

**BİRBİRİNE YAKIN PARALEL PİSTLERDE
RNP UÇUŞ PROSEDÜRLERİNİN
CBS YÖNTEMİNE DAYALI
TASARIMI**

ÖZLEM ŞAHİN
Yüksek Lisans Tezi

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Şubat-2006**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Özlem ŞAHİN'in '**Birbirine Yakın Paralel Pistlerde RNP Uçuş Prosedürlerinin CBS Yöntemine Dayalı Tasarımı**' başlıklı **Sivil Havacılık Anabilim Dalındaki**, Yüksek Lisans tezi tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yard. Doç. Dr. Öznur USANMAZ
Üye	: Yard. Doç. Dr. Hakan OKTAL
Üye	: Yard. Doç. Dr. Metin ALTAN

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

Enstitü Müdürü

ÖZET**Yüksek Lisans Tezi****BİRBİRİNE YAKIN PARALEL PİSTLERDE RNP UÇUŞ
PROSEDÜRLERİNİN CBS YÖNTEMİNE DAYALI TASARIMI****ÖZLEM ŞAHİN****Anadolu Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Sivil Havacılık Anabilim Dalı****Danışman: Yard. Doç. Dr. Öznur USANMAZ****2006, 124 sayfa**

Hava taşımacılığında talebin sürekli olarak artış göstermesi, hava sahası ve prosedür tasarımının en iyi şekilde yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Seyrüsefer sistem doğruluğu, direkt rota, rota muhafaza doğruluğu gibi operasyonel verimliliği arttıracak gereksinimler, Gerekli Seyrüsefer Performansı (RNP) kavramını ortaya çıkarmaktadır. RNP, belirli bir hava sahası içindeki operasyonlar için gerekli seyrüsefer performans doğruluğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada, RNP sayesinde İstanbul Atatürk Havalimanı'ndaki 36R-36L paralel pistlerinin eş zamanlı kullanımı amaçlanmış ve 36R pistine ILS, 36L pistine RNP 0.15 yaklaşma ve pas geçme prosedürlerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı tasarımı yapılmıştır. Bununla birlikte; çalışma alanının 2005 yılına göre engelleri güncellenerek sayısal arazi modeli oluşturulmuş, 36R ve 36L pistleri için son yaklaşma ve pas geçme yüzeylelerinin engel değerlendirme analizi gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler: Aletli Uçuş Prosedürleri, Birbirine Yakın Paralel Pistler,
Gerekli Seyrüsefer Performansı, Coğrafi Bilgi
Sistemleri, Eş zamanlı yaklaşımlar**

ABSTRACT**Master of Science Thesis****THE DESIGN OF RNP FLIGHT PROSEDURES
BASED ON GIS METHOD
IN CLOSELY-SPACED PARALLEL RUNWAYS****ÖZLEM ŞAHİN****Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Aviation Program****Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Öznur USANMAZ****2006, 124 pages**

The continuing growth of air traffic emphasizes the need for designing airspace and procedures in the best way. These factors, combined with the requirement for operational efficiency with the enhanced accuracy of navigation systems, direct routes and accuracy of keeping routes resulted in RNP concept. RNP is a statement of the navigation performance accuracy necessary for operation within a defined airspace. In this study, by means of RNP, the simultaneous use for approach of the 36R and 36L of the runways in İstanbul Atatürk International Airport was aimed and the design of final and missed approach procedures based on GIS was done. Moreover, by updating the obstacles at the environment of study to the situation in the year of 2005 and the Digital Elevation Model (DEM) was formed; furthermore, obstacle assessment analysis was realized for final and missed approach surfaces for the runways 36R and 36L.

Keywords: Instrument Flight Procedures, Closely-Spaced Parallel Runways, Required Navigation Performance, Geographical Information Systems, Simultaneous Approaches

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde beni yönlendiren, destekleyen ve çalışmanın her aşamasında yardımcı olan danışman hocam Sayın Yard. Doç. Dr. Öznur USANMAZ'a, çalışmanın özellikle Coğrafi Bilgi Sistemlerine dayalı tasarımı kısmındaki yardım ve desteği için hocam Sayın Yard. Doç. Dr. Metin ALTAN'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, arkadaşım Arş. Grv. Kadriye YAMAN'a ve yoğun çalışma temposu içinde bulunduğum süreçte beni anlayışla karşılayarak manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Özlem ŞAHİN
Şubat, 2006

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GEREKLİ SEYRÜSEFER PERFORMANSI (RNP-REQUIRED NAVIGATION PERFORMANCE)	3
2.1. RNP Kavramı	3
2.1.1. RNP kavramının gelişimi	5
2.1.2. RNP tipleri	6
2.1.2.1. RNP 1	7
2.1.2.2. RNP 4	7
2.1.2.3. RNP 10/12.6/20.....	8
2.1.3. RNP gereklilikleri.....	11
2.1.3.1. Hava sahası gereklilikleri.....	11
2.1.3.2. RNP uçak gereklilikleri.....	15
2.1.4. RNP koordinat sistemi.....	23
2.1.5. RNP'nin faydaları.....	24
2.2. RNAV ve RNP	27
2.2.1. Temel RNAV (B-RNAV).....	28
2.2.2. Hassas RNAV (P-RNAV)	29
2.2.3. RNP/RNAV	30
2.3. Dünyada RNP Uygulamaları.....	31
2.3.1. Avrupa RNP yol stratejisi	32

2.3.2. FAA’ e göre seyrüsefere dayalı performans yol haritası-RNAV ve RNP yapabilirliğinin değerlendirilmesi 2003-2020	35
2.3.3. RNP uygulamalarına örnek havaalanları	41
2.3.3.1. Juneau uluslararası havaalanı’nda RNP uygulaması.....	41
2.3.3.2. San Francisco uluslararası havaalanı’nda RNP uygulaması	44

3. PARALEL PİSTLERE YAKLAŞMALAR VE RNP UÇUŞ

PROSEDÜRLERİ	51
3.1. Paralel Pistlere Eş Zamanlı Yaklaşımlar	51
3.1.1. Bağımsız paralel aletli yaklaşımlar	52
3.1.1.1. Geçiş olmayan saha (NTZ)	54
3.1.1.2. Normal operasyon sahası (NOZ)	56
3.1.2. Bağımlı paralel aletli yaklaşımlar	57
3.1.3. Ayrılmış paralel operasyonlar	59
3.2. Birbirine Yakın Paralel Pistlere RNP Yaklaşması	60
3.2.1. Hassas pist monitörü (PRM).....	62
3.2.2. Eş zamanlı offset aletli yaklaşma (SOIA)	64
3.3. RNP Uçuş Prosedürleri	65
3.3.1. Giriş	65
3.3.2. Genel kriterler	65
3.3.2.1. Hız	65
3.3.2.2. Uçak kategorileri	66
3.3.2.3. Rüzgar hızı	66
3.3.3. RNP onaylı sistemler için geliş ve hassas olmayan yaklaşma prosedürleri	68
3.3.3.1. Hassas olmayan yaklaşma prosedürleri için RNP	68
3.3.3.2. RNP’ye dayalı geliş ve hassas olmayan yaklaşma tasarımında kriterler ve ilgili koruma alanları.....	69
3.3.4. RNP bekleme prosedürleri.....	73
3.3.4.1. Dönüş yarıçapı	73
3.3.4.2. Dört sektörden girişli RNP bekleme limitleri	74

3.3.4.3. Engel kleransı.....	74
3.3.4.4. RNP beklmeleri için engel emniyet alanı.....	75
3.3.5. RNP yollar	75
4. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS).....	80
4.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Bileşenleri.....	81
4.2. Coğrafi Bilgi Sisteminde Veri.....	82
4.3. Coğrafi Bilgi Sisteminde Veri Modelleri.....	83
4.3.1. Vektörel veri modelleri.....	83
4.3.2. Raster (hücresele) veri modelleri	83
4.4. Sayısal Arazi Modelinin Oluşturulması	85
4.4.1. Düzensiz Üçgenleme Yöntemi (TIN).....	85
4.4.2. Düzenli Karelaj Yöntemi (GRID)	86
5. İSTANBUL ATATÜRK HAVALİMANI 36/18 PARALEL PİSTLERİNE RNP YAKLAŞMA PROSEDÜRLERİNİN CBS YÖNTEMİNE DAYALI TASARIMI	87
5.1. Çalışma Bölgesi	87
5.1.1. Meydan bilgileri	88
5.1.1.1. Pist bilgileri	88
5.1.1.2. Seyrüsefer yardımcıları	89
5.1.1.3. Meydan trafik bilgisi	90
5.2. Çalışma Yöntemi.....	91
5.2.1. Arazinin topografik modellenmesi	91
5.2.1.1. Eş yükselti eğrilerinin oluşturulması.....	91
5.2.1.2. TIN modeli	92
5.2.1.3. GRID modeli	93
5.2.2. Yaklaşma prosedür tasarımı	96
5.2.2.1. 36R pisti için ILS kategori II hassas yaklaşması	96
5.2.2.2. 36L pisti için RNP 0,15 hassas olmayan yaklaşma.....	103
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113

KAYNAKLAR	117
EKLER.....	122
EK-1: İstanbul Atatürk Havalimanı'nın Planı	123
EK-2: 36R pisti için ILS/DME yaklaşması.....	124

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. RNP doğruluk değeri	6
2.2. RNP sayesinde koridor içerisinde gerçekleşen seyrüsefer	11
2.3. Uçuş safhalarına göre kullanılan RNP tiplerinin plan ve profil gösterimi ...	14
2.4. Uçuşta LAAS ve WAAS kullanımı	20
2.5. RNAV direkt rota	24
2.6. Gelişmiş kalkış yolları	25
2.7. Hava sahası tasarımının gelişmesi	25
2.8. Hava sahasında trafik sayısında artış	26
2.9. Uçağın RNP sayesinde engellerden kaçınması	27
2.10. RNP-X	30
2.11. RNP-X RNAV	30
2.12. ICAO RNP alanı	31
2.13. Kuzey Pasifik'te RNP 10 uygulaması	31
2.14. Avrupa'da B-RNAV kullanımı	33
2.15. Juneau Uluslararası Havaalanı 08/26 pist konfigrasyonu	41
2.16. Juneau Uluslararası Havaalanı	42
2.17. JIA yaklaşma hattı	44
2.18. SFIA paralel pistlerine eş zamanlı yaklaşımlar	45
2.19. SFIA'daki paralel pistlere yapılan ILS ve RNP yaklaşımlarının profil gösterimi	45
2.20. Bağımlı yaklaşma prosedürünün yatay geometrisi	49
3.1. NTZ ve NOZ gösterimi	56
3.2. Bağımlı paralel yaklaşımlar	58
3.3. Ayrılmış paralel operasyonlar	59
3.4. Geliş yönüne doğru pistin kaydırılmasıyla ayrılmış paralel operasyonlar	60
3.5. Geliş yönünün tersine pistler kaydırıldığında ayrılmış paralel operasyonlar	60
3.6. SFIA'ya gerçekleştirilen yaklaşımlar	65
3.7. TSE elemanlarının gösterimi	67

3.8. Dönüş yarıçapı.....	71
3.9. Geliş safhasının uzunluğu 25NM veya daha fazla	72
3.10. Geliş safhasının uzunluğu 25NM'den daha az	72
3.11. Bekleme paterni	74
3.12. Bekleme paterni ve koruma alanları	75
3.13. Fly-by waypoint dönüş	78
3.14. Kontrollü dönüş ile ilgili mania müsaade alanı	79
4.1. CBS sisteminin bileşenleri.....	81
4.2. Raster ve vektör model gösterimi	84
4.3. TIN veri modeli	85
4.4. GRID veri modeli	86
5.1. İstanbul Atatürk Havalimanı'nın konumu	87
5.2. Eş yükselti eğrileri	92
5.3. Bölgenin TIN modeli.....	93
5.4. Bölgenin GRID veri modeli	94
5.5. Sayısal arazi modeli.....	95
5.6. z kodları yükseltiyle elde edilen sayısal arazi modeli	96
5.7. Son yaklaşma ve pas geçme profil gösterimi.....	99
5.8. Rüzgar spiralleri ve pas geçme safhası.....	102
5.9. Son yaklaşma ve pas geçme safhası	103
5.10. RNP 0.15 için rüzgar spiralleri ve pas geçme alanı.....	108
5.11. Topografya üzerinde pas geçme alanı	109
5.12. Bölgenin üstten görüntüsü	110
5.13. Kesit görüntü	110
5.14. 36L pistine RNP yaklaşması	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1.	1992-2020 yıllarında hava trafik talebinde artış grafiği	6
2.2.	RNP tipleri ve istenen doğruluk değerleri	8
2.3.	Eurocontrol seyrüsefer stratejisi yol haritası	34
2.4.	RNP 5'in gelişmekte olduğu Orta Doğu ülkeleri	34
3.1.	Muhtemel geliş oranları	62
3.2.	Uçak kategorileri ve hız değerleri	66
5.1.	Pist koordinatları ve uzunlukları	88
5.2.	Pist kullanım uzunlukları	89
5.3.	GRID model istatistiği	94
5.4.	ILS yüzey denklemleri	97
5.5.	ILS yüzey koordinatları	98

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

d_1	: Beklemenin yaklaşma ve uzaklaşma bacağı (NM)
d_2	: Dönüş çapı (NM)
d_3	: Beklemenin koruma alanının genişliği (NM)
d_4	: Koruma alanı (NM)
FL	: Flight Level (Uçuş Seviyesi)
ft	: Feet
g	: Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
h	: İrtifa (feet)
k	: Sabit
kt	: Knot (NM/saat)
L	: Left (Sol)
m	: Metre
NM	: Deniz mili
r	: Dönüş yarıçapı (NM)
rd	: Radyan
sn	: Saniye
T	: Sıcaklık
t	: Zaman
V	: Hız (kt)
W_e	: Wind Effect (Rüzgar Etkisi (m))
W_v	: Wind Velocity (Rüzgar Hızı (kt))
x	: Uzunlamasına eksen koordinatı
y	: Yanlamasına eksen koordinatı

z	: Düşey eksen koordinatı
α	: Bank Angle (Yatış açısı (°))
θ	: Dönüş Açısı (rd)
ADS-B	: Automatic Dependent Surveillance Broadcast (Otomatik Bağımlı Gözetim Sistemi)
AIP	: Aeronautical Information Publication (Havacılık Bilgi Yayını)
ARTCC	: Air Route Traffic Control Center (Hava Yolu Trafik Kontrol Merkezi)
ASDA	: Accelerate Stop Distance Available
ATC	: Air Traffic Control (Hava Trafik Kontrol)
ATS	: Air Traffic Service (Hava Trafik Hizmeti)
ATT	: Along Track Tolerance (Yol Boyu Toleransı)
B-RNAV	: Basic Area Navigation (Temel Saha Seyrüseferi)
BV	: Buffer Value (Tampon Değeri)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CDTI	: Cocpit Display of Traffic Information (Kokpit Trafik Bilgi Ekranı)

CDU	: Cocpit Display Unit
CENPAC	: Central Pasific (Orta Pasifik)
CNS	: Communication, Navigation, Surveillance (Haberleşme, Seyrüsefer, İzleme)
CSPA	: Closely-Spaced Parallel Approaches (Birbirine Yakın Paralel Yaklaşımlar)
DEM	: Digital Environment Model (Sayısal Arazi Modeli)
DH	: Decision Height (Karar Yüksekliği)
DME	: Distance Measuring Equipment (Mesafe Ölçüm Donanımı)
ECAC	: European Civil Aviation Conference (Avrupa Sivil Havacılık Teşkilati)
EUROCONTROL	: European Organization For The Safety of Air Navigation (Hava Seyrüseferinin Emniyeti İçin Avrupa Teşkilatı)
FAA	: Federal Aviation Authority (Federal Havacılık Otoritesi)
FIR	: Flight Information Region (Uçuş Bilgi Bölgesi)
FMS	: Flight Management System (Uçuş Yönetim Sistemi)
FTE	: Flight Technical Error (Uçuş Teknik Hatası)

FTT	: Flight Technical Tolerance (Uçuş Teknik Toleransı)
GPS	: Global Navigation System (Küresel Yer Bulum Sistemi)
GRID	: Düzenli Üçgenleme Yöntemi
HSI	: Horizontal Situation Indicator (Yatay Durum Göstergesi)
IAC	: Instrument Approach Chart (Aletli Yaklaşma Haritası)
IAS	: Indicated Air Speed (İşari Hava Hızı)
ICAO	: International Civil Aviation Organization (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı)
IFR	: Instrument Flight Rules (Aletli Uçuş Kuralları)
ILS	: Instrument Landing System (Aletli Yaklaşma Sistemi)
IMC	: Instrument Meteorological Conditions (Aletli Meteorolojik Şartlar)
INS	: Integrated Navigation System (Bütünleşmiş /Entegre Seyrüsefer Sistemi)
ISA	: International Standard Atmosphere (Uluslararası Standart Atmosfer)
LAAS	: Local Area Augmentatin System (Yerel Alan İyileştirme Sistemi)

LDA	: Landing Distance Available
MAPt	: Missed Approach Point (Pas Geçme Noktası)
MLS	: Microwave Landing System (Mikrodalga İniş Sistemi)
NAS	: National Airspace System (Ulusal Hava sahası Sistemi)
NDB	: Non - Directional Radio Beacon (Yönlendirilmiş Radyo Bikını)
NOPAC	: North Pasific (Kuzey Pasifik)
NOZ	: Normal Operating Zone (Normal Operasyon Sahası)
NTZ	: No Transgression Zone (Geçiş Olmayan Saha)
OAS	: Obstacle Assessment Surface (Engel Değerlendirme Yüzeyi)
PANS-OPS	: Prosedures For Air Navigation Services – Aircraft Operations (Hava Seyrüsefer Hizmetleri için Prosedürler–Uçak Operasyonları)
PRM	: Precision Runway Monitor (Hassas Pist Monitör)
P-RNAV	: Precision Area Navigation (Hassas Saha Seyrüseferi)

RA	: Resolution Advisory (Çözüm Tavsiyesi)
RCP	: Required Communication Performance (Gerekli Haberleşme Performansı)
RDH	: Reference Datum Height
RF	: Radius to fix turn (Dönüş Yarıçapı)
RNAV	: Area Navigation (Saha Seyrüseferi)
RNP	: Required Navigation Performance (Gerekli Seyrüsefer Performansı)
RNPC	: Required Navigation Performance Capability (Gerekli Seyrüsefer Performans Kabiliyeti)
RPAT	: RNP Parallel Approach Transition (RNP Paralel Yaklaşma Geçişleri)
RSP	: Required Surveillance Performance (Gerekli İzleme Performansı)
RTCA	: Radio Technical Commission for Aeronautics (Radyo Teknik Komisyonu)
SFIA	: San Francisco International Airport (San Francisco Uluslararası Havaalanı)
SID	: Standart Instrument Departure (Aletli Kalkış Yolları)
SOC	: Start of Climb (Tırmanmaya Başlama Noktası)

SOIA	: Simultaneous Offset Instrument Approach (Eş zamanlı Ofset Aletli Yaklaşma)
STAR	: Standart Arrival Routes (Standart Geliş Yolları)
TA	: Traffic Advisory (Trafik Tavsiyesi)
TAS	: True Air Speed (Gerçek Hava Sürati)
TCAS	: Traffic Conflict Alert and Collision Avoidance System (Trafik İkazı ve Çarpışmayı Önleyici Sistem)
THR	: Threshold (Pist Başı Eşiği)
TIN	: Triangulated Irregular Network (Düzensiz Üçgenleme Ağı)
TITAN	: Traitement Informatique Trajectories Aeronautiques Normalisee
TMA	: Terminal Area (Terminal Sahası)
TODA	: Take-off Distance Available
TORA	: Take-off Run Available
TSE	: Total System Error (Toplam Sistem Hatası)
UTM	: Universal Transverse Mercator
VFR	: Visual Flight Rules (Görerek Uçuş Kuralları)

VMC	: Visual Meteorological Conditions (Görerek Meteorolojik Şartlar)
VOR	: VHF Omni Directional Range (VHF Çok Yönlü Radyo Seyrüsefer Cihazı)
VORTAC	: VHF Omni Directional Range Tactical Air Navigation (VHF Çok Yönlü Radyo Seyrüsefer Cihazı Taktik Hava Seyrüseferi)
WAAS	: Wide Area Augmentation System (Genişletilmiş Alan Seyrüsefer Sistemi)
WGS-84	: World Geodetic System (Yeryüzü Ölçüm Sistemi)
WP	: Way point (Sanal Nokta)
XTT	: Cross Track Tolerance (Çapraz Yol Toleransı)

1. GİRİŞ

Aletli Uçuş Kuralları (IFR-Instrument Flight Rules) altında seyrüsefer gerçekleştiren bir uçak, herhangi bir meydana yaklaşma ve inişini gerçekleştirirken, aletli iniş yörüngelerini takip eder. Aletli yaklaşma yörüngeleri her meydan için ayrı özelliklere sahip olup, Aletli Yaklaşma Haritalarında (IAC-Instrument Approach Chart) belirtilmektedir.

Aletli yaklaşma yörüngelerinin tasarımında, başta emniyet olmak üzere ekonomiklik ve basitlik dikkat edilmesi gereken en önemli kriterlerdir. Bu üç temel prensip esas alınarak; uçağın daha basit manevralar ile zaman ve yakıt açısından ekonomik olması ve emniyetli bir şekilde uçuşunu gerçekleştirmesi sağlanacaktır.

Uçaklar için uygun uçuş prosedürlerinin belirlenmesinde en önemli etkenler; meydanın coğrafik yeri, pist durumu ve sahip olduğu seyrüsefer yardımcılarınıdır. Geleneksel prosedürlerin tasarımında, seyrüsefer yardımcılarının konumu çok büyük önem taşır; çünkü seyrüsefer, bir seyrüsefer yardımcısından diğer seyrüsefer yardımcısının üzerine uçuş ile gerçekleştirilir. Günümüzde uyduya dayalı seyrüsefer sistemlerinin kullanımının artması ile yer referanslı seyrüseferin yerini, uyduya dayalı seyrüsefer almaya başlamıştır. Yerdeki herhangi bir noktaya bağımlılığın ortadan kalkması, uçuş yörüngelerinin belirlenmesinde esnek tasarım olanağı sunmaktadır.

Gelecek 15 yıl içerisinde hava trafiğinin bu güne oranla ikiye katlanacağı tahmin edilmektedir [1]. Bu durumda artan trafik talebini karşılamak için şu an kullanılan hava trafik kontrol ekipmanları ve hava sahası kapasitesi yetersiz kalacaktır. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO-International Civil Aviation Organization), bu büyüyen talebi karşılamada Gerekli Seyrüsefer Performansı (RNP-Required Navigation Performance) kavramını ortaya koymuştur.

RNP, Aletli Meteorolojik Şartlarda (IMC-Instrument Meteorological Conditions) uçağın emniyetli bir şekilde diğer uçak veya manialara daha yakın

uçmasına imkan veren operasyonel yapabilirlik olarak ifade edilmektedir.

Bu çalışmada; RNP, birbirine paralel pistlere eş zamanlı yaklaşımlar, RNP yaklaşma prosedürlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemine dayalı tasarımı ve çalışma bölgesindeki paralel pistlerin RNP yaklaşma prosedürleri ile eş zamanlı kullanımı amaçlanmıştır.

Çalışma bölgesi olarak Türkiye'nin en yoğun trafiğine sahip olan İstanbul Atatürk Havalimanı seçilmiştir. İstanbul Atatürk Havalimanı 36R/18L ve 36L/18R oryantasyonunda iki adet paralel pist ve 06/24 oryantasyonunda tek bir pist olmak üzere toplam üç adet piste sahiptir. Bu iki paralel pistin merkez hatları arasındaki mesafe 215m (705ft) dir. ICAO kurallarınca aletli paralel pistlerin eş zamanlı kullanımında pist merkez hatları arasındaki mesafe, bağımsız paralel yaklaşımlar için 1035m; bağımlı paralel yaklaşımlar için 915m olmalıdır. İstanbul Atatürk Havalimanı'nda bulunan paralel pistler arasındaki mesafe bu değerleri sağlamamaktadır.

Bu çalışmada İstanbul Atatürk Havalimanı'nın artan trafik talebi göz önüne alındığında, paralel pistlerin eş zamanlı kullanımına imkan tanıyacak yaklaşma prosedür tasarımı hedeflenmiştir. Bu doğrultuda dünyadaki benzer uygulamalar incelenmiş, San Francisco Uluslararası Havaalanı'nda gerçekleştirilen RNP yaklaşma modeli örnek alınarak; İstanbul Atatürk Havalimanı'nda 36L RNP, 36R ILS kategori II yaklaşımları tasarlanmış, uygulanabilirliği incelenmiş ve böylelikle söz konusu havalimanı'nın mevcut altyapısı değerlendirilerek meydan kapasite artışına olanak tanıyacak bir yöntem önerilmiştir.

Çalışma yönteminde, 36L pisti için RNP 0.15, 36R pisti için ise ILS kategori II yaklaşımları ve pas geçme prosedürleri CBS'ye dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Teorik olarak yapılan bu çalışma bazında 36L pisti için RNP 0.15 yaklaşması, havada taşınan ve yer ekipmanı bazında gerekli alt yapının mevcut olduğu varsayımı doğrultusunda şekillendirilmiştir. Birbirine yakın paralel bu iki pistin eş zamanlı olarak kullanıma geçirilmesi ve sonuçları son yaklaşma ve pas geçme prosedürleri açısından irdelenmiştir.

2. GEREKLİ SEYRÜSEFER PERFORMANSI (RNP)

2.1 RNP Kavramı

Havacılıkta, hava sahası kapasitesindeki talebin devamlı olarak artış göstermesi mevcut hava sahasının en iyi şekilde kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Modern havacılık seyrüsefer sistemlerinin doğruluğu, direkt rota ve rota muhafaza doğruluğu açısından operasyonel verimliliği arttıracak gereksinimler, Gerekli Seyrüsefer Performansı yani RNP'yi ortaya çıkarmaktadır. RNP, IMC altında uçağın emniyetli bir şekilde diğer uçak veya manialara daha yakın uçmasına imkan veren operasyonel yapabilirliktir [2].

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'nın (ICAO-International Civil Aviation Organization) yayınladığı Doküman 9613 "*Required Navigation Performance (RNP)*" da RNP, belirlenmiş hava sahası içerisinde yatay düzlemde sağlanması istenen seyrüsefer doğruluğu olarak tanımlanmaktadır. Bir diğer ICAO dokümanı olan 9650 "Report of the Special Communications/Operations Divisional Meeting" göre ise RNP, belirlenmiş hava sahası içindeki operasyonlar için gerekli seyrüsefer performans doğruluğu, bütünlüğü, sürekliliği ve mevcudluğu olarak ifade edilmektedir [3]. Bu dört parametre ile sistem riski belirlenmiş olacak ve hem uçakta olan hem de uçakta olmayan alt sistemler için sistem gereksinimleri elde edilecektir. Bu dört parametreye bakıldığında:

- **Doğruluk**

Genel anlık bir zamanda uçağın gerçek pozisyonu ve planlanmış pozisyonu arasındaki farktan söz etmektedir. Bu durumsal fark, Toplam Sistem Hatası (TSE – Total System Error) olarak tanımlanmıştır. Bu parametre, pilotaj ve seyrüsefer hatalarını kapsayan %95 olasılıkla toplam operasyonun maksimum izin verilebilir hatasını belirlemektedir [4].

- **Süreklilik**

Sistem hizmetinin devamlılığı, hedeflenen operasyon boyunca seyrüsefer elemanlarından oluşan toplam sistemin görevini hiç kesintisiz olarak

yapabilmesidir. Operasyon başlangıç fazında sistemin mevcut olduğu düşünüldüğünde ve hatta operasyon boyunca sistemin mevcut olabilmesi ihtimaline devamlılık denir.

Diğer bir deyişle devamlılık, seyrüsefer sistemlerinin operasyon boyunca hiçbir kesintiye uğramadan hizmet sağlama yapabilirliği olarak ifade edilebilir.

▪ **Bütünlük**

Bütünlük ve devamlılık uçuş emniyetinin en önemli değerleridir. Bütünlük; sistemin kullanılmasının emniyetli olmadığı durumlarda, zamanında uyarı vermeyi sağlayan sistem yapabilirliğidir. Bütünlük riski, fark edilmemiş olası seyrüsefer hataları sonucunda uçağın yanlış bilgilendirilmesidir.

▪ **Mevcutluk**

Seyrüsefer sisteminin mevcut olması, amaçlanan operasyonu başlatmada gerekli rehberliği sağlayan sistem yapabilirliğidir. Mevcutluk, belirli bir kapsama alanı içerisinde kullanılabilir hizmet sağlayan sistem yapabilirliğinin göstergesidir. Sinyal mevcutluğu, dış kaynaklardan yayılan seyrüsefer sinyallerinin zamana göre sıklığıdır. Mevcutluk, hem çevrenin fiziksel karakteristiklerinden hem de verici cihazın teknik yapabilirliğinden oluşan bir fonksiyondur. Parametreler, hem çevre koşulları hem de teknik yapabilirliğin fonksiyonlarıdır.

- Mevcutluk, hedeflenen operasyonda toplam sistemin görevini yerine getirmesidir.
- Mevcutluk riski; hedeflenen operasyonun başlangıcında gerekli rehberliğin olmaması olasılığıdır [3].

RNP; bir tek yol, birkaç yol, hava sahası, hava sahasının bir kısmı veya hava sahası planlayıcısı tarafından boyutları belirlenen bir hava sahası için belirlenebilir.

Muhtemel RNP uygulaması şunları içerir:

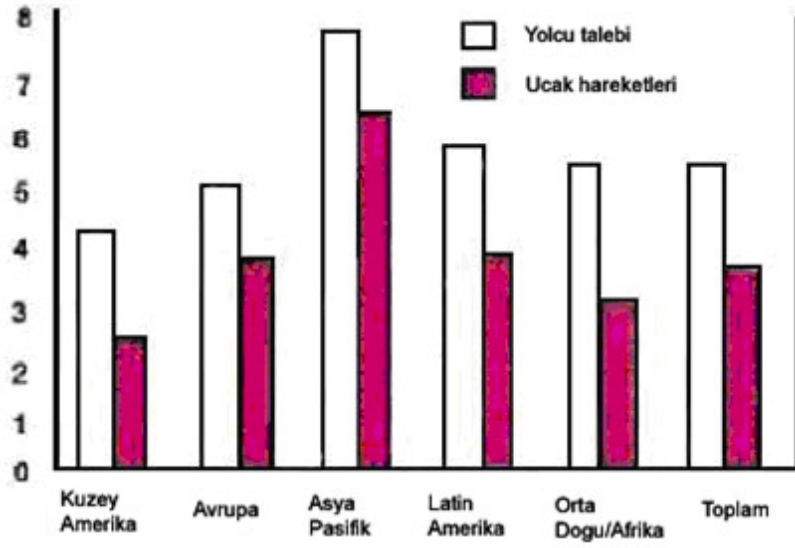
- a) Tanımlanmış bir hava sahası,
- b) Sabit bir hava trafik hizmet (ATS-Air Traffic Service) yolu,
- c) Rasgele yörünge operasyonları,
- d) Belirli bir yol üzerinde bloke edilmiş bir seviyedeki hava sahası parçası olabilir [4].

2.1.1 RNP kavramının gelişimi

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı Geleceğin Hava Seyrüsefer Sistemleri (ICAO FANS- International Civil Aviation Organization Future Air Navigation Systems) Özel Komisyonu, Gerekli Seyrüsefer Performans Kabiliyeti (RNPC-Required Navigation Performance Capability) adında, belirlenen rotadan hem yatay hem de yol boyu sapmaları kapsayan ve pozisyon doğruluğunu tanımlayan bir kavram geliştirmiştir. RNPC, ICAO konseyi tarafından onaylanmış ve daha sonra RGCSP (Review of General Concept of The Separation Panel) panelinde kabul görmüştür. Aynı panelde, kabiliyet ve performansın farklı olduğu ve hava sahası planlamanın belirlenen kabiliyetten çok, ölçülen performansa bağlı olduğu kararı alınarak RNPC, Gerekli Seyrüsefer Performansı (RNP-Required Navigation Performance) olarak değiştirilmiştir [5].

Aşağıda Çizelge 2.1'de 1992–2010 yılları arasında trafik talebinde meydana gelebilecek tahmini artış gösterilmektedir.

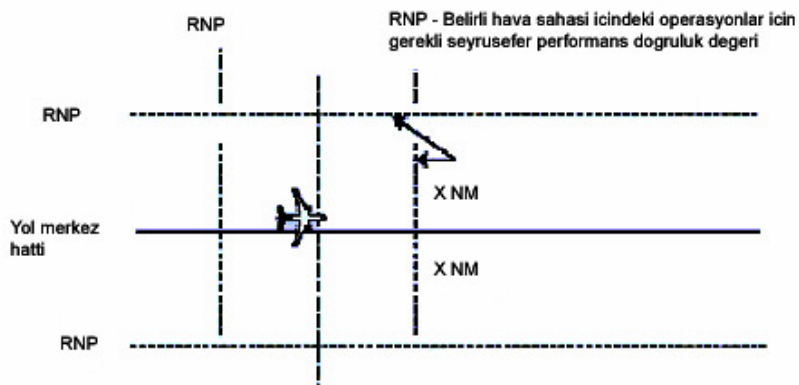
Çizelge 2.1. 1992-2010 yıllarında hava trafik talebinde artış grafiği [3]



2.1.2 RNP tipleri

RNP, hava sahasında deniz mili (NM) olarak ifade edilen ve doğruluk değerini gösteren tip numarası ile belirtilir [6].

Uygulamanın yapıldığı hava sahasında ya da yolda uçağın uçuş süresinin %95'inde yanlmasına ve boylamasına olarak uçak seyrüsefer hatasının, X NM değerini aşmaması gerektiği, RNP X doğruluk düzeyi olarak açıklanır [3] (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. RNP doğruluk değeri [7]

RNP terimi, kalkış, geliş ve aletli yaklaşımları kapsayan prosedürler, yollar ve hava sahası için tanımlayıcı olarak kullanılır. RNP, hava sahası içerisindeki seyrüsefer performansını sağlar ve hem mevcut alt yapı hem de uçak kabiliyetini ilgilendirir. RNP tipleri, hava sahası için seyrüsefer gerekliliklerini belirlemede kullanılır. RNP 1, RNP 2, RNP 12,6 ve RNP 20 ICAO tarafından standartlaştırılmış RNP tipleridir. Gerekli performans, uçak kabiliyeti ile seyrüsefer alt yapısının sağladığı hizmet seviyesinin kombinasyonundan elde edilir.

Uçak kabiliyeti, uçağın uçabilirlik sertifikasının olması ve uçağın onaylanmış operasyonel elemanları (avionik, bakım, veritabanı, insan faktörleri, pilot usulleri, eğitim ve diğer konular) sağladığını göstermektedir. Hizmet seviyesi ise, ulusal hava sahası sisteminin alt yapısını (yayınlanan yollar, sahanın performansı ve hava trafik yönetimi) göstermektedir [8].

2.1.2.1 RNP 1

Çok doğru ve verimli ATS rota operasyonları için RNP tiplerine ihtiyaç vardır. Böylece; RNP tipleri, ATS yollarından terminal sahaya (TMA-Terminal Area) veya TMA'dan ATS yollarına geçiş için prosedürlerin ve operasyonların uygulanmasında etkili olacaktır [9].

RNP 1; rota, rota değişiklikleri ve sistem ihtiyaçlarına hemen cevap vermede büyük esneklik sağlayan Saha Seyrüseferi (RNAV-Area Navigation) sayesinde daha doğru pozisyon bilgisi sağlayarak ATS yollarının daha verimli kullanılmasını desteklemek için planlanmıştır [4].

2.1.2.2 RNP 4

RNP 4; seyrüsefer yardımcıları arasındaki sınırlı mesafeye dayanarak hava sahası tasarımı ve ATS yollarını desteklemektedir. Bu RNP tipi kıtasal hava sahaları içindeki operasyonlarla ilgilidir [9].

2.1.2.3 RNP 10 / RNP 12.6 / RNP 20

RNP 10; okyanus aşırı sahalarda yatay ve dikey ayırma minimasının azaltılmasını ve operasyonel verimliliğin artırılmasını destekler.

RNP 12.6; seyrüsefer tesisleri azaltılmış bölgelerde rotaların en iyi şekilde kullanılmasını destekler.

RNP 20; ATS yol operasyonlarını desteklemek üzere düşünülen kabul edilebilir minimum seyrüsefer yapabilirliğidir. Bu minimum performans seviyesini kontrollü hava sahasında herhangi bir zamanda herhangi bir uçağın karşılaması beklenmektedir [4].

Aşağıda Çizelge 2.2’de RNP tipleri, istenen doğruluk değerleri ve uçuşun hangi fazında kullanılacağı gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. RNP Tipleri ve istenen doğruluk değerleri [8]

RNP Tipi	İstenen doğruluk (%95)	Tanımlama
0.003/z	$\pm 0.003\text{NM} [\pm z \text{ ft}]$	CAT III hassas yaklaşma, iniş manevraları ve kalkış manevra gereksinimlerini kapsayacak şekilde planlanır.
0.01/15	$\pm 0.01\text{NM} [\pm 15 \text{ ft}]$	100ft DH CAT II hassas yaklaşımları için önerilir. (ILS, MLS ve GBAS)
0.02/40	$\pm 0.02\text{NM} [\pm 40 \text{ ft}]$	200ft DH CAT I hassas yaklaşması için önerilir. (ILS, MLS, GBAS ve SBAS)
0.03/50	$\pm 0.03\text{NM} [\pm 50 \text{ ft}]$	SBAS (Space Based Augmentation System) kullanımıyla RNAV/VNAV yaklaşımları için önerilir.
0.3/125	$\pm 0.3\text{NM}[\pm 125 \text{ ft}]$	Barometrik girdiler veya SBAS kullanımıyla RNAV/VNAV yaklaşımları için önerilir.

