Verinin ulaşma zamanı alt çerçevenin başlama anıdır.

### **2.2.3 Konum hesaplanması**

Alıcının yapması gereken son işlem konum hesabıdır. Konum sözde uzaklıklar ve uydu pozisyonlarından hesaplanır [1].



### 3. HATA KAYNAKLARI

Bir kullanıcı alıcısının ne doğrulukta konum ve ya süratini belirleyebildiği ya da ne doğrulukta GPS sistem zamanıyla senkronize olduğu çeşitli etkenlerin karmaşık etkileşimine göre değişir. Genelde, GPS doğruluğu sözde uzaklık ve taşıyıcı faz ölçümlerinin ve ayrıca yayımlanan navigasyon datalarının doğruluğuna göre değişir. Bunun yanısıra, bu parametreleri birbiriyle bağlantılayan temel fiziki modelin duyarlılığı da önemlidir. Örneğin, uydu saat offsetlerinin kullanıcıya GPS sistem zamanına göre ne doğrulukta bildirileceği ya da uydudan-kullanıcıya yayılım hataları hangi netlikte telafi edileceği önemlidir. İlgili hatalar kontrol, uzay ve kullanıcı bölümleri tarafından indüklenmiştir.

Uydu ve alıcı saat offsetleri doğrudan doğruya sözde uzaklık ve taşıyıcı faz hatalarına dönüşür. Uydu sinyalinin PRN kod bileşeni atmosferde yayılırken gecikmeler yaşayıp sözde uzaklık değerini arttırır. Sinyalin taşıyıcı bileşeni trofosferce yavaşlatılır ama iyonosferce, iyonosferik iraksama (ionospheric divergence) diye anılan bir olguyla hızlandırılır. Dahası, yansımalar ve kullanıcının anten faz merkezi ve alıcı kod kolerasyon noktası arasındaki donanım etkileri sinyal bileşenlerini yavaşlatabilir ya da hızlandırabilir. Alınan her sinyalin PRN bileşeni üstündeki bütün bu etkilerden kaynaklanan toplan zaman offseti aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\delta t_T = \delta t_{atm} + \delta t_{gürültü\&parazit} + \delta t_{yh} + \delta t_{do} \quad (3.1)$$

Burada,

$\delta t_{atm}$  = atmosferden kaynaklanan gecikmeler

$\delta t_{gürültü\&parazit}$  = alıcı gürültü ve parazitlerden kaynaklanan hatalar

$\delta t_{yh}$  = Yansıma (Multipath) ofseti

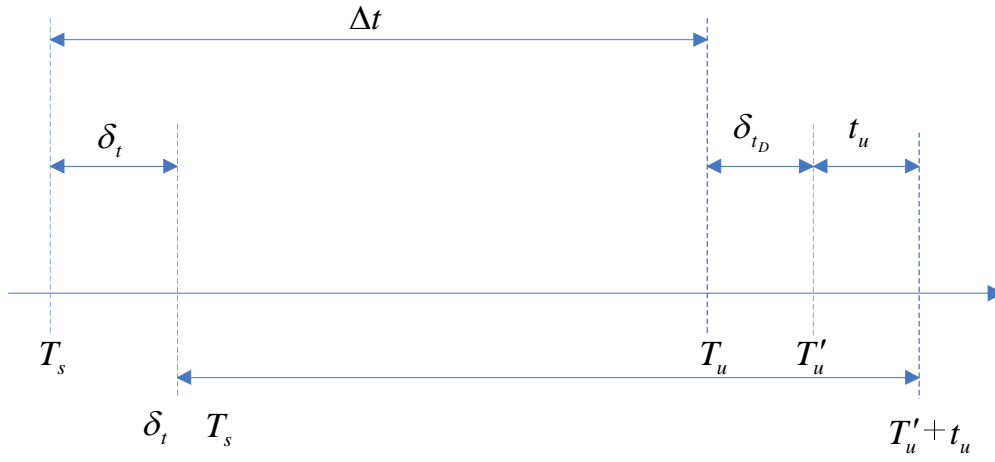


$\delta t_{do}$  = alıcı donanım ofsetleri

dir.

Formül (3.1) ile aynı biçimde ama genel olarak farklı sayısal değerlerle olan bir gecikme ifadesi her sinyalin RF taşıyıcı bileşeninde oluşur.

Sözde uzaklık değerinin zaman karşılığı, alıcının gelen sinyali okuduğu zaman ile uydunun sinyali gönderdiği zaman arasındaki farktır. Bu zamanlama ilişkileri, Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Mesafe ölçümünün zamanla ilişkisi

Burada,

$\Delta t$  = zaman eşdeğerli geometrik oran

$T_s$  = sinyalin uydudan gönderildiği andaki sistem saati

$T_u$  = hataların olmaması varsayımı altında, sinyalin kullanıcı alıcısına ulaştığı andaki sistem saati (bu durumda  $\delta_{t_D}$  değeri sıfır olacaktır.)

$T'_u$  = sinyalin  $\delta_{t_D}$  ile kullanıcı alıcıya ulaşacağı sistem saati

$\delta_t$  = uydu saatinin sistem saatine olan ofset değeri

$t_u$  = alıcı saatinin sistem saatine olan ofset değeri

$T_s + \delta_t$  = uydunun sinyali gönderdiği zaman

$T'_u + t_u$  = alıcının gelen sinyali okuduğu zaman

$c$  = ışık hızı

Sözde uzaklık değeri,  $\rho$ , yukarıda verilen parametreler ile ifade edilir:

$$\begin{aligned}\rho &= c[(T'_u + t_u) - (T_s + \delta_t)] \\ \rho &= c(T'_u + T_s) + c(t_u - \delta_t) \\ \rho &= c(T_u + \delta_{t_d} - T_s) + c(t_u - \delta_t) \\ \rho &= r + c(t_u - \delta_t + \delta_{t_d})\end{aligned}\tag{3.2}$$

Burada  $r$ , geometrik mesafedir ve  $r = c(T_u - T_s) = c\Delta t$  şeklinde ifade edilir. Benzer bir ifade taşıyıcı faz ölçümü için oluşturulabilir.

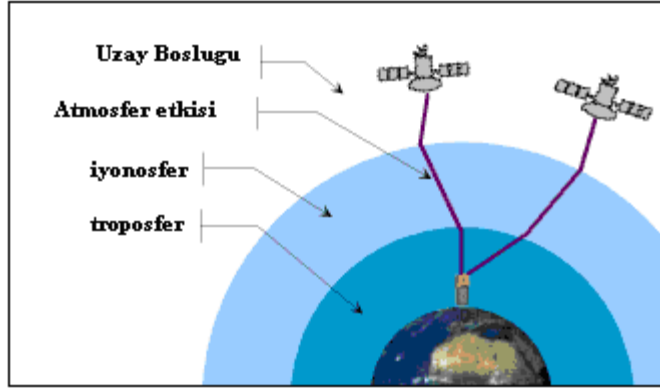
Sözde uzaklık ve taşıyıcı faz ölçümlerini bozan birçok hata kaynağı bulunur. Bu bölümde bu hata kaynaklarından uydu yörünge hatası ve atmosferik etkiler üzerinde inceleme sunulmaktadır.

### 3.1 Uydu Yörünge Hatası

Bütün uyduların yörünge bilgileri (ephemeris) hesaplanır ve navigasyon veri mesaj parametreleriyle birlikte kullanıcılara tekrar yayınlamak için uydulara aktarılır. Uydu saati düzeltmelerinde olduğu gibi, bu düzeltmeler de yükleme zamanında kontrol bölümünün uydunun pozisyonuna dair en iyi tahmini yapmasıyla sağlanır. Uydu yörünge hatalarından kaynaklanan etkin sözde uzaklık veya taşıyıcı faz hataları  $0.8\text{m}'$ dir ( $1\sigma$ ).

