

**HAVAALANLARINA GPS İLE YAKLAŞMA
VE İNİŞLERİN COĞRAFİ BİLGİ
SİSTEMLERİNE DAYALI TASARIMI**

ÖZNUR USANMAZ
Doktora Tezi

**Sivil Havacılık Anabilim Dalı
ARALIK-1998**

ESKİŞEHİR

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Öznur Usanmaz'ın Havaalanlarına GPS ile Yaklaşma ve İnişlerin Coğrafi Bilgi Sistemlerine Dayalı Tasarımı başlıklı Sivil Havacılık Anabilim Dalındaki, Doktora tezi 28.12.1998 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. Can AYDAY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan OKTAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bilginer GÜLMEZOĞLU

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..06.01.1999..tarih ve ...1./1.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET**Doktora Tezi****HAVAALANLARINA GPS İLE YAKLAŞMA VE İNİŞLERİN COĞRAFI
BİLGİ SİSTEMLERİNE DAYALI TASARIMI****ÖZNUR USANMAZ****Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Can AYDAY****1998, 107 Sayfa**

Günümüzde, hava navigasyonunda yere bağlı radyo navigasyon sistemleri kullanılmakla birlikte, geleceğin hava navigasyonu uyduya bağlı sistemler ile olacaktır. Kullanıcısına üç boyutlu konum bilgisi verebilen Global Positioning System (GPS) uyduya dayalı bir sistemdir. GPS'in hava navigasyonunda kullanılması ile havaalanlarına yaklaşma ve inişte uçaklara daha kısa uçuş yolları ile en elverişli rotaları kullanma olanakları sunulmuştur. Bu çalışmada, GPS yaklaşma ve iniş yörüngelerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı tasarımı amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, çalışma bölgesinin bilgisayar ortamında bulunan coğrafi verilerinden yararlanılarak GPS'e göre belirlenen yaklaşma ve iniş yörüngelerinin konumsal analizleri CBS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Emniyetli uçuş yörüngeleri tasarlanarak çalışma bölgesinin Aletli Yaklaşma Haritası hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Global Positioning System (GPS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Aletli Yaklaşma Haritaları.

ABSTRACT**Doctorate Thesis****DESIGN OF THE APPROACH AND LANDING WITH GPS TO THE
AIRPORTS BASED ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM****ÖZNUR USANMAZ****Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Aviation Program****Supervisor: Assoc. Prof. Can AYDAY****1998, Page 107**

Radio navigation systems on earth are used for the air navigation, nowadays. However, in the future, systems connected to satellites will be used for the air navigation. Global Positioning System (GPS) is based on a satellite system and can give three dimensional position information to the user. The use of GPS on the air navigation provides shorter flight distances and the best routes to the aircrafts for approach and landing to the airports. The aim of this study was the design of GPS approach and landing trajectories based on Geographic Information System (GIS). For this purpose, the geographic data of the area selected for this study in the computer was used to determine approach and landing trajectories according to GPS and their topographic analysis carried out with GIS method. In this study, Instrument Approach Chart (IAC) has been prepared with the design of safe flight trajectories for the selected area.

Keywords: Global Positioning System (GPS), Geographic Information System (GIS), Instrument Approach Chart (IAC).

ÖNSÖZ

Havaalanlarına GPS ile Yaklaşma ve İnişlerin Coğrafi Bilgi Sistemlerine Dayalı Tasarımı başlıklı bu çalışma Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde yaratıcı fikirleri ve bilgisi ile beni yönlendiren, destekleyen, çalışmanın her aşamasında yardımcı olan danışman hocam Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü Müdürü Sayın Doç. Dr. Can AYDAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın özellikle Coğrafi Bilgi Sistemlerine dayalı tasarım kısmındaki yardım ve desteği için Sayın Öğr. Grv. Metin ALTAN'a ve diğer Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü personeline ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Öznur USANMAZ

Aralık, 1998

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI	3
3. ÇALIŞMA BÖLGESİ	4
4. ÇALIŞMA YÖNTEMİ	8
5. ALETLİ YAKLAŞMA YÖNTEMLERİ	9
5.1. Navigasyon Sistemleri	10
5.1.1. NDB (Nondirectional Beacon)	10
5.1.2. VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range)	10
5.1.3. DME (Distance Measuring Equipment)	12
5.1.4. LORAN (Long Range Radio Navigation)	13
5.1.5. Omega	14
5.1.6. ILS (Instrument Landing System)	14
5.1.7. INS (Inertial Navigation Sytem)	15
5.2. Aletli Yaklaşma Genel Kriterleri	15
5.2.1. Uçak Kategorileri	15
5.2.2. En Düşük Emniyet Payı (MOC)	17
5.2.3. Engel Emniyet İrtifası/Yüksekliği (OCA/H)	18

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

	<u>Sayfa</u>
5.2.4. En Düşük Karar İrtifası/Yüksekliği (MDA/H)	18
5.2.5. Rüzgar	19
5.2.5.1. Rüzgar Hızı	19
5.2.5.2. Rüzgar Etkisi	19
5.3. Geliş Safhası	21
5.3.1. Geliş Alanı	21
5.3.2. En Düşük Emniyet İrtifası (MSA).....	21
5.3.3. Özel Geliş Yolu	21
5.4. İlk Yaklaşma Safhası	22
5.4.3. Hipodrom (Racetrack).....	22
5.4.4. Yön Değiştirme Yöntemi (Reversal Procedure).....	23
5.4.4.1.Esas Dönüş (Base Turn).....	23
5.4.4.2.Yöntem Dönüşü (Procedure Turn)	23
5.5. Orta Yaklaşma Safhası	25
5.6. Son Yaklaşma Safhası	25
5.6.1. Direkt Yaklaşma.....	26
5.6.2. Turlu Yaklaşma (Görerek Manevra)	27
5.6.2.1.Görerek Manevra Alanı	27
5.6.2.2.Eşik Noktasından Yarıçap.....	28
5.6.2.3.OCA/H Hesabı.....	28
5.7. Pas Geçme Safhası	29
5.8. Bekleme Paterni	30
5.8.1. Bekleme Parametreleri.....	31
5.8.2. En Düşük Bekleme İrtifası (MHA)	32
5.8.3. Bekleme Ana Yörüngesine Girişler.....	32
6. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS).....	34
6.1. Giriş.....	34
6.2. GPS Sisteminin Bölümleri.....	35
6.2.1. Uzay Bölümü	36

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

	<u>Sayfa</u>
6.2.2. Kontrol Bölümü.....	38
6.2.3. Kullanıcı Bölümü	38
6.3. GPS Çalışma Prensibi	39
6.3.1. Konum Belirleme	39
6.3.2. Hız Ölçümü.....	41
6.3.3. GPS Hata Kaynakları.....	41
6.4. Differential Global Positioning System (DGPS).....	41
6.5. Havacılıkta GPS Kullanım Şartları.....	42
6.5.1. Dinamik	43
6.5.2. Fonksiyon.....	43
6.5.3. Doğruluk	44
6.5.4. Kullanılabilirlik	44
6.5.5. Bütünlük.....	45
6.6. Wide Area Augmentation System (WAAS).....	45
6.7. Local Area Augmentation System (LAAS)	46
6.8. GPS'in Diğer Navigasyon Sistemleri ile Karşılaştırılması	47
7. GPS'E DAYALI YAKLAŞMA TASARIMI.....	50
7.1. Geliş Safhası	51
7.2. İlk Yaklaşma Safhası.....	51
7.3. Orta Yaklaşma Safhası	51
7.4. Son Yaklaşma Safhası.....	52
7.5. Pas Geçme Safhası	53
7.6. Bekleme Paterni	54
8. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS).....	56
8.1. Grafik Veri.....	56
8.1.1. Topoloji.....	56
8.1.2. Katman Yapısı.....	57

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

	<u>Sayfa</u>
8.1.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Sayısal Grafik Elemanları.....	58
8.2. Grafik Olmayan Veri.....	59
8.2.1. Öznelik Bilgileri.....	60
8.2.2. Coğrafi İndeks.....	60
8.2.3. Konumsal İlişki.....	61
8.3. Sayısal Arazi Modeli.....	61
9. ESKİŞEHİR ANADOLU HAVAALANI'NIN GPS YAKLAŞMA YÖRÜNGELERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNE DAYALI TASARIMI.....	67
9.1. Arazinin Topografik Modellemesi.....	67
9.1.1. Eş Yükselti Eğrileri Haritası.....	67
9.1.2. Üçgenleşmiş Düzensiz Ağ yapısı (TIN).....	68
9.1.3. Düzenli Karesel Alanlar (Grid).....	68
9.1.4. Arazinin Topografyası.....	70
9.2. Bekleme Paterni.....	70
9.2.1. Anadolu Havaalanı Bekleme Patern Tasarımı.....	70
9.2.2. Bekleme Paterninin Topoğrafya Üzerine Konumlandırılması.....	75
9.3. Son Yaklaşma Safhası.....	78
9.4. Pas Geçme Safhası.....	79
9.4.1. Anadolu Havaalanı Pas Geçme Yörünge Tasarımı.....	79
9.4.2. Pas Geçme Dönüş Alanının Oluşturulması.....	80
9.4.3. Dönerek Pas Geçme Safhasının Topografya Üzerine Konumlandırılması.....	84
9.5. Turlu Yaklaşma (Görerek Manevra).....	86
9.5.1. Anadolu Havaalanı Turlu Yaklaşma Alanları.....	86
9.5.2. Turlu Yaklaşma OCA/H Değerlerinin Belirlenmesi.....	88
9.6. Koordinat Dönüşümleri.....	88
9.7. Anadolu Havaalanı Aletli Yaklaşma Haritası.....	88

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

	<u>Sayfa</u>
10. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
11. KAYNAKLAR.....	93
12. EKLER.....	97
EKLER	
Ek-1 Anadolu 09 NDB Yaklaşma Haritası (JEPPESEN, 1997).....	98
Ek-2 Anadolu 09 NDB-DME Yaklaşma Haritası (JEPPESEN, 1997).....	99
Ek-3 Eskişehir Askeri Terminal Sahası (MTMA) ve Hava Trafik Yolları (DHMİ, 1997)	100
Ek-4 Eskişehir 09 TACAN-1 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat,1997)	101
Ek-5 Eskişehir 27 TACAN-2 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat,1997)	102
Ek-6 Eskişehir 27 TACAN-3 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat,1997)	103
Ek-7 Eskişehir 09 TACAN-4 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat,1997)	104
Ek-8 Eskişehir 27 TACAN-5 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat,1997)	105
Ek-9 Eskişehir 1 ve 2 Numaralı Tırmanma Paterni (Özel Talimat,1996)	106
Ek-10 Eskişehir 3 ve 4 Numaralı Tırmanma Paterni (Özel Talimat,1996) ...	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çalışma bölgesinin RGB/741 bandındaki yapay renklendirilmiş LANDSAT uydu görüntüsü.....	5
Şekil 3.2. Çalışma bölgesinin, uydu görüntüsü ve hava fotoğrafının birlikte kullanılması ile elde edilen genel görünümü (FUSION).....	5
Şekil 5.1. Aletli yaklaşma safhaları.....	9
Şekil 5.2. LORAN hiperbolik sistemi.....	13
Şekil 5.3. Viraj durumunda rüzgar spirali.....	20
Şekil 5.4. Hipodrom alanı	22
Şekil 5.5. Esas dönüş elemanları ve girişler.....	24
Şekil 5.6. Yöntem dönüşü gösterimi ve girişler	25
Şekil 5.7. Son yaklaşma yörüngesinin pist merkez hattını kestiği durumunda son yaklaşma başı düzenlemesi	26
Şekil 5.8. Son yaklaşma yörüngesinin pist merkez hattını kesmediği durumunda son yaklaşma başı düzenlemesi	26
Şekil 5.9. Bekleme ana yörüngesi	30
Şekil 5.10. Bekleme paterni	31
Şekil 5.11. Bekleme ana yörüngesine girişler	33
Şekil 6.1. Dünya çevresindeki yörüngelerinde GPS uyduları (PARKINSON, 1996).....	37
Şekil 6.2. GPS ile konum belirleme (CONNES, 1992).....	39
Şekil 6.3. Hareketli cismin uydulara olan uzaklığı.....	40
Şekil 7.1. İlk yaklaşma koruma alanı.....	51
Şekil 7.2. Orta yaklaşma koruma alanı oluşturulması	52
Şekil 7.3. Son yaklaşma koruma alanı oluşturulması.....	53
Şekil 7.4. Pas geçme koruma alanı oluşturulması	54
Şekil 7.5. Çift bekleme noktalı sola dönüş bekleme paterni.....	55
Şekil 8.1. Topolojide kullanılan grafik elemanlar	57
Şekil 8.2. CBS'de katman yapısı.....	58
Şekil 8.3. Raster ve vektör anlatımlar.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 8.4. Konumsal ilişki parametreleri.....	61
Şekil 8.5. Sayısal arazi modeli oluşturma aşamaları	64
Şekil 8.6. TIN model örneği (INTERGRAPH, 1994).....	64
Şekil 8.7. Grid model örneği	65
Şekil 9.1. Topoğrafyanın oluşturulması amacı ile bölgenin x, y ve z bilgilerini içeren eş yükselti eğrileri.....	69
Şekil 9.2. Bölgenin eş yükselti eğrilerinden yararlanılarak hazırlanan düzensiz üçgenleşmiş alanları.....	69
Şekil 9.3. Bölgenin düzensiz üçgenleşmiş alanlarından yararlanılarak hazırlanan düzenli karesel alanlar	71
Şekil 9.4. Bölgenin topoğrafik yapısının genel görünümü	71
Şekil 9.5. Bekleme paterninin oluşturulması	74
Şekil 9.6. Bekleme paterninin üç boyutlu görünümü	74
Şekil 9.7. Pist ekseninde ve pist başından 11112 m (6 NM) uzaktaki bekleme paterninin topoğrafya üzerine konumlandırılması	76
Şekil 9.8. Pist ekseninde ve pist başından 12964 m (7 NM) uzaktaki bekleme paterninin topoğrafya üzerine konumlandırılması	76
Şekil 9.9. Pist ekseninde ve pist başından 14816 m (8 NM) uzaktaki bekleme paterninin topoğrafya üzerine konumlandırılması	77
Şekil 9.10. Pist ekseninde ve pist başından 14487 m (7,8 NM) uzaktaki bekleme paterninin topoğrafya üzerine konumlandırılması	77
Şekil 9.11. Son yaklaşma safhası	81
Şekil 9.12. Pas geçme safhası.....	81
Şekil 9.13. Son yaklaşma ve pas geçme safhaları	82
Şekil 9.14. Pas geçme dönüş alanının oluşturulması.....	82
Şekil 9.15. 5000 ft irtifada dönerek pas geçme.....	85
Şekil 9.16. 6000 ft irtifada dönerek pas geçme.....	85
Şekil 9.17. Turlu yaklaşma alanlarının topoğrafya üzerine Konumlandırılması	87
Şekil 9.18 Anadolu Havaalanı 09 pisti GPS yaklaşma haritası.....	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. ILS kategorileri yükseklik ve görüş değerleri (ICAO Annex 10, 1985)	14
Çizelge 5.2. Uçak kategorilerine göre farklı yaklaşma safhaları için IAS (km/h) değerleri (ICAO-Doc 8168, 1993).....	16
Çizelge 5.3. Uçak kategorilerine göre farklı yaklaşma safhaları için IAS (kt) değerleri (ICAO-Doc 8168, 1993).....	17
Çizelge 5.4. Aletli Yaklaşma Safhaları En Düşük Emniyet Payı (MOC) Değerleri (ICAO- Doc 8168, 1993)	18
Çizelge 5.5. Son yaklaşımda uçak kategorilerine göre en yüksek ve En düşük iniş oranları (ENAC, 1994)	27
Çizelge 5.6. Görerek manevra alanı k sabiti değerleri (ICAO-8168, 1993).....	28
Çizelge 5.7. Turlu yaklaşma MOC değerleri (ICAO-8168, 1993).....	29
Çizelge 5.8. Bekleme paterni MOC değerleri.....	32
Çizelge 6.1. Navigasyon doğruluk değerleri (ESCHENBACH, 1996).....	44
Çizelge 6.2. GPS doğruluk düzeyleri (ESCHENBACH, 1996).....	44
Çizelge 9.1. UTM koordinatlardan elipsoidal koordinatlara dönüşümler	89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c:	Zamanlama toleransı (m)
di:	Sahte mesafe (m)
Di:	Gerçek mesafe (m)
E _L :	Yerel saat hatası
g:	Yerçekim ivmesi (m/s ²)
R:	Viraj yarıçapı (m)
t:	Zaman (s)
Vat:	Eşik Hızı (kt)
We:	Rüzgar etkisi (m)
Wv:	Rüzgar Hızı (m/s)
α:	Dönüş açısı (°)
Ω:	Eşik noktasından yarıçap (NM)
CBS:	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DA/H:	Decission Altitude/Height
DME:	Distance Measuring Equipment
DGPS:	Differential Global Positioning System
FAA:	Federal Aviation Administration
FAF:	Final Approach Fix
FAWP:	Final Approach Way Point
GIS:	Geographical Information System
GPS:	Global Positioning System
IAC:	Instrument Approach Chart
IAF:	Initial Approach Fix
IAS:	Indicated Air Speed
IAWP:	Initial Approach Way Point
ICAO:	International Civil Aviation Organisation
IEEE:	Institute of Electrical and Elektronical Engineers
IF:	Intermediate Fix
IFR:	Instrument Flight Rules
ILS:	Instrument Landing System

INS:	Inertial Navigation System
IWP:	Intermediate Way Point
LAAS:	Local Area Augmentation System
LORAN:	Long Range Radio Navigation
MAPt:	Missed Approach Point
MAWP:	Missed Approach Way Point
MDA/H:	Minimum Decision Altitude/Height
MGE:	Modular GIS Environment
MHA:	Minimum Holding Altitude
MLS:	Microwave Landing System
MOC:	Minimum Obstacle Clearance
MSA:	Minimum Safety Altitude
MTA:	MGE-Terrain Analysis
MTMA:	Military Terminal Area
NDB:	Nondirectional Beacons
NM:	Nautical Mile
OCA/H:	Obstacle Clearance Altitude/Height
PPS:	Precision Positioning Service
RNAV:	Area Navigation
SAM:	Sayısal Arazi Modeli
SOCWP:	Start of Climb Way Point
SPS:	Standart Positioning Service
STC:	Supplemental Type Certification
TACAN:	Tactical Air Navigation
TAS:	True Air Speed
TIN:	Triangulated Irregular Network
TITAN:	Traitement Informatique Trajectoires Aéronautiques Normalisée
TSO:	Tecnical Standart Order
TWP:	Turning Way Point
VOR:	VHF Omnidirectional Range
WAAS:	Wide Area Augmentation System
WP:	Way Point

1. GİRİŞ

Uçağın, aletli uçuş şartlarında (IFR-Instrument Flight Rules) bir meydana inişini gerçekleştirebilmesi için aletli yaklaşma haritalarında (IAC-Instrument Approach Chart) belirtilen yörüngeleri takip ederek meydana yaklaşması gerekmektedir. En düşük karar irtifasına (MDA-Minimum Decision Altitude) alçalan pilot, pisti görmesi durumunda inişi gerçekleştirir. En düşük karar irtifasında gerekli görsel şartlar oluşmadığında iniş gerçekleştirilmez, pas geçilir.

Günümüzde aletli yaklaşımlar, yere bağlı radyo navigasyon yardımcıları (radio navigation aids) ile yapılmaktadır. Dünya üzerinde binlerce radyo navigasyon yardımcısı bulunmakla birlikte, halen birçok meydan için yeterli radyo navigasyon yardımcısı bulunmamaktadır. Kurulması ise büyük maliyet gerektirmektedir.

Hava navigasyonu, Global Positioning System (GPS) ile kesin bir dönüşüm sürecine girmiştir. Sistem yerden bağımsız olarak, uyduya bağlı kullanılabilir. Uçağa daha kısa uçuş yolu ile en elverişli rotayı kullanarak önemli ölçüde yakıt tasarrufu sağlama olanağı sunmaktadır. Böylelikle, aletli yaklaşma tasarımlarında emniyet, ekonomi ve basitlik prensiplerini karşılayabilecek en elverişli navigasyon sistemi olma özelliğini taşımaktadır.

Aletli yaklaşma yörüngelerinin sağlıklı bir şekilde tasarlanabilmesi için çalışma bölgesinin güncel coğrafi verilerine, özellikle de yükseklik bilgilerine gereksinim duyulmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak coğrafi veriye erişim, verinin depolanması ve işlenmesi bilgisayar teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır.

Bu çalışmada; öncelikle çalışma bölgesi olarak seçilen Anadolu Havaalanı, elemanları, boyutları ve çevresi ayrıntılı olarak tanıtılmış ve çalışmanın gerçekleştirilmesinde yararlanılan yöntemler verilmiştir. Radyo navigasyon sistemlerine bağlı olarak belirlenen aletli yaklaşma yöntemleri, geliş safhasından itibaren ilk yaklaşma, orta yaklaşma, son yaklaşma, pas geçme ve bekleme safhaları ile açıklanmıştır. Uyduya bağlı navigasyon sistemi olan GPS uzay, kullanıcı, kontrol aşamaları ile tanıtılmış ve GPS'e dayalı yaklaşma tasarımları Area Navigation (RNAV) normları dikkate alınarak belirlenmiştir. Coğrafi verinin

toplanması, saklanması, güncelleştirilmesi, değiştirilmesi, analiz edilmesi ve görsel ortama getirilmesine olanak sunan CBS açıklanmıştır. Buna bağlı olarak, Anadolu Havaalanı GPS yaklaşma yörüngeleri, Coğrafi Bilgi Sistemlerine dayalı tasarımı gerçekleştirilerek, Anadolu Havaalanı 09 pisti GPS yaklaşma haritası hazırlanmış ve öneriler sunulmuştur.

2. ÇALIŞMANIN AMACI

Yere bağılı radyo navigasyon sistemleri belirli bir menzil dahilinde çalışabilen, kurulması aşamasında yüksek maliyet ve bakım gerektiren sistemlerdir. Geleceğin hava navigasyonu uyduya bağılı sistemler ile olacaktır.

Havaalanlarına iniş gerçekleştirebilmek için belirlenen aletli yaklaşma ve iniş yörüngeleri o havaalanında bulunan navigasyon sistem veya sistemlerin yaklaşma ve iniş yöntemlerine göre belirlenmektedir. Geleceğin navigasyon sistemleri uyduya dayalı sistemler olacağına göre, uyduya dayalı sistemler için de yöntemlerin belirlenmesi şarttır.

Bu çalışmada, uyduya dayalı konum belirleme sistemi olan GPS'e göre yaklaşma ve iniş yöntemlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda, bu yöntemler doğrultusunda en uygun yaklaşma ve iniş yörüngelerinin CBS teknikleri ile tasarımı amaçlanmaktadır.

3. ÇALIŞMA BÖLGESİ

Çalışma bölgesinin ayrıntılı olarak tanımlanabilmesi için, uydu görüntüsü ve hava fotoğraflarından yararlanılabilmektedir. Uydu görüntüleri, çalışma bölgesinde bulunan bir çok maddenin değişik dalga boylarındaki özelliklerini ortaya çıkarabilmektedir. Normal hava fotoğrafları ile çalışma bölgesini incelendiğinde, sadece elektromanyetik spektrumun görünür bölgesindeki dalga boyları tarafından ayırtedilebilen cisimler algılanabilir. Buna karşın, spektrumun görünür bölge dışındaki dalgaboyları ile çok daha fazla ayrıntı yakalanabilir. Landsat5 uydusu tarafından elde edilen veriler, farklı dalgaboylarında 7 farklı band halindedir. Çalışmanın amacına göre istenilen özelliklerin ortaya çıkarılabilmesi için en uygun dalga boylarının içerildiği üç band kullanılır. Şekil 3.1'de çalışma bölgesinin RGB/741 bandlarındaki yapay renklendirilmiş uydu görüntüsü verilmektedir.

LANDSAT5 uydusunun görüntüleri 30x30 m çözünürlüğe sahiptir. Bu nedenle, bilgisayar ekranında 30 m'den daha küçük cisimlerin algılanması güç olmaktadır. Çalışma bölgesindeki çizgisel özellik taşıyan elemanların belirlenmesi gerektiğinden, çizgilerin ve sınırların çok daha hassas gözlenebildiği hava fotoğraflarından yararlanır. Bu amaçla, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak, üç farklı band uydu görüntüsünden bir band çıkarılarak, yerine hava fotoğrafı konulmuş, uydu görüntüsünün farklı dalga boylarındaki yapay renkleri ve hava fotoğrafının ayırım gücü birarada kullanılarak Şekil 3.2'deki görüntü elde edilmiştir (FUSION). Görüntüde Eskişehir Anadolu Havaalanı'nın pist, taksi yolu, terminal binaları gibi çizgisel elemanları ve bu elemanların fiziksel özelliklerini yansıtan renkleri görülmektedir.

Bir havaalanı; uçakların bakım ve servis hizmetleri ile yolcu ve uçak trafiğinin düzenlenmesi için gerekli ek binalarda dahil olmak üzere, uçakların iniş, kalkış ve manevra hareketleri için düzenlenmiş özel alanlardır.

Eskişehir Anadolu Havaalanı 1989 yılından bu yana ulusal havaalanı olarak sivil ulaşım hizmet vermektedir. Şehir merkezinden 7 km uzaklıkta, kuzeydoğu konumuna kurulmuştur. Havalanının işletilmesinden Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu sorumludur.



Şekil 3.1. Çalışma bölgesinin RGB/741 bantındaki yapay renklendirilmiş LANDSAT uydu görüntüsü



Şekil 3.2. Çalışma bölgesinin, Uydu görüntüsü ve Hava Fotoğrafının birlikte kullanılması ile elde edilen, genel görünümü (FUSION)

Toplam 5.500.000 m²'lik alanı bulunan Anadolu havaalanında terminal binası, 09 – 27 konumunda ve 2620 x 30 m boyutlarında tek bir pist, 40 x 103 m ve 135 x 62 m boyutlarında iki adet apron, 150 x 18 m boyutlarında taksi yolu, 72 x 24 ve 80 x 25 m boyutlarında iki hangar, bakım atölyeleri ve 21 m yüksekliğinde hava trafik kontrol kulesi bulunmaktadır.

Ulusal sivil trafiğe hizmet veren Anadolu Havaalanı, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Pilotaj bölümü eğitim çalışmalarına da hizmet vermektedir. 1997 yılında Anadolu havaalanında 5876 trafik gerçekleşmiştir.

Anadolu havaalanında NDB (Non-Directional Radio Beacon), DME (Distance Measuring Equipment) radyo navigasyon yardımcıları bulunmaktadır. 09 pist başı için NDB-DME yaklaşması; DME'nin aktif olmadığı durumlarda, NDB yaklaşması yapılmaktadır. Ek-1'de NDB ve Ek-2'de NDB-DME yaklaşma planları (IAC, Instrument Approach Chart) verilmiştir.

Anadolu Havaalanı, pist yapısı ve boyutları en yüksek C kategorisindeki uçakların iniş ve kalkışına izin verecek ölçüdedir. Bu nedenle, çalışma aşamasında yapılan hesaplamalarda C kategorisindeki uçaklar dikkate alınmıştır.

Anadolu Havaalanı, Eskişehir Askeri Terminal Sahası (MTMA - Military Terminal Area) içinde yer almaktadır (Ek-3). Aynı saha içerisinde Anadolu havaalanının 1,5 km güneyinde Eskişehir askeri havaalanı bulunmaktadır. Birbirine bu kadar yakın konumda bulunan iki havaalanının yaklaşma ve kalkışları bağımsız olarak düşünülemez. Eskişehir askeri havaalanının 09 pisti için TACAN-1 (Tactical Air Navigation) yaklaşma haritası Ek-4'de, 27 pisti TACAN-2 yaklaşma haritası Ek-5'de, 27 pisti TACAN-3 yaklaşma haritası Ek-6'da, 09 pisti TACAN-4 yaklaşma haritası Ek-7'de, 27 pisti TACAN-5 yaklaşması EK-8'de ve kalkış yörüngeleri için 1 ve 2 numaralı tırmanma paterni Ek-9'da, 3 ve 4 numaralı tırmanma paterni EK-10'da verilmiştir. Verilen askeri havaalanı yaklaşma ve kalkış yörüngeleri incelendiğinde, Anadolu havaalanının yaklaşma ve kalkış yörüngeleri ile çakışmanın kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Yaklaşma yörüngelerinin bağımsız olarak düşünülmesi için, yörünge etrafında bulunan koruma alanlarının dahi birbirini kesmemesi gerekmektedir.

Bu şartlar altında iki meydanın yaklaşma kontrolü tek merkez kontrollü olarak Eskişehir Yaklaşma Kontrol merkezi tarafından sağlanmaktadır. Böylelikle tek merkez kontrollü olarak trafik akışı belli bir sıra dahilinde düzenlenmektedir.

Anadolu havaalanı yaklaşma yörüngeleri tasarımı sırasında yoğun askeri jet trafiği nedeni ile pistin güneyinden yaklaşma yapılmamasına özen gösterilmiştir.

4. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Çalışma sahasının 1/250.000 ve 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalarındaki eş yükselti eğrilerinden yararlanılarak Sayısal Arazi Modeli (DEM, Digital Elevation Model) oluşturulmuştur. Bu model oluşturulurken Intergraph firması tarafından geliştirilen MGE (Modular GIS Environment) yazılımları ve Bentley firmasının Microstation çizim programından yararlanılmıştır.

Harita Genel Komutanlığı'ndan elde edilen 1/250.000 ölçekli sayısal (vektörel) topoğrafik haritalar MGE-SX üzerinde oluşturulan proje içine aktarılmıştır. MGE-SX alt programı olan MTA (MGE-Terrain Analyst) yardımı ile eş yükselti eğrileri kullanılarak arazinin TIN (Triangulated Irregular Network) modeli oluşturulmuş ve TIN modelden grid modele geçiş yapılmıştır. Çalışmanın her aşamasında yapılan tüm analizler grid model üzerinden gerçekleştirilmiştir.

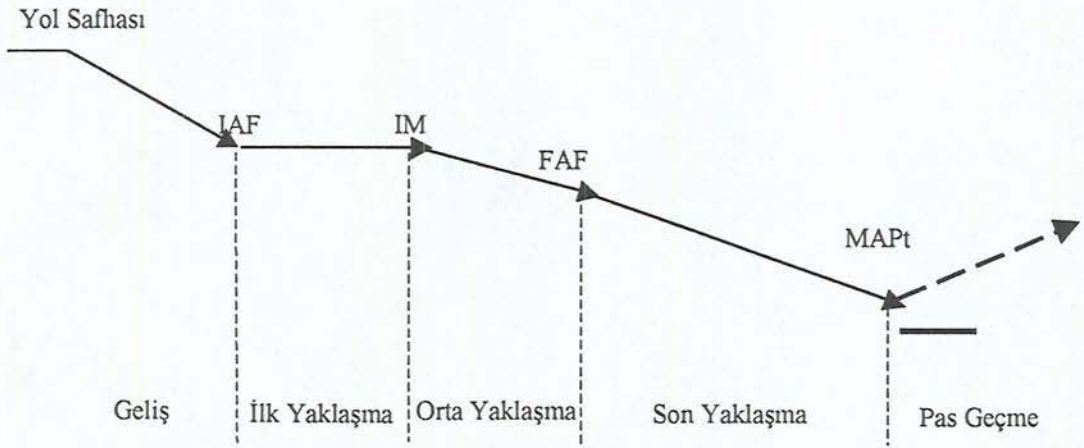
Uyduya dayalı konum belirleme sistemi olan GPS (Global Positioning System)'e göre yaklaşma yörüngeleri belirlenmiş ve bu aşamada RNAV parametreleri de dikkate alınmıştır. Sonuçta, belirlenen bekleme paterni, yaklaşma yörüngesi ve koruma alanlarının konumsal analizleri CBS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalarda, arazinin grid modeli üzerine GPS'e göre belirlenmiş bekleme paterni, son yaklaşma ve pas geçme safhaları için oluşturulan grid modelleri çakıştırılarak en uygun yörünge tasarımı gerçekleştirilmiştir.

5. ALETLİ YAKLAŞMA YÖNTEMLERİ

Aletli yaklaşma, IFR şartlardaki uçağın yol (en-route) safhası ile iniş pisti arasındaki tüm manevralarını kapsar. Pistte iniş gerçekleştiremeyen uçağın pas geçmesi de aletli yaklaşmanın bir parçasıdır (Şekil 5.1).

Aletli yaklaşma aşağıdaki beş safhadan oluşur:

- Geliş safhası
- İlk yaklaşma safhası
- Orta yaklaşma safhası
- Son yaklaşma safhası
- Pas geçme safhası



Şekil 5.1. Aletli yaklaşma safhaları

Bir aletli yaklaşma tasarımında emniyet, ekonomi, basitlik temel prensip olmalıdır. Öncelikle emniyetli bir uçuş sağlanmalı, zaman ve yakıt açısından ekonomik olunmalı ve basit uçuş yörüngeleri ile tasarım gerçekleştirilmelidir.

Aletli yaklaşma tasarımları, iniş yapılacak havaalanındaki radyo navigasyon sistemleri ve aletli yaklaşma genel kriterleri referans alınarak geliş, ilk yaklaşma, orta yaklaşma, son yaklaşma, pas geçme ve bekleme safhaları için gerçekleştirilmektedir.

5.1. Navigasyon Sistemleri

Yüzyıllardan beri yön bulmada kullanılan araçlar çeşitlilik göstermekle birlikte, belirgin noktaya bağlı yön bulma yöntemi hep aynı kalmıştır. Günümüzde, havacılıkta yaygın olarak kullanılan navigasyon sistemleri, radyo navigasyon sistemleridir. Yerdeki istasyonlara bağlı çalışan bu sistemlere göre yapılan yaklaşma, iniş, kalkış ve yol fazındaki uçuşlar yine bu cihazlara göre belirlenen yöntemler doğrultusunda gerçekleştirilir.

5.1.1. NDB (Nondirectional Beacon)

Havacılıkta kullanılan ilk radyo navigasyon sistemi NDB (Nondirectional Beacon)'dir. Sistemin çalışma frekansı 200 – 1750 kHz arasında değişir. Uçaktaki NDB alıcısı uçağın istasyona göre konumunu belirtir. Bu sistem, günümüzde birçok kokpitte bulunmasına rağmen modern navigasyonda az kullanılmaktadır. NDB menzili 50 – 100 NM arasındadır. Diğer radyo navigasyon sistemlerine oranla daha basit ve ucuz bir sistemdir. Ancak dikey olarak $\pm 45^\circ$ 'lik sessizlik konisine sahiptir ve to/from bilgisi vermez. Bu sorun daha sonra VOR sistemi ile çözüme kavuşturulmuştur [1].

5.1.2. VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range)

Günümüzde kıtasal hava sahası, VOR ile belirlenen havayolları ile organize edilmiştir. VOR istasyonu merkezde olmak üzere, referans olarak manyetik kuzey alınarak, kutupsal koordinat sisteminde bir derecelik aralıklarla 360 derecelik radyal bilgisi verir.

VOR, şu anda kullanılan Hava Trafik Kontrol sisteminin temelini oluşturmaktadır. Uçakta alınan VOR bilgisi, uçağın uçuş yönünden bağımsızdır. NDB sistemindeki gibi uçak başını istasyona yöneltmek zorunluluğu yoktur. Herbir VOR istasyonu 108-118 MHz'lik frekans bandında 0,05 MHz'lik aralıklarla yerleştirilen kanallarda yayın yapmaktadır. Bunun nedeni 108.10,

108.30 gibi tek sayılı kanallarda ILS sisteminin yayını için ayrılmış olmasıdır. Toplam 160 kanal kullanımdadır. Verici cihazın çalışma prensibi, iki radyo sinyali arasında faz farkı yaratmaya dayanır. Sinyallerden biri referans fazı olup çok yönlüdür ve istasyondan doğrusal şekilde yayılır. Referans sinyalinin fazı 360° boyunca her yerde aynıdır. Diğer sinyal değişebilen fazdadır. Dakikada 1800 devirle düzgün olarak döner ve VOR istasyonunun etrafında yönü 1° değiştiğinde fazı da 1° değişir. Bu nedenle istasyonun etrafındaki çeşitli yerlerde sinyallerin fazları da değişiktir.

