LOKAL ALAN DİFERANSİYEL GPS HASSAS YAKLAŞMASI VE GÖZLEM SONRASI HESAPLAMA YÖNTEMİYLE UYGULAMASI

134116

Rıdvan Faruk ÖZENÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI A.B.D. BAŞKANLIĞI)

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

134116

HAZİRAN 2003
ANKARA

Rıdvan Faruk ÖZENÇ tarafından hazırlanan LOKAL ALAN DİFERANSİYEL GPS HASSAS YAKLAŞMASI VE GÖZLEM SONRASI HESAPLAMA YÖNTEMİYLE UYGULAMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Metin U. SALAMCI
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK

Üye : Doç. Dr. Nizami AKTÜRK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin U. SALAMCI

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i

ABSTRACT ii

TEŞEKKÜR iii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ iv

ŞEKİLLERİN LİSTESİ v

SİMGELER VE KISALTMALAR vii

1. GİRİŞ 1

2. HAVA ARAÇLARININ PİSTLERE EMNİYETLE İNEBİLMESİ İÇİN KULLANILAN USULLER 7

3. HAVACILIKTA KULLANILAN HASSAS YAKLAŞMA SİSTEMLERİ 10

3.1. ILS (Instrument Landing System) Aletli Yaklaşma Sistemi 10

3.2. MLS (Microwave Landing System) Mikrodalga İniş Sistemi 22

3.3. SLS (Satellite Landing System) Uydu Bazlı İniş Sistemi 27

3.4. TLS(Transponder Landing System) Transponder İniş Sistemi 30

3.5. GCA/PAR (Ground Controlled Approach) Yerden Kontrollü Hassas Yaklaşma ve İniş Sistemi 33

4. UYDU BAZLI NAVİGASYON 34

4.1. GPS'in Tanıtılması 35

4.2. GPS Hata Analizi 41

5. DİFERANSİYEL UYDU HASSAS YAKLAŞMA VE İNİŞ SİSTEMİ 51

5.1. Diferansiyel GPS (DGPS) 51

5.2. DGPS Düzeltmelerini Hesaplama Yöntemleri 54

5.3. Ana DGPS Teknikleri.....58

5.4. Diferansiyel GPS ve Hata Kaynakları.....67

6. DGPS HASSAS YAKLAŞMA GÖZLEM SONRASI HESAPLAMA (POST-PROCESS) YÖNTEMİYLE UYGULAMASI..... 72

6.1. Testin Yapılışı 72

7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....85

KAYNAKLAR.....88

EKLER 91

ÖZGEÇMİŞ 99

LOKAL ALAN DİFERANSİYEL GPS HASSAS YAKLAŞMASI VE GÖZLEM SONRASI HESAPLAMA YÖNTEMİYLE UYGULAMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Rıdvan Faruk ÖZENÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2003

ÖZET

Hava araçları için uçuşun en kritik safhası, inilecek hava alanına yaklaşma ve iniş safhasıdır. Özellikle meteorolojik koşulların elverişsiz olduğu durumlarda, hava araçlarının, pistlere emniyetle inebilmeleri için hassas yaklaşma ve iniş sistemlerine ihtiyaç vardır. Hava aracı kazalarının yarısından fazlasının iniş safhasında meydana geldiği göz önüne alınarak, hava aracı kazalarını azaltabilmek ve hassas yaklaşma ve iniş sistemlerini bütün pistlere yaygın olarak uygulayabilmek için dünyada değişik sistemler ve uygulamalar gündemde bulunmaktadır. Günümüzde kullanılan hassas yaklaşma ve iniş sistemleri ILS, MLS, TLS, SLS, GCA/PAR sistemleri olup bu çalışmanın başında gözden geçirilmiş avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

Hassas yaklaşma ve iniş metotlarından birisi olan lokal olan DGPS hassas yaklaşma ve iniş uygulaması, bu çalışmanın temelini oluşturmuş ve dünyada en yaygın kullanılan ILS hassas yaklaşma ve iniş sistemi, DGPS hassas yaklaşma ve iniş sistemi gözlem sonrası hesaplama (post-process) uygulaması ile karşılaştırılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uygulamanın yapıldığı Ankara ili civarında bulunan hava alanlarında lokal alanda ,uydu tabanlı hassas yaklaşma ve iniş sistemi olan DGPS sisteminin Kategori-I seviyesinde uygulanabileceği değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 1041

Anahtar Kelimeler : DGPS, Hassas Yaklaşma ve İniş Sistemleri, ILS, Uçak Kazaları

Sayfa Adedi : 99

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Metin U. SALAMCI

LOCAL AREA DIFFERENTIAL GPS PRECISION APPROACH AND POST-PROCESS APPLICATION

(M.Sc.Thesis)

Rıdvan Faruk ÖZENÇ

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
JUNE 2003

ABSTRACT

Aircrafts need precision approach and landing systems for safely landing especially in unsuitable meteorological conditions.

When the half of aircraft accidents occurred in the approaching and landing phases are considered, it is seen that different landing systems and applications have been in use in airports, in order to both reduce the aircraft accidents and apply the precision approach and landing systems.

Precision approach and landing systems, namely ILS, MLS, TLS, SLS, GCA/PAR, which are commonly used in the airports, are examined at the beginning of this study and the advantages and disadvantages are given.

The main contribution in this work is the post-process application of DGPS precision approach and landing system and comparison of this system with ILS. According to results, it can be stated that the DGPS satellite based precision approach and landing system can be used for CAT-I approaches in local area of Ankara's airfields.

Science Code	: 1041
Key Words	: DGPS, Precision Approach and Landing System, ILS, Aircraft Accidents
Page Number	: 99
Supervisor	: Asst. Prof. Dr. Metin U. SALAMCI

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca başlangıçta ilk tez yürütücülüğümü üstlenen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Cevdet AYGÜN' e, kendisi görevden ayrıldıktan sonra bana bilgi ve deneyimleriyle yardımcı olan ve beni yönlendiren tez danışmanı hocam sayın Yrd. Doç. Dr Metin U. SALAMCI ya, çok kıymetli bilgi ve tecrübelerinden tezimin her aşamasında faydalandığım sayın komutanım Dr Yb. Onur LENK e, Harita Genel Komutanlığı Jeodezi ve Uzay Bilimleri Dairesinde görevli arkadaşlarımdan bana her türlü desteği veren. Müh. Yzb. Ali TÜRKEZER ve Müh. Ütğm. Yavuz Selim ŞENGÜN'e ve beni çalışmalarımda yalnız bırakmayan Kr. Plt. Ütğm. Hüseyin TOK ve Arş.Gör. Tuncay KARAÇAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 2.1.	Hassas yaklaşma kategorileri	8
Çizelge 3.1.	Localizer ve Glide Slope frekans eşleşmesi	15
Çizelge 4.1.	DOP faktörleri	47
Çizelge 4.2.	DOP değerleri	47
Çizelge 4.3	SA kapalı durumdayken hata tablosu	49
Çizelge 4.4.	SA açık durumdayken hata tablosu	49
Çizelge 5.1.	Pseudurange doğruluğu	53
Çizelge 5.2.	DGPS doğrulukları (SPS kullanıcısı için)	54
Çizelge 5.3.	DGPS hata kaynakları ve büyüklükleri	71
Çizelge 6.1.	Ashtech Z-Surveyor GPS alıcısı özellikleri	73
Çizelge 6.2.	Havaaracı iniş sistemlerinde FAA navigasyon standartları	75

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Örnek alçalma kartı 9
Şekil 3.1. Standart ILS konfigürasyonu..... 12
Şekil 3.2. Localizer vericilerinin normal kapsama limitleri..... 14
Şekil 3.3. Yaklaşma ışıkları..... 18
Şekil 3.4. Hassas yaklaşma yol göstergesi (PAPİ)..... 19
Şekil 3.5. Kategori III pist konfigürasyonu..... 20
Şekil 3.6. ILS Yaklaşma hattındaki sinyal hataları..... 21
Şekil 3.7. MLS kapsama alanlar..... 23
Şekil 3.8. DGPS yaklaşmaları..... 29
Şekil 3.9. TLS iniş sistemi..... 31
Şekil 4.1. GPS Kontrol-uzay-kullanıcı bölümleri ilişkisi..... 38
Şekil 4.2. SA Açıkken nokta konumlama (1Mayıs 2000)..... 43
Şekil 4.3. SA Kapalıyken nokta konumlama (3 Mayıs 2000)..... 44
Şekil 4.4. Multipath etkisi..... 45
Şekil 4.5. Uydu geometrisi..... 48
Şekil 5.1. Lokal alan diferansiyel GPS'i..... 52
Şekil 5.2. DGPS' de temel prensip..... 56
Şekil 5.3. Gözlem sonrası hesaplama (Post Processing)..... 57
Şekil 5.4. Sabit istasyon ve gezen alıcı veri toplama yükseklik açı sınırı..... 58
Şekil 5.5. DGPS Teknikleri ve doğrulukları..... 59
Şekil 5.6. Örnek WADGPS ağı..... 61
Şekil 5.7. DGPS Referans istasyon kısmı veri iletişim blok diyagramı..... 63
Şekil 5.8. DGPS Uçaktaki kullanıcı kısmı veri iletişim blok diyagramı..... 65
Şekil 5.9. Efemeris hatası 69
Şekil 6.1. Mesafeye bağımlı düşey doğruluk 76
Şekil 6.2. Yüksekliğe bağımlı düşey doğruluk I..... 77
Şekil 6.3. Yüksekliğe bağımlı düşey doğruluk II..... 77
Şekil 6.4. Uçulan hat düşey..... 78

Şekil 6.5. Pist hizası mesafeye bağımlı yatay konum doğruluğu.....79
Şekil 6.6. Uçulan hat yatay-I 80
Şekil 6.7. Uçulan hat yatay-II..... 81
Şekil 6.8. Uçulan hat 3 boyutlu 82
Şekil 6.9. Uçulan hat 3 Boyutlu Göreceli 83

KISALTMA VE TERİMLER

Kısaltmalar	Açıklama	İngilizce
ALS	Yaklaşma Işıklandırma Sistemi	Approach Lighting System
AIP	Havacılık Enformasyon Yayınları	Aeronautical information Publication
AZ	Azimuth	Azimuth
B/C	Arka Kurs	Back Course
BAZ	Arka Azimuth	Back Azimuth
CA	Açık Giriş Kodu	Coarse Acquisition/Clear Access
CAT	Kategori	Category
DGPS	Diferansiyel Global Konumlama Sistemi	Differantial Global Positioning System
DH	Karar Yüksekliği	Decision Height
DME	Mesafe Ölçme Cihazı	Distance Measuring Equipment
DME/P	Hassas Mesafe Ölçme Cihazı	Distance Measuring Equipment/Precision
DOP	Duyarlık Kaybı Faktörleri	Dilution of Precision
EC	Avrupa Komisyonu	European Commission
EFEMERIS	Uydu Konumu	Ephemerides
EGNOS	Avrupa Yeryüzü Navigasyon Kapsama Servisi	European Geostationary Navigation Overlay Service
ESA	Avrupa Uzay Ajansı	European Space Agency
FA	Son Yaklaşma	Final Approach
FAA	Federal Havacılık Kurumu (ABD)	Federal Aviation Administiration(USA)
FAF	Son Yaklaşma Fiksi	Final Approach Fix

FT	Fit (Ölçü Birimi)	Feet
GALILEO	Avrupa Uyduları	GALILEO
GCA	Yer Kontrollü Yaklaşma	Ground Controlled Approach
GDOP	Geometrik Duyarlılık Kaybı	Geometric Dilution of Precision
GLONASS	Rus Silahlı Kuvvetleri Global Navigasyon Uydu Sistemi	GLONASS (Global Navigation Satellite System)
GNSS	Avrupa Global Navigasyon Uydu Sistemi	Global Navigation Satellite System
GP	Süzülüş Yolu	Glide Path
GPS	Global Konumlama Sistemi	Global Positioning System
GS	Süzülüş Hattı	Glide Slope
HDOP	Yatay Duyarlık Kaybı	Horizontal Dilution of Precision
IAF	İlk Yaklaşma Fiksi	Initial Approach Fix
ICAO	Uluslar Arası Sivil Havacılık Organizasyonu	International Civil Aviation Organization
IFR	Alet Uçuş Şartları	Instrument Flight Rules
ILS	Aletli Yaklaşma Sistemi	Instrument Landing System
IM	İç Markır	Inner Marker
IMC	Aletli Meteorolojik Koşullar	Instrument Meteorological conditions
IA	İlk Yaklaşma	Initial Approach
JEPPESEN	Havacılık Enformasyon Yayınları Şirketi	Jeppesen
JPO	Ortak Programlama Bölümü	Joint Program Office

DOKÜMANTASYON MERKEZİ

LAAS	Lokal Alan Kapsama Hizmeti (GPS)	Local Area Augmentation Service
LADGPS	Lokal Alan Diferansiyel (GPS)	Local Area Differantial GPS
LOC	Localizer (Yatay Yol Gösterici)	Localizer
LOM	Radyo Beacon La Beraber Dış Markır	Locator Outer Marker
LOCALIZER	VHF Yatay Yol Gösterici	Localizer
LORAN	Uzun Menzilli Navigasyon Sistemi	Long Range Air Navigation System
M	Metre	Meter
MDA	Asgari Alçalma İrtifası	Minimum Descent Altitude
MLS	Mikrodalga İniş Sistemi	Microwave landing System
MM	Orta Marker	Middle Marker
MSL	Deniz Seviyesi	Mean Sea Level
MSAS	Japon Uydu Kapsama Sistemi	MTSAT Satellite Based Augmentation system (Japan)
MTSAT	Japon Uydu Sistemi	Multi-functional Transportation Satellite
MULTIPATH	Sinyal Yansıması	Multipath
NDB	Yönlendirilmemiş Radyo Biykını	Non-Directional Radio Beacon
NM	Deniz Mili	Nautical Mile
OM	Dış Marker	Outer Marker
PAPI	Hassas Yaklaşma İniş Yolu Göstergesi	Precision Approach Path Indicator
PAR	Hassas Yaklaşma Radarı	Precision Approach Radar
PDOP	Hassas Duyarlık Kaybı	Position Dilution of Precision
PL	**Benzetilmiş Yerytüzü Uydusu**	**Pseudosatellite**

POST PROCESS	Gözlem Sonrası Hesaplama	Post Process
PPS	Hassas Konumlama Hizmeti	Precise Positioning Service
PRN	Rasgele Yalancı Gürültü	Pseudo Random Noise
PSEUDOLITE	Benzetilmiş Yeryüzü Uydusu	Pseudolite
PSEUDORANGE	Uydu Alıcı Mesafesi	Pseudorange
RAIM	Doğruluk Gözlemleyen Otonom Alıcı	Reciever Autonomous Integrity Monitoring
RAPCON	Radar Yaklaşma Kontrol	Radar Approach Control
RF	Radyo Frekansı	Radio Frequency
RMS	Karesel Hata Ortalaması	Root Mean Square
RNAV	Saha Seyrüseferi	Area Navigation
RNP	İstenen Seyrüsefer Performansı	Required Navigation Performance
RTCA	Havacılık Telsiz Teknik Komisyonu	Radio Tecnical Commission for Aeronautical
RTCM	Denizcilik Telsiz Teknik Komisyonu	Radio Tecnical Commission for Marine
RVR	Pist Görüş Mesafesi	Runway Visual Range
RINEX	Alıcı, Bağımsız Değişim Formatı (GPS)	Receiver Independent Exchange Format (GPS)
RWY	Pist	Runway
SA	Seçimli Doğruluk Erişimi	Selective Availibility
SLS	Uydu İniş Sistemi	Satellite Landing System
SPS	Standart Konumlama Hizmeti	Standart Positioning Service
TACAN	UHF Taktik Seyrüsefer Yardımcısı	UHF Tactical Air Navigation Aid
TDOP	Zamansal Duyarlık Kaybı	Time Dilution of Precision

TLS	Transponder İniş Sistemi	Transponder Landing System
UHF	Ultra Yüksek Frekans	Ultra High Frequency
UERE	Uydu Alıcı Mesafe Hatası	User Equivalent Range Error
VASİ	Görerek Yaklaşma Eğim Göstergesi	Visual Approach Slope Indicator
VDOP	Dikey Duyarlık Kaybı	Vertical Dilution of Precision
VFR	Görerek Uçuş Kuralları	Visual Flight Rules
VMC	Görerek Meteorolojik Şartlar	Visual Meteorological Conditions
VOR	VHF Çok Yönlü Radyo Menzili	VHF Omnidirectional Radio Range
VORTEX	Uçak Gerisinde Oluşan Türbülans	Vortex
WAAS	Geniş Alan Kapsama Hizmeti	Wide Area Augmentation Service
WADGPS	Geniş Alan Diferansiyel GPS	Wide Area Differantial GPS
WİNDSHEAR	Rüzgar Makaslaması	Windshear
WGS84	Dünya Jeodezik Sistemi 1984	World Geodetic System - 1984

1. GİRİŞ

İnsanoğlu ilkel çağlardan günümüze kadar varmak istediği yerlere gitmek veya gittiği yerden geri dönebilmek için değişik yön bulma teknikleri kullana gelmiştir. Bunlar içinde hem yersel nirengiler kullanılmış, hem de özellikle insanoğlunun okyanuslara açılması ile, yıldızların konumlarından faydalanmak suretiyle göksel nirengiler kullanılmıştır.

Bundan 25 yıl öncesine kadar hava araçları seyrüseferlerini yerdeki nirengi ve radyo seyrüsefer cihazlarını kullanarak yada kendi içlerinde haritalara göre hesaplamalar yaparak gerçekleştirirlerdi. Bu yöntemlerde çoğu zaman sınırlamalarla karşılaşılması da kaçınılmazdı. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için uydu tabanlı radyo seyrüsefer sistemleri tasarlandı. İlk uydu seyrüsefer sistemlerinden biri Transit'tir. Transit'ten elde edilen tecrübeler ve birçok deneysel sistemler yardımı ile ABD tarafından Global Konumlama Sistemi (GPS), Rusya federasyonu tarafından ise GLONASS geliştirilmiştir. GLONASS ve GPS birbirlerine çok benzeyen sistemler olmasına rağmen GPS dünyada en yaygın olarak kullanılanıdır.

GPS, başlangıçta askeri amaçlar için tasarlanmış olmasına rağmen bugün dünya üzerinde sivil kullanıcıların sayısı askeri kullanıcıları aşmıştır. GPS ile konum belirleme ve navigasyon hizmetleri iki farklı kullanıcı seviyesinde sunulmaktadır. Bunlar Standart Konum Belirleme Hizmeti (SPS, Standard Positioning Service) ve Duyarlı Konum Belirleme Hizmeti (PPS, Precise Positioning Service) dir. PPS, yüksek doğruluklu konum, hız ve zaman belirleme hizmeti olup yalnızca yetkili (askeri ve güvenlik amaçlı) kullanıcılara açıktır ve şu andaki üç boyutlu konum doğruluğu 16 m.'den daha iyidir. SPS ise tüm kullanıcılara açık olup, doğruluğu PPS'den daha düşüktür. SA (Selective Availibility) etkisinin kalkmasıyla doğruluğu artarak üç boyutlu ortamda 20-25 m. civarındadır (1).

Her bir GPS uydusu, Ana Kontrol Merkezince hesaplanan ve yer antenleri aracılığıyla gönderilen kendi yörüngesine ait bilgileri alır ve düzeltilmiş zaman bilgileri ile birlikte iki temel frekans üzerinden yayın yapar. L1 ve L2 adı verilen bu frekanslar üzerinde iki tür kod ve navigasyon mesajı modüle edilmiştir. Bunlar P

Kod ve C/A kodlarıdır. L1 üzerine bu iki kod da modüle edilmişken, L2 üzerine yalnızca P kodu modüle edilmiştir. C/A kodunun yapısı gizliliğe tabi olmadığından tüm dünyada kullanıcıların hizmetine açıktır. Şimdilik, P kodu da gizli değildir fakat ABD istediği an bu kodu gizleme seçeneğini elinde tutmaktadır (2).

GPS bugüne kadar geliştirilmiş en yüksek doğruluklu global bir konum belirleme ve navigasyon sistemi olmasına karşın, tüm diğer sistemlerde olduğu gibi bazı zayıf tarafları vardır. Başka bir deyişle, GPS ölçülerinden elde edilen sonuçları etkileyen bazı sistematik ve rastlantısal sapmalar söz konusudur. Bu sapmaları çok farklı şekillerde sınıflandırmak mümkün olmakla birlikte, bunlar; uydulara bağlı sapmalar, alıcı donanımına bağlı sapmalar ve ortam etkileri şeklinde olup, uydu Efemeris hataları, uydu saati hataları, iyonosferik etki, troposferik etki, sinyal yansıma (multipath) etkisi, anten faz merkezi hataları gibi hatalardır (3).

Bu sapmalar, sonuç olarak Pseudorange (ham uydu-alıcı uzaklığı) ölçümünde sapmalara sebep olmaktadır. Bu hataların oluşturduğu sonuç hataya kısaca UERE (Uydu alıcı arasındaki mesafe hatası) adı verilmektedir.

GPS ile navigasyon ölçümlerinde üç boyutlu konumu etkileyen bir diğer faktör ise gökyüzündeki uydu geometrisidir. Uydu geometrisi de GPS ile anlık konum belirlemede önemli bir hata kaynağıdır. Uyduların birbirlerine ve yeryüzündeki alıcıya göre olan konumlarının, alıcı anteni koordinatlarının belirlenmesindeki hatalara katkısı duyarlılık kaybı (DOP) faktörleri ile ifade edilmektedir. Genel olarak yüksek DOP değerleri uydu geometrisinin doğru konum belirlemek için uygun olmadığını, düşük DOP değeri ise uydu dağılımının çok iyi olduğunu ifade eder.

Sonuç olarak, GPS'in navigasyon amaçlı kullanılması anlık konum belirleme gibi durumlarda alıcıda hesaplanan ve ekranda okunan konum ve zaman bilgilerinin doğruluğu UERE ve DOP faktörlerinin büyüklüğüne bağlıdır.

Hata kaynaklarının özellikle sivil kullanıcılar için aşağı seviyelere çekilerek konum belirleme doğruluğunu yükseltmek amacıyla bazı girişim ve çalışmalar halen devam etmektedir. Bunlardan birisi 2003 yılından itibaren Block II R-M uydularında L2

frekansı üzerinden C/A kod yayınlanması projesi ve bu sayede sivil kullanıcıların çift frekans özelliğinden yararlanarak iyonosferik hata oranını azaltmaları olanağıdır. Bir diğeri 2005 yılından itibaren fırlatılması planlanan Block II F uyduları üzerinden yayınlanacak L5 frekansıdır. L5 sinyalinin asıl amacı hava araçlarının güvenli navigasyonudur ve bütün kullanıcılara açık olacağı düşünülmektedir.

Diğer bir girişim ise, çift frekanslı GPS ve GLONASS alıcıları ile yaklaşık 48 uyduya erişim olanağının mevcudiyetidir. GPS ve GLONASS sistemlerinin birlikte kullanılmaya başlanması navigasyon doğruluklarında önemli iyileşmelere neden olacaktır. Buna benzer yine diğer bir girişim Avrupa uyduları (Galileo) projesidir. GNSS (Küresel uydu navigasyon sistemi) nin tamamlanması ile 2010 yıllarından itibaren uydu bazlı navigasyonda çok daha fazla uyduya ulaşma imkanı ile navigasyon doğruluğunun artacağı değerlendirilmektedir.

GPS ile elde edilen anlık doğruluk birçok amaç için yeterli olmakla birlikte, bazı navigasyon uygulamalarında örneğin bu çalışmada ele aldığımız hava araçlarının pistlere hassas yaklaşma ve iniş navigasyonları uygulamalarında daha yüksek doğruluklara gereksinim duyulmaktadır. Bu sebeple istenen doğruluklara erişebilmek DGPS (Diferansiyel GPS) tekniği ile mümkün olabilmektedir. Birçok DGPS tekniği olmakla birlikte, bunlar çok genel olarak küçük alan DGPS (LADGPS, Lokal alan DGPS) ve büyük alan DGPS (WADGPS, Geniş alan DGPS) tekniği olarak iki ana sınıfta toplanabilir.

Yukarıda değindiğimiz gelecekte GPS ve diğer uydu sistemlerinin de katılımı ile GPS konum doğruluğunu arttıracak girişimler, DGPS doğruluğunu da direk etkileyen ve konum doğruluğunu arttırıcı etki yapacak girişimler olacaktır.

DGPS tekniği sayesinde hava araçları, GPS'e nazaran çok daha hassas anlık konum doğruluğu elde ederek güvenli navigasyon yapabilmektedirler. Geniş Alan Diferansiyel tekniği günümüzde ABD tarafından geliştirilmekte olup, başlangıçta rotadaki uçuşlar için daha hassas konum belirleme ve navigasyon amacıyla planlanmakta, hassas yaklaşma ve iniş safhası Geniş Alan Diferansiyel tekniği için gelecekteki planlamalarda yer almaktadır. Hava araçlarının uçuşun son safhası olan

YÖK DOKÜMANTASYON MERKEZİ

yaklaşma ve inişlerinde kullanılması planlanan ve test edilen şuandaki sistem Lokal Alan Diferansiyel GPS tekniğidir.

Konumu daha önceden duyarlı olarak belirlenmiş sabit istasyonun en az 4 uyduya eş zamanlı GPS gözlemi yaparak, elde ettiği tüm uydulara ait uydu-alıcı uzaklıklarını hesaplayarak bu değerleri kendi hassas konumundan hesapladığı değerlerle karşılaştırıp, aradaki farkları diferansiyel düzeltme olarak lokal alandaki hava araçlarına göndermesi ve hava aracının da kendi GPS alıcısında kaydettiği gözlemlere düzeltme olarak bunu alması ve konumunu doğru olarak belirlemesi esasına dayanan DGPS tekniği, uydu geometrisinin yetersiz olduğu durumlarda yeryüzüne (havaalanı çevresi) PL (Pseudosatellite)'ler tesis edilmesi sayesinde uygulaması gerçekleştirilebilen bir tekniktir.

Türkiye'de mevcut sivil havaalanlarında kullanılan hassas yaklaşma ve iniş sistemi ILS (Aletli Yaklaşma Sistemi), Askeri havaalanlarında yine kullanılan sistem ILS ve GCA/PAR hassas yaklaşma sistemleridir. Sivil uçakların GCA/PAR hassas yaklaşma ve iniş yapma onayı yoktur. Türkiye deki havaalanlarının büyük bir kısmında hassas yaklaşma ve iniş sistemi olmayıp, yerine hassas olamayan yaklaşma sistemleri bulunmaktadır. Güncel olarak kullanılan klasik ILS hassas yaklaşma ve iniş sistemi, her havaalanın pistlerine veya pistin her iki tarafına uygulanması her zaman olanaklı olmamaktadır. Bunun sebepleri arasında en önemlisi arazinin topografik yapısının mevcut yer bazlı hassas yaklaşma sistemlerinin (ILS vb.) kurulması ve işletilmesine müsaade etmemesidir.

Bu sebeple bu sistemlerin kurulamadığı havaalanlarına, oluşabilecek hava aracı kazalarını önlemek veya en aza indirmek maksadıyla alternatif sistemler geliştirme gereğinden hareket ederek bu çalışma yapılmış ve gelecekte hava aracı kazalarının minimuma indirilmesi için DGPS tekniğinden faydalanılarak hava aracı hassas yaklaşma ve inişlerinin yapılabileceği çalışma içinde vurgulanmıştır.

Dünyada en yaygın olarak kullanılan hassas yaklaşma sistemi ILS sistemi olmasına rağmen topografik yapı nedeniyle yeryüzündeki havaalanlarından yalnızca 1/20'sinde bu sistemin kullanılabiliyor olması, elektromanyetik sinyal tekniğindeki

bazı dezavantajlar, kapsama alanı darlığı, meteorolojik koşullardan etkilenme gibi bazı nedenlerle yer bazlı yeni alternatif sistemler geliştirilmiş, ancak son 20 yılda uydu teknolojisindeki gelişmeler uydu bazlı hassas yaklaşma ve iniş sistemlerini ön plana çıkarmıştır.

Bu çalışmada DGPS'in piste son yaklaşmadaki hassasiyeti Gözlem Sonrası Hesaplama (post-process) yöntemi kullanılarak ölçülmüş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Post process DGPS uygulaması yapmak için bir yazılıma ihtiyaç duyulmuş olup, bu çalışmada DGPS yazılımı için MSTAR programı kullanılmıştır. Uygulama bu şekilde post process yapılabildiği gibi, gerçek zamanlı olarak da yapılabilir. Bu durumda gerçek zamanlı (real-time) DGPS uygulaması yapılabilmesi için bir referans istasyonu alıcısına ihtiyaç duyulur. Referans istasyon uydulara yaptığı ölçümlere kendi hassas konumundan faydalanarak düzeltmeler getirerek, elde edilen düzeltmeleri yayınlama yeteneğine sahip olması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilecek bir çok alıcı mevcuttur.

Havaalanlarına uçakların hassas yaklaşma sistemleri ile ilgili olarak literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalarda genellikle her bir yaklaşma sistemi ile ilgili değerlendirmeler yer almakta ve ele alınan yaklaşma sistemi, diğer yaklaşma sistemleri ile karşılaştırılmaktadır. Ticari değeri olması da dikkate alındığında literatürde en çok ILS ile ilgili çalışma yer almaktadır. Bunlardan güncel olan bazı çalışmalar arasında Richard vd. (4), Odunaiya vd. (5) sayılabilir. GPS'in havacılıkta kullanılması ile ilgili olarak yapılan çalışmalar ise hassas olmayan yaklaşmalar kategorisinde değerlendirilmekte (6), (7) ve salt GPS çoğunlukla rota uçuşlarında kullanılmaktadır (8).

Diferansiyel GPS (DGPS) sisteminin havacılıkta bir hassas yaklaşma ve iniş metodu olarak kullanılmasına ilişkin olarak yapılan çalışmalar arasında Hundley vd. (9), Lavrence vd. (10), Scaramuzza (11), Cohen vd. (12), Bayliss vd. (13), Anon (14), Van Grass vd. (15), Cobb vd. (16), ve Pervan vd. (17)'nin çalışmaları sayılabilir. Bu çalışmalarda bazı deneysel uygulamalar da yer almakta ve sonuçlar diğer yaklaşma ve iniş sistemleri ile karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

DGPS'in denizcilikte uygulaması ile ilgili olarak Lenk (18)'in çalışmasından bahsedilebilir. Havacılık alanında DGPS'in uygulaması ile ilgili olarak Türkiye'de yapılmış herhangi bir yayına rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, DGPS test uygulaması havacılık alanına uygulanmıştır. Bu çalışmanın ikinci bölümünde, hava araçlarının pistlere emniyetle yaklaşma ve iniş yapabilmeleri için kullanılan genel usullerden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, dünyada mevcut hava araçları için değişik hassas yaklaşma yöntemleri tanıtılmış, kendi içlerindeki kullanım kolaylıklarından ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde ise uydu bazlı navigasyon sisteminin temel ögesini oluşturan GPS uydu sistemi ve bazı temel hata kaynakları incelenmiştir.

Bu çalışmanın beş ve altıncı bölümlerinde Diferansiyel GPS tanımlanmış, navigasyon ve pistlere hassas yaklaşmada kullanımı açıklanmış ve mevcut ILS'e nazaran DGPS'in hassas yaklaşmada performansı, DGPS yazılım programında Gözlem Sonrası Hesaplama yöntemiyle düzeltmeleri yapılarak daha hassas konumlar elde edilmiş ve Ankara Esenboğa hava alanı 03 sol pisti ILS hassas yaklaşma ve iniş sisteminin matematiksel değerleriyle karşılaştırılmış ve grafik olarak gösterilmiştir.

Son bölümde ise DGPS Post Process uygulama ile ilgili sonuçlar verilmiş ve bunlar hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Havacılıkta kullanılan bir çok terim uluslar arası kullanım niteliği kazanmış İngilizce terimlerdir. Bu tezde uluslararası uyumun korunabilmesi amacıyla, İngilizce terimler aynen kullanılmıştır. Ancak her bir terimin açıklaması kısaltmalar bölümünde verilmektedir.