### 3.2 Atmosferik Etkiler

Şekil 3.2'de gösterilen, iyonosfer ve troposfer gibi atmosfer katmanları GPS sinyal iletimi sırasında zaman problemlerine neden olurlar. Bahsedilen katmanların etkileri farklı olduğundan etkiler 2 alt başlık altında anlatılacaktır.



Şekil 3.2 Atmosferik etki

### 3.2.1 İyonosforik etki

İyonosfer, atmosferin orta katlarında bulunan ve yeryüzünden yukarı doğru çıkıldığında 700 ve 1000 km aralığındaki bir katmandır. Bu bölgede, Güneş'ten gelen ultraviyole (morötesi) ışınlar gaz moleküllerinin bir kısmını iyonlaştırır ve serbest elektronlarını açığa çıkarır. Serbest elektronlar, GPS sinyal yayılımını etkiler.

Bu etki sonucunda, GPS sinyalinde, "iyonosferik sapma" olarak adlandırılan, faz kayması meydana gelir. Bu da, sözde uzaklık mesafe ölçümündeki hatanın büyüklüğüne etki eder.

Geliştirilmiş iyonosfer modeller, iyonosferik gecikmeleri düzeltmek için uygulanır. İyonosferik gecikmeleri %50 (ortalama) azaltan Klobuchar modeli önemli bir örnektir [2].

### 3.2.2 Troposferik etki

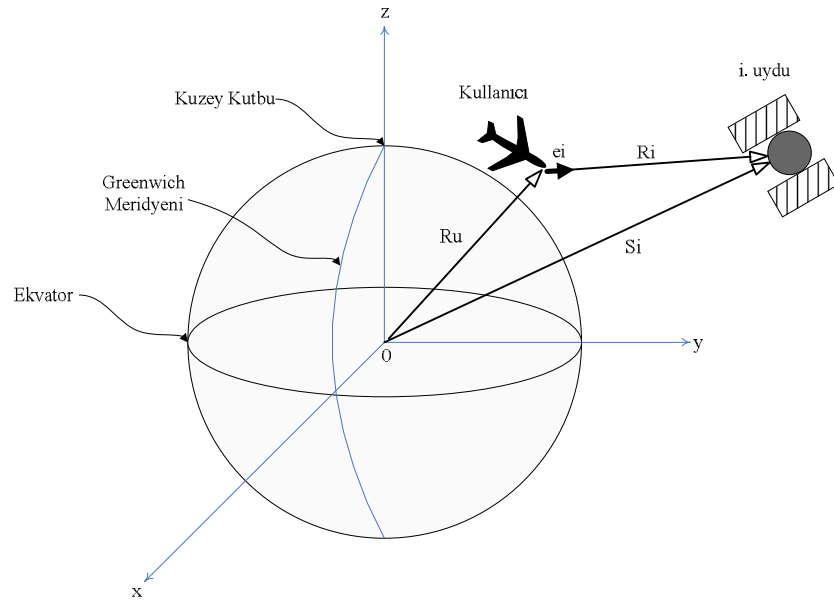
Troposfer atmosferin alt katmanından bulunur. Bu katmanda, ortamın sıcaklığı, basınç ve nem oranından etkilenen GPS sinyalinde gecikme meydana gelir. Troposferik gecikme iki bileşene ayrılır: kuru bileşen (dry component ) ve ıslak bileşen (wet component). Kuru bileşen, troposferik gecikme modelleri kullanılarak tespit edilir. Fakat, ıslak bileşeni tanımlamak zordur. Çünkü, ortamdaki su ve su buharı gibi meteorolojik parametrelerin dağılımını kestirmek gerekir. Saastamoinen ve Hopfield meteoroloji modelleri kullanılarak bileşen tanımlanır [3].

#### 4. KONUM BELİRMEDE MATEMATİKSEL YÖNTEMLER

GPS konum belirlemede bilinmeyen 4 parametre vardır. Bunlar kullanıcının  $(x, y, z)$  koordinatları ve GPS saat hatasıdır. GPS navigasyon çözümü için ilgili 4 parametreyi içeren 4 ve ya daha fazla denklem gerekmektedir [4].

Alıcı, GPS işaretlerini gözlemleyerek, görüş alanı içinde olan uyduların navigasyon mesajlarını elde eder ve sözde uzaklık ölçümleri hakkında kestirimde bulunur. Uydu pozisyonu, uydu bilgi verileri (ephemeris data) kullanılarak hesaplanır. Sözde uzaklık ise GPS işaretinin iletim zamanı ile alıcının işareti aldığı zaman bilgileri kullanılarak hesaplanır. Alıcı GPS saati ile senkronize olmadığından alıcı saat sapmaları meydana gelir. Bundan dolayı, iletim değerine saat sapmasından dolayı hata ekleneceğinden sözde uzaklık (pseudorange) adı verilmiştir.

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, Dünya’nın merkezini sıfır noktası kabul edip oluşturulan geometrik düzlem üzerinde kullanıcı ve uydu pozisyonları arasındaki bağıntı matematiksel yolla ifade edilebilir:



Şekil 4.1 Geometrik düzlem

$$R_u = \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{bmatrix} : \text{Kullanıcının ECEF koordinat bilgileri} \quad (4.1)$$

$$S_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} : \text{i. uydunun ECEF koordinat bilgileri} \quad (4.2)$$

$$R_i = S_i - R_u : \text{Kullanıcı ile i.uydu arasındaki mesafenin vektörel ifadesi} \quad (4.3)$$

$$\hat{e}_i = \begin{bmatrix} \frac{x_i - x_u}{\|R_i\|} \\ \frac{y_i - y_u}{\|R_i\|} \\ \frac{z_i - z_u}{\|R_i\|} \end{bmatrix} : \text{Ri doğrultusunda birim vektör} \quad (4.4)$$

$$\|R_i\| = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} \quad (4.5)$$

i. uyduya ait GPS işareti  $R_i$  doğrultusunda hareket ederek kullanıcıya ulaşır. Ek olarak kullanıcı GPS alıcısındaki saat hatası, GPS sistem saatine olan ofset değerinde belirli bir oranda sapma meydana getirir. Bu hata değeri hesaba katılarak sözde uzaklık aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\rho_i = \|R_i\| + B_u \quad (4.6)$$

$B_u$  : Kullanıcı GPS alıcı saat hatası

$\rho_i$  : i. uyduya ait sözde uzaklık değeri

ECEF koordinat bilgileri ile sözde uzaklık ifadesi,

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + B_u \quad (4.7)$$

Bağıntı (4.7) referans alındığında, bilinmeyen 4 parametrenin ( $x_u$ ,  $y_u$ ,  $z_u$ ,  $B_u$ ) teorik olarak ya 4 farklı uydudan gelen sözde uzaklık değerleri kullanılarak ya da kullanıcının sabit olduğu durumda bir uydudan farklı zamanlarda elde edilmiş sözde

uzaklık değerleri kullanılarak çözülebileceği görölmektedir. Çözümdeki en büyük engel, denklemin lineer olmamasıdır.

