



**RNP AR YAKLAŞMA PROSEDÜR**

**TASARIMI VE BİR UYGULAMA**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Serkan ASLANER**

**Eskişehir, 2017**

# RNP AR YAKLAŞMA PROSEDÜR TASARIMI VE BİR UYGULAMA

Serkan ASLANER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özlem ŞAHİN

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mayıs, 2017

*Bu Tez Çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1703F078' no. lu proje kapsamında desteklenmiştir (Tez Çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu).*

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

**Serkan ASLANER**'in '**RNP AR Yaklaşma Prosedür Tasarımı ve Bir Uygulama**' başlıklı tezi 23/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Hava Trafik Kontrol Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı - Adı Soyadı		İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Yrd. Doç. Dr. Özlem ŞAHİN	.....
Üye :	Doç. Dr. Öznur USANMAZ	.....
Üye :	Doç. Dr. Melih Cemal KUŞHAN	.....

**Prof. Dr. Nedim DEĞİRMENCİ**

Enstitü Müdürü

## ÖZET

### RNP AR YAKLAŞMA PROSEDÜR TASARIMI VE BİR UYGULAMA

Serkan ASLANER

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 2017

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özlem ŞAHİN

Hava taşımacılığına olan talebin giderek artış göstermesi ile birlikte hava trafiğine hizmet veren havalimanı sayısında da artış görülmektedir. Emniyetli, hızlı ve düzenli bir şekilde hava trafik akışının devam edebilmesi için havalimanları ve hava sahasının etkin ve verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Özellikle yeryüzü şekilleri bakımından yoğun ve yüksek dağlık alanlara havalimanlarının kurulması uçakların iniş kalkış operasyonlarında zorluk yaratmaktadır. Bu hava trafik operasyonlarının emniyetli bir şekilde yapılabilmesi için etkin geliş prosedürlerinin tasarlanması önem kazanmaktadır. Günümüzde yere dayalı seyrüsefer yöntemlerinin yerine kullanılmaya başlanan performansa dayalı seyrüsefer (PBN-Performance-based Navigation) yöntemleri ile dağlık alanlara emniyetli uçuş operasyonlarını sağlamak mümkündür. PBN, uçağın yere dayalı bir seyrüsefer noktasından diğer bir seyrüsefer noktasına uçuşunu gerektirmeden, uçağın aviyonik sistemlerine yani performansına dayalı bir yöntemdir. PBN yaklaşma prosedürlerinden biri olan yetki gerektiren gerekli seyrüsefer performansı yaklaşması (RNP AR APCH), son yaklaşma ve pas geçme dâhil olmak üzere prosedürün herhangi bir safhasında sabit yarıçap dönüşleri ile dağlık alanlara yerleştirilmiş havaalanlarına yapılan yaklaşımları kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada, RNP AR yaklaşma prosedürünün, mevcut yaklaşma prosedürünün ilk ve orta yaklaşma safhası için RF bacak önerisi ile, dağlık alana kurulmuş olan Kahramanmaraş Havalimanı 25 pisti için tasarlanması amaçlanmıştır. Aynı zamanda, çalışma bölgesinde mevcut uygulanmakta olan yaklaşma prosedürü ile önerilen RNP AR yaklaşma prosedürü uçuş süresi, uçuş mesafesi ve yakıt tüketimi açısından değerlendirilecektir.

**Anahtar Sözcükler:** Gerekli seyrüsefer performansı, Hava trafik, Performansa dayalı seyrüsefer, Yakıt tüketimi.

## ABSTRACT

### RNP AR APPROACH PROCEDURE DESIGN AND AN IMPLEMENTATION

Serkan ASLANER

Department of Air Traffic Control

Anadolu University, Graduate School of Science, May 2017

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özlem ŞAHİN

The demand of air transportation has been increasing rapidly and therefore it's seen that the airports could be built in order to give an air traffic services. Hence, it is necessary to use airports and airspace in efficient and effective way to provide safe, fast and regular air traffic flows. Especially, departure and landing operations at airports located on mountainous areas and high terrains are compelling. Therefore, designing efficient and effective arrival procedures are important. Today, it is possible to provide safe flight operations to mountainous areas with performance-based navigation (PBN) methods instead of ground based navigation methods. PBN is a new method based on avionics system in aircraft whose performances are a necessity for flight from one ground based navigation point to another. Required Navigation Performance Authorization Required Approach (RNP AR APCH) one of the PBN approach procedures including initial approach segment to missed approach segment provides a consistently stable guideline for approaches onto mountain airport using fixed radius turns at any point of the procedure. In this study, the RNP AR approach procedure is intended to be designed for the Kahramanmaraş Airport 25 runway, which is located in the mountainous area, by designing the RF leg for the initial and intermediate approach segment of the current approach procedure. In addition, an available approach procedure and a proposed RNP AR approach procedure will be compared and evaluated in terms of flight time, flight distance and fuel consumption.

**Keywords:** Required navigation performance, Air traffic, Performance-based navigation, Fuel consumption.

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

.....

Serkan ASLANER

## İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLOLAR DİZİNİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
3. PERFORMANSA DAYALI SEYRÜSEFER (PBN) .....	17
3.1. RNP APCH Prosedürü .....	20
3.2. RNP AR Yaklaşma Prosedürü .....	21
4. RNP AR APCH TASARIM KRİTERLERİ.....	24
4.1. Uçak ve Operasyonel Gereklilikler .....	24
4.2. RNP Segment Özellikleri .....	26
4.3. RNP AR Yaklaşma Safhaları .....	28
4.3.1. İlk yaklaşma safhası .....	37
4.3.2. Orta yaklaşma safhası .....	39
4.3.3. Son yaklaşma safhası .....	41
4.3.4. Pas geçme safhası.....	42
5. ÖNERİ VE UYGULAMA.....	46

<b>5.1. Kahramanmaraş Havalimanı Özellikleri.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2. Kahramanmaraş Havalimanı 25 Pisti Yaklaşma Prosedürü .....</b>	<b>46</b>
<b>5.3. Kahramanmaraş Havalimanı 25 Pisti için RNP AR Yaklaşma Prosedür Önerisi.....</b>	<b>50</b>
<b>6. BULGULAR.....</b>	<b>57</b>
<b>7. SONUÇ .....</b>	<b>60</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>61</b>
<b>EK-1. Palm Springs 31L Pisti RNP SAAAR Yaklaşması .....</b>	<b>63</b>
<b>EK-2. Pico Adası 27 Pisti RNAV(RNP) Chartı .....</b>	<b>64</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>65</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Innsbruck havalimanı yaklaşma haritası.....	5
Şekil 2.2. CPT Havalimanı 01 Pisti Geleneksel ve RNP AR Yaklaşma.....	7
Şekil 2.3. Yayınlanmış 21 Pisti için güney RNP STAR ve RNP AR.....	9
Şekil 2.4. RNP AR yaklaşma prosedürünün birincil faydalarına dair dağılım.....	11
Şekil 3.1. PBN kavramı.....	17
Şekil 3.2. RNP AR yaklaşma RF bacağı için örnek.....	20
Şekil 3.4. Geleneksel yollarla PBN e dayalı yolların karşılaştırması .....	21
Şekil 4.1. RNP segment genişlikleri .....	27
Şekil 4.2. Tahmini dönüşe başlama mesafesi (Distance of turn anticipation-DTA) .....	27
Şekil 4.3. Fly-by fikste dar dönüş .....	34
Şekil 4.4. Fly-by fikste geniş dönüş.....	34
Şekil 4.5. RF dönüş .....	35
Şekil 4.6. RF yaklaşma segmenti için engel emniyet yüzeyi (OCA).....	36
Şekil 4.7. RF Pas geçme segmentleri için OCS (MAS) .....	37
Şekil 4.8. Temel Y ve T uygulaması.....	38
Şekil 4.11. Orta yaklaşma safhası MOC 1 .....	41
Şekil 4.12. Orta yaklaşma safhası MOC 2 .....	41
Şekil 4.13. Pas geçme safhasında maksimum RNP<1,0 .....	43
Şekil 4.14. Pas geçme tasarım .....	44
Şekil 5.1. Kahramanmaraş Havalimanı 25 pisti RNAV(GNSS) chartı .....	49
Şekil 5.2. RNAV GNSS ve RNAV RNP yaklaşma yolları.....	52
Şekil 5.3. LTCN 25 pisti için önerilen RNAV RNP chartı .....	53
Şekil 5.4. RNAV GNSS ve RNAV RNP yaklaşma yolları.....	54
Şekil 5.5. LTCN 25 pisti için önerilen RNAV RNP chartı .....	56

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> PBN yeteneğine sahip Türkiye tescilli hava uçaklar .....	14
<b>Tablo 4.1.</b> RNP değerleri .....	26
<b>Tablo 4.2.</b> Uçak hız kategorilerine göre IAS hesabı (km/h) .....	30
<b>Tablo 4.3.</b> Uçak hız kategorilerine göre IAS hesabı(kt) .....	30
<b>Tablo 4.4.</b> Dönüş hesabı için TWC ve irtifa hesaplama tablosu (SI) .....	31
<b>Tablo 4.5.</b> Dönüş hesabı için TWC ve irtifa hesaplama tablosu (SI olmayan) .....	31
<b>Tablo 4.6.</b> Yatış açısı .....	32
<b>Tablo 4.7.</b> Alçalma eğiminin hesaplanması .....	38
<b>Tablo 4.8.</b> Maksimum dikey yol açısı (Vertical path angle-VPA) .....	40
<b>Tablo 5.1.</b> UL/L 605 koridoru ile inişe gelen uçuşlar için kazançlar .....	58
<b>Tablo 5.2.</b> UM/M 854 koridoru ile inişe gelen uçuşlar için kazançlar .....	59

## SİMGELER VE KISALTMALAR

ACAS	:	Havada Çarpışma Önleme Sistemi Airborne Collision Avoidance System
ATC	:	Hava Trafik Kontrol Air Traffic Control
ATS	:	Hava Trafik Hizmetleri Air Traffic Services
APV	:	Dikey Rehberlikle Yaklaşma Approach with Vertical Guidance
ATM	:	Hava Trafik Yönetimi Air Traffic Management
AIP	:	Havacılık Bilgi Yayını Aeronautical Information Publication
ASBU	:	Havacılık Sistem Bloğu Yükseltmeleri Aviation System Block Upgrades
CPT	:	Cape Town Uluslararası Havalimanı Cape Town International Airport
CFIT	:	Arazi Üzerine Kontrollü Uçuş Controlled Flight into Terrain
CDA	:	Devamlı Alçalarak Yaklaşma Continuous Descent Approach
DER	:	Pist Kalkış Mesafesi Sonu Departure end of Runway
DTA	:	Tahmini Dönüşe Başlama Mesafesi Distance of Turn Anticipation
EUROCONTROL	:	Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı The European Organisation For The Safety of Air Navigation
EGNOS	:	Akdeniz Bölgesinin Uydu Seyrüsefer Sistemleri European Geostationary Navigation Overlay Service

ECAC	:	Sivil Havacılık Konferansı European Civil Aviation Conference
FAP	:	Son Yaklaşma Noktası Final Approach Point
FMS	:	Uçuş Yönetim Sistemi Flight Management System
FAA	:	Federal Havacılık idaresi Federal Aviation Administration
FAS	:	Son Yaklaşma Aşaması Final Approach Segment
FOSA	:	Uçuş Operasyonel Emniyet Değerlendirme Flight Operational Safety Assessment
FL	:	Uçuş Seviyesi Flight Level
Fly-by	:	Geçiş Noktası
Fly-over	:	Uğrak Nokta
GNSS	:	Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemleri Global Navigation Satellite System
GLS	:	Yere Dayalı Uydu Destek İniş Sistemi GLS-GBAS Landing System
GANP	:	Küresel Hava Seyrüsefer Planı Global Air Navigation Plan
GP	:	Süzülüş Hattı Glide Path
IMC	:	Aletli Meteorolojik Şartlar Instrument Meteorological Conditions
IFR	:	Aletli Uçuş Kuralları Instrument Flight Rule
ICAO	:	Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü International Civil Aviation Organization
ILS	:	Aletli İniş Sistemi Instrument Landing System

IAS	:	İşari Hava Sürati Indicated Air Speed
IAF	:	İlk Yaklaşma Fiksi Initial Approach Fix
IF	:	Orta Yaklaşma Fiksi Intermediate Fix
LOWW	:	Viyana Uluslararası Havalimanı Viyana International Airport
LTP	:	İniş Eşik Noktası Landing Threshold Point
MDW	:	Midway Havalimanı Midway Airport
MOC	:	Minumum Engel Emniyet Payı Minimum Obstacle Clearance
NAS	:	Ulusal Hava Sahası Sistemi National Airspace System
NM	:	Nautical Mile Deniz Mili
ORD	:	Şikago O'Hare Uluslararası Havalimanı Chicago O'Hare International Airport
OCA/H	:	Engel Emniyet İrtifası/Yüksekliği Obstacle Clearance Altitude/Height
PBN	:	Performansa Dayalı Seyrüsefer Performance -based Navigation
PSP	:	Palm Springs Uluslararası Havalimanı Palm Springs International Airport
RNAV	:	Saha Seyrüseferi Area Navigation
RNP	:	Gerekli Seyrüsefer Performansı Required Navigation Performance
RNP AR	:	Yetki gerektiren gerekli seyrüsefer performansı Required Navigation Performance Authorization Required

RNP APCH	:	RNP Yaklaşması Required Navigation Performance Approach
RNP SAAAR	:	Özel Uçak ve Yetkilendirme Gerektiren Gerekli Seyrüsefer Performansı Required Navigation Performance Special Aircraft and Authorization Required
RF	:	Radios to fix Fikse sabit yarıçap
SID	:	Standart Aletli Kalkış Standart Instrument Departure
STAR	:	Standart Aletli Geliş Standart Instrument Arrival
SBAS	:	Uydu Temelli Güçlendirme Sistemi Satellite Based Augmentation System
SI	:	Uluslararası Birimler Sistemi International System of Units
SAA	:	Güney Afrika Havayolları South African Airlines
TMA	:	Terminal Sahası Terminal Area
RWY	:	Pist Runway
TSE	:	Toplam Sistem Hatası Total System Error
TF	:	Fikse rota Track to Fix
TAS	:	Hakiki Hava Sürati True Air Speed
TWC	:	Kuyruk Bileşeni Tail Wind Component
VPA	:	Dikey Yol Açısı Vertical Path Angle

VFR	:	Görerek Uçuş Kuralları Visual Flight Rule
VNAV	:	Dikey Seyrüsefer Vertical Navigation
WP	:	Yer noktası Way Point



## 1. GİRİŞ

Hava taşımacılığında talebin giderek artması ile hava sahası kapasitesinin ve mevcut hava trafik sistemlerinin yetersiz kalması beklenmektedir. Bu durum da hava trafik akışında gecikmelere ve uçuş güvenliğini tehlikeye sokabilecek ciddi tıkanmalara neden olabilecektir. Hava sahasının optimum kullanılması ile yaşanan gecikme, tıkanma, kapasite gibi problemler çözülebilir. Hava sahasının optimum kullanılması içinse uçuş prosedürlerinin en iyi şekilde tasarlanmasını gerektirmektedir.

Hava trafik idaresinde kullanılan geleneksel seyrüsefer yöntemlerinde trafiklerin yere dayalı seyrüsefer yardımcılarını aracılığıyla noktadan noktaya uçuş gerekliliği, uçuş prosedürlerinin esnek olmayacak şekilde uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte hava seyrüsefer sistemlerinde de gelişmeler yaşanmakta olup, geleneksel seyrüsefer sistemlerinden Performansa Dayalı Seyrüsefer (PBN-Performance-based Navigation) sistemlerine doğru bir geçiş yaşanmaktadır. Bu sayede noktadan noktaya direkt uçuş imkanı sağlayarak operasyonel yetersizlikleri ortadan kaldırmaya yardımcı olan daha emniyetli ve verimli uçuş prosedürlerinin tasarlanması ile hava sahasının optimum kullanımını sağlayan performansa dayalı seyrüsefer ortaya çıkmıştır.

PBN kavramı, seyrüsefer yardımcılarını dayalı noktadan noktaya sağlanan geleneksel seyrüseferin, uçaktaki ekipman ve performansa dayalı teknoloji ile yapılan seyrüsefere olan değişimini ifade etmektedir ve Saha Seyrüseferi (RNAV-Area Navigation) ile Gerekli Seyrüsefer Performansı (RNP-Required Navigation Performance) kavramlarından oluşmaktadır. Ayrıca çeşitli performans standartlarının kullanılmasıyla yapılan seyrüsefer için uçak kabiliyetini de tanımlamaktadır. PBN; seyrüsefer özellikleri, seyrüsefer altyapısı ve seyrüsefer uygulamaları olmak üzere üç elemandan oluşmaktadır [1-4].

PBN kavramını oluşturan elemanlardan RNAV sistemi; kısaca seyrüsefer yardımcılarını kapsamındaki herhangi bir uçuş yolunda kapasitesi dâhilinde uçuş operasyonlarına izin veren noktadan noktaya seyrüsefer sistemidir [1]. RNAV prosedürler, bu kabiliyete sahip uçağın seyrüsefer veritabanına daha önceden yüklenmiş yer noktası (WP-way point) serisinden oluşan yatay yol ve bu WP'ler arasındaki yol tiplerinde örneğin; sabit yarıçaplı yol noktası (RF-radius to fix) gibi uçuşuna izin verir.

RNP sistemi ise RNAV sistem ile benzer olup, tek farkı kokpitte izleme ve ikaz sisteminin yer almasıdır. Bu prosedürler, belirlenmiş bir hava sahası içerisinde yatay düzlemde sağlanmak istenen seyrüsefer doğruluğu olarak tanımlanmaktadır [2].

Farklı uçuş safhaları için farklı hassasiyetteki RNP tipleri kullanılmaktadır. Yetki gerektiren gerekli seyrüsefer performansı (RNP AR-Required Navigation Performance Authorization Required) prosedürleri PBN yaklaşma prosedürlerinden biri olup bu çalışmada kullanılacak yöntemdir.

Yetki gerektiren gerekli seyrüsefer performansına dayalı prosedürler kullanılarak yoğun terminal sahaları ve engel bakımından yoğun çevrelerde daha verimli uçuşların gerçekleşmesi hedeflenmektedir. Buna ilave olarak hava trafik kontrolörlerinin uçağı yönlendirmek için çok fazla sayıda vektör talimatı vermesine gerek kalmamaktadır. Kontrolörler ve pilotlar arasındaki iki yollu frekans meşguliyet süresinde azalma ve bunun sonucunda kontrolör ve pilot iş yükünde önemli derecede azalma hedeflenmektedir.

Türkiye’de mevcut durumda aktif şekilde sivil ve askeri trafiğe açık 55 havalimanından Şubat 2017 itibariyle 13 tanesi geleneksel yöntemlerin yanı sıra RNP yaklaşması (RNP APCH-Required Navigation Performance Approach) prosedürü ile de hizmet vermekte olup, geri kalan diğer havalimanları geleneksel yöntemlerle çalışmaya devam etmektedir [3]. Ülkemiz sınırları içerisinde mevcut durumda RNP AR prosedürü uygulanan herhangi bir havalimanı bulunmamakta olup, ülkemiz coğrafi özellikleri göz önüne alındığında özellikle doğu bölgesinin engel bakımından daha yoğun olması, bu bölgelerde uygulanacak RNP AR yaklaşma prosedürleri ile rota doğruluğu, yolların daha esnek planlanabilmesi ve bu sayede yatay mesafelerden kazanç sağlama, emniyet, yakıt tasarrufu gibi faktörlerde kazanımlar elde edilmesine olanak sağlayacağı öngörülmektedir.

Bu nedenle; çalışma bölgesi olarak, 2016 yılı Aralık sonu verilerine göre ülkemizin toplam trafiğinin %5’ine hizmet veren, arazi yapısı olarak %60’ı dağlık bölgeden oluşan Kahramanmaraş Havalimanı seçilmiştir [4]. Kahramanmaraş Havalimanı 07-25 pist oryantasyonunda tek piste sahiptir. Sadece meydan kontrol ve radarsız yaklaşma kontrol hizmeti verilen bu havalimanında yoğun olarak 25 pist yönünün kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Mevcut durumda 25 pisti için RNAV (GNSS) chartı yayınlanmış olup RNP APCH yapılmaktadır. 25 pistine yaklaşma yapan uçak, yüksek manialardan kaçınmak için yatayda meydanın doğusuna doğru

açılmaktadır. Bu durumda da uçuş zamanı ve yataydaki uçuş mesafesine bağlı yakıt tüketiminde de artış yaşanmaktadır.

Bu çalışmada, RNP AR yaklaşma prosedürü için mevcut prosedürün ilk yaklaşma safhasından orta yaklaşma safhasına kadar olan segment için RF bacak tasarımı yapılarak, dağlık alana kurulmuş olan Kahramanmaraş Havalimanı 25 pisti için tasarlanması amaçlanmıştır. Önerilen çalışma, uygulanmakta olan yaklaşma prosedürü ile uçuş mesafesi, uçuş süresi ve buna bağlı olarak yakıt tüketimi açısından karşılaştırılarak, konuya ilişkin bulgular sunulacaktır.



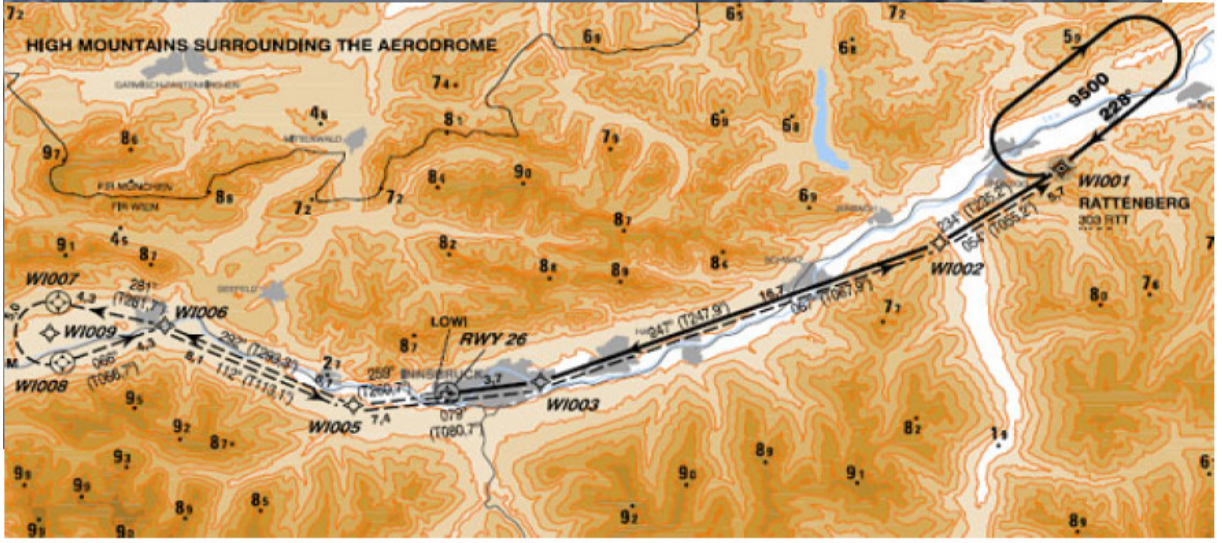
## 2. KAYNAK TARAMASI

Bu bölümde PBN'e dayalı yaklaşma prosedürlerinden biri olan yetki gerektiren gerekli seyrüsefer performansı (RNP AR APCH-Required Navigation Performance Authorization Required Approach) ile ilgili çalışmalar ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Çalışma içerisinde yetki gerektiren gerekli seyrüsefer performansı prosedürleri RNP AR APCH olarak gösterilecektir.

RNP AR APCH yaklaşması ilk defa 1996 yılında Alaska Havayolları tarafından Juneau Uluslararası Havalimanı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu havalimanı 08-26 oryantasyonunda tek piste sahiptir. 08 pisti düşük görüş ve bulutluluk nedeniyle devamlı gecikmelere sebep olmaktadır ve rüzgarın yön değiştirmesi durumunda 08 pistine iniş yapılması güçleşmekte hatta imkansız hale gelmektedir. 26 pisti ise yaklaşma ve iniş yardımcılarının mevcut olmaması ve ilgili prosedürlerinde eksikliği nedeniyle kullanılmamaktadır. Juneau Havalimanı'nın her iki pist başı için RNP AR APCH tasarlanarak, RNP'nin sağladığı emniyet ve güvenilir rota muhafaza doğruluğu ile düşük görüş ve coğrafik şartlardan dolayı yaşanan zorluklar çözüme ulaşmıştır [5].