2. HAVA ARAÇLARININ PİSTLERE EMNİYETLE İNEBİLMESİ İÇİN KULLANILAN USULLER

Hava araçlarının (uçak, helikopter vb.) bir yerden bir yere uçuşu, diğer bir deyişle seyrüseferlerinin en kritik bölümü, inecekleri alana yaklaşma ve iniş safhasıdır. Bu safha, yapılan uçuşun en riskli anıdır ve felaketle sonuçlanan kazaların yaklaşık yarısı bu safhada gerçekleşmiştir. Havacılıkta başarılı her uçuş emniyetli bir inişle doruğa ulaşır. Hava araçları inecekleri yerlere iki kurala göre yaklaşırlar. Bunlardan birisi VFR (Visual Flight Rules) denilen görerek uçuş şartları, bir diğeri ise IFR (Instrument Flight Rules) olarak adlandırılan aletli uçuş şartlarıdır. Bundan sonra gelen bölümlerde özellikle gece, zayıf görüş ve elverişsiz hava, yani IMC (Instrument Meteorological Conditions) şartlarda hava araçlarının iniş yerlerine emniyetli iniş yapabilmelerini sağlayan sistemlerin varlığı ve daha da geliştirilebilmeleri sayesinde kazaların en aza indirilebileceğinden bahsedilmektedir. Bu iniş sistemlerinin bazıları yer istasyonlarından alınan verileri, bazıları uydulardan aldığı bilgileri, bazıları da her ikisini de kullanarak pilota yada otopilota , gece, zayıf görüş şartlarında ve elverişsiz hava koşullarında belirlenen kategorilerde emniyetli iniş imkanı sağlarlar. Bu sayede hem kaza riski, hem de hava araçlarının alternatif meydanlara gitme maliyeti azaltılmış olur.

Uluslar arası sivil havacılık organizasyonu (ICAO), aletli iniş sistemini Çizelge 2.1 de verildiği gibi sivil uçaklar için üç kategori halinde belirlemiştir (19), (31). Bu kategorilere göre alet alçalması yapan bir uçak, aşağıda belirtildiği gibi, alçalma karar irtifasına (DH) kadar alçalarak minimum pist görüş mesafesi varsa inişini tamamlayabilmekte (Kategori III.C hariç) aksi halde pas geçerek uygun olan başka bir iniş meydanına gitmek durumunda kalmaktadır.

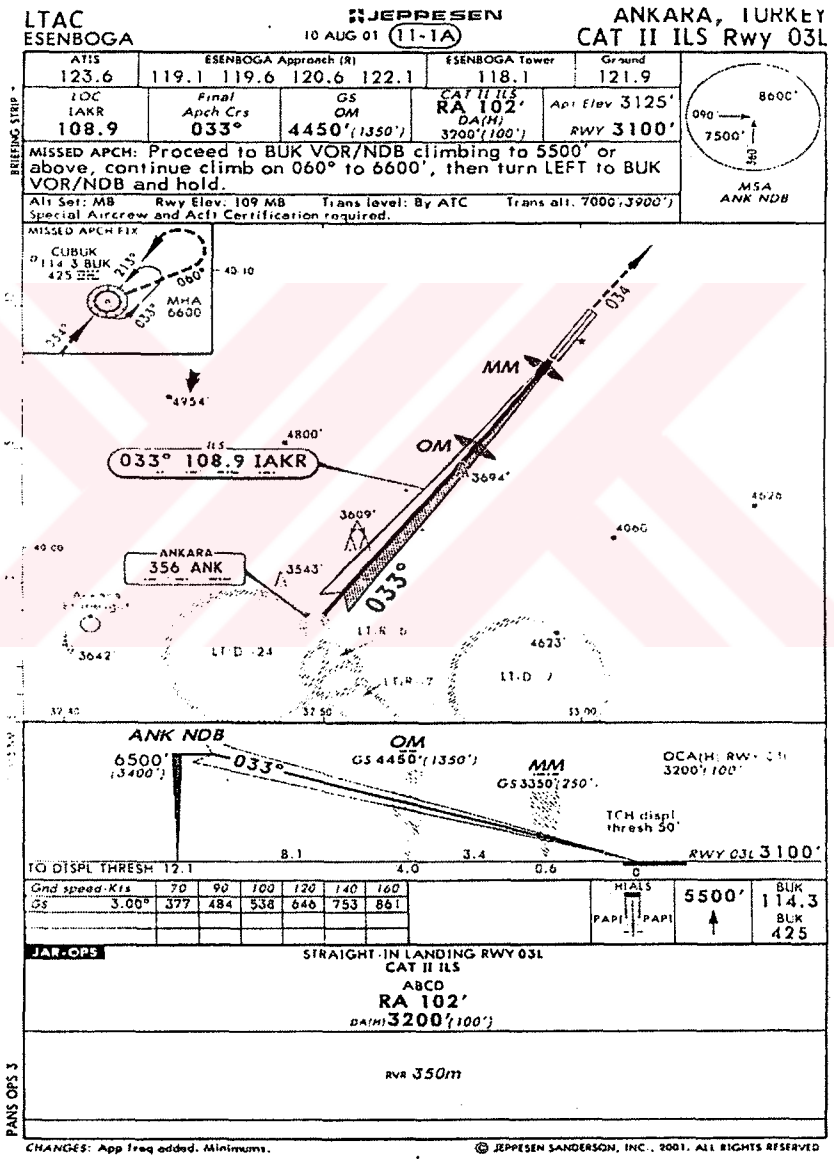
Çizelge 2.1. Hassas Yaklaşma Kategorileri

	Kategori I	Kategori II	Kategori III		
			A	B	C
(DH) Karar İrtifası	200 ft.ve yukarısı	100 ft. ve yukarısı	100 ft. in altında	50 ft.in altı	0 (limit yok)
(RVR) Pist Görüş Mesafesi	Min.2400 ft eğer teker koyma noktası ışıkları ve pist orta hattı ışıkları varsa min. 1800 ft.	Min. 1200 ft.	Min 700 ft.	700 ft. den az, fakat 150 ft. den az değil	0 (limit yok)

Yukarıdaki DH ve RVR değerleri hem meydandaki kolaylıklara (tam, orta, temel) hem de uçakta mevcut sistemlere göre değişebildiği için sadece minimum ve ara değerler verilmiştir. Yukarıdaki kategorilerde yaklaşma ve inişin yapılabilmesi için ICAO'nun da şart koştuğu şekilde hava aracında ve hava alanında çeşitli ekipmanlara, (Örneğin, havaalanlarında aletli yaklaşma hassas vericileri, mesafe ölçme aletleri, yaklaşma ve pist ışık sistemleri, uçaklarda alet iniş sistem alıcıları, uçuş yönetim sistemi, Kategori III. İçin autoland -otomatik iniş sistemi-, rollout -hat üzerinde tutma sistemi- kontrol sistemi ve head up display -baş üstü göstergeleri- vs.) özel yetkiye ve pilot eğitimine ihtiyaç vardır.

IFR uçuş yapan ve ineceği meydana aletli alçalma yapacak olan bir uçak, ineceği meydanın mevcut olan aletli yaklaşma planlarını uygulayarak inişini tamamlar. Bu aletli yaklaşma planları, aletli yaklaşma yöntemleri belirlenmiş olan sivil trafiğe açık tüm meydanlar için hazırlanır. Her yaklaşma yöntemi için ayrı bir ICAO aletli yaklaşma planı çizilir (Şekil 2.1). Bu planlarda havaalanları, yasak tahditli ve

tehlikeli sahalar, radyo haberleşme kolaylıkları ile seyrüsefer yardımcıları, asgari sektör irtifası, plan ve profil görünüşte resmedilen kaide yolları, meydan uçuş minimumları gibi havacılık verileri yer alır. Bu planlar uçuş ekibine, pas geçme yöntemi ve varsa buna bağlı bekleme paternleri de dahil olmak üzere, inmek istenilen pist ile ilgili onaylanmış aletli yaklaşma yöntemlerinin uygulanmasını sağlayacak bilgileri verir.



Şekil 2.1.Örnek Bir Alçalma Kartı (19)

3. HAVACILIKTA KULLANILAN HASSAS YAKLAŞMA SİSTEMLERİ

Günümüzde emniyetli iniş için havacılıkta kullanılan değişik tipte hassas yaklaşma ve iniş sistemlerinin başlıcaları şunlardır;

- ILS (Instrument Landing System) Aletli İniş Sistemi
- MLS (Microwave Landing System) Mikrodalga İniş Sistemi
- SLS (Satellite Landing System) Uydu Bazlı İniş Sistemi
- TLS (Transponder Landing System) Transponder İniş Sistemi
- GCA/PAR (Ground Controlled Approach) Yerden Kontrollü Hassas Yaklaşma ve İniş Sistemi

Bu sistemlerin her biri aşağıdaki bölümlerde tanıtılmakta ve sistemin avantaj ve dezavantajları belirtilmektedir.

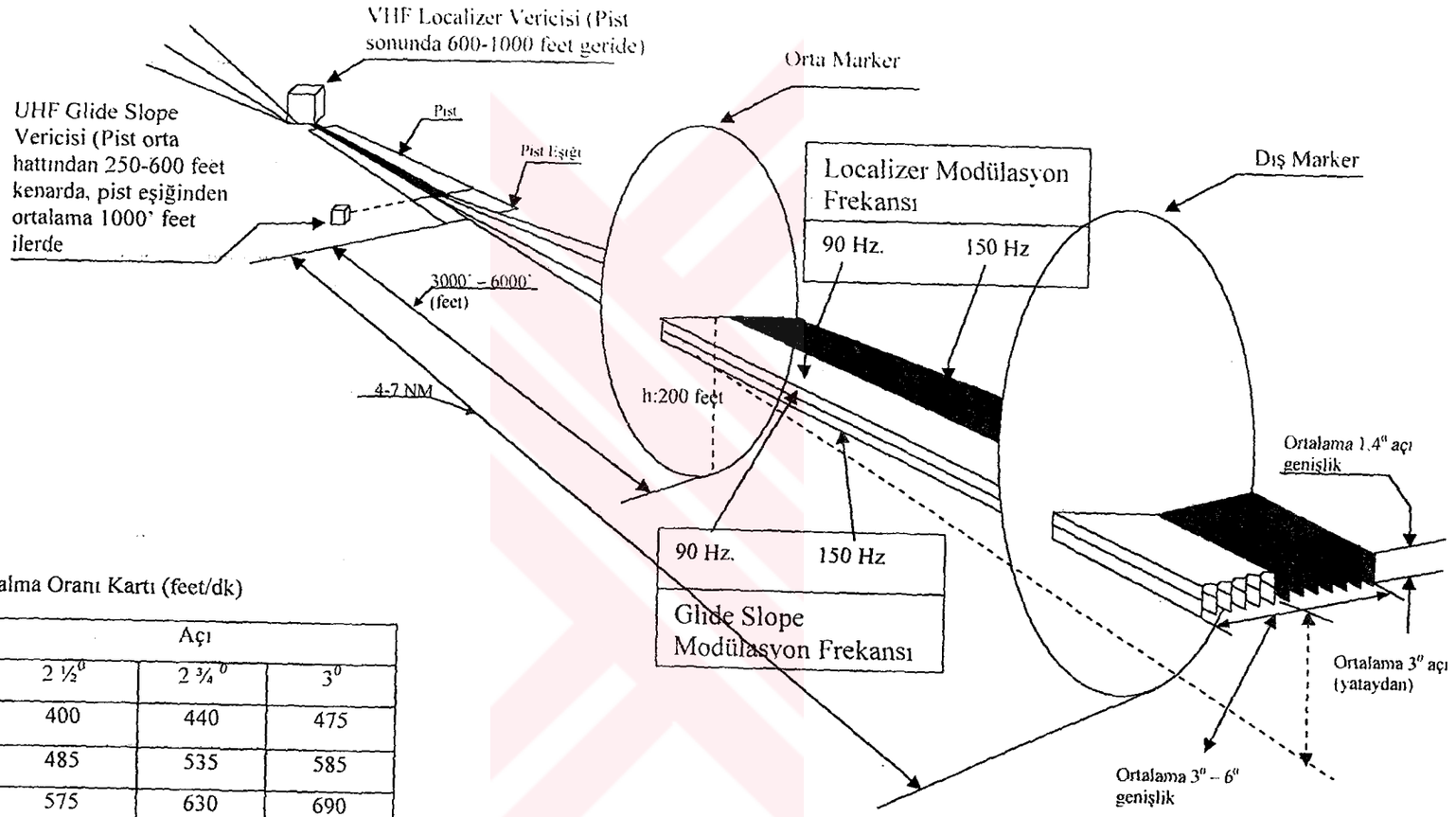
3.1. ILS (Instrument Landing System) Aletli İniş Sistemi

Aletli iniş sistemlerinin ilki ve en klasiği olan ILS, ticari olarak ilk defa 1939 yılında kullanılmıştır. 1947 yılında Kategori I, 1960'larda Kategori II, 1970'lerde Kategori III olarak başlıca hava alanlarında uygulamaya konuldu. Bugün dünyada 1000'den fazlası A.B.D 'de olmak üzere 2000'e yakın meydanda bu sistem kullanılmakta ve yaklaşık 150.000 uçakta ILS alıcıları bulunmaktadır (20).

Terminal sahalarında tercih edilen ILS sistemi, radar tarafından tamamlanan ILS sistemleridir. ILS sisteminin pistin her iki ucuna da yerleştirildiği pist konfigürasyonlarında bu sistemlerin aynı anda faal olma imkanı yoktur. Bu sistem, piste yaklaşmakta olan uçağa tam bir hiza ve süzülüş sağlamak için üretilmiş olup, üç ana elemandan oluşmaktadır.

1. *Yönlendirme bilgisi veren ekipman* : Localizer, Glide slope
2. *Mesafe bilgisi veren ekipman* :Marker Beacons, DME, Compass Locaters
3. *Görerek Şartlar ekipmanları* : Yaklaşma ışıkları, pist eşiği ve pist orta noktası ışıkları ve pist kenar ışıkları.

Ayrıca orta marker veya dış marker'a compass locaterlar da yerleştirilebilir. Bunlar bazen markerların yerinede geçerler. Lokalizer, glide slope ve markerlar devamlı olarak belirli bantlarda radyo dalgaları yayarlar. Bunlardan başka, pist görüş mesafesini (RVR) ve normal görüşü ölçen meteoroloji ekipmanı da (transmissonnometre) sistem parçalarının içindedir. Standard bir ILS konfigürasyonu Şekil 3.1'de, kategori III seviyesinde bir pistte olması gereken hassas yaklaşma ve iniş teçhizatları Şekil 3.5'de gösterilmiştir (19).



Alçalma Oranı Kartı (feet/dk)

Hız (Knot)	Açı		
	2 ½°	2 ¾°	3°
90	400	440	475
110	485	535	585
130	575	630	690
150	665	730	795
160	707	778	849

Şekil 3.1. Standart ILS Konfigürasyonu

Localizer:

Localizer vericileri, pist sonunda 600 ile 1000 feet geriye orta hatta yerleştirilirler ve VHF bandından, yaklaşmakta olan uçağa pist ortasına göre yatay hizalama bilgisi vermek için radyo yayını yaparlar. VHF band aralığı 108.1 ile 111.95 MHz arasındaki 40 ILS kanalından birisinde çalışır ve çıkış gücü 100 watt'tır. Sadece tek rakamla biten frekanslar LOC frekansı olarak tahsis edilirler. Bu frekans bandında çift ile bitenler ise VOR istasyonlarına tahsis edilir. Pist orta hattı boyunca birbirinin üzerine taşan ve göndermeçten her iki istikamette uzanan iki sinyal paterni meydana getirir.

Sinyal paterni'nin bir yanı mavi sektör (150 Hz) diğer yanı sarı sektör (90 Hz) olarak isimlendirilir. Bazı localizer vericileri çift yönlü yayın yaparlar. Normal ön rotaya yaptıkları yayınla oluşan yaklaşmaya (front-course approach) ön yaklaşma kursu , arka rotaya yaptıkları yayınla oluşan yaklaşmaya (back-course approach) arka yaklaşma kursu denir. Ön kurs, pist eşiğinden itibaren 700 feet genişliğinde, en yüksek araziden 1000 feet yükseklikteki irtifa ile anten mahallinin üzerinde 4500 feet'lik bir irtifa arasında, 18 nm uzunluğunda bir rota çizer. İlgili hava alanlarının basılı yaklaşma back course sinyalleri ATC tarafından onaylanmış ise, back - kurs (Arka Yol) yaklaşması yapılabilir. Uçaktaki ILS Teçhizatında back – kurs alıcıları da olması gerekir, aksi halde yapılamaz.

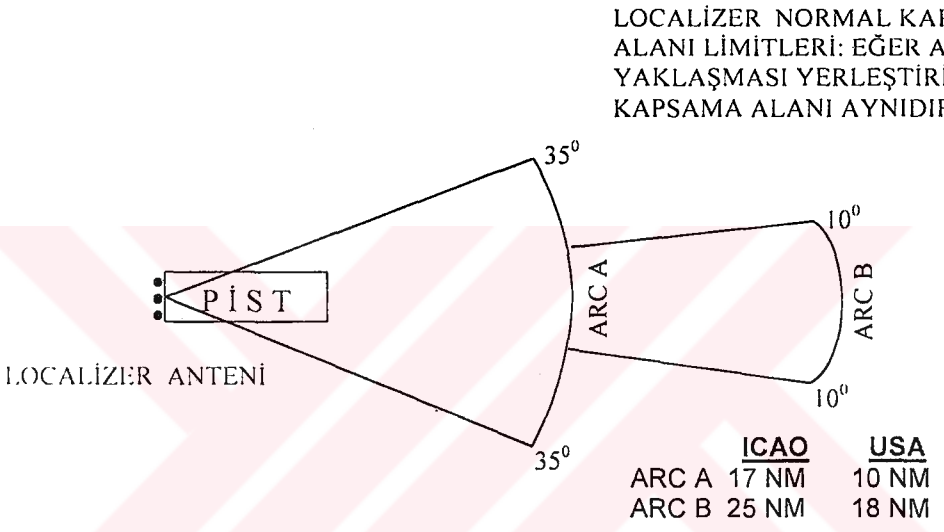
Localizer işarları aşağıdaki açısal değerlerde ve mesafelerdedir:

Antenden 18 Nm.lık bir yarı çap boyunca kursun her iki yanına 10 dereceye kadar,
Antenden 10 Nm lik bir yarı çap boyunca kursun her iki yanına 35 dereceye kadar

Güvenilir localizer işarları LOC kursunun her iki yanına 90 dereceye kadar temin edilir. Bununla beraber ,bazı havaalanlarında tesis edilen ILS'ler yer özelliklerinden

ve anten şekillerinden dolayı bu dereceye kadar tam güvenilir işar temin edemezler bundan dolayı 35 dereceden 90 dereceye kadar ki bölgede muhtemel LOC işarlarına güvenilmemelidir.

Localizer vericisi hem ön yol hem de arka yol yaklaşmasına imkan verecek bir yayın yapar. Arka yol, çoğunlukla ilave bir yaklaşma kursu olarak kullanılır. Normal olarak süzülüş hattı (GS) vericisi, LOC arka yoluna doğru sinyal yayınlamaz. Bu nedenle arkayol yaklaşması hassas olmayan bir yaklaşmadır.



Şekil 3.2. Localizer vericilerinin normal kapsama limitleri
(Tesis edilmişse Arka yol içinde aynıdır.)

Glide slope:

Glide slope vericisi , pist ortasından 250 ila 650 feet mesafede pist kenarına, pist başı hizasından 750 ile 1250 feet ileriye monte edilir. Glide path antenleri localizer'larda olduğu gibi iki adet yayın paterni meydana getirir. 90 Hz'de modüle edilmiş kısım üst tarafta, 150 Hz'de modüle edilmiş kısım ise bunun altındadır. UHF kanalından 5 watt gücünde 1.4 derece genişliğinde süzülüş hattı tesis edilerek yaklaşmakta olan uçağa dikey olarak pist doğrultusunda süzülüş hattı bilgisi verilir. 'Glide path' terimi GS'un LOC ile kesişen kısmı anlamındadır.

DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Standart glide slope açısı normalde 3° ye ayarlanır. 3° ye ayarlı standart glide slope projeksiyonunda, OM dış marker (outer marker) yerden 1400' yükseklikte , MM orta marker (middle marker) yerden 200 feet yükseklikte glide slope süzülüş hattı ile kesişir. Glide slope normalde 10 nm içinde süzülüş tesis eder, fakat bazı yerlerde 10nm aşan uygulamaları vardır.

GS vericisi istenen süzülüş hattı sinyali ile beraber aynı anda bazı çevresel etkiler sebebiyle hatalı süzülüş hattı sinyalleri de yayınlar. Bu yüzden GS hattına yaklaşırken pilotların dikkatli olması gerekir. GS hattı işarlarına LOC limit irtifalarının üstünde ve LOC kursunun dışında güvenilmemelidir.

Glide slope vericisi, beraber çalıştıkları LOC frekansları ile eşleştirilmişlerdir (19). Uçakta kombine UHF-VHF alıcı cihazlar varsa, pilot VHF alıcı cihazında Localizer frekansı bağladığında Glide slope'da otomatik olarak devreye girer.

Çizelge 3.1. Localizer ve Glide Slope Frekans Eşleşmesi

Localizer MHz	Glide Slope	Localizer MHz	Glide Slope	Localizer MHz	Glide Slope	Localizer MHz	Glide Slope
108.10	334.70	109.1	331.40	110.1	334.40	111.10	331.70
108.15	334.55	109.15	331.25	110.15	334.25	111.15	331.55
108.3	334.10	109.3	332.00	110.3	335.00	111.30	332.30
108.35	333.95	109.35	331.85	110.35	334.85	111.35	332.15
108.5	329.90	109.50	332.60	110.5	329.60	111.50	332.9
108.55	329.75	109.55	332.45	110.55	329.45	111.55	332.75
108.7	330.50	109.70	333.20	110.70	330.20	111.70	333.5
108.75	330.35	109.75	333.05	110.75	330.05	111.75	333.35
108.9	329.30	109.90	333.80	110.90	330.80	111.90	331.1
108.95	329.15	109.95	333.65	110.95	330.65	111.95	330.95

Marker Beacons:

"Marker beacon"lar yaklaşma kursundaki uçağı belirli noktalarda oldukları konusunda uyarırlar. Normal olarak ILS ile birleştirilen OM (dış marker) ve MM (orta marker) olmak üzere 2 adet "marker beacon" vardır.

Kategori II alçalmalarında IM iç marker'a (inner marker) da ihtiyaç duyulabilir. ILS "marker beacon"lar 3 watt gücünde 2400 feet genişliğinde 4200 feet uzunluğunda yelpaze biçiminde sinyal yayarlar. Amacı pilota kesin istasyon geçişini bildirmektir.

a) *OM (Outer Marker) Dış marker*, piste yaklaşmakta olan uçak için localizer kursuna uygun irtifada ILS 'e girdiği ile ilgili pozisyon bilgisini gösterir. (Pist eşiğine 4-7 NM uzaklığa tesis edilir).
b) *MM (Middle Marker) Orta marker*, uçağın yaklaşık olarak pistten 3500 feet uzaklıkta (3000 feet-6000 feet arası yerleştirilebilir.) ve 200 feet pist eşiğinden yüksekte olduğu pozisyon bilgisini verir.
c) *IM (Inner Marker) İç marker*, uçağın süzülüş hattında MM ile teker koyma noktası arasında tesis edilmiş olan karar irtifası (DH) noktasını gösterir. (pist başından 50 feet uzağa tesis edilir)
d) *BCM (Back-Course Marker) Arka yol markeri*, yaklaşmanın başladığı ILS arka yol son yaklaşma fix ini gösterir.

"Marker beacon"ların ILS hatlarında kullanımları giderek azalmaktadır .Başlıca problem araziye monte etme zorluğudur. ILS yaklaşmalarında DME cihazının kullanımının artması uçağın "marker beacon"lara olan bağımlılığını giderek azaltmaktadır.

DME (Mesafe ölçme ekipmanı):

ILS sistemi. içine DME yerleştirildiğinde şu amaçlarla ifade edilebilir.

- *Dış marker ın yerine*
- *Arka-kurs (B/C) olarak FAF (son yaklaşma fixi)*
- *Localizer kursu içinde diğer noktaların tesisi için*

Bazı durumlarda DME ,terminal alet prosedürleri içinde tesis edilen bazı yerlerin ayrımını yapmak için kullanılır. Bunlar;

- *İlk yaklaşma kısmında ARC (yarım daire, yay) tesis etmek için.*
- *B/C yaklaşımları için FAF (son yaklaşma fixi)olarak*
- *OM yerine*

Amacı: uçakta uygun alıcılar kullanılarak, uçaktan DME vericisine olan mesafenin okunabilmesidir. Hassas mesafe ölçüm cihazı (DME/P) versiyonu da vardır.

Compas locaters:

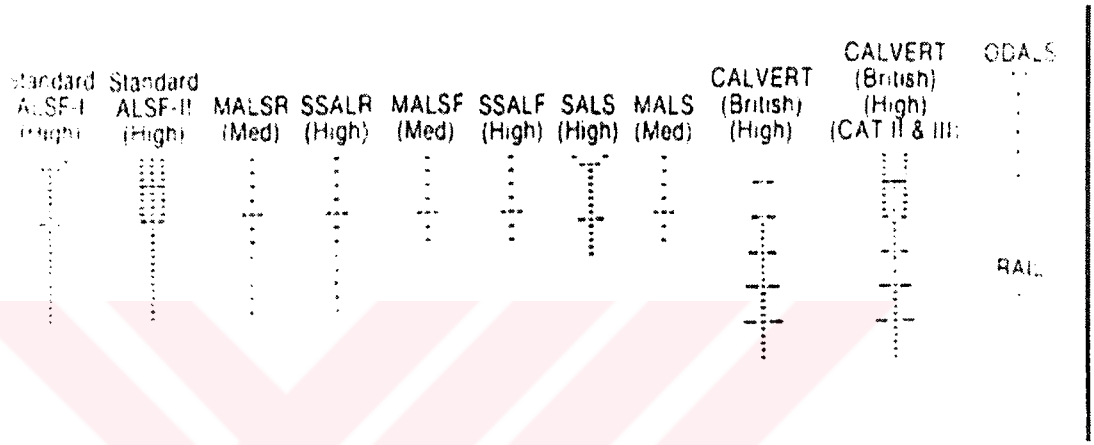
Sabit pusula vericileri (compass locaters), genellikle MM ve OM ile aynı yerde yerleştirilirler. 25 watt 'dan daha düşük güce sahiptirler ve 15 NM 'lık bir mesafede etki gösterirler. Bazı yerlerde 400 watt'ın üzerinde güçle OM compass locater (LOM) olarak çalışan radyo beacon'lar vardır ve hava durumu bilgisi yayını yaparlar. Faydaları şunlardır:

- *Localizer yolunu takip etme kolaylığı sağlar*
- *Marker geçiş ikazıdır (marker off olsa bile)*
- *Dış markere homing yapma imkanı verir*

Işıklandırma Sistemi:

- *Yaklaşma Işıkları (ALS)*

Pist öncesine yerleştirilen beyaz kırmızı ışık barları ve sıralı flaşörler den ibarettir. 10'un üzerinde Amerikan ve İngiliz tipleri olmak üzere değişik versiyonları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Yaklaşma ışıkları (19)

- *Pist Kenar Işıkları (RL)*

Pistin her iki kenarına pist hattı boyunca yerleştirilir.

- *Pist Orta Hattı Işıkları (CL)*

Pist başından pist sonuna kadar pistin orta hattını gösteren ışıklardır.

- *Pist Temas Bölgesi Işıkları (TDZL)*

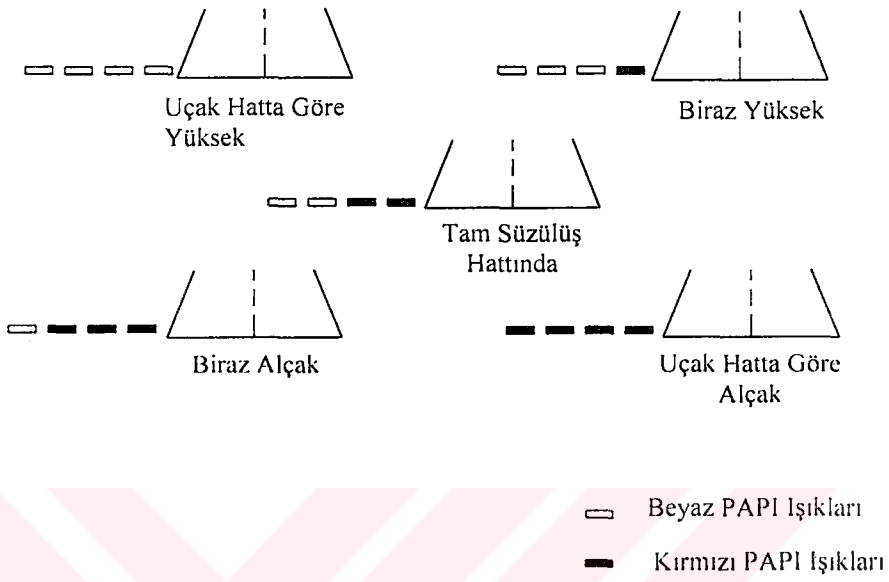
Pist eşiğinden sonra hava aracının yere temas ettiği bölgeyi gösteren ışıklardır.

- *Pist Başı Yeşil ve Pist Sonu Kırmızı Işıkları*

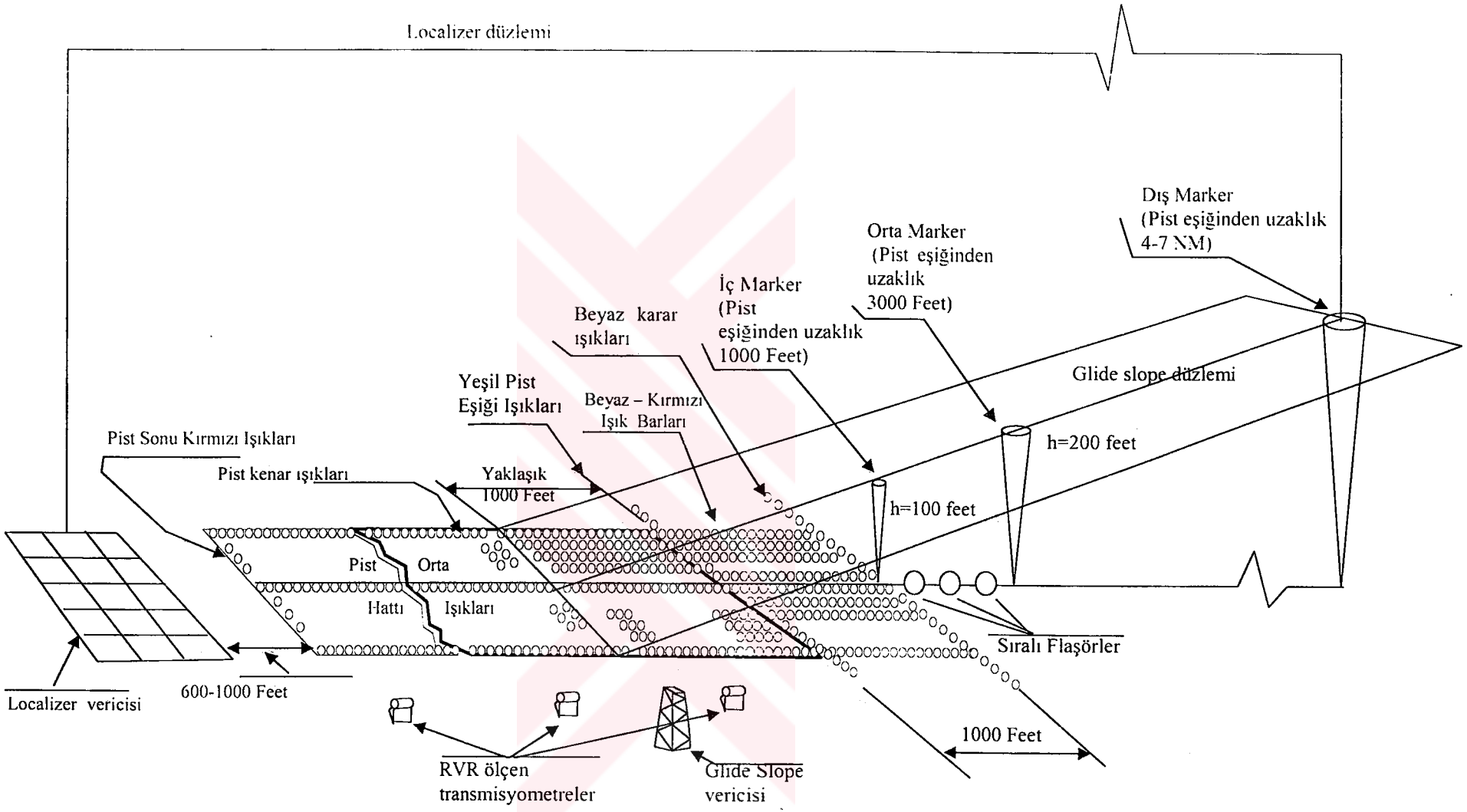
Pistin başladığı ve bittiği hattı gösteren ışıklardır.