Diferansiyel yöntemler kullanılarak, ifade (4.7) lineerleştirildi:

$$d\rho_i = \frac{\partial\rho_i}{\partial x_u} dx_u + \frac{\partial\rho_i}{\partial y_u} dy_u + \frac{\partial\rho_i}{\partial z_u} dz_u + \frac{\partial\rho_i}{\partial B_u} dB_u \quad (4.8)$$

$$\frac{\partial\rho_i}{\partial x_u} = \frac{1}{2} \frac{2(x_i - x_u)(-1)}{\sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2}} = -\frac{(x_i - x_u)}{\|R_i\|} \quad (4.9)$$

$$\frac{\partial\rho_i}{\partial y_u} = -\frac{(y_i - y_u)}{\|R_i\|} \quad (4.10)$$

$$\frac{\partial\rho_i}{\partial z_u} = -\frac{(z_i - z_u)}{\|R_i\|} \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial\rho_i}{\partial B_u} = 1 \quad (4.12)$$

$$d\rho_i = -\frac{(x_i - x_u)}{\|R_i\|} dx_u - \frac{(y_i - y_u)}{\|R_i\|} dy_u - \frac{(z_i - z_u)}{\|R_i\|} dz_u + dB_u \quad (4.13)$$

İfade (4.13) deki diferansiyel denlem daha küçük farklılıklarla ifade edilirse,

$$\Delta\rho_i = -\frac{(x_i - x_u)}{\|R_i\|} \Delta x_u - \frac{(y_i - y_u)}{\|R_i\|} \Delta y_u - \frac{(z_i - z_u)}{\|R_i\|} \Delta z_u + \Delta B_u + \varepsilon_i \quad (4.14)$$

$\varepsilon_i$  : Lineerleştirme hatası

Burada bilinmeyen parametreler bir matris vektörü şeklinde gösterildiğinde,

$$x = \begin{bmatrix} \Delta x_u \\ \Delta y_u \\ \Delta z_u \\ \Delta B_u \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Birim vektör ile kısmi diferansiyel ifadesi arasındaki ilişki:

$$\left[ \frac{\partial \rho_i}{\partial x_u} \quad \frac{\partial \rho_i}{\partial z_u} \quad \frac{\partial \rho_i}{\partial z_u} \right] = -\hat{e}_i^T \quad (4.16)$$

İfade (4.14), (4.15) ve (4.16) kullanılarak tekrar ifade edildiğinde,

$$\Delta \rho_i = \left[ -\hat{e}_i^T \quad 1 \right] x + \varepsilon_i \quad (4.17)$$

x değerini belirlemek için çeşitli yollar geliştirilmiştir. Uygulamada 'Ağırlıklandırılmış Enküçük Kareler Yöntemi' kullanıldığından, bu yöntem referans alınarak x vektörü çözülecektir:

n 4'den büyük olmak koşulu ile görüş alanı içinde olan uydu sayısını sembolize ederse, lineerleştirilmiş standart GPS denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y = Gx + \varepsilon \quad (4.18)$$

$\varepsilon$  : Lineerleştirme hatası, (nx1) boyutundadır.

$$y = \begin{bmatrix} \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta \rho_n \end{bmatrix} : \text{Sözde Uzaklık Kalıntı Vektörü (Hata Vektörü)} \quad (4.19)$$

$$G = \begin{bmatrix} -\hat{e}_1^T & 1 \\ -\hat{e}_2^T & 1 \\ \cdot \\ \cdot \\ -\hat{e}_n^T & 1 \end{bmatrix} : \text{Geometri Matrisi} \quad (4.20)$$

n ≥ 4 için ağırlıklandırılmış en küçük kareler yöntemine göre x değeri:

$$\hat{x} = (G^T W G)^{-1} G^T W y \quad (4.21)$$

W :  $\varepsilon$ 'un kovaryansının tersi olup, ağırlıklandırma matrisi (weighting matrix) olarak isimlendirilir. Boyutu (nxn)'dir [5].

## 5. UYGULAMA

### 5.1 Kullanılan Geliştirme Kütüphanesi

Yazılım geliştirme safhasında GPSTK adlı bir kütüphane kullanıldı. Bu kütüphaneye ve ilgili dökümantasyona [6] adresinden ulaşılabilir.

Bu kütüphane içinde GPS ile ilgili birçok algoritma kodlanmış ve döküman edilmiştir. Tezin yazılım kısmı geliştirilirken bu hazır algoritmalar kullanılmıştır.

Yazılım dili C++'dır. Derleme işlemleri için cygwin kullanılmıştır.

### 5.2 Cygwin Kurulması

Cygwin Windows işletim sistemleri üzerinde Linux benzeri çalışma ortamı sağlayan bir ortamdır ve [7] adresinden bütün eklentileri ile indirilebilir.

Derlenecek kodların C++ olmasından dolayı g++ derleyicisinin kurulması gerekmektedir. ncurses ile ilgili kütüphane dosyasının kurulumun hemen ardından ncurses.dll ismine değiştirilmesi gerekmektedir. GPSTK derleme dosyaları bu isimde aradığından bütün derleme dosyalarını değiştirmektense dosya ismi değiştirilmiştir.

### 5.3 GPSTK'nın Derlenmesi

[8] adresinden GPSTK indirilebilir. Ardından jam kurulması gerekmektedir. Jam ile ilgili geniş bilgi [8] adresinden alınabilir.

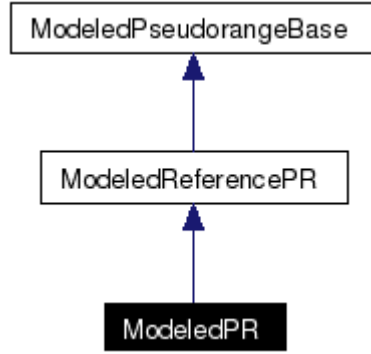
Alınan GPSTK kodları bir dizine açıldıktan sonra gpstk/dev/ dizini içinde komut satırından *jam* çağırılır. Böylece kütüphane derlenmiş olur.

### 5.4 Kullanılan Sınıflar ve Algoritmalar

Konum belirleme işlemi için kütüphanenin sağladığı sınıflar kullanılmıştır. Hesaplama temel teşkil eden bazı sınıfları anlatmak faydalı olacaktır.



### 5.4.1 ModeledPR



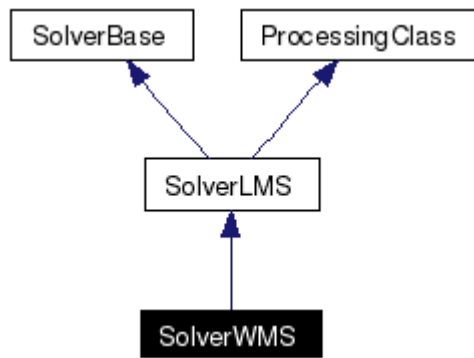
Şekil 5.1 ModeledPR

**ModeledPR**, uydulardan cihaza olan sözde uzaklık değerlerini ve alıcı cihazın tahmini pozisyonunu hesaplamakla görevlidir. **ModeledReferencePR** sınıfından farkı sınıfın **Prepare()** fonksiyonu ile hazırlanması gerekliliğidir. Hazırlama işleminde tanımlı önceki pozisyon ve ya Bancroft metodu kullanılır.

**Compute()** fonksiyonu modellenmiş sözde uzaklıkların hesaplanması işlemlerini yerine getirir. Bu işlem sonunda kaba bir konumda belirlenmiş olur.

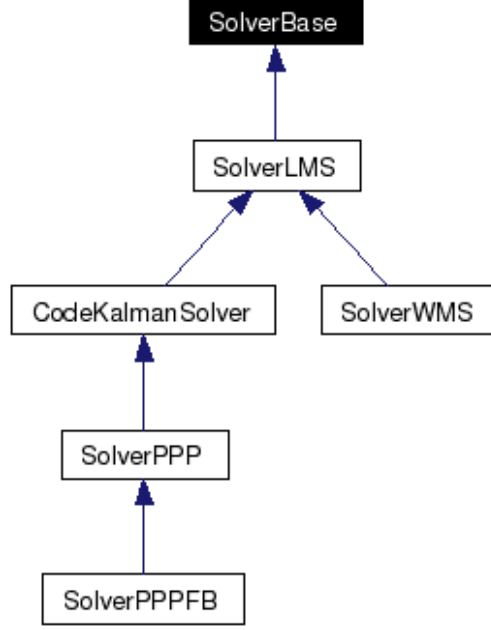
**ModeledPseudorangeBase** içinde ise birçok veri için diziler tutulmaktadır. Veriler bölüm sonuna konulan Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

### 5.4.2 SolverWMS



Şekil 5.2 SolverWMS

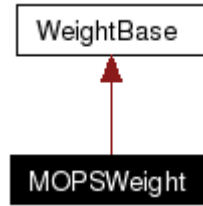
Bu sınıf, ‘Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yöntemi’ ni kullanarak hesaplamalar yapar. Burada bu sınıf hakkında bilgi verirken GPSTK kütüphanesinin sağladığı başka çözüm sınıflardan da bahsetmek faydalı olacaktır.