Manyetik kuzey hattı, referans sinyali ile değişebilen sinyal arasındaki faz farkını elektronik olarak ölçmekte referans olarak kullanılır. Manyetik kuzeyde her iki sinyal aynı fazda olmakla birlikte, istasyon etrafındaki herhangi bir noktada fazları değişiktir. Uçağın alıcısı tarafından elektronik olarak ölçülen bu faz farkı sayesinde uçağın hangi radyal üzerinde olduğu belirlenir. HSI (Horizontal Situation Indicator) ve CDI (Course Deviation Indicator) göstergeleri yardımıyla pilota seçilen radyale göre uçağın konumu, baş açısı, to/from bilgisi gibi gerekli bilgiler aktarılır.

Bu sistem uçağın konumunu doğrudan hesaplamaya yetmese de, iki ayrı VOR istasyonundan iki radyalin kesişimi alınarak uçağın bulunduğu bölge hesap edilebilir. VOR istasyonundan yararlanabilmek için istasyonun, uçağın görüş hattı içinde bulunması gerekmektedir. Bir VOR istasyonundan yararlanabilme sınırı uçağın uçtuğu irtifaya ve istasyon sınırına göre değişmektedir. VOR yayınları:

- 50 NM'da 1000 feet,
- 100 NM'da 5000 feet,
- 150 NM'da 10000 feet,
- 200 NM'da 20000 feet,

altında alınmazlar. Bu değerler yerkürenin şeklinden kaynaklanmaktadır.

Kutupsal koordinatlarda konumu tam olarak belirleyebilmek için, VOR'a ek olarak Distance Measuring Equipment (DME)'den de yararlanır. VOR'a sahip olan bir uçak terminal sahasına ulaşabilmek için, VOR yollarında bir VOR'dan diğerine uçuş gerçekleştirir [2].

5.1.3. DME (Distance Measuring Equipment)

Uçak ile yer istasyonu arasındaki mesafeyi veren, 960-1215 MHz bandında yayın yapan bir sistemdir. VOR ile birlikte kullanılır. Böylece pilot aynı anda hem yön hem de mesafe bilgisi elde etmiş olur. Bu tür bir sistemde pilotun VOR frekansını seçmesi, otomatik olarak ona bağlı DME frekansını da seçmesini sağlar.

Uçakta ve yer istasyonunda alıcı ve verici anteni vardır. Uçağın gönderdiği sorgu sinyalleri yer istasyonunda değerlendirilir ve farklı bir frekansta yanıt sinyali olarak uçağa gönderilir. Yer istasyonunda sorgu sinyalinin değerlendirilmesi 50 μ s'de gerçekleşir.

Çalışma prensibi, sinyalin gidiş-dönüş süresinin ölçümüne dayanır. Aşağıdaki formül ile uçak ile yer istasyonu arasındaki uzaklık bulunabilir:

$$R = (t-\tau)C/2 \quad (5-1)$$

R: Uçak-istasyon arasındaki uzaklık

t: Sinyalin gidiş-dönüş süresi

τ : Yer istasyonunda soru sinyalini değerlendirme süresi

C: Işık hızı

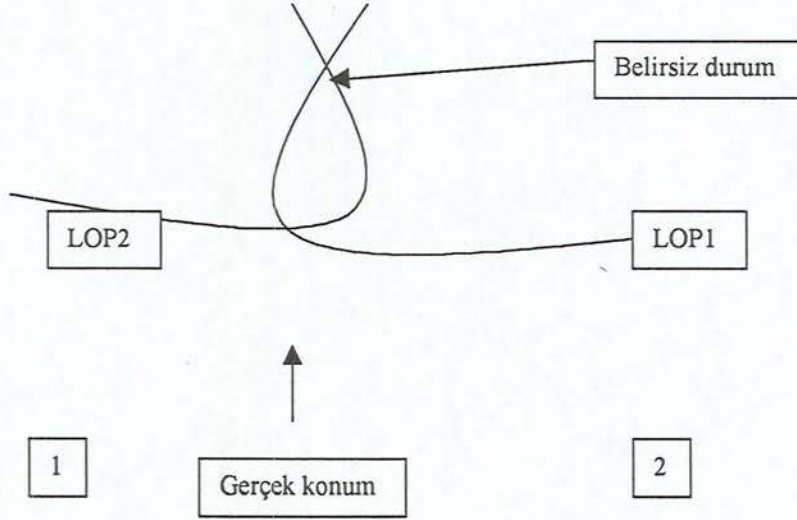
Bu sistem aynı anda yaklaşık 100 uçağa hizmet verilebilir. VOR/DME sisteminde kullanıcı, antenin görüş hattı içinde bulunmalıdır. En uzak menzil 70-100 NM dır. Kullanıcı bu menzil içinde bulunduğu halde verici anteni ile arasına bir engel girdiğinde (dağ gibi) sistemden yararlanamaz [3].

VOR/DME'e dayalı RNAV sisteminde, uçaktaki VOR ve DME alıcıları ile çalışan bir bilgisayar bulunmaktadır. Bu sistem aracılığı ile herhangi bir navigasyon yardımcısı bulunmayan bir noktaya sanal waypoint oluşturarak uçuş olanağı sağlanır. RNAV günümüzde, özellikle yol safhasında yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

5.1.4. LORAN (Long-Range Radio Navigation)

LORAN zinciri, üç ile sekiz arasında vericinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bunlardan biri esas diğerleri ikincil vericidir. Bu vericilerin hepsi belirli aralıklarda GRI (Group Repetition Interval) denilen darbe serisi üretir. Esas darbe ile ikincil darbelerin arasındaki zaman farkının ölçülmesiyle LOP (Line of Position) adı verilen iki hat belirlenir. Bunlar iki hiperboldür (Şekil 5.2.). Bu iki LOP'ın kesişimi bulunulan konumu verir. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi belirsiz durumlar da oluşabilir. Bu durumda ek bir LOP kullanılarak bu belirsizlik giderilir.

VOR/DME sistemindeki kısa mesafe dezavantajı bu sistemde çözülmüştür. Dünya genelinde 100 kHz'de yayın yapan toplam 17 tane LORAN zinciri vardır. Düşük frekans kullanılmasıyla, bu sistem menzili 1000 NM'a kadar olan bölgede yayın yapabilir.



Şekil 5.2. LORAN hiperbolik sistemi

Yaklaşık 600 000 kullanıcı bu sistemden faydalanmaktadır. LORAN sistemin en büyük dezavantajı düşük frekanslı seslere karşı duyarlı olmasıdır. Güç hatları, yüksek güçteki haberleşme vericileri hatta taşıtlardan bile etkilenmektedir.

LORAN'la ilgili bir diğerk sınırlama da kaplama alanıyla ilgilidir. 1000 NM'dan daha geniş bir alana yayın yapamaz. Bu problem omega ile giderilmiştir [5].

5.1.5. Omega

Omega da hiperbolik bir sistemdir fakat LORAN'dan daha düşük frekansta ve daha geniş kapsama alanında yayın yapar. 8 tane istasyonla dünya genelinde kaplama alanı sağlanmıştır. Doğruluk değeri yaklaşık 2 NM kadardır [5].

5.1.6. ILS (Instrument Landing System)

ILS (Instrument Landing System), havaalanlarına iniş için kullanılan sistemdir. Hassas yaklaşma (precision approach) ILS kurulu olan pistlerde gerçekleştirilebilir. ILS, meydana yaklaşmanın yanı sıra kategorisine bağlı olarak pist eksenini boyunca belli bir yükseklik değerine kadar alçalma ve iniş olanağı sunar. Sistem LLZ (Localizer), glide path ve marker beacon'lardan oluşur. Localizer pist merkez hattını gösteren bir sistemdir. Glide path, iniş noktasına doğru uçağa belli bir açı ile (standart 3°) yaklaşmasını sağlayacak dikey düzlem meydana getirir. Yaklaşma hattı boyunca dikey yayın yapan marker'ler pilota pist başından olan uzaklık bilgisini verirler [6]. ILS kategorileri, yükseklik değerleri ve görüş şartları Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. ILS kategorileri yükseklik ve görüş değerleri (ICAO Annex 10, 1985)

ILS Kategorileri	Yükseklik (DH)	En Düşük Pist Görüş Uzaklığı
Cat I	200 ft (60 m)	800 m
Cat II	100 ft (30 m)	400 m
Cat III A	0	200 m
Cat III B	0	50 m
Cat III C	0	-

5.1.7. INS (Inertial Navigation System)

Uzaya herhangi bir elektromanyetik dalga yaymaksızın, tamamiyle bağımsız olarak çalışan bir navigasyon sistemidir. Navigasyon bilgisayarı ve atalet ölçme sistemi adında iki alt sistemden meydana gelmiştir.

Uçağın kalkışından önce bulunduğu yer, varış noktası ve uçuş yörüngesi üzerindeki belirli noktaların enlem ve boylamları kullanıcı (pilot veya uçuş mühendisi) tarafından bilgisayara girilir. Aynı şekilde manyetik değişim, rüzgar yönü ve rüzgar hız değerleri de bilgisayara tanıtılmalıdır. Uçağın hareket ettiği andan itibaren pozisyon değişimi, uçağın havadaki konumu, her üç eksenindeki ivme ve hızlar, gerçek baş değeri INS atalet ölçme ünitesi tarafından navigasyon bilgisayarına iletilir. Pusula sisteminden manyetik baş bilgisi; hava veri bilgisayarından gerçek hava hızı, hava ısısı, uçağın irtifası gibi bilgiler alınır. Navigasyon bilgisayarı, ulaşan yeni veriler doğrultusunda sürekli hesaplamalarını yeniler ve uçağın anlık bulunduğu nokta, yer hızı, varış noktası istikameti ve uçuş noktasına olan uzaklık gösterge birimlerine iletilir [7].

5.2. Aletli Yaklaşma Genel Kriterleri

5.2.1. Uçak Kategorileri

Aletli yaklaşımlarda uçaklar en yüksek iniş ağırlığındaki iniş konfigürasyonunda, uçağın havada tutunabileceği asgari hız olan stall hızın 1,3 katı baz alınarak ve ilgili uçakların manevra yapabilme kabiliyetleri de göz önünde bulundurularak beş kategoriye ayrılmaktadır. Sınıflandırma uçak hız göstergesinde okunan hıza (IAS - Indicated Air Speed) göre yapılmaktadır [8].

- A kategorisi uçaklar (cat A) – 169 km/h ya da 91 kt IAS'den daha az.
- B kategorisi uçaklar (cat B) – 170 km/h (92 kt) ya da daha fazla fakat 224 km/h (121 kt) IAS'den daha az.

- C kategorisi uçaklar (cat C) – 225 km/h (122 kt) ya da daha fazla fakat 261 km/h (141 kt) IAS'den daha az.
- D kategorisi uçaklar (cat D) – 262 km/h (142 kt) ya da daha fazla fakat 307 km/h (166 kt) IAS'den daha az.
- E kategorisi uçaklar (cat E) – 308 km/h (167kt) ya da daha fazla fakat 391km/h (211kt) IAS'den daha az.

Çizelge 5.2.'de uçak kategorilerine göre farklı yaklaşma safhalarında uygulanan hız (IAS) değerleri km/h biriminde verilmiştir.

Çizelge 5.2. Uçak kategorilerine göre farklı yaklaşma safhaları için IAS (km/h) değerleri
(ICAO-Doc 8168, 1993)

Uçak Kategorileri	Vat	İlk Yaklaşma Hızları	Son Yaklaşma Hızları	Turlu Yaklaşma En Yüksek Hız	Pas Geçme En Düşük Hız	Pas Geçme En Yüksek Hız
A	169	165/280 (205*)	130/185	185	185	205
B	170/223	220/335 (260*)	155/240	250	240	280
C	224/260	295/445	215/295	335	295	445
D	261/306	345/465	240/345	380	345	490
E	307/390	345/465	285/425	445	425	510

Vat - Eşik Hızı: En yüksek iniş ağırlığındaki iniş konfigürasyonunda 1.3 Stall Hızı

* - Yön değiştirme (Reversal) ve Hipodrom (Racetrack) usulleri için en yüksek hız.

Çizelge 5.3.'de uçak kategorilerine göre farklı yaklaşma safhalarında uygulanan hız (IAS) değerleri kt biriminde verilmiştir.

Çizelge 5.3. Uçak kategorilerine göre farklı yaklaşma safhaları için IAS (kt) değerleri
(ICAO-Doc 8168, 1993)

Uçak Kategorileri	Vat	İlk Yaklaşma Hızları	Son Yaklaşma Hızları	Turlu Yaklaşma En Yüksek Hız	Pas Geçme En Yüksek Hız	Pas Geçme En Düşük Hız
A	91	90/150(110*)	70/100	100	100	110
B	91/120	120/180(140*)	85/130	135	130	150
C	121/140	160/240	115/160	180	160	240
D	141/165	185/250	130/185	205	185	265
E	166/210	185/250	155/230	240	230	275

Vat - Eşik Hızı: En yüksek iniş ağırlığındaki iniş konfigürasyonunda 1.3 Stall Hızı

* - Yön değiştirme (Reversal) ve Hipodrom (Racetrack) usulleri için en yüksek hız.

Aletli yaklaşma yöntemleri uçak için güvenilir bir hava sahası yaratacak şekilde tasarılır ve E kategorisi uçakları kapsar. Bununla birlikte hava sahası ve iniş yapılacak havaalanı gözönünde bulundurularak yaklaşma yöntemleri daha düşük hızdaki uçak kategorilerine görede tasarımılanabilir ve aletli yaklaşma haritasında farklı yaklaşma safhalarına göre en yüksek IAS değeri belirtilebilir.

5.2.2. En Düşük Emniyet Payı (MOC)

Aletli yaklaşımlarda uçaklar yaklaşma yörüngesindeki engeller üzerinden en düşük emniyet payı, MOC (Minimum Obstacle Clearance) ile geçmelidir. Bu değer aletli yaklaşma safhalarında en düşük sektör irtifası/yüksekliği değerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Aletli yaklaşma safhalarının en düşük emniyet payı değerleri ICAO-Doc 8168 PANS-OPS'da (Procedure Approach for Air Navigation Services) belirtilmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Aletli Yaklaşma Safhaları En Düşük Emniyet Payı (MOC) Değerleri
(ICAO- Doc 8168, 1993)

Aletli Yaklaşma Safhaları	En Düşük Emniyet Payı (MOC)
Geliş	300m
İlk yaklaşma	300m
Orta yaklaşma	150m
Son yaklaşma	90m
Pas geçme	30m

5.2.3. Engel Emniyet İrtifası/Yüksekliği (OCA/H)

Engel Emniyet İrtifası/Yüksekliği (OCA/H - Obstacle Clearance Altitude/Height) en yüksek yaklaşma engeli ya da pas geçme yüzeyindeki en yüksek engel temel alınarak hesaplanır ve pas geçme safhasının başlayacağı endüyük irtifa, OCA veya ilgili pist başına göre en düşük yükseklik, OCH olarak tespit edilir. OCA/H değerleri her uçak kategorisi için belirlenir.

5.2.4. En Düşük Karar İrtifası/Yüksekliği (MDA/H)

Hassas olmayan yaklaşma ya da turlu yaklaşımda OCA/H değerlerine bağlı olarak uçağın görsel şartlar oluşmadan daha düşük irtifa ya da yüksekliğe inemeyeceği değer en düşük karar irtifası (MDA - Minimum Decission Altitude) ya da en düşük karar yüksekliği (MDH - Minimum Decission Height) ismini alır.

MDA'da deniz seviyesi, MDH'da meydan ya da pist başı seviyesinden yükseklik referans alınır.

Hasas yaklaşımda karar irtifası (DA - Decission Altitude) ve karar yüksekliği (DH - Decission Height) ifadeleri kullanılır.

5.2.5. Rüzgar

5.2.5.1. Rüzgar Hızı

Rüzgar hızı irtifaya bağlı olarak hesaplanır. ICAO tarafından kabul edilen formül aşağıda belirtildiği şekildedir.

$$W_v = 2h + 47 \quad (5-2)$$

W_v : Rüzgar Hızı (kt)

h : irtifa(ft)/1000

5.2.5.2. Rüzgar Etkisi

Rüzgar etkisi, düzgün doğrusal uçuş ve viraj (dönüş) olmak üzere iki durumda incelenecektir.

Düzgün Doğrusal Uçuşta Rüzgar Etkisi: Bu durumdaki rüzgar etkisi, aşağıdaki eşitlikte belirtildiği gibi, en son kontrol edilen konumdan itibaren, uçuş zamanı ve rüzgar hızının çarpımı ile uçuş yörüngesinin her bir noktası için hesaplanır.

$$W_e = W_v \cdot t \quad (5-3)$$

W_e : Rüzgar etkisi (m)

W_v : Rüzgar hızı (m/s)

t : Zaman (s)

Kontrol konumu takip edilen yörüngedeki, pilot tarafından hassas olarak tesbit edilmiş bir noktadır. Örneğin, bir navigasyon yardımcısının üzerindeki bir uçuşta navigasyon yardımcısının bulunduğu nokta kontrol konumu olarak alınabilir [9].

Viraj Durumunda Rüzgar Etkisi : Viraj boyunca rüzgar etkisi, viraj başından itibaren uçuş zamanı ile rüzgar hızının çarpımıdır ve aşağıdaki eşitliğe göre belirlenir. Viraj durumunda rüzgar etkisi her hesaplama aralığı (θ) için hesaplanır ve rüzgar spirali olarak çizilir (Şekil 5.3).

$$We = \frac{R \cdot \theta \cdot Wv}{TAS} \quad (5-4)$$

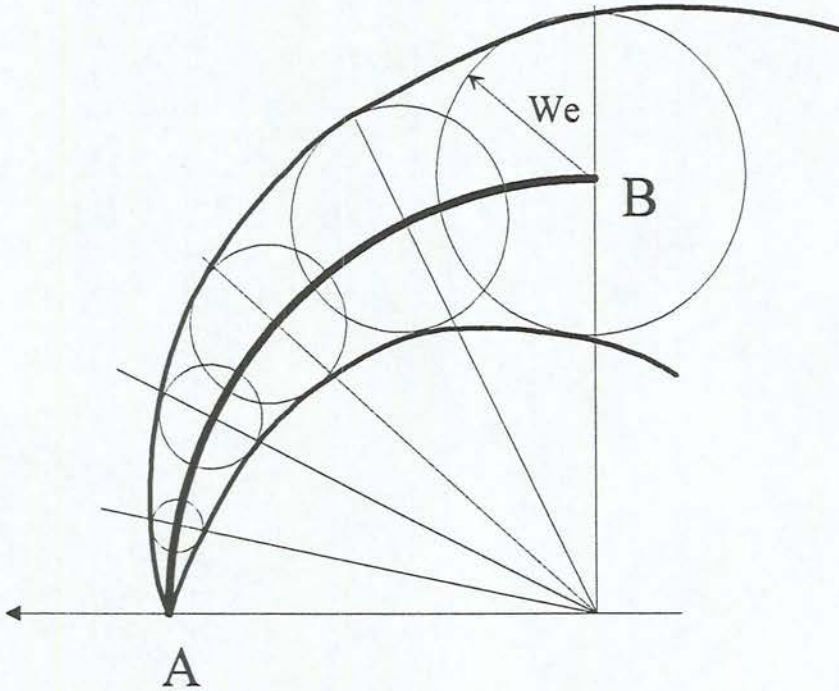
We : Viraj durumunda rüzgar etkisi (m)

R : Viraj yarıçapı (m)

θ : Hesaplama aralığı (rd)

TAS : True Air Speed (m/s)

Wv : Rüzgar hızı (m/s)



Şekil 5.3. Viraj durumunda rüzgar spirali

5.3. Geliş Safhası

Geliş safhası, yol safhasındaki bir uçağın iniş yapacağı meydanın terminal sahasına gelmesi durumunda, yaklaştırmaya geçişini sağlayacak safhadır. Yol safhasından ayrılan uçak, yaklaşma tipine bağlı olarak ilk yaklaşma noktası, IAF (Initial Approach Fix) üzerine doğru uçuş gerçekleştirir. Bu nokta, çoğu yaklaştırmada bekleme noktası olarak kullanılmaktadır ve genellikle bir radyo navigasyon sisteminin üzerindedir. Geliş safhasında uçak, aletli yaklaşma haritası üzerinde belirtilen en düşük emniyet irtifasına sadık kalarak inişe geçer.

5.3.1. Geliş Alanı

İlk yaklaşma noktası, merkez olmak üzere 25 NM yarıçaplı daire içinde kalan alan geliş alanını oluşturmaktadır.

5.3.2. En Düşük Emniyet İrtifası (MSA)

En düşük emniyet irtifası (MSA - Minimum Safety Altitude) geliş safhasındaki uçağın IAF merkez olmak üzere 25 NM yarıçaplı dairesel alan içerisinde emniyetli olarak alçalabileceği en düşük irtifa değeridir.

Arazi yapısına göre geliş safhası sektörlere ayrılarak her sektör için ayrı en düşük emniyet irtifası hesaplanabilir. Sektör içindeki en yüksek engel irtifasına 300 m MOC ve 20 m bitki örtüsü değeri ilave edilmek üzere elde edilen sonucu en yakın yüz üst değerine yaklaştırılarak MSA değeri belirlenir [10].

5.3.3. Özel Geliş Yolu

Özel geliş yolu, uçağı yol safhasından ilk yaklaşma noktasına 5NM yarıçaplı bir koridor vasıtası ile belirlenen en düşük geliş irtifası ile ulaştırır. Avantajı uçağı yüksek geliş irtifasındaki sektör içerisinde daha düşük irtifa değeri ile ilk yaklaşma noktasına dolayısı ile bekleme noktasına ulaştırmış olmasıdır.

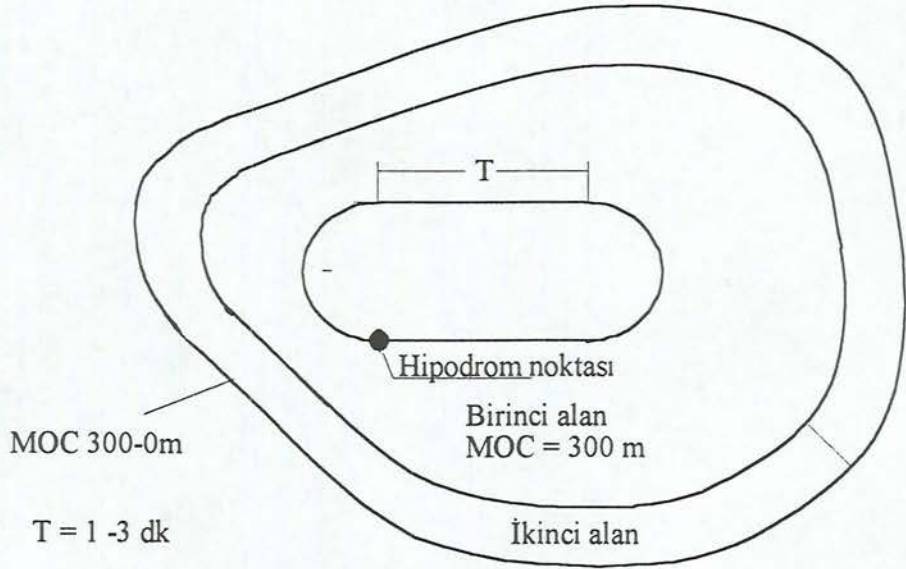
5.4. İlk Yaklaşma Safhası

İlk yaklaşma safhası, ilk yaklaşma noktasından başlar ve orta yaklaşma noktasına (IF - Intermediate Fix) kadar devam eder. İlk yaklaşımda, uçak bir sonraki safhaya geçiş için manevra yapar.

Trafik akışına bağlı olarak, gerektiğinde ilk yaklaşma noktası bekleme (holding) paterninde yaklaşma bacağı (inbound leg) üzerinde yer alabilir.

İlk yaklaşma safhasında hipodrom (racetrack) ve yön değiştirme (reversal) yöntemi uygulanabilir.

5.4.1. Hipodrom (Racetrack)



Şekil 5.4. Hipodrom Alanı

Bekleme paterninde bulunan uçağın, uygun eğim ve eksende yaklaşmaya geçebilmesi için bulunduğu irtifa yüksek olabilir. Bu durumda, bekleme için çok benzeyen hipodrom (racetrack) yöntemi uygulanabilir (Şekil 5.4). Hipodrom yönteminde, uçağa irtifa kaybetme olanağı sağlanabilir. Aynı zamanda, hipodrom

uzaklaşma bacağı üç dakikalık uçuş mesafesi kadar uzatılabilir ve böylelikle, uçak pist başından daha uzak bir konuma geçerek uygun yaklaşma eğimini yakalayabilir [11].

5.4.2. Yön Değiştirme Yöntemi (Reversal Procedure)

İlk yaklaşma safhasında yön değiştirme olanağı sağlayabilecek bir viraj hareketi olan yön değiştirme yöntemi (reversal procedure) uygulanabilir. Esas dönüş (base turn) ve yöntem dönüşü (procedure turn) olmak üzere iki tipi vardır.

5.4.2.1. Esas Dönüş (Base Turn)

Başlangıç noktasından itibaren, DME mesafesi ya da uçuş zamanı ile belirlenen uzaklaşma bacağındaki uçuş sonrası dönüş ile yaklaşma bacağı yakalanır ve inişe geçilir. Şekil 5.5'de esas dönüş elemanları ve giriş bölgesi görülmektedir.

Başlangıç Noktası: Navigasyon yardımcısı (VOR, NDB, VOR/DME).

Uzaklaşma bacağı: Zaman ile sınırlandırıldığı durumda 1 ile 3 dakika arasındadır. Yarım dakikalık artışlar kullanılır.

Giriş: Uzaklaşma bacağına göre $\pm 30^\circ$ lik giriş bölgesi bulunmaktadır.

En yüksek iniş oranı:

- Uzaklaşma bacağı:

Cat A/B: 800ft/dk

Cat C/D : 1200ft/dk

- Yaklaşma bacağı:

Cat A/B: 500ft/dk

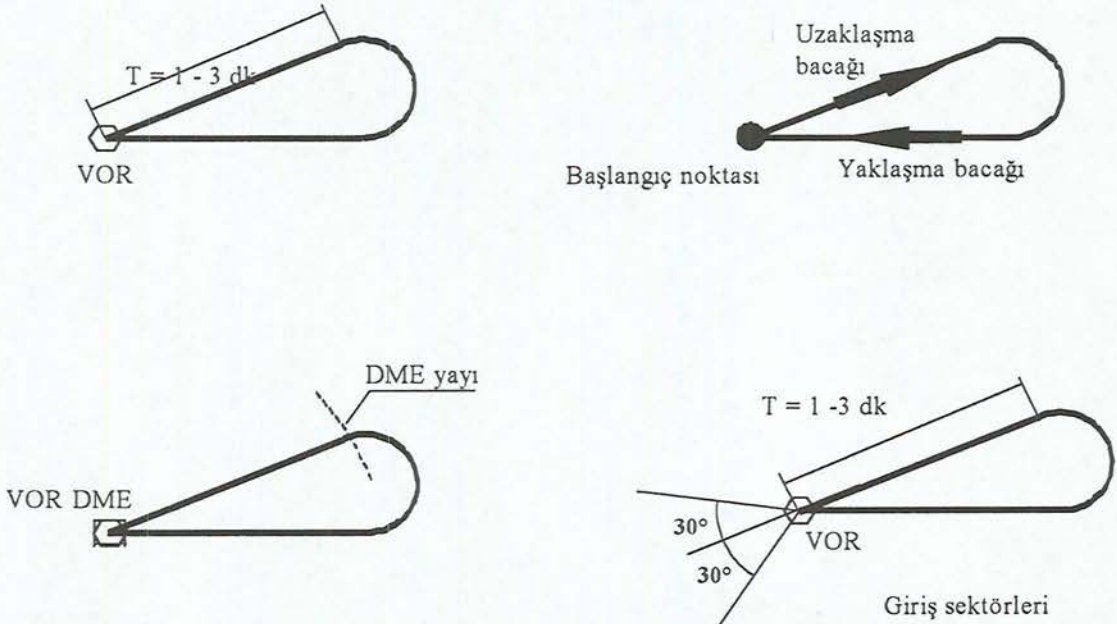
Cat C/D : 750ft/dk

5.4.2.2. Yöntem Dönüşü (Procedure Turn)

İki tipi bulunmaktadır;

a) Yöntem dönüşü $45^\circ/180^\circ$,

b) Yöntem dönüşü $80^\circ/260^\circ$



Şekil 5.5. Esas dönüş elemanları ve girişler

Başlangıç Noktası: Navigasyon yardımcısı (VOR, NDB, VOR/DME).

Uçuş zamanı: Uçak hız değerleri ve katedilecek mesafeye bağlı belirlenir.

Uzaklaşma bacağı : $T = 1$ dakika Cat A-B

$T = 1$ dakika 15 saniye Cat C-D

Dönüş: - 45° lik dönüş + uzaklaşma bacağı + ters yöne 180° lik dönüş

- 80° lik dönüş + ters yöne 260° lik dönüş

Giriş: $\pm 30^\circ$ lik giriş bölgesi mevcuttur (Şekil 5.5.).

En yüksek İniş Oranı:

- Uzaklaşma bacağı:

Cat A/B: 800ft/dk

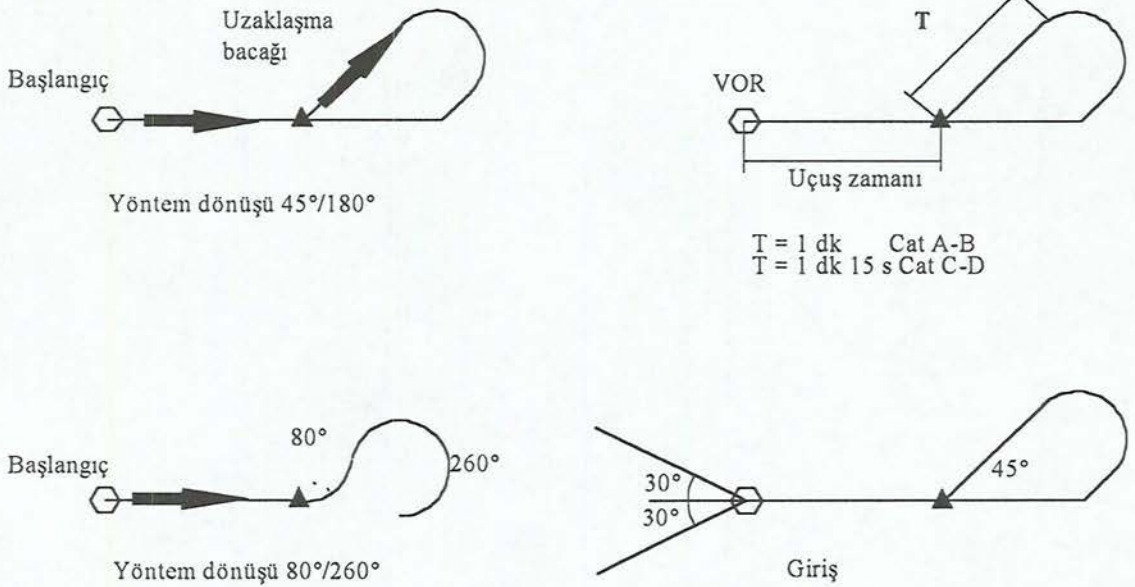
Cat C/D : 1200ft/dk

- Yaklaşma bacağı:

Cat A/B: 500ft/dk

Cat C/D 750ft/dk

Şekil 5.6'da yöntem dönüşü gösterimi ve giriş bölgesi görülmektedir.



Şekil 5.6. Yöntem dönüşü gösterimi ve girişler

5.5. Orta Yaklaşma Safhası

İlk yaklaşma safhası ile son yaklaşma safhası arasında geçişi sağlayan safhadır. Orta noktadan (IF - Intermediate Fix) başlar ve son yaklaşma noktasına (FAF - Final Approach Fix) kadar sürer.

Orta yaklaşma safhasında uçak konfigürasyonu, hızı ve pozisyonu son yaklaşma safhası için en uygun şekilde ayarlanır.

Orta yaklaşma safhası zorunlu bir safha değildir, doğrudan son yaklaşma safhasına geçiş yapılabilir.

5.6. Son Yaklaşma Safhası

Son yaklaşma safhası, son yaklaşma noktası FAF'dan başlar ve pas geçme noktasına (MAPt - Missed Approach Point) kadar sürer.

Son yaklaşma safhasının uzunluğunun (FAF/MAPt mesafesi) en uygun 5NM, en çok 10NM olması ve son yaklaşımda iniş eğiminin en uygun %5, en

çok %6,5 olmasına arazi şartları gözönünde bulundurularak, tasarımda dikkate alınması gerekmektedir [8].

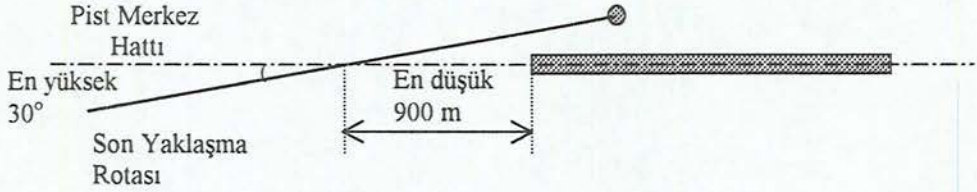
Son yaklaşma yörüngesinin pist doğrultusunda olması uygundur. Son yaklaşma yörüngesinin pist merkez hattını kestiği veya kesmediği durumlara bağlı olarak son yaklaşma başı düzenlemesi ile direkt yaklaşma şartları belirlenir.

5.6.1. Direkt Yaklaşma

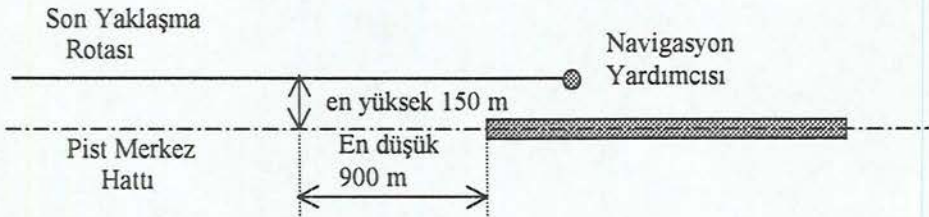
Direkt yaklaşma için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır;

a) Son yaklaşma rotasının pist merkez hattını kesmesi durumunda aralarındaki açı 30° yi geçmeyecek şekilde ve kesişme noktası pist eşiğine en az 900 m uzaklıkta olmalıdır (Şekil 5.7).

b) Son yaklaşma rotasının pist merkez hattını kesmediği durumda ise pist merkez hattı uzantısının pist eşiğinden en az 900 m uzaklıkta ve son yaklaşma rotası ile aralarındaki yanlamasına açıklık en fazla 150 m olmalıdır (Şekil 5.8).



Şekil 5.7. Son yaklaşma rotasının pist merkez hattını kestiği durumda son yaklaşma başı düzenlemesi



Şekil 5.8. Son yaklaşma rotasının pist merkez hattını kesmediği durumda son yaklaşma başı düzenlemesi

Her uçak kategorisinin iniş konfigürasyonundaki performansları gözönünde bulundurularak son yaklaşma safhasında en yüksek ve en düşük iniş oranları belirlenmiştir (Çizelge5.5).

Çizelge 5.5. Son yaklaşımda uçak kategorilerine göre en yüksek ve en düşük iniş oranları (ENAC, 1994)

Uçak Kategorileri	İniş Oranı (feet/dakika)	
	En düşük	En yüksek
A,B	400	800
C,D,E	600	1000

5.6.2.Turlu Yaklaşma (Görerek Manevra)

Aletli yaklaşma haritasında belirlenen yöneme göre uçağı meydana yaklaştıran pilot, turlu yaklaşma OCA/H değerine kadar alçalır. OCA/H değerinde görerek şartlar oluştu ise, meydana uygun pistlerden birine iniş yapılabilir.

Görerek manevra alanı uçak kategorilerine bağlı olarak değişir. Tüm uçak kategorileri için eşik noktasından yarıçap değerleri hesaplanır ve pist başları merkez olmak üzere yarım daireler şeklinde çizilir. Çizimler piste paralel olarak birleştirilir. Bu alanlar içerisinde kalan en yüksek engellere bağlı olarak turlu yaklaşma OCA/H değerleri belirlenir.

5.6.2.1. Görerek Manevra Alanı

Görerek manevra alanı aşağıdaki parametrelere bağlı olarak belirlenir.

- Hız: Uçak kategorilerine bağlı olarak çizelge 5.1’de verilmiştir.
- Rüzgar: 46 km/h (25kt)
- Dönüş açısı (α): 20°

Bu parametreler esas alınarak iniş yapılacak havaalanındaki pistlere göre eşik noktasından yarıçap değerleri hesaplanarak manevra alanı çizilir.