- *Hassas yaklaşma yol göstergesi (PAPI)*

Hava aracının yaklaşma kursunda (Glide Path) süzülüş hattının neresinde olduğunu gösterir. PAPI'ler genellikle pistin sol tarafına yerleştirilirler.



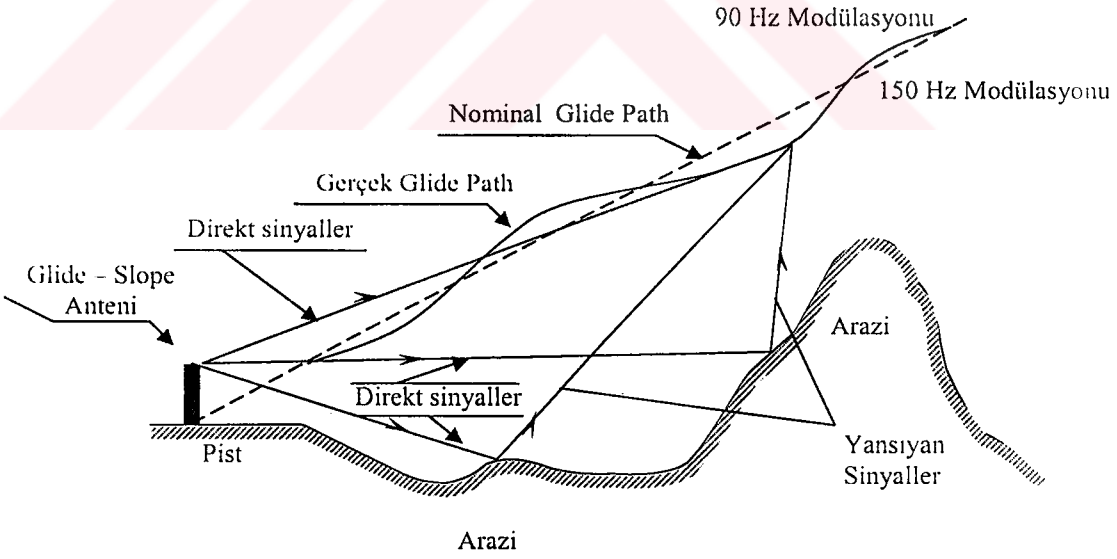
Şekil 3.4. Hassas yaklaşma yol göstergesi (PAPI)



Şekil 3.5. Kategori III Pist Konfigürasyonu

Dezavantajları:

- Glide slope ve localizer antenlerinin bulunduğu yerler kritik bölge ilan edilmiştir. Bu bölgede ILS kursunda uçak varken, yerde hareket eden araç veya uçak bulunmaması gerekir, çünkü yayını karıştırır ve bozar.
- Arazi problemi; ILS sistemini tamamlayan yukarda saydığımız sistemleri yerleştirebilmek için geniş alan istimlakı gerekebilecektir.
- Frekans karışımı problemi (localizer diğer FM istasyonları ile karışmaya maruz kalmaktadır. Bu nedenle uçaktaki alıcılarda FM reddedici alıcılar olması gerekir)
- Glide slope yayınları yere çok yakınken, yayınların yer yansıması nedeniyle irtifada oluşan diferansiyelleri, normal süzülüş yolunu kıvrımlaştırmaktadır. Özellikle kategori II ve III yaklaşmalarında bu husus çok önemlidir. Şekil 3.6'da yaklaşma hattında oluşabilecek sinyal hataları gösterilmiştir (20).



Şekil 3.6. ILS Yaklaşma hattındaki sinyal hataları

3.2. MLS (Microwave Landing System) Mikrodalga İniş Sistemi

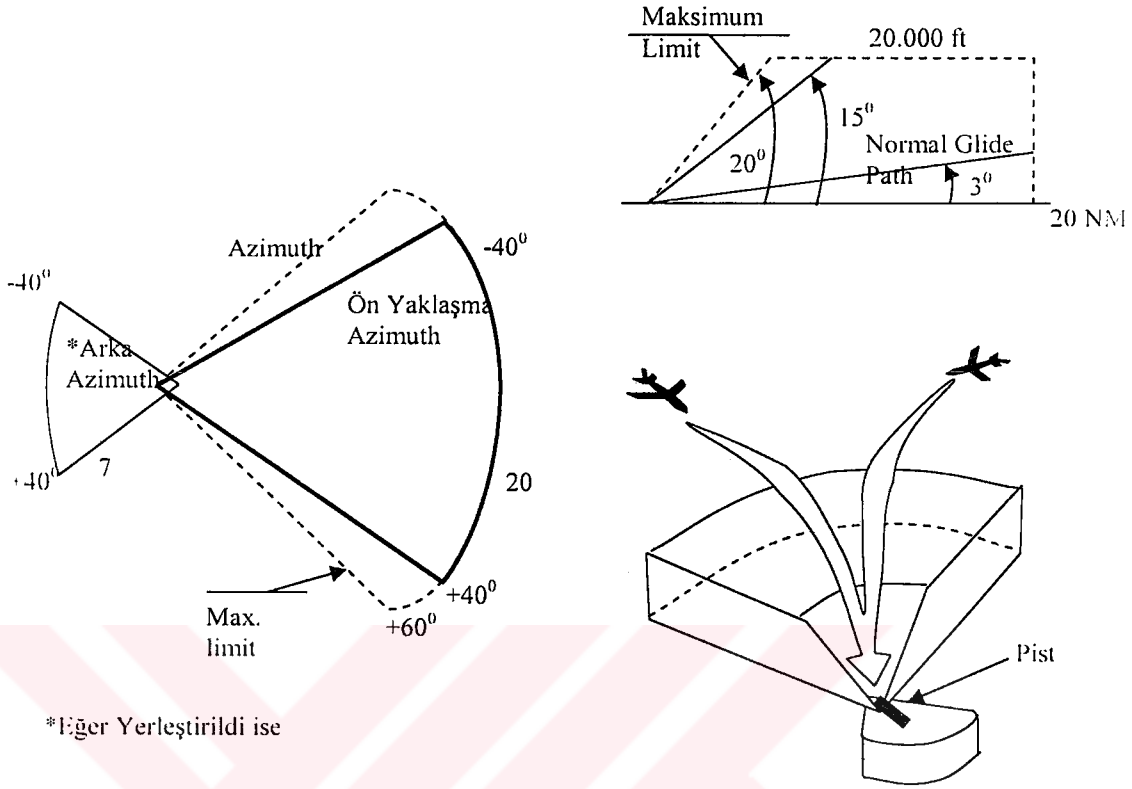
Microdalga iniş sistemi (MLS), 1970'lerin başında oluşturulmaya başlandı. MLS iki veya üç boyutlu pozisyon bilgisi ve birçok hava-yer datası gönderen hassas yaklaşma ve iniş sistemidir. MLS için uluslar arası standartlar Uluslar arası sivil havacılık organizasyonuna (ICAO) 1978 yılında ulaştırıldı ve ICAO bölüm-10'da (1985) belirtildiği şekliyle, mevcut konvansiyonel ILS hassas iniş sistemlerinden MLS sistemine geçiş planları 1998'de oluşturularak uygulanmaya başlandı.

MLS, piste yaklaşmakta olan hava aracına, ILS'de olduğu gibi pist hizası ve uygun bir alçalma oranı gibi yatay ve dikey referanslar sağlar. Azimuth, irtifa yer istasyonu ve DME (mesafe ölçme cihazı) den ibaret ana yer teçhizatı vardır. Şekil 3.7'de MLS kapsama alanları grafik olarak verilmektedir.

MLS Sisteminin Fonksiyonları:

Sistemin başlıca 5 fonksiyonu vardır

a) Yaklaşma azimuth açısı
b) Arka azimuth
c) Yaklaşma irtifası
d) Mesafe
e) Veri iletişimi



Şekil 3.7. MLS Kapsama Alanları

MLS standart yer cihazları:

1) Azimuth istasyonu: Azimuth açısı oluşturur ki bu, pist orta hattından her iki yana 40'ar derecelik genişliğinde yatay ve 15° eğiminde dikey irtifa açısıdır. Buna ilaveten iniş sisteminin çalışması ile direk bağlantılı, yer istasyonlarının çalışması ile ilgili tavsiye niteliğinde bilgiler veren bazı datalar yayınlar.
2) İrtifa istasyonu
3) Hassas mesafe ölçme cihazı (DME/P): Bu cihaz, devamlı mesafe bilgisi verir. Standart DME cihazından daha hassastır ve ilave kanal kapasitesi vardır.

MLS ilave özellikleri:

- *Arka azimuth :* Pas geçen veya pistten kalkan uçağa yatay pozisyon bilgisi verir.
- *İlave veri yayınları:* Meteoroloji yayını, pist durumu ve diğer ilave bilgiler vs.
- *Daha geniş nispi rehberlik*

Yaklaşma azimuth bilgisi (AZ):

Cihaz, pist sonundan yaklaşık 1000 feet öteye yerleştirilir. 5031'den 5091 MHz frekansları arasında 0.3 MHz aralıklarla 200 kanal ayrılmıştır. Bu mikrodalga frekansların kullanılmasından dolayı teçhizat boyutları küçüktür. Bazen irtifa verici antenleri ile birlikte yerleştirilebilir.

Kapsama alanı: Yatay olarak pistin her iki yanından standart teçhizatla 40°'dir. Yatay yayın, merkez hattının her iki yanında bulunan 40°'lik, toplam 80°'lik paternleri tarayacak şekilde saat istikametinde gerçekleştirilir. Bu tarama, sistemin kullanıldığı meydanın arazi şekilleri ve özelliklerine göre 40°'den daha az bir dereceye veya ilave teçhizatla max. 62°'ye kadar ayarlanabilir. Uçaktaki alıcı iletilen yatay datalara göre pist orta hattının neresinde olduğunu "TO" ve "FROM" durumları arasındaki zaman farkını ölçerek bulur. Eğer bu zaman uzun ise uçak, pist orta hattının sağında, zaman kısa ise bu hattın solunda demektir. Yaklaşma azimuth yayını 20 NM'lık saha içindedir.

Arka azimut bilgisi (BAZ):

Arka azimut bilgisi yayınını yapan verici, aynı yaklaşma azimut bilgisi veren verici gibidir. Cihaz aynı frekansta fakat geçiş sırasında farklı zamanda yayın yapar. BAZ sinyalleri, aktif pisten kalkan uçağa, kalkışı müteakiben ayrılış prosedürlerini uygulatacak veya inişini tamamlayamayan uçağa pas geçme prosedürlerini

uygulatacak sinyalleri gönderir. Kapsama alanı pist ortasında 20°'şer derecelik her iki yana yani toplam 40°'lik bir alanı taşıyacak şekilde ve 7 NM'lık saha içindedir.

İrtifa bilgisi:

MLS'in süzülüş açısını veren dikey yayını ise, süzülüş sahası içinde aşağı-yukarı yelpaze taraması şeklindedir. Anten pist eşiği ile pist iniş sahası arasında, pistten aşağı yukarı 400 feet kadar kenarda konuşlandırılır. Yukarı doğru 15°'lik bir açıda, yaklaşma azimut açısı sınırları (toplam 80°'lik açı ve 20 NM'lık saha) içinde yayın yapar. Uçaktaki alıcı, dikey tarama sürecindeki dönen sinyaller arasındaki zaman farklılığını hesap ederek uçağın yaklaşma açısını tespit eder.

Mesafe bilgisi:

DME ekipmanı tarafından gönderilen sinyal ile uçaktaki alıcı , piste olan mesafesini ölçer. Hassas mesafe ölçüm cihazı (DME/P) yaklaşan hava aracına iki operasyon modu üretir. İlk yaklaşma modu (IA) 7 NM ile 22 NM arasında kalan bölgede aktiftir. Son yaklaşma (FA) bölgesi ise DME/P cihazı ile 7 NM arasında kalan bölgedir. FA modu IA ile karşılaştırıldığında daha yükseltilmiş bir hassasiyet sağlar.

Veri iletişimi:

Veri aktarımı, ana ve yardımcı bilgiler şeklindedir. Bütün MLS sistemlerinde şu anda ana veri aktarımı söz konusudur. Gelecekte bazı hava alanlarında aynı zamanda yardımcı veri yayını da yapılacaktır. Ana veriler, meydanın ismi ve tanıtımı, meydana yaklaşma ve iniş ile ilgili uygun yönlendirme limitleri, minimum süzülüş açısı, pist uzunlukları, DME kanalları, yer teçhizatının performans verileri ve tam yer koordinatları gibi belli başlı konular olarak MLS alıcılarına gönderilmek üzere azimuth istasyonu tarafından yayınlanır.

Yardımcı veriler, meteoroloji bilgileri (RVR, bulut tavanı, altimetre ayarı, rüzgar, türbülans,vortex, Windsheer vs.) ve bunun etkileri,yaklaşma ve iniş alanı içindeki

nokta ve fix lerin koordinatları, havadaki diğer hava araçlarının tam pozisyon bilgileri, kullanılan pistler ve pist durumları ile ilgili bilgilerdir.

MLS' in avantajları:

- Tüm askeri ve sivil uçaklara, hatta helikopterlere de hizmet verebilir.
- İniş için ILS deki gibi tek bir süzülüş hattına bağlı kalınmaz. Birden fazla yaklaşma paternine müsaade eder, bu sayede küçük uçakları piste yakın noktalardan kursa alarak, büyük ticari uçakların küçük uçaklara yardımcı olmak için sürat düşürme ihtiyacını ortadan kaldırır. Uçak performansına göre uygun süzülüş açısı pilot tarafından seçilebilir.
- Hizmet verdiği yatay ve dikey açısal bölge ILS e göre daha geniştir.
- Frekansta karışım ve parazitlere karşı duyarlı değildir.
- Kullanılan antenler daha küçük boyutludur ve kullanılması kolaydır.
- Hata toleransı ILS e göre daha düşüktür.
- Daha performanslı çalışır,yani saatte hizmet verdiği veya indirdiği uçak sayısı daha fazladır.
- MLS teçhizatlı hava alanlarında sağlanan en büyük fayda ise RNAV'ın (Alan seyrüseferi) kullanılmasıdır. MLS, azimuth olarak +62°, irtifa olarak +30 derecelik bir açı, ve 22 NM'lık bir alanda kontrol sahası yaratır. Uçakta bordoya yerleştirilen ilave bir bilgisayar vasıtasıyla tüm bu kaplama alanının kullanımına ek olarak uzay boşluğunda uçağın 3 boyutlu konumu da belirlenir. Çevresinde engeller ve kalabalık trafiğe sahip yaklaşma kursları, doğruluğu ve kapasitesi artırılmış olarak dizayn edilebilir.

Dezavantajları:

- Sistemin daha pahalı oluşu
- Sistemin kullanılabilmesi için tüm uçaklara oldukça pahalı ek teçhizatın kurulması gerekliliği.

ABD Hava ve deniz kuvvetlerinde mobil (MMLS) olarak askeri uygulamaları vardır. Eğitimli personel tarafından 15 dakikada, 1saatte ve 2 saatte kurulabilen değişik MMLS'ler mevcuttur. Bu mobil sistemler araçlarla veya uçakla kolaylıkla nakledilebilir ve sabit MLS'lerin performansına yakın performanslarda, Kategori II seviyesinde alçalma ve iniş hizmeti sunabilirler.

3.3. SLS (Satellite Landing System) Uydu Bazlı İniş Sistemi

Lokal DGPS Hassas Yaklaşma:

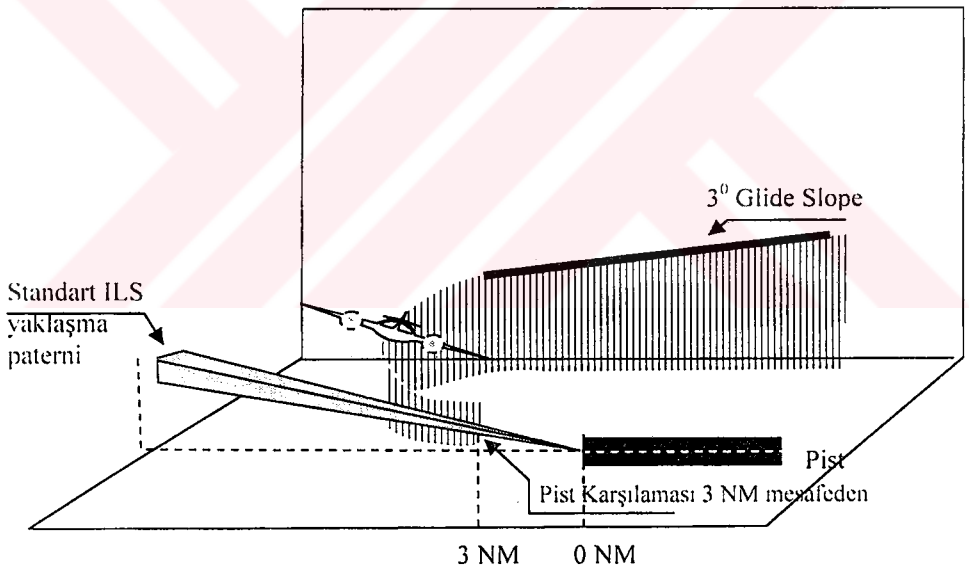
Bu sistem, adından da anlaşıldığı gibi GPS uyduları kullanarak, uygulanan iniş sistemidir. Uzayda ekvator ile 55°'lik eğim yapan 6 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş, 21 esas 3 yedek olmak üzere toplam 24 GPS uydusu bulunmaktadır. (ancak, Ekim 2002 tarihi itibariyle toplam 28 GPS uydusu faaliyet göstermektedir. Uzayda ayrıca yine navigasyon maksatlı ABD'nin GPS sistemine karşılık olarak Rusların 24 uydu olarak planladığı ama günümüzde sayısı daha az olan GLONASS uyduları mevcuttur.

GPS (Global Positioning System) ya da Global Konum Belirlemesi:
Elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının uydu sinyalleri yardımıyla ;

- Herhangi bir yer ve zamanda
- Her türlü hava koşullarında
- Global bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlılıkta

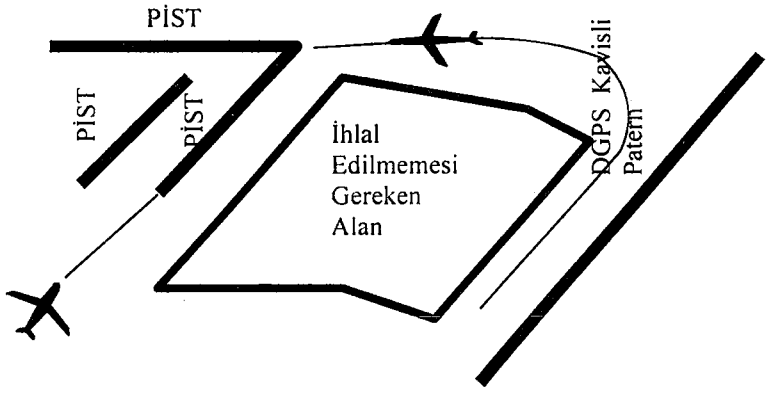
- Ekonomik olarak
- Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlenmesine olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir.

GPS ile elde edilen anlık doğruluk bir çok amaç için yeterli olmakla birlikte havacılıkta hava alanına bir uçağın hassas bir yaklaşma yapabilmesi için daha yüksek doğruluklara gereksinim vardır. GPS ile elde edilen anlık konum bilgisi hassasiyeti çeşitli sebeplerle (efemeris ve uydu saati hataları, iyonosfer, troposfer, sinyal yansıması) 25-100 metre arasında değişirken DGPS uygulamasında 3 cm'nin altına inebilmektedir. Bu sebeple uydu bazlı hassas yaklaşmada DGPS tekniğine ihtiyaç vardır.



(a)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



(b)

Şekil 3.8. Örnek DGPS Yaklaşmaları
a) Kavisli Paternde DGPS Yaklaşması
b) Hava Sahasının Dar Olduğu Sıkışık Havaalanlarında Uygulamalar

Bu teknikte biri sabit, (reference base) diğeri gezen (roving) olmak üzere iki alıcıya gereksinim vardır. Sabit alıcı anteni, konumu daha önceden hassas olarak belirlenmiş bir noktaya kurulur ve gezen alıcının konumu belirlenir. Her iki noktada da en az dört ortak uyduya eş zamanlı GPS gözlemi yapılmalıdır. Sabit alıcı gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydu alıcı uzaklılıklarını hesaplayarak bu değerleri kendi duyarlı konumundan yararlanarak hesapladığı mesafe değerleri ile karşılaştırır. Aradaki farklar gözlem hataları olarak yorumlanır ve bu farklar, konumu belirlenecek olan noktalardaki gezen alıcı (uçak) tarafından kaydedilen gözlemlere düzeltme olarak getirilerek gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenir. Söz konusu düzeltmeler gezen alıcılara, alıcılar arasındaki uzaklığa bağlı olarak portatif telsizler, yer istasyonları ve uydular vasıtasıyla yayınlanabilir.

Kısaca Lokal alan DGPS hassas yaklaşmada havaalanı çevresinde bulunan sabit noktadaki alıcı, gerekli düzetmeleri her bir uydu için hesaplar ve bu düzeltmeleri

uçağa gönderir. Bu sayede uçaktaki alıcıda kendi konumuna düzeltme getirerek kısa zaman aralıklarında konumunu doğru olarak belirlemiş olur.

Bu sayede uzayda 3 boyutlu olarak konumu belirlenen uçak, önceden belirlenmiş alçalma prosedüründe belirtilen konumu belirli noktalardan (waypoint) geçerek, uzun bir son yaklaşma hattına gerek duyulmadan Şekil 3.8 a, b' de görüldüğü gibi gerekirse kavisli paternde alçalır ve piste hassas yaklaşma yapabilir.

DGPS ile elde edilebilecek doğruluklar sabit alıcı ile uçak arasındaki uzaklığa bağlı olarak 1-10m. arasında değişmektedir. Bu nedenle uygulamada söz konusu doğruluğun sağlanması için bu uzaklığın 500 km.'yi geçmemesi istenmektedir.

Avantajları:

- ILS, MLS'deki gibi uzun tekbir yaklaşma hattı kısıtlaması yoktur.
- Bu sayede tek bir hattaki gürültü yoğunlaşması giderilir.
- Topografik etkilerden etkilenmeden her meydana iniş yapılabilecektir.
- Maliyeti ucuz dur.

Dezavantajları:

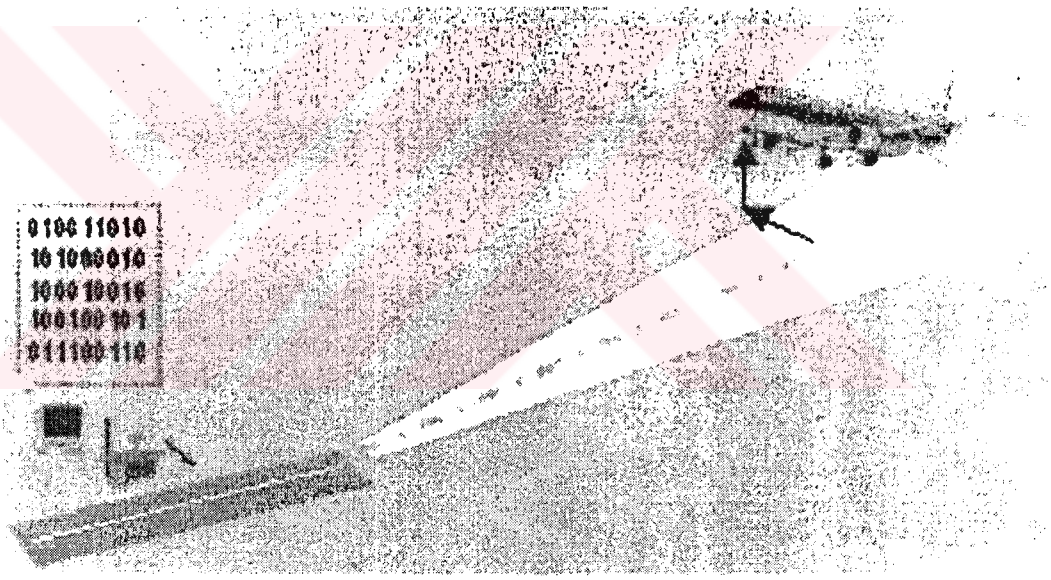
- Dünyada henüz havacılık otoriteleri tarafından bütün kategorilerde onaylanmamıştır. Kategori I onayı vardır.
- Uçakta gerekli navigasyon teçhizatına sahip olunmalıdır.

3.4. TLS (Transponder Landing System) Transponder İniş Sistemi

Genellikle yolcu uçaklarının insanları gitmek istedikleri her yere götürebilecekleri düşünülür. Fakat, uçakların iniş yapacakları hava alanı küçük bir kentte ve hava

alanı meteorolojik şartları görerek şartlarda inişe uygun değilse, uçakların bu tür hava alanlarına iniş yapmaları imkansızdır. Ancak teknolojideki son gelişmelere paralel olarak günümüzde; meteorolojik şartları ağır, etrafındaki arazi engellerle dolu, ve hava trafiği açısından fazla yoğun olmadığı için pahalı olan alet iniş ve navigasyon sistemlerinin kurulamadığı bu tip küçük havaalanlarının içerisinde bulunduğu bu durum için geliştirilen sistemlerden biriside TLS'dir.

ABD'de mevcut 5700 havaalanından sadece 1000 tanesindeki pistlerde ILS kurulabilmiştir. Her meydanda iki ayrı yaklaşma istikametini de düşündüğümüzde havaalanlarındaki pistlerden %91'inde ILS kurulamamıştır. Kalan diğer meydanlara hassas yaklaşma için başka yöntemlere ihtiyaç olduğu açıktır.



Şekil 3.9. TLS iniş sistemi

Transponder iniş sistemi, dünyadaki diğer sistemlere oranla çok basit dizayn edilmiştir. Sisteme ait yer istasyonu; uçaklardaki standart ATC RBS transponderlere sinyal göndererek sorgular ve uçaktan ilgili cevap sinyallerini alır. TLS in yaklaşma açı sensörleri uçağın transponderinden aldığı bu cevapla yaklaşık 22 NM çapındaki bir trafik alanında o anda uçağın bulunduğu pozisyonu 3 boyutlu (irtifa, istikamet, mesafe) olarak belirler. TLS, uçağın gerçek pozisyonu ile önceden

programlanmış yaklaşma yolu (kursu) arasındaki hatayı tesbit eder. Ortaya çıkan hata uçaktaki standart olarak bulunan ILS sistem alıcılarına yayınlanır ve uçaktaki cihazda bu sayede görüntülenir. Yaklaşma kavisli, kademeli, ne türden olursa olsun temel hedef, uçağı piste inecek şekilde yönlendirmektir (Şekil 3.9).

A.B.D.'de 17,000 aletli yaklaşma hizmeti sunmayan piste karşılık 130,000 konvansiyonel Localizer ve Glide slope teçhizatı olan uçak olması, yaklaşma ve alçalma kartları için dokümantasyonun zaten hazır olması, bu sistemin tasarımcılarını bu işe yönlenmeye teşvik etmiştir.

Sistem detayları :

TLS sisteminin çok az parçası vardır. En görüneni 50 cm çapında pist uzanımına yerleştirilmiş 4 üniteden oluşmaktadır.

- Bir ana istasyon ünitesi,
- İstasyonun doğruluğunu ve bütünlüğünü kontrol eden kalibrasyon ünitesi (BIT),
- İki açılı varış anteni
- Uçuş hattını pistin yakınındaki TLS sistemine tanımlayan Localizer ve Glide slope yaklaşma açısı sensorleri.

Ana istasyondaki on sekiz işlemci, uçağın pozisyonunu üç boyutlu olarak hesap eder ve nerede yaklaşma için ilişkiye geçeceğini belirleyerek pozisyon bilgilerini Glide slope ve Localizer vericileri vasıtasıyla uçağa düzelterek gönderir.

Glide slope açısı hava alanına göre veya hava aracına göre ayarlanabilir. Temel TLS, pist merkez hattından 45°'lik bir alanda rehberlik edebilmektedir. Bununla birlikte birçok havaalanının birkaç ek alıcıyla bunu 360°'lik ve 22 NM dışındaki alanlara da aktarılabilmesi mümkündür.

Sistem 25 hava aracını aynı anda takip edebilme kapasitesine sahiptir. Bir TLS sistemini sınırlayan tek konu alçalma hattında sadece tek bir uçağın kontrol edebiliyor olmasıdır. Çünkü TLS, sadece o uçağın pozisyonuna göre düzeltmeler üretmektedir. Yani TLS in aşırı yoğun trafiği olan havalimanlarındaki ILS sistemini ikame etme olasılığı yoktur, az trafik hacmine sahip bir sistemdir.

3.5. GCA/PAR (Ground Controlled Approach) Yerden Kontrollü Hassas Yaklaşma ve İniş Sistemi

PAR radar iniş sistemleri, sivil ATC için şu anda kullanılmamaktadır. PAR, piste yaklaşmayı kapsar ve inişte olan uçağın pozisyonunu belirler. Askeri versiyonunun adı, Ground Controlled Approach (GCA) yada Radar Approach Control (RAPCON) yani ''Yerden Kontrollü Yaklaşma Radarı''dır.

PAR'da 2 anten vardır. Bunlardan biri yatay tarama diğeri de dikey tarama yapar. 20^{0}'lik bir azimuth açısını, 10 NM'lık bir son yaklaşma mesafesini ve 7^{0}'lik bir süzülüş açısını kapsama alanına alır.

Yerdeki operatörün gerekli talimatları uçağa telsizle bildirmesi sayesinde, yaklaşma yapılır. Yerde operatör radar scobu'ndan, uçağı takip eder. Radar scobu 2 parçaya ayrılır. Üst yarısı o anda son yaklaşmadaki uçağın, irtifa ve mesafe bilgisi için alttaki yarısı uçağın istikamet ve mesafesi içindir. Operatör, iniş için karar irtifasına yaklaşıncaya kadar pilota, devamlı olarak (5 s'de bir) süzülüş hattı, istikamet ve pist mesafesi bilgilerini verir. Bu sayede yerdeki operatör talimatıyla, uçak karar irtifası minimasına alçaltılır (21).

4. UYDU BAZLI NAVİGASYON

Ölçmenin tarihi insanlık tarihi kadar eskidir. İnsanoğlu ilk çağlardan beri "Neredeyim? Varmak istediğim yere nasıl giderim?" gibi sorulara yanıt bulmaya çalışmış ve bu sorulara doğru yanıt verebilmek için birçok sistem geliştirmiştir. Taş devrinde ormanlar ve çöllerde yolun bulunabilmesi için etraftaki detayların tanımlanıp, referans noktası olarak kullanılması en geçerli yöntemdi. Yol üzerine taşlar bırakmak, ağaçları işaretlemek ve dağları referans almak en geçerli navigasyon yöntemiydi. Daha sonra insanoğlunun okyanuslara açılmasıyla birlikte bu yöntemler yetersiz kaldı. Denizlerde görülebilen nesneler güneş, ay ve yıldızlardı. Doğal olarak bunlar referans noktaları oldu ve göksel navigasyon dönemi başladı.