Alaska Havayolları'nın RNP AR prosedürlerini geliştirmeye yönelik yaptığı bir diğer çalışma da Palm Springs Uluslararası Havalimanı (PSP)'nda gerçekleştirilmiştir. PSP çevresindeki dağlık araziden dolayı, Geliştirilen özel uçak ve yetkilendirme gerektiren gerekli seyrüsefer performansı (RNP SAAAR - Required Navigation Performance Special Aircraft and Aircrew Authorization Required) prosedürü mevcut türlü yaklaşıma göre daha emniyetli olduğu ve aletli meteorolojik şartlarda (IMC-Instrument Meteorological Conditions) uçuş mesafesinde yaklaşık 30nm azalma sağladığı görülmüştür. Ayrıca Alaska Havayolları, PSP için geliştiren RNP SAAAR yaklaşma prosedürünü 345 kez uygulamış ve mevcut prosedür ile inişini tamamlayamayan ve farklı havalimanlarına yönlendirilmek zorunda kalan 29'dan fazla uçuşun RNP prosedürler ile başarılı şekilde iniş operasyonunu tamamladığını gözlemlemiştir. Böylece 4500 yolcunun transfer ücretleri sebebiyle oluşacak maliyetlerden 145 bin dolar kazanç sağlamıştır [6].

Avrupa'da ise RNP AR APCH prosedürleri 2005 yılında ilk olarak Avusturya'nın dağlarla çevrili Innsbruck Havalimanı için yayımlanmıştır. İkinci RNP AR APCH prosedürü ise Salzburg Havalimanı için gerçekleştirilmiştir [7]. Yapılan tüm çalışmalar için temel öge araziden kaçınmaktır. Bölgede engebeli arazinin fazla olduğu yerler için prosedür daha fazla önem kazanmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Innsbruck havalimanı yaklaşma haritası [7]

Gürültü azaltma ve çevresel faktörler için RNP AR uygulamaları, PBN çalışmalarının devamı olmuştur. Viyana Uluslararası Havalimanı (LOWW) konumu sebebiyle şehir merkezine yakın olduğundan tasarlanan RNP AR prosedürü engebeli araziden kaçınarak gürültüyü azaltmaya yöneliktir. 16 pisti için çizilen RNP AR prosedür uygulanmaya başlanarak prosedüre dair geri dönüşler yapılmıştır. Chartta yapılan değişiklikle gürültüye sebep olan yaklaşma hattı, RNP AR'ın en büyük faydalarından olan sabit yarıçaplı dönüş kullanılmasıyla şehir merkezinin gürültüye hassas olan bölgesi üzerinden kaydırılmıştır. Prosedürün uygulamaya konmasından sonra çeşitli hava yolu şirketlerinden olumlu geri dönüşler alınmıştır. Emirates Havayolları'nın yapmış olduğu geri dönüşte, uçuş başına günlük 100-300kg yakıt tasarrufu, günlükte ise ortalama 200-600 kg tasarruf sağlanmıştır. Emisyon tasarrufu ise uçuş başına 300-900 kg olup, bu değer günlük ortalama 600-1800 kg'dır. Bu değerlerin firma adına büyük faydalar sağladığı belirtilmiştir. Gürültüye maruz kalan alan ise, ILS hattını yakalama noktası 13,8 nm yerine, RF dönüş bacağı çizilmesiyle 3 nm'e çekilerek azaltılmıştır. Bazı havayolu şirketleri, arazi engel yapısının kritik AR prosedürleri için onay maliyetinin nispeten daha yüksek olması sebebiyle en azından kritik olmayan AR prosedürlerin onay gerekliliklerinden muaf tutulması konusunda istekte bulunmakta olup ICAO standartlarında yapılabilirliği konusunda fikir vermektedirler. RNP AR yaklaşma prosedürlerin uygulanmasıyla olumlu geri dönüşler olması sonucu Viyana'daki gece operasyonları için ana pist olan 29'a RNP AR planlanmaktadır [8].

RNP AR yaklaşmayı ilk benimseyenlerin çoğu, yakıt tasarruflarının gerçek anlamda RNP AR'ın faydalarını öne süren bir dizi makale yayınlamışlardır. Havayolu şirketlerinin prosedürler üzerine değerlendirmelerinin yapıldığı bir çalışmada RNP AR'ın emniyetli, kararlı ve verimli olduğu görülmüştür. Ayrıca zorlu arazi yapısındaki havalimanlarına iniş kalkış imkânı, yol minimalarında azalma, uçuş mesafesinde azalma ve dolayısı ile operasyonel işletme giderlerinde azalma olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte gürültü azaltmak için kullanılabilecek prosedürler olduğu da ifade edilmiştir. Dünya'da RNP APCH ve RNP AR APCH uygulayan havayolu şirketlerinin RNP 0. 1 seviyesindeki B737 tipindeki uçaklarla uygulanan yaklaşımlar sonucu ortaya çıkan kazançlara dair çalışmalar incelendiğinde Alaska Havayolları Palm Spring Havaalanı'na uçuşlarından 3 ay içerisinde 27 pistine iniş için planlanan havalimanının değiştirilip yedek havalimanına gidış engellenerek 1890nm kazanılmıştır. West Jet Havayolları belirlenen çeşitli havalimanları için yıllık ortalama 2,5-3 milyon dolar tasarruf sağlanmıştır. Quantas Havayolları Avusturya'daki Brisbane Havalimanı için normal geliş yoluna göre 18nm kazanılması ile birlikte yakıt, uçak gürültüsü önleme, varış süresi ve emisyonunda kazanımlar sağlanmıştır. Continental Havayolları Houston, Newark, Guam, Güney ve Orta Amerika'nın birçok bölgesinde kapasite artışı sağlanmıştır. Austrian Havayolları Innsbruck Havalimanı'nın minimumları 1300 feet azaltılarak hizmet güvenilirliği artırılmış, divertler azalmış ve düşük yakıt tüketimi sağlanmıştır. Air China Havayollarının B757 modeli ile RNP 0,3 seviyesinde uygulamayı planladığı yaklaşımlarla Çin 5 yıllık dönemde 50 yeni RNP prosedürünü yayınlamayı planlamaktadır [9].

Güney Afrika Havayolları (SAA-South African Airlines)'na göre ise RNP AR prosedürler, havada çarpışma önleme sistemi (ACAS-Airborne Collision Avoidance System)'nden bu yana Afrika için hava güvenliği ve verimliliği açısından en önemli teknolojik gelişmedir. SAA Havayolları 2009 yılında Cape Town Uluslararası Havalimanı (CPT-Cape Town International Airport) 'nda RNP-AR teknolojisi için bir pilot program başlatmış ve Afrika genelinde ilk olarak 2013 yılının başında faaliyete geçirmiştir. Fransız şirketi Airbus Prosky tarafından yapılan araştırmalarda, yılda yaklaşık 230 saatlik uçuş süresi azalmasıyla 690 ton yakıt tasarruf potansiyeli, her yaklaşma için ortalama 100 kg yakıt tasarruf potansiyeli ve her yaklaşma için ortalama 2 dakika uçuş süresi kazanım potansiyeli belirlenmiştir [12]. CPT konumu itibariyle mevsimsel sert koşullara, engebeli bir arazi yapısına sahiptir ve etrafında gürültüye

hassas bölgeler bulunmaktadır. Ayrıca genel havacılık faaliyeti ve havayolu şirketlerine hizmet vermesi sebebiyle iyi bir trafik karmasına sahiptir. Bu nedenle bu havalimanına RNP AR APCH prosedürü tasarlanmıştır. RNP AR APCH ile CPT Havalimanı 01 pistine iniş için uçuş mesafesinde 19nm kazanım sağlanmıştır (Şekil 2.2) [10].



**Şekil 2.2.** CPT Havalimanı 01 Pisti Geleneksel ve RNP AR Yaklaşma

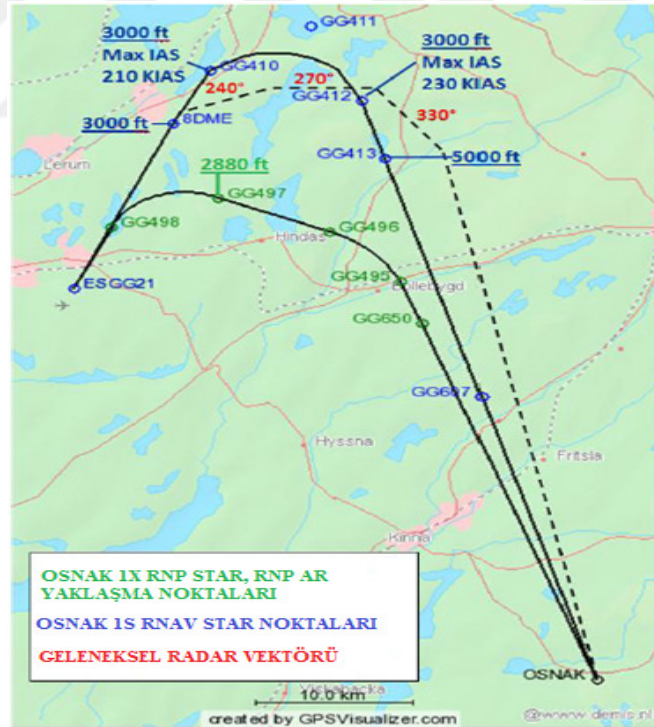
Kanada merkezli West Jet Havayolları'nın 2012 itibariyle PBN yeteneklerine sahip 70 tane B737-700W, 16 tane B737-800W ve 13 tane B737-600 olmak üzere toplam 99 tane uçağı bulunmaktadır. Havayolu şirketinin uçuş düzenlediği Kanada Havalimanları'nın 20 tanesinde RNP yaklaşma prosedürü bulunmaktadır. Bu havalimanlarına ait toplam 80 tane yaklaşma prosedürü olup bunların 50 tanesinde RF dönüş bacağı uygulanmakta olup, bu havalimanlarından 3 tanesinde 7 adet RNP AR kalkış prosedürü bulunmaktadır. Bu prosedürlerin uygulanması ile toplamda 1 milyon 930 bin litre yakıt tasarrufu sağlanarak 4930 ton (2,8 milyon m<sup>3</sup>) CO<sub>2</sub> salınımı önlenmiştir [11]. West Jet Havayolu şirketi 2010 yılında ise Kelowna ve Abbotsford Havalimanlarındaki RNP AR yaklaşma prosedürlerini uygulayarak yılda 265 bin ve 285 bin litre yakıt tasarrufu sağlandığını belirtmektedir [12].

Jet Blue şirketi de 2013 yılında RNP AR operasyonlarından tasarruflarından bahsetmektedir. Şirket 2008 yılından bu yana bu yaklaşımlar için FAA'den gerekli yetkiyi alarak Long Beach Havalimanı'na yaklaşık 144 tane RNP AR APCH yaklaşması gerçekleştirilerek yaklaşık 720 bin dolar tasarruf edilmiştir [12].

RNP AR ile ilgili başka bir çalışma ise Kuzey Atlantik kıyısındaki Azorlar takımadalarından birinde konumlanan Pico Havalimanı için yapılmıştır. Azorlar coğrafi yakınlıklarına göre üç küçük gruba ayrılmış dokuz adadan oluşan bir gruptur. Araziye adaya verilen yüksek volkanik bir dağ hâkimdir. Adanın arazisi, yüksekliği bazen 3280 feet'i aşan çeşitli yükseklikteki tepelerden oluşmaktadır. Pist hem görerek uçuş kuralları (VFR-Visual Flight Rule) hem de aletli uçuş kurallarına göre (IFR-Instrument Flight Rule) uçuş trafiğine açık olup, gece uçuşları içinde gerekli aydınlatma sistemine sahiptir. Mevcut yaklaşma prosedürü hassas olmayan geleneksel prosedürlere dayanmaktadır. Havalimanı çevresindeki arazi sebebiyle yalnızca doğu / batı oryantasyonlu pistler yapılabilmesine olanak verildiğinden bu uzantıda inşa edilmiştir ve yüksekliği 7713 feet olan Pico Dağı, IFR trafikler için mania teşkil etmektedir. Çevresindeki engebeler nedeni ile geliştirilen RNP AR yaklaşımlarının uygulanması açısından mükemmel konumdadır. Pico Havalimanı, Alaska'da Juneau, Çin'de Linzhi veya Avusturya'da Innsbruck Havalimanları kadar iyi bir örnek olmasa bile bu yaklaşma uygulanması ile sağlanan avantajlar göz ardı edilemez. Bu yaklaşma Pico Havalimanı'na sadece yeni prosedür sağlamakla kalmayıp aynı zamanda bu hava sahasının optimize edilmesini kolaylaştırmaktadır. 27 pisti için RNAV (RNP) prosedürü çizilerek ilan edilmiştir (Ek 2). İlk, orta ve son yaklaşma segmentleri RNAV (GNSS) yaklaşımlarında kullanılanlarla çok benzer şekilde çizilmiştir ve aynı noktalar da kullanılmaktadır. RNAV (RNP) prosedüründe ise ilk, orta ve pas geçme kısmında RNP 1 yanıl koruma değeri, son yaklaşımda ise RNP 0,3 yanıl koruma değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak geleneksel yöntemlere göre RNP AR APCH prosedürü ile operasyonel uygulanabilirlik arttırılmıştır. Bu çalışma ile yeni prosedürlerin sadece Pico Adası Havalimanının değil, Azorlar bölgesi civarındaki birçok havalimanındaki operasyon kalitesini arttırabileceği sonucuna varılmıştır. Bu yeni teknolojiler sayesinde, operasyonel uygulanabilirliğin geliştiği ve aynı zamanda geleneksel ekipmanlar ile karşılaştırıldığında daha düşük kurulum ve bakım maliyetlerine sahip olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, Azorlar' daki RNP AR APCH prosedürü uygulanmasına özgü avantajlar, dezavantajların önüne geçtiği görülmektedir [13].

İsveç'in Göteborg Landvetter Havalimanı'ndaki uçuş mürettebatı ve hava trafik kontrolörünün rolü ve sorumlulukları, iletişim, iş yükü, prosedür öngörüsü ve durumsal farkındalık da dahil olmak insan faktörleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO-International Civil Aviation Organization)'ne uçuş

planlarında ek olarak hava iniş hız bilgisi eklenmesi ve hava trafik kontrolörleri için karar destek araçlarının kullanılması önerilmiştir. Geliş ve yaklaşma prosedürleri olarak RNP ve RNP AR yaklaşma prosedürleri uygulanmıştır. Göteborg Landvetter Havalimanı'nda RNP AR konsepti ile sıkışık hava sahası bölgelerinde, gürültüye duyarlı alanların çevresinde ve engebeli arazilerde özellikle fayda sağlayan RF bacaklar ile daha esnek geliş ve yaklaşma prosedürlerinin tasarımını sağlamaktadır. Bu sayede uçağın son yaklaşma noktası (FAP - Final Approach Point) öncesi ve/veya sonrasında kavisli uçuş yollarıyla uçabileceği ve örneğin aletli iniş sistemi (ILS-Instrument Landing System) yaklaşması için gerekli olandan çok daha düşük irtifalarda uzatılmış pist merkezi ile hizalanabileceği RNP AR yaklaşımları tasarlanmasına olanak sağlamıştır. Göteborg Landvetter Havalimanı, İsveç'in batı kıyısında bulunan bir havalimanıdır. Stockholm Arlanda Havalimanı'ndan sonra İsveç'teki ikinci büyük havalimanıdır ve günde ortalama 230 iniş kalkış yapılmaktadır. Havalimanında 3300 m'lik tek bir pist vardır ve hâkim rüzgâr yönü ve/veya diğer koşullara bağlı olarak 03 veya 21 pist uzantısı kullanılabilir.

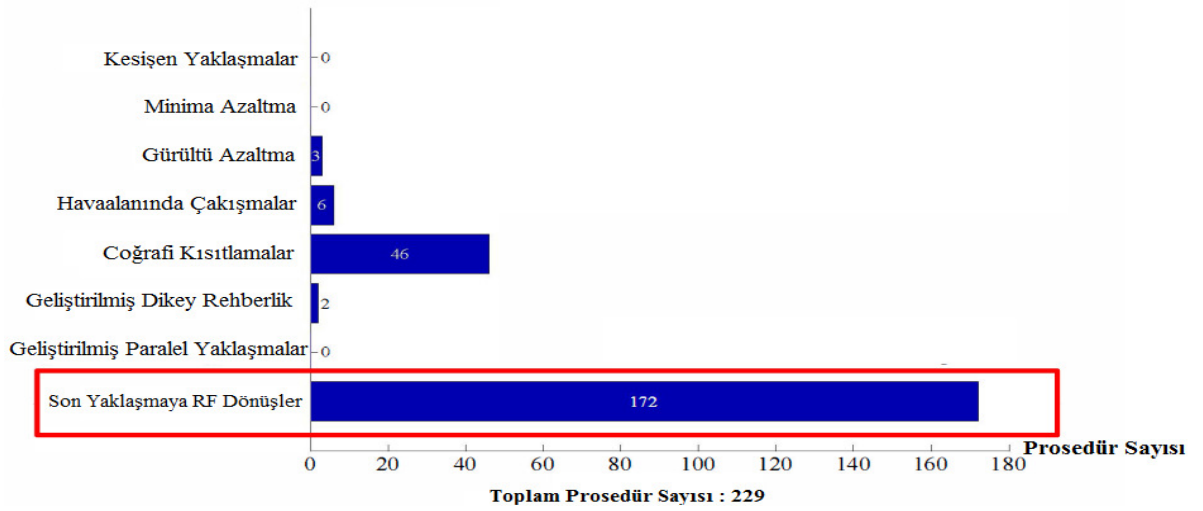


**Şekil 2.3.** Yayınlanmış 21 Pisti için güney RNP STAR (OSNAX IX) RNP AR yaklaşma prosedürü ve P-RNAV(OSNAX IS) ILS ile iniş prosedürü. kesikli çizgiler, taktik radar vektörlere ile kullanılan tipik bir açık STAR'ı göstermektedir.

Çalışma sonucunda pilotlar ve hava trafik kontrolörlerinin roller ve sorumluluklarla ilgili durumu incelendiğinde bu prosedürlerle birlikte hava trafiğinin, geliş ve yaklaşma prosedürlerinin yapısı hem uçuş ekipleri hem de hava trafik kontrolörleri için rol ve sorumluluklar açısından değiştiği görülmüştür. Uçuş mürettebatı açısından durum kontrolörlerin radar ekranlarından uçakların pozisyonlarını stratejik olarak izleme durumuna dönüştüğü görülmüştür. Kontrolör-Pilot haberleşmesine bakıldığında; RNP yaklaşma prosedürlerinde kontrolörlerin uçağı yalnızca ilk temasta prosedüre dair serbest kıldığı ve kule ile temas kurana kadar orta veya son yaklaşma aşamalarında minimum iletişim sağladığı görülmüştür. RNP operasyonların iş yüküne etkisi değerlendirildiğinde; RNP operasyonlar, özellikle az yoğunluktaki trafik akışlarında kontrolörlerin iş yükünü önemli ölçüde azalttığı ifade edilmiştir. Görüşülen pilotlar genel olarak, kontrolör ile iletişim yerine uçmaya odaklandıklarını ifade edip, RNP operasyonlar sırasında en az iş yükünün olduğu konusunda hem fikir olmuşlardır [16].

Midway Havalimanı (MDW) 13C pist için RNP AR yaklaşma prosedürünün faydaları üzerine yapılan çalışmada uçak seyrüsefer teknolojilerindeki gelişmelerin hassas kavisli yaklaşımlar uygulanarak terminal hava sahasında uçuş verimliliğini arttırma, yüksek engebeli arazilerde emniyetli seyrüsefer sağlama, karmaşık hava trafik yapısını azaltma ve birbirine yakın konumdaki havalimanlarının yaklaşma operasyonlarının ayrılmasını sağlama gibi faydaları gözlemlenmiştir. MDW Havalimanı'na uçuşlar için meteorolojik veriler, operasyonel veriler ve RNP yaklaşma prosedürünün uçak yakıt performansına toplam etkisini hesaplamak için bir model geliştirilmiştir. Sonuçlara göre MDW 13C'de RNP yaklaşma kullanılarak yol mesafesinin kısalmasıyla, bulutluluk/görüş ve rüzgar koşulları ILS 13C pistinin kullanılmasına olanak sağladığında, RNP AR yaklaşma ile kalkışlarda her yıl için ortalama 66 bin 623 litre yakıt kazancı sağlanmıştır. Bu değer, havalimanına uçuş düzenleyen havayollarının işletme maliyetlerine doğrudan ortalama 98 bin dolar tasarrufa karşılık gelmektedir. Ayrıca MDW 13C pistinde RNP AR yaklaşma prosedürünün kullanılmasıyla komşu havalimanı olan Şikago O'Hare Uluslararası Havalimanı (ORD-Chicago O'Hare International Airport)' dan bağımsız operasyonlar yapılması sağlanmıştır. Bu sayede de bekleme patarnlerindeki azalmalarla ortalama 38 milyon dolar kazanç sağlanmıştır [14].

Mart 2013 itibariyle Ulusal Hava Sahası Sistemi (NAS - National Airspace System)'nde RF bacaklara sahip 229 RNP AR prosedür olup, NAS'daki 83 havalimanında RF bacağı bulunan en az bir RNP AR prosedürü bulunmaktadır. Bu 229 tane RNP AR yaklaşma prosedürünün birincil faydalarına dair analiz yapıp dağılıma bakıldığında prosedürlerin son yaklaşıma RF dönüşler yapılarak tasarlandığı belirtilmiştir. RNP AR prosedürlerin muhtemelen bu analizde incelenmemiş diğer yararlar sergilediğinden de bahsedilmiştir (örneğin farklı havaalanlarının prosedürlerinin çakışması, gürültü azaltma vb).



**Şekil 2.4.** RNP AR yaklaşma prosedürünün birincil faydalarına dair dağılım

Yapılan hesaplamalarla Ekim 2010'dan Mart 2013'e kadar gerçekleştirilebilen uçuşlarda toplam 222 bin dolar tasarruf sağlanmıştır ki bu da uçuş başına 166 dolar'a karşılık gelmektedir [15].

Ülkemizin PBN konusundaki gelişmelerini değerlendirdiğimizde Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'nün 7 Haziran 2016 tarihli Türkiye'nin Performans Dayalı Seyrüsefer plan raporunda ülkemizin RNAV, RNP ve RNP AR prosedürler açısından mevcut durumu ve gelecekteki planları açıklanmaktadır.

Bu plan raporu, PBN prosedürlerinin oluşturulması ve kullanıcılar arasında koordinasyonun sağlanması ve kullanıcılara doğrudan etkisi olan tüm varsayımların ve kısıtlamaların analizleri de dahil olmak üzere önümüzdeki 10 yıl için Türkiye'nin PBN uygulama stratejisini tanımlamaktadır. Yenilenen hava sahası konsepti, PBN konseptine ve hava sahasının yeniden tasarlanmasından beklenen tüm faydalara paralel olarak planlanmaktadır. Türkiye, ICAO ile yapılan mutabakat sonucu Döküman 10022 ile

Türkiye de hava seyrüsefer önceliği olarak PBN'nin uygulanmasını değerlendirdiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda Türkiye de stratejik hedeflerini ICAO Küresel Hava Seyrüsefer Planı (GANP-Global Air Navigation Plan), Havacılık Sistem Bloğu Yükseltmeleri (ASBU-Aviation System Block Upgrades) ve diğer ilgili rehberlik malzemeleri uyarınca belirlemiştir [18].

Türkiye, 11 farklı uçak model ve serisi kapsayan yaklaşık 600 büyük ve iş tipi uçağa sahiptir. Filonun ortalama yaşı 13 olup, uçakların %10'u 15 yaşından büyüktür. Ana havayolu operatörleri tarafından işletilen uçakların çoğu RF işlevine sahip RNAV ve RNP kapasitesi bulunmaktadır. Ülkelerin trafik talepleri ile ilgili varsayımlar bir hava sahası tasarımı için hayati öneme sahiptir. Türkiye'nin havacılık alanındaki 2005 ve 2014 yılları arasındaki düz uçuşları da içeren uçak trafiği %122 artmış ve 2015 yılında 1,832,962'ye ulaşmıştır. 2016 yılında trafik sayısının 1,948,675, 2017 yılında 2,066,841 olacağı öngörülmüştür. Varsayımlardan farklı olarak, hava sahası tasarımının kontrolörlerin operasyonel gereklilikleri üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu gerçeği göz önüne alındığında, kısıtlamaların da dikkatle tanımlanması gerekmektedir.

PBN' in Türkiye'deki mevcut durumuna bakıldığında [18]:

- **Terminal Sahası (TMA-Terminal Area) (SID ve STAR'lar)**

RNAV 1 uygulamasına GNSS'e dayalı seyrüsefer standart aletli kalkış (SID- Standart Instrument Departure) ve standart aletli geliş (STAR-Standart Instrument Arrival)'lerin gerçekleştirilmesiyle başlanmış olup; İstanbul Atatürk ve Sabiha Gökçen Havalimanları için 2010 yılında, Antalya Havalimanı için 25 Ağustos 2011'de ve Dalaman Havalimanı için de 6 Mart 2014'te yayınlanmıştır. En sonucusu da 28 Mayıs 2015'te Trabzon Havalimanı için yayınlanmıştır. İstanbul TMA için yayınlanan prosedürler, operasyonel gereklilikler, operatörlerin geribildirimi ve gerçek zamanlı simülasyonların kesin sonuçları doğrultusunda Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı'nın (EUROCONTROL-The European Organisation For The Safety of Air Navigation) Eğitim Merkezi'nde gerektiği gibi revize edilmiştir.

