

T.C.
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ



GPS TARİHÇESİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

BİTİRME TEZİ

Hazırlayan

Mert ÇOLAK 2015110226006

Tez Danışmanı

Prof.Dr. İsmail Hakkı TAYYAR

KARABÜK-2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER.....	1
KABUL VE ONAY	4
ÖNSÖZ.....	5
ÖZET	6
TABLolar VE ŞEKİLLER.....	7
KISALTMALAR	8
BÖLÜM 1	10
GİRİŞ.....	10
1.1. Giriş	10
BÖLÜM 2	10
KÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMİ	10
2.1. Küresel Konumlandırma Sistemi	10
2.2. Küresel Konumlama Sistemi Bileşenleri.....	11
2.2.1. Kontrol Bileşeni.....	11
2.2.2. Uzay Bileşeni.....	13
2.2.3. Kullanıcı Bileşeni	15
2.3. Küresel Konumlandırma Sisteminin Tarihçesi.....	16
2.4. Küresel Konumlandırma Sisteminin Gelişimi.....	19
2.5. Küresel Konumlama Sisteminin Tarihi Kronolojisi.....	20
BÖLÜM 3	22
GPS ÖLÇÜLERİ.....	22
3.1. Kod Ölçüleri	22
3.1.1. Duyarlılığın Azalması (DOP-Dilution of Precision) Etkeni	23

3.2. Taşıyıcı Dalga Fazının Ölçümü	25
3.3. L1 Ve L2 Taşıyıcı Dalgaların Lineer Kombinasyonu	25
3.4. Yörüngeler	26
3.5. Zaman Sistemleri	28
3.6. GPS Ağları	30
3.6.1. Uluslararası GPS Servisi (IGS - International GPS Service for Geodynamics)	31
3.6.2. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar	32
BÖLÜM 4	33
GPS İLE KONUM BELİRLEME	33
4.1. Mutlak Konum Belirleme	33
4.2. Bağlı (Relative) Konum Belirleme	34
4.2.1. Statik Konum Belirleme Yöntemleri	34
4.2.2. Hızlı Statik (Fast Statik) Yöntemler	34
4.2.3. Tekrarlı Yöntemler	35
4.2.4. Kinematik Yöntemler	35
BÖLÜM 5	37
GPS ÖLÇÜLERİNİ VE SONUÇLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	37
5.1. Atmosferik Etkiler	38
5.1.1. İyonosferin Etkisi	39
5.1.2. Troposferin Etkisi	40
5.2. Yansıma (Multipath) Etkisi	41
5.3. Anten Faz Merkezi Kayıklığı	42
5.4. Uydu Geometrisi	42
5.5. Yörünge Bilgilerinin Doğruluğu	43
5.6. Faz Sıçramaları (Cycle Slip)	44
5.7. Gözlem Hataları	44

5.8. Alıcı Ve Uydu Saat Hataları.....	45
5.9. Taşıyıcı Dalga Faz Başlangıç Belirsizliği (Ambiguity)	45
KAYNAKÇA	47
ÖZGEÇMİŞ.....	49

KABUL VE ONAY

Mert Çolak tarafından hazırlanan "GPS çalışması prensibi ve Tanımı" başlıklı bu tezin Lisans Bitirme Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım. 30./05/2019.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İsmail Hakkı Tayyar



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Lisans Bitirme Tezi olarak kabul edilmiştir. 30./05/2019.

Tez Jürisi

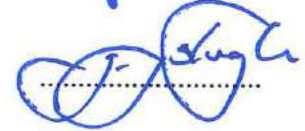
Başkan: Prof. Dr. İsmail Hakkı Tayyar



Üye: Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU



Üye: Prof. Dr. Gökhan Gökçü



KBÜ Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Mezuniyet Komisyonu ve Bölüm Başkanlığı bu tezi Lisans Bitirme Tezi olarak onamıştır. 30./05/2019.

Doç. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU

Mekatronik Müh. Bölüm Bşk.



ÖNSÖZ

Öncelikle, projeme görüşleriyle yön veren ve desteğini hiç esirgemeyen, Prof.Dr. İsmail Hakkı TAYYAR hocama ve lisans eğitimim boyunca bizden desteklerini esirgemeyen bölüm hocalarıma teşekkür ederim. Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

MERT ÇOLAK

ÖZET

Türkçe ‘ye Küresel Konum Belirleme Sistemi olarak çevirebileceğimiz ve İngilizce Global Positioning System teriminin kısaltması olan GPS, farklı dalga boylarında sürekli olarak mikrodalga gönderimi yapan bir grup uydunun yer aldığı bir konum belirleme sistemidir. GPS'in tarihçesi, nasıl ortaya çıktığı, nasıl çalıştığı, hangi sektörlerde kullanıldığı vb. konuları inceleyeceğiz.

TABLolar VE ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1: GPS uydularının dağılımı.....	9
Şekil 2: GPS ana kontrol ve izleme istasyon ağı	10
Şekil 3: GPS uydusu	11
Şekil 4: GPS modülü.....	13
Şekil 5: Sputnik 1 (4 Ekim 1957) Radyo vericili ilk uydusu.....	14
Şekil 6: Fırlatılmadan önce testleri yapılan bir NAVSTAR (Timation) uydusu.	15
Şekil 7: Kötü ve İyi GDOP Örneğı	23
Şekil 8: Çevredeki etmenler GDOP değerini değıştirebilmektedir	24
Şekil 9: Uydü yörüngeleri diyagramı	28
Şekil 10: Zamani daha hassas ölçmek için kullanılan atomik saat modülü	29
Şekil 11: Atmosferin tabakaları.....	38
Tablo 1: Atmosferin tabakalar halinde sınıflandırılması.....	39
Şekil 12: Serbest elektronlar GPS uydü sinyallerini etkiler.	40
Şekil 13: GPS sinyalleri atmosferden geçerken gecikmeye uğrar.....	40
Şekil 14: Yayınlanan sinyallerin alıcı antenine birden daha çok yol izleyerek ulaşması....	41
Şekil 15: Kötü Dağılımlı Uydü Geometrisi	43
Şekil 16: İyi Dağılımlı Uydü Geometrisi	43
Şekil 17: Faz kesilmesi	44

KISALTMALAR

EDM	Electronic Distance Measurement
GPS	Global Positioning System
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
SLR	Satellite Laser Ranging
OCS	Operational Control System
DMA	Defense Mapping Agency
MSC	Master Control Station
MS	Monitor Stations
GA	Ground Antennas
PRN	Pseudo Random Noise
LORAN	Long Range Navigation
MOSAIC	Mobile System for Accurate ICBM Control
Timation	Time Navigation
SECOR	Sequential Collation of Range
DNSS	Navigation System Using Timing and Ranging
SPS	Standard Positioning Service
DOP	Dilution of Precision
IGS	International GPS Service for Geodynamics
PRN	Pseudo Random Noise
GDOP	Geometrik Dilution of Precision
LEO	Low Earth Orbit
MEO	Medium Earth Orbit
RTT	Round Trip Time
GEO	Geostationary Earth Orbit
HEO	High Eliptic Orbit
PEO	Polar Eath Orbit
TÜBITAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Merkezi
SCIGN	The Southern California Integrated GPS Network
BARD	The Bay Area Regional Deformation
IAG	International Association of Geodesy

ITRF

International Terrestrial Reference Frame

MAGNET

Marmara Bölgesi Sürekli GPS Gözlem Ağı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. GİRİŞ

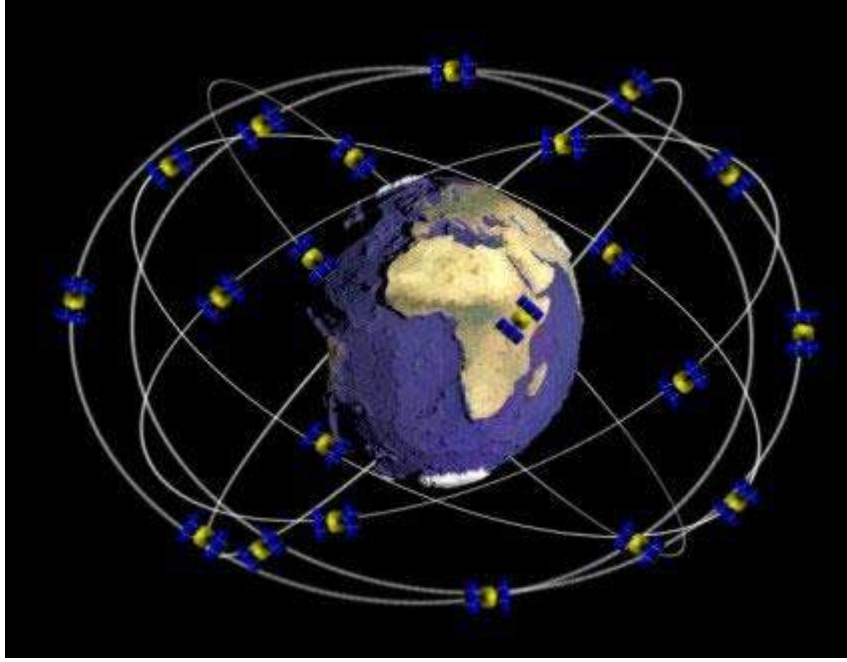
Teknolojinin bilim dallarına hâkim olduğu günümüzde disiplinler arası alışveriş de her geçen gün artmaktadır. Söz konusu alışverişe verilebilecek en güzel örneklerden biri Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS – Global Positioning System)’dir. Konum belirleme esasına dayanan GPS su anda birçok bilim dalında yardımcı bir araç olarak kullanılmaktadır. Daha önceleri sadece Jeodezi bilimine hizmet eden klasik ölçme teknikleri yerine geçen teknolojik yöntemler daha geniş bir spektrumla bilim dünyasına hizmet etmektedirler. Bu yöntemler Elektronik Uzaklık Ölçümü (EDM – Electronic Distance Measurement), Çok Uzun Bazlı Interferometre (VLBI – Very Long Baseline Interferometry), Uydu Lazer Uzaklık Ölçümü (SLR – Satellite Laser Ranging) ve GPS’tir. VLBI ve SLR yöntemleri yüksek doğruluktaki sonuçlarına rağmen, günümüzde ölçüm kolaylığı, basitliği ve ekonomik sebeplerden dolayı GPS tercih edilmektedir ve çalışma içinde GPS’ten bahsedilecektir. GPS ölçümlerinin planlaması çok önemlidir. Ölçüm planı istenilen duyarlılık doğrultusunda yapılmalıdır. Çalışma içinde GPS yönteminin tanımı yapılmış ve bu tanım ölçme teknikleri, ölçü türleri ve hata kaynakları tanımlamaları ile genişletilmiştir. Ayrıca GPS’in nasıl ortaya çıktığı nasıl çalıştığı gibi vb. konular da incelenmiştir.

BÖLÜM 2

KÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMİ

2.1. KÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMİ (GLOBAL POSITIONING SYSTEM- GPS)

Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System – GPS), yeryüzünden yaklaşık 20200 km. yukarıda bulunan 24 uyduluk bir coğrafik konumlandırma sistemidir ve uydulardan gelen zaman ve konum bilgisi içeren radyo sinyalleri ile alıcının yeryüzündeki konumunun bulunmasını temel almaktadır. Uyduların yörüngeleri ve yörüngedeki yerleri dünyanın her yerinde günün 24 saatinde ufkun üzerinde aynı anda en az 4 uydu görülecek şekilde planlanmıştır. Temel prensibi kullanıcı ve uydular arasında Pseudorange (Kestirilmiş uzaklıklar) olarak adlandırılan ölçmelere dayanır. Pseudorange, uygun bir koordinat sisteminde bilinen uydu koordinatlarından yararlanılarak kullanıcı antenin koordinatlarının belirlenmesini sağlar.



Şekil 1: GPS uydularının dağılımı

2.2. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ BİLEŞENLERİ

GPS üç bileşen altında oluşmaktadır. Bunlar Kontrol Bileşeni, Kullanıcı Bileşeni ve Uzay Bileşeni 'dir.

2.2.1. KONTROL BİLEŞENİ

Kontrol Bölümü (OCS- Operational Control System), uyduların ve sistemin tümüyle çalışmasını sağlamak ve izlemek için kurulan yer istasyonlarından oluşmaktadır. Amerika Askeri Harita Kurumu (DMA- Defense Mapping Agency) tarafından geliştirilen sistem aşağıda belirtilen birimlerden oluşmaktadır. Kontrol bölümünün ana gayesi, uyduları izlemek, yörüngeleri hesaplamak, uydu saatlerinin senkronizasyonunu sağlamak ve bu bilgilerin uydulara yüklenmesini gerçekleştirmektir.