Göksel navigasyon, bilinmeyen bölgelerde yer tayin probleminin ilk ciddi çözüm şekli olmuş, yıldızlara özel aletler kullanılarak açısal gözlemler yapılmaya başlanmış, insanoğlu konumunu ve gideceği doğrultuyu hesaplamaya başlamıştı. Fakat zaman içerisinde bu gözlemlerle elde edilen doğruluklar da gereksinimleri karşılayamaz hale gelmişti. özellikle bu yöntem Gündüzleri ve bulutlu gecelerde gerçekleştirilemiyordu. Zamanla teknolojik gelişmelere paralel olarak konum belirleme ve navigasyon sistemlerinde de önemli gelişmeler olmuştur. NDB,VOR, LORAN, OMEGA gibi yer istasyonları yardımı ile navigasyonlar daha kolay hale gelmişti, ancak bunlarında sınırlamalarının olması yeni arayışları hep gündemde tuttu. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için geliştirilen en önemli sistem uydu tabanlı radyo navigasyon sistemleridir. Bunlarda radyo vericileri, yüksek yörüngelerde dolaşarak daha fazla kaplama alanı sağlayan uydulara yerleştirildi. Bu sistemlerde uydular referans noktaları gibi hareket etmekte ve üç boyutlu konumlamanın yapılabilmesi için onlara olan mesafeler ölçülmektedir. İlk uydu navigasyon sistemlerinden biri Transit'tir. Transit'ten elde edilen tecrübeler ve bir çok deneysel sistemler yardımıyla Amerika Birleşik Devletleri tarafından Global Konumlama Sistemi (GPS), Rusya Federasyonu tarafından ise GLONASS geliştirilmiştir. GLONASS ve GPS birbirilerine çok benzeyen sistemler olmasına

rağmen en fazla GPS, 1980'li yıllardan beri dünyada yaygın olarak günlük yaşama girmiştir.

Dünyada şu anda kullanılan seyrüsefer amaçlı uydular, *GPS* ve *GLONASS* tır. Gelecekte Avrupa uydularının devreye girmesiyle (galileo) ilk sivil kontrollü uydu navigasyonu da başlamış olacaktır. 2008 yılından itibaren Avrupa önderliğinde küresel uydu navigasyon sistemi *(GNSS-2)* yaygın olarak navigasyonun bütün safhalarında kullanılmaya başlanacaktır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan GPS uyduları ve GPS alıcılarıdır. Aşağıda ayrıntılı olarak bahsedeceğimiz üzere çeşitli sebeplerle, GPS uyduları kullanılarak icra edilecek navigasyonun hassas olarak yapılabilmesi için diferansiyellerinin alınması zorunluluğu vardır. Özellikle cm. hassasiyetinde yapılması gereken pistlere hava aracı hassas yaklaşmalarında, diferansiyel yönteminin kullanılması zorunluluğu vardır.

4.1. GPS'in Tanıtılması

Transit sisteminin gelişmiş biçimi olan "NAVSTAR/GPS" (Navigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System) ABD savunma dairesi (Department of Defence) tarafından geliştirilen, anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren, hem askeri hem de sivil kullanım alanları olan bir radyo navigasyon sistemidir.

GPS (Global Positioning System) yada Global konum belirlemesi:
Elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının uydu sinyalleri yardımıyla;

- Herhangi bir yer ve zaman da
- Her türlü hava koşullarında
- Global bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlılıkta
- Ekonomik olarak

• Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlenmesine olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir.

GPS'in Bölümleri:

ABD, Los Angeles Hava Üssünde kurulmuş olan Ortak Program Bölümünün (**JPO, Joint Program Office**) sorumluluğunda geliştirilen GPS sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar uydulardan oluşan *Uzay Bölümü*, tüm sistemi yöneten *Kontrol Bölümü* ile alıcıların bulunduğu *Kullanıcı Bölümü*dür.

Uzay Bölümü:

Uzay Bölümü ekvator ile 55 derecelik eğim yapan 6 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş 21 esas ve 3 yedek olmak üzere toplam 24 uydudan oluşmaktadır. Yedek uyduların amacı, esas (aktif) uydulardan herhangi birinde sorun olması halinde bunun yerine devreye girmek olmakla birlikte günümüzde uyduların tamamı aktif halde olup ölçülerde kullanılmaktadır.

Her bir GPS uydusu;

- Senkronize zaman sinyallerini
- Tüm diğer uydulara ait konum bilgilerini
- Yörünge parametrelerine ait bilgileri iki taşıyıcı frekanstan (L1,L2) yayınlar,
- Kontrol Bölümü tarafından yayınlanan bilgileri alır.

Uzay Bölümünün genel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Uydular yeryüzünden yaklaşık 20 200 km (yer merkezinden 26 500 km) uzaklıkta olup 11 saat 58 dakikada bir tam devir yaparlar.

- Yeryüzünde herhangi bir yer ve zamanda gözlenebilecek en az uydu sayısı 4 tür ve her bir uydu yaklaşık 5 saat ufuk hattı üzerinde kalır. Türkiye bölgesinde enleme göre değişmekle birlikte gözlenebilen en çok uydu sayısı 10' dur.

- Uydu yörünge zamanı (ortalama yıldız zamanı) ile yer dönmesi (ortalama güneş zamanı) arasındaki yaklaşık 4 dakika /gün fark nedeniyle, yörüngedeki bir gözlemci aynı uyduyu her gün dört dakika erken gözlemektedir.

- Altı farklı tip GPS uydusu mevcut olup, bunlar; Block I, Block II, Block IIA, Block IIR (BlockIIR-M), Block IIF ve Block III uydularıdır.

Kontrol Bölümü:

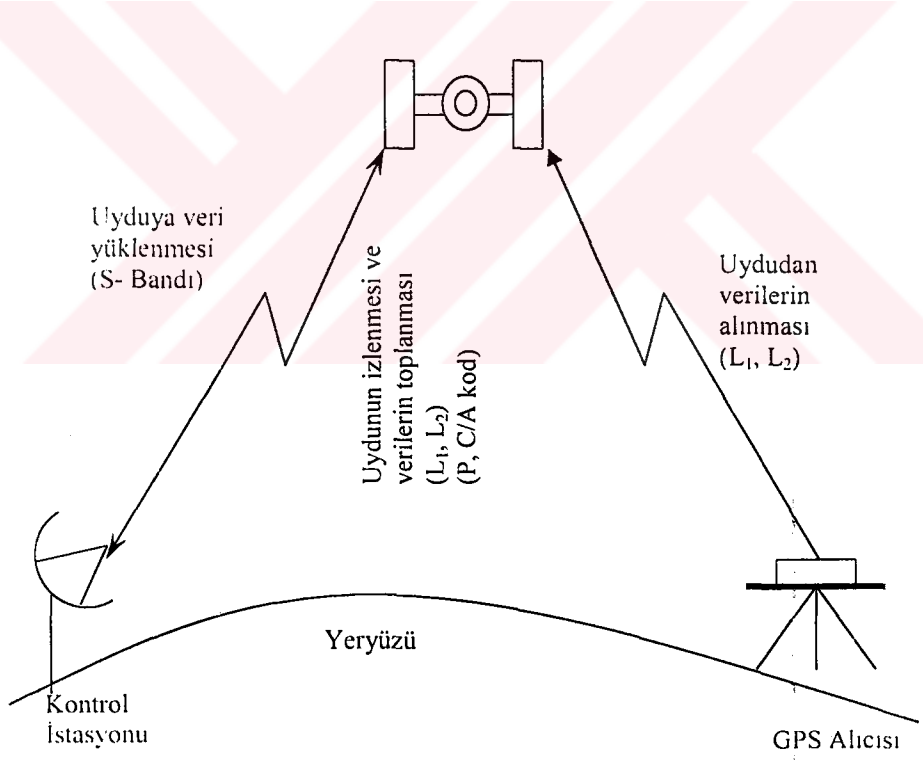
Kontrol Bölümü; Ana kontrol istasyonu, yer antenleri ve izleme istasyonlarını içeren İşletim Kontrol Sisteminden (**OCS, O**perational **C**ontrol **S**ystem) meydana gelmektedir. Tüm GPS uyduları dünya üzerinde uygun dağılmış, çok hassas saatlerle donatılmış, konumu iyi bilinen 6 sabit izleme istasyonundan (Havaii. Colorado Springs, Ascension, Diego Garcia, Cape Canavaral, Kwajelin) izlenmektedir. Bu istasyonlardan Colorado Springs Ana Kontrol İstasyonu: diğerleri ise izleme istasyonlarını oluşturmaktadır. Bu istasyonların amacı, günlük olarak uyduların sağlıklı biçimde çalışmalarını sağlamak, toplanan verilerin irdelenmesi ile uydu yörüngelerinin belirlenmesi, uydu saatlerinin düzeltmelerinin hesaplanması ve yeni hesaplanan yörünge saat düzeltmesi, SA (Selective Availability) etkileri gibi bilgilerin uydulara yüklenmesidir Uydulara bilgi yükleme işlemleri günde bir yada iki defa yapılmaktadır.

Uydulara yüklenen Navigasyon Mesajı bilgileri (Ek-4), uydu (Block) modeline bağlı olarak en az 14 günlük en fazla 210 günlük bir süreyi kapsamaktadır. Almanak verileri ise efemeris parametrelerinin bir kısmından oluşmaktadır ve 15

efemeris bilgisinin yalnızca 7 tanesini kapsamaktadır. Almanak verileri tüm uyduların yaklaşık konumlarını hesaplamada kullanılmaktadır.

Kullanıcı bölümü:

GPS sinyallerini konum belirlenmesine dönüştürmek için gerekli aletlerden (alıcı+ anten sistemi) oluşmaktadır. Anlık konum tespiti için kullanıcı 4 veya daha fazla uydudan (3 uydu konum tespiti ve 1 uyduda uydu-alıcı saat farkının çözümü için) gelen sinyalleri ölçerek hem zamanı hem kendisinin üç boyutlu konumunu ve ilave olarak da, şayet hareket halinde ise hızını hesaplayabilir. GPS kontrol, uzay ve kullanıcı bölümü ilişkisi Şekil 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1. GPS Kontrol-Uzay-Kullanıcı bölümleri ilişkisi (1)

GPS sinyali özellikleri:

Uydulardan yararlanılarak yapılan GPS ölçmelerinde, elektromanyetik dalgalar kullanılarak uydulardan kullanıcılara veri akışı sağlanmaktadır. Her GPS uydusu konum belirleme amaçlı olarak iki temel frekansa sahip olup bunlar L1 (Link 1) ve L2 (Link2)' dir. L1 ve L2 frekansları 10.23 MHz olan temel frekansın 154 ve 120 tam katları alınarak elde edilmiş olup, L1 Frekansı 1575.42 MHz ve L2 frekansı 1227.60 MHz dir. Bunların dışında Kontrol Bölümü ile uydular arasındaki veri akışı S-Bant (1783.74 ve 2227.5 MHz) üzerinden yapılmaktadır.

GPS sisteminde Çift frekans olmasının amaçları;

- L1 frekansının herhangi bir nedenle kesilmesi yada elektronik karıştırmaya maruz kalması durumunda L2 frekansının yedek frekans (back up) görevi görmesi
- Çift frekans özelliğinden yararlanarak iyonosferik düzeltme olanağı sağlaması olarak sıralanabilir.

L1 taşıyıcı frekansı üzerine iki PRN kodu ve Navigasyon Mesajı verileri modüle edilmiştir. Bu PRN kodları **C/A** (**C**oarse/**A**cqusition, **C**lear/**A**ccess) kod ve **P** (**P**recise/**P**rotected Code) kod olarak isimlendirilmektedir. L2 taşıyıcı frekansı ise yalnızca tek bir PRN kodu (P-kod) ve Navigasyon Mesajı verileri ile modüle edilmiştir. Bir başka deyişle sivil kullanıcılara açık olan C/A kod yalnızca L1 üzerinde mevcuttur.

"P" kodun askeri kullanıcılara açık olması nedeniyle sivil kullanıcıların tek frekans (L1-C/A kod) kullanabilmeleri ve bu durumda iyonosferik düzeltme olanağı sağlayan çift frekans özelliğinden yararlanamamaları birçok tartışmalara neden olmuştur. (Şimdilik P-kodu gizli değildir ve sivil kullanıma açıktır fakat ABD istediği an bu kodu gizleme seçeneğini elinde tutmaktadır.) Bu konuda yapılan yoğun çalışmalar sonucunda sivil kullanıcıların da çift frekans üstünlüklerinden yararlanabilmeleri amacıyla 2003 yılından itibaren Block IIR-M uydularında L2 frekansı üzerinden C/A kod yayınlanması söz konusudur. Ayrıca üçüncü ve yeni bir

sivil frekans tahsisi söz konusudur. Bu yeni frekans 2005 yılından itibaren fırlatılması planlanan Block IIF uyduları üzerinden yayınlanacak olup buna L5 adı verilmiştir. L5 sinyalinin frekansı 1176.45 MHz olacaktır. Bu sinyalin 2012 yılına kadar 18 uyduda da olması planlanmıştır. L5 sinyalinin asıl olarak hava araçlarının güvenli navigasyonu (safety-of-life) amacıyla kullanılması planlanmakla birlikte büyük bir olasılıkla tüm kullanıcılara açık olacaktır. Bu konudaki çalışmalar halen devam etmektedir (1)

GPS ile konum belirleme ve navigasyon hizmetleri iki farklı kullanıcı seviyesinde sunulmaktadır. Bunlar Standart Konum Belirleme Hizmeti (**SPS**, Standart Positioning Service) ve Duyarlı Konum Belirleme Hizmeti (**PPS**, Precise Positioning Service) dir.

PPS, yüksek doğruluklu konum, hız ve zaman belirleme hizmeti olup yalnızca yetkili (Askeri ve güvenlik amaçlı) kullanıcılara açıktır. PPS ile sağlanan konum doğruluğu 16 m.den daha iyi, UTC zaman transferi doğruluğu 100 nanosaniye ve hız doğruluğu 0.1 metre/saniyedir.

SPS ise tüm kullanıcılara açık olup doğruluğu PPS'ten daha düşüktür. SA etkisini 1 Mayıs 2000 tarihinden itibaren kaldırılmasıyla SPS doğruluğu artarak üç boyutlu ortamda, tek alıcı ile 10 –100 m. arasındadır (Şekil 4.3).

Global Konumlama Sistemi, şimdiye kadar geliştirilmiş olan en doğru konumlama sistemi olmasına rağmen hala önemli sayılabilecek hata kaynakları mevcuttur. İyonosferik ve troposferik gecikmeler, multipath, alıcı saat hatası, yörünge hataları ve uydu sinyal doğruluğunun bilinçli olarak Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından azaltılması anlamına gelen SA bu hata kaynaklarının en önemlileridir. SA en büyük hata kaynağı olmasına rağmen 1 Mayıs 2000 tarihinden itibaren uygulanmaktan vazgeçilmiştir (Şekil4.2), (Şekil4.3) (22). Bu hataların bir çoğu Diferansiyel GPS (DGPS) tekniği yardımıyla azaltılabilmekte veya kaldırılabilmektedir. Bu sayede GPS, gemilerin veya uçakların navigasyonu için kullanılan sistem olmasının yanı sıra çok hassas ölçekte konumlandırma yeteneğine sahip en yaygın ölçme sistemi haline gelmiştir.

DGPS, yüksek performanslı alıcıların konumları bilinen noktalara konması ve uydu sinyallerindeki hataların belirlenmesi esasına dayanır. Referans istasyonun görebildiği bütün uydulara yaptığı mesafe ölçümü, referans istasyonunun bilinen koordinatı yardımıyla hesaplanan gerçek uydu alıcı arası mesafeyle karşılaştırılır. Aradaki fark toplam hatadır. Gözlemlenen her bir uyduya ait hata, veri düzeltme mesajı olarak formatlanıp gerçek zamanlı kullanım için kullanıcılara gönderilebilir veya daha sonra bu düzeltmelerin uygulanması için kaydedilebilir (post-process). Bu diferansiyel düzeltmelerin daha sonra gözlemlenen ilgili uydu alıcı arası mesafelere uygulanmasıyla konum doğruluğu arttırılır.

Gerçek zamanlı DGPS uygulaması yapılabilmesi için referans istasyonundaki alıcının bu düzeltmeleri hesaplayıp, yayınlama yeteneğine sahip olması gerekir. Post-process DGPS uygulaması yapmak için ise bir yazılıma ihtiyaç vardır.

4.2. GPS Hata Analizi

Global Konum Belirleme Sistemi şimdiye kadar geliştirilmiş olan en doğru konumlama sistemi olmasına rağmen, hala önemli sayılabilecek hata kaynakları mevcuttur. Bu hata kaynaklarının anlaşılması sayesinde, kullanıcı GPS sisteminin kısıtlamalarını ve hata kaynaklarını gidermenin yollarını öğrenebilir.

GPS hata kaynakları 7 grupta incelenebilir (3).

- Efemeris Hatası
- Uydu Saat Hatası
- İyonosferik Hatalar
- Troposferik Hatalar
- Multipath Hatası
- Alıcı Hataları
- Uydu Geometrisi

Efemeris hatası:

GPS Navigasyon Mesajı içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşük olduğu ya da kasıtlı olarak yanlış yayınlanması durumunda karşılaşılan hataya denir. Uydu yörüngelerinin çok duyarlı hesaplanması hatayı azaltır. Bu da uydulara etki eden kuvvetlerin çok iyi ölçülmesi yada modellenmesine bağlıdır. Efemeris hatası uydu konum kestiriminin (prediksiyonunun) bir sonucu olduğu için, kontrol istasyonu tarafından uyduya yapılan en son yükleme zamanından uzaklaştıkça artacaktır. Aynı zamanda SA'in bir kısmı da efemerise eklenmiş olabilir. Efemeris hatası uydu saatiyle korelasyonludur ve P ve C/A kodları için aynıdır ve genelde 3 m'den azdır.

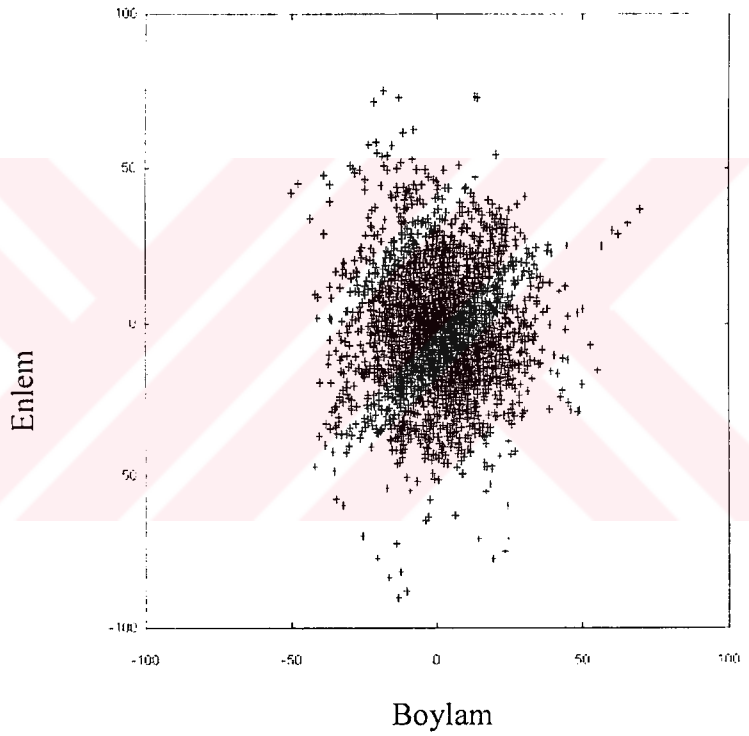
Uydu saat hatası:

GPS'in temeli tek yönlü mesafe ölçümüne dayanır ve temelde uydu saatinin tahmin edilebilirliğine bağlıdır. Uydu saat hatası P kod ve C/A kod kullanıcılarını aynı şekilde etkiler. Bu etki uydu doğrultusundan bağımsızdır. Bu diferansiyel GPS tekniği için önemlidir. Çünkü bütün sabit istasyonlar ve kullanıcılar aynı uydu saat hatasını ölçerler.

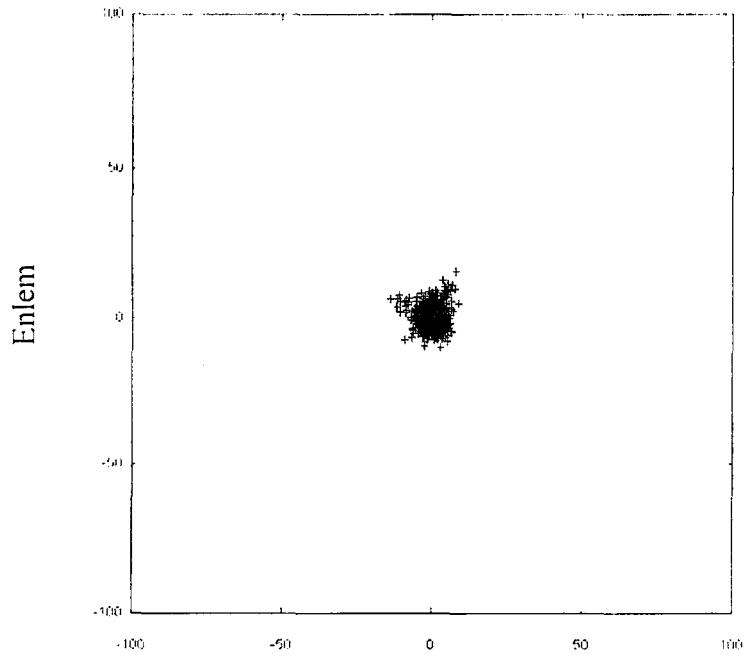
Bu hatanın en büyük kaynağı SA etkisi idi. SA etkisi artık uygulanmadığı ve GPS uydularında stabilitesi yüksek atomik saatler kullanıldığı için, uydu–alıcı uzaklığındaki hataların temel kaynağını uydu ve alıcı saatlerinin GPS zamanına göre yeterli doğrulukta senkronize edilememesi oluşturmaktadır.

İyonosferik Hatalar:

İyonosfer, elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahip üst atmosfer tabakasıdır. (70-3000 km) İyonosferdeki serbest elektronlardan dolayı, GPS sinyalleri iyonosferi geçerken ışığın vakum ortamındaki hızında hareket edemez. Sinyaldeki modülasyonda oluşan gecikme taşıyıcı dalga frekansının tersinin karesi ve karşılaşılan elektron sayısıyla orantılıdır. İyonosfer iklim olarak ılıman bölgelerde çok fazla değişken değildir. Kutuplarda ve ekvatorda ciddi bir şekilde değişkendir.



Şekil 4.2. SA Açıkken Nokta Konumlama (1 Mayıs 2000)



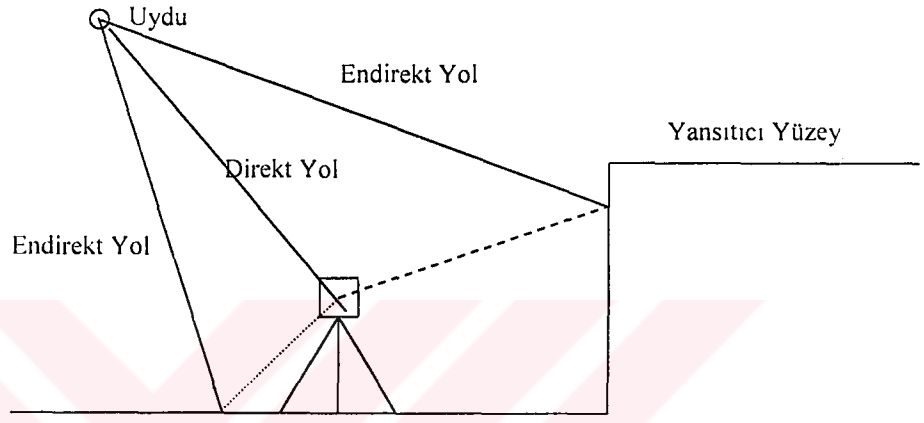
Şekil 4.3. SA Kapalıyken Nokta Konumlama (3 Mayıs 2000)

Troposferik hatalar:

Troposfer, havanın yeryüzü ile temas halinde olan en alt tabakasıdır. Kalınlığı kutuplarda yaklaşık 8 km, ekvatorda yaklaşık 18 km'dir. Hava olayları genel olarak troposferin 3-4 km lik alt kısımlarında görülmektedir. Nötr (iyonize olmamış) atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi (troposferik refraksiyon) olarak isimlendirilmektedir. Nötr atmosfer elektromanyetik dalgaların hızını ve yönünü değiştirir. Bu etki elektromanyetik dalganın yavaşlamasına ve eğilmesine neden olur.

Multipath hatası:

Multipath hatası adından da anlaşılabileceği gibi uydu tarafından yayınlanan sinyalin alıcıya birden fazla yoldan gitmesi demektir. Multipath genellikle alıcı yakınındaki yansıtıcı yüzeyler nedeniyle oluşur (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Multipath etkisi

Şekil 4.4'de görülebileceği gibi sinyal alıcıya üç değişik yoldan varmaktadır. Biri direkt, ikisi dolaylı yollardır. Uydulardan yayınlanan sinyallerin yeryüzünde herhangi bir noktada kurulu olan antene, bir veya daha fazla sayıda yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına sinyal yansıma etkisi (multipath) etkisi denir. Farklı geometrik durumlardan dolayı multipath etkinin genel bir modeli yoktur.

Alıcı hataları:

Bu kategori termal gürültü, yazılım doğruluğu ve kanallar arası kayıklıklardan kaynaklanan alıcı ölçümlerindeki hataları içermektedir. Modern çip teknolojisiyle birlikte üç veya daha fazla izleme kanalını bir tane ucuz çipe yerleştirme imkanı ortaya çıkmıştır. Boyut ve maliyet düştüğü için yeni teknikler gelişmiş ve 5-6 kanallı alıcılar yaygın hale gelmiştir. Bir çok modern alıcı tekrar oluşturulmuş taşıyıcıyı kullanarak kod izleme döngülerine yardımcı olmaktadır. Bu 0.3 m'den daha iyi bir duyarlılık sağlamaktadır. Kanallar arası kayıklık dijital örnekleme ve tamamen dijital tasarımlar yardımıyla en aza indirgenmiştir.

Eski tasarımlardaki alıcı yazılımının sınırlı duyarlılığı hatalara katkıda bulunuyordu. Bu teknoloji 8-bit mikroişlemciye dayanmaktaydı. Uydulara olan 20 milyon metrelik mesafede $1:10^{10}$ veya daha iyi bir duyarlılığa ihtiyaç vardır. Modern mikroişlemciler bu duyarlılığı sağlamaktadır.

Uydu geometrisi:

GPS'in doğruluğu, yukarıda bahsedilen mesafe ölçümündeki hataların uydu geometrisinin bozucu etkisiyle çarpımı olarak da görülebilir. Bu yüzden basitleştirilmiş ilişki şu şekilde gösterilebilir.

Konum Hatası = Geometrik Bozukluk x Mesafe Ölçüm Hatası

Geometrinin etkisi Geometrik Hassasiyet Bozukluğu (GDOP) parametreleriyle ifade edilmektedir. Bu parametreler üç boyuttaki hassasiyet bozulmasını yansıtan PDOP'u; yatay boyuttaki hassasiyet bozulmasını yansıtan HDOP'ı; düşey boyutttaki hassasiyet bozulmasını yansıtan VDOP'ı ve zamandaki hassasiyet bozulmasını yansıtan TDOP'ı içerir. GDOP parametrelerindeki küçük değerler uyduların gökyüzünde uygun dağılımına ve aynı zamanda konum hesaplamasında küçük hatalara işarettir. Şekil 4.5 zayıf ve güzel uydu geometrisini göstermektedir (22).

DOP faktörleri yalnızca navigasyon amaçlı kullanılmayıp, birçok konum belirleme uygulamasında kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1. DOP faktörleri (23)

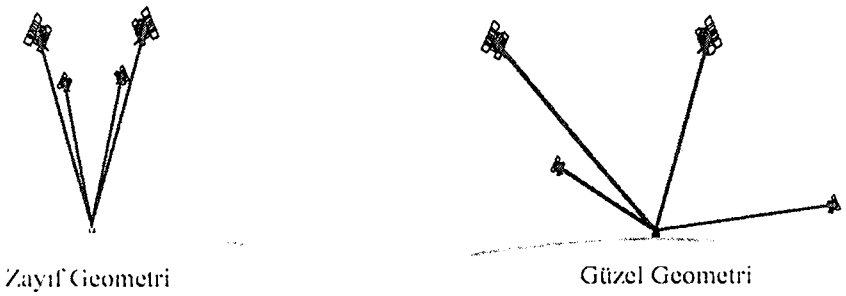
Kısa Adı	Açık Adı	Etkilediği Büyüklük	Kullanım Alanı
GDOP	Geometric Dilution Of Precision	Koordinatlar(X,Y,Z) Zaman (T)	Teorik ve Bilimsel Çalışmalarda
PDOP	Position Dilution Of Precision	Koordinatlar (X,Y,Z)	3 Boyutlu Konumun önemli olduğu Uygulamalarda (ör. Havacılık)
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision	Yatay Koordinatlar (X,Y)	Denizcilik İle ilgili Uygulamalarda
VDOP	Vertical Dilution Of Precision	Yükseklik (Z)	Yükseklik Bilgisinin önemli Olduğu Uygulamalarda (ör.Havacılık)
TDOP	Time Dilution Of Precision	Zaman (T)	Zaman Transfer Uygulamalarda

NATO standartlarına uygun olarak kabul edilen DOP değerleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir

Çizelge 4.2. DOP değerleri (23)

PDOP	İyi Dikkatli olmalı Kullanma	PDOP < 6 PDOP = 6-10 PDOP > 10
HDOP	İyi	HDOP≤ 4
VDOP	İyi	VDOP≤ 4.5
TDOP	İyi	TDOP ≤ 2

Mevcut uydu konfigürasyonuyla herhangi bir kullanıcı, dünya üzerinde aynı anda sekiz veya daha fazla uyduyu aynı anda gözlemleyebilir. Buna rağmen, alıcıların yerleşim alanlarında kullanılması çukur veya vadi içinde kalması gibi durumlarda uydu görünürlülüğünün engellemesi nedeniyle zayıf uydu geometrisiyle karşılaşılabilir.



Zayıf Geometri Güzel Geometri

Şekil 4.5. Uydu geometrisi

Standart hata çizelgeleri:

Yukarıda belirtilen hata kaynakları aşağıdaki çizelgeler yardımıyla özetlenebilir. Her bir hata sistematik ve rast gele hata olarak ifade edilmiştir. Toplam hata ise bu iki bileşenin karelerinin toplamının karekökü olarak hesaplanmıştır. Her bir hata bileşeninin birbiriyle korelasyonsuz olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 4.3'de SA'in kapalı olduğunu varsaymaktadır. Sonuç olarak çizelgeden de görülebileceği gibi 2.1 m.'lik uydu saat hatası en büyük hata kaynağı değildir. Görüldüğü gibi en büyük hata kaynağı iyonosferin eksik modellenmesidir.(4.0 m). Bu yüzden bütün dünyadaki sivil konumlama hatası yatayda yaklaşık olarak 10 m.'dir.

Çizelge 4.4. SA'in etkisini göstermektedir. Yanlış modellenmiş uydu saati hata kaynaklarının en büyüğünü oluşturmaktadır. Bu durumda bütün hata kaynakları ihmal edilebilir. Bu durumda yatay konumlamada beklenen hata 41 m dir (22). Eğer diferansiyel düzeltmeler kullanılırsa, SA hatası tamamen ortadan kaldırılabilir. Fakat düzeltmelerin yeterli sıklıkta ve hızda gönderilmesi gerekir.

