

**UZANTILARI KESİŞEN PİSTLERDE GELİŞ
TRAFİĞİ SIRALAMASI İÇİN BİR BENZETİM
MODELİ ÖNERİSİ**

Özlem ŞAHİN MERİÇ

Doktora Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Temmuz – 2011

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Özlem ŞAHİN MERİÇ'in 'Uzantıları Kesişen Pistlerde Geliş Trafığı Sıralaması İçin Bir Benzetim Modeli Önerisi' başlıklı **Sivil Havacılık Anabilim Dalındaki**, Doktora Tezi 13.07.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

| | Adı -Soyadı | İmza |
|---------------------|----------------------------------|-------------|
| Üye (Tez Danışmanı) | : Yard. Doç. Dr. Öznur USANMAZ | |
| Üye | : Prof. Dr. Mustafa CAVCAR | |
| Üye | : Prof. Dr. Mehmet Ş. KAVSAOĞLU | |
| Üye | : Prof. Dr. Müjgan SAĞIR ÖZDEMİR | |
| Üye | : Doç. Dr. Aydan CAVCAR | |

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

UZANTILARI KESİŞEN PİSTLERDE GELİŞ TRAFİĞİ SIRALAMASI İÇİN BİR BENZETİM MODELİ ÖNERİSİ

Özlem ŞAHİN MERİÇ

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Öznur USANMAZ
2011, 146 sayfa

Hava trafik talebinin giderek büyümesi ile birlikte Terminal Kontrol Sahası (TMA-Terminal Control Area) içindeki trafik operasyon sayısı artmaktadır. Artan trafik operasyonu, kontrolörün verdiği talimat sayısında ve frekans meşguliyet süresinde artışa neden olmaktadır. Özellikle iniş için havaalanına gelen trafikler (geliş trafiği) arasında doğru ve adil sıralamayı gerçekleştirerek, trafikleri geciktirme ya da bekleme yaptırmaksızın hizmet vermek önemli bir sorumluluktur. Bu çalışmada Toplama Noktası Sistemi (PMS-Point Merge System) tekniği kullanılarak uzantıları kesişen konfigürasyondaki pistler için Saha Seyrüseferi (RNAV-Area Navigation) Standart Terminal Geliş Yolları'na (STAR-Standart Terminal Arrival Routes) dayalı geliş trafiği sıralama modeli geliştirilmiştir. Modelin uygulama alanı olarak İstanbul Atatürk Havalimanı'nın (LTBA) 17L ve 23 konfigürasyonundaki uzantıları kesişen pistleri seçilmiştir. Geliş trafik akışının yönetilmesinde yaygın olarak kullanılan vektör tekniği ile RNAV STAR yol yapısına dayalı PMS model gerçek zamanlı simülasyon ortamında karşılaştırılmıştır. Kontrolörün verdiği toplam talimat sayısı, kontrolör frekans meşguliyet süresi, dikey alçalma profilleri, trafik yörünge dağılımları ve trafiğin sıralanması açısından elde edilen sonuçlar ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Toplama Noktası Sistemi, Saha Seyrüseferi, Standart Terminal Geliş Yolları, Sıralama, Pist



ABSTRACT
PhD Dissertation

**A SIMULATION MODEL PROPOSAL FOR SEQUENCING
ARRIVAL TRAFFIC AT CONVERGING RUNWAYS**

Özlem ŞAHİN MERİÇ

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Aviation Program**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Öznur USANMAZ
2011, 146 pages

With the growth of air traffic demand, the number of traffic operations in Terminal Control Area (TMA) is increasing. The rise in traffic operations causes an increase in the number of controller instructions and frequency occupancy time. Providing a service of accurate and fair sequencing of traffic, especially for inbound traffic, without delay or hold is an important responsibility. In this study, the arrival traffic sequencing model for converging runways based on Area Navigation (RNAV) Standart Terminal Arrival Routes (STAR) has been improved by using Point Merge System (PMS). 17L and 23 which are converging runways in Istanbul Ataturk Airport (LTBA) are choosen as the application area of the model. Vectoring, widely used for handling arrival traffic, and Point Merge System model based on RNAV STAR routes are compared in a real time simulation. Results are evaluated in terms of total number of controller instruction, frequency occupancy, vertical descent profiles, dispersion of trajectories, and traffic sequence.

Keywords: Point Merge System, Area Navigation, Standart Terminal Arrival Routes, Sequencing, Runway

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının tüm aşamalarında beni yönlendiren, sabırla yardımlarını esirgemeyen, akademik hayata adım attığım günden beri her zaman arkamda olduğunu hissettiren, her türlü desteğini benden esirgemeyen, sadece tez danışmanım değil, amaçlarımı ve önceliklerimi belirlememde yardımcı olan, beni teşvik eden, odaklanmamı sağlayan ve cesaretlendiren sevgili hocam Yard.Doç.Dr. Öznur USANMAZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez izleme toplantıları süresince çalışmamı yakından takip ederek, değerli görüşlerini ve yapıcı eleştirilerini esirgemeyen, güven, sevgi ve saygı duyduğum değerli hocalarım Doç. Dr. Aydan CAVCAR ve Prof. Dr. Müjgan SAĞIR ÖZDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam sürecinde her zaman bilgi paylaşımı içinde olduğum, sürekli beyin fırtınası yaptığımız, beni son güne kadar yalnız bırakmayan canım arkadaşım Çiğdem GİRİFTİNOĞLU'na en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının deneysel aşamasında desteklerini esirgemeyen, Sivil Havacılık Yüksekokulu Hava Trafik Kontrol Bölümü arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca yanımda olan ve bu günlere ulaşmamı sağlayan değerli aileme ve her zaman yanımda olup desteğini esirgemeyen, anlayış gösteren sevgili eşime sonsuz teşekkür ederim.

Özlem ŞAHİN MERİÇ

Temmuz, 2011

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Konunun Tanıtılması | 1 |
| 1.2 Konunun Önemi..... | 6 |
| 1.3 Çalışma Düzeni..... | 8 |
| 2. KAYNAK TARAMASI | 10 |
| 2.1 Sıralama Yöntemlerinin İncelenmesi..... | 10 |
| 2.1.1 İlk gelene ilk hizmet | 11 |
| 2.1.2 Zaman kazancı..... | 12 |
| 2.1.3 Kısıtlı yer değiştirme | 12 |
| 2.1.4 Dinamik programlama..... | 13 |
| 2.1.5 Sezgisel algoritma | 15 |
| 2.1.6 Sıralama araçları..... | 15 |
| 2.2 TMA’da RNAV Prosedür Kullanımının İncelenmesi | 18 |
| 3. RNAV STANDART TERMİNAL GELİŞ YOLLARI | 22 |
| 3.1 RNAV ve RNP Gösterimi..... | 26 |
| 3.1.1 TMA’da RNAV prosedür kullanımı | 29 |
| 3.2 RNAV Yararları..... | 30 |
| 3.3 RNAV Prosedür Tasarımı..... | 31 |
| 3.3.1 RNAV prosedür tasarım faktörleri | 32 |
| 3.3.2 Yol bacakları ve geçişler | 35 |
| 3.3.3 Seyrüsefer veritabanı kodlaması..... | 38 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.4 Yol sonlandırıcıları çeşitleri | 39 |
| 3.3.5 İki WP tarafından limitlenmiş bacağın minimum uzunluğu | 47 |
| 4. PMS TEKNİĞİNE DAYALI ÇÖZÜM ÖNERİSİ | 53 |
| 4.1 Toplama Noktası Sistemi | 53 |
| 4.1.1 PMS yol yapısı | 57 |
| 4.1.2 PMS yol tasarım kriterleri | 61 |
| 4.1.3 PMS yararları | 79 |
| 4.1.4 PMS’de sıralama | 82 |
| 4.2 Araştırmanın Tanıtımı | 83 |
| 4.2.1 Deney kabulleri | 85 |
| 4.2.2. Uzantıları kesişen pistler için benzetim modeli | 93 |
| 5. İSTANBUL ATATÜRK HAVALİMANI’NIN UZANTILARI KESİŞEN PİSTLERİ İÇİN PMS TEKNİĞİNE DAYALI GELİŞ TRAFİĞİ SIRALAMA UYGULAMASI | 96 |
| 5.1 İstanbul TMA’nın Oluşturulması | 100 |
| 5.1.1 TMA geliş trafik analizi | 102 |
| 5.1.2 Önceden tanımlanmış WP’ler | 107 |
| 5.2 İstanbul Atatürk Havalimanı PMS Modeli | 110 |
| 5.2.1 PMS tekniği | 111 |
| 5.2.2 Vektör tekniği | 113 |
| 5.3 Vektör Tekniği ve PMS Tekniği Arasında Karşılaştırma | 114 |
| 5.3.1 Kontrolör toplam talimat sayısı | 114 |
| 5.3.2 Kontrolör frekans meşguliyet süresi | 117 |
| 5.3.3 Dikey alçalma profili | 118 |
| 5.3.4 Trafik yörunge düzeni | 121 |
| 5.3.5 Trafik sıralaması | 124 |
| 6. SONUÇ | 127 |
| KAYNAKLAR | 130 |
| Ek-1 Trafik Senaryosu | 144 |
| Ek-2 Dönüş Parametreleri | 146 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1. Pist konfigürasyonları | 3 |
| Şekil 1.2. Avrupa ve Amerika’da pist konfigürasyonları sayısı | 4 |
| Şekil 1.3. Türkiye’deki mevcut pist konfigürasyon sayısı..... | 5 |
| Şekil 2.1. ASP için kullanılan çözüm yöntemleri | 17 |
| Şekil 2.2. Yıllara göre ASP ile ilgili yapılan yayın sayısı | 17 |
| Şekil 2.3. Yıllara göre RNAV ile ilgili yapılan çalışmalar | 21 |
| Şekil 3.1. RNAV girdileri | 23 |
| Şekil 3.2. Geleneksel seyrüsefer, RNAV ve RNP | 24 |
| Şekil 3.3. PBN kavramı | 24 |
| Şekil 3.4. RNAV ve RNP tanıtımı | 26 |
| Şekil 3.5. Mevcut ve gelecek tanıtıcılar | 27 |
| Şekil 3.6. TMA içinde RNAV yollar | 29 |
| Şekil 3.7. Geçiş noktası | 36 |
| Şekil 3.8. Uğrak nokta | 36 |
| Şekil 3.9. Sabit yarıçap dönüş | 37 |
| Şekil 3.10. TF | 40 |
| Şekil 3.11. DF | 40 |
| Şekil 3.12. CF | 41 |
| Şekil 3.13. FA | 41 |
| Şekil 3.14. FM | 42 |
| Şekil 3.15. HM | 42 |
| Şekil 3.16. RF | 43 |
| Şekil 3.17. VA | 43 |
| Şekil 3.18. VI | 44 |
| Şekil 3.19. VM | 44 |
| Şekil 3.20. İki Geçiş noktası arası mesafe | 48 |
| Şekil 3.21. Geçiş noktası-Uğrak nokta arası mesafe | 48 |
| Şekil 3.22. İki Uğrak nokta arası mesafe | 49 |
| Şekil 3.23. Uğrak nokta- geçiş noktası arası mesafe | 49 |
| Şekil 3.24. Minimum stabilizasyon mesafesinin belirlenmesi | 50 |

| | |
|---|-----|
| Şekil.3.25. Minimum stabilizasyon mesafesi- geçiş noktası | 52 |
| Şekil 4.1. PMS yol yapısı | 54 |
| Şekil 4.2. Uçuşun yaklaşma safhası için kontrol fazları ve sektörler | 55 |
| Şekil 4.3. PMS yol yapısı örneği | 57 |
| Şekil 4.4. Point merge operasyon yönteminin temel adımları | 59 |
| Şekil 4.5. Sıralama bacalarının yatay ve dikey tasarım seçenekleri | 60 |
| Şekil 4.6. Temel boyutlandırma parametreleri | 62 |
| Şekil 4.7. Bacak uzunluklarının ayarlanarak ayrılması | 65 |
| Şekil 4.8. Düz ve parçalı sıralama bacaları | 66 |
| Şekil 4.9. Paralel parçalı bacalar için WP'lerin radyale göre hizalanması | 66 |
| Şekil 4.10. Önceden tanımlanmış dönüş noktaları | 67 |
| Şekil 4.11. Sıralama bacalarından ayrılmış bacalara geçiş | 68 |
| Şekil 4.12. Aynı veya zıt yönlü ayırık sıralama bacaları | 69 |
| Şekil 4.13. Paralel sıralama bacaları irtifa tasarım seçenekleri | 70 |
| Şekil 4.14. Üç sıralama bacağı örneği | 71 |
| Şekil 4.15. PMS tasarımında açılar | 72 |
| Şekil 4.16. Sıralama bacağı WP'inde büyük rota değişim açısı | 74 |
| Şekil 4.17. Sıralama bacağı WP'inde büyük rota değişim açısı | 74 |
| Şekil 4.18. Rota açısı değişkenliği (direkt gönderme) | 75 |
| Şekil 4.19. Toplama noktasında uzantıları kesişen açı | 76 |
| Şekil 4.20. Rota açısı değişkenliği (toplama noktasından sonra) | 77 |
| Şekil 4.21. Çoklu PMS-paralel kombinasyon için seçenekler | 78 |
| Şekil 4.22. Ardışık PMS için seçenekler | 79 |
| Şekil 4.23. Az yoğun trafik ile ayırık sıralama bacağı..... | 88 |
| Şekil 4.24. Sıralama bacağının sonundan aynı irtifada dönen ve toplama noktasına alçalarak gelen trafikler | 89 |
| Şekil 5.1. İstanbul Atatürk Havalimanı uydu görüntüsü | 96 |
| Şekil 5.2. 2010 yılı trafik operasyon sayısı..... | 98 |
| Şekil 5.3. Türkiye'deki havaalanları ve 5 yıllık trafik operasyon sayısı | 99 |
| Şekil 5.5. Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında TMA'daki trafik dağılımı..... | 102 |
| Şekil 5.6. Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında TMA'daki toplam trafik sayısı..... | 103 |
| Şekil 5.7. Temmuz ayının günlerine göre trafik dağılımı..... | 103 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 5.8. Geliş yönüne göre trafik dağılımı | 104 |
| Şekil 5.9. 1 saatlik zaman dilimine göre trafik dağılımı | 104 |
| Şekil 5.11. Orta kategorili uçakların yüzdesi | 106 |
| Şekil 5.12. Önceden belirlenmiş dönüş noktaları ile PMS modeli | 109 |
| Şekil 5.13. PMS modeli örneği | 110 |
| Şekil 5.14. İstanbul Atatürk Havalimanı için PMS modeli | 111 |
| Şekil 5.15. LLZ kapsama alanı | 112 |
| Şekil 5.16. 17L ve 23 pistleri için LLZ anten kapsama alanı | 113 |
| Şekil 5.17. Vektör tekniği ile toplam talimat sayısı | 114 |
| Şekil 5.18. PMS tekniği ile toplam talimat sayısı | 115 |
| Şekil 5.19. Ortalama toplam talimat sayısı | 115 |
| Şekil 5.20. Vektör ve Direkt gönderme talimat sayısı | 117 |
| Şekil 5.21. Kontrolör frekans meşguliyet süresi | 118 |
| Şekil 5.22. Doğu yönünden gelen trafiklerin alçalma profili | 119 |
| Şekil 5.23. Kuzey yönünden gelen trafiklerin alçalma profili | 119 |
| Şekil 5.24. Vektör tekniği kullanımında alçalma profili | 120 |
| Şekil 5.25. THY10 çağrı adlı uçağın dikey alçalma profili | 121 |
| Şekil 5.26. PMS ile trafik yörünge görüntüsü | 122 |
| Şekil 5.27. Vektör tekniği ile trafik yörünge görüntüsü | 122 |
| Şekil 5.28. Trafik sırası farklarının toplamı | 126 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|--|-----|
| Çizelge 1.1. 2008-2015 Eurocontrol istatistikleri | 1 |
| Çizelge 3.1. Uçuş fazlarına göre seyrüsefer özelliklerinin uygulanması | 28 |
| Çizelge 3.2. WP tiplerine bağlı dönüş uygunlukları | 38 |
| Çizelge 3.3. ARINC 424 yol sonlandırıcı kodları | 39 |
| Çizelge 3.4. İlk ve son yol sonlandırıcıları | 44 |
| Çizelge 3.5. Yol sonlandırıcı sıralaması | 45 |
| Çizelge 3.6. Yol sonlandırıcılar | 46 |
| Çizelge 3.6. (devam) Yol sonlandırıcılar | 47 |
| Çizelge 4.1. PMS boyutlarındaki değişikliklerin etkileri | 63 |
| Çizelge 4.2. PMS sıralama aşamaları | 83 |
| Çizelge 4.3. Dümensuyu türbülans ayırma kriterleri | 86 |
| Çizelge 5.1. Pist koordinatları ve uzunlukları | 97 |
| Çizelge 5.2. İstanbul TMA koordinatları | 100 |
| Çizelge 5.3. İstanbul TMA giriş noktaları koordinatları | 101 |
| Çizelge 5.4. Wilcoxon işaretli sıralar testi sonucu..... | 116 |
| Çizelge 5.5. PMS ve Vektör tekniği ile trafik sıralaması | 124 |
| Çizelge 5.5. (devam) PMS ve Vektör tekniği ile trafik sıralaması | 125 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α = Bacağa oturma açısı

β = Sıralama bacağını terkedişte rota açısı değişikliği

γ = Toplama noktasında rota açısı değişikliği

θ = Dönüş açısı

c = Yatış zamanı

r = Dönüş yarıçapı

r_1 = İçeri yalpa yarıçapı

r_2 = Dışarı yalpa yarıçapı

V_{TAS} = Hakiki hava sürati

V_{IAS} = İşari hava sürati

ACC : Yol Kontrol Merkezi

Area Control Center

A-CDA : Gelişmiş Devamlı Alçalma Yaklaşması

Advanced Continuous Descent Approach

A/D : Havaalanı

Aerodrome

ADS-B : Otomatik Bağımlı Gözetim Yayını

Automatic Dependent Surveillance- Broadcast

AIAA : Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği

International Air Transportation Association

AIP : Havacılık Bilgi Yayını

Aeronautical Information Publication

| | |
|-----------|--|
| AMSTAR | : Havada Uçak Ayırma Aracı Airborne Merging and Spacing For Terminal Arrivals |
| APP | : Yaklaşma Kontrol Approach Control |
| ARP | : Meydan Referans Noktası Aerodrome Reference Point |
| ASAS | : Havada Ayırma Sistemi Airborne Separation Assurance System |
| ASP | : Uçak Sıralama Problemleri Aircraft Sequencing Problem |
| ATM | : Hava Trafik Yöntemi Air Traffic Management |
| ATS | : Hava Trafik Hizmeti Air Traffic Service |
| B-RNAV | : Temel Saha Seyrüseferi Basic Area Navigation |
| Baro-VNAV | : Barometrik Dikey Seyrüsefer Barometric Vertical Navigation |
| CA | : İrtifaya uçuş yolu Course to an Altitude |
| CANSO | : Sivil Hava Seyrüsefer Hizmetleri Teşkilatı Civil Air Navigation Services Organization |
| CDO | : Devamlı Alçalma Operasyonları Continuous Descent Operations |

| | |
|-----------------|---|
| CF | : Fikse Uçuş Yolu Course to a Fix |
| CO ₂ | : Karbondioksit |
| CPS | : Kısıtlı Yer Değiştirme Constrained Position Shifting |
| DF | : Direkt fikse Direct to Fix |
| DHMI | : Devlet Hava Meydanları İşletmesi |
| DME | : Distance Measuring Equipment Mesafe Ölçüm Cihazı |
| ECAC | : Sivil Havacılık Konferansı European Civil Aviation Conference |
| EEC | : Eurocontrol Araştırma Merkezi Eurocontrol Experimental Center |
| ETA | : Tahmini Geliş Zamanı Estimated Time Arrival |
| E-TMA | : Uzatılmış Terminal Sahası Extended Terminal Area |
| EUROCONTROL: | Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı The European Organisation for the Safety of Air Navigation |
| FA | : Fiksten İrtifaya Uçuş Yolu Course from a fix to an altitude |
| FAA | : Federal Havacılık İdaresi Federal Aviation Administration |

| | |
|----------|--|
| FACF | : Son Yaklaşma Korusu Fiksi Final Approach Course Fix |
| FAF | : Son Yaklaşma Fiksi Final Approach Fix |
| FAP | : Son Yaklaşma Noktası Final Approach Point |
| FAST | : Son yaklaşımda Ayırmaya Yardımcı Karar Destek Aracı Final Approach Spacing Tool |
| FCFS | : İlk Gelene İlk Hizmet First In First Service |
| FFT | : Uçuş Teknik Toleransı Flight Technical Tolerance |
| FIR | : Uçuş Bilgi Bölgesi Flight Information Region |
| Fly-by | : Geçiş Noktası |
| Fly-over | : Uğrak Nokta |
| FM | : Fiksten Manüel Sonlandırma Course from a fix to a manual termination |
| FMS | : Uçuş Yönetim Sistemi Flight Management System |
| GNSS | : Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi Global Navigation Satellite System |
| GPS | : Küresel Konum Belirleme Sistemi Global Positioning System |

| | |
|------|---|
| HM | : Bekleme noktasından vektörle çıkış Holding/Racetrack to a manual termination |
| IAF | : İlk Yaklaşma Fiksi Initial Approach Fix |
| ICAO | : Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı International Civil Aviation Organization |
| IF | : Orta Yaklaşma Fiksi Intermediate Fix |
| IF | : Başlangıç Fiksi Initial Fix |
| IFR | : Aletli Uçuş Kuralları Instrument Flight Rules |
| ILS | : Aletli İniş Sistemi Instrument Landing System |
| IMC | : Aletli Uçuş Şartları Instrument Meteorological Conditions |
| LLZ | : Lokalizer Localizer |
| MAHF | : Pas Geçme Bekleme Fiksi Missed Approach Holding Fix |
| MAPt | : Pas Geçme Noktası Missed Approach Point |
| MRVA | : Minimum Radar Vektör İrtifası Minimum Radar Vectoring Altitude |

| | |
|----------|--|
| MSA | : Minimum Sektör irtifası Minimum Sector Altitude |
| NASA | : Amerikan Havacılık ve Uzay Dairesi National Aeronautics and Space Administration |
| NDB | : Yönlendirilmemiş Radyo Bikını Non- directional Radio Beacon |
| NM | : Deniz mili Nautical mile |
| PANS-ATM | : Hava Seyrüsefer Hizmetleri için Prosedürler ve Hava Trafik Yönetimi Procedures for Air Navigation Services and Air Traffic Management |
| PANS-OPS | : Hava Seyrüsefer Hizmetleri için Prosedürler ve Uçak Operasyonları Procedures for Air Navigation Services- Aircraft Operations |
| PBN | : Performansa Dayalı Seyrüsefer Performance-based Navigation |
| PMS | : Point Merge Sistemi Point Merge System |
| P-RNAV | : Hassas Saha Seyrüseferi Precision Area Navigation |
| RF | : Sabit Yarıçap Dönüş Constant Radius Arc to a Fix |
| RNAV | : Saha Seyrüseferi Area Navigation |

| | |
|-----------------|--|
| RNP | : Gerekli Seyrüsefer Performansı Required Navigation Performance |
| RNP APCH | : RNP Yaklaşması RNP Approach |
| RNP AR APCH: | Yetki gerektiren RNP yaklaşması RNP Authorisation Required Approach |
| SAGAT | : Küresel Durumsal Farkındalık Değerlendirme Tekniği Situation Awareness Global Assessment Technique |
| SID | : Standart Aletli Kalkış Rotası Standart Instrument Departure |
| SO ₂ | : Kükürtdioksit |
| SPACR | : Kesişen Rotalardaki Geliş Trafiklerinin Performansa Dayalı Ayrılması için Araç Spacing of Performance-based Arrivals on Converging Routes |
| STAR | : Standart Terminal Geliş Yolu Standart Terminal Arrival Route |
| TA | : Zaman Kazancı Time Advanced |
| TARGET | : Terminal Saha Rota Yapımı, Değerlendirmesi ve Trafik Simülasyon Aracı Terminal Area Route Generation, Evaluation, and Traffic Simulation Tool |
| TMA | : Terminal Manevra Sahası Terminal Maneuvering Area |

| | |
|---------|---|
| TOPAZ | : Trafik Organizasyon Analiz Aracı Traffic Organization and Perturbation Analyzer |
| VOR | : Çok Yüksek Frekanslı Çok Yönlü Verici Very High Frequency Omni-directional Radio Range |
| VORTAC | : VOR ve Taktik Hava Seyrüsefer Yardımcısı VOR and Tactical Air Navigation Aid |
| TCAS-RA | : Trafik Çakışma Uyarı Sistemi Çözüm Tavsiyeleri Traffic Alert and Collision Avoidance System- Resolution Advisories |
| TF | : Fiske rota Track to Fix |
| TOD | : Alçalmaya başlama noktası Top of Descent |
| VA | : İrtifaya vektörle rota Heading to an Altitude |
| VI | : Bir sonraki bacak için vektör Heading to an intercept |
| VM | : Vektör rota Heading to a manual termination |
| VNAV | : Dikey Seyrüsefer Vertical Navigation |
| WGS-84 | : Dünya Jeodezik Sistem 84 World Geodetic System |
| WP | : Sanal nokta Waypoint |

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Tanıtılması

Günümüzde hava taşımacılığına olan talep sürekli olarak artış göstermektedir. Talebin giderek büyümesi, hava sahası içerisindeki uçak operasyonlarının sayısının artmasına neden olmaktadır. Bu kapsamda, Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı'nın (EUROCONTROL-The European Organisation For The Safety of Air Navigation) özellikle Avrupa Sivil Havacılık Konferansı (ECAC- European Civil Aviation Conference) hava sahası için yapmış olduğu çalışmada orta vade (2009-2015) için hava trafiğinin yıllık ortalama %2,1, uzun vade (2009-2030) için ise %2,2-%3,5 artış göstererek değişeceği öngörülmektedir. Eurocontrol, Türkiye için yıllık trafik artışını %5,9 olarak öngörmüştür (Çizelge 1.1) [1].