RNP 1 yollar, radar hizmeti olmayan TMA'lar için SID ve STAR'lar için tasarlanmıştır. Amaç, kesişmeyen SID ve STAR'lar tarafından RNP1'in esnek tasarımının da avantajlarını kullanarak ayırmaları kolaylaştırarak rotaları kısaltmaktır. RNP 1'in hali hazırdaki uygulama durumuna birkaç örnek verilecek olursa; 2013

yılında Van Havalimanı 03 pisti ve Kahramanmaraş Havalimanı pist (RWY-runway) 25 için SID ve STAR'lar yayınlanmıştır. Denizli Çardak Havalimanı içinde 2014 yılında RNP 1 SID ve STAR'lar yayınlanmış olup, 2017 yılı içerisinde toplam 13 havalimanı için RNP 1 SID ve STAR'lar güncel Türkiye Havacılık Bilgi Yayını (AIP-Aeronautical Information Publication)'nda yayınlanmıştır.

- **Yaklaşma Aşaması**

Dikey rehberliğe sahip RNP APCH prosedürlerin uygulanması için kademeli bir geçiş planlanmış ve uygulanmaya konmuştur. İlk olarak, uçakların uçuşa elverişliliği de dâhil olmak üzere RNP APCH prosedürlerini de kapsayan bir talimat, EAGA 20-27A, Doc 9613, Federal Havacılık İdaresi (FAA-Federal Aviation Administration) 20-138D talimatlarına göre 31 Ocak 2012'de yayınlanıp, 25 Temmuz 2012'de güncellenmiştir. Türkiye tesciline sahip havayolu operatörleri ile ortak toplantılar yapılmış olup bunların sonuçlarına göre, bir geçiş planı oluşturulmuş ve özellikle Türkiye'nin doğu kesiminde yüksek arazi koşullarındaki havaalanları seçilmiştir. Mevcut yapay engel verilerinin araştırılması ve güncellenmesine bu süreç boyunca devam edilmiştir ve Van Havalimanı için sırayla tamamlanan RNP APCH (LNAV) prosedürü 7 Şubat 2013'te yayınlanmıştır. Yeni prosedüre geçiş döneminde, prosedürün uygulanmasını etkileyen GNSS'nin kaybı veya başarısızlığı ile ilgili önemli bir rapor alınmamıştır. Bu nedenle, Kasım 2013 ve Mart 2014'te Kahramanmaraş Havalimanı (RWY 25) ve Dalaman Havalimanı (RWY 19) için de RNP APCH (LNAV) prosedürü yayınlanmıştır.

ICAO'nun dikey rehberlikle yaklaşmayı (APV-Approach with Vertical Guidance) birincil aletli yaklaşma prosedürü olarak kabul etmesi veya hassas yaklaşma prosedürlerine yedek olarak sunmak isteme sebebi ise aletli yaklaşma esnasında sürekli yanal ve dikey rehberlik sayesinde Arazi Üzerine Kontrollü Uçuş (CFIT Controlled Flight into Terrain) kazaları ve yaklaşma hattından taşma risklerini azaltmaktır. APV'nin hizmete girmesiyle, hassas olmayan yaklaşımlar hizmet dışı bırakılarak APV'nin aletli yaklaşma prosedürlerinde dünya standardı haline gelmesi sağlanacaktır. Türkiye'de APV operasyonları için mevcut durumuna baktığımızda, Şu anda, 2016 yılına kadar RNP AR prosedürü yayınlanan hiçbir havalimanı yoktur. Bu yöndeki çalışmalar halen bireysel operatörler tarafından tasarım bazında yürütülmekte olup, seyrüsefer otoritesi tarafından kamuya açık hale getirilmek üzere geçiş aşamasındadırlar.

Uçak yetenekleri açısından bakıldığında, uçak üzerindeki seyrişer performansını izleme ve uyarı sistemi, Türkiye'nin stratejik planlarında öngörülen birçok yeni hava trafik yönetimi (ATM-Air Traffic Management) uygulaması için gerekli unsurlardan biridir. Üretilen uçakların tam RNP yeteneği, A320, B737-NG ve B787 gibi en son nesil uçaklar için geçerli olmakla birlikte modifikasyon yapılarak eski model uçaklarda da bu sistemler kullanılabilir. Türkiye'de PBN operasyonları için uçak onay süreci için düzenlemeler hazırlanmış ve yayınlanmıştır. Bu düzenlemeler RNAV 5 için SHT-14, RNP APCH için SHT-RNP-20-27'dir. RNP AR düzenleme çalışmaları devam etmektedir. Aynı zamanda, PBN onay işlemleri için ICAO Doc. 9613 PBN El Kitabı da kullanılmaktadır. Türkiye'de farklı PBN kabiliyetleri ile kayıtlı olan uçaklar listesi ve numaraları aşağıdaki tabloda listelenmiştir (Tablo 2.1).

**Tablo 2. 1.** PBN yeteneğine sahip Türkiye tescilli hava uçaklar [18]

PBN OPERASYON TİPİ	RNAV 10	RNAV 5	RNAV 2	RNAV 1	RNP 4	RNP 2	RNP 1	RNP 0.3	RNP 0.1	RNP APCH	RNP APCH (BV)	RNP AR APCH	A-RNP
UÇAK TIPLERİ													
B737	121	211	124	221	121	124	221	198	89	208	168	89	64
A320	40	140	40	140	36	17	136	123	14	136	125	14	17
A319	1	1	1	1	1		1	1		1	1		
A321	13	13	13	13	13		13	13		13	13		
ERJ 190/195	12	12	12	12			12	12		12	12	12	
Global-XRS	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	
B747	7	7	7	7	7	7	7			7	7		
B777	24	24		24	24		24	24		24	24		
A310	3	3	3	3									
A340	5	5		5	5		5	5		5	5		
Cessna Citation	1	1		1	1			1			1		
A330	62	62	8	62	62		62	54		62	56	12	
TOPLAM	290	480	209	480	271	149	472	432	103	469	418	128	81

Türkiye'nin CNS/ATM yeterliliklerine bakıldığında, yere bağlı radyo seyrüsefer cihazları Türkiye'de çok uzun yıllardır hava seyrüseferinin temelini oluşturmaktadır ve şu anda 227 yere bağlı radyo seyrüsefer cihazları (65 NDB, 61 VOR ve 101 Uzaktan Ölçme Ekipmanı - DME) uçaklara sabit noktalar arasında noktadan noktaya uçuş ve iniş prosedürleri için aletli yaklaşımlara bağlantı kurmak için kullanılmaktadır. NAVAIID altyapısı ile birlikte, seyrüsefer cihazları yerden veya uzaydan gelen bilgilere bağlı olabilir. NAVAIID'ler, seyrüsefer bilgisayarına giriş sağlayan uygun yerleşik sensör tarafından alınan konumlandırma bilgilerini iletir. Bu sayede uçuş ekibinin, RNAV veya RNP sistemi ile birlikte, rota yönlendirmesinde istenilen rota doğruluğunda kalmasını sağlar. Uzaya dayalı NAVAIID'ler GNSS ile eşanlıdır. Mevcut operasyonel GNSS yapısı; Galileo (AB), Beidou (BDS), QZSS (Japonya) GPS (ABD) ve GLONASS (Rusya) 'ı içermektedir.

Türkiye'de son zamanlarda Akdeniz Bölgesinin Uydu Seyrüsefer Sistemleri (EGNOS- European Geostationary Navigation Overlay Service) programları dâhiline girebilmesi için Galileo Uydusu Birleşik Çalışmaları (GJU) ile ilgili yol haritası belirlenmesi programı olan METIS projesine dâhil olmuştur. Projenin amacı Akdeniz bölgesinde GNSS sinyali sağlanması, uygulaması ve bunun verimliliğinin ölçülmesidir. METIS Projesi Akdeniz sahasında demoları içeren çalışmalarla potansiyel Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi (GNSS) hizmetleri ve uygulamalarını içermektedir. Bu proje kapsamında, havacılığın yanı sıra kara, deniz ve raylı sistem ulaşımını içeren denemeler yapılacaktır. METIS Projesinde havacılık kapsamında yapılacak dikey rehberlikle yaklaşma denemelerini icra edecek olan üç ülkeden biri Türkiye'dir. Projenin Türkiye ayağında; Çanakkale Havalimanında, EGNOS uydu sinyalleri ile hassas olmayan seyrüsefer cihazları kullanılmaksızın uçuşların yaklaşma kabiliyetinin ölçüldüğü denemeler yapılmasıdır. Denemelerin temel amacı, orijinal sivil havacılık konferansı (ECAC- European Civil Aviation Conference) hizmet alanının dışında EGNOS performansının doğrulanması için yapılan performans denemeleri ve yerel hava seyrüsefer hizmet sağlayıcılarının Uyduya Dayalı Gözetim Sistemi (SBAS-Satellite Based Augmentation System)'nden edinebileceği faydaların gösterilebilmesidir. Söz konusu denemeler 5-6 Kasım 2009 tarihlerinde yapılmış olup Çanakkale Havalimanı EGNOS kapsama diyagramlarına göre tam sınırdaki olduğu için ilk gün yeterli fayda sağlanamamıştır. İkinci gün ise denemeler çok verimli şekilde gerçekleştirilmiş ve EGNOS uyduları kullanılarak ILS CAT 1 seviyesinde yaklaşımlar yapılarak veriler elde

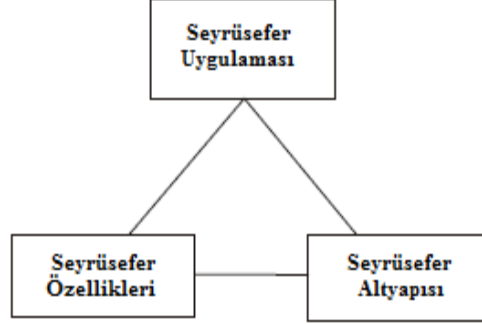
edilmiştir [18]. Türkiye AIP'sinin ilgili bölümünde (ENR 4.3) GPS sinyal bilgisi 1575.42 Mhz. olarak yayınlanmıştır ve tüm ülke sınırını kapsamaktadır.

Yeni hava yollarının oluşturulmasında Türkiye, kalkış ve geliş güzergahlarının her biri için uçuş mesafelerinin kısaltılmasına öncelik vererek en az 2 nm'lik bir düşüş sağlayacaktır. Bu mesafe de yakıt tüketimini yaklaşık 11,5 milyar ton azaltacak ve yılda yaklaşık 45 bin ton CO<sub>2</sub> salınımını azaltarak olumlu ekonomik etkiler getirerek çevre sorunlarını çözümünde bir rol oynayacaktır. Ayrıca, optimize edilmiş itki gücüne sahip Devamlı Alçalma Yaklaşması (CDA-Continuous Descent Approach) Operasyonları sayesinde ek yakıt tasarrufuna da katkıda bulunulacaktır [18].



### 3. PERFORMANSA DAYALI SEYRÜSEFER (PBN)

PBN; seyrüsefer özellikleri, seyrüsefer altyapısı ve seyrüsefer uygulamaları olmak üzere üç elemandan oluşmaktadır [1-2].



**Şekil 3. 1.** PBN kavramı

Seyrüsefer özellikleri, RNAV veya RNP sisteminin gerektirdiği performansın detaylı olarak doğruluk, bütünlük ve sürekliliğini, RNAV veya RNP sisteminin hangi seyrüsefer işlevlerine sahip olması gerektiğini; hangi seyrüsefer sensörlerinin RNAV veya RNP sistemine entegre edilmesi gerektiğini ve uçuş ekibinin hangi yeterliliklere sahip olması gerektiğini tanımlamaktadır. Ayrıca, RNAV ve RNP özellikleri olarak da kısaca tanımlanabilir. RNP özellikleri, RNAV özelliklerden ayıran tek fark RNP sisteminde kokpit izleme ve ikaz sisteminin bulunmasıdır [1-2].

Seyrüsefer altyapısı, yere ve uyduya dayalı seyrüsefer yardımcılarını ifade etmektedir. Yere dayalı seyrüsefer yardımcıları DME, VOR, vb. seyrüsefer yardımcılarını içerir. Uyduya dayalı seyrüsefer yardımcıları ise Ek10-Havacılık Haberleşmesi (Annex 10-Aeronautical Telecommunications)'nde tanımlanan Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemleri (GNSS-Global Navigation Satellite System) unsurlarını içerir.

Seyrüsefer uygulaması ise; hava sahasının yapısına uygun olarak seyrüsefer özelliklerinin ve seyrüsefer yardımcılarının, hava trafik hizmet (ATS-Air Traffic Service) yolları, aletli yaklaşma prosedürleri ve belirlenen hava sahasına uygulanmasıdır [1].

Böylelikle, pilot seyrüsefer sisteminin başarısız olduğu durumları saptayabilecektir. Bu doğrultuda, RNP sistemler, bütünlük garantisi sağlamaktadır;

bunun yanında emniyet, verimlilik, kapasite ve diğer operasyonel yararları da beraberinde getirmektedir [7].

PBN; havacılık endüstrisi, devletler, yerel düzenleyiciler ve servis sağlayıcıları arasında karışıklıklara yol açan noktaları anlama, çözme ve RNP ile RNAV konsept ve uygulamaları konusunda açıklama ve tanımları yenilemek amacıyla yakın zamanda ortaya çıkmış bir kavramdır. Uyumu ve devamı sağlamak amacıyla bu sistem terminal sahasından en uç okyanus bölgelerine kadar tüm uçuş bölgelerinden uygulanmıştır [17].

Geçmişte ticari uçaklar bir noktadan yere dayalı bir seyrüsefer yardımcısı ile (VHF, VOR, NDB, DME gibi) başka bir noktaya seyrüsefer yardımcısıyla uçardı. Bu metot verimsiz rotalara ve prosedürlere yol açmaktaydı. Bu verimsizliğe ek olarak ticari uçaklar geleneksel seyrüsefer methodlarının doğasındaki yanlışlıklar ve operasyonel hatalara karşı korumaya ihtiyaç duyulduğundan dolayı geniş hava sahası koruma alanları kullanılmaktaydı. RNAV herhangi bir noktadan, fiksten diğerine uçuş yapılırken uçuş yolunda seyrüsefer yardımcısı olarak kullanılmaya başlandı. Bu fiksler enlem ve boylam olarak hesaplanarak, uçağın bu noktalara göre konumu çeşitli seyrüsefer yardımcı sistemler kullanarak belirlenir. RNAV düz uçuşta yer seyrüsefer istasyonlarına doğrudan daha fazla bağlanmamasına olanak sağlayan bir uçuş operasyon tipi ve seyrüsefer kolaylaştırıcısıdır [17].

RNP prosedürler sayesinde de uçaklar, yerdeki seyrüsefer cihazlarının üzerine uçarak operasyonlarını gerçekleştirmek yerine yol noktaları kullanılarak oluşturulan yeni rotalar üzerinden uçuşlarını gerçekleştirebilmektedir. Farklı uçuş safhaları için farklı hassasiyette RNP tipleri kullanılmaktadır. Bunlar; RNP 1, RNP 2, yetki gerektiren RNP vb. dir.

RNP ve RNP AR yaklaşımlar, havayollarının daha emniyetli ve verimli bir şekilde aşağıdaki maddeleri içeren olası yararları sağlayacak uçuş yollarının tasarlanmasını sağlar [12]:

- Ayırma minimumlarının azaltılmasıyla hava sahasının verimliliği
- Birden çok havalimanı pist oryantasyonunun daha iyi kullanılarak havalimanı kapasitesinin artırılması
- Yere dayalı seyrüsefer yardımcıları gibi uçuş kısıtlamaları getirmeksizin daha kısa uçuş yolları sayesinde yakıt tasarrufu/emisyonlarının azaltılması

- Arazi ve/veya hava sahası sebebiyle sınırlara sahip pistler için erişim kolaylığı ve daha düşük minimumlar
- RNP, ILS veya Yere Dayalı Uydu Destek İniş Sistemi (GLS-GBAS Landing System) ile birlikte kullanılabilir. RNP, bu iniş sistemlerine daha iyi geçiş güzergâhları sağlar ve pas geçme yollarının daha iyi tasarlanmasını sağlar
- Sabit yanal uçuş yolları ile daha iyi enerji yönetimi ve daha sessiz tırmanışlar (diğer bir deyişle, daha doğrudan yollarla en iyi tırmanış profilleri) ve inişler sağlanır
- RNP, havayollarının gürültüye duyarlı alanlardan kaçınma gibi uçaklarının üzerinden uçtuğu bölgelerin tam olarak tasarlanabilmesini sağlar

RNP AR prosedürler, diğer RNAV prosedürlerin yaklaşma ve kalkış prosedürlerini operasyonel olarak uygulamanın mümkün veya tatmin edici olmadığı durumlarda uygulanmasıyla azaltılmış engel emniyet toleransı ile operasyonlara ek seyir doğruluğu, bütünlüğü ve fonksiyonel kapasite artışlarıyla önemli operasyon ve emniyet avantajları sağlayabilmektedir. RNP AR yaklaşma prosedürleri, Kategori II/III ILS operasyonlarına benzer şekilde, özel uçak ve mürettebat yetkilendirmesi gerektiren yetenekleri içerir.

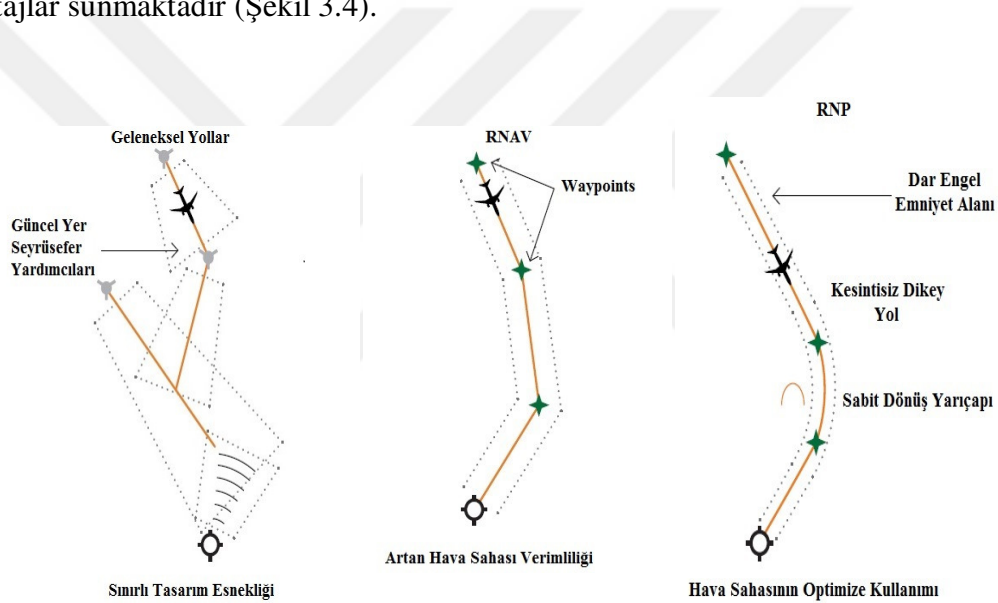
ICAO ve diğer düzenleyici otoritelere uygun olarak uygulanan RNP AR prosedürler, Uçuş Yönetim Sistemi (FMS-Flight Management System) ve diğer aviyoniklere sahip modern uçaklara bu sistemler tarafından sağlanan yüksek kaliteli, yönetilen yanal ve dikey seyrüsefer (VNAV-Vertical Navigation) olanaklarının kullanılmasına izin vermesi sebebiyle operasyonel emniyet ve Arazi Üzerine Kontrollü Uçuş (CFIT-Controlled Flight into Terrain) risklerine ilişkin iyileştirmeler sağlamaktadır.

RNP AR APCH prosedürleri, operasyonun güvenliğini koruyarak veya iyileştirerek önemli operasyonel avantajların elde edilebileceği yerlerde yayınlanır. RNP AR prosedürler engebeli arazi veya karmaşık trafik koşullarına maruz kalan havaalanlarına gelişmiş erişim sağlar. Uçak, donanım ve mürettebat performansını hesaba katan birden çok değişkenin değerlendirilmesini sağlayarak, terminal alanında daha önce ulaşılamayan uçuş yollarının planlanmasını ve uygulanmasını desteklemektedir.



RNP, RNAV prosedürler gibi tasarlanmıştır. ICAO, zaman içerisinde global seyrüsefer uydu sistemlerinin, seyrüsefer altyapısının, havayolu işletmelerinin ve uçak sistemlerinin, RNAV da dahil olmak üzere ekipmanlar için geleneksel süreçlerde desteklenenlerden daha hızlı geliştiğini gözlemlenmiştir. RNP, hava sahası tasarımcılarına özel ekipman ve sistemlere bağlı olmadan hava sahası ve operasyon gereksinimlerini belirlemeleri için olanak sağlar.

RNP APCH seyrüsefer özelliğinde; genel RNP operasyonel ihtiyaçlarını karşılamak ve operasyonel yetki için bir gereklilik olmadan RNP yeteneği temel seviyede olan uçağın katılımına izin amaçlanmıştır. Hem RNP hem RNAV geleneksel yere bağlı seyrüsefer sistemleri üzerinde emniyet ve verimlilik üzerine bir takım avantajlar sunmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Geleneksel yollarla PBN e dayalı yolların karşılaştırması

### 3.2. RNP AR Yaklaşma Prosedürü

Bilindiği gibi RNP AR prosedürler özellikle yüksek ve engebeli arazi şartlarında önemli operasyonel faydalar sağladığı düşünülmektedir. Bu nedenle, özellikle ülkemizin doğu tarafında dikkate alınması gereken bazı avantajları olacaktır. Ülkemizde Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, RNP AR prosedürleri ulusal düzenlemelerimize uyarlamak için bazı çalışmalar sürdürmektedir. Türk işletmelerin RNP AR operasyonlarına dair yetkilendirilmesi ICAO Doc. 9613 ve EASA AMC 20-26'ya göre yapılmaktadır. Bununla birlikte, RNP AR yetkilendirmesine ilişkin ulusal düzenlemelerimiz (SHT-RNP 20-26) taslak bir belge olup üzerinde çalışmalar halen devam etmektedir [18].

RNP AR APCH; havaalanı erişim sorunlarını çözmek için engel bakımından yoğun ve hava trafik yönetiminde gelişmeleri kolaylaştırmak için yüksek bir seviyede daha güçlü seyrüsefer performansı sağlanır ve uçağın ve uçuş ekibinin özel bir şekilde sertifikalandırılmasına ihtiyaç duyulur [20].

PBN yaklaşma prosedürlerini oluşturan RNP APCH, RNAV yaklaşımları ile benzerlik gösterirken [21], RNP AR APCH, görecelik prosedürler ve hassas olmayan yaklaşma (NPA-Non-Precision Approach) prosedürlerinin yerine geçerek daha emniyetli uçuşlara imkân tanımaktadır. Ayrıca daha çok tekrarlanabilir ve optimum uçuş rotaları sağlayarak verimliliği artırırken, aletli şartlar süresince trafikler arasındaki çakışmaları çözmeyi de geliştirmektedir. Bu prosedürler hem uçak hem de mürettebat için özel uçuşa elverişlilik ve operasyonel gereklilikleri sağlamaktadır ve havacılık otoritesinin yetkisini gerektirmektedir. RNP AR APCH operasyonları için hedeflenen emniyet seviyesi (TLS-Target Level of Safety) veya kabul edilebilir emniyet seviyesinin çarpışma riski uçuş veya yaklaşma başına  $10^{-7}$  den daha küçük bir olasılıktır [22]. Onaylama işleminin bir parçası olan Uçuş Operasyonel Emniyet Değerlendirme (FOSA-Flight Operational Safety Assessment) metodolojisi sadece RNP AR APCH için PBN Manual'inde yayımlanmıştır [23].

RNP AR operasyonlarının terminal bölgesine ve yaklaşma usullerine uygulanması, modern hava araçlarının kapasitelerini ve performanslarını kullanarak emniyeti, etkinliği ve kapasiteyi geliştirmek için imkân sağlamaktadır. RNP AR usullerinin, görecelik veya hassas olmayan yaklaşımların yerine kullanılması ile emniyet artırılabilir. Daha optimum ve daha fazla kullanılacak yatay ve dikey uçuş yolu sayesinde verimlilik geliştirilebilir. Aletli uçuş şartlarında trafiklerin belirli noktalarda çakışmaları (de-conflict) engellenerek kapasite geliştirilebilir [24].

RNP AR, Kategori (CAT) II/III ILS operasyonlarında olduğu gibi hava aracının ve uçuş mürettebatının yetkilendirilmesine ihtiyaç duyan özellikleri içermektedir. Tüm RNP AR usulleri, hava aracı ve uçuş mürettebatı performans gereklilikleri ile ilgili olarak yatay mania değerlendirme bölgeleri ile dikey mania koruma sahası limitlerini azaltmaktadır.