**Şekil 5.3** SolverBase

Şekil 5.3’de görüldüğü gibi SolverWMS SolverLMS dolayısıyla SolverBase sınıfından türetilmiş bir sınıftır. Kütüphane içinde her çözümlenici sınıf bu sınıftan türetilmiştir. Buna benzer bir sınıfta şekilden de görülebileceği gibi SolverPPFB sınıfıdır. Bu sınıf Kalman filtrelerini kullanarak bir çözümlenme yapmaktadır.

#### 5.4.3 MOPSWeight



**Şekil 5.4** MOPSWeight

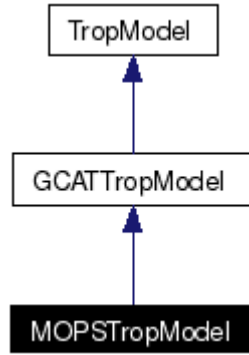
Bu sınıf uydulara hesaplama süresince kullanılması için ağırlık değerleri atar.

Sınıf içinde tutulan veriler Çizelge 5.2’de gösterilir:

**Çizelge 5.2** MOPSWeight değişkenleri

Tip	Ad	Açıklama
<a href="#">Vector</a> <double>	<a href="#">weightsVector</a>	Uyduların ağırlık kat sayılarını tutan dizi
<a href="#">Vector</a> < <a href="#">SatID</a> >	<a href="#">availableSV</a>	İşlemler için kullanılan (kabul edilen) uyduların kimlik bilgileri
<a href="#">Vector</a> < <a href="#">SatID</a> >	<a href="#">rejectedSV</a>	işlemler için kullanılmayan (kabul dilmeyen) uyduların kimlik bilgileri

#### 5.4.4 MOPSTropModel



**Şekil 5.5** MOPSTropModel

Trofosferik model MOPS içinde kodlanmıştır. Bu model

1. Tarih bilgisine,
2. Uydunun yükselme açısı (satellite elevation )
3. Alıcının deniz seviyesinden yükseklik bilgisine,
4. Alıcının yaklaşık enlem bilgisine,

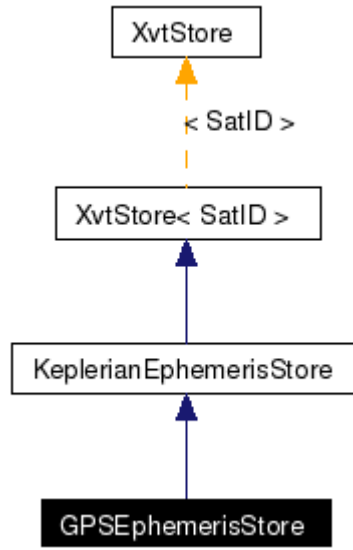
ihtiyaç duyar.

Bu modelin çıktısı metre cinsinden trofosferik düzeltme miktarıdır.

#### 5.4.5 IonoModel

Atmosferin iyonosfer tabakasının modellenmesi amaçlanmıştır. Bu sınıf uydu sinyalinin ne kadar kullanıcıya gelene kadar iyonosfer yüzünden ne kadar geciktiğinin hesaplanmasıdır.

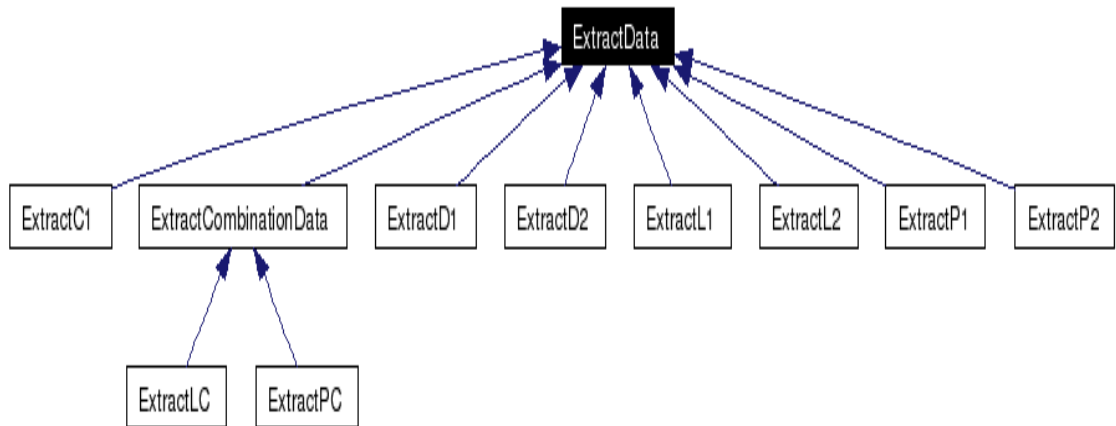
#### 5.4.6 GPSEphemerisStore



Şekil 5.6 GPSEphemerisStore

Uydu yörünge bilgilerinin saklanmasında kullanılır.

#### 5.4.7 ExtractData



Şekil 5.7 ExtractData

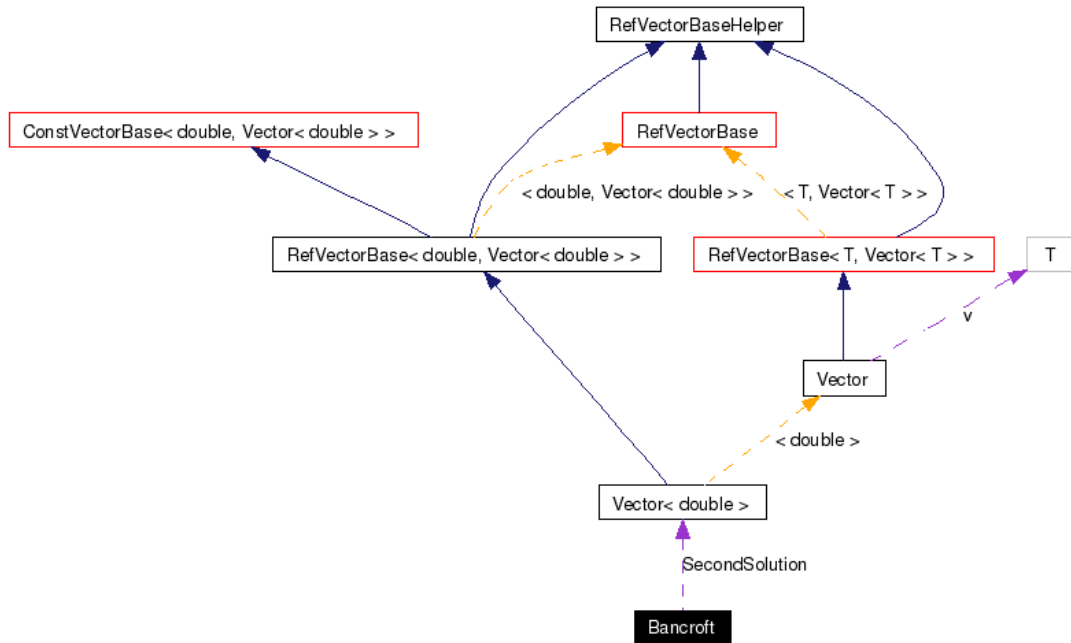
[RinexObsData](#) nesnesinden verilerin çıkarılmasında kullanılan sınıfların ana sınıfıdır.