0.3	$\pm 0.3\text{NM}$	İlk/orta yaklaşma, 2D RNAV yaklaşma ve kalkışı destekler. En genel uygulama olması beklenir.
0.5	$\pm 0.5\text{NM}$	İlk/orta yaklaşma ve kalkışı destekler. Sadece RNP 0.3'ün uygulanmadığı (zayıf seyrüsefer alt yapısı) ve RNP 1 in uygun olmadığı (büyük çevresel engeller) durumlarda kullanılması beklenir.
1	$\pm 1.0\text{NM}$	Geliş, ilk/orta yaklaşma ve kalkışı destekler; aynı zamanda daha etkili ATS operasyonlarını göz önünde bulundurur. P- RNAV' a eşittir.
4	$\pm 4.0\text{NM}$	Seyrüsefer yardımcıları arasındaki mesafe limitlerini temel olarak ATS yollarını hava sahasını destekler. Normal olarak Avrupa kıtasındaki ülkelerin hava sahasıyla ilişkilidir, fakat bazı terminal prosedürlerinin bir kısmında kullanılabilir.
5	$\pm 5.0\text{NM}$	Mevcut seyrüsefer ekipmanların devam eden işlemlerine müsaade ederek ECAC hava sahasında uygulanabilir. B- RNAV' a eşittir.
10	$\pm 10\text{NM}$	Okyanus ve mevcut seyrüsefer yardımcılarının sınırlandığı uzak yerlerde azalan yatay ve düşey ayırmayı ve artan operasyonel etkinliği etkiler.
12.6	$\pm 12.6\text{NM}$	Seyrüsefer veri kaynaklarının azaldığı sahalarda yönlendirmenin en iyi şekilde yapılmasını sağlar.
20	$\pm 20.0\text{NM}$	Kabul edilebilir minimum kabiliyetteki ATS yol operasyonlarını desteklemek için göz önünde tutulur.

RNP tipleri; planlanmış bir yol veya bir hava sahası içinde yatay boyutta, yanlamasına ve boylamasına olarak Toplam Sistem Hatasını (TSE–Total System Error) kabul eder.

a) Yanlamasına TSE, uçağın gerçek pozisyonu ile seyrüsefer sisteminde programlanan uçuş rotasının merkez hattı arasındaki farklılık olarak kabul edilir.

b) Boylamasına TSE ise, belirli bir sanal noktaya (WP-Way Point) olan gerçek mesafe ile aynı noktaya gösterilen mesafe arasındaki farklılık olarak kabul edilir.

Yanlamasına TSE aşağıdaki faktörlerin kombinasyonudur:

- Seyrüsefer sistem hatası,
- RNAV hesaplama hatası,
- Display sistem hatası,
- Uçuş teknik hatası (FTE-Flight Technical Error).

Boylamasına TSE ise, aşağıdaki faktörlerin kombinasyonudur:

- Seyrüsefer sistem hatası,
- RNAV hesaplama hatası,
- Display sistem hatası.

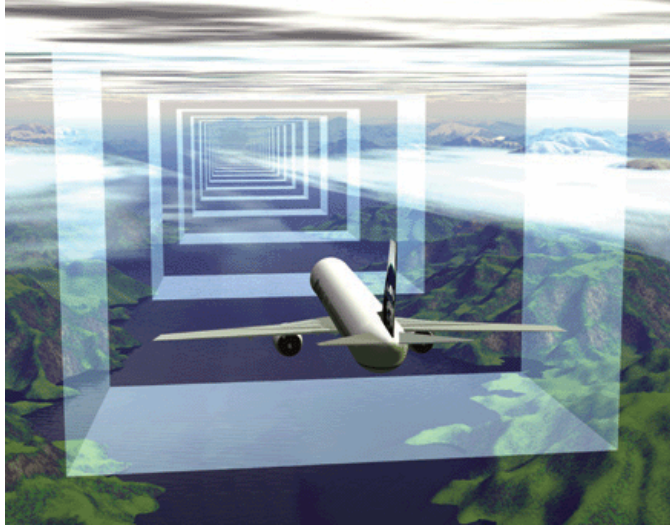
Uçakların belli bir RNP'de seyrüsefer yapabildiği kabul edildiğinde, uçuşun herhangi bir safhasında uçuş süresinin % 95'i için belirlenen RNP tipini yanlamasına ve boylamasına TSE'yi aşmadığı gösterilmelidir. Örneğin, belirlenen RNP tipi 1NM (1,85km) ise; belirlenen RNP tipinin uçuşun herhangi bir safhasında uçuş süresinin %95'inde, her iki boyutta da TSE'yi aşmadığını göstermek gerekir. Bu durumda;

a) Uçağın gerçek pozisyonu, planlanmış rota merkez hattının 1NM içinde olmalıdır.

b) Uçağın gerçek pozisyonu, WP'e olan mesafenin 1NM içinde olmalıdır.

Yol safhası için RNP tiplerinin belirlenmesinde dikey seyrüsefer (vertical navigation) veya zamana önem verilmemiştir. Gelecekte beklenen uygulamalarda seyrüsefer, barometrik altimetreye dayalı olacaktır. Bu durumda, sınıflandırma kriterindeki dikey performansın göz önüne alınması gerekli olabilir [4]. Uçak, RNP sayesinde Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bir koridor içerisinde seyrüseferini

gerçekleştirir ve belirlenen RNP tipine göre yanlamasına ve boylamasına rota muhafaza doğruluğunu sağlar.



Şekil 2.2. RNP sayesinde koridor içerisinde gerçekleşen seyrüsefer [10]

2.1.3 RNP gereklilikleri

RNP, hava sahası içerisindeki seyrüsefer performansı ile ilgili bir kavram olduğu için hem hava sahasını hem de uçağı etkiler. RNP hava sahasını kullanacak uçak uygun olarak teçhizatlanmalı ve uçuş mürettebatı da gerekli rota muhafaza doğruluğunu sağlamak için eğitilmiş olmalıdır. Bunun yanı sıra, hava sahasının altyapısı da RNP tipini desteklemelidir [3].

2.1.3.1 Hava sahası gereklilikleri

RNP; boyutları belirli bir hava sahasında, hava sahasının bir bölümünde veya bir alanda uygulanabilir. Belirli bir RNP alan içerisinde, ATS yolları için gerekli olan RNP tipini otoriteler belirler.

Ülke veya uygun hava trafik kontrol (ATC-Air Traffic Control) otoritesi tarafından onaylandığında, belirlenmiş RNP sahalar içinde yayımlanmamış yollar uçuş için planlanabilir. Bu yolların;

- Belirli bir Uçuş Bilgi Bölgesi (FIR-Flight Information Region) veya upper FIR içinde coğrafik koordinatlar ile belirlenmesine,
- Belirli bir zaman sürecinde ve/veya,
- Belirli uçuş seviye bantları içinde olmasına izin verilebilir.

Uçağın normal rotasından çıkmasını önlemede (uçak sistem hatası, seyrüsefer yardımcılarının tolerans değerlerinin dışına çıkması gibi) kontrolörün müdahalesi gerekiyorsa, uçağın rotasına geri dönmesi veya diğer WP'e ilerlemesi için yeterli yardımın verilmesi gereklidir [4].

RNP tipleri, hava sahasında gerekli minimum seyrüsefer performans doğruluğunu belirler. RNP tipini karşılamayan uçak RNP hava sahasına giremez. Eğer uçak uygun ekipmanla donatılmışsa ve hatta belirtilen RNP tipinden daha hassas seyrüsefer performans doğruluğu sağlıyorsa ilgili hava sahasında uçabilir. RNP 1 sertifikalı uçak RNP 4 hava sahasında uçabilir. Ancak belirli bir altyapıya dayalı olarak çok hassas RNP hava sahası gerekliliklerini sağlayan bir uçak, seyrüsefer ekipmanına uygun altyapının eksikliği nedeniyle daha düşük hassasiyetteki RNP hava sahası gerekliliklerini karşılayamayabilir. RNP 1 sertifikalı bir uçak (sadece DME/DME) RNP 10 (okyanus aşırı) hava sahasında uçamayabilir [11]. Hiçbir yardımcısı olmadan sadece DME /DME dayalı RNP uçak, DME hizmeti olmayan diğer alanlardaki uçuş safhaları için yeterli olmayacaktır [12].

RNP hava sahası, farklı RNP tipleri için farklı fonksiyonel gerekliliklere sahip olabilir. Bu fonksiyonel gereklilikler uçak sistem fonksiyon gerekliliklerinde gösterilmektedir. Örneğin; RNP tipi hava sahasının bir fonksiyonel gerekliliği; paralel ofset olarak bilinen, uçağın belirli bir mesafeye planlanan rotasının merkez hattından kaymış olarak uçurulabilmesi olabilir. Bu işlev, ATC için hem stratejik hem de taktik durumlarda çok yararlı bir araç olabilir. Taktik durumda; belirli şartlarda radar vektörü yerine ofset uygulanabilir (Aralıksız olarak alçalma/tırmanmayı kolaylaştırmak gibi). Stratejik durumda; hava sahasının emniyetine zarar vermeksizin, kapasiteyi arttırmak adına

sistematik ofset uygulanabilir. Ofset mesafe, dönüş performansı gibi ayrıntılar, ATS birimlerinin anlaşmasını gerektirmektedir.

Farklı RNP tipi hava sahalarına geçişlerde uygulanacak prosedürler mevcuttur. Birkaç RNP tipi ve muhtemel uygulamalar bulunduğu için, farklı tipteki RNP hava sahaları arasındaki geçiş prosedürleri önemlidir. Bu nedenle detaylı planlamaya ihtiyaç vardır:

a) Hassas doğruluklu RNP hava sahasından daha az hassas doğruluklu RNP hava sahasına geçerken; trafiğin yönetilecek olduğu noktalara karar verilmesi,

b) Geçiş için oluşturulan planların, simülasyon ortamında test edilmesi,

c) Belirli RNP tipi hava sahası içinde sadece bu operasyonlar için onaylanan uçaklara izin verilmesi,

d) Gerektiği durumlarda bölgesel anlaşmayı sağlamak için bütün ilgililer arasında koordine sağlanması gereklidir.

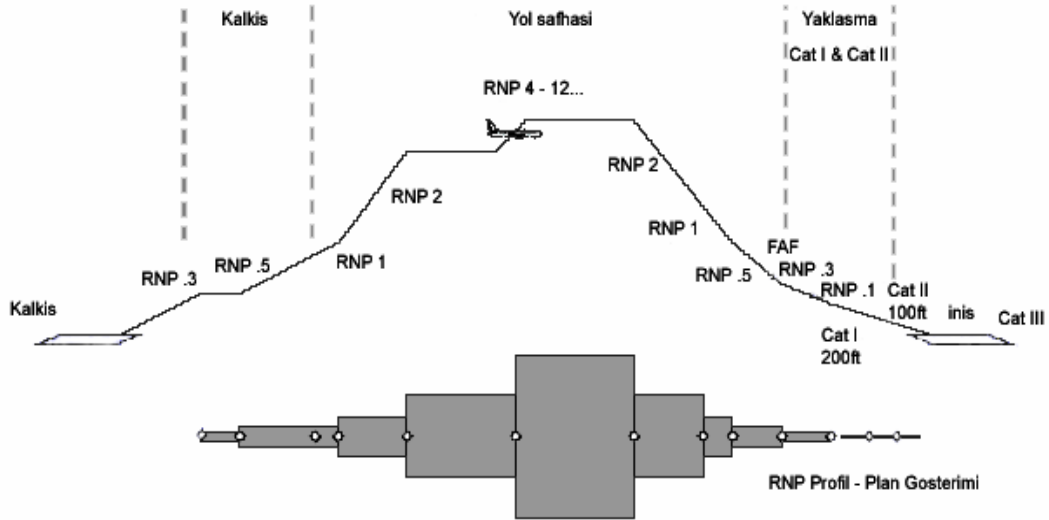
RNP hava sahası içinde operasyon gerçekleştiren uçuş mürettebatının sorumluluğunda uygulanması gereken prosedürler vardır:

- Uçuş mürettebatının, seyrüsefer doğruluğunu muhafaza etmeyi etkileyecek; ekipman yetersizliği, hava şartları gibi faktörleri kontrolöre bildirmesi,
- Pilot, kendisi için belirlenen uçuş yolundan sapmadan önce ATC iznini almış olmalıdır. Eğer kontrolöre haber verilmemişse, bölge için belirlenen prosedürlere bağlı kalınarak mümkün olduğunca çabuk ATC izninin alınması gerekir.

RNP hava sahasında operasyon gerçekleştiren trafıklere karşı ATC birimlerinin de uygulanması gereken kurallar mevcuttur:

- Kontrolör, uçağın kullanmakta olduğu RNP hava sahasında seyrüsefer performans doğruluğunu muhafaza edip etmeyeceğini kontrol altında tutmalıdır.
- Pilotun, gerekli performans doğruluğunu muhafaza edemeyeceğini bildirmesi durumunda; kontrolörün, diğer ATC birimleri ile koordine kurarak gerekli ayırmayı hemen sağlaması gerekir.

RNP; uçuşun farklı safhalarının gerektirdiği farklı RNP tipleri ile, kalkıştan inişe kadar uygulanabilir. Örneğin; kalkış ve iniş için RNP tipinin çok hassas olmasına karşın, yol safhası için daha az hassas RNP tipi talep edilebilir [4]. RNP, kalkıştan inişe kadar farklı uçuş safhalarının gerektirdiği farklı RNP tipleri ile uygulanabilir. Uçuş safhalarına göre RNP tiplerine bakıldığında, kalkış ve iniş için RNP tipinin çok hassas olduğu buna karşılık yol safhası için daha az hassas RNP tipi tercih edildiği görülmektedir [3]. Aşağıda Şekil 2.3'te uçuş safhalarına göre kullanılan RNP tiplerinin plan ve profil gösterimi yer almaktadır. Kalkış safhasında RNP 0.3, RNP 0.5; yol safhasında RNP 4, RNP 10, RNP 12,6; yaklaşma safhasında ise RNP 0.5, RNP 0.3, RNP 0.1 kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. Uçuş safhalarına göre kullanılan RNP tiplerinin plan ve profil gösterimi [7]

Günümüzde Airbus firması uçaklarını, yaklaşma safhası için RNP 0.3, tırmanma ve alçalma safhası için RNP 1 ve yol safhası için RNP 4 olarak

sertifikasyonu etmeyi planlamaktadır. Uluslararası bir gereklilik olması halinde A380, RNP 0.1'i sağlama kabiliyetinde olacaktır [13].

2.1.3.2 RNP uçak gereklilikleri

Şu anda bir ya da daha fazla RNP tipinin gereklerini karşılayacak çok farklı tipte seyrüsefer ekipmanları bulunmaktadır. Bu ekipmanlar geniş alanda yapabilirliğe sahiptirler. Sadece VOR/DME girdilerini kabul edebilen seyrüsefer sistemleri basit RNAV bilgisayar sistemleridir. Gerekli seyrüsefer doğruluğunu muhafaza edilebilmesinde ek seyrüsefer fikslerinin kullanılması veya özel prosedürlerin uygulanması koşuluyla; INS, IRS ve LORAN-C gibi girdileri kullananlar RNAV'ın kompleks tiplerini oluşturmaktadır.

Seyrüsefer ekipmanları, uçağı hava trafik hizmetleri sınırlamaları dahilinde ve yayınlanan RNP tip hava sahasındaki gerekli doğrulukta uçuracak yeterlilikte olmalıdır. Gelecekte RNP bölgesindeki uçakların çoğu çeşitli tipte RNAV ekipmanını taşıması beklenmektedir. Hatta RNAV ekipmanının taşınması bazı bölge veya ülkelerde gereklilik haline gelebilir. RNAV ekipmanı aşağıdaki fonksiyonları yerine getirebilmelidir:

- a) Anlık pozisyon gösterimini sağlamak,
 1. enlem/boylam; ya da
 2. seçilen WP'e uzaklık/yön olarak;
- b) CDU (Cocpit Display Unit) aracılığıyla istenen uçuş planını seçmek ya da uçuş planına girmek,
- c) Uçuşun herhangi bir aşamasında uçuş planının bir bölümü için seyrüsefer verisini yeniden incelemek ya da değiştirmek ve aktif uçuş planını uygulamak için yeterli veriyi yüklemek,
- d) Uçuşta uçuş planını yeniden incelemek, oluşturmak, değiştirmek ya da doğrulamak,

- e) Sadece uçuş ekibinin onayından sonra değiştirilmiş bir uçuş planını uygulamak,
- f) Aktif uçuş planına etki etmeden alternatif bir uçuş planı oluşturmak ve doğrulamak,
- g) Bir tanımlayıcı ya da veri tabanından tek WP seçimi ile ya da veri tabanından WP oluşturulması ile ya da enlem/boylam, yön/uzaklık ya da diğer parametrelerle tanımlanan WP oluşturulması ile bir uçuş planını toplamak/geliştirmek,
- h) Rotaların ya da rota segmentlerinin birleştirilmesiyle uçuş planı oluşturmak,
- i) Gösterilen pozisyonun doğrulanması ya da ayarlanmasına olanak tanımak,
- j) WP aracılığıyla dönüş tahminiyle birlikte otomatik sıralama sağlamak. WP'ler üzerinden ya da WP'lere dönerek uçuşun gerçekleşmesine olanak tanımak için elle sıralamada gerekli olabilir.
- k) CDU üzerinde çapraz yol hatasını göstermek,
- l) CDU üzerinde WP'e olan zamanı göstermek,
- m) Bir WP'e doğrudan izinli kılmak,
- n) Seçilen sapma uzaklığındaki paralel yollarda uçmak; sapma modunu açık bir şekilde göstermek,
- o) Önceki radyo güncellemelerini temizlemek,
- p) RNAV bekleme prosedürlerini yerine getirmek (tanımlandığında),
- q) Hesaplanan pozisyondan sensör farklarını referans alarak uçuş ekibine pozisyon değişikliği tahminlerini iletme,
- r) WGS - 84 jeodezik referans sistemine uymak,

s) Seyrüsefer ekipmanı hatalarını göstermek olarak sıralanmaktadır.

Çok yoğun hava sahalarında artan talebi karşılamak için, operasyon yapabilirliğini sağlaması amacıyla belirli RNAV fonksiyonlarının geliştirilmesi gerekebilir. Gerekli bölgesel ihtiyaçlara cevap verirken; bu fonksiyonların gelişmesi için yapımcılar, kullanıcılar ve ATC hizmet sağlayıcıları arasında yakın iş birliği olması gerekmektedir. Bu gibi ortak operasyonlar, RNAV ekipmanının kullanımında global uyum sağlamanın gelişmesine izin vermesi gerekir. RNP de uygulanması beklenen bazı RNAV fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

- Otopilot/uçuş yöneticisi için komut sinyaller oluşturmak,
- 3D ve 4D pozisyon verilerinin raporunu ekran üzerinde göstermek,
- Rota açısının gösterimini sağlamak,
- 3D ve 4D de WP referans göstermek,
- Yol safhasında minimum 10 tane aktif WP sağlamak,
- Terminal/Yaklaşma safhası için minimum 20 tane aktif WP sağlamak,
- Ekran üzerinde ışıklı veya görsel olarak WP' e yaklaştığını göstermek,
- Otomatik seyrüsefer yardımcılarını seçimi, bütünlük kontrolü sağlamak,
- Dönüş performans gerekliliklerine uymak,
- Gerekli seyrüsefer performans doğruluğu ve sürekliliği kaybı ve ilgili sensörler dahilindeki sistem başarısızlıklarının bildirilmesidir [4].

Uçuş Yönetim Sistemi (FMS–Flight Management System), hava (airborne) sensörleri, alıcılar, display ve otomatik uçuş kontrol sistemine optimum performans rehberliği sağlayan hem seyrüsefer hem de uçak performans verilerini taşıyan bilgisayardan meydana gelen birleştirilmiş bir sistemdir fakat; bu terim sık olarak seyrüsefer (yatay ve/veya dikey) için direkt kontrol yapabilirliği veya bazı çeşitli tavsiye bilgisi, yakıt yönetimi, rota planlama, vb. sağlayan herhangi bir

sistem olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda bu sistemler, performans yönetim sistemleri, uçuş yönetim kontrol sistemleri ve seyrüsefer yönetim sistemi olarak tanımlanmaktadır.

Hava seyrüsefer ekipmanları şunları kapsamaktadır:

- a) VOR/DME, DME/DME, GNSS, LORAN-C gibi seyrüsefer yardımcılarını kullanan sistemler.
- b) INS veya IRS gibi bağımsız sistemlerdir [4].

“Bağımsız Teknoloji Panel Raporu”na göre; RNP prosedürlerinin uygulanmasında olması gereken ekipmanlar GPS, LAAS, WAAS, ADS-B'dir. Bu ekipmanları destekleyici olarak FMS, EGPWS, TCAS ve CDTI'nın uçakta bulunması gereklidir [14].

Küresel konum belirleme sistemi (Global Navigation System-GPS)

GPS alıcısı olan bir kullanıcının, uydu sinyalleri yardımıyla, herhangi bir yer ve zamanda, her türlü hava koşullarında, global bir koordinat sisteminde, yüksek duyarlılıkta, ekonomik olarak, anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren bir radyo seyrüsefer sistemidir [15].

GPS sistemini diğer geleneksel sistemlerinden ayıran en belirgin özellikler:

- Dünya çapında kaplama alanı,
- Sınırsız kullanıcı olanağı,
- GPS çok hassas doğruluk bilgisi sağladığı için, düşük RNP operasyonlarını destekleyen tek sistemdir [16].

Yerel alan iyileştirme sistemi (LAAS-Local Area Augmentatin System)

GPS'in sağladığı veriyi daha yüksek doğrulukla sağlayan LAAS, (Local Area Augmentatin System) yaklaşık olarak 20-30NM yarıçaplı havaalanı sahasına

hizmet vermektedir. Yere dayalı verici tarafından VHF radyo veri linkleri ile düzeltilmiş mesajı yayınlamaktadır. LAAS; kategori I, II ve kategori III hassas yaklaşımları için gerekli yüksek doğruluk, mevcutluk, bütünlük ve bunların yanı sıra dönüş imkanı tanıyan daha esnek yaklaşma yolları sağlayacaktır. Hem yatay hem de dikey ekseninde kanıtlanan LAAS doğruluğu 1m'den azdır [17].

LAAS, GPS'ten aldığı bilgilerin doğruluk, mevcutluk, bütünlük ve sürekliliğini arttırarak hava trafiğinin emniyet ve verimliliğini önemli şekilde yükseltecektir [18]. LAAS ve GPS'in uçağın kullanımı için sağladığı sinyaller, kategori III inişe olanak vermektedir. Aynı zamanda, hem farklı meydanların geliş kalkış yollarının çakışmalarına çözüm bulurken hem de RNP yollar ve prosedürlere destek için çok doğru (kesin) gerekli seyrüsefer performansı sağlamaktadırlar [19].

Genişletilmiş alan seyrüsefer sistemi (WAAS-Wide Area Augmentation System)

WAAS, GPS uydu sinyallerini izleyen yer bazlı referans istasyonlarının oluşturduğu ağı kullanmaktadır. Bu istasyonlar ve Alaska için planlanmış ilave istasyonlar; Birleşik Devletler kıtasında, Hawaii, Porto Rico ve Alaska'da kurulmuştur. Bu istasyonlar; GPS bilgilerini toplar, işler ve bu bilgileri WAAS ana istasyonuna gönderir. WAAS ana istasyonu, GEO uyduları üzerinden seyrüsefer transponderları ile kullanıcı alıcılara gönderilen WAAS düzeltilmiş mesajını geliştirir. WAAS mesajları, doğruluk, mevcutluk ve pozisyon bilgisinden sağlanan GPS emniyetini değerlendirir. WAAS kullanımı ile; GPS sinyal doğruluğu, yatay ve dikey her iki boyutta 20m'den yaklaşık 1,5m-2m'ye hassaslaşmaktadır.

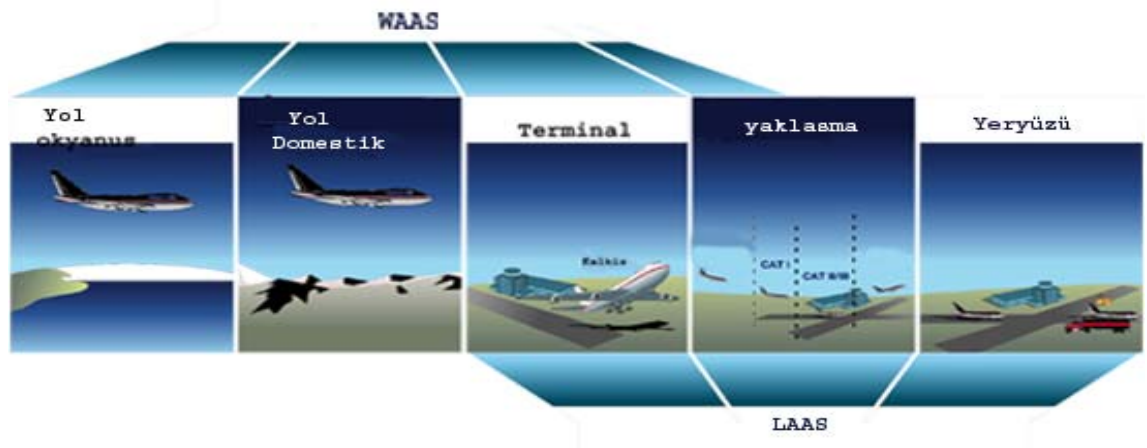
WAAS, sivil havacılık için geliştirilmiş son derece doğru bir seyrüsefer sistemidir. WAAS'ın öncesinde, Birleşik Devletler Ulusal Hava sahası Sistemi (NAS-National Airspace System); tüm bölgelerdeki kullanıcılar için hassas yaklaşma operasyonlarında yatay ve dikey seyrüsefer sağlama kabiliyetine sahip bulunmamaktaydı. WAAS ile birlikte, yatay ve dikey seyrüsefer gerçekleşti. WAAS; yol seyrüseferi, havaalanından kalkış ve havaalanına geliş dahil bütün

uçuş operasyonlarında tüm uçak sınıfları için hizmet sağlamaktadır. Böylelikle, NAS içindeki bölgelerin hepsinde tüm hava koşullarında hassas yaklaşma sağlanmaktadır.

WAAS, pilotlar için hava sahasını daha fazla kullanılabilir hale getirir, yol safhasında daha direkt yollar ve pist sonunda yeni hassas yaklaşma hizmetleri sağlamaktadır. NAS içinde WAAS uygulaması ile emniyet ve kapasite artacaktır. WAAS, mevcut yer bazlı seyrüsefer alt yapısının kaldırılması ile Federal Havacılık Otoritesi (FAA-Federal Aviation Authority) için operasyon giderlerinin azalmasını sağlayabilir.

WAAS, RNP için önemli bir elemandır. NAS içinde tüm kullanıcı sınıfları RNAV kullanımı ile en hassas RNP' yi sağlayabilir. Hava trafik yönetiminin daha küresel olması durumunda; WAAS kavramı, küresel emniyeti de sağlayarak dünya genelinde sivil havacılık altyapısında uygulanabilir. Aynı zamanda; daha hassas RNP standartları ile hava sahası kullanımındaki verimsizlikler azaltılabilir. Böylece; hava trafik akışı hızlanır ve gecikmeler engellenmiş olur [20].

Aşağıda Şekil 2.4'te LAAS'ın bölgesel operasyonlarda (kalkışta, yaklaşımda ve yerde) WAAS'ın ise kıtalararası seyrüseferde kullanıldığı gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Uçuşta LAAS ve WAAS kullanımı [21]

Otomatik bağımlı gözetim sistemi (ADS-B Automatic Dependent Surveillance Broadcast)

ADS-B, uçak aviyoniklerinin otomatik olarak her saniye uçak pozisyonu, irtifa, hız ve diğer verilerini dijital veri hatları ile yayınladığı bir sistemdir. Bu veriler, radara ihtiyaç olmaksızın ekran üzerinde irtifa ve pozisyon bilgilerinin hem kontrolöre hem de diğer uçaklara gösterilmesini sağlamaktadır.

Radyo Teknik Komisyonu'na (RTCA-Radio Technical Commission for Aeronautics) göre ADS-B, uçak üzerinde veya yerdeki bir araç üzerinde periyodik olarak konum vektörünü ve diğer bilgileri yayınlayan bir fonksiyondur.

ADS-B, pilot ve kontrolörlere uçak ve yer trafiğini daha önce mümkün olandan daha hassas bir şekilde görmelerine olanak vermektedir. Radarın çalışma prensibi olan havadaki hedefe radyo dalgalarının çarpması ve yansıyan sinyalin yorumlanmasından farklı olarak ADS-B, GPS'i kullanmaktadır. ADS-B ekipmanlı her bir uçak veya yer aracı hız, irtifa, tırmanma, alçalma ve dönüş bilgileri dahil kendisinin tam olarak GPS pozisyonunu veri hattı ile yayınlamaktadır. Bu durum, ADS-B ekipmanı taşıyan diğer uçak veya araçlara, radarın sağladığından daha doğru trafik bilgisi sağlamaktadır.

Radardan farklı olarak ADS-B, daha düşük irtifada ve yerde çalışmaktadır. Bu durum havaalanında pist ve taksi yollarındaki araç ve uçak trafiklerinin izlenmesine olanak vermektedir. Aynı zamanda bu sistem, radar kapsamının kısıtlı olduğu veya radar kapsamı dışındaki dağlık ve uzak alanlarda etkilidir [22].

Kokpit trafik bilgi ekranı (CDTI - Cocpit Display of Traffic Information)

CDTI, pilotun diğer trafiği görüp sakınmasına imkan vermektedir. ADS-B kullanımı ile uçak kendi pozisyon bilgisinin bulunduğu sinyalleri yayarak sahadaki diğer uçaklara bilgi verir. Bu bilgi kokpitte bulunan CDTI ekranına görsel olarak yansımaktadır [23].

CDTI, uçakların diğer ADS-B ekipmanlı uçaklar ile arasındaki ayırma hakkında bilgi vermeyi, teyit etmeyi ve de bu ayırmayı muhafaza etmeyi

sağlamaktadır. Örneğin; taksi yapacak bir uçak CDTI sayesinde, önünde taksi yapan diğer uçak ile aralarında ne kadar mesafe olduğunu izleyip öğrenebilmektedir [24].

Uçuş yönetim sistemi (FMS - Flight Management System)

Uçuş yönetim sistemi, hava sensörleri, alıcıları, bilgisayarlar ve seyrüsefer veritabanlarından oluşan birleştirilmiş bir sistemdir. Aynı zamanda bu sistemler, ekran ve otomatik uçuş kontrol sistemlerine RNAV rehberliği ve performans sağlamaktadır.

GPS, DME, VOR, LOC ve IRU gibi çoklu kaynaklardan alınan girdiler kullanılmaktadır. Bu girdiler seyrüsefer çözümünde tek olarak veya birbirlerinin birleşimi ile uygulanabilir. Bazı FMS'ler, seyrüsefer hatalarının saptanması ve ayrılmasını sağlamaktadır.

Uygun seyrüsefer sinyalleri mevcut olduğunda, genellikle FMS, pozisyon güncellemek için GPS ve/veya DME/DME' yi kullanacaktır [12].

Trafik ikazı ve çarpışmayı önleyici sistem (TCAS - Traffic Conflict Alert and Collision Avoidance System)

TCAS, uçak kokpitinde yer alan donanım ve yazılımdan oluşan bir ekipmandır. Pilotun yakın çevresindeki diğer trafikleri görmesini sağlayan elektronik bir göz gibidir. TCAS, 40NM'e kadar olan trafiklerin pozisyon ve hızlarını pilota gösterme yapabilirliğine sahiptir. Uçakların birbirine çok yakın geçmesi durumunda sesli ikaz veren bir alettir.

Farklı uçak sınıflarının kullanımı için iki farklı TCAS versiyonu bulunmaktadır. TCAS I, belirlenmiş alan (genellikle 10-20NM) içindeki tüm uçakların baş ve irtifa bilgilerini gösterir. Hangi uçağın pozisyonun tehlike yarattığını renkli kod sembollerle belirtir. Bu durum sistemin trafik tavsiyesi (TA-Traffic Advisory) kısmını oluşturmaktadır. Pilotlar TA'yı aldıklarında bu trafiği tanımlamalıdır ve uçağının irtifasını 300ft'e kadar değiştirir. TCAS I çözümler önermez fakat; pilotlara önemli bilgileri sağlayarak en iyi rotaya karar vermelerini

sağlar.

Daha geniş kapsamlı TCAS II, pilota gerektiğinde çözüm tavsiyesi (RA-Resolution Advisory) bilgisi verir. Bu sistem, her bir uçağın tırmanmakta, alçalmakta veya düz uçuşta olduğunu ve irtifasını belirlemektedir. TCAS II, tehlike anında uçağın diğer bir uçaktan kaçınması gerektiğinde sesli olarak “alçal” veya “yüksel” gibi mesajlar verir. Eğer iki uçakta TCAS II ekipmanlı ise; her iki bilgisayarda çarpışma önleyici RA önerir [25].

Kaçınma manevraları mode S data linki ve hava/hava iletimleri ile koordine edilir. Böylelikle, verilen komutlar birbirlerini etkilemezler.

2.1.4 RNP koordinat sistemi

Seyrüsefer sistemlerinin istasyon referanslıdan dünya referanslı olarak gelişmesi, gerçek pozisyon belirlemede jeodezik datum kullanımının önemli olduğunu göstermiştir.

Jeodezik datuamlar, doğru coğrafik pozisyon belirlemede kullanılır. Şu anda dünyada kullanılan sisteme göre; aynı nokta için farklı enlem-boylam belirleyen birkaç tane jeodezik referans sistemi bulunmaktadır. Dünyada bazı bölgelerde belirlenen pozisyonlar arasında birkaç yüz metrelik farklılık açık olarak görülür. RNP şartlar altında uçan uçaklar için, bu farklılığın büyüklüğü özellikle terminal saha içerisinde asla tolere edilemez. Ayrıca; farklı jeodezik referans datuamları kullanan yakın ülkelerin yol kontrol merkezleri arasında uçak transferi yapılırken, yol safhasında da belirli problemler ortaya çıkabilir. Buna benzer, uçaktaki FMS yazılımı; GNSS gibi uydu bazlı seyrüsefer yardımcıları veya DME gibi yer bazlı seyrüsefer yardımcılarınınkinden farklı jeodezik referans datumu kullanabilir. Yapılan uçuş testlerinde, RNP çevresinde farklı jeodezik referans datuamlarının kullanımının önemli hatalara sebep olacağı görülmüştür.

ICAO, dünyada kullanımı en yaygın olan WGS-84’ü (World Geodetic System-Yeryüzü Ölçüm Sistemi) seçmiştir.

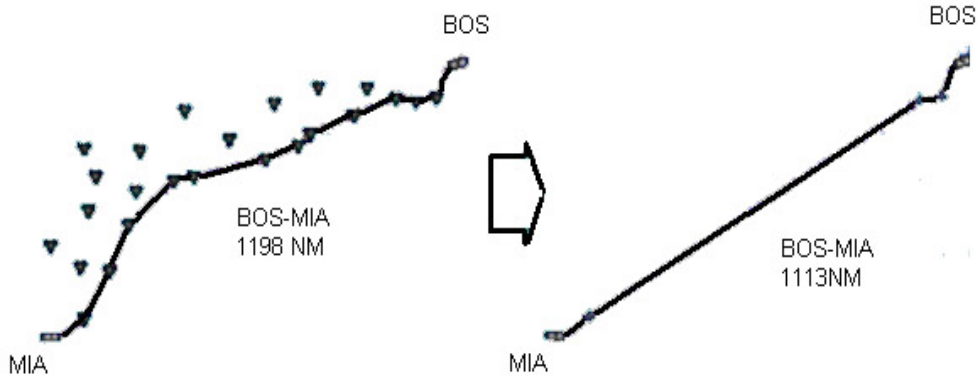
Havacılıkta kullanılan pozisyon verilerinin doğruluğu için büyük sorumluluk ülkeye aittir, bununla birlikte uydu bazlı sistemlerin hava seyrüseferinin tüm sınıflarında uyumlu olabilmesinden önce, küresel bazlı WGS-84'ün uygulamaya konması için ortak bir çaba gerekmektedir [4].

2.1.5 RNP'nin faydaları

Günümüzde tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hava taşımacılığının diğer taşımacılık türleri içindeki payı artmaktadır. Talebin sürekli artış göstermesiyle bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemleri ortadan kaldırmak amacıyla RNP kullanımının artırılması ve geliştirilmesi gereklidir.

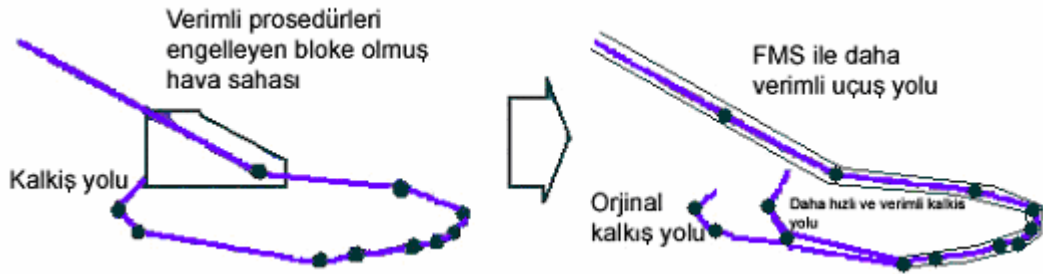
RNP'nin hem yatay hem de dikey seyrüsefer yapabilirliği ile uygulanması durumunda, aşağıdaki şekillerdeki örneklerde gösterilen kapasite, verimlilik ve emniyet faktörlerinde artış sağlanmış olacaktır [26]. Şu anki hava sahası tasarımı ve kullanımı; yere dayalı seyrüsefer yardımcıları ve geleneksel seyrüsefer metotlarının (bir seyrüsefer yardımcısından diğer seyrüsefer yardımcısına uçuş) sonucudur [27]. RNP'nin beklenen faydaları aşağıda sıralanmıştır.