ICAO Doküman 9905; uçak operatörleri ve aletli yaklaşma prosedür tasarımcıları tarafından kullanılmak üzere yetki gerekliliği olan RNAV aviyonik sistemleri kullanarak RNP ye dayalı yaklaşımlarda kullanılmak için tasarlanmıştır. Kılavuz, RNP AR yaklaşma prosedürlerinin uygulanmasında devletlere yardım için

Performans Dayalı Seyrüsefer (PBN) Kılavuzu (Doc 9613) Cilt II, Kısım C, Bölüm 6,  
Uygulama RNP AR APCH uyarınca tasarım kriterleri içerir [20].



#### **4. RNP AR APCH TASARIM KRİTERLERİ**

RNP AR APCH operasyonları Ek 6-Uçak Operasyonları'na göre dikey rehberlik ile yaklaşma prosedürleri olarak sınıflandırılır. Bu tür operasyonlar son yaklaşma aşaması (Final Approach Segment-FAS) için dikey rehberlik sistemi gerektirir [20].

RNP AR APCH prosedürleri, RNP 0,3, RNP 0,2, RNP 0,1 gibi çeşitli RNP 'ler için uygun birden çok minimumu desteklemek için tasarlanabilir. Ancak tasarımcılar, operasyonel bir fayda yoksa RNP 0,3'den az olan prosedürleri yayınlamamalıdır.

RNP AR APCH operasyonlar, RNAV yeteneğinden yüksek derecede yararlanmayı sağlamalı ve operasyon tüm yönleriyle PBN kılavuzunda belirtilen ilgili gereklilikleri karşılamalıdır.

RNP AR APCH, RNP yaklaşma prosedürlerinde tanımlandığı gibi ilk (initial), orta (intermediate) ve pas geçme (missed approach) segmentlerinde yanlamasına +/- 1nm toplam sistem hatası (TSE-Total System Error) ve son yaklaşma segmentinde yanlamasına +/- 0,3 nm TSE gerektirir.

RNP AR APCH, RNP yaklaşma prosedürlerinde tanımlandığı gibi yaklaşma prosedürünün herhangi bir segmentinde yanlamasına +/- 0. 1nm e kadar TSE gerektirir. RNP AR APCH prosedürleri, PBN kılavuzu, Cilt II, Bölüm 6 da detaylandırıldığı gibi özel dikey doğruluk olmasını gerektirir. RNP AR prosedürleri için dikey veri noktası, iniş eşik noktası (LTP-Landing Threshold Point)'dir.

RNP AR APCH kriterleri sadece uçak ve operatörlere belirtilmiş ek sertifikasyon, onay ve eğitim gereksinimleriyle uyumlu olarak uygulanır. RNP AR APCH prosedürleri sadece operasyon emniyetini koruma ya da geliştirmeyi sağlayarak özel operasyonel avantajlar elde etmek için yayınlanır. RNP AR belgelendirme ve onay gereksinimleri PBN kılavuzunda yer almaktadır.

RNP seviyesi bir aletli prosedürün safhası ile ilişkili bir koruma alanının alan yarı genişlik değerini (nm cinsinden) belirlemek için kullanılır.

##### **4.1. Uçak ve Operasyonel Gereklilikler**

Uçaklarda aranan özellikler RNP AR operasyonları için yetki sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. RNP AR aletli uçuş prosedürleri için, RNP AR APCH operasyonlarının yürütülmesine sadece uçak performans, yetenek ve işlevselliği uygunsa izin verilebilir.

Uçağın, PBN kılavuzunda verilen RNP AR APCH seyrüsefer şartnamesinin gerekliliklerini karşılaması gerekir. Uçak üreticileri, uçak performans ve yeteneklerini,

uçak ve sistem gereksinimleriyle ilgili sınırlamaları ya da herhangi 3zel prosed3rler için uyumlu olma durumlarını değerlendirerek dok3manlaştırmalı ve g3stermelidir.

Uçak yeteneğinin belirtilmesi, aletli uçuş prosed3r tasarımcının uçak tipleri ya da performans yeteneklerini bireysel d3ř3nme ihtiyacını gidererek prosed3r3n t3m uçak tipleri için kullanılmasını sağlar.

RNP AR yeteneğinin de uçak performansının bir parçası olarak doğruluk ve işlevselliği belirtilmeli, belgelenmelidir.

Uçak performans farklılıkları, hava sahası ve turlu yaklaşma, d3nerek pas geçme, son yaklaşma, alçalma iniş gibi (temel ve prosed3r d3n3şleri dahil) manevralar için gerekli olan hava sahası ve g3r3ř 3zerine doğrudan bir etkiye sahiptir. Buna g3re, uçakların manevra kabiliyetini belirli bir aletli yaklaşma prosed3r3yle ilişkilendirebilmek için standartlaştırılmış bir temel sağlamak amacıyla uçak tipleri temel olarak beş kategoride sınıflandırılmıştır.

G3z 3n3nde bulundurulması gereken iniş konfig3rasyonu, operat3r tarafından veya uçak 3reticisi tarafından tanımlanacaktır.

Uçak kategorileri, aşağıdaki kısaltmaların tanımladığı Şekilde belirtilecektir:

- Kategori A-169 km/s'den (91 kt) daha az (IAS)
- Kategori B-169 km/s (91 kt)'den fazla ve 224 km / s'den (121 kt) az (IAS)
- Kategori C-224 km/s (121 kt)'den fazla ve 261 km / s'den (141 kt) az (IAS)
- Kategori D-261 km/s (141 kt)'den fazla ve 307 km / s'den (166 kt) az (IAS)
- Kategori E-307 km/s (166 kt)'den fazla ve 391 km / s'den (211 kt) az (IAS)

RNP AR APCH operasyonlarının y3r3t3lmesi için yetki 3ncesi, devletin hava sahası işleticisinin RNP AR APCH operasyonlarına uygun t3m uygun unsurları; uçak yeterlilikleri, uçuş operasyonları emniyet değerlendirmesinin y3r3t3lmesi, dispeer, uçuş ekibi vb. eğitimi, minimum ekipman listesi (MEL-Minimum Equipment List) ve uçuşa elverişliliğin s3rd3r3lmesi, operasyonel prosed3rler için gereklilikler, dispeer prosed3rleri, bakım prosed3rleri, her bir uçak tipi için operasyonel prosed3r doğrulamayı içerecek Şekilde belirlemelidir [20].

RNP AR prosed3rler için OCA/H değeri chartta yayınlanmıştır; ancak, pas geçme safhasını içeren prosed3rler için RNP değeri RNP 1,0 dan az ise OCA/H yerine DA/H

yayınlanır ve chartta uygun şekilde belirtilir. Bu durumda, yayınlanmış DA/H noktasından önce pas geçme olmayacaktır.

Fiksler genel kriterlere göre kullanılmaktadır. Her fiks Ek 15–Havacılık Bilgi Hizmetleri (Annex 15-Aeronautical Information Service) ’nde belirlendiği şekilde tanımlanmalıdır. RNP AR prosedürlerde basamaklı (step-down) fikslere izin verilmemektedir.

#### 4.2. RNP Segment Özellikleri

RNP AR prosedürleri için birincil bölgenin yarı alan genişliği;

$$\text{yarı alan genişliği} = 2 \text{ RNP}(x) \quad (1)$$

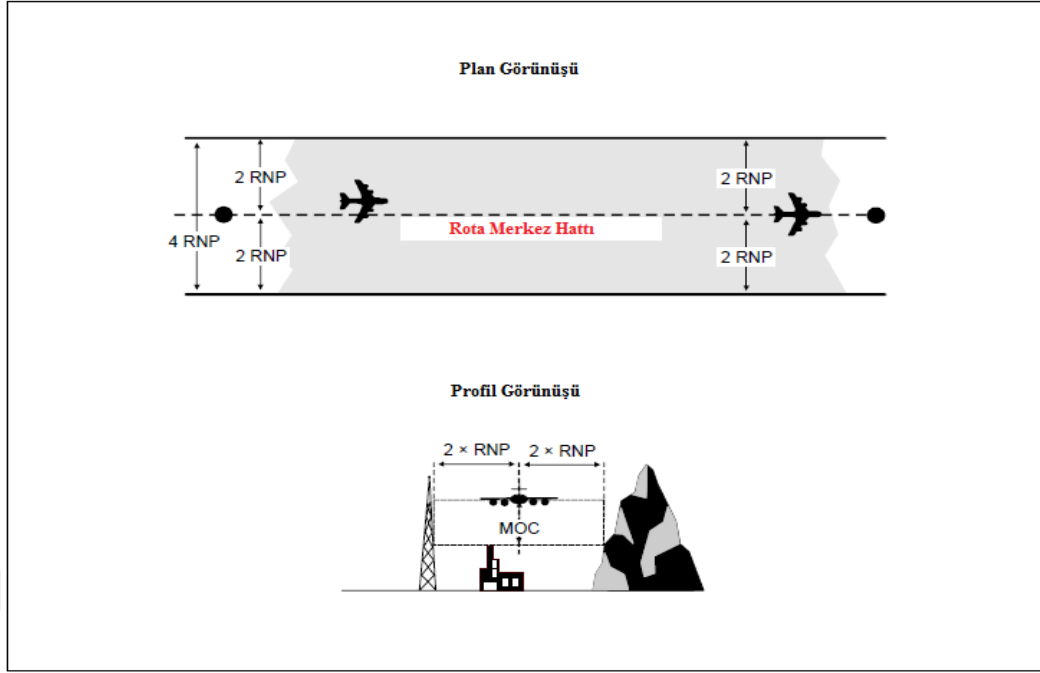
olarak hesaplanır. RNP AR prosedür tasarımında yarı alan genişliği hesaplanırken, tampon bölge yada ikincil alan yoktur.

Aletli yaklaşma prosedür safhaları için RNP değerleri Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

**Tablo 4.1.** RNP değerleri [20]

Aşama	RNP AR		
	Maksimum	Standart	Minimum
Geliş	2	2	1,0
İlk	1	1	0,1
Orta	1	1	0,1
Son	0,5	0,3	0,1
Pas Geçme	1	1	0,1

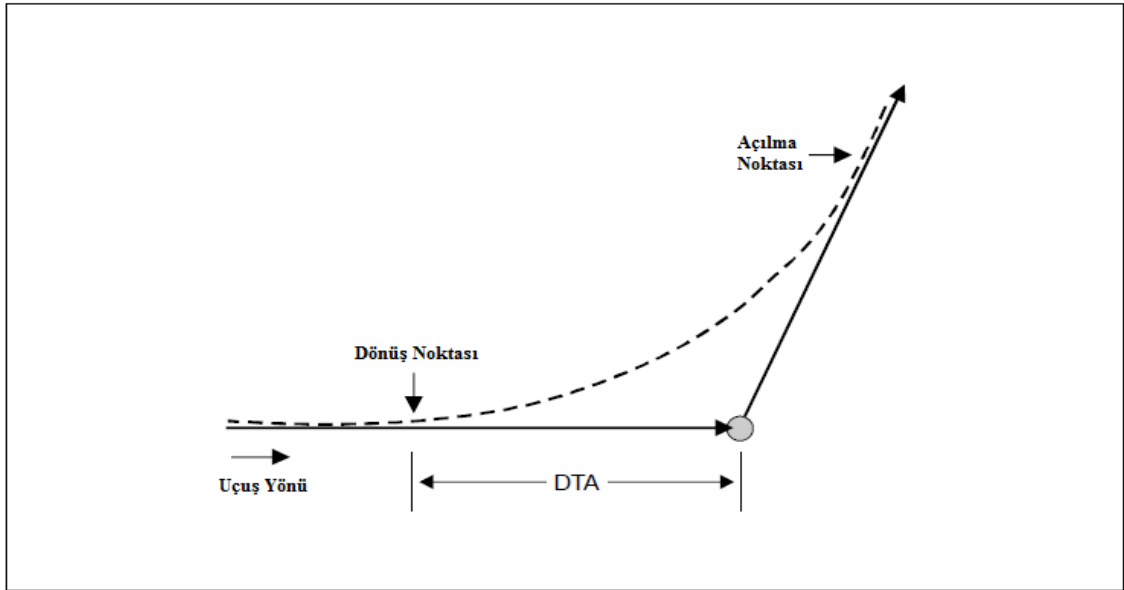
RNP değerleri 1 deniz milinin (nautical mile-nm) 0,01 artışlarla belirlenir. Tüm segment genişliği 4 x RNP olarak tanımlanır (Şekil 4.1):



**Şekil 4.1.** RNP segment genişlikleri [20]

Segmentler mümkün olduğunda optimum eğime yakın bir alçalmayı sağlayacak uzunlukta tasarlanmalı ve dönüşler için tahmini dönüşe başlama mesafesi (Distance of turn anticipation-DTA) dikkate alınmalıdır.

DTA, dönüş fiksine göre dönüşün başlangıç noktasından fly-by dönüş noktası arasındaki uzaklıktır (Şekil 4.2).



**Şekil 4.2.** Tahmini dönüşe başlama mesafesi (Distance of turn anticipation-DTA) [20]

Buna göre:

$$DTA = r \tan(A/2) \quad (2)$$

$r$  = dönüş yarıçapı, prosedürün tasarlandığı C uçak kategorisi için TAS'a göre belirlenir

$A$  = dönüş açısı

olarak ifade edilmektedir.

Not 1-Bu kriterler, Doküman 8168-Hava Seyrüsefer Hizmetleri-Uçak İşlemleri için Usuller (PANS-OPS), Cilt II, Tablolar III-2-1-1 ve III-2-1-20'deki formüllerden farklıdır, çünkü roll-in/roll-out mesafesi RNP sertifikasyonuna göre hesaplanmaktadır.

Minimum direkt segment (herhangi bir segment için) uzunluğu  $2 \times RNP$ 'dir.

Son yaklaşma dikey rehberliği barometrik altimetreye dayanmaktadır.

#### 4.3. RNP AR Yaklaşma Safhaları

Geliş, ilk ve orta yaklaşma safhaları yol (en-route) kısmından FAS 'a düzgün bir geçiş olmasını sağlamaktadır. Süzülüş hattı (GP-glide path)'nı yakalamak için alçalan ve son yaklaşımda olan uçağın bu safhaları yerine getirmesi gerekmektedir.

Fikse rota (TF-track to fix) bacağı RNP AR prosedürlerde kullanılan normal standart bacadır ve iki fiks arasındaki jeodezik uçuş yoludur. TF bacakları normalde geçiş noktası (fly-by) fiksleriyle bağlantılıdır.

*İki TF bacağına katılan fly-by yer noktalarındaki dönüşler için koruma alanı hesaplanması:*

RNP AR prosedürlere özgü olan bu yapıda yalnızca birincil alanlar kullanılır:

$$\frac{1}{2}AW = 2 \times RNP (X) \quad (3)$$

Koruma alanları uygulanmaz.

Geçiş noktası (fly-by) dönüş açıları FL190 (uçuş seviyesi-flight level) üzerinde maksimum  $70^\circ$ , FL190 altında  $90^\circ$  ye kadar olmalıdır. Bu değerlerden daha büyük açılarla dönüşlerin yapılması durumunda RF bacak kullanımını önerilmektedir.

Geçiş nokta dönüşlerinin hesaplanması 3 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlara geçmeden önce geçiş noktası dönüşleri için dönüş yarıçapının hesaplanması ayrıntılı şekilde verilecektir.

*Geçiş noktası dönüşler için standart yatış açısına göre dönüş yarıçapının hesaplanması:*

Fly-by fisk için dönüş yarıçapı,  $V = (TAS + rüzgar hızı)$  formülü ile 18°'lik standart bir yatış açısına dayanır.

Aletli yaklaşımlarda uçaklar, maksimum iniş ağırlığında ve iniş konfigürasyonundaki uçağın 1,3 stall hızı (stall hızı: uçağın havada tutunabileceği asgari hız) baz alınarak ve de ilgili uçakların manevra yapabilme kabiliyetleri de göz önünde bulundurularak beş kategoriye ayrılmaktadır. Sınıflandırma uçak hız göstergesinde okunan hıza (IAS - Indicated Air Speed) göre yapılmaktadır.

RNP AR prosedürleri için IAS dan TAS a dönüşüm için aşağıdaki standart denklemler kullanır:

SI olmayan birimler için:

$$TAS = IAS * 171233 * [(288 + VAR) - 0,00198 * H]^{0.5} / (288 - 0,00198 * H)^{2.628} \quad (4)$$

SI birimler için:

$$TAS = IAS * 171233 * [(288 + VAR) - 0,006496 * H]^{0.5} / (288 - 0,006496 * H)^{2.628} \quad (5)$$

$$IAS = \text{gösterge hava hızı (kt veya km / h)}$$

$$TAS = \text{gerçek hava hızı (kt veya km / h)}$$

$VAR = \text{uluslararası standart atmosfere (ISA) göre sapma (standart değer +15) veya mevcutsa yerel verilere göre yüzde 95 oranında ölçülen en yüksek sıcaklık}$

$$H = \text{irtifa (feet veya m)}$$

Yaklaşma prosedüründe yayınlanacak en hızlı uçak kategorisi belirlenir ve uluslararası birimler sistemi (SI) için Tablo 4.2 veya SI olmayan birimler için Tablo 4.3'e göre uygun IAS kullanarak, TAS hesaplanır.

**Tablo 4.2.** Uçak hız kategorilerine göre IAS hesabı (km/h)[20]

Segment		Uçak kategorilerine göre IAS km/h (CAT)				
		CAT A	CAT B	CAT C	CAT D	CAT E
İlk, Orta		280	335	445	465	467
Son		185	240	295	345	Belirtildiği gibi
Pas Geçme		205	280	445	490	Belirtildiği gibi
Minimum hava hız tahditleri	İlk	204	259	389	389	Belirtildiği gibi
	Son	185	222	259	306	Belirtildiği gibi
	Orta	204	259	333	333	Belirtildiği gibi
	Pas Geçme	185	241	306	343	Belirtildiği gibi

**Tablo 4.3.** Uçak hız kategorilerine göre IAS hesabı(kt)[20]

Segment		Uçak kategorilerine göre IAS kt (CAT)				
		CAT A	CAT B	CAT C	CAT D	CAT E
İlk, Orta		150	180	240	250	250
Son		100	130	160	185	Belirtildiği gibi
Pas Geçme		110	150	240	265	Belirtildiği gibi
Minimum hava hız tahditleri	İlk	110	140	210	210	Belirtildiği gibi
	Son	100	120	140	165	Belirtildiği gibi
	Orta	110	140	180	180	Belirtildiği gibi
	Pas Geçme	100	130	165	185	Belirtildiği gibi

İlk ve orta yaklaşma safhaları için dönüş fiksinden önceki fikste olabilecek en düşük irtifa kullanılmalıdır. Dönüş sırasındaki en yüksek irtifa için SI birimler Tablo 4. 4 veya SI olmayan birimler için Tablo 4. 5'den gelen kuyruk bileşeni (TWC-Tail Wind Component) kullanılır.

Tablodaki değerlerin arasında olabilecek bir yükseklikten başlayan dönüşler için bu dönüş için yeni bir ara TWC gerekebilir. Eğer ara değer 150 m' nin (492 ft) altında kullanılacaksa, rüzgâr için değer 28km/h (15kt) olarak kullanılacaktır. Pas geçme safhası için engel emniyet irtifası/yüksekliği(OCA/H) merkezinden %7 lik eğime göre kullanılır.

**Tablo 4.4.** *Dönüş hesabı için TWC ve irtifa hesaplama tablosu (SI)[20]*

Dönüş hesabı için TWC (km/h)	
Havalimanı üzerinden dönüş yüksekliği (m)	Standart kuyruk rüzgar bileşeni (kph)
100	40
500	92
1000	100
1500	130
2000	157
2500	185
3000	220
≥3500	242

**Tablo 4.5.** *Dönüş hesabı için TWC ve irtifa hesaplama tablosu (SI olmayan)[20]*

Dönüş hesabı için TWC (kt)	
Havalimanı üzerinden dönüş yüksekliği (ft)	Standart kuyruk rüzgar bileşeni (kt)
500	25
1000	38
1500	50
2000	50
2500	50
3000	50
3500	55
4000	60
4500	65
5000	70
5500	75
6000	80
6500	85
7000	90
7500	95
8000	100
8500	105
9000	110
10000	120
≥11000	130

1) Dönüş oranını (R) derece / saniye olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

SI birimler için;

$$R = (6355 \tan \alpha) / (\pi * V) \quad (6)$$

$$V = (TAS + rüzgar \text{ hızı}) (km/h) \quad (7)$$

$$\alpha = \text{yatış açısı (standart } 18^\circ)$$

Non-SI için;

$$R = (3431 \tan \alpha) / (\pi * V) \quad (8)$$

$$V = (TAS + rüzgar \text{ hızı}) (kt); \quad (9)$$

$$\alpha = \text{yatış açısı (standart } 18^\circ)$$

Denklemleri kullanılarak hesaplanır ve maksimum 3 derece/saniye'ye kadar kullanılır.

2) R 'nin verilen bir değeri için dönüş yarıçapını (r) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$r = \frac{V}{20 * \pi * R} \quad (10)$$

$$V = (TAS + rüzgar \text{ hızı}) (km/h) \text{ ve ya } (kt)$$

*Standart olmayan yatış açısına göre dönüş yarıçapının belirlenmesi:*

Standart tasarımda yatış açısı  $18^\circ$  olarak kullanılır. Düzgün geçişler için daha düşük veya daha yüksek yatış açlarına; daha stabil bir yaklaşma yapabilmek için, daha düşük minimumlara ulaşabilmek için veya belirli bir bacak uzunluğuna erişebilmek için izin verilir.

Standart olmayan yatış açısı Tablo 4.6'da listelenen değerlere göre düşünülür ve hesaplanır.

**Tablo 4. 6. Yatış açısı [20]**

RF segmentinden zemin seviyesine göre (AGL) en düşük yükseklik	Maksimum yatış açısı (derece)
< 150 m (492 ft)*	$\leq 3$
$\geq 150$ m (492ft)*	$\leq 20$
*Pist eşliğine göre yükseklik	

RF bacakların gerekli olduğu yerlerde, belirli bir TAS, kuyruk rüzgarı ve dönüş yarıçapına göre gereken yatış açısı:

SI birim:

$$\alpha = \tan^{-1}(TAS + W)^2 / (127094 * r) \text{ verilen } R \leq (6355 * \tan \alpha) / [\pi * (TAS + W)] \leq 3^\circ/\text{saniye} \quad (11)$$

SI olmayan birim:

$$\alpha = \tan^{-1}(TAS + W)^2 / (68625 * r) \text{ verilen } R \leq (3431 * \tan \alpha) / [\pi * (TAS + W)] \leq 3^\circ/\text{saniye} \quad (12)$$

$W = \text{kuyruk rüzgar hızı}$

$r = \text{dönüş yarıçapı}$

Bu kriterler, FL190 veya daha düşük uçuş seviyeleri için geçerlidir. FL190'ın üzerindeki dönüşlerin gerekli olduğu durumlarda, beş derecelik yatış açısı kullanılmalıdır. Eğer 5°'lik yatış açısı sonucunda tahmini dönüş noktasından (distance of turn anticipation-DTA) uzaklık değeri 20nm'den fazla ise:

$$r = 37 \tan(0,5 * \text{derece cinsinden yol değişimi})(km) \quad (13)$$

$$r = 20 \tan(0,5 * \text{derece cinsinden yol değişimi})(nm) \quad (14)$$

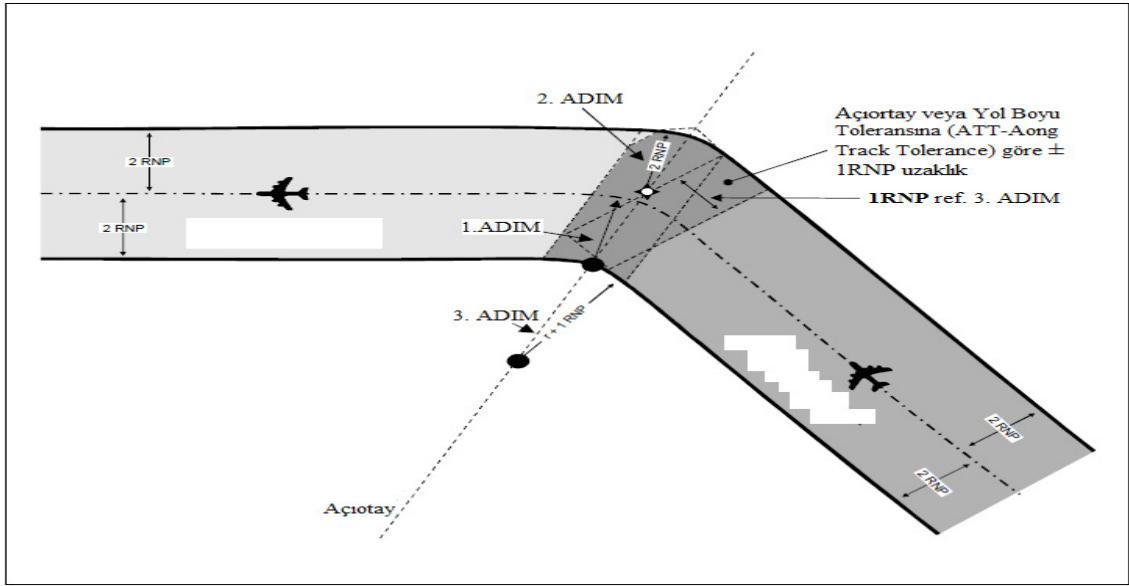
olarak hesaplanır.