Şekil 2: GPS ana kontrol ve izleme istasyon ağı

- Ana Kontrol İstasyonu (MSC- Master Control Station): İzleme istasyonlarından gelen verileri toplar. Uyduların yörüngelerini ve uydulardaki saatlerin düzeltilmelerini hesaplayarak bunları yer antenleri vasıtasıyla uydulara yükler. Ana Kontrol istasyonu Amerika Birleşik Devletleri, Colorado Spring'dedir.
- İzleme İstasyonları (MS- Monitor Stations): 5 adettir, Colorado Spring, Ascension Island (Güney Atlantik Okyanusu), Diego Garcia (Hint Okyanusu) ve Kwajalein (Kuzey Pasifik Okyanusu) olmak üzere tüm dünyaya yayılmış olarak yerleştirilmiştir. Bu istasyonlarda, her 1,5 saniyede bir yapılan kayıtlara atmosferik düzeltmeler de yapılarak, her 15 dakikalık veri blokları halinde on-line olarak ana kontrol istasyonuna gönderilirler. Uyduların yayınladığı yörünge bilgileri

(Broadcast ephemerid), bu 5 adet yer izleme istasyonundan yapılan P Kodu ölçülerine göre hesaplanmaktadır.

- Yer Antenleri (GA- Ground Antennas): Yer Antenlerinin görevi Ana Kontrol İstasyonundan gelen yörünge ve saat bilgilerini S-band dalgaları ile günde bir kez olmak üzere uydulara yüklemektir. Yer Antenlerinin yeryüzündeki dağılımları, uydularla bir günde 3 defa bağlantı kurmayı sağlar.

2.2.2. UZAY BİLEŞENİ

Aralık 1994 tarihi itibarıyla GPS farklı 6 düzlemdeki yörüngelerde dönen 24 uydudan oluşmaktadır. Uydular, ekvatora eğikliği 55° olan dairesel yörüngeler üzerinde hareket etmektedir. Periyotları 12 yıldız saati ve yükseklikleri yaklaşık 20200 km. 'dir. GPS uydularının 1. aşaması Blok I deneysel uyduları (11 adet), 2. aşaması Blok II operasyonel uyduları (9 adet) ve Blok IIA (16 adet) uydularından oluşmaktadır ve bu uydular uzaya 1978-1996 yılları arasında uzaya fırlatılmıştır. GPS Uydularının ortalama dönüş zamanları 11 saat 58 dakikadır. İçindeki sinyal gönderici, sinyal kaydedici, anten, osilatör ve mikroişlemci bulunan uydular ortalama 845 kg ağırlığındadır. Dünyanın her yerinden en az 4, en fazla 10 uydu gözlemek olanaklıdır. Uydu, her biri $7,2 \text{ m}^2$ 'lik iki güneş kolektörü ile elektrik enerjisini sağlar. Güneş enerjisi panellerinin yüzeyi güneşe dik gelecek şekilde tutulur. Uydunun güneşi görmemesi durumunda enerji sağlamak için uyduda 3 tane nikel-kadmiyum pil bulunur. Zaman ise 2 tane rubidyum 2 tane sezyum atomik saatten üretilir.



Şekil 3: GPS uydusu

Her uydu Ana Kontrol Merkezince hesaplanan ve yer antenleri aracılığıyla gönderilen kendi yörüngesine ait bilgileri alır ve düzeltilmiş zaman bilgileri ile birlikte 2 temel frekans üzerinden yayımlar, uydular L1 ve L2 taşıyıcı frekansı, L1 ile P ve C/A kodları, L2 ile P kodu Navigasyon ve sistem mesajlarını gönderir. Bütün uydu sinyalleri temel frekans olan 10.23 MHz'den üretilmiştir. Temel frekans atomik saatlerden üretilir. Temel frekansı 154 ile çarptığımızda L1 taşıyıcı dalga frekansı olan $L1=1575.42$ MHz'i, 120 ile çarptığımızda L2 taşıyıcı dalga frekansı olan $L2=1227.60$ MHz'i bulmuş oluruz. P kodu temel frekans olan 10.23 MHz'tir. C/A kodu temel frekansın onda biri yani 1.023 Mhz'dir. (Hofmann 1997) L1 taşıyıcı dalga boyu 19,05 cm, L2 taşıyıcı dalga boyu 24,45cm, P kodunun dalga boyu 29.31 m. ve C/A kodunu dalga boyu 293.1 m'dir. P ve C/A kodlarına PRN (Pseudo Random Noise) kodları denilmektedir. P kod dizisi 267 günde bir tekrarlanır. Bunların 1 haftalık kısımları uydulara ayrı ayrı tanımlanmıştır. Her hafta cumartesiye pazara bağlayan gece yarısı (0h UT) başlangıç değerine getirilir. C/A ve P kodları eş zamanlı gönderilir. Her uydu kendine has C/A kodu üretir. Böylece uydulardan gelen eş zamanlı sinyaller birbirinden ayrılır. L1 sinyali hem P hem de C/A kodu ile modüle edilmiştir. L2 sinyali sadece P kodu ile modüle edilmiştir. L1 ve L2 sinyalleri sürekli olarak Navigasyon verileri (uydu mesajları) ile modüle edilmektedir. Navigasyon mesajları L1 ve L2 dalgalarına 50 bps (saniyede 50 bit)'lik transfer hızıyla modüle edilebilir. Navigasyon mesajları uydunun yörünge bilgilerini, GPS uydu zamanını, saat davranışını ve sistem durumu mesajını içerir. GPS zamanı, Colorado Springs'deki Ana Kontrol İstasyonunda bulunan atomik saat ile belirlenir. (Hofmann 1997)

2.2.3. KULLANICI BİLEŞENİ

Kullanıcıları birkaç sınıfa ayırmak mümkündür. Bunların başında ilk söz edilecek olan Amerika Birleşik Devletleri ordusudur. Askeri amaçlı kullanıcılar sistemi temel olarak iki şekilde kullanırlar; birincisi Navigasyon diğeri ise istenilen hedeflere yönelme (güdüm) ve hedefleri vurmaktır. Diğeri bir kullanıcı kesim, sivil deniz ve hava trafiğinde Navigasyon (seyir) amaçlı kullanıcılarıdır. Bu kullanıcılar arasında dağcılar, kayak veya benzeri spor dalları ile ilgilenen kişiler yer alabilir. Bunların dışında bir diğeri kullanıcı kesim ise, ölçme anında sonuçlara ihtiyaç duymayan, ölçme yapılan noktaların görelisi olarak birbirine göre konumlarıyla ilgilenen, jeodetik amaçlı kullanıcılarıdır. Kullanıcı Bölümü GPS sinyallerini konum belirlemesine dönüştürmek için gerekli aletlerden oluşmaktadır. Navigasyon ve jeodetik konum belirlemede GPS sinyallerini kullanabilmek için uygun alıcılara ihtiyaç vardır.



Şekil 4: GPS modülü

Navigasyon amaçlı alıcılar, sinyalin kod bileşenlerini (P ve C/A kodu) ölçerken, jeodetik amaçlı alıcılar, sinyalin tüm bileşenlerini ölçmeye yönelik üretilmiştir. Sistem halen gelişme safhasındadır ve buna paralel olarak GPS alıcıları da çok hızlı bir gelişme göstermektedir. Piyasaya devamlı yeni tip GPS alıcıları çıkmakta ve mevcut olan aletler firmalar tarafından geliştirilerek daha küçük, hafif ve otomatik hale getirilmektedir. Anlık konum tespiti için kullanıcı 4 veya daha fazla uydudan gelen sinyalleri ölçerek hem zamanı hem kendisinin üç boyutlu konumunu, eğer hareket halinde ise hızını hesaplayabilir.

2.3. KÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMİNİN TARİHÇESİ

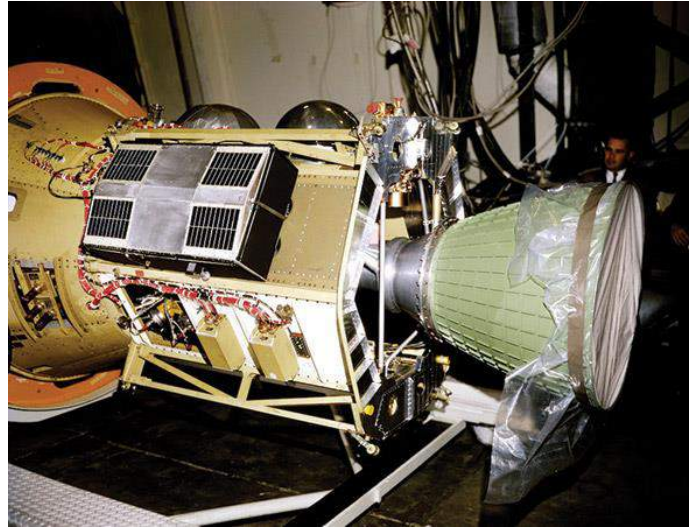
GPS sistemi ilk askeri gereksinimler için tasarlanmıştı. Tasarımı kısmen 1940'lı yılların başlarında geliştirilen, İkinci Dünya Savaşı sırasında kullanılan ve daha sonra da uzun süre kullanılmış o dönem için bir çözüm olan LORAN (LORAN- Long Range Navigation) ve Decca Gezgini gibi benzer yer tabanlı radyo-seyir sistemlerine dayanmaktadır. GPS'in ilk kullanımı İkinci Dünya Savaşı'nın hemen sonrasına dayanır. Sistem, sinyal alıcıları ile yön bulmakta, askeri planlarda ve konum hesaplamalarında ve güdümlü roketlerin kontrolünde kullanılmak üzere tasarlanmıştı. GPS sistemi, ancak 1980'lerde sivil kullanıma açılmıştır.

1956 yılında, Alman-Amerikan fizikçi Friedwardt Winterberg yapay uydular içinde yörüngeye yerleştirilen hassas atom saatleri kullanılarak genel görelilik denemesi (güçlü bir yerçekimi alanındaki yavaşlayan süre için) önerdi. Genel görelilik kullanılmaksızın, yörüngede günde 38 mikro saniye daha hızlı bir şekilde süre düzeltilmesi çalıştırmak için GPS brüt arızalanmasına yol açardı. Sovyetler Birliği 1957 yılında ilk insan yapımı peyk olan Sputnik'i fırlattı; bu, GPS için ilave bir esin kaynağı oldu. İki Amerikan fizikçi, William Guier ve George Weiffenbach, Johns Hopkins'in Uygulamalı Fizik Laboratuvarı'nda (APL), Sputnik'in radyo sinyali iletimlerinin izlenmesine karar verdi. Doppler etkisi nedeniyle peykin, yörünge boyunca nerede olunduğunun bilgisini içindeki saatleri ile kesin olarak verebileceğini fark etti. APL Müdürü onlara gereken yoğun hesaplamaları yapmak için kendi UNIVAC bilgisayarına verileri giriş iznini verdi. Bir sonraki bahar, Frank McClure, APL müdür yardımcısı, Guier ve Weiffenbach'a, verilen ters problemi araştırmak için bu uydunun kullanıcının yerini saptamasını sordu. Bu, (denizaltıdan-fırlatılan Polaris füzelerini geliştiren Donanma'nın, denizaltı konumunu bilebilmesi için gerekliydi.) onların ve APL'nin Transit sistemini geliştirmesine yol açtı. 1959 yılında, ARPA'da (adı 1972 yılında DARPA olarak değiştirildi) Transit sisteminin geliştirilmesinde rol aldı.



Şekil 5: Sputnik 1 (4 Ekim 1957) Radyo vericili ilk uydu

Amerika Birleşik Devletleri Deniz Kuvvetleri tarafından kullanılan ilk uydu navigasyon sistemi, Transit, 1960 yılında başarıyla test edildi. Yaklaşık saatte bir seyir düzeltmesi sağlayabilir bir uydu takımında (Satellite constellation) beş uydu kullanıldı. 1967 yılında, ABD Deniz Kuvvetleri, GPS sisteminde gerekli bir teknoloji olarak uzay şartlarında, yüksek doğrulukla saat ölçümü için Timation uydusunu geliştirerek yeteneğini kanıtladı. 1970'lerde, yer tabanlı Omega Navigasyon Sistemi, faz karşılaştırmasına dayanarak istasyon çiftlerinden sinyalin aktarımı ile dünya çapında ilk telsiz konumlandırma sistemi olmuştur. Bu sistemlerin sınırlandırılmaları daha fazla doğruluk ile daha evrensel bir navigasyon çözümüne ihtiyacı sürdürdü.



Şekil 6: Fırlatılmadan önce testleri yapılan bir NAVSTAR (Timation) uydusu.