ExtractData sınıfının içinde Çizelge 5.3'deki veriler tutulmaktadır.

Çizelge 5.3 ExtractData değişkenleri

Tip	Ad	Açıklama
int	<a href="#">numSV</a>	Uygun verili uydu sayısı
<a href="#">Vector</a> < <a href="#">SatID</a> >	<a href="#">availableSV</a>	İşlemler için kullanılan (kabul edilen) uyduların kimlik bilgileri
<a href="#">Vector</a> <double>	<a href="#">obsData</a>	Bilgileri tutan dizi
bool	<a href="#">checkData</a>	Eğer veri kontrolü isteniyorsa bu değere doğru atanmalıdır.

#### 5.4.8 Bancroft



Şekil 5.8 Bancroft

Bu sınıf uydu pozisyon ve sözde uzaklıklarını kullanarak tahmini bir konum belirlemede kullanılan cebirsel bir algoritmanın kodlanmasıdır.

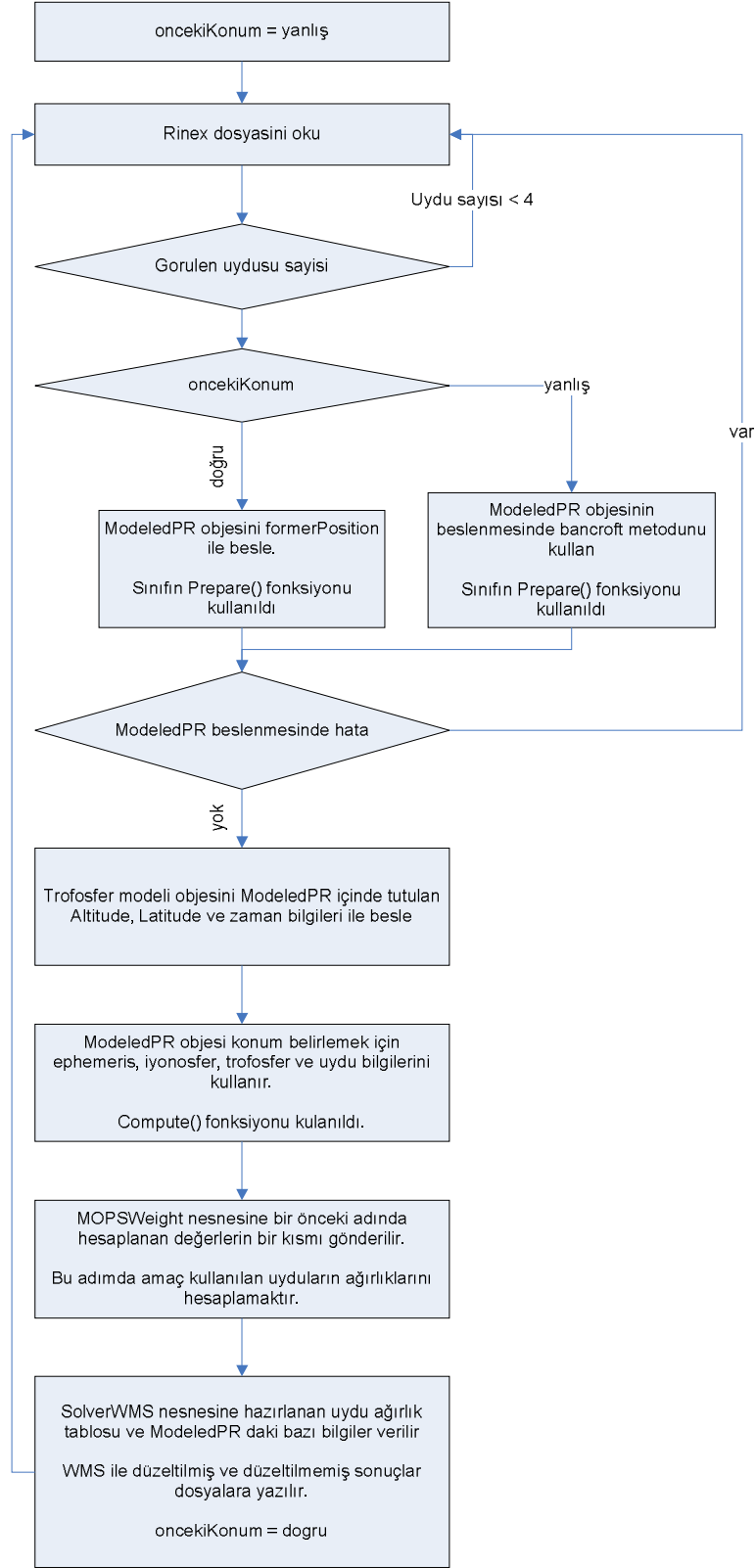
#### 5.5 Hazırlanan Yazılım

Kütüphanenin derlenmesinin ardından **hassasKonumBelirleme.cpp** adındaki yazılım hazırlandı. Bu yazılımın ayrıntılarını verirsek,

1. Kendisine verilen Rinex gözlem dosyasından bir satır (epoch) okur.
2. Satır için görülen uydu sayısı 4'den fazla mı?

- a. Eğer uydu sayısı 4'den az ise bu satırın işlenmesi iptal edilir (Adım 1'den devam edilir).
3. Yazılım tarafından bir önceki satır için konum bulunmuş mu?
  - a. Evet; ModeledPR objesini bu konum ile besle.
  - b. Hayır; ModeledPR objesinin beslenmesinde bancroft metodunu kullan.
4. Eğer 3. adım başarısız olursa 1. adımdan devam et. (Prepare() fonksiyonu hata döndü)
5. Trofosfer modeli objesini ModeledPR içinde tutulan Altitude, Latitude ve zaman bilgileri ile besle.
6. ModeledPR objesine konum hesaplaması için ephemeris bilgileri, iyonosfer bilgileri, trofosfer bilgileri, rinex dosyasından okunan uydu bilgileri ve diğer bilgiler gönderilir. (Compute() fonksiyonu)
7. Burada elimizde hata oranı yüksek bir konum bulunmaktadır. Hata oranının düzeltilmesi için WMS metodu kullanılarak bir sapma değeri hesaplanır.
  - a. Uyduların sonuç üzerindeki ağırlıkları hesaplanır.
    - i. Bu hesaplama için **MOPSWeight** objesine, 6. adımda hesaplanan verilerden bazıları gönderilir.
8. Ardından ağırlık tablosu ve ModeledPR bilgileri SolverWMS objesine verilir ve hesaplama gerçekleşir.
9. Yazılımda bu iyileştirme eklenerek ve eklenmeden iki sonuç da dosyaya yazdırılmıştır. Bunların arasındaki farklılıkları Değerlendirmeler kısmından inceleyebilirsiniz.

Yukarıda anlatılan adımların akış diyagramını Şekil 5.9 de görebilirsiniz.



Şekil 5.9 Konum belirleme akış diyagramı

## 5.6 Uygulamanın Test Edilmesi

Bu bölümde hazırlanan yazılımın testi için gerekli dosyalarının nasıl alındığını, yazılımın nasıl test edildiğini ve test sonuçlarını bulacaksınız.