Adım 1: Öncelikle prosedür için gereken yol alanı belirlenir ve dönüş yarıçapı (r) hesaplanır. Inbound ve outbound bacakları için uçuş yolu dönüş teğetleri çizilir. Merkez, açığortay üzerinde yer alacak şekilde çizilir (Şekil 4.3 ve 4.4).

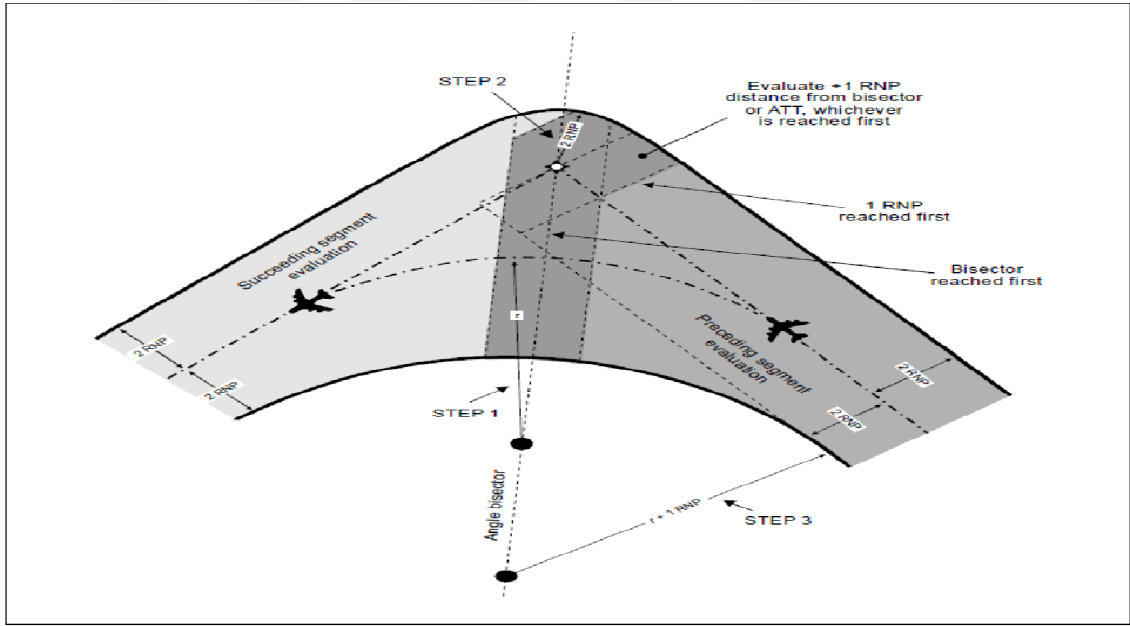
Adım 2: Inbound ve outbound segment için dış teğet sınırları merkezde fiks yer alacak ve yarıçap 2 x RNP olacak şekilde çizilir.

Adım 3: Dönüş için iç teğet sınırlar inbound ve outbounds segmentlerinin iç sınırları 1 x RNP olarak çizilir. Merkez, açığortay üzerinde yer alacaktır(Şekil 4.5).

Sonraki segment için değerlendirme, dönüş fiksinden önce 1 RNP mesafe kaldığı zaman ya da açı açığortay çizgisinden önce 1 RNP de hangisiyle önce karşılaşıyorsa başlar.



Şekil 4.3. fly-byfikste dar dönüş



Şekil 4.4. fly-by fikste geniş dönüş

*RF dönüş bacağı:*

RF bacağı, fly-by dönüş tasarımı ya da diğer operasyonel gereklilikleri karşılamak amacıyla yol değişikliğini önleme için kullanılır. RF bacaklar yol üzerinde tekrarlanabilen sabit yarıçaplı dönüşler sağlar.

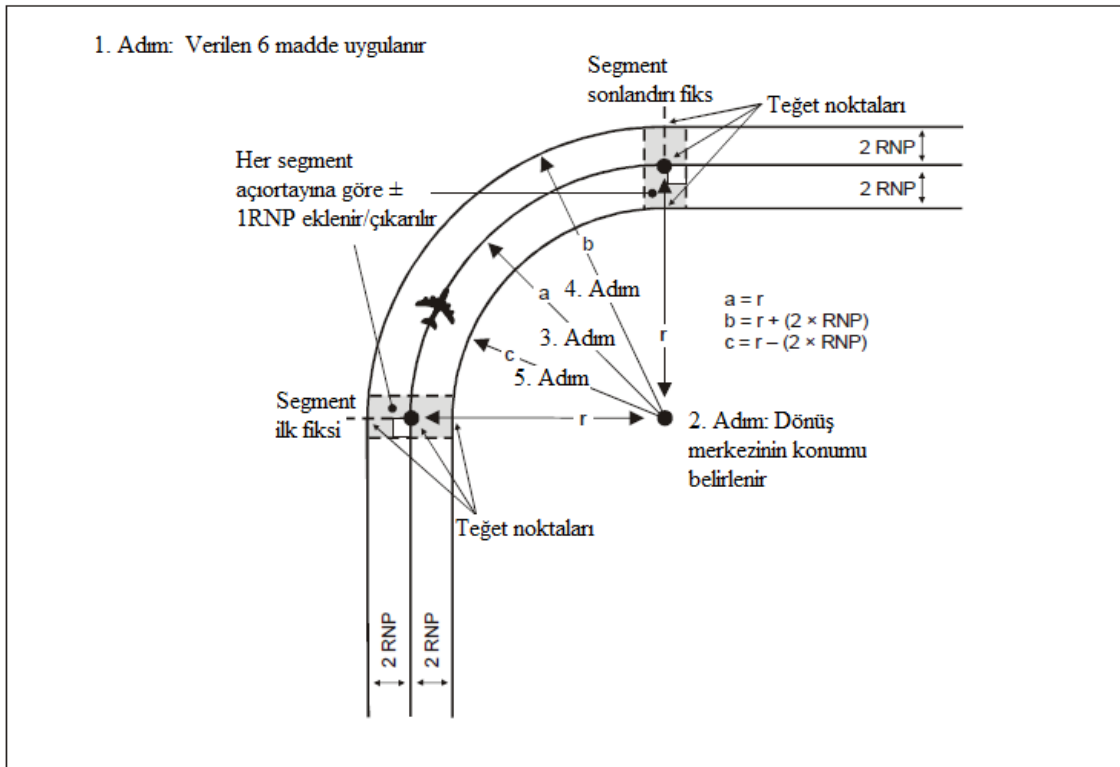
RF bacağı aşağıdaki parametreler kullanılarak belirlenir:

1) başlangıç noktası inbound segmentinin yol sonlandırıcı fiksi, bitiş noktası ise outbound segmentinin başlangıç noktası olacak şekilde,

2) dönüş merkezi, açıortay ve herhangi bir dönüş yarıçapının kesiştiği noktada konumlanır.

1. ve 2. parametrelerinin her biri, sonlandırıcı fiksin inbound bacağına ve merkez fiksin outbound bacağına paralel şekilde aynı dönüş yaylarında belirtilmesi gerekir. Bu özel seyrüsefer sistemi için gerekli parametrelerin seçimi veri kodlayıcı tarafından çözümlenir.

Çözüm için aşağıdaki adımlar takip edilerek RF dönüş çizimi gerçekleştirilir:



Şekil 4. 5. RF dönüş

Dönüş alanı iç içe yaylarla çevrilidir. Minimum dönüş yarıçapı:  $r = 2 * RNP$  'dir.

Adım 1: Engellerden sakınmak için gerekli yollar belirlenir. En iyi yolu belirlemek için dönüş veya dönüşler ve bunlara ilişkili yarıçap hesaplanır. Tablo 4. 6'de belirtilen değerler içerisinde R ile ilişkili yatış açısını doğrulanır.

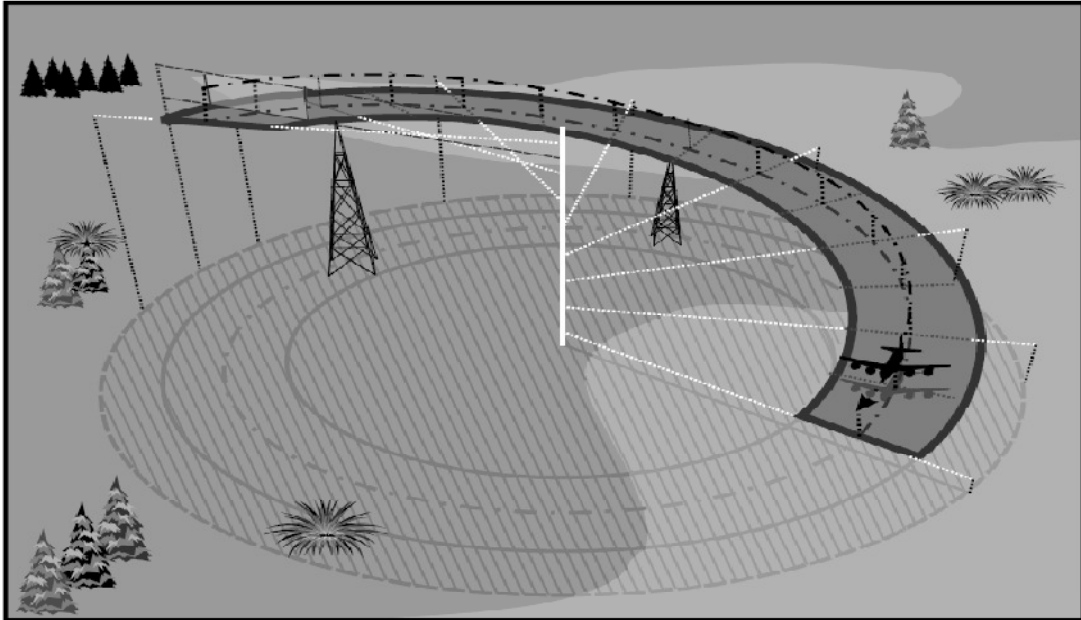
Adım 2: İnbound ve outbound segmentlerinden dik bir mesafe 'r' de dönüş merkezi bulunur. Bu 'r', nominal dönüş yolu, yayın dış ve iç sınırları için ortak merkezdir.

Adım 3: Uçuş yolu oluşturulur. Outbound yolundaki teğet noktasına gelen inbound yolundaki teğet noktasından bir yarıçap yayı çizilir.

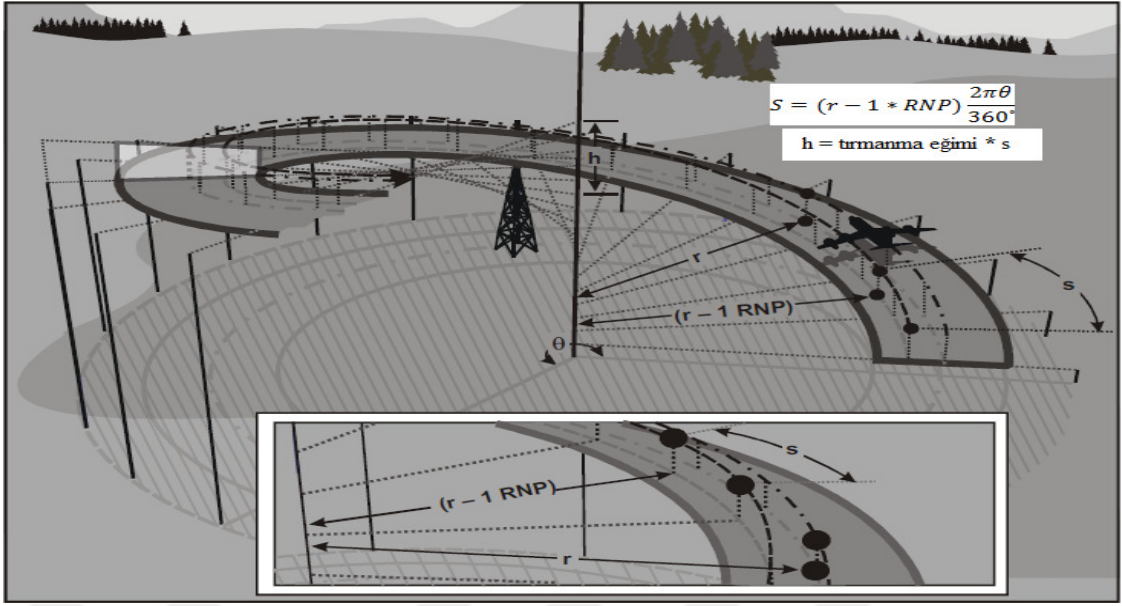
Adım 4: Dış dönüş alan sınırı oluşturulur. Outband yolunun dış sınırında teğet noktasına inbound segmentinin dış teğet noktasından itibaren ( $r + 2 * RNP$ ) yarıçaplı bir yay çizilir.

Adım 5: İç dönüş alan sınırı oluşturulur. Outbound yolunun iç sınırında teğet noktasına inbound segmentinin iç sınırına teğet noktasından itibaren ( $r - 2 * RNP$ ) yarıçaplı bir yay çizilir.

Adım 6: Şekil 4. 6 yaklaşma ve Şekil 4. 7 pas geçme 'de gösterildiği gibi yüzey yüksekliği spiral merdiven durumuna benzer bir şekilde radyal bir hat boyunca sabittir. Yaklaşmada RF bacak yüzeyinin yüksekliğine karar vermek için nominal hat boyunca eğimi hesaplanır ve o noktadan geçen radyal hat üzerinden yükseklik uygulanır.



Şekil 4. 6. RF yaklaşma segmenti için engel emniyet yüzeyi (OCA)



**Şekil 4. 7. RF Pas geçme segmentleri için OCS (MAS)**

*Alçalma eğimlerinin hesaplanması :*

Alçalma eğimleri nominal fiks pozisyonları arasında hesaplanmalıdır. RF segmentleri için mesafe, nominal fiks pozisyonları arasındaki mesafesidir.

$$S = (r - 1 * RNP) \frac{2\pi\theta}{360^\circ} \quad (15)$$

$$h = \text{tırmanma eğimi} * s \quad (16)$$

#### 4.3.1. İlk yaklaşma safhası

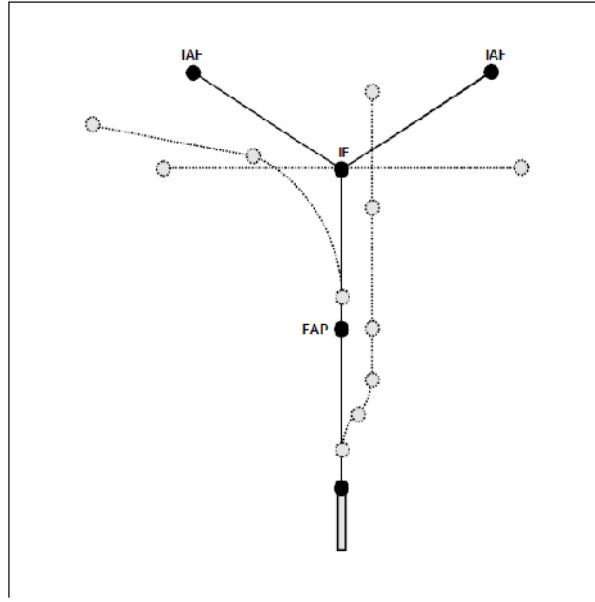
İlk yaklaşma safhasında maksimum ve optimum yanal doğruluk değeri 1nm'dir. Minimum değer ise 0. 1nm'dir. Safhalar fly-by dönüşlerin gerekli olduğu DTA dikkate alınarak ve mümkün optimum eğimle yakın alçalmaya olanak vermek için yeterli uzunluğa sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Minimum düz segment (herhangi bir segment) uzunluğu 2\*RNP 'dir.

Maksimum başlangıç segment uzunluğu 50nm'dir.

RNP AR prosedürü için gelişler RNP ya da RNAV rotası ile gerçekleşir; ancak, RNP AR prosedürleri RNP APCH T yada Y bar düzenlemesine dahil edilebilir.

RNAV, yaklaşma prosedür tasarımlarının esnek olmasını sağlar. Engeller ve trafik akışı izin verdiği sürece 'Y' konfigürasyonu tercih edilir.

Yaklaşma tasarımı istenen minimum OCA/H 'a ulaşmak için mümkün olan en az karmaşık yapılandırmayı sağlamalıdır (Şekil 4. 8).



**Şekil 4. 8. Temel Y ve T uygulaması**

TF bacaklara bağlanmak için dönüşler normalde 90° ile sınırlı olmalıdır. Daha büyük dönüşler için RF bacakları kullanılmalı ve tüm dönüşler için düşünülmelidir. T ve Y konseptleri için ofset ilk yaklaşma fiksleri (IAFs-Instrument Approach Fixes), orta yaklaşma fiksinde (IF-intermediate fix) gereken rota değişikliği 70° ile 90° olacak şekilde yerleştirilmelidir. Ofset IAF e inbound yollar için yakalama bölgesi IAF lere yaklaşık 180° uzatılır, bu da IF’de 70° ya da daha büyük açılı değişikliklerde yola direkt girişi sağlar.

Bu safhada,eğer bekleme paterni tasarlanacaksa tercih edilen konfigürasyon IAF’de konumlandırılacak ve ilk yaklaşma safhası ile uyumlu olacaktır.

Standart ve maksimum alçalma değerleri şekil 4. 10 daki değerlere göre belirlenir.

**Tablo 4. 7. Alçalma eğiminin hesaplanması [20]**

<i>Segment</i>	<i>Alçalma Eğimi</i>	
	<i>Standart</i>	<i>Maksimum</i>
<i>Geliş</i>	4 % (2,4°)	8 % (4,7°)
<i>İlk</i>	4 % (2,4°)	8 % (4,7°)
<i>Orta</i>	≤2,5 % (1,4°)	Son yaklaşma safhası eğimine eşit
<i>Son</i>	5,2 % (3°)	

İlk yaklaşma segmentindeki minimum irtifalar 50m veya 100m artışlarla hesaplanır. Seçilen irtifa engeller üzerinden 300m (984ft)'lik bir minimum engel emniyet payını (MOC-Minimum obstacle clearance) sağlamalıdır ve orta yada ilk yaklaşma segmentlerinin herhangi bir kısmı için belirtilen herhangi bir yükseklikten daha düşük olmamalıdır.

Tüm ilk yaklaşma segmentleri için prosedür irtifaları/yükseklikleri belirlenerek chartta yayınlanmalıdır. Prosedür irtifaları/yükseklikleri OCA/H değerinden az olmamalıdır ve uçak gereksinimleri dikkate alınarak hava trafik kontrolörü ile koordineli olarak gerçekleştirilecektir. İlk yaklaşma safhası prosedür irtifa/yüksekliği uçağın orta yaklaşma safhası içinde son yaklaşma safhası için alçalma eğimini/açısını yakalamasına olanak sağlamalıdır.

#### **4.3.2. Orta yaklaşma safhası**

Orta yaklaşma safhası, ilk yaklaşma safhasından son yaklaşma safhasına kadar olan kısımdır. Bu safha uçağın gerekli konfigürasyon, hız ve pozisyonlama ayarlarını yaparak FAS'a girmek için hazırlandığı bölümdür.

Orta yaklaşma safhasında maksimum ve optimum yanal doğruluk değeri 1nm dir. Minimum değer 0,1nm dir.

Fly-by dönüşlerin gerekli olduğu segmentler, DTA'yı karşılamak ve mümkün olduğunda optimum eğimi sağlayarak alçalmaya olanak sağlayacak yeterli uzunlukta tasarlanmış olmalıdır.

Orta yaklaşma safhası mümkün olduğunda FAS ile aynı hizada olmalıdır. Son yaklaşma noktasındaki (FAP-Final Approach point) fly-by dönüşler fiksde maksimum 15 derecelik yol değişikliği ile sınırlıdır. 15 dereceden fazla dönüşlerde RF bacağı uygulanmalıdır.

Orta yaklaşma segmentindeki optimum alçalma eğimi %2. 5 (1. 4 derece)'dir. Maksimum alçalma eğimi ise maksimum son yaklaşma eğimi ile aynıdır. Eğer alçalma açısı standart kullanılandan yüksek ise ölçümün CDA tekniğini sağlamak için yeterli esnekliğe sahip olmalıdır.

Eğer standart eğimden fazlası gerekliyse, ilk segmentin uçağı son segment alçalmasına hazırlaması gerekir.

FAP noktasında fly-by dönüşler kullanılarak yol değişikliği yapıldığında, yol mesafesindeki kısalma (maksimum 15 derece dönüş) göz ardı edilebilir.

**Tablo 4. 8.** Maksimum dikey yol açısı (Vertical path angle- VPA)[20]

<i>Uçak Kategorisi</i>	<i>VPA <math>\theta</math></i>	<i>Eğim %</i>	<i>Ft/NM</i>
<i>A&lt;150 km/h (80kt)</i>	<i>6,4</i>	<i>11,2</i>	<i>682</i>
<i>150 km/h ≤ A &lt;167 km/h (80 kt ≤ A &lt;90kt)</i>	<i>5,7</i>	<i>9,9</i>	<i>606</i>
<i>B</i>	<i>4,2</i>	<i>7,3</i>	<i>446</i>
<i>C</i>	<i>3,6</i>	<i>6,3</i>	<i>382</i>
<i>D</i>	<i>3,1</i>	<i>5,4</i>	<i>329</i>

Minimum irtifa/yükseklik, en yüksek engelden orta yaklaşma segmentinin sahası artı 150m MOC(492ft) olacaktır.

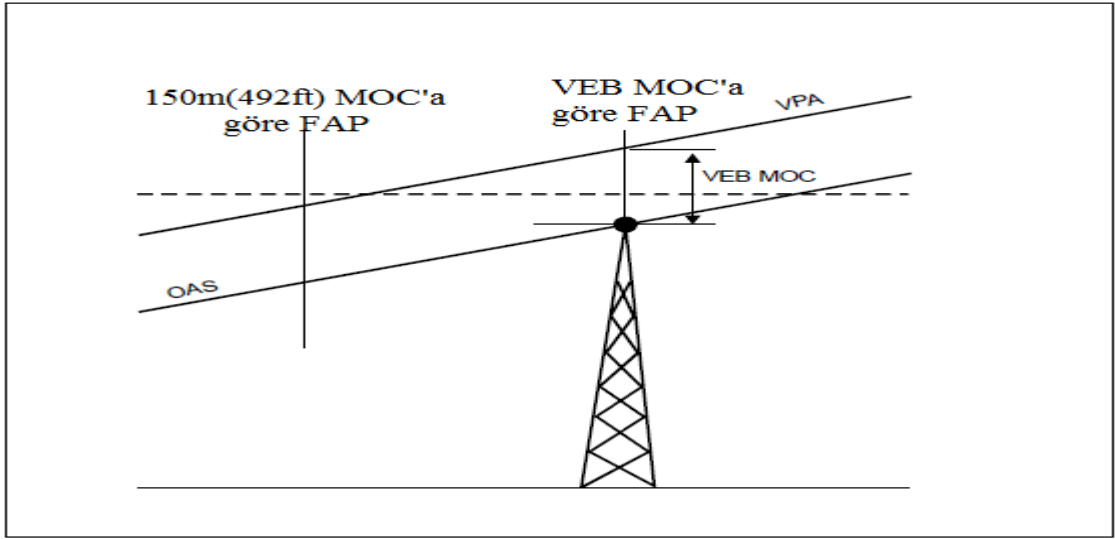
Orta yaklaşma segmentindeki minimum irtifa/yükseklik segmente uygun olarak 50m ve ya 100ft artışlarla kurulacaktır.

Orta yaklaşma safhasındaki prosedür irtifaları/yükseklikleri uçağın tanımlanmış son yaklaşma alçalmasını yakalamasına olanak verecek şekilde tasarlanmalıdır.

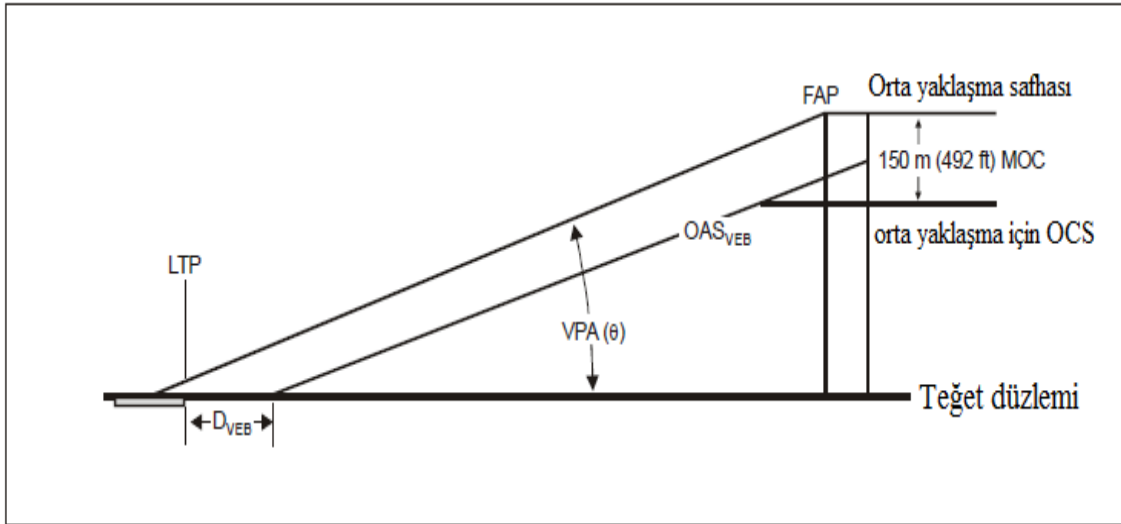
*Minimum engel emniyet payı (MOC):*

Orta yaklaşma segmenti minimum irtifasını (dikey yol açısı yakalama irtifası) belirlenirken, ara MOC değeri arasındaki fark 150m(492ft) ve VEB OAS-Vertical Error Budget Obstacle Assessment Surface tarafından sağlanan MOC değeri orta yaklaşma segmenti kontrol mania yüksekliğine engel olup olmayacağı düşünülmelidir.