Geliştirilme eylemlerinin hemen hemen hiçbirisi uydu takımının milyarlarca dolara mal olacak araştırmalarda, askeri ve sivil işkollarındaki doğru konumlandırma için kapsamlı

ihtiyaçların temininde bir gerekçe olarak görülmedi. ABD Kongresi'nin bu harcamaları, Soğuk Savaşın silahlanma yarışı sırasında, ABD'nin varlığına nükleer bir tehdit görünümü gibi haklı bir ihtiyaca yönelik olarak yaptığı dşncesini oluşturdu. Bu nedenle caydırıcı etkisi görülerek gizlice GPS finanse edildi. Ayrıca bu, o dönemdeki aşırı dereceli gizlilik nedeniyle de dir. Nükleer ls, ABD Hava Kuvvetleri'nin stratejik bombardıman uçakları ile kıtalararası balistik füzeler (ICBM) ve ABD Donanması'na ait denizaltıdan fırlatılan balistik füzelerden (SLBM) oluşuyordu. Nükleer caydırıcılık duruşu için hayati önem arz eden, SLBM fırlatma konumunun doğru belirlenmesi bir kuvvet çarpanı olmuştur.

ABD'nin balistik füze taşıyan denizaltı konumlarının hassas biçimde hesaplanması için yüksek doğruluklu konum belirleme gereksinimi doğdu. Nükleer lden ikisi için ABD Hava Kuvvetleri'nin, aynı zamanda daha doğru ve güvenilir bir navigasyon sistemine gereksinimi vardı. Paralelinde Deniz ve Hava Kuvvetleri'nde, temelde aynı tür sorunların zm için ne yapılabileceği ile ilgili, kendi teknolojileri geliştirilmekte idi. ICBM'lerin beka kabiliyetlerini arttırmak için, taşınabilir fırlatma platformları kullanmak gibi (Rus SS-24 ve SS-25 sistemlerindeki gibi) neriler vardı ve bu yüzden SLBM durumundaki gibi benzer fırlatma konumunu düzeltme ihtiyaçları oluştu.

1960 yılında, Hava Kuvvetleri aslında 3 boyutlu konum hesaplamaya imkn veren bir LORAN olan MOSAIC (Mobile System for Accurate ICBM Control) adlı bir radyo-navigasyon sistemi önerdi. Takiben Proje-57 üzerinde çalışmalar başladı; 1963 yılında bu sistem denendi ve bu çalışmadan sonra GPS kavramı doğdu. Devamında aynı yıl GPS'te şimdi gördüğünüz özelliklerin birçoğunun ilk tasarılarını barındıran Proje 621B çalışmalarına ynlenildi. Hem ICBM'ler hem de Hava Kuvvetleri bombardıman uçaklarına gereken hassas konum hesaplamaları için zmler üretilmeye başlandı. Deniz Kuvvetleri Transit sisteminin güncellemeleri Hava Kuvvetleri operasyonlarının yüksek hızları için çok yavaş kalmaktaydı. Deniz Araştırma Laboratuvarı'nın kendi sisteminin geliştirmeleri devam ederken, ilk kez 1967 yılında ve üçüncüsü 1974 yılında fırlatılmak üzere, içinde atom saati bulunan uzaydaki ilk araç olan Timation (Time Navigation) uydusu yörüngeye oturtuldu.

GPS, ABD ordusunun bir diğer önemli, farklı bir dalı haline geliyordu. 1964 yılında, ABD ordusunun, jeodezi ölçümlerinde kullanılacak SECOR (Sequential Collation of Range) jeodezi yer uydusu yörüngede ilk turuna ıktı. Henüz belirlenmeyen bir konumunda iken

karada üslenen dördüncü bir istasyondan, tam olarak konumu düzeltmek için daha sonra bu sinyalleri kullanabilirdi. Son SECOR uydusu (SECOR 13) 1969 yılında fırlatıldı. Onyıllar sonra ilk yıllarında GPS, sivil yer araştırması için yeni teknolojilerinden sürekli olarak yararlanılabilen ilk sahalardan biri haline geldi. Çünkü sivil yer araştırması bilirkişilerine (surveyors) yarayan GPS uydu takımından gelen daha eksiksiz sinyaller, yıllar önce operasyonel ilan edilmişti. GPS sisteminin, yer tabanlı vericileri yörüngeye taşınan, SECOR sisteminin evrim geçirmiş bir türü olduğu düşünülebilir.

2.4. KÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMİNİN GELİŞİMİ

1960'larda, paralelindeki gelişmelerle; Transit, Timation, 621B kodlu proje ve SECOR gibi bir dizi çoklu hizmet programından en iyi teknolojileri sentezleyerek üstün bir sistem geliştirilebileceği anlaşıldı.

1973 yılında hafta sonu, İşçi Bayramı boyunca, Pentagon'daki yaklaşık 12 askeri yetkili tarafından Savunma Navigasyon Uydu Sistemi (DNSS) konusunu işleyen bir dizi toplantı kararı alındı. Bu toplantıda, "GPS sisteminin oluşturulması yolunda gerçek bir sentez" yapılmıştır. Daha sonra O yıl, DNSS programı, Navstar veya Navigation System Using Timing and Ranging (Zamanlama Kullanımı ve Menzilleme Navigasyon Sistemi) adını almıştır. Navstar ile ilişkili olan özgün uyduların adı (önceki Transit ve Timation adlandırmaları gibi), Navstar uydu takımını tanımlamak için daha kapsamlı bir tam ad olarak Navstar-GPS şeklinde ve daha sonra da sadece kısaltılmış biçimde GPS olarak söylene gelmiştir.

Kore Hava Yolları'na ait 007 uçuş numaralı, 269 kişi taşıyan bir Boeing 747, Sovyetler Birliği'nin yasak hava sahası içine sapması sonrasında Sahalin ve Moneron Adaları dolaylarında 1983 yılında düşürülmüştü. ABD Başkanı Reagan, yeterli derecede geliştirilmiş olan, GPS sisteminin sivilde, serbest bir şekilde kullanılabilir olması için bir yönerge yayınlattı. İlk uydu 1989 yılında fırlatıldı ve 24. uydu 1994 yılında fırlatıldı. Roger L. Easton GPS birincil mucidi olarak yaygın bir şekilde yansıtılır.

Başlangıçta en yüksek kalitede sinyal, askeri kullanım için ayrılmıştı ve sivil kullanıma hazır olacak olan sinyal bilerek bozulmuş oldu (Selective Availability). Bu, seçici durumun

kapatılabilir olması için 100 metreden (330 ft) 20 metreye (66 ft) sivil GPS sinyallerinin hassas iyileştirilmesi, Başkan Bill Clinton'ın siparişi ile 1 Mayıs 2000'de gece yarısı değişti. 2000 yılında seçici durumu kapatmak için 1996 yılında imzalanan talimat ABD Savunma Bakanı William Perry tarafından önerilmişti; çünkü diferansiyel GPS hizmetlerinin yaygın büyümesi için sivil doğruluğunu geliştirmek ve ABD askeri kazanımlarını ortadan kaldırmak gerekmekteydi. Dahası ABD ordusunun etkin bölgesel düzeyde muhtemel düşmanları için GPS hizmetini kullanımı bırakmayı destekleyebilecek teknolojileri geliyordu.

2000'li yıllarda ABD, GPS hizmetinde sivil kullanım için yeni sinyaller ve tüm kullanıcılar için artan doğruluk ve bütünlük de dahil olmak üzere, mevcut GPS donanımları ile tamamının uyumluluğunu korurken, çeşitli iyileştirmeleri uygulamaya geçirmiştir. Sistemin yenileştirmeleri şimdi, artan askeri, sivil ve ticari ihtiyaçları karşılamak, dolayısıyla yeni yetenekleri ile Küresel Konumlama Sistemini yükseltmek için devam eden bir girişim haline gelmiştir. Program GPS Blok III ve Yeni Nesil Operasyonel Kontrol Sistemi (OCX) dahil olmak üzere uydu satın almalar gibi bir dizi girişim şekliyle uygulanmaktadır.

2.5. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİNİN TARİHİ KRONOLOJİSİ

- 1972 yılında, ABD Hava Kuvvetleri Ataletsel Kılavuz Merkezi Test Tesisi'nde (Holloman Hv. K. Üssü), yer tabanlı sözde uyduları kullanılarak White Sands Füze Menzili üzerinden GPS alıcılarının iki prototip geliştirimi için uçuş testleri yapılmıştır.
- 1978 yılında, ilk deneyim olarak Blok-I GPS uydusu fırlatıldı.
- 1983 yılında, seyir hataları sonucu Sovyet yasak hava sahası içine sapsmış Kore Hava Yolları (KAL 007) uçağı bir Sovyet avcı uçağı tarafından düşürüldü. 269 kişinin yaşamını yitirdiği kaza sonrasında, daha önce bu Navigation Magazine yayınında yayınlanmış olmasına rağmen, ABD Başkanı Ronald Reagan'ın GPS sisteminin sivil kullanımlar için hazır olacağını açıklaması ile sivil kullanıma geçilmiştir.
- 1985 yılında, on kadar daha deneysel Blok-I uydusu, GPS kavramının oturması için fırlatılmıştı. Bu uyduların Komuta ve kontrolü, Kaliforniya Onizuka Hv. K. Üssü

ve Colorado Springs Kolorado Falcon Hv. K. Üssü'nde (Schriever AFB) yer alan 2. Uydu Kontrol Filosu'na (2SCS) devredilmişti.

- 14 Şubat 1989 tarihinde, ilk çağdaş Blok-II uydusu fırlatıldı.
- 1990 ve 1991 yılları arasındaki Körfez Savaşı, GPS teknolojilerinin yaygın olarak kullanıldığı ilk çatışma olmuştur.
- 1992 yılında, Hv. K. 50. Uzay Kanatları (Space Wing) tarafından yönetilmekte olan ilk sistemin yönetimi yerini 2. Uzay Kanatları (2ndSW) yönetimine bıraktı.
- Aralık 1993 itibarıyla, GPS'nin tüm uydu takımı (24 uydu) gösteren kullanılabilir ve Standart Konumlama Hizmeti (SPS- Standard Positioning Service) sağlayan, ilk operasyonel yeteneği (IOC) elde etti.
- Tam Operasyonel Kabiliyeti (FOC) ordunun güvenli Hassas Konumlandırma Hizmetinin (PPS) tam kullanılabilirliğini gösteren, Nisan 1995 yılında Hava Kuvvetleri Uzay Komutanlığı (AFSPC) tarafından ilan edildi.
- 1996 yılında, sivil kullanıcılara GPS önemini bildiren yönerge yanı sıra askeri kullanıcılara da ABD Başkanı Bill Clinton tarafından bir politika yönergesi yayınlandı, çift kullanımlı sistem olarak GPS ilânı ve onu ulusal olarak yönetmek için bir Kurumlar arası GPS Yürütme Kurulu oluşturulmasına karar verildi.
- 1998 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Başkan Yardımcısı Al Gore, GPS III olarak atfedilen özellikle Amerika Birleşik Devletleri Kongresi'nde çaba ile yetkili havacılık güvenliği ile ilgili ve 2000 yılında, gelişmiş kullanıcı doğruluğu ve güvenilirliği için iki yeni sivil sinyalin iletimi hakkında GPS'i yükseltmek için plânlarını açıkladı.
- 2 Mayıs 2000 tarihinde "Seçici Kullanılabilirlik" olarak bilinen durum kullanıcıların küresel olmayan bozulmuş sinyali alması için gereken izin, 1996'da yönetimin düzenlemesi sonucu kesildi.
- 2004 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti GPS ve Avrupa'nın planlanan Galileo sistemiyle ilgili Avrupa Topluluğu'nda iş birliği ile bir anlaşma imzaladı.
- 2004 yılında, Amerika Birleşik Devletleri Başkanı George W. Bush tarafından, ulusal politika olarak güncellenen ve Uzay-Tabanlı konumlama ve Zamanlama için Ulusal Yürütme Komitesi ile yönetim kurulu yerini aldı.[30]
- Kasım 2004'te, Qualcomm cep telefonları için yardımcı GPS'in başarılı denemelerini açıkladı.

- 2005 yılında, ilk çağdaş GPS uydusu fırlatıldı ve geliştirilmiş kullanıcı verimi için ikinci bir sivil sinyali (L2C) yayını başladı.
- 14 Eylül 2007 tarihinde, yaşanan ana bilgisayar tabanlı Yer Segmenti Kontrol Sistemi (mainframe-based Ground Segment Control System) yeni Mimarisinin Evrimi Plânı transfer edildi.
- 19 Mayıs 2009 tarihinde, Amerika Birleşik Devletleri Sayıştay'ı bazı GPS uydularının kısa sürede 2010'a kadar başarısız olabileceğini bildiren bir rapor yayınladı.
- 21 Mayıs 2009 tarihinde, Hava Kuvvetleri Uzay Komutanlığı GPS yetersizliği korkularını iyileştirmeleri hakkında "bizim verim standartını aşan durumlarda desteğimiz devam etmeyecek, sadece küçük bir risk var." dedi."
- 25 Şubat 2010 günü ABD Hava Kuvvetleri GPS konumlama sinyallerinin doğruluğunu ve kullanılabilirliğini artırmak ve GPS yenileştirilmesinin önemli bir parçası olarak hizmet verecek GPS Yeni Nesil Operasyonel Kontrol Sistemini (OCX) geliştirmek için bir sözleşme imzaladı.