Çizelge 1.1. 2008-2015 Eurocontrol istatistikleri [1]

| | | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | AAGR 2015/ 2008 |
|-------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| Slovenia | H | . | . | . | . | . | 336 | 351 | 371 | 397 | 420 | 444 | 468 | 5.3% |
| | B | 222 | 257 | 267 | 306 | 327 | 320 | 327 | 342 | 362 | 377 | 394 | 411 | 3.3% |
| | L | . | . | . | . | . | 305 | 303 | 313 | 326 | 337 | 349 | 361 | 1.4% |
| Spain | H | . | . | . | . | . | 1,688 | 1,752 | 1,847 | 1,936 | 2,016 | 2,115 | 2,218 | 3.5% |
| | B | 1,470 | 1,561 | 1,641 | 1,779 | 1,747 | 1,622 | 1,663 | 1,722 | 1,789 | 1,848 | 1,909 | 1,971 | 1.7% |
| | L | . | . | . | . | . | 1,557 | 1,537 | 1,566 | 1,613 | 1,648 | 1,686 | 1,722 | -0.2% |
| Sweden | H | . | . | . | . | . | 709 | 727 | 763 | 806 | 842 | 882 | 921 | 3.3% |
| | B | 665 | 664 | 689 | 708 | 736 | 684 | 687 | 713 | 746 | 772 | 801 | 831 | 1.7% |
| | L | . | . | . | . | . | 658 | 645 | 660 | 685 | 703 | 723 | 744 | 0.1% |
| Switzerland | H | . | . | . | . | . | 1,085 | 1,124 | 1,172 | 1,224 | 1,268 | 1,317 | 1,366 | 3.2% |
| | B | 977 | 1,008 | 1,032 | 1,093 | 1,096 | 1,040 | 1,057 | 1,091 | 1,133 | 1,163 | 1,196 | 1,230 | 1.7% |
| | L | . | . | . | . | . | 997 | 983 | 1,001 | 1,032 | 1,052 | 1,075 | 1,096 | -0.0% |
| Turkey | H | . | . | . | . | . | 858 | 908 | 990 | 1,083 | 1,176 | 1,254 | 1,331 | 7.1% |
| | B | 562 | 642 | 693 | 757 | 822 | 830 | 859 | 924 | 999 | 1,070 | 1,151 | 1,228 | 5.9% |
| | L | . | . | . | . | . | 800 | 803 | 852 | 912 | 966 | 1,028 | 1,092 | 4.1% |
| Ukraine | H | . | . | . | . | . | 420 | 440 | 476 | 526 | 565 | 609 | 655 | 7.1% |
| | B | 312 | 341 | 345 | 373 | 406 | 404 | 411 | 440 | 479 | 510 | 547 | 583 | 5.3% |
| | L | . | . | . | . | . | 389 | 387 | 409 | 442 | 466 | 494 | 522 | 3.7% |

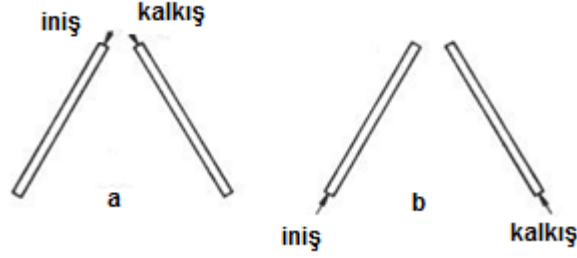
Artan bu talebi karşılamak üzere gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Aksi halde, hava sahası kapasitesi uçak operasyonları için yetersiz kalacak, bunun sonucunda gecikmeler ve tıkanıklıklar ortaya çıkacaktır. Bu durumda; kapasiteyi arttırmak için yeni pist yapımı, seyrüsefer ekipmanlarının geliştirilmesi gibi temelde yapılması gerekli uzun vadeli ve maliyeti yüksek değişikliklere ihtiyaç olabileceği gibi hava sahası ve hava trafik hizmet yol ağının tekrardan yapılandırılmasına da ihtiyaç olacaktır [2]. Talebin artmasıyla hava trafik kontrolörünün sorumluluğu altındaki trafik sayısı artmakta ve böylece verilen talimat sayısında ve frekans meşguliyet süresinde de artış olmaktadır. Ayrıca verilen her talimatın pilot tarafından uygun şekilde yerine getirilip getirilmediğinin de izlenmesi ilave iş yükü getirmektedir.

Bu nedenlerle, özellikle yoğun havaalanlarında Terminal Kontrol Sahasındaki (TMA-Terminal Control Area) karmaşıklığı, tıkanıklığı, kısacası kapasite problemlerini önlemek, bunun yanı sıra; gürültü ve emisyon gibi çevresel etkileri en aza indirmek, uçakların uygun dikey alçalma profillerinde uçmasına imkan tanıyarak, yakıt tüketiminde tasarruf sağlamak, kontrolörlerin en az talimat ile uçakları yönetmesine ve sıralamasına olanak vermek, ayrıca kontrolörün frekans meşguliyet süresinin azalmasını da sağlamak amacıyla, Eurocontrol tarafından, Toplama Noktası Sistemi (PMS-Point Merge System) olarak ifade edilen yeni bir teknik geliştirilmektedir. Toplama Noktası Sistemi çalışma içerisinde PMS kısaltması ile kullanılacaktır.

Bu çalışmada, Performansa Dayalı Seyrüseferin (PBN-Performance-based Navigation) bir parçası olan Saha Seyrüseferine (RNAV-Area Navigation) dayalı yol yapısına sahip yeni bir teknik olan PMS ile uzantıları kesişen pistlere geliş trafiklerinin sıralanması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında, pist kapasitesini etkileyen önemli faktörlerden biri olan pist konfigürasyonu göz önüne alınarak incelenmiştir. Halen araştırma geliştirme çalışmaları devam eden PMS'nin, özellikle tek pist ve paralel pistlere uygulama çalışmalarının devam ettiği dikkate alınarak bu çalışmada, uzantıları kesişen pistler için bu tekniğin uygulanması uygun görülmüştür. Mevcut pist

konfigürasyonlarının en temel şekilleri; tek pist, paralel pist, kesişen pist ve açık – V pisttir [3].

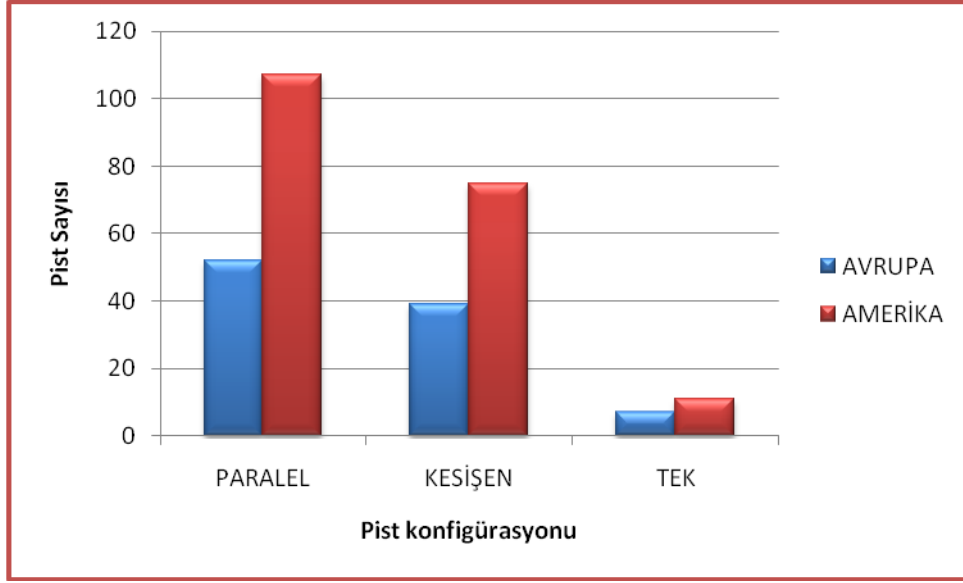


Şekil 1.1. Pist konfigürasyonları [3]

Açık- V pistler, birbirini kesmeyen farklı yönlerdeki pistlerdir.

- Operasyonun Şekil 1.1b’de gösterildiği gibi uygulanması durumunda [3], iki veya daha fazla pistin manyetik doğrultusu, kesişen uçuş yollarına sahip olacaksa ve fiziksel olarak bu pistlerin yüzeyleri kesişmiyorsa uzantıları kesişen (converging) pist [4],
- Operasyonun Şekil 1.1a’da gösterildiği gibi uygulanması durumunda ise, ayrılan (diverging) pist olarak tanımlanmaktadır [3].

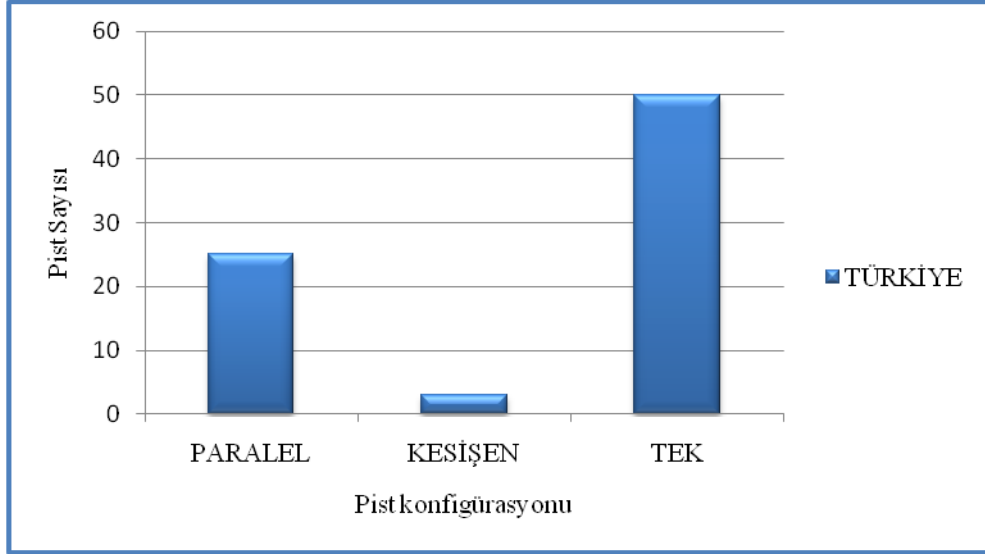
Çalışmada Avrupa ve Amerika’daki mevcut havaalanlarının özellikle 2006 yılı için yıllık uçak operasyon sayıları dikkate alınarak sayısal bir araştırma yapılmıştır. Bu analizde yıllık trafik sayısı en fazla olan ilk 35 havaalanı dikkate alınmış ve analiz sonucuna göre Şekil 1.2 elde edilmiştir.



Şekil 1.2. Avrupa ve Amerika’da pist konfigürasyonları sayısı

Şekil 1.2’deki sonuçtan da görüldüğü gibi, Avrupa ve Amerika’da yıllık operasyon sayısı en fazla olan ilk 35 havaalanında kullanılan konfigürasyon, paralel pist konfigürasyonudur. Bununla birlikte en yoğun havaalanlarında kesişen ya da uzantıları kesişen pist sayısının da paralel pist sayısına yakın olduğu görülmektedir.

2011 yılı Türkiye Havacılık Bilgi Yayını’na (AIP-Aeronautical Information Publication) göre Türkiye’de uluslararası, yurtiçi, askeri ve sivil-askeri olmak üzere toplam 63 havaalanı bulunmaktadır [5]. Bu havaalanlarının mevcut pist konfigürasyonları incelenmiştir. Pist sayısı ve pist konfigürasyonu arasındaki ilişki Şekil 1.3’te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Türkiye’deki mevcut pist konfigürasyon sayısı

Türkiye’deki havaalanlarının çoğunda tek pist konfigürasyonunun mevcut olduğu görülmektedir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi’nin (DHMİ) 2010 İstatistik Yıllığı’na göre, 2010 yılı trafik yoğunluğuna göre yapılan sıralamada 288.246 operasyon sayısı ile İstanbul Atatürk Havalimanı en yoğun havaalanıdır [6]. İstanbul Atatürk Havalimanı 35R/17L, 35L/17R ve 23/05 konfigürasyonundaki pistlere sahiptir.

Dünyada, araştırma geliştirme çalışması olarak devam eden ve halen uygulamaya geçmemiş olan PMS’nin paralel ve tek pistler için uygulama çalışmaları planlanmış olmasına rağmen, kesişen ya da uzantıları kesişen pistler için herhangi bir uygulama planı literatür araştırmasında bulunmamıştır.

Bu çalışmada ise, özellikle uzantıları kesişen pistlerde PMS tekniğine dayalı geliş trafiklerinin sıralanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanacak PMS modelinin, uzantıları kesişen pist konfigürasyonundaki havaalanlarında RNAV’a dayalı Standart Terminal Geliş Yolu (STAR-Standart Terminal Arrival Route) önerisi geliştirilecektir. Geliştirilen modelin, çalışma alanı olarak İstanbul Atatürk Havalimanı’na uygulanmasına ve özellikle uzantıları kesişen pistlerde geliş trafiklerinin sıralanması açısından faydalarının araştırılmasına odaklanılmıştır.

Radarlı hava trafik kontrolünde yaygın olarak kullanılan yöntem vektör tekniğidir. Uygulamada hava trafik kontrolörüne esneklik sağlayan bu teknik, özellikle hava trafiğinin yoğun olduğu durumda verilen talimat sayısında ve frekans meşguliyet süresinde artış sağlayarak kontrolör iş yükünü arttırmaktadır. Aynı zamanda trafiklerin yörünge dağılımlarını kontrol altına almakta zorluk getirebilmektedir.

Vektör tekniği kullanımına ihtiyaç olmaksızın uçağı son yaklaşma safhasına hazırlayan ilk yaklaşma safhasının bir parçası olan PMS, Hassas RNAV'a (P-RNAV- Precision Area Navigation) dayalı yol yapısına sahip bir RNAV STAR'dır [7]. Bu çalışmada uzantıları kesişen pistler için RNAV 1 yol yapısına dayalı PMS model tasarlanarak simülasyon ortamına aktarılmıştır. PMS modelini kullanarak uzantıları kesişen pistlere gelen trafiğin sıralaması için hazırlanan senaryo hem vektör hem de PMS tekniği kullanılarak gerçek zamanlı olarak simülasyonda test edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

1.2 Konunun Önemi

Hava trafiğindeki artış, hava sahası içerisinde mevcut trafik seviyesini muhafaza etmeyi hatta daha fazla trafiğe hizmet vermeyi gerekli kılmaktadır. Trafiğin giderek artması geciktirmeleri de beraberinde getirmektedir. Günümüzde emniyeti sağlamak amacıyla hava trafiği vektörleme yapılarak, beklemeye alınarak ya da hız kontrolü yapılarak geciktirilmekte ve yönetilmektedir. Bu yöntemler iş yükünü arttırmakta ve hava sahası kapasitesini sınırlamaktadır. Bu nedenle, özellikle TMA açısından bakıldığında; yoğun havaalanlarında pist konfigürasyonuna bağlı olarak, çeşitli geliş prosedürleri tasarlanabilir. Çeşitli hava şartlarında, gelen ve kalkan trafik sayısını maksimuma ulaştırmada esneklik sağlayan özel konfigürasyonlar ve rotalar seçilebilir.

Günümüzde gelişmekte olan performansa dayalı seyrüsefer uygulaması ile hava sahasının daha verimli şekilde kullanılması hedeflenmektedir. PBN içinde yer alan RNAV ve Gerekli Seyrüsefer Performansı (RNP-Required Navigation Performance); uçaklara, yere dayalı seyrüsefer yardımcılarını üzerinden uçmak

yerine direkt rotalar kullanarak operasyonlarını gerçekleştirme olanağı sağlamaktadır. Aynı zamanda direkt uçuşlar ile uçuş mesafesi kısalmakta, yakıt ve zaman tasarrufu sağlanarak çevresel etkiler de minimuma indirilmiş olmaktadır. Buna ilave olarak hava trafik kontrolörlerinin uçağı yönlendirmek için çok fazla sayıda vektör talimatı vermesine gerek kalmayacaktır. Kontrolörler ve pilotlar arasındaki iki yöllü frekans meşguliyet süresi azalacak ve bunun sonucunda kontrolör ve pilot iş yükünde önemli derecede azalma sağlanacaktır [8].

Uçuş verimliliğı, farklı kavram ve anlamları ifade eden jenerik bir terimdir. Hava ulaştırma faaliyetlerinde uçuş verimliliğini havacılığın her alanı kendisine göre yorumlamaktadır [8]. Uçuş verimliliğı gerçek uçuşlar ve ideal uçuşlar arasındaki farkları ölçer.

Eurocontrol, Sivil Hava Seyrüsefer Hizmetleri Teşkilatı (CANSO-Civil Air Navigation Services Organization) ve Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliğı (IATA-International Air Transportation Association) 2008 yılında yayınladıkları bir raporda, yakıt ve emisyon tasarrufuna yönelik Avrupa hava sahasında uçuş verimliliğı konusunda bir eylem planı üzerinde ortak görüşlerine yer vermişlerdir. Bu plan Avrupa hava sahası yol tasarımının geliştirilmesi, yol ağının uyumluluğunun ve hava sahası kullanımlarının iyileştirilmesi, TMA tasarım ve kullanım verimliliğinin artırılması, havaalanı operasyonlarının optimizasyonu ve performans farkındalığının artırılmasıdır. Bu planın tam olarak uygulanması ile Eurocontrol, yıllık 470.000 ton yakıt, 1.550.000 ton CO₂ ve bunlara ilişkin olarak 390 milyon Euro tasarruf sağlanabileceğini öngörmektedir [9].

Eurocontrol Araştırma Merkezi (EEC- Eurocontrol Experimental Center) ve Federal Havacılık İdaresi'nin (FAA-Federal Aviation Administration) uçuş verimliliğı alanında birlikte yaptığı çalışmada, gerçek uçuş yolu ile direkt rota uzunluğu arasındaki uçuş mesafe farkları incelenmiştir. Yol (Enroute) ve TMA arasındaki uçuş verimsizliğinin önemi araştırıldığında, ABD'de toplam uçulan fazla mesafenin %70'inin TMA'da ve kalan % 30'unun yol hava sahasında olduğu bulunmuştur. Avrupa çalışmaları da bu bulguyu Paris Orly-Nice ve Londra Heatrow-Cenevre ve Birmingham-Copenhagen havaalanı çiftlerine dayalı

olarak yapılan analizlerde gözlenen verimsizliğin çoğunun 50NM yarıçaplı daire içindeki TMA içinde gerçekleştiğini desteklemektedir [8].

Aynı zamanda TMA uçuş verimliliğine yönelik MITRE'nin Las Vegas McCarran Uluslararası havalimanı için yaptığı bir diğer çalışmasında ise vektör kullanımı ile RNAV kullanımı uçuş mesafesi ve uçuş zamanı açısından karşılaştırılmış ve TMA'da RNAV kullanımının uçuş verimliliğini arttırdığı desteklenmiştir [10].

Bu nedenle, bu çalışmada uçuş verimliliğinin RNAV prosedürler ile sağlanması amaçlanmış ve maksimum fayda sağlanabilmesi için TMA uygulama alanı olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada RNAV 1 yol yapısına dayalı, özellikle TMA içerisinde vektör tekniği kullanmaksızın geliş trafiklerinin bir araya toplanmasını ve sıralanmasını amaçlayan yeni bir teknik olan PMS kullanılacaktır. Bu kapsamda, içerisinde PMS tekniğinin, yaklaşma safhasındaki uçakların en uygun sıralama ile özellikle uzantıları kesişen pistler için uygulanması sağlanacaktır. Bu tekniğe dayalı oluşturulacak geliş modeli, kontrolörün verdiği toplam talimat sayısı ve kontrolör frekans meşguliyeti açısından incelenecektir. Bu bağlamda vektör tekniği kullanmaksızın geliş trafik akışının sıralanmasını sağlayan, RNAV 1'e dayalı yeni bir teknik olan PMS'nin, özellikle uzantıları kesişen pistler için geliştirilmesi, TMA verimliliğinin kontrolörün verdiği toplam talimat sayısı ve kontrolör frekans meşguliyet süresi açısından arttırılması yönüyle önem kazanmaktadır.

1.3 Çalışma Düzeni

Bölüm 2'de TMA'da geliş trafiği sıralama yöntemleri ve TMA'da RNAV kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmektedir. PMS tekniğinin dayalı olduğu yol yapısı RNAV STAR kavramı Bölüm 3'te tanıtılmaktadır. Bölüm 4'de, TMA'da geliş trafik sıralamasına imkan tanıyan yeni bir teknik olan PMS'nin detaylı olarak anlatılması ve PMS modelinin tasarlanması yer almaktadır. Son bölümde ise, tasarlanan PMS modelinin çalışma alanı olarak seçilen İstanbul Atatürk Havalimanı 17L ve 23 uzantıları kesişen konfigürasyondaki pistlerine

uygulanması ve gerçek zamanlı simülasyon ortamında test edilerek elde edilen sonuçları yorumlanmaktadır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1 Sıralama Yöntemlerinin İncelenmesi

Günümüzde hava trafik talebi devamlı olarak artış göstermektedir. Bu durum özellikle çok yoğun meydanlarda kontrolörün geliş trafiklerini en uygun sıralama ile son yaklaşma noktasına getirmek için kısa sürede karar vermesini gerektirmektedir. Çok yoğun trafik şartlarında bu durum kontrolörün iş yükünde artış meydana getirmektedir.