5.6.2.2. Eşik Noktasından Yarıçap

Eşik noktasından yarıçap değeri (Ω) her uçak kategorisi için aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$\Omega = 2 \cdot \frac{(TAS + Wv)^2}{g \cdot \tan \alpha} + k \quad (5-5)$$

TAS : Gerçek hız (m/s)

Wv: Rüzgar hızı (m/s)

g: Yer çekim ivmesi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

α : Dönüş açısı ($^\circ$)

k: sabit (m) , Çizelge 5.6'da değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.6. Görerek manevra alanı k sabiti değerleri (ICAO-8168, 1993)

Uçak Kategorileri	k
Cat A	556m (0.3NM)
Cat B	1112m (0.4NM)
Cat C	1668m (0.5NM)
Cat D	2224m (0.6NM)
Cat E	2780m (0.7NM)

5.6.2.3. OCA/H Hesabı

Turlu yaklaşma OCA/H değerleri Çizelge 5.7'de verilen MOC değerleri dikkate alınarak aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$\text{OCA/H} = \text{Alandaki en yüksek engel} + \text{MOC} + \text{Bitki Örtüsü} \quad (5-6)$$

irtifası/yükseklığı

Bitki Örtüsü: 20m

Çizelge 5.7. Turlu yaklaşma MOC değerleri (ICAO-8168, 1993)

Uçak Kategorileri	MOC
Cat A	90m
Cat B	90m
Cat C	120m
Cat D	120m
Cat E	150m

5.7. Pas Geçme Safhası

Son yaklaşma safhasında, pilotun karar verme yüksekliğine kadar alçalması ve pisti görmemesi durumunda iniş gerçekleştirilmez ve pas geçme safhası uygulanır.

Hassas olmayan yaklaşımda pas geçme safhası pas geçme noktasından (MAPt - Missed Approach Point) başlar. MAPt noktası bir navigasyon yardımcısının üzerinde, FAF'dan itibaren belli bir uzaklık sonra tanımlanabileceği gibi pist başı olarak da tanımlanabilir.

İki tür pas geçme vardır. Bunlar;

- a) Düz Pas Geçme,
- b) Dönerek Pas Geçme,

Dönerek pas geçme iki şekilde olur;

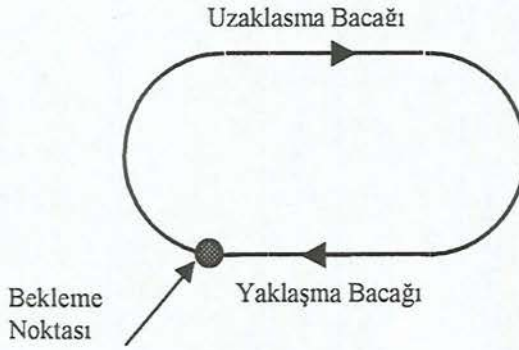
- Dönüş noktasından itibaren,
- Dönüş yüksekliğinden itibaren,

Düz pas geçme durumunda, uçak pist eksenini boyunca tırmandırılarak bir bekleme referans noktası üzerine gönderilir. Dönerek pas geçmede, genellikle DME mesafesi olarak belirlenen dönüş noktasına ulaşıldıktan sonra, veya pas geçme yüzeyindeki engeller üzerinden emniyetli geçişi sağlayacak yüksekliğe ulaşıldıktan sonra dönerek pas geçilir. Böylelikle bir viraj hareketi ile aynı yöntem üzerindeki bekleme noktasına ulaşılır.

5.8. Bekleme Paterni

Bekleme, bir sonraki uçuş iznine kadar uçağın belirli bir hava sahasında beklemesini sağlayacak bir manevradır.

Bekleme ana yörüngesinin başlangıcı, bekleme noktasıdır (holding fix). Bekleme noktasına doğru uçuşun gerçekleşeceği bacak, yaklaşma bacağı (inbound leg), bekleme noktası üzerindeki dönüşten sonra ulaşılan bacak, uzaklaşma bacağı (outbound leg) ismini alır. Uzaklaşma bacağı uzunluğu bir dakikalık uçuş süresine karşılık gelecek uzaklıktır (Şekil 5.9).



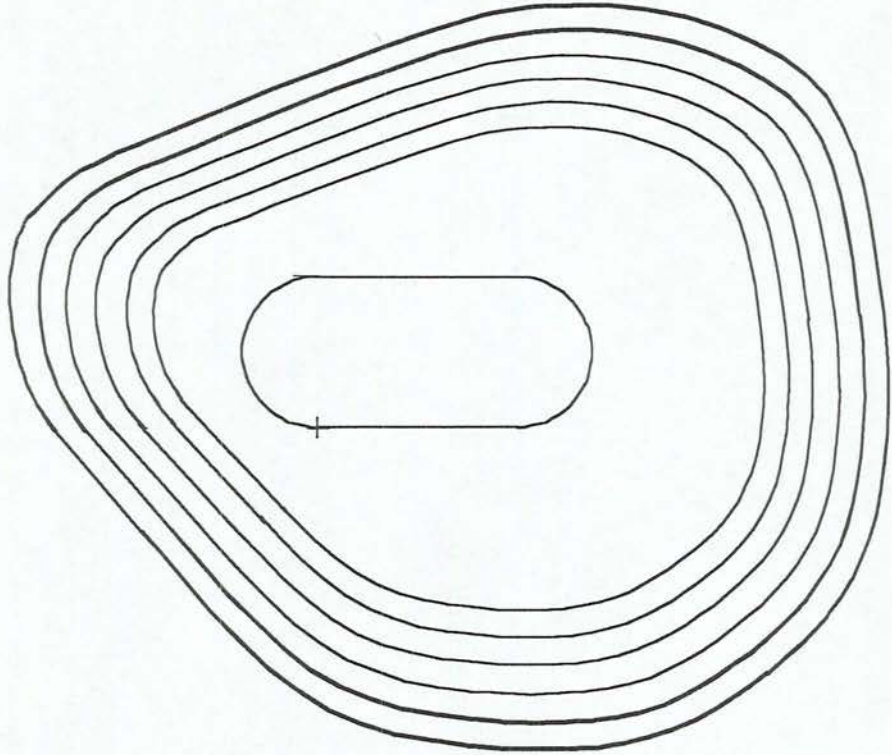
Şekil 5.9. Bekleme ana yörüngesi (standart)

Bekleme dönüş yönü sağa (standart), veya sola (standart olmayan) olarak gerçekleştirilmektedir.

Terminal sahası içindeki beklemelerde genellikle bekleme noktası, aynı zamanda ilk yaklaşma safhası başlangıcı olan ilk yaklaşma noktası (IAF) olmaktadır. Trafik yoğunluğuna bağlı olarak gerektiğinde uçaklar, 1000ft ara ile beklemeye alınacak ve sorumlu hava trafik kontrol birimi tarafından sırası ile inişlerine izin verilecektir.

Beklemedeki uçaklar için Şekil 5.9.'daki yörüngenin öngörülmesi olmasına karşın en düşük bekleme irtifası ile ilgili hesaplamalar çok daha geniş bir bölgeyi kapsayan bekleme paternine göre yapılmaktadır.

Bekleme paterni bekleme ana yörüngesi, bekleme koruma alanı ve 1NM genişliğindeki beş tampon bölgeden oluşur (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Bekleme Paterni

5.8.1. Bekleme Parametreleri

Bekleme paterni ile ilgili yapılabilecek tüm hesaplamalar, aşağıdaki parametrelere göre gerçekleştirilmektedir;

- En yüksek IAS: En yüksek uçak kategorisine göre belirlenen alet gösterge hızı (Çizelge 5.1).
- İrtifa: Geliş safhasından bekleme noktasına gelen uçakların alabilecekleri en yüksek irtifa değeridir.
- Uzaklaşma bacağı : En yüksek gerçek hız değeri ile 1dakikalık uçuş veya buna karşılık gelebilecek uzunluktur.
- Rüzgar: Bulunulan uçuş irtifasındaki rüzgar etkisi bekleme alanını belirlemede etkili olacaktır.
- Dönüş yönü: Beklemenin gerçekleştirileceği bölge için en ideal dönüş yönü standart sağa veya standart olmayan sola olarak belirlenir.

5.8.3. En Düşük Bekleme İrtifası (MHA)

En Düşük Bekleme İrtifası (MHA - Minimum Holding Altitude) bekleme paterni içindeki en yüksek engel irtifası , engelin dahil olduğu bölgedeki M.O.C. değeri ve bitki örtüsü değerinin toplamı olarak aşağıdaki eşitlikte gösterilmektedir.

$$\text{MHA} = \text{Engel irtifası} + \text{MOC} + \text{Bitki Örtüsü} \quad (5-7)$$

$$\text{Bitki Örtüsü} = 20 \text{ metre}$$

Bekleme alanında, koruma alanı ve tampon bölgeler farklı MOC değerlerine sahiptir (Çizelge 5.8).

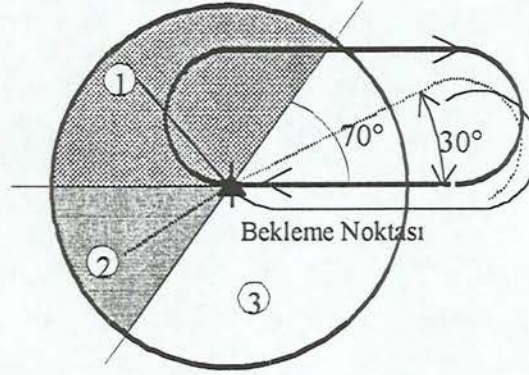
Çizelge 5.8. Bekleme paterni MOC değerleri

Bekleme Alanı	M.O.C.
Bekleme	300m
Koruma Alanı	300m
1. Tampon Bölge	300m
2. Tampon Bölge	150m
3. Tampon Bölge	120m
4. Tampon Bölge	90m
5. Tampon Bölge	60m

5.8.4. Bekleme Ana Yörüngesine Girişler

Bir radyo navigasyon sisteminin üzerindeki bekleme yörüngesine girişler, uçağın bekleme noktasına olan konumuna bağlı olarak değişir. Pilot bekleme noktasına doğru uçuşu gerçekleştirir ve konumuna bağlı uygun giriş manevrasını

seçer. Bekleme noktası merkez olmak üzere yaklaşma bacağı ve yaklaşma bacağına 70° açı ile belirlenen hat beklemeyi üç bölgeye ayırmaktadır (Şekil 5.11.).



Şekil 5.11. Bekleme ana yörüngesine girişler

Birinci bölgeden girişler paralel giriş adını almaktadır. Birinci bölgeden bekleme noktasına ulaşan pilot, yaklaşma bacağına paralel uçar, ardından sola manevra ile tekrar bekleme noktasına ulaşır ve standart sağa dönüşü yakalar.

İkinci bölgeden girişler dengeleme girişidir. Bu bölgeden bekleme noktasına ulaşan pilot, yaklaşma bacağı ile 30° açı yapacak şekilde uçuşuna devam eder ve ardından sağa dönüş ile yaklaşma bacağına yakalayarak beklemeye giriş gerçekleştirir.

Üçüncü bölgeden girişler doğrudan giriştir. Bekleme noktasına ulaşan pilot standart sağa dönüş ile beklemeye giriş yapar.

6. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

6.1. Giriş

Çağlar boyu insanlar güneş ve yıldızlardan yer ve yön belirlemede yararlanmışlardır. Bu basit teknik, insanlara konumlarını yaklaşık olarak belirleme olanağı sağlamıştır. Pusulanın geliştirilmesiyle navigasyonda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Navigasyon amaçlı yön belirleme sistemlerinde teknolojik bir devrim olarak kabul edilen, radyo sinyallerinin kullanılması ile konum belirlemede daha kesin bilgiler elde edilmeye başlanmıştır.

Sabit duran veya hareket halindeki cisimlerin konumlarının belirlenmesi, iyi tanımlanmış bir koordinat sistemine göre genellikle üç koordinat değeri ile, veya bir noktayı yerel bir koordinat sisteminin merkezi olarak alan diğer bir noktaya göre yapılabilir. Bunlardan ilkinde nokta konum belirleme, ikincisine ise bağlı konum belirleme denir. Sabit duran bir cismin konumunun belirlenmesi statik konum belirleme, hareketli bir cismin konumunun belirlenmesi kinematik konum belirleme adını alır.

Uzaydan (ekstraterrestrial) konum belirleme sistemi, dünyanın etrafında bir yörüngede veya daha uzak bir mesafede bulunan bir cisimden yayınlanan veya yansıyan bir elektromanyetik dalgayı kullanarak yeryüzündeki veya yeryüzüne yakın noktaların konumlarını saptayan bir sistemdir [12].

Uzay teknolojisine dayanan tüm ekstraterrestrial teknikler 1957 yılında Sputnik 1 uydusu ile başlamıştır. Uydu kullanımıyla, gök cisimlerine bağlı konum belirleme ve radyo sinyallerinden faydalanma teknikleri birleştirilmiş, konum belirlemede doğruluk açısından büyük gelişmeler sağlanmıştır. Sputnik 1'in kullanımından, günümüze kadar gelen süreç içerisinde uyduya bağlı konum belirlemede büyük gelişmeler elde edilmiştir.

İlk navigasyon amaçlı uydu sistemi olan Transit'in geliştirme çalışmaları 1958 Aralık ayında başlamıştır. Bu uydu, 1964 Ocak'dan bu yana hizmetini sürdürmektedir. Uzay tabanlı sistemlerin öncüleri sayılan Transit (U.S. Navy Navigation Satellite System) ve Rus Tsikada sistemleri yüksek doğrulukta iki boyutlu konum bilgisi sağlayan sistemlerdir.

1972'de Transit sisteminin de geliştiricileri olan John Hopkins Üniversitesi Uygulamalı Fizik Laboratuvarınca kesin zaman transferinin sağlanması için çok hassas saatli uydu projesi olan Timation'ı geliştirmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Hava Kuvvetlerinin 3 boyutlu kaplama ve dünya çapında servis verecek olan 621B isimli navigasyon projesi ve Timation projesi Global Positioning System'in (GPS) temel çalışmalarını oluşturmaktadır. ABD Savunma Bakanlığınca bu iki çalışmanın birleştirilmesi sonucunda uydu tabanlı konum ve zaman belirleme sistemi geliştirilmiş ve bu sisteme Navigation System Time and Ranging – Global Positioning System (NAVSTAR – GPS) adı verilmiştir [13]. Sistem, yörüngeleri bilinen uydulardan eş zamanlı olarak gönderilen sinyaller yardımı ile bağıl uzaklıkları ölçerek GPS alıcısının konumunu belirlemektedir.

GPS sistemin belirlenen temel özellikleri;

- Küresel kaplama,
- Sürekli ve her hava koşulunda çalışabilme,
- Dinamik platformda uygunluk,
- Sınırsız kullanıcı olanağı,
- Yüksek doğruluk olarak saptanmıştır.

Program üç evreye bölünmüştür:

1. Kuramsal Kanıtlama Evresi,
2. Geliştirme ve Sistem Test Evresi,
3. Üretim ve Yörüngeye Oturtma Evresi,

1.Evre Programı 1973 yılında başlayıp 1979 yılı Haziran'ında sona ermiştir. 1979-1985 yılları arasında 2. Evre Programı ve 1985'ten günümüze kadar geçen süreç içerisinde de üretim ve yörüngeye oturtma evresi gerçekleştirilmiştir. 1995 sonbaharında GPS sistemi 24 uydusu ile tam olarak işlevsel duruma geçmiştir [14].

6.2. GPS Sisteminin Bölümleri

GPS sistemi konum ve hız bilgilerini doğru, sürekli, küresel ve üç boyutlu olarak uygun donanımına sahip kullanıcılara sunmaktadır.

GPS ayrıca bir çeşit UTC (Universal Time Coordinated) zaman bilgisini de sağlamaktadır.

GPS sistemi Uzay Bölümü, Kontrol Bölümü ve Kullanıcı Bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

6.2.1. Uzay Bölümü

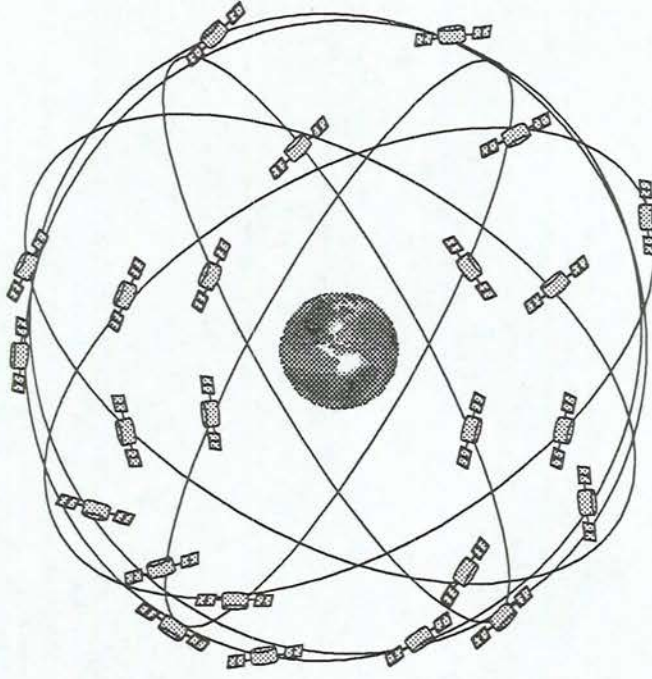
21 aktif ve 3 yedek olmak üzere 24 uydudan oluşur. Bu uydular dünya yörüngesinde yaklaşık 20.000 km yükseklikte, her bir düzlemde 4 uydudan oluşur, 6 yörüngesel düzlemde yerleştirilmiştir. Her bir yörüngesel düzlem ekvatora göre 55° açı ile eğimlidir. Her bir uydudan 11:56.9 (saat:dakika) periyodunda bir yörünge izler, her uydudan yaklaşık 24 saatte dünya etrafında iki tur atmaktadır (Şekil 6.1) [15].

Bu uydudan takımı yerleşimi, dünyanın herhangi bir yerinden, herhangi bir zamanda en az dört uydudan görülebilmesini sağlar. Teorik olarak, dünyanın belirli bir yerinde her zaman 6 ila 10 uydudan görüş alanı içerisindedir. Uyduların yörüngesel konumu çok kesin olarak bilinir. Uydudan alıcıya; konumunu, transmisyon zamanını ve uydudan ile kullanıcı arasında menzile kurmaya yarayan sinyal bilgileri gönderir. Uyduların yayınladığı zaman sinyalleri, 70 bin yılda 1 saniyeden daha az hata yapacak doğrulukta olacak şekilde atomik saatler tarafından üretilir [16]. Navigasyon sinyalleri iki frekansta yayınlanır. Bu frekanslar 1575.42 MHz'de L1 ve 1227.6 MHz'de L2'dir. Bu iki farklı sinyal kullanılarak verilen hizmet ikiye ayrılır. Bu hizmetler;

1. Standart yer belirleme hizmeti, SPS (Standart Positioning Service)
2. Hassas yer belirleme hizmeti, PPS (Precision Positioning Service)

L1 sinyali yalnızca C/A koduna (C/A Code) sahiptir. Ticari amaçlı GPS alıcıları yalnızca bu kodu çözebilir ve standart yer belirleme hizmeti verebilir.

L2 sinyali ise, C/A kodundan başka hassas kod olan P koduna (Precise Code)'da sahiptir. C/A kodu ile birlikte P kodunu çözebilme özelliğine sahip GPS alıcıları hassas yer belirleme hizmeti verebilir [17].



Şekil 6.1. Dünya çevresindeki yörüngelerinde GPS uyduları (PARKINSON, 1996)

SPS %95 yatay düzlemde 100 m ve düşeyde 156 m duyarlılıklarına sahiptirler. SPS'in sağladığı zaman transfer doğruluğu 340 ns'dir. SPS'in düşük doğruluğunun en başta gelen nedeni ABD Savunma Bakanlığı'nın kasıtlı olarak sinyali bozması ve SPS verisine uyguladığı SA (Selective Availability) yöntemidir. SA tekniği ile geliştirilmiş SPS sinyalleri, düşman kuvvetlerince kullanılacak yüksek hassas sinyalleri yok etmek için planlanmıştır. Sadece SA ile sağlanan hassasiyet tüm navigasyon ve hassas olmayan alet yaklaşımlarında kullanılan tüm şartları sağlamakta hatta günümüzde bu amaçla kullanılan sistemlerden daha iyi sonuçlar vermektedir [18].

PPS'de yatay düzlemde 22 m ve düşeyde 27.7 m'lik doğruluk değeri belirlenmiştir. Bu değerler bir noktada yapılan tüm yerbulumların %95'inin o noktayı merkez alan 22 m yarıçaplı dairenin belirlediği alanın içinde olacağını göstermektedir. PPS'in sağladığı zaman transfer doğruluğu 200 ns (%95) ve hız ölçüm doğruluğu da 0.2 m/sn dir.

Hassas yaklaşımlarda olduğu gibi daha iyi hassasiyet gerektiren operasyonlar için yerde ve uçakta olmak üzere geliştirilmiş sistemlere gereksinim vardır. Amerikan Hükümeti ICAO ile yaptığı anlaşma çerçevesinde SPS'in sivil

havacılık amacı ile belirli bir gelecek için ücretsiz kullanımını garanti altına almıştır. Hassas yaklaşımlar için Differential Global Positioning System (DGPS) kullanılabilir.

6.2.2. Kontrol Bölümü

Ana kontrol istasyonu, monitör istasyonları ve yer antenlerinden oluşur. Uydulardan gönderilen radyometrik bilgiler monitör istasyonları tarafından izlenir. Bilgilerin kapsamlı bir şekilde incelenmesiyle tam doğru uydu yörünge verileri ve saat parametreleri hesaplanır. Yer denetim bölümü, uyduların yerlerini hassas olarak hesaplar. Bu bölüm önceden bildirilen yörünge verileri ve saat parametrelerinde yanlış bir bilgiye fırsat vermemek için periyodik olarak düzeltmeler yaparak navigasyon mesajları şeklinde bilgi tazeleyerek uyduları izler. Denetim bölümü aynı zamanda uyduların işlevlerini yeterince yerine getirip getirmediğini de kontrol etmekle yükümlüdür. Bu bölümün merkez kontrol istasyonu, Colorado Springs'teki uyduların rotalarının ve telemetry bilgilerinin işlendiği ve periyodik olarak bilgilerin güncelleştirildiği yer olan Consolidated Satellite Operational Center (CSOC)'dadır. GPS izleme bilgileri dünyanın çeşitli bölgelerine yerleştirilmiş monitör istasyonlarından toplanarak biraraya getirilir. Bu monitör istasyonları; Diego Garcia, Ascension Island, Kwajalein ve Hawai'de bulunmaktadır. Monitör istasyonu bünyesinde, özel bir saat olan Cesium Saati ile uydudaki atomik saatin doğruluğunu test eder. Yapılan test sonucunda, bilgiler modem vasıtasıyla merkez kontrol istasyonuna iletilir. Burada gelen bilgi, analiz edilerek uyduların güncelleştirilmiş bilgileri, uydu yörünge ve saat hataları hesaplanır, uydular için yeni bir navigasyon mesajı üretilerek tekrar modem vasıtasıyla yer antenine iletilir. Yer anteni gelen bilgiyi işlemciden geçirip yükselticide güçlendirerek güncelleştirilmiş bilgileri uyduya iletir [19].

6.2.3. Kullanıcı Bölümü

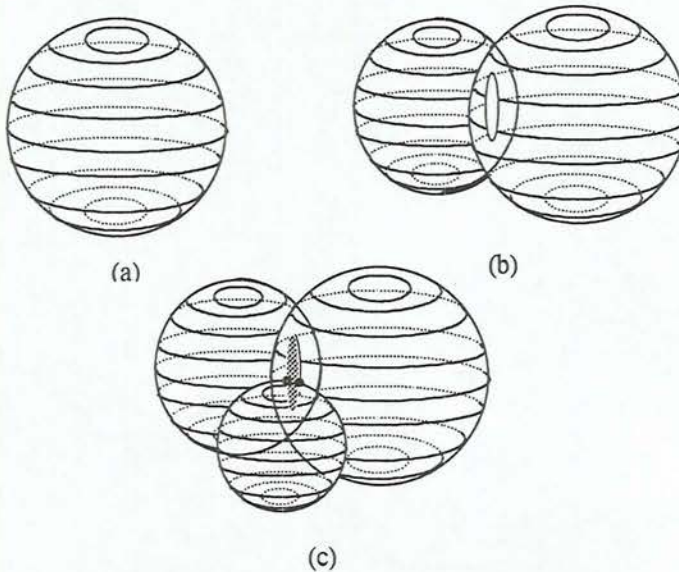
Kullanıcı bölümü, GPS uydularının kodlarını çözebilecek özel alıcılardan oluşmaktadır. Kullanıcının konumu, hızı, zaman bilgisi özel yazılım ve donanım

sayesinde elde edilir. Anlık konum belirlemesi için, kullanıcı 4 veya daha fazla uydudan (3 uydu konum belirlemesi, 1 uydu uydu-alıcı saat farkının çözümü için) gelen sinyalleri ölçerek zamanı, üç boyutlu konumunu ve hızını hesaplayabilir [12].

6.3. GPS Çalışma Prensibi

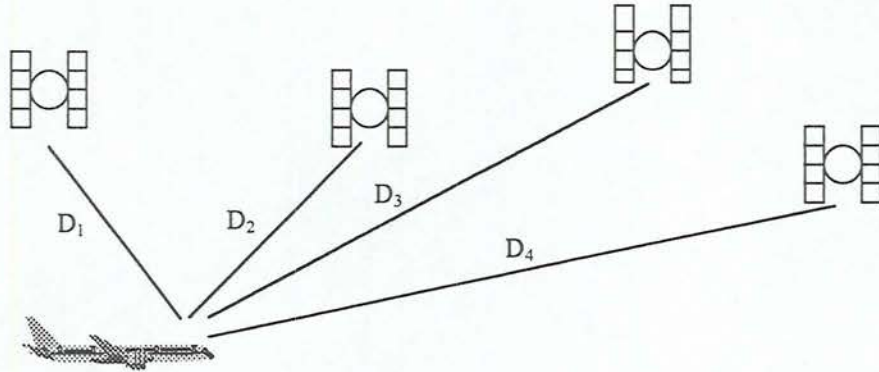
6.3.1. Konum Belirleme

GPS alıcısının konumu, bilinen koordinatlardaki uydulardan alınan uzaklık bilgilerinin geometrik kesişimiyle hesaplanır. Alıcının ilk uydudan olan uzaklığı, uzayda bulunabileceği konumun sınırını geniş ölçüde çizer (Şekil 6.2.a). İkinci uydudan olan uzaklık bilgisi, alıcının uzayda bulunabileceği konumu daha daraltır (Şekil 6.2.b). Üçüncü uydudan alınan ölçüm ise iki kürenin oluşturduğu daireyi kesen bir başka küreyi oluşturacaktır (Şekil 6.2.c). Üç ölçüm sonucu alıcı uzayda bulunma olasılığı olan konumu iki noktaya indirger. Dördüncü ölçüm, bu iki noktadan birini belirleyecektir. Ancak üç ölçüm sonucu belirlenen iki noktadan dünyaya en yakın olanı alıcının konumunu verecektir [3].



Şekil 6.2. GPS ile konum belirleme (CONNES,1992)

Alıcı, uydudan yayınlanan sinyal zamanı ile alıcıya ulaşım zamanını ölçerek aradaki zaman farkını hesaplar. Uydu ve alıcı kodları arasındaki zaman kayması ışık hızıyla çarpılarak alıcının uyduya olan uzaklığı ölçülür (Şekil 6.3). Bu ölçüm uydu ve alıcı arasındaki saat hatalarından kaynaklanan değişik yayılım gecikmelerini içerdiğinden gerçek geometrik uzaklık değildir, bu nedenle sahte mesafe (pseudorange) olarak adlandırılır. Alıcı, kullanıcının üç boyutlu konumunu belirlemek için elde edilen uydu yörünge bilgisiyle sahte mesafe ölçümlerini işler [20].



Şekil 6.3. Hareketli cismin uydulara olan uzaklığı

Sahte mesafe (d_i), aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi, gerçek mesafe (D_i) ve yerel saat hataları (E_L)'nin ışık hızı (c) ile çarpımına bağlı bulunur.

$$d_i = D_i + c \cdot E_L \quad (6-1)$$

x, y, z : Hareketli cismin koordinatları.

Ölçümler: d_1, d_2, d_3, d_4

Uydu koordinatları : X_i, Y_i, Z_i .

$$(x - X_1)^2 + (y - Y_1)^2 + (z - Z_1)^2 = (d_1 - c \cdot E_L)^2 = D_1^2 \quad (6-2)$$

$$(x - X_2)^2 + (y - Y_2)^2 + (z - Z_2)^2 = (d_2 - c \cdot E_L)^2 = D_2^2 \quad (6-3)$$

$$(x - X_3)^2 + (y - Y_3)^2 + (z - Z_3)^2 = (d_3 - c \cdot E_L)^2 = D_3^2 \quad (6-4)$$

$$(x - X_4)^2 + (y - Y_4)^2 + (z - Z_4)^2 = (d_4 - c \cdot E_L)^2 = D_4^2 \quad (6-5)$$

Yukarıdaki dört bilinmeyenli denklemin çözülmesi ile x , y , z ve E_L bilinmeyenleri hesaplanır ve hareketlinin koordinatları belirlenir [21].

6.3.2. Hız Ölçümü

GPS, kullanıcı hızının üç boyutlu olarak belirlenebilmesini olanaklı kılmaktadır. Bu amaçla birkaç yöntem kullanılmakla birlikte, modern GPS alıcılarında hız ölçümleri, taşıyıcı faz ölçümlerinin işlenmesi ile yapılmaktadır. Böylece uydudan alınan sinyalin kullanıcıya göre Doppler kayması hesaplanmaktadır [22].

6.3.3. GPS Hata Kaynakları

GPS ile belirlenen konum değerleri uydu-alıcı saat hataları ve atmosferdeki yayılım hataları nedeni ile olumsuz olarak etkilenir. GPS sinyallerinin dalga boylarını, dalga boyunun %1'ine varan bir duyarlılıkla ölçmek mümkündür. Bu durumda uzaklık ölçümlerinde hata olacak, bu hata GPS ile belirlenen konum üzerinede etki edecektir.

Atmosferdeki gecikmelere ait belirsizlikler, GPS ölçümleri sonunda beklenen doğruluğu sınırlayıcı faktör olmaktadır. GPS konusundaki araştırmaların önemli bir bölümü atmosfer düzeltmelerinin hesap edilmesine ayrılmaktadır.

GPS sinyalinin geçtiği troposfer (0-40 km) ve iyonosfer (40-100 km) tüm frekanslardaki elektromanyetik radyasyonu etkiler. Sonuç, bu ortamlardan geçen sinyallerin zaman gecikmesi ile bağlantılı ışınların refraksiyonu veya bükülmesidir. Troposfer dağıtmaya meyilli olmayan (nondispersive) bir ortam gibi, iyonosfer ise dağıtmaya meyilli (dispersive) bir ortam gibi davranır [12].

6.4. Differential Global Positioning System (DGPS)

SPS'de yaklaşık doğruluklar yatay düzlemde 100 m ve düşeyde 156 m olarak öngörülmüştür. Fakat, birçok sivil uygulama için bu değerler yeterli

olmamaktadır. Bu doğruluk değerlerinin bu düzeylerde olmasında, uydunun yörünge bilgisi ve C/A saat frekansının bilinerek bir miktar bozulması olarak tanımlanan SA faktörünün önemli bir etkisi vardır. SA faktörü'nün etkilemediği düşünüldüğünde, doğruluk değerlerinin yatay düzlemde 25 m ve düşeyde 43 m olabileceği belirtilmektedir. DGPS (Differential GPS) diye adlandırılan bir teknik kullanılarak SA'sız bir SPS'den daha iyi doğruluk değerleri elde etmek mümkün olmaktadır. Bu yöntemde, konumu daha önceden hassas olarak bilinen sabit bir istasyon, görebildiği tüm uyduların sinyallerini alarak hataları belirlemektedir. Bu bilgiler etki alanı içindeki GPS alıcılarına belli bir formatta bildirilerek ölçümlerinin daha doğru olarak yapılması amaçlanmaktadır [19].

6.5. Havacılıkta GPS Kullanım Şartları

Uçak ekipmanlarının özelliklerinin belirlenmesinde, Federal Aviation Administration (FAA) tarafından TSO (Technical Standards Orders) dökümanı hazırlanmış ve uçuşta kullanılacak ekipmanlara belirli bir standart getirilmiştir. Ekipmanın özellikleri, kullanıcı ve sistem ihtiyaçları, uyulması gereken kurallar belirtilmiştir. Supplemental Type Certifications (STC), uçaklara yerleştirilecek parçaların uçakların tiplerine göre yerleştirme şartlarını belirleyen dökümandır. Yerleştirilecek parça için TSO ve STC şartları uygun değilse yerleştirilme işlemi Form 337'ye göre yapılır. Fakat bu işlem için FAA'in onayı gerekmektedir [23].

GPS ile birlikte, pilota daha gelişmiş doğrulukta, daha çabuk yanıt alınabilen, daha doğru hız ölçümleri verebilen ve herhangi bir boşluk alan olmaksızın bütün coğrafi alanlarda hizmet sunan bir sistem geliştirilmiştir. İlk GPS ünitelerinin yerleştirilmesi FAA'in onayıyla Form 337'ye göre gerçekleştirilmiştir. Ardından STC'nin kabul edilmesi ile GPS ünitelerinin diğer uçak sistemleriyle birleştirilmesine olanak tanınmıştır. GPS/LORAN ve GPS/Omega TSO'ları 1992 ilkbaharında kabul edilmiştir. Aralık 1992'de ayında GPS TSO TSO-C129 adı altında yayınlanmış ve GPS yayınlanan bu TSO adı altında uygun görülerek Ağustos 1993'de Kategori A2 içinde yerini almıştır. Kategori A2, terminal ve yol (en-route) uçuş fazlarında tek başına kullanımına olanak vermektedir. GPS için diğer bir onay da yaklaşma (approach) onayıdır. Bu,

TSO-C129 Kategori A1 olarak tanımlanır ve hassas olmayan yaklaşımda kullanımına olanak tanır [14].

Günümüzde GPS Avrupa'da ve Türkiye'de Visual Flight Rules (VFR) şartlardaki uçuşlarda ve IFR şartlardaki uçuşlarda ise hava navigasyon sistemlerine (VOR, NDB, DME, INS) yardımcı sistem olarak kullanılmaktadır. Ancak tüm kullanıcılar TSO C-129 standartlarına uyan GPS alıcılarını kullanmalıdırlar [24].

Bir navigasyon sisteminin tek sistem olarak kullanılabilmesinde dinamik, fonksiyonlar, doğruluk, kullanılabilirlik ve bütünlük büyük önem taşımaktadır.

6.5.1. Dinamik

Uçağın hareketine göre uçak sistemlerinin sergilediği davranışlara dinamik adı verilir. Normal bir genel havacılık uçağı için ivmelenme miktarı 1-3 g arasındadır. Bu oran akrobasi uygulamalarında 4-6 g'ye kadar çıkmaktadır. Yalpalama (roll) değerleri uçak için normalde saniyede 10° , en fazla yalpalama değeri ise saniyede 60° 'ye kadar çıkabilmektedir. Standart dönüş oranı saniyede 3° 'dir. Akrobatik hareketlerdeki ivmelenme miktarı GPS alıcısının görevini yapmaya bir engel oluşturmamaktadır. Diğer normal durumlar için de GPS performansını korumakta, kullanımında bir aksama oluşturmamaktadır.

6.5.2. Fonksiyon

Kokpitte kullanılan GPS'in temel fonksiyonu, pilota uçağın konumu hakkında bilgi vermesi ve navigasyon için gerekli olan bilgileri sağlamasıdır. Yere bağlı radyo navigasyon sistemlerine göre konum belirlenmesi ise, yerde bulunan belirli bir konumdaki istasyona göre göreceli konum belirlemedir. Uçakta hava navigasyonu için bulunan GPS alıcısı uçağın o andaki üç boyutlu konum bilgisini verdiği gibi, belirli bir noktaya göre uzaklık, baş ve hıza göre tahmini varış süresini de vermektedir [25].