BÖLÜM 3

GPS ÖLÇÜLERİ

GPS uydularının yayınladığı sinyallerden, üç farklı büyüklük kayıt edilir.

- Kod Ölçüleri (Pseudorange: Uydulara olan yaklaşık uzaklıklar)
- Faz Ölçüsü
- Dopler sayıları

3.1. KOD ÖLÇÜLERİ

Pseudorange (yazının sonraki kısımlarında uzaklık diye bahsedilecektir.) uydu anteniyle alıcı anteni arasında anlık olarak ölçülen mesafedir. Sinyallerin iletim zamanı uydular tarafından ve alıcı tarafından üretilen belirleyici sahte rastgele kodlar olan PRN (Pseudo

Random Noise) kodlarının korelasyonu ile ölçülür. Alıcıdaki kod izleme devresi maksimum korelasyon oluşuncaya kadar PRN kodunun içindeki kopyasını değiştirir. Korelasyon oluştuğunda zaman ötelemesi yani zaman farkı belirlenir. Bu zaman farkı ışık hızıyla çarpılarak uzaklık bulunur. Uydu ve alıcı saatinde kaçınılmayan zaman hataları ve sinyaldeki gecikmeler ölçülen uzaklığın hatalı olmasına sebep olacaktır. Troposferik ve iyonosferik yayılım gecikmesi ölçülen uzaklığı direkt olarak etkileyen büyüklüktür. Uzaklık ölçümü P veya C/A kodu ile yapılabilir. Anlık konumlar istendiğinde kod ölçüleri tercih edilen gözlem seklidir. Uydu saatleri sürekli kontrol edilip GPS zamanına eşleştirilir. Bu işlem kontrol merkezi tarafından yapılır. Uydu saatinin gerçek ayarlamaları kullanıcının ölçülmüş uzaklığını düzeltmesi amacıyla navigasyon mesajının bir parçası şeklinde gönderilir. Böylece uydu saat hatası giderilmiş olur. Alıcılarda atomik saatler yerine quartz saatler kullanılır. En temel şart ölçüm anında dünyanın herhangi bir yerinde 4 tane görülebilir uydu olmasıdır. Belirli bir süre uydu sinyallerinin şifrelenmiş (Selective Availability: Selective Availability Mayıs 2001 tarihinde uygulamadan kaldırılmıştır) olması nedeniyle, navigasyon çözümüyle elde edilecek doğruluk ± 100 m ile sınırlıydı. Şu anda şifreleme olmadığından navigasyon çözümünün doğruluğu P kodunda 10-20 m C/A kodunda 20-30 m kadardır.

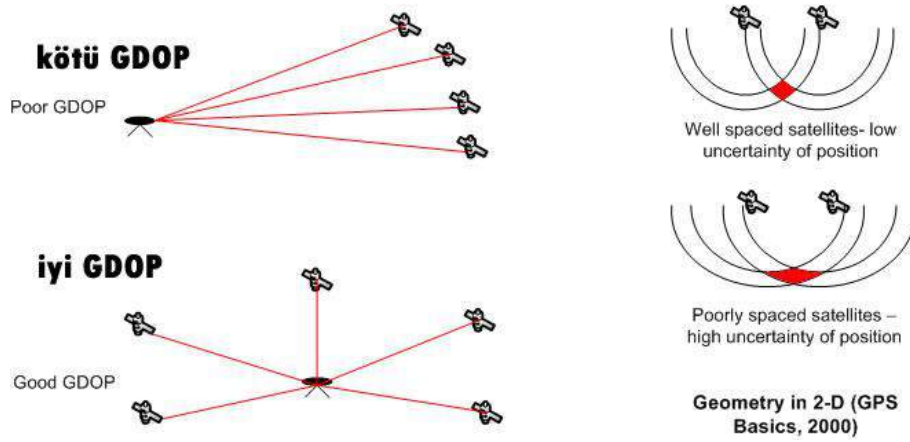
3.1.1. Duyarlılığın Azalması (DOP-Dilution of Precision) Etkeni

DOP Pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Geometrik uydu dağılımının, navigasyon çözümde elde edilen hassasiyeti nasıl etkilediğini açıklayan kavram DOP'dur. Eğer uydular alıcının görebildiği bölüme yeteri kadar yayılmışlarsa daha iyi bir pozisyon tayini yapılabilir. Buna GDOP (Geometrik Dilution of Precision) adı verilir. Eğer ölçü alınan iki uydu birbirinden uzaklaşıyorsa GDOP değeri küçüktür, dolayısıyla bulunan hata da küçük olacaktır. Aksi halde, yani uydular birbirine doğru yaklaşıyorlarsa GDOP değeri büyük olacaktır, bu da hatanın büyük olması yani ölçünün daha az kesinlik taşıdığının göstergesidir. Anlaşılacağı gibi DOP değerlerinin mümkün olduğunca küçük olması istenir.

Yapılan ölçülerin kesinliğinin artırılması için kullanılan DOP bileşenleri aşağıda

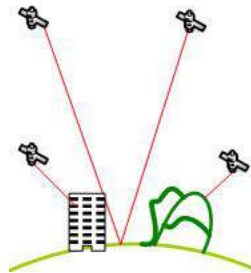
verilmiştir:

- 3D Pozisyonlar (PDOP)
- Yatay Pozisyonlar (HDOP)
- Düşey Pozisyonlar (VDOP)
- Zaman (TDOP)
- Geometrik Konum ve Zaman (GDOP)
- Rölatif Pozisyon (RDOP)



Şekil 7: Kötü ve İyi GDOP Örneği

İyi GPS alıcıları, ölçümümüzün kalitesini anlayabilmemiz için o anda olan DOP değerlerini gösterebilirler. 4 uydudan fazla uyduya gözlem yapıldığında dengeleme yapılır ve 4 uydudan fazla uydu bulunduğunda en iyi geometrik konfigürasyonu oluşturan 4 uydu DOP kriteriyle belirlenir. DOP uydu geometrisinin değişmesiyle dönem dönem değişiklik gösterir. Uyduların konumları önceden tahmin edilebildiğinden çok çabuk hesap edilebilir. Çevredeki engeller alıcının uyduları görmesini engelleyebilirler.



Şekil 8: Çevredeki etmenler GDOP değerini değiştirebilmektedir

3.2. TAŞIYICI DALGA FAZININ ÖLÇÜMÜ

GPS uyduları, L1 ve L2 şeklinde iki taşıyıcı dalgayı birbirlerinden bağımsız olarak yayınlamaktadır. Taşıyıcı faz ölçüsü, alıcıda ölçülmüş uydu taşıyıcı sinyal fazı ile alıcı içerisindeki yerel osilatör 'den elde edilen taşıyıcı faz arasındaki farktır. Pratikte taşıyıcı faz ölçülerini direkt kullanmak yerine bunların belirli kombinasyonlarını kullanmak hataları elimine etme açısından tercih edilir. Bu kombinasyonlar aşağıda verilmiştir.

- 1. Tek-Fark (Single Difference) Ölçüleri:** Tek-fark yöntemi, her iki alıcıda aynı anda, aynı uydudan alınan sinyallerin basitçe farklarının oluşturulması ve yeni ölçme eşitliğinin elde edilmesidir. Bu son eşitlik uydu frekans kaymasından ve saat hatasından bağımsızdır.
- 2. İkili-Fark (Double Difference) Ölçüleri:** İki istasyondan iki ayrı uydu için aynı ölçme anına ait oluşturulan tek-fark ölçülerinin farkı, ikili fark ölçüsünü oluşturur. İkili fark gözlemlerinin en büyük özelliği uydu saat hatalarının yanında alıcı saat hatalarından da arınmış olmasıdır.
- 3. Üçlü-Fark (Tripple Difference) Ölçüleri:** Aynı alıcı çifti ve aynı uydu çifti için iki farklı ölçme anına ait ikili-fark ölçü çiftinin farklarının alınmasıyla ortaya çıkan yeni ölçme eşitliği üçlü-fark ölçü eşitliğidir. Üçlü-fark oluşturulması durumunda, zamandan bağımsız olan, ilk ölçmeye ait tam dalga faz belirsizliği (integer ambiguity) terimi de yok olmaktadır.

3.3. L1 VE L2 TAŞIYICI DALGALARIN LİNEER KOMBİNASYONU

L1 taşıyıcı dalgası sistemin esas yayın frekansıdır ve yüksek doğrulukta alıcılar tarafından izlenir. Ayrıca, dalga boyunun küçük olması, L2 dalgasına göre daha hassas bir ölçme yapılmasını sağlar. Çok kullanılan ölçü kombinasyonları aşağıda sıralanmıştır.

1,57542 GHz (L1 sinyali) ve 1,2276 GHz (L2 sinyali) aynı iki frekansta tüm uydular yayın yapar. Uydu ağı, düşük bit hızı mesaj verilerinin her bir uydu için farklı bir yüksek oranlı sözde rastgele (PRN) dizisi ile kodlanan bir CDMA yayılma spektrumlu tekniğini kullanır. Her uydu gerçek ileti verilerini yeniden alıcı için PRN kodlarının farkında olmalıdır. P kodu, ABD askeri kullanımı için, saniyede 10.230.000 çip ile iletilir ise C / A kodu, sivil kullanım için, saniyede 1.023.000 çip veriyle iletilir. Uydudan asıl dahili referans göreceli etkilerini telafi etmek üzere 10,22999999543 MHz yeryüzündeki bu gözlemciler yörüngede vericiler açısından farklı bir zaman referansı algırlarlar. L2 taşıyıcısı sadece P kodu tarafından modüle edilir ise, L1 taşıyıcısı, C / A ve P kodları ile modüle edilir.

- **L3, İyonosferden Bağımsız Lineer Kombinasyon:** L1 ve L2 ölçüsünün değişik çarpanlarla çarpılıp toplanmasıyla oluşur. Bu eşitlik iyonosfer etkisi içermez. Bu yöntemin dezavantajı ise gürültü miktarı artmaktadır.
- **L4, Geometriden Bağımsız Lineer Kombinasyon:** L1 ve L2 ölçüsünün uzunluk cinsinden farkının alınmasıyla oluşur. Bu eşitlikte saat ve geometri ile ilgili bütün parametreler elimine olurken, L1 ve L2 için iyonosfer etkisi ile başlangıç faz belirsizliği bilinmeyenleri kalır.
- **L5, Uzun Dalga Boyuna Sahip Lineer Kombinasyon:** Burada yine L1 ve L2 ölçüsünün değişik çarpanlarla çarpılıp toplanır ve L5 kombinasyonu oluşturulur fakat L3'ten farkı dalga boyunun 86 cm olmasıdır. Öncelikle başlangıç faz belirsizlikleri çözülmeye çalışılır. Sonra L1 ve L2 faz belirsizlikleri çözülmeye çalışılır.

3.4. YÖRÜNGELER

Yörünge Bilgileri, belirli bir zaman periyodu içerisinde uyduların yörüngesini ve bu yörüngeler boyunca uyduların konumlarını tanımlayacak parametreleri içerir. ABD tarafından geliştirilen, Dünya üzerinde uygun dağıtılmış ve çok hassas saatlerle donatılmış, konumları çok iyi bilinen 5 adet uydu kontrol istasyonundan sisteme ait uydular sürekli izlenir. Her bir istasyonda toplanan veriler ana kontrol istasyonuna gönderilir. Burada toplanan bilgiler değerlendirilerek uyduların yörüngeleri hesaplanır ve geleceğe dönük olarak belli bir zaman aralığında uydu yörüngelerinin konumu kestirilir. Hesaplanan bu

yörünge bilgileri ana kontrol istasyonu tarafından uydulara belirli sinyallerle yüklenir. GPS uyduları, “Yüksek Yörünge” adı verilen ve dünya yüzeyinin 20.200 km üzerindeki yörüngede bulunurlar. Bu kadar fazla yükseklikte bulunan uydular oldukça geniş bir görüş alanına sahiptirler ve dünya üzerindeki bir GPS alıcısının her zaman en az 4 adet uyduyu görebileceği şekilde yerleştirilmişlerdir.