- Yoldaki noktaların enlem, boylam ve uygun irtifaya göre belirlenmesi ile prosedür tasarımında esneklik ve direkt rota oluşturma imkanı (Şekil 2.5),



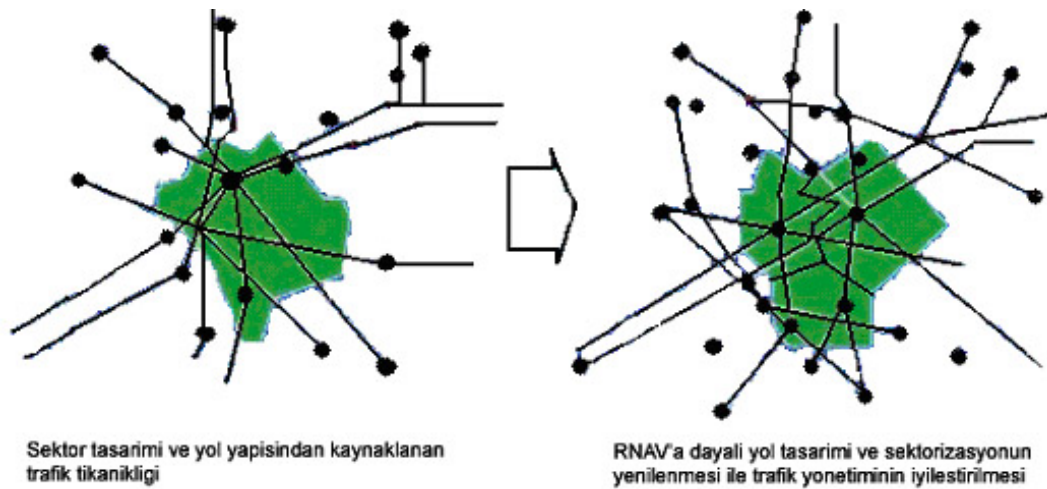
Şekil 2.5. RNAV direkt rota [26]

- Operasyonlarda verimlilik ve hızlilik (Şekil 2.6),



Şekil 2.6. Gelişmiş kalkış yolları [26]

- Hava sahası gerekliliklerinin RNP ile azaltılarak, hava sahası tasarımı ve yönetiminin RNAV yollar ve prosedürler ile gelişmesi (Şekil 2.7),



Şekil 2.7. Hava sahası tasarımının gelişmesi [26]

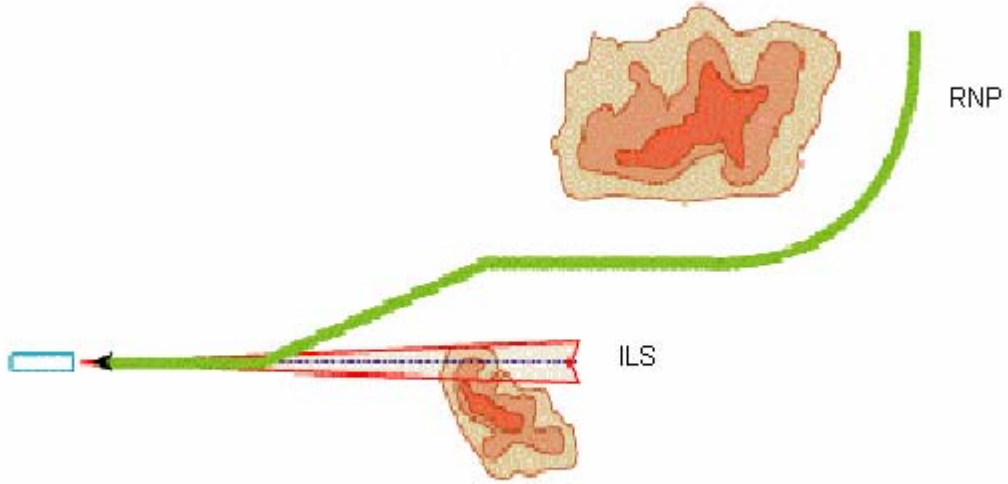
- Rota esnekliği ile trafik ayırmaları ve rota ayırmalarının azaltılmasına bağlı olarak terminal hava sahası kapasitesi ve kullanımında artış [28],
- RNP'ye dayalı yaklaşma prosedürlerini kullanarak, birbirine yakın paralel pistlerin kullanımının geliştirilmesi [26],

- Uçakların, uzun periyotlarda optimum seyir seviyesinde uçabilmelerine olanak sağlayarak, hem yakıt hem de operasyonel maliyetlerde azalma,
- Hava trafik yönetimi iyileştirilerek, hava sahası içinde daha fazla trafiğe hava trafik kontrolü hizmeti sağlanması (Şekil 2.8) [29],



Şekil 2.8. Hava sahasında trafik sayısının artması [29]

- Devletlerin aynı RNP ve ayırma minimalarını onaylaması sonucunda emniyeti arttıracak olan hava trafik koordinasyon ve prosedürlerinde standartlaşma,
- Seyrüsefer gerekliliklerinde dünya çapında standartlaşma [6],
- Yüksek doğruluklu RNP rehberliği sayesinde pilotun çevresindeki engellerden kaçınarak, geleneksel yaklaşma yolunu yakalama imkanı sağlayacaktır (Şekil 2.9) [30].



Şekil 2.9. Uçağın RNP sayesinde engellerden kaçınması [30]

2.2 RNAV ve RNP

RNAV, istasyon referanslı seyrüsefer yardımcılarının erişim alanı dahilinde ya da uçaktaki cihazların kendi seyrüsefer limitleri dahilinde ya da bunların birleşimi sayesinde istenilen herhangi bir uçuş güzergahında uçağın operasyonuna olanak veren bir seyrüsefer yöntemidir [31]. Uçaktaki RNAV ekipmanı uygun yönlendirme komutlarıyla uçaktaki bir veya daha fazla sensör ve yönlendiriciden aldığı verileri işleyerek uçak pozisyonunu otomatik olarak belirler. Seçilen WP'e olan tahmini zaman, yörünge yanlarından ve yörünge boyunca olan mesafeden hesaplanır ve Yatay Durum Göstergesi (HSI - Horizontal Situation Indicator) gibi devamlı bilgi veren gösterge ile birlikte kullanılabilir.

RNP kavramı içinde RNAV operasyonları direkt olarak yer bazlı seyrüsefer yardımcılarını üzerine uçmayı gerektirmeden, belirlenen doğruluk toleranslarında herhangi bir hava sahası içinde uçmaya izin verir. Dünyanın çeşitli yerlerinde RNAV tekniklerinin uygulanması geleneksel seyrüsefere göre sayısız faydalar sağlamıştır. Bunlar;

a) Uçuş mesafesinde azalmaya izin vererek daha fazla direkt yolların kurulması,

b) Yol safhasındaki trafik akışını düzenlemede çift veya paralel yolların kurulması,

c) Çok yoğun terminal sahalarda transit uçaklar için daha kestirme yolların kurulması,

d) Planlanmış ya da bu zamana kadar olan yollar yerine alternatif ya da olası rotalar oluşturulması,

e) Bekleme paternleri için en iyi konumların oluşturulması,

f) Yer esaslı seyrüsefer sistemlerinin sayısında azalma sağlamasıdır [4].

2.2.1 Temel saha seyrüseferi (B-RNAV-Basic Area Navigation)

B-RNAV; RNAV programının temelidir. B-RNAV, RNP 5'e eşittir [31]. Uçağa, uçuş süresinin en az %95'inde uçuş yörüngesini $\pm 5\text{NM}$ doğrulukla muhafaza etme zorunluluğu getirir. Bu seyrüsefer doğruluk değeri, VOR/DME ile tanımlanan ATC rotaları üzerinde geleneksel seyrüsefer teknikleri ile sağlanan doğrulukla birbirine benzemektedir [32].

Verilen hava sahası içinde gerekli seyrüsefer performans değerinin sağlanması sadece uçak seyrüsefer ekipmanlarının işlevselliğine ve doğruluğuna değil; aynı zamanda seyrüsefer yardımcılarının yeterli kapsama alanı ve bölgedeki seyrüsefer altyapısı tarafından sağlanan pozisyon koordinat doğruluğuna bağlıdır. Uygun uçak pozisyonunun belirlenmesi aşağıdaki seyrüsefer kaynaklarından elde edilmektedir [33]:

- DME/DME
- VOR/DME (VOR range'nin 62NM içinde)
- INS (Inertial Navigation System)
- LORAN-C
- GPS

Avrupa Sivil Havacılık Teşkilatı (ECAC-European Civil Aviation Conference) hava sahası içinde B-RNAV operasyonları mevcut emniyet standartlarını muhafaza ederken; geleneksel yere dayalı seyrüsefere karşın

avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar ve ilgili yararları şunları kapsamaktadır:

- Kesişme noktalarının pozisyonlarının tekrar belirlenmesiyle trafik akışının idaresini geliştirmek,
- Daha esnek ATS rota yapısı ve esnek hava sahası kullanımı (FUA-Flexible Use of Airspace) kavramı ile aşağıdaki maddelere izin vererek mevcut hava sahası kullanımını daha verimli hale getirmek,
 - Yoldaki trafik akışını arttırmak için, daha fazla direkt rotalar, (çift veya paralel)
 - Yoğun terminal hava sahasından geçen transit trafikler için geçiş yolları (bypass),
 - Planlanmış veya bilhassa bunun için kurulmuş alternatif veya beklenmedik bir olay durumunda kullanılacak rotalar,
 - Bekleme patenleri için optimum yerlerin belirlenmesi,
- Uçuş mesafesinde azalma bunun sonucunda yakıt tasarrufu,
- Yere dayalı seyrüsefer ekipmanlarının sayısında azalma sağlayacaktır [34].

2.2.2 Hassas saha seyrüseferi (P-RNAV-Precision Area Navigaiton)

Hassas saha seyrüseferi (P-RNAV–Precision Area Navigation) operasyonları için onaylanan hava aracı bütün uçuş süresinin %95’inde $\pm 1\text{NM}$ ’lik rota muhafaza doğruluğuna eşit veya ondan daha iyi seyrüsefer performansına sahip olması gerekir. P-RNAV, RNP 1’e eşittir [31]. Seyrüsefer doğruluk seviyesi; DME/DME, GPS veya VOR/DME kullanılarak elde edilmektedir [35].

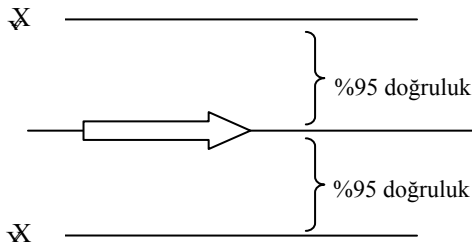
P-RNAV, son yaklaşma ve pas geçme safhaları dışındaki tüm uçuş safhalarında kullanılmaktadır. Bu durum; havaalanı, kontrolör ve pilot ihtiyaçlarının karşılanması için terminal hava sahasındaki yolların en iyi şekilde belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle, daha kısa ve yol safhasına daha kolay bağlanan daha direkt yollara imkan vermektedir. Dikkatli bir şekilde yapılan tasarım sonucunda, ayrılmış geliş ve kalkış trafik akışı sağlanmakla

birlikte, radar vektörlerine olan ihtiyaç azalmış olacak ve böylelikle kontrolör ve pilot iş yükü hafifleyecektir [36].

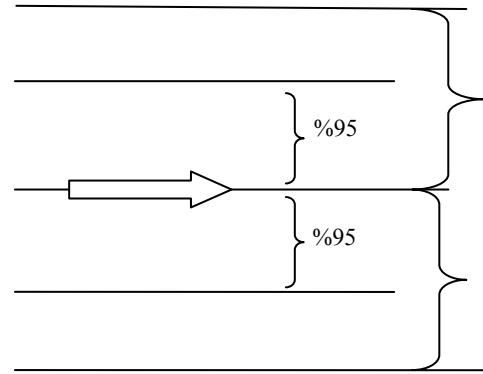
2.2.3 RNP/RNAV

Saha seyrüseferi için gerekli seyrüsefer performansı (RNP RNAV), RNP RNAV çevresi içindeki operasyonlar için sistem gerekliliklerini kapsamaktadır. RNP ve RNP RNAV operasyonlarını birbirinden ayırt etmek önemlidir. Doğruluk, bütünlük ve süreklilik gibi parametreler RNP RNAV ile belirlenir ve ölçülür.

Hava sahası RNP x RNAV olarak belirlendiğinde performans gereklilikleri Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de gösterilen RNP değerinin iki katına eşit olarak bulunan alan değerini kapsamaktadır [11].



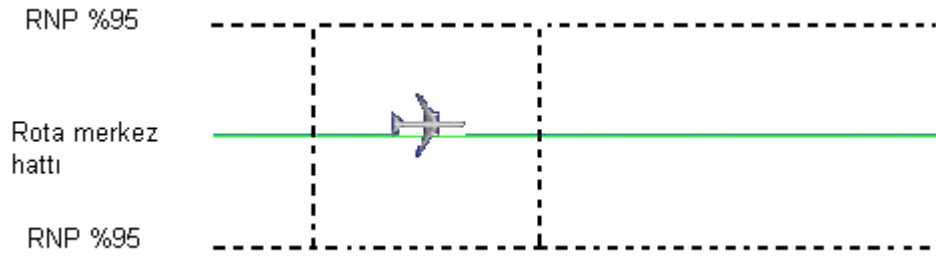
Şekil 2.10. RNP X [11]



Şekil 2.11. RNP - x RNAV [11]

Doğruluk değeri, yaklaşık olarak RNP değerine eşit yarıçapta bir daire çizilmesi ve bu dairenin merkezine uçağın tahmini pozisyonunun yerleştirilmesiyle ifade edilebilir. Uçağın gerçek pozisyonu toplam uçuş süresinin %95,4'ünde bu daire içinde olacaktır. Bu 2σ 'yı ifade etmektedir [37]. Süreklilik ve devamlılık, RNP değerinin iki katına eşit olarak belirlenen alan içinde belirlenmektedir (Örneğin; RNP 0.3 RNAV için alan değeri 0.6nm'dir.) [11].

ICAO RNP manual (DOC. 9613) RNP'yi, %95 alan değeri ve seyrüsefer performans doğruluğu olarak tanımlamaktadır (Şekil 2.12) [26].



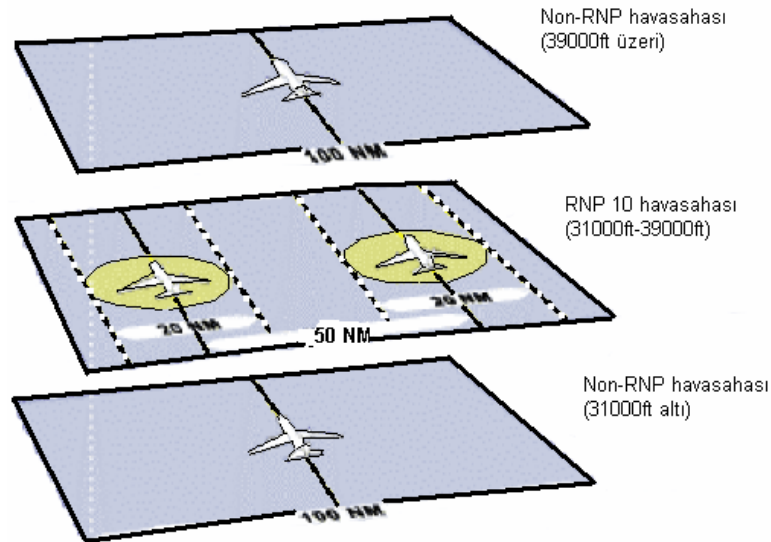
Şekil 2.12. ICAO RNP alanı [26]

2.3 Dünyada RNP Uygulamaları

- **Kuzey Pasifik (NOPAC -North Pacific)**

23 Nisan 1998 yılında, Anchorage Hava Yolu Trafik Kontrol Merkezinde (ARTCC-Air Route Traffic Control Center) 31000ft ve 39000ft arasında RNP 10 yatay ayırma standartları uygulanmıştır [38].

RNP 10 yolların NOPAC' ta kurulması ile ayırmalar 50NM'e düşürülerek kapasite ve verimlilik artırılmıştır [12]. RNP 10 sayesinde uçak toplam uçuş süresinin en az %95'inde belirlenen rotasınının 10NM içinde kalmaktadır (Şekil 2.13) [39].



Şekil 2.13. Kuzey Pasifik'te RNP 10 uygulaması [39].

- **Orta Pasifik (CENPAC-Central Pasific)**

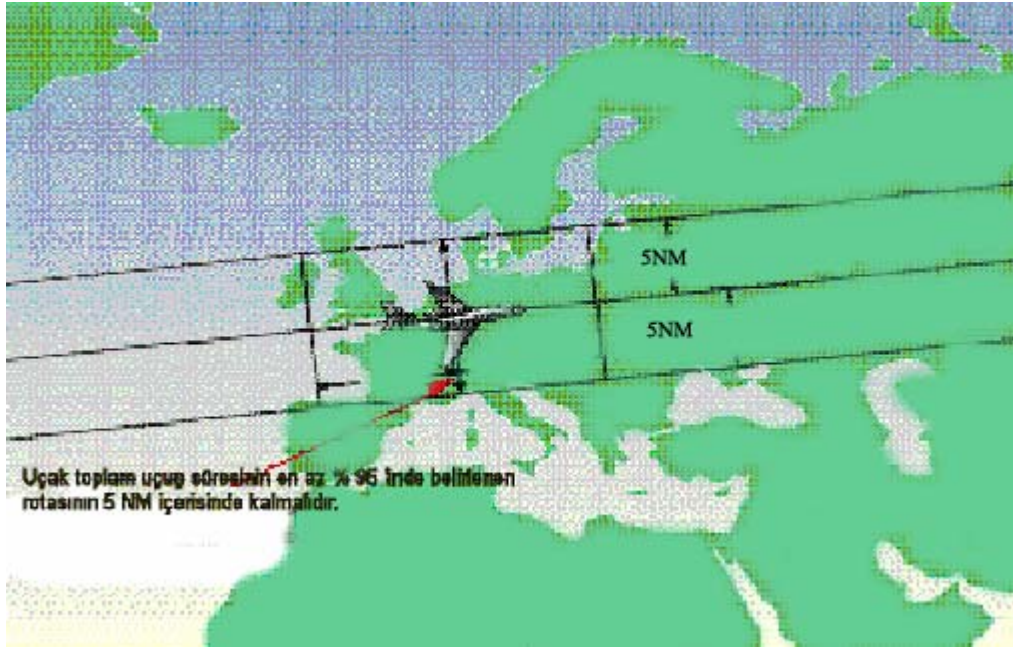
3 Aralık 1998'de Orta Pasifik'te (CENPAC-Central Pasific) (sadece PACOT-Pacific Organized Track System, yol sistemi ile organize edilmiş Pasifik'te) RNP 10 onaylı tüm uçaklara 50NM yatay ayırma standardı uygulanmıştır [5].

2.3.1 Avrupa RNP yol stratejisi

29 Şubat 1998'de tasarlanan Standart Aletli Kalkış Yolları (SID-Standart Instrument Departure) ve Standart Geliş Yolları (STAR-Standart Arrival Routes) dahil ECAC hava sahasında ATS yolunda ve IFR olarak uçan tüm uçak ve uçuş mürettebatının Avrupa hava sahasında BRNAV/RNP 5 onayı gerekli olmuştur. BRNAV/RNP 5, yol yapısında bir değişiklik yapmaksızın mevcut seyrüsefer ekipmanları ile RNP uygulamasına izin verir. Bu uygulama, daha esnek hava sahası tasarımı ve direkt rota ve yakıt tasarrufu gibi kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlamaktadır [5].

ECAC hava sahası için, seyrüsefer bilgilerinin ana kaynağı; VOR/DME, DME/DME ve GPS'tir. VOR ve DME kapsama alanlarının mevcudluğu ve sürekliliği tüm Avrupa için hesaplanmaktadır.

B-RNAV altyapısı için gerekli koşullar (örneğin; seyrüsefer yardımcıları, B-RNAV ATS yolları, B-RNAV prosedürleri, Seyrüsefer koordinatları) ECAC üye ülkelerinin sorumluluğunda kalmaktadır. Aynı zamanda her ülke sorumlu olduğu saha içinde emniyeti sağlamak için gerekli destek hizmetlerini (örneğin; haberleşme, seyrüsefer ve gözetim) sağlamalıdır [32].

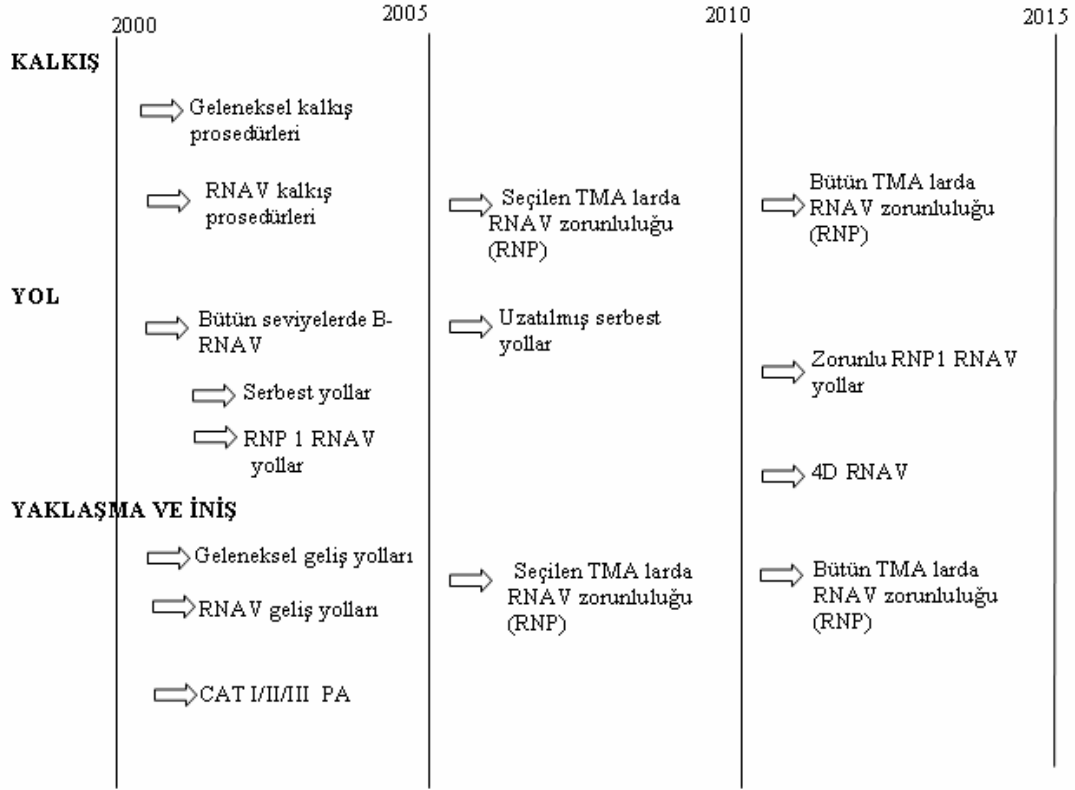


Şekil 2.14. Avrupa’da B-RNAV kullanımı [32]

EUROCONTROL (European Organization For The Safety Of Air Navigation), Türkiye ile birlikte 35 ülkenin üye olduğu, hava seyrüseferinin emniyeti için kurulmuş bir teşkilattır. Eurocontrol; kısa, orta ve uzun vade hava trafik yönetim stratejilerini geliştirir, planlar ve yürürlüğe koyar [41].

Eurocontrol’un seyrüsefer stratejisi için yol haritası Çizelge 2.3’te verilmiştir. Bu stratejiye göre kısa vadede (2005) yol safhasında RNP uygulamaları; orta vadede (2010) yaklaşma, iniş, kalkış için seçilmiş terminal sahalarında RNAV zorunluluğuna bağlı RNP uygulamaları; uzun vadede (2015) ise yol safhasında RNP 1 RNAV zorunluluğu, yaklaşma, iniş, kalkış için ise tüm terminal sahalarında RNP zorunluluğu getirilmektedir (Çizelge 2.3) [42].

Çizelge 2.3. Eurocontrol seyrüsefer stratejisi yol haritası [42]



RNP 5'in uygulandığı ve RNP 5'in geliştirmekte olduğu Orta Doğu ülkeleri Çizelge 2.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.4. RNP 5'in geliştirmekte olduğu Ortadoğu ülkeleri [40]

ÜLKE	RNP onaylı usuller kullanılmaktadır	RNP onaylı usuller geliştirmektedir
Afganistan	-	-
Bahreyn	+	-
Mısır	+	-

İran	-	+
Irak	-	-
İsrail	+	-
Ürdün	-	+
Kuveyt	-	+
Lübnan	-	-
Umman	+	-
Katar	+	-
Suudi Arabistan	+	-
Suriye	-	-
Birleşik Arap Emirlikleri	+	
Yemen	-	+

2.3.2 FAA’ e göre seyrüsefere dayalı performans için yol haritası–RNAV ve RNP yapabilirliğinin değerlendirilmesi 2003 - 2020

Geçen 20 yılda, hava trafiğindeki büyüme Ulusal Hava sahası Sistemi (NAS-National Airspace System) içindeki havaalanı ve hava sahası kapasitesini geçmiş durumdadır. Operatör ve servis sağlayıcıların hızlı ve verimli çalışmalarını geliştirmek ve havaalanı, hava sahası kapasitesini arttırmak için FAA; serbest uçuş faz 1 ve ulusal hava sahası yapısını yeniden yapılandırmak gibi çalışmalarını yakın zaman içinde yürürlüğe koymuş durumdadır.

Hava taşımacılığı ulusal ekonomi ve güvenlikte önemli rol oynamaktadır. 2001 yılında 468,3 milyon yolcu 32 büyük havaalanından uçmuştur. Şimdiki tahminler aynı havaalanları için 2020 yılında %68 oranında bir büyüme ile 818,5 milyon yolcunun hava ulaşımını kullanacağını göstermektedir. Aynı zamanda, Amerika’da çok yakın zamanda iş için kullanılan jetlerin artmasıyla iş amaçlı

havacılık ilerlerken; genel havacılık operasyonlarının aynı seviyede kalacağı fakat; gelecekte artış göstereceği beklenmektedir. Amerika hava sahasındaki yollar ve engeller nedeniyle uluslar arası havaalanları hava taşımacılığını ters yönde etkileyerek uçuşta gecikmelere, programlarda aksamalara, yolcu ve operatörlerin rahatsızlıklarına ve verimsiz uçuş operasyonlarına sebep olmaktadır. Tek bir çözüm ya da basit çözüm kombinasyonları havacılık endüstrisinde hizmetin emniyetli, hızlı gerçekleşmesini sağlamakta fakat çevresel etkileri bu zorluklara karşı minimize etmede yetersiz kalmaktadır. Havacılık komitesinin; pratik, uygulanabilir, mali gücü olan çözümleri birleştirerek, yüksek emniyet ve güvenli performans amaçları doğrultusunda; geçerli kapasite, verimli ve çevresel performans beklentileri olan performansa yönelmesi gerekir.

Havacılık komitesi, belirli teknoloji ve ekipman konfigürasyonundan daha çok performansa dayalı standartlar, ilgili kavramlar ve uygulamaları tanıtmaktadır. Performansa dayalı kavramlar arasında RNAV, RNP, Gerekli Haberleşme Performansı (RCP-Required Communication Performance), ve Gerekli İzleme Performansı (RSP-Required Surveillance Performance) bulunmaktadır. Bu kavramlar, belirli performans seviyelerini, işlevselliğini ve kabul edilen standartlardaki yapabilirliğini tanımlamaktadır. Amaç, daha verimli hava sahası oluşturmak, prosedürlerin tasarımını kolaylaştırmak, emniyet, kapasite ve operasyonel verimliliği artırma yollarını geliştirmektir. Diğer taraftan; havacılık komitesi, performansa dayalı seyrüseferin temel elemanları olan RNAV ve RNP kavramlarını benimsemektedir. Performansa dayalı seyrüseferde diğer temel elemanlar ise, prosedürlerin ve hava sahasının yeniden yapılandırılmasıdır.

Havacılık endüstrisi ve FAA; uçak ve aviyonik üreticileri, havayolu şirketleri, iş amaçlı ve genel havacılık, araştırma teşkilatları ve savunma bölümünün ortaklaşa işbirliği ile bu performansa dayalı seyrüsefer için yol haritasını geliştirmede birlikte çalışmışlardır.

Performansa dayalı seyrüsefer, yol boyunca seyrüsefer, uçağın uçuğu prosedür veya uçağın uçuğu hava sahası olarak tanımlanır ve gerekli ekipmanla uyumlu olmalıdır.

FAA, performansa dayalı seyrüsefer stratejisini 3 temel özellekle benimsemektedir:

- Performansa dayalı seyrüsefer kriter ve standartlarının gelişimini kolaylaştırarak hızlandırmak ve yakın dönemde hava sahası ve prosedürlerin ilerlemelerini yürürlüğe koymaktır.
- Operatörlere elde ettikleri yeni uçakları ve iş durumlarını değerlendirmeleri için gerekli zamanı vererek, geçiş dönemi süresince geleneksel prosedürleri desteklemeye devam etmektedir.
- Performansa dayalı seyrüseferin tanıtımında seçilen hava sahası, yollar ve prosedürler için hedef günleri tespit etmektedir.

Bu yol haritası, uygulama için olan zaman tablosunu 3 periyoda bölmektedir. Yakın dönem 2003-2006, orta dönem 2007-2012, uzak dönem ise 2013-2020 yılları arasındır. Her bir periyotta uçuşun; yol safhası, okyanus, terminal ve yaklaşma prosedürleri için operasyonel yapabilirliğinin tanımlaması vardır.

FAA tarafından 2002 Ağustos'ta RNP'ye dayalı hava sahası ve prosedürlerin oluşması için yürütme ve geliştirme planlarını geliştiren RNP Program Ofis kurulmuştur. RNP uygulama stratejisi yakın, orta ve uzun olmak üzere üç dönemdir [27].

Yakın dönem: FAA, performansa dayalı seyrüsefer stratejisinin yürürlüğe konulması için uluslar arası ortakları ile çalışma yapmaktadır.

Avrupa Havacılık Otoriteleri 1998 yılından beri FL 95 üzerinde uygulanan ve 5NM rota muhafaza doğruluğu gerektiren B-RNAV kullanımını zorunlu tutmaktadır.

Otoriteler P-RNAV'ı zorunlu tutmasa da önemli sayıda Avrupalı operatörün P-RNAV kabiliyetini sağlayacağı beklenmektedir. Eurocontrol'un tahminine göre, Avrupalı taşıyıcıların ortalama %80'i P-RNAV kabiliyetine sahip olacaktır.

Orta Dönem (2007-2012): Orta dönemin sonlarına doğru, RNAV kullanımı üstün konuma gelecektir. Yere dayalı seyrüseferden performansa dayalı seyrüsefere geçiş tamamlanacaktır. Bu zaman süresi içerisinde, NAS içinde çeşitli operatörler uçak kabiliyetlerine yatırım yaparak RNP prosedürlerini arttıracaktır. Sonuç olarak; FAA, mevcut olan yere dayalı seyrüsefer altyapısını, bazı rota ve prosedürler ile birlikte 2010 yılında başlayarak hizmetten kaldıracaktır. Bu zaman içinde seyrüsefer kabiliyetindeki ilerlemeler, uygulanabilen rota ayırmaları, ayırma minimaları, yeni sektörler ve terminal hava sahası yapısına bağlı hava sahası tasarımını sağlayacaktır. Bu durum, uçak operasyonları için yüksek derecede esneklik sağlayacaktır. Aynı zamanda, yol safhası ve terminal hava sahası arasında üretilen işi kolaylaştırmak için çoklu terminal giriş ve çıkış noktaları ve rotaların artmasına olanak sağlayacaktır.

Orta dönem boyunca yol safhasında, RNAV operasyonları hakim olacaktır. Bütün irtifalarda RNP 2 yollar kullanılacaktır. Aynı zamanda; FAA, FL390 üzerinde ve gerekli olan alt seviyelerde (okyanus operasyonları hariç) RNP 1 yolları tanımlayacaktır. 2012 yılında yönetim, karasal hava sahası içinde FL 290 üzerinde RNP 2 kullanımını zorunlu tutacaktır. Hava sahasının yeniden tasarımı çabaları, birbirine yatay ve dikey olarak bitişik olan hava sahalarını da etkileyecektir. FAA, yol safhası ofset uçuşlarda trafik yönetiminin optimizasyonu ve esneklik için RNP'i uygulayacaktır. Karar destek araçları gelişecek ve kontrolöre sağladığı faydalar artacaktır.

Orta dönem boyunca okyanus aşırı uçuşlarda, Pasifik Okyanusu RNP 10 operasyonları, sadece uçak kabiliyetlerinin yeterli derecede olduğu hava sahaları içinde RNP 4 kullanımını geliştirecektir. Ek olarak, haberleşme, seyrüsefer, izleme (CNS-Communication, Navigation, Surveillance) yapabilirliği (uçak ekipmanı dahil) ve iyileştirilmiş hava sahası ve trafik yönetim araçlarının rota ayırmalarında maksimum şekilde azalmayı elde etmesi gerekir. Terminal saha içinde FAA, RNP 1 için operasyonel gerekliliklere ihtiyaç duyan yoğun terminal sahalarında RNP1 SID ve STAR'ları uygulayacaktır.

Geleneksel SID ve STAR'lar belirli yerlerde kullanılmazsa, bu bölgelerde RNAV ve RNP prosedürleri kullanacaklardır. Bu zaman çerçevesi içinde FAA,

artık gerekli olmayan VOR'ları hizmetten kaldıracaktır.

Orta dönemde, RNAV tüm uçuş safhalarında kullanılacak ve kabiliyeti olan operatörler RNP'den yararlanacaklardır. Örneğin; çok yoğun havaalanlarında RNP 1 SID ve STAR'ları uygulanacak ve domestik hava sahası içinde FL 290 üzerinde RNP 2 performansı gerekli olacaktır.

Uzun Dönem (2013-2020): Uzun vadede bazı hava sahalarında RNP kullanımı zorunlu hale gelecektir. Yakın ve orta dönemde oluşturulan yararlar uzun dönem için bir temel oluşturacaktır.

RNP hava sahası, hava sahasının yeniden yapılandırılması, çoklu akış, gecikmelerin azalması için gerekli yollar ve giriş/çıkış noktalarına izin verilmesiyle kapasite ve verimlikte önemli kazanç sağlar. Kurumlar, hava sahasının yeniden yapılandırılmasına, aviyonik ve operatör kabiliyetlerinin standartlaştırılmasına, gelişmiş CNS ve ATM teknolojileri uygulanmasına kadar RNP'nin maksimum yararlarını fark etmeyeceklerdir. Uzun dönem süresince; ATM, uçak yörüngelerini ve hava sahasının daha stratejik bir şekilde yönetimini geliştirecektir. Uzun dönem ATM, 4-D yol kullanımı, genel altyapı bilgisi, karar destek araçları, hava sahası ve uçak performans verilerinin kullanımını içerecektir.

Performansa dayalı seyrüsefer kullanımı ADS-B ve TCAS gibi sistemler ile belirli zaman periyotları ve durumlar için taktik ayırma sorumluluğunun pilota geçmesini sağlayacaktır. Bazı durumlarda, taktik ayırma kontrolör sorumluluğunda kalacaktır.

Bu zaman sürecinin sonunda, bütün alanda RNP dayalı RNAV kullanılacaktır. Operatörler ve servis sağlayıcılar hava sahasının yeniden yapılandırılması ve yol yapısının sabitten daha esnek hale dönmesi, kullanıcı tercihli ve random yol sistemlerinin kurulması gibi otomasyon sistemlerine ihtiyaç duyacaktır.

Okyanus bölgeleri için; okyanus altyapısının hiçbir organizasyon ya da yayınlanmış rota sistemine bağlı olmayan kullanıcı tercihli yolların uygulanmasıyla desteklenmeye ihtiyacı vardır. RNP 4'ün evrensel seyrüsefer

performans standardı olması beklenmektedir. Bununla birlikte, serbest uçuşa geçiş ile, uluslararası hava sahasında gerekli seyrüsefer performans değerleri trafiğin büyümesine ve gerekli olduğunda kapasiteyi desteklemede ATM otomasyon yapabilirliğine bağlı olarak değişebilir.

FAA, terminal hava sahası için; RNP1 sağlayan havaalanlarında terminal trafik akışı ve çevresel nedenler için STAR ve SID'leri zorunlu hale getirecektir. FAA, prosedür tasarımı sayesinde uçakları ana terminal akışından gerekli radar vektörleriyle ayıracaktır. Ana havaalanlarında terminal prosedürler RNP 2 veya daha az olacaktır. Uzun dönem sonunda FAA, B sınıfı hava sahası içinde ki IFR operasyonlar için RNP 1 kullanımını zorunlu tutacaktır. Aynı zamanda, terminal ve yaklaşma geçiş operasyonlarında gerekli olduğu zaman RNP 0,3 kullanımı gerekli olabilir.

Aletli yaklaşımlar için RNP arttırılmış yol, verimlilik sağlar ve çok yoğun havaalanlarındaki karmaşıklığı ortadan kaldırır. FAA; uçak kabiliyeti, verimlilik, pistler arası mesafe, çevresel nedenler veya mevcut engellerin neden olduğu gereklilikleri karşılamak için yaklaşma prosedürlerini hazırlamaya devam edecektir.

2020 yılında, uzun dönem sonunda, RNP operasyonları hemen hemen bütün hava sahasında kullanılıyor olacaktır. Uçuş planı için yayınlanan yol ve rotalar operatörler tarafından kullanılmaya devam edecek ve ATM personeli stratejik plan için onları kullanmaya devam edecektir. Stratejik ve taktik çarpışma saptama ve çözüm sağlayacak bütün otomasyon aletleri, ATM sistemini tanımlayacaktır. Servis sağlayıcıları ve operatörler arasında kurulan işbirliği, sistemin diğer bir yönü olacak temel terminal sahalarda trafik akışının koordineli olmasına yardımcı olacaktır. Uydu seyrüseferi, seyrüsefer altyapısı için temel olacaktır, buna rağmen uydu seyrüsefer (SATNAV-Satellite Navigation) sisteminde herhangi bir hatanın meydana gelmesi durumuna karşın emniyet operasyonlarının devamlı olarak sağlanması için yere dayalı seyrüsefer yardımcıları ağı mevcut olacaktır [43].

2.3.3 RNP uygulamalarına örnek havaalanları

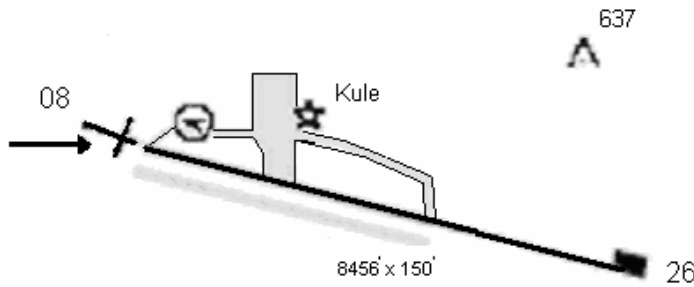
San Francisco ve Alaska'daki 7 havaalanında kullanımı onaylanmış olan RNP prosedürler, uçaklara bilgisayarla rota çizmek için GPS uyduları ve uçak bordo panelindeki seyrüsefer sistemlerini kullanır. Aşağıda örnek olarak verilen hava meydanları; engeller, yeryüzü şekilleri veya kötü hava şartları gibi sebeplerle yeterli derecede faydalanılamayan havaalanlarıdır ve daha iyi hizmet verebilmeleri için RNP'den yararlanılmıştır. RNP sayesinde uçakların direkt rotalarda uçabilmesine imkan sağlanmış ve böylelikle uçuş süresi ve yakıt sarfiyatı da azaltılmıştır [44].