6.5.3. Doğruluk

Doğruluk, gerçek konum ile tahmin edilen konumun uyum derecesidir. Farklı uçuş evreleri farklı doğruluk değerleri gerektirmektedir. Bu evreler yol (enroute), terminal, yaklaşma (approach) ve iniş (landing)'dir [25]. Çizelge 6.1.'de bu doğruluk değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.1. Navigasyon doğruluk değerleri (ESCHENBACH, 1996)

Uçuş Evreleri	Doğruluk
Enroute	2 NM
Terminal	1 NM
Approach	0,3 NM

GPS, 2 değişik doğruluğa sahiptir. Bunlar Çizelge 6.2.'de gösterilmiştir. GPS'in bu doğruluk değerlerini değişik uçuş evreleri için gerekli olan doğrulukla karşılaştırıldığında, GPS Standart Positioning Service (SPS) doğruluğunun uçuşun iniş (landing) evresi hariç, diğer bütün evreleri için yeterli düzeyde olduğu görülecektir. İniş evresi için ise Differential GPS (DGPS) bu geçerliliği sağlamaktadır. Doğruluk uydu geometrisine, alıcı hatalarına, iyonosferin etkilerine ve uydu saatine ya da süreklilik hatalarına bağlıdır [5].

Çizelge 6.2. GPS doğruluk düzeyleri (ESCHENBACH, 1996)

Standart Positioning Service (SPS)	100 m
DGPS	2-5 m

6.5.4. Kullanılabilirlik

Kullanılabilirlik, sistemin çalışır durumda serviste kalmasını ifade eder [25]. GPS'in kullanılabilirliği, uyduların belirli bir zaman içerisinde sağlıklı

çalışmasına ve sistemin herhangi bir bildirimde bulunulmadan iptal edilmemesine bağlıdır. Amerikan Hükümeti ICAO ile yaptığı anlaşma çerçevesinde SPS'in sivil havacılık amacı ile belirli bir gelecek için ücretsiz kullanımını garanti altına almıştır. Ayrıca, sistemin iptal edilmesi durumunda kullanıcılara 6 sene öncesinden bildirileceği garanti edilmiştir [23].

6.5.5. Bütünlük

Bütünlük, sistemin navigasyon amaçlı kullanılmaması durumunda, zamanında kullanıcıya uyarı verebilmesi durumudur [25]. GPS'ten alınan bilginin kesin doğruluğunun anlaşılabilmesi için, hataları ortaya çıkarmak ve bu hataları pilota zamanında bildirme gerekliliği vardır. Bulunulan konumda, beş veya daha fazla uydu görülebiliyorsa, RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) sayesinde GPS sisteminin bütünlüğü (güvenilirliği) sağlanabilir [26].

Amerikan Askeri Kuvvetleri uçakların, gemilerin, yer araçlarının ve askerlerin GPS ile donatılmasını içeren bir program uygulamaktadır. Ellerinde bulunan TACAN ve LORAN-C gibi yere bağlı sistemler, gelecekte devre dışı bırakılacaktır. Amerikan Sahil Koruma, tüm sahillerini ve büyük gölleri içeren farklı bir ağ örmekte ve bu sayede denizcilik navigasyonu GPS sistemine bağlanmaktadır. GPS, 1990 yılından beri yapılan incelemeler sonucu bir dünya standardı olmuştur [24].

6.6. Wide Area Augmentation System (WAAS)

WAAS, GPS uydu sinyalleri ve yerdeki bir network ağı sayesinde; yol safhasından itibaren hassas yaklaşıma kadar hava navigasyonunu olanaklı kılacak bir sistemdir [27].

Uçakların uygun GPS sistemleriyle donatılması ve yapılması planlanan GPS destekli sistemlerin geliştirilmesiyle birlikte, 21. yüzyılda GPS ile hassas yaklaşımları gerçekleştirecek düzeye gelinecektir. Planlar, öncelikle Kategori 1 ILS yaklaşımlarında GPS kullanımını sağlamak üzere yapılmaktadır. WAAS

şimdilik sadece ABD’de geliştiriliyor olmasına karşın ileride dünya geneline yayılarak geliştirilmesi planlanmaktadır. Federal Aviation Administration (FAA), WAAS için 23 tane yer referans istasyonu kurmayı ve günümüzdeki programın gerçekleştirilmesi durumunda WAAS’in 2000 yılında devreye girmesini planlamaktadır. Kurulması planlanan yer istasyon ağıyla her GPS uydusunun konumu izlenecek, GPS bilgisindeki hataların düzeltmeleri, yayın düzeltmeleri ve doğruluk mesajları daha doğru ve güvenilir şekilde yayınlanacaktır. WAAS’in temel amacı, GPS uydu konum bilgilerindeki hataları en aza indirmektir [28].

6.7. Local Area Augmentation System (LAAS)

Local Area Augmentation System (LAAS), WAAS’e göre daha az kaplama alanı olmasına rağmen daha yüksek doğrulukta bilgiler elde etmeyi sağlayacaktır. FAA’in yerel alan (local area) programı LAAS olarak adlandırılmaktadır. Yerel alan kaplama alanı, terminal alan operasyonları için yeterlidir [29]. WAAS ve LAAS’in amacı ABD’de ve diğer ülkelerde bu sistemlerin oluşturulmasıyla birlikte tüm dünya düzeyinde navigasyon servisi vermek ve hassas yaklaşmanın bu iki sistemle gerçekleştirilmesini sağlamaktır. WAAS ve LAAS’in tamamlanması, günümüzde kullanılan yere bağlı radyo navigasyon sistemlerinin yerini alması anlamına gelecektir. Halen kullanımda olan yere bağlı navigasyon sistemleri, dünya çapında servis sağlamalarına karşın kısıtlı kaplama alanı, kısıtlı doğruluk dereceleri ve yüksek maliyetleriyle yeterli performansı sağlayamamaktadırlar.

Sadece LAAS bir havaalanında birden fazla piste servis sağlayabilir. FAA’in şu andaki planı 143 LAAS satın almak ve bunların 112’siyle Kategori 2 ve Kategori 3, 31 tanesiyle de Kategori 1 tipi hassas iniş olanağı sunmaktır. Böylelikle yüzlerce ILS kullanımını ihtiyacını ortadan kaldırılmış olacaktır [30].

ABD’de Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) tarafından sponsorluğu yapılan Position Location and Navigation Sempozyumunda FAA’in LAAS hakkındaki son raporuna göre:

- DGPS düzeltme sinyalleri, şu anda VOR için kullanılan 108-118 MHz frekans bandında saniyede iki kez olmak üzere yayınlanacak,
- GPS benzeri sinyal yayınlayan pseudolite'lar havaalanında görülebilir GPS uydusu sayısına ve pist yapısına bağlı olarak bir veya daha fazla sayıda yerleştirilecek,
- GPS sinyallerinin yerden ya da yakındaki binalardan yansımalarının yol açabileceği hataları en az düzeye indirmek için dual anten kullanılacak. Bunlardan biri yansımalarından dolayı oluşan düşük seviyedeki sinyalleri alırken, diğeri uçaklardan gelen sinyalleri alacak,
- Bir havaalanında bir tek LAAS kullanıldığından bunda oluşacak bir arıza durumunda uçaklar başka bir havaalanına yönelmek durumunda kalacaklardır. Bunu önlemek için LAAS yedekli olarak yapılacaktır [31].

6.8. GPS'in Diğer Navigasyon Sistemleri İle Karşılaştırılması

Uyduya dayalı konum belirleme sistemi olan GPS'in hava navigasyonunda kullanılması ile, yere bağımlı olarak belirli bir menzil dahilinde çalışan radyo navigasyon sistemleri ile navigasyon yapma kısıtlılığı ortadan kaldırılmış ve uçuş süresince uygulanan yöntemlerin kolaylaştırılması sağlanmıştır.

Herhangi bir zamanda, herhangi bir yerde ve bütün hava koşullarında GPS'in konum geçerliliği (%95) 100 m. içindedir. Bu doğruluk düzeyine Omega, LORAN-C, VOR gibi sistemlerde ulaşamamıştır. GPS sayesinde bir kullanıcı günün 24 saatinde ve dünyanın herhangi bir yerinde uçuş rotasını ve waypointleri kendine en uygun olacak şekilde çıkarabilecektir [32]. Bu durum uçuşu en kısa yoldan gerçekleştirmesini sağlayacak, böylelikle zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanacaktır.

GPS sisteminin tam olarak görevini yerine getirmesi için 21 adet uydunun kullanımı yeterlidir. Geriye kalan 3 uydu yedekleme amaçlıdır. Herhangi bir uyduda bir aksaklık oluşması durumunda sistemin geçerliliğini ve güvenilirliğini bozmamak için bu kullanım dışı bırakılır. Bu yedekleme özelliği sayesinde GPS güvenilir bir sistem olma özelliğini sağlamaktadır. Yere bağlı bir radyo navigasyon istasyonunda meydana gelecek herhangi bir arızadan dolayı,

istasyonun görevini yerine getirememesi durumunda o istasyona bağlı gerçekleştirilen bütün hava trafik fonksiyonlarının tekrar düzenlenmesi gerekecektir. Hava trafik akışının tekrar düzenlenmesi, zaman kaybına yol açacak, maliyetleri artıracak dahası devre dışı kalan istasyonunun olduğu bölgedeki uçuşların aksamasına ve uçuşlarda karmaşaya neden olacaktır [33].

Hiçbir navigasyon sistemi GPS gibi okyanus ya da yerleşim olmayan bölgelerde kesintisiz bir kapsama alanına sahip değildir. Okyanus aşırı uçuşlar gerçekleştiren çoğu havayolu şirketleri Inertial Navigation System (INS) ve Omega'dan faydalanmaktadır [33]. Geçerli ve güvenilir navigasyon bilgileri vermeleri, GPS ve INS sistemlerini bu konuda vazgeçilmez bir ikili yapacak, 20. yüzyılın sonlarından itibaren bu sistemler dünyanın her kesimindeki havayolu şirketleri tarafından kabul görecektir.

GPS tek başına VOR/DME, NDB ve diğer navigasyon sistemlerinin gerçekleştirdiği görevleri yapabilecek kapasitededir [33]. Hava navigasyonunda GPS, hassas yaklaştırmaya yakın doğrulukta havaalanına ulaşmaya olanak tanımaktadır [34].

Hassas olmayan yaklaşımların gerçekleştirilmesinde, pilot ya da otopilot uçağı piste doğru uygun bir pozisyonda aletli yaklaşma haritalarına göre alçaltır. Yaklaşmanın her bir evresinde en düşük güvenli yükseklik dikkate alınarak alçalma gerçekleştirilir. Navigasyon sistemi tarafından herhangi bir yükseklik bilgisi verilmez. GPS, FAA tarafından hassas olmayan yaklaşımlar için sertifikalandırılmıştır [25]. GPS'i hassas yaklaşımlarda kullanmak amacı ile FAA, Wide Area Augmentation System (WAAS) üzerinde çalışmalar yapmaktadır. WAAS, GPS L1 frekansında yayın yapacak, böylelikle DGPS (Differential GPS)'de olduğu gibi herhangi bir yer istasyonu düzeltilmesine gerek kalmadan sinyallere erişilebilecektir. Bu sistem sayesinde yükseklik bilgisi birkaç metre hatayla elde edilebilecek, en fazla kullanılan yaklaşma çeşidi olan Kategori 1 için yeterli doğruluk sağlanmış olacaktır [23].

1994 yılı içinde FAA, Microwave Landing System (MLS) sözleşmesini ondan daha ucuza malolacak GPS landing sistemini geliştirmek üzere iptal etmiştir [35]. Bu, ABD hava sahası sınırları içindeki uçakların kesintisiz navigasyon yapabilmelerini sağlayacak sistemin geliştirilmesine hız vermiştir.

Sadece büyük havayolu kuruluşları, askeri kullanıcılar değil, bunun yanında hava-taksi işletmeleri, bölgesel havayolları ve helikopter operatörleri de GPS kullanabileceklerdir. Havacılıkta emniyet, güven ve ekonomiklik, gerek yolcular gerekse de sürekli rekabet içinde bulunan havayolu işletmeleri için vazgeçilmez unsurlar olmuşlardır. Ticari havacılıkta amaç, en az harcamayla güvenli ve karlı uçuş gerçekleştirmektir. GPS sistemleri yerleştirilmiş bir uçakla maliyetleri azaltmak mümkün olabilecektir. GPS sayesinde VOR istasyonlarına bağlı uçuş yörüngesi belirleme zorunluluğu ortadan kaldırılarak, yörüngeler basitleşecek ve kısalmaktadır. Bu sayede gerek yakıt sarfiyatından, gerekse uçuş saatinden, dolayısıyla da oluşacak ekipman ve bakım harcamalarından kısıtlama sağlanacaktır. GPS sistemiyle birlikte kısalmak olan yollar ve uçuşun kısa sürede tamamlanması, uçağın başka bir uçuş için de kullanılmasını sağlayacak ve havayolu işletmeleri böylelikle uçaklarını daha fazla işletme olanağına sahip olacaklardır [36].

GPS'in hava navigasyonuna getirdiği yararların yanısıra dezavantajı, sistemin Amerika Birleşik Devletlerinin tekelinde olmasıdır. Amerika Birleşik Devletlerinin uyduları kapaması, dolayısı ile veri iletimini kesmesi durumunda GPS alıcılarının çalışması söz konusu olamaz. Ancak ICAO'nun ABD ile yaptığı anlaşma sonucunda, ABD uyduları iptal etmesi durumunda bunu altı yıl öncesi bildirmeyi garanti etmiştir [23].

7. GPS'E DAYALI YAKLAŞMA TASARIMI

Havaalanlarına yaklaşma ve inişler yere bağlı radyo navigasyon sistemlerine göre yapılmaktadır. Türkiye'de ve Avrupa'da GPS hava navigasyonunda ikincil (yardımcı) navigasyon elemanı olarak kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde GPS, yol safhası (en-route) ve hassas olmayan (non-precision) navigasyon için sertifikalandırılmıştır [25]. Hassas olmayan yaklaşımda bir radyo navigasyon sistemi sadece yatay yön belirleme sağlar. Hassas yaklaşımda (precision-approach) ise, radyo navigasyon sistemi yatay ve düşey yön belirlemelerden her ikisini de sağlamaktadır. Hassas yaklaşma için kullanılan radyo navigasyon cihazı ILS (Instrument Landing System), LLZ (localizer), GP(Glide Path) ve mesafe bilgisi sağlayacak DME veya Marker'dır.

En düşük hassasiyetteki ILS kategori I yaklaşması, düşeyde 60 metrelik görüş gerektirmektedir [37]. Ticari kullanıcıların sahip olduğu GPS alıcıları düşeyde 100m (%95) hassasiyet ile çalışmaktadır. Bu da hassas yaklaşma için yeterli değildir.

ICAO Doc 8168 PANS-OPS dökümanı yere bağlı radyo navigasyon sistemleri için yaklaşma ve iniş normları belirlemiştir ve mevcut yaklaşma ve iniş yörüngeleri bu kaynak referans alınarak tasarlanmaktadır.

GPS cihaz hassasiyeti yere bağlı navigasyon sistemlerinin hassasiyetine göre daha yüksektir. Ancak, takip edilmesi gereken yörüngeden ne kadar uzaklaşıldığını ifade eden ve önemli bir kısmını pilotaj hatalarının oluşturduğu uçak teknik hataları göz önüne alındığında GPS normları RNAV (area navigation) normları olarak alınabilir [38]. STNA (Service Technique de la Navigation Aérienne)'in çalışmaları da bu sonucu doğrulamaktadır [39].

GPS'e dayalı yaklaşma tasarımları gerçekleştirilirken, özellikle RNAV normları ve GPS toleransları dikkate alınarak, yaklaşma aşamasındaki zorunlu veya zorunlu olmayan her uçuş safhası için parametreler ve uçuş yörüngesi etrafındaki koruma alanları belirlenmelidir.

7.1. Geliş Safhası

Özel geliş yolları GPS ile gerçekleştirilebilir. Geliş yolunun her iki yanına 8 NM olmak üzere, toplam koruma alanı genişliği 16 NM alınır [40].

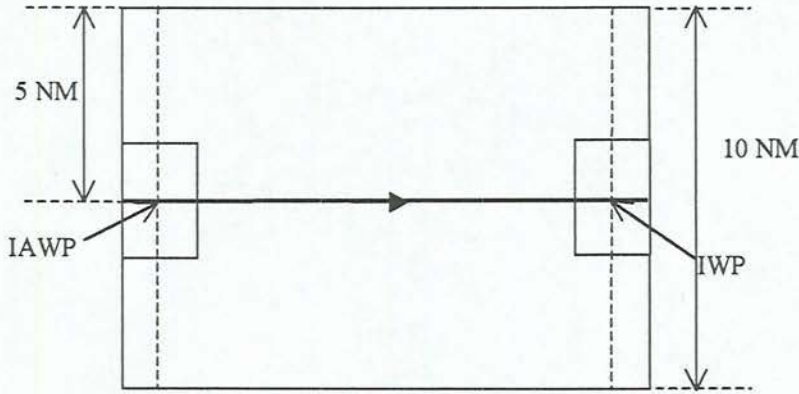
Minimum engel emniyet payı (MOC: Minimum Obstacle Clearance) değeri 300 m (1000ft) olarak alınır.

7.2. İlk Yaklaşma Safhası

İlk yaklaşma noktasından (IAWP - Initial Approach Way Point) başlayıp, orta yaklaşma noktasına (IWP - Intermediate Way Point) kadar sürer. Optimum uzunluk 5 NM'dir. İlk yaklaşma yörüngesinin her iki yanına 5 NM olmak üzere toplam koruma alanı genişliği 10 NM'dir (Şekil 7.1).

Minimum engel emniyet payı 300 m (1000ft)'dir.

IAWP toleransı: 2 x 3 NM.



Şekil 7.1. İlk yaklaşma koruma alanı

7.3. Orta Yaklaşma Safhası

Orta yaklaşma noktasından (IWP) başlayıp, son yaklaşma noktasına (FAWP - Final Approach Way Point) kadar sürer. En az ilk yaklaşma hızı ile 30 saniyelik uçuş mesafesine karşılık gelebilecek uzunlukta olabilir [41]. IWP'in iki

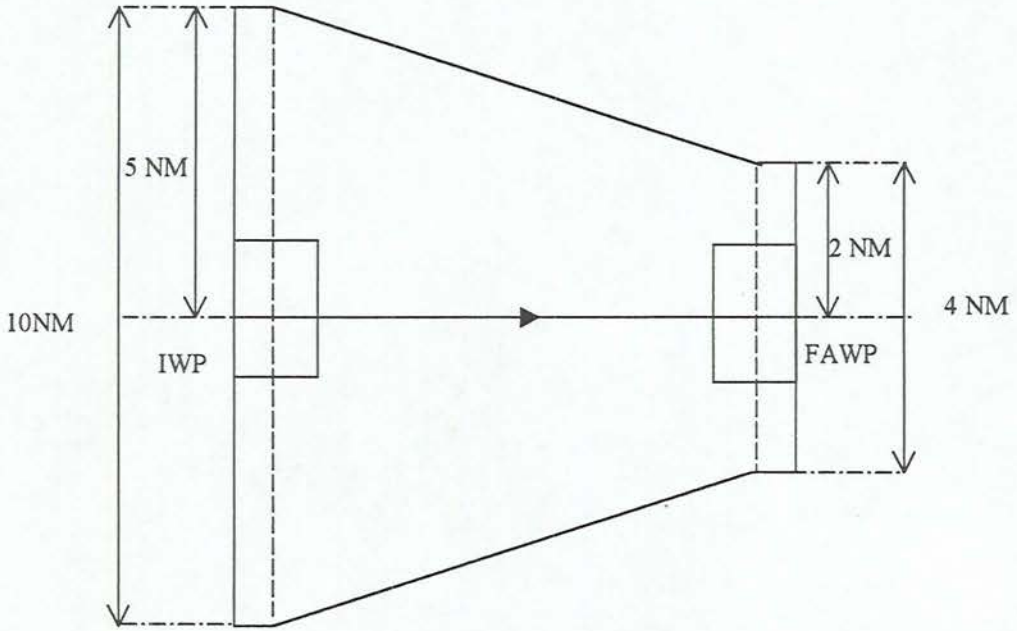
yanına 5 NM, FAWP'in iki yanına 2 NM olmak üzere yörüngeye dik uzatılan çizgilerin birleştirilmesi ile koruma alanı oluşturulur (Şekil 7.2).

Minimum engel emniyet payı 150 m (500ft)'dir.

Optimum yaklaşma eğimi sıfır, maksimum ise %5'dir.

IWP toleransı: 2 x 3 NM .

Ancak ilk ve orta yaklaşma safhaları, son yaklaşma safhası için hazırlık safhalarıdır. Zorunlu safhalar değildir.



Şekil 7.2. Orta yaklaşma koruma alanı oluşturulması

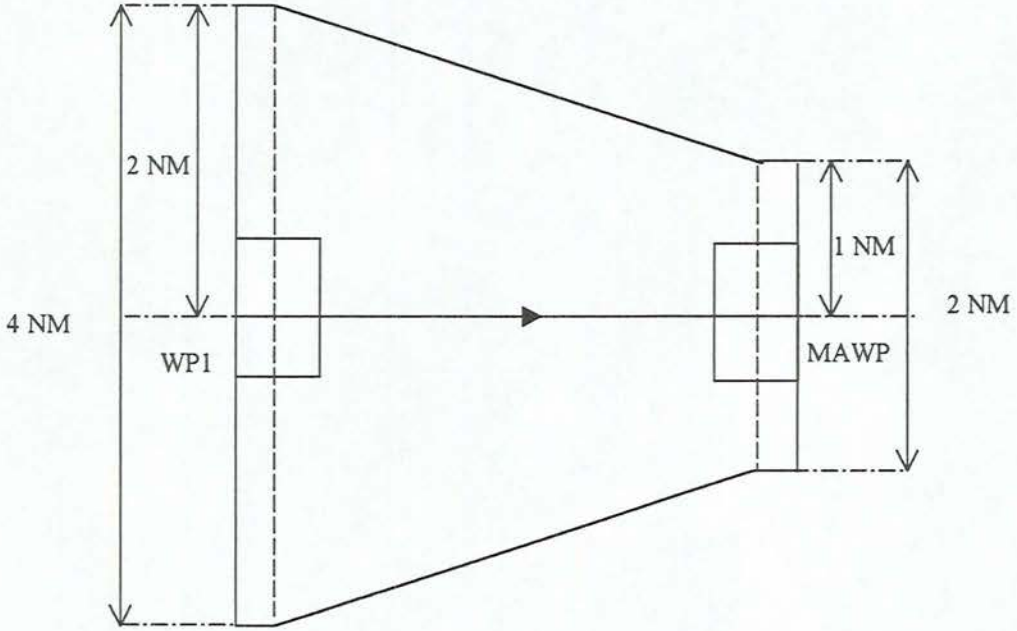
7.4. Son Yaklaşma Safhası

Son yaklaşma noktasından (FAWP) başlayarak, pas geçme noktası (MAWP - Missed Approach Way Point) kadar sürer. Optimum uzunluğu 5 NM, maksimum uzunluğu ise 10 NM'dir. FAWP'in iki yanında 2NM, MAWP'in iki yanında 1 NM olmak üzere yörüngeye dik uzatılan çizgilerin birleştirilmesi ile koruma alanı oluşturulur (Şekil 7.3).

Minimum engel emniyet payı 75 m dir

Optimum yaklaşma eğimi %5, maksimum %6,5, minimum ise %4,3 olarak alınabilir [40].

FAWP toleransı: 0,6 x 1 NM.



Şekil 7.3. Son yaklaşma koruma alanı oluşturulması

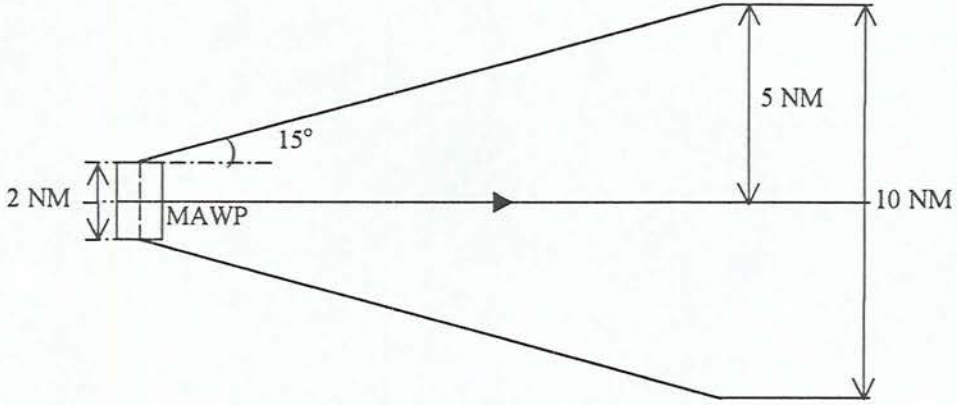
7.5.Pas Geçme Safhası

İnişini gerçekleştiremeyen uçağın pas geçme noktasından (MAWP) itibaren tırmanış gerçekleştireceği safhadır. MAWP'in iki yanına 1 NM olmak üzere, toplam 2 NM'lık hattın uçlarından pas geçme yörüngesine göre 15° lik açı ile genişleyen bir koruma bölgesi oluşturulur (Şekil 7.4).

Minimum engel emniyet payı 30 m'dir.

MAWP toleransı: 0,6 x 1 NM [13].

Tırmanma eğimi olarak %2,5'den itibaren uygun eğim belirlenir. Gerektiğinde ise bir dönüş noktasından (TPWP - Turning Point Way Point) itibaren dönerek pas geçme gerçekleştirilir [41].



Şekil 7.4. Pas geçme koruma alanının oluşturulması

7.6. Bekleme Paterni

Bekleme paterni tek bekleme noktalı olabileceği gibi çift bekleme noktalı da tasarılabilir. Tek bekleme noktalı tasarımlarda, bekleme ana yörüngesi üzerindeki uzaklaşma bacağı bir dakikalık uçuş ile ya da bir dakikalık uçuşa karşılık gelecek mesafe ile belirlenmektedir. Çift bekleme noktalı olarak gerçekleştirilecek tasarımlarda, ilk dönüşün ardından maksimum kategorideki uçağın hızına göre bir dakikalık uçuş sonrası gelinecek koordinat GPS ile belirlenebilecektir [42]. Böylelikle pilotun uçuş süresi veya uçuş mesafesi ölçmesine gerek kalmaksızın GPS'den belirtilen koordinat değerini okuduğunda, ikinci dönüşü gerçekleştirip yaklaşma bacağı üzerine gelmesi sağlanacaktır. Şekil 7.5'de çift bekleme noktalı sola dönüş bekleme paterni görülmektedir.

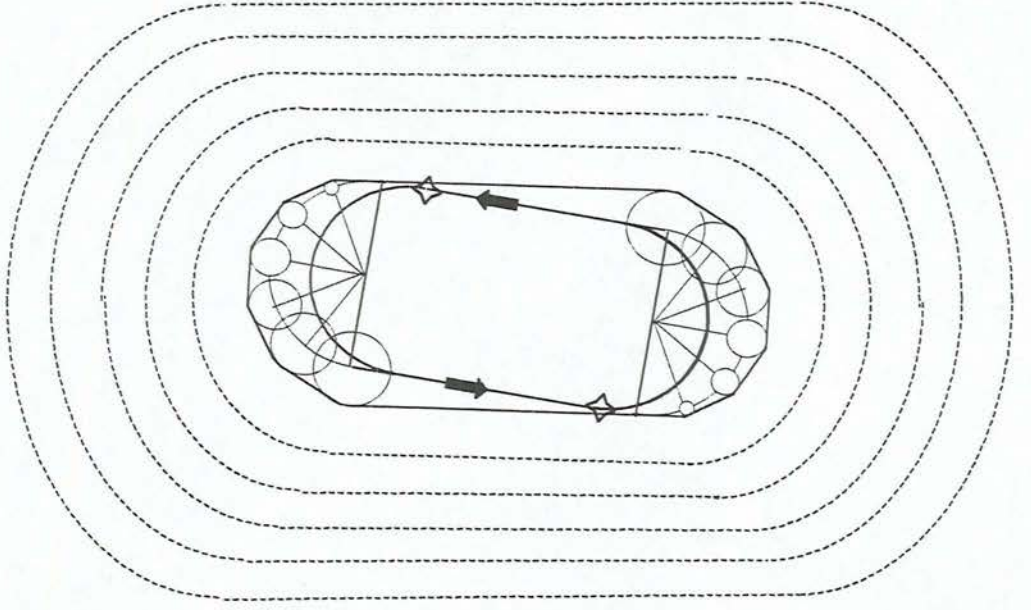
Bu çalışma da GPS'e göre çift bekleme noktalı bekleme patern tasarımı gerçekleştirilecektir. Kullanılacak parametreler aşağıda sıralanmıştır;

IAS: Maksimum kategorideki uçağın hız değeri

Dönüş açısı (α) : 25°

WP toleransı : 100 m

Yer çekim ivmesi (g) : $9,81 \text{ m/s}^2$



Şekil 7.5. Çift bekleme noktalı sola dönüş bekleme paterni

8. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), coğrafi verilerin belirli bir amaç için toplanması, depolanması, güncelleştirilmesi, analiz edilmesi ve görüntü şeklindeki bilgilere dönüştürülmesine olanak tanıyan bilgisayar esaslı sistemlerdir [43].

CBS, birbirinden çok farklı bilim dallarına hizmet edebilmektedir. CBS ile sayısal olarak elde edilen coğrafi verileri güncelleştirmek daha kolay ve ucuzdur. Aynı zamanda, verilere dayalı olarak istenilen bilgileri üretmek daha doğru ve daha hızlıdır [44].

CBS ile çeşitli ölçek, renk ve projeksiyonlarda harita üretilebilir. Veri tabanına ulaşıp, harita elemanları arasında konumsal ilişkilendirme kurarak analiz yapabilme olanağı vardır. Grafik ve grafik olmayan veriler kullanarak amaca uygun görsel sonuçlar elde edilebilir ve elde edilen sonuçlar karar almada yardımcı olabilir. Analizler sonucunda uygulamaya geçme işlemini kolaylaştırmak için değişik uygulama modelleri üretilerek bu modellerin sonucu görsel ve sayısal olarak gösterilebilir.

8.1. Grafik Veri

Grafik veri, bilgisayar ortamında harita elemanlarını tanımlayan sayısal verilerdir. CBS grafik elemanların konumsal ilişkilendirilmesini kurarken topolojiden yararlanır.

8.1.1. Topoloji

Topoloji düğüm, çizgi ve alanların uzay boyutunda birbirleri ile olan ilişkilerini matematiksel olarak tanımlayan bilim dalıdır. Sayısal harita elemanlarının konumsal ilişkilerini saklama, işleme ve belirlemede birçok CBS yazılımı topolojik yapıyı kullanmaktadır.

Harita elemanlarını sayısal olarak tanımlayabilmek için üç tip grafik elemanı kullanılır (Şekil 8.1). Bunlar;

-Nokta

-Çizgi

-Poligon (Alan)

Nokta : Boyutsuz elemandır.

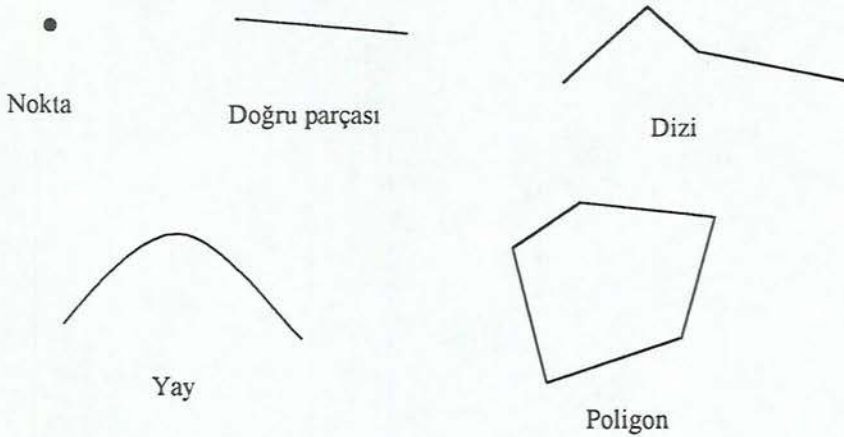
Çizgi: İki nokta arasındaki sürekli koordinat verilerine çizgi denir ve tek boyutlu bir grafik elemanıdır. Topolojik mantığa göre çizgi;

Doğru : İki nokta arasındaki en yakın konumu oluşturan çizgi,

Dizi : Bir seri doğru parçası içeren iki nokta arasındaki çizgisel eleman,

Yay : Matematiksel olarak fonksiyonu belirlenebilen, iki nokta arasındaki eğridir.

Poligon : Çizgisel elemanlar tarafından sınırlanmış iki boyutlu kapalı elemandır [45].



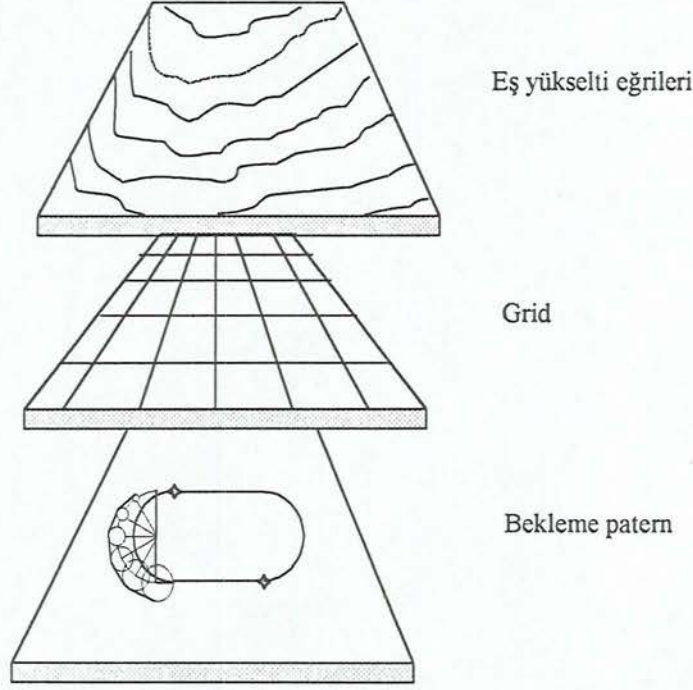
Şekil 8.1. Topolojide kullanılan grafik elemanlar

8.1.2. Katman Yapısı

CBS'nin grafik verileri, ortak koordinat sisteminde aynı bölgenin farklı gruptaki elemanlarını içeren belirli bir katman yapısındadır. Katman yapısının temel ilkesi ortak gruptaki harita elemanlarını gösterimdeki karmaşıklıktan kurtarmaktır. İçerdikleri özelliklere, temsil ettikleri gruplara göre elemanlar arası katman ayrımı gerçekleştirilir.

Katman yapısı kullanılarak farklı konulardaki harita elemanlarının konumsal analizi yapılabilmekte ve konumsal analiz sonucunda elemanların kesişim ve birleşimi ile amaca yönelik yeni haritalar oluşturulabilmektedir. Oluşturulan haritaların CBS ile veritabanı ve veritabanı bağlantıları kurulabilir.

Katman yapısı, amaca yönelik belirli bir hiyerarşik düzene göre kurulur. Şekil 8.2.'de katman yapısı ile ilgili bir örnek görülmektedir.