### 5.6.1 RINEX dosyalarının oluşturulması

Yazılımın testi için gerekli olan RINEX dosyalarının alınması için GARMIN ETREX cihazı kullanıldı. Bu cihazdan veri çekilmesi için arayüz yazılımları olan async\_1\_23 ve gar2rnx\_1\_48 temin edildi. Dosyanın alınması için sırası aşağıdaki adımlar gerçekleştirildi:

- Cihaz bilgisayara seri port üzerinden bağlanır. Bağlı olan seri portun adı alınır.
- Cihazın (X,Y,Z) kooordinatlarını bulması beklenir (3D bağlantı).
- Ardından seri port üzerinden komutlar gönderilir.
  - `async_1_23 -p com6 -c` // portu açar kapatır.
  - `async_1_23 -p com6 -I` // cihaz bilgilerini okur.
  - `async_1_23 -p com6 -t 120 -rinex` // 120 saniye boyunca okunan veri, otomatik oluşturulan g12 uzantılı bir dosyaya aktarılır.
- Oluşturulan g12 uzantılı dosyasından gerekli dosyalar elde etmek için aşağıdaki komutlar girilir. Bu komutlar sırası ile navigasyon ve gözlem dosyalarını oluşturur.
  - `gar2rnx_1_48 067428.g12 -nav -f`
  - `gar2rnx_1_48 067428.g12 -rinex -etrex -f`

Bu adımlar sonunda elimizde RINEX gözlem ve navigasyon dosyaları oluşur.

### 5.6.2 Konum belirleme

``hassasKonumBelirleme.exe -i gözlem_dosyasının_ismi -n navigasyon_dosyasının_ismi`` komutu ile RINEX dosyaları kullanılarak konum belirleme işlemi yapılır. Elde edilen sonuçlar, otomatik yaratılan üç farklı text dosyasına aktarılır. Dosyalardan biri sadece kullanıcının konum bilgilerini (X, Y, Z, Enlem, Boylam, Yükseklik) tutar. İkinci dosya uydu ile ilgili bilgileri (Uydu



numarası, X, Y, Z) içerir. Üçüncü dosya ise ilk iki dosyada var olan tüm verilerin birleşmesinden meydana gelmiştir. Böyle yapılmasının amacı, verilerin daha kolay bir şekilde görülmesi ve analiz edilmesi içindir.

### 5.6.3 Alınan sabit referans noktası

İTÜ İnşaat Fakültesinde bulunan sabit noktanın (ISTA) 30cm mesafesine koyulan GARMIN cihazından alınan RINEX dosyaları yazılım ile işlendi. Bu noktanın seçilmesinin ana nedeni, noktanın koordinatlarının 5cm hassasiyet ile bilinmesidir.

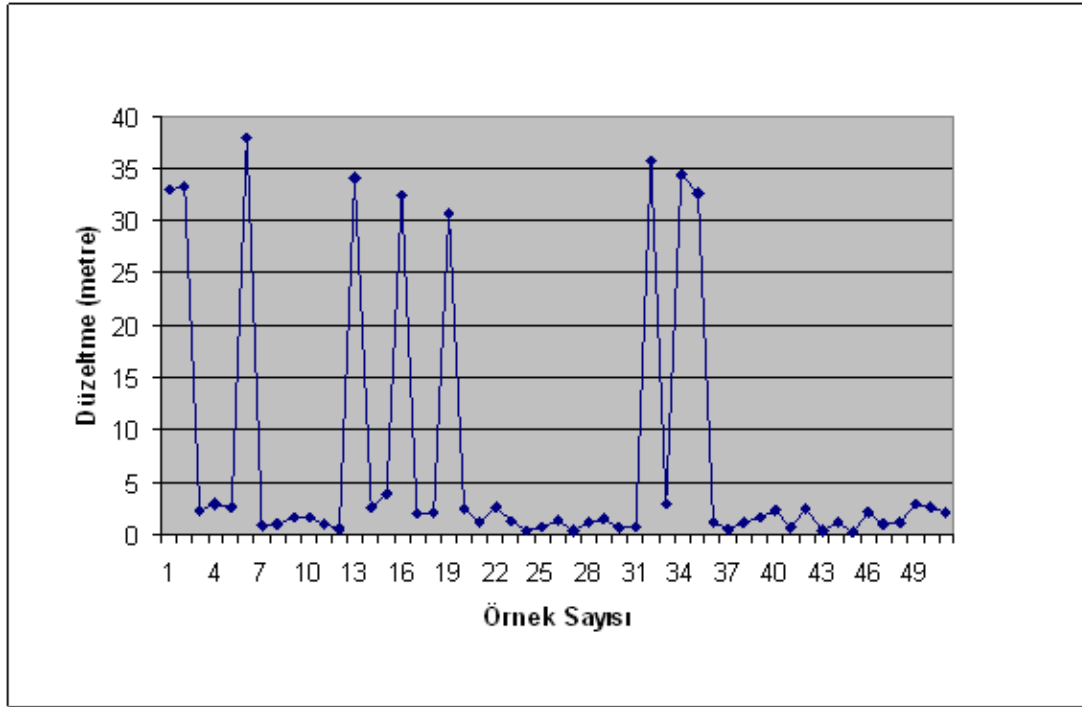
Bu noktanın koordinatları Çizelge 5.4 de verilmiştir.

Çizelge 5.4 ISTA Enlem-Boylam bilgileri

REFERANS NOKTASI (ISTA)	
BOYLAM	ENLEM
29,01933383	41,1044595

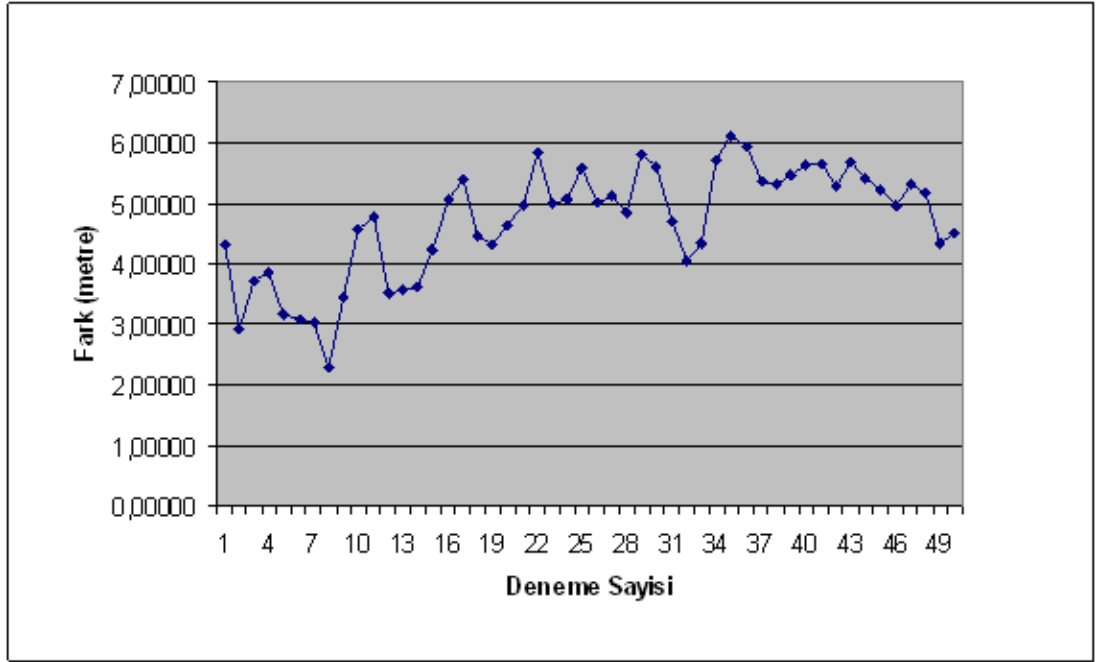
### 5.7 Sonuçların Değerlendirilmesi

Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler yöntemi ile her bir konu bulma için meydana gelen iyileştirmeler Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