2.3.3.1 Juneau uluslararası havaalanı'nda RNP uygulaması

1996 yılında Alaska Havayolları, 1994 yılında RNP sertifikası almış 737-300 tipindeki bir uçakla, Juneau Uluslararası Havaalanı'na ilk RNP yaklaşma ve kalkış operasyonunu gerçekleştirmiştir.

Juneau Uluslararası Havaalanı (JIA) dağlık bir alana kurulmuştur. Bu meydana uzunluğu 8456ft (2578m) ve genişliği 150ft (46m) olan 08/26 oriyantasyonuna sahip pist kullanılmaktadır.

JIA da pist konfigürasyonu Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Juneau Uluslararası Havaalanı 08/26 pist konfigürasyonu [45]

Juneau'da yıllık yağış miktarının çok fazla olması nedeniyle, uçuş operasyonları kıyısal bulut, sis ve kardan etkilenmektedir [10].



Şekil 2.16. Juneau Uluslararası Havaalanı [10]

Juneau Uluslararası Havaalanı'nda yaşanan sorunlar:

- Bu hava meydanında 08 pisti için yapılan operasyonlar, düşük görüş rüyeti ve bulut tavanı nedeniyle ertelenmekte ya da gecikmekteydi.
- Rüzgarın değişmesiyle 08 pistine yapılacak operasyonlar zorlaşmakta ve hatta imkansız hale gelmekteydi.
- 26 pisti ise, yaklaşma-iniş yardımcıları ve usullerinin eksikliği nedeniyle kullanılamaz haldeydi [10].

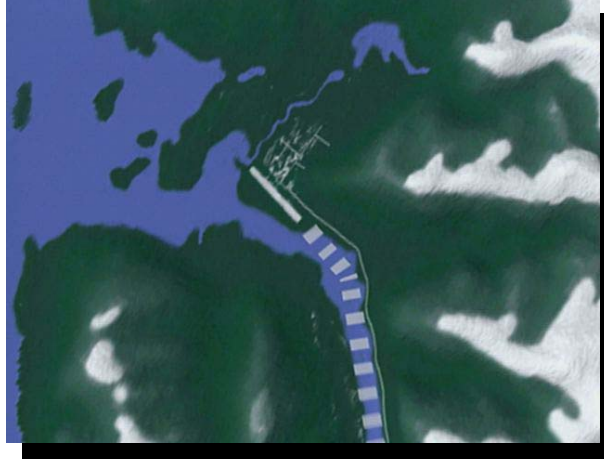
Juneau Uluslararası Havaalanı'nda VFR minimumlar, diğer kontrollü havaalanlarında belirlendiği gibi; yer yüksekliğine 1000ft eklenmesi ve görüşün 3NM olmasını gerektirir. IFR koşullar süresince, uçaklar Anchorage ARTCC ve JIA ATCT sorumluluğundadır. Kapasite hesaplamaları için IFR ve VFR koşullar

arasındaki fark önemlidir çünkü; IFR şartlarda gelen ve kalkan uçaklar arasında gerekli ayırma mesafesi, VFR şartlarda gereken ayırma mesafesinden daha fazladır. Aynı zamanda, IFR şartlarda gelen trafikler inişlerini sadece hassas ya da hassas olmayan olarak yayınlanan aletli yaklaşımlarını gerçekleştirebilirler. JIA hava alanında ortalama %92.6 VFR hava şartları; %5.6'da IFR hava şartları hakimdir. Bu hava meydanı zamanın %1.8'inde ise, iniş minimumlarının altındadır. Bu meydana IFR şartlarda mevcut olan NDB, LDA (Localizer type Directional Aid) aletli yaklaşma tipleri kullanılır.

- LDA-1 pist 8: LDA, hassas olmayan lokalizer yaklaşmasıdır.
- NDB-1 pist 8: NDB, hassas olmayan yaklaşmadır.
- LDA-2 pist 8: JIA için LDA- 2 yaklaşması, LDA -1 den daha düşük minimumları sağlar. Yaklaşmanın çok kompleks olduğu zamanlarda, sadece özel eğitim almış pilotlar için uygun olan yaklaşmadır [45].

Juneau'da güvenilirlik ve emniyetin artırılmasına karar verildi. Boeing seyrüsefer sistem ve performansı uzmanlarının yardımıyla Alaska Havayolları, 08 pistine RNP 0.15 RNAV yaklaşmasını gerçekleştirmek için RNP teknolojisi, uçak performansı ve uçuş operasyonlarından yararlandılar [10].

- 08 pistine RNP yaklaşması: Sadece Alaska havayollarının yetkili olduğu 08 pistine yapılan gerekli seyrüsefer performans yaklaşması; GPS, uçuş yönetim sistemini (FMS) kapsar. Bu yaklaşma tipi, özel eğitimli uçuş mürettebatı ve uçak ekipmanı gerektirir. 08 pistine yapılan diğer yaklaşma türlerine göre bu yaklaşmanın minimaları daha düşüktür. 08 pistinde diğer pas geçme prosedürlerinin tersi yönüne, doğuya pas geçme uygulanır.
- 26 pistine RNP yaklaşması: Bu yaklaşma da 08 pistine yapılan RNP yaklaşmasında olduğu gibi aynı mürettebat ve uçak ekipmanına sahiptir. Juneau'da yapılan aletli yaklaşımlar arasında en düşük minimuma sahip olan yaklaşma türüdür. Sadece 26 pistine direkt yaklaşma vardır [45].



Şekil 2.17. JIA yaklaşma hattı [46]

Sonuç olarak,

- Bulut tavanı ve gerekli görüş minimaları azaltıldı. Aynı zamanda RNP kalkış usulleri ile uçuş mürettebatının iş yükü azaltılarak, daha düşük tırmanma eğimine gerek duyuldu.
- Yaklaşma minimalarında azalma sağlandı.
- Özel kullanımlı hava sahalarından, gürültüye duyarlı alanlardan ve engellerden kaçınmada esneklik sağlandı.
- Emniyetli kalkış ve iniş geliştii [46].

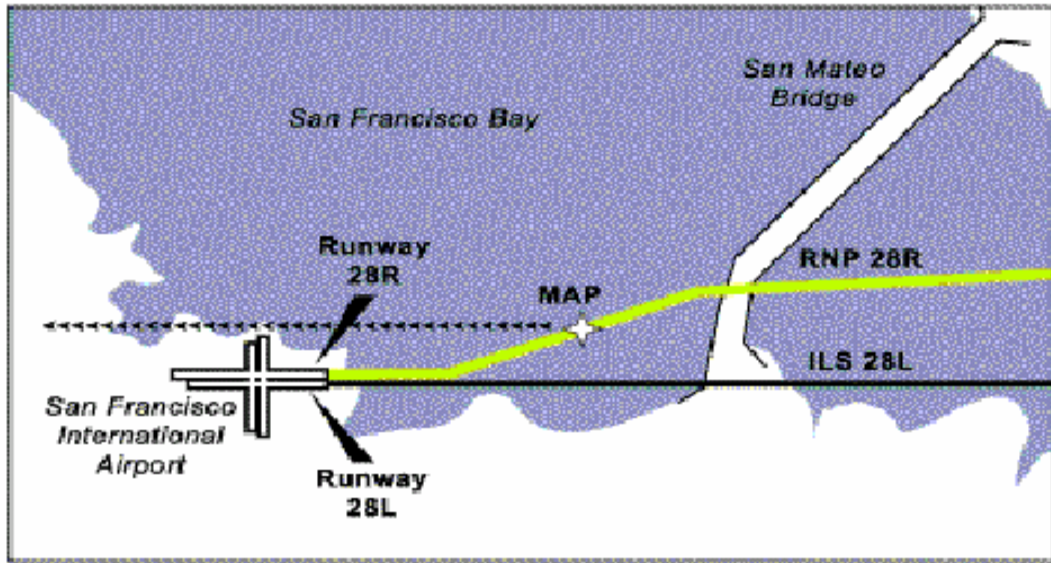
2.3.3.2 San Francisco uluslararası havaalanı'nda RNP uygulaması

San Francisco Uluslararası Havaalanı'nda (SFIA-San Francisco International Airport) aralarında sadece 750ft (229m) mesafe bulunan birbirine paralel ikiden fazla pist kullanılmaktadır [47]. Görerek uçuş koşulları altında iniş yapan bir pilot, kendisine yakın olan piste iniş gerçekleştirmekte olan uçağı görebilmektedir [48]. Bu meydan saatte 60'a yakın iniş trafiğine hizmet vermektedir. Fakat hava koşulları nedeniyle bulut tavanın 3500ft altına düşmesi ile tek bir pist kullanılabilir. Bu da meydana olan iniş trafiklerini yarıya indirmektedir.

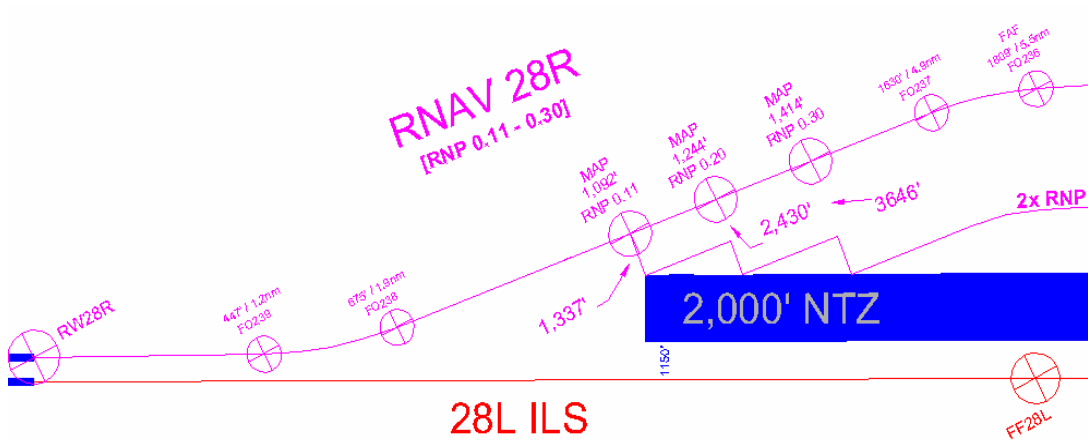
RNP öncüsü olan Alaska Havayolları bulut tavanının 1500ft'e düşmesi halinde bile, iki paralel pistin ekipmanlı bir uçak tarafından aynı anda kullanılmasına olanak veren RNP'ye dayalı yaklaşma için bir öneri sunmuştur ve

bu öneriyi gerçekleştirmiştir. Bunun sonucunda bütün emniyet standartları muhafaza edilirken, hava sahası kapasitesi iyileştirilmiş ve gecikmeler azaltılmıştır [47].

Aşağıdaki Şekil 2.18 ve Şekil 2.19’da 28R ve 28L paralel pistlerine eş zamanlı paralel yaklaşma yapılmaktadır. 28L pistine ILS yaklaşması yapılırken; 28R pistine RNP yaklaşması gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.18. SFIA paralel pistlerine eş zamanlı yaklaşımlar [47]



Şekil 2.19. SFIA'daki paralel pistlere yapılan ILS ve RNP yaklaşımlarının profil gösterimi [46]

Alaska Havayolları; ilk yolculu hassas yaklaşmasını, gerekli seyrüsefer performansı (RNP) uyduya dayalı seyrüsefer sistemlerini kullanarak San Francisco Uluslararası Havaalanı'na yapmıştır.

Alaska 592 sefer sayılı uçak, 23 Şubat Perşembe günü saat 17:55'de Seattle'den kalkmış ve saat 20:04'de San Francisco'ya ulaşmıştır. Yere dayalı seyrüsefer yardımcılara bağlı olarak yapılan yaklaşımlardan farklı olarak; bu uçuşun, GPS ve RNP ile hassas yaklaştırmaya dayalı olmasıdır.

San Francisco da, RNP rehberliğindeki hassas yaklaşmanın kullanılması, tek pist kullanımı ile sınırlı bazı operasyonlarda trafik akışının ilerlemesine yardımcı olacaktır.

San Francisco'da, havaalanı operasyonlarını tek pist kullanımı ile sınırlayan şartlar altında, meydanın ikinci pistine RNP ekipmanlı uçağın iniş yapmasına imkan vermesiyle RNP yaklaşması gelişmektedir. Bu hava meydanı aynı zamanda, RNP olmayan uçaklar için eş zamanlı iniş kabiliyeti sağlayan iyileştirilmiş radar sistemlerini tanıtılmaktadır [48].

SFO'da RNP amaçları:

- Uçuş emniyetini geliştirmek,
- SFO da geliş trafiklerinin gecikmelerini azaltmak,
 - Sadece tek akış mevcut olduğu durumlarda çift geliş akışı yaratmak,
 - Akış kontrol muafiyetini veya geliş trafiği oranını arttırmak,
- Çevre dostu prosedür üretmektir.

San Francisco'da ikili yaklaşma prosedürü

Bu prosedür, San Francisco Havaalanı'ndaki pistlerin aletli meteorolojik şartlar altında daha iyi kullanılması için uygulanmış özel bir uygulamadır.

İkili yaklaşma, pist merkez hatları arasında 2500ft'ten (762m) daha az mesafe bulunan birbirine yakın paralel pistlerin kullanımını amaçlayan yeni bir prosedürdür. Bu prosedürün amacı; aletli meteorolojik şartlar boyunca pistlerin

daha iyi kullanımını sağlamaktır [49]. RNP prosedürleri için iyileştirilmiş kokpit ekranı ve diğer uçağın ADS-B sinyallerini doğru alıp işleyebilen FMS sistemine ihtiyaç vardır. RNP prosedürleri için ek yer ekipmanına ihtiyaç bulunmamaktadır [2].

Birleşik Devletlerdeki trafik operasyonlarında görerek uçuş kuralları (VFR-Visual Flight Rules) altındaki eş zamanlı paralel operasyonları idare etmek için görerek meteorolojik şartlar (VMC-Visual Meteorological Conditions) boyunca birbirine yakın paralel pistler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, IMC (Instrument Meteorological Conditions) şartlar boyunca, aletli uçuş kuralları (IFR-Instrument Flight Rules) izlenmelidir. Şu anda aralarında 3000ft' ten daha az mesafe bulunan paralel pistlerin eş zamanlı yaklaşma için kullanımına izin verilmemektedir.

Görerek yaklaşma kabiliyetinin kaybolması, birbirine yakın paralel pistlere sahip birkaç havaalanı için önemli kayıplar doğurmaktadır. San Francisco Uluslar arası Havaalanı, aralarında 750ft (229m) mesafe bulunan 28R ve 28L paralel pistlerine sahiptir. VFR olarak 28L ve 28R pistlerine yaklaşma yapılması sayesinde bu meydan saatte yaklaşık olarak 60 iniş trafiğine hizmet verebilmektedir.

IMC şartlar süresince ise; sadece tek bir pist kullanılabilir ve bu durumda geliş trafik sayısı saatte 30'a düşmektedir. Böylelikle SFIA'ya iniş yapacak uçaklar için önemli gecikmeler oluşmaktadır.

IMC boyunca oluşan bu kayıplar için United Airlines SFIA'da bağımlı yaklaşımlar için bir prosedür önermiştir. Uçaklar yaklaşma sırasında birbirine uzunlamasına yakınlık içindedir. Bu uçak çiftleri arasındaki uzunlamasına ayırma ADS-B'nin CDTI ile birlikte çalışması sonucu sağlanarak muhafaza edilir. Yaklaşma sırasında öndekini izleyen arkadaki uçağın, kuyruk türbülansı ve çarpışmadan kaçınma amaçlı olarak belirli uzunlamasına ayırmaları muhafaza etmesi gerekmektedir. Uçak çiftleri arasındaki uzunlamasına ayırma standart IFR ayırmalara dayalıdır.

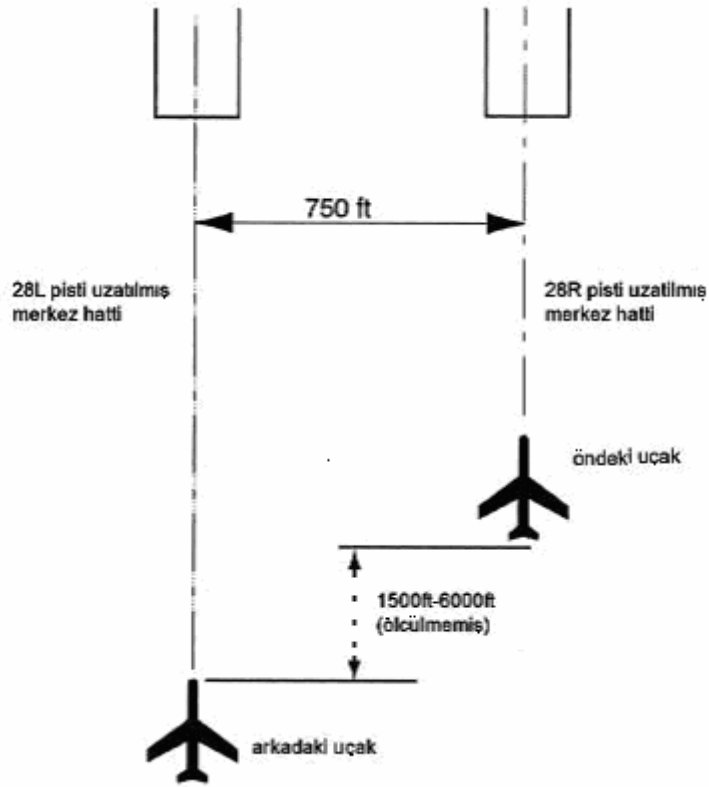
İkili yaklaşma prosedürü ayırma standartlarında azalma gerektirmektedir. United'ın önerdiği, uçak çiftleri arasında uzunlamasına ayırma mesafesi (yaklaşık olarak 1000ft ve 6000ft arası) mevcut standart IFR kalkış için gerekli en az 2-1/2 NM temsil eder. Yeni aviyonikler ve CDTI gibi kokpit teknolojilerinin prosedürü desteklemesi gerekmektedir. Bazı temel prosedürel elemanların incelenmesiyle prosedür için gerekli ayrıntılı teknolojik gereklilikler ve yapılabirlik incelenmiştir. Yaklaşma sırasında uçak çiftlerinin uygulayacakları prosedüre başlarken sağlaması gereken ayırma için uzunlamasına pozisyonları içeren bir alan belirlenmiştir (prosedür için uzunlamasına ayırmayı sağlayan bir pencere). Uçak çiftlerinin bu pencere içinde kalıp kalmayacağı konusunda bazı tereddütler vardır. Bu tereddütler için gelecekte sürececek incelemelere ihtiyaç vardır. Yapılan bu çalışmada uygulanacak olan prosedür için temel geometriksel nedenler konusunda incelemeler yapılmış ve operasyon için gerekli olan pencere belirlenmiştir. Uçakların bu belirlenen pencere içinde kalması için elemanlar belirlenmiş ve prosedürü destekleyici gözetim elemanı ADS-B için gereklilikler incelenmiştir. Sonuçta, daha çok incelemeye ihtiyaç olmasına karşılık prosedürün yapılabirliği kanıtlanmıştır [49].

Tek pist kullanımında kuyruk türbülansı için yapılan uygulamalarda olduğu gibi aralarında 2500ft'ten daha az mesafe bulunan pistler için de standartlar mevcuttur. İkili olarak yaklaşan ya da kalkan uçaklar aşağıdaki şartlardan birini karşılamalıdır:

- Öndeki uçağın kategorisi arkadaki uçağinkine göre daha düşük olmalıdır, kontrolörden özel bir ayırma gerektirir.
- Pilot, diğer uçağı görmeli ve bu uçağın kuyruk türbülansından kaçınmanın kendi sorumluluğunda olacağını kabul etmelidir [2].

İkili yaklaşma prosedüründe temel geometri

Önerilen bu prosedür için temel yatay geometri Şekil 2.20'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.20. Bağımlı yaklaşma prosedürünün yatay geometrisi (SFIA) [49]

Hava trafik kontrol usullerinden pilot usullerine kadar prosedürün hemen hemen tüm elemanları bugün kullanılanlardan farklıdır. Hava trafik kontrol tarafından bir uçak çifti yaklaşma korsuna, dikeyde 1000ft yatayda yaklaşık olarak 1NM ayırma ile yaklaştırılacaktır. Lokalizer üzerinde stabilizasyondan sonra iki uçak eşli yaklaştırmaya izinli kılınacaktır. Bu noktada arkadaki uçak, otomasyon aletlerini kullanır ve öndeki uçaktan olması gereken belirli mesafeyi ayarlar. Otomasyon aletleri, istenilen uzunlamasına ayırmaya ulaşılmasında pilota yardımcı olacak hız tahditlerini ekranda görüntülemektedir. Hız bilgileri ADS-B kullanımı ile sağlanmaktadır. Son yaklaşma fiksinden sonra, yaklaşık olarak havaalanından 5NM'lik mesafe, uzunlamasına ayırmada hiçbir azalma olmaksızın her iki uçağında yaklaşması beklenir. Uçak çiftleri arasında gereken ayırma standart IFR ayırma gerekliliklerine dayalı olduğuna dikkat edilmelidir.

İki uçak arasındaki mesafenin belirlenmesinde iki faktör vardır. Birincisi, arkadaki uçağın öndeki uçağın diğer yaklaşma korsuna beklenmedik dönüşünden etkilenmemesi ve kabul edilebilir çarpışma riskini önlemek için, öndeki uçaktan yeteri kadar uzak olmalıdır. İkinci olarak, arkadaki uçağın öndeki uçağın kuyruk türbülansı ile karşılaşması çok az bir ihtimal olduğu için, arkadaki uçak öndeki uçağa yeterince yakın olmalıdır [49].

3. PARALEL PİSTLERE YAKLAŞMALAR VE RNP UÇUŞ PROSEDÜRLERİ

3.1 Paralel pistlere eş zamanlı yaklaşımlar

Paralel veya paralele yakın pistlerin kullanımı, meydan kapasitesini arttırmada klasik bir yöntemdir. Paralele yakın pistler (Near-Parallel Runways), merkez hatlarının uzantılarının 15° veya daha az bir açıyla yakınlaştığı ya da uzaklaştığı, kesişmeyen pistlerdir.

Annex 14, Cilt 1, Bölüm 3, 3.1.10'da; paralel pistlerin, "medium" veya "heavy" kategorideki uçaklar tarafından sadece VMC altında eşzamanlı kullanıldığı yerlerde, pistlerin merkez hatları arasındaki minimum mesafenin 210m (690ft) olması önerilmektedir. Aletli Uçuş Kuralları (IFR) altında, paralel pist operasyonlarının emniyeti; Surveillance Radar Gözetim Sisteminin doğruluğu, uçağın Aletli İniş Sistemi (ILS) Lokalizer rotasından veya Mikrodalga İniş Sistemi (MLS-Microwave Landing System) son yaklaşma rotasından saptığında kontrolörlerin olaya müdahale etmedeki kabiliyeti, uçakların piste doğru yapacakları seyrüseferin hassasiyeti ve kontrolör, pilot, uçak tepki zamanları gibi faktörlerden etkilenmektedir [50].

Eş zamanlı kullanılması amaçlanan aletli paralel pistler için Annex 14 referans alındığında pist merkez hatları arasında olması gereken mesafe aşağıda verilmiştir:

- Bağımsız paralel yaklaşımlar için 1035m
- Bağımlı paralel yaklaşımlar için 915m
- Bağımsız paralel kalkışlar için 760m
- Ayrılmış paralel operasyonlar için 760m olmalıdır[51].

Eş zamanlı paralel yaklaşımlar için iki temel operasyon usulü mevcuttur, [50] bunlar:

1. Bağımsız paralel yaklaşımlar,
2. Bağımlı paralel yaklaşımlar,

Bağımsız paralel yaklaşımlar: Yan yana pistlerin merkez uzantıları üzerindeki uçaklar arasında radar ayırma minimumunun belirlenmediği paralel veya paralele yakın pistlere yapılan eş zamanlı yaklaşımlardır.

Bağımlı paralel yaklaşımlar: Yan yana pistlerin merkez uzantıları üzerindeki uçaklar arasında radar ayırma minimumunun belirlendiği paralel veya paralele yakın pistlere yapılan eş zamanlı yaklaşımlardır [51].

Paralel veya paralele yakın pistler üzerinde eş zamanlı operasyonlar uygulamanın temel amacı pist kapasitesini arttırmaktır. Geliş kapasitesinde en fazla artış, paralel veya paralele yakın aletli pistlere uygulanan bağımsız yaklaşımlar ile mümkün olmaktadır [50].

3.1.1 Bağımsız paralel aletli yaklaşımlar

Paralel pistlere aşağıdaki şartlarda bağımsız paralel yaklaşımlar yapılabilir:

a) Pist merkez hatları Annex 14, Volume 1'de belirtilen mesafe kadar aralandığında ve,

1) Pist merkez hatları arası 1310m ile 1035m olması durumunda; pozisyon tahmin etme ve sapma ikazı sağlayan yüksek performanslı bir ekran, minimum 0.06°'lik yön hassasiyeti ile 2.5sn veya daha kısa süreli bir veri güncelleme periyoduna sahip uygun bir SSR (Secondary Surveillance Radar) donanımı mevcut olduğunda veya,

2) Pist merkez hatları arasındaki mesafe 1525m ile 1310m arasında olduğunda, yukarıda belirtilenler dışında performans özellikleri olan SSR teçhizatı da kullanılabilir. Ancak, bunun için, uçak operasyonlarının emniyetinin olumsuz

bir şekilde etkilenmeyeceğinin belirlenmesi ve aşağıda 3. maddede ifade edilenlerden daha iyi ya da aynı düzeyde performans özellikleri olan bir SSR teçhizatının kullanılması gerekmektedir.

3) Pistler arasındaki mesafenin 1525m veya daha fazla olması durumunda; yön hassasiyeti 0.3° , 5sn veya daha az bir veri güncelleme periyodu olan uygun bir gözetim radarı olduğunda;

b) Her iki pist için de ILS ve/veya MLS yaklaşımları uygulanıyorsa;

Eşzamanlı paralel yaklaşımlar için kullanılan bir piste hizmet veren ILS ve/veya MLS' in hassas mesafe ölçme ekipmanı (DME) ile birlikte yerleştirilmesi tercih edilir.

c) Bir yaklaşma için pas geçme rotası, diğer taraftaki yaklaşmanın pas geçme rotasından en az 30° 'lik bir açıyla ayrıldığında,

d) Uygun olduğunda; son yaklaşma safhasının yakınındaki sahalar için mania taraması ve değerlendirmesi yapıldığında,

e) Uçaklara pist tanıtması ve ILS Lokalizer veya MLS frekansı olabildiğince erken bir şekilde bildirildiğinde;

f) Uçakların, MLS Son Yaklaşma hattına veya ILS Lokalizer hattına oturmaları için radar vektörü kullanıldığında,

g) Pist merkez hattı uzantıları arasında eşit mesafede en az 610m genişliğinde bir geçiş olmayan saha (NTZ - No Transgression Zone) tesis edilerek radar ekranı üzerinde görüntülendiğinde,

h) Her bir radar kontrolörü, pistlerine yapılan yaklaşımları takip eder ve 1000ft'lik dikey ayırma minimumu azaldığında aşağıdakileri temin eder;

1) Radar ekranında çizilmiş olan NTZ'ye uçakların girmemesini,

2) Aynı ILS Lokalizer hattı veya MLS Son Yaklaşma hattında uçaklar arasında uygulanan uzunlamasına ayırma minimumunun muhafaza edilmesini,

i) Radar kontrolörleri için uçakları inişe kadar kontrol etmeleri amacıyla ayrılmış bir radyo kanalı yoksa:

1) İki uçaktan yüksekte olanın paralel son yaklaşma hattında ILS süzülüş açısına veya MLS irtifa açısına oturmadan önce ilgili meydan kontrolörünün frekansına haberleşmenin devri yapılacaktır.

2) Her bir piste yapılan yaklaşımları gözetleyen radar kontrolörlerine; meydan kontrolörlerine geliş trafikleri için tahsis edilen radyo kanallarına gerektiğinde giriş yapabilme imkanı sağlanacaktır.

Bir uçak yaklaşma kontrol ile temas ettikten sonra, uçağa olabildiğince erken bir şekilde bağımsız paralel yaklaşmanın yürürlükte olduğu bildirilecektir. Bu bilgi, Otomatik Terminal Bilgi Hizmeti (ATIS-Automatic Terminal Information Service) yoluyla da uçaklara aktarılabilir. Paralel yaklaşımların uygulandığı zamanlarda, her bir piste gelen uçaklar için uygulanacak ayırma ve sıralamadan her bir pistin kendi radar kontrolörü sorumludur.

Radar Gözetimi, aşağıdakiler olana kadar sona erdirilmeyecektir:

a) Görerek ayırma uygulandığı zamanlarda, her iki radar kontrolörünün de bu durumdan haberdar olmasını sağlayan usullerin sağlanmasıyla, görerek ayırma uygulanana kadar; veya

b) Uçak indiğinde veya pas geçme durumunda, uçak pist sonunu en az 1.0NM geçince ve son yaklaşma hattına oturan diğer herhangi bir uçakla yeterli ayırma oluncaya kadar.

Radar Gözetim hizmetinin sona erdirildiğinin uçağa bildirilmesi gerekliliği yoktur.

3.1.1.1 Geçiş olmayan saha (NTZ-No Transgression Zone)

Bağımsız paralel aletli yaklaşımlarda yan yana pist merkez hattı uzantıları üzerindeki uçaklar arasında bir radar ayırması sağlanmadığı için; uçağın, ILS Lokalizer hattı veya MLS son yaklaşma rotasından çok fazla saptığının

belirlenmesinde “Geçiş Olmayan Saha-NTZ ” kavramı kullanılmaktadır.

NTZ, pist merkez hatlarının uzantıları arasında, eşit uzaklıkta oluşturulmuş bir hava sahası koridorudur. NTZ genişliği en az 610m’dir. Herhangi bir uçağın NTZ’ye girdiği gözlemlendiğinde; gözetim radar kontrolörü, uçaklar arasındaki ayırmayı tesis etmek için müdahale etmek zorundadır. Bu nedenle NTZ, müdahale zamanının belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. NTZ genişliği aşağıdaki 4 faktöre bağlıdır:

a) Tespit sahası (Detection Zone)

Rotadan sapan bir uçağın tespit edilmesinde; kontrolörün farkına varma/ tepki verme zamanı ve izleme sistemindeki tahditler için belirli bir hava sahası parçasını tahsis etmek gerekir. Bu hava sahası parçası, radar sisteminin (bilgi/görüntü) yenileme süresi ve doğruluğu ile birlikte kullanılan radar ekranının çözünürlüğüne bağlıdır.

b) İntikal süresi/Tepki süresi (Delay Time/Reaction Time)

Aşağıdaki maddeler için hava sahası tahsisatı yapılmalıdır:

1) Kontrolörün tepki vermesi, uygun çözümleyici manevraları belirlemesi ve ayırmayı temin etmek üzere uygun talimatları vermesi sırasında geçen süre için,

2) Pilotun verilen talimatları anlaması ve tepki vermesi esnasında geçen süre için,

3) Uçağın, girilen kontrol komutlarını yerine getirmesi esnasında geçen süre için.

c) Düzeltme sahası (Correction Zone)

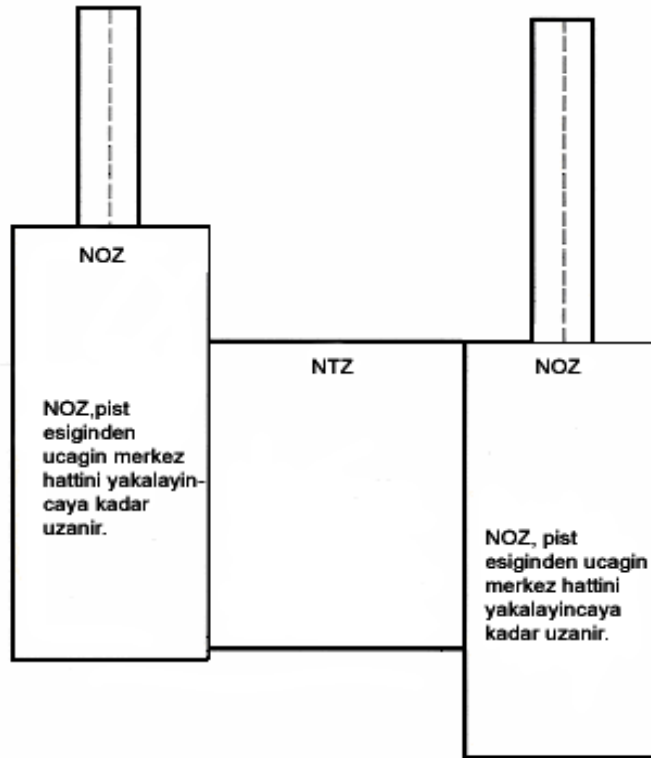
Tehdit altındaki uçak tarafından uygulanan çözümleyici manevraların tamamlanması için ilave bir hava sahası tahsisatı yapılmalıdır.

d) Yakınlaşma mesafesi (Miss Distance)

Herhangi bir sapma durumunda yeterli rota ayırmasının sağlanabilmesi için hava sahası tahsisatı yapılmalıdır.

3.1.1.2 Normal operasyon sahası (NOZ - Normal Operating Zone)

Normal Operasyon Sahası (NOZ- Normal Operating Zone), uçakların ILS Lokalizer hattında veya MLS son yaklaşma rotasında uçmasının ya da son yaklaşma hattını yakalamak amacıyla manevralar yapmasının beklendiği hava sahasıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. NTZ ve NOZ gösterimi [50]

Her bir uzatılmış pist merkez hattına ait bir NOZ vardır. NOZ toplam genişliği, pist merkez hattı uzantısından NTZ'nin en yakın kenarına olan

mesafenin iki katıdır. NOZ, pist eşiğinden, uçakların pist merkez hattı uzantısına girdiği noktaya kadar uzanır.

3.1.2 Bağımlı paralel aletli yaklaşımlar

Eğer pist merkez hatları arasındaki mesafe bağımsız paralel yaklaşımlar için yeterli değilse, pistler arasındaki mesafe 915m veya daha fazla olduğunda, bir bağımlı yaklaşma prosedürü kullanılabilir. Bu gibi durumlarda, bağımsız paralel yaklaşma gerekliliklerine göre kontrolör izleme şartları kolaylaştırılır ve pistler arasındaki mesafe azaltılır.

Bağımsız paralel yaklaşımlarda NOZ ve NTZ ile temin edilen koruma payı, bağımlı paralel yaklaşımlarda yan yana yaklaşan uçaklar arasında uygulanan radar ayırması ile sağlanmaktadır. Sonuç olarak, bağımlı paralel yaklaşımlar, bağımsız paralel yaklaşımlara göre daha yakın aralıklı pistlerde uygulanabilmektedir.

Paralel pistlere yapılacak bağımlı paralel yaklaşımlar için aşağıdakiler sağlanmalıdır:

a) Pist merkez hatları arasındaki mesafe Annex 14, Volume 1’de belirtildiği gibi olmalıdır;

b) Uçaklar, her bir pist için gelen uçakların ayırma ve sıralamasından sorumlu ayrı radar kontrolörleri tarafından son yaklaşma hattına oturmaları için vektör edilir,

c) Minimum 0.3°’lik yön hassasiyeti ve 5sn veya daha az bir yenileme periyodu olan uygun bir gözetim radarı bulunmalıdır,

d) Her iki piste de ILS ve/veya MLS yaklaşımları yapılmalıdır,

Eşzamanlı paralel yaklaşımlar için kullanılan bir piste hizmet veren bir ILS ve/veya MLS’in birlikte yerleştirilmiş bir hassas DME’sinin olması tercih edilir,

e) Uçaklara, her iki pistin de yaklaşımlar için kullanılmakta olduğu bildirilir. (Bu bilgi ATIS ile de sağlanabilir.)

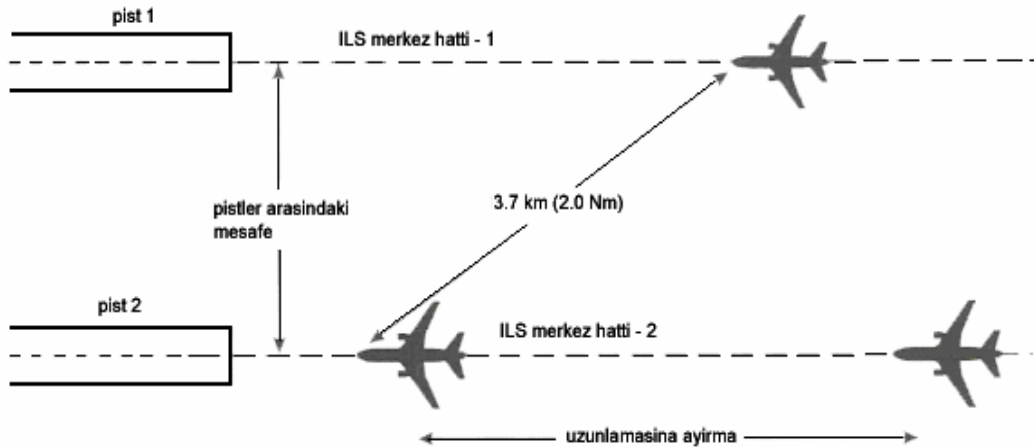
f) Bir yaklaşma için pas geçme rotası, diğer yaklaşmanın pas geçme rotasından en az 30° ayrılmalıdır,

g) Yaklaşma kontrol ünitesi, meydan kontrol ünitesinin frekansına baskın bir şekilde girebilme imkanına sahip olmalıdır.

ILS Lokalizer hattı ve/veya MLS Son Yaklaşma hattına oturmuş uçaklar arasında temin edilecek minimum radar ayırması;

a) Dümensuyu türbülansından dolayı artırılmış bir uzunlamasına ayırma gerekmedikçe, aynı ILS Lokalizer veya MLS son yaklaşma hattı üzerindeki uçaklar arasında 3.0NM,

b) Yan yana ILS Lokalizer'ları veya MLS son yaklaşma rotaları üzerinde birbirini izleyen uçaklar arasında 2.0NM olacaktır (Şekil 3.2).