Şekil 8.2. CBS'de katman yapısı

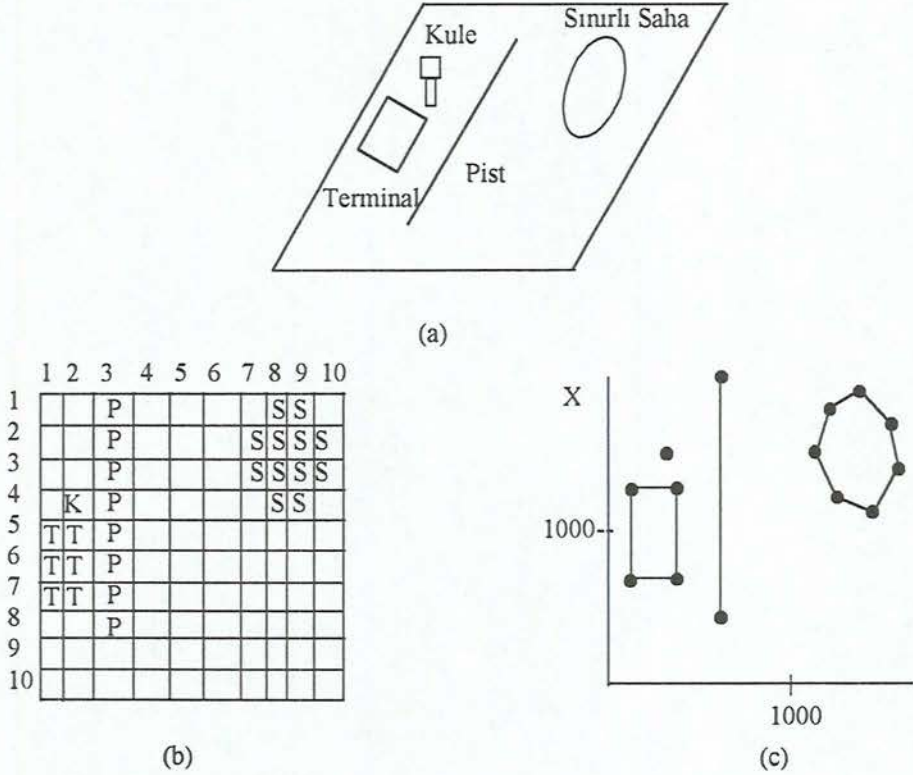
8.1.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Sayısal Grafik Elemanları

CBS'de kullanılan sayısal grafik elemanlar raster ve vektör olmak üzere iki tiptir. Temelde aynı topolojik yapıyı kullanmalarına rağmen sayısal ifadeleri farklıdır.

Vektörel anlatımda bir doğru parçası başlangıç ve bitiş noktalarının koordinatları ile ifade edilirken, raster anlatımda doğruyu oluşturan tüm noktalar sütun ve kolonlardan oluşan matris hücreleri ile tanımlanmaktadır. Doğrunun her bir noktası bir hücre değerine karşılık gelmektedir.

Raster verilerde, boş hücreler veri olarak saklanmaktadır. Sayısal dosyanın (byte cinsinden) büyüklüğü harita yoğunluğuna değil haritanın boyutuna bağlıdır. Vektör verilerde ise sadece koordinat bilgileri saklandığı için raster anlatımın tersine sayısal dosyanın (byte cinsinden) büyüklüğü harita yoğunluğuna bağlıdır.

Raster ve vektör anlatımdaki fark Şekil 8.3’de belirtilmiştir. Şekildeki T: terminal binasını, K: kontrol kulesini, P: pisti, S: sınırlı sahayı ifade etmektedir.



Şekil 8.3. Raster ve vektör anlatımlar:

- Terminal sahasının normal görüntüsü
- Raster anlatım
- Vektör anlatım

8.2. Grafik Olmayan Veri

Grafik olmayan veri, belirli coğrafi konumdaki harita elemanlarının karakteristik özelliklerini tanımlamaktadır. CBS veri tabanındaki grafik olmayan veriler üç ana gruba ayrılmaktadır;

- Öznitelik bilgileri
- Coğrafi indeks
- Konumsal ilişki

8.2.1. Öznitelik Bilgileri

Öznitelik bilgileri nitelik ve nicelik belirtmekte ve harita elemanlarının karakteristik özelliklerini tanımlamaktadır. Grafik veri ile olan bağlantıları tanıtıcı kod ataması ile gerçekleştirilmektedir. Tanıtıcı kod ataması, hem grafik elemana, hem de elemana karşılık gelen veritabanı kaydına aynı kod verilerek yapılmaktadır.

Veritabanı birebir veya ilişkisel olabilmektedir. Bire bir veri tabanında eleman tek bir veri tabanına karşılık gelirken, ilişkili veritabanında bir grafik elemanı birden fazla kayıt ile bağlanabilmektedir. CBS, veritabanı kayıtlarındaki öznitelik bilgilerini kullanarak sorgulama ve analiz yapabilmektedir.

8.2.2. Coğrafi İndeks

Coğrafi indeks birkaç paftadan oluşan haritalarda pafta konumu belirlemek için kullanılmaktadır. Coğrafi indeks, harita içerisindeki her elemanın veritabanı kaydına işlenmektedir ve yapılan sorgulama sonucu, harita elemanının bulunduğu pafta coğrafi indeks yardımı ile bulunarak görüntülenebilmektedir. Farklı paftalarda bulunan harita elemanları arasındaki konumsal ilişki ve topoloji oluşturabilmekte ve analize olanak sağlamaktadır [46].

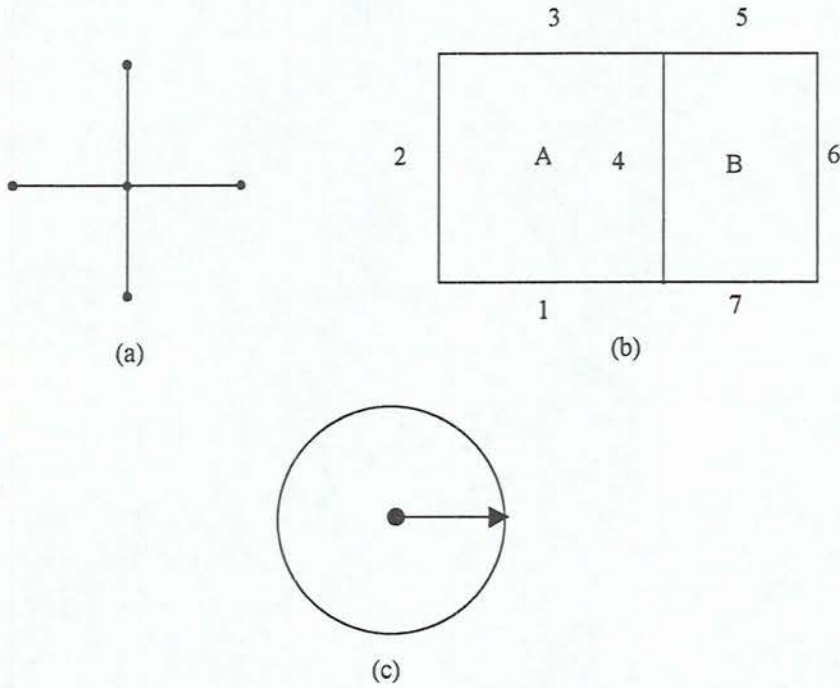
8.2.3. Konumsal İlişki

Konumsal analiz, harita elemanlarının birbirleri ile olan konumsal ilişkileri tanımlanarak yapılmaktadır. Konumsal ilişki topolojik yapıyla belirlenen üç temel mantığa dayanmaktadır.

- Düğüm noktası: İki çizgisel elemanın kesişimi veya birleşimi sonucu oluşan noktalardır (Şekil 8.4.a.).

- Komşuluk: İki kapalı poligonun birbirleri ile olan komşuluklarını ifade eder. Aynı zamanda Şekil 8.4.b'de belirtilen 4 nolu doğru parçasının A poligonunun sağ kenarı, B poligonunun sol kenarı olduğunu tanımlamada kullanılmaktadır.

- Belirli bir noktadan uzaklık: Konumu bilinen bir noktadan istenen uzaklıktaki elemanları veya o noktanın istenen uzaklık içerisindeki alanını belirleme de kullanılmaktadır (Şekil 8.4.c).



Şekil 8.4. Konumsal ilişki parametreleri

- a) Bağlantı noktaları
- b) Komşuluk
- c) Belirli bir noktadan uzaklık

8.3. Sayısal Arazi Modeli

Sayısal Arazi Modeli (SAM), istenen amaç ve doğruluğa uygun olarak, arazi üzerinde uygun sayı ve sıklıkta konum ve yüksekliği belirlenmiş arazi dayanak noktaları yardımıyla arazinin sayısal ve matematiksel olarak tanımlanmasıdır. Arazinin topoğrafik yüzeyi herhangi bir geometrik yüzey

değildir. Doğa tarafından çeşitli etkilerle biçimlendirilen arazi, matematiksel olarak yaratılan yüzeyler ile modellenenir.

Sayısal arazi modelinin oluşturulabilmesi için, modelin dayandırıldığı gerçek yeryüzü noktalarının önceden çeşitli ölçme yöntemleri ile belirlenmiş olması gerekir. Bu noktalar yardımı ile oluşturulan yeni model üzerinde, istenilen sıklıkta noktalar üretilerek bunların konum ve yükseklikleri belirlenir ve yüzey sayısal değerler ile tanımlanmış olur.

Sayısal arazi modelinin gerçek yeryüzüne uyumluluğu bu modelin dayandırıldığı arazi noktalarının uygun sıklıkta olmaları ve özellikleri ile yakından ilgilidir. Yeryüzünden seçilen örnekleme noktaları, topoğrafik yüzeyi iyi temsil edebildiği ölçüde bunlara dayalı olarak yaratılan model üzerinde alınacak noktalarda o oranda arazi yüzeyi ile uyumlu olacaktır. Ancak, modelin araziye uyumunun sağlanması için çok sayıda örnekleme noktası seçimi iş yükünü arttıracaktır. Bilgisayar tekniğine dayalı olarak geliştirilen bu yöntemde amaç, uygun sayıda örnekleme noktasından yararlanarak ve fazla insan gücü harcamadan araziye ait yeni noktalar elde etmektir. Araziden derlenecek verilerin olabildiğince en az düzeyde tutulması işin ekonomisi ve temel yaklaşım bakımından gereklidir. Örnekleme noktalarının yoğunluğu ve dağılımı topoğrafik yapıya bağlı olduğu kadar, seçilen modele de bağlıdır [47].

Sayısal arazi modeli ile oluşturulan topoğrafik yüzey Coğrafi Bilgi Sistem projelerindeki üç boyutlu arazi çalışmalarında kullanılmaktadır ve projede görsel analiz yapmayı sağlar. Sayısal arazi modelleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri için en yaygın yükseklik bilgisi saklama yöntemleridir. Genellikle bir bilgi katmanı olarak, yükseklik modeli ihtiyacı duyan tüm CBS'lerde Sayısal Arazi Modeli bulunmaktadır.

Sayısal Arazi Modeli çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Genel olarak;

- Otomatik eş yükseklik eğrilerinin çiziminde,
- Kartoğrafik genelleştirme işleminde,
- Boyuna ve enine kesitlerin çiziminde,
- Eğim haritalarının üretilmesinde,
- Çeşitli perspektif görüntülerin çıkarılmasında,
- Alan ve hacim hesaplarında,

- Nokta yüksekliklerinin hesabında,
- Bilgi bankası oluşumu için veri derleme gibi çalışmalarda,
- Kanal ve baraj inşaatlarında,
- Arazi düzenleme çalışmalarında,
- Havaalanı yapımında,
- Kara ve demiryollarının belirlenmesinde,

ve benzeri işlerde, sayısal arazi modeli verimli bir şekilde kullanılmaktadır [48].

Bu araştırmada sayısal arazi modeli gerçekleştirme aşamaları Şekil 8.5'de akış şeması olarak verilmiştir. Bu akış şemasındaki terimler aşağıda sırası ile açıklanmıştır.



Şekil 8.5. Sayısal arazi modeli oluşturma aşamaları

Eş Yükselti Haritaları : Yeryüzünün deniz yüzeyine paralel düzlemler ile, arakesitlerinin haritaya izdüşürülmüş şekline yükseklik eğrisi denir. Yükseklik eğrisi, eşit yükseklikteki noktaların geometrik yeri olarak da tanımlanabilir. Yükseklik eğrileri; arazinin eğimine, ölçeğe ve çizim tekniğinin olanaklarına göre değişir.

Eş yükseklik, ardışıl iki yükseklik eğrisi arasındaki düşey mesafedir. Harita üzerinde eş yükseklik eğrileri ne kadar sık geçerse arazi yüzeyi o derece iyi gösterilebilir [49].

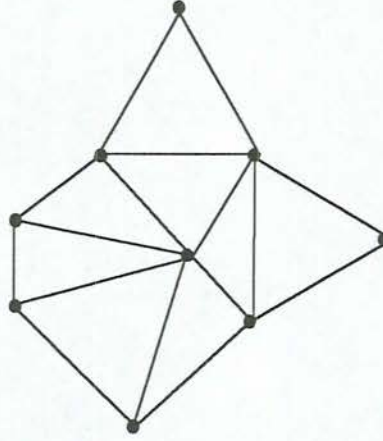
Üç boyutlu sayısal arazi modeli oluşturulmasında eş yükselti haritalarından yararlanıldığı gibi son zamanlarda geliştirilen stereo uydu dataları veya stereo hava fotoğraflarının fotogrametrik analizlerinden de yararlanılabilmektedir.

Konturların Taranması ve Vektörizasyon : Paftalar halinde hazırlanmış olan haritalar tarayıcıdan geçirilerek raster veri elde edilir. Bu veriler, sayısal ortama aktarılarak iki boyutlu tasarım dosyası oluşturulur ve vektörizasyon yapılır.

Konturların Düzeltilmesi : Yükseklik bilgilerinin belirlenmesinden önce tasarım dosyasındaki vektör veriler konturların geçerliliğinden emin olunması için bir ön işlemden geçirilir. Bağlantısız konturlar kontrol edilir.

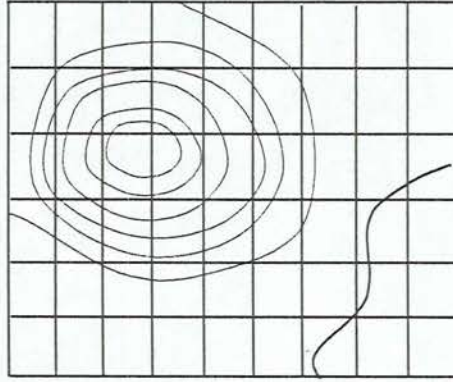
Yükseklik Bilgisi Atanması : İki boyutlu konturlara yükseklik bilgisi atanarak üç boyutlu tasarım dosyaları oluşturulur [50].

Arazi Modelinin Oluşturulması: Sayısal arazi modeli oluşturulmasında bir yaklaşım, üçgensel alanların ağ yapısı (TIN - Triangulated Irregular Network) tarafından topoğrafyanın tanımlanması ve düzensiz aralıklı yükselti verilerinin kullanılmasıdır. Bu yöntemde, yükseklik verisi vektörler ile temsil edilerek saklanır. Bir TIN modeli, üçgensel yüzeyler formundaki elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 8.6). Üçgensel yüzey eğim ve yön gibi yer parametrelerini hesaplamada kullanılır. Birçok algoritma üçgensel yüzeyin yaratılmasında geliştirilmiştir. Yöntemler arasında büyük farklılıklar yoktur. Üçgenleştirmede yüzeyi en iyi tanımlayan üçgen, eşkenar üçgendir. Bu metod arazi yüzeyini etkili ve yeterince hassas şekilde temsil edebilmektedir.



Şekil 8.6. TIN model örneği (INTERGRAPH, 1994)

Sayısal arazi modeli oluşturulmasında diğer bir yöntem, ağ yöntemi (grid) ile topoğrafyanın oluşturulmasıdır. Bu yöntemde, tüm araziye ağ şeklinde ören karesel formdaki yüzeylerin konumları belirlenir (Şekil 8.7). Arazi üzerine yerleştirilen yüzeylerin konum verileri genellikle, konumları bilinen ve düzensiz olarak arazi yüzeyine dağıtılan kontrol noktalarından hesaplanır.



Şekil 8.7. Grid model örneği

Dört nokta ile tanımlanan bir karesel form, ağ hücre olarak adlandırılır. Kare kenarı ne kadar büyük seçilirse, o oranda haritanın çözümü gücü azalacak, buna karşın hesaplama daha hızlı olacaktır. Kenar ne kadar küçük seçilirse, haritanın çözümü gücü artacak, fakat hesaplama işlemi çok yavaşlayacaktır.

Ağ yönteminde önemli olarak üç adımdan söz edilebilir. Bunlardan ilki; kontrol noktalarına ait koordinatlardır. İkincisi; ağı çevreleyen kontrol noktalarının araştırılmasıdır. Üçüncüsü; ağ noktalarının yüksekliklerini belirleyebilmek için uygun bir enterpolasyon algoritmasının kurulmasıdır.

Yer kontrol noktalarından ağ köşe noktalarının hesabına geçişte, bilgi kaybı olmaması için kare genişlikleri yer kontrol noktaları aralıklarından daha kısa olmalıdır.

Bu yöntemde Sayısal Arazi modelinin tümü depolanmak zorundadır ve yüksek bellek kullanılması gerekir. TIN, bu modele göre daha az nokta kullanabilmektedir ancak, ağ modeli TIN'e göre ek analiz ve görüntüleme özelliklerine sahiptir. Bu yüzden TIN modelinden ağ modeline dönüşüm yapılabilmektedir. Karmaşık analizlerde, ayrıntılı saklamada küçük hücre boyutundaki ağ yapıdan yararlanır [51].

Arazi Model Analizi ve Görüntüleme : Arazi modelinin oluşturulması ile CBS modellemelerinde altlık olabilecek arazinin sayısal topoğrafik haritası elde edilmiş olur. Üç boyutlu arazi çalışmalarında görsel analiz yapmayı sağlayan bu haritalar, CBS'de etkin şekilde kullanılır.

9. ESKİŞEHİR ANADOLU HAVAALANI'NIN GPS YAKLAŞMA YÖRÜNGELERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNE DAYALI TASARIMI

9.1. Arazinin Topografik Modellemesi

Bölgenin 1/250.000 ve 1/25.000 ölçekli haritalarından, bölgenin x,y,z bilgilerini içeren eş yükselti eğrileri elde edilmiştir. Arazinin topografik modellemesinde kullanılan eş yükselti eğrileri aracılığı ile arazinin üçgenleşmiş düzensiz ağ yapısı haritası (TIN-Triangulated Irregular Network) çıkarılmıştır. TIN modelinden grid modele geçiş yapılmış ve grid modelleme ile arazinin topoğrafyası oluşturulmuştur.

9.1.1. Eş Yükselti Eğrileri Haritası

Çalışma alanının sayısal arazi modelinin elde edilmesinde kullanılan eşyüksekti eğrileri haritası bölgenin 1/250.000 ve 1/25.000 ölçeğindeki x, y, z bilgilerini içermektedir. Bu eş yükselti haritalarının CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) modellerinde kullanılabilmesi için sayısal ortamda hazırlanması gerekmektedir. Bu amaçla, önceden paftalar halinde hazırlanmış olan haritalar, tarayıcıdan geçirilerek raster veri olarak sayısal ortama aktarılmıştır. Daha sonra vektörizasyon işlemi uygulanmış ve vektör veri olarak sayısal bilgi şeklinde saklanmıştır.

Çalışmanın bu aşamasında, bölgenin sayısal eşyüksekti eğrilerinin haritası Harita Genel Komutanlığı'ndan sağlanmıştır. Topografyanın oluşturulması amacı ile bölgenin x, y, z bilgilerini içeren eş yükselti eğrileri Şekil 9.1'de gösterilmektedir.

Bu çalışmada Intergraph firması tarafından geliştirilen MGE (Modular GIS Environment) paket programlarından yararlanılmış ve Harita Genel Komutanlığı'ndan elde edilen sayısal topografik haritalar MGE-SX üzerinde oluşturulan projeye aktarılmıştır. MGE-SX'in alt programı olan MTA (MGE-Terrain Analysisist) yardımı ile sayısal eş yükselti eğrileri kullanılarak, arazinin

TIN (Trinagulated Irregular Network) modeli oluşturulmuştur. Bu model kullanılarak GRID (grid model) yaratılmıştır. Çalışmanın her aşamasında yapılan tüm modellemeler grid model üzerinden gerçekleştirilmiştir.

9.1.2. Üçgenleşmiş Düzensiz Ağ Yapısı (TIN)

Bölgenin sayısal topografik haritasının elde edilmesinde kullanılan eş yükselti eğrileri aracılığı ile arazinin üçgenleşmiş düzensiz ağ yapısı haritası (Triangulated Irregular Network) map.ttn (tin haritası) çıkarılmıştır.

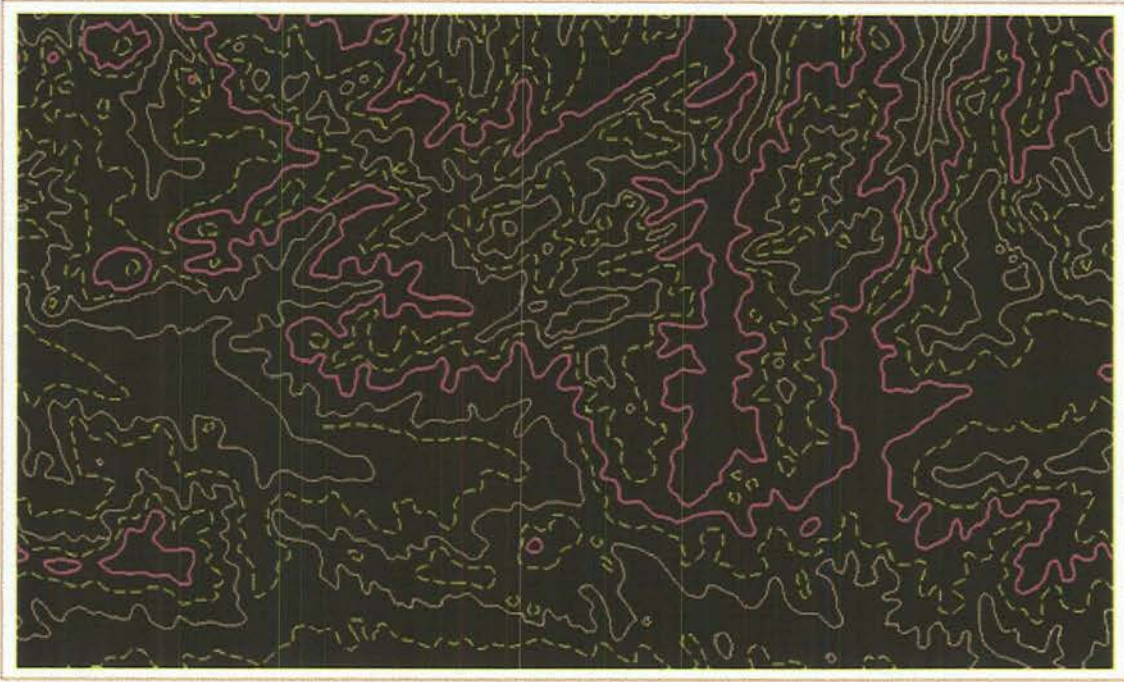
İki eş yükselti eğrisi arasında kalan alanda, eğrileri oluşturan noktaların üçgenler halinde birleştirilmesi ile üçgenel yüzeylerin ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu arazi modelleme metodunda yazılım, her bir veri noktasına göre belirlenen üçgenel yüzeylerin denklemini çözerek yükseklik hesabı yapabilmektedir. Oluşan her bir düzensiz üçgen yüzey birbirinden bağımsızdır. Her bir üçgenin öznitelik bilgisi;

- Bulunduğu konumun x, y, z bilgisini,
- Yönü ve doğrultusunu,
- Eğimini (% ve derece olarak) içermektedir [14].

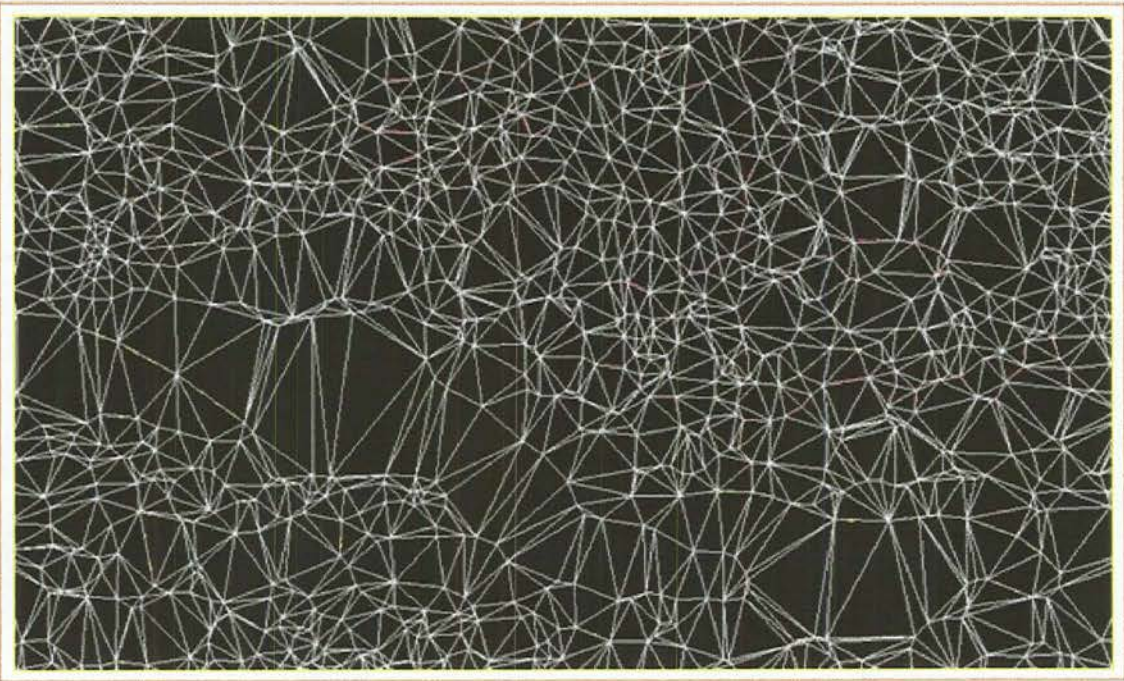
Tüm düzensiz küçük üçgen yüzeylerin birleştirilmesi ile arazinin düzensiz üçgenleşmiş ağ yapısı elde edilmiştir. Bölgenin eş yükselti eğrilerinden yararlanılarak hazırlanan düzensiz üçgenleşmiş alanlar Şekil 9.2’de gösterilmektedir.

9.1.3. Düzenli Karesel Alanlar (Grid)

Yapılacak analizlerde kullanılması gereken, düzenli ve eşit büyüklükteki karelerden oluşan yüzeylerdir. Bu amaçla, önceki aşamada elde edilen “*.tin” dosyası şeklindeki veriler sonucu oluşmuş yüzey, boyutları kullanım amacına göre belirlenen tül görünümündeki kareler şekline dönüştürülür. Arazinin herhangi bir noktasından alınması gereken bilgi artık düzensiz üçgenlerin rastgele sıralamasından kurtarılarak, arazi üzerinde düzenli olarak oluşturulan karelerin sol üst köşelerine konumlandırılmıştır. Böylelikle oluşturulan düzenli ve eşit



Şekil 9.1. Topoğrafyanın oluş turulması amacı ile bölgenin x, y ve z bilgilerini içeren eş yükselti eğrileri



Şekil 9.2. Bölgenin eş yükselti eğrilerinden yararlanılarak hazırlanan düzensiz üçgenlenmiş alanlar

büyükölükteki konumsal bilgi içeren kare yüzeyler (grid) ile arazinin sayısal topografik haritası elde edilmiş olur.

Bölgenin düzensiz üçgenlenmiş alanlarından yararlanılarak hazırlanan düzenli karesel alanlar Şekil 9.3’de gösterilmektedir.

9.1.4. Arazinin Topografyası

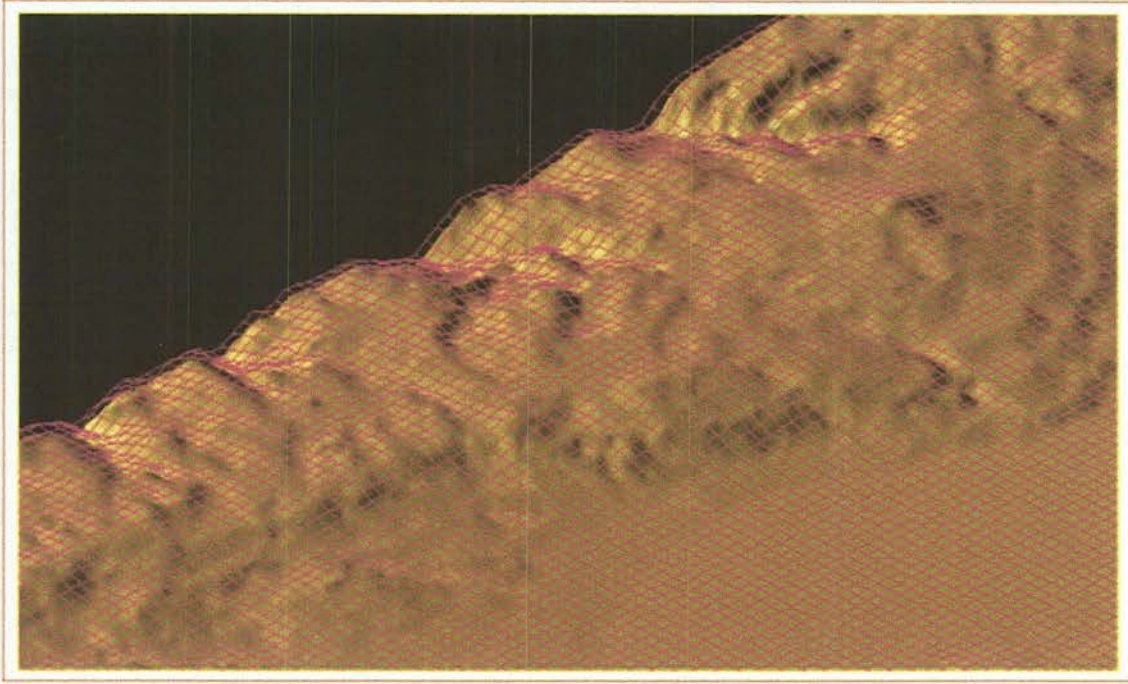
Bir önceki aşamada gerçekleştirilen grid modelleme ile arazinin topografyası oluşturulmuştur. Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında; bekleme paterni, yaklaşma ve pas geçme yüzeylerinin konumsal modellemesi bu topografya kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 9.4).

9.2. Bekleme Paterni

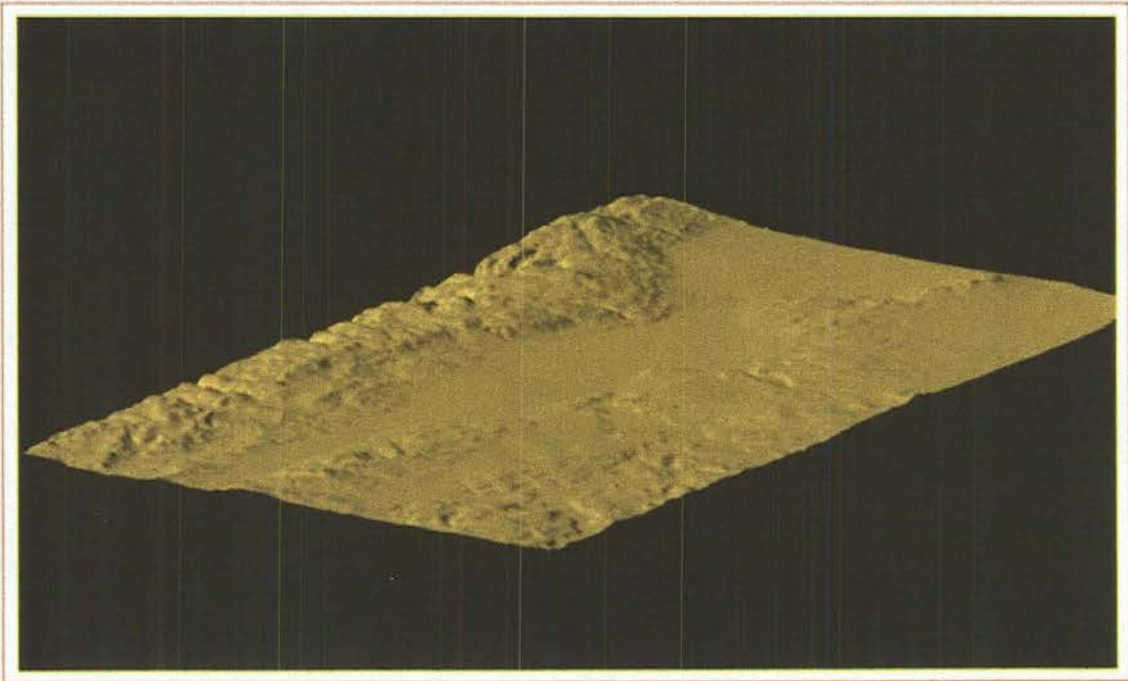
Bekleme, bir sonraki uçuş iznine kadar uçağın emniyetli bir hava sahasında beklemesini sağlayacak manevra hareketidir. Beklemedeki uçak, bir sonraki uçuş iznine kadar minimum bekleme irtifasında bekleme ana yörüngesini takip edecektir. Yoğun trafik akışı durumunda bekleme paterni üzerinde aralarında 1000 ft’lik emniyetli dikey ayırma olmak üzere, birden fazla uçak bulunması olasıdır. Sorumlu hava trafik kontrolörünün minimum bekleme irtifasında bulunan uçağı yaklaşmaya geçirmesi ile, bir üst seviyedeki uçaklar bir alt seviyeye alçalacaklardır. Beklemeyi terk eden uçak, uygun eğimle ve gerekli manevralar ile piste yaklaşacak ve inişini gerçekleştirmiş olacaktır.

9.2.1. Anadolu Havaalanı Bekleme Patern Tasarımı

Bir havaalanı için bekleme paterni gerçekleştirilirken, tasarım aşamasında maksimum kapasitedeki uçaklar dikkate alınarak emniyetli bir bekleme alanı belirlenmelidir.



Şekil 9.3. Bölgenin düzensiz üçgenlenmiş alanlarından yararlanılarak hazırlanan düzenli karesel alanlar



Şekil 9.4. Bölgenin topoğrafik yapısının genel görünümü

Bu çalışmada, RNAV normları dikkate alınarak GPS'e göre bekleme tasarımı gerçekleştirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda kullanılan parametreler ve hesaplamalar aşağıda verilmiştir;

IAS: 230 kt

T: ISA + 15°C

Min. Geliş İrtifası: 8000 ft

k: 1,1586

α : 25°

g: 9,81 m/s²

GPS toleransı: 100 m

Bekleme paterni çift bekleme noktalı olarak tasarlanmıştır. İlk bekleme noktası (WP1)'den itibaren aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanan uçağın gerçek hız (TAS) ve dönüş yarıçapı (R) değerlerine göre dönüş gerçekleştirilir.

$$TAS = k \times IAS \quad (9-1)$$

$$TAS = 1,1586 \times 230 = 266,478 \text{ kt} = 137,087 \text{ m/s}$$

$$R = \frac{(TAS)^2}{g \tan \alpha} \quad (9-2)$$

$$R = 4108 \text{ m}$$

Uçak bu dönüş manevrası sonunda WP2'ye ulaşacaktır. Uzaklaşma bacağı üzerinde uçuşa devam edecektir. Bir dakikalık uçuşa karşılık gelecek uzaklaşma bacağı (L), aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$L = 60 \times TAS \quad (9-3)$$

$$L = 60 \times 137,088 = 8225 \text{ m}$$

8225 m uzunluğundaki uzaklaşma bacağından sonra, diğer bekleme noktası WP3'e ulaşılır. WP3'den itibaren 4108 metrelik dönüş yarıçapındaki 180° lik dönüş ile WP4'e ve ardından, yaklaşma bacağı üzerindeki uçuş ile ilk bekleme noktasına gelinir. Böylelikle, bekleme patern ana yörüngesi belirlenmiş

olur. Bu ana yörünge üzerinde, koruma alanı ve beş adet tampon bölgenin oluşturduğu bekleme alanı bulunacaktır.