Geliş trafiklerinin sıralanmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'nın (ICAO- International Civil Aviation Organization) Dokümanı "Devamlı Alçalma Operasyonları (CDO-Continuous Descent Operations)" Manual'e göre optimum iniş eğimini muhafaza etmek için otomatik sıralama, hız ve vektör tekniği olmak üzere üç yöntem mevcuttur. Otomatik sıralama yöntemleri; geliş zamanı, trafik yönetimi tavsiye ekranları ve bağıl pozisyon göstergeleri gibi yöntemlerdir. Hız yöntemi; prosedür uygulaması öncesinde hız kontrolünün yapılmasıdır. Hız kontrolü ile uçaklar arasında ayırmalar sağlanarak, farklı uçak performanslarında tutarlılık sağlanmaktadır. Vektör tekniği yöntemi; geliş trafiğinin sıralanmasında ve kapasitenin muhafaza edilmesinde en esnek ve en sık kullanılan yöntemdir. Buna rağmen, bu yöntem pilota uçuş yolunun mesafesi için en az tahmin edilebilirlik sağlamaktadır.

Bu çalışmanın en önemli kısmını oluşturan PMS tekniği ICAO'nun sıralama yöntemlerine bir yenisi olarak eklenmiştir. Bu teknik ile uçak, toplama noktasına direkt gönderilme talimatı alıncaya kadar genellikle uçuş seviyeleri ile kısıtlanan daire yayı olarak belirlenen RNAV rotayı takip etmektedir [11]. Böylelikle önceden belirlenmiş sıralama bacakları üzerinde gecikmesi sağlanarak, sırası gelen uçak iniş için toplama noktasına gönderilecektir.

Boursier ve ark. (2007) PMS tekniğini, geliş trafik akışının vektör talimatı kullanmadan bir nokta üzerinde toplanması olarak açıklamaktadır. Toplama noktasına standart uzaklıktaki önceden tanımlanmış bacaklar kullanılarak uçuş rotasının uzatılması veya kısaltılması ile uçaklar arasındaki sıralama sağlanmaktadır [12].

Geliş trafiklerinin sıralanmasına ilişkin diğer kaynaklar incelendiğinde, en verimli iniş sırasını otomatik olarak planlamak ve tüm geliş trafiklerinin iniş zaman aralıklarını optimum şekilde atamak amacıyla çizelgeleme algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir. Çizelgeleme, uçaklar için geliş sıralamasına düzen getirmektedir [13].

Wang (2009)'a göre, Uçak Sıralama Problemleri (ASP-Aircraft Sequencing Problem) hava trafik kontrol operasyonlarında önemli konulardan birisidir. Çok kısıtlı problem olması nedeniyle verimli optimal çözümün bulunması zordur [14]. Bu nedenle çok farklı çözüm yöntemleri kullanılmıştır. Bunlar; matematiksel programlama (dinamik programlama, lineer programlama, tamsayılı programlama) dal-sınır yöntemi, genetik algoritmayı (scatter search, bionomic algoritma, karınca kolonileri ile optimizasyon) da içine alan sezgisel algoritma ve son yıllarda önem kazanmaya başlayan ve geliştirilen sıralama araçlarıdır. Sıralama araçları, uçakların üzerinde bulunduracağı ekipman ya da kontrolöre sağlanan yardımcı karar destek araçlarını ifade etmektedir. Bu çözüm yöntemleri çoğu zaman ise farklı amaç fonksiyonlarını yerine getirebilmek için birlikte kullanılmıştır.

Bu bölümde, uçak sıralama problemlerinin çözümüne ilişkin sıralama stratejileri incelenecektir.

2.1.1 İlk gelene ilk hizmet

Uçakların iniş sıralamasının atanmasında en yaygın ve basit yaklaşım ilk gelene ilk hizmet sıralamasını (FCFS-First in First Service) muhafaza etmektir. FCFS ile uçaklar, piste olan tahmini geliş zamanına göre iner ve gerekli ayırma minimumlarını (birbirlerini takip eden uçakların ağırlık sınıflarına bağlı olan) korumak için sadece uygun gecikme zamanlarını ekleme işleminde kontrolörlere ihtiyaç duyarlar.

FCFS'nin iki tane avantajı vardır. FCFS programı, uygulaması oldukça kolay bir metottur, kontrolörün iş yükünü fazlalaştırmaması sebebiyle de emniyeti artırır. Diğer avantajı ise; uçağın piste ulaşacağı sıra içinde inişini gerçekleştirilmesi nedeniyle adil bir yöntem olmasıdır. Konuya ilişkin Lee'nin

(2008) ifade ettiği gibi, aynı zamanda FCFS programı, bütün uçaklar birbirinden eşit uzaklıkta olduğunda gecikmelerin standart sapmalarını minimize eder [15].

PMS tekniği de FCFS yöntemi ile benzerlik göstermektedir. PMS'de trafikler piste olan tahmini zamanlarına göre değil, toplama noktasına olan tahmini zamana göre inişini gerçekleştirmektedir.

2.1.2 Zaman kazancı

Mevcut FCFS sırasını değiştirmeksizin ortalama gecikme zamanını azaltmada en verimli yöntem Zaman Kazancı (TA-Time Advanced) metodudur. Bu yaklaşımda gruptaki ilk uçağın geliş tahmini zamanından (ETA-Estimated Time Arrival) daha erken ulaşması için hızı arttırılır böylelikle gruptaki diğer uçakların gecikmeleri aynı oranda azaltılabilir. Hız arttırımı daha fazla yakıt gerektirmektedir. Bu nedenle, izleyen uçağın gecikmeye maruz kalması halinde, ilk uçağın orijinal tahmini geliş zamanından daha erken gelmesi bu gecikmeyi azaltacaksa ilk uçağın hızı arttırılır. Bu metot aynı zamanda ağır (heavy) kategorideki trafiklerin olması durumunda, FCFS programları ile doğal olarak meydana gelen trafik grupları arası fazla mesafeyi de azaltır [15].

2.1.3 Kısıtlı yer değiştirme

Geliş uçaklarının sıralamasının değişmesi ile, hava trafik akışındaki uçak sayısı artabilir çünkü birbirine yakın iki uçak arasındaki gerekli ayırmalar ağırlık sınıflarına dayalıdır ve ayırmadaki bu gibi farklılıklar iniş sıralamasını optimize etmede fırsat sağlayabilir. Bunun yanı sıra;

- i) sistemin kontrolörlere yeniden sıralama işleminin için kısıtlı esneklik vermesi,
- ii) nominal veya öncelikli programdan büyük çapta sapmalar,

havayolu şirketlerince adil olmayan bir durum olarak kabul edilmesi nedeniyle nominal sıralamada büyük sapmalara izin verilmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Kısıtlı Yer Değiştirme (CPS- Constrained Position Shifting) belirlendiğinde uçak FCFS sırasından belirlenen maksimum pozisyon sayısı kadar yer değiştirebilir. Maksimum yer değiştirme sayısı 2 olarak belirlenmişse; FCFS sıralamasında 8 inci olan uçak, son sıralamada 6, 7, 8, 9, 10. olabilir.

CPS yöntemi, ilk iniş sıralamasına FCFS ile karar verildiğini kabul eder ve bütün uçaklar toparlandığında çok yararlı, gelişler arası ayırma ise minimumdur. İniş sıralaması tekrar düzenlendiğinde ve sıralamadaki uçakların orijinal pozisyonunun birkaç defadan fazla değişmediği durumda; inişteki ilk uçakla son uçak arasındaki toplam süre azaltılabilir. CPS in ek avantajı; FCFS sıralamasından kısıtlı sayıda sapma olacağı için, havayolu işleticileri açısından adil davranışın muhafaza edilmesine yardımcı olmasıdır ve aynı zamanda pilotlar için pozisyon ve iniş zamanlarının tahmin edilebilirliğini artırır.

CPS yöntemi kavramsal olarak çok basit görünse de; Terminal Kontrol Sahasındaki (TMA-Terminal Control Area) uçakların geliş zamanlarının gelişigüzel/rastgele olmasından kaynaklanan, geliş sıralamasındaki gruplar ve boşluklar nedeniyle gerçek zamanlı simülasyonda uygulanması çok karmaşıktır [15].

Uçak sıralama problemleri için ilk araştırma 1976 yılında **Dear** tarafından yapılmıştır. FCFS'den sapmayı kısıtlayan ilk CPS metodunu önermiş ve optimal sırayı bulmak için bütün olası sıralamaları numaralandırarak uçak sıralama problemini çözmüştür. Bu yaklaşım çok sayıdaki uçaklar için pratik/kullanışlı bir yöntem değildir. Dear ve Sherif; tek pist programlaması için ayırma gereklilikleri ve maksimum pozisyon değiştirme parametrelerini kabul ederek sezgisel bir algoritma sunmuştur. Maksimum pozisyon değiştirme kısıtı ile uçaklar FCFS sırasından bu belirlenen parametre değerinden fazla yer değiştiremez [16].

Neuman ve Erzberger (1990) değiştirilmiş FCFS, sezgisel TA, yakıt tasarruflu TA, tek pozisyon değişimi ile optimal CPS ve sezgisel CPS'yi kapsayan çeşitli programlama algoritmalarını değerlendirmiş ve çeşitli senaryolarda bu algoritmaların istatistiki olarak analizini gerçekleştirmiştir [13].

2.1.4 Dinamik programlama

Bazı araştırmacılar uçak sıralama problemlerini iş çizelgeleme problemleri gibi modellemiştir. Bu noktadan bakıldığında; pistler ve uçaklar, makine ve işleri göstermektedir. Uçaklar arası ayırma gereklilikleri ise; aynı makinede birbirini

takip eden işlere bağlı olan makinenin işlem sürecidir. Bu nedenle; uçak sıralama problemleri, **Beasley**'in gösterdiği gibi işleme zamanına ve zaman penceresine bağlı sıralama ile iş çizelgeleme problemlerinin özel bir durumudur [15].

Dear'ın CPS yöntemine karşılık 1980 yılında **Psarftis**, iş çizelgeleme problemlerinin özel bir uygulaması olarak tek piste geliş uçaklarının sıralaması probleminin çözümü için dinamik programlama içerisine CPS dahil etmiştir. Problemi polinom zamanda çözmüş olmasına rağmen; geliş zaman penceresi olarak bilinen, uçakların belirli bir menzil içine düşmesini engellemek için her bir uçağın iniş zamanındaki kısıtlarını göz önüne almamıştır [17].

Bianco ve ark. (1987, 1997) tamsayılı programlama yaklaşımını kullanarak, TMA içindeki geliş trafiklerinin optimal sıralamasına karar vermişlerdir. Uçak sıralama problemleri için iş (job shop) çizelgeleme görüşünü benimsemiştir ve tek piste iniş problemlerini karma tamsayılı doğrusal program kullanarak çözmüştür [16].

Trivizas, optimal CPS iniş sıralamasını hesaplamak için dinamik programlama yaklaşımı amaçlamıştır fakat; uçaklar arasında öncelik ilişkisi göz önüne alınmamıştır. Halbuki, hava trafik kontrol sistemlerinde uçakların bazı durumlarda aynı yol üzerinde birbirini geçmelerine izin verilmemesi ve havayolu şirketlerinin yatırım stratejilerinden dolayı öncelikli olan tercihlere sahip olabilmeleri nedeniyle öncelik sırası önemlidir [15].

Ernst, uçak çizelgeleme problemleri için fast simplekse dayalı lower-bound metodunu geliştirmiştir, bu yöntemi tek ve çoklu pist problemlerini çözmek için dal-sınır metodu ile birlikte kullanmıştır [18].

Bayen, uçak sıralama problemlerini tek makine çizelgeleme problemi olarak formüle etmiştir. Toplam gecikmeleri ve en son uçağın sıralamadaki iniş zamanını (üretim süresi-makespan) minimize etmek için Approximation (yaklaştırma) algoritmalarını önermiştir [19].

Balakrishnan ve Chandran, pist çizelgeleme problemini ağ üzerinde değiştirilmiş en kısa yol problemi olarak ortaya çıkarmıştır ve bunu dinamik

programlama ile çözmüştür. Balakrishnan ve Chandran, bu yaklaşımın pratikte ortaya çıkacak tüm operasyonel kısıtların üstesinden geleceğini ve gerçek zamanlı uygulama için hesaplama süresinin yeterince küçük olduğunu göstermişlerdir [15].

2.1.5 Sezgisel algoritma

Venkatakrishnan, Boston daki Logan Havaalanında iniş trafiği arasındaki ayırma zamanlarını gözlemledikten sonra **Psarftis'** in formülasyonunu en erken ve en geç zamanları göz önünde bulundurarak sezgisel anlamda değiştirmiştir [15].

Jung ve ark. zamana dayalı sezgisel bir algoritma amaçlamıştır. Zaman dilimi, uçak sıralama problemlerinin alt problemlerini belirleyen zaman kesitlerine ayrılmıştır. Her bir alt problem Beasley'nin algoritması gibi mixed integer zero one doğrusal problem olarak formüle edilmiştir.

Pinol ve ark. çoklu pist sıralama problemleri için Scatter Search ve Bionomik algoritma uygulamıştır [18].

2.1.6 Sıralama araçları

Amerikan Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA-National Aeronautics and Space Administration) tarafından, kontrolörler için son yaklaşma safhasında, çarpışma tespit, pist ataması, sıralama yapmak için son yaklaşımda ayırmaya yardımcı karar destek aracı (FAST- Final Approach Spacing Tool) geliştirilmiştir [20].

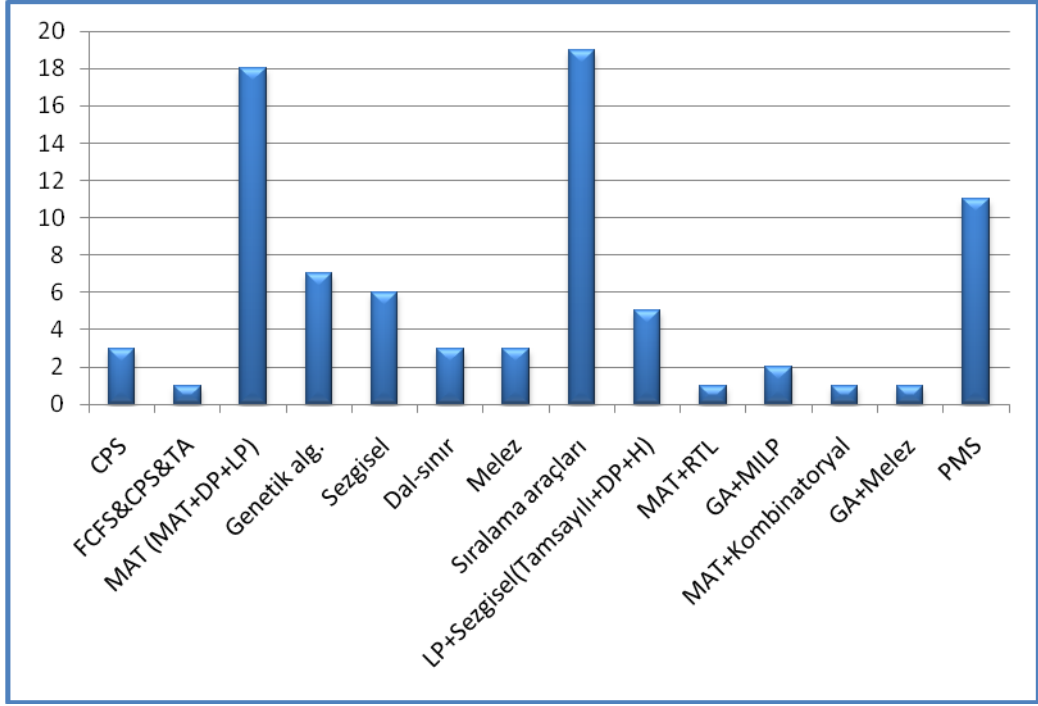
Hoffmann ve ark. (2000), SIMMOD hızlı zamanlı simülasyon modelini kullanarak TMA içinde uçak sıralama özelliklerinin değerlendirilmesini amaçlamıştır [21].

Barmore ve Oliverira havada ayırma prensiplerine dayalı sıralama araçları üzerine çalışmalar yapmıştır. **Barmore ve ark. (2004)** çoklu geliş trafik akışlarının toplanması ve ayırmalarının sağlanması için kavramlar ve algoritmalar geliştirmektedir. Bu amaçla TMA'ya geliş trafiği için havada ayırma aracı

(AMSTAR-Airborne Merging and Spacing For Terminal Arrivals) geliştirilmiştir. Bu araç, pilota hız bilgisi vererek ayırma yapmasını sağlar, öndeki uçağın hız bilgisini Otomatik Bağımlı Gözetim Yayını (ADS-B-Automatic Dependent Surveillance- Broadcast) ile alır ve gerekli ayırmayı yapar. Bu çalışmada, havadaki ayırmayı destekleyen AMSTAR'ın tasarımı ve operasyonları incelenmiştir [22]. **Oliverira ve ark. (2006)** TMA içinde hava sahası kapasite artışı, havadaki ayırma operasyonlarını kullanarak sağlanabilir. Havada Ayırma Sistemi (ASAS-Airborne Separation Assurance System) otomasyon aracı ile uçuş ekibi öndeki uçak ile gerekli ayırmayı sağlamaktadır. Bu çalışmada, Dynamical Colored Petri Nets ve Monte Carlo simülasyonu gibi matematik teknikleri kapsayan Trafik Organizasyon Analiz Aracı (TOPAZ-Traffic Organization and Perturbation Analyzer) metodolojisine bağlı olarak, tahmini çarpışma olasılıklarını değerlendirmektedir [23].

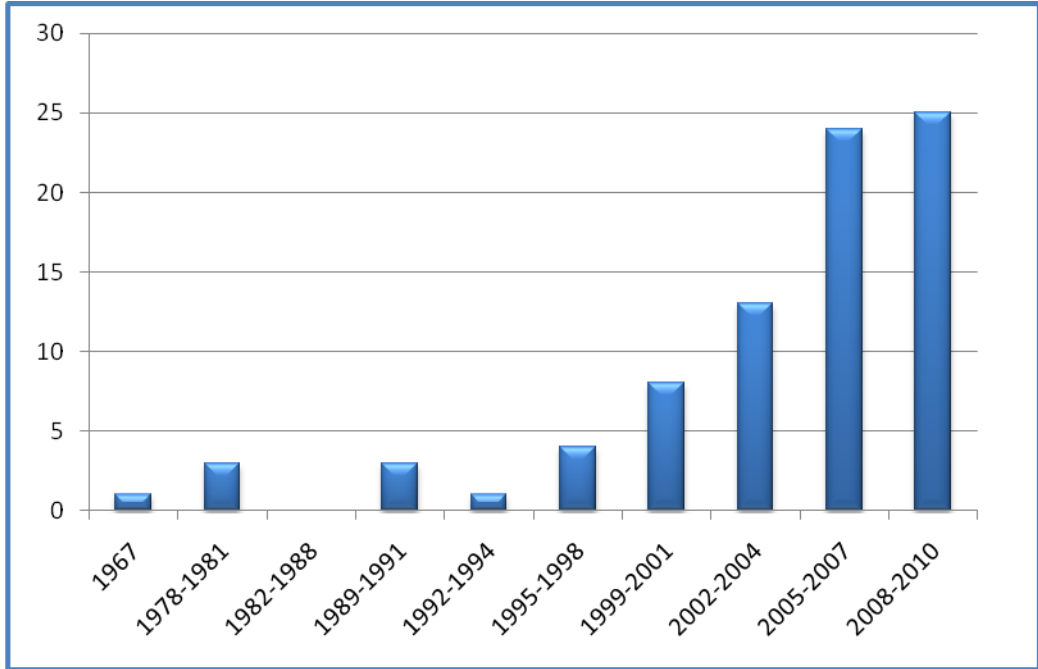
MITRE CORP. (2007) tarafından, RNAV rota üzerinde uçakların toplanması ve sıralanmasında, RNAV rotada uçağın pozisyonunu gösteren ve diğer RNAV rota boyunca pozisyon tahminisini hesaplayan kontrolör için yardımcı otomasyon aracı geliştirilmiştir [24].

Yapılan literatür taraması çalışmasında uçak sıralama problemleri çözüm yaklaşım algoritmaları konusunda 83 tane makale incelenmiştir. Uçak sıralama problemlerinin çözüm yöntemlerine göre dağılımı Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. ASP için kullanılan çözüm yöntemleri

Aynı zamanda ASP çözüm yöntemlerinin yıllara göre dağılımı da Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Bu konuda yapılan çalışma sayısının 2000 yılından sonra daha da artış gösterdiği görülmektedir [1-82].



Şekil 2.2. Yıllara göre ASP ile ilgili yapılan yayın sayısı

Bu bölümde, yeni bir sıralama yöntemi olan PMS'nin yol yapısının RNAV prosedüre dayalı olması nedeniyle TMA içinde RNAV prosedürlerin uygulanmasına yönelik yapılan çalışmalar incelenecektir.

2.2 TMA'da RNAV Prosedür Kullanımının İncelenmesi

Becher ve ark. (2000), Philadelphia (PHL) ve Newark Uluslararası Havalimanları için TMA içinde RNAV prosedürlerin geliştirilmesi üzerinde çalışmıştır. Yeni RNAV rotaların tasarımında ve alternatif rota tasarımlarının değerlendirilmesi için geliştirilen Terminal saha rota yapımı, Değerlendirmesi ve Trafik Simülasyon aracı (TARGETS-Terminal Area Route Generation, Evaluation, and Traffic Simulation Tool) kullanılmıştır. TMA içinde RNAV prosedürlerin uygulanması ile iki yönlü haberleşmede azalma, operasyonel verimlilikte ve kontrolör, pilot durumsal farkındalığında iyileşme, uçuş süresinde azalma ifade edilmiştir [83].

Robinson ve ark. (2002), hava/yer haberleşmesinde azalma ve havaalanı kapasitesinin iyileştirilmesi üzerinde yaptığı çalışmada, RNAV prosedürlerin uygulanmasında uçuş yörünge dağılımlarının, uçuş mesafesi ve süresinin azaldığını simülasyon sonuçları ile açıklamıştır [84].

Laqui ve ark. (2003), yaptığı çalışmada Las Vegas McCarran Havalimanı TMA içinde RNAV rotada uçan trafiğin yola mükemmel uyum sağladığı, aynı zamanda düz sahadan uçağın %100 olarak rota merkez hattının 0,5NM içinde olduğu görülmüştür. Simülasyon analizleri sonucunda, RNAV ekipmanı taşımayan uçağın (non-RNAV) kontrolörden 8 talimat alırken, RNAV ekipmanı taşıyan uçağın kontrolörden 2 talimat aldığı belirtilmiştir. Bu durumda RNAV kullanımı ile kontrolör pilot haberleşme süresinin azaldığı teyit edilmiştir [85].

Klein ve ark (2004), Las Vegas McCarran Havalimanı TMA'da RNAV prosedürlerin uygulanmasını değerlendirmiştir. RNAV kullanımından önce (2000) ve RNAV kullanımından sonraki (2004) operasyonlar için uçuş veri analizlerinin sonucunda RNAV kullanımının uçuş süresini azaltarak uçuş verimliliğini arttırdığı ve havaalanı kapasitesini arttırmaya yardımcı olduğu belirtilmiştir [86].

Becher ve ark. (2004), TMA’da geleneksel vektör kullanımı yerine RNAV geliş prosedürlerinin kullanımının iki yollu haberleşmede azalma, durumsal farkındalıkta gelişme, uçuş mesafesi ve süresinde azalma, artan tahmin edilebilirlik ile hizmet verilen uçak sayısında (üretilen işte) artış beklendiğini fakat bu yararların sağlanabilmesi için uçağın RNAV rota üzerinde kalması gerektiğini ifade etmektedir. Bu nedenle, uçağın son yaklaşma safhasında RNAV rota üzerinde kalmasına olanak tanıyan kesişen rotalardaki geliş trafiklerinin performansa dayalı ayrılmasını sağlayan SPACR (Spacing of Performance-based Arrivals on Converging Routes) kavramı açıklanmaktadır [87].