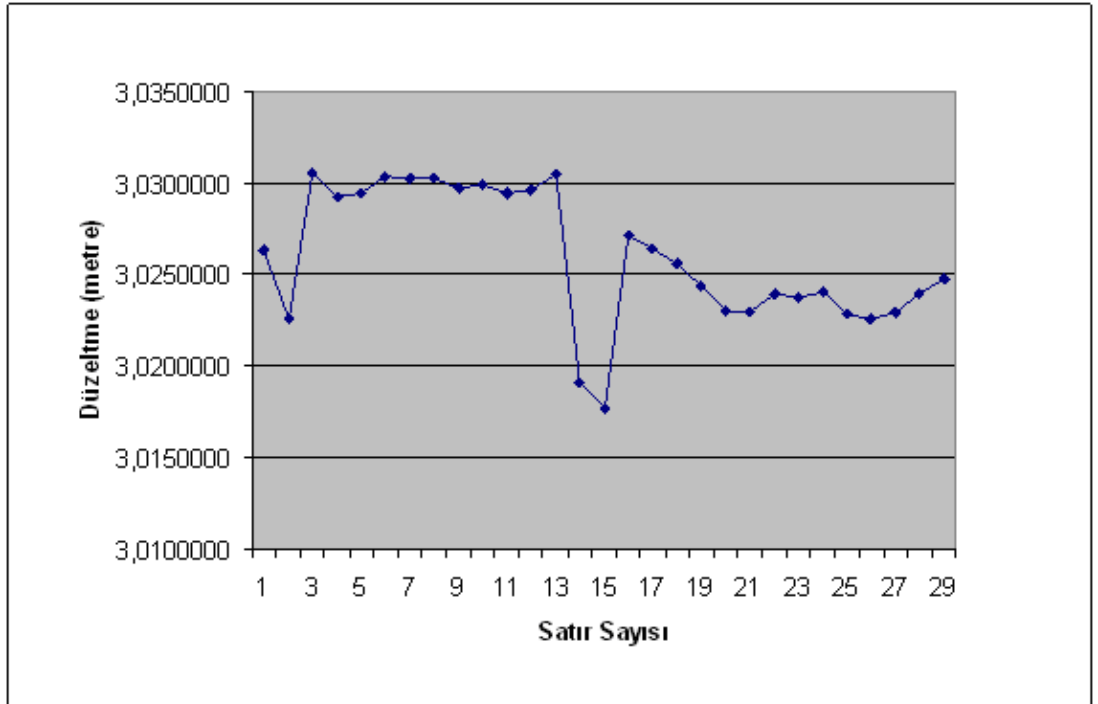
Şekil 5.10 `Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yöntemi` nin iyileştirmeleri

Bulunan konum değerlerinin ISTA referans değerlerine uzaklıklarının (hata miktarı) tablosu Şekil 5.11 de verilmiştir.

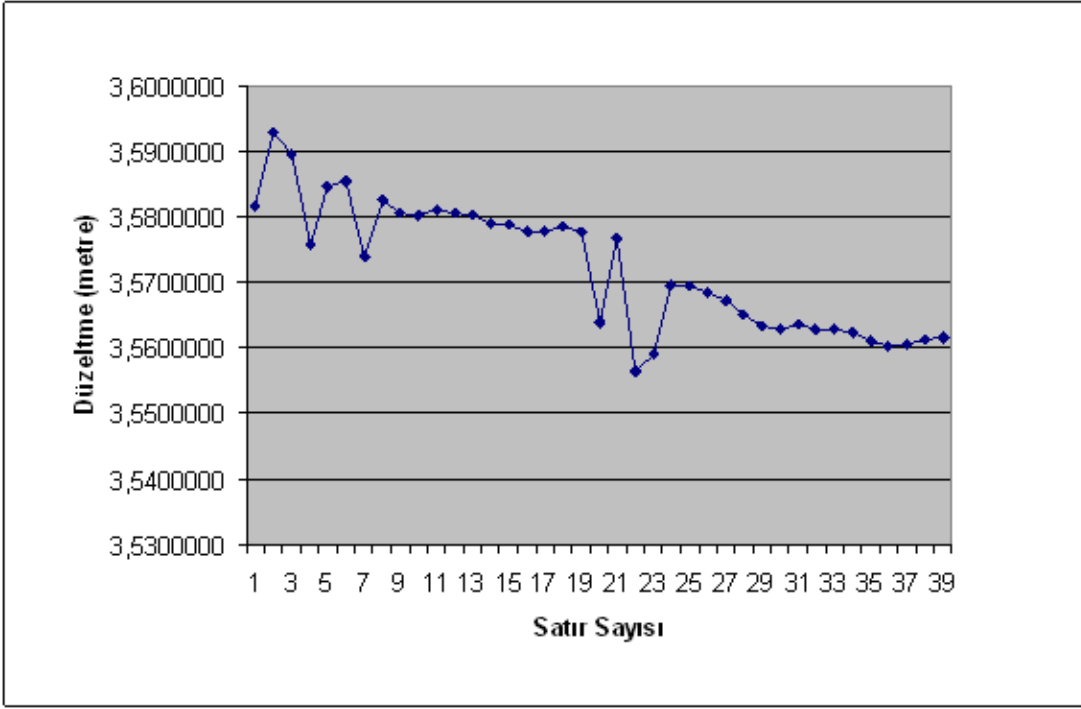


Şekil 5.11 Konum bulmada hata miktarı

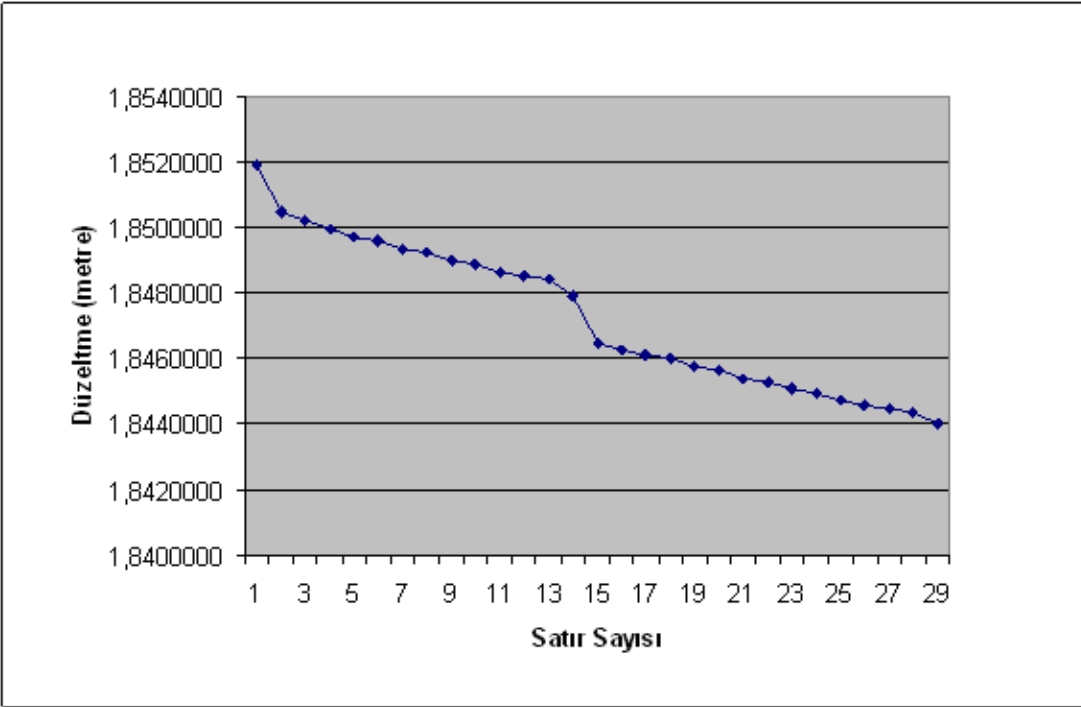
Şekil 5.12-5.15 iyonosferik ve troposferik etkiler gözlenmiştir.