Çizelge 4.3. SA Kapalı Durumdayken Hata Çizelgesi

Hata Kaynağı	1-Sigma Hata (m)		
	Sistematik Hata	Rastgele Hata	Toplam
Efemeris Verisi	2.1	0.0	2.1
Uydu Saati	2.0	0.7	2.1
İyonosfer	4.0	0.5	4.0
Troposfer	0.5	0.5	0.7
Multipath	1.0	1.0	1.4
Alıcı	0.5	0.2	0.5
Kullanıcı Mesafe Hatası, rms	5.1	1.4	5.3
Düşeyde 1-sigma Hata-VDOP=2.5			12.8
Yatayda 1-sigma Hata-HDOP=2.0			10.2

Çizelge 4.4. SA Açık Durumdayken Hata Çizelgesi

Hata Kaynağı	1-Sigma Hata (m)		
	Sistematik Hata	Rastgele Hata	Toplam
Efemeris Verisi	2.1	0.0	2.1
Uydu Saati	20.0	0.7	20.0
İyonosfer	4.0	0.5	4.0
Troposfer	0.5	0.5	0.7
Multipath	1.0	1.0	1.4
Alıcı	0.5	0.2	0.5
Kullanıcı Mesafe Hatası, rms	20.5	1.4	20.6
Düşeyde 1-sigma Hata-VDOP=2.5			51.4
Yatayda 1-sigma Hata-HDOP=2.0			41.1

Mart 1996'da ABD başkanlık karar yönergesi ile GPS'in sivil kullanımına barış zamanında tam ve kesintisiz erişim garantisi verilmiştir. Buna bağlı olarak mayıs 2000 tarihinden itibaren SA kaldırılmıştır (22).

GPS Sinyallerine kasıtlı veya kasıtlı olmayan parazit ve engellemeler:

GPS'lerin kullanılan dar ve geniş radyo frekans bantlarında kasıtlı veya kasıtlı olmayan sinyal karışma problemlerinin bir çok kaynağı vardır. Kasıtlı olarak yapılabilecekler, GPS sinyallerinin zayıf olmasından yararlanarak çeşitli karıştırma ve hayali GPS uydu sinyalleri oluşturarak aldatma şekillerinde olabilir., bunlar bir hayli teknoloji, çaba ve maliyet gerektirir. Kasıtlı olmayan sinyal karıştırmaları ise RF vericileri, (uçaktaki, civar uçaktaki veya yerdeki istasyonlar) uydu haberleşme sistemleri (SATCOM), mobil uydu sistemleri (MSS), VHF, UHF bantlar (iletişim ve radyo TV yayınları), VOR/ILS, FM frekansları, MOD-S Transponder, GLONASS sinyalleri ve askeri radarlar sayılabilir.

Son Yirmi yıldır askeri ve ticari organizasyonlar kasıtlı veya kasıtlı olmayan sinyal karışımı ve bozulmalarını önlemek için çeşitli yatırımlar yaparak bazı önleme teknikleri geliştirdiler. Bunlar arasında filtreleme, korelasyon ve antijam tekniklerinin yanında anten çeşitleri ve antenlerin, özellikle uçaklara monte edilme yerlerinin seçimi de dahil olmak üzere bazı ciddi tedbirler geliştirildi. İlave sivil GPS linklerinin yeni blok uydularda kullanılmaya başlaması ile kasıtlı olmayan karışma ve bozulmaların da azalacağı değerlendirilmektedir (24).

5. DİFERANSİYEL UYDU HASSAS YAKLAŞMA VE İNİŞ SİSTEMİ

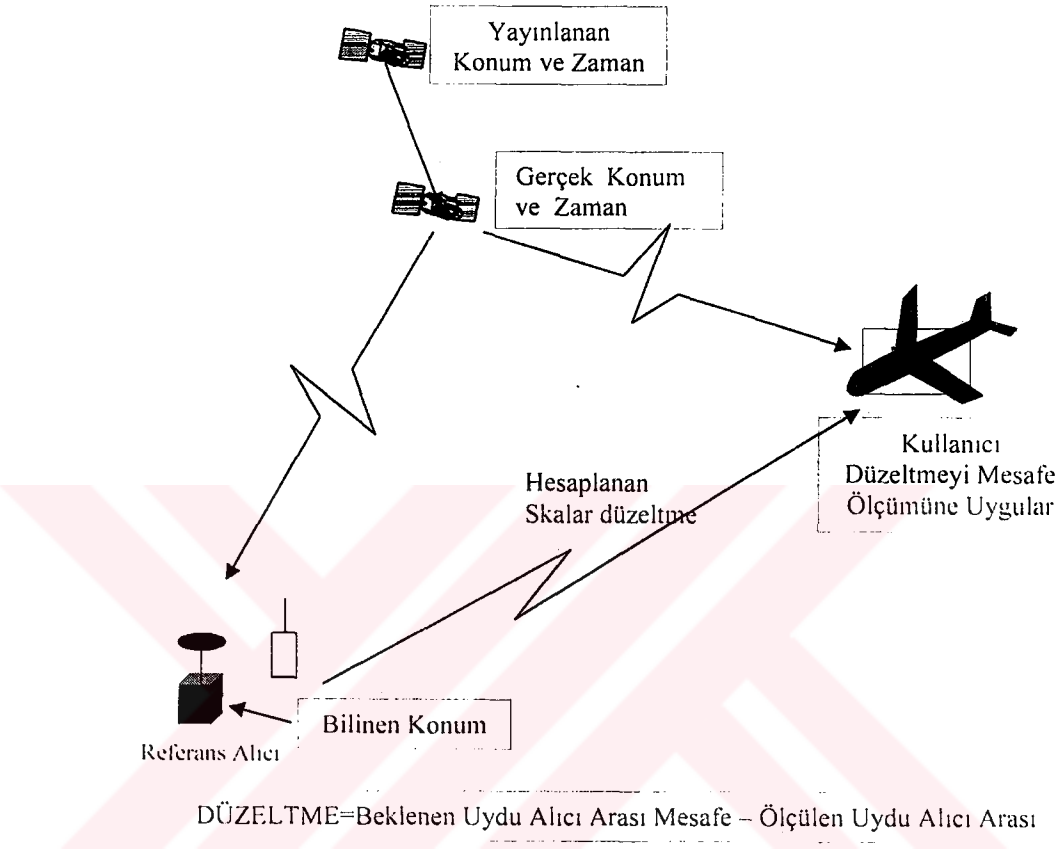
Bu bölümde, günümüzde yaygın olarak kullanılan navigasyon uyduları GPS uyduları olması nedeniyle bu uyduların konum belirleme verileri kullanılarak diferansiyel GPS hassas yaklaşma yöntemi detaylı olarak incelenmektedir.

5.1. Diferansiyel GPS (DGPS)

GPS ile elde edilen anlık doğruluk bir çok amaç için yeterli olmakla birlikte bazı navigasyon uygulamalarında (örnek: deniz ve hava araçlarının navigasyonu) daha yüksek doğruluklara gereksinim duyulmaktadır. Bu ise mevcut GPS sisteminden anlık konum belirlemede yararlanabilme olanaklarını kısıtlamaktadır.

DGPS tekniğinde biri sabit (reference base) diğeri gezen (roving) olmak üzere en az iki alıcıya gereksinim vardır. Sabit alıcı anteni, konumu daha önceden duyarlı olarak belirlenmiş bir noktaya kurulur ve gezen alıcının konumu belirlenir. Her iki noktada da en az dört ortak uyduya eş zamanlı GPS gözlemi yapılmalıdır. Sabit alıcı gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydu-alıcı uzaklıklarını hesaplayarak bu değerleri kendi duyarlı konumundan yararlanarak hesapladığı (olması gereken) uzaklıklarla karşılaştırır. Aradaki farklar gözlem hatası olarak yorumlanır ve bu farklar konumu belirlenecek olan noktalardaki gezen alıcı/alıcılar tarafından kaydedilen gözlemlere düzeltme olarak getirilerek gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenir. Söz konusu düzeltmelerde gezen alıcıya yayınlanır.

Diferansiyel GPS (DGPS) Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)'in doğruluk ve güvenirliğini belirgin bir şekilde arttıran bir tekniktir. DGPS'in en genel hali Şekil 5.1'de gösterilmiştir (25).



Şekil 5.1. Lokal alan diferansiyel GPS'i

DGPS tekniğinde konumu bilinen noktalarda yüksek kaliteli referans alıcılara ihtiyacı vardır. Referans istasyon her bir uyduya olan mesafe ölçümündeki hata bileşenini belirler ve görüşündeki bütün GPS uydularına düzeltme hesaplar. Bu düzeltmeler bütün kullanıcılara uygun iletişim aracı kullanılarak gönderilir (Gerçek Zamanlı DGPS) veya daha sonra kullanmak amacıyla kaydedilebilir.

DGPS ile elde edilen konum doğrulukları, yalın GPS ile elde edilen doğruluklardan çok daha iyidir. Bu teknikte GPS sisteminin performans ve doğruluğunu düşüren hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu varsayılmaktadır. Başka bir deyişle, DGPS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki ortak sistematik hataların giderilmesi yada en aza indirilmesi söz konusudur.

Bazı hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu varsayılmaktadır. Başka bir deyişle, DGPS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki korelasyonlu (ortak) sistematik hataların giderilmesi yada en aza indirilmesi söz konusudur. Daha önce de ifade edildiği gibi SA etkisinin uygulanmadığı durumlarda anlık GPS gözlemi ile elde edilebilecek pseudorange doğruluğu yaklaşık 20-25 m.dir (25).

Çizelge 5.1. Pseudurange doğruluğu

Hata Kaynağı	**Hata Büyüklüğü (metre; 1σ)**
Efemeris Hatası	2.1
Uydu Saati Hatası	20.0
iyonosfer	4.0
Troposfer	0.7
Sinyal Yansıması (multipath)	1.4
Alici Olçü Hatası	0.5
Sabit Nokta Konum Hatası	0.0
Pseudorange Hatası; UERE(RMS)	20,6
1σ Düşey Konum Hatası VDOP=2.5	51.4
1σ Yatay Konum Hatası HDOP=2.0	41.1

Çizelge 5.1.'den de görüldüğü gibi, GPS ile konum belirlemede uydu saati hatası ana hata kaynağıdır. Bu ise SA etkisinin uygulanmasının (clock dithering) kullanıcılar açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. SA etkisi

artırıldıkça elde edilecek pseudorange ve konum doğrulukları da o ölçüde kötüleşecektir.

DGPS uygulaması ile elde edilen sonuçlar, SA uygulansın yada uygulanmasın, yalın GPS' den elde edilen doğrulukların çok üzerinde olmaktadır. Çizelge 5.2'de referans istasyonundan yaklaşık 50 km. uzaklıktaki bir SPS kullanıcı için elde edilen DGPS doğrulukları verilmiştir.

Çizelge 5.2. DGPS Doğrulukları (SPS Kullanıcısı İçin)

Hata Kaynağı	Hata Büyüklüğü (metre; 1σ)
Efemeris Hatası	0.0
Uydu Saati Hatası	0.7
İyonosfer	0.5
Troposfer	0.5
Sinyal Yansıması (multipath)	1.4
Alıcı Oleu Hatası	0.2
Referans Noktası Konum Hatası	0.4
Pseudorange Hatası; UERE (RMS)	1.8
1σ Düşey Konum Doğruluğu VDOP=2.5	2.8
1σ Yatay Konum Doğruluğu HDOP=2.0	2.2

5.2. DGPS Düzeltmelerini hesaplama yöntemleri

DGPS tekniğinde düzeltmeler iki farklı şekilde hesaplanmaktadır. İlk ve en kolay yöntem doğrudan koordinatlara düzeltme getirmektir. Buna konum düzeltme yöntemi adı verilmektedir. Bu yöntemde sabit (referans) alıcı, gözlem yaptığı uydulardan yararlanarak kendi konumunu (enlem, boylam, yükseklik) hesaplar, bunu duyarlı olarak bilinen konumu ile karşılaştırır ve aradaki fark gezen alıcı/alıcılar tarafından hesaplanan konumlara düzeltme olarak getirilir. Sabit alıcı ile gezen alıcılarının özellikle uzun mesafelerde farklı uydulara gözlem yapma olasılığı nedeniyle bu yöntem uygulamada tercih edilmemektedir. Örneğin, sabit istasyon 8 uyduya eş zamanlı gözlem yapmışsa 70 değişik 4'lü uydu

konfigürasyonu hesaplayıp yayınlamak zorundadır. Bu ise zaman alıcı ve yorucu bir işlemdir.

İkinci ve en çok tercih edilen yöntem, düzeltmelerin her bir uyduya yapılan pseudorange ölçülerine getirilmesi yöntemidir. Bu düzeltmelere "delta pseudorange" ya da "pseudorange düzeltmeleri" adı verilmektedir. Bu yöntemde kısaca, sabit istasyonda bilinen koordinatlar yardımıyla, gözlem yapılan her bir uyduya olan gerçek uzaklıklar (pseudorange) hesaplanır. Bu uzaklıklardan, gözlem yapılarak elde edilen ölçülmüş uzaklıklar çıkarılarak pseudorange düzeltmeleri hesaplanmış olmaktadır.

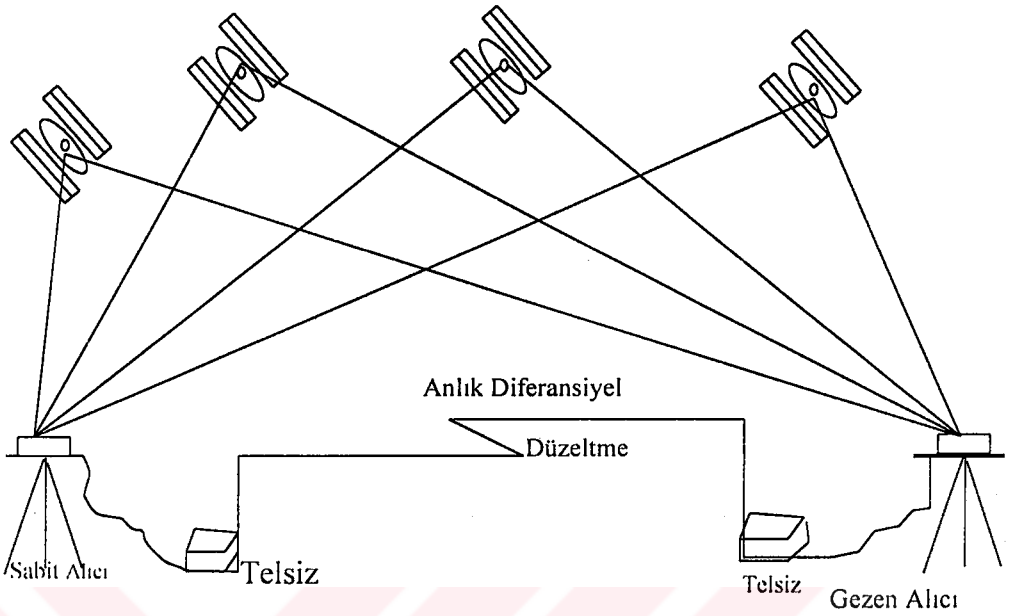
Söz konusu diferansiyel düzeltmeler konumu belirlenecek noktalardaki gezen alıcılara iki şekilde getirilmektedir. Bunlar,

- Anlık (real-time) diferansiyel düzeltme
- Gözlem sonrası değerlendirme (post-process) ile diferansiyel

düzeltmedir.

Anlık diferansiyel düzeltmelerdeki temel prensip, gözlem sonrası düzeltme ile aynı olup aradaki en önemli fark, alıcılardaki gözlemler büroda hesaplama amacıyla bilgisayarlara aktarılmaktadır. Bu düzeltme değerleri sabit istasyonda anlık olarak hesaplanmakta ve bazı özel yöntemler kullanılarak gezen alıcılara doğrudan aktarılmaktadır (Şekil 5.2).

Kısaca, Anlık DGPS yönteminde sabit noktadaki alıcı gerekli düzeltmeleri her bir uydu için hesapladığı an bunları yayınlar. Bu yayınlar ise gezen alıcılar tarafından alınarak kendi konumlarına düzeltme olarak getirilir ve böylece çok kısa zaman aralıklarında gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenmiş olmaktadır. Bu yöntem özellikle uçak, gemi gibi hareketli (dinamik) platformlardaki kullanımlarda çok önemlidir. Sabit istasyonda hesaplanan düzeltmeler, diğer alıcılara özel amaçlı bir telsiz yada cep telefonu uydu vb. vasıtasıyla gönderilmekte ve bu yayınlar gezen alıcılarda da mevcut olan aynı özellikteki telsizler vasıtasıyla alınmaktadır.

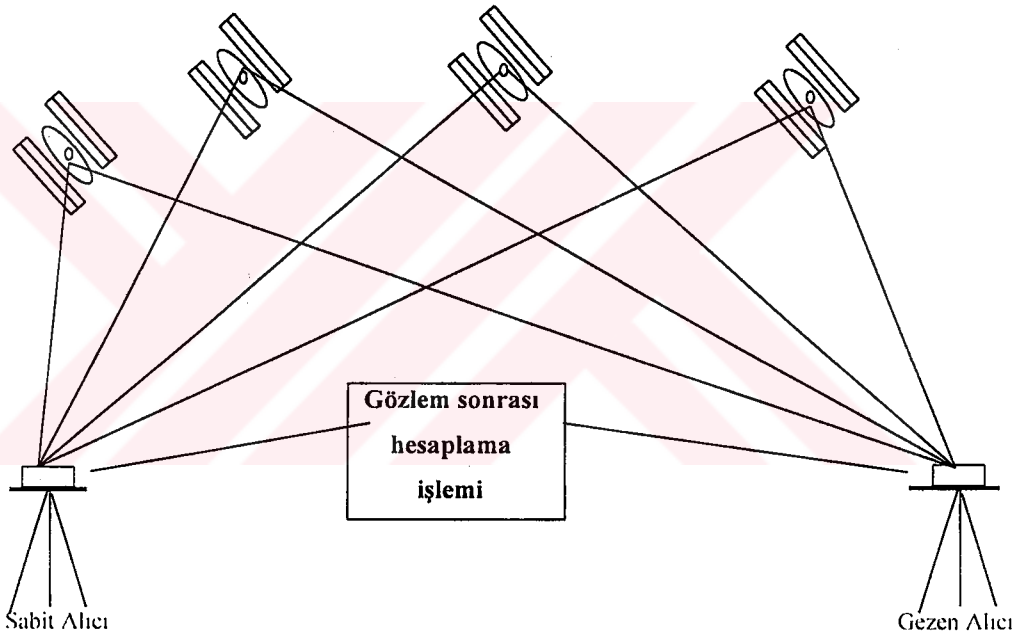


Şekil 5.2. DGPS' de temel prensip

Bu telsizlerle gönderilen düzeltmeler kullanıcının belirlediği bir formatta olabilmektedir. Ancak, bir standart sağlamak amacıyla bu düzeltmeler uluslararası bir standart olan **RTCM-SC** 104 (Radio Technical Commission for Marine Services Special Commitee 104) formatında yayınlanmaktadır. Bu yöntemde, sabit alıcı pseudorange düzeltmelerinin.yanında bunların değişim oranını da (**RRC**; Range Rate Correction) yayınlamaktadır. Böylece, gezen alıcılar, sabit alıcıdan bir sonraki düzeltme değerini alana kadar arada geçen süre içerisindeki konumlarını da bu orandan yararlanarak hesaplayabilmektedir. İki düzeltme yayını arasındaki süre uygulama alanına göre değişmektedir. Örneğin, sivil yolcu uçakları için bu süre 6 saniyeden az olmalıdır.

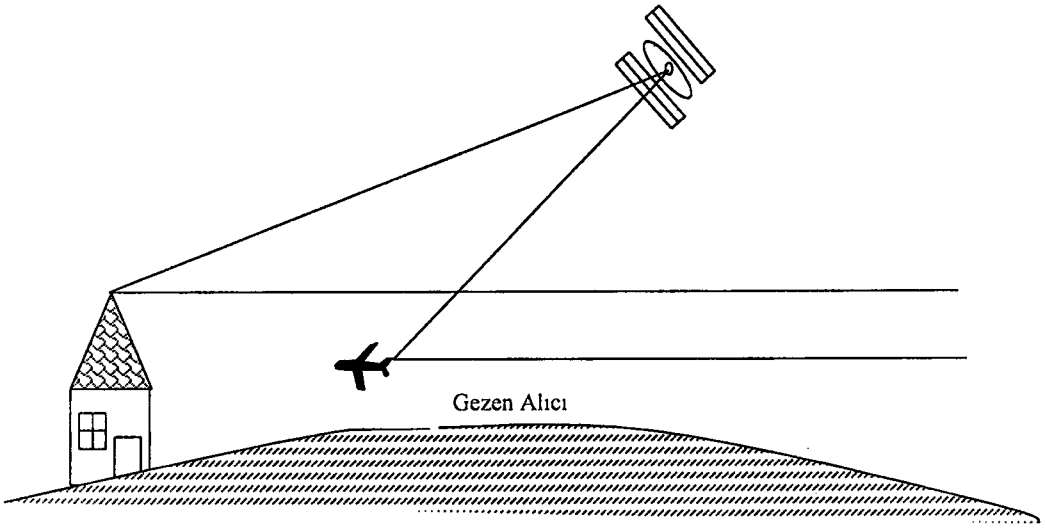
Gözlem sonrası değerlendirme yönteminde ise sabit alıcı her bir uydu için hesapladığı düzeltmeleri hafızasına kaydeder. Gezen alıcı da kendi hesapladığı konumları hafızasına kaydeder. Daha sonra her iki alıcı tarafından kaydedilmiş veriler DGPS yazılımı kullanılarak değerlendirilir ve gezen alıcının kaydettiği verilere gerekli düzeltmeler getirilir (Şekil 5.3). DGPS yönteminin daha güvenilir

sonuçlar vermesi için sabit alıcının, gezen alıcının gözlem yaptığı aynı uyduları kapsayan bir uydu kümesine gözlem yapması gereklidir. Bunun için sabit alıcının veri toplama yükseklik açısı gezen alıcınınkinden daha düşük olmalıdır. Böylece belirli uzaklıklar için (yaklaşık 50 km) gezen alıcılar tarafından gözlenen tüm uyduların sabit alıcı tarafından da gözlenmesi sağlanacaktır. Genel bir kural olarak gezen alıcının veri toplama açısı, sabit istasyondan olan her 100 km uzaklık için, bir derece arttırılmalıdır. Örneğin sabit istasyonda veri toplama açısı 10 derece ise, buradan 500 km. uzaklıktaki bir gezen alıcı için bu değer en az 15 derece olmalıdır (Şekil 5.4).



Şekil 5.3. Gözlem Sonrası Hesaplama (Post Processing)

DGPS ile elde edilebilecek doğruluklar sabit alıcı ile gezen alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olarak 1-10 m arasında değişmektedir. Bu nedenle uygulamada söz konusu doğruluğun sağlanması için bu uzaklığın 500 km.yi geçmemesi istenmektedir. Uzaklık arttıkça elde edilecek doğruluk da aynı oranda düşecektir (1).



Şekil 5.4.Sabit istasyon ve gezen alıcı veri toplama yükseklik açısı sınırı

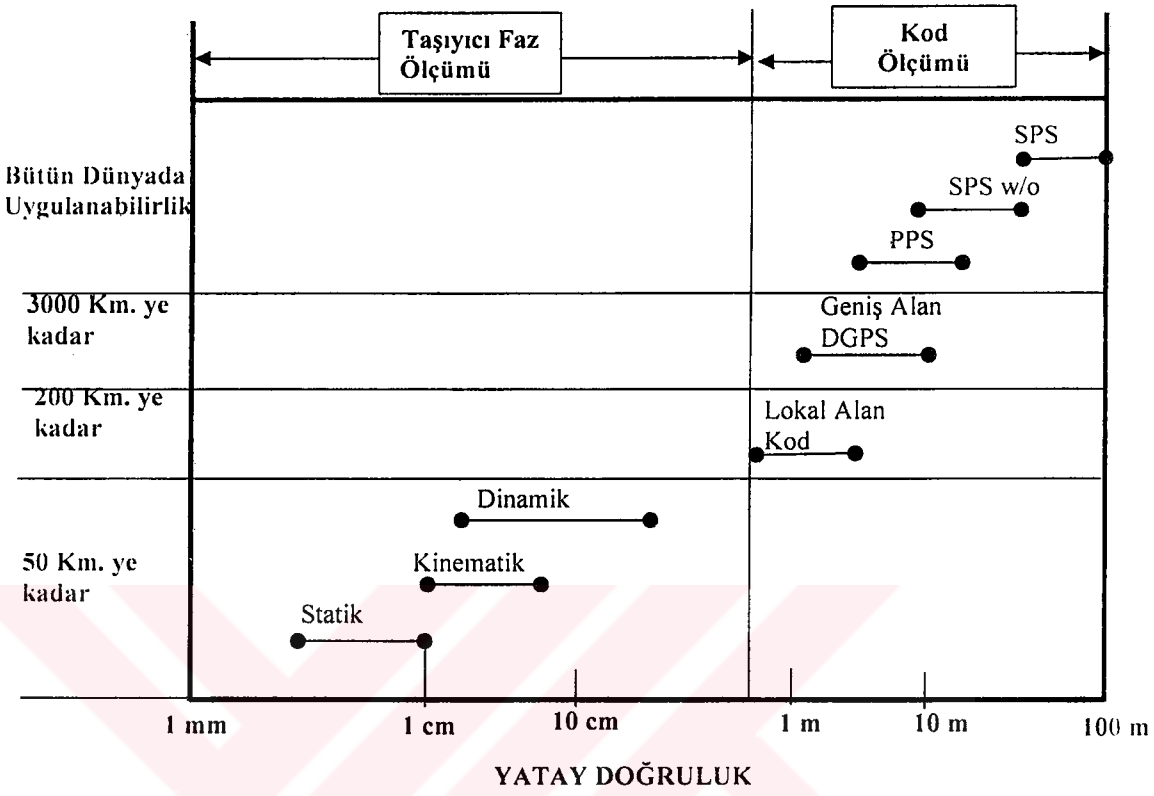
5.3. Ana DGPS Teknikleri

Bir çok DGPS tekniği ve uygulaması olmakla birlikte genel olarak uygulama üç ana sınıfta toplanabilir (25).

a) Geniş Alan Diferansiyel GPS'i

b) Taşıyıcı Faz Diferansiyel GPS'i

c) Lokal Alan Diferansiyel GPS'i



Şekil 5.5. DGPS Teknikleri ve doğrulukları

Geniş alan diferansiyel GPS'i (WADGPS):

Örnek bir WADGPS ağı Şekil 5.6'da da görüldüğü gibi en az bir ana merkez istasyon, çok sayıda izleme istasyonu ve haberleşme hatlarından oluşmaktadır. GPS gözlemleri tüm izleme istasyonları tarafından kaydedilerek, ana istasyona gönderilmektedir. GPS hata bileşenleri, istasyonların duyarlı olarak bilinen koordinatları ve toplanan veriler yardımıyla hesaplanır. Hesaplanan bu düzeltmeler uygun bir haberleşme vasıtasıyla (uydu, radyo modem vs.) kullanıcılara yayınlanır.

Bu sistemde pseudorange hataları bir bütün (skalar bir büyüklük) olarak ele alınmaktadır. Söz konusu hatalar ayrı ayrı bileşenler olarak tüm bölge için geçerli olacak şekilde hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, WADGPS den elde edilecek

doğruluk kullanıcının (gezen alıcının) referans istasyona olan uzaklığına bağlı değildir. WADGPS ortalama 7 m. civarında hassasiyete ulaşmıştır (27).

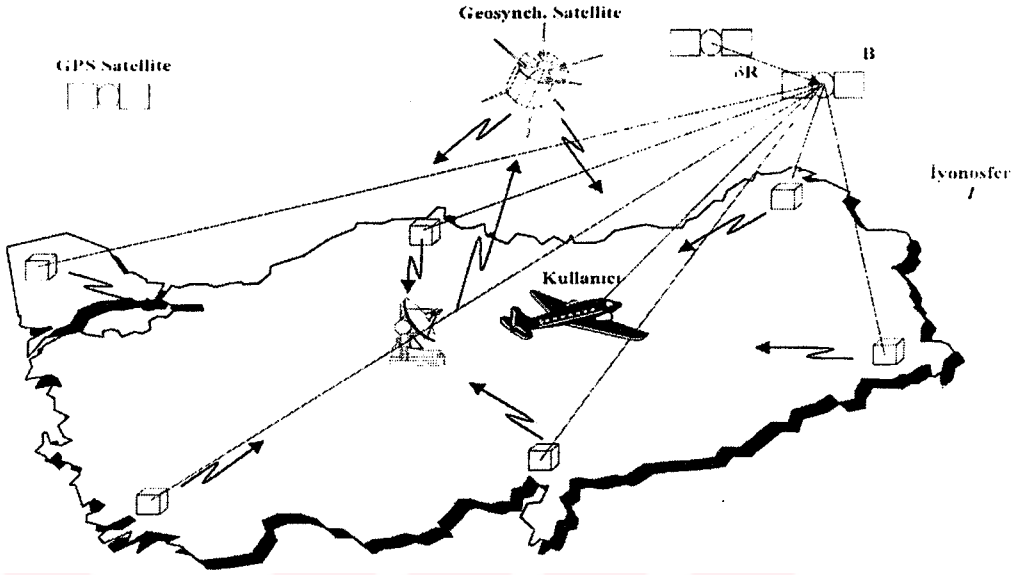
Dünyada geliştirilen ve halada geliştirilmekte olan başlıca geniş alan bütünleşik diferansiyel navigasyon sistemleri ;

- **WAAS** (**W**ide **A**rea **A**ugmentation **S**ystem) (USA) Amerika Birleşik Devletlerinin FAA direktifinde sivil havacılık için kurduğu sistemdir. 24 GPS uydusu ve 4 INMARSAT uydusu kullanılarak kurulmuş bir geniş alan diferansiyel ve navigasyon ağıdır.

- **EGNOS** (**E**uropean **G**eostationary **N**avigation **O**verlay **S**ervice) (EU) Avrupa birliği komisyonu Avrupa uzay ajansı ve Euro kontrolün ortak uygulamasıdır. 2005 yılından itibaren kullanılmaya başlanacaktır. WAAS ve MSAS ile bağdaşan ve birlikte kullanılabilecek şekilde geliştirilen bir sistemdir. GPS, GLONASS, ARTEMIS ve 4 adet INMARSAT uydusu kullanılarak oluşturulacak bir geniş alan diferansiyel ve navigasyon sistemidir.

- **MSAS** (**MTSAT** **S**atellite based **A**ugmentation **S**ystem) (Japan) Japonya tarafından uygulanan sistemdir. 2 Adet MTSAT ve GPS uydularını kullanarak faaliyet gösteren geniş alan diferansiyel ve navigasyon sistemidir.

2008 yılında GNSS-2 projesi ile GALILEO (Avrupa Uyduları) uydularının devreye girmesi sayesinde yukarıda saydığımız sistemlerin hem kapasitesi genişleyecek hem de entegrasyonu tam olarak gerçekleşerek, global anlamda (bütün dünyada) kullanımı sağlanacaktır.



Şekil 5.6. Örnek WADGPS ağı

Taşıyıcı-Faz diferansiyel GPS i (CDGPS) :

Kullanıcılar, GPS taşıyıcı dalgasının fazını referans istasyondaki taşıyıcı dalga fazına göre ölçerler. Eğer antenler sabit olursa, buna statik ölçü denir ve çok hassas doğruluklar elde edilebilir. Antenler hareket ediyorsa ölçü şekline kinematik ölçü denir. Statik ve kinematik ölçü özellikleri Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

Lokal alan diferansiyel GPS i (LADGPS):

LADGPS tekniğinde tek bir referans istasyon mevcut olup gezen alıcı arasındaki uzaklık veri aktarımını etkileyen önemli bir kısıtlamadır. Buradaki temel prensip, bazı pseudorange hata kaynaklarının küçük alan içindeki tüm alıcılar için yaklaşık aynı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Gezen alıcı referans alıcıya ne kadar yakınsa bu ortak hatalar o kadar büyük oranda giderilmiş olmaktadır.