Barker ve ark. (2004), TMA’da hem RNAV hem de RNAV ekipmanı taşımayan karma trafik durumunu göz önüne alarak yaptıkları çalışmada, RNAV ekipmanı taşıyan uçağın, uçuş mesafesinde, haberleşme iş yükünde ve yakıt tüketiminde azalmanın yanı sıra yüksek seviyede daha uzun mesafe uçuş sağladığı simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır [88].

Smith (2005), Hartsfield Jackson Atlanta Uluslararası Havalimanı’nda RNAV terminal prosedürlerinin uygulanması durumunda iki yollu kontrolör pilot haberleşmesinde %40 azalma sağlandığını belirtmektedir [89].

Boursier ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada, TMA içindeki geliş trafik akışlarını birleştiren yöntemin kısıtlarının ve yararlarının değerlendirilmesini amaçlamıştır. Bu doğrultuda, önceden tanımlanmış ve belirli bir noktaya eşit uzaklıktaki bacakları kullanarak, trafikleri belirli bir nokta üzerinde sıralanması araştırılmıştır. Uçaklara açık vektör (baş talimatı) talimatı vermeye gerek kalmayacağı ifade edilmiştir. Bu yeni yöntemin, günümüzde kullanılan vektör tekniğine göre daha uygulanabilir, rahat, emniyetli olmasına rağmen daha az esnek olduğu belirtilmiştir. Boursier ve ark. yaptığı çalışmada tekniğin adı yer almasa da, bu yeni tekniğin ileri de Point Merge Sistemi (PMS-Point Merge System) olarak adlandırıldığı görülmektedir [90].

Boursier ve ark. (2007), yaptığı bir diğer çalışmada, TMA’daki geliş trafik akışlarının herhangi bir vektör talimatı kullanmaya ihtiyaç duymadan bir noktaya toplanması için kullanılan RNAV yol yapısına dayalı bu tekniğin, kontrolör iş yükünde ve iki yollu haberleşmede azalma sağladığını, aynı zamanda kontrolörler

arasında öngörüsü yüksek, daha açık şekilde görev dağılımı olduğunu belirtmişlerdir [12].

Sprong ve ark. (2007), 2006 yılında yatay ve dikey rehberlik sağlayan iki tane yeni RNAV terminal prosedürünün uygulanmaya başladığı Phoenix Sky Harbor Uluslararası Havalimanı için yaptığı çalışmada, 8000 ft ve 9000 ft'te harcanan ortalama uçuş süresinde daha önceden uygulanan operasyonlarla karşılaştırıldığında uçuş başına 77 sn ve toplamda %38 azalma sağladığı görülmüştür. Yakıt tüketiminde de azalma olduğu belirtilmekte ve aynı zamanda işleticilerin yıllık yakıt kazancının \$ 0,8 milyon olması, emisyon gazlarında ise yıllık 4500 ton (CO₂) ve 1,2 ton (SO₂) azalma olması tahmin edilmektedir [91].

Smith (2007), TMA'da RNAV prosedür uygulanması ile kontrolör durumsal farkındalığını incelemiştir. Simülasyon analizinin değerlendirilmesinde Küresel Durumsal Farkındalık Değerlendirme Tekniği (SAGAT-Situation Awareness Global Assessment Technique) kullanılmıştır. RNAV prosedür uygulanması ile kontrolör iş yükünün azaldığı sonucu ifade edilmiştir [92].

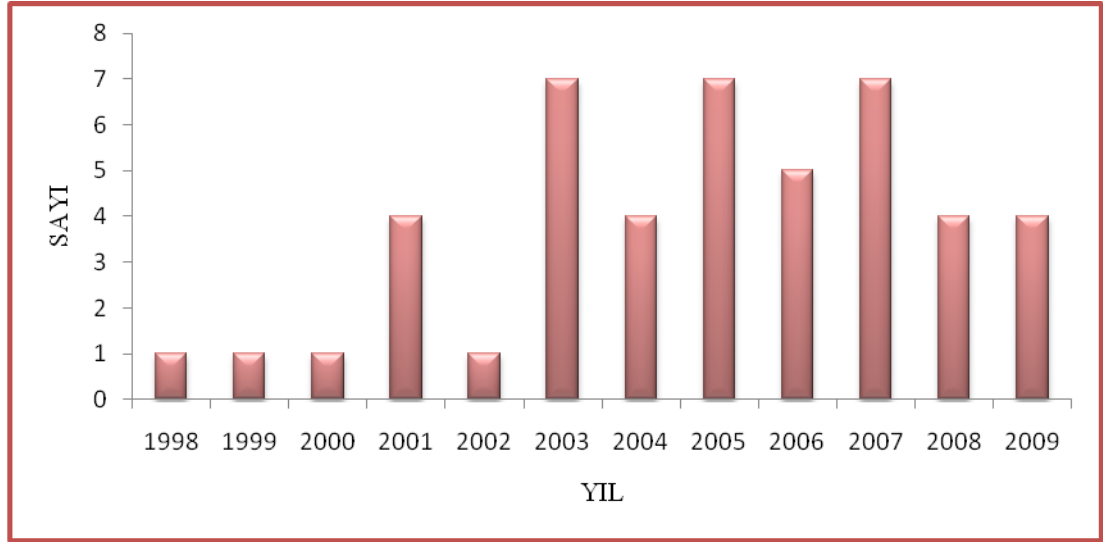
Mayer ve ark. (2008), çalışmasında Dallas-Fort Worth (DFW) and Hartsfield-Jackson Atlanta (ATL) Uluslararası Havalimanı TMA'da RNAV kalkış prosedürü uygulanmasını incelemiştir. DFW havaalanı için, kalkış uçaklarının %84 ünün RNAV ekipmanı taşıması halinde kapasite kazancının saatte yaklaşık olarak 10 ilave kalkış uçağı olduğunu ifade etmişlerdir. Uçakların hepsinin RNAV ekipmanı taşıması durumunda ise kapasite kazancının saatte yaklaşık olarak 20 ilave kalkış uçağı olması beklenmektedir. Aynı zamanda, hem DFW hem de ATL için gecikmelerin azalmasının yıllık işletici ve kullanıcılara \$ 8,5 milyon kazanç sağladığını göstermektedir [93].

Ivanescu ve ark. (2009), hava trafiği geliş akışlarının toplanması için vektör ve point merge tekniklerini tanımlayarak, tek pist konfigürasyonuna uygulanması ile bu iki teknik arasındaki farkları araştırmıştır. Geleneksel vektör tekniğine göre PMS tekniğinin önemli avantajları bulunmuştur. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, kontrolörün verdiği talimat sayısının PMS tekniği ile hızlı zaman simülasyonda %30, gerçek zamanlı simülasyonda ise ~%40 azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda havayolu işleticilerinin TMA'daki uçak



başına $170\pm 14\text{kg}$ yakıt kazancı olmakla birlikte, günde üretilen CO_2 miktarının yaklaşık 270 ton azaldığı ifade edilmiştir [94].

TMA'da RNAV prosedürlerinin kullanımına ilişkin yapılan literatür tarama çalışmasında toplam 46 makale incelenmiş ve yapılan bu çalışmalar yıllara göre aşağıda Şekil 2.3'te gösterilmektedir [83-123].



Şekil 2.3. Yıllara göre RNAV ile ilgili yapılan çalışmalar

3. RNAV STANDART TERMİNAL GELİŞ YOLLARI

Performansa Dayalı Seyrüsefer (PBN-Performance Based Navigation), Saha Seyrüseferi (RNAV-Area Navigation) ve Gerekli Seyrüsefer Performansı (RNP-Required Navigation Performance) kavramlarından meydana gelmektedir ve performans standartları kullanılarak yapılan seyrüsefer için uçak kabiliyetini tanımlamaktadır [124].

RNAV, modern aviyoniklerle uçaklara yere dayalı seyrüsefer yardımcılarında bağımsız uçuşa imkanı veren, noktadan noktaya seyrüsefer yöntemidir. Günümüzde RNAV prosedürleri askeri, ticari ve genel havacılıkta dünya genelinde kullanılmaktadır. RNAV aviyonikleri, uçağın, seyrüsefer veritabanına daha önceden yüklenmiş yol noktası (WP-Waypoint) serisinden oluşan yatay yol ve bu WP'ler arasındaki yol tiplerinde (örneğin; direkt sanal nokta, sabit yarıçaplı kavisli sanal nokta) uçuşuna izin verir.

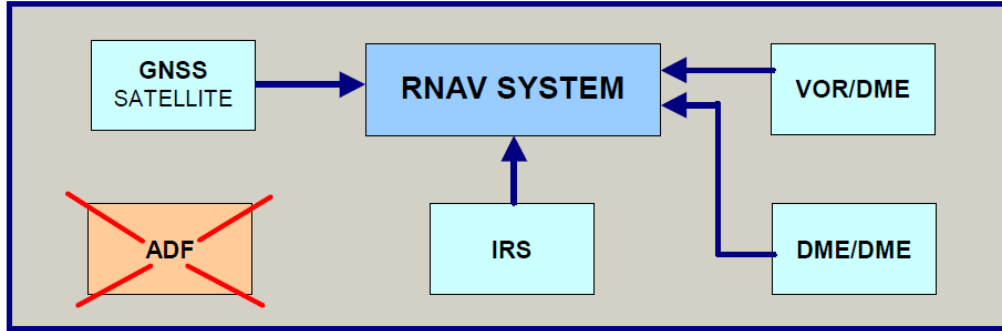
Günümüzde Amerika Ticari Havacılık Filosu'nun % 80'den fazlası RNAV prosedürlerini destekleyen ekipmana sahiptir. Prosedürler, WP'lere uygulanan gerekli dikey limitler ve hız kısıtlamalarına göre tanımlanmıştır. Uygun hava trafik kontrol müsaadesi ile; uçaktaki otomasyon ekipmanları sayesinde, kontrolör ile devamlı haberleşmeye gerek duymadan uçağı seyrüsefer veritabanında belirlenen yola göre rehberlik sağlar. Buna rağmen; hala hava trafik kontrolörü, RNAV uçakların rehberliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Kontrolörler, Aletli Uçuş Kuralları (IFR-Instrument Flight Rules) altında emniyet ayırmalarını muhafaza etmekten sorumludurlar. Aynı zamanda uçak sıklıkla vektör edilir. RNAV rota boyunca uçak herhangi bir WP'ye direkt gönderilerek veya geleneksel radar vektörü verilerek yönlendirilir [109].

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO-International Civil Aviation Organization) Doküman 9613 Performansa Dayalı Seyrüsefer Manüeli (PBN-Performance-based Navigation Manual) tanımına göre; RNAV, istasyon referanslı seyrüsefer yardımcılarının erişim alanı dahilinde ya da uçaktaki cihazların kendi seyrüsefer limitleri dahilinde ya da bunların birleşimi sayesinde istenilen herhangi bir uçuş güzergahında uçağın operasyonuna olanak veren bir seyrüsefer yöntemi olarak ifade edilmektedir [124].



2D (iki boyutlu) RNAV, sadece yatay düzlemde RNAV yapabilirliği; 3D (üç boyutlu) RNAV, dikey düzlemde rehberlik yapabilirliğini de kapsamaktadır; 4D RNAV, ek olarak zaman fonksiyonunu da sağlamaktadır [105].

RNAV sistem, dünyanın modelini çizen ve bu “model” dünya üzerinde uçağın, bulunduğu pozisyonunun bulunmasına olanak veren bir bilgisayar modeli olarak incelenebilir. Bu model dünya üzerinde, uçağın pozisyonunu doğru bir şekilde yerleştirmek ve yerini belirlemek için, RNAV sistem çeşitli kaynaklardan girdiler almaktadır. Bu kaynaklar; yer bazlı, uydu bazlı veya seyrüsefer yardımcıları ya da sistemleri olabilir. Örneğin; Çok Yüksek Frekanslı Çok Yönlü Verici (VOR-Very High Frequency Omni-directional Radio Range), Mesafe Ölçme Cihazı (DME-Distance Measuring Equipment), Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS-Global Positioning System) (Şekil 3.1). 3D pozisyon bilgisi ise, 4 veya daha fazla uydunun kullanılması ile elde edilebilir [99].



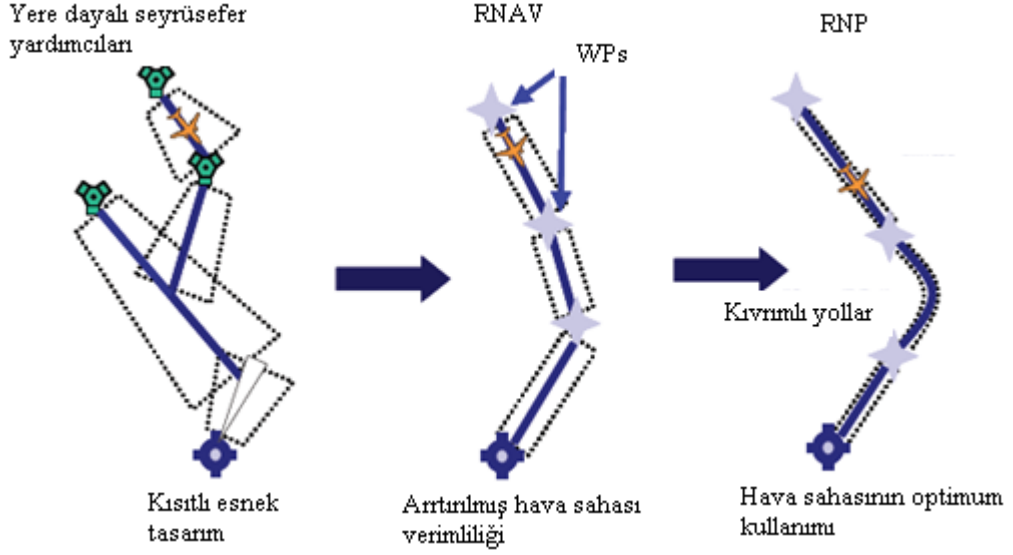
Şekil 3.1. RNAV girdileri [99]

ICAO Doküman 9613 PBN Manüel’e göre; RNP, uçaktaki ekipman ile performans izleme ve uyarıyı destekleyen saha seyrüsefer sistemidir.

ICAO’nun PBN kavramı, RNP ile yer değiştirmiş ve daha önce RNP Manüel’i olan ICAO DOC 9613, 2008 yılında ICAO PBN Manüel olarak değişmiştir [125].

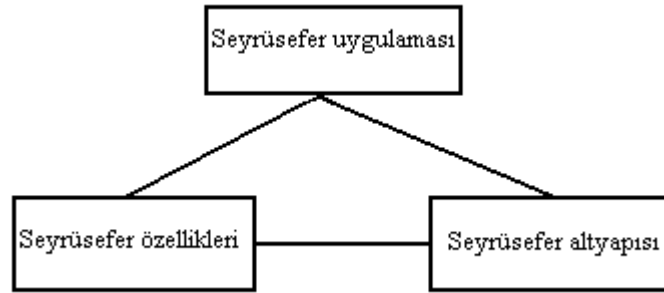
RNAV ve RNP uygulanması ile, PBN esnek terminal prosedürler ve rotaları sağlamaktadır. Şekil 3.2’de geleneksel seyrüsefer, yere dayalı seyrüsefer yardımcıları ile kısıtlanan rotalar/prosedürler ve performansa dayalı seyrüseferin

(hem RNAV hem RNP) özellikle rota muhafaza doğruluğu ve rota etrafındaki koruma alanlarının azalması konularında getirdiği yararlar ve esneklik gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Geleneksel seyrüsefer, RNAV ve RNP [124]

PBN kavramı, seyrüsefer özellikleri (navigation specification), seyrüsefer yardımcıları altyapısı (navaid infrastructure) ve seyrüsefer uygulaması (navigation application) olmak üzere üç elemandan oluşmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. PBN kavramı [124]

Seyrüsefer özellikleri

Seyrüsefer özellikleri, Amerika'da temel olarak uçuşa elverişlilik konusundaki sertifikasyon ve operasyonel onay için kullanılmaktadır. Seyrüsefer özellikleri, RNAV sistemin performans gereksinimlerini doğruluk, bütünlük, mevcutluk ve devamlılık konularında belirli bir rota, prosedür veya planlanmış bir hava sahası içinde detaylı şekilde tanımlanmaktadır. Bu gereksinimler şu şekilde verilebilir:

- a) Saha seyrüsefer sisteminin doğruluk, bütünlük, devamlılık ve mevcutluk faktörlerine göre performans gereklilikleri sağlanmalıdır.
- b) Gerekli performansı sağlamak için saha seyrüsefer sistemi içerisinde fonksiyonlar mevcuttur.
- c) Gerekli performansı sağlamak için, seyrüsefer sensörleri, saha seyrüsefer sistemi içindikilerle entegre olmuştur.
- d) Saha seyrüsefer sisteminin bahsedilen performansını sağlamak için uçuş ekibi ve diğer prosedürler gereklidir.

Seyrüsefer özellikleri, RNAV ve RNP olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. RNP'de, performans izleme ve uyarı için uçakta ekipmana gereksinim vardır. RNAV'da ise, performans izleme ve uyarı için uçak üzerinde herhangi bir ekipmana gereksinim yoktur. Uçak üzerinde performans izleme ve uyarı için ekipmanın mevcut olup olmaması, RNAV ve RNP kavramlarını ayırmak için kolaylık yaratmaktadır (Şekil 3.4).

Seyrüsefer Yardımcıları Altyapısı

Seyrüsefer yardımcıları altyapısı, yer veya uyduya dayalı seyrüsefer yardımcılarını ifade etmektedir. Yere dayalı seyrüsefer yardımcıları DME ve VOR; uyduya dayalı seyrüsefer yardımcıları ise Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi (GNSS-Global Navigation Satellite System) elemanlarını içermektedir.

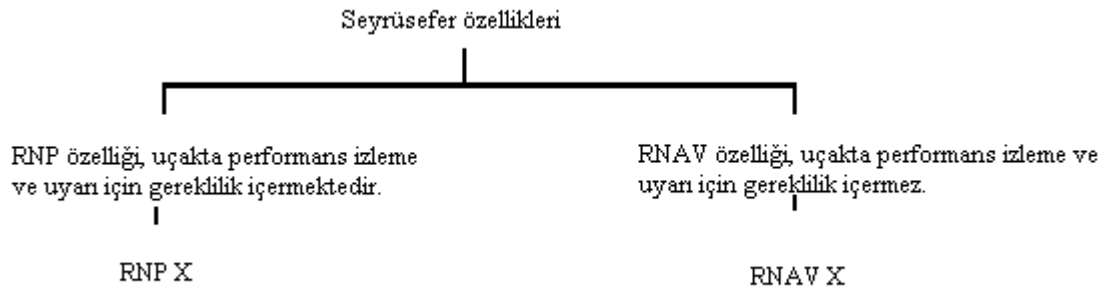
Seyrüsefer Uygulaması

Seyrüsefer uygulaması, seyrüsefer özellikleri ve ilgili seyrüsefer altyapısının hava trafik hizmet (ATS-Air Traffic Service) yol ağına, aletli alçalma prosedürleri ve/veya belirli hava sahasına uygulanmasıdır. RNP uygulaması, RNP

spesifikasyonları; RNAV uygulaması RNAV spesifikasyonları ile desteklenmektedir.

3.1 RNAV ve RNP Gösterimi

RNP ve RNAV tanıtıcısı için “X” belirli bir yol, prosedür veya hava sahası içindeki operasyonel uçakların uçuş süresinin en azından %95 inde sağlanması beklenen deniz mili (NM) olarak yatay seyrüsefer doğruluğunu ifade etmektedir [124].



Şekil 3.4. RNAV ve RNP tanıtımı [124]

RNAV 10: Okyanus ve uzak hava sahasında uzunlamasına mesafeye dayanan ayırma minimasını destekleyen yol (enroute) safhası uçuş için RNAV operasyonları için kullanılmaktadır. Prosedür tasarım kriterleri henüz geliştirilmemiştir.

RNAV 5: Kıtasal hava sahası için yol safhasındaki RNAV operasyonları desteklemek için kullanılmaktadır.

RNAV 1 ve 2: FAF/son yaklaşma noktasına (FAP-Final Approach Point) kadar olan yaklaşımlarda, STAR ve standart aletli kalkış rotalarında (SID- Standart Instrument Departure) yol safhasında RNAV operasyonları desteklemek için kullanılmaktadır

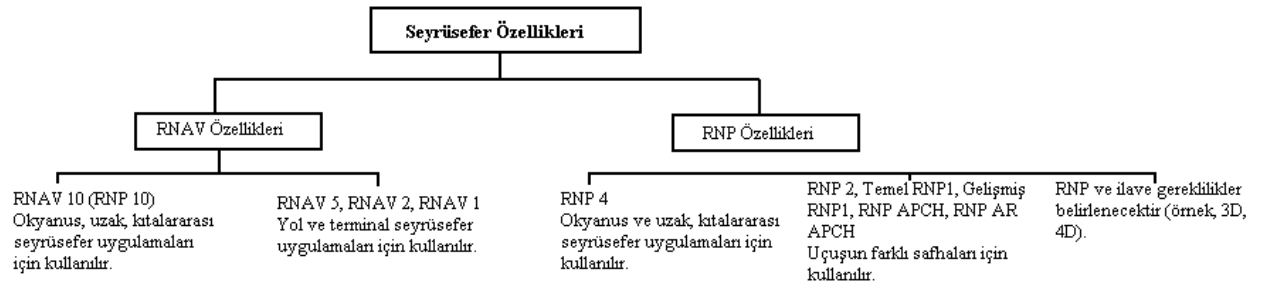
RNP 4: Okyanus veya uzak hava sahasında uzunlamasına mesafeye dayalı ayırma minimaları ile yol safhasındaki RNAV operasyonları desteklemek için kullanılmaktadır.

Temel RNP 1 (Basic RNP 1): Orta yoğunluktaki trafikte ATS gözetiminin kısıtlı veya olmadığı, FAF/FAP a kadar olan yaklaşımlar, STAR ve SID'lerde RNAV operasyonları desteklemek için kullanılmaktadır.

RNP yaklaşması (RNP APCH-RNP Approach): Düz (Straight) safha ile tasarlanmış RNP 0.3'e kadar olan RNAV operasyonlarını desteklemek için kullanılmaktadır. Barometrik Dikey Seyrüsefer (Baro-VNAV Barometric Vertical Navigation) kabiliyetine gereksinim olabilir.

Yetki gerektiren RNP yaklaşması (RNP AR APCH-RNP Authorisation Required Approach): Düz segment ve/veya sabit yarıçap segment ile tasarlanmış, RNP 0.3 veya daha düşük son yaklaşma safhasındaki RNAV operasyonları desteklemek için kullanılmaktadır [26].

Geçmiş yıllarda Avrupa Sivil Havacılık Konferansı'na (ECAC-European Civil Aviation Conference) üye ülkeler ve Amerika Birleşik Devletleri RNAV için farklı tanıtıcılar kullanmaktaydı. ECAC uygulaması olan P-RNAV ve B-RNAV sadece bu üye ülkelerde kullanılmaya devam edecektir. Zaman içinde ECAC RNAV uygulamaları, RNAV 1 ve RNAV 5 uluslararası seyrüsefer tanıtıcılarına geçiş yapacaktır (Şekil 3.5) [124].