Bu uydu yörüngeleri yeryüzüne olan uzaklıklarına ve konumlarına göre adlandırılmışlardır. LEO (Low Earth Orbit), MEO (Medium Earth Orbit), GEO (Geostationary Earth Orbit). Bu 3 yörünge dışında HEO (High Eliptic Orbit- Yüksel Eliptik Yörünge), PEO (Polar Earth Orbit – Kutup dünya yörüngesi) yörüngelerinde bulunmaktadır. Bu yörüngelerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır.

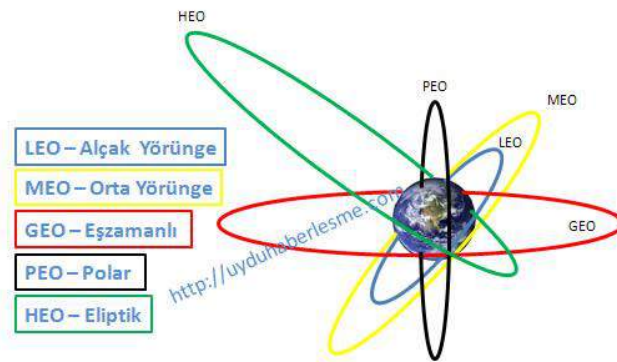
Uydu haberleşme sistemlerinde herkes tarafından sıklıkla telaffuz edilen “delay” “gecikme” kavramı da kullanılan yörünge ile doğrudan ilgilidir. Mesafe uzadıkça RF sinyallerinin boşlukta yapacağı yolculuğunda süresi uzayacaktır ve dolayısı ile farklı yörüngelerdeki uydular üzerinden gerçekleşen iletişim süreleri de birbirinden farklı olacaktır. Aşağıda uydu yörüngelerini tek tek incelerken gecikme sürelerini de ortalama olarak verilecektir.

Atmosfer tabakası 5 katmandan oluşmaktadır. Atmosfer tabakasının 17-18 km’sinden sonra oksijen miktarı yaşanamayacak kadar azalmaktadır. 50 km’sinden sonra yerçekimi oldukça azalmakta ve ortamda bulunan tanecikler nedeniyle haberleşme sinyalleri çok rahat bir şekilde yayılabilmektedir. Son olarak atmosfer tabakasının toplam kalınlığı kutuplarda ve Ekvator bölgesinde farklılık gösterse de 10.000 km olarak ifade edilmektedir.

Uydu yörüngelerinin farklılıklarını inceleyelim:

- **LEO (Low Earth Orbit) – Alçak uydu yörüngesi:** Mesafe açısından yerküreye en yakın yörüngedir. Yakın olması sebebiyle uyduların footprintleri (kapsama alanları) küçük olmaktadır ve bu nedenle küresel kapsama alanı yaratabilmek için 40’ın üzerinde uyduya gerek duyulmaktadır. LEO’nun yerküreye uzaklığı 700-1400 km arasında değişmektedir. Gecikme süresi sadece tek bir yönde (Tx ya da Rx) 0.05 sn.dir. Uydu ticari ömürleri 4-7 yıldır. Kullanım alanı olarak uydu telefon sistemleri gösterilebilir. LEO yörüngede iletişim için gereken verici güç miktarı MEO ve GEO’ya göre daha düşüktür.

- **MEO (Medium Earth Orbit) – Orta uydu yörüngesi:** 10.000 – 15.000 km mesafededir. Kapsama alanı LEO'ya göre daha fazla olduğundan 10-15 uydu ile küresel kapsama alanı yaratılabilir. MEO uydu yörüngelerinde gecikme (delay ya da round trip time (RTT) 0.10sn'dir. Bu yörüngedeki uyduların ticari ömürleri 10 – 15 yıl kadardır.
- **GEO (Geostationary Earth Orbit) – Eşzamanlı uydu yörüngesi:** Ekvatora uzaklığı 36.000 Km civarındadır. Bu mesafeden görüş açısı çok geniş olduğu için küresel bir kapsama alanı yaratabilmek için 3-4 uydu yeterli olmaktadır. Gecikme 0.25 sn. 'dir. Uyduların ticari ömürleri ortalama 10-15 yıl arasında değişmektedir. Kullanım alanı oldukça geniştir. Televizyon ve radyo yayıncılığı, hava durumu izleme, GPS, VSAT, SCPC vb. sistemler için kullanılan uydular GEO üzerinde konumlandırılır. Bu uydu yörüngesindeki uydu üzerine etki eden kuvvetlerin dengelenmesinden dolayı operasyonları (yörüngede tutmak için yapılan manevraları) LEO yörüngede bulunan uydulara göre çok daha basittir. İletişim için gereken güç miktarı LEO ve MEO'ya göre daha fazladır. Ekvator düzleminde yer aldığı için kutuplarda zayıf kapsama alanı sağlamaktadır.
- **HEO (High Eliptic Orbit) – Yüksel Eliptik Yörünge:** Dünyaya olan uzaklığı geometrik şeklinden dolayı değişmektedir.
- **PEO (Polar Eath Orbit) – Kutup dünya yörüngesi:** Kutup bölgelerinde kapsama alanının geniş olduğu bir yörüngedir.



Şekil 9: Uydu yörüngeleri diyagramı

3.5. ZAMAN SİSTEMLERİ

Uydu jeodezisi ile uygun olarak 3 ayrı zaman sistemi kullanılır.

1. Yer kürede yapılan gözlemler ile uydu hareketlerinin tarif edildiği sistem arasında bir ilişki kurulabilmesi için, gözlemlerin yapıldığı anda dünyanın uzaydaki konumunun bilinmesi gerekir. Bu amaçla yıldız zamanı ve dünya zamanından yararlanılır.
2. Uydu hareketlerini açıklayabilmek için bağımsız çok düzgün hareketli bir zaman sistemine ihtiyaç vardır. Böylece bir zaman sistemi olarak dünyanın uzaydaki yörüngesindeki yaptığı hareketten üretilen dinamik zaman kullanılır.
3. Uydulara yapılan ölçülerde kesin sonuçlar alabilmek için, uydudan gönderilen sinyallerin alıcıya ulaşım süresinin çok hassas olarak belirlenmesi gerekir. Bu amaca yönelik zaman sistemine atom zamanı denir.

GPS sisteminin kendine özgü bir zaman sistemi vardır. GPS sistemine ait atom saatlerinin sürekli kontrol altında tutulmasıyla elde edilen GPS zamanı (GPST) 5 Ocak 1980 tarihinde UTC zamanına eşitti. GPS zamanına saniye eklemek veya çıkarmanın mümkün olmaması nedeniyle zamanla iki zaman sistemi arasındaki saniyenin tam katında artan farklar meydana gelmiştir.

Yerçekimi saatlerin gidiş hızlarını etkiler. Bu nedenle;

- Uydudaki saatler uydunun dünyaya karşı rölatif hızından dolayı yerküre üzerindeki bir saatten daha yavaş ilerlerler.
- Yerküreye yaklaşık 20.200 km uzaklıkta uçan uyduya yerkürenin çekim gücü etkisinin, yerküre üzerindeki 1 saate nazaran daha küçük olması nedeniyle uyduda bulunan saatler yeryüzündekilerden daha hızlı giderler.



Şekil 10: Zamanı daha hassas ölçmek için kullanılan atomik saat modülü

Her iki etkeni göz önünde bulundurarak uydu ve yeryüzündeki saatlerin gidiş hızları arasındaki toplam fark elde edilir. Bu etkenler ayrı ayrı ele alındığında, yerçekimi bölümünün etkisinin, uydu hızından kaynaklanan farkın yaklaşık 8 kati olması nedeniyle uydudaki saatler yeryüzüne nazaran daha hızlı giderler. Ayrıca bu hataya uydunun yörüngesinin tam olarak daire olmamasından kaynaklanan 46 nanosaniyelik bir kısım da eklenir.

3.6. GPS AĞLARI

İncelenmek istenen bölgeye belirli sayıda yerleştirilen GPS alıcılarının oluşturduğu ağı GPS ağı denir. İki kısımda incelenebilir. Bunlar; Geçici GPS ağları ve Kalıcı GPS ağlarıdır.

1. Geçici GPS Ağları

Daha önceden belirlenmiş olan koordinatlar üzerinde belirli zaman aralıkları ile ölçüm yapılır. Bu süre uzun veya kısa olabilir. Bu zamanlarda belirlenen noktaya gidilerek alıcı yerleştirilir ve belirlenen sürede ölçüm yapılarak alıcı tekrar alandan kaldırılır. Ölçüm yapılan bu zaman aralıklarına kampanya adı verilir. Kampanyalar süresince yerleştirilen alıcılar geçici GPS ağını oluştururlar. Bu ağlar dünyanın çeşitli yerlerinde olduğu gibi ülkemizde de mevcuttur. Her noktaya kalıcı GPS ağı kurmak mümkün olmadığı için geçici GPS ağları tercih edilmiştir. Örneğin; Kocaeli depreminden sonra

Kuzey Anadolu Fayının Marmara Denizine girdiği yerde Fayın kuzeyi ve güneyine 4 adet geçici GPS istasyonu kurulmuştur. Ayrıca basta Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Merkezi (TÜBİTAK) ve Harita Genel Komutanlığı olmak üzere çeşitli kurumlar tarafından belirli zaman aralıklarında daha önceden belirlenmiş noktalar üzerinde eşzamanlı olarak ölçüm yapılmaktadır.

2. Kalıcı GPS Ağları

Sürekli GPS ağlarında ise yerleştirilen alıcı sürekli orada kalır ve sabittir (CIGNET, IGS ve MAGNET gibi). Bu istasyonlar birçok alanda kullanılmak üzere sürekli veri toplarlar. Bu alanlar arasında jeodezi ve jeofizik de bulunmaktadır. Alıcıların ucuzlaması sebebiyle araştırmacılar gerek jeodezi gerekse jeofizik araştırmalar için kalıcı GPS istasyonları kurmaktadır. Örneğin Japonya, Kanto-Tokai'de (Tokyo) 17 ay süren bir çalışma için 10 istasyonluk bir ağ kullanılmıştır. Yine İsveç'te, BIFROST Projesi (1996) kapsamında 21 istasyonluk GPS ağı kullanılarak buzul devri sonrası yükselmesi ölçülmüştür (Segall, 1997). Normalde her gün için bir ortalama değer saptanır. Daha sonra bu günlük ortalama verilerin de ortalaması alınır ve geniş zamanlarda (aylık ve yıllık) ortalama sonuçlar elde edilmiş olur. Eğer doğru şartlar sağlanırsa yer değiştirmeler, kampanyalardan elde edilenlerden daha kesin olarak elde edilebilir. Bu şartlar, uzaysal ve zamansal olarak ortalama değerler arasında kalmaktır ve bu şartları etkileyen birçok hata kaynağı mevcuttur. Kalıcı GPS ağlarına en iyi örneklerden biri olan Japonya Sürekli GPS Ağı'dır. Ülke içine aralarında 20-30 km. uzakla olan 1000 adet GPS istasyonu yerleştirilmiştir. Bu ağ sayesinde çok ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Diğer bir örnek olarak ise Güney Kaliforniya'da bulunan 250 istasyonluk SCIGN (The Southern California Integrated GPS Network) GPS ağıdır. Yine Kuzey Kaliforniya'da da 25 istasyonluk bir GPS ağı, BARD (The Bay Area Regional Deformation) bulunmaktadır.

3.6.1. ULUSLARARASI GPS SERVİSİ (IGS- INTERNATIONAL GPS SERVICE FOR GEODYNAMİCS)

IGS 1993 yılında Uluslararası Jeodezi Derneği (IAG- International Association of Geodesy) tarafımdan kurulmuştur. Bir yıllık test çalışmasından sonra 1 Ocak 1994 tarihinde resmen çalışmaya başlamıştır. Dünyanın çeşitli yerlerinden birçok kurum ve kuruluş IGS'ye bağlı bulunmaktadır. İstasyon sayısı 1997 yılında 100 iken şu anda 200'e ulaşmıştır. IGS'nin görevleri arasında şunlar sayılabilir:

- Bütün uydular için yüksek kapasiteli yörünge hesaplamalarını yapmak (Kesinliği 20 cm. 'den daha iyi)
- Dünya dönme parametrelerini sağlamak
- Her IGS izleme istasyonuna ait, günlük olarak RINEX dosyaları halinde kaydedilmiş faz ve uzaklık ölçümlerini yayınlamak
- IERS (International Earth Rotation Service) ile çalışarak, ITRF (International Terrestrial Reference Frame), izleme istasyonlarının koordinatlarını belirlemede katkıda bulunmak
- IGS izleme istasyonlarının koordinat ve hızları
- GPS uyduları ve izleme istasyonlarının saat bilgileri
- İyonosferik bilgi sağlamak
- Troposferik bilgi sağlamak

IGS bu görevleri aşağıda verilen birimler tarafımdan yürütmektedir:

- İzleme istasyonları ağı (200 adet)
- Veri merkezleri (10 adetten fazla)
- Analiz ve sınırlı hâkli analiz (Associate Analysis) merkezleri (7 Adet)
- Analiz koordinatörü (1 Adet)
- Merkezi büro (1 Adet)
- Hükümet ayağı

Araştırmacılar, IGS'nin elde ettiği sonuçlara kolaylıkla ulaşabilirler (International GPS Service for Geodynamics, 1997)

3.6.2. TÜRKİYE'DE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye’de uydu tekniklerine ilişkin gelişmelerin dikkatle izlenmesi ve uygulamaya konulması 1980’li yılların başında rastlamaktadır. Bu kapsamda çeşitli zamanlarda değişik ağlar kurulmuş ve işletilmiştir. 1983 yılında Doppler ağı kurulmuştur.