Eğer VEB MOC kontrol mania yüksekliğinde orta yaklaşma segmenti MOC değerini aşarsa, VEB MOC değeri uygulanmalıdır (Şekil 4.11 ve 4.12).



Şekil 4. 11. Orta yaklaşma safhası MOC 1



Şekil 4. 12. Orta yaklaşma safhası MOC 2

Eğer FAP noktasında orta yaklaşma segmenti için MOC değeri VEB den az ise, orta yaklaşımdaki MOC değeri için VEB yüzeyi kesilene kadar son segment bölümü uzatılmalıdır.

*NOT: Eğer orta yaklaşma segmentinde manılar varsa minimum irtifanın yükseltilmesi gerekir, ki bu durumda FAP noktası taşınmalıdır. VEB yeniden hesaplanır ve yeni minimum irtifa belirlenir.*

#### 4.3.3. Son yaklaşma safhası

Son yaklaşma safhasında yanal rehberlik RNP'ye, dikey rehberlik ise BARO-VNAV aviyoniklerine dayanmaktadır.

FAS OAS (VEB) için belirtilen limitler BARO-VNAV aviyonik sistemlerin dikey hata performans sınırlarına dayanmaktadır.

FAS'ta maksimum yanıl doğruluk değeri 0,5 nm, optimum değeri 0,3 nm ve minimum değeri 0,1 nm'dir. Segment 0,3 nm'e göre değerlendirilmelidir.

Aşağıdaki durumlarda optimumdan düşük değerler kullanılabilir:

- 0,3 nm, LTP üzerinde 90m (295ft)'den fazla DA/H elde edildiği durumlarda veya
- Önemli operasyonel fayda gözlemleniyorsa

Bu gibi durumlarda minimum 0,1 nm değerine kadar kullanılabilir. Bu durumda, OCA/H değeri RNP 0,3 olarak yayınlanmalıdır.

Segment OCA/H değerine ulaşmadan önce stabilize olmak ve gerekli alçalmayı sağlamak için yeterli uzunlukta tasarlanmalıdır.

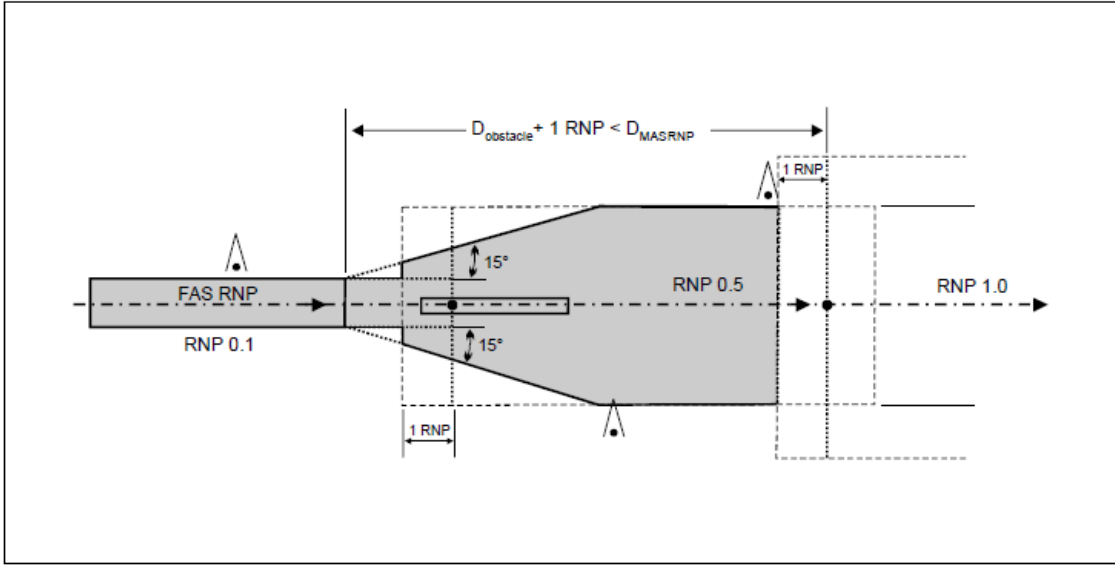
Optimum son yaklaşma düzeltmesi, uzatılmış pist merkez hattında yaklaşma segmenti FAP'dan iniş eşik noktasına direkt TF olarak yapılır. Eğer gerekirse, TF yolu en fazla 5° ofset olabilir. Yol ofset olduğunda, pist merkez hattını LTP den en az 450 m (1476ft) önce kesmelidir.

#### **4.3.4. Pas geçme safhası**

Pas geçme safhası, OCA/H noktasında başlar ve yeni bir yaklaşma, bekleme veya yol uçuşuna geri döndüğü noktada sona erer.

Pas geçme tasarım seçenekleri ile ilgili düşünceler için aşağıdakilere sırasıyla düşünülür:

- Standart pas geçmede RNP 1.0 kullanılır,
- RNAV pas geçmede RNP APCH kullanılır. RNP APCH sadece önemli operasyonel avantajlar sağlanmışsa kullanılır; ve
- RNP 1,0'dan daha düşük seviyelerin kullanımı (Şekil 4.13).



**Şekil 4. 13. Pas geçme safhasında maksimum RNP<1,0**

Pas geçme OAS (Z) yüzeyi %2,5'dur ve ilgili otorite tarafından izin verilmesi durumunda uçağın tırmanma performansının da daha düşük OCA/H'ın operasyonel avantajlara izin vermesi durumunda eğimler % 5'e kadar olabilir.

Daha yüksek tırmanma eğiminin uygulanması durumunda, %2,5 için bir OCH ve %2,5 eğim ile alternatif bir prosedür de tasarlanmalıdır.

Diğer yapılar nedeniyle %2,5 eğimin mümkün olmadığı durumlarda, pas geçme OAS değeri minimum uygulanabilir eğimdir.

Not: Son yaklaşımda RF bacağında minimum eğim %2,5'den fazlaysa, OCA/H değerinin azaltılması gereklidir.

RNP 1,0'den daha düşük seviyelerin kullanılacağı pas geçmeler için (şekil 3.14), aşağıdaki adımlar takip edilir:

a) Uçaklar go-around un başladığı nokta ne olursa olsun tasarlanmış pas geçme yolunu takip eder.

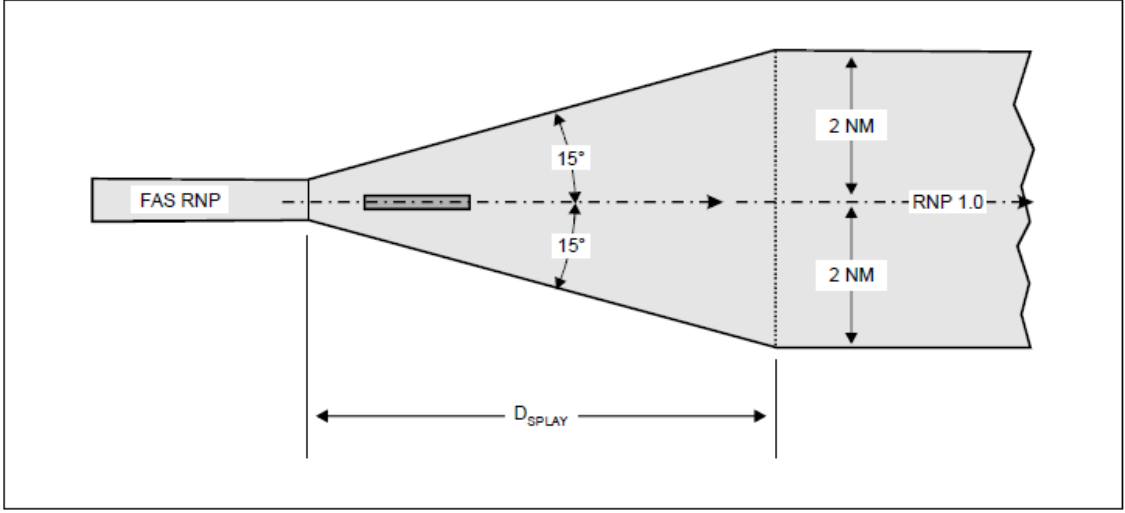
b) Pas geçme safhasında RNP 1,0 den daha az seviyelerin son yaklaşma uzantısı sınırlıdır.

c) RNP 1'den daha az RNP seviyeleri için, dönüşlere AGL 150 m (492ft) altında izin verilmez.

d) RNP 1'den daha düşük pas geçme seviyeleri gerekli durumlarda uygulanması gereken prosedürle uçan uçak modellerini sınırlayabilir. Uygulandığı durumlar için, chartta not düşülmesi gereklidir.

e) Erken pas geçmeye karşı rehberlik için RNP DA/H belirlenir ve yaklaşma chartına eklenir.

Standart pas geçme safhası, OCA/H veya DH'da son yaklaşma safhası genişliğinden pist merkez hattına göre 15°, uygun olacak şekilde genişliktedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.14. Pas geçme tasarım

Genişleme tamamlanıncaya kadar dönüşlere izin verilmez.  $D_{splay}$ 'dan önce dönüş gerekiyorsa, örneğin pas geçme safhası yanal doğruluk (RNP) değerlerini 1 nm azaltmak için diğer tasarım teknikleri düşünülür.

Nominal pas geçme tırmanma yüzey eğimi tan z prosedürde %2,5 olarak belirlenmiştir ve en fazla %5'e kadar ilave eğimler kullanılabilir. Bu eğimler, düşük OCA/H değerlerinde operasyonel avantajlara izin veriyorsa ilgili otoritenin onayı ile kullanılabilir.

Pas geçme rotası bir dizi seridir. TF ve RF olmak üzere iki tür bacak tipine izin verilir.

RF bacağı RNP değeri 1'den küçükse, RF bacağı uzunluğu şekil 3.13 pas geçme  $RNP < 1,0$  ve maksimum DA/H gereksinimlerine uymak zorundadır.

Dönüşlerin sayısı, prosedürde karmaşıklığa neden olması sebebiyle sınırlı olmalıdır. Pas geçmede dönüşlerin gerekli olduğu durumlarda, FAS yolu, kalkışta pistin sonuna kadar (DER-departure end of runway) (veya bir ofset prosedürde eş değeri) muhafaza edilmeye devam edilmelidir. Pas geçme RNP değerinin 1'den az olduğu sürece ilk dönüş DER den önce olmamalıdır.

Eğer pas geçme değeri RNP 1 seviyesinden daha az ise, RF dönüşler için yatış açıları 15° ile sınırlandırılmalı; maksimum hız limit sınırları belirli bir yarıçapa ulaşmak için uygulanmalı ve mümkünse RF dönüşleri DER'den önce başlamamalıdır.

Bazı durumlarda, ne azaltılmış RNP ne de RF dönüş direkt pas geçme engel soruna çözüm olabilir. Bu koşullarda, RNP prosedürler sona erdirilebilir ve GNSS RNP APCH pas geçme tasarlanır. Bu durumda, OCA/H'ın VPA üzerinde tasarlanan konumundaki değerde veya VPA üzerinde 75 m (250ft) yükseklikte (hangi değer daha önce sağlanıyorsa), Z yüzeyindeki genişleme 1 RNP (son yaklaşma) olarak başlar ve her iki tarafta da 15° olacak şekilde tasarlanır.



## 5. ÖNERİ VE UYGULAMA

Ülkemizde şuan faaliyette 55 adet havalimanı bulunmaktadır. Bu havalimanlarını incelediğimizde 16 tanesi RNAV (GNSS) aletli yaklaşma chartına sahiptir. Bu meydanlar arasından şehir yapısı olarak %60'ı dağlık bölgeden oluşan Kahramanmaraş Havalimanı çalışma bölgesi seçilmiş olup, mevcut durumda 07-25 pist uzantısına sahip olan havalimanının 25 pisti için maksimum fayda sağlamak amacıyla mevcut prosedürün ilk yaklaşma safhasından son yaklaşma safhasına kadar olan kesiminde RF bacak tasarımı yapılarak elde edilen faydalar analiz edilmiştir.

### 5.1. Kahramanmaraş Havalimanı Özellikleri

Kahramanmaraş 14.346 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümü ile Türkiye'nin 11. büyük vilâyeti durumundadır. 37-38 kuzey paralelleri ile 36-37 doğu meridyenleri arasında yer alır. Merkez ilçe deniz seviyesinden 568 m yükseklikte olup, ilin kuzey kesimleri oldukça dağlıktır. Yeryüzü şekilleri genellikle Güneydoğu Torosların uzantıları olan dağlarla bunlar arasında kalan çöküntü alanlarından oluşmaktadır. İl kapsamı içinde belli başlı dağlık alanlar genellikle Güneydoğu Torosların uzantılarıdır. Şehrin topraklarının %59,7'sini dağlar, %24'ünü platolar ve %16,3'ünü de ovalar teşkil eder [25].

Kahramanmaraş Havalimanı ise,1996 yılında sivil meydan kategorisinde hizmete açılmış olup, 373218N-0365707E koordinatları ile Kahramanmaraş'ın 5 km güneydoğusunda 172 4ft yükseklikte yer almaktadır. Meydan hem IFR hem VFR uçuşlara hizmet vermekte olup 7 gün 24 saat aktif bir şekilde çalışmaktadır.

Meydan 07-25 oryantasyonuna sahip, 2300x45m genişliğinde kompozit yapıda tek piste sahiptir.

Meydan 5 nm yarıçaplı kontrol bölgesinden sorumlu olup geçiş irtifası 15.000 feet olarak ilan edilmiştir.

Meydanda seyrüsefer hizmetlerinin yürütülmesi için 24 saat kesintisiz çalışabilen 75nm genişliğinde kapsama alanına sahip NDB ve VOR/DME cihazları yer almaktadır [2].

### 5.2. Kahramanmaraş Havalimanı 25 Pisti Yaklaşma Prosedürü

Kahramanmaraş Havalimanının 07 pisti için yaklaşma hattı şehir üzerinden geçmekte olup, yeryüzü şekilleri açısından az engebeli bir bölgeyi kapsamaktadır. 07 pisti için yapılan aletli yaklaşımlarda uçaklar bir bakıma direkt yaklaşma yapmakta olup etrafında herhangi yüksek bir mania teşkil edecek arazi bulunmamaktadır. 25 pisti

ise mania bakımından daha yoğun bir bölgede yer alıp, yaklaşma ve pas geçme bölgesinin içerisinde yer alan Taşlıalan Dağı'nın, 25 pistini kullanacak trafikler için mania teşkil etmesi ve RNAV koruma alanlarının da eklenmesi ile birlikte piste yaklaşmakta olan uçaklar daha fazla mesafe uçmaktadırlar. RNP AR yaklaşma prosedüründe RNAV prosedürlerdeki koruma alanlarının bulunmaması ve mania bakımından yoğun alanlar için RF bacağı çizimi ile bu alanlardan daha emniyetli geçilmesi nedeniyle 25 pisti için RNP AR prosedürü tasarlanmıştır.

LTCN'ye gelen uçak tipleri Airbus 320, Boeing 737 ve 738 olup, orta kategori sınıfındaki uçaklardır.

*LTCN batısından UL/L 605 hava koridoru ile gelen uçuşlar:*

Bu koridorla inişe gelen uçaklar öncelikle ilk yaklaşma fiksi olan INGAM (IAF-Initial Approach Fix) noktasına devam eder; eğer gerekli ise ilk yaklaşma fiksi irtifasını yakalayabilmek için INGAM noktası üzerinde beklemeye girerek gereken irtifaya kadar bu nokta üzerinde alçalmaya devam eder. Gerekli irtifayı aldıktan sonra ilk yaklaşma noktası olarak batı girişleri için INGAM noktasına, kuzey girişleri için ise DONDU noktasına yönlendirilmektedir. Uçak INGAM noktasını prosedür gereği 14,000 feet ve üzerinde bir irtifada geçmek zorundadır. Daha sonra toplam 30. 6nm mesafe geçilerek uçağı orta yaklaşma safhasına hazırlayan ara noktalar olan NARGU(10,000 feet ve üzeri) ve BERET (8000 feet ve üzeri) noktalarını kat ederek orta yaklaşma noktası olan ELKUM (6400feet ve üzeri)'u belirtilen irtifada 5nm geçerek son yaklaşma noktası olan MAREK (tam 5600 feet)'de iniş konfigürasyonuna geçer. Uçak 9,7 nm daha yaklaşma devam ederek pas geçme noktası olan MA25 noktası için belirlenen irtifaya kadar alçalır. Bu noktada inişe karar veren uçak inişini gerçekleştirir. İnişi tamamlayamayacağına karar veren uçak ise chartta belirtildiği şekilde pas geçme prosedürlerini uygulamaktadır [2].

*LTCN kuzeyinden UM/M 854 hava koridoru ile gelen uçuşlar:*

Bu koridorla inişe gelen uçaklar öncelikle ilk yaklaşma noktası olan DONDU (IAF) noktasına devam eder. Eğer gerekli ise alçalmaya başlayana kadar DONDU noktası üzerinde bekler. Uçaklar prosedür gereği DONDU noktasını 14,000 feet ve üzerinde bir irtifada geçmek zorundadır. Daha sonra 33,1 nm devam ederek uçağı orta yaklaşma safhasına hazırlayan ara noktalar olan CN251 (12,000 feet ve üzeri),

NARGU(10,000 feet ve üzeri) ve BERET (8000 feet ve üzeri) noktaları belirtilen irtifalarda geçilir. Orta yaklaşma noktası olan ELKUM (6400feet ve üzeri) belirtilen irtifada 5nm geçtikten sonra son yaklaşma noktası olan MAREK (tam 5600feet)'te iniş konfigürasyonuna geçilir. Bu noktadan sonra uçak 9,7 nm mesafe yaklaşmaya devam ederek pas geçme noktası olan MA25 noktası için belirlenen irtifaya kadar alçalır. Bu noktada iniş karar veren uçak inişini gerçekleştirir. İnişi tamamlayamayacağına karar veren uçak ise chartta belirtildiği şekilde pas geçme prosedürlerini uygulamaktadır.

25 pisti RNAV (GNSS) chartına göre pas geçmeye karar veren uçak; pas geçme noktası olan MA25'den itibaren 14000 feet irtifaya tırmanmaya başlayarak sağa dönüşle CN461 noktasına döner. Bu noktadan sonra sırası ile sağa dönüşle CN462, sola dönüşle CN463, CN464, CN465, CN466 noktaları geçilerek bekleme noktası ve aynı zamanda ilk yaklaşma noktası olan INGAM'da 14,000 irtifada beklemeye girilir [2].

25 pisti için çizilmiş olan RNAV(GNSS) chartı için gereken koruma alanlarının daha fazla oluşu nedeniyle, 25 pistine iniş için gelen uçakların geçmesi gereken bölgede ortalama 1500 m yüksekliğinde Taşlıalan Dağı bulunmaktadır. Bu nedenle de 25 pisti geliş yolunun tasarımıda daha hassas bir seyrüsefer yöntemi olmadan esneklik sağlanamamaktadır.

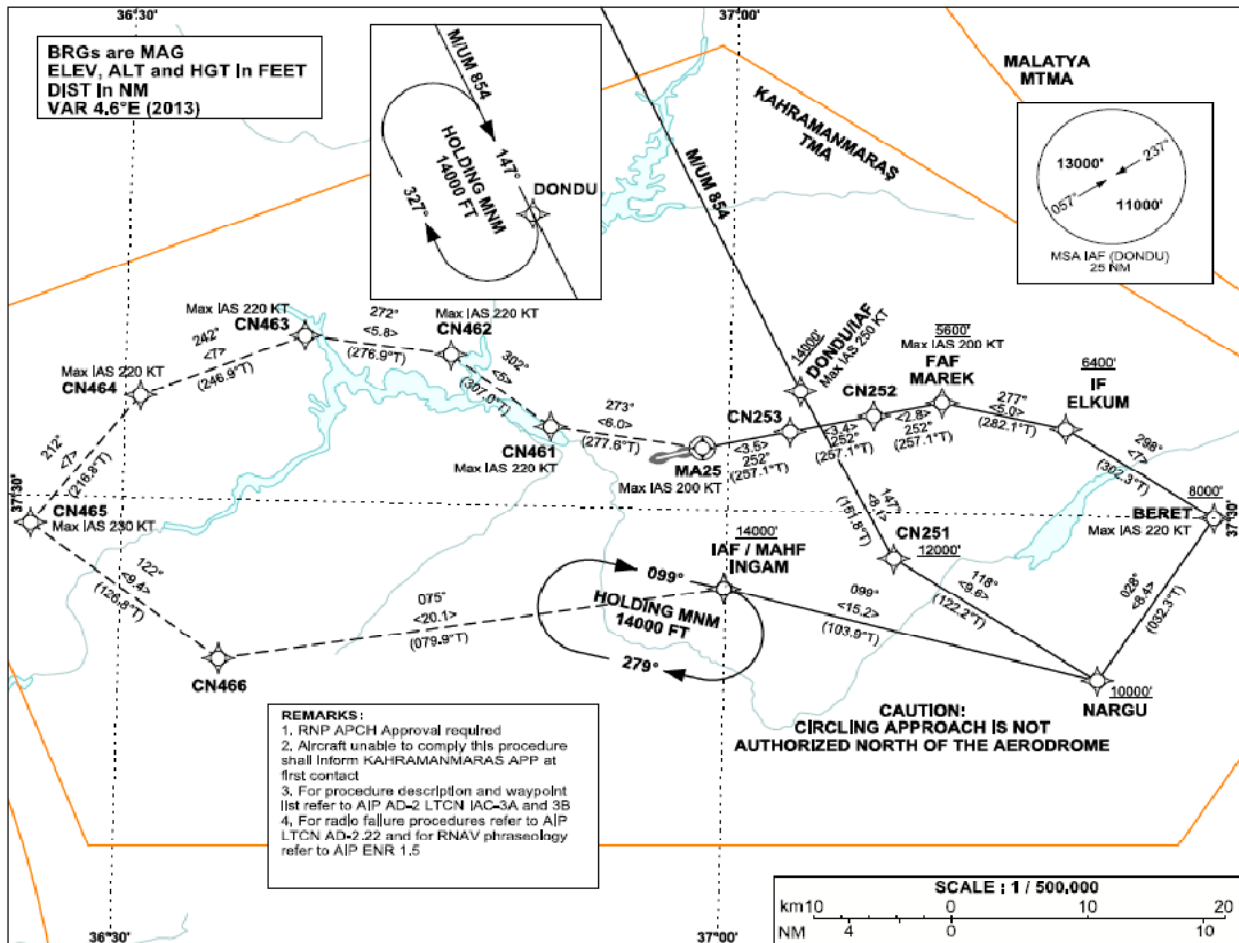
25 pisti için yayınlanmış olan RNAV (GNSS) chartına göre RNAV prosedürle gelen uçaklar %6,1'lik alçalma oranıyla iniş konfigürasyonuna hazırlanmaktadır. Pas geçme prosedürünün tırmanma açılarına bakıldığında ise maksimum %4'lük bir açı yayınlanmıştır.

25 pist oryantasyonuna ait chartı şekil 5.1'de verilmiştir.

**INSTRUMENT  
APPROACH  
CHART - ICAO**

APP	120.600 - 118.750 - 278.625	AD ELEV	1724 FT
TWR	120.600 - 118.750 - 278.625	TRANSITION ALTITUDE	15000 FT
ATIS	-		

**KAHRAMANMARAŞ**  
RNAV (GNSS) RWY 25



**MISSED APPROACH**  
CLIMB TO 14000 FT FROM MA25 TURN RIGHT INBOUND TO CN461, THEN TURN RIGHT TO CN462, TURN LEFT TO CN463, TURN LEFT TO CN464, TURN LEFT TO CN465, TURN LEFT TO CN466 AND TURN LEFT TO INGAM (MAHF) AND JOIN THE HOLDING PATTERN

**MA25 [K200-R]-CN461[K220-R]-CN462[K220-L]-CN463[K220-L]-CN464[K220-L]-CN465[K230-L]-CN466[L]-INGAM(MAHF)**

**Speed Control:**

- a- Max IAS 200 KT at MA25
- b- Max IAS 220 KT at CN461, CN462, CN463 and CN464
- c- Max IAS 230 KT at CN465

**DISPLACED THR ELEV 1710 FT**

OCA (H)		A	B	C	D
LNAV	Missed APP GR 2.5%	3030' (1320')	3030' (1320')	3030' (1320')	3030' (1320')
	Missed APP GR 4%	2700' (990')	2700' (990')	2700' (990')	2700' (990')
CIRCLING		3100' (1376')	3100' (1376')	3400' (1676')	3400' (1676')

DIST to THR	9	8	7	6	5	4	3	2
ALTITUDE	5080'	4710'	4340'	3970'	3600'	3230'	2860'	2490'

Timing not authorized for defining the MAPt.