Şekil 3.5. Mevcut ve gelecek tanıtıcılar [124]

Seyrüsefer özelliklerinin uçuş safhalarına göre uygulaması Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Uçuş fazlarına göre seyrüsefer özelliklerinin uygulanması [124]

| Seyrüsefer özellikleri | Okyanus yol safhası | Kıtalararası yol safhası | Geliş | Yaklaşma | | | | Kalkış |
|------------------------|---------------------|--------------------------|------------------|----------------|------|-----|------------------|------------------|
| | | | | İlk | Orta | Son | Pas geçme | |
| RNAV 10 | 10 | | | | | | | |
| RNAV 5 | | 5 | 5 | | | | | |
| RNAV 2 | | 2 | 2 | | | | | 2 |
| RNAV 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 ^b | 1 |
| RNP 4 | 4 | | | | | | | |
| TEMEL RNP 1 | | | 1 ^{a,c} | 1 ^a | | | 1 ^{a,b} | 1 ^{a,c} |
| RNP APCH | | | | 1 | 1 | 0,3 | 1 | |

Uçuş safhalarına göre seyrüsefer özellikleri gösterilmekte olan Çizelge 3.1'deki mevcut semboller aşağıda belirtilen şekilde ifade edilmektedir:

- Bu seyrüsefer uygulaması sadece STAR ve SID'lerde kullanım ile sınırlıdır.
- Uygulama alanı sadece pas geçme safhasının ilk tırmanma kısmından sonra kullanılabilir.
- Havaalanı referans noktasının (ARP-Airport Reference Point) 30NM sonrasında, uyarı için doğruluk değeri 2NM olur.

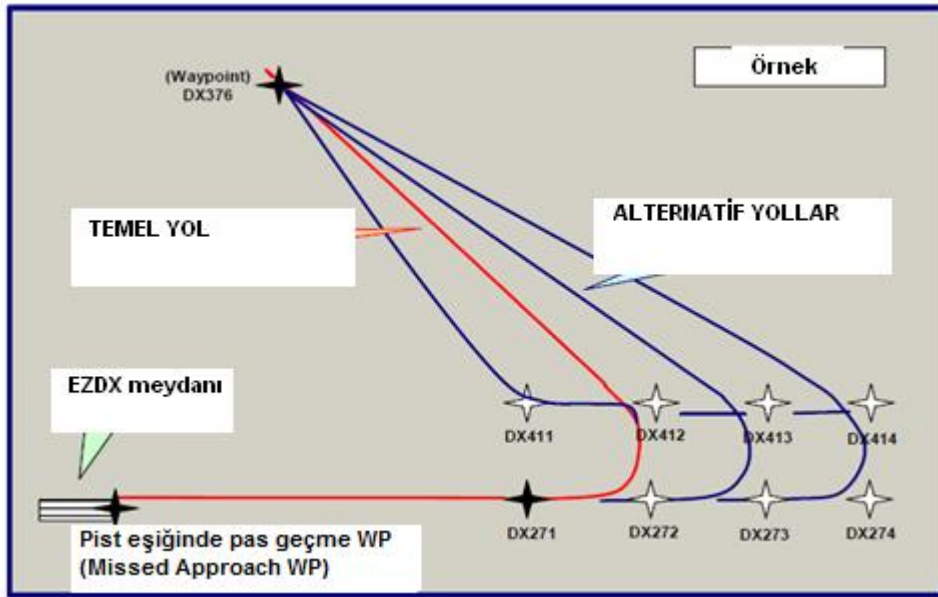
Çizelge 3.1'de belirtilen numaralar, toplam uçuş süresinin % 95 doğruluk gerekliliğini NM cinsinden göstermektedir. RNAV 5, yol seyrüsefer özelliği olmakla birlikte, Minimum Sektör irtifası (MSA-Minimum Sector Altitude) üzerinde ve 30NM dışındaki STAR'ın ilk kısmında kullanılabilir. RNP 2 ve



Geliştirilmiş RNP1'in (Advanced-RNP1) gelecekteki revizyon edilmiş PBN manuelini kapsamaması beklenmektedir.

3.1.1 TMA'da RNAV prosedür kullanımı

Terminal kontrol sahası içinde yollar, radar kontrolörü tarafından kullanılan, var olan vektör şekillerinin üzerinden tekrarlanacak şekilde tasarlanabilir. Sadece bir geliş yolu genellikle terminal kontrol sahası giriş fiksine ve rüzgaraltı (downwind) veya esas bacak (baseleg) üzerinde bir noktaya bağlantılı olabilir; giriş fikslerinden rüzgaraltı (veya esas bacak) üzerindeki çeşitli pozisyonlara, sıralama seçenekleri sunan değişik yollar tasarlanabilir. Uçak, rüzgaraltı bacağına alçalırken, rüzgar değişikliğinden dolayı veya farklı uçak hızları nedeniyle vektör edilebilirken; RNAV, iki fiks arasında hiçbir baş düzenlemesi olmaksızın uçağın direkt olarak uçuşuna olanak tanımaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. TMA içinde RNAV yollar [99]

İki yöllü haberleşmedeki azalma ve daha fazla sayıda uçak devri, TMA'da olası kapasite artışını ifade etmektedir. Bu durum sırasıyla, hava trafik kontrolörü eğitim düzeyini, kontrolör görevlerini ve hava sahası sektörisasyonunu tekrar gözden geçirmeyi gerektirebilir. Görevler hakkında uygun devamlı eğitimler, RNAV prosedürleri tanıtmanın kolay yolu olabilir.

3.2 RNAV Yararları

TMA içinde RNAV uygulanmasının hava trafik kontrol açısından yararları aşağıda belirtilmiştir:

- a) Kontrolör tekniklerinde değişiklik; örneğin, daha az radar vektörü kullanımı muhtemel kapasiteyi arttırabilir.
- b) Problem çözme için gerekli mevcut zamanda artış sağlar (örnek; çarpışma çözüm).
- c) Uçağın tahsis edilen seviye veya rotayı muhafaza ettiğini bilmek için yapılan gerekli izleme miktarında azalma sağlar.
- d) Radar vektörü yerine, uçağı belirli bir RNAV WP'e göndermek için talimat verirken; rüzgar şartlarındaki veya yönündeki değişiklik kontrolörün karar vermesinde ve iş yükünde çok az bir etki yaratacaktır.
- e) Vektör yerine RNAV geçişlerin kullanımı ile, kontrolör/ pilot konuşmasında azalma olacaktır.
- f) Sektörler arası transferde, rota tekrarlanabilirliği/teminatı kontrolör için önemlidir. Trafiğin örneğin; RNAV STAR üzerinde uçarken bulunduğu konum daha kesinlik kazanacaktır.

Hava trafik kontrol için olan yararları ek olarak, RNAV uygulaması aşağıdaki ekonomik, çevresel ve politik faktörler açısından da faydalar sağlamaktadır:

Ekonomik

- a) Uçulan mesafede azalma sağlar böylece yakıt maliyetinde azalma,
- b) Kalkış yolcu kapasitesinin artması, genel yolcu kapasitesinin artışına öncülük,
- c) Geliş ve kalkış safhaları için enerji yönetiminin gelişmesi,
- d) Yere dayalı seyrüsefer yardımcılarının sayısında azalma (bakım maliyetleri ve yüklemelerde azalma),



- e) Pist kapasite oranlarında muhtemel artış sağlanır.

Çevresel

- a) Gürültü ve görsel etkileri daha küçük alanlara toplayan daha iyi rota tutulması,
- b) Kısıtlı gürültü bölgeleri,
- c) Rota tasarımında esneklik sağlayarak, hassas bölgelerde gürültüyü azaltmak,
- d) Özellikle devamlı alçalma yaklaşımları alçalmanın başlangıcından mümkünse; yakıt tüketiminde ve emisyon salınımında azalma,
- e) Daha iyi altyapı planlaması,
- f) Dikey Seyrüsefer (VNAV-Vertical Navigation) kullanımı ile daha uzun süre daha yüksekte kalma sağlanır.

Politik

- a) Bölgesel otoriteler ve komşular arasında itibarın artması,
- b) Diğer kullanıcılar için kullanılmamış bir hava sahası bırakmaktır [99].

3.3 RNAV Prosedür Tasarımı

RNAV, uçak işleticileri ve hava trafik hizmet sağlayıcıları için çevresel, ekonomik ve operasyonel avantajlar sağladığı gibi, prosedür tasarımcıları için de büyük esneklik sağlamaktadır. Verilen maddeler, mevcut hava sahasının daha verimli kullanımına öncülük edecektir.

- a) Geliştirilmiş rota muhafazası (track-keeping),
- b) Daha fazla direkt rota,
- c) İyileştirilmiş dikey profiller,
- d) Paralel yol kurulumları (Paralel ofset),
- e) Azaltılmış rota ayırmaları.



3.3.1 RNAV prosedür tasarım faktörleri

RNAV operasyonları için prosedür tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken faktörleri şunlardır:

- a) Seyrüsefer altyapısı,
- b) WP kullanımı,
- c) Dünya Jeodezik Sistem 84 (WGS 84-World Geodetic System) ve veri doğruluğu,
- d) Çevresel etkiler,
- e) Uçak performansı.

Seyrüsefer Altyapısı

Seyrüsefer altyapısı, tasarlanan hava sahası içerisinde kullanım için mevcut yer /uydu ekipmanı ile birlikte hava sahası içerisinde taşınması gereken havadaki ekipman olarak tanımlanır. Seyrüsefer altyapısı ve seyrüsefer yardımcılarının mevcudluğu, sistem doğruluğunu ve yarı alan genişliği değerini ifade etmektedir.

WP Kullanımı

ICAO'nun Eki 11 Hava Trafik Hizmetleri (Air Traffic Services) ve ICAO 8168 Hava Seyrüsefer Hizmetleri için Prosedürler ve Uçak Operasyonları dökümanı'nda (PANS-OPS-Procedures for Air Navigation Services- Aircraft Operations) WP terimi sadece, RNAV sistemleri kullanan uçakların uçuş yollarını ve RNAV yolları tanımlamak için kullanılırken; Annex 11'de "önemli nokta-significant point" ise, hava trafik hizmet ve diğer seyrüsefer amaçları için uçağın uçuş yolu veya hava trafik hizmet yollarını ifade etmede kullanılan belirli coğrafik bölgeyi tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu durumda, RNAV prosedür için kurulan tüm WP'ler önemli noktadır.

ICAO'nun bazı dökümanlarında, WP halen "fiks" olarak tanımlanmaktadır. Bu durum özellikle TMA'da ilk yaklaşma fiksi (IAF-Initial Approach Fix), orta yaklaşma fiksi (IF-Intermediate Fix), son yaklaşma fiksi (FAF-Final Approach Fix) ve pas geçme bekleme fiksi (MAHF-Missed Approach Holding Fix) gibi



ortak kullanılan terimlerdir. ICAO, karışıklığı önlemek için IAF, IF, FAF, pas geçme noktası (MAPt-Missed Approach Point) terimlerinin hem konvansiyonel hem de RNAV aletli yaklaşma tanımlarında kullanımının devam etmesine karar vermiştir.

ECAC hava sahası içinde RNAV terminal prosedür ile ilgili WP'in verdiği hizmetin amacına göre stratejik WP veya taktik WP olduğunun bilinmesi gerektiği konusunda görüş birliğine varılmıştır.

a) Stratejik WP, TMA içinde bir WP:

- i) Hava trafik hizmet sağlayıcısı tarafından önemli kabul edilen ve radar ekranına bakıldığında göze çarpan ve kolaylıkla hatırlanabilen,
- ii) Uçak bu noktayı geçtiğinde bilgisayarlar arası mesaj oluşturmak için aktivasyon noktası olarak kullanılan, WP'dir.

Bu WP'ler genellikle, SID/STAR yol yapısının bir parçasıdır.

b) Taktik WP, yalnızca belirli bir TMA'da kullanım için olan WP'dir, stratejik WP olarak tasarlanamaz. Bu WP'ler SID/STAR rota yapısının parçası olabilir; prosedürlerden veya bacak uzatarak TMA içinde ayrılmış olabilirler. Taktik WP'ler, kontrolörlere, yaklaşan uçakları sıralamada ve vektörle ayrılmış trafikler arasındaki gerekli ayırmayı muhafaza etmede yardımcı olması amacıyla kullanılabilir.

TMA'da RNAV prosedürler için WP'lerin kullanımı ve oluşturulması aşağıdaki genel kurallar uygulanır:

- a) Hiçbir rota aralığı veya kopukluğu olmaksızın, mümkün olan en az sayıda WP'i kullanarak RNAV prosedür tasarımı yapılmalıdır.
- b) WP'ler aşağıda belirtilen yerlere kurulmalıdır:
 - i) Her bir RNAV rotanın sonuna,
 - ii) Rotaların yol değiştirdiği noktalara,



- iii) Hız kısıtlamalarının uygulandığı/bittiği noktalara,
- iv) İrtifa kısıtlarının uygulandığı/sona erdiği noktalara,
- v) Bekleme fikslerine,
- vi) Operasyonel yararlı diğer noktalara,
- c) Mümkün olan yerlerde, geçiş noktası WP'ler kullanılması gerekir.
- d) Uğrak noktalar sadece operasyonel olarak gerektiğinde kullanılmalıdır ve IF ve FAF için kullanılmaması gerekir.
- e) RNAV WP'ler aşağıda belirtilen doğrulukta WGS 84 koordinatlarında enlem ve boylam olarak tanımlanması gerekir.
 - i) Pist eşğine 1/100saniye,
 - ii) MAPt'a 1/100 saniye,
 - iii) Diğer tüm WP'lere 1/10 saniye [105].

WGS 84 ve Veri doğruluğu

Rotaların her bir bacağı, enlem ve boylam koordinatları tanımlanmış iki tane spesifik coğrafik noktayı referans almaktadır. Bu koordinatlar, bilinen bir diğer noktadan mesafe ve yön alınarak hesaplanabilir.

Ocak 1998 yılından itibaren, sivil hava seyrüsefer amaçları için yayınlanan tüm koordinatların WGS 84'e dayalı olması gerekmektedir. WGS 84 koordinatları enlem ve boylam olarak ve spesifik yer noktalarının yüksekliği deniz seviyesinden veya başka bir datuma göre yükseklik olarak ifade edilmelidir.

Prosedüre izin verilmeden önce yeterli kontrollerin yapılması gerekmektedir. Seyrüsefer altyapısı ile sağlanan kapsama alanının yeterli olduğunun anlaşılması için uçuş kontrolleri yapılmalıdır. Ayrıca planlanan prosedür için uçak tipleri de göz önüne alınarak uçabilirlik kontrollerinin yapılması gerekir.

Çevresel etkiler

RNAV prosedürler ile ilgili arttırılmış esneklik, sadece daha fazla ihtiyacı karşılamakla kalmayıp aynı zamanda çevresel etkileri de azaltan yeni rotaların tasarlanabileceğini ifade etmektedir. Örneğin; kısa mesafe uçakları uzun mesafe uçaklarına göre, daha hızlı tırmanabilir ve kalkıştan sonra manevra yapma kabiliyetleri yüksektir ve bu nedenle prosedürler, kalkış uçuşlarının nüfuslu alanlardan daha erken ayrılmasına imkan tanıyan şekilde tasarlanabilir. RNAV prosedürlerinin doğru şekilde uçulabilmesi için, uçak performans özelliklerinin göz önüne alınarak tasarlanması gerekmektedir. Harita üzerinde basit bir çizgi çizip, her RNAV ekipmanı taşıyan uçağın bunu izlemesini beklemek imkansızdır.

Uçak performansı

Prosedür tasarımcılarının, kullanılması beklenen prosedür için uçağın kabiliyetlerini göz önünde bulundurması çok önemlidir. Geniş, uzun mesafe jetlerin; küçük, kısa mesafe turbopropeller için tasarlanan kalkış prosedürlerini izlemesi imkansız olabilir. Bununla birlikte, sabit yarıçap dönüşü uçuş kabiliyetinde çok fazla uçak olması beklenirken, trafiğin önemli bir yüzdesi de ECAC tarafından zorunlu tutulmadıkça bu kabiliyete sahip olmayacaktır. Tasarım yapılırken, prosedürün sağlanması için performans kriterinin gerekli olduğunu göz önünde tutulmalıdır örneğin; belli uçak modelleri 120° 'yi aşan dönüşlerin kullanıldığı prosedürleri izleyemeyebilir [105].

3.3.2 Yol bacakları ve geçişler

TMA'da prosedürler, düz çizgiler veya geçiş alanları gibi bacak serilerine bölünmüştür. RNAV rotadaki her bir WP, bir bacadan diğerine otomatik geçiş gerçekleştirmek için uçak seyrüsefer sisteminin gerekli olduğu yeri göstermektedir. Bu geçiş, hız ve/veya irtifa ve/veya yöndeki değişiklikleri içermektedir.

5° veya daha fazla rota açısı değişikliği içeren geçişler, aşağıdaki dört yöntemin birinden etkilenebilir:

- a) Geçiş noktasından (Fly-by) geçişler: Bir sonraki rota bacağına dönüş beklenmektedir. MAPt WP hariç, tüm RNAV geçişler için tercih edilen yöntemdir. Geçiş noktası geçişler, öncü ve müteakip bacaklar ile ortak WP kullanılarak tanımlanmaktadır. Geçiş noktası geçişlerin başlangıç ve bitişini belirlemek için ilave WP'lere ihtiyaç yoktur. Aynı zamanda, geçiş noktası geçişler A sınıfı uçaklar için B-RNAV SID ve STAR'ları veya prosedürlerinde kullanılmayacaktır. Geçiş noktası için ICAO harita sembolü Şekil 3.7'deki gibidir.



Şekil 3.7. Geçiş noktası [105]

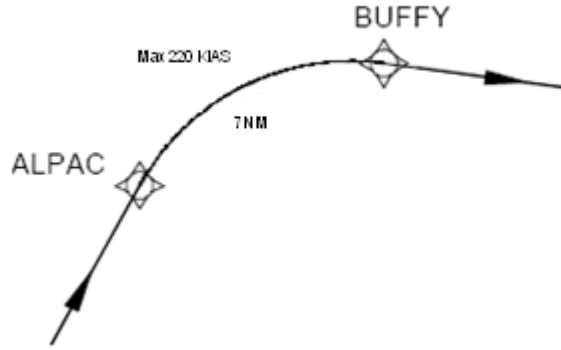
- b) Uğrak nokta (Fly-over) geçişler: Bir sonraki bacağına dönüşe başlamadan önce, uçak WP üzerinden uçacaktır. Uğrak nokta geçişler, özellikle TMA'da geçiş noktası veya sabit yarıçap geçişlerin kullanımının imkansız olduğu ve uğrak nokta geçiş ile açık avantajlar kazanılacak durumda kullanılmaktadır. Geçiş noktası geçişinde olduğu gibi, öncü ve müteakip bacaklar ve onların ortak WP'i ile tanımlanmaktadır. Geçiş noktası için ICAO harita sembolü aşağıda Şekil 3.8'deki gibidir.



Şekil 3.8. Uğrak nokta [105]

- c) Fiske doğru sabit yarıçap arkı (RF-Constant Radius Arc to a Fix): Uçak dönüşünü belirli dönüşü tanımlanan yarıçap ile uçmaktadır. Bu geçiş RF yol sonlandırıcısını kullanmaktadır ve en doğru, tahmin edilebilir ve tekrarlanabilir bir dönüş sağlamaktadır. TMA içinde 5° den daha fazla rota açısı değişikliği olduğunda geçiş için tercih edilen yöntemdir. RF geçişleri, öncü bacak, son WP, dönüş merkezi ve sabit yarıçap dönüş ile tanımlanan başlangıç WP'i ile belirlenmektedir. RF WP'ler için haritada sembol olarak, dönüşün başlangıç ve bitiş noktasında Geçiş noktası sembolü

kullanılmaktadır. RF WP'ler için amaçlanan ICAO harita sembolü aşağıdaki gibidir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Sabit yarıçap dönüş [105]

- d) Şartlı geçişler: Belirli bir irtifaya ulaşıldığında RNAV sistem geçişi başlatmaktadır. Şartlı geçişler; öncü bacak, müteakip bacak ve irtifa tahditi ile tanımlanan dönüşü içermektedir. Aynı zamanda nominal rotadaki WP'te tanımlanabilir. Sonraki bacak sadece CF veya DF olarak kodlanabilir. Şartlı geçişler genellikle kalkış safhasında kullanılmaktadır.

Geçiş noktası geçişlerde, rota açısı değişikliği 120° 'yi aşmamalıdır. Sabit yarıçap dönüş, 120° 'yi aşan tüm dönüşler ve mümkün olduğunda 90° 'yi aşan tüm dönüşler için kullanılabilir. Tüm geçişler Çizelge 3.2'de verilmiştir [105].

Çizelge 3.2. WP tiplerine bağlı dönüş uygunlukları [105]

| WP TİPİ | GEÇİŞ NOKTASI | UĞRAK NOKTA | SABİT YARIÇAP |
|--------------------|---------------|-------------|---------------|
| Yaklaşma | | | |
| IAF | ✓ | x | ✓ |
| IF | ✓ | x | ✓ |
| FAF | ✓ | x | x |
| MAPt | x | ✓ | x |
| HWP | ✓ | ✓ | x |
| Kalkış | | | |
| DER | x | ✓ | x |
| DWP | ✓ | ✓ | ✓ |
| Terminal | | | |
| AWP | ✓ | ✓ | ✓ |
| HWP | x | ✓ | x |
| Yol safhası | ✓ | x | ✓ |

✓ :Belirtilen uçuş safhasında, belirtilen geçiş tipi kullanılabilir. X: Belirtilen uçuş safhasında, belirtilen geçiş tipi kullanılamaz.

3.3.3 Seyrüsefer veritabanı kodlaması

TMA operasyonları için RNAV sistem tarafından kullanılan tüm seyrüsefer verileri, seyrüsefer veritabanında tutulmaktadır. Bu veritabanı, havacılık standartları ARINC 424 Seyrüsefer Sistemi Veritabanı Özelliklerine göre kodlanmış verilerden türetilmiştir.

Seyrüsefer sistemleri için haritalarda belirtilen rotaların uygun kodlara çevrilmesini sağlamak için, terminal prosedürler için “yol sonlandırıcıları (path terminator)” kavramı geliştirilmiştir.

Yol sonlandırıcılar, RNAV rotaların kalkıştan yol safhasına bağlanana kadar ve uçağın yol safhasından ayrılıp RNAV prosedürün sonuna kadar, her bir bacağın tanımlanmasında kullanılmaktadır. Yol sonlandırıcılar, yol safhası veya TMA dışındaki diğer rotaları düzenlemekte kullanılmamaktadır [126].

3.3.4 Yol sonlandırıcıları çeşitleri

Yol sonlandırıcılar iki tane alfa nümerik harf ile tanımlanmaktadır. Bu harflerden ilki uçuş yol tipini ve ikincisi rota bacak geçişinin nasıl olduğunu göstermektedir [Çizelge 3.3] [105].

Çizelge 3.3. ARINC 424 yol sonlandırıcı kodları [105]

| İlk Harf | Tanım | Uygun kodlar | İkinci harf | Tanım | Uygun kodlar |
|----------|---------------------------|------------------------------------|-------------|---------------|---|
| A | Sabit DME arki | AF | A | İrtifa | CA, FA , HA , VA |
| C | Yola | CA, CD, CF , CI, CR | C | Mesafe | FC |
| D | Hesaplanmış rota | DF | D | DME mesafesi | CD, FD, VD |
| F | Fiksten yola | FA , FC, FD, FM | F | Fiks | AF, CF , DF , HF , IF , TF , RF |
| H | Bekleme paterni sona erer | HA , HF , HM | I | Sonraki bacak | PI-CF, VI |
| I | İlk, başlangıç | IF | M | Manuel geçiş | FM, HM , VM |
| P | Prosedür | PI-CF | R | Radyal geçiş | CR, VR |
| R | Sabit yarıçap | RF | | | |
| T | Rotalar arası | TF | | | |
| V | 'e, 'a vektör | VA , VD, VI, VM , VR | | | |

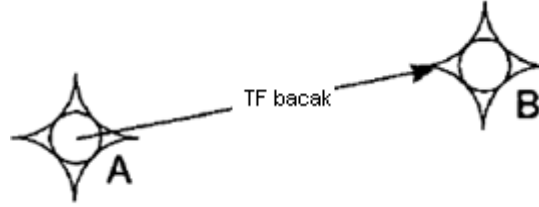
Şu anda ARINC 424'de tanımlanan 23 farklı yol sonlandırıcı mevcuttur. Buna rağmen sadece 11 tanesi RNAV prosedür tasarımında kullanmak için uygundur, aynı zamanda ilave yol sonlandırıcı, başlangıç fiksi (IF-Initial Fix), veritabanında prosedür tanımlanırken kullanılmaktadır. RNP uygulamaları için;



IF, Fiske rota (TF-Track to Fix), Sabit yarıçap dönüş (RF-Constant radius arc to a fix) ve bekleme noktasından vektörle çıkış (HM-Holding/Racetrack to a manual termination) yol sonlandırıcıları kullanılmaktadır. RNAV prosedür tasarımında kullanılan tüm kodların tanımı aşağıda verilmiştir [126].