Başlıca üç ana elemandan oluşur (Şekil 5.1). Bunlar;

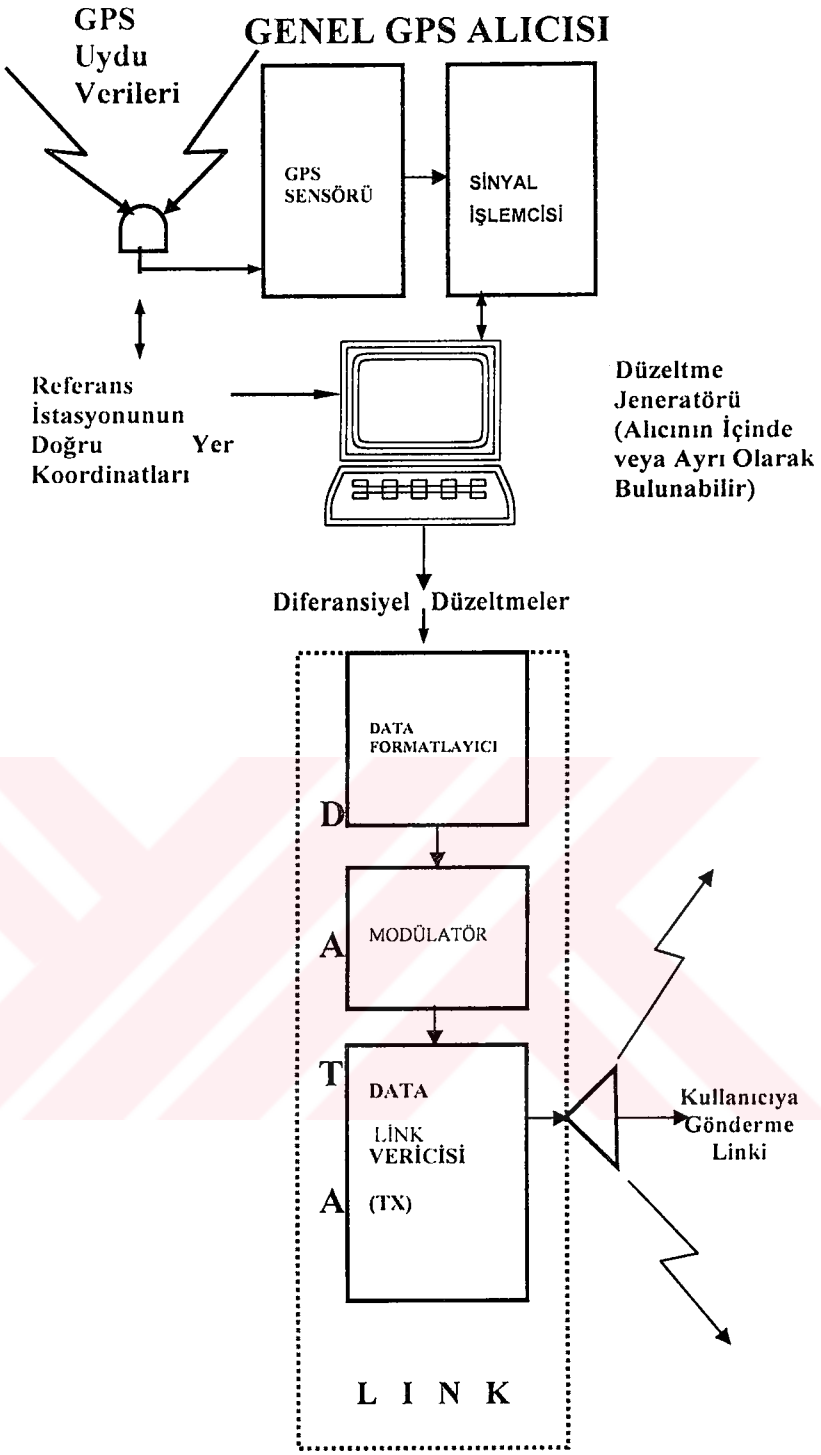
- Referans İstasyon
- Data Link Parçaları
- Uçaktaki Alıcı

Referans istasyon:

Yüksek kalitede GPS alıcıları (çok kanallı, sürekli izleyen, RAIM kapasiteli vs.) konumu çok hassas olarak bilinen yere yerleştirilir ki, bunlara referans alıcılar da denir. Bu alıcılar çift frekansa ve yeterli sayıda, istenilen seviyede sıralı girişlere (port) sahiptir. Bu sayede gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydu alıcı uzaklıklarını WGS84 Jeodezik sistemde hesaplar. Bu değerleri kendi hassas konumundan yararlanarak hesapladığı (olması gereken) Pseudorange'lerle karşılaştırır, aradaki farklar düzeltme olarak o anda lokal alandaki hava aracına yayınlanır.

Bu istasyon, hava alanı etrafında uygun bir yere (ufuk hattının açısal olarak görülebildiği en iyi hakim yer) yerleştirilerek, 30 ile 50 km'lik yarıçapta 1 m.'nin altında cm. seviyesinde yaklaşmakta olan uçağa hem piste hassas yaklaşmasında, hem de pist üzerinde taksi esnasındaki navigasyonunda üç boyutlu konum bilgisi sağlamaktadır.

Bu referans istasyonlar, tamamlayıcı gözlem teçhizatı ile (RAIM) donatılabilir ki bu durumda bunlara gözlem istasyonları adı da verilir. Bu sayede o anda gözlem yapılabilen aktif çalışır durumdaki uydu sayısı ile ilgili daimi uydu geometrisi ve buna ait doğruluk değerleri alınabilir. Bunlar tamamen yer ekipmanından bağımsız olarak çalışır. Yer teçhizatı tarafından oluşturulan bütün verilerin doğruluğu, veri linklerine gönderilmeden önce gözlemlenir ve bu gözlem teçhizatında eğer arıza varsa hemen veri linki kapatılır (Şekil 5.7). Bu işlem 3 sn. içinde pilota iletilmiş olmalıdır (18).



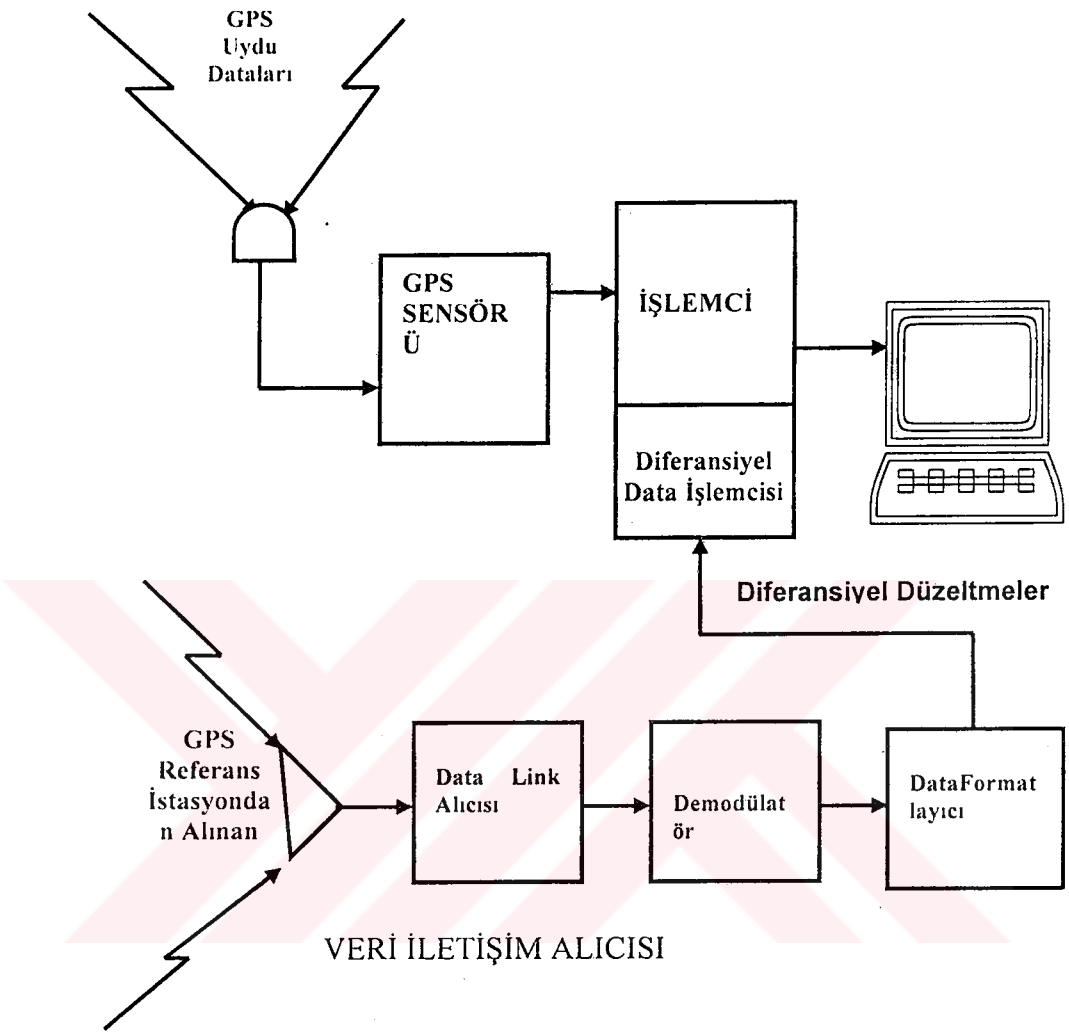
Şekil 5.7. DGPS Referans İstasyon Kısmı Veri İletişim Blok Diyagramı (18)

Data link parçaları:

Belirlenen hata düzeltmeleri belirli bir formatta ve kabul edilebilir belirli zaman aralıklarında, bir başka deyişle düzeltme verisi bayatlamadan kullanıcılara ulaştırılmalıdır. Standart sağlamak maksadıyla düzeltmeler uluslararası bir standart olan RTCM-SC 104 formatında yayınlanmaktadır. Şu anda iki tür veri (data) link bandı kullanılabilir. Birisi VHF band, diğeri Mode S band'tır. İki durumda da yaklaşma pilot tarafından başlatıldığında, frekans otomatik olarak seçilecektir. Bu sayede ILS'te olabileceği gibi pilotun yanlış frekans bağlama olasılığı ortadan kalkacaktır.
Veri link ekipmanları referans alıcının hemen yanına veya yakın çevresine kurulabilir (Şekil 5.7).

Kullanıcı Platformu:

Hangi DGPS sistemi kullanılırsa kullanılsın hava aracı, kendi GPS alıcısına ilave olarak diferansiyel düzeltme bilgilerini alabilecek kapasitede alıcıya ihtiyacı olacaktır. Uçaktaki alıcının başlıca işlevleri; Diferansiyel düzeltmeleri almak, GPS sinyalleri almak, doğru GPS pozisyonu hesaplamak, doğru navigasyonu sağlamak ve navigasyon veri tabanını idare etmek olacaktır. Aynı zamanda tamamlayıcı gözlem teçhizatı ile entegre edilerek yine kendi içinde, 3 sn içinde oluşacak veri arızalarını ikaz edecektir (Böylece herhangi bir işlev bozukluğu sistem içerisinde toplam 6 sn. içinde pilota ikaz edilmiş olacaktır). Bu alıcılar hem uçaktaki GPS, hemde diğer navigasyon teçhizatı (Navigasyon yönetim sistemi, uçuş yönetim sistemi vs.) ile entegre olarak kullanılabilir (Şekil 5.8) (18).



Şekil 5.8. DGPS Uçaktaki Kulanıcı Kısmı Veri İletişim Blok Diyagramı (8)

Tamamen entegre bir sistem, pilot hatalarını da minimuma indirecektir. Kabul edilmiş basılı DGPS alçalma planının son yaklaşma segmentinde belli başlı kontrol noktaları (Waypoint) belirlenerek pilotun bunların üzerinden geçerek yaklaşması istenecektir (Ek-1, Örnek DGPS alçalma kartı). Bunların başlıcaları süzülüş hattı başlangıç kontrol noktası (GPIWP), pist eşiği geçiş kontrol noktası (TCWP) dır.

Pilota bu noktada, rota uçuşunda olduğu gibi, kendine kontrol noktası yaratma serbestisi verilmez (8).

Lokal alan DGPS tekniğinde, özellikle arazinin, ufuk hattında çok sayıda uydu görmeye engel olduğu coğrafyalarda, uydu gibi yayın yapan yalancı uydu (Pseudolite) adı verilen yer istasyonları da kullanılabilir. Pseudoliteler, aynı uydular gibi L1 ve L2 frekanslarında yayın yapan, uydu sinyallerinin yeterli olmadığı yer ve zamanlarda doğruluğu artırmak için yeryüzüne yerleştirilen yer istasyonlarıdır (26).

Pseudolite sinyalleri, uydu sinyallerine benzer şekilde, GPS uyduları gibi aynı modülasyonu, kodu ve frekansı kullanırlar, böylece veriler gerçek uydularla bağdaşacak şekilde yayınlanır. Aynı zamanda diferansiyel düzeltmelerde, aynı uydularda olduğu gibi kullanıcılara yayınlanabilir ve bu diferansiyel düzeltmeler yine GPS uyduların da olduğu gibi aynı frekansta yayınlandığı için kullanıcı alıcılarının ilave farklı bir anten, data link alıcısına ve interfaza ihtiyacı yoktur. Bu da donanım yönünden bir avantajdır.

Bu sistemde kullanıcılar, uydulara yaptıkları pseudorange ölçüleriyle konum belirlemesine ilave olarak, pseudolitelara da pseudorange ölçüsü yaparak ilave konum doğruluğu sağlamış olurlar ya da o anda uydu geometrisindeki en az 5 uydu olması (DGPS hassas yaklaşma için) şartının yerine gelmediği durumlarda devreye girmiş olurlar. Daha önce bahsedildiği gibi güvenli navigasyon için ufuk hattında aktif durumda en az 3 uydu, üç boyutlu (yükseklik dahil) konum elde edebilmek için en az 4 uydu ve IFR hassas yaklaşma yapabilmek için en az 5 uydu görülebilmelidir. Örnek olarak ufuk hattında, çalışır aktif halde devamlı 4 uydunun görülebildiği bir havaalanında IFR DGPS alçalma ve inişinin yapılabilmesi için, havaalanı etrafına (3-4 km civarına) yerleştirilecek bir veya iki pseudolite ile uydu geometrisi geliştirilecek ve bu sayede daha fazla uydudan ölçüm yapılarak konum doğruluğu cm. seviyesinde olabilecektir. Ancak belirli bir alan içerisinde çok fazla sayıda pseudolite kullanılması sinyal karışıklığına yol açabilir. Bu nedenle RTCA standartlarında söz konusu sakıncayı gidermek için bazı kısıtlamalar getirilmiştir. Buna göre herhangi pseudolite ile kullanıcı arasındaki uzaklık 50 km.'den fazla olmayacak, iki pseudolite arasındaki uzaklık ise 54 km.'den az olmayacaktır.

5.4. Diferansiyel GPS ve Hata Kaynakları

DGPS ile hataların düzeltilebilmesi için kullanıcı ve referans istasyonundaki hatalar arasında korelasyon olmalıdır, diğer bir ifade ile hata kaynakları aynı olmalıdır. Özellikle gerçek zamanlı bir DGPS uygulamasında hem yer istasyonunun hem de havadaki gezen istasyonun, belli mesafe içerisinde ölçüm yaptıkları uydularla ilgili. hem aynı uydulara ölçüm yapma hem de düzeltmelerin belli sürelerde iletilmesi ile ilgili zamana bağlı bazı hata kaynaklarının birbiriyle uyuşuyor olması gerekir. Genel olarak referans istasyon coğrafi olarak kullanıcıdan uzaktır ve bu yüzden hesaplanan düzeltmelerin yayınlanması zaman alır. Kullanıcı ve referans istasyon arasında, mesafeye ve zamana bağımlı olarak dekorelasyon (uyuşmazlık) oluşabilir. Zamana bağımlı olan etki, gerçek zamanlı uygulamalar için geçerlidir. Aynı zamanda kullanıcıların etkilendiği, fakat referans istasyonunda ölçülen hatalarla korelasyonlu olmayan hatalar mevcuttur. Alıcı gürültüsü ve multipath bu hata tiplerinden sayılabilir.

Alıcı Gürültüsü ve Multipath Hataları:

Alıcı gürültüsü, karışma ve multipath (sinyal yansıması) hatalarına grup halinde bakmak gerekir .Çünkü bunlar DGPS'in uygulamasına negatif etki yapan parazit gürültü tabanını oluşturur. Bu üç hatanın da çok kısa dekorelasyon mesafesi vardır. Referans istasyondaki bu üç hata, uçaktaki kullanıcı alıcısındaki bu tip etkilerden bağımsızdır. Ancak, Referans istasyonundaki bu tip hataların giderilmesine önem verilmelidir. Çünkü bu tip hataların referans istasyonunda hesaplanan düzeltmelere olan etkisi doğrudan kullanıcıların hatalarına katkıda bulunacaktır. Yani bu hatalar referans istasyon tarafından yayınlanan düzeltmelere de yansıyacaktır. Bu sebeple referans istasyonlar kurulurken bu tip hatalara yol açmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Aynı zamanda GPS alıcılarında, "carrier aiding" sinyal tekniği ve "narrow correlator" adı verilen tekniğin kullanılması bu etkileri asgari düzeye indirgemektedir.

Alıcı gürültüsü, Kalman Filtreleme tekniği gibi tekniklerle de azaltılabilmektedir. Bu sayede gürültü hatasının 30 sigma (σ) 'dan 3 σ'ya kadar düşürülebildiği test edilmiştir.

Multipath hataları, bilindiği gibi anten çevresindeki zeminin (su ,beton, bina, araç) durumuna göre değişmektedir. Azaltmak için yansıtıcı sinyal reddeden özel tip anten kullanılabilir ve bu sayede hata daha alıcıya girmeden anten tarafından önlenmiş olur. Ayrıca antenlerin yansıyıcı zeminlere uzak kurulması da yansımanın önlenmesine yardım eder.

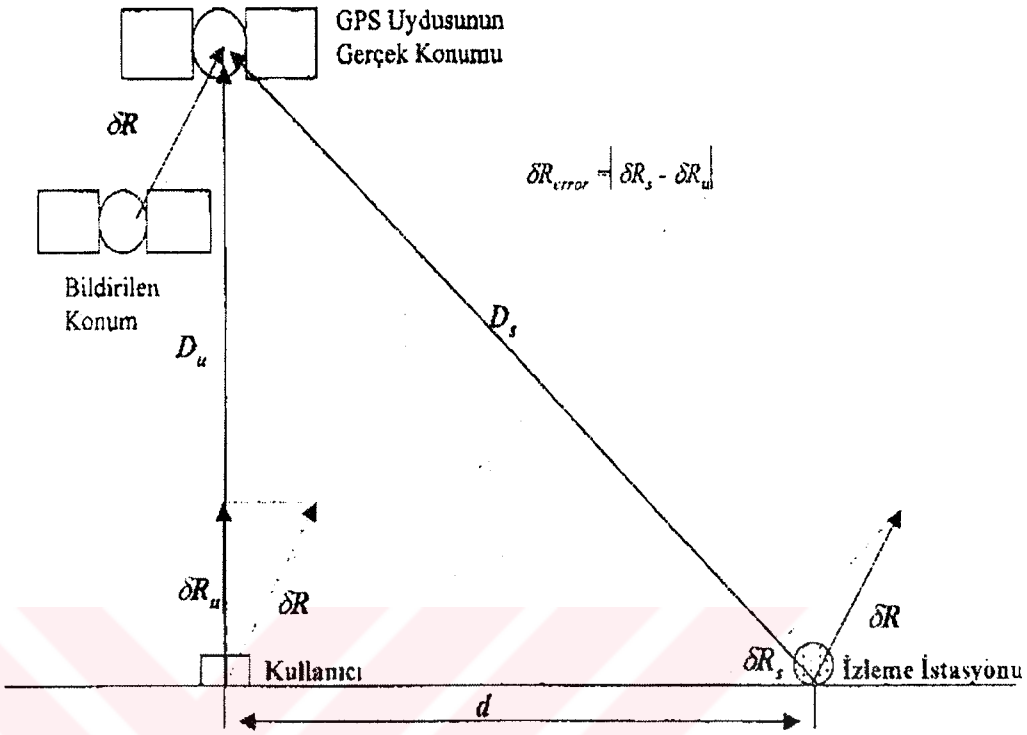
Uydu Saat Hatası:

Uydu saat hatası; sinyalin gerçek yayın zamanı ile navigasyon mesajında belirtilen yayın zamanı arasındaki farktır. SA'in olmadığı zaman bu hata küçüktür ve yavaş değişir. SA'in uygulanmadığı zamanlar uydu saat hatasının 1-2 m ve korelasyon zamanının 5 dakika olduğu ölçülmüştür.

SA'in açık olduğu zamanlar saat hatası 20-30 m arasındadır. Diferansiyel düzeltmeler saat hatalarına karşı çok etkilidirler çünkü saat hatasının geçerliliği sadece zaman ile azalır, mesafenin bir etkisi yoktur. DGPS konumlama hatası, eğer gerçek zamanlı konumlama yapılıyorsa düzeltmelerin kullanıcıya ulaştırma süresindeki gecikmeye bağımlı olarak artar.

Uydu Efemeris Hatası:

Navigasyon mesajı hatalar içerir. Uydu saatindeki hataların aksine efemeris hatası kullanıcı ile referans istasyonu arasındaki mesafenin artmasına bağımlı olarak artar. Yani düzeltmelerin geçerliliği mesafeye bağımlı olarak azalır (Şekil 5.9) (27).



Şekil 5.9. Efemeris hatası (27)

İyonosferik Hatalar:

İyonosferin etkisi değişken bir yapıya sahiptir. Sabah erken saatlerde 1-2 m'lik düşey gecikmeye sebep olurken öğle saatlerinde 10-20 m'lik düşey gecikmelere sebep olabilmektedir. Bu düşey gecikme,sinyalin iyonosfer tabakasına giriş açısını temsil eden "eğrilik faktörüyle" çarpılmasını gerektirmektedir.

Bazı özel durumlarda iyonosferden kaynaklanan gecikme çok daha büyük boyutlara ulaşmaktadır: Güneşteki patlamalar, uydular için düşük yükseklik açıları ve öğle saatleri gibi.

Düşey gecikme günün 24 saati ortalama 4-10 m arasındadır. Diferansiyel düzeltme olmaksızın bu hatanın %50-75'i standart modeller ve navigasyon mesajında mevcut

katsayılar kullanılarak giderilebilir. Çift frekanslı alıcılar, gecikmeyi doğrudan ölçebilir ve 1 m doğruluk sağlayacak şekilde düzeltme getirebilir. Çift frekanslı alıcı kullanılmaması durumunda DGPS ile sağlanacak doğruluk 100 km'ye kadar olan mesafeler için 1 m'den azdır.

İyonosferik gecikme için Diferansiyel düzeltmenin hata kaynakları şunlardır.

- Referans ve kullanıcı tarafından alınan sinyaller iyonosfer tabakasını farklı noktalardan geçerler.
- İyonosfer tabakasını geçiş açıları farklıdır
- Düzeltmelerin kullanıcıya ulaştırılmasındaki gecikme düzeltmenin geçerliliğini azaltır (Etkisi küçüktür).

Troposferik Hatalar:

Düşük uydu yükseklik açılarında (10 dereceden düşük) troposferik kırılma ciddi gecikmelere sebep olmaktadır. Bu hataların büyük bir kısmı uydu yükseklik açısına bağlı bir model kullanılarak giderilebilmektedir. Diferansiyel düzeltmeler olmaksızın bu model gecikmenin %90'ını gidermektedir fakat 5 derecelik yükseklik açılarında bu modellenemeyen kısım 2-3 m.ye ulaşmaktadır. Diferansiyel düzeltmeler kullanılarak hata çok küçük değerlere indirilebilmektedir. Fakat sinyal kullanıcıya ve referans istasyona giderken birbirinden meteorolojik parametreleri çok farklı ortamlardan geçiyorsa, yapılan uygulamaya göre oluşabilecek hata kayda değer olabilir. Mesela, eğer referans istasyon ve kullanıcı çok farklı yüksekliklerde ise (binlerce feet) kırılma indisinde farklılar olması kaçınılmazdır. Bu durumda DGPS kullanıcısının yükseklik farkını dikkate alacak troposferik model kullanması daha doğru olacaktır.

Referans istasyonundan 50 km uzaklıktaki bir kullanıcı için DGPS'in hata kaynakları ve miktarları Çizelge 5.3'de gösterilmiştir (25).

Çizelge 5.3. DGPS Hata kaynakları ve büyüklükleri

Hata Kaynağı	Hata (1 σ) (m)		
	Sistematik	**Rastgele**	**Toplam**
Efemeris Bilgisi	0.0	0.0	0.0
Uydu Saati	0.0	0.7	0.7
İyonosfer	0.0	0.5	0.5
Troposfer	0.0	0.5	0.5
Multipath	1.0	1.0	1.4
Alıcı ölçümü	0.0	0.2	0.2
Referans İstasyon Hataları	0.3	0.2	0.4
UERE (RMS) (Kullanıcı Mesafe Hatası)	1.0	1.4	1.8
1 sigma hata -düşey VDOP=2.5			2.8
-yatay HDOP=2.0			2.2

6. DGPS HASSAS YAKLAŞMA GÖZLEM SONRASI HESAPLAMA (POST- PROCESS) UYGULAMASI:

Günümüzde klasik olarak kullanılan hassas yaklaşma sistemi daha önce de belirtildiği gibi ILS tir. ILS'in 40 yılı aşkın memnuniyet verici performansı dikkate alındığında karşılaştırılabilecek yegane ölçü birimi olacaktır.

Bu çalışmada, mevcut ILS'e nazaran DGPS'in performansı, DGPS yazılım programında gözlem sonrası hesaplama yöntemiyle karşılaştırılmıştır.

6.1. Testin Yapılışı

Ankara Esenboğa havalimanı 03L (030° sol) pisti için ILS hassas yaklaşması mevcut karşılaştırmada baz olarak kullanılmıştır.

Test uçuşu 17 Şubat 2003 günü yapılmış, veri kayıtları saat 09 26 ve 10 07 lokal zamanda alınmıştır. Teste başlamadan önce uçakta ve yerde kullanılacak ve eş zamanlı olarak ölçüm yapacak Çizelge 6.1'de teknik özellikleri verilmiş 2 adet GPS alıcısı ile (28),

0.5 s. zaman aralığında,
10° lik Elevatin Maskesi kullanılarak,
Uçaktaki Kinematik,
Yerdeki Statik,

ölçüme ayarlı ve konumu hassas olarak bilinen noktaya anteni kurulmuş şekilde kayıt yapılmıştır.

Çizelge 6.1. Ashtech Z-Surveyor GPS Alıcısı Özellikleri

Karakteristik	**Özellikler**
Kilitlenme	12 Kanal L1 CA/P L1 ve P L2
Güç	6.0 Watt
Voltaj	10-28 Volt DC
Ölçüm Hassasiyeti	
C/A (>10 Elevation) Pseudo-range Taşıyıcı Faz	 25 cm/3.6 cm 0.9 mm
P-Code Kapalı (<10 Elevation) L1 Pseudo-range L1 Taşıyıcı Faz L2 Pseudo-range L2 Taşıyıcı Faz	 15 cm/0.9 cm 0.9 mm 21 cm/1/3 cm 0.9 mm
Post-Proses Kinematik	Yatayda 1cm +1ppm Dikeyde 2cm +1ppm
Real Time Code Diferansiyel	< 1 m

Güvercinlik pistinden görerek şartlarda kalkan uçağımız, Esenboğa 03L pistine klasik hassas yaklaşma sistemlerinden olan ILS sistemini kullanarak alçalma ve inişini tamamlamasının ardından, tekrar Güvercinlik pistine inerek uçuşunu tamamlamıştır.

Uçak tipi B-200 (beechcraft) olup , uçuş boyunca Collins EFİS 85-B elektronik uçuş alet sistemi, AFS-65 otopilot sistemi, Litton LTN-450 navigasyon yönetim sistemi, uçuş yönetim sistemi olarak kullanılmıştır.

03L pisti için yaklaşma esnasında ILS hattı boyunca uçakta otopilot kullanılmış olup, meteorolojik koşullar dikkate alınarak uçağın dikey ve yatay olarak hatta, otopilot tarafından tutulabilmesi için kumanda servolarına gönderilen komutlardaki ince hesap detayları (GPS verileri, uçağın ILS hattı boyunca uçtuğu noktalara ait verilerdir, oysa çizilen 03L ILS hattı ise, sayısal verilerle bilgisayara geçirilerek çizilmiş nominal orta hattır.) ve uçaktaki ILS alıcı antenleri ile GPS anteni arasındaki dikey mesafeler, Esenboğa 03 sol pisti için ILS'in kendi hata kaynakları dikkate alınmamıştır.

Uçuş esnasında uçaktaki GPS alıcısı 0.5 saniye aralıklarla uçuş müddetince uçağın uçtuğu hattın 3 boyutlu koordinat değerlerini kayıt etmiştir. Aynı şekilde yerde hassas konumu belirli yerde kurduğumuz sabit GPS de 0.5 saniye aralıklarla ölçüm yapmış ve kendi flaş diskine (PCMCI kard) verileri kayıt etmiştir.