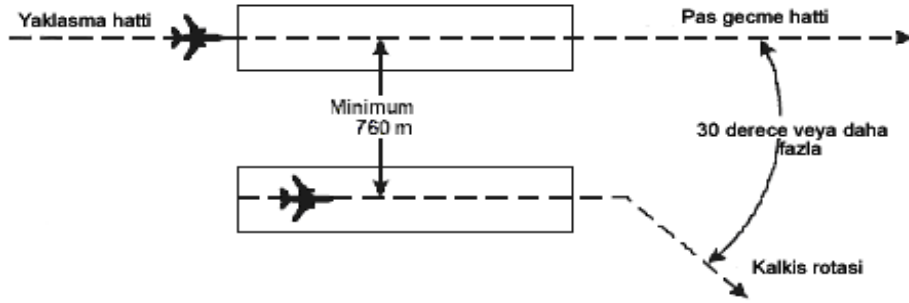


Şekil 3.2. Bağımlı paralel yaklaşımlar [50]

Paralel ILS Lokalizer hattına ve/veya MLS Son Yaklaşma rotalarına dönüşler esnasında uçaklar arasında minimum 1000ft'lik bir dikey ayırma ya da minimum 3.0NM'lik bir radar ayırması sağlanacaktır [50].

3.1.3 Ayrılmış paralel operasyonlar

Paralel veya paralele yakın aletli pistlerin birinin sadece kalkış, diğerinin sadece iniş için kullanıldığı eş zamanlı operasyonlardır [52].

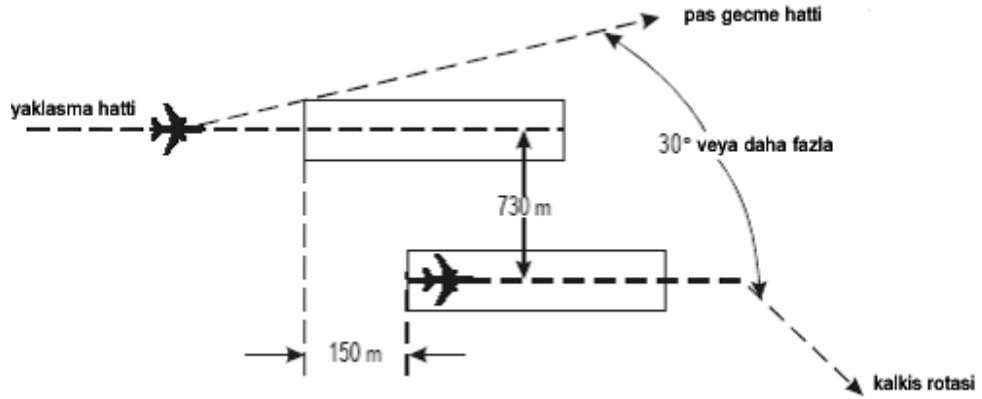


Şekil 3.3. Ayrılmış paralel operasyonlar [51]

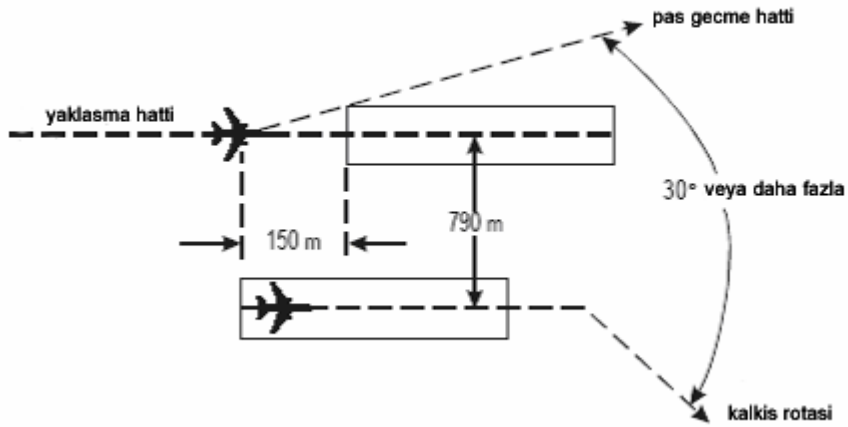
Ayrılmış paralel operasyonlar aşağıdaki koşullarda paralel pistlere de yapılabilir.

- Pist merkez hatları arasındaki uzaklık Annex 14'te belirtilen mesafe kadar olmalıdır.
- Kalkış rotası diğer paralel pistin pas geçme rotasından en az 30° ayrılmış olmalıdır.

Ayrılmış paralel operasyonlar için kullanılan paralel pistlerin merkez hatları arasındaki mesafe iniş pistinin inen uçağa doğru kaydırıldığı her 150m için 30m azaltılarak minimum 300m'ye kadar indirilebilir. İniş pistinin inen uçaktan uzağa doğru kaydırıldığı her 150m için pist merkez hatları arasındaki uzaklık 30m arttırılır.



Şekil 3.4. Geliş yönüne doğru pistin kaydırılmasıyla ayrılmış paralel operasyonlar [51]



Şekil 3.5. Geliş yönünün tersine pistin kaydırılmasıyla ayrılmış paralel operasyonlar [51]

3.2 Birbirine yakın paralel pistlere RNP yaklaşması

Radyo Teknik Komisyonu'nun (RTCA) yaptığı çalışmada; birbirine yakın paralel yaklaşımlar (CSPA-Closely-Spaced Parallel Approaches), aletli yaklaşmanın gerekli olduğu meteorolojik şartlarda, birbirine yakın paralel pistlere yapılan bağımsız ve eş zamanlı yaklaşma şeklinde tanımlanır. Bu uygulama aralarında 2500ft (762m) - 4300ft (1372m) mesafe bulunan pistler için kullanılabilir. CSPA'nın amacı, IMC şartlarda birbirine yakın paralel pistlere eş zamanlı bağımsız yaklaşımlara izin vermektir, böylece iyi hava şartlarında elde

edilen iniş oranına yakın iniş oranı sağlanmaktadır. CSPA, birbirine yakın paralel pistlere sahip büyük havaalanlarında kapasitenin sınırlı olması durumunda ve aletli yaklaşma kullanıldığında uçuşun son yaklaşma safhası için kullanılmaktadır. CSPA uygulaması terminal radar kontrolü olan sınıf B veya sınıf C hava sahasında uygulanacaktır. CSPA'nın araları 2500ft (762m)-3400ft (1037m) veya 4300ft (1311m) mesafe olan pistlerde uygulanması beklenmektedir. Pistler arasındaki minimum mesafe kuyruk türbülansına göre belirlenmektedir. 3000ft (915m) veya daha fazla mesafe ile ayrılan pistlerde bağımsız eş zamanlı yaklaşımlarda hassas pist monitörü (PRM-Precision Runway Monitor) kullanılabilir. 4300ft veya daha az mesafe olan pistlere PRM olmaksızın bağımsız yaklaşımlara izin verilebilir, şu anda eş zamanlı bağımsız yaklaşımlar için daha düşük limitler vardır [53]. Buna örnek olarak, FAA'in geliştirmekte olduğu PRM kullanımına gerek olmayan birbirine yakın paralel pistlere RNP yaklaşması verilebilmektedir [54].

FAA; terminal sahada, RNP paralel yaklaşma geçişleri (RPAT – RNP Parallel Approach Transition) adı verilen birbirine yakın paralel pistlere RNP yaklaşmasını geliştirerek RNP/RNAV yapabilirliğinin avantajlarından yararlanmayı planlamaktadır. RPAT prosedürleri, eş zamanlı bağımsız yaklaşımların devam etmemesi ve görerek meteorolojik şartlarda (VMC) paralel pistler arasındaki mesafenin 4300ft (1311m) veya daha az olması durumlarında havaalanlarında uygulanabilecektir. RPAT prosedürleri PRM kullanımına gerek duymamaktadır [54]. FAA; söz konusu prosedürleri uygulamaya koymak için çalışmalarını sürdürmektedir. Uygulamadaki ilk adaylar Seattle ve Cleveland'tır [55].

Aşağıdaki Çizelge 3.1'de, ilk yedi havaalanını ve muhtemel geliş oranındaki artışı göstermektedir. Bu havaalanlarında zamanın % 5 ile % 20'sinde VMC şartlar oluşmaktadır [54].

Çizelge 3.1. Muhtemel geliş oranları [54]

Havaalanı	Muhtemel geliş oranı artışı (uçak/saat)
Boston Logan International (BOS)	24
Cleveland Hopkins International (CLE)	10
Newark Liberty International (EWR)	21
Portland International (PDX)	20
Philadelphia International (PHL)	12
Seattle-Tacoma International (SEA)	14
San Francisco International (SFO)	20

3.2.1 Hassas pist monitörü (PRM-Precision Runway Monitor)

PRM, düzeltilmiş menzil ve azimut doğruluğu ile gerekli uçak pozisyon verisini her saniyede güncelleyen, geleneksel radar için 4.8sn'de karşılaştırma yapan izleme radarıdır [54].

Aralarındaki mesafe, 1525m'den (5000ft) az, 1035m'den (3400ft) fazla olan paralel pistlere eşzamanlı bağımsız aletli yaklaşma uygulayan uçaklar için kullanılan özel bir "SSR Sistemi" dir. Söz konusu ekipmanın, 0.06°'lik bir minimum azimut doğruluğu (1sigma), 2.5sn veya daha az bir veri güncelleme periyodu, pozisyon tahmin ve sapma ikazı gösteren yüksek çözünürlüklü bir ekranı olmalıdır [4].

PRM emniyet seviyesini muhafaza etmekle kalmayıp aynı zamanda; kontrolöre son yaklaşma korsundaki uçağın pozisyonunu kesin bir şekilde belirtmektedir. PRM için uçağın ek bir ekipman taşımaya gerek yoktur, sadece özel eğitim ve özelliklere ihtiyaç vardır [56].

PRM, uçağın NTZ'e girişinden 10sn önce uçağın rotasını tahmin ederek hem görsel hem de işitsel ikaz sağlamaktadır. Yakın paralel pistlere PRM

yaklaşması süresince, ayrı kontrolör her iki pisti de izlemektedir. PRM'in kullanılmasıyla, kontrolörler paralel yaklaşma korsundaki uçaklar arasında emniyetli ayırmayı sağlamaktadır ve kötü hava şartları boyunca inen uçak oranında verimliliği korumaktadırlar. Yakın paralel pistlere eş zamanlı ILS PRM yaklaşması yapacak olan bütün pilotlar özel olarak eğitimlerini tamamlamış olmalıdırlar.

FAA; kötü hava şartlarında PRM kullanımıyla eş zamanlı aletli yaklaşımlara izin veren aşağıdaki prosedürleri onaylamaktadır.

- Pistler arası mesafenin 4300ft-3400ft olması durumunda eş zamanlı aletli yaklaşımlar (Minneapolis'te uygulanabilen),
- Pistler arası mesafenin 3000ft'in daha altında tek aletli iniş sistemi (ILS) olması durumunda eş zamanlı aletli yaklaşımlar (Philadelphia ve JFK),
- Pistler arası mesafenin 750ft'ten daha az olan paralel pistler için eş zamanlı ofset aletli yaklaşımlar (SOIA) ve FAA tarafından belirtilen pistler arası mesafenin 3000ft ten daha az olduğu hava meydanları (SFO için önerilen),

Haziran 2002'de Philadelphia, araları 3000ft olan paralel pistlere eş zamanlı yaklaşımlar için PRM kullanımına başladı. Şu anda bu yaklaşımlara sadece görerek meteorolojik şartlarda izin verilmektedir. SOIA prosedürü pistler arası mesafesi 750ft-3000ft olan paralel pistlere eş zamanlı yaklaşımlara imkan sağlamaktadır. SOIA; PRM, pistin birine direkt ILS ve diğer piste glide slope yaklaşması ile ofset lokalizer yönlendirme yardımcısı (LDA-Localizer Directional Aid) olması sayesinde sağlanmaktadır. San Francisco Havaalanı'nda (SFO) araları 750ft olan paralel pistlere iyi hava şartlarında geliş trafiğinin oranı saatte 60'tır. Sis ve görüşün düşük olması durumunda, uçaklar sadece tek bir pisti kullanmaktadır ve bu durumda havaalanına geliş trafiğinin oranı yarıya düşmektedir. 4NM görüş ve bulutun 1600ft'e düştüğü durumda; SOIA, SFO'ya gelen iniş trafiğinin oranının saatte 40'ı geçmesine olanak vermektedir. FAA, SFO'da SOIA prosedürleri için uçulabilirlik, çarpışma riski ve kuyruk türbülans

analizlerini tamamlamış durumdadır fakat; PRM hala faaliyette değildir [54].

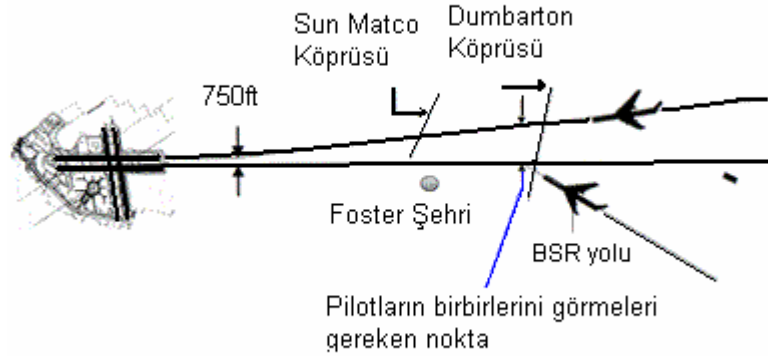
3.2.2 Eş zamanlı offset aletli yaklaşma (SOIA-Simultaneous Offset Instrument Approach)

Eş zamanlı Offset Aletli Yaklaşma (SOIA-Simultaneous Offset Instrument Approach), eş zamanlı iniş için FAA'in belirlediği birbirine 4300ft'ten daha yakın olarak yerleştirilmiş pistlere iki uçağın iniş yapabilmesi tekniğidir.

SOIA'yı olası kılan Hassas Pist Monitör (PRM-Precision Runway Monitor) radarıdır. 1940'lardan beri mevcut olan bu radar, çalışma koşullarının getirdiği sınırlamalara sahiptir. Temel olarak, radyo frekans darbesi gönderilir ve gelen yansıma belirlenir. Darbe, vericiden çok uzağa giderken; radyo frekans darbesinin yayılması kısıtlayıcı faktörlerden biridir. Böylece, vericiden uzakta olan iki uçağın arasındaki farkı söylemek zor olmaktadır.

Diğer bir kısıtlayıcı da darbeler arasındaki zaman gecikmeleridir. Geleneksel radarda, bu zaman 8-12sn'dir. Bu durum, uçakları kontrol ederken birbirine yaklaşmalarında problem yaratır çünkü; uçakların inişi saatte 150NM hızla veya daha fazla olabilir. Uçakların darbeler arasında daha fazla mesafe hareket edebildiği görülebilir, (saatte 150NM, saniyede 220ft'tir ve 10sn'de 2200ft olur).

PRM kullanımı ile, daha kesin bilgi elde edilir ve avantaj getiren iniş paterni tasarımı sağlanmasına imkan verir. SFIA'da uygulanan kurala göre; aynı anda inişe gelen pilotlar 3500ft'te ve pist sonundan 3NM'den daha fazla mesafede birbirilerini görmeleri gerekmektedir. Bu şartlar sağlandığında, SFIA'da iki uçağın inişi idare edilebilmektedir. SFIA'daki mevcut operasyonlar aşağıda Şekil 3.6'daki gibidir [57]:



Şekil 3.6. SFIA' ya gerçekleştirilen yaklaşımlar [57]

3.3 RNP Uçuş Prosedürleri

3.3.1 Giriş

Uçuş prosedürleri, uçağın bir meydana kalkıp diğer meydana inişine kadar olan safhalardan oluşmaktadır. Bu çalışmada RNP yaklaşma prosedürlerine yer verilecektir.

RNP onaylı sistemler için belirlenen yaklaşma prosedürleri hassas olmayan yaklaşımları kapsamaktadır.

3.3.2 Genel kriterler:

3.3.2.1 Hız

ICAO Doküman 8168'de aletli yaklaşma safhalarındaki hız değerleri İşari Hava Hızı (IAS-Indicated Air Speed) cinsinden belirlenmektedir. IAS, irtifa ve hava sıcaklığı gibi etkenlere karşı düzeltilmemiş, göstergede okunan hızdır [58].

Uçak performans farklılıkları manevra gerektiren son yaklaşma, türlü yaklaşma, dönerek pas geçme gibi safhalarda hava sahası ve görüş açısından önemli etkiler yaratmaktadır. Uçak performansının belirlenmesinde en önemli faktör hızdır. Uçak kategorileri, uçağın maksimum iniş ağırlığında ve maksimum uçuş konfigürasyonundaki stall hızının 1,3 katının alınması ile hesaplanır. Kategori

A, B, C, D ve E olmak üzere beş uçak kategorisi bulunmaktadır [59].

3.3.2.2 Uçak kategorileri

Cat A: 91kt' tan daha az.

Cat B: 91kt veya daha fazla, 121kt'tan daha az.

Cat C: 121kt veya daha fazla, 141kt'tan az.

Cat D: 141kt veya daha fazla, 166kt'tan az.

Cat E: 166kt veya daha fazla, 211kt'tan az [59].

Aşağıda Çizelge 3.2'de uçak kategorilerine göre ilk yaklaşma, son yaklaşma, turlu yaklaşma ve pas geçme safhalarında hız değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. Uçak kategorileri ve hız değerleri [59]

Uçak kategorileri	Eşik hızı (kt)	İlk yaklaşma hız değeri	Son yaklaşma hız değeri	Turlu yaklaşma hız değeri	Pas geçme hız değeri Orta safha	Pas geçme hız değeri Son yakl.
A	<91	90/150	70/100	100	100	110
B	91/120	120/180	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

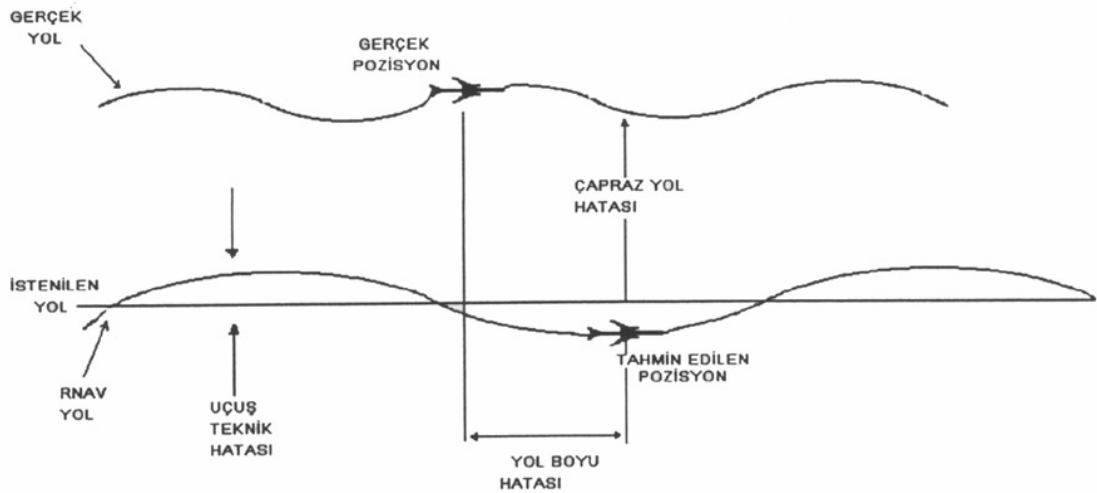
3.3.2.3 Rüzgar hızı (W_v)

ICAO'nun belirlediği rüzgar hızı değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada dönüşler için maksimum rüzgar hızı (30kt) alınacaktır.

$$W_v = 2h + 47kt \quad \left(h = \frac{\text{irtifa}}{1000} \text{ olarak hesaplanır.} \right) \quad (3.1.)$$

Toplam Sistem Hatası (TSE-Total System Error): TSE, genel anlık bir zamanda uçağın gerçek pozisyonu ve planlanmış pozisyonu arasındaki farktan söz edilmektedir. Bu durumsal fark, Toplam Sistem Hatası (TSE-Total System Error) olarak tanımlanmıştır. TSE, Uçuş Teknik Toleransı (FTT-Flight Technical Tolerance), Çapraz Yol Toleransı (XTT-Cross Track Tolerance) ve Yol boyu Toleransından (ATT-Along Track Tolerance) meydana gelir. Bu değerler uçuş yörüngeleri etrafındaki koruma alanlarının belirlenmesinde etkilidir [60].

- FTT: Kokpitte kullanılan pozisyon göstergelerinin tipine bağlı olarak değişmektedir.
- XTT: Havada taşınan ve yerdeki ekipmanlardan ve uçuş teknik toleranslarından kaynaklanan uçuş yoluna dik ölçülmüş bir fiks toleransdır.
- ATT: Havada taşınan ve yerdeki ekipman toleranslarından elde edilen uçuş yolu boyunca bir fiks toleransdır (Şekil 3.7) [31].



Şekil 3.7. TSE elemanlarının gösterimi [31]

WP (sanal nokta) : WP, RNAV yolu ya da RNAV uygulayan uçağın uçuş hattını tanımlamada kullanılan özel bir coğrafi nokta olarak tanımlanmaktadır [51].

WP; coğrafi olarak iki veya üç boyutta tanımlanabilir. Seyrüsefer bilgisinin hesaplanmasında WP'nin yeri gereklidir. RNP 1 ve RNP 4 çevresindeki operasyonlarda aşağıdaki kriterlerin uygulanması gereklidir:

a) RNP 1:

- WP'in, isim veya yer (enlem-boylam) olarak tanımlanması,
- Ekipmanın en az 10 tane WP ile bir rota kurması gerekir.

b) RNP 4, 10, 12.6 ve 20:

-Belirlenen seyrüsefer performans doğruluğunda gerekli seviyeyi sağlamak için tanımlanmış diğer bir nokta veya aletten alınan bearing ve mesafe yeterli olacaktır [4].

İki çeşit WP bulunmaktadır:

1. **Fly - by WP:** Uçak bir sonraki bacağa geçerken dönüşünü önceden belirler.



sembolüyle gösterilmektedir.

2. **Fly-over WP:** Uçak bir sonraki yol bacağına dönüşüne başlamadan önce WP'in üzerinden uçar.



sembolüyle gösterilmektedir [31].

3.3.3 RNP onaylı sistemler için geliş ve hassas olmayan yaklaşma prosedürleri

3.3.3.1 Hassas olmayan yaklaşma prosedürleri için RNP

Doğruluk, bütünlük, süreklilik ve mevcudluk, toplam sistem performans gerekliliklerini belirlemede kullanılan dört parametredir. Genellikle hassas

olmayan yaklaşma prosedürleri sadece ilk yaklaşma safhası için RNP 0.5NM (0.93km), ilk, orta ve son yaklaşma safhaları için RNP 0.3NM'e (0.56km) dayalıdır. Hassas olmayan yaklaşma prosedürlerinde RNP 0.3NM'den (0.56km) daha az bir değer kullanılmamaktadır.

3.3.3.2 RNP'ye dayalı geliş ve hassas olmayan yaklaşma tasarımında kriterler ve ilgili koruma alanları

RNP için geliş alanı yarı genişliği şu genel kritere dayalıdır:

- Yol safhası, geliş safhasının başlangıcı ile ilk yaklaşma fiksinin (IAF-Initial Approach Fix) 25NM (46km) önüne yerleştirilen nokta arasında,
- İlk yaklaşma safhası ise, IAF ile IAF'in 25NM (46km) önüne yerleştirilen nokta arasında kalan alandır.

Bu alanın yarı genişliği; belirlenmiş RNP değerinin iki katına tampon değerinin (Buffer Value: BV) eklenmesi ile bulunur. BV:

Yol safhası: 1.85km (1.0NM)

İlk yaklaşma: 0,93km (0,5NM)

Yol safhasından ilk yaklaşma safhasına geçerken alt ve üst eksenlerin 30° birbirine yaklaşmasıyla, bu alan genişliği azalır. Dönüşler, IAF'in 25NM önüne yerleştirilen noktadan önceki yol safhası ve IAF' ten önceki son 25NM'deki ilk yaklaşma safhası ile korunur.

Düz safha (Straight segment):

RNP'ye dayalı safhalar için hassas olmayan yaklaşma prosedürleri yarı alan genişliği; RNP değerinin iki katına BV eklenmesiyle elde edilir. BV; orta yaklaşma safhası için 3 km (0,5NM), son yaklaşma safhası için 0,37 km (0,2NM), pas geçme safhası için 0,56 km (0,3NM) dir.

Dönüşler :

Düz RNP safhasındaki sabit alan genişlikleri göz önüne alındığında genel RNAV kriterleri uygulanır.

Dönüşü yarıçapı: Aynı zamanda RF (Radius to Fix Turn) bacağı olarak isimlendirilen yarıçap dönüşü, dönüşün sonundaki tanjant noktası, dönüşün merkezi ve dönüş yarıçapı olarak belirtilen dönüş yoludur.

Bu tür dönüş için; daha önceden belirlenen RNP ile ilgili seyrüsefer doğruluklu sağlanmış yörüngeyi izlemek ve rüzgar etkileri için, uçak yatış açısında değişiklikler yapabilmelidir. Bu nedenle; dönüş yarıçapı değeri aşağıdaki gibi belirlenecektir:

Dönüş yarıçapı (r) :

$$r = \frac{(V + V_w)^2}{68626 \times \tan \alpha} \quad r, \text{ NM}; V \text{ ve } V_w \text{ kt cinsinden,}$$

(3.2.)

$$r = \frac{(V + V_w)^2}{127094 \times \tan \alpha} \quad r, \text{ km}; V \text{ ve } V_w \text{ km/sa cinsinden ifade edilmektedir.}$$

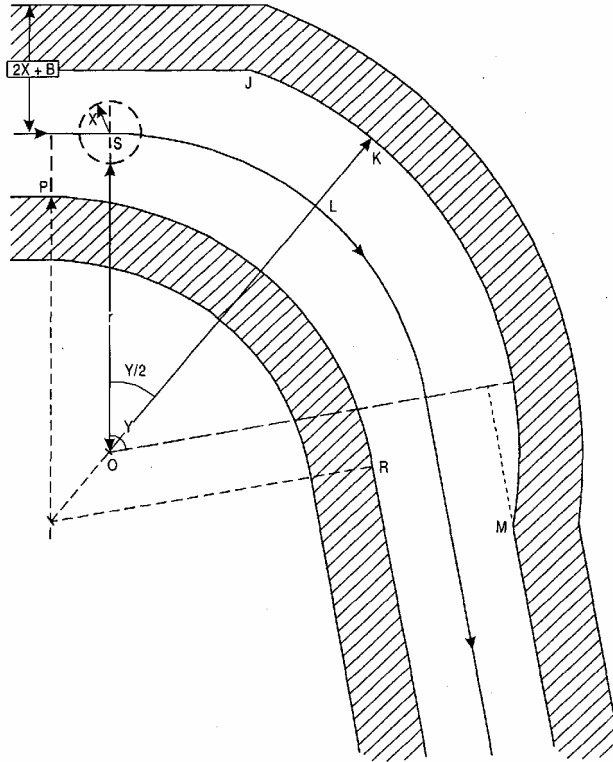
V: Uçağın maksimum hakiki hava süratini,

V_w : Maksimum rüzgar hızını,

α : Uçuş safhasının maksimum yatış açısını göstermektedir.

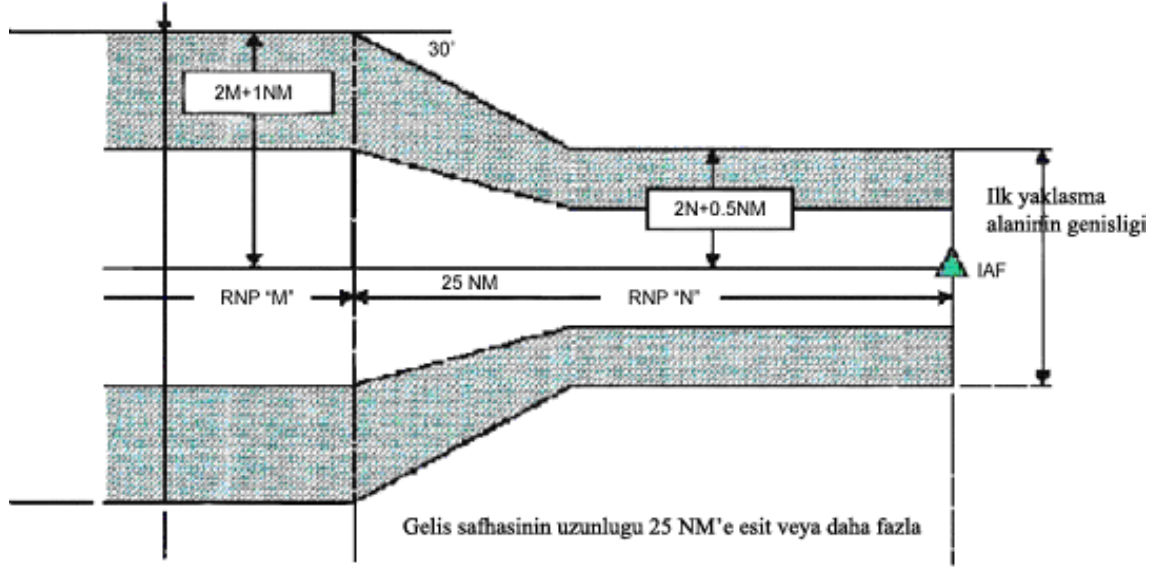
Engel emniyet alanı (Obstacle clearance area), aşağıda Şekil 3.8'de gösterildiği gibidir. X, RNP değerini göstermektedir. Düz segmentler için, yarı alan genişliği $2X + BV$ 'ye eşittir.

Bu durumda; birincil alan limiti, rotadan yatayda RNP değeri ve tampon değerinin yarısına eşittir ($X + \frac{BV}{2}$). O noktası RF dönüşünün merkezi, OS yarıçap, ve Y ise dönüş açısını göstermektedir. O noktasından düz segmentin düşeyiyle $Y/2$ açısı yapan bir çizgi çizilir. Bu çizgi RF dönüşünü L noktasında keser. Aynı çizgi üzerinde, $LK = \frac{X + \frac{B}{2}}{\cos 45^\circ} = 1,414 \left(X + \frac{B}{2}\right)$ olacak şekilde K noktası yerleştirilir. Birincil alanın dış kısmının limitini elde etmek için, merkezi O olan ve yarıçapı OK'ya eşit bir yay çizilir, J'den M'ye $r + 1,414 \left(X + \frac{BV}{2}\right)$ eşittir. Düz safha için birincil alanın limitlerine eklenir. Birincil alanın iç limitlerini elde etmek için, Y'nin açıortayına O noktasından $1,414 \left(X + \frac{BV}{2}\right)$ mesafeye eşit yere I noktası yerleştirilir. I noktasından, birincil alan limitlerini P noktasında kesen dönüşten önce ana yörüngeye bir dikme çizilir. P noktasından R noktasına merkezi I olan bir yay çizilir. Düz safhada $X + \frac{BV}{2}$ 'e eşit olan sabit genişlik göz önüne alınarak; ikincil alan birincil alanın çevresine çizilir.



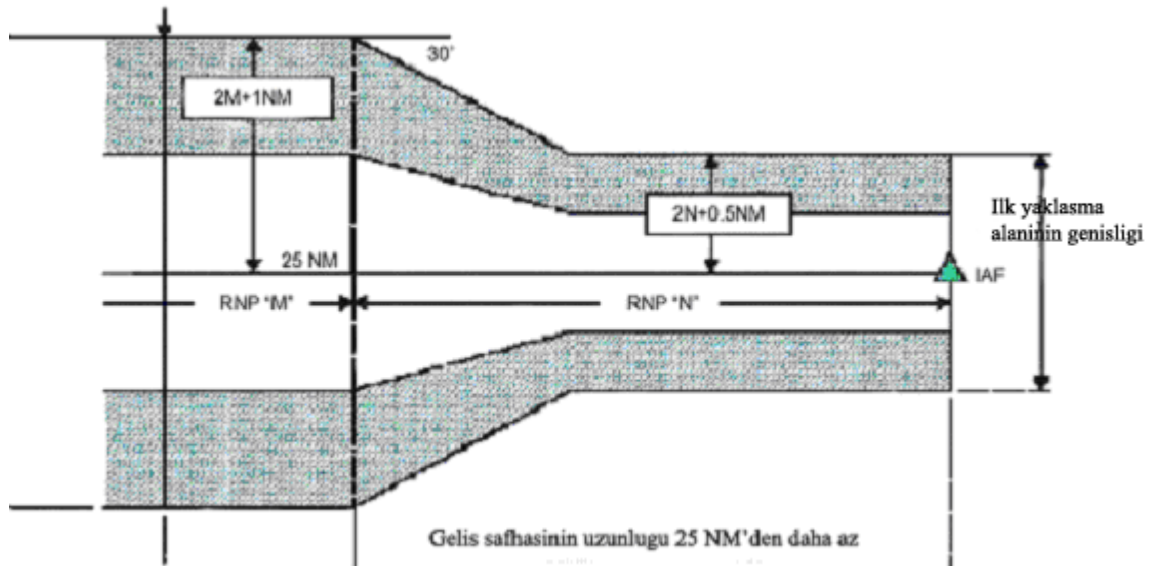
Şekil 3.8. Dönüş yarıçapı [59]

Şekil 3.9'da, RNP'ye dayalı geliş safhası, koruma alanı gösterilmektedir. Geliş safhasının uzunluğu 25NM'e eşit veya daha fazladır.



Şekil 3.9. Geliş safhasının uzunluğu 25NM veya daha fazla [59]

Şekil 3.10'da RNP'ye dayalı geliş safhası ve koruma alanı gösterilmektedir. Geliş safhasının uzunluğu 25NM'den daha azdır. M yol safhasında, N geliş safhasında RNP gerekliliğini ifade eder.



Şekil 3.10. Geliş safhasının uzunluğu 25NM'den daha az [59]

3.3.4 RNP bekleme prosedürleri

RNP beklemesi, dönüş çapı ve inbound bacağın uzunluğu ile tanımlanmış geometrik maksimum track olarak nitelendirilir.

Maksimum RNP bekleme paterni:

- a) WGS- 84 enlem ve boylamında bekleme WP'i,
- b) Minimum ve maksimum irtifa,
- c) Maksimum bekleme işari hava sürati,
- d) Bekleme fiksine inbound bacağı,
- e) Inbound bacağın uzunluğu (d_1),
- f) Dönüş çapı (d_2),
- g) RNP değeri (d_3).

3.3.4.1 Dönüş çapı

Dönüş çapı (d_2), ISA+15° altında belirlenmiş IAS ile, maksimum bekleme irtifasında maksimum rüzgar hızı (W_v) hesaba katılarak yapılan dönüşün, başından sonuna kadar kuyruk rüzgarı ve belirlenen yatış açısı da (FL < 245 $\alpha = 23^\circ$ ve FL >245 $\alpha = 15^\circ$) göz önüne alınarak tanımlanır.

$$d_2 = \frac{(TAS + W)^2}{34313 \times \tan \alpha} \quad (d_2, \text{NM}; \text{TAS ve } W \text{ kt cinsinden verilmiştir.})$$

(3.3)

$$d_2 = \frac{(TAS + W)^2}{63547 \times \tan \alpha} \quad (d_2, \text{km}; \text{TAS ve } W \text{ km/sa cinsinden verilmiştir.})$$

Hesaplamalarda gerçek hava sürati (TAS-True Air Speed) kullanılmaktadır [59]. TAS, irtifa ve hava sıcaklığı gibi etkenler dikkate alınarak düzeltilmiş olan hakiki hava hızıdır [58].

TAS = k × IAS (“k” parametresi sıcaklık ve irtifaya göre değişiklik göstermektedir.) (3.4)

3.3.4.2 Dört sektörden girişli RNP bekleme limitleri

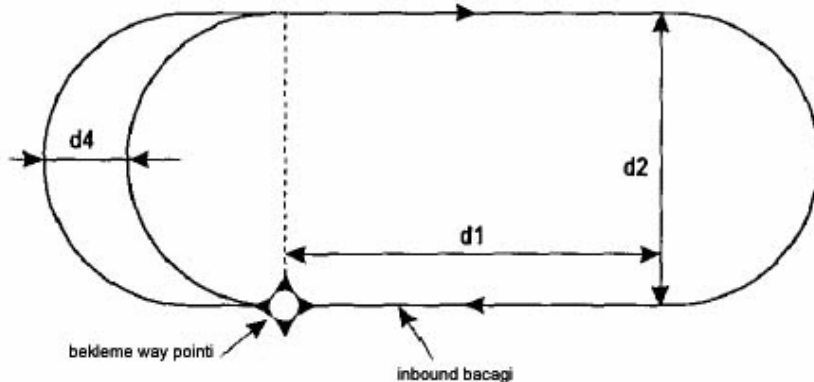
d_4 , aşağıdaki formülle hesaplanan, dördüncü sektörden gelen trafiğin girişi için koruma limitleri çizilmesinde kullanılır.

$$d_4 = \frac{d_2}{2 \times \cos 20^\circ (1 - \sin 20^\circ)} \quad (3.5)$$

3.3.4.3 Engel kleransı

Bekleme alanı, temel RNP bekleme sahası ve ek olarak sektör 4 girişleri için koruma alanını kapsar. Koruma alanının genişliği, RNP X + 3.7 km (2NM) veya RNP X + 9.3 km (5NM) hesaplamalarından büyük olanı alınarak bulunur.

Şekil 3.11’de inbound bacağıın uzunluğu (d_1), Dönüş çapı (d_2), RNP değeri (d_3) ve dördüncü sektörden gelen trafiğin girişi için koruma limitleri çizilmesinde kullanılan d_4 gösterilmektedir.

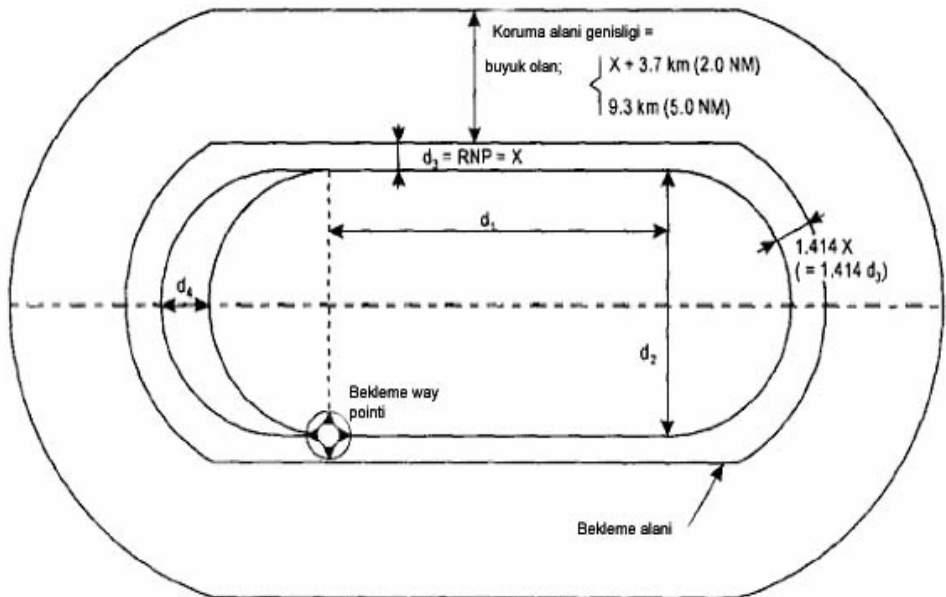


Şekil 3.11. Bekleme paterni [59]

3.3.4.4 RNP beklemeleri için engel emniyet alanı

Bekleme sahası, temel bir bekleme alanı ve sektör 4'ten olacak girişler için ek koruma alanlarından meydana gelmektedir. “ d_3 ” değeri, düz segment için RNP değerine; beklemenin dönüş bölümünde ise, $1,414 \times d_3$ ' e eşittir.