6 saniyelik pilot reaksiyon zamanı ve 5 saniyelik dönüşe başlama zamanı olmak üzere, toplam 11 saniyeye göre belirlenen zamanlama toleransı (c) aşağıdaki eşitliklerde verilmektedir.

$$c = 11 \times \text{TAS} \quad (9-4)$$

$$c = 11 \times 137,087 = 1508 \text{ m}$$

WP1 ve WP3 noktalarından itibaren $c = 1508 \text{ m}$ zamanlama toleransı ilave edilmesi ile 180° 'lik dönüş gerçekleştirilir. Eşitlik (5-3)'e göre rüzgar hızı (W_v) hesaplanır. Buna bağlı olarak, Eşitlik (5-4)'e göre, her 30° için rüzgar etkileri (W_e) belirlenir ve dönüş üzerine GPS toleranslarının ilave edilmesi ile bekleme paterni koruma alanı oluşturulur.

$$W_v = 2(8000/1000) + 47 = 63 \text{ kt} = 32,41 \text{ m/s}$$

$$\theta = 30^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 609 \text{ m}$$

$$\theta = 60^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 1117 \text{ m}$$

$$\theta = 90^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 1626 \text{ m}$$

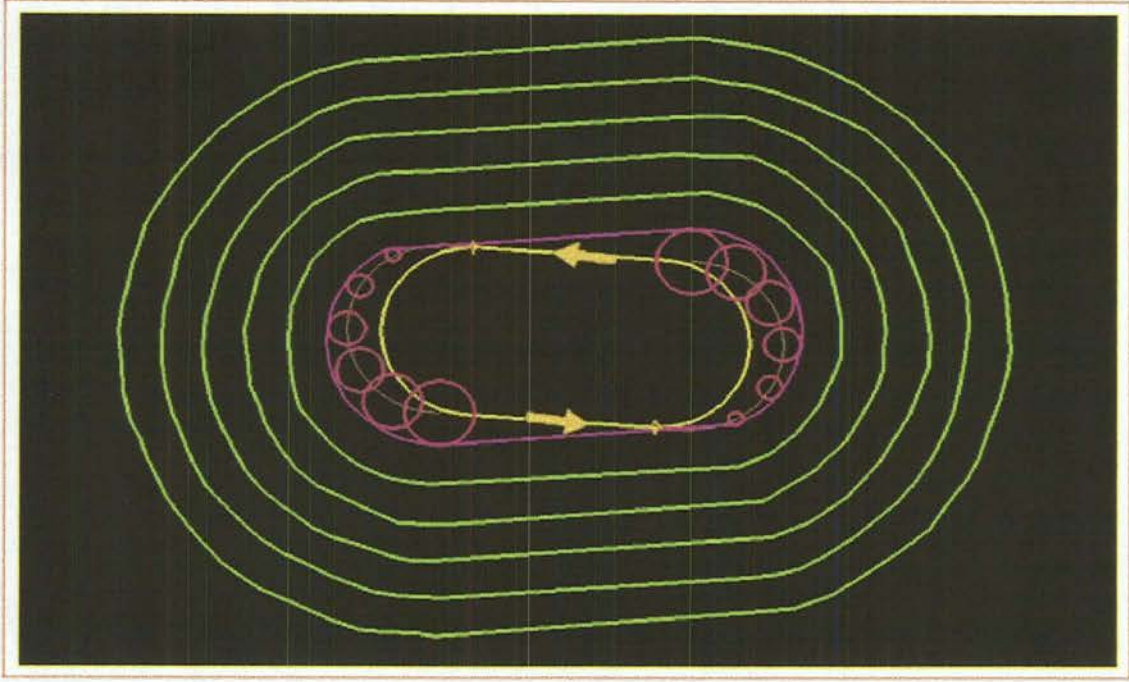
$$\theta = 120^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 2134 \text{ m}$$

$$\theta = 150^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 2643 \text{ m}$$

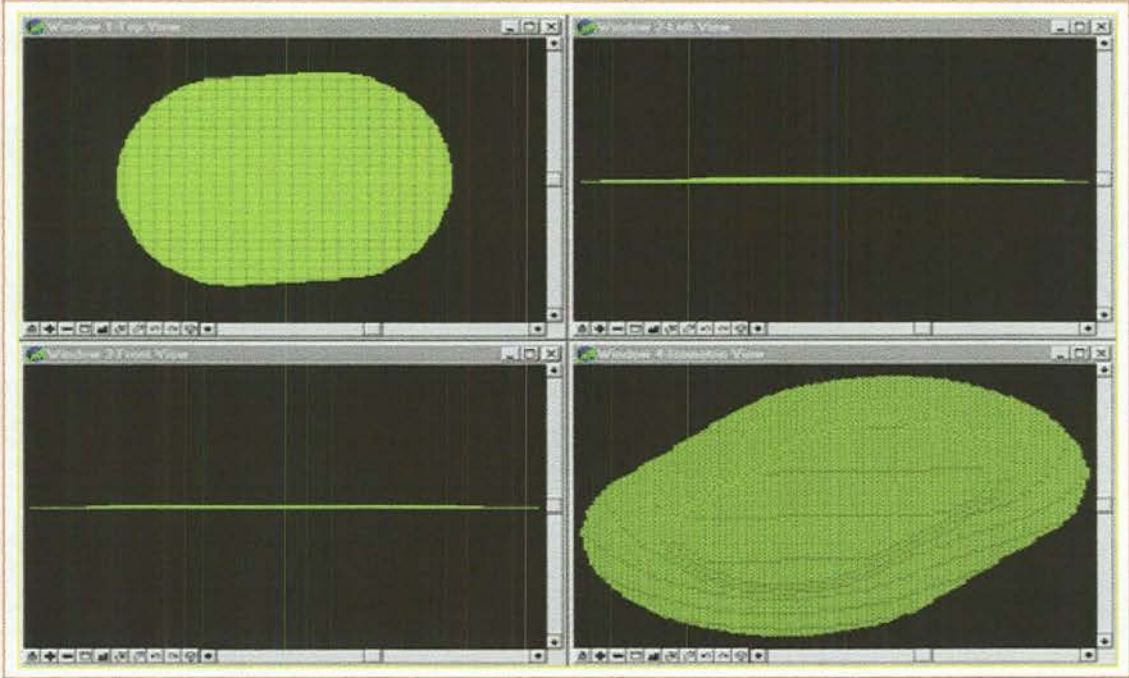
$$\theta = 180^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 3151 \text{ m}$$

Koruma alanı üzerine ise 1 NM (1852 m) ara ile beş adet tampon bölge yerleştirilmiştir. Tüm bu aşamalar sonunda Şekil 9.5'de gösterildiği gibi bekleme paterni oluşturulmuştur.

Bekleme paterninin içerdiği herbir bölümün, herhangi bir engel üzerinde, ne kadarlık emniyetli dikey ayırmada olması gerektiğini belirleyen MOC değerleri Çizelge 6.7.1'de verilmiştir. Buna bağlı olarak, her bölümün MOC değeri z parametresi olarak programa tanıtılmış ve böylelikle üç boyutlu bekleme paterni gerçekleştirilmiştir. Şekil 9.6'da bekleme paterninin üç boyutlu görünümü üstten, sağdan, soldan ve izometrik olarak verilmiştir.



Şekil 9.5. Bekleme paterninin oluşturulması



Şekil 9.6. Bekleme paterninin üç boyutlu gösterimi

9.2.2. Bekleme Paterninin Topografya Üzerine Konumlandırılması

Son yaklaşma safhası için en uygun yaklaşma eğimi %5, en uygun konum ise pist başından itibaren 5-10 NM arasındadır. Bekleme paternini minimum bekleme irtifasında terk eden uçak, doğrudan son yaklaşıma geçebilmektedir. Bu şartlar gözönünde bulundurularak, 5 NM'dan itibaren 1 NM ara ile uygun minimum bekleme irtifa değerleri belirlenmiş ve bekleme paterni bu değerlere göre topografya üzerine konumlandırılmıştır.

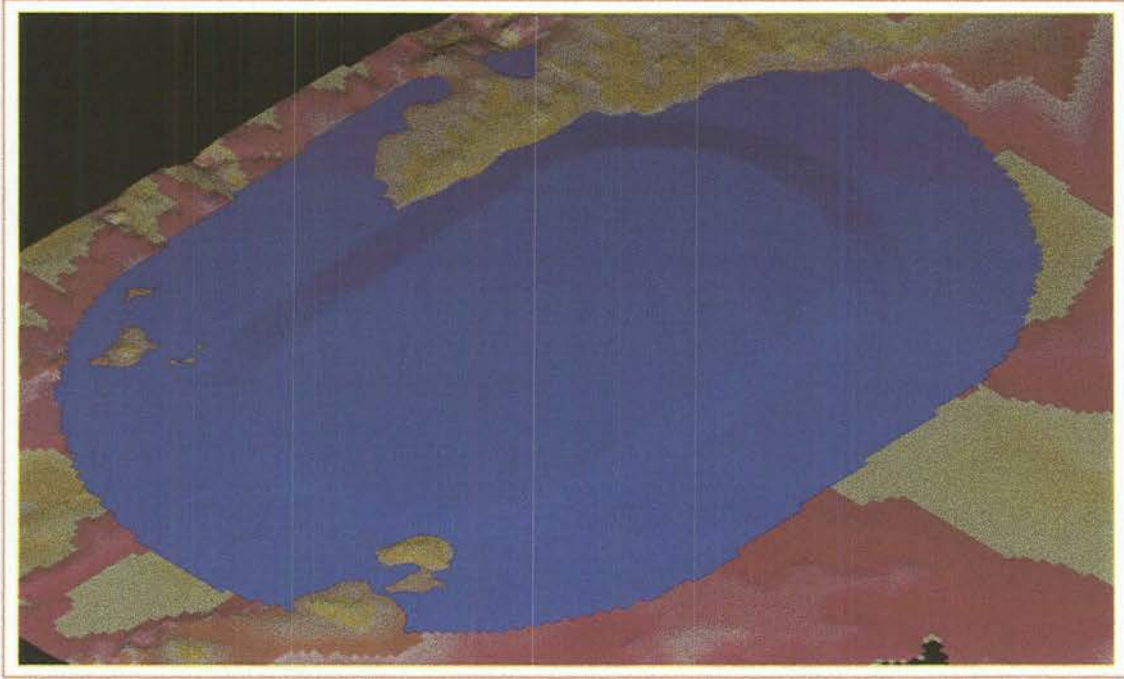
İlk aşamada bekleme paterni, 1267 m minimum bekleme irtifasında, pist ekseninde ve pist başından 5 NM (9260 m) uzaklıkta topografya üzerine konumlandırıldığında engellerin bekleme yüzeyini deldiği belirlenmiştir. Belirlenen bu konum ve irtifada emniyetli bekleme gerçekleştirilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

Bekleme paterni 1360 m minimum bekleme irtifasında, pist ekseninde ve pist başından 6 NM (11112 m) uzaklıkta topografya üzerine konumlandırıldığında da engellerin bekleme yüzeyini deldiği belirlenmiştir. Böylelikle bu durumda da emniyetli bekleme gerçekleştirilemeyeceği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 9.7).

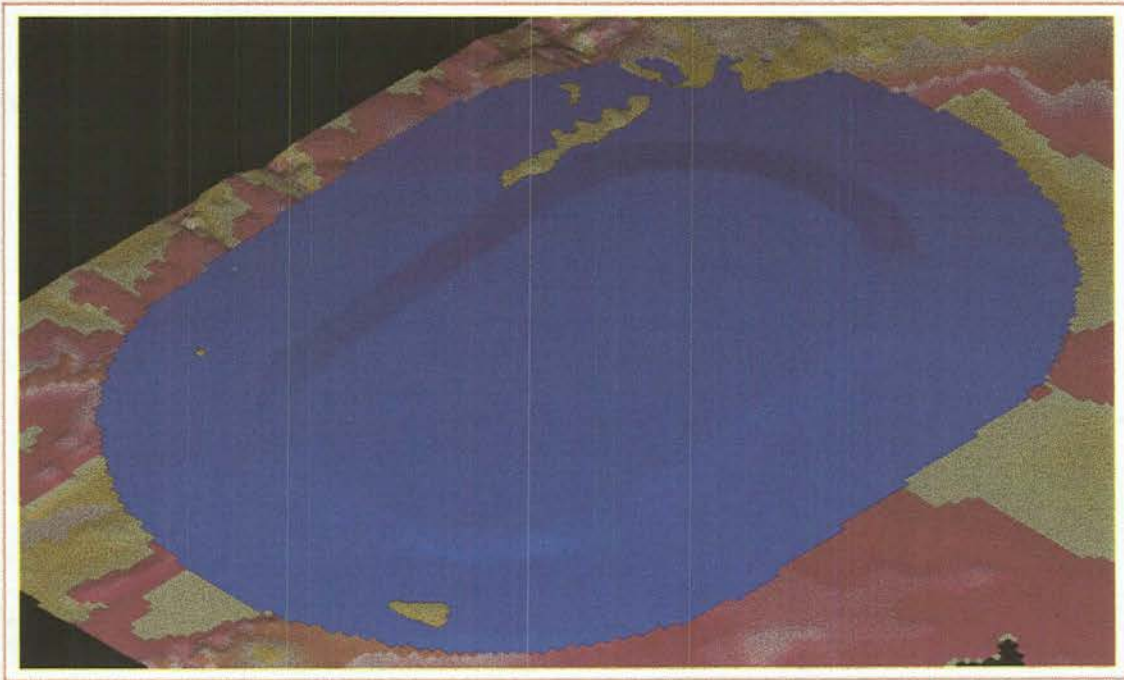
Bekleme paterni 1453 m minimum bekleme irtifasında, pist ekseninde ve pist başından 7 NM (12964 m) uzaklıkta topografya üzerine konumlandırıldığında da engellerin bekleme yüzeyini deldiği belirlenmiştir. Böylelikle bu koşullarda da emniyetli bekleme gerçekleştirilemeyeceği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 9.8).

Bekleme paterni 1545 m minimum bekleme irtifasında, pist ekseninde ve pist başından 8 NM (14816 m) uzaklıkta topografya üzerine konumlandırıldığında engellerin bekleme yüzeyini delmediği belirlenmiştir. Sonuçta, bu koşullarda emniyetli bekleme gerçekleştirilmiştir (Şekil 9.9).

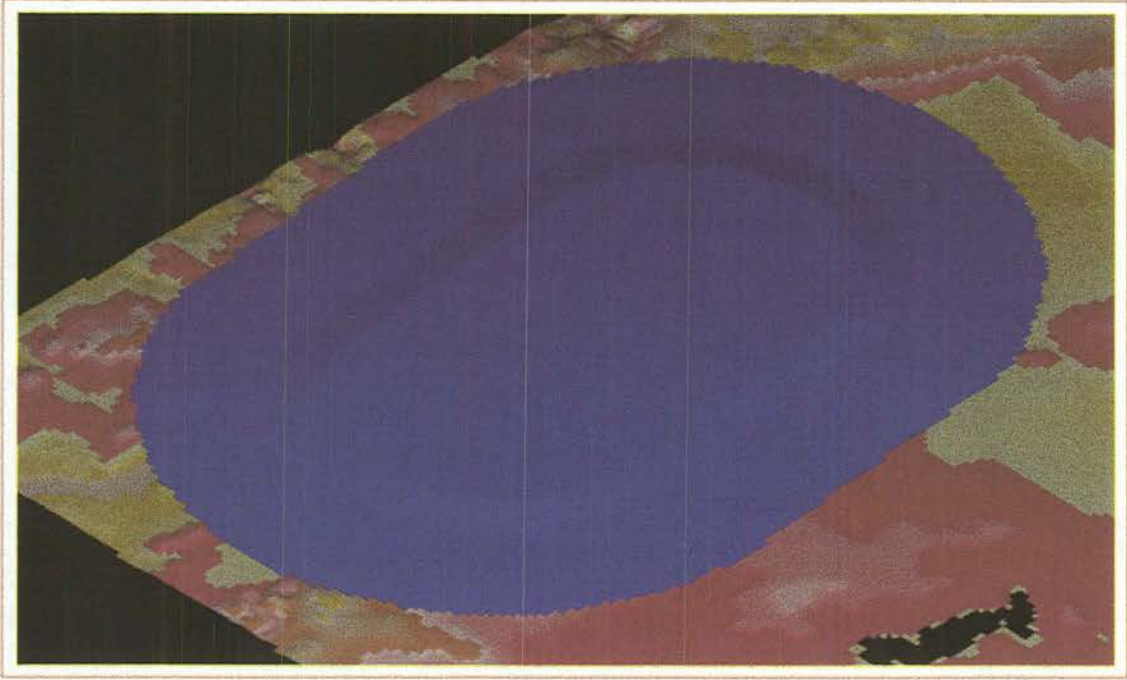
Ancak 7 ile 8 NM arasında uygun konum araştırılmasına devam edilmiştir. Bekleme paterni 1540 m (5000 ft) minimum bekleme irtifasında, pist ekseninde ve pist başından 7,8 NM (14487 m) uzaklıkta topografya üzerine konumlandırıldığında engellerin bekleme yüzeyini delmediği belirlenmiştir. Böylelikle bu konumda ve bu irtifada emniyetli bekleme gerçekleştirilebileceği sonucuna ulaşılmış ve bu konum bekleme patern için en uygun konum olarak belirlenmiştir (Şekil 9.10).



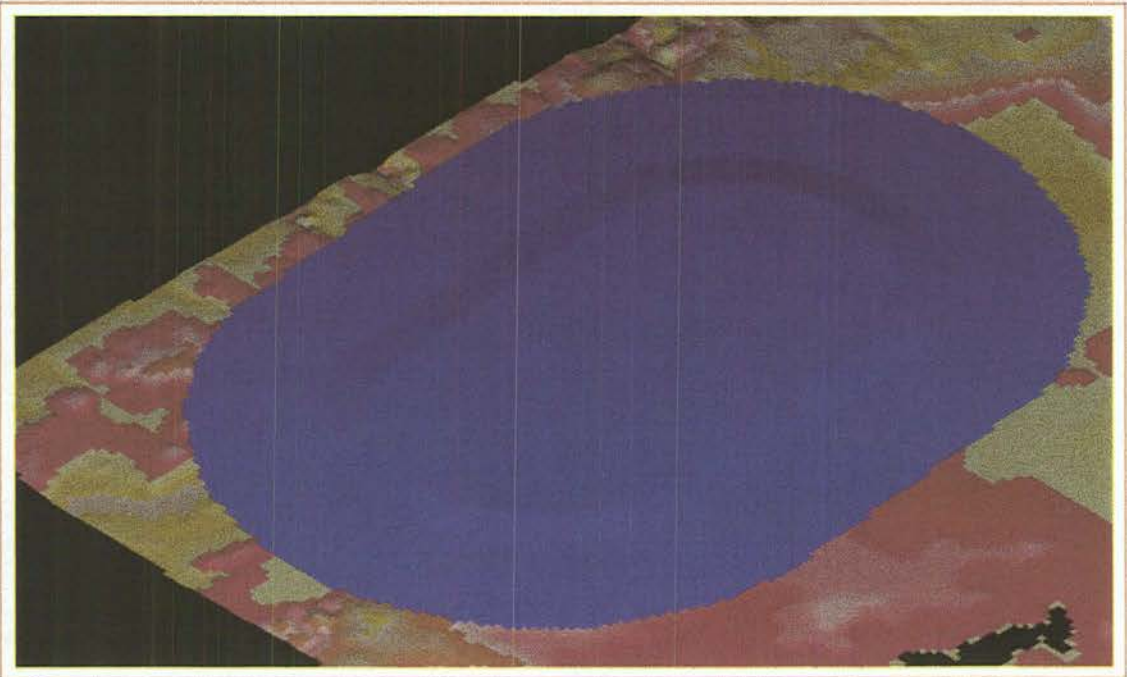
Şekil 9.7. Pist ekseninde ve pist baş ından 11112 m (6 NM) uzaklıktaki bekleme paterninin topoğrafya üzerine konumlandırılması



Şekil 9.8. Pist ekseninde ve pist baş ından 12964 m (7 NM) uzaklıktaki bekleme paterninin topoğrafya üzerine konumlandırılması



Şekil 9.9. Pist ekseninde ve pist baş ından 14816 m (8 NM) uzaklıkta ki bekdeme paterninin, topoğrafya üzerine konumlandırılması



Şekil 9.10. Pist ekseninde ve pist baş ından 14487 m (7.8 NM) uzaklıkta ki bekdeme paterninin, topoğrafya üzerine konumlandırılması

Bekleme ana yörüngesinin birinci bekleme noktası (WP1), uzaklaşma bacağı başlangıcı (WP2), ikinci bekleme noktası (WP3) ve yaklaşma bacağı başlangıcı (WP4) koordinatları x,y değerleri ile aşağıda verilmiştir.

WP1 koordinatları : 271879, 4410537

WP2 koordinatları : 272264,4418744

WP3 koordinatları : 264050, 4419160

WP4 koordinatları : 263665,4410953

Minimum bekleme irtifası (MHA) 5000ft ve bekleme dönüş yönü sola dönüş olarak belirlenmiştir.

9.3. Son Yaklaşma Safhası

Pist başından 7,8 NM (14487 m) uzaklıktaki WP1'i minimum bekleme irtifasında (5000 ft) terk eden uçak en uygun yaklaşma eğimi (%5) ile son yaklaşma safhasına geçişi gerçekleştirmiş olur. Pas geçme noktası, WP6'ya dek alçalarak meydana yaklaşmaya devam eder. Uçak pist ekseninde ve pist başından 2307m mesafedeki WP6'ya ulaştığında 3000 ft irtifada , 412ft yüksekliktedir.

Son yaklaşma safhası koruma alanı Şekil 7.3.'de belirtilen değerlere göre oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yüzey, engellerin üzerinden emniyetle geçiş payı da hesaba katılarak topografya üzerine konumlandırıldığında son yaklaşma yüzeyini delen herhangi bir kritik engel bulunmadığı belirlenmiştir (Şekil 9.11). Böylelikle bu yaklaşıma başlangıç irtifası (5000 ft) ve en uygun yaklaşma eğimi ile emniyetli bir yaklaşma gerçekleştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışma sonucu, pas geçme noktası irtifa değeri olarak belirlenen 3000 ft'in OCA değeri olarak alınabileceğini göstermektedir (OCH: 412ft).

Bu şartlar altında WP1'i (x: 271879, y: 4410537) 5000 ft'de terk eden uçak %5 eğim ile WP6'ya (x: 284084, y: 4410017) doğru alçalmaya devam edecek ve WP6'ya ulaştığında 3000 ft irtifa değerini almış olacaktır. Pilot pisti görüyorsa inişini gerçekleştirecek, görmüyor ise pas geçme prosedürünü uygulayacaktır.

9.4. Pas Geçme Safhası

Pas geçme noktasına ulaşan pilot, pisti görüyorsa inişi gerçekleştirebilir. Pisti görmüyorsa veya inişi engelleyecek başka bir neden söz konusu ise, pas geçme işlemini uygulayacaktır.

9.4.1. Anadolu Havaalanı Pas Geçme Yörünge Tasarımı

Uçak, pist eksenini boyunca pas geçme yörüngesini takip ederek tırmanışını gerçekleştirecektir. Pas geçme yörüngesi etrafında oluşturulan pas geçme safhası koruma alanı Şekil 7.4.'deki değerlere göre belirlenmiştir.

Pas geçme noktasına (WP6) ulaşan uçağın tırmanışa geçebilmesi için son pas geçme toleransından itibaren, maksimum pas geçme hızında 15 saniyelik uçuş sonrası tırmanışa başlama noktasına (SOCWP - Start of Climb Way Point) ulaşması gerekir [8].

Anadolu havaalanı için SOCWP'in belirlenmesi aşamasında kullanılan parametreler ve hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir;

IAS: 240 kt

İrtifa: 3000 ft

T: ISA + 15°C

k: 1,0875

Son pas geçme toleransı ($MAP_{t_{son}}$): 0,3 NM (556 m)

Uçağın pas geçme noktasındaki gerçek hız değeri Eşitlik (9-1) dikkate alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$TAS = k \times IAS$$

$$TAS = 1,0875 \times 240 = 261 \text{ kt} = 134 \text{ m/s}$$

Belirlenen bu hız değerinde 15 saniyelik uçuşa karşılık gelecek geçiş mesafesi (t) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$t = 15 \times \text{TAS} \quad (9 - 5)$$

$$t = 15 \times 134 = 2010 \text{ m}$$

Bu hesaplamalar doğrultusunda pas geçme noktası (MAPt) ile tırmanışa başlama noktası (SOCWP) arasındaki mesafe (N) aşağıdaki eşitliğe göre belirlenir.

$$N = \text{MAPt}_{\text{son}} + t \quad (9 - 6)$$

$$N = 556 + 2010 = 2566 \text{ m}$$

Uçak, MAPt'dan 2566 m sonra SOCWP'e ulaşacak ve bu noktadan itibaren pist ekseni boyunca tırmanmaya devam ederek pas geçme dönüş noktası, WP7'ye (x:304075, y:4408943) ulaştığında 5000 ft irtifa değerini almış olacaktır.

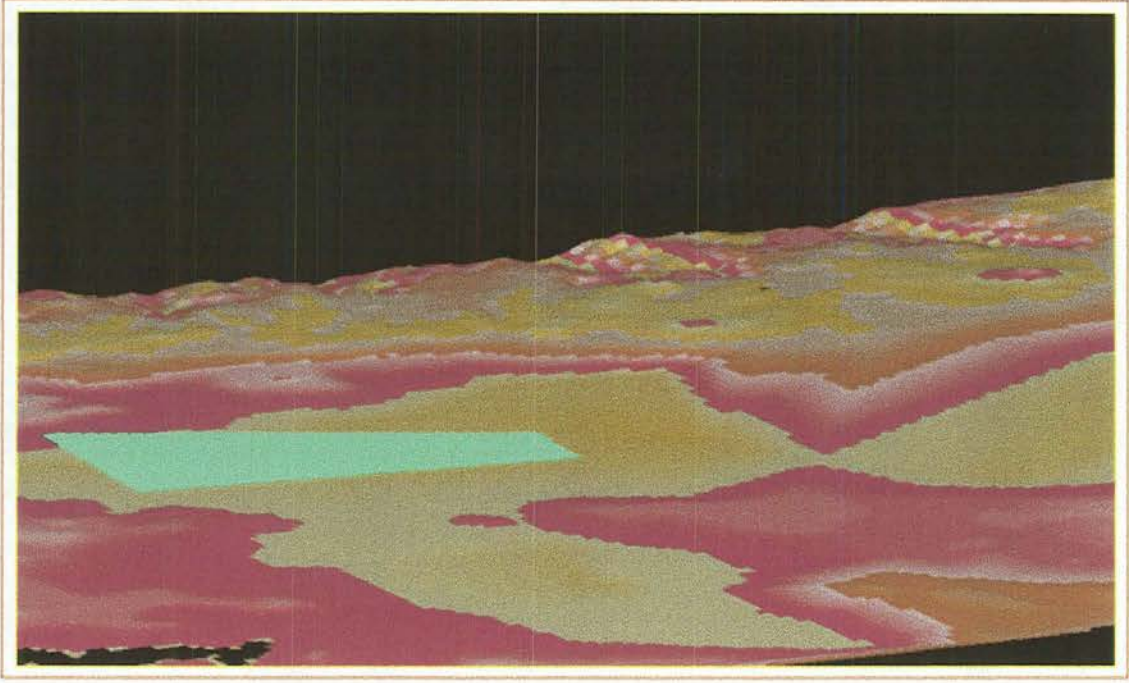
Bu aşamaya kadar oluşturulan pas geçme safhası engeller üzerinden emniyetli geçiş payı da hesaba katılarak topografya üzerine konumlandırıldığında yüzeyi delen herhangi bir kritik engel bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 9.12).

Şekil 9.13.'de topografya üzerine konumlandırılmış son yaklaşma ve pas geçme safhalarının birlikte görünümü verilmektedir.

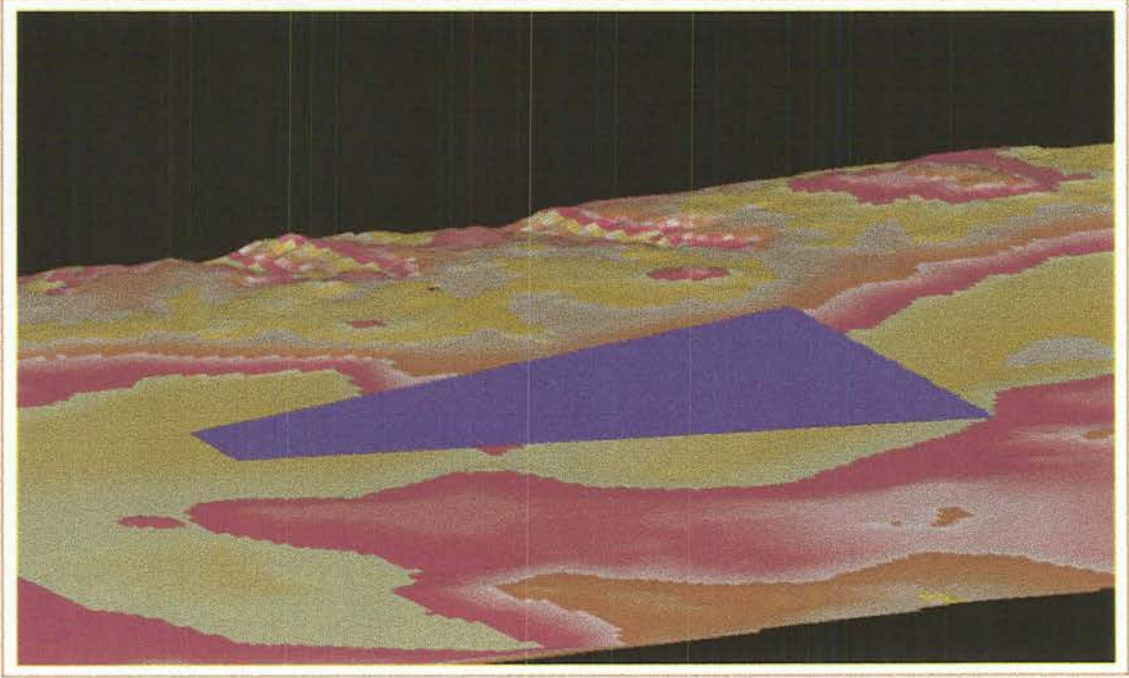
Bu aşamadan sonra uçağın bir dönüş manevrası ile tekrar bekleme patern üzerine gönderilmesi hedeflenmiştir. Pas geçen uçak meydan kontrol sorumluluğundan çıkıp yaklaşma kontrol sorumluluğuna devredilir ve pilotun tekrar iniş istemesi ile önceki işlem aynen tekrar edilir.

9.4.2. Pas Geçme Dönüş Alanının Oluşturulması

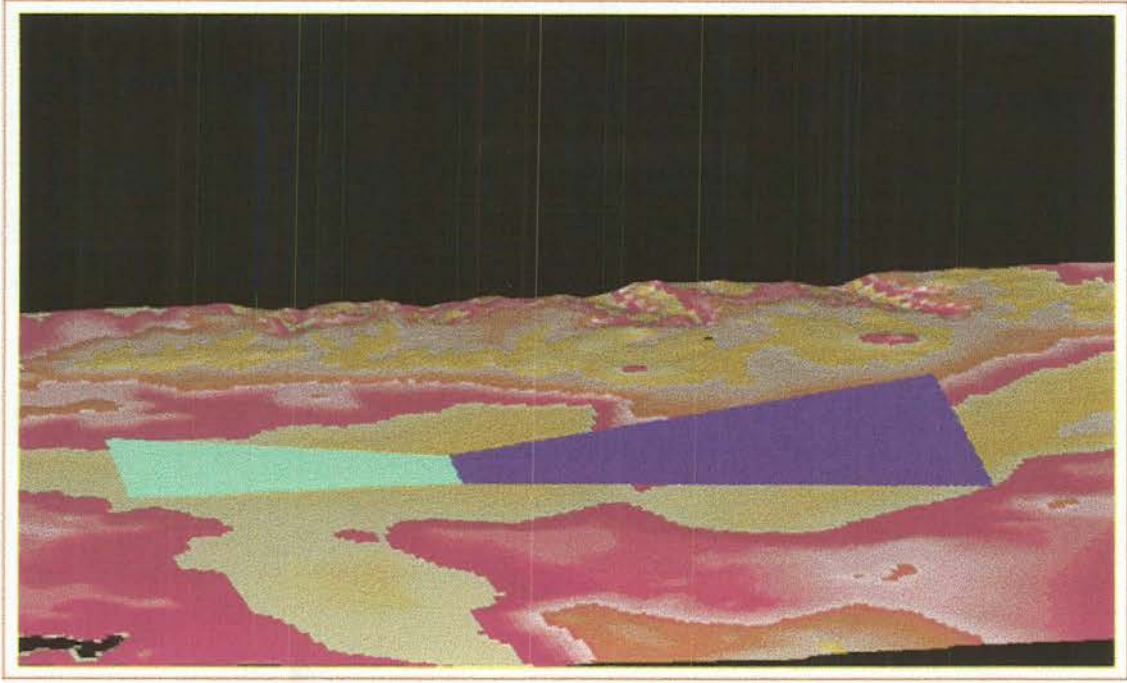
Uçağın WP7'den itibaren emniyetli şekilde dönüş gerçekleştirebilmesi için pas geçme dönüş alanının belirlenmesi şarttır. Şekil 9.14.'de belirtildiği gibi, uygun şartlarda uçağın kırmızı ile belirlenen yörüngeyi takip etmesi, dönüş hareketine rüzgar etkilerinin ilave edilmesi gerekir. Ancak koruma alanı içinde olmak üzere savrulmalar ve bu noktalardan itibaren rüzgar etkileri hesaba



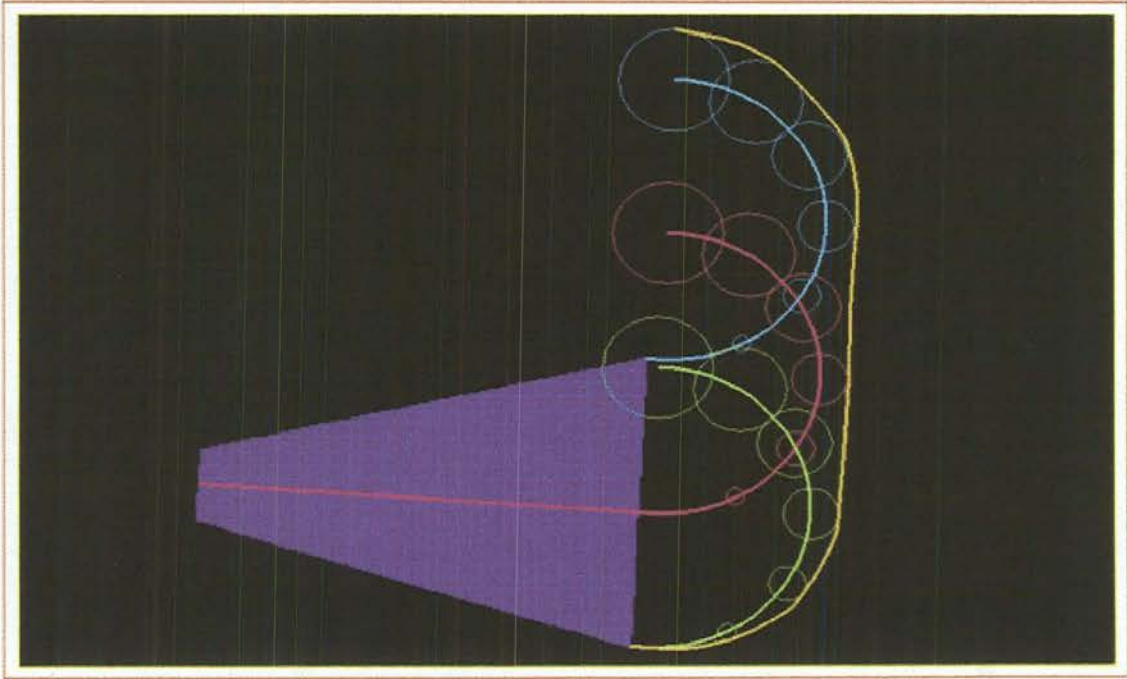
Şekil 9.11. Son yaklaşma safhası



Şekil 9.12. Paşgeçme safhası



Şekil 9.13. Son yaklaşma ve pas geçme safhaları



Şekil 9.14. Pas geçme dönüş alanının oluşturulması.

katıldığında uçağın sarı renk ile belirlenen hat içinde kalma olasılığı vardır. Böylelikle pas geçme dönüş alanı tüm olasılıklar hesaba katılarak en geniş hali ile belirlenmiş olacaktır.