GS (Ground Speed)	kt	80	100	120	140	160	180
FAF-THR (10.41 NM)	MIN:SEC	7:48	6:15	5:12	4:28	3:54	3:28
Rate of Descent (6.1%)	FVMIN	494	618	741	865	988	1112

Şekil 5.1. Kahramanmaraş Havalimanı 25 pisti RNAV(GNSS) chartı

### 5.3. Kahramanmaraş Havalimanı 25 Pisti için RNP AR Yaklaşma Prosedür Önerisi

Geliştirilen RNP AR prosedür tasarımı için aşağıdaki kabuller dikkate alınarak ilk, orta,son yaklaşma ve pas geçme safhaları için hesaplamalar yapılmıştır. Tasarımda SI olmayan birim sistemi kullanılmıştır.

RNP AR yaklaşma prosedürünün tasarlanması aşamasında Google Earth ve GPS Visulizer programları kullanılmıştır.

Geçiş noktası (fly-by) dönüş açıları FL190 (uçuş seviyesi-flight level) üzerinde maksimum 70°, FL190 altında 90°'ye kadar olmalıdır. Bu kriter göz önüne alınarak RNP AR yaklaşma için geçiş noktası (fly-by) dönüşleri FL190 altında olup UL/L 605 hava koridorunu için bu açı değeri 80°, UM/M 854 hava koridori içinse 82° olarak hesaplanmıştır.

*Kabuller:*

Yatış açısı ( $\alpha$ ) = 18° (standart)

Atmosferik Şartlar: ISA+15°

Uçak Kategorisi: C ve D

D kategori :  $V_{IAS} = 250$  kt (ilk ve orta yaklaşma için)

C kategori :  $V_{IAS} = 240$  kt (ilk ve orta yaklaşma için)

İrtifa (H) = 10000 feet

Rüzgar hızı = 120 kt ( Tablo 4.5'e göre)

Bu kabuller doğrultusunda kategori C ve D uçaklar için hakiki hava sürati (TAS) hesaplanarak dönüş oranı (R) ve buna bağlı olarak dönüş yarıçapı (r) hesaplanmıştır.

*Kategori C için:*

$$TAS = 240 * 171233 * [(288 + 15) - 0.00198 * 10000]^{0.5} / (288 - 0.00198 * 10000)^{2.628}$$

$$V_{TAS} \cong 287kt$$

Dönüş oranı (R) ise (denklem 8-9):

$$V = (TAS + rüzgar hızı)(kt)$$

$$V = (287 + 120) = 407 kt$$

$$R = (3431 \tan 18) / (\pi \times 407) = 0,8719 \text{ °/sn}$$

Dönüş yarıçapı (r) (denklem 10):

$$r = \frac{407}{20 * \pi * 0,8719} = 7,43nm \cong 7,4nm \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

*Kategori D için:*

$$TAS = 250 * 171233 * [(288 + 15) - 0.00198 * 10000]^{0.5} / (288 - 0.00198 * 10000)^{2.628}$$

$$V_{TAS} = 298.96 \cong 299kt$$

Dönüş oranı (R) ise (denklem 8-9):

$$V = (TAS + rüzgar hızı)(kt)$$

$$V = (299 + 120) = 419kt$$

$$R = (3431 \tan 18) / (\pi \times 419) = 0,8448 \text{ °/sn}$$

Dönüş yarıçapı (r) (denklem 10):

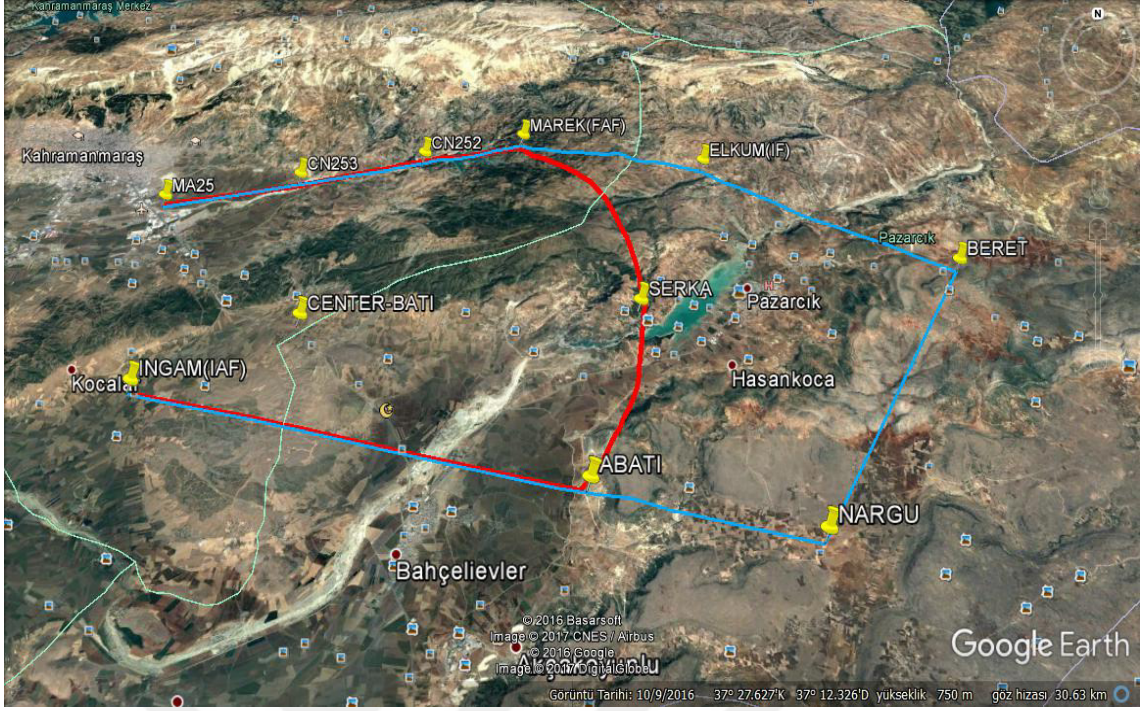
$$r = \frac{419}{20 * \pi * 0,8448} = 7,92nm \cong 8nm \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Hesaplama sonuçlarına göre önerilecek prosedürde kategori C ve D uçaklar için yarıçap 8nm olarak kabul edilerek RF bacak tasarımı yapılmıştır.

*LTCN batısından UL/L 605 hava koridoru ile gelen uçuşlar:*

Tasarlanan RNP AR yaklaşma prosedürünün için ilk yaklaşma safhası INGAM dan başlayıp ABATI noktasında sona ermektedir. Bu segmentin uzunluğu ise 10 nm'dir. Uçak INGAM noktasına 14000 feet'te gelip ABATI'ya kadar 4000 feet kaybederek 10000 feet'e ulaşacaktır. Bu irtifa değerleri hesaplanırken manialar ve ilk yaklaşma safhası için gerekli olan alçalma eğimleri dikkate alınmıştır. Bu segmentte % 6,5 eğim ile alçalma sağlanarak, ilk yaklaşma segmentinin tasarım kriterlerinde olması gereken % 4 ile % 8 arasındaki alçalma eğim değerlerine uygunluk sağlanmıştır.

Orta yaklaşma segmenti ABATI noktasından başlamakta olup son yaklaşma noktası olan MAREK'te sona ermektedir. Bu segmentte geliş trafikleri hesaplanan 8nm sabit yarıçap ile RF dönüş gerçekleştirerek son yaklaşma noktasına ulaşacaktır. RF dönüş için tasarım kriterleri dikkate alınarak CENTER-BATI noktası merkez olmak üzere a, b ve c değerleri sırası ile 8nm, 10nm ve 6nm olarak hesaplanarak planlanan yol ve çizilen bölgeler arasındaki manialar dikkate alınarak tasarım yapılmıştır (Şekil 5.2).



**Şekil 5.2.** RNAV GNSS ve RNAV RNP yaklaşma yolları

Son yaklaşma segmenti ise MAREK noktasında başlayıp pas geçme noktası olan MA25'te son bulmaktadır. Pist başına 10.5nm uzaklıkta olan MAREK noktasında uçak 5600 feet'i muhafaza etmelidir. Bu noktadan sonra inişi gerçekleştirmek için % 6,1'lik eğimle alçalmaya başlar. Pas geçme noktasında inişe karar vermesi durumunda inişini gerçekleştirir, gerçekleştirememesi durumunda ise uçak bu noktada pas geçme prosedürünü uygular.

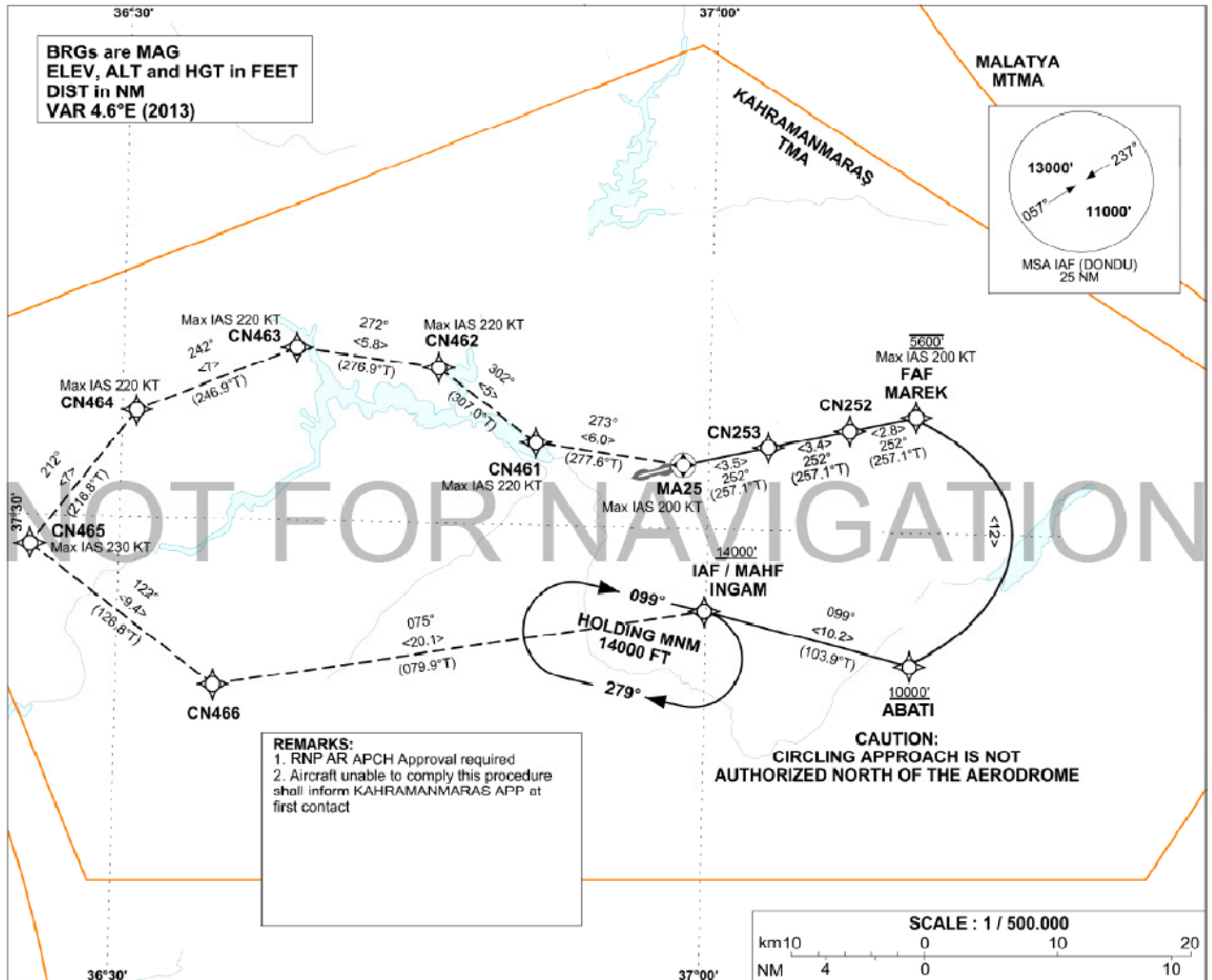
Pas geçme prosedürünün yeniden tasarlanması düşünülerek bölgenin mania değerlendirmesi yapılmıştır. Uçaklar CN563'e kadar maksimum pas geçme eğimi % 5 ile tırmanmaları durumunda 5400 feet'e kadar tırmanabilmektedirler. Bu durumda CN463'den CN466'ya veya CN466'nın daha önündeki bir noktaya uçurulması planlanmış ve 14000 feet e ulaşması için mania değerlendirmesi yapılmıştır. Uçağın CN463'de kazanabildiği irtifa (5400 feet), CN466'ya dönüşü için planlanan yol üzerindeki minimum engel emniyet irtifasını almasına engel teşkil eden yüksek manialar olması, uçuş mesafesi ve zamandan kazanç sağlamaması nedeni ile mümkün olmamıştır. Bu nedenle mevcut aletli yaklaşma prosedüründe ilan edilen pas geçme prosedürünün aynı şekilde uygulanması uygun görülmüştür (Şekil 5.3).

**INSTRUMENT  
APPROACH  
CHART - ICAO**

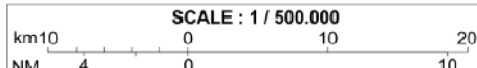
APP	120.600 - 118.750 - 278.625	AD ELEV	1724 FT
TWR	120.600 - 118.750 - 278.625	TRANSITION ALTITUDE	15000 FT
ATIS	-		

**KAHRAMANMARAŞ**

**RNAV (RNP) RWY 25**



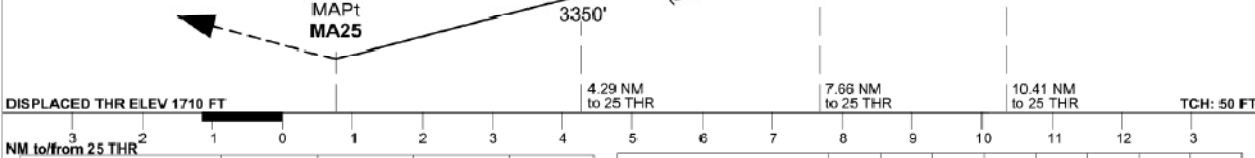
**REMARKS:**  
 1. RNP APCH Approval required  
 2. Aircraft unable to comply this procedure shall inform KAHRAMANMARAŞ APP at first contact



**MISSED APPROACH**  
 CLIMB TO 14000 FT FROM MA25 TURN RIGHT INBOUND TO CN461, THEN TURN RIGHT TO CN462, TURN LEFT TO CN463, TURN LEFT TO CN464, TURN LEFT TO CN465, TURN LEFT TO CN466 AND TURN LEFT TO INGAM (MAHF) AND JOIN THE HOLDING PATTERN

**MA25 [K200;-R]-CN461[K220;-R]-CN462[K220;-L]-CN463[K220;-L]-CN464[K220;-L]-CN465[K230;-L]-CN466[L]-INGAM(MAHF)**

**Speed Control:**  
 a- Max IAS 200 KT at MA25,  
 b- Max IAS 220 KT at CN461, CN462, CN463 and CN464  
 c- Max IAS 230 KT at CN465



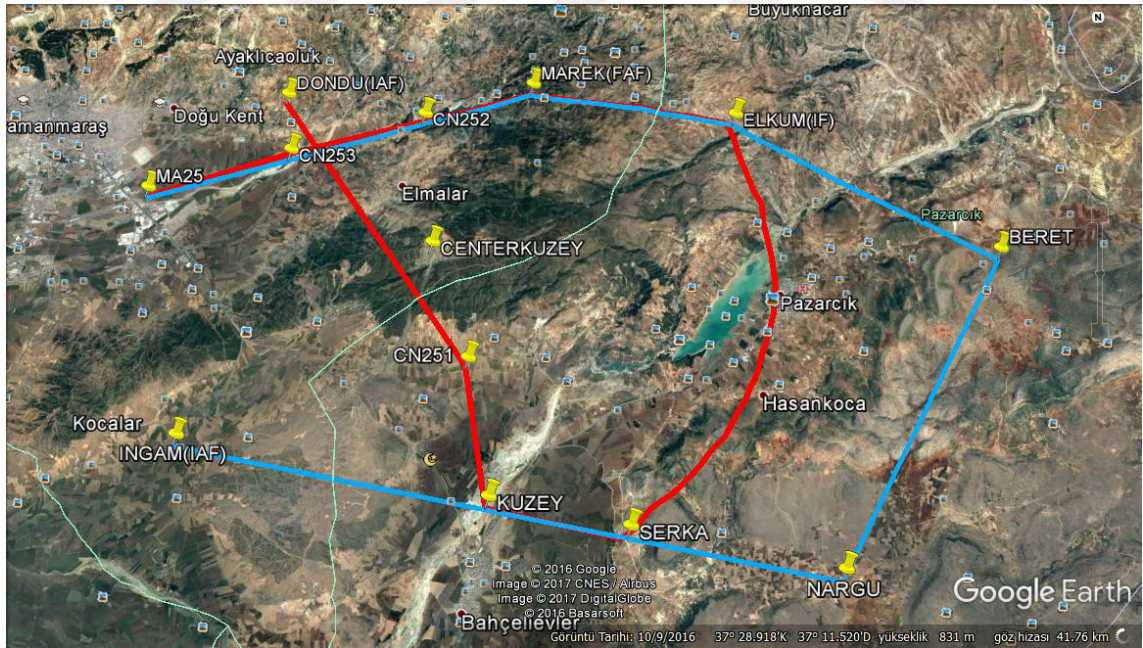
OCA (H)		A	B	C	D	DIST to THR							
LNAV	Missed APP GR 2.5%	3030' (1320')	3030' (1320')	3030' (1320')	3030' (1320')	9	8	7	6	5	4	3	2
	Missed APP GR 4%	2700' (990')	2700' (990')	2700' (990')	2700' (990')	5080'	4710'	4340'	3970'	3600'	3230'	2860'	2490'
CIRCLING		3100' (1376')	3100' (1376')	3400' (1676')	3400' (1676')	Timing not authorized for defining the MAPt.							
						GS (Ground Speed)	kt	80	100	120	140	160	180
						FAF-THR (10.41 NM)	MIN:SEC	7:48	6:15	5:12	4:28	3:54	3:28
						Rate of Descent (6.1%)	Ft/MIN	494	618	741	865	988	1112

**Şekil 5.3. LTCN 25 pisti için önerilen RNAV RNP chartı**

*LTCN kuzeyinden UM/M 854 hava koridoru ile gelen uçuşlar:*

Önerilen RNP AR yaklaşma prosedürünün ilk yaklaşma segmenti DONDU'dan başlayıp ELKUM noktasında sona ermektedir. Bu segmentin uzunluğu ise 24,8 nm'dir. Uçak DONDU noktasına 14,000 feet'te gelip, CN251 noktasını 12000 feet'te geçerek, SERKA noktasında 10,000 feet'e ulaşacaktır. Bu irtifa değerleri hesaplanırken manialar ve ilk yaklaşma safhası için gerekli olan alçalma eğimleri dikkate alınmıştır. Bu segmentte % 6,5 eğim ile alçalma sağlanarak, ilk yaklaşma segmentinin tasarım kriterlerinde olması gereken % 4 ile % 8 arasındaki alçalma eğim değerlerine uygunluk sağlanmıştır.

Orta yaklaşma segmenti ELKUM noktasından başlamakta olup son yaklaşma noktası olan MAREK'te sona ermektedir. Bu segmentte geliş trafikleri hesaplanan 8nm sabit yarıçap ile RF dönüş gerçekleştirilerek son yaklaşma noktasına ulaşacaktır. RF dönüş için tasarım kriterleri dikkate alınarak CENTER-KUZEY noktası merkez olmak üzere a, b ve c değerleri sırası ile 8nm, 10nm ve 6nm olarak hesaplanarak planlanan yol ve çizilen bölgeler arasındaki manialar dikkate alınarak tasarım yapılmıştır (Şekil 5.4).



**Şekil 5. 4. RNAV GNSS ve RNAV RNP yaklaşma yolları**

Son yaklaşma segmenti ise MAREK noktasında başlayıp pas geçme noktası olan MA25'te son bulmaktadır. Pist başına 10,5 nm uzaklıkta olan MAREK noktasında uçak 5600 feet'i muhafaza etmelidir. Bu noktadan sonra inişi gerçekleştirmek için % 6,1'lik

eğimle alçalmaya başlar. Pas geçme noktasında inişe karar vermesi durumunda inişini gerçekleştirir, gerçekleştirememesi durumunda ise uçak bu noktada pas geçme prosedürünü uygular (Şekil 5.5).

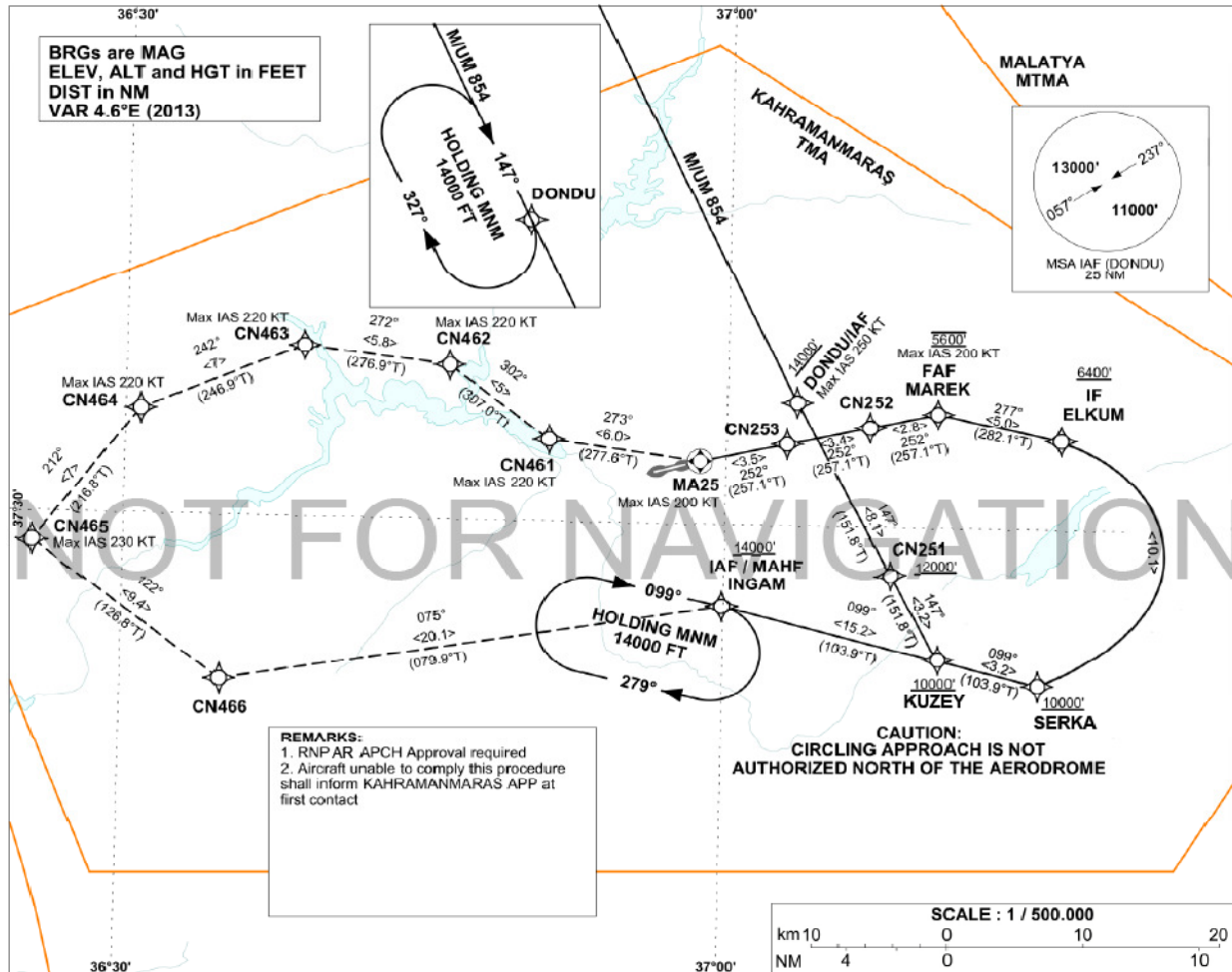
UM/M 854 hava koridoru ile gelen uçaklar içinde mevcut pas geçme prosedürünün aynen uygulanması uygun görüşmüştür.