GPS tekniğinin gelişmesi sonucu, 1988 yılından itibaren Wegener-Medlas (Working Group of European Geo-Scientists for the Establishment of Networks for Earthquake Research-Mediterranean Laser Ranging / Avrupa Yerbilimcileri Çalışma Grubu- Akdeniz Bölgeleri Lazer Ölçmeleri) çerçevesinde çeşitli yabancı kurum ve kuruluşun da katılımıyla proje çalışmaları yürütülmüştür (Özaydın, 1993). Bu proje iki yılda bir tekrarlanan GPS kampanyaları şeklinde idi. Bu kampanyalar sonucunda yapılan analizlerde Kuzey Anadolu Fayı’nın yaklaşık 23 ± 2 mm/yıllık bir kayma miktarına sahip olduğu saptanmıştır (Çakmak, 2001). Türkiye’de, şu anda bir adet kalıcı GPS ağı bulunmaktadır.

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından takip edilen Marmara Bölgesi Sürekli GPS Gözlem Ağı (MAGNET) çalışmasına devam etmektedir. Bu gözlem ağının amacı, Marmara Bölgesi’ndeki, Kuzey Anadolu Fay sistemi ile ilişkili olan tektonik deformasyonun, sürekli gözlem yapan GPS istasyonları ile gözlenmesi ve olası deprem yerleri ile büyüklüklerinin saptanarak ayrıntılı sismik risk analizlerinin oluşturulmasıdır. Bu amaçla çalışan 10 adet kalıcı, 3 adet geçici istasyon bulunmaktadır.

BÖLÜM 4

GPS İLE KONUM BELİRLEME

Konum belirlemek amacıyla tasarlanan GPS uyduları ile yeryüzündeki bir noktanın 3 boyutlu mutlak konumu belirlenmektedir.

Konum belirleme işlemi iki yolla saptanmaktadır. Bunlar:

- Mutlak konum belirleme
- Bağıl (Relative) konum belirleme

4.1. MUTLAK KONUM BELİRLEME

Mutlak konum belirlemede tek bir alıcı yardımıyla 4 ya da daha fazla uydudan kod ölçüleri yapılarak noktaların istenilen koordinat sisteminde 3 koordinat değeri (X, Y, Z) belirlenmektedir. Yöntem sinyalin uydudan çıkışından alıcıya ulaşınca kadar geçen zaman ve ışık hızı çarpılarak elde edilen uzaklıklar ve uyduların uzayda bilinen koordinatları ile hesaplama esasına dayanır.

4.2. BAĞIL (RELATIVE) KONUM BELİRLEME

Bağıl konum belirlemede koordinatları bilinen bir noktaya göre bir başka noktanın koordinatlarının belirlenmesi söz konusudur. Diğer bir ifadeyle bağıl konumlanma ile iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir. Bağıl konumlamada iki ayrı noktada kurulmuş olan iki alıcı ile aynı uydulara eşzamanlı kod veya taşıyıcı faz gözlemleri söz konusudur. Bağıl konumlama ile elde edilen doğruluk mutlak konumla elde edilen doğruluktan daha fazladır. Elde edilen doğruluk alıcı tipi, ölçü süresi, gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan yörünge bilgisine bağlı olarak değişmektedir. GPS ölçüleri ile konum belirleme için kullanılan birkaç teknik vardır. Kullanıcılar elindeki alıcılara, istenilen duyarlılık derecesine, finansmana ve zamana göre bu yöntemlerden birisini ve/veya birkaçının kombinasyonunu seçer.

4.2.1. STATİK KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Sabit bir istasyonda genellikle 15 saniye ile 120 saniye arasında değişen aralıklarla statik modda bir saatten birkaç saate kadar GPS ölçümleri alınır. Sadece bir istasyondaki ölçülerin değerlendirilmesiyle konum belirlemeye statik nokta konum belirlemesi (Static Point Positioning) adı verilmektedir. Bu yaklaşımda, yörünge bilgilerine ve gözlem süresine bağlı olarak 0,5-10 m arasında bir duyarlılıkla 3 boyutlu mutlak konum belirlemek mümkündür.

4.2.2. HIZLI STATİK (FAST STATİK) YÖNTEMLER

Çift frekanslı (L1, L2) alıcılara gözlem gerektiren hızlı statik teknik, bir çeşit

statik/kinematik teknik olarak düşünülebilir. Burada alıcılardan birisi koordinatı bilinen sabit bir noktada (referans noktası) sürekli gözlem alırken diğer alıcı yeni noktalarda 5-30 dakika sürelerle gözlem yapmaktadır. Her yeni noktadaki gözlemler referans istasyonundaki gözlemlerle ayrı ayrı değerlendirilir. Hızlı statik teknik sonuçları, baz uzunluğuna, uydu sayısına ve uydu geometrisine bağlı olarak değişmektedir.

4.2.3. TEKRARLI YÖNTEMLER

Bu yöntem statik ile kinematik yöntem arasında bir teknik olarak düşünülebilir. Bir alıcı referans noktasında (Base Receiver) sürekli gözlem yaparken diğer alıcılar hareket halinde olup her yeni noktada, her biri yaklaşık 10 dakika olmak üzere en az 2 kez gözlem yapar. Tamsayı belirsizliğinin (integer ambiguity) çözümünü kolaylaştırması nedeniyle, aynı noktaya ait her yeni gözlem bir öncekine göre bir saatten dört saat sonrasına kadar olan süre içinde yapılmalıdır. Alıcı hareket halindeyken alıcının açık olması ve gözlem yapması zorunludur.

4.2.4. KİNEMATİK YÖNTEMLER

Her türlü GPS alıcıları, kodlar ölçen navigasyon amaçlı alıcılar veya taşıyıcı fazlar ölçen jeodetik alıcılar, kodlara ait en az 4 uyduya yapılan uzaklık ölçülerinden anlık konumu hesaplayabilirler. Buna mutlak kinematik nokta belirlemesi denir. Bunun duyarlılığı yörünge bilgisi inceliğine bağlı olarak $\pm 20-30$ m aralığında değişmektedir. GPS ile mutlak konum belirlemesi birkaç saatlik ölçü ve hassas yörünge bilgisi ile ancak 0,5 m düzeyinde olabilmektedir. Daha duyarlı sonuçlar ancak eşzamanlı ölçülerin birlikte değerlendirilmeleri ile elde edilebilmektedir. Kinematik konum belirlemede de aynı şekilde hareket edilir. Alıcılardan biri (veya daha fazla) koordinatı bilinen noktada sürekli gözlem yaparken (kinematik modda) hareket halindeki diğer alıcılar da anlık veya birkaç dönemlik (epoch) ölçü yapar. Sabit istasyondaki ölçüler ile yeni noktalardaki her bir eşzamanlı ölçü birlikte değerlendirilerek sabit noktadan yeni noktalara giden vektörler hesaplanır. Hesaplamalarda kodların veya taşıyıcı fazların kullanılmasına bağlı olarak duyarlık değişmektedir. Taşıyıcı fazların kullanılması halinde bu yönteme “Hassas Kinematik Yöntemi” ve kodların kullanılması halinde de “Diferansiyel GPS Yöntemi” olarak

adlandırılır. Kinematik gözlemler topografik ölçüler ve kontrol noktaları tesisi için yaygın olarak kullanılır. Bazı kinematik yöntemlere aşağıda örnekler verilmiştir.

1. Hassas Kinematik Yöntem

Bu yöntemde alıcılardan biri (veya daha fazla) koordinatı bilinen noktada, sürekli gözlem yaparken hareket halindeki diğer alıcılarda koordinatları bilinen başka bir noktadan başlayarak her bir yeni noktada anlık veya birkaç dönemlik ölçü yapılır. Başlangıçtaki bilinen baz sayesinde tamsayı belirsizlikleri (integer ambiguity) hesaplanır ve sürekli gözlem yapılması ve uydu sayesinin 4'ün altına inmemesi artıyla ilk noktadaki belirsizlik değerleri diğer noktalara da taşınır ve böylece her dönemdeki tamsayı belirsizlikleri de hesaplanabilir.

2. Dur ve Git Yöntemi

Burada sürekli gözlem yapan bir referans istasyonu ve bir de bilinen bir bazdan başlayan (0 m baz dahil) gezen alıcı vardır. Gezicinin gözlem yaptığı ve bilinen ilk noktada faz başlangıç belirsizliklerini (initial integer ambiguities) çözmek için 2 dakika kadar gözlem yapılır. Sonra gezici alıcı en az 4 uyduyu izlemeye devam ederek diğer noktaları sırayla ziyaret eden ve her bir noktada 2-3 dönemlik ölçüler alır. Gerekirse, her yeni noktada anten yüksekliği ve nokta numarası girilir.

3. Devamlı Kinematik Gözlemler

Bu yöntem, dur ve git kinematik yöntemden pek farklı değildir. Durup kayıt yerine gezici alıcının her dönemdeki konumu hesaplanır. Yol güzergâhını belirlemek, profil çıkarmak, kesit çıkarmak, eş yükselti eğrilerini çizmek vb. uygulamalarda bu yöntem çok hızlıdır.

4. Sıçramalı Kinematik Gözlemler

İlk baz ölçüldükten sonra 2. noktadaki alıcı yerinde kalırken 1. noktadaki alıcı 3. noktaya gider. İkinci baz ölçüldükten sonra, 3. noktadaki alıcı yerinde kalırken 2. noktadaki alıcı 4.

noktaya gider. Gözlemlere tüm şebeke tanımlanıncaya kadar bu şekilde devam edilir ve sonuçta travers tipi dediğimiz bir geometri oluşmuş olur.

5. Diferansiyel Yöntem (Kodlarla)

Eğer milimetre düzeyinde hassasiyet istiyorsak, iki alıcı gerektiren diferansiyel GPS ölçümünü kullanmalıyız. Bu yöntemde her bir alıcının pozisyonunun bulunması yerine, birbirlerine göre bağıl pozisyonları hesap edilir.

Bilindiği gibi her ölçümde belli sayıda hata mevcuttur ve bu hatalar zamana bağlı olarak değişir ve biz bu değişimi bilemeyiz. Ancak aynı gözlem için, aynı zamanda iki alıcı kullanıyorsak, bu alıcılar yaklaşık olarak aynı hatalardan etkilenirler. Bu hatalar uydu ve alıcı saat hatası, uydu yörünge hatası ve atmosfer (İyonosfer ve Troposfer) hatalarıdır. Sonuç olarak, konumu bilinen bir referans istasyonundan tespit edilen hata miktarları aynı uyduları gören diğer alıcılarda hata düzeltme miktarı olarak kullanılır ve milimetre mertebesinde sonuçlar elde edilebilir.