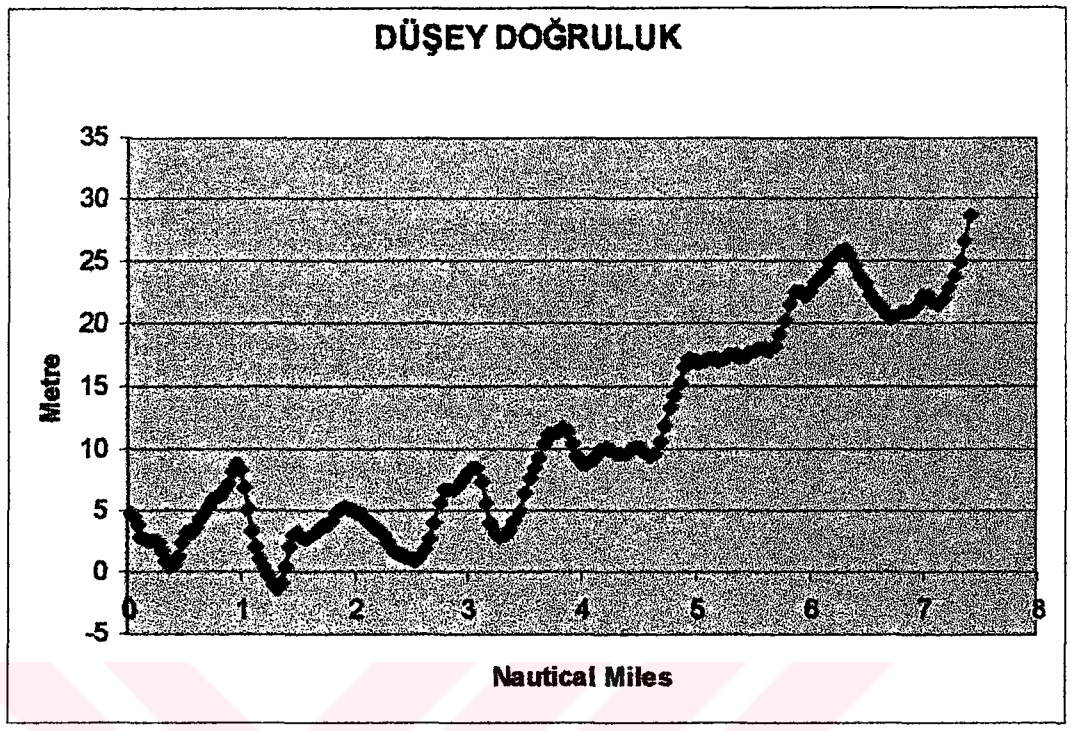
Uçuşun tamamlanmasını müteakip, uçaktaki ve yerdeki GPS alıcısının PCMCI kartlarına kayıt edilen uçuş anında toplanan verilerinin (Ek-3), Esenboğa 03 sol pisti için ILS hattından geçen bölümüne ait olanlar, değerlendirilmek üzere bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamında ham datalar, kabul edilmiş uluslararası RINEX GPS formatına dönüştürülerek MSTAR DGPS yazılım programında 0.5 saniye aralıkla toplanan GPS dataları 1 saniye olacak şekilde değiştirilerek veri topladığımız zaman periyodu içerisinde ufuk hattında görülebilen her bir uydu için sabit (Yerdeki) GPS istasyonunun topladığı verilerin (enlem,boylam,yükseklik ve zaman) kendi bilinen hassas konumundan faydalanarak düzeltmesi hesaplanıp, uçağın topladığı datalara düzeltme olarak getirilmiştir. MSTAR DGPS yazılım programı düzeltilebilir hatalar olan efemeris hatası, uydu saati hatası, iyonosferik ve troposferik gecikmeler gibi hataları ortadan kaldıran bir programdır (29). Alıcı gürültüsü ve multipath (sinyal yansıması) hataları DGPS yazılımında düzeltilemez. Çünkü bu hatalar her bir alıcı için bağımsız ve farklı hatalardır

Esenboğa 03L pisti için GS ve LOC sinyallerinin birleştiği GP teker koyma noktası nın koordinatları enlem boylam ve yükseklik olarak hesaplanmış ve bu noktadan 3°lik ILS hattı bilgisayarda Matlab programında çizilmiştir. DGPS'ten elde ettiğimiz düzeltilmiş veriler çizdiğimiz bu hat üzerine atılarak Düşeyde ve yatayda ILS hattı ile DGPS hattı aynı çizelgede görüntülenmiştir. Aynı zamanda veriler Excel programında da karşılaştırma çizelgeleri olarak aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Hava aracı İniş Sistemlerinde FAA Navigasyon Standartları (30)

Operasyon safhaları		Minimum İrtifa (Ft)	Doğruluk	
			Yatay	Dikey
Rota / Terminal		500	4 NM	500 M
Yaklaşma ve İniş	Hassas Olmayan	250	2 NM	100 M
	Hassas CAT I	200	± 9.1 M	± 3 M
	Hassas CAT II	100	± 4.6 M	± 1.4 M
	Hassas CAT III	0	± 4.1 M	± 0.4 M

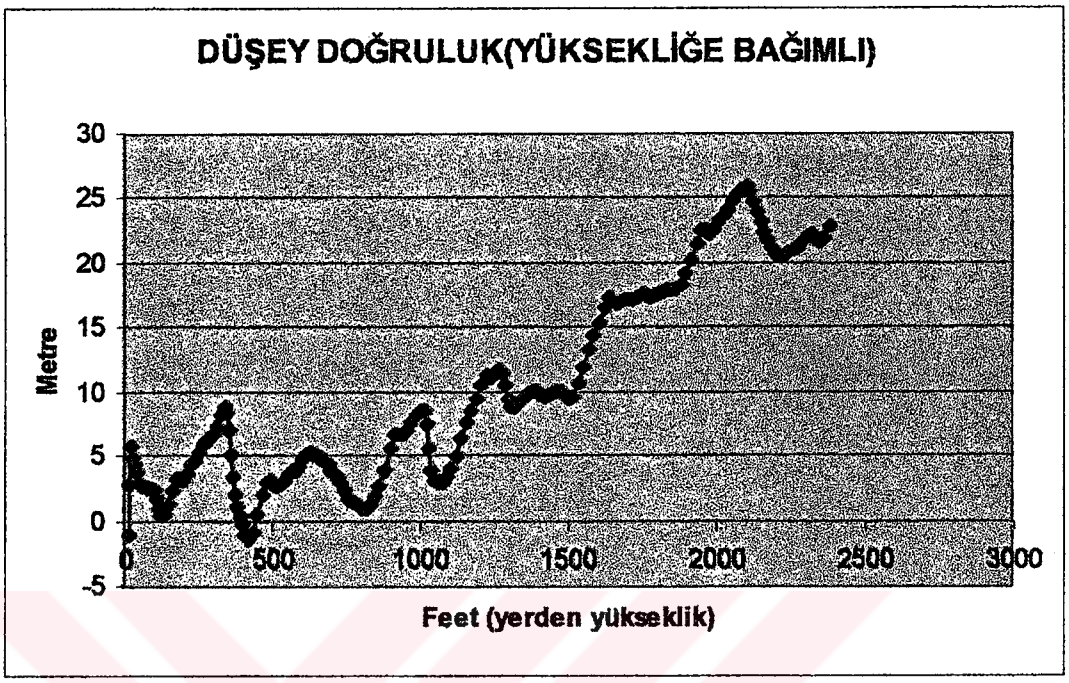
II.S orta hattına göre yatayda ve düşeyde, mesafe ve yüksekliğe bağımlı olarak bulunan değerler ve karşılaştırma çizelgeleri şu şekildedir.



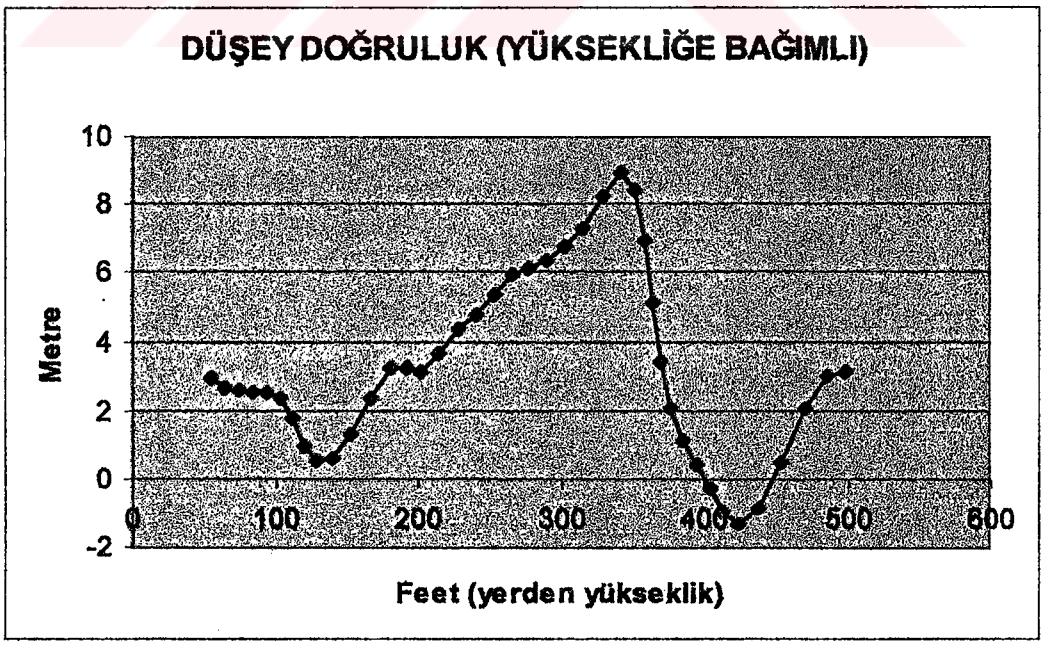
Şekil 6.1.Mesafeye bağımlı düşey doğruluk

Şekil 6.1'de sıfır olarak gösterilen başlangıç, ILS Glide Slope hattının pisti kestiği teker koyma (iniş) noktasıdır. Son sekiz NM mesafeden piste iniş noktasına kadar uçağın GS hattına göre yükseklik olarak metre cinsinden nerede olduğu görülmektedir. Şekil 6.2'de yerden olan yükseklik değerine göre uçağın ILS GS hattının neresinde olduğu, Şekil 6.3'de ise yine uçağın piste son 500 feet yükseklikte iken hattın neresinde olduğu büyütülmüş şekliyle görülmektedir.

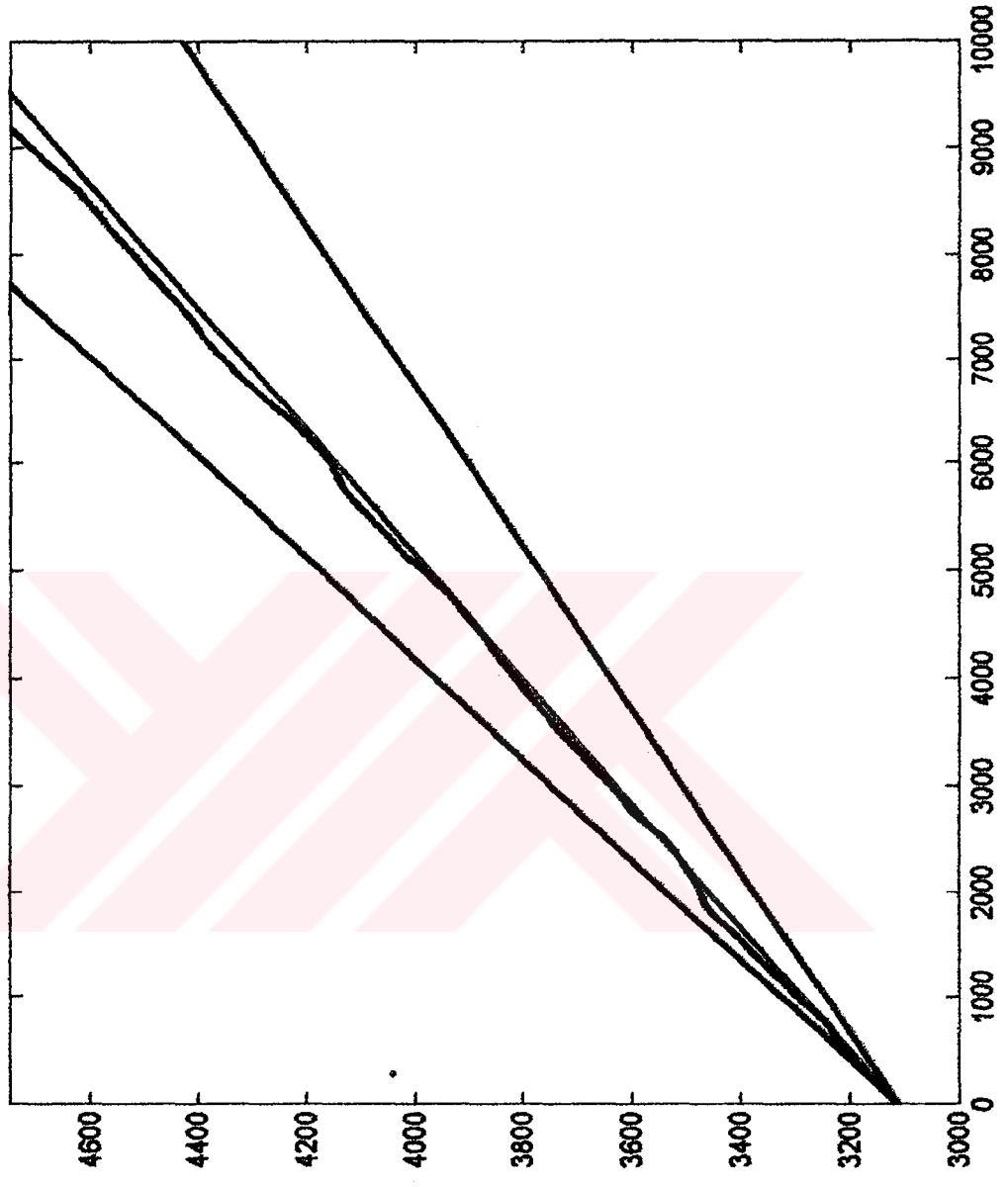
Şekil 6.5'de ILS localizer hattına göre, uçağın hattın neresinde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.2. Yüksekliğe bağımlı düşey doğruluk



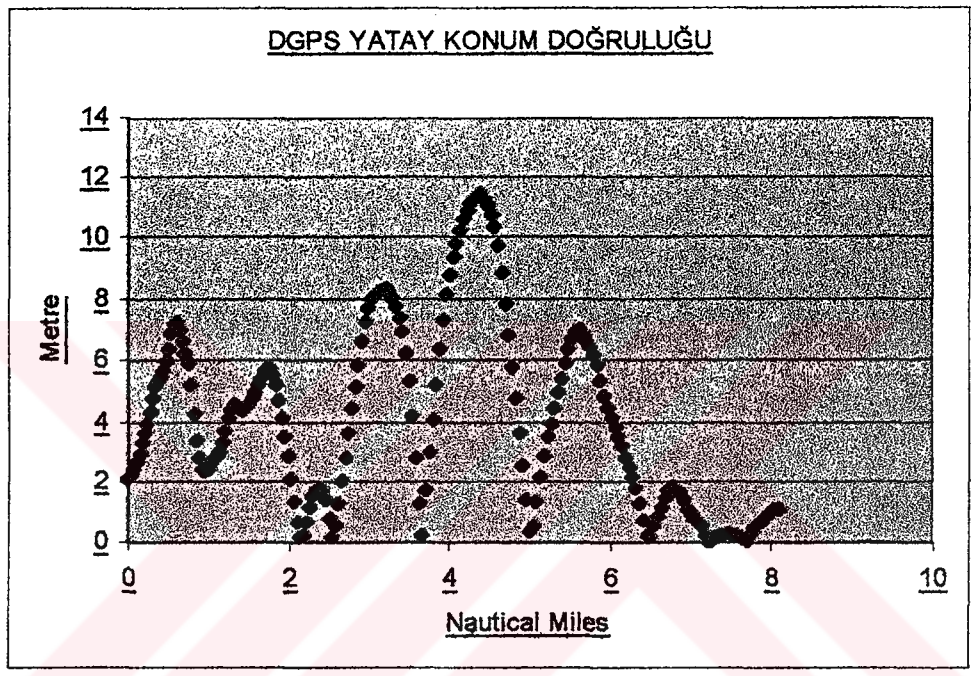
Şekil 6.3. Yüksekliğe bağımlı düşey doğruluk (son 500 feet)



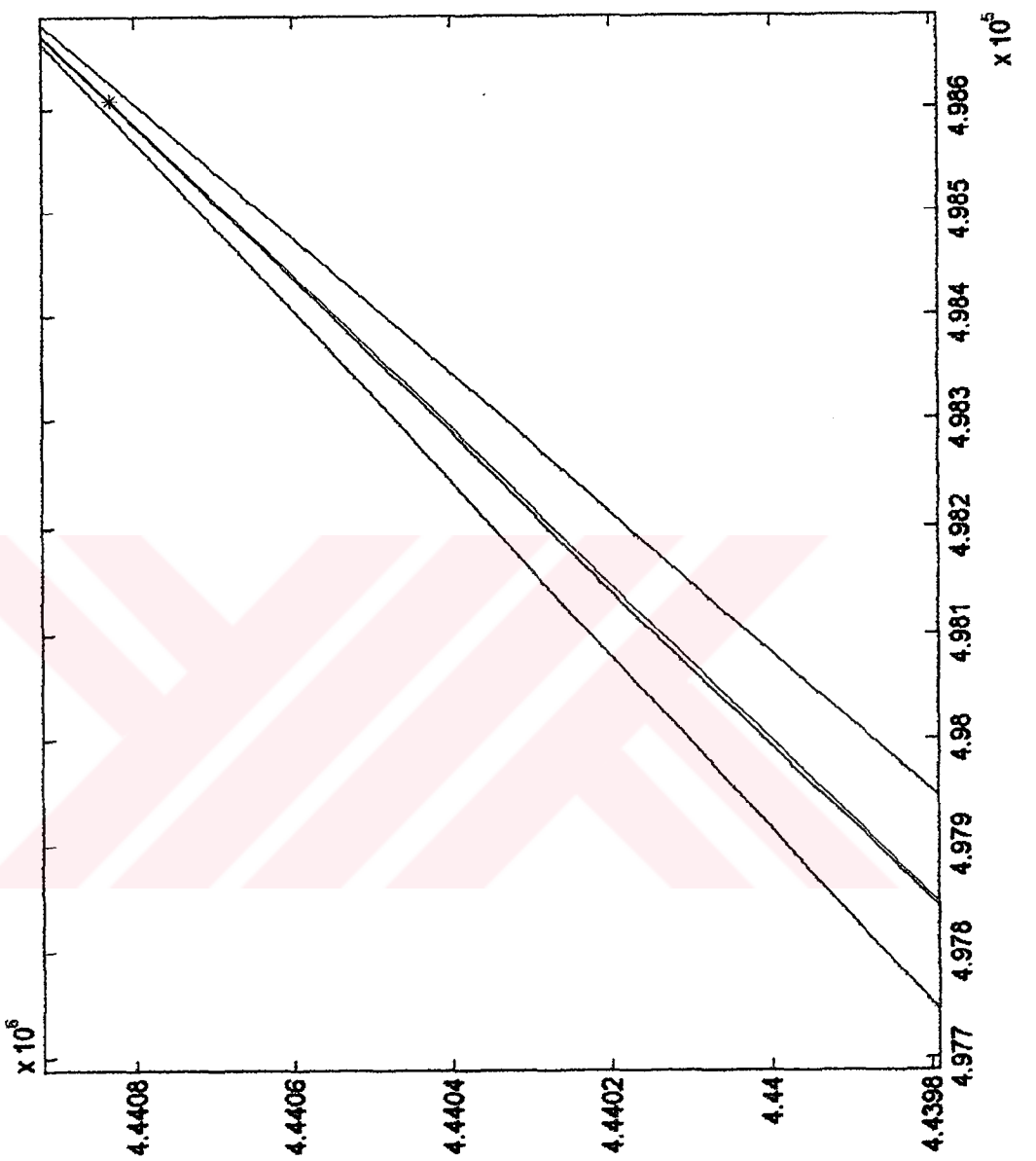
Kırmızı çizgi:ILS orta hattı, Siyah Çizgi: DGPS düzeltmeli uçulan hat

Mavi Çizgi : ILS 0.7° alt ve üst kapsama bölgesi

Şekil 6.4. Uçulan hat *DÜŞEY*



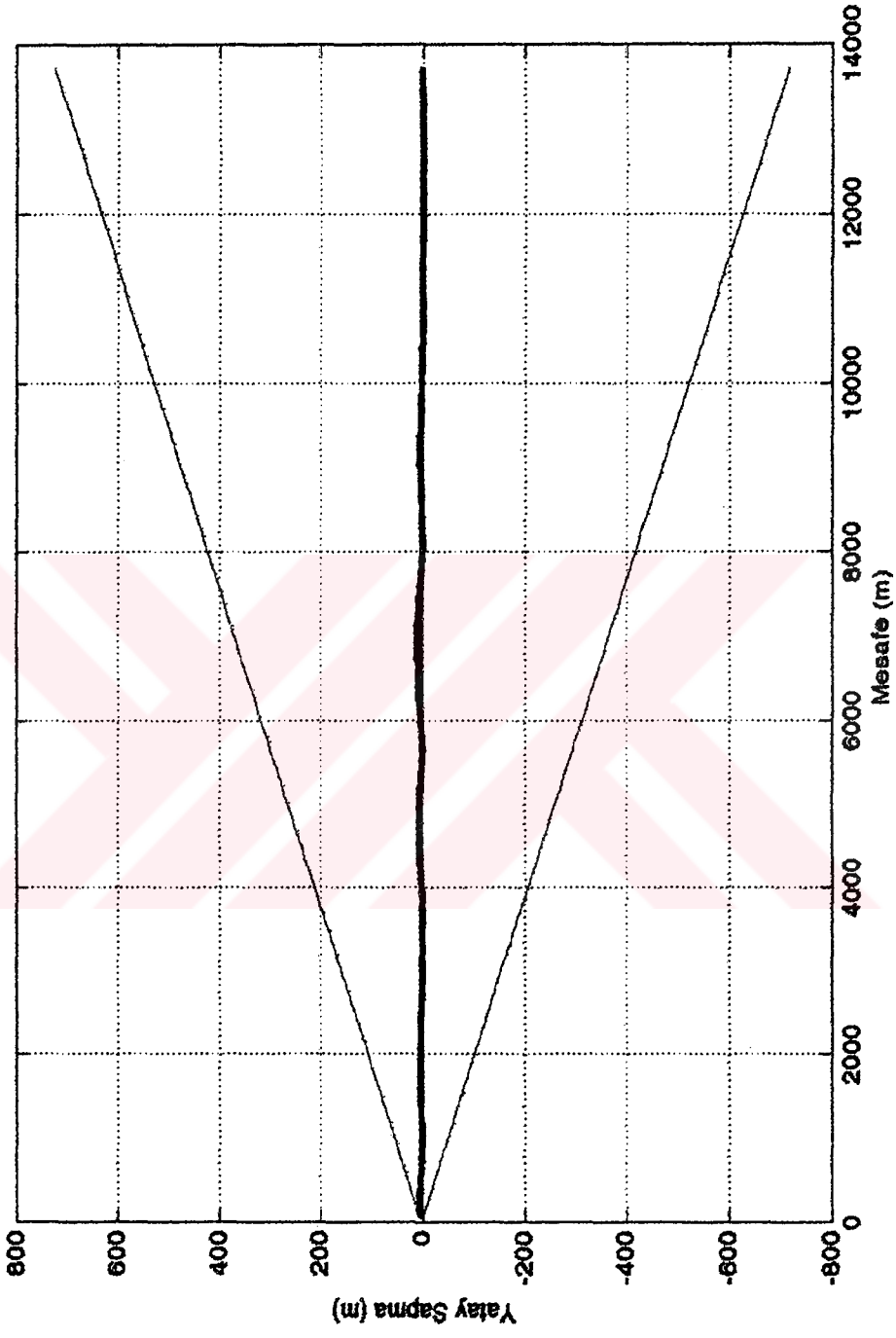
Şekil 6.5. Pist hizası mesafeye bağımlı yatay konum doğruluğu



Kırmızı çizgi:ILS orta hattı Siyah Çizgi: DGPS düzeltmeli uçulan hat

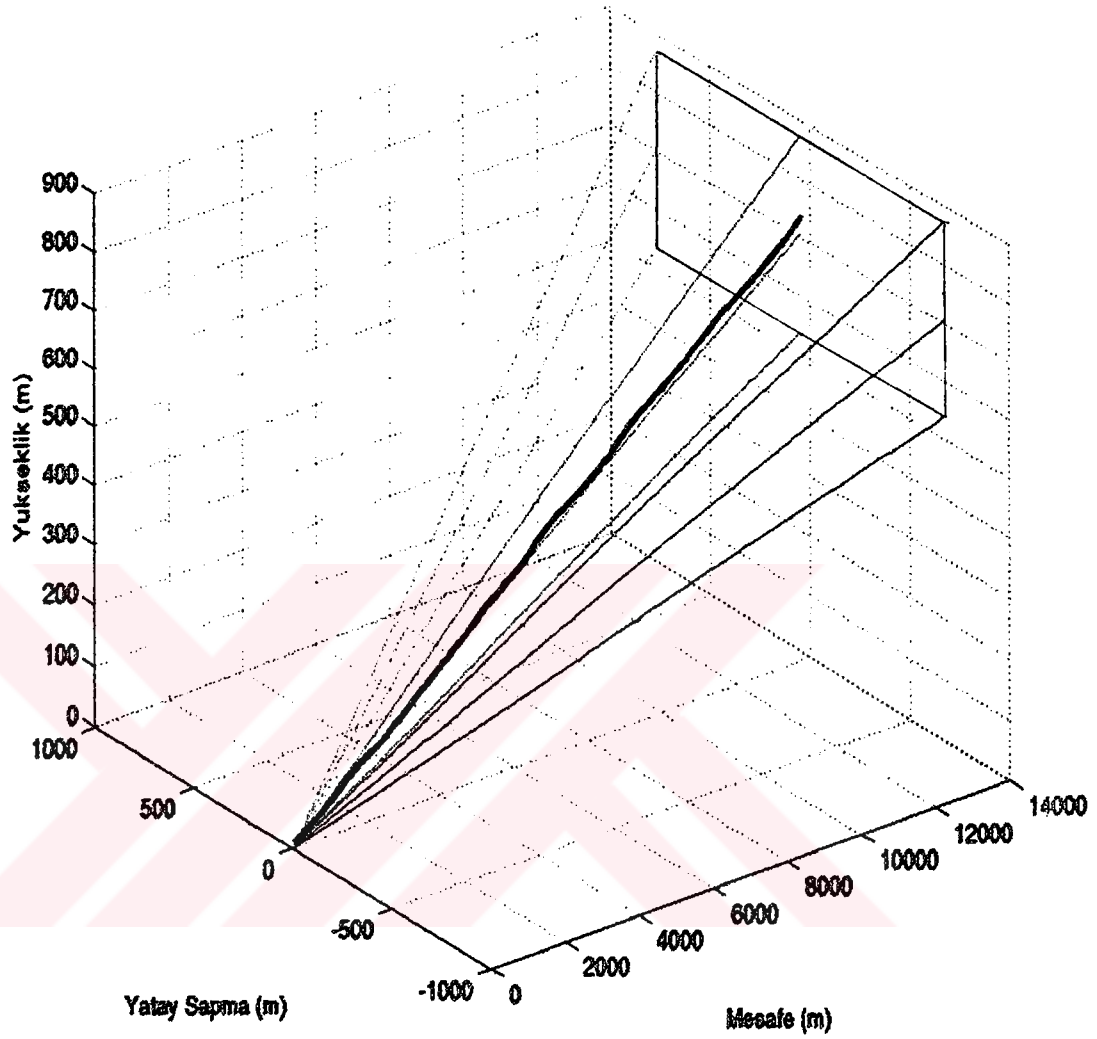
Mavi Nokta: 03L Pist Başı XY Eksenindeki Değerler: Yer İzdüşüm Koordinatları

Şekil 6.6. Uçulan hat *YATAY-I*



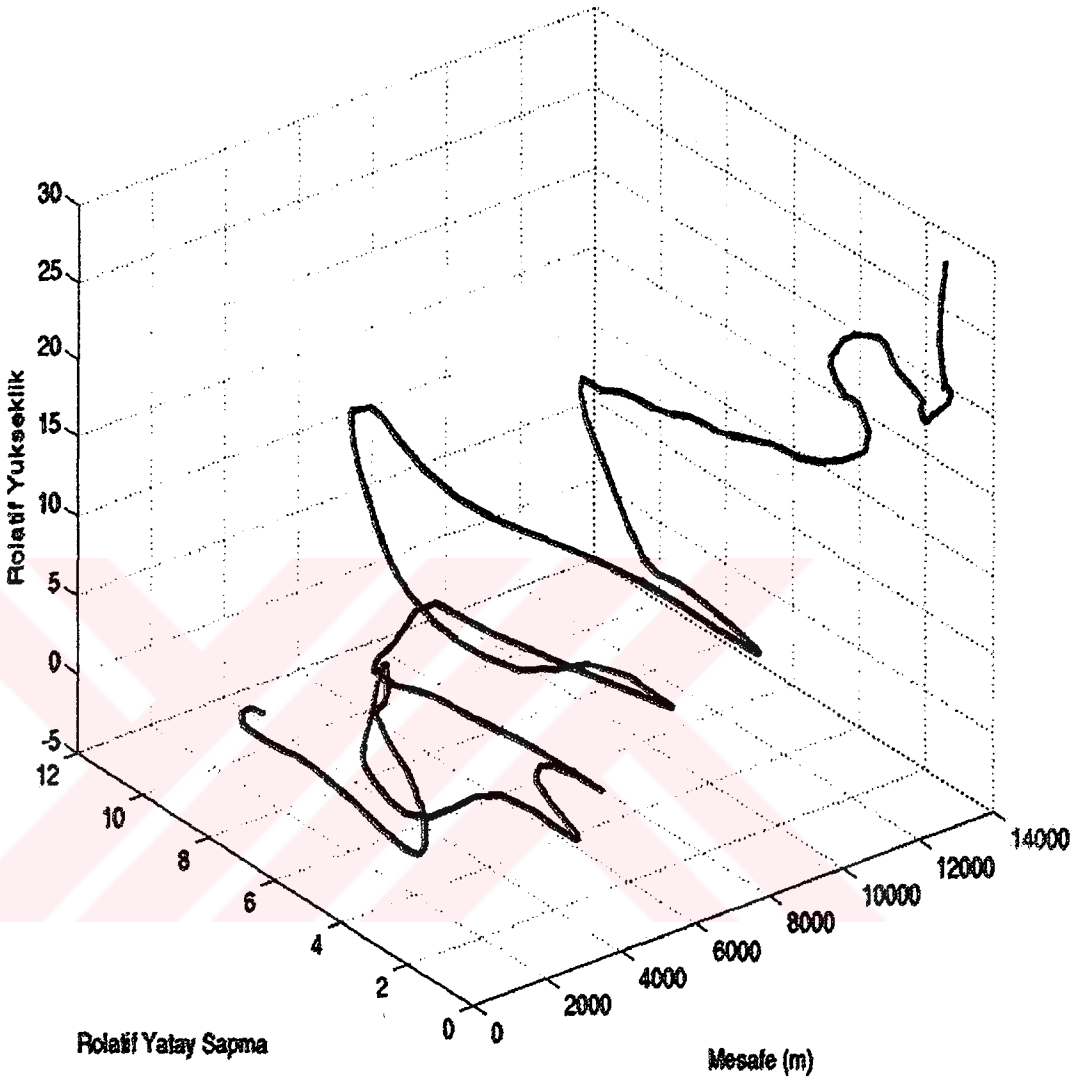
(Siyah Çizgi: DGPS düzeltmeli uçulan hat)

Şekil 6.7. Uçulan hat *YATAY-II*



(Siyah Çizgi: DGPS düzeltmeli uçulan hat)

Şekil 6.8. Uçulan Hat Üç Boyutlu



(Siyah Çizgi: DGPS düzeltmeli uçulan hat)

Şekil 6.9. Uçulan hat Üç Boyutlu Göreceli

Ankara Esenboğa havalimanı 03 sol pistine ILS hassas yaklaşmasında 03 sol pist başından ortalama 11 NM mesafeden hava aracı hem yatayda, hem de dikeyde, 3 'lik ILS nominal hattını ortalanmış olur (31). Ancak daha önce ifade edildiği gibi, 03 sol pisti ILS yaklaşmasının, özellikle pistten uzun mesafelerde (orta markerden önce) glide slope ve localizer UHF,VHF sinyallerinin kırılma, yansıma, bükülme ve kalibrasyon gibi hassasiyetleri göz önüne alınarak, nominal 03 sol hattına göre Şekil 6.4'de verildiği gibi gerçek hattın (uçağın uçtuğu), şekli ölçülemeden nominal hat baz alınarak bu test yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, orta marker hizalarından yani 03 sol pistine 4 NM mesafeden piste kadar bir değerlendirme yapıldığında düşeyde hassasiyet 6m. yatayda 4m. dolaylarında olduğu görülmektedir. Kategori I minimumlarındaki durum, yani uçak, orta marker üzerinde minimum 200 feet yükseklikte iken hassasiyet; düşeyde 3.5m. yatayda 4m. civarındadır. Kategori II minimumu olan alçalma noktasında (minimum 100 feet veya mevcutsa iç marker üzeri) hassasiyet; düşeyde 2.2 m. yatayda 3.5 m. civarında olarak gözlemlenmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada. Diferansiyel GPS navigasyon sistemi Türkiye'de ilk kez havacılık alanında uygulanmıştır. Yapılan çalışma ile Ankara'da Esenboğa havaalanına 03 sol pisti ILS hassas yaklaşma ve iniş' i yapılmış bu esnada yerde konumu hassas olarak belli noktadaki GPS alıcısı ve uçaktaki GPS alıcısı ile konum bilgisi verileri toplanmış. DGPS yazılım programından geçirilen veriler uçakta toplanan verilere düzeltme olarak getirilerek uçağın gerçekte uçtuğu hat bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, yatayda ve dikey konumda Kategori I minimumlarının sağlanabildiği ve Kategori II minimumlarına yaklaşıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada yapılan uygulama ile Türkiye'de yaygın olarak kullanılan ILS sistemine alternatif olarak DGPS'in de kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu sebeple gelecekte uydu navigasyon sistemlerinin çok yaygın olarak kullanılacağı da dikkate alınarak. Türkiye'deki mevcut sivil ve askeri meydanlarda ve özellikle yersel teçhizat donanımlı hassas yaklaşma sistemlerinin (ILS vb.) kurulmasının coğrafi etkenler veya değişik nedenlerle mümkün olmadığı durumlarda lokal alan Diferansiyel GPS uygulamalı hassas yaklaşma sistemlerinin kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Günümüzde çift frekanslı GPS ve GLONASS alıcıları ile yaklaşık 48 uyduya erişim olanağı mevcuttur. Bu ise uydu sistemlerinin konum belirleme ve navigasyon amaçlı uygulamalarında önemli bir özelliktir. Örneğin vadi orman gibi sınırlı uydu görüş olanağı bulunan yerlerde uydu bazlı konum belirleme sistemleri önemli bir katkı sağlamaktadır. GPS uydularına navigasyon emniyetini artırmak maksadıyla üçüncü ve yeni bir sivil frekans tahsisi söz konusudur. Bu yeni frekans 2005 yılından itibaren fırlatılması planlanan Block IIF uyduları üzerinden yayınlanacak olup, buna L5 adı verilmiştir. Bu sinyalin 2012 yılına kadar 18 uyduda da olması planlanmıştır. L5 sinyalinin asıl olarak hava araçlarının güvenli navigasyonu (safety-of-life) amacıyla kullanılması planlanmakla birlikte, büyük bir olasılıkla tüm kullanıcılara açık olacaktır. Bu konudaki çalışmalar halen devam etmektedir.