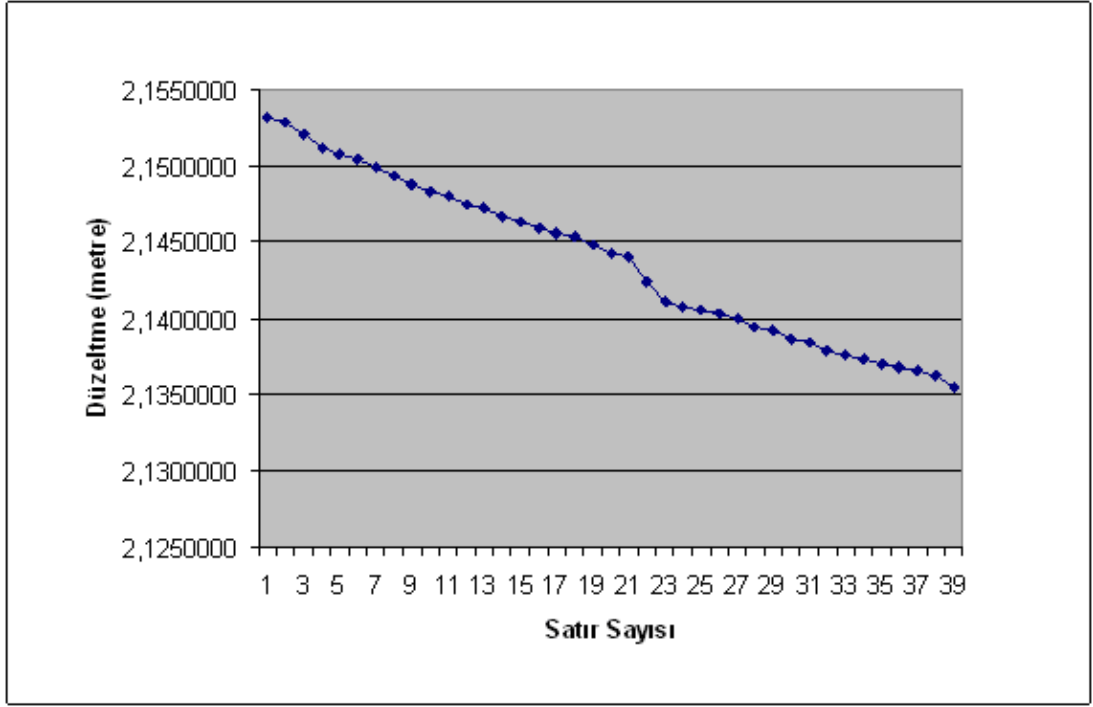
Şekil 5.12 Uydu 16 için troposferik düzeltmeler



Şekil 5.13 Uydu 18 için troposferik düzeltmeler



Şekil 5.14 Uydu 16 için iyonosferik düzeltmeler



Şekil 5.15 Uydu 18 için iyonosferik düzeltmeler

**Çizelge 5.1** ModeledPseudorangeBase değişkenleri

Tip	Ad	Açıklama
<a href="#">Position</a>	<a href="#">rxPos</a>	<b>Compute()</b> fonksiyonunun çağırılmasından önce hazırlanmış tahmini pozisyonu, sonrasında hesaplanmış kaba pozisyonu tutar
<a href="#">Vector</a> <double>	<a href="#">geometricRho</a>	Uydulara olan tahmini geometrik uzaklıklar dizisi
<a href="#">Vector</a> <double >	<a href="#">svClockBiases</a>	Uydu saat hatası, metre cinsinden
<a href="#">Vector</a> < <a href="#">Xvt</a> >	<a href="#">svXvt</a>	Uyduların iletim anındaki <b>ECEF</b> pozisyonları (m) ve hızları (m/s)
<a href="#">Vector</a> < <a href="#">DayTime</a> >	<a href="#">svTxTime</a>	Uyduların iletim zamanları dizisi
<a href="#">Vector</a> <double >	<a href="#">svTGD</a>	Uyduların Total Group Delay (TGD) değerleri,metre cinsinden
<a href="#">Vector</a> <double>	<a href="#">svRelativity</a>	Uyduların yer çekimi doğrulamaları, metre cinsinden
<a href="#">Vector</a> <double>	<a href="#">ionoCorrection</a> <a href="#">s</a>	Her uydu için iyonosfer düzeltmeleri, metre cinsinden
<a href="#">Vector</a> <double>	<a href="#">tropoCorrectio</a> <a href="#">ns</a>	Her uydu için trofosfer düzeltmeleri, metre cinsinden
<a href="#">Vector</a> <double>	<a href="#">observedPseud</a> <a href="#">oranges</a>	Uydulara olan ölçmüş sözde uzaklıklar dizisi
<a href="#">Vector</a> <double>	<a href="#">modeledPseud</a> <a href="#">oranges</a>	Uydulara olan modellenmiş sözde uzaklıklar dizisi
<a href="#">Vector</a> <double>	<a href="#">prefitResiduals</a>	Uyduların sözde uzaklıkları ile modellenmiş uzaklıkları arasındaki fark
<a href="#">Matrix</a> <double>	<a href="#">geoMatrix</a>	Uyduların alıcıya dogrultularının cos değeri
bool	<a href="#">validData</a>	Kabul edilen uydu sayısının, 4'den fazla olup olmadığını gösterir
<a href="#">Vector</a> < <a href="#">SatID</a> >	<a href="#">availableSV</a>	İşlemler için kullanılan (kabul edilen) uyduların bilgileri
<a href="#">Vector</a> < <a href="#">SatID</a> >	<a href="#">rejectedSV</a>	İşlemler için kullanılmayan (kabul edilmeyen) uyduların bilgileri

## **6. SONUÇ ve ÖNERİLER**

Yapılan çalışma sonucunda, 6 metre hassasiyet ile konum belirlenmiştir. Kullanılan 'Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler Yöntemi'nin sağladığı katkı da grafik halinde verilmiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda GPSTK kütüphanesi kullanılarak diğer konum bulma algoritmaları hazırlanabilir ve verimliliği gözlenebilir. Ayrıca elde edilen sözde uzaklık değerleri, diğer uygulamalarda kullanılabilir.

GARMIN cihazından elde edilen RINEX dosyalarının versiyonu eski bir versiyondur. Yeni bir cihaz ile alınacak RINEX dosyaları kullanılarak yazılımın konum bulmadaki hassasiyeti gözlemlenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Borre, K., Akos, D.M., Bertelsen N., Rinder P. and Jensen S.H.**, 2007. A Software-Defined GPS and Galileo Receiver, A Single-Frequency Approach. *Birkhäuser*, Boston.
- [2] **Kaplan E.D., Hegarty C.J.**, 2006. Understanding GPS Principles and Applications, *Second Edition. Artech House INC.*, Norwood, MA.
- [3] **Mekik Ç.**, Tropospheric Delay Models in GPS, *Article*
- [4] **Nguyen, T.Q.**, 2007. Efficient GPS Position Determination Algorithms, *Dissertation*, Air Force Institute of Technology, Ohio, USA.
- [5] **L3 Communications, Avionics Systems Inc.**, 2003. Notes on the NAVSTAR Global Positioning System. USA.
- [6] **Url** <<http://www.gpsstk.org/bin/view/Documentation/WebHome>>, alındığı tarih Ekim,2008.
- [7] **Url**<<http://www.cygwin.com/>>, alındığı tarih Ekim,2008.
- [8] **Url**<<http://www.gpsstk.org/bin/view/Documentation/GPSTkDownloads>>, alındığı tarih Ekim,2008.

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Bilgen Tuncer  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** Muş, 05.10.1979  
**Adres:** itu.yukseklisans.tuncer@googlemail.com  
**Lisans Üniversitesi:** İTÜ