Bu amaç doğrultusunda kullanılan parametreler ve yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir;

IAS: 240 kt

T: ISA + 15°C

İrtifa: 5000 ft

k: 1,1059

Dönüş Açısı (α): 25°

g: 9,81 m/s²

GPS toleransı: 100 m

Rüzgar hızı (Wv): 30 kt = 15,45 m/s

C kategorisindeki bir uçak için maksimum pas geçme IAS değeri 240 kt olduğuna göre Eşitlik (9-1) dikkate alınarak hesaplamalarda kullanılacak TAS değeri aşağıda verilmiştir.

$$TAS = 1,1059 \times 240 = 265,41 \text{ kt} = 136,5 \text{ m/s}$$

WP7'den itibaren 3 saniyelik pilot reaksiyon zamanı ve 3 saniyelik dönüş başlama zamanı olmak üzere toplam 6 saniyelik uçuş teknik toleransı (c) aşağıda verilmiştir.

$$c = 6 \times 136,5 = 819 \text{ m}$$

819 m'lik toleransdan itibaren Eşitlik (9-2)'e göre hesaplanan dönüş yarıçapı (R) değeri ile dönüş gerçekleştirilecektir ve bu dönüş sonrası uçak WP8'e ulaşacaktır.

$$R = \frac{(136,5)^2}{9,81 \times \tan 15^\circ} = 7088 \text{ m}$$

Aşağıda verilen hesaplamalarda dönüş yörüngesi üzerine etkiyen rüzgar etkisi (W_e) değerleri Eşitlik (5-4)'e göre her 30° için belirlenip üzerine GPS toleransı ilave edilmiştir.

$$\theta = 30^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 513 \text{ m}$$

$$\theta = 60^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 926 \text{ m}$$

$$\theta = 90^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 1339 \text{ m}$$

$$\theta = 120^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 1752 \text{ m}$$

$$\theta = 150^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 2165 \text{ m}$$

$$\theta = 180^\circ \Rightarrow W_e + \text{GPS toleransı} = 2578 \text{ m}$$

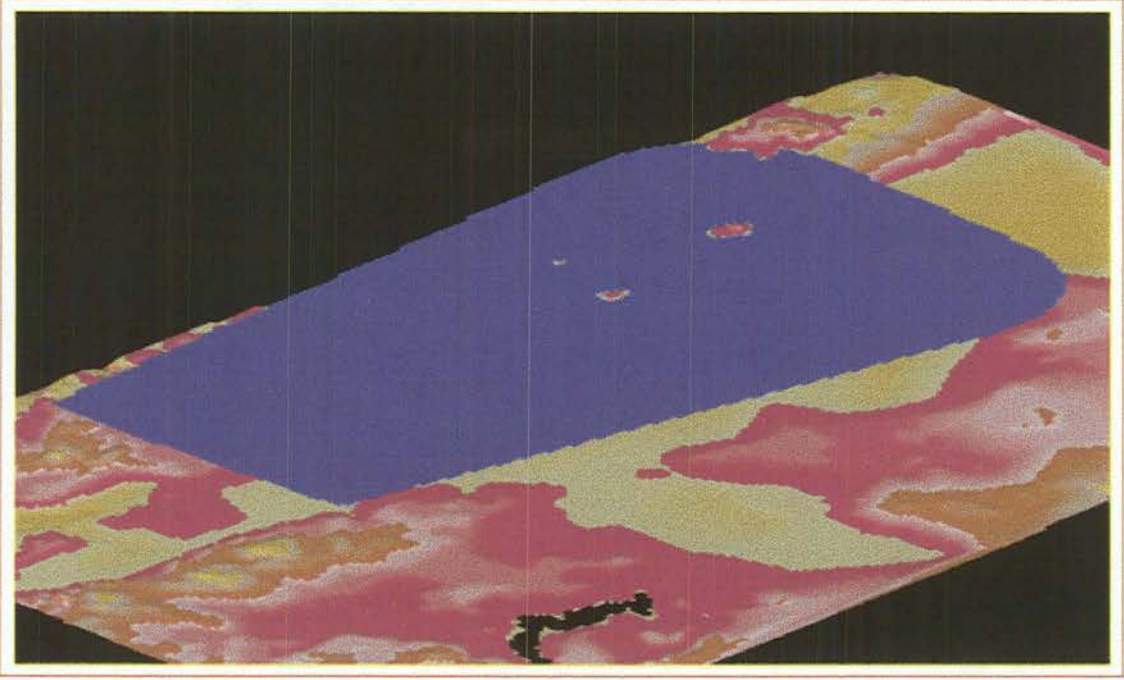
Yapılan tüm hesaplamalar doğrultusunda dönüş yörüngesi üzerine rüzgar etkisi ve GPS toleranslarının ilave edilmesi ile pas geçme dönüş alanı oluşturulmuştur.

9.4.3. Dönerek Pas Geçme Safhasının Topografya Üzerine Konumlandırılması

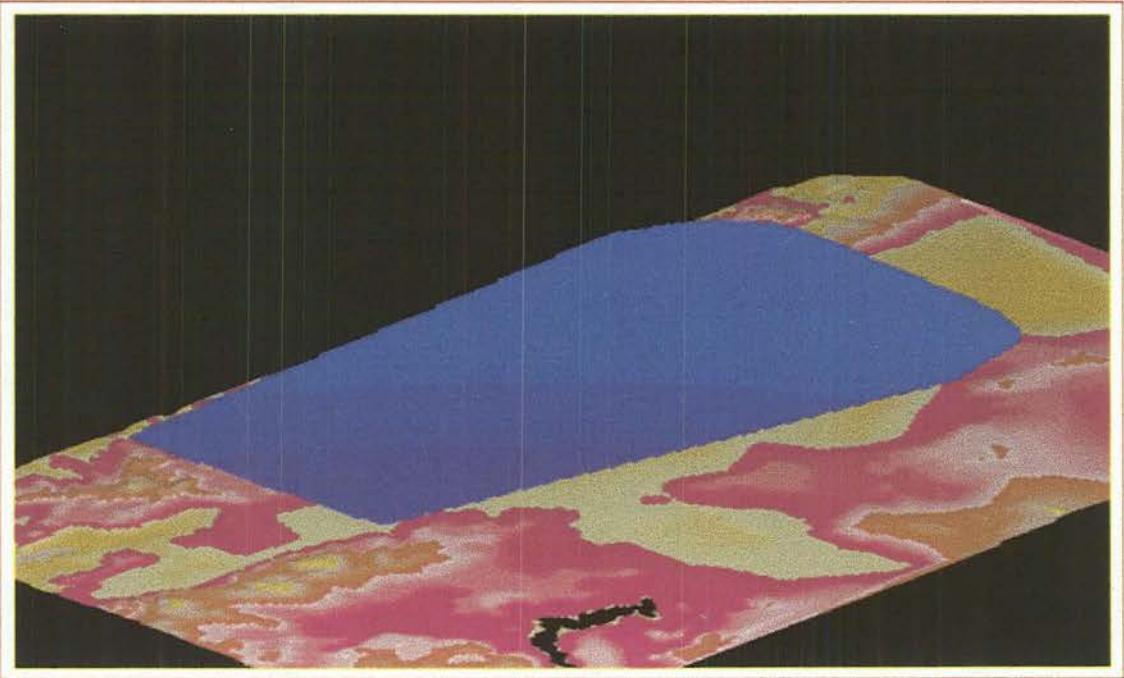
WP7'de 5000 ft'de olan uçak dönüş manevrası ile yine aynı irtifa değerinde bekleme patern üzerine gönderildiği hesaba katılarak oluşturulan pas geçme safhası, topografya üzerine konumlandırıldığında, engellerin yüzeyi deldiği gözlenmiştir (Şekil 9.15). Bu irtifa değerinde emniyetli bir pas geçme gerçekleştirilemeyeceği sonucuna ulaşılmıştır.

WP7'de 6000 ft irtifada olan uçak dönerek 6500 ft irtifa değerini alacak, WP8 ve ardından WP9'u takip ederek bekleme paternindeki WP2 üzerinden bekleme girişini gerçekleştirecektir. Bu şekilde belirlenen pas geçme safhası topografya üzerine konumlandırıldığında, emniyetli uçuş gerçekleştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 9.16.).

Pas geçme aşamasında pilot yaklaşma kontrol ile tekrar irtibata geçerek bekleme patern üzerine 6500 ft irtifa ile gelecek ve inişini istemesi üzerine yaklaşma kontrolün sorumluluğunda, kontrolörün verdiği talimatlar doğrultusunda inişi tekrarlayacaktır.



Şekil 9.15. 5000 ft irtifada dönerek pas geçme



Şekil 9.16. 6000 ft irtifada dönerek pas geçme

9.5. Turlu Yaklaşma (Görerek Manevra)

Turlu yaklaşma alanı, diğer ismi ile görerek manevra alanı içerisinde OCA/H değerlerine sadık kalmak koşulu ile iniş turlu (görerek manevra) olarak gerçekleştirilebilir. Turlu yaklaşma OCA/H değerine alçalan pilot, görerek şartlar oluştu ise turlu yaklaşma ile meydanadaki herhangi bir pist başına iniş gerçekleştirebilir.

9.5.1. Anadolu Havaalanı Turlu Yaklaşma Alanları

Anadolu havaalanı turlu yaklaşma alanlarının belirlenmesi için kullanılan parametreler ve hesaplamalar aşağıda verilmiştir;

$$IAS_{cat-A} = 100 \text{ kt}$$

$$IAS_{cat-B} = 135 \text{ kt}$$

$$IAS_{cat-C} = 180 \text{ kt}$$

$$\text{Dönüş Açısı}(\alpha) = 20^\circ$$

$$\text{Rüzgar Hızı} (Wv) = 25 \text{ kt} = 12,86 \text{ m/s}$$

$$k = 1,0892$$

Kategori A, B, C uçakların herbiri için turlu yaklaşma alanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Kategori A, B ve C uçakların turlu yaklaşma TAS değerleri Eşitlik (9-1) dikkate alınarak aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$$TAS_{cat-A} = 1,0892 \cdot 100 = 108,92 \text{ kt} = 56,03 \text{ m/s}$$

$$TAS_{cat-B} = 1,0892 \cdot 135 = 147,042 \text{ kt} = 75,64 \text{ m/s}$$

$$TAS_{cat-C} = 1,0892 \cdot 180 = 196,056 \text{ kt} = 100,86 \text{ m/s}$$

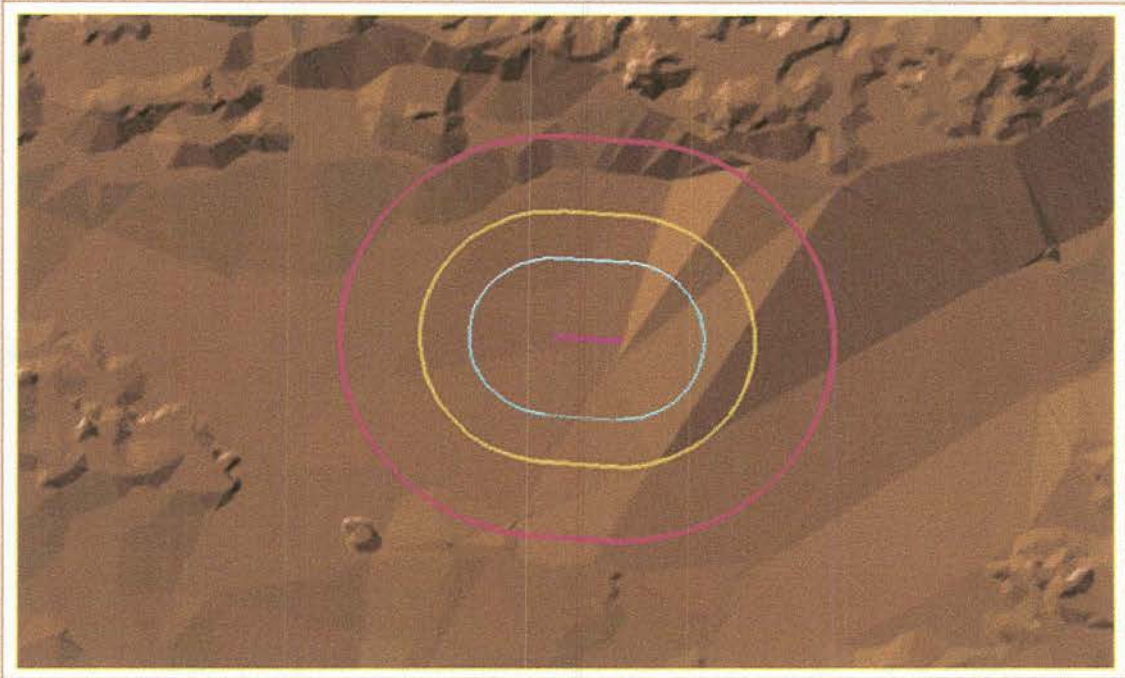
Bu gerçek hız değerleri ile Eşitlik (5-5)'den yararlanılarak turlu yaklaşma eşik noktasından yarıçap (Ω) değerleri belirlenmiştir.

$$\Omega_{\text{cat-A}} = 1,7354\text{NM} = 3214 \text{ m}$$

$$\Omega_{\text{cat-B}} = 2,7688\text{NM} = 5128 \text{ m}$$

$$\Omega_{\text{cat-C}} = 4,4114\text{NM} = 8170 \text{ m}$$

Pist başlarından itibaren her bir kategori için hesaplanan eşik noktasından yarıçap değerleri topografya üzerinde yerleştirildiğinde Şekil 9.17’de görüldüğü gibi mavi alan kategori A turlu yaklaşma alanı, sarı alan kategori B turlu yaklaşma alanı, kırmızı alan kategori C turlu yaklaşma alanı olarak belirlenmiştir.



Şekil 9.17. Turlu yaklaşma alanlarının topografya üzerine konumlandırılması

9.5.2. Turlu Yaklaşma OCA/H Değerlerinin Belirlenmesi

Anadolu meydanı için belirlenen A, B ve C kategorisi turlu yaklaşma alanlarının topografya üzerine konumlandırılması ile her bir alan içerisinde kalan en yüksek engel değerleri aşağıda verilmiştir;

Kategori A alanında : 993 m

Kategori B alanında : 1050 m

Kategori C alanında : 1164 m

Belirlenen yükseklikler, Çizelge (5.6)'daki turlu yaklaşma MOC değerleri ve 20 metrelik bitki örtüsü değerlerinin toplanması ile her bir kategori için OCA/H değerleri aşağıda hesaplanmıştır.

$$OCA_{\text{cat-A}} = 993 + 90 + 20 = 1103 \text{ m} = 3618 \text{ ft}, \quad OCA/H_{\text{cat-A}} = 3618' (1030')$$

$$OCA_{\text{cat-B}} = 1050 + 90 + 20 = 1160 \text{ m} = 3805 \text{ ft}, \quad OCA/H_{\text{cat-B}} = 3808' (1220')$$

$$OCA_{\text{cat-C}} = 1164 + 120 + 20 = 1304 \text{ m} = 4277 \text{ ft}, \quad OCA/H_{\text{cat-C}} = 4277' (1689')$$

9.6. Koordinat Dönüşümleri

Çalışmada MGE-SX bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır. Bu yazılımda koordinat sistemi olarak UTM kullanılmıştır. Ancak havacılıkta yaygın olarak elipsoidal koordinatlar kullanılmaktadır. UTM koordinatlardan elipsoidal koordinatlara dönüşümler Çizelge 9.1'de verilmiştir.

9.7. Anadolu Havaalanı Aletli Yaklaşma Haritası

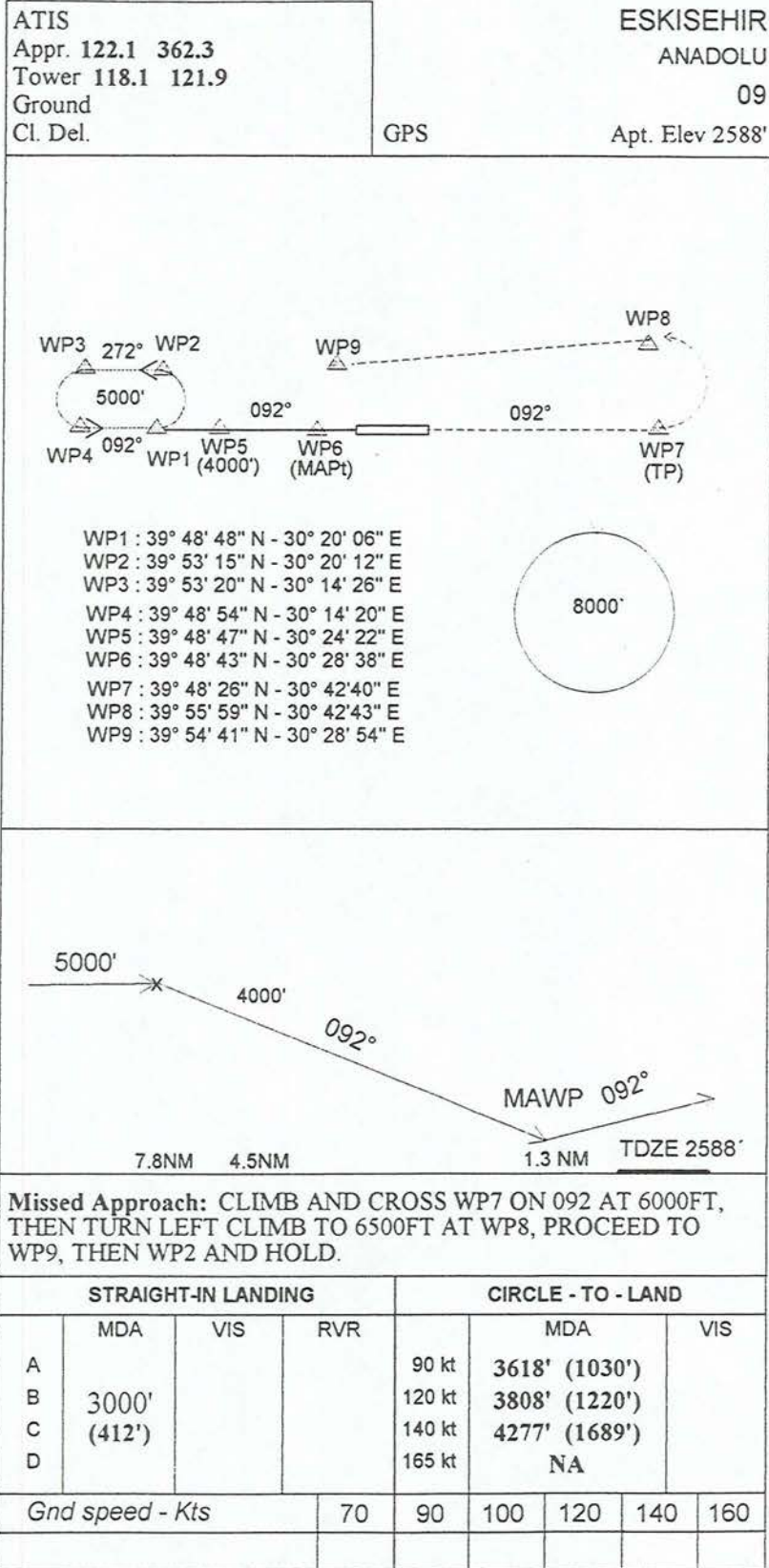
Yapılan çalışmalar sonucunda Anadolu Havaalanı 09 pisti GPS yaklaşma yörüngeleri belirlenmiş Anadolu havaalanı aletli yaklaşma haritası (IAC-Instrument Approach Chart) hazırlanmıştır (Şekil 9.18).

Minimum 8000 ft geliş irtifası ile yol safhasında olan uçak bekleme paternine giriş ile 5000 ft irtifa değerini alacaktır. 5000 ft'de bekleme paternini terk eden uçak WP1'den itibaren %5 eğim ile pist eksenini boyunca direkt yaklaşıma devam edecek, pist başından 4,5 NM uzaklıktaki WP5'de 4000 ft, pas

geçme noktası olan WP6'da 3000 ft irtifa değerini alacaktır. Eğer pilot pisti görüyor ve inişini engleyecek bir neden yok ise, Anadolu Havaalanı 09 pistine inecektir. İnişini gerçekleştirememesi durumunda, 3000 ft irtifada bulunduğu WP6'dan itibaren tırmanışa geçecek ve WP7'ye ulaştığında 6000 ft irtifa değerini almış olacaktır. Sola dönüş ile 6500 ft irtifa değerine yükselerek WP8 üzerine gelecek, WP9'u takip ederek tekrar bekleme paternindeki WP2'e ulaşacaktır. Böylelikle beklemeye alınan uçak aynı yöntemi takip ederek tekrar inişini deneyebilecektir.

Çizelge 9.1. UTM koordinatlardan elipsoidal koordinatlara dönüşümler.

Nokta	UTM	Elipsoidal
WP1	271879, 4410537	39° 48' 48" N 30° 20' 06" E
WP2	272264, 4418744	39° 53' 15" N 30° 20' 12" E
WP3	264050, 4419160	39° 53' 20" N 30° 14' 26" E
WP4	263665, 4410953	39° 48' 54" N 30° 14' 20" E
WP5 (4000ft)	277973, 4410326	39° 48' 47" N 30° 24' 22" E
WP6 (MAPt)	284084, 4410017	39° 48' 43" N 30° 28' 38" E
WP7 (TP)	304075, 4408943	39° 48' 26" N 30° 42' 40" E
WP8	304494, 4422957	39° 55' 59" N 30° 42' 43" E
WP9	284272, 4421048	39° 54' 41" N 30° 28' 54" E
09WP	286350, 4409877	39° 48' 40" N 30° 30' 15" E
27WP	289053, 4409680	39° 48' 36" N 30° 32' 08" E



Şekil 9.18. Anadolu Havaalanı 09 pisti GPS yaklaşma haritası

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Aletli yaklaşma ve iniş yörüngeleri radyo navigasyon sistemlerinden farklı olarak, uyduya dayalı bir sistem olan GPS'e göre belirlenmiştir. Uyduya dayalı bir sistem ile navigasyon gerçekleştirilmesi, havaalanlarındaki yere bağlı sistemlerin kurulması ve bakım maliyetlerini ortadan kaldırmıştır.
- Aletli yaklaşma ve iniş yörüngeleri tasarımında, bu çalışmalar için çok yeni bir yöntem olan CBS kullanılmıştır. CBS kullanılarak havaalanına yaklaşma ve iniş yörüngeleri emniyetli, uçağı gereksiz ve zahmetli manevralara sokmayacak şekilde basit, yakıt ve zaman tasarrufu sağlayacak şekilde ekonomik olarak gerçekleştirilmiştir.
- Aletli yaklaşma ve iniş yörüngeleri tasarımı tümü ile bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. En uygun konum belirleme ve kontrol işlemleri üç boyutlu olarak bilgisayarda gözlenmiş ve sonuçlar anında herhangi bir değişikliğe olanak tanıyacak şekilde bilgisayarda saklanmıştır.
- Anadolu Havaalanı 09 pisti için, pist ekseninde ve pist başından 5 NM, 6 NM ve 7 NM uzaklıkta bekleme paterni için uygun konum araştırılmış fakat bulunamamıştır. Pist başından 8 NM uzaklıkta uygun konum bulunmuş fakat 7 ile 8 NM arasında uygun konum arayışına devam edilmiştir. 09 pist başından 7,8 NM uzaklıkta bekleme paterni için en uygun konum belirlenmiştir.
- En uygun yaklaşma eğimi ile piste yaklaşma yapıldığında, oluşturulan son yaklaşma yüzeyini delen bir engel bulunamamıştır.
- Pas geçme safhasında 5000 ft irtifa değerine kadar tırmanarak sola dönüş ile pas geçildiğinde pas geçme yüzeyini delen engeller belirlenmiştir. Bu nedenle uçak 6000 ft irtifa değerine kadar tırmandırılmış ve sola dönüş ile 6500 ft irtifa değeri aldırılmıştır.
- Çalışma bölgesi olarak seçilen Anadolu Havaalanı 09 pisti GPS yaklaşma haritası çıkarılmıştır. 09 pistine NDB ve DME ile yapılan yaklaşma ve inişler 11 dakika sürmekte iken, GPS yaklaşma ve iniş yörüngeleri 7 dakika almaktadır. Böylelikle her uçak için 4 dakikalık zaman ve yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

- GPS ile direk yaklaşma şartları mutlak sağlanmaktadır. İniş yörüngesi pist eksenini doğrultusunda belirlenmiştir.
- GPS'e göre belirlenen bekleme patern, çift bekleme noktalı olarak tasarımılandığı için beklemeye girişler basitleşmiştir.

Bu çalışma sonrası aşağıdaki öneriler sunulmuştur;

- Türkiye'deki tüm havaalanları için aynı teknikler kullanılarak GPS yaklaşma haritaları çıkarılabilir.
- Yapılan bu çalışma örnek alınarak, sadece yaklaşma ve iniş yörüngeleri için değil, kalkış yörüngeleri için de benzer bir uygulama yapılabilir.
- CBS'nin katman yapısından yararlanılarak, Türk hava sahasındaki yollar farklı uçuş seviyelerine göre sınıflandırılarak düzenlenebilir. Bu çalışma Türk hava sahası üzerindeki hava trafik akışını büyük ölçüde rahatlatacaktır. Özellikle böyle bir çalışmaya çok yoğun bir hava sahasına sahip olan İstanbul hava sahasında büyük gereksinim vardır.
- Bu çalışma, kurulması tasarım aşamasında olan havaalanları için aday arazilerin hava sahası açısından uygun olup olmadıklarının belirlenmesinde kullanılabilir. Hava sahası ve havaalanı civarındaki yükseklikler gözönünde bulundurularak, kurulacak havaalanlarının yer seçimi karar aşamasında yardımcı olur.

KAYNAKLAR

1. Taylor, R. L., *Instrument Flying*. Mcmillan Publishing, Newyork, 1986.
2. NOLAN, M. S., *Fundamental of Air Traffic Control*. Wadswort Publishing, 1990.
3. CONNES, K., *The Loran GPS & NAV/COMM GUIDE*. Butter field Press, U.S.A., 1992.
4. OKTAL, H., *Radyo Seyrüsefer Yardımcıları Ders Notları*, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu , Eskişehir, 1995.
5. ESCHENBACH, R., *GPS Application in General Aviation*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1994.
6. KALTENHAUSER, H., *Radio Navigation*, Institute of Air Navigation Services, EUROCONTROL, Luxembourg, 1993.
7. SCOTT, I. S., *Integration of Satellite Navigation Systems (GPS) with Inertial Navigation Systems*, Tubitac-Sage, Ankara, Turkey, September 15-17 1997.
8. International Civil Aviation Organisation (ICAO), *Procedures For Air Navigation Services – Aircraft Operations (Doc 8168 PANS-OPS)*, Volume II, Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, 1993.
9. PROST-BOUCLE, J.M., *PANS-OPS Basic Principles*, ENAC, Toulouse, 1994.
10. BOUSQUET, C., *MANUAL D'AIDE A LA PRATIQUE DE LA CONCEPTION DES PROCEDURES DE VOL AUX INSTRUMENT*, ENAC, Toulouse, 1989.
11. CABRIERES, D., CHEVALIER. P., *PROCEDURES DE VOL AUX INSTRUMENTS*, ENAC, Toulouse, 1990.
12. EREN, K., UZEL, T., *GPS ÖLÇMELERİ*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1995.
13. THE NAVSTAR GPS SYSTEM, AGARD Lecture Series, No: 161, 1988.
14. ELLIOT, D., *Understanding GPS Principles and Applications*, Artech House, Boston-London, 1996.
15. ATASOY, B., *Global Positionning System*, UTED, 24-29, 1996.

16. KENNEDY, M., *The Global Positioning System and GIS: An Introduction*, An Arber Press Inc., Michigan, 1996.
17. YILMAZ, N., *Global Positioning System (GPS)*, Havacılık Elektroniği, Yıl: 1, Sayı:2 25-27, Ocak 1995.
18. PELLE, A., *Mise en Service du Système de Radionavigation*, Navigation Revue Technique de l'Institut Français de Navigation, 183, Volume 46, 26-28, 1998.
19. PARKINSON, B. W., *GLOBAL POSITIONNING SYSTEM : Theory and Applications Volume I*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1996.
20. JONQUIERE, J. L., *Système de Navigation par Sattellites NAVSTAR-GPS*, ENAC, France, 1992.
21. MOULIN, M., ROSSO, R., *Evolution des Système de Radionavigation par Satellites*, ENAC, France, 1995.
22. CAREL, O., *Les Système de Navigation par Satellites et l'Aviation Civile Point et Perspectives*, Nouvelle Revue d'Aéronautique et d'Astronautique, 3, 18-21, 1993.
23. BRAFF, R., *Application of GPS to Air Traffic Control*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1994.
24. ERERTEM, C., EKMEKÇİ, A., *Küresel Navigasyon ve Uydu Sistemleri*, THY Bildirisi, 19.01.1995.
25. BRAFF, R., *Application of GPS to Aircraft Navigation*, Center for Advanced Aviation System Development, Virginia, 1993.
26. LOGSDON, T., *The Navstar Global positionning System*, Van Nostrand Reinhold, Newyork, 1994.
27. LEICK, A., *GPS Satellite Surveying*, A Willey – Interscience Publication, Newyork, 1995.
28. BRADLEY, P., *Wide Area Augmentation*, Busines & Commercial Aviation, 86-91, 1997.
29. KUNCHES, J.M., *Now It Gets Interesting: GPS*, Navigation Aeriene Maritime Spacial Terrete, Revue Technique de l'Institut Français de Navigation, volume 46, numéro 182, 203-218, Avril 1998.
30. GEORGE, F., *SCAT I stepping Stones to LAAS*, Busines & Commercial Aviation, 92-95, 1997.

31. Klass, P. J., Aviation Week & Space Technology, June 1, 1998.
32. Airspace Design, *Proceed as Planned*, Air traffic Management, 57-58, May-June 1998.
33. Trimbe Navigation Limited, *Navigation for 21 st Century*, Avionics Rotor and Wing Magazine 1/96, 4-6, 1996.
34. FRENCH. R. L., *GPS Navigation Applications*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1995.
35. PELEGRIN, M., *La Navigation Par Satellites: Present et Avenir*, Nouvelle Revue Aeronautique et Astronautique, N°1, 17-26, Janvier-Fevrier 1996.
36. Global Navigation, Air Traffic Management, 6, 18-23, November-December 1997.
37. International Civil Aviation Organisation (ICAO), *Annex-10 Aeronautical Telecommunications*, 1993.
38. MIRRO, G., *Navigation par Satellites et Procédures aux Instruments*, Nouvelle Revue d'Aéronautique et d'Astronautique, N°3, 30-36, 1994 .
39. *Le fonctionnement Des Systèmes de Navigation par Satellite*, Nouvelle Revue d'Aéronautique et d'Astronautique, N°3, 22-27, 1993 .
40. Drection de la Navigation Aerienne (DNA), *Navigation de Surface Basées sur des Moyens Terrestres*, France, 1997.
41. Organisation de l'Aviation Civile Internationale, *Groupe d'Experts sur le Franchissement des Obstacles*, Onzième Réunion, Montreal, 1997.
42. Drection de la Navigation Aerienne (DNA), *Procédures RNAV Basée sur un VOR/DME de Référence*, France, 1997.
43. AYDAY, C., HOŞCAN, Y., *Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) Yer Bilimlerinde Kullanılması ve Uygulanabilirliği*, Bilgisayar Dergisi, 9. Türkiye Bilgisayar Kongresi ve Uygulama Gösterileri, İstanbul 25-29 Mayıs 1992.
44. ALKIŞ. Z., *Yönetimlerde Karar Destek Sistemi Olarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Önemi*, CBS 96 Sempozyumu, İTÜ İnşaat fakültesi Matbaası, 1997.
45. AYDAY, C., *Coğrafi Bilgi Sistemleri Kurs Notları*, Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü ,Eskişehir, 30 Haziran - 5 Temmuz 1997.

46. Maden Mühendisliğinde CBS Kullanımı, UYGUÇGİL, H. Yüksek lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Temmuz 1994, 51.
47. KURT, M., *Sayısal Arazi Modeli Seminer Notu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1998.
48. ÇÖLTEKİN, A., DÜZGÜN, F., *Uydu Görüntüleri (SPOT) ile Sayısal Arazi Modeli Üretimine Yönelik Bir Uygulama*, CBS 96 Sempozyumu, İTÜ İnşaat fakültesi Matbaası, 1997.
49. BAŞARANER, M., *Kartografya Özet Notlar*, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Kartografya Anabilim Dalı, İstanbul, 1998.
50. INTERGRAPH, *MGE Terrain Analyst Users Guide*, December 1994.
51. INTERGRAPH, *MGE Terrain Modeller Reference Manual*, December 1991.