Başlangıç Fiksi (IF-Initial Fix): RNAV prosedürlerin kodlanması IF ile başlar. IF kendi başına istenilen rotayı oluşturmaz fakat istenilen rotayı tanımlamak için diğer bacak tipleri ile bağlantı sağlamada kullanılmaktadır (örnek; TF).

Fikse rota (TF-Track to Fix): RNAV için temel düz rota safhasıdır. TF rota, iki WP arasında jeodezik yol ile tanımlanmaktadır. WP'lerden ilki, önceki safhayı sonlandıran WP ya da başlangıç fiksidir (IF). Orta ve son yaklaşma safhaları daima TF rotalar olması gereklidir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. TF [126]

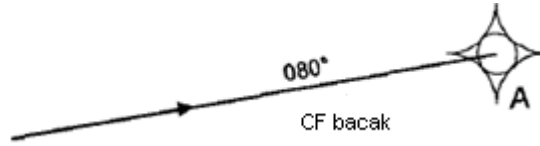
Direkt fikse (DF-Direct to Fix): Uçağın rotası üzerindeki belirsiz bir pozisyondan belirli bir fikse/WP'e rota segmenti tanımlamak için kullanılmaktadır. DF yol sonlandırıcısı, tahmin edilebilir, tekrarlanabilir uçuş yolu sağlamaz. Aynı zamanda DF, dönüş noktasından ya da dönüş irtifasından en kısa rota mesafesini sağlamaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. DF [126]

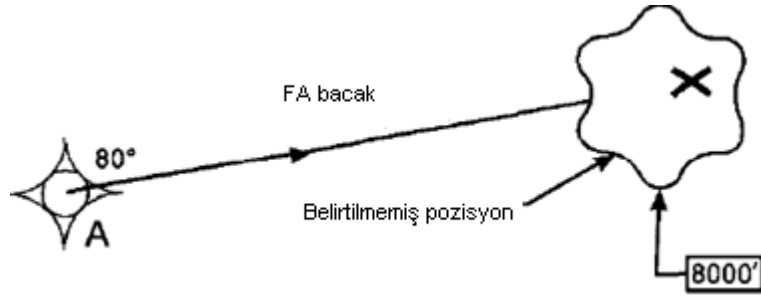
İrtifaya uçuş yolu (CA-Course to an Altitude): Belirsiz bir pozisyon ve irtifada sonlanan rotayı tanımlamak için kullanılmaktadır.

Fikse uçuş yolu (CF-Course to a Fix): Belirli bir rotanın ardından fiks/WP'te son bulan yol olarak tanımlanmaktadır. CF, son yaklaşma segmentinin tanımlanması için izin veren tek yol sonlandırıcıdır ve bu amaç için RNAV birkaç sistemde kullanılmaktadır. CF'nin normal kullanımı kalkışta veya pas geçmede FA veya CA'dan sonra gelir. CA/CF'nin birlikte kullanılması, kalkışın çevresel etkilerini azaltmada etkili olabilir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. CF [126]

Fiksten irtifaya uçuş yolu (FA-Course from a fix to an altitude): Fikste/WP'te başlayan, uçağın belirli bir irtifada veya üzerinde olduğu noktada sona eren rotayı tanımlamak için kullanılmaktadır. İrtifa noktası için pozisyon belirlenmemiştir. FA rotası; bilinmeyen noktada son bulması nedeniyle tahmin edilebilir, tekrarlanabilir uçuş rotası sağlamamaktadır; fakat, pas geçme prosedürleri için yararlı yol sonlandırıcıdır (Şekil 3.13).



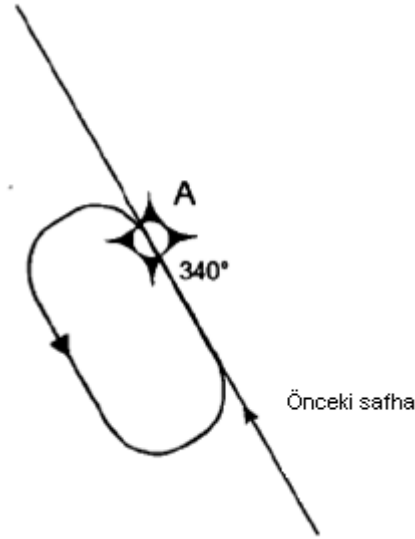
Şekil 3.13. FA [126]

Fiksten manüel sonlandırma (FM-Course from a fix to a manual termination): Rota, radar vektörü ile sonlandığında kullanılmaktadır. VM ile benzer işlevselliği sağlamaktadır. Uçak, pilot müdahalesine kadar belirtilen başta uçuşuna devam eder (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. FM [126]

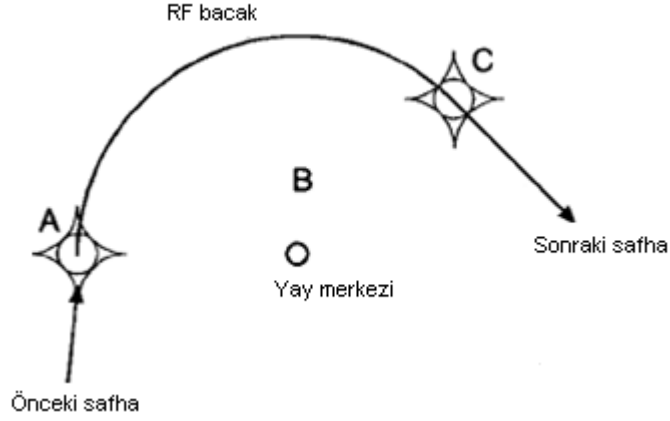
Bekleme noktasından vektörle çıkış (HM-Holding/Racetrack to a manual termination): Uçuş ekibi tarafından manüel olarak sonlandırılan bekleme patern yolunu tanımlamak için kullanılmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. HM [126]

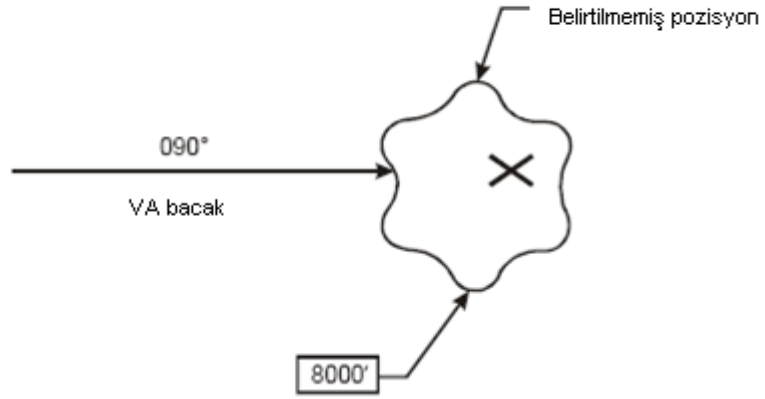
Sabit yarıçap dönüş (RF-Constant radius arc to a fix): WP'de son bulan dairesel bir rotadır. Yayın başlangıcı, önceki safhanın son bulunduğu WP olarak tanımlanmaktadır. Yayın sonundaki WP, bacağın dönüş yönü ve dönüş merkezi seyrüsefer veritabanı tarafından sağlanmaktadır. Yarıçap, RNAV sistem tarafından dönüş merkezinden bitiş WP'ine olan mesafe olarak hesaplanır. Tek bir yay, 2° ile 300° arasındaki herhangi bir dönüş için hesaplanabilir. Sistemlerdeki

mevcut RF işlevselliği genellikle sadece RNP-RNAV gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmaktadır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. RF [126]

İrtifaya vektörle rota (VA-Heading to an Altitude): Tırmanma için belirlenen rotadan çok vektörün tercih edildiği kalkışlar için kullanılmaktadır. Rota, bitiş pozisyonu olmadan, belirli bir irtifada son bulmaktadır. VA, RNAV tasarım içinde sadece başlangıç vektör bacaklarının gerekli olduğu, paralel kalkışlarda kullanılmaktadır (Şekil 3.17).



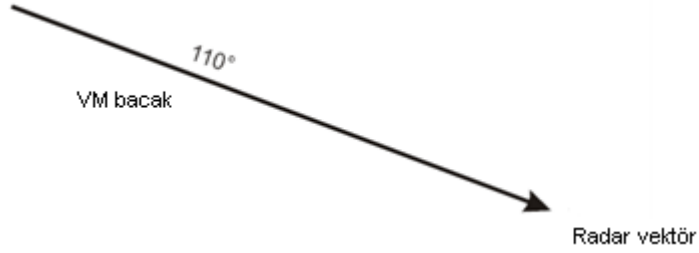
Şekil 3.17. VA [126]

Bir sonraki bacak için vektör (VI-Heading to an intercept): Uçak bir sonraki bacağa dahil oluncaya kadar belirtilen başta uçuşuna devam eder (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. VI [126]

Vektör rota (VM-Heading to a manual termination): Prosedürün sonunda, radar vektörün sağlandığı yerde kodlanabilir. FM ile benzer işlevselliği sağlamaktadır. Pilot müdahalesine kadar uçak belirtilen başta uçuşuna devam eder (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. VM [126]

Çizelge 3.4'te, RNAV prosedürün (SID, STAR, yaklaşma ve pas geçme) ilk ve son bacaklarını destekleyen yol sonlandırıcıları tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.4. İlk ve son yol sonlandırıcıları [126]

| RNAV prosedür | İlk bacak | Son bacak |
|---------------|--------------------------------|----------------------------|
| SID | CA, CF, VA, VI | CF, DF, FM, RF, TF, VM |
| STAR | IF | CF, DF, FM, HM, RF, TF, VM |
| Yaklaşma | IF | CF, TF, RF |
| Pas geçme | CA, CF, DF, FA, HM, RF, VI, VM | CF, DF, FM, HM, RF, TF, VM |

Yol sonlandırıcılar ile ilgili özellikler aşağıdaki şekilde ifade dilmektedir.

- Yaklaşma için son bacak son yaklaşma segmentidir.
- FM veya VM son yaklaşımda radar vektörünün sağlandığı Açık Standart Geliş Yollarını (Open STAR) sonlandırmak için kullanılabilir.
- RF sadece, ARINC 424 veya daha sonrasına uygun sistemlerle donatılmış uçak tarafından uçulan RNP prosedürler için kullanılabilir.

Yol sonlandırıcı sıralaması, izin verilen bacak sıralamalarını tanımlamaktadır. İçi dolu alanlar, izin verilmeyen şimdiki bacak/sonraki bacak sıralamasını göstermektedir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Yol sonlandırıcı sıralaması [126]

| | Sonraki bacak | | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | IF | CA | CF | DF | FA | FM | HM | RF | TF | VA | VI | VM | |
| CA | | | | | | | | | | | | | |
| CF | | | | 1 | | | | | | | | | |
| DF | | | | 1 | | | | | | | | | |
| FA | | | | | | | | | | | | | |
| FM | | | | | | | | | | | | | |
| HM | | | | | | | | | | | | | |
| IF | | | | | 2 | 2 | 2 | 3 | | | | | |
| RF | | | | | | | | | | | | | |
| TF | | | | | | | | | | | | | |
| VA | | | | | | | | | | | | | |
| VI | | | | | | | | | | | | | |
| VM | | | | | | | | | | | | | |

IF bacağı sadece, her bir FA veya HM bacağının sonundaki irtifa tahditleri farklı olduğunda kodlanmaktadır. IF/RF kombinasyonuna sadece son yaklaşmanın başlangıcında izin verilmektedir.

Yol sonlandırıcıların sıralanmasında aşağıdaki temel kurallar uygulanmaktadır:

- FA, CA ve VA, DF veya CF (DF tavsiye edilen) tarafından izlenmesi gerekir.
- TF'den uğrak nokta, TF veya CF tarafından izlenecektir.
- Uğrak noktadan sonra prosedürün DF'ye ihtiyacı varsa, önceki bacak CF veya DF olarak kodlanacaktır.
- DF, geçiş noktası WP'yi izlemez.
- RF bacağının başlangıcı ve sonundaki WP uğrak nokta olarak kodlanmaz.

Her bir yol sonlandırıcıyı desteklemek için gerekli veriler Çizelge 3.6'da tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.6. Yol sonlandırıcılar [126]

| Yol sonlandırıcı | WP tanıtıcısı | Fly-over | Dönüş yönü | Önerilen seyrüsefer yardımcısı | Önerilen seyrüsefer yardımcısından mesafe | Önerilen seyrüsefer | Manyetik yol | Yol uzunluğu | İrtifa kısıtları 1 | İrtifa kısıtları 2 | Hız limiti | Dikey açı | Yay merkezi |
|------------------|---------------|----------|------------|--------------------------------|---|---------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|------------|-----------|-------------|
| CA | | | 0 | | | | ✓ | | 6 | | 0 | | |
| CF | ✓ | 1 | 0 | ✓ | ✓ | | ✓ | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| DF | ✓ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | |
| FA | ✓ | | 0 | ✓ | ✓ | | ✓ | | 6 | | 0 | | |
| FM | ✓ | | 0 | ✓ | ✓ | | ✓ | | 0 | | 0 | | |



Çizelge 3.6. (devam) Yol sonlandırıcılar [126]

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HM | ✓ | | O | O | O | O | ✓ | ✓ | O | | O | | |
| IF | ✓ | | | O | O | O | | | O | O | O | | |
| RF | ✓ | O | ✓ | O | | 2 | 3 | 5 | O | O | O | O | ✓ |
| TF | ✓ | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O | |
| VA | | | O | | | | 4 | | 6 | | O | | |
| VI | | O | O | O | | | 4 | | O | O | O | | |
| VM | O | | O | | | | 4 | | O | | O | | |

✓ - Gerekli O- Opsiyonel 1 – Sadece CF/DF veya DF/DF kombinasyonları için gereklidir
 2 – İç bacak (Inbound) rota Tanjantı 3 – Dış bacak (Outbound) rota tanjantı 4 – Yola doğru olmayan baş (heading not course) 5 – Yol boyunca mesafe 6 – O irtifada veya üzerinde, içi dolu olanlar, o yol sonlandırıcısı için uygun olmayan verileri göstermektedir [26]

3.3.5 İki WP tarafından limitlenmiş bacağın minimum uzunluğu

RNAV sistemlerin geçişlerde zorlanmasını önlemek için, WP'lerin birbirine çok yakın yerleştirilmesinden kaçınılmalıdır, bu nedenle birbirini izleyen WP'ler arası minimum mesafe göz önüne alınmalıdır. İki çeşit WP kabul edilmektedir:

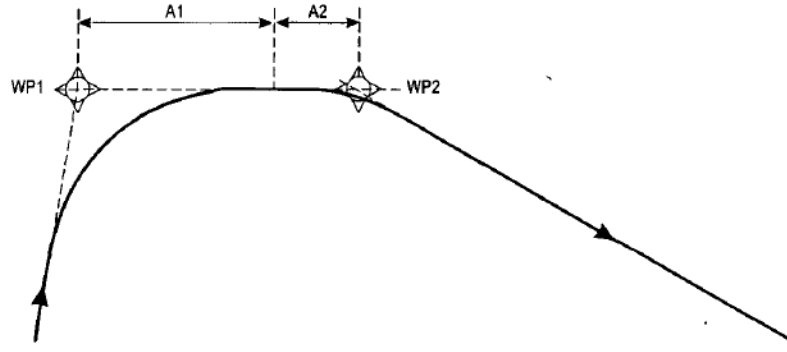
- Geçiş noktası (Fly-by)
- Uğrak nokta (Fly-over)

İki WP ile sınırlanan bacak için dört sıralama mümkündür:

- Geçiş noktasından geçiş noktasına
- Geçiş noktasından uğrak noktaya
- Uğrak noktadan uğrak noktaya
- Uğrak noktadan geçiş noktasına

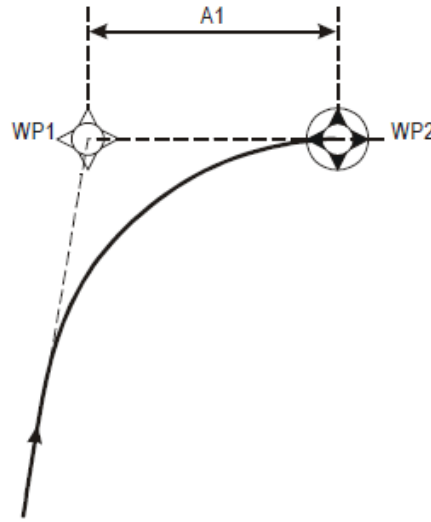
Her bir WP için minimum dengeleme (stabilizasyon) mesafesi belirlenmektedir. Bu mesafe, WP ile yörüngeyi teğet olarak nominal rotaya dahil olduğu nokta arasındaki mesafedir (Şekil 3.24). Birbirini izleyen WP'lerin aralarındaki mesafe, her ikisinin minimum stabilizasyon mesafelerinin toplamına eşittir.

- a) *İki geçiş noktası*: İlk WP (WP1) için, yatış açısı ve hakiki hava süratine göre minimum stabilizasyon mesafesi ($A1$) tablodan bulunur. İkinci WP (WP2) için, minimum stabilizasyon mesafesi ($A2$) yatış açısı ve hakiki hava süratine göre tablodan bulunur. WP1 ve WP2 arasındaki minimum mesafe $A1+A2$ eşittir (şekil 3.20).



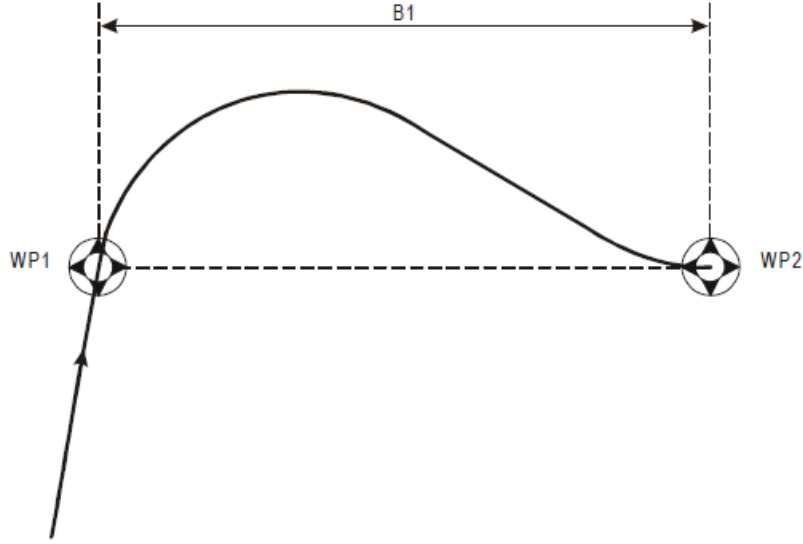
şekil 3.20. İki Geçiş noktası arası mesafe [126]

- b) *Geçiş noktasından uğrak noktaya*: İlk WP (WP1) için, yatış açısı ve hakiki hava süratine göre minimum stabilizasyon mesafesi ($A1$) bulunur. İkinci WP (WP2) uğrak nokta WP'tir, WP1 ve WP2 arasındaki mesafe $A1+0$ yani $A1$ e şittir (şekil 3.21).



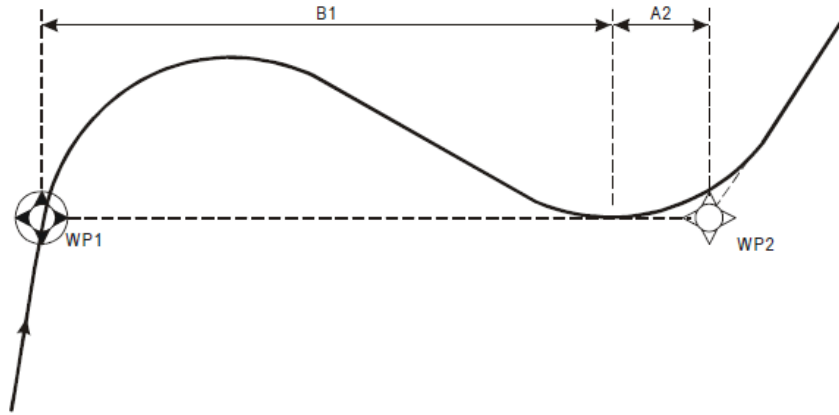
şekil 3.21. Geçiş noktası-Uğrak nokta arası mesafe [126]

- c) *İki uğrak nokta:* İlk WP (WP1) için yatış açısı ve hakiki hava süratine göre minimum stabilizasyon mesafesi (B1) bulunur. İkinci WP uğrak nokta olduğunda WP1 ve WP2 arasındaki minimum mesafe $B1+0$ yani B1 e eşittir (Şekil 3.22).

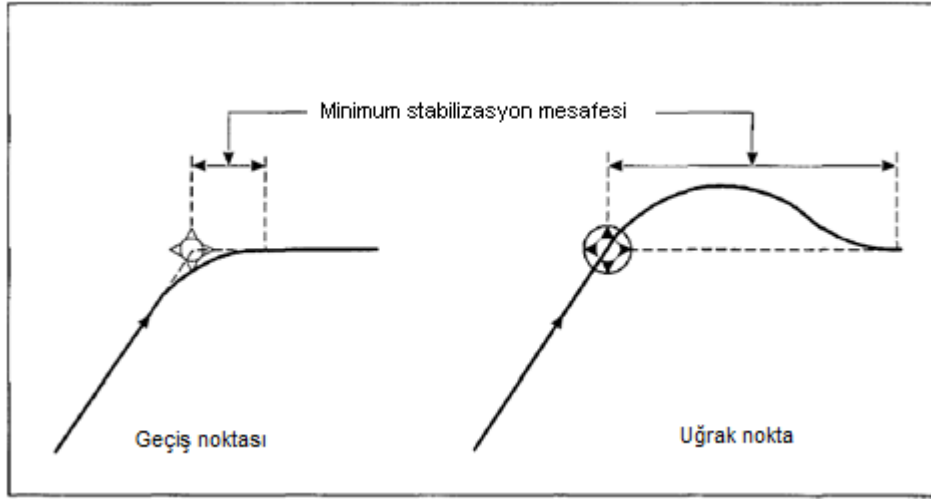


Şekil 3.22. İki Uğrak nokta arası mesafe [126]

- d) *Uğrak noktadan geçiş noktasına:* İlk WP (WP1) için, yatış açısı ve hakiki hava süratine göre minimum stabilizasyon mesafesi (B1) bulunur. İkinci WP (WP2) için, yatış açısı ve hakiki hava süratine göre minimum stabilizasyon mesafesi (A2) belirlenir. WP1 ve WP2 arasındaki minimum mesafe $B1+A2$ eşittir (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24).