BÖLÜM 5

GPS ÖLÇÜLERİNİ VE SONUÇLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

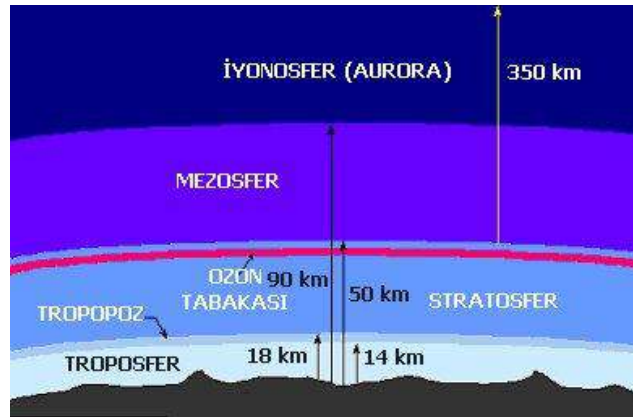
Bağıl (Relative) konum belirlemede, faz ölçmesinin yüksek bir doğrulukla başarılması (± 2 mm.), sonuçların yüksek doğruluklara ulaşılabilceğinin bir göstergesidir. Bunun başarılabilmesi, hatalara neden olacak koşullarda ölçme yapmamaya özen göstermekle, ölçüleri sistematik hatalardan arındırmakla ve değerlendirmeyi doğru yapmakla mümkündür. GPS ile elde edilen sonuçları etkileyen faktörler şöyle özetlenebilir:

- Atmosferik etkiler
 - İyonosfer Etkisi
 - Troposfer Etkisi
- Yansıma Etkisi
- Anten faz merkezi kayıklığı

- Uydu geometrisi
- Yörünge bilgilerinin doğruluğu
- Faz sıçramaları
- Gözlem hataları
- Alıcı ve uydu saat hataları
- Taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği

5.1. ATMOSFERİK ETKİLER

GPS uydu sisteminin yayınladığı sinyaller, alıcıya ulaşana kadar çeşitli ortamlardan geçer. Sinyallerin seyahat ettikleri bu yol genel olarak 3 ayrı bölge olarak düşünülebilir. Birincisi, yayılan sinyale herhangi bir etkisi bulunmayan atmosfer dışı bölge, diğeri ise atmosfer içinde ayrı ayrı düşünülebilecek iyonosfer ve troposfer bölgeleridir. Atmosfer taşıdığı benzerlikler açısından çeşitli tabakalar halinde sınıflandırılabilir.



Şekil 11: Atmosferin tabakaları

Atmosfer, 50 km. yükseklikten itibaren yukarı atmosfer olarak adlandırılır ve bu bölge aynı zamanda (1000 km. 'ye kadar) iyonlaşmış gazlar ve serbest elektronlardan dolayı iyonosfer olarak ta bilinir.

Katman İsmi	Kalinlık	Elektron Yoğunluğu		Katman İsmi	Katman İsmi	Kalinlık
		Gece	Gündüz			
Eksosfer	> 500	10 ⁴	10 ⁵	Üst Atmosfer	Magnetosfer	> 1500
Termosfer	80-500	10 ⁵	10 ⁶		Alt Atmosfer	İyonosfer
Mezosfer	50-80	10 ³	10 ³			
Stratosfer	10-50	-	-			
Troposfer	0-10	-	-			

Tablo 1: Atmosferin tabakalar halinde sınıflandırılması

5.1.1. İYONOSFERİN ETKİSİ

İyonosfer yeryüzünden 50 ile 1500 km arasındaki bölgedir. Bu bölge negatif serbest elektronlar ve iyonlardan oluşur. Serbest elektronlar radyo dalgaları yayılımını yani GPS uydu sinyallerini etkiler. İyonlaşma atmosferdeki gaz atomlarından elektron ayrılmasıyla oluşur. Buradaki iyonlaşmayı sağlayan ultraviyole radyasyondur. Güneşin ultraviyole radyasyonunun miktarı iyonosferik durumunu belirler. İyonosferdeki değişimler; uydunun yükseklik açısına, günün saatine, mevsimlere ve gözlemcinin enlemine bağlıdır. İyonosferden geçen sinyalde meydana gelen değişimi yani iyonosferik etkiyi modellemek veya yok etmek için çeşitli yöntemleri kullanmamız gerekmektedir. Bu yöntemler kullanılan aletin tek veya çift frekanslı olmasına göre değişir. Tek frekans kullanıcısı sadece bir tane taşıyıcı faz elde edebildiğinden ölçülerdeki iyonosferik etkiyi elimine edemez. İyonosferik etkiyi hesaplamak için ölçülerden düzeltmek gerekir. İyonosferik etkiyi yaklaşık olarak hesaplamak için iyonosferik model verilerini içeren uydu mesajları gönderilir. Ozonosferin ölçüler üzerindeki etkisi, parametre olarak tahmin edilmesinin yanı sıra, bu etkinin L1 ve L2 arasındaki lineer kombinasyonla (L3) yok edilmesi de mümkündür. Uzun bazlar için kullanılan en genel çözüm, L3 lineer kombinasyonu ile

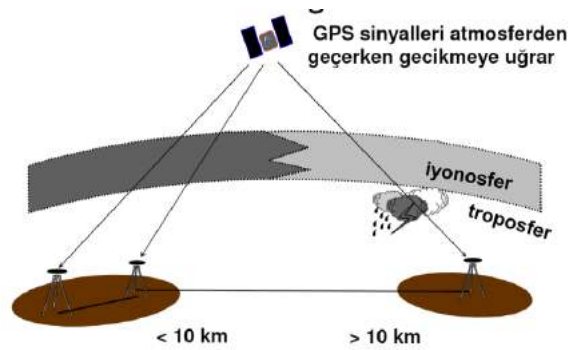
İyonosferden bağımsız çözüm yöntemidir. L4 lineer kombinasyon ölçüsüyle iyonosferik modellendirerek çözmek ve elde edilen parametrelerle L1 ölçüsünü düzeltip, düzeltilmiş L1 ölçüsüyle çözüm yapmak ikinci bir yol olabilir.



Şekil 12: Serbest elektronlar GPS uydu sinyallerini etkiler.

5.1.2. TROPOSFERİN ETKİSİ

Troposfer tabakasının yeryüzü ile 40 km. arasında olduğu kabul edilmektedir. Bu bölgeden geçen GPS sinyallerinde bir gecikme olur. Bu gecikme düşey yönde 1,9 m ile 2.5 m. arasında değişmektedir. Gecikme alıcının bulunduğu yükseklikteki ısı, nem ve basınca bağlı olarak değişmektedir. Troposfere nötr atmosfer (iyonize olmamış) de denir. Nötr olması sebebiyle saçıcı bir ortama sahip değildir. Troposferik gecikme ortamdan geçen sinyalden ve frekansından bağımsızdır. Bu sebepten dolayı Troposferik gecikme etkisi çift frekanslı alıcı kullanarak giderilemez. Kırılmalardan kaynaklanan gecikmeyi giderebilmek için çeşitli Troposferik modeller geliştirilmiştir.

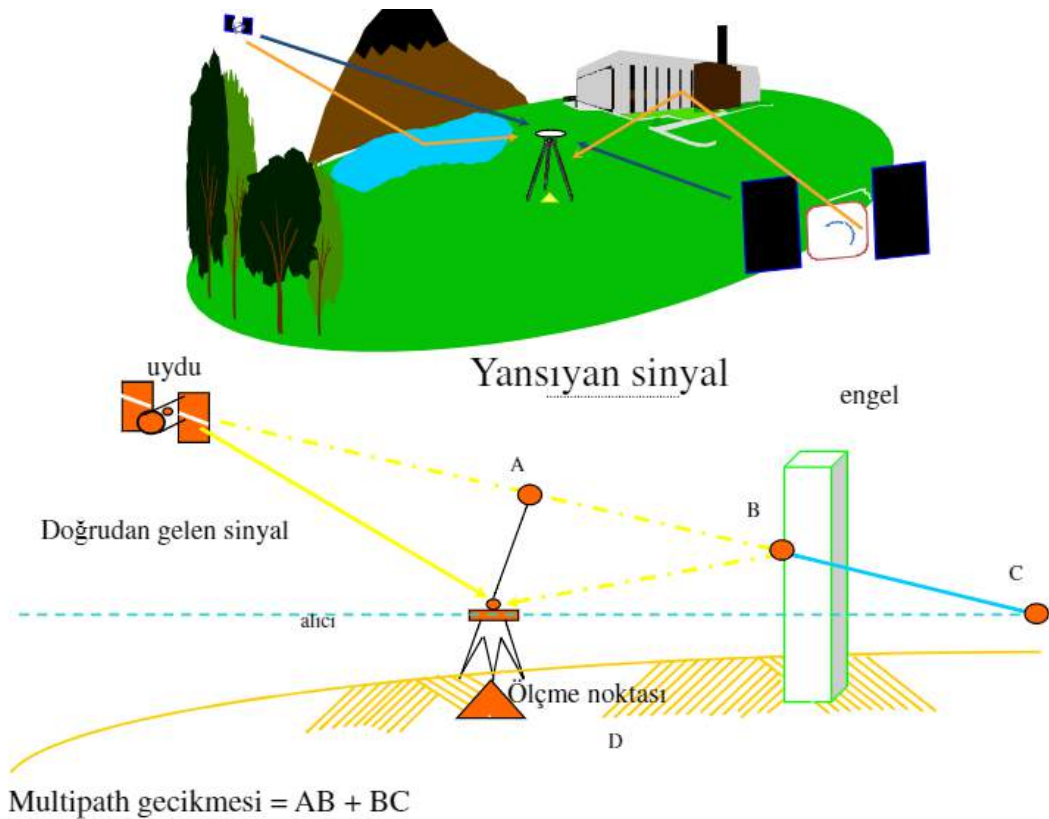


Şekil 13: GPS sinyalleri atmosferden geçerken gecikmeye uğrar.

Troposfer, GPS sonuçlarını iki şekilde etkilemektedir. Birincisi mutlak etki, ikincisi ise ölçü yapılan noktalar arasındaki kot farkından kaynaklanan göreceli (Relative) etkidir. Özellikle kısa uzunluktaki bazlarda tekli-fark ölçülerinin oluşturulmasında troposferin mutlak etkisi büyük ölçüde giderilir. Noktalar arasındaki yükseklik farklarının 100 m.'den büyük olması durumunda ise, göreceli etki dikkate alınmalıdır. Göreceli Troposferik etki, değerlendirmede özellikle yükseklik bileşeninde etkili olmaktadır.

5.2. YANSIMA (MULTIPATH) ETKİSİ

Yansımaya (Multipath), alıcı anteni tarafından doğrudan alınan sinyale ek olarak, bir veya birden fazla sinyalin çevredeki yüzeylerden yansıyarak alıcı antenine ulaşması olarak tanımlanır. Yansımaya etkisi ölçülerde çok sayıda faz sıçramasına (cycle slip) neden olur. Yansımaya etkisi, alıcı antenin teknik özelliğine, anten çevresinin elektromanyetik dalga için yansımaya katsayısına ve çevrenin geometrik özelliklerine bağlıdır.



Şekil 14: Yayınlanan sinyallerin alıcı antenine birden daha çok yol izleyerek ulaşması

Düzgün yüzeyler, tuz, alkali metal, maden içeren zeminler sinyalin yansımaları kolaylaştırır. Ayrıca yüksek güç kaynaklarının civarında alıcılar çalıştırılmamalıdır. Bu durum ölçmeleri etkiler ve alıcıyı da bozabilir. Yansıma etkisini önlemek için yapılmış özel antenler vardır ve bu antenler zeminden yansıyarak gelen antenlere karşı daha duyarlıdır.

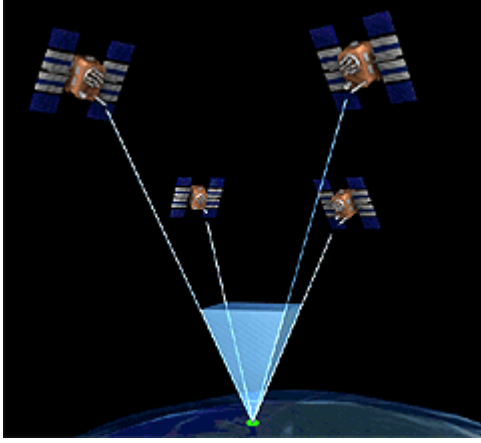
5.3. ANTEN FAZ MERKEZİ KAYIKLIĞI

Uydudan gelen sinyalin alıcı antenine girdiği noktaya anten faz merkezi denir ve bu nokta L1 ve L2 sinyalleri için ayrı ayrıdır. Antenin faz merkezi ile geometrik merkezi aynı değildir. Antenlerin bu özellikleri nominal bilgiler olarak üretici tarafından belirlenir. Faz merkezi kayıklık hataları aynı tip aletler kullanarak ve antenleri aynı yöne (Kuzey) yönlendirerek azaltılabilir. GPS ile konum belirlemede, GPS alıcılarıyla alınan ölçülerin uydu ileticisinin elektriksel merkezile alıcı antenin elektriksel merkezi arasındaki uzaklık olduğundan söz edilebilir. Elektriksel merkezi ile fiziksel merkezi arasındaki farka faz merkezi değişimi denir. Elektriksel merkez, gelen sinyalin gücünü ve yönünü değiştirmeye çalışır. Bununla birlikte, L1 ve L2 taşıyıcıları için faz merkezi değişimleri farklı özelliklere sahiptir. Bununla birlikte, L1 ve L2 taşıyıcıları için faz merkezi değişimleri farklı özelliklere sahiptir. Anten faz merkezi değişimleri anten yapısına göre birkaç milimetre ile 1-2 cm arasında değişmektedir. Önemli çalışmalarda bu değişimler dikkate alınmalıdır.