Engel emniyeti için bekleme alanının çevresine koruma alanı uygulanır. Bu koruma alanının genişliği, RNP +3.7km (20NM) ve 9.3 km (5.0NM) den büyük olan değer alınarak bulunmaktadır (Şekil 3.12) [59].



Şekil 3.12. Bekleme paterni ve koruma alanları [59]

3.3.5 RNP yollar

Muhtemel yollar veya sabit yollar dahil ATS yollarında RNP uygulanabilir. Sabit RNP yollar; belirli RNP tipinde onaylanmış uçağın kullanımı için uçuş planlanabilen devamlı ATS yollarıdır.

Sabit RNP yolların, belirlenmiş ve yer bazlı olmasına gerek olmayan rapor noktalarında başlayıp bitmesi gerekir. WP'ler, sabit RNP yolları boyunca ülkelerce gerek görülen yerlere yerleştirilmelidir. Muhtemel RNP yollar; uçuşların planlanabildiği ve sınırlı zaman periyotları (saat, gün, mevsim) boyunca belirli

RNP tipi için onaylanmış uçaklara hazır duruma getirilebilen ATS yollarıdır. Bu yollar, sıra dışı ve geçici ihtiyaçlar için de kurulabilir [4].

Genellikle yol safhasında RNAV uygulanması RNP onaylı sistemlere bağlıdır. Yol safhasındaki RNAV/RNP prosedürlerindeki standart şartlar aşağıdaki şekilde gelişmektedir:

- WP fiks tolerans alanı, yol safhasındaki RNP'ye eşit dairenin yarıçapıdır.
- Sistem, pilotun izlediği ve müdahale ettiği bilgileri sağlar, böylece sistem sertifikasyon süreci boyunca dikkate alınan FTT değerlerini kısıtlanır.
- Yol prosedürleri genellikle, RNP 4 veya daha yüksek RNP tipine dayalıdır. Gerekliğinde ve uygun olduğunda RNP 1'e dayalı olabilir.

RNP'ye dayalı safhalar için yarı alan genişliği, RNP 1'i geçen veya RNP 1'e eşit tüm RNP tipleri için, yayınlanan RNP tipinin 2 katına 3.7 km (2NM) eklenmesi ile bulunmaktadır. Örneğin;

$$\text{RNP 4} = 7.4 \text{ km (4.0NM)}$$

$$\text{Yarı alan genişliği} = 18.5 \text{ km (10.0NM)}$$

$$\text{(Toplam genişlik} = 37.0 \text{ km (20.0NM))}$$

$$\text{RNP 1} = 1.9 \text{ km (1.0NM)}$$

$$\text{Yarı alan genişliği} = 7.4 \text{ km (4.0NM)}$$

$$\text{(Toplam genişlik} = 14.8 \text{ km (8.0NM))}$$

Fiks tolerans alanları : Fiks tolerans alanları, RNP değerine eşit yarıçaplı daire ile tanımlanır.

İkincil (secondary) alanlar: Düz safhada primary alanın genişliği, toplam genişliğin %50'sine eşittir; her bir ikincil alanın genişliği toplam genişliğin %25'ine eşittir.

RNP yollar için iki tür dönüş mevcuttur:

1. Fly by way point dönüş
2. Kontrollü dönüş (RNP 1 yollar için)

1. Fly by way point dönüş:

Şekil 3.13'te görüldüğü gibi "S" noktası iki düz safhayı birbirine bağlayarak dönüşün başladığı yerdir. "S" noktası ve "fly-by" WP'de RNAV toleranslarının aynı olduğu kabul edilmektedir.

Dönüş parametreleri:

a) İrtifa: sahanın belirlendiği irtifada veya üzerinde

b) Sıcaklık: ISA+ 15°C

c) İşari hava sürati (IAS) : 585 km/sa (315kt)

d) Rüzgar: "h" irtifası için her yönden

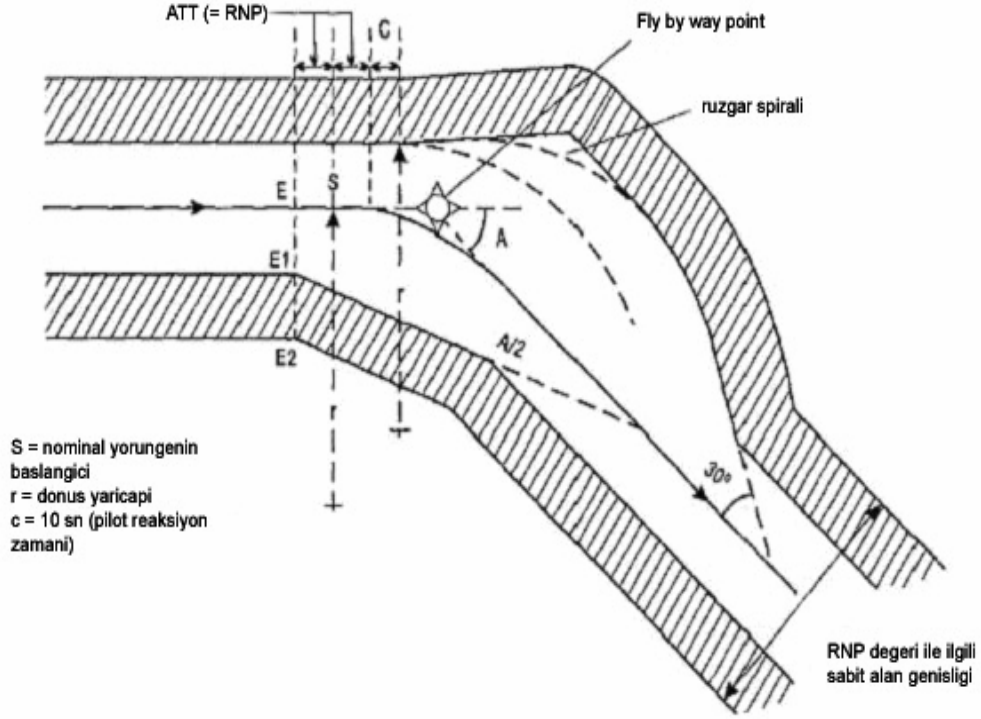
$W = (12 h + 87) \text{ km/sa}$ ("h" km cinsinden)

$W = (2h + 47) \text{ kt}$ ("h" kt cinsinden)

e) Ortalama yatış açısı: 15°

f) Maksimum pilot reaksiyon zamanı: 10 sn

g) Dönüşe başlama zamanı: 5 sn



Şekil 3.13. Fly-by way point dönüş [59]

2. Kontrollü dönüş:

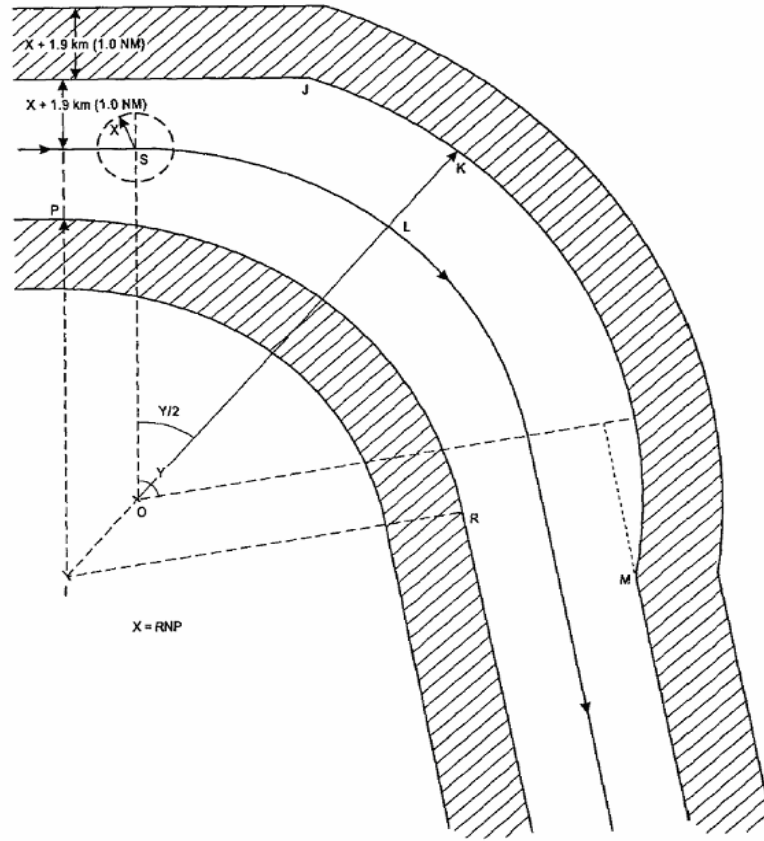
RNP 1 yollar için kontrollü dönüşün yarıçapı; FL 190 ve altında 28 km (15NM), FL 200 ve üzerinde 41.7 km'e (22.5NM) eşittir. Engel emniyet alanı; RNP değeri x olduğunda şekildeki gibidir.

Düz safha için yarı alan genişliği $2X + 3.7$ km'ye (2.0NM) eşittir. Bu durumda, birincil alan limiti, rotadan $X + 1.9$ km (1.0NM) yatay mesafededir. (Birincil alan genişliği toplam genişliğin yarısıdır.) O, kontrollü dönüşün merkezi ($OS = r$); Y, dönüş açısıdır.

O noktasından Y'nin yarısı kadar bir açıyla düz safhaya bir çizgi çizilir. Bu çizgi, kontrollü dönüşü L noktasında keser. Aynı çizgi üzerinde K noktası

$$LK = \frac{x + 1,9 \text{ km} (1 \text{ NM})}{\cos 45^\circ} = 1,414 (X + 1,9 \text{ km} (1.0 \text{ NM})) \text{ olarak bulunur.}$$

Birincil alanın dış limitini elde etmek için, OK yarıçapına eşit O merkezli bir yay çizilir ve J noktasından M noktasına kadar olan mesafe $r + 1,414 (X + 1,9 \text{ km (1.0NM)})$ dir. Birincil alanın iç limitini elde etmek için O noktasından $1,414 (X + 1,9 \text{ km (1.0NM)})$ mesafede Y'nin açığortayından bir I noktası belirlenir. I noktasından, birincil alan sınırlarını P noktasında kesen dönüşten önce, nominal yörüngeye bir dikme atılır. P noktasında R noktasına merkezi I olan bir yay çizilir. Straight segmentte ikincil alanın genişliğine eşit olan sabit genişlik $(X + 1,9 \text{ km (1.0NM)})$ hesaba katılarak birincil alanın etrafına ikincil alan çizilir (Şekil 3.14) [59].



Şekil 3.14. Kontrollü dönüş ile ilgili mania müsaade alanı [59]

4. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)

Bu çalışmada çalışma alanının modellenmesi, ILS ve RNP yaklaşma prosedürlerinin sayısal ortamda oluşturulması ve engel değerlendirme analizleri CBS yöntemi ile gerçekleştirilecektir.

CBS, genellikle, coğrafi tabanlı bilgisayar teknolojileri ve önemli projelerde kullanılan entegre sistemlerdir. Son zamanlarda dünya çapında büyük bir ilgi uyandırmakta ve yeni bir disiplin olarak kabul edilmektedir.

Veritabanı etkileşimli konumsal analiz ve modelleme gerektiren mühendislik çalışmaları CBS'nin kullanımını gerektirmektedir. Dünyada hükümetler, altyapı kurum ve kuruluşları, özel şirketler coğrafi bilgiyi (haritaları) depolamak, yönetmek ve analiz etmek için, bilgisayar sistemlerine milyarlarca dolar yatırım yapmaktadır. CBS teknolojisi, bilgisayarların güçlenmesi, gelişmesi ve müthiş bir şekilde ucuzlamasına paralel olarak gitgide gelişmekte, büyümektedir [61].

Günümüzde CBS'nin çeşitli tanımları yapılmaktadır:

CBS, konumsal verilerin değerlendirilmesini sağlayan bilgisayar tabanlı bir "bilgi sistemi"dir [62].

Konumsal alan bilgilerini toplama, işleme, analiz etme, depolama yetisine sahip, yüksek performanslı ve bilgisayar merkezli sistemlere CBS denilmektedir [63].

CBS, uzayda nokta, çizgi veya alan (poligon) olarak tanımlanabilen, mekansal olarak dağıtılmış detaylar, olaylar veya aktiviteler üzerinde gözlem yapılarak elde edilen veritabanını içeren, özel bir bilgi sistemidir [61].

Özet olarak, CBS; coğrafi verilerin toplanması, saklanması, güncelleştirilmesi, değiştirilmesi, analiz edilmesi, görsel ortama aktarılmasını sağlayan, bunun yanı sıra yazılım, donanım ve kullanıcıdan oluşan bir sistemdir [64].

4.1 CBS'nin Bileşenleri

Donanım, yazılım, veri, insan ve yöntem, CBS'nin beş ana bileşenini oluşturmaktadır [65] (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. CBS sisteminin bileşenleri [66]

Donanım: CBS'nin işlemlerini mümkün kılan bilgisayar ve buna bağlı yan ürünlerin bütünü, donanım olarak adlandırılır. Yazıcı, çizici, tarayıcı, sayısallaştırıcı, veri kayıt üniteleri gibi cihazlar, bilgi teknolojisi araçları olarak CBS için önemli sayılabilecek donanımlardır. Bugün birçok CBS yazılımı farklı donanımlar üzerinde çalışmaktadır. Merkezileştirilmiş bilgisayar sistemlerinden masaüstü bilgisayarlara, kişisel bilgisayarlardan ağ donanımlı bilgisayar sistemlerine kadar çok değişik donanımlar mevcuttur [67].

Yazılım: Sistemde depolanmış bilgilere ulaşma, güncelleme, organize etme, analiz yapma gibi işlemlere olanak sağlayan bilgisayar programlarıdır [65].

Veri: Grafik yapıdaki coğrafik veriler ile tanımlayıcı nitelikteki öznitelik veya tablo verileri gerekli kaynaklardan toplanabileceği gibi, piyasada bulunan hazır haldeki veriler de satın alınabilir. CBS konumsal veriyi diğer veri kaynaklarıyla birleştirebilir. Böylece birçok kurum ve kuruluşta ait veriler organize edilerek konumsal veriler bütünleştirilebilir. Veri, CBS için temel öge olarak kabul edilirken, elde edilmesi en zor bileşen olarak da görülmektedir. Veri kaynaklarının dağınıklığı, çokluğu ve farklı yapılarda olmaları, bu verilerin toplanması için

büyük zaman ve maliyet gerektirmektedir. Nitekim CBS'ye yönelik kurulması tasarlanan bir sistem için harcanacak zaman ve maliyetin yaklaşık %65'ten fazlası veri toplama ve verileri yapılandırma için gerekmektedir [67].

İnsan: Sistemi tasarlayan, geliştiren, bakımını yapan ve kullanandır. Sistemin varoluş nedenidir.

Yöntem: Sistemin başarılı olarak çalışmasını sağlayan kurallar ve bu kuralların birbiriyle olan ilişkilerini düzenleyen mantık zincirlerinden oluşan matematiksel yapılardır [65].

4.2 CBS'de veri

Coğrafi bilgiyi temsil etmek üzere kullanılan iki tür coğrafi veri vardır. Bunlar grafik veriler (konumsal) ve grafik olmayan (tanımsal ve öznelik) verilerdir [68].

Grafik veri; belirli bir koordinat sistemini referans kabul ederek, koordinatlarla ifade edilmektedir. Herhangi bir cismin konumu (x,y,z) kartezyen koordinat değerleriyle veya enlem, boylam şeklindeki coğrafi koordinat değerleriyle ya da açı ve mesafe şeklindeki kutupsal koordinat değerleriyle tanımlanır. Grafik veriler, koordinatlarla ifade edildiğinden coğrafi varlığın geometrisi ve büyüklüğü hakkında da bilgi vermektedir.

Coğrafi veriler grafik olarak üç şekilde gösterilmektedir.

1. Nokta
2. Çizgi
3. Poligon

Ağaç, tepe noktası, elektrik direği, istasyon, kavşak noktası, yerleşim merkezleri vb. coğrafi detaylar *nokta* ile; akarsu, yol, elektrik, su hattı, gaz şebekesi, demiryolu vb. coğrafi detaylar *çizgi* ile; parsel, bina, göl, imar adası, park alanı, orman, yerleşim alanları vb. coğrafi detaylar *poligon* ile ifade edilirler.

Grafik olmayan veri ise, aynı coğrafi varlığın koordinat bilgileri yanında öznitelik bilgilerinin de ifade edilmesidir. Örneğin; nokta şeklinde grafik olarak gösterilen bir direğin, cinsi, yüksekliği, boyu, rengi, tesis tarihi, son bakım tarihi gibi özniteliklerin her biri grafik olmayan bilgidir [69].

4.3 CBS’de veri modelleri

Coğrafi veri bilgisayar ortamında iki şekilde görüntülenmektedir.

1. Vektör model
2. Raster model

4.3.1 Vektör veri modelleri

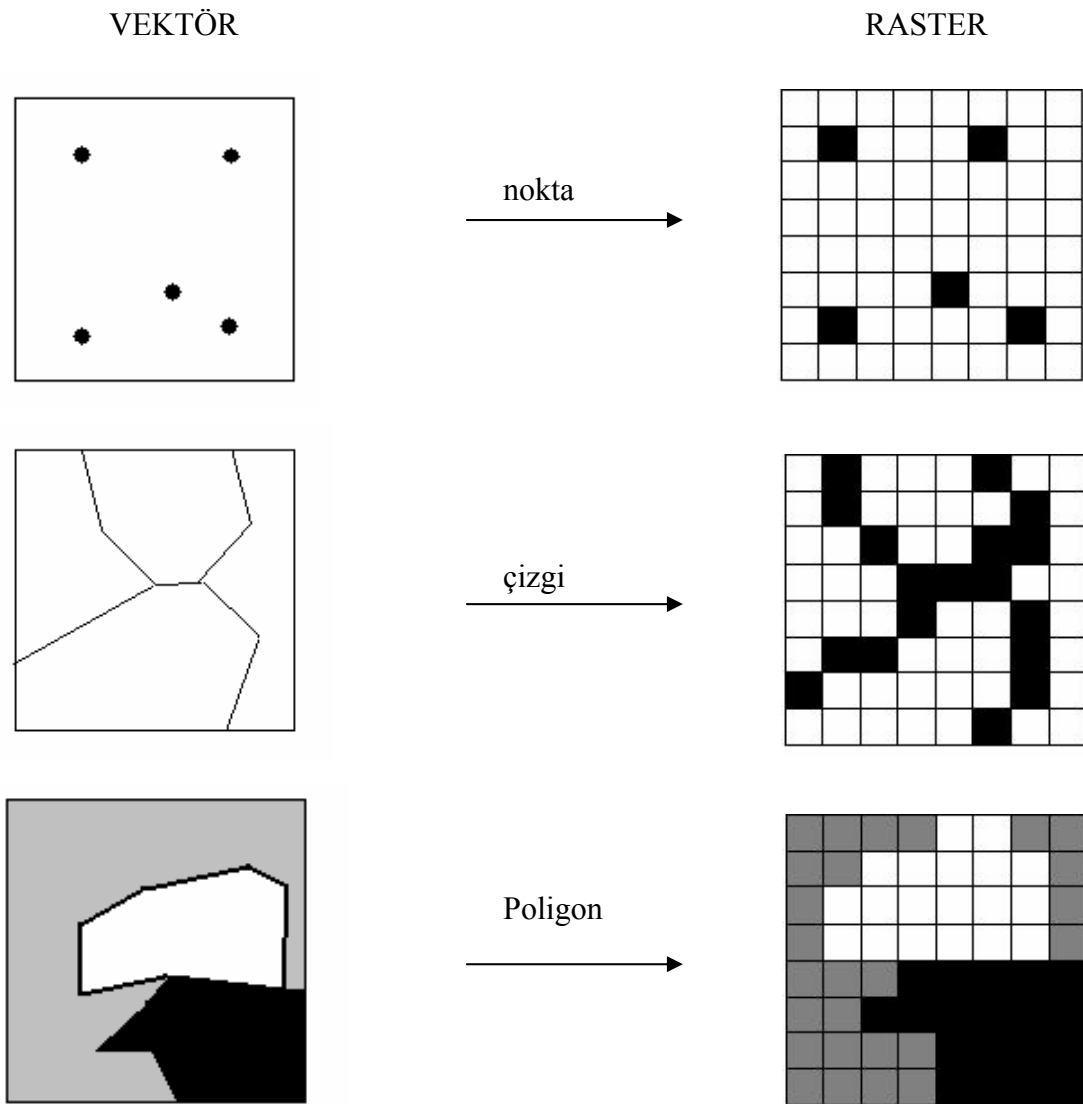
Vektör veri modelinde, *nokta*, *çizgi* ve *poligonlar* (x,y) koordinat değerleriyle kodlanarak depolanırlar. Nokta özelliği gösteren bir elektrik direği tek bir (x,y) koordinatı ile tanımlanırken, çizgi özelliği gösteren bir yol veya akarsu şeklindeki coğrafik varlık birbirini izleyen bir dizi (x,y) koordinat serisi şeklinde saklanır. Poligon özelliğine sahip coğrafik varlıklar, örneğin imar adası, bina, orman alanı, parsel veya göl, kapalı şekiller olarak, başlangıç ve bitişinde aynı koordinat olan (x,y) dizi koordinatlar ile depolanır. Vektör model coğrafik varlıkların kesin konumlarını tanımlamada son derece yararlı bir modeldir. Ancak, süreklilik özelliği gösteren coğrafik varlıkların, örneğin toprak yapısı, bitki örtüsü, jeolojik yapı ve yüzey özelliklerindeki değişimlerin ifadesinde daha az kullanışlı bir model olarak bilinir.

4.3.2 Raster (hücre) veri modelleri

Raster veri modeli daha çok süreklilik özelliğine sahip coğrafik varlıkların ifadesinde kullanılmaktadır. Raster görüntü, birbirine komşu grid yapıdaki aynı boyutlu hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşur. Hücrelerin her biri piksel olarak da bilinir. Fotoğraf görüntüsü özelliğine sahip raster modeller, genellikle fotoğraf ya da haritaların taranması ile elde edilirler. Vektör ve raster veri modellerinden biri genelde CBS uygulama biçimine göre tercih edilerek kullanılır. Ancak günümüzde her iki model aynı anda da kullanılabilir. Bu tür bir kullanım

şekli CBS’de hybrid (melez) veri modeli olarak bilinmektedir [70].

Vektör gösterimde nokta, çizgi ve poligon olarak tanımlanan coğrafi elementler raster veri modeliyle de ifade edilebilirler. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi; *nokta*, grid modelde tek bir piksel ile; *çizgi*, lineer haldeki bir dizi piksel serisi ile; *poligon* ise; birbirine komşu olan bir grup piksel ile gösterilir (Şekil 4.2) [69].



Şekil 4.2. Raster ve vektör model gösterimi [69]

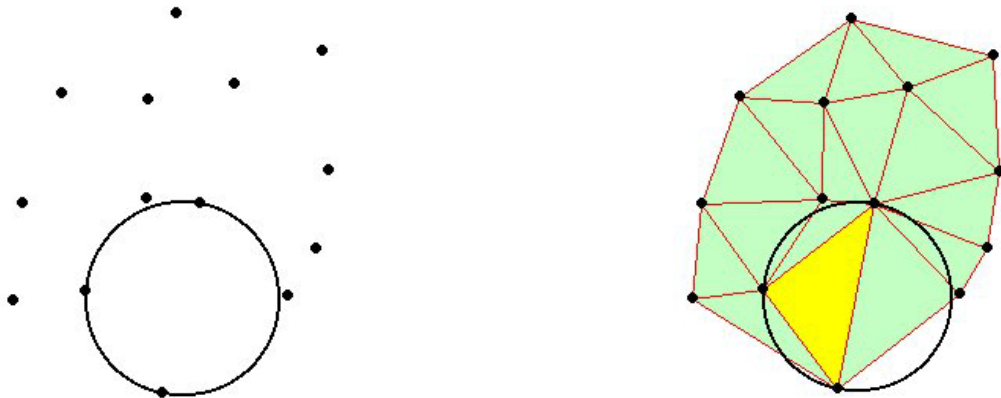
4.4 Sayısal arazi modelinin oluşturulması

Sayısal arazi modeli, yeryüzünün özelliklerinin ve görünümünün gösteriminde kullanılan bir yöntemdir. Sayısal arazi modelinin oluşturulabilmesi için arazi yüzeyini en iyi temsil eden noktalar seçilmelidir. Bu noktalar araziye rastgele dağılmış, arazinin karakteristik özelliklerini belirten noktalar olmalıdır. Bu noktaların seçiminde ve verilerinin alınmasında (x,y,z), yersel jeodezik çalışmalar, fotogrametrik, mevcut haritalar ve belgelerin sayısallaştırılması ile uydu görüntülerinin değerlendirilmesi yöntemlerinden biri ya da birkaçı kullanılmaktadır.

Sayısal arazi modellerin oluşturulmasında başlıca iki yöntem kullanılmaktadır. Düzenli Karelaj Yöntemi (GRID) ve Düzensiz Üçgenleme Yöntemi (TIN-Triangulated Irregular Network) olarak isimlendirilirler [71].

4.4.1 Düzensiz üçgenleme yöntemi (TIN-Triangulated Irregular Network)

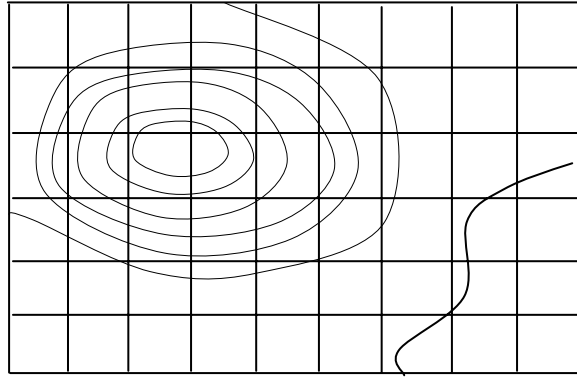
TIN veri modelinde yüzey, birbirine komşu dolayısıyla birbirine bağlı üçgen serisiyle ifade edilir. Üçgenler herhangi bir konumda düzensiz olarak dağılmış üç noktadan üretilir [69]. Oluşan yüzeylerin birleştirilmesi ile arazi yüzeyinin kaplanması sayısal arazi modelini oluşturur [71].



Şekil 4.3. TIN veri modeli [72]

4.4.2 Düzenli karelej yöntemi (GRID)

Bu yöntemde arazinin üzerine karesel veya dikdörtgensel bir grid sistemi yerleştirilir ve gridlerin birleşme noktalarının (node) yükseklikleri hesaplanır. Hesaplama yöntemi fotogrametrik model üzerinden doğrusal ölçmelerle ya da arazi yüzeyinde rastgele alınmış olan noktaların ölçülmesiyle gerçekleştirilir [71]. Grid model örneği Şekil 4.4'te gösterilmektedir.

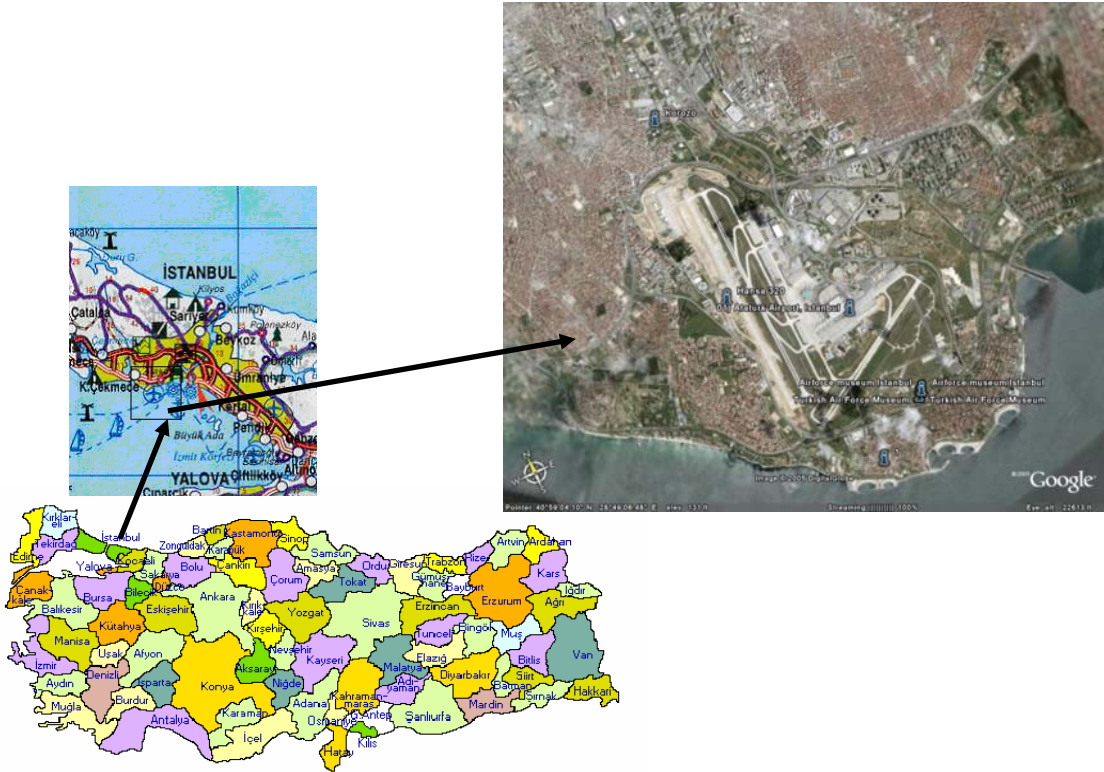


Şekil 4.4. Grid veri modeli [73]

5. İSTANBUL ATATÜRK HAVALİMANI 36/18 PARALEL PİSTLERİNE RNP YAKLAŞMA PROSEDÜRLERİNİN CBS YÖNTEMİNE DAYALI TASARIMI

5.1 Çalışma Bölgesi

Bu çalışmada, çalışma bölgesi olarak Türkiye'nin en yoğun trafiğine sahip olan İstanbul Atatürk Havalimanı seçilmiştir. İstanbul Atatürk Havalimanı, Türkiye'de ilk defa sivil hava ulaşımının başlatıldığı meydandır. 1953 yılında uluslararası hava trafiğine açılmıştır [74]. Aşağıda İstanbul'un coğrafik olarak yeri ve İstanbul Atatürk Havalimanı'nın uydudan alınan görüntüsü gösterilmektedir (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. İstanbul Atatürk Havalimanı'nın konumu [75,76,77]

Toplam 9.470.554 m² alana sahip olan Atatürk Havalimanı 62.500 m² iç hat ve 179.000 m² dış hatlar terminali ile ülkemizin en büyük havalimanıdır [74].

5.1.1 Meydan bilgileri

5.1.1.1 Pist bilgileri

İstanbul Atatürk Havalimanı'nda 06/24 oryantasyonunda bir pist, 36R/18L ve 36L/18R oryantasyonuna sahip birbirine paralel konumda iki, olmak üzere toplam üç adet pist bulunmaktadır (EK-1). 36R/18L ve 36L/18R paralel pistlerin arasındaki mesafe 215m'dir [79]. Bu durumda ICAO'nun paralel pistlere eş zamanlı operasyon gerçekleştirilebilmesi için gerekli mesafe şartları sağlanmamaktadır. Pist başı koordinatları ve uzunlukları 24 Kasım 2005 tarihli AIP AD 2 LTBA-5 referans alınarak kullanılmış ve aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.1. Pist koordinatları ve uzunlukları

Pist	Coğrafi koordinatlar	Pist uzunlukları
36R	405810.036N 0284834.087E	3000×45
36L	405809.664N 0284825.117E	3000×45
18R	405946.88N 0284821.71E	3000×45
18L	405946.891N 0284830.694E	3000×45
06	405756.123N 0284835.497E	2300×60
24	405834.804N 0284959.030E	2300×60

Uçağın kalkışta gerekli hıza ulaşmasını sağlayan pist uzunluğu (TORA-Take-off Run Available), TORA'ya arındırılmış saha (clearway) eklenmesi ile bulunan pist uzunluğu (TODA-Take-off Distance Available), TORA'ya durma mesafesinin (stopway) eklenmesiyle elde edilen pist uzunluğu (ASDA-Accelerate Stop Distance Available) ve iniş için gerekli pist uzunluğu (LDA-Landing Distance Available) aşağıda verildiği gibidir:

Çizelge 5.2. Pist kullanım uzunlukları [79]

	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
06	2300	2300	2360	2300
24	2300	2300	2360	2300
36R	3000	3150	3060	3000
18L	3000	3000	3060	3000
36L	3000	3000	3060	3000
18R	3000	3000	3060	3000

Atatürk Havalimanı'nın pist yapısı ve boyutları, en yüksek D kategorisindeki uçakların iniş ve kalkış yapmasına olanak vermektedir. Bu nedenle, çalışma esnasında yapılan hesaplamalar, D kategorisindeki uçaklar dikkate alınarak yapılmıştır.

5.1.1.2 Seyrüsefer yardımcıları

Atatürk Havalimanı'nda ILS, DME, NDB ve VORTAC seyrüsefer yardımcıları mevcuttur. 36R, 36L ve 06 pistleri için ILS ve DME; 24 pisti için ILS, DME ve VORTAC; 18L pisti için sadece ILS seyrüsefer yardımcısı bulunmaktadır. 06/24 pisti ve 36R/18L pisti ILS kategori II ekipmanlı, 36L/18R

pisti ise ILS kategori I ekipmanlıdır [79].

5.1.1.3 Meydan trafik bilgisi

İstanbul Atatürk Havalimanı günde 500 ile 600 arası trafiğe hizmet vermektedir. 2000 yılında günde en fazla 857 tane trafiğe hizmet vermiştir. Hizmet verilen trafiğin %60-70'ini Türk Havayolları oluşturmaktadır.

Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin (DHMI) istatistiklerinde, zamanın %60'ında 06 pistinin geliş; 36 pistinin kalkış; geriye kalan %40'lık zamanda da 24 pistinin geliş, 18 pistinin kalkış olarak kullanıldığı belirtilmektedir.

DHMI'nin Eurocontrol ile pist kapasitesi değerlendirmesi üzerine yaptığı 2002 tarihli çalışmada, radarın kullanılmaması durumunda veya tek bir pistin hizmet verdiği durumlarda kapasitenin, saatte 24 trafik olduğu belirtilmiştir. Bu durumda, geliş trafiğinin kapasitesi saatte 12 ile sınırlanmaktadır. Radar kullanıldığında ve 36/18, 06/24 pistlerinin hizmet verdiği durumda ise kapasitenin saatte 36 trafik olarak artış gösterdiği, bu durumda geliş trafiğinin kapasitesinin saatte 18 olduğu belirtilmiştir [79].

DHMI, İstanbul Atatürk Havalimanı'nda 2004-2005 yılı eylül ayı için yapmış olduğu istatistikte, 2004 yılı için 6691 iç hat, 10,224 dış hat, toplam 16,915; 2005 yılı için ise, 8.555 iç hat, 11.132 dış hat trafiği olmak üzere toplam 19,687 trafiğe hizmet verdiği ifade edilmiştir. Yapılan istatistik sonucunda; 2005 yılı eylül ayı trafiğinin 2004 yılındaki trafiğe oranla iç hatta %28, dış hatta %9, toplamda %16 oranında artışı gözlenmiştir [80].

DHMI'nin yaptığı tahminler 2005-2010 yılları arasında İstanbul Atatürk Havalimanı'nda %25,7 ile %47,1 oranında hava trafiğinde artış meydana geleceğini göstermektedir. 2020 yılında ise hava trafiğinin hemen hemen ikiye katlanması beklenmektedir (%95 artış). 2000 yılındaki 857 peak trafik sayısının 2010 yılında 2119'a çıkması tahmin edilmektedir [79].

5.2 Çalışma Yöntemi

Bu çalışmada; çalışma alanının sol üst köşe koordinatları 41:07:30N; 28:37:30E, sağ alt köşe koordinatları 40:52:30N; 28:52:30E'dir. Harita Genel Komutanlığı'ndan elde edilen 1/25.000 ölçekli haritalar üzerinde eş yükselti eğrileri çizilerek; çalışma alanının Sayısal Arazi Modeli-SAM (DEM-Digital Elevation Model) oluşturulmuştur. Bu model oluşturulurken, Intergraph firması tarafından geliştirilen MGE (Modular GIS Environment) yazılımı, Image Analyst ve Bentley firmasının MicroStation95 çizim programından faydalanılmıştır.