**INSTRUMENT APPROACH CHART - ICAO**

APP	120.600 - 118.750 - 278.625	AD ELEV	1724 FT
TWR	120.600 - 118.750 - 278.625	TRANSITION ALTITUDE	15000 FT
ATIS	-		

**KAHRAMANMARAŞ**  
**RNAV (RNP) RWY 25**



**MISSED APPROACH**  
 CLIMB TO 14000 FT FROM MA25 TURN RIGHT INBOUND TO CN461, THEN TURN RIGHT TO CN462, TURN LEFT TO CN463, TURN LEFT TO CN464, TURN LEFT TO CN465, TURN LEFT TO CN466 AND TURN LEFT TO INGAM (MAHF) AND JOIN THE HOLDING PATTERN

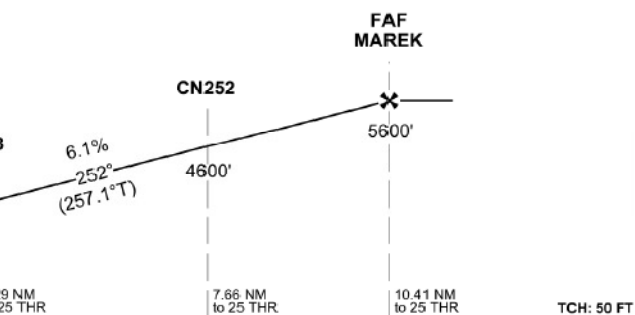
**MA25 [K200-;R]-CN461[K220-;R]-CN462[K220-;L]-CN463[K220-;L]-CN464[K220-;L]-CN465[K230-;L]-CN466[L]-INGAM(MAHF)**

Speed Control:

- a- Max IAS 200 KT at MA25,
- b- Max IAS 220 KT at CN461, CN462, CN463 and CN464
- c- Max IAS 230 KT at CN465

**DISPLACED THR ELEV 1710 FT**

OCA (H)		A	B	C	D
LNAV	Missed APP GR 2.5%	3030' (1320')	3030' (1320')	3030' (1320')	3030' (1320')
	Missed APP GR 4%	2700' (990')	2700' (990')	2700' (990')	2700' (990')
CIRCLING		3100' (1376')	3100' (1376')	3400' (1676')	3400' (1676')



DIST TO THR	9	8	7	6	5	4	3	2
ALTITUDE	5080'	4710'	4340'	3970'	3600'	3230'	2860'	2490'

Timing not authorized for defining the MAPt

GS (Ground Speed)	kt	80	100	120	140	160	180
FAF-THR (10.41 NM)	MIN:SEC	7:48	6:15	5:12	4:28	3:54	3:28
Rate of Descent (6.1%)	FT/MIN	494	618	741	865	988	1112

**Şekil 5.5. LTCN 25 pisti için önerilen RNAV RNP chartı**

## 6. BULGULAR

Bu çalışmada Kahramanmaraş Havalimanı 25 pisti için mevcut RNAV GNSS geliş prosedürü ile ilk ve orta yaklaşma safhası için tasarlanan RF bacağı kullanılarak önerilen RNAV RNP geliş prosedürü uçuş verimliliği yani uçuş mesafesi, uçuş süresi ve yakıt tüketimi açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen kazanımlar, sadece RF bacağının tasarlandığı ilk ve orta yaklaşma safhası için sağlanmıştır.

Mevcut RNAV GNSS uygulanması durumunda UL/L 605 hava koridoru ile inişe gelen uçak INGAM noktasından itibaren toplam uçuş mesafesi 35,6 nm olarak hesaplanmıştır. Uçak ilk yaklaşma fiksi olan INGAM noktasına 14,000 feet irtifada geldikten sonra NARGU noktasına kadar 10000 feet'e alçalarak orta yaklaşma fiksine kadar 6400 feet'e alçarak son yaklaşma noktası olan MAREK'te 5600 feet'i muhafaza etmektedir.

Tasarlanan RNAV RNP uygulaması içinse batı girişi için uçak INGAM noktasından itibaren toplam uçuş mesafesi 22nm olarak hesaplanmıştır. Uçak INGAM noktasına 14.000 feet irtifada geldikten sonra ABATI noktasına kadar 10,000 feet'e alçalmaktadır. Bu noktadan itibaren 37°28.440'K 37°4.194'D koordinatları merkez olacak şekilde belirlenmiş merkeze göre 8nm sabit yarıçapla dönüşüne başlayarak MAREK noktasında 5600 feet'te olmaktadır.

Tasarlanan prosedürler için UL/L 605 hava koridoru ile inişe gelen için 13,3 nm uçuş mesafesinde kazanç sağlanmaktadır, dolayısı ile yakıt tüketiminde de kazanç sağlanması beklenmektedir. Bu amaç doğrultusunda BADA verilerine dayalı kabuller göz önüne alınarak yakıt tüketimi (kg/dk) hesaplanmıştır.

Mevcut RNAV GNSS uygulanması durumunda UM/M 854 hava koridoru ile inişe gelen uçak INGAM noktasından itibaren toplam uçuş mesafesi 33,1 nm olarak hesaplanmıştır. Uçak ilk yaklaşma fiksi olan DONDU noktasına 14,000 feet irtifada geldikten sonra NARGU noktasına kadar 10,000 feet'e alçalarak orta yaklaşma fiksine kadar 6400 feet irtifaya alçalır ve son yaklaşma noktası olan MAREK'te 5600 feette olmaktadır.

Tasarlanan RNAV RNP uygulaması içinse UM/M 854 için uçak DONDU noktasından itibaren toplam uçuş mesafesi 24,6 nm olarak hesaplanmıştır. Uçak DONDU noktasına 14,000 feet irtifada geldikten sonra CN251 noktasına kadar 12,000 feet'e kadar alçalmaya devam eder. Daha sonra KUZHEY noktasına kadar 10,000 feet'e alçarak SERKA noktasına devam eder. Bu noktadan itibaren 37°30.790'K 37°7.343'D

koordinatları merkez olacak şekilde belirlenmiş merkeze göre 8nm sabit yarıçapla dönüşüne başlayarak ELKUM noktasında 6400 feet’te olmaktadır.

Tasarlanan prosedürler için UM/M 854 hava koridoru ile inişe gelen için 8,5 nm uçuş mesafesinde kazanç sağlanmaktadır, dolayısı ile yakıt tüketiminde de kazanç sağlanması beklenmektedir. Bu amaç doğrultusunda BADA verilerine dayalı kabuller göz önüne alınarak yakıt tüketimi (kg/dk) hesaplanmıştır.

A320/M uçak tipi için için 10000 feet irtifa için yaklaşma hızı (TAS) 289 kt olup, yakıt değeri 7.8 kg/dk’dır. Uçağın 5600 feet irtifadaki hızı (TAS) 236 kt olup, yakıt değeri 8,35 kg/dk’dır [26]. Bu değerler göz önüne alındığında uçak RF bacak dönüşüne başladığı noktada hız ortalama 263kt olup ortalama yakıt tüketimi 8,1 kg/dk olarak bulunmuştur.

Uçak UL/L 605 hava koridorundan gelerek RNAV GNSS uygulaması durumunda toplam 46 nm uçuş mesafesini yaklaşık 8,1 dk’de kat ederek 65,6 kg yakıt tüketmektedir. Uçağın RNAV RNP uygulaması durumunda ise elde edilen 22 nm mesafeyi ise yaklaşık 5 dk’de kat ederek 40,6 kg yakıt tüketmesi beklenmektedir. Buna göre önerilen RNAV RNP prosedürü ile batı girişli yoldan 13,6 nm kazanç sağladığı görülmüştür. Dolayısıyla 25 kg yakıt tasarrufu sağlanarak %38 kazanç elde edilmiştir (Tablo 5.1).

**Tablo 5. 1.** UL/L 605 koridoru ile inişe gelen uçuşlar için kazançlar

Aletli Yaklaşma Türü	Toplam uçuş mesafesi (nm) (ilk-orta yaklaşma için)	Toplam uçuş zamanı (dk)	Toplam yakıt tüketimi (kg)
RNAV GNSS	35,6	8,7	65,6
RNAV RNP	22	5	40,6
	%38,2	%38,3	%38,1

Uçak UM/M 854 hava koridorundan gelerek RNAV GNSS uygulaması durumunda toplam 38,1 nm uçuş mesafesini yaklaşık 8,7 dk’de kat ederek 70,5 kg yakıt tüketmektedir. Uçağın RNAV RNP uygulaması durumunda ise elde edilen 24,6 nm

mesafeyi ise yaklaşık 5,6 dk'de kat ederek 45,5 kg yakıt tüketmesi beklenmektedir. Buna göre önerilen RNAV RNP prosedürü ile kuzey girişli yoldan 13,5 nm kazanç sağladığı görülmüştür. Dolayısıyla 25 kg yakıt tasarrufu sağlanarak %36,2 kazanç elde edilmiştir (Tablo 5.2).

**Tablo 5. 2.** *UM/M 854 koridoru ile inişe gelen uçuşlar için kazançlar*

Aletli Yaklaşma Türü	Toplam uçuş mesafesi (nm) (ilk ve orta yaklaşma için)	Toplam uçuş zamanı (dk)	Toplam yakıt tüketimi (kg)
RNAV GNSS	38,1	8,7	70,5
RNAV RNP	24,6	5,6	45,5
	%35,5	%35,6	%36,2

## 7. SONUÇ

Günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte geleneksel seyrüsefer yöntemlerinden performansa dayalı seyrüsefere geçilmesiyle geleneksel yöntemlerin sınırlayıcı özellikleri de ortadan kalkmaya başlamaktadır.

Performansa dayalı seyrüsefer yöntemlerinden olan RNP APCH prosedürler sayesinde koruma alanları geleneksel yöntemlere göre daha da daralmış, RNP AR ile bu alanlar ortadan kaldırılmıştır. Dolayısıyla hava sahasının daha optimize bir şekilde kullanılması sağlanarak verimlilik ve emniyet giderek arttırılmaya başlanmıştır.

RNP AR yaklaşma prosedürleri ise özellikle yeryüzü şekilleri açısından yüksek engebeli bölgelerde avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada da bölgesel olarak % 60'ı dağlık araziye konumlanmış olan Kahramanmaraş Havalimanı için mevcut RNAV GNSS geliş prosedürünün ilk ve orta yaklaşma safhalarında RF dönüş bacağı kullanılarak RNP AR prosedür önerisi geliştirilmiştir. Mevcut RNAV GNSS prosedürü ile UL/L 605 için 35,6nm olan uçuş mesafesi, önerilen RNAV RNP prosedürü ile 13,6 nm azaltılarak uçuş mesafesinden % 38,2 kazanç elde edilmiştir. Aynı zamanda % 38,1 oranında yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Mevcut RNAV GNSS prosedürü ile UM/M 854 için 38,1 nm olan uçuş mesafesi, önerilen RNAV RNP prosedürü ile 13,5 nm azaltılarak uçuş mesafesinden yaklaşık % 35,5 kazanç elde edilmiştir. Aynı zamanda %36,2 oranında yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

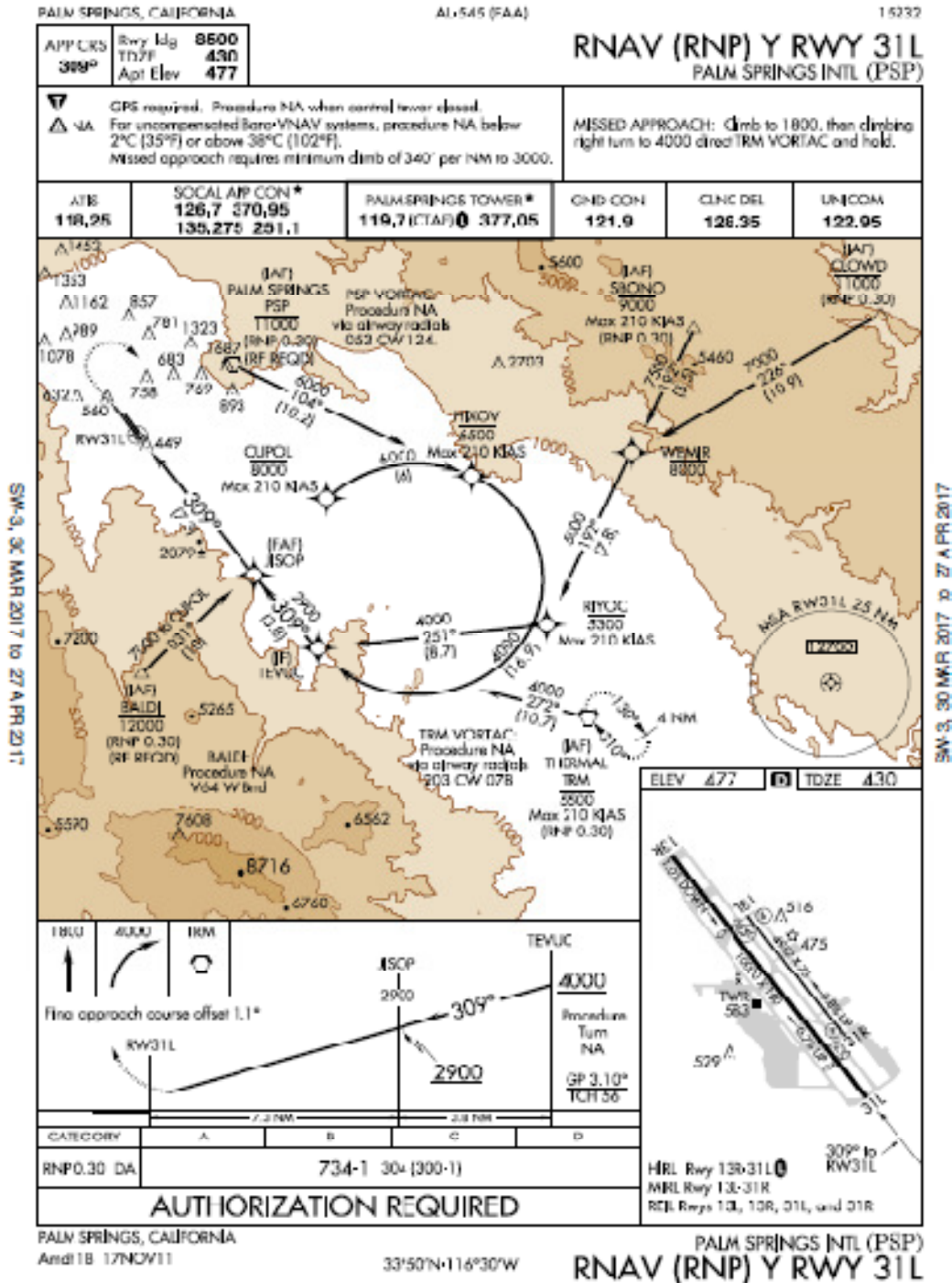
Yapılan literatür taramasındaki RNP AR prosedür tasarımları ile sağlanan kazanımlar göz önüne alındığında tasarlanan RNP AR prosedürünün uçuş mesafesi, süresi ve yakıt açısından sağladığı kazanımlara çok yakın değerler elde edilmesiyle çalışmanın geçerliliği pekiştirilmiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] International Civil Aviation Organization (ICAO), 2013, Performance-based Navigation (PBN) Manual (Doc 9613), Fourth Edition.
- [2] Şahin Ö., 2014, Gerekli Seyrüsefer Performans (RNP) Yaklaşımlarının Karşılaştırılması, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Konferansı, İstanbul.
- [3] Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Genel Müdürlüğü, 2017, Havacılık Enformasyon Yayını (AIP).
- [4] <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx> Erişim Tarihi: 04.04.2017.
- [5] [http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_12/navigation\\_alaska.html](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_12/navigation_alaska.html) Erişim tarihi : 15.03.2017.
- [6] Townsend B., 2006 , ALPA, Airline Pilot Magazine, Performance-Based Navigation: RNAV and RNP in the NAS, 16-20.
- [7] Şahin Ö. , 2014, Performansa Dayalı Seyrüsefer (PBN) ve Dünya Uygulamaları, V. Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- [8] Schaad P. D. , 2016, PBN based Noise Abatement: Vienna Schwechat (LOWW) Airport Runway 16 RNP AR Implementation, Head of Instrument Flight Procedures (ATM/IFP), ICANA, Frankfurt.
- [9] Conway S. ,2011, RNP AR and Air Traffic Management : Expanding the Utility of RNP AR, RNP AR User's Forum, Wellington.
- [10] Woods J., 2012, RNP AR Implementation an Operators Perspective, ICAO PBN Symposium.
- [11] Deree D., 2012, WestJet PBN Training –Regulatory Approval & Syllabus–PBN Symposium.
- [12] Aerospace Honeywell, August 2016, Understanding PBN, RNAV and RNP Operations and Their Benefits to Airline Operators.
- [13] Duarte M. C. Medeiros, Jorge M. R. Silva and Kouamana Bousson, 2012, RNAV and RNP AR approach systems: the case for Pico Island airport. International Journal Aviation Management, Vol. 1, No. 3, 181-199.
- [14] Belle A., Sherry L. , 2014, Center for Air Transportation Systems Research, George Mason University, Benefits Analysis of RNP Approach Procedure to Runway 13C at Midway Airport, Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference.

- [15] Gouldey D., 2014, Determining Operational Benefits of Required Navigation Performance (RNP) Authorization Required (AR) Approaches.
- [16] Deborah M. ,Henrike. ,veRikard E. , 2011, A Human Factors Assessment of Mixed-Mode Air Traffic Arrival And Approach Procedures, Proceedings of the Swedish Human Factors Network (HFN) Conference, Linköping, Sweden.
- [17] Royce W.,Nakamura D. ,Operational Benefits of Performance-based Navigation, Flight Operations.
- [18] Performance Based Navigation (PBN) Implementation Plan of Turkey, DCGA, Version 1 – Issued: 07-06-2016.
- [19] <http://www.ssd.dhmi.gov.tr/sayfa.aspx?mn=135> , Erişim Tarihi:15.02. 2017
- [20] International Civil Aviation Organization (ICAO), 2009, Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual (Doc 9905), First Edition.
- [21] International Civil Aviation Organization (ICAO), 2012, EUR RNP APCH GuidanceMaterial (EUR Doc 025), First Edition.
- [22] Cabaço, C. A. F. , (2010), Flight Operational Safety Assessment-Requirements for New Technologies (RNP-AR),Master Thesis.
- [23] European Aviation Safety Agency (EASA), 2013,AMC 20-27 Airworthiness Approval and Operational Criteria for RNP APPROACH (RNP APCH) Operations Including APV BARO-VNAV Operations  
<http://easa.europa.eu/system/files/dfu/Annex%20VI%20-%20AMC%2020-27A.pdf>  
Erişim Tarihi:15.03.2017.
- [24] Yetkilendirme Gerektiren Gerekli Seyrüsefer Performansı Operasyonları için Uçuşa Elverişlilik Onayı ve Operasyonel Kriterlerine İlişkin Talimatı (SHT RNP AR 20-26).
- [25] <http://www.kahramanmaras.gov.tr/cografi-yapi> Erişim tarihi: 06.04.2017.
- [26] User Manual For the Base of Aircraft Data (BADA), 2004, Revision 3.6.

# EK-1. Palm Springs 31L Pisti RNP SAAAR Yaklaşması



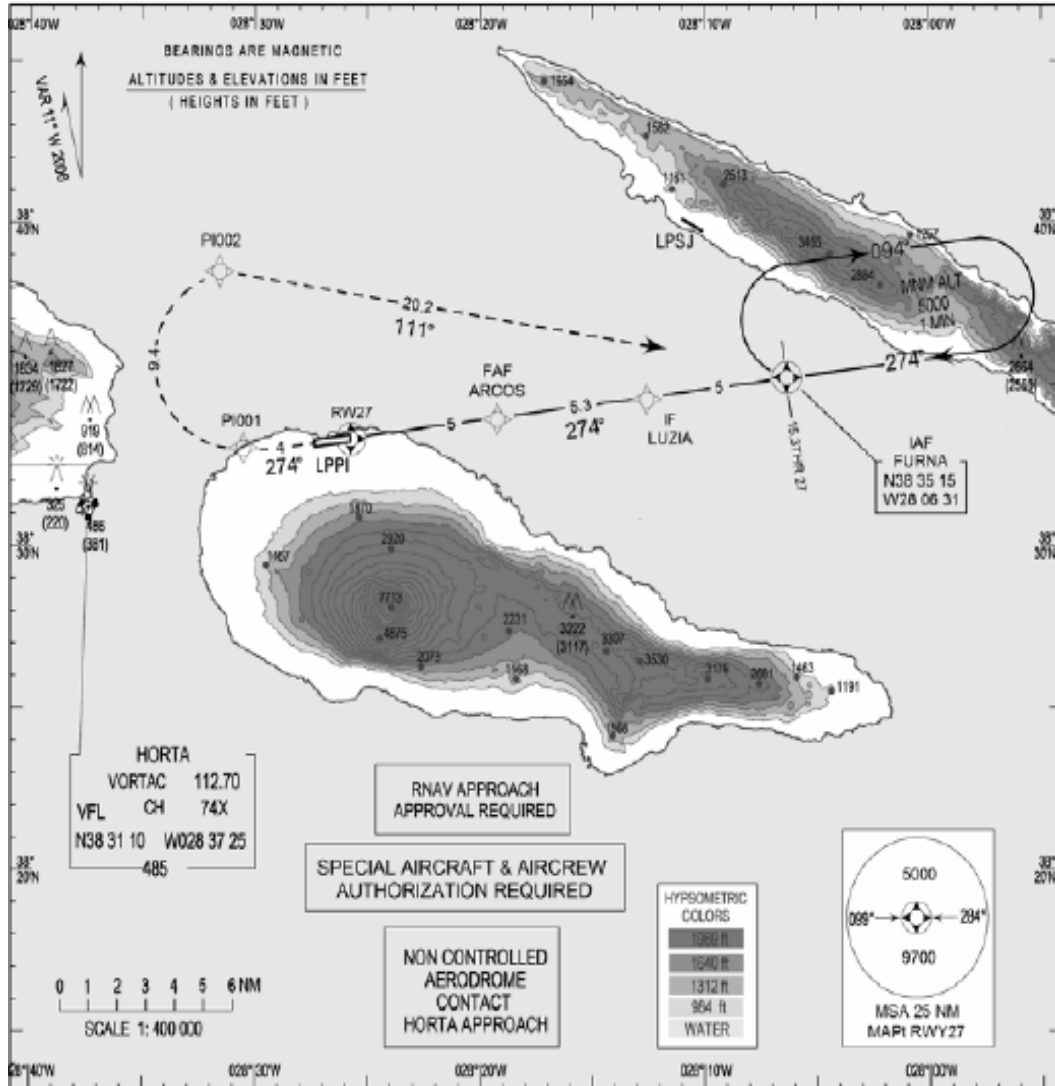
## EK-2. Pico Adasi 27 Pisti RNAV(RNP) Chart

INSTRUMENT  
APPROACH  
CHART

AD ELEV 112 ft  
HEIGHTS RELATED  
THR RWY 27 - ELEV 105 ft

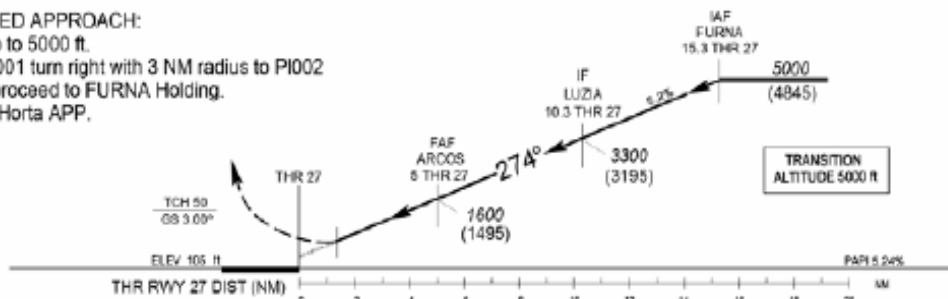
PICO AFIS - 122.700  
HORTA APP - 120.600  
SANTA MARIA TMA - 132.150

PICO / LPPI  
RNAV (RNP)  
RWY27  
CAT A/B/C



### MISSED APPROACH:

Climb to 5000 ft.  
At PI001 turn right with 3 NM radius to PI002  
and proceed to FURNA Holding.  
CTC Horta APP.



CATEGORY	A	B	C
RNP 0.30 DA(H)		400 (295)	

RF and GNSS Required

VISIBILITY	CATEGORY		
	A	B	C
WITH 420 m APP LIGHTS		1900 m	

## ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Serkan ASLANER  
Yabancı Dil : İngilizce  
Doğum Yeri ve Yılı : Afyonkarahisar/1991  
E-Posta : [srknaaslaner@hotmail.com](mailto:srknaaslaner@hotmail.com)

### Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2015, Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Hava Trafik Kontrol
- 2015, Hava Trafik Kontrolörü, Devlet Hava Meydanları İşletmesi-Sivas Nuri Demirağ Havalimanı

### Yayımları ve Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- 2014, Lisans Tezi, Gürültü Azaltma Prosedürleri, Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi
- 2014, Lisans Tezi, İstanbul TMA Geliş Trafikleri Veri Analizi Ve CDA Açısından Değerlendirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay bilimleri Fakültesi

### Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2015, Türkiye Hava Trafik Kontrolörleri Derneği, Ankara.