Şekil 3.23. Uğrak nokta- geçiş noktası arası mesafe [126]



Şekil 3.24. Minimum stabilizasyon mesafesinin belirlenmesi [126]

Minimum stabilizasyon mesafesinin belirlenmesi

Uğrak nokta dönüş modellemesi

Uğrak nokta dönüş prosedürünün modellenmesinde, uğrak noktalar arasındaki mesafe uzunluğu L1 den L5'e beş parçaya bölünmüştür. Toplam uzunluk bu beş parçanın uzunluğunun toplamıdır.

$$L1 = r1 \times \sin \theta$$

$$L2 = r1 \times \cos \theta \times \tan \alpha$$

$$L3 = r1 \times (1 + \sin \alpha - 2 \cos \theta + \sin(90^\circ - \alpha))$$

$$L4 = r2 \left(\frac{\tan \alpha}{2} \right)$$

$$L5 = c \times \frac{V}{3600}$$

$$L5 = \frac{5V}{3600} \text{ (Cat H için)}$$

$$\text{Minimum mesafe} = L1 + L2 + L3 + L4 + L5 \quad [3.1]$$

$\alpha = 30^\circ$ diğer bacağa oturma açısı

θ = Dönüş açısı

c = 10 saniye yatış zamanı

r_1 = İçeri yalpa yarıçapı

r_2 = Dışarı yalpa yarıçapı

Denklem [3.1] de; eğer mesafeler ve dönüş yarıçapları NM cinsinden ise V kt; eğer mesafeler ve dönüş yarıçapları km cinsinden ise V km/sa olarak belirlenmektedir.

Geçiş noktası dönüş modellemesi

Geçiş noktası için minimum stabilizasyon mesafesinin hesaplanmasındaki model, uğrak nokta için tasarlanan model ile aynıdır. Model, sabit yarıçaplı (r) seviye dönüşünden meydana gelmektedir. Bacağın toplam uzunluğu L_1 ve L_2 nin toplamıdır. L_1 , dönüşe başlama noktası ile WP arasındaki mesafedir. L_2 , yatış zamanı göz önüne alındığında 5 saniyelik gecikmedir (Şekil 3.25).

$$L_1 = r \times \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$L_2 = c \times \frac{v}{3600}$$

$$L_2 = \frac{3V}{3600} \text{ (Cat H için)}$$

$$\text{Minimum mesafe} = L_1 + L_2 \quad [3.2]$$

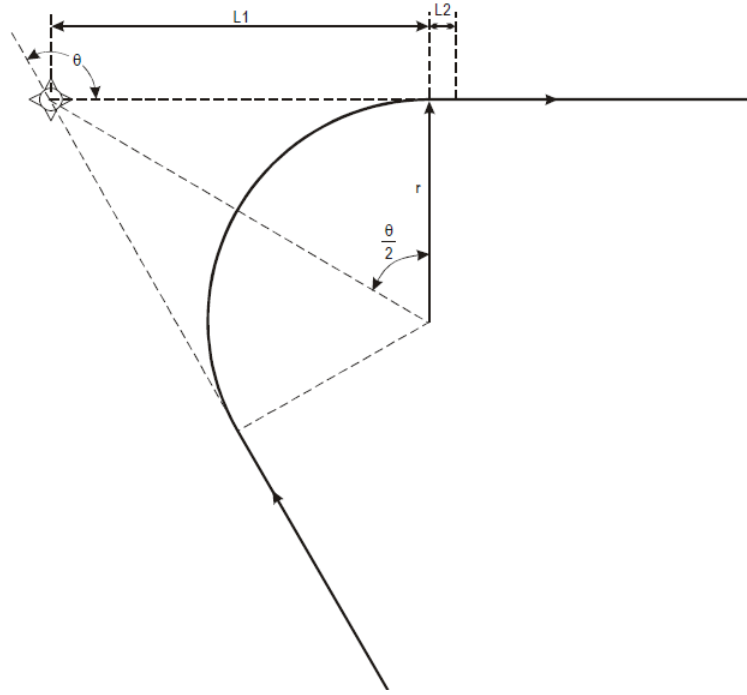
c = 5 saniye yatış zamanı

r = dönüş yarıçapı

θ = dönüş açısı

Denklem [3.2] de eğer mesafeler ve dönüş yarıçapları NM cinsinden ise V kt; eğer mesafeler ve dönüş yarıçapları km cinsinden ise V km/sa olarak belirlenmektedir.

Geçiş noktasından dönüşün yatış açısı: Rota değişikliğinin 50° veya daha fazla olması durumunda (H kategori için 30°), minimum stabilizasyon mesafesi yatış açısının uçuş safhasına göre 15° , 20° veya 25° kabul edilerek belirlenmektedir. Rota değişikliğinin 50° den az olması durumunda (H kategori için 30°), minimum stabilizasyon mesafesi rota değişikliğinin 50° (H kategori için 30°) olarak hesaplanması ile elde edilen değere eşittir [126].



Şekil.3.25. Minimum stabilizasyon mesafesi- geçiş noktası [126]

Bu bölümde TMA'da RNAV kullanımı ve RNAV prosedürlerin tasarım kriterleri anlatılmıştır. Bölüm 4'de ise, RNAV dayalı yol yapısına sahip yeni bir teknik olan PMS anlatılacaktır.

4. PMS TEKNİĞİNE DAYALI ÇÖZÜM ÖNERİSİ

4.1 Toplama Noktası Sistemi

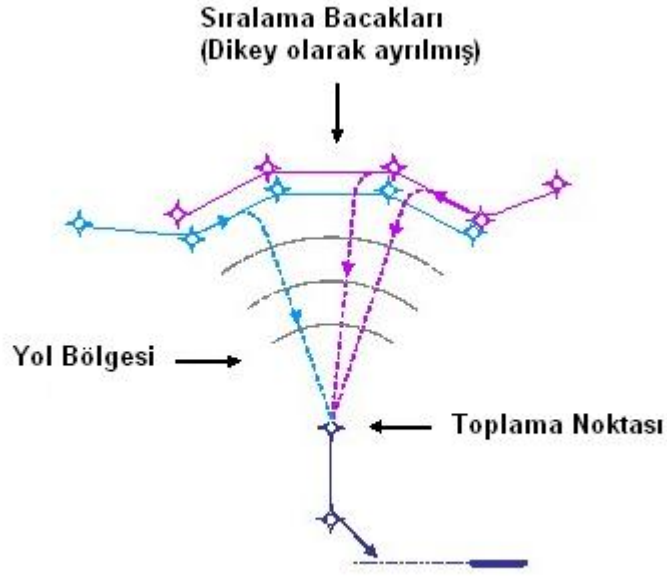
ICAO doküman 9931 Devamlı Alçalma Operasyonları (CDO-Continuous Descent Operations Manual) Manüel'e göre Toplama Noktası Sistemi (PMS-Point Merge System) geliş trafik akışını sıralamada kullanılan yöntemlerden birisidir [11]. Toplama Noktası Sistemi, çalışma içerisinde PMS kısaltması ile ifade edilecektir.

PMS, geliş trafik akışlarını kapalı döngü yörüngeler ile toplama noktasına yönlendirerek trafik sıralamasına olanak tanıyan bir tekniktir. Bu teknik, yoğun hava trafiği altında Uçuş Yönetim Sistemi (FMS-Flight Management System) tarafından sağlanan yatay rehberliği kullanarak tasarlanmaktadır ve yapısal özellikleri devamlı alçalmaya olanak tanımaktadır.

PMS'nin, kısa vadede uygulanması beklenmektedir. Mevcut teknoloji tarafından desteklenmekte ve RNAV rota yapısının kullanımı sayesinde yüksek, orta veya düşük yoğunluktaki TMAda kullanılan P-RNAV uygulamaları ile uyumludur. Eurocontrol, PMS tekniğinin 2012 yılında uygulamaya gireceğini ifade etmektedir.

PMS, daha önceden tanımlanmış, toplama noktasına eşit uzaklıkta olan ve yolun kısaltılması veya uzatılması için kullanılan bacaklar (sıralama bacakları) ile elde edilmiş özel P-RNAV yol yapısına dayalıdır (Şekil 4.1) [127]. Bu doğrultuda, RNAV STAR olarak da tanımlanabilir [7].

Hava trafiğinin sıralanması, geleneksel "direkt gönderme (direct-to)" talimatı (toplama noktasına direkt gönderme) ile sağlanmış olur. Açık döngü (open-loop) vektör sadece beklenmedik durumlarda kullanılır [127].



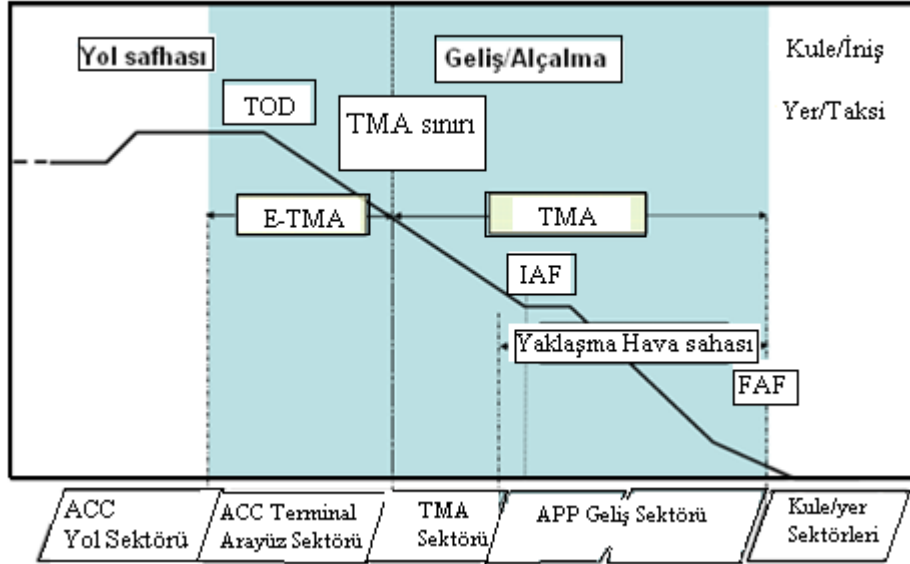
Şekil 4.1. PMS yol yapısı [98]

PMS, özellikle uçuşun yaklaşma safhasında kullanılmaktadır. Yaklaşma safhası, yol safhasındaki uçağın seyir (cruise) seviyesini terk ettiğinde başlar ve uçağın son yaklaşma fiksine (FAF-Final Approach Fix) ulaşması veya meydan kontrol kulesine devredilmesi ile son bulur. Oldukça özel bir durum olmasına rağmen, bir veya daha fazla meydana gelen trafiğin yönetilmesinde kullanılan Uzatılmış Terminal Sahası (E-TMA: Extended Terminal Area) da tanımlanması gereken bir kavramdır. E-TMA, Yol (Enroute) ve TMA sektörleri arasında geçiş olarak kabul edilebilir. Kısacası, uçağın yol safhasını terk ettiği fakat TMA'ya girmediği hava sahasıdır.

TMA, biçimsel olarak yaklaşma safhasını kapsamasına rağmen, PMS uygulamasına göre çeşitli hava sahası tiplerini de kapsar. Aralarındaki farklara bakıldığında (Şekil 4.2):

- a) E-TMA/TMA, alçalmaya başlama noktası (TOD-Top of Descent) ve ilk yaklaşma fiksi (IAF-Initial Approach Fix) arasında kalan, yol kontrol merkezi (ACC-Area Control Center) terminal saha ara yüzeyi ve TMA sektörünü kapsar.

- b) Yaklaşma hava sahası/yaklaşma kontrol safhası, yaklaşma geliş sektörlerine karşılık gelir; IAF ve FAF veya meydan kontrol kulesine transfer edildiği nokta arasındadır.



Şekil 4.2. Uçuşun yaklaşma safhası için kontrol fazları ve sektörler [7]

- c) TMA sektörünün kontrolörü, TMA sektörleri tanımlandığında ACC terminal sektör kontrolörleri ile aynı yerde örneğin; ACC içinde ya da Yaklaşma (APP-Approach control) sektörü kontrolörleri ile birlikte olabilir.
- d) IAF ve ilgili bekleme paternleri tanımlandığında; TMA sektörü sorumluluk alanında olabilir veya (yukarıdaki gibi) APP sektöründe olabilir.
- e) E-TMA, yukarıda gösterildiği gibi “ACC Terminal Ara yüzeyi” sektörlerine karşılık gelir.

TMA’da geliş akışlarının toplanması için amaçlanan yeni prosedür için uygulanacak kurallar şunlardır:

- a) Hava trafiğinin emniyetli, hızlı ve düzenli akışını sağlamayı amaçlayan hava trafik kontrol hizmetinin sorumluluğu aynı şekilde kalacak, hiçbir değişiklik olmayacaktır. Aynı zamanda, özellikle Uluslararası Sivil

Havacılık Teşkilatı'nın Hava Seyrüsefer Hizmetleri için Prosedürler ve Hava Trafik Yönetimi dokümanı (PANS-ATM-Procedures For Air Navigation Services And Air Traffic Management) ile ilgili herhangi bir değişiklik yoktur. Yeni prosedürün zamana dayalı ayırma ile uyumlu olması beklenmesine rağmen, ayırma kriterleri aynı şekilde mesafeye dayalı olacaktır.

- b) Emniyet ve kapasite konusunda, yeni prosedür ile yoğun trafikte bile basit kapalı döngü talimatlar uygulanarak uçağın yatay seyrüseferini muhafaza etmesi sağlanarak, kontrolör taktiksel müdahale ihtiyacının azaltılması gerekmektedir. Açık döngü radar vektörleri sadece beklenmedik durumlarda kullanılmalıdır.
- c) Yoğun hava trafiği süresince, yeni prosedür kapasiteyi/üretilen işi muhafaza etmek için yeterince esnek olacaktır. Yeni prosedür, trafikleri geciktirme veya hızlandırma durumunda, TMA'da daha önceden belirlenmiş rota değişikliklerine bağlı olarak uygulanan mevcut P-RNAV uygulamalarından daha fazla esneklik sağlamalıdır.
- d) Prosedür, dikey profillerin verimliliğini desteklemek için bazı yatay tahmin edilebilirlik şekillerini sağlaması gerekmektedir ve aynı zamanda Gelişmiş Devamlı Alçalma Yaklaşması (A-CDA-Advanced Continuous Descent Approach) kavramı ile uyumlu olmalıdır.
- e) RNAV prosedürler ile operasyonlar daha da kolaylaşmaktadır. Yeni prosedür, kontrolörlerin herhangi yeni bir ekipmana ihtiyaç duymaksızın sıralamayı oluşturup muhafaza etmesini sağlayacaktır.
- f) Son olarak, prosedür ilgili kısıtlamalara (hız, irtifa, vb.) uyacaktır [132,3].

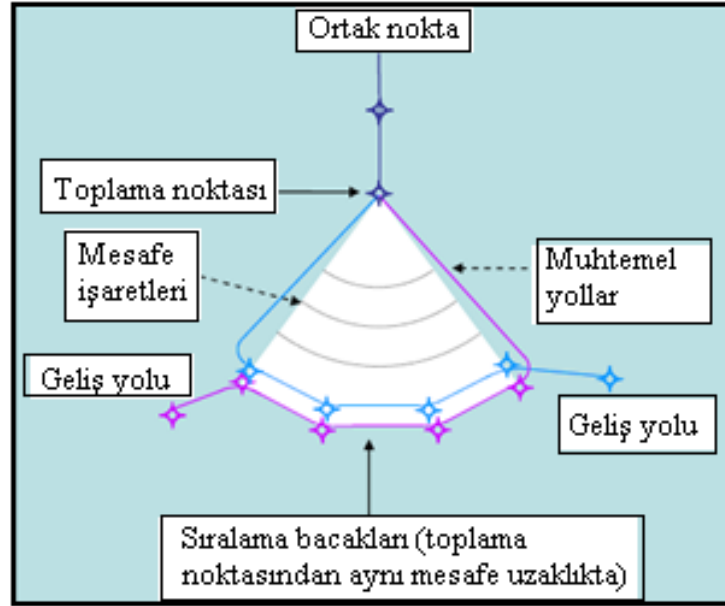
P-RNAV'a dayalı bu yeni PMS tekniği, kesişen geometrili yol oluşturma kabiliyetine sahip özel bir yol yapısına ve devamlı alçalmaya imkan tanıyan RNAV'ın daha kapsamlı kullanımını sağlayan operasyonel yöntemeye dayalıdır [7].



4.1.1 PMS yol yapısı

Geliş trafik akışının belirli bir eksende değil, belirli bir nokta üzerinde toplanmasını amaçlayan, kısacası toplama noktası ile desteklenen yeni yol yapısı PMS olarak tanımlanmaktadır. PMS, geçiş veya ilk yaklaşma prosedürü veya bunların bir parçası olarak tanımlanır ve aşağıdaki özellikler ile karakterize edilmektedir:

- Toplama noktası (Merge point)*, trafiklerin toplanması için kullanılan tek bir noktadır.
- Sıralama bacakları (Sequencing legs)* olarak belirtilen; önceden tanımlanmış bacaklar, toplama noktasına bacak boyunca aynı mesafe uzaklıktadır (Denk mesafe-isodistant), bu durum bacakların oluşturacağı yayın merkez noktasının toplama noktası olması ile sağlanmaktadır, aynı zamanda ayrı bacaklar, toplama noktasına aynı mesafe uzaklıkta olacaktır (Eşit mesafe-equidistant).



Şekil 4.3. PMS yol yapısı örneği [7]

İki akışlı basit bir konfigürasyonun (Şekil 4.3), aşağıdaki özelliklere sahip iki tane sıralama bacağından meydana geldiği görülmektedir. Toplama noktasında birleşen yollar üçgen şeklinde bir alan oluşturmaktadır:

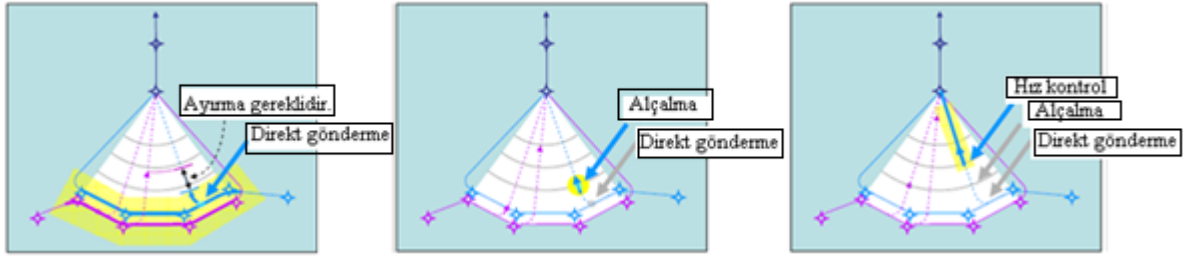
- a) Paralel bacak, (ayrı bacaklar toplama noktasından eşit uzaklıkta olacaktır, örneğin yatayda yaklaşık 2nm mesafe) zıt yönlü ve dikey olarak ayrılmıştır.
- b) Parçalı (segmented) bacak, toplama noktası merkezli yarım yaylar (bacaklar, toplama noktasına bacak boyunca aynı mesafe uzaklıktadır) şeklindedir [7].

Operasyonel yöntem

Operasyon yöntemi, PMS rota yapısını kullanarak geliş trafiklerini toplamayı amaçlamaktadır ve iki safhadan meydana gelmektedir:

1. Trafikler arasında ayırmayı sağlamak,
 - i) ATC müdahalesi olmadan, uçağı sıralama bacağı boyunca bırakarak yolu uzatmak,
 - ii) Sıralamada öndeki uçak ile gerekli ayırma sağlandığında, toplama noktasına “direkt gönderme (direct to)” talimatının verilmesi.
2. Bacağı terk ettikten sonra hız kontrolü ile ayırmayı muhafaza etmek.

Normal prosedür, direkt gönderme talimatı verilmesi gibi yatayda tek bir kontrolör müdahalesi gerektirmektedir. Kapalı döngü prosedür olduğunda, uçak bütün prosedür boyunca FMS'in yatay rehberliği altında kalmaktadır. PMS operasyonunda direkt gönderme talimatı hem sıralamayı, hem de sıralamada uçaklar arasındaki ilk uzunlamasına ayırmayı oluşturması yönünden önemlidir. Bu özellik, PMS'in sıralama yönetiminin safhaları ile arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Point merge operasyon yönteminin temel adımları [7]

Aynı zamanda normal prosedür sadece diğer bacadaki trafik ile ayırma sağlandığında direkt gönderme talimatından sonra alçalma talimatının verilmesi için tek bir kontrolör müdahalesi gerektirmektedir. Alçalma profili, Devamlı Alçalma Yaklaşması (CDA-Continuous Descent Approach) şeklinde FMS tarafından bilinen gidilecek mesafe olarak, sıralama bacalarının seviye/irtifasından verilerek optimize edilebilir.

PMS genellikle açık sonlu prosedür olarak düşünülmemektedir. PMS kuralı, taktik kontrolör müdahalesini azaltmakta ve RNAV kullanımını arttırmaktır. Bu nedenle, bu prosedür kapalı STAR olarak tasarlanmaktadır ve böylece uçak direkt gönderme talimatı almaksızın sıralama bacağının sonuna kadar uçar ve toplama noktasına otomatik olarak dönüşünü gerçekleştirir [7].

PMS temel tasarım seçenekleri ve olası kombinasyonlar

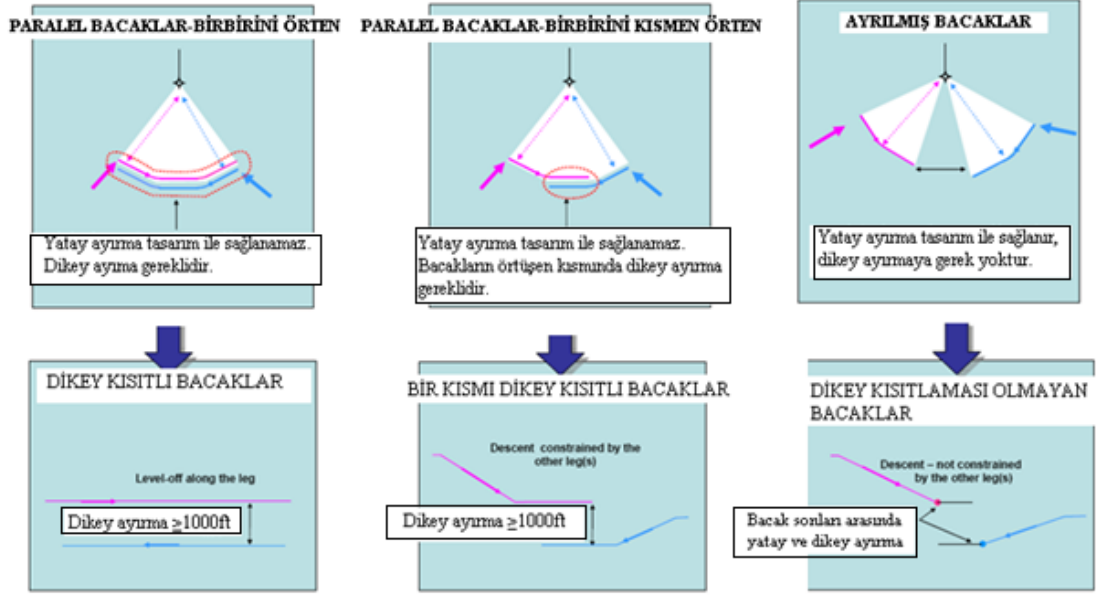
Sıralama bacaları, yatay veya dikey olarak birbirinden ayrılacaklardır. Aynı değerler, tüm bacalar veya her ikisinin kombinasyonu boyunca uygulanabilir (örneğin, bir kısımda yatay ayırma, geri kalan kısımda dikey ayırma uygulanması gibi).

Yatay olarak ayrılmamış bacalar, toplama noktasından aynı mesafe uzaklıkta oldukları için, paralel ve aynı şekilde olarak kabul edilmektedir (dairenin yayları gibi). Bacalar arasında dikey ayırma seviyeyi terk etme veya kısıtlı alçalma ile sağlanabilmektedir.

Sonuç olarak üç temel tasarım seçeneği aşağıda verilmiştir (Şekil 4.5):

- Birbirini tamamen örten paralel bacalar, uçaklar seviye terk edebilir (aynı zamanda bacalar boyunca kısıtlı alçalma olabilir),*

- b) *Birbirini kısmen örten paralel bacaklar*, birbirini örten parçalar için kısıtlı alçalma (aynı zamanda seviye terk etme) olabilir,
- c) *Birbirini örtmeyen paralel olmayan bacaklar (ayrılmış)*, kısıtsız alçalma (emniyet değerleri açısından bakıldığında, bacağın son bulması halinde, bacakların sonları arasında dikey ayırma) olabilir.