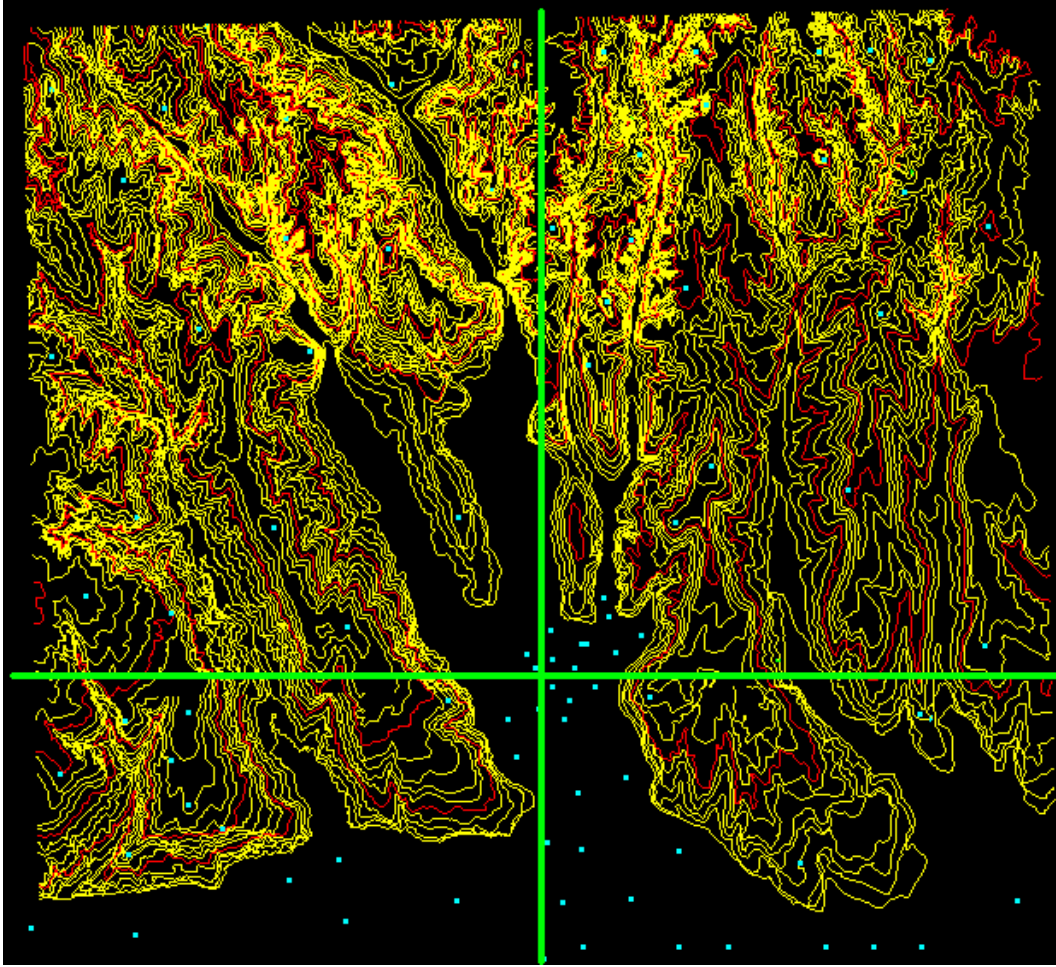
MGE-SX alt programı olan MTA (MGE-Terrain Analyst) kullanılarak eş yükselti eğrileri ile arazinin TIN (Triangulated Irregular Network) modeli oluşturulmuş ve TIN modelden grid modele dönüştürülmüştür. Çalışmada yapılan tüm analizler grid model üzerinden gerçekleştirilmiştir.

RNP 0,15 ve ILS yaklaşma ve pas geçme prosedürleri Microstation95 programı kullanılarak çizilmiştir. ILS kategori II hassas yaklaşması OAS (Obstacle Assessment Surface) yüzey denklemleri ve koordinat değerleri, TITAN (Traitement Informatique Trajectories Aeronautiques Normalisee) yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

5.2.1 Arazinin topografik modellemesi

5.2.1.1 Eş yükselti eğrilerinin oluşturulması

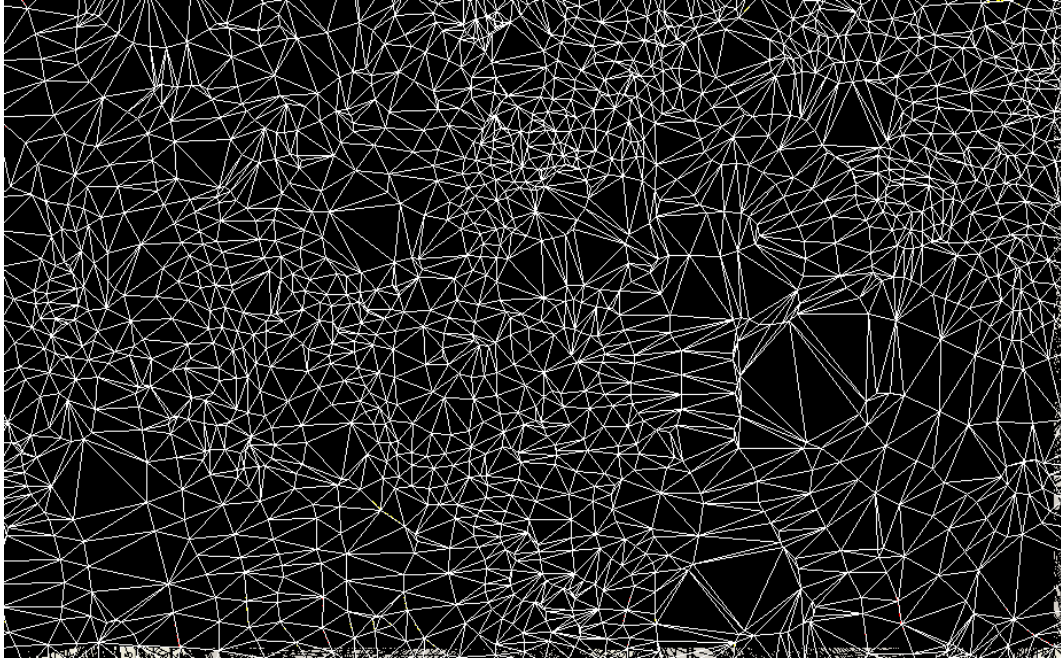
Bu çalışma için bölgenin 1/25.000 ölçekli haritaları Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilmiştir (G21-b1, G21-a2, F21-c4, F21-d3). Bu haritalardan eş yükselti haritalarının modellenmesi için x, y ve z bilgisi gerekmektedir. Bu amaçla daha önceden dört pafta halinde hazırlanmış olan çalışma bölgesi tarayıcıdan geçirilerek raster veri olarak sayısal ortama aktarılmıştır. Paftalar, Image Analyst ve MicroStation95 programlarında harita koordinatlarına oturtulmuştur. Koordinatlandırılmış bu görüntülerin üzerindeki eş yükselti eğrileri MicroStation95 programında çizilerek, topografya oluşturmayı amaçlayan x, y, z bilgilerini içeren eş yükselti haritaları oluşturulmuştur (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Eş yükselti eğrileri

5.2.1.2 TIN modeli

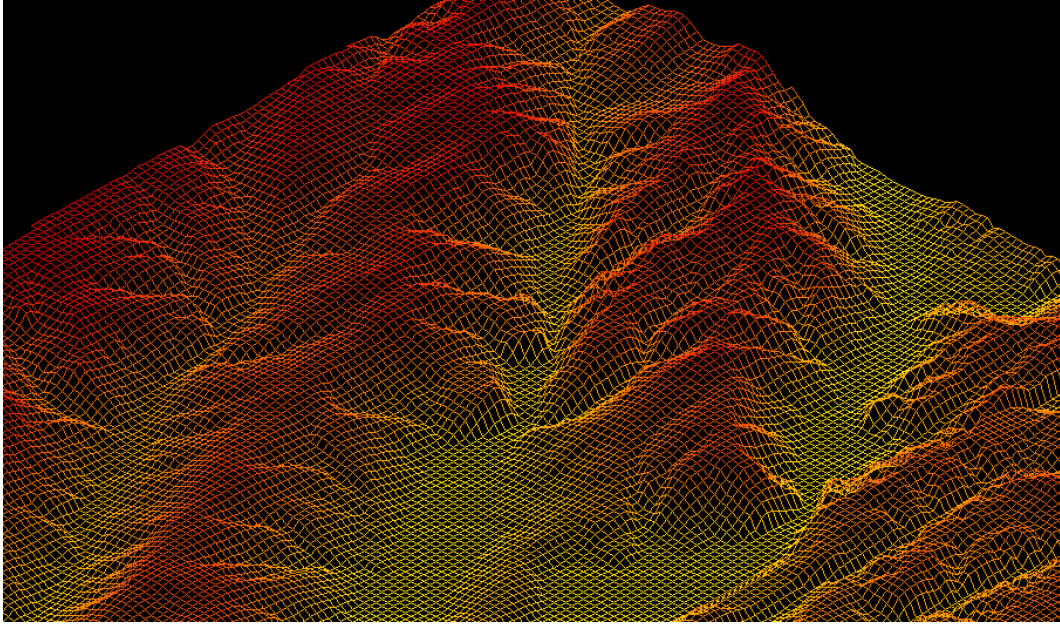
Eş yükselti eğrileri kullanılarak MGE Terrain Analyst programı aracılığı ile arazinin TIN modeli oluşturulmuştur. Düzensiz üçgen yüzeylerin birleştirilmesi ile oluşturulan arazinin düzensiz üçgenleşmiş ağ yapısı elde edilmiştir (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Bölgenin TIN modeli

5.2.1.3 GRID modeli

TIN modeli kullanılarak grid model oluşturulmuş ve topografyanın incelendiği analizlerde GRID model kullanılmıştır. Grid model; düzenli ve eşit büyüklükteki karelerden oluşan yüzeylerdir. TIN model, tül görünümündeki kareler şekline dönüştürülmüştür. Böylece düzenli ve eşit büyüklükteki konumsal bilgi içeren kare yüzeyler ile arazinin sayısal topografyası elde edilmiştir. Düzensiz üçgenlenmiş araziden yararlanılarak elde edilen düzenli karesel arazi elde edilmiştir (Şekil 5.4.)

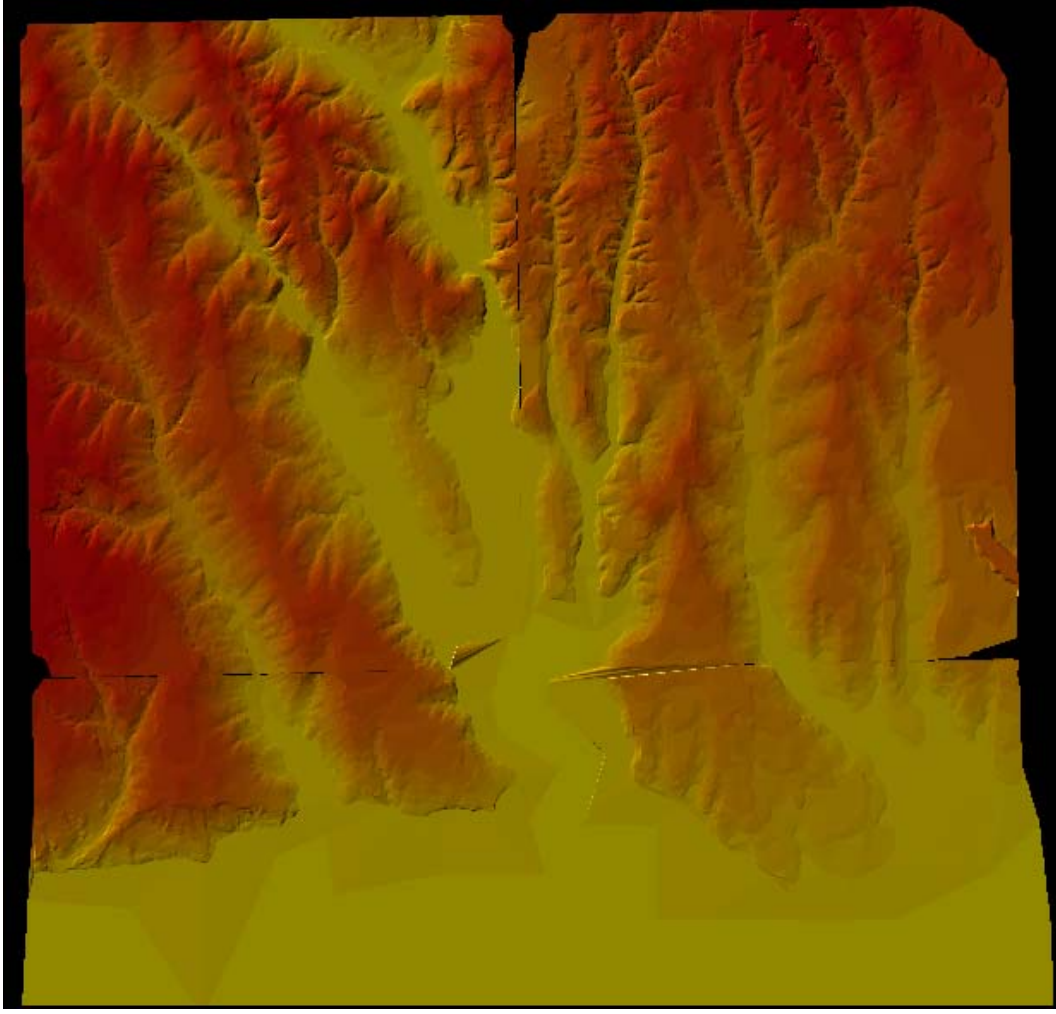


Şekil 5.4. Bölgenin GRID veri modeli

Sonuç olarak; grid modelleme ile arazinin topografyası çıkartılmıştır (Şekil 5.5). Grid model oluşturulurken, her bir grid boyutu 10m olarak seçilmiştir. Oluşturulan sayısal arazi grid modelinin diğer istatistiki verileri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

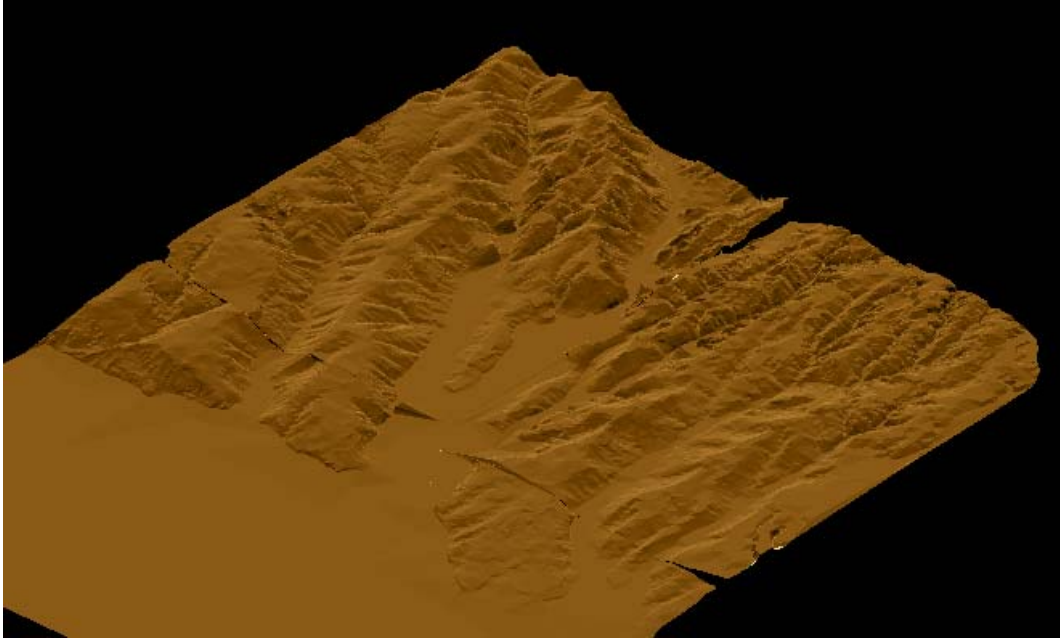
Çizelge 5.3. Grid model istatistiği

Model Name:	DEM	
Attribute:	elevation	
Interpolation:	bilinear	
	Origin	End Point
X:	636179.590 m	658689.590 m
Y:	4554366.520 m	4526456.482 m
	Minimum	Maximum
Z:	0.000 m	200.000 m
	Number	Spacing
Rows:	2792	10.000 m
Columns:	2252	10.000 m
Rotation:	0.000000	Skew: 90.000000



Şekil 5.5. Sayısal Arazi Modeli

Çalışma alanının daha anlaşılabilir olması için z kodları 5 ile çarpılarak aşağıda Şekil 5.6'daki görüntü elde edilmiştir.



Şekil 5.6. z kodları yükseltılarak elde edilen sayısal arazi modeli

5.2.2 Yaklaşma prosedür tasarımı

İstanbul Atatürk Havalimanı'nda bulunan 36R ve 36L paralel pistlerinin eş zamanlı kullanımı amaçlanarak 36L pistine RNP uçuş prosedürü tasarımı gerçekleştirilmiş, bunun yanı sıra 36R pistine kullanımda olan ILS kategori II hassas yaklaşma prosedürü uygulanmıştır (EK-2). Aletli prosedür tasarımlarında en önemli etkenlerin başında pist civarındaki engeller gelmektedir. Bu kapsamda, topografya oluşturulurken çevredeki engeller 2005 yılına göre güncellenmiştir.

5.2.2.1 36R pisti için ILS kategori II hassas yaklaşması

ILS yüzey bilgilerinin elde edilmesi için TITAN yazılımından yararlanılmış ve 07 Temmuz 05 tarihli AIP'den referans alınarak sağlanan aşağıdaki veriler TITAN'a girilmiş, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te elde edilen OAS yüzey sabitleri ve koordinatları bulunmuş ayrıca; ICAO Doküman 8168 Vol II'e göre geçerliliği kontrol edilmiş, aynı sonuçlara varılmıştır.

Uçak kategorisi D

THR yüksekliği 100ft

ILS yaklaşma kategorisi CAT II

LLZ model standart

GP açısı 2,7

LLZ - THR mesafesi 3125m

RDH 15m

THR deki ILS sektör genişliği 210m

Uçak tipi standart

Vertical distance wheels GP 6.0NM

Semi span 30m

FAP irtifası 2700ft

Pas geçme tırmanma gradient %2,5

Çizelge 5.4. ILS yüzey denklemleri

Yüzey isimleri	A	B	C
W	0,032236	0	-7,22
X	0,031630	0,220438	-19,68
Y	0,028568	0,263906	-26,52
Z	-0,025000	0	-22,50

ILS yüzeyinin çiziminde kullanılan parametreler Çizelge 5.5'te verilmiştir:

Çizelge 5.5. ILS yüzey koordinatları

	C (m)	D (m)	E (m)	C'' (m)	D'' (m)	E'' (m)
X	224	-319	-900	4877	2862	-6900
Y	57	135	198	70	359	1416
Z	0	0	0	823	150	150

Son yaklaşma safhası

AIP AD 2 LTBA IAC-9 referans alındığında 36R ILS yaklaşması yapan uçak, son yaklaşma noktasına geldiğinde 2700ft'te olacaktır. Son yaklaşma noktası pistten 8,5NM uzaklıkta olarak belirlenmiştir. Son yaklaşma noktasından alçalmaya devam ederek yaklaşacak; 100ft (31m) karar yüksekliğine (DH- Decision Height) ulaşıldığında pilot pisti görüyorsa inişini gerçekleştirecek, görmüyorsa pas geçme prosedürünü uygulayacaktır.

Pas geçme safhası

36R pisti için oluşturulan pas geçme yüzeyinde tırmanmaya başlama noktası (SOC-Start Of Climb) DH'a ulaşan uçağın 15sn'lik uçuş süresi de dikkate alınarak belirlenmiştir [59].

İstanbul Atatürk Havalimanı için SOC'ın belirlenmesinde kullanılan parametreler ve hesaplamalar aşağıda gösterilmektedir.

$$IAS = 185kt$$

$$İrtifa = 100ft$$

$$T = ISA + 15^{\circ}C$$

$$k = 1,0257$$

(3.4) formülünde değerler yerine konulduğunda;

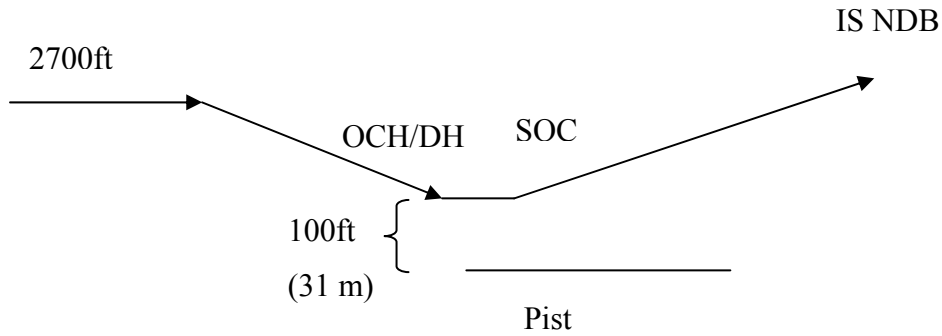
$$TAS = 1,0257 \times 185 = 189kt = 98 \text{ m/sn sonucu elde edilir.}$$

Bu hız değerinde 15sn'lik uçuş sonucunda katedilen mesafe (t) ;

$$t = \text{hız} \times \text{zaman} \quad (5.1)$$

$$t = 15 \times 98 = 1470m \text{ olarak bulunur.}$$

Bu hesaplamalar doğrultusunda 36R pisti son yaklaşma ve pas geçme safhaları ile ilgili profil gösterimi aşağıda Şekil 5.7'de yer almaktadır.



Şekil 5.7. Son yaklaşma ve pas geçme profil gösterimi

Uçak pas geçmesi halinde SOC'den itibaren tırmanmaya devam ederek standart pas geçme eğimi (%2,5) ile IS NDB'ye ulaşacaktır. IS NDB'ye ulaştığında 1500ft'te (457m) olacaktır. Daha sonraki aşamada uçağın IS NDB üzerine gelmesi ve sola dönüşle ÇEK üzerinde bekleme yapması için

gönderilecektir. ÇEK üzerinde uçak 5000ft'i (1524m) muhafaza edecektir.

Pas geçme dönüş alanının belirlenmesi

Uçağın IS NDB den sonra emniyetli şekilde dönüşünü gerçekleştirebilmesi için pas geçme dönüş alanının belirlenmesi gerekir. Şekil 5.8'de gösterildiği gibi, uçak mavi renkte belirlenen rotayı takip etmeli ve dönüş hareketine rüzgar etkisinin eklenmesi gerekmektedir. Rüzgar etkisi hesaba katıldığında uçağın sarı renkle belirlenen koruma alanı içinde kalma olasılığı bulunmaktadır. Bu amaç doğrultusunda kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

$$\text{IAS: } 185\text{kt}$$

$$T = \text{ISA} + 15^\circ \text{ C}$$

$$\text{İrtifa} = 1500\text{ft}$$

$$k: 1,0567$$

$$\text{Dönüş açısı}(\alpha) = 15^\circ$$

$$g = 9,81\text{m/sn}^2$$

D kategorisindeki bir uçak için maksimum pas geçme IAS değeri 185kt olduğuna göre; (3.4) eşitliğinde yerine konulduğunda:

$$\text{TAS} = 1,0567 \times 185 = 195\text{kt} = 100\text{m/sn}$$

IS NDB'den sonra 3sn'lik pilot reaksiyon zamanı ve 3sn'lik dönüşe başlama zamanı olmak üzere toplam 6sn'lik uçuş teknik toleransı (c) aşağıda hesaplanmıştır.

$$c = 6 \times 100 = 600\text{m}$$

600m'lik toleranstan sonra uçak, ICAO Doküman 8168 Vol II'de verilen dönüş yarıçapı formülüne göre dönüşünü gerçekleştirecek ve bu dönüş sonunda ÇEK bekleme noktasına ulaşacaktır.

$$R = \frac{(TAS)^2}{g \times \tan \alpha} \quad (5.2)$$

(5.2) eşitliğinde değerler yerine konulduğunda dönüş yarıçapı;

$$R = \frac{(100)^2}{9,81 \times \tan 15} = 3804\text{m olarak bulunur.}$$

Aşağıda verilen hesaplamalarda dönüş yörüngesi üzerine etkileyen rüzgar etkisi (W_e) belirlenmiştir. Kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

$$R = 3804\text{m}$$

$$TAS = 100\text{m/sn}$$

$$W_v = 30\text{kt} = 15,43\text{m/sn}$$

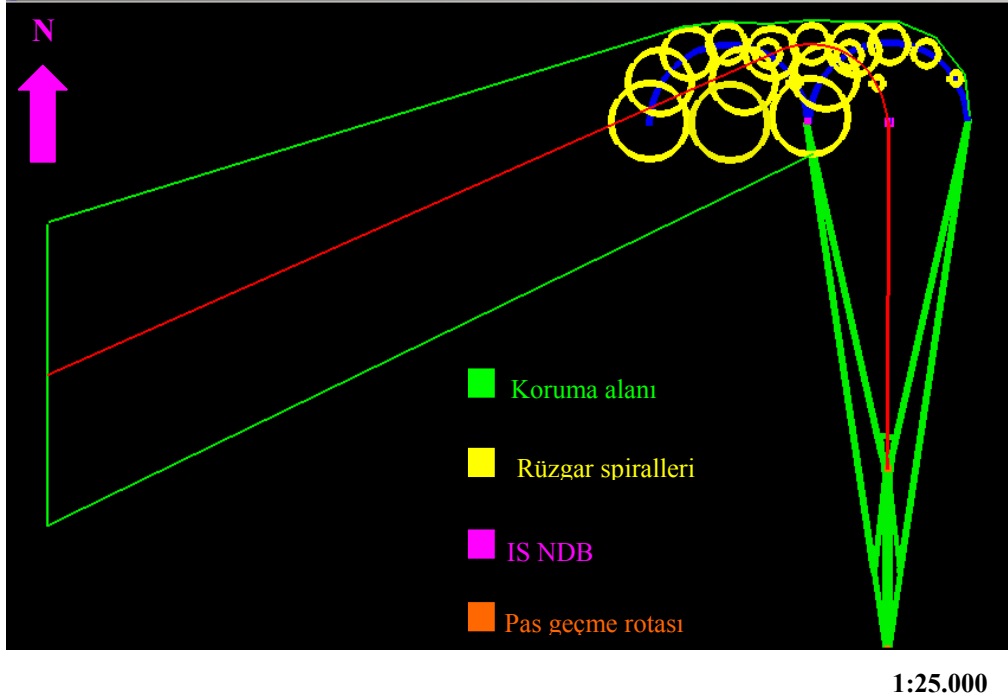
$$W_e = \left(\frac{R \times \theta}{TAS} \right) \times W_v \quad (5.3)$$

Verilen parametreler (5.3) formülünde yerine konulduğunda W_e değerleri 30° 'lik adımlarda hesaplanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

$$W_{e30^\circ} = 305m \quad W_{e60^\circ} = 610m \quad W_{e90^\circ} = 915m \quad W_{e120^\circ} = 1220m$$

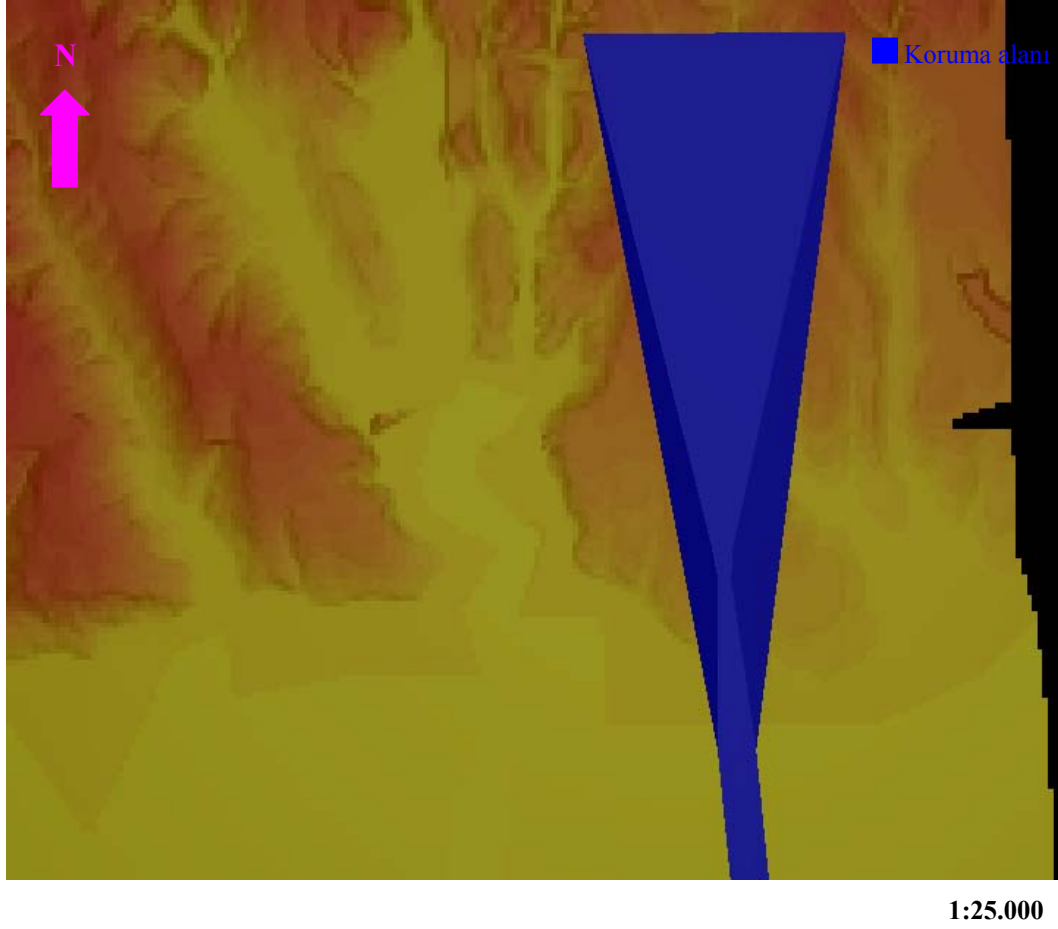
$$W_{e150^\circ} = 1525m \quad W_{e180^\circ} = 1830m$$

Tüm bu hesaplamalar sonucunda dönüş yörüngesi üzerine rüzgar etkisi eklenmiş ve pas geçme dönüş alanı oluşturulmuştur (Şekil 5.8).



Şekil.5.8. Rüzgar spiralleri ve pas geçme safhası

Oluşturulan bu alanlar topografya üzerine yerleştirildiğinde, yaklaşma ve pas geçme yüzeylerini delen herhangi bir engel bulunmamıştır (Şekil 5.9.).



Şekil 5.9. Son yaklaşma ve pas geçme safhası

Uluslararası San Francisco Havaalanı'nda aralarında 750ft mesafe bulunan iki paralel pistin eş zamanlı olarak kullanılmasına benzer olarak, İstanbul Atatürk Havalimanı'nda aralarında 705ft (215m) bulunan iki paralel pistin aynı şekilde kullanılması düşünülmüş ve 36L pistine RNP 0,15 yaklaşması yapılması tasarlanmıştır.

5.2.2.2 36L pisti için RNP 0,15 hassas olmayan yaklaşma

Son yaklaşma safhası

Pist başından 8,14NM olarak belirlenen son yaklaşma noktasına gelen uçak, 2700ft irtifada olacaktır. MAPt noktası pist başındaki VORTAC seyrüsefer yardımcısı olarak belirlenmiştir. MAPt noktasına gelen uçak 360ft'te (110m) olacaktır.

RNP 0,15 için yarı alan genişliği RNP değerinin iki katına koruma alan değerinin eklenmesiyle elde edilmektedir. Koruma alanı değerleri son yaklaşma safhası için 0,2NM ve pas geçme safhası için 0,3NM'dir. RNP 0,15 için yarı alan genişliği aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Yarı alan genişliği} = 2 (\text{RNP } X) + \text{BV} \quad (5.4)$$

(5.4) eşitliğinde değerler yerine konulduğunda;

$$\text{Yarı alan genişliği} = 2 (0,15) + 0,2 = 0,5\text{NM (son yaklaşma safhası)}$$

Yarı alan genişliği = $2 (0,15) + 0,3 = 0,6\text{NM}$ (pas geçme safhası) olarak bulunmaktadır. (Son yaklaşma safhası için $\text{BV}=0,2\text{NM}$; pas geçme safhası için $\text{BV}= 0,3\text{NM}$ 'dir.)

Pas geçme safhası

Pas geçme noktasına gelen uçak pas geçme noktasından itibaren maksimum pas geçme hızında 15sn'lik uçuş sonrası tırmanışa başlama noktasına (SOC) ulaşacaktır. RNP 0,15 için, SOC'ın belirlenmesinde kullanılan parametreler ve hesaplamalar aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{IAS} = 185\text{kt}$$

$$\text{İrtifa} = 360\text{ft}$$

$$T = \text{ISA} + 15^\circ \text{C}$$

$$k = 1,0257$$

$$\text{MAPt tolerans} = 0,17\text{NM (314,84m)} [59]$$

Yukarıdaki değerler (3.4) eşitliğinde yerine konulduğunda;

$$TAS = 1,0257 \times 185 = 189 \text{ kt} = 98 \text{ m/sn olarak bulunur.}$$

(5.1) eşitliğinden, bu hız değerinde 15 sn'lik uçuş sonucunda katedilen mesafe (t);

$$t = 15 \times 98 = 1470 \text{ m olarak elde edilir.}$$

Bu hesaplamalar doğrultusunda MAPt noktası ile SOC arasındaki mesafe (N);

$$\begin{aligned} N &= MAPt + t \\ &= 315 + 1470 \\ &= 1785 \text{ m'dir . (0,1NM)} \end{aligned}$$

Uçak MAPt noktasından 1785m sonra SOC'ye ulaşacak ve bu noktadan itibaren tırmanmaya devam ederek standart pas geçme eğimi (%2,5) ile IS NDB'ye ulaşacaktır. IS NDB' ye ulaştığında 1500ft'i muhafaza edecektir.

Pas geçme dönüş alanının belirlenmesi

Uçağın IS NDB'den sonra emniyetli şekilde dönüşünü gerçekleştirebilmesi için pas geçme dönüş alanının belirlenmesi gerekir. Şekil 5.10'da gösterildiği gibi, uçak kırmızı renkte belirlenen rotayı takip etmeli ve dönüş hareketine rüzgar etkisinin eklenmesi gerekmektedir. Rüzgar etkisi hesaba katıldığında uçağın yeşil renkle belirlenen koruma alanı içinde kalma olasılığı

bulunmaktadır. Bu amaç doğrultusunda kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

$$\text{IAS: } 185\text{kt}$$

$$T = \text{ISA} + 15^\circ\text{C}$$

$$\text{İrtifa} = 1500\text{ft}$$

$$k: 1,0567$$

$$\text{Yatış açısı } (\alpha) = 15^\circ$$

D kategorisindeki bir uçak için maksimum pas geçme IAS değeri 185kt olduğuna göre, (3.4) eşitliğinden;

$$\text{TAS} = 1,0567 \times 185 = 195\text{kt} = 100\text{m/sn olarak bulunur.}$$

IS NDB' den sonra 3sn'lik pilot reaksiyon zamanı ve 3sn'lik dönüşe başlama zamanı olmak üzere toplam 6sn'lik uçuş teknik toleransı (c) aşağıda hesaplanmıştır.

$$c = 6 \times 100 = 600\text{m}$$

600m'lik toleranstan sonra uçak, (3.2) eşitliğinden hesaplanan dönüş yarıçapı (r) ile dönüşünü gerçekleştirecek ve bu dönüş sonunda ÇEK bekleme noktasına ulaşacaktır.

$$r = \frac{(TAS + W_v)^2}{68626 \times \tan \alpha} = \frac{(195 + 30)^2}{68626 \times \tan 15^\circ} = 5098\text{m}$$

Aşağıda verilen hesaplamalarda dönüş yörüngesi üzerine etkiyen rüzgar etkisi (W_e) belirlenmiştir. Kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

$$r = 5098\text{m}$$

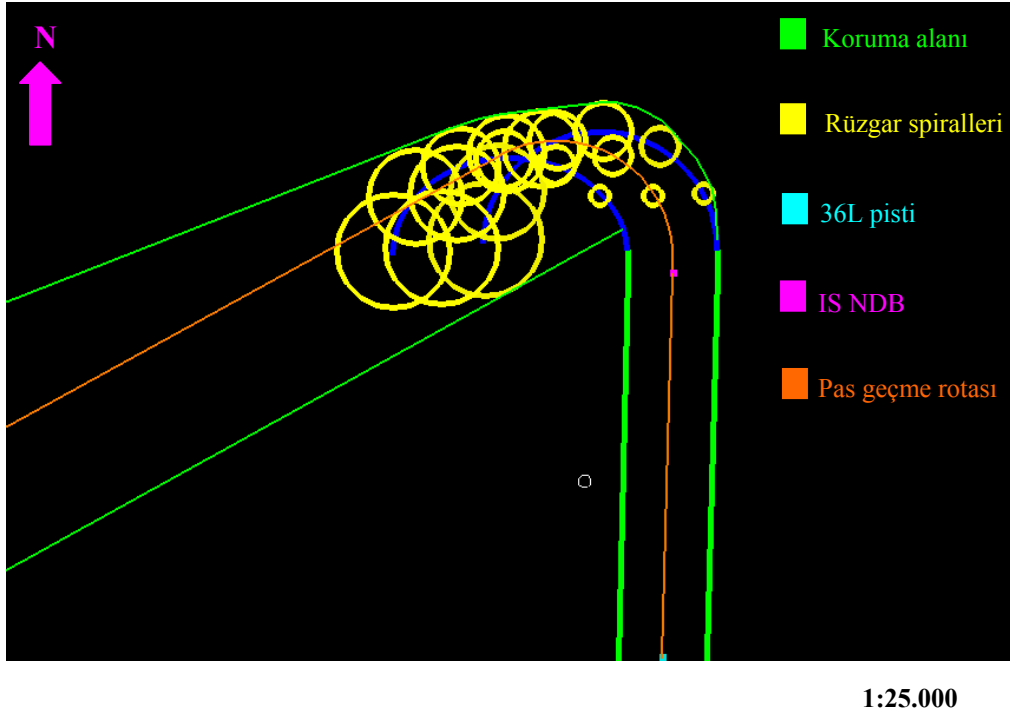
$$TAS = 100\text{m/sn}$$

$$W_v = 30\text{kt} = 15,43\text{m/sn}$$

Bu parametreler (5.3) formülünde W_e 30°'lik adımlarla hesaplanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

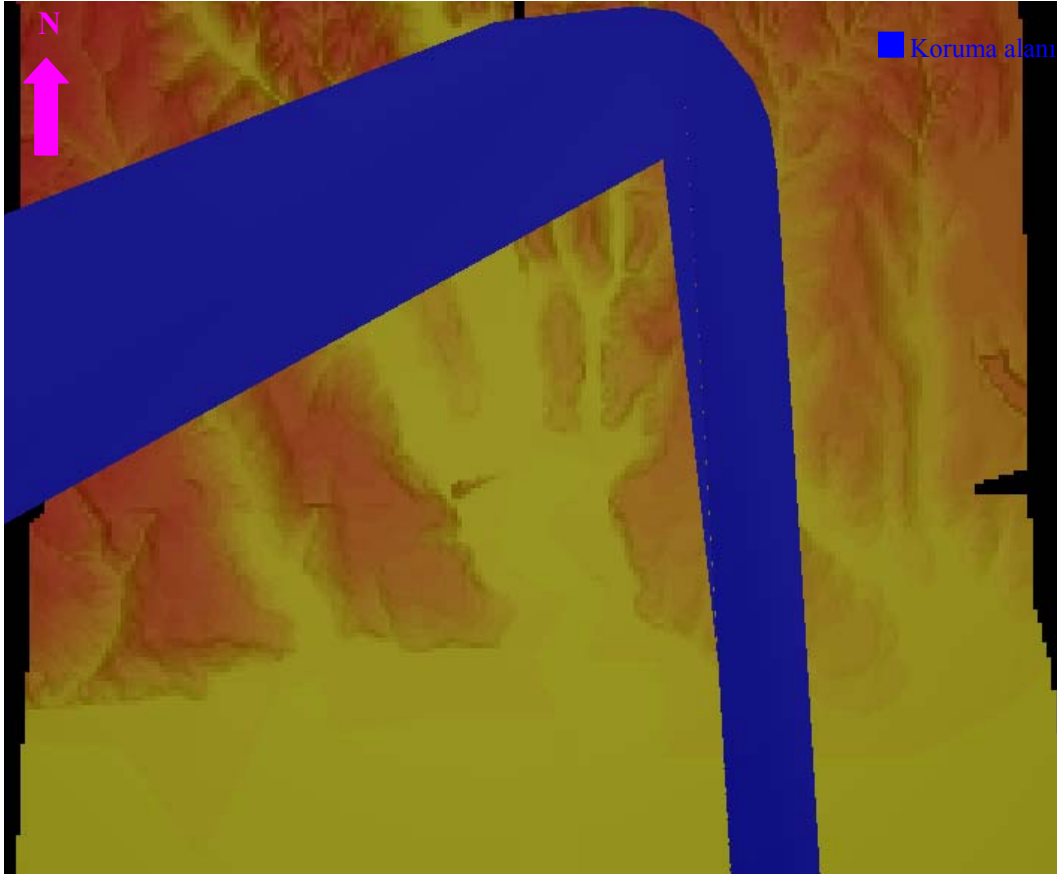
$$\begin{array}{llll} W_{e30^\circ} = 409\text{m} & W_{e60^\circ} = 818\text{m} & W_{e90^\circ} = 1227\text{m} & W_{e120^\circ} = 1636\text{m} \\ W_{e150^\circ} = 2045\text{m} & W_{e180^\circ} = 2454\text{m} & & \end{array}$$

Hesaplamalar sonucunda dönüş yörüngesi üzerine rüzgar etkisi eklenmiş ve pas geçme dönüş alanı oluşturulmuştur (Şekil 5.10.).