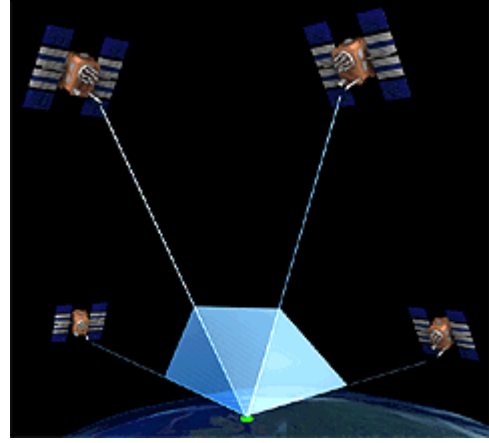
5.4. UYDU GEOMETRİSİ

Sonuçların doğruluğu kayıt alınan uyduların ufkun üzerindeki geometrik dağılımları ile de ilgilidir. Bu bilgi navigasyon çözümünde GDOP adıyla elde edilir. Genel bir yaklaşımla GDOP değerinin 2-6 arasında olması iyi bir geometriye, 6'dan büyük olması ise kötü bir geometriye işaret eder. Ölçü yapılan uyduların uzaydaki dağılımı da koordinat hesaplamalarını etkilemektedir. Örneğin, gözlenen uyduların hepsi birbirine çok yakınsa elde edilecek koordinat doğruluğu düşük, eğer dört bir doğrultuya homojen olarak dağılmışsa elde edilecek doğruluk yüksek olacaktır. Geometrik hatalar; Geometrik hassasiyet bozulması (Geometric Dilution of Precision, GDOP) olarak ifade edilmektedir.

GDOP küçük değer ise uyduların konumlarının o an için dağılımının iyi olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 15: Kötü Dağılımlı Uydu Geometrisi



Şekil 16: İyi Dağılımlı Uydu Geometrisi

Görsel olarak uydu geometrisine bağlı konum doğruluğu, uydulardan alıcıya oluşturulan uzaysal kirişlerle meydana gelen çok kenarlı cismin hacmi olarak düşünülebilir. Buna göre daha büyük hacimli bir geometrinin daha iyi konum doğruluğu vereceği söylenebilir. Uydu sayısının artmasının avantajları şöyle sıralanabilir;

- Çok uydu demek fazla ölçü demek, bu da kontrol demektir.
- Sistemik hatalar daha iyi modellenir.
- Çok uydu daha fazla doğruluk ve güvenilirlik demektir.
- Çok uydu daha geniş alanda çalışabilmek demektir.
- Çok uydu, daha hızlı ölçüye başlama ve daha hızlı belirsizlik çözümü demektir.

5.5. YÖRÜNGE BİLGİLERİNİN DOĞRULUĞU

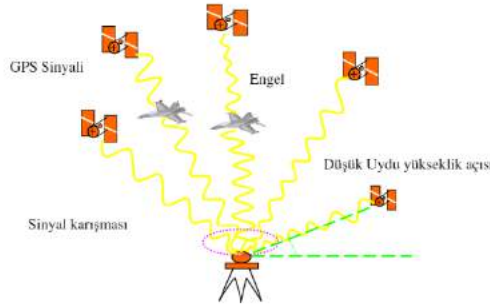
Uydu yörünge hataları uyduların ölçme anında gerçek yörüngelerinde hareket etmemeleri sonucunda oluşur. Bunun sebebi ayın ve dünyanın çekim kuvvetleri, güneş ışını basıncı, dünyanın basınlığı, dünyadan yansıyan ışınlar ve uydu yüzeyindeki ısı farklılıkları gibi sebeplerdir.

5.6. FAZ SİÇRAMALARI (CYCLE SLİP)

Ölçü esnasında uydu sinyali ile alıcı arasındaki faz bağlantısı kaybolursa faz sıçramaları ortaya çıkar. Faz sıçramasının belirlenmesi için çok çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden bazıları:

- Üçlü farklar yöntemi
- İkili farklar yöntemi
- İyonosferik düzeltmeler yöntemi
- Faz uzaklık kombinasyonu 'dur.

Bu faz ölçmeleri sonucunda kurulan matematik modeller ile Tam sayı belirsizlikleri önemli düzeyde küçültülürken, uydu- alıcı saat hataları tamamen çözülür. İyonosferik ve Troposferik hataların neden olduğu Atmosferik gecikme hataları kısmen giderilip, faz sıçramaları ve sinyal yansımaları gibi hatalar elimine edilerek, öngörülen duyarlılığa ulaşılır.



Şekil 17: Faz kesilmesi

5.7. GÖZLEM HATALARI

GPS gözlemlerinde üç çeşit gözlem hatası mevcuttur. Bunlar:

1. Rasgele Hatalar

Bu hatalar düzensiz olarak ortaya çıkar. Rasgele hataların sebebi olarak, alıcının hassasiyeti, sıcaklık, rüzgâr ve nem olarak gösterilebilir. Hata ölçülerek ölçülere düzeltme olarak getirilmelidir.

2. Düzenli (Sistematik) Hatalar

Ölçüleri düzenli olarak etkileyen hatalardır. Örnek olarak atmosferik ortam hataları ve anten faz merkezi kayıklığını söyleyebiliriz. Uygun ölçme yöntemleri kullanılarak etkileri azaltılabilir ve ölçülere düzeltme olarak getirilebilir.

3. Kaba Hatalar

Beklenen hata sınırlarının çok üstünde gelen hatalardır. İki yolla tespit edilebilir:

- İki ya da çok sayıda gözlem yapılır, kontrol ölçüleri alınır
- Bir ölçü dizisinde diğer ölçülerden önemli ölçüde sapan kaba hatalı ölçü istatistiksel test yöntemleriyle elde edilebilir.

5.8. ALICI VE UYDU SAAT HATALARI

Uydu ve alıcı saatlerinin senkronize oldukları kabul edilmektedir. Ancak uyduda atomik saatler, alıcıda ise daha düşük hassasiyetli quartz saatler olduğundan arada bir hata meydana gelmektedir. Bu hata sebebiyle uydu ile alıcı arasındaki mesafe yanlış olarak elde edilmektedir. Uydu saat hatası çok küçüktür ve bu hata kontrol merkezleri tarafından hesaplanarak navigasyon mesajları ile gönderilir. Hata küçük olduğundan ihmal edilebilir veya hesaplanabilir. Alıcı saat hatası ise 4 uydu ile gözlem yapılması sonucu düzeltilebilir.

5.9. TAŞIYICI DALGA FAZ BAŞLANGIÇ BELİRSİZLİĞİ (AMBIGUITY)

Taşıyıcı Dalga Faz Başlangıç Belirsizliği (Ambiguity) Bir alıcı ölçüye başladığında herhangi bir uydudan kaydedilen ilk sinyalin tam dalga boyu sayısı N belli değildir. Buna ambiguity denir. Bu hatayı gidermek için ikili veya üçlü fark yöntemleri kullanılabilir. Tabi bu süreç içinde hiç faz sıçraması (cycle slip) olmaması beklenir. Eğer olursa ve uydu sayısı 2'den az ise ölçüye yeniden başlamak gerekir. Ambiguity belirleme metotları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Geometrik Metot

Alıcı ve uydular arasındaki geometrik ilişkilerdeki zamana bağlı değişimleri kullanır. Genellikle sürekli faz ölçmeleri kullanılır. Ambiguity gerçek parametreler olarak tahmin edilir, alınır.

2. Kod ve Taşıyıcı Faz Kombinasyonu

Taşıyıcı faz ambiguity 'sini belirlemek için ambiguity 'den bağımsız olan kod faz ölçüleri kullanılır. Temel düşünce, kod çözümünün gürültü seviyesi taşıyıcı dalgaının yarı dalga uzunluğundan az oluncaya kadar kod ölçmeleri yapmaktır. Çözümde L1, L2 yerine 86,2 cm dalga uzunluğuna sahip Wide Line kombinasyonu kullanılır. Metot ölçü geometrisinden, uydu ve alıcı saatlerinden ve atmosferik gecikmelerden tamamen bağımsızdır. Birkaç dakika hatta daha kısa bir sürede ambiguity belirlenebilir.

3. Kombine Metotlar

Yukarıda sıralanan metotların kombinasyonlarını içerir. Başka teknikler ilave edilebilir. Temel düşünce bulunan ambiguity'nin bir sonraki iterasyonda çözümü geliştirmesidir. Ambiguity çözümü, hassas GPS ölçmeleri için bir anahtar faktördür. İstasyonlar arası mesafe küçük, data kalitesi iyi ise ambiguity çözümü yapımcılar tarafından sağlanan softwarelerde rutin olarak başarıyla çalışır. Aşağıdaki durumlarda ambiguity çözümünde problemler ortaya çıkar;

- İstasyonlar arası uzaklıklar büyük ($\geq 10\text{km}$) ve yüksek hassaslık ($\leq 1\text{cm}$) gerekli ise
- Data kalitesi zayıf ise
- Yalnızca birkaç uydu mevcut ise (≤ 4)
- İyonosfer aktif ise
- Ölçme süresi kısa ise (≤ 30 dakika)

KAYNAKÇA

1. Küresel Konumlama Sistemi'nin çalışmasından sorumlu Schriever Hava Kuvvetleri Üssü – GPS Operasyonları Merkezi <http://www.schriever.af.mil/GPS/>
2. ABD Hükümeti tarafından oluşturulan GPS hakkında kamunun bilgilenebilmesi için oluşturulmuş internet sitesi. <http://www.gps.gov/>
3. GPS uydu takımı durumunu, hükümet politikası ve diğer başvuru bağlantılarını içeren; uydu almanak verileri. <https://www.navcen.uscg.gov/?pageName=GPS>
4. <http://web.archive.org/web/20080822132227/http://www.usace.army.mil/publications/eng-manuals/em1110-1-1003/toc.htm> (ABD Ordusu, mühendislik için kılavuz)
5. https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/faq/gps/ (ABD hükümeti tarafından oluşturulmuş GPS tanımı vb. bilgiler)
6. Nihat., İstanbul Nirengi Çalışmalarının Yersel ve GPS Ölçüleri ile Değerlendirilmesi ve Analizi, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, Ocak 1997
7. ERSOY N, UZEL T, KIRAN H, (v.d.), "GPS'in Türkiye'de Uygulanabilirliği Üzerine Arsa Ofisi İçin Bir Çalışma" H.K.M.O.Dergisi, Ankara, 1995.
8. EREN, Kâmil., GPS Surveying (Lecture Notes) Ministry of Municipal and Rural Affairs Deputy Ministry for Town Planning Surveying and Cadastral Department, Kingdom of Saudi Arabia, 1992
9. FELL P.J., "Geodetic Positioning Using A Global Positioning System of Satellites" OSU, 1980
10. HOŞBAŞ R.G, KARTAL F, UZEL T, (v.d.), "Jeodezik Deformasyon Ağlarının GPS Yöntemi İle Ölçülmesi ve Bir Uygulama" H.K.M.O. 5. Harita Kurultayı, Ankara, 1995.
11. HOFFMANN WELLENHOF B., "Global Positioning System Theory and Practice" Springer-Verlag, 1992.
12. . KARTAL, Fahri., Modern Gözlem Teknikleri ve GPS, Y.T.Ü. İstanbul, 1991.
13. KINIK I, ŞAHİN K, ŞANLI I., "Ankara Test Ağında GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesi" Harita Dergisi, sayı 110, Ankara, 1993.

14. REMONDİ B.W., "Using The Global Positioning System (GPS) Phase Observable for Relative Geodesy Modelling" Processing and Results Ph.D.Thesis, The University of Texas at AUSTİN, 1984.
15. . UZEL, Turgut., EREN, Kâmil, GPS Ölçmeleri, YTÜ Matbaası, Yayın no:301, İstanbul, 1995.
16. WELLS D., "Quide To GPS Positioning" Canadian GPS Associates, 1986.

ÖZGEÇMİŞ



MERT ÇOLAK 1994'te VOLGOGRAD / RUSYA FED.'da doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini K. MARAŞ / Elbistan'da tamamladı; 2015 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümüne girdim halende bu bölümde eğitimime devam etmekteyim. Mekatronik Mühendisliğinin, kontrol ve yazılım alanları ile ilgilenmektedir. İş disiplinine sahip, verilen görevi zamanında yerine getiren, sosyal yönü kuvvetli, iletişim becerilerinde iyi bir kişiliğe sahiptir. İyi seviyede İngilizce bilmektedir.

İletişim Bilgileri

E-posta: info@mertcolak.com.tr

Web site: mertcolak.com.tr

Diğer Bağlantılar:

<https://github.com/mmerttccolakk>

<https://easyeda.com/mmerttccolakk>

<https://tr.linkedin.com/in/mmerttccolakk>