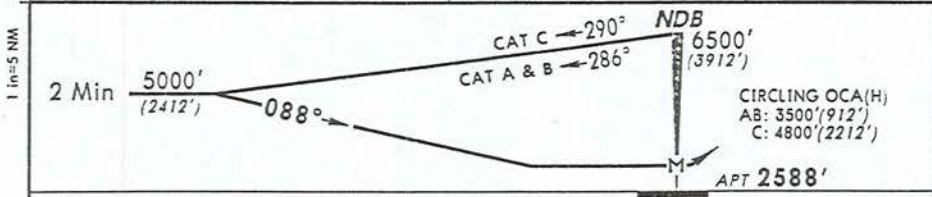
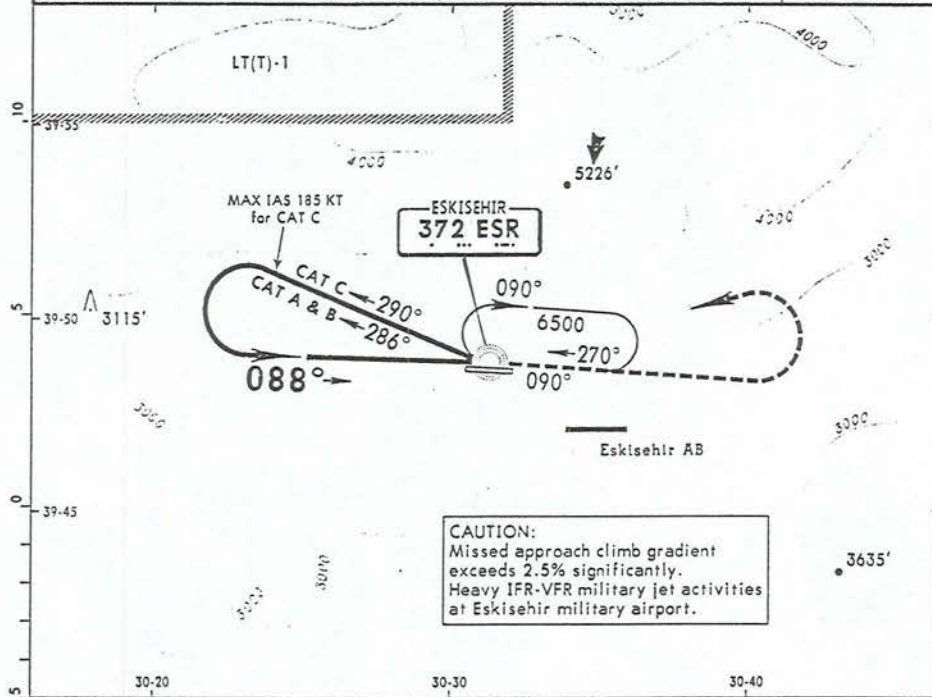
EKLER

LTBY ANADOLU (16-2) 13 FEB 98



ESKISEHIR, TURKEY
CAT A, B & C NDB

*ANADOLU Tower 118.1 121.9				
NDB ESR 372	Final Apch Crs 088°	Minimum Alt No FAF	MDA(H) Refer to Minimums	Apt Elev 2588'
MISSED APCH: Climb on 090° from NDB to 6000' within 7 NM, then climbing turn LEFT to 6500' proceed to NDB and hold.				8000'
Alt Set: MB Apt Elev: 91 MB Trans level: By ATC Trans alt: 7000' (4412')				
				MSA ESR NDB



		090°	6000'	↑	↑ within 7 NM
MAP at NDB					
STRAIGHT-IN LANDING			CIRCLE-TO-LAND		
			CAUTION: Not authorized South of airport		
PANS OPS 3	A	Max Kts	MDA, H:		
	B	100	3500' (912')		2000m
	C	135	4800' (2212')		4800m
	D	180	NOT APPLICABLE		

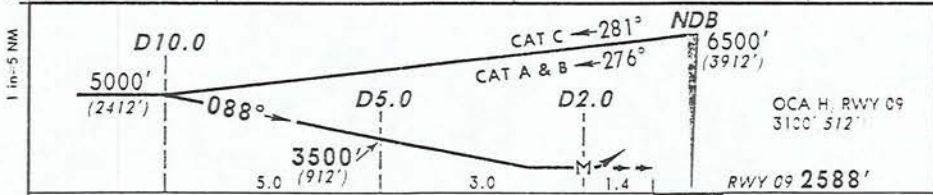
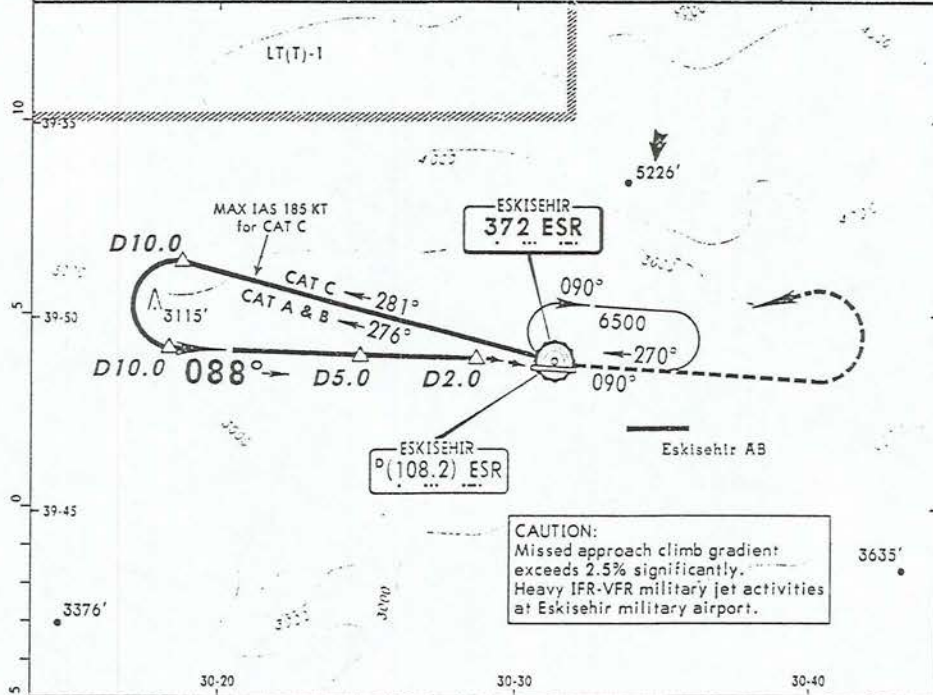
EK-1. Anadolu 09 NDB Yaklaşma Haritası (JEPPESEN, 1998)

LTBY (16-1) 13 FEB 93
ANADOLU



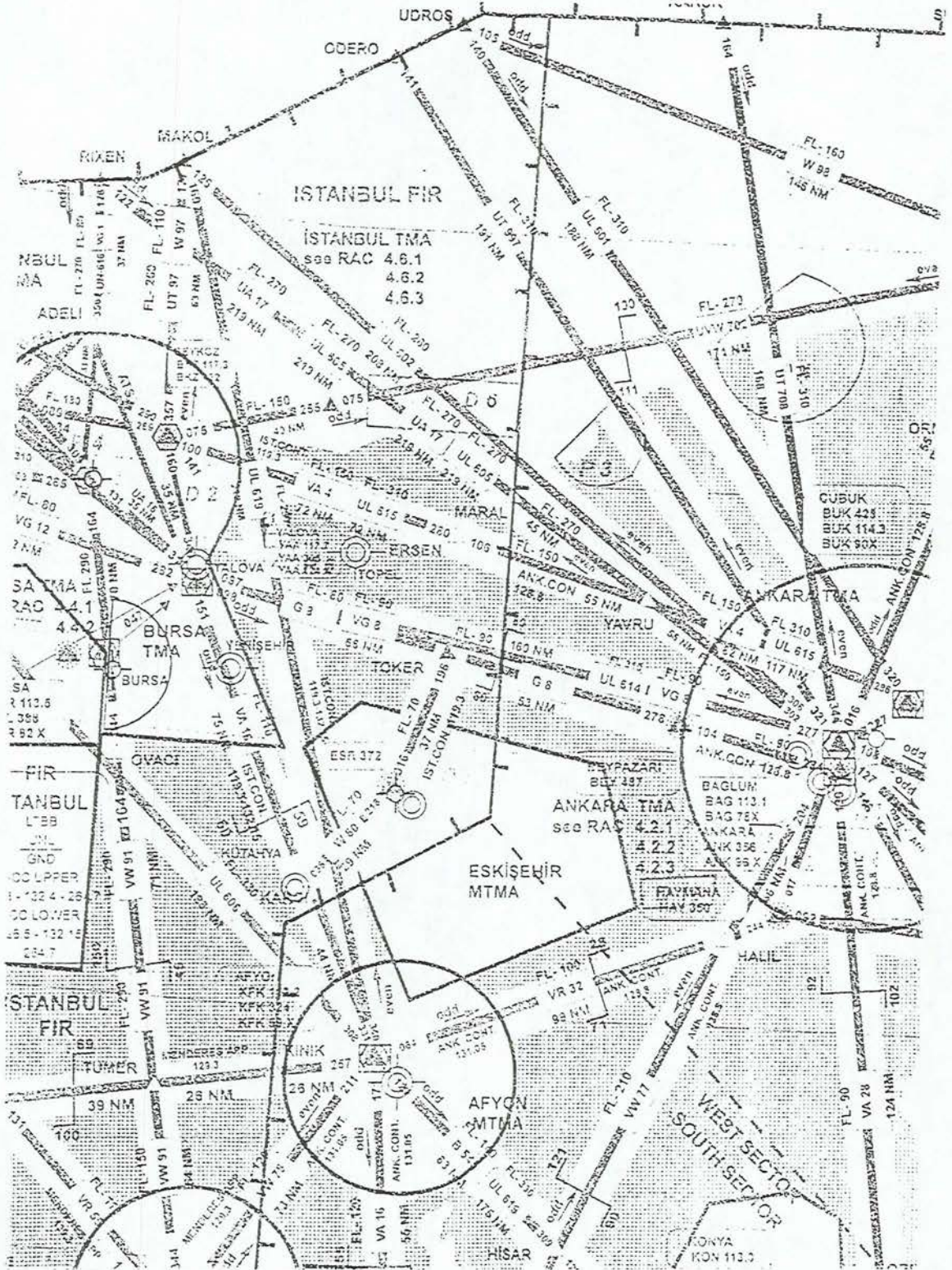
ESKISEHIR, TURKEY
CAT A, B & C NDB DME Rwy 09

*ANADOLU Tower 118.1 121.9					8000'
NDB ESR 372	Final Apch Crs 088°	Minimum Alt D5.0 3500' (912')	MDA H _i 3100' (512')	Apt Elev 2588' RWY 2588'	
MISSED APCH: Climb on 090° from NDB to 6000' within 7 NM, then climbing turn LEFT to 6500' proceed to NDB and hold.					MSA ESR NDB
Alt: Set: MB Rwy Elev: 91 MB Trans level: Bv ATC Trans alt: 7000' (4412')					

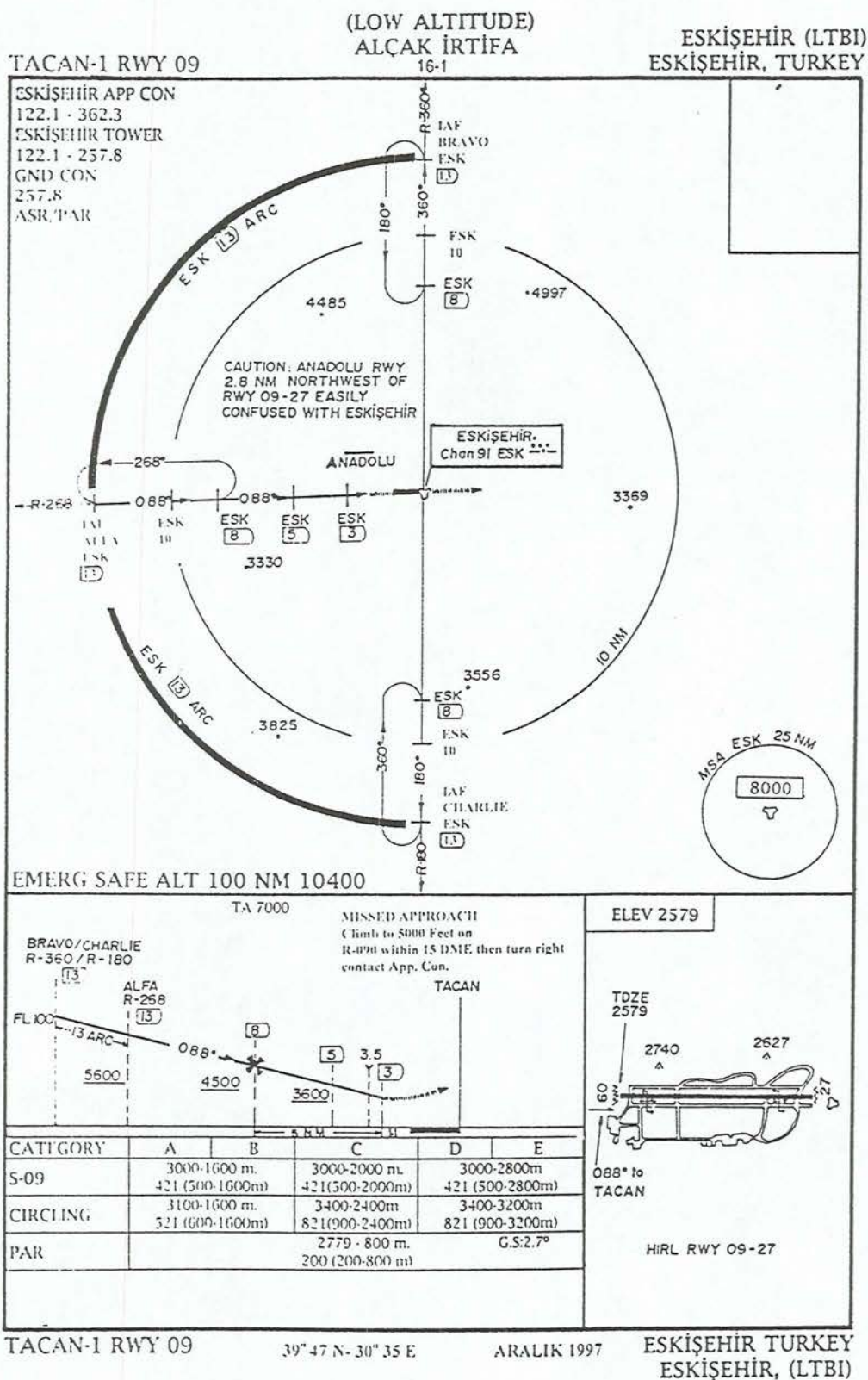


MAP at: D2.0		ALS-Refer to Airport Chart	090°	6000'	within 7 NM
STRAIGHT-IN LANDING RWY 09			CIRCLE-TO-LAND		
MDA H _i 3100' (512')			CAUTION: Not authorized South of airport		
ALS out			Max Crs		
A			100		
B	2600m		135	3500' (912')	2600m
C			180	4800' (2212')	4800m
D	NOT APPLICABLE		D	NOT APPLICABLE	

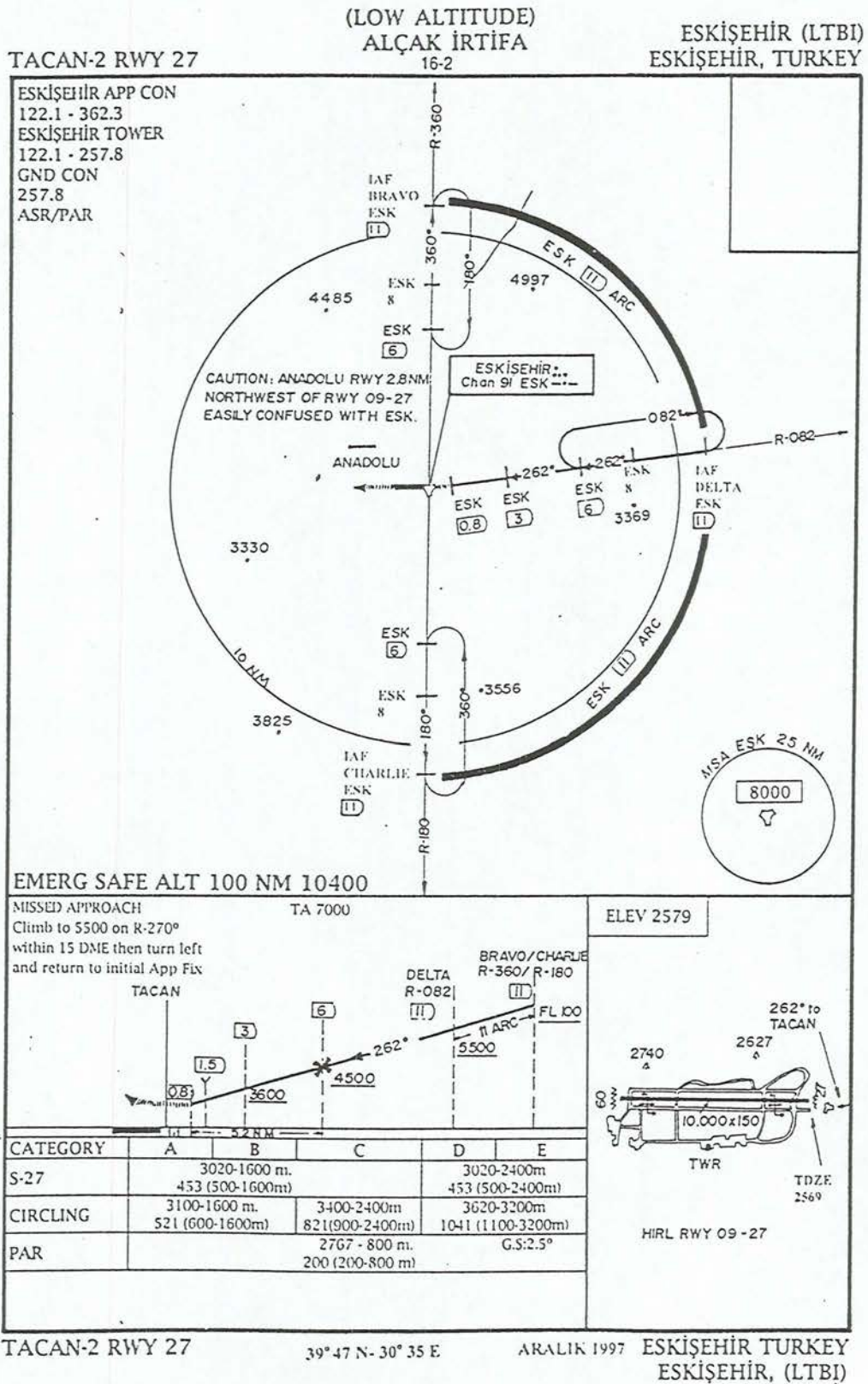
Ek-2. Anadolu 09 NDB-DME Yaklaşma Haritası (JEPPESEN, 1998)



Ek-3. Eskişehir Askeri Terminal Sahası (MTMA) ve Hava Trafik Yolları (DHMİ, 1997)



Ek-4. Eskişehir 09 TACAN-1 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat, 1997)



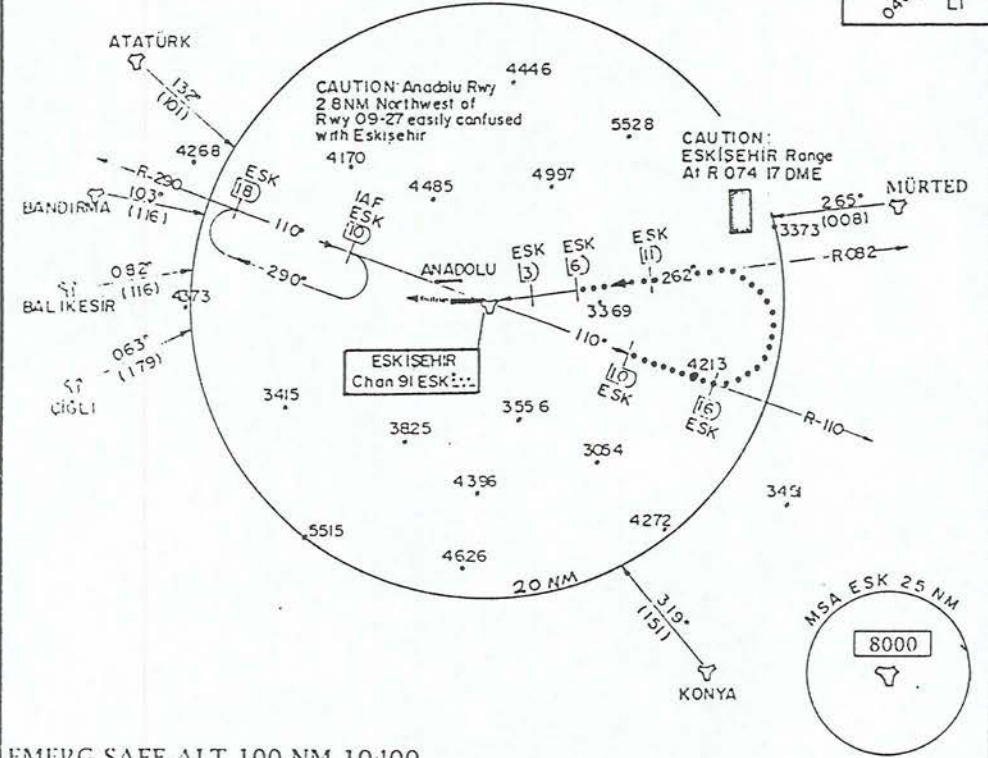
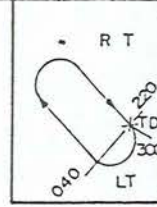
Ek-5. Eskişehir 27 TACAN-2 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat, 1997)

(HIGH ALTITUDE)
YÜKSEK İRTİFA
17-1

ESKİŞEHİR (LTBI)
ESKİŞEHİR, TURKEY

HI-TACAN 3 RWY 27

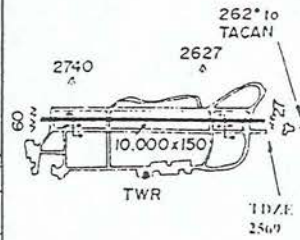
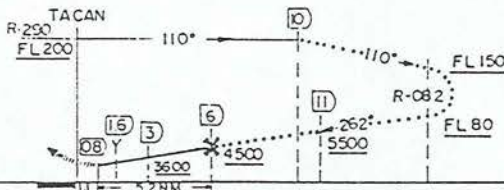
ESKİŞEHİR APP CON
122.1 - 362.3
ESKİŞEHİR TOWER
122.1 - 257.8
GND CON
257.8
ASR PAR



EMERG SAFE ALT 100 NM 10400

MISSED APPROACH TA 7000 Start Left penetration turn at FL 150 Complete at FL 80 Remain within 21 DME

ELEV 2579



CATEGORY	A	B	C	D	E
S-27	3020-1600 m. 453 (500-1600m)			3020-2400m 453 (500-2400m)	
CIRCLING	3100-1600 m. 521 (600-1600m)		3400-2400m 821 (900-2400m)	3620-3200m 1041 (1100-3200m)	
PAR			2767 - 800 m. 200 (200-800 m)		G.S:2.5°

HIRL RWY 09-27

HI-TACAN 3 RWY 27

39° 47' N - 30° 35' E

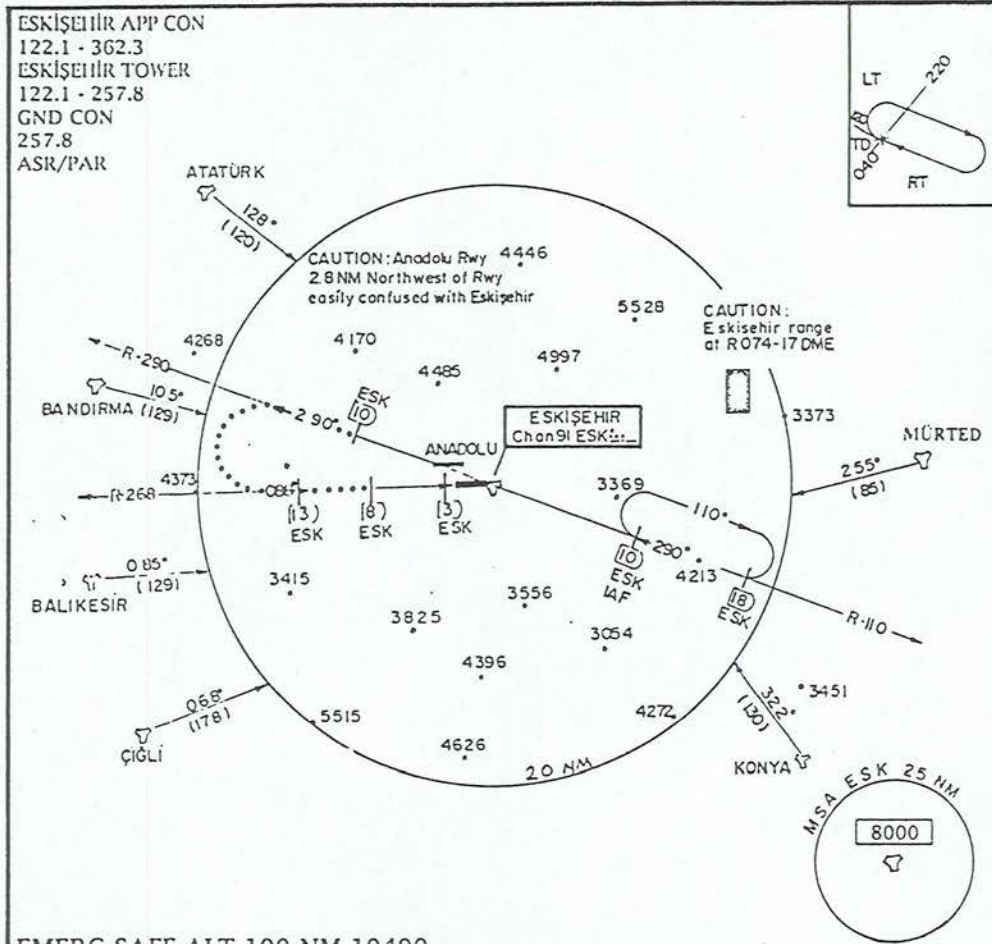
ARALIK 1997

ESKİŞEHİR (LTBI)
ESKİŞEHİR, TURKEY

Ek-6. Eskişehir 27 TACAN-3 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat, 1997)

(HIGH ALTITUDE)
YÜKSEK İRTİFA

HI-TACAN 4 RWY 09 ESKİŞEHİR (LTBI)
ESKİŞEHİR, TURKEY

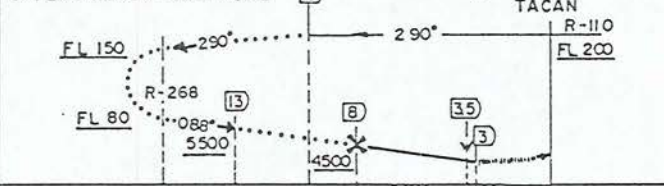


EMERG SAFE ALT 100 NM 10400

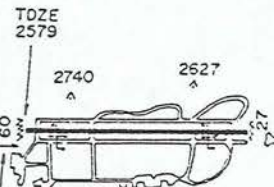
Start descent at
10 DME Left penetration
turn at FL 150 complete
at FL 80 Remain within 21DME

TA 7000

MISSED APPROACH
Climb to 5000 Feet on
R-090 within 15 DME then turn right
contact App. Con.



ELEV 2579



CATEGORY	A	B	C	D	E
S-09	3000-1600 m. 421 (500-1600m)		3000-2000 421(500-2000)		3000-2800m 421(500-2800m)
CIRCLING	3100-1600 m. 521 (600-1600m)		3400-2400m 821(900-2400m)		3400-3200m 821(900-3200m)
PAR			2779 - 800 m. 200 (200-800 m)		G.S:2.7°

088° to
TACAN

HIRL RWY 09-27

HI-TACAN 4 RWY 09

39° 47' N - 30° 35' E

ARALIK 1997

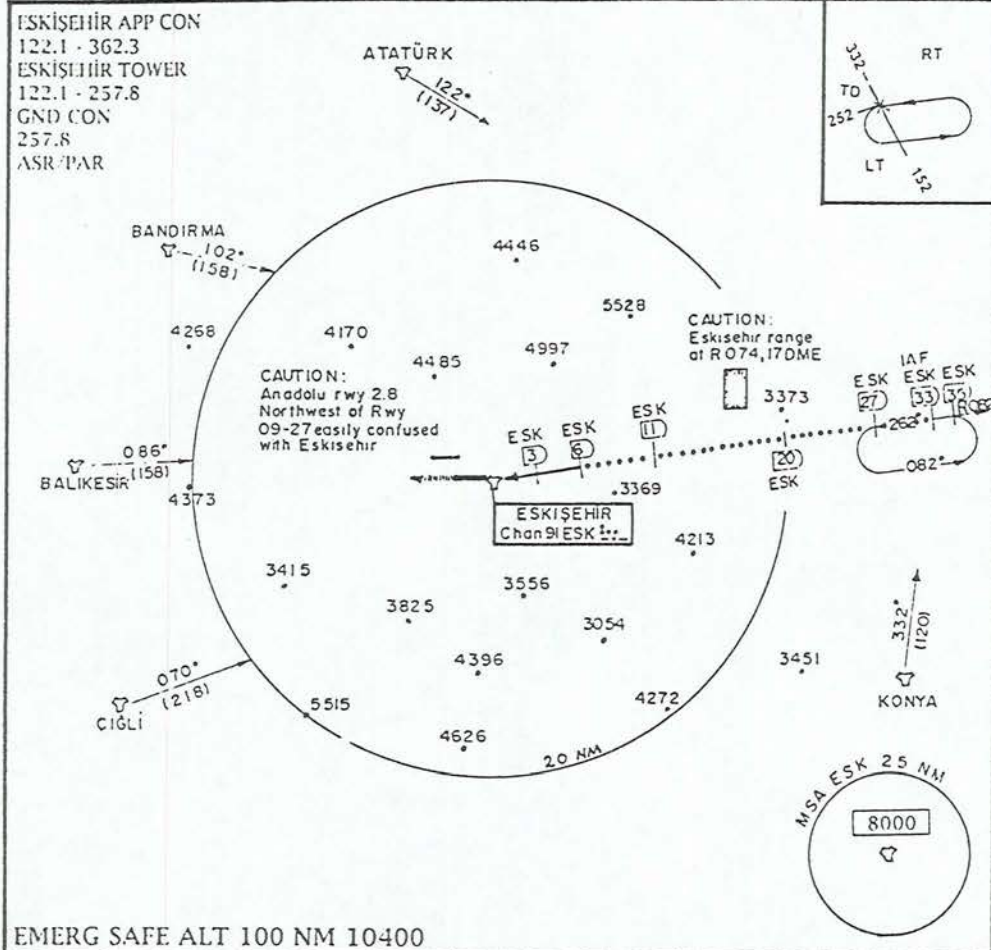
ESKİŞEHİR (LTBI)
ESKİŞEHİR, TURKEY

Ek-7. Eskişehir 09 TACAN-4 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat, 1997)

(HIGH ALTITUDE)
YÜKSEK İRTİFA
17-3

ESKİŞEHİR (LTBI)
ESKİŞEHİR, TURKEY

HI-TACAN 5 RWY 27

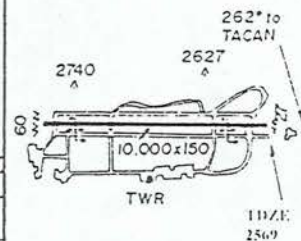
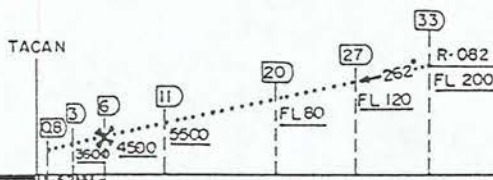


EMERG SAFE ALT 100 NM 10400

MISSED APPROACH
Climb to 6000 on 270°
contact app. con.

TA 7000

ELEV 2579



CATEGORY	A	B	C	D	E
S-27	3020-1600 m. 453 (500-1600m)			3020-2400m 453 (500-2400m)	
CIRCLING	3100-1600 m. 521 (600-1600m)		3400-2400m 821 (900-2400m)		3620-3200m 1041 (1100-3200m)
PAR			2767 - 800 m. 200 (200-800 m)		G.S:2.5°

HI-TACAN 5 RWY 27

39° 47' N - 30° 35' E

ARALIK 1997

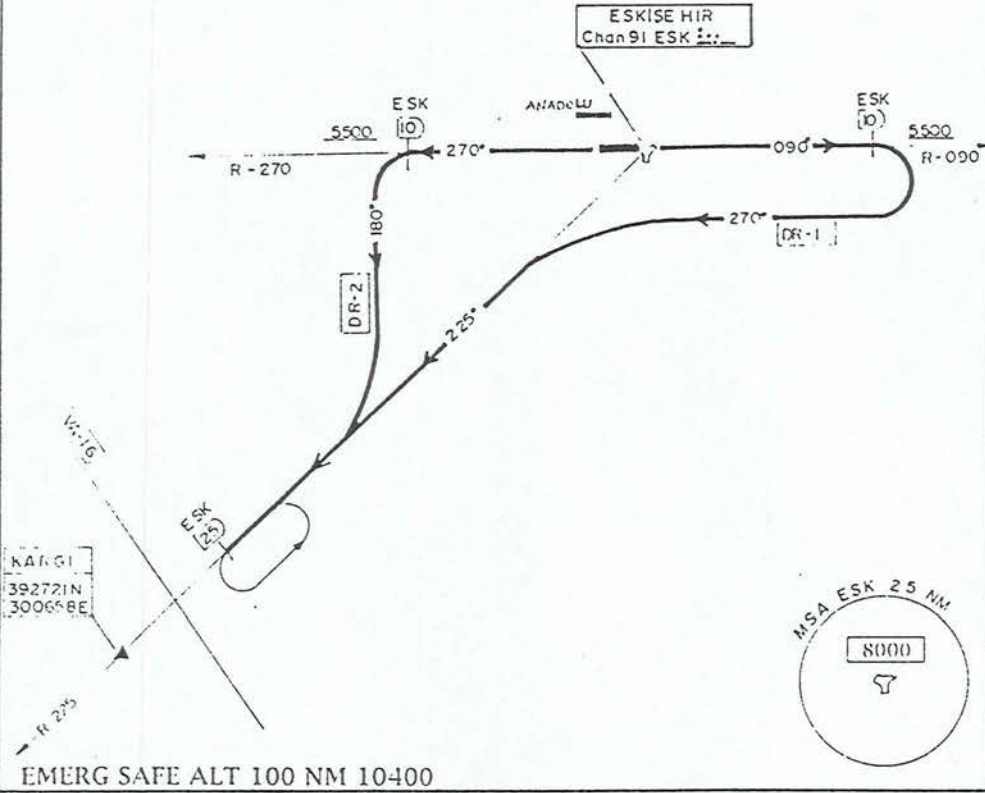
ESKİŞEHİR (LTBI)
ESKİŞEHİR, TURKEY

Ek-8. Eskişehir 27 TACAN-5 Yaklaşma Haritası (Özel Talimat, 1997)

ESKİŞEHİR DR 1,2

ESKİŞEHİR
ESKİŞEHİR, TURKEYESKİŞEHİR TOWER
122.1 257.8
ESKİŞEHİR APP CON
122.1 362.3

DR	KNOTS	120	180	240	300	360
1	Dak/Feet	600	900	1200	1500	1800
2	Dak/Feet	500	750	1000	1250	1500



EMERG SAFE ALT 100 NM 10-400

1 NUMARALI TIRMANIŞ PATERNİ

09'a KALKIŞ : R 090'da 10 DME'de 5500 feet'e tırman. Sağa tırmanış dönüşü ile 270° başta R 225'i öne, tahsis edilen irtifayı al. 25 DME içerisinde irtifa almamaz ise soldan tırmanış dönüşü ile KARGI'ya uzaklaş.

2 NUMARALI TIRMANIŞ PATERNİ

27'e KALKIŞ : R-270'da 10 DME'de 5500 feet'e tırman. Sola tırmanış dönüşü ile 180° başta R 225'i öne tahsis edilen irtifayı al. 25 DME içerisinde irtifa almamaz ise soldan tırmanış dönüşü ile KARGI'ya uzaklaş.

DEPARTURE ROUTE DESCRIPTION

TAKE OFF RWY 09 : Climb to 5500 on R-090 to 10 DME then climbing right turn to intercept R 225 no later than 25 DME.

TAKE OFF RWY 27 : Climb to 5500 on R-270 to 10 DME then climbing left turn to intercept R 180 no later than 25 DME.

ESKİŞEHİR DR 1,2

EKİM 1996 ESKİŞEHİR, TURKEY
ESKİŞEHİR

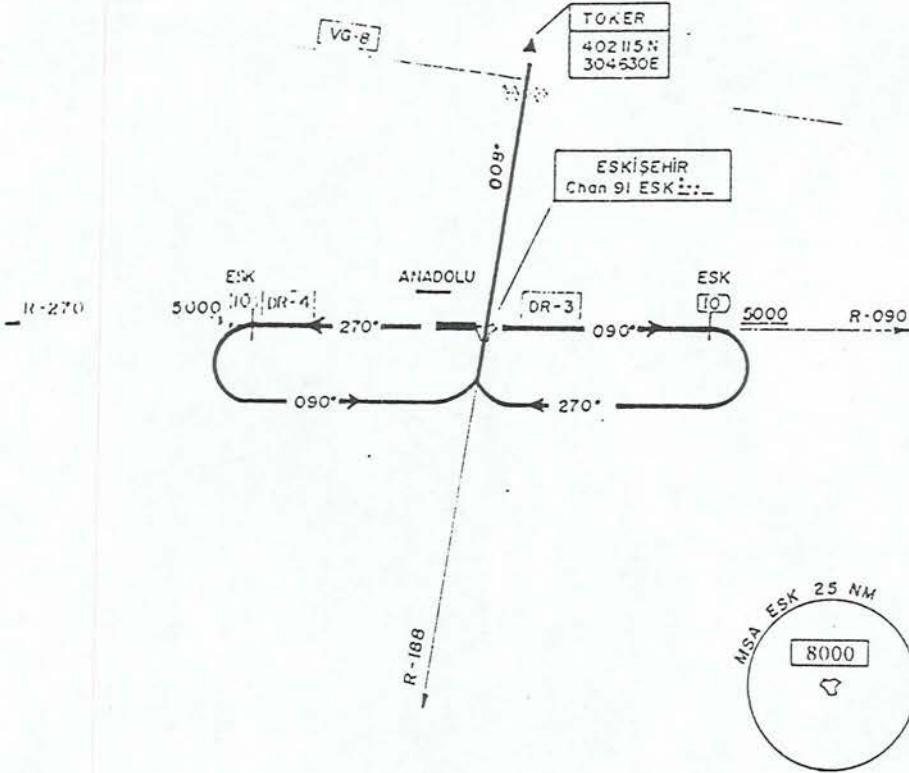
Ek-9. Eskişehir 1 ve 2 Numaralı Tırmanma Paterni (Özel Talimat, 1996)

ESKİŞEHİR DR 3,4

ESKİŞEHİR
ESKİŞEHİR, TURKEY

ESKİŞEHİR TOWER
122.1 257.8
ESKİŞEHİR APP CON
122.1 362.3

DR	KNOTS	120	180	240	300	360
3,4	Dak / Feet	500	750	1000	1250	1500



EMERG SAFE ALT 100 NM 10400

3 NUMARALI TIRMANIŞ PATERNİ

09'a KALKIŞ : R 090'da 10 DME'de 5000 feet veya üzerine tırman. Sağa 270° başa tırmanış dönüşü yap. R 188 üzerinde 008° başa dön ve bu başta tahsis edilen irtifayı al. Tacan üzerinde minimum FL 80 veya üzerinde bulun.

4 NUMARALI TIRMANIŞ PATERNİ

27'e KALKIŞ : R-270'da 10 DME'de 5000 feet veya üzerine tırman. Sola 090° başa tırmanış dönüşü yap. R 188'de 008° başa dön ve bu başta tahsis edilen irtifayı al. Tacan üzerinde minimum FL 80 veya üzerinde bulun.

DEPARTURE ROUTE DESCRIPTION

TAKE OFF RWY 09 : Climb to 5000 or above on R-090 to 10 DME then climbing right turn to intercept R 188, 008° bearing proceed on this heading as cleared. Reach minimum FL 80 or above over TACAN.

TAKE OFF RWY 27 : Climb to 5000 or above on R-270 to 10 DME then climbing right turn to intercept R 188, 008° bearing, proceed on this heading as cleared. Reach minimum FL 80 or above over TACAN.

ESKİŞEHİR DR 3,4

EKİM 1996 ESKİŞEHİR, TURKEY
ESKİŞEHİR

Ek-10. Eskişehir 3 ve 4 Numaralı Tırmanma Paterni (Özel Talimat, 1996)