2010 yılından itibaren fırlatılacak yeni jenerasyon GPS Block III uyduları özellikle sivil kullanıcıların taleplerini yüksek oranda ve doğrulukta karşılamaya yönelik olacaktır. Ayrıca, GPS ve GLONASS sistemlerinin birlikte kullanılmasıyla navigasyon doğruluklarında da önemli iyileşmeler olacağı beklenmektedir. (GLONASS'ın PZ-90 koordinat sistemi ve farklı zaman peryodu kullanması nedeniyle GPS ile farkların ayarlanması çalışmaları devam etmektedir.) Bu amaçla daha şimdiden GLONASS + GPS özellikli alıcılar üretilmeye başlanmıştır.

1999 yılında Japonya, 2001 yılında Çin, navigasyon amaçlı kendi uydularını fırlatmışlar, gelecekte oluşacak uydu bazlı navigasyon sistemine kendi adımlarını atmışlardır.

Avrupa uzay ajansı (ESA) ve Avrupa komisyonunun (EC) ortak girişimi olan 30 adet galileo uydularının da 2008 yılından itibaren devreye girmesiyle ilk sivil kontrollü küresel navigasyon hizmeti başlamış olacaktır. Bu sayede oluşturulacak küresel uydu navigasyon sistemi (GNSS) ile navigasyon doğruluklarının çok daha artacağı değerlendirilmektedir. Bu sayede buna paralel olarak diferansiyel uygulamalar çok daha hassas sonuçlar verebilecektir.

İster GPS ister GLONASS veya bunların kombinasyonları isterse de hepsini kapsayan GNSS'ler kullanılsın, konumlama bilgisini maksimum doğruluğa çıkarmak için her durumda, hassas seyrüsefer uygulamasında diferansiyel tekniğine ihtiyaç olacaktır. Yakın gelecekte dünyada seyrüseferlerin her safhasının, uydu bazlı ve uydu diferansiyelli hale geleceği göz önüne alınarak planlamalar yapılmalıdır.

Sonuç olarak, burada yapılmış olan tek bir uygulama ile DGPS alçalmasına ilişkin kesin "Kategori" belirlenmemiş olsa da, elde edilen veriler dikkate alındığında DGPS ile hassas yaklaşmanın, uygulamanın yapıldığı havaalanının bulunduğu şehir olan Ankara'daki bütün havaalanlarında, en azından Kategori I seviyesinde uygulanabileceğinin ipuçlarını vermektedir. Ankara şehir merkezine konumu hassas olarak belirlenmiş bir noktaya kurulacak olan bir DGPS gözlem ve yayın istasyonu sayesinde, yarıçapı ortalama 25-30 NM'lık bir alan içerisindeki mevcut

havaalanlarına ve heliportlara (Şu anda mevcut Esenboğa, Akıncı, Etimesgut, Güvercinlik havaalanları, Danişment heliportu), Ankara'da 24 saatte gözlemlenen ve ölçüm yapılabilen uydu sayısının, DGPS hassas yaklaşma ve iniş uygulayabilmeyi her zaman mümkün kılması da dikkate alınarak, kategori I seviyesinde güvenli hassas yaklaşma ve iniş yapılabilecektir.

Böylelikle Ankara'daki havaalanlarına, mania planları göz önüne alınarak çok değişik rotalardan çok sayıda hassas yaklaşma planları hazırlanabilecek ve yine bu sayede trafik yoğunluğu önlenebilecek değişik pistlere daha kısa yoldan, sürat kısıtlaması olmadan, gürültü kirliliği yaratmadan çok daha kontrollü hassas yaklaşma ve inişler yapılabilecektir.

Türkiye'de yer şekilleri dikkate alındığında, herhangi bir yerde devamlı gözlenebilen ve ölçüm yapılabilen GPS uydu sayısı her zaman 3 boyutlu konum bilgisi almaya elverişlidir ve bu sayede lokal alan DGPS hassas yaklaşma ve iniş yapabilmek mümkün görünmektedir. Ancak mevcut bütün havaalanlarının ve kurulması planlanan havaalanlarının 24 saatlik GPS uydu rasatının gözlemlenip kayıt edilmesi gerekir. Örneğin Erzincan havaalanı gibi etrafı dağlarla çevrili havaalanlarında bu husus önemlidir ve 24 saatlik uydu sayısı ve uydu geometrisine göre planlama yapmak ve gerekirse ilave yer uydusu (pseudolite) ihtiyacını belirlemek gerekir.

KAYNAKLAR

1. Kahveci M., Yıldız F., "Global Konum Belirleme Sistemi Teori-Uygulama" ***Nobel Ltd. Şti.***, Ankara, (2001)

2. Kocamanoğlu M.,.Güçlüer B., "GPS", Doküman, ***Geomatics Harita Ltd.Şti***, Ankara, (2003)

3. Parkinson B.W.,Spilker J. J., "GPS Error Analysis", Global Positioning System: Theory and Applications, Volume I, ***American Institude of Aeronautics and Astronautics***, Washington, 478-482, (1996)

4. McFarland R.H., Ph.D., P.E., A.T..P David Quinet "Two-Frequency, Wide Aperture Localizer System ", ***Ohio University Publication***, Ohio, (1992)

5. Odunaiya, Ph.D., Mowry M, Edwards J.," Summary of Results of Flight Data Collection Performed at Endfire Glide Slope ***"Seminar, Tri City Airport, TN,Ohio University,*** Ohio, (1988)

6. Eschenbach R, " GPS Application in General Aviation", Global Positioning System: Theory and Applications, Volume II, ***American Institude of Aeronautics and Astronautics***, Washington 390-395, (1996)

7. Remer D., Mclean D.W., "Global Navigation for Pilots", ***IAP Inc.***,(1993)

8. Litton Aero Products, " LTN-450 and LTN-460 Navigation Management System Operator's Manual", Version23.X, ***Litton Aero products Woodland Hills***, (1996)

9. Hundley W. ,Rowson S. and Courtney G.(Wilcox Electric,Inc.,), Wullschleger V. and Velez R.(Faa Tecnical Center), O' Donnell P.(The Mıtre Corporation) "Flight Evaluation of a Basic C/A-Code Differantial Gps Landing System for Category I Precision Approach ", Vol. 40, ***Navigation, Journal of The Institute of Navigation***, (1993)

10. Lawrence V., Snyder S., Schıpper B., Parker N.(Honeywell Systems), Spıyzer C. (Nasa), " Design and Flight Test of a Differantial GPS/İnertial Navigation System for Approach/Landing Guıdance ", Vol.38, ***Navigation, Journal of The Institude of Navigation***, (1991)

11. Scaramuzza M., "Systematic Investigations of Error and System Modelling of Satellite Based Flight Approaches and Landings in Switzerland", Volume 58, ***Swiss Geodetic Comission***, 155, (1998)

12.Cohen, Pervan, Cobb, Lawrence, Powell J.D., and Parkinson B. W, "Real-Time Cycle Ambiguity Resolution Using for Precision Landing of Aircraft with GPS", ***Proceedings of The Second International Symposium on Differential Satellite Navigation System, DSNS '93***, Amsterdam, The Netherlands, (1993)

13.Bayliss E, "Incorporation of GNSS Technology in C/N/S Demonstration of DGPS Precision Approach ", ***Mıt Lincoln Laboratory***, (1993

14.Anon, "DGNSS Instrument Approach System "Special Category I (Scat-1), ***RTCA Incorporated***, (1993)

15.Van Graas F., Diggle D., and Hueschen R., "Interferometric GPS Flight Reference/Autoland System: Flight Test Results", ***İon GPS-93***, (1993)

16.Cobb H.S., Lawrance D., Pervan B., Cohen, Powell J.D., Parkinson B.W., "Precision Landing Tests with İmproved İntegrity Beacon Pseudolites " ***İon GPS-95***, (1995)

17.Lawrance D., Cobb S., Pervan B., Parkinson B.,"Performance Evaluation of on Airport Local Area Augmentation System Architectures ", ***İon GPS-96***, (1996)

18.Lenk O.,"Local Area DGPS Aplications; Secure Navigation along The Bosphorus-İstanbul " Doktora Tezi, ***Boğaziçi Üniversitesi Fen Blm.Enst.***, 40-44, (1997)

19.Jeppesen GmBH, "Jeppesen Airway manual", Europe-mediterranean Volume I ***Jeppesen Sanderson,Inc***, Germany, (1980, 2003)

20.Myron K.,Walter R., "Landing Systems" Avionics Navigation Systems, 597-625, ***Institude of Avionics Navigation Systems***, Canada, (1997)

21.Kr. Hvcl. Ok.Yayınları, "Radyo Seyrüsefer Ders Kitabı " ***Kara Havacılık Okulu Eğitim Merkez Komutanlığı***, Ankara, (2002)

22.Şengün Y.S.,"Tek Alıcılı Kullanıcılar için DGPS Düzeltmeleri" Yüksek Lisans Tezi, ***İTÜ Fen Blm. Enst.***,İstanbul, (2002)

23.Parkinson B.W.,Spilker J. J., "Overview of GPS Operation", Global Positioning System: Theory and Applications, Volume I, ***American Institude of Aeronautics and Astronautics***, Washington, (1996)

24.Landry R., Renard A. "Analysis of Potential İnterference Sources and Assesment of Present Solutıons for GPS/GNSS Receivers", ***4. Saint Petersburg on INS***, (1997)

25.Parkinson B.W.and Enge, "Differantial GPS",Global Positioning System: Theory and Applications, Volume II, ***American Institude of Aeronautics and Astronautics***, Washington, 3-49, (1996)

26.Elrod B.D., Van Dierendonck A. J., "Pseudolites",Global Positioning System: Theory and Applications, Volume II, ***American Institude of Aeronautics and Astronautics***, Washington,.52-60, (1996)

27.Kee C.,"Wide Area Differantial GPS",Global Positioning System: Theory and Applications, Volume II, ***American Institude of Aeronautics and Astronautics***, Washington, 81-111, (1996)

28.Magellan Corporation, "Z-Xtreme GPS Receiver Operation and Reference Manual", ***Ashtech Precision Products***, U.S.A. (2001)

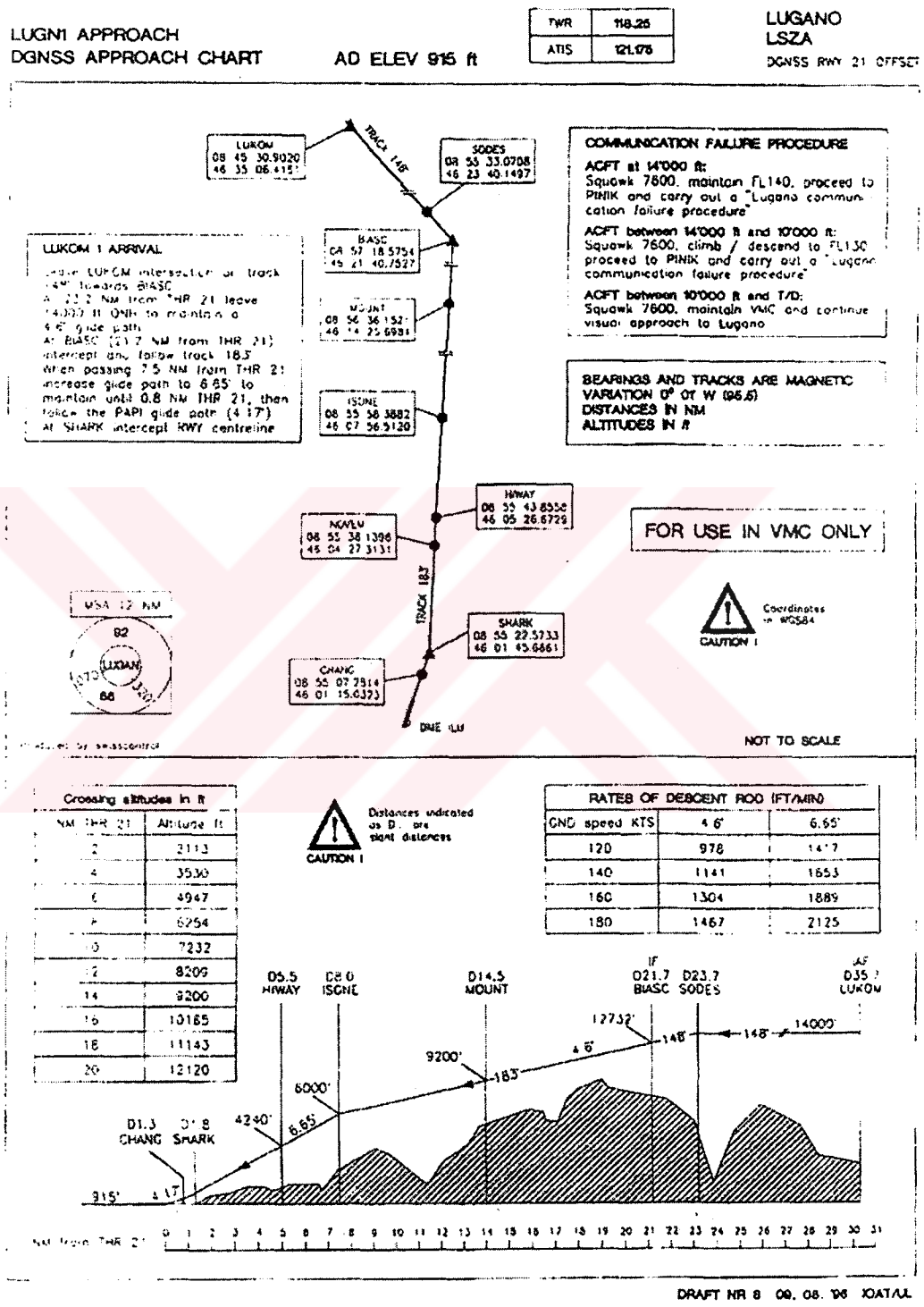
29.Magellan Systems, "User's Guide", MSTAR Professional GPS Software, Version 2.0 ***Magellan System coorparation***, (1997)

30.Parkinson B. B.and O'connor M., "Aircraft Automatic Approach and Landing Using GPS" Global Positioning System: Theory and Applications, Volume II, ***American Institude of Aeronautics and Astronautics***, Washington,.399, (1996)

31.DHMİ,"Havaalanları Enformasyon Yayınları" ***DHMİ Genel Md. Seyrüsefer D.AIS***, Ankara (2003)

EKLER

EK-1 ÖRNEK DGPS ALÇALMA KARTI



EK-2 GOZLEM DOSYASI FORMATI

GÖZLEM VERI DOSYASI- BASLIK KISMI ACIKLAMASI		
BAŞLIK İSMİ (61-80'nci kolonlar)	AÇIKLAMA	FORMAT
RINEX VERSION/TYE	-Format Versiyonu -Dosya Türü ('O' Gözlem Verisi için kullanılır) -Uydu Sistemleri: Boşluk veya 'G' : GPS 'R' : GLONASS 'T' : NNSS Transit 'M' : Karma	16, 14X, A1,19X, A1,19X
PGM / RUN BY / DATE	-Mevcut Dosyayı Oluşturan Programın İsmi -Mevcut Dosyayı Oluşturan Kurumun İsmi -Dosyayı Oluşturma Zamanı	A20, A20, A20
COMMENT	Bilgi Satırları	A60
MARKER NAME	Nokta İsmi	AGO
MARKER NUMBER	Nokta Numarası	A20
OBSERVER/AGENCY	Gözlemci Kurumun İsmi	A20,A40
REC #/TYPE/VERS	Alıcı Numarası, tipi ve versiyonu	3A20
ANT # / TYPE	Anten Tip ve Numarası	2A20
APPROX POSITION XYZ	Ölçü Yapılan Noktanın Yaklaşık Konumu (WGS84)	3F14.4
ANTENNA: DELTA H/E/N	-Anten Yüksekliği -Anten merkezinin Üzerinde Ölçü yapılan Noktaya Göre Doğu ve Kuzey yönündeki Kayıklıkları	3F14.4
WAVELENGTH FACT L1/2	-L1 ve L2 için Dalgaboyu faktörleri 1: Tam devinim tamsayı bilinmeyeni 2: Yarim devinim tamsayı bilinmeyeni 0:Tek frekanslı alıcı -Devam eden listede bu faktörlerin geçerli olduğu uydu sayısı 0 veya boşluk : Listede belirtilmeyen uydular için mevcut dalgaboyu katsayıları -Uyduların Listesi Eğer gerekli ise kayıt tekrar edilir.	216 16 7(3X,A1,I2)
# / TYPES OF OBSERV	-Dosyada bulunan değişik gözlem tipi sayısı -Gözlem Tipleri Eğer 9'dan fazla gözlem tipi varsa ek satırlar kullanılır.	16, 9(4X,A2) 6X,9 (4X,A2)
INTERVAL	Saniye biriminde Gözlem Aralığı	16
TIME OF FIRST OBS	-İlk Gözlemin Kayıt Zamanı (4 basamaklı yıl, ay, gün, saat, dakika, saniye) -Zaman Sistemi: GPS (= GPS Zaman Sistemi) GLO(=UTC Zaman Sistemi)	5I6,F12.6 6X,A3
TIME OF LAST OBS	-Son Gözlemin Kayıt Zamanı (4 basamaklı yıl, ay, gün, saat, dakika, saniye) -Zaman Sistemi: GPS (= GPS Zaman Sistemi) GLO(=UTC Zaman Sistemi)	5I6,F12.6 6X,A3
LEAP SECONDS	GPS Zamanı UTC zaman farkı (saniye olarak)	I6
# OF SATELLITES	Dosyada Gözlemi olan Toplam Uydu Sayısı	I6
PRN / # OF OBS	Uydu Numarası ve "# / TYPES OF OBSERV" kısmında belirtilen tiplerde gözlem sayısı Eğer 9'dan fazla gözlem tipi varsa ek satırlar kullanılır Bu kayıt gözlem dosyasında bulunan her bir uydu için tekrar edilir	3X,A1,I2,9I 6 6X,9I6
END OF HEADER	Başlık Kısmındaki en son satırdır.	60X

Koyu Harflerle yazılan olan satırlar opsiyoneldir, dosyada olmayabilir.

GÖZLEM VERI DOSYASI-VERI KAYIT AÇIKLAMASI		
GOZLEM KAYIDI	ACIKLAMA	FORMAT
EPOK UYDU Veya Olay İsareti	-Epok: yıl (2 basamak), ay, gün, saat, dakika, saniye,saniye -Epok İsareti 0 : OK 1 : Önceki ve mevcut epok arasında güc kesilmesi >1 : Olay İsareti -Mevcut Epoktaki uydu savısı -Mevcut Epoktaki Uydu numaralarının Listesi -Alıcı Saat ofseti (Opsiyonel) Eğer Uydu Savısı 12'den fazla ise ek satırlar kullanılır Eğer OLAY İSARETİ varsa (epok isareti >1 ise): -Olay İsareti : 2: Anten Hareket Ettirilmeve Baslandı 3: Yeni nokta (kinematik verinin sonu)(MARKER NAME kayıdıyla devam eder) 4. Başlık Kısmı takip edecek. 5. Epok önemli işareti 6. Cyle Slip kayıtları takip edecek - Uydu Sayısı takip edecek satir sayısını belirler.	513.F11.-. 13. 13. 12(A1.12). F12.9 32X.12(A1.1
GOZLEMLER	-Gözlemler -LLI -Sinval Gücü Eğer 5'den fazla gözlem tipi varsa (=80 Karakter) bir sonraki satırda gözlemlerin kavdına devam edilir. Bu kavıtlar epoktaki her bir uvdu icin tekrar edilir Gozlemler: Faz : Tasıvıcı dalganın tam dalgabovu savısı birimindendir Kod : Metre Birimindedir. Eksik Gözlemler 0.0 şeklinde yazılır. Sinyal Gücü 1-9 arası bir değer alır 1: Mümkün olan en düşük sinyal gücü 5:iyi bir S/N oranı için eşik değeri 9: Mümkün olan e yüksek sinyal gücü 0 veya boşluk : bilinmiyor, dikkate alınmamalı	m(F14.3,II.1 1)

EK-3 ÖRNEK GÖZLEM DOSYASI

```
                     OBSERVATION DATA    G (GPS)             RINEX VERSION / TYPE
ASHTOP1H                                      20 - FEB - 03 15:25 PGM / RUN BY / DATE
                                                                  COMMENT
                                                                  MARKER NAME
                                                                  MARKER NUMBER
                                                                  OBSERVER / AGENCY
                         ASHTECH UZ-12       ZB00       0A13      REC # / TYPE / VERS
                                                                  ANT # / TYPE
  4119838.0000  2648609.9200  4073314.3000                        APPROX POSITION XYZ
        0.0000        0.0000        0.0000                        ANTENNA: DELTA H/E/N
     1     1                                                      WAVELENGTH FACT L1/2
     7    L1    L2    C1    P1    P2    D1    D2                 # / TYPES OF OBSERV
     0.5000                                                       INTERVAL
                                                                  LEAP SECONDS
  2003     2    17     9    26   30.500000      GPS              TIME OF FIRST OBS
  2003     2    17    10     7   30.000000      GPS              TIME OF LAST OBS
                                                                  END OF HEADER
03  2 17  9 26 30.5000000  0  6G24G30G05G06G09G10                    0.000296638
   103152.96311     73164.33051  22660657.901    22660659.2175   22660657.7945
    -1791.854        -1396.250
   -66654.09011    -47675.94851  20074341.801    20074344.2835   20074340.0325
     1283.588         1000.198
    53393.32611     38401.07451  21067121.213    21067120.0925   21067117.8385
    -1065.266         -830.077
  4821136.19611   4820171.51551  21229720.056    21229720.6855   21229717.9535
     1943.472         1514.394
   111785.99311    111850.39051  24743921.351    24743922.3735   24743927.3105
    -3060.504        -2384.808
  -168244.88111   -125810.56151  23813620.495    23813620.5595   23813622.9235
     3027.657         2359.213
03  2 17  9 26 31.0000000  0  6G24G30G05G06G09G10                    0.000000002
  -362941.869 1   -290026.44941  22571963.101    22571964.3064   22571963.0994
    -2468.430        -1923.452
  -434287.497 1   -412065.61741  19985354.156    19985356.5864   19985352.3534
      606.962          472.957
  -413064.917 1   -325072.88341  20978357.198    20978356.0184   20978353.6884
    -1741.995        -1357.399
  5714172.608 1   4455524.56541  21140669.555    21140670.1684   21140667.4554
     1267.270         987.483
  -303674.559 1   -250845.84641  24655347.246    24655348.0154   24655353.0154
    -3736.842        -2911.825
  -636750.820 1   -490880.12341  23724466.830    23724466.8654   23724469.2764
     2351.064         1831.998
```

EK-4 NAVİGASYON DOSYASI FORMATI

NAVİGASYON MESAJ DOSYASI- BAŞLIK KISMI AÇIKLAMASI		
BAŞLIK İSMİ (61-80'nci kolonlar)	AÇIKLAMA	FORMAT
RINEX VERSION/TYE	-Format Versiyonu -Dosya türü ('N' Navigasyon Verisi için kullanılır)	16, 14X, A1,19X,
PGM / RUN BY / DATE	-Mevcut Dosyayı Oluşturan Programın ismi -Mevcut Dosyayı Oluşturan Kurumun ismi -Dosyayı Oluşturma Zamanı	A20, A20, A20
COMMENT	**Bilgi Satırları**	**A60**
ION ALPHA	**Almanağın iyonosfer parametreleri (AO-A3)**	**2X,4D12.4**
ION BETA	**Almanağın İyonosfer Parametreleri (BO-B3)**	**2X,4D12.4**
DELTA-UTC: AO,A1.T,W	**Zamanı UTC' de hesaplamak için gerekli almanak parametreleri** **AO : Polinom Katsayıları** **T : UTC verisi için referans zaman** **W : UTC referans hafta sayısı**	**3X,2D19.12,** **219**
LEAP SECONDS	GPS zamanı ile UTC arasındaki saniye	16
END OF HEADER	Başlık Kısmındaki Son Satır	60X

Koyu Harflerle yazılan olan satırlar opsiyoneldir, dosyada olmayabilir

NAVIGASYON MESAJ DOSYASI- VERI KAYIT ACIKLAMASI		
GÖZLEM KAYDI	ACIKLAMA	FORMAT
UYDU / EPOK UYDU SAAT	-Uydu Numarası -Epok : Toc- Saat Zamanı yıl (2 basamak) ay gün saat dakika saniye -Uydu saat bias (saniye) -Uydu saat drift (sn/sn) -Uydu saat drift hızı (sn/sn^2)	12, 513, F5.1 3D19.12
YAYINLANAN YÖRÜNGE-1	-IODE verinin,efemerisin yayını -Crs (metre) -Delta n (radyan/sn) -MO (radyan)	3X,4D19.12
YAYINLANAN YÖRÜNGE-2	-Cue (radyan) -e eksentrisite -Cus (radyan) -sqrt(A) (sqrt(m))	3X,4D19.12
YAYINLANAN YÖRÜNGE-3	-Toe Efemeris Zamanı (GPS haftasının saniyesi) -Cic (radyan) -OMEGA (radyan) -CIS (radyan)	3X,4D19.12
YAYINLANAN YÖRÜNGE-4	-i0 (radyan) -Crc (metre) -omega (radyan) -OMEGA DOT (radyan/sn)	3X,4D19.12
YAYINLANAN YÖRUNGE-5	-IDOT (radyan/sn) -L2 kanalı üzerindeki kodlar -GPS Hafta Sayısı -L2 P veri isareti	3X,4D19.12
YAYINLANAN YÖRÜNGE-6	-Uydu doğruluğu (metre) -Uydu durumu -TGD (saniye) -IODC veri yayını	3X,4D19.12
YAYINLANAN YÖRÜNGE-7	-Mesajın yayım zamanı (GPS haftasının saniyesi) -boş -boş -boş	3X,4D19.12

EK-5 ÖRNEK NAVİGASYON DOSYASI

```
     2           NAVIGATION DATA                     RINEX VERSION / TYPE

ASHTORIN                        20 - FEB - 03 15:25 PGM / RUN BY / DATE
                                COMMENT
                                END OF HEADER
 5 03  2 17 10  0  0.0 .242795795202D-05 .204636307899D-11 .000000000000D+00
    .136000000000D+03 .285000000000D+02 .492591947003D-08 .214436436778D+01
    .135414302349D-05 .432648137212D-02 .107400119305D-04 .515380609512D+04
    .122400000000D+06 -.111758708954D-06 .725217027126D+00 -.838190317154D-07
    .935749680176D+00 .157937500000D+03 .705437434038D+00 -.816676875013D-08
    .522164607395D-09 .000000000000D+00 .120600000000D+04 .000000000000D+00
    .100000000000D+01 .000000000000D+00 -.419095158577D-08 .136000000000D+03
    .118020000000D+06 .000000000000D+00 .000000000000D+00 .000000000000D+00
 6 03  2 17 10  0  0.0 -.280747190118D-05 -.227373675443D-12 .000000000000D+00
    .106000000000D+03 -.100937500000D+02 .549630037154D-08 -.293664810915D+01
   -.653788447380D-06 .633109244518D-02 .381469726563D-05 .515355742836D+04
    .122400000000D+06 .614672899246D-07 .182670491848D+01 -.800937414169D-07
    .938095119679D+00 .293375000000D+03 -.213180863638D+01 -.853856995143D-08
   -.113576159474D-09 .000000000000D+00 .120600000000D+04 .000000000000D+00
    .000000000000D+00 .000000000000D+00 -.512227416039D-08 .106000000000D+03
    .118020000000D+06 .000000000000D+00 .000000000000D+00 .000000000000D+00
 9 03  2 17 10  0  0.0 -.312868505716D-04 -.181898940355D-11 .000000000000D+00
    .113000000000D+03 -.131875000000D+03 .455483258420D-08 .300970499747D+01
   -.688619911671D-05 .140518303961D-01 .991113483906D-05 .515366471100D+04
    .122400000000D+06 -.409781932831D-07 -.284175767759D+00 -.210478901863D-06
    .948369105574D+00 .178156250000D+03 .910857122570D+00 -.789175729480D-08
   -.293226499775D-09 .000000000000D+00 .120600000000D+04 .000000000000D+00
    .000000000000D+00 .000000000000D+00 -.558793544769D-08 .113000000000D+03
    .118020000000D+06 .000000000000D+00 .000000000000D+00 .000000000000D+00
30 03  2 17 10  0  0.0 .556571409106D-03 .466116034659D-11 .000000000000D+00
    .870000000000D+02 .344375000000D+02 .490663295239D-08 .957412633999D+00
    .176765024662D-05 .679346581455D-02 .106673687696D-04 .515365239716D+04
    .122400000000D+06 -.139698386192D-06 .763266667635D+00 -.260770320892D-07
    .942731481579D+00 .165343750000D+03 .130866832176D+01 -.826677291570D-08
    .503592405216D-09 .000000000000D+00 .120600000000D+04 .000000000000D+00
    .000000000000D+00 .000000000000D+00 -.838190317154D-08 .870000000000D+02
    .118020000000D+06 .000000000000D+00 .000000000000D+00 .000000000000D+00
24 03  2 17  9 59 44.0 .923871994019D-05 .284217094304D-11 .000000000000D+00
    .158000000000D+03 -.684375000000D+01 .379372945263D-08 -.313616917739D+01
   -.255182385445D-06 .944739603437D-02 .127200037241D-04 .515363661385D+04
    .122384000000D+06 .298023223877D-07 .293348753608D+01 -.298023223877D-07
    .976955348466D+00 .140656250000D+03 -.149547654705D+01 -.741209445777D-08
   -.487877464912D-09 .000000000000D+00 .120600000000D+04 .000000000000D+00
    .000000000000D+00 .000000000000D+00 -.931322574615D-09 .158000000000D+03
    .118050000000D+06 .000000000000D+00 .000000000000D+00 .000000000000D+00
10 03  2 17 10  0  0.0 .203722156584D-04 .682121026330D-12 .000000000000D+00
    .229000000000D+03 .122562500000D+03 .402016745611D-08 .317304808699D+00
    .651553273201D-05 .538783671800D-02 .864639878273D-05 .515369716263D+04
    .122400000000D+06 .558793544769D-07 -.234256543188D+01 .000000000000D+00
    .981056902626D+00 .221937500000D+03 .144120904791D+00 -.793783064251D-08
    .426089176896D-09 .000000000000D+00 .120600000000D+04 .000000000000D+00
```

ÖZGEÇMİŞ

Rıdvan Faruk ÖZENÇ, 14 ağustos 1969 yılında Çankırı da doğdu. İlk ve orta öğrenimini babası memur olması dolayısıyla yurdun değişik yörelerindeki okullarda tamamlamayı müteakip, 1990 yılında Kara Harp Okulundan Piyade subayı olarak mezun oldu. İstanbul Tuzla Piyade okulunu bitirdikten sonra Viranşehir hudut Taburu 3. hudut bölüğüne takım komutanı olarak atandı. Bu görevi müteakip 1993 yılında Ankara da Kara Kuvvetleri Havacılık Okulunda sabit kanat (Uçak) pilot kursuna başladı ve kursu başarıyla tamamladıktan sonra 1994 yılında M.S.B. Harita Genel Komutanlığı Hava Grup Komutanlığında uçak pilotu olarak göreve başladı. Burada Dornier-28 ve Beechcraft 200 uçakları ile 2002 yılına kadar görev yaptı. Aynı yıl UH-1 Helikopter Pilotaj kursunu tamamlayarak, 2003 atamalarında Malatya 2. Kr. Havacılık Alayı na atandı.