Şekil 5.10. RNP 0.15 için rüzgar spiralleri ve pas geçme alanı

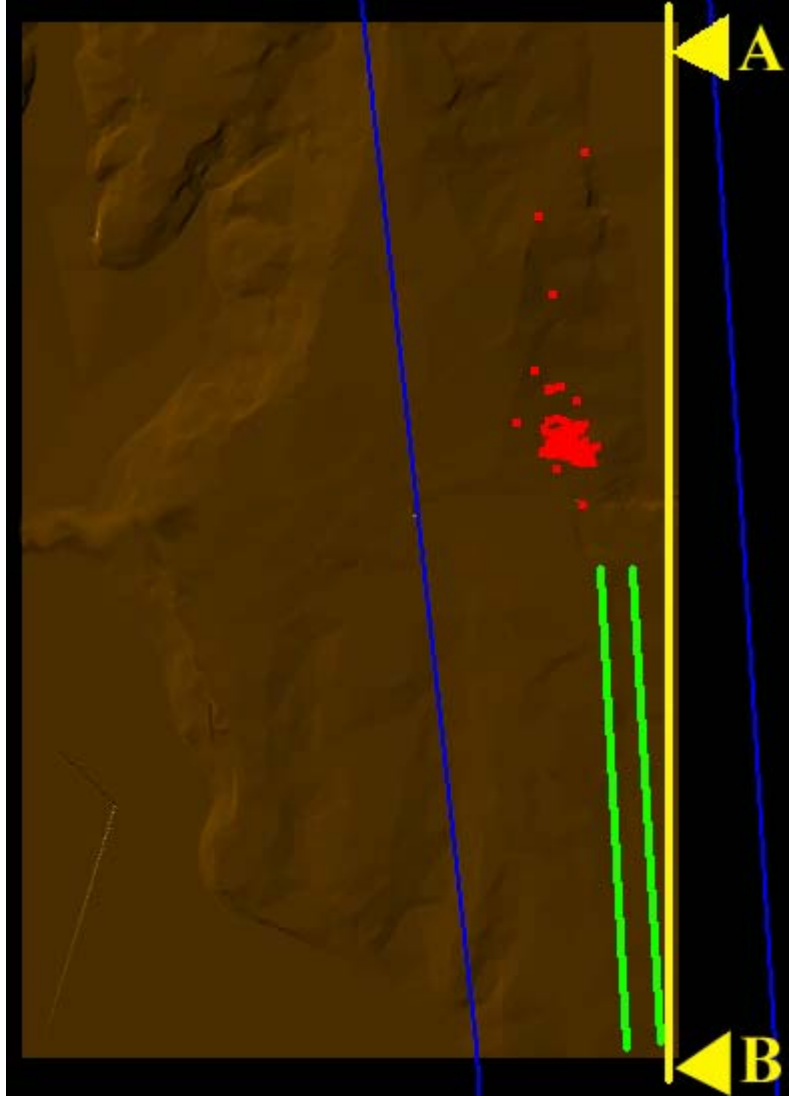
Elde edilen bu alanlar, topografya üzerine yerleştirilip bakıldığında uçağın yaklaşmasını ve pas geçmesini engelleyecek herhangi kritik bir engel bulunamamıştır (Şekil 5.11.).



1:25.000

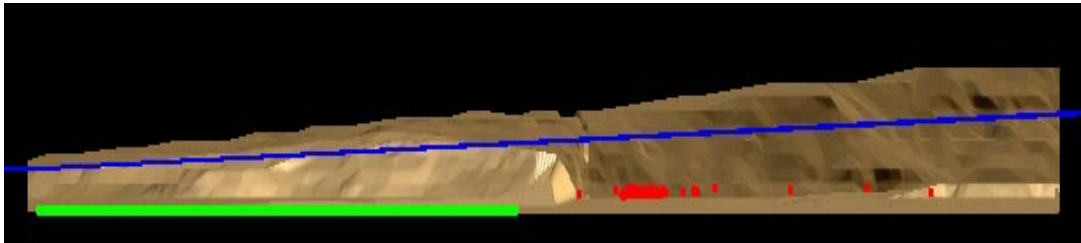
Şekil 5.11. Topografya üzerinde pas geçme alanı

Bu çalışmada 36R pistinin yanı sıra özellikle 36L pistinin kapasite açısından kullanıma geçirilmesi tasarlandığından, 36L pisti için engel teşkil edebileceği düşünülen kritik engeller 2005 yılına göre güncellenerek analiz edilmiş ve ilk aşamada yaklaşma ve pas geçme yüzeylerinin üstten görüntüsü Şekil 5.12’de verilmiştir. Mavi renkli hat koruma alanını, yeşil renkli hat 36R ve 36L pistlerini, kırmızı renkli noktalar engelleri göstermektedir. Şekli 5.12’de gösterildiği gibi AB doğrultusunda kesit alınarak Şekil 5.13 elde edilmiştir.



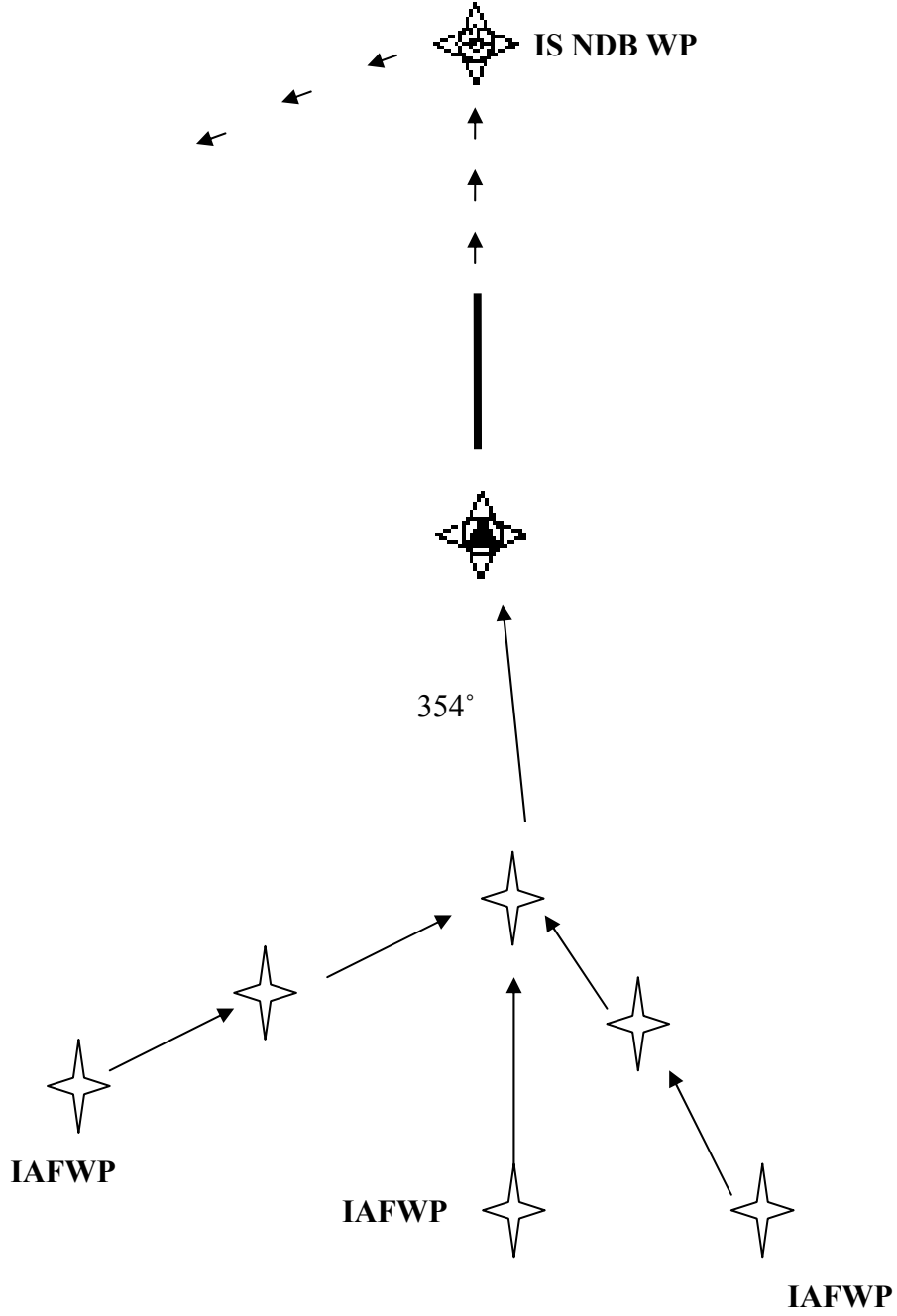
Şekil 5.12. Bölgenin üstten görüntüsü

Şekil 5.13'te görüldüğü gibi engeller uçağın pas geçme hattı altında kalmış ve uçuşu engelleyecek herhangi bir kritik engel bulunmamıştır.



Şekil 5.13. Kesit görüntü

Elde edilen bu veriler doğrultusunda İstanbul Atatürk Havalimanı'ndaki 36L pistine uygulanacak RNP yaklaşma uygulaması Şekil 5.14'tekine benzer bir prosedür olacaktır.



Şekil 5.14. 36L pistine RNP yaklaşması



NDB ile çakışan WP,



Önemli nokta ile çakışan fly-by WP'i (Zorunlu rapor noktası) göstermektedir [31].

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde havacılık sektöründe yaşanan hızlı gelişmeler, artan trafik talebinin karşılanması, hava sahası kapasitesinin artırılması ve daha verimli şekilde kullanılması, aynı zamanda hava sahasında daha esnek prosedürlerin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda yere dayalı seyrüsefer yardımcılarına bağlı geleneksel prosedürler yerini performansa dayalı seyrüsefer prosedürlerine bırakmaktadır.

Performansa dayalı sistemlerin prosedür tasarımında kullanımı kapasite artırımına yönelik avantajlar sunacaktır. Bu çalışmada, şu an eş zamanlı kullanılma imkanı olmayan İstanbul Atatürk Havalimanı'ndaki paralel pistlerin eş zamanlı kullanımına imkan tanıyacak performansa dayalı yaklaşma prosedürü önerisi yapılmış, böylelikle söz konusu meydanın artan trafik talebini mevcut altyapısıyla karşılayabilme imkanı sunulmuştur.

Performansa dayalı seyrüseferde temel elemanlar RNAV ve RNP'dir. Diğer elemanlar ise, prosedürlerin ve hava sahasının yeniden yapılandırılmasıdır. FAA'in yaptığı çalışmalara göre 2020 yılında RNP bütün hava sahasında uygulanıyor olacaktır. Aynı zamanda 2010 yılından başlayarak yere dayalı seyrüsefer yardımcılarını ortadan kaldırılacaktır. Performansa dayalı seyrüsefer kullanımı ile ADS-B ve TCAS sistemleri sayesinde ayırma sorumluluğu kontrolör ve pilotlar arasında paylaşılacaktır.

ICAO, EUROCONTROL ve ECAC gibi uluslararası kuruluşlara üyeliği bulunan ülkemizde, son yıllarda hava trafiğinin artış göstermesi, ülkemizin uluslararası hava taşımacılığındaki gelişmelere ayak uydurması zorunluluğunu getirmektedir.

Kapasite artırımında meydanlara ek pistlerin yapılması uygulanabilecek yöntemlerden birisidir. Ancak, arazi yapısı ve çevresel faktörler dikkate alındığında her zaman bu yöntem uygulanamayabilir. İstanbul Atatürk Havalimanı 36/18 doğrultusunda birbirine 215m mesafede, ICAO kuralları çerçevesinde eş zamanlı yaklaşımlara müsaade etmeyecek paralel konumlu

pistlere sahiptir. Bu çalışmada, FAA'in San Francisco Uluslararası Havaalanı'nda birbirine 229m mesafedeki paralel pistlerinde uygulanmaya koyulan RNP'ye dayalı eş zamanlı paralel yaklaşma modeli seçilerek benzer bir uygulama gerçekleştirilmiştir. İstanbul Atatürk Havalimanı'nın 36R/18L yönündeki pist kullanımını sınırlayan şartlar altında, 36L pistine RNP ekipmanlı uçağın iniş yapmasına imkan verilmesi ile kapasite artırımı hedeflenmiştir. Prosedür tasarımına yönelik yapılan bu çalışmada 36L pisti için RNP 0.15 yaklaşması, havada taşınan ve yer ekipmanı bazında gerekli alt yapının mevcut olduğu varsayımı doğrultusunda şekillendirilmiştir. 36R pisti için ise, mevcut ILS/DME kategori II hassas yaklaşma uygulaması gerçekleştirilmiştir. İstanbul Atatürk Havalimanı'ndaki bu iki paralel pistin eş zamanlı kullanımına olanak sunacak prosedürler tasarlanarak, çalışma alanının sayısal arazi modeli oluşturulmuş ve CBS'ye dayalı olarak çizilen son yaklaşma ve pas geçme prosedürleri engel değerlendirme yüzeylerinde 2005 yılına göre mania değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda iki pist içinde uçak operasyonlarını engelleyecek herhangi bir kritik engel bulunmamıştır. Ancak, 36L pistine RNP 0.15, 36R pistine ILS kategori II yaklaşması yapacak uçakların söz konusu prosedürleri uygulama şartları aşağıda verilmiştir:

- İyileştirilmiş radar sistemi kullanımı gereği vardır.
- Uçaklar yaklaşma sırasında uzunlamasına yakınlık içindedir. Bu uçak çiftleri arasındaki uzunlamasına ayırma ADS-B ve CDTI'nin birlikte çalışma zorunluluğunu getirmektedir.
- Yaklaşma sırasında öndekini izleyen arkadaki uçağın kuyruk türbülansı ve çarpışmadan kaçınması için belirli uzunlamasına ayırmayı muhafaza etmesi gerekir. Bunun için standart IFR ayırma uygulanmalıdır.
- Aralarında 2500ft'ten daha az mesafe olan pistlerin kullanımında ikili olarak yaklaşan uçaklardan öndeki uçağın kategorisi arkadaki uçağın kategorisine göre daha düşük olmalıdır. Yaklaşma sırasında pilot diğer uçağı görmeli ve kuyruk türbülansından kaçınma pilot sorumluluğu

altında olmalıdır. Arkadaki uçak öndeki uçakla aralarında olması gereken mesafeyi otomasyon aletlerini kullanarak ayarlamaktadır. Otomasyon aletleri istenilen uzunlamasına ayırmaya ulaşıldığında pilota yardımcı olacak hız tahditlerini ekranda görüntülemektedir. Hız bilgileri ADS-B kullanımı ile sağlanmaktadır.

- RNP uçuş prosedürlerinde PRM kullanma zorunluluğu vardır. Bu izleme radarı sayesinde uçağın doğru pozisyonu belirlenmiş olur. Bununla birlikte, aynı zamanda inişe gelen pilotlar 3500ft'te ve pist sonundan 3NM'den daha fazla mesafede birbirlerini görmeleri gerekmektedir.
- RNP yaklaşma prosedürlerinin özel uçak ve özel eğitilmiş personel ile uygulanması zorunluluğu vardır. Bu zorunluluğun RNP yaklaşma haritaları üzerinde belirtilmesi gerekmektedir.

RNP prosedürlerinin beklenen faydaları aşağıda sıralanmıştır:

- RNP kabiliyetindeki uçağın gerçek rotasında seyrüseferini gerçekleştirmesi, kontrolörün uçağın doğru pozisyonu hakkında bilgi sahibi olmasını sağlayacak ve böylece hava sahası içerisinde emniyetli ve verimli trafik akışı sağlanmış olacaktır.
- RNP rehberliği ile uçak, çevresindeki herhangi bir engelin etrafından kaçınarak geçebilecek ve yaklaşma yolunu yakalayacaktır.
- RNP kullanımı WP kullanımını da beraberinde getirdiği için, yoldaki noktalar enlem, boylam ve uygun irtifaya göre belirlenmiş olacaktır. Böylelikle hava sahası ve prosedür tasarımında esneklik sağlanacaktır.
- Uçakların optimum seyir seviyelerinde seyrüseferini gerçekleştirecek olması yakıt zaman ve diğer maliyetlerde azalma sağlayacaktır.

İstanbul Atatürk Havalimanı'nda çalışan hava trafik kontrolörleri ile yapılan görüşmelerde Meydanın meteorolojik şartları dikkate alındığında rüzgarın

genellikle kuzey yönünden estiği bunun da 06 ve 36 pistlerinin kullanımını arttırdığı ifade edilmiştir. Bu pistler birbirini kesmediğinden 06 pisti geliş, 36 pisti kalkış olarak kullanılmaktadır. 06 pistinin uzunluğunun kısa olmasından dolayı heavy kategorisindeki (B777, B747, A340 gibi) uçaklar tarafından inişte tercih edilmemektedir. Bu durumda 36 pisti kullanılmaktadır. Aynı zamanda 36 pistinin park sahalarına yakın olması ve pilotların yer trafiğinin kalabalıklığına girmeden park alanlarına ulaşmak istemeleri nedenleriyle 36 pisti iniş için tercih edilmektedir. Böylelikle uçaklar yakıt ve zamandan tasarruf etmektedirler. Bu çalışmada bu şartlar altında 36R ve 36L pistlerinin eş zamanlı yaklaşma ve iniş amaçlı kullanımı sağlanarak meydan kapasitesinin arttırımına imkan tanınmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] http://www.usatoday.com/money/biztravel/2005/01/16/a380/usat_x.htm (17.05.2005)
- [2] COTTON, B., FOGGIA, J. and GOSLING, D., *Potential Future Contribution Of Air Traffic Management Technology To The Capacity Of San Francisco International Airport Report Of The Independent Technology Panel*, Ağustos (2001).
- [3] Eurocontrol, NAV-RNAV, Course Notes (08.03.2004)
- [4] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Manual on Required Navigation Performance (RNP) (DOC.9613)*, (1999).
- [5] <http://www.aviationmanuals.com/articles/article3.html> (10.02.2004)
- [6] www.casa.gov.au/avreg/fsa/download/98nov/rnp.pdf (05.11.2004)
- [7] www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/RNP082400S (13.10.2004)
- [8] www.ecacnav/navapps/RNP-RNAV.htm (18.03.2004)
- [9] www.icao.int/icao/en/ro/eurnat/edocs/eur_doc001_5ed_en (06.10.2004)
- [10] www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_12/navigation_alaska.html (07.02.2004)
- [11] www.gps.faa.gov/Library/Data/RNAVPaper (08.09.2004), WILLIAMS, J., MEYER T., and BRADLEY, J., *Global Navigation Satellite System Panel Meeting*, Rio de Janeiro, Brazil 22 Oct-1Nov 2001
- [12] www2.faa.gov/atpubs/aim/exofchg/exchg3.html (16.11.2003)
- [13] www.aviationtoday.com/cgi/av/show_mag.cgi?pub=av8mon=03038file
- [14] www.protectourbay.com/tech/ntech.html (01.09.2004)
- [15] KAHVECİ, Doç. Dr. M. ve YILDIZ, Doç. Dr. F., *GPS-Global Konum Belirleme Sistemi*, Nobel Yayınevi, Ankara (2001)
- [16] www.eventmakeronline.com/dso/PDF/AFFSA/Olson.pdf (21.05.2004)
- [17] <http://gps.faa.gov/Programs/LAAS/laas.htm> (10.11.2004)
- [18] <http://www.gps.faa.gov/Library/laas/f/text.htm> (10.11.2004)

- [19] www.protectourbay.com/pdf/tech (01.09.2004)
- [20] <http://gps.faa.gov/Library/waas/f/text.htm> (10.11.2004)
- [21] gps.faa.gov/Library/Data/Briefings/LAAS/AAL_CONO.PPT
(10.11.2004)
- [22] <http://www.alaska.faa.gov/capstone/docs/adsb.htm> (05.02.2004)
- [23] <http://nasdocs.faa.gov/nasihtml/cip/cip02.pdf> (25.11.2004)
- [24] www.cami.jccbi.gov/AAM-400A/Abstracts/2002/FULL%20TEXT/0205.pdf (19.05.2004)
- [25] http://www.mitrecaasd.org/work/project_details.cfm?item_id=153
(26.04.2004)
- [26] <http://www.boeing.com/commercial/caft/reference/documents/d780-10251-1V112103.pdf> (12.03.2004)
- [27] www.jaa.nl/conference/20th/thematic/navigation%20transition%20to%20PBAS%20Narrative (10.02.2004)
- [28] www.nbaa.org/@@QAtEC1cMLgEL/conventions/20027/articles/ppt/peacock_drvsm (02.02.2004)
- [29] www.p3iosc.com/presentations/Monday/arth/van/sickle/Monday
(30.01.2004)
- [30] www.ntu.edu.sg/centre/pwtc (30.01.2004)
- [31] USANMAZ Ö, *Hava sahasında RNAV Prosedürler*, Kayseri IV. Havacılık Sempozyumu, 418-422, (2002).
- [32] www.ecacnav.com/navapps/b-rnav_what.htm (06.10.2004)
- [33] <http://users.forthnet.gr/ath/mpang/whatis.htm> (26.04.2004)
- [34] www.ecacnav.com/navapps/b-rnav_offer.htm (06.10.2004)
- [35] www.ecacnav.com/P-RNAV/whatis.htm (06.10.2004)
- [36] www.ecacnav.com/P-RNAV/whatoffer.htm (06.10.2004)
- [37] www.ecacnav.com/files/iss3_0.pdf (19.08.2004)
- [38] www.faa.gov/ats/ato/rnp.htm (24.01.2004)

- [39] http://www.cmcelectronics.ca/Pdfs/ComAv_FIDk_FMS_900_Whitepaper.pdf (2004)
- [40] www.icao.int/mid/midrnprnav5/APPENDIX_1C.PDF (28.04.2004)
- [41] www.eurocontrol.int/about/index.html (20.11.2005)
- [42] www.ecacnav.com/files/navstra2_1.pdf (1999).
- [43] www.faa.gov/avr/ofs/afs400/RNProadmap.pdf (21.04.2004)
- [44] http://www.alaskasworld.com/news/2004/02/24_rnp_mineta.asp (09.11.2004)
- [45] www.juneau.org/airport/pdf/2002/CHPT4 (07.11.2004)
- [46] www.faa.gov/arp/aal/2003%20AAL%20Airports%20Conference.cfm (27.04.2004)
- [47] www.ntu.edu.sg/centre/pwtc/home/Navigation/RNP_benefits_aviation (30.01 2004)
- [48] <http://www.commercialaviationtoday.com/archives/2003/1/1020/cat/29/Jan/03.htm> (16.11.2004)
- [49] http://www.mitre.org/work/best_papers/best_papers_00/hammer_casestudy/hammer_casestudy.pdf (20.06.2004)
- [50] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Manual On Simultaneous Operations On Parallel or Near Parallel Instrument Runways (SOIR) (DOC.9643)*, (2004).
- [51] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Air Traffic Management DOC 4444*, Fourteenth Edition Montreal: ICAO Publication, (2001).
- [52] ICAO Annex 14: Volume I *Aerodrome Design and Operations* Fourth Edition Montreal: ICAO Publication, July 2004
- [53] humanfactors.arc.nasa.gov/ihi/personel/ashford/CSPA20D.pdf (06.10.2004)
- [54] www.faa.gov/ats/asc/publications/03_ACE/CH_4.pdf (15.09.2004)
- [55] www.faa.gov/programs/oep/v6/Smart%20Sheets/AW/AW-1%20V&.htm (08.09.2004)
- [56] <http://av/info.faa.gov/terps/IPH/CH%2001a.pdf> (26.04.2004)

- [57] <http://www.protectourbay.com/soia/soia.html> (20.11.2004)
- [58] <http://www.tayyareci.com/akademi/temelhv2.htm> (28.05.2004)
- [59] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Procedure For Air Navigation Services-Aircraft Operations (DOC 8168 PANS-OPS)*, Volume II, Construction Of Visual And Instrument Flight Prosedures, (2005).
- [60] AKTAŞ, R., *Saha Seyrüsefer (RNAV) Yaklaşma, Bekleme, Kalkış Prosedürleri Ve Uygulaması*, Yüksek lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, (2002).
- [61] <http://www.rsgis.com/cbnedir.html> (29.08.2005)
- [62] <http://www.aselsan.com.tr/DERGI/ocak2000/cbs.htm> (29.08.2005)
- [63] <http://www.alfabim.com.tr/index.php?alfabim=urunayrinti&id=3> (29.08.2005)
- [64] AYDAY, Prof. Dr. C., *Coğrafi Bilgi Sistemleri Ders notları 2003-2004*
- [65] http://www.harita.selcuk.edu.tr/arsiv/calistay2003/15Celik_vd.pdf (29.08.2005)
- [66] http://www.alfabim.com.tr/cbs_bilesenleri.htm (29.08.2005)
- [67] <http://www.cografya.balikesir.edu.tr/cbs.htm> (30.08.2005)
- [68] www.egm.gov.tr/sempozyum2003/Bildiriler/CBS_Ortaminda_Suc_Haritalama_Teknikleri.pdf (31.08.2005)
- [69] YOMRALIOĞLU, Prof. Dr. T., *Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar Ve Uygulamalar*, Akademik Yayınevi, Trabzon (2002).
- [70] <http://gislab.ktu.edu.tr> (31.08.2005)
- [71] OZULU, M., *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yöntemlerinin Arkeolojiye Uygulanması*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, (2005).
- [72] http://www.ian/ko.com/resources/triangulated_irregular_network.htm (22.07.2005)
- [73] USANMAZ, Ö., *Havaalanlarına GPS İle Yaklaşma Ve İnişlerin Coğrafi Bilgi Sistemlerine Dayalı Tasarımı*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, (1998).

- [74] <http://www.dhmi.gov.tr/ataturk.asp> (15.11.2005)
- [75] <http://www.mailgazete.com/turkharita/turkiye.htm> (30.08.2005)
- [76] <http://www.neredennereye.com/harita> (30.08.2005)
- [77] www.googleearth.com (05.09.2005)
- [78] DHMI Genel Müdürlüğü, *Havacılık Enformasyon Yayını (AIP)*, (2005).
- [79] Eurocontrol Assistance to Turkish State Airports Authority, (2002).
- [80] <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik/2005/pdf/eylultum.pdf> (15.11.2005)

EKLER

EK-1 : İstanbul Atatürk Havalimanı'nın Planı

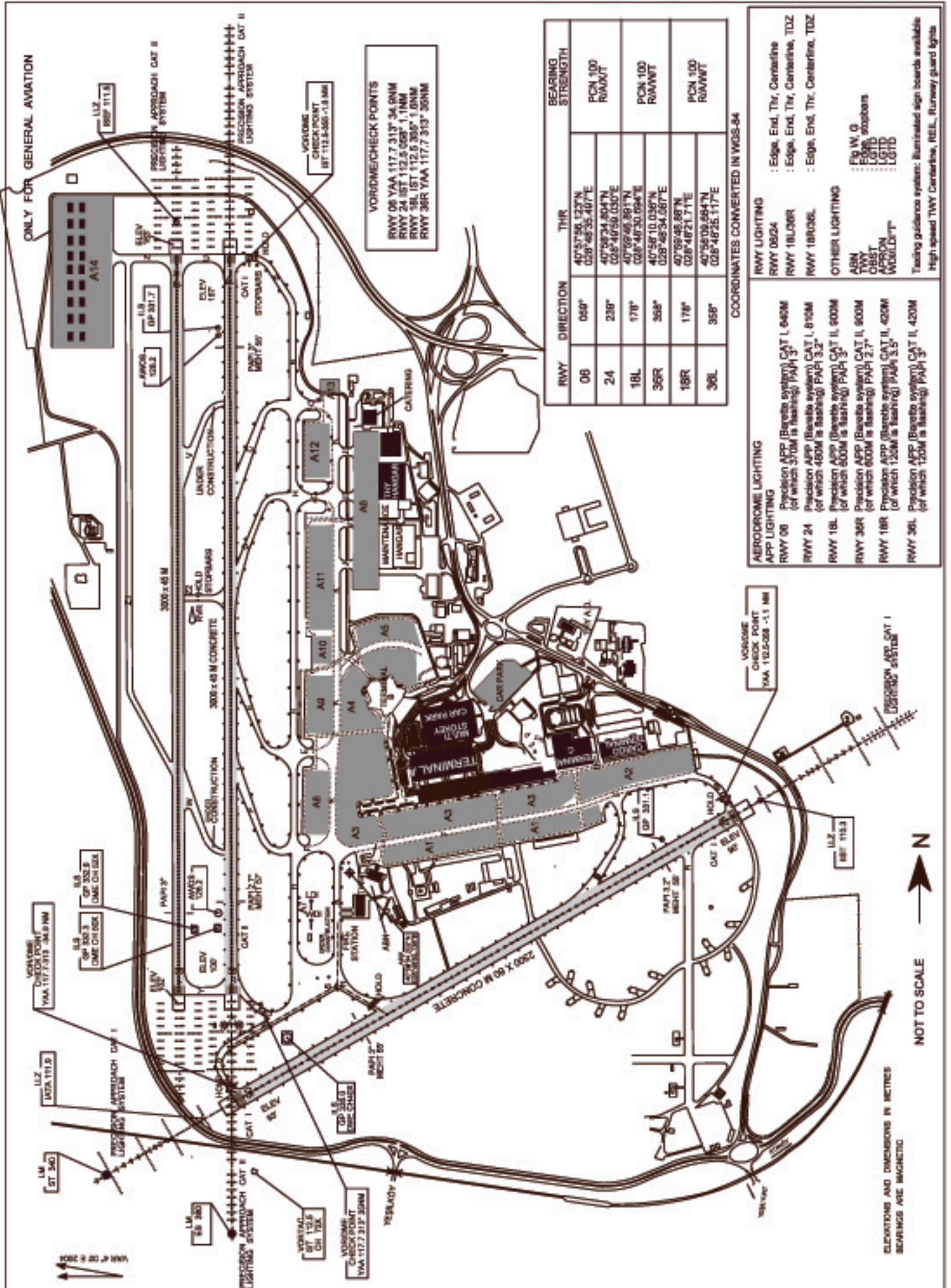
EK-2 : 36R pisti için ILS/DME yaklaşması

AERODROME CHART
ICAO

40°58'34.202"N
028°48'50.738"E AERODROME ELEV 49.7M (163 FT)

TWR: 118.1-121.8-257.8
GND: 121.8-121.9
Delivery: 121.7

ISTANBUL/
ATATÜRK



AIP
TURKEY

AD 2 LTBA IAC-9
07 JUL 05

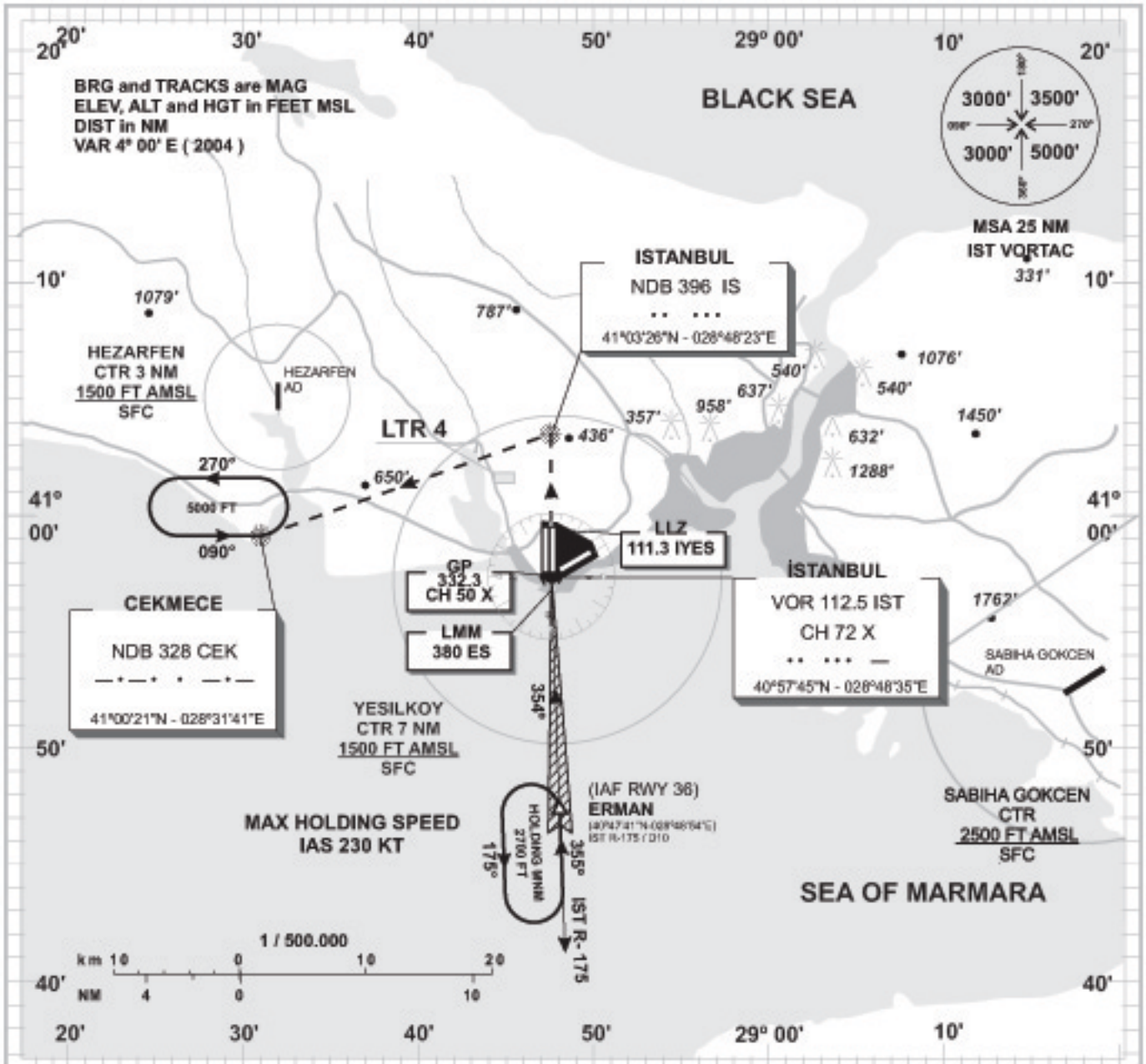
INSTRUMENT
APPROACH
CHART - ICAO

ELEV 163 FT

APP : 121.1 - 120.5
TWR : 257.8 - 118.1 - 121.8

ISTANBUL / ATATÜRK

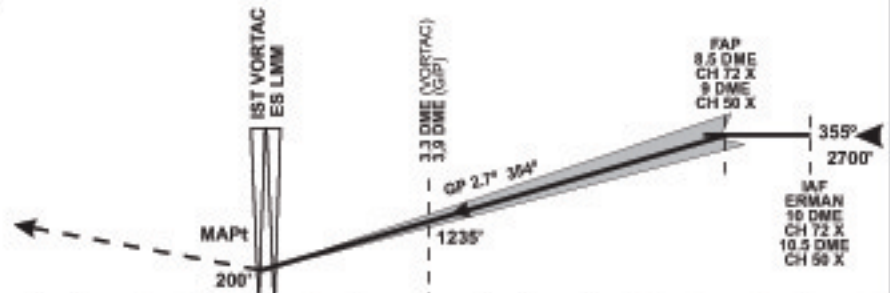
ILS/DME RWY 36R CAT II



TRANSITION ALT 4000 FT

MISSED APPROACH
PROCEED TO IS NDB CROSS 1500 FT
OR ABOVE THEN LEFT CLIMBING
TO PROCEED AND CROSS
CEK NDB 5000 FT AND HOLD

INTERCEPT GP 8.5 DME (CH 72 X)
9 DME (CH 50 X)
ILS RDH 52 FT
RWY 36R THR ELEV 100 FT



CHANGE: FINAL APP TRACK

NM to/from THR RWY 36R		A	B	C	D
OCA (H)					
Straight-in approach			200' (100')		
Radio Altimeter			110'		
RVR			350 m		

DHMI - TURKEY

AIRAC AMDT 05/05

EK-2