Şekil 4.5. Sıralama bacaklarının yatay ve dikey tasarım seçenekleri [7]

Dikey profillerle ilgili uygulamalar:

- a) *Seviyeyi terk etmek*: Sıralama bacaklarının irtifalarından/seviyelerinden CDA mümkün olabilir.
- b) *Diğer bacaklar nedeniyle kısıtlı alçalma*: Uçaklar, her iki bacağımda ilk kısımlarında yavaş alçalmayı (gentle descent) izleyebilir. Toplama noktasının rotasına girdiğinde dikey profile uyum sağlanabilir. Seyir seviyesine yakın bir seviyeden kesintisiz CDA mümkündür.
- c) *Diğer bacaklar nedeniyle kısıtsız alçalma*: Toplama noktası rotasındayken dikey profile uyum sağlamak amacıyla, minimum ve maksimum mesafeler yeterince yakın olarak kabul edilir (örneğin bacağın yeterince kısa olması). Seyir seviyesine yakın bir seviyeden kesintisiz CDA mümkündür.

Giriş noktaları ile ilgili olarak, trafik önceden sıralanmış ve uzunlamasına ayrılmamış olabilir. Özellikle seviye terk edilmesi durumu için sıralama bacaklarında iki veya üç gibi çoklu irtifa/seviye kullanılabilir. Giriş noktalarının bağlılığını kolaylaştırmak için, kontrolör uçağı sıralama bacağındaki bir noktaya gönderebilir. Örneğin; kontrolör, geliş trafik akışı içinden bazı uçakları bacağı ikinci veya üçüncü noktasından direkt giriş talimatı verebilir [7]

4.1.2 PMS yol tasarım kriterleri

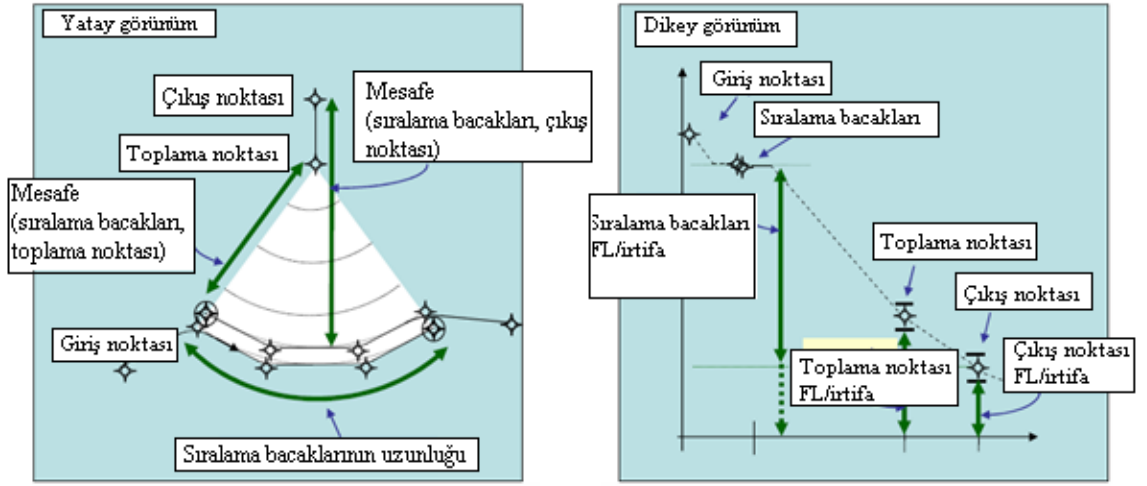
Tasarım seçenekleri üç kategoriye ayrılmaktadır:

- 1) PMS'nin anahtar boyutlandırma parametreleri,
- 2) PMS'nin temel geometrik karakteristikleri,
- 3) Yol yapısındaki çeşitli seçeneklere göre PMS'nin kombinasyonları.

1) *Boyutlandırma parametreleri*

PMS'nin temel parametreleri aşağıda belirtilmiştir (Şekil 4.6):

- a) Sıralama bacaklarının uzunluğu,
- b) Sıralama bacakları ve toplama noktası arasındaki mesafe,
- c) Prosedürün en son noktası ile sıralama bacakları arasındaki mesafe,
- d) Sıralama bacaklarının irtifa (ları)/seviye (leri) (veya PMS'e girişteki irtifa/seviye) ve/veya PMS'den çıkıştaki irtifa/seviye sınırları arasındaki farklılıklar,
- e) Toplama noktasının irtifa/seviye sınırıdır.



Şekil 4.6. Temel boyutlandırma parametreleri [7]

Boyutlandırma parametrelerindeki değişikliklerin meydana getirdiği etkiler aşağıda Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. PMS boyutlarındaki değişikliklerin etkileri [7]

| Parametre değişkeni | Yararlar | Sakıncaları |
|---|--|--|
| Sıralama bacalarının uzunluklarının arttırılması | Uçak, sıralama bacağına üzerinde daha uzun süre kalacaktır ve böylelikle gecikmede artış meydana gelecektir. | Parçalı (segmented) sıralama bacalarının uzunluğunun arttırılması ile, her bir segmentte farklı etkisi olacak rüzgara karşı hassasiyet artacaktır. Daha geniş 2D kaplama alanı |
| Sıralama bacaları ile toplama noktası arasındaki mesafenin arttırılması | Hız kontrolü ile ayırmanın sürdürülmesini kolaylaştıracaktır ve toplama noktasında daha doğru ayırma sağlanacak ve böylelikle prosedürün operasyonel kabul edilebilirliği açısından yararlıdır. Toplama noktası korsunda hız kontrol sayesinde ayırmanın korunabilme şansı daha fazlaysa, “direct to” zamanı daha az önem taşımaktadır. Arttırılmış tahmin edilebilirlik ile sıralama daha erken zamanda oluşturulacaktır. | Sıralamanın erken zamanda oluşturulması, sıralama değişikliğindeki esnekliği (radar vektörü kullanmaksızın) azaltmaktadır. Daha geniş 2D kaplama alanı ve bacalar için daha yüksek irtifalar/seviyeler. |
| Sıralama bacalarının irtifalarının arttırılması | Çevresel etkileri azaltacak ve uçuş verimliliğini arttıracaktır. Sıralama bacaları ile çıkış noktası arasındaki mesafenin de kombineli olarak arttırılması ile, aynı zamanda daha yüksek irtifalardan/FL den devamlı alçalmaya (CDA) olanak sağlayacaktır. | Yukarıda bahsedilen sakıncalardan dolayı sıralama bacaları ve toplama noktaları arasındaki mesafenin de arttırılması gerekebilir. Yüksek seviyelerdeki bacalarda uçmak, uçuşların daha hızlı olmasını gerektirecektir, aynı uzunluk için gecikmeler azalacaktır. |

PMS'yi kısıtlaması beklenen faktörler şunlardır:

- a) Mevcut hava sahası hacminin boyutu/büyüklüğü,
- b) Prosedür, farklı uçak tipleri ve farklı atmosferik şartlara izin veren dikey profil ile tasarlanacak olması,
- c) Hava sahası sektörizasyonu ve sınırları: PMS farklı sektörlerle de uzanacağından kontrolör ile ilgili operasyonel konuları arttırması [7].

2) *Geometrik karakteristikler/özellikler*

Temel tasarım kriterleri aşağıdaki özellikler ile tanımlanmaktadır:

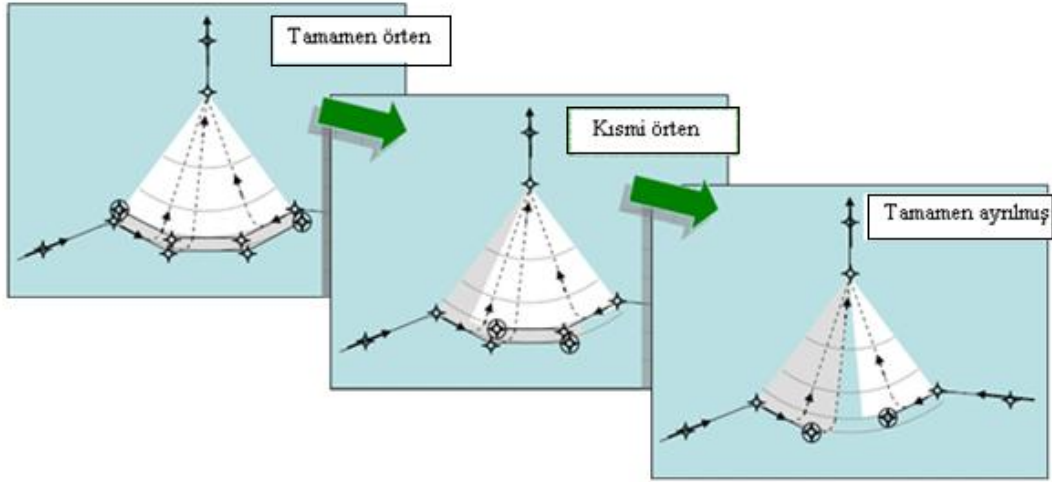
- a) Yatay düzlemde sıralama bacalarının bağlı pozisyonu (paralel, yakın grup veya ayırık, aynı veya zıt yönlü),
- b) Her bir bacakta kullanılan seviyelerin sayısı.

PMS geometrik özelliklerinin dayalı olduğu kriterler şunlardır:

- a) Dikey düzlemde sıralama bacalarının bağlı pozisyonu,
- b) Sıralama bacalarının şekilleri (düz bacaklar veya daire yayına yakın parçalı (segmented) bacaklar),
- c) Acil direkt gönderme talimatı verilmesi yerine rota değişikliklerinde sıralama bacaları üzerine yerleştirilmiş daha önceden tanımlanmış, sabit dönüş noktaları,
- d) Sıralama bacalarının sayısı,
- e) PMS de simetri ve açılar.

Sıralama bacalarının bağlı yatay pozisyonları

Sıralama bacaları birbirini tamamen örten paralel, birbirinin bir kısmını örten paralel veya ayrılmış bacaklar olarak belirlenebilir. Rota yapısındaki farklılıklar Şekil 4.7'de gösterilmektedir [7].



Şekil 4.7. Bacak uzunluklarının ayarlanarak ayrılması [7]

Sıralama bacakları üzerinde çoklu seviyeler/irtifaların kullanımı

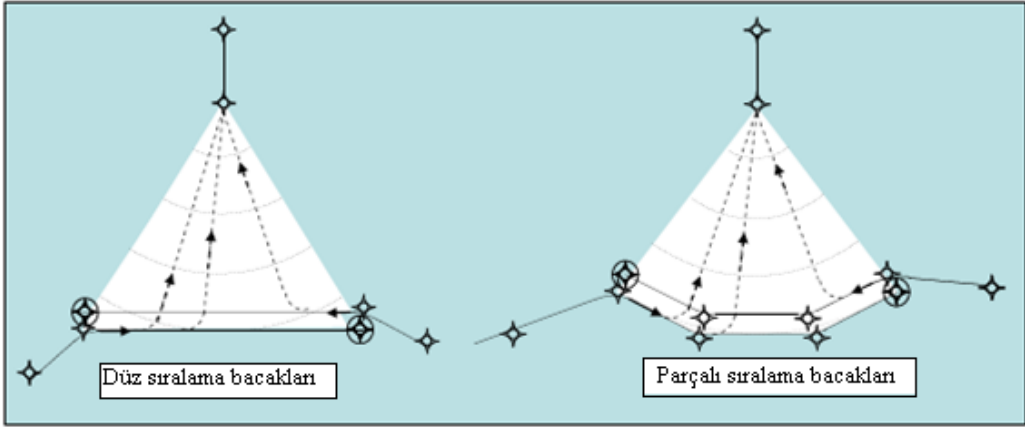
Boş seviyeye ihtiyaç olmamasına rağmen; sıralama bacağında seviye kalmaması durumu için, tek bacak üzerinde birden fazla seviye/irtifa kullanılması tasarım parametrelerinde ikinci temel kriter olarak tanımlanmaktadır. Uzunlamasına ayırmanın sağlanamadığı durumlarda, dikey ayırma ihtiyacında kullanılabilir.

Prosedür tanımına göre, bu seçenek, bacakta kullanılan her bir seviye/irtifa için belirli dikey tahditleri olan ayrı bir STAR tanımını gerektirebilir.

Sıralama bacaklarında çoklu seviye kullanımı, geliş akışlarının genel düzeni için olması gerekenleri azaltmayacaktır (PMS kapasitesini arttırmaz) [7].

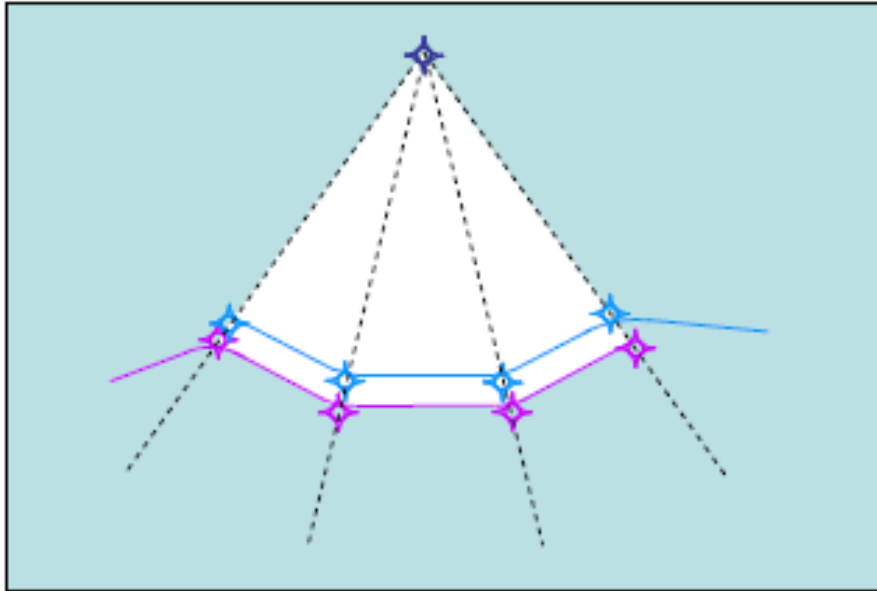
Sıralama bacaklarının şekilleri

Daire yayına yakın (Şekil 4.8) sıralama bacakları, kontrolörlerin başlangıçtaki ayırmaı sağlaması için daha kolaydır ve prosedürün kabul edilebilirliği ve ayırma doğruluğu açısından faydalı olacaktır. Merkezi toplama noktası olan yaya benzeyen sıralama bacakları en doğal tasarımıdır.



Şekil 4.8. Düz ve parçalı sıralama bacakları [7]

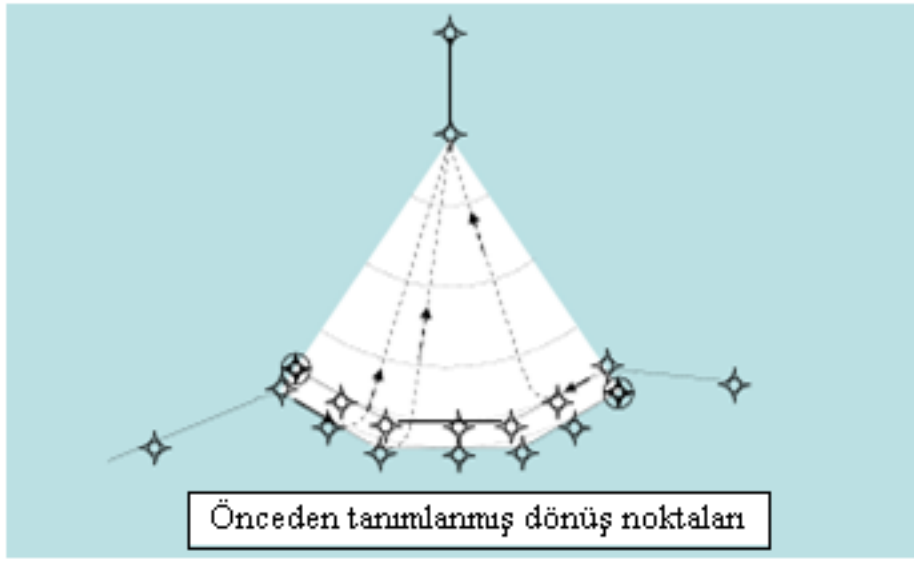
Daire yayına benzeyen sıralama bacaklarında bacak bölümlerinin belirlenmesinde bacak boyunca geçiş noktası WP'lerin kullanılması, ayrıca, ayrı paraleller üzerinde bacak bölümlerini tanımlayan WP'ler, daire yayına benzer bacaklar, toplama noktasının radyalleri üzerinde hizalanmış olması gerekmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Paralel parçalı bacaklar için WP'lerin radyale göre hizalanması [7]

Önceden tanımlanmış dönüş noktaları

Sıralama bacakları üzerindeki önceden belirlenmiş dönüş noktaları (Şekil 4.10), biraz daha farklı bir çalışma yöntemi içermektedir. Bu noktalar, tahmin edilebilirliği arttırarak, RNAV rotaların tam olarak uygulanmasının önünü açacaktır (önceden belirlenmiş dönüş noktaları, önceden belirlenmiş rotaları tanımlar). Bu yöntem, sıralama bacağında herhangi bir zamanda uygulanan direkt gönderme talimatına göre daha az esnek ve daha az doğrudur [7].



Şekil 4.10. Önceden tanımlanmış dönüş noktaları [7]

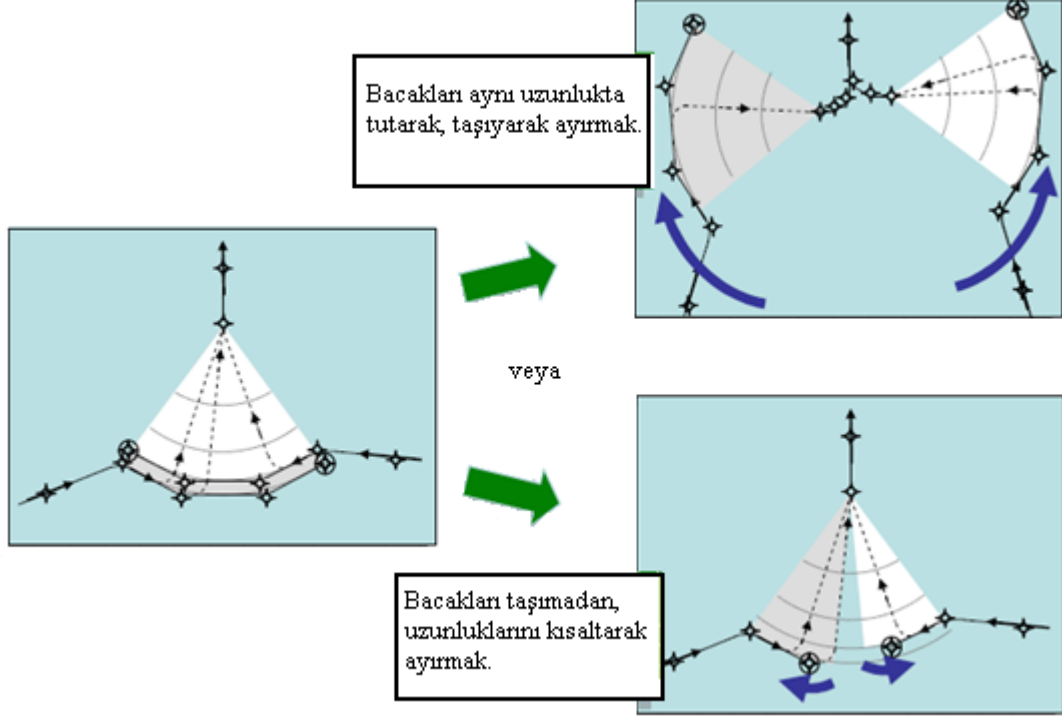
Paralel bacaklardan ayrılmış bacaklara geçiş için kriterler

Paralel sıralama bacağından tamamen ayrılmış bacaklara geçiş, bacakların ayrı bir yere taşınması ile sağlanabilir. Taşıma işlemi yapılırken, bacakların toplama noktasına olan mesafe ve uzunluklarının değişmeden kalması ve bacakların sonunda yeterli yatay ayırmanın sağlanması da gerekmektedir. Bu tip bir geçiş, arttırılmış hava sahası ihtiyacı doğurduğundan her zaman uygulanamayabilir.

Ayrılmış bacaklara geçiş için diğer bir yöntem ise, bacakları taşımaksızın, bacaklara giriş noktalarının ve uçuş yörüngeleri için rotaların yerini muhafaza ederek, sıralama bacaklarının uzunluklarının azaltılmasıdır. Bu durumda rota

uzatma kabiliyeti (böylece PMS kapasitesi) azalacaktır ve trafik akışının sıralama öncesi düzen şartları daha sıkı şekilde uygulanacaktır (Şekil 4.11).

Bu gibi konfigürasyonlarda, sıralama bacalarının son noktaları arasında uygun yatay ayırma gerekmektedir.



Şekil 4.11. Sıralama bacalarından ayrılmış bacalara geçiş [7]

PMS rota yapısının dağıtımını için seçenekler

Kapasite gereklilikleri/trafik yoğunluğu ve bölgesel kısıtlara uyum sağlamak için, PMS'yi destekleyen farklı rota yapıları kullanılabilir:

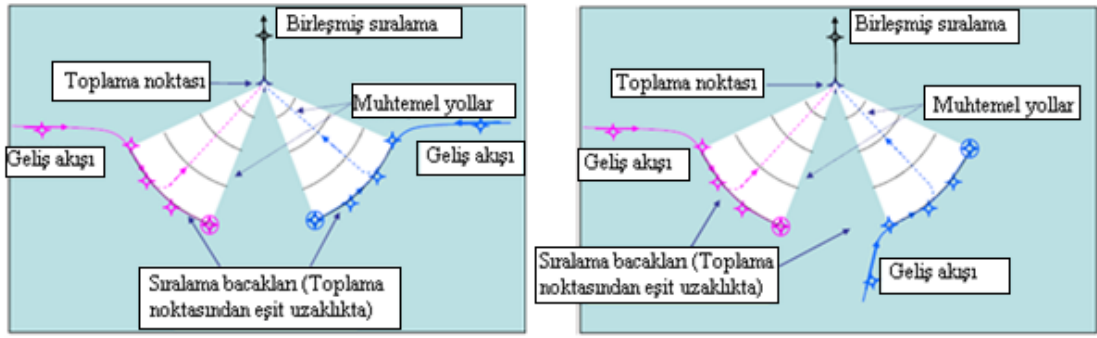
- Statik olarak, beklenen maksimum bölgesel trafik yoğunluğuna göre, rota uzatılmasında kısıtlama beklenen orta yoğunluktaki hava sahasında; kısa, ayrılmış sıralama bacaları sürekli olarak kullanılabilir ya da,
- Dinamik olarak, en yoğun saatlerde trafik talebinin değişkenlik göstermesi durumunda, örneğin aynı hava sahasında, yoğun periyotların dışında kısa/ayrılmış bacalar, trafiğin yoğun olduğu saatlerde ise uzun/paralel sıralama bacaları kullanılabilir.

Sıralama bacaklarının yönleri

Aynı yöndeki sıralama bacakları, paralel sıralama bacakları ile iki veya daha fazla geliş akışını toplamayı amaçlayan konfigürasyona uyum sağlayabilir.

Ayrılmış bacaklar aynı veya zıt yönlü olabilir. İki geliş trafik akışını içeren PMS ile ilgili diğer örnekler aşağıdaki gösterilmektedir (Şekil 4.12). İki tane sıralama bacağı, aşağıda belirtilen özelliklerden meydana gelmektedir:

- Birbirinden ayrılmış ve karşılıklı yönlerde (sol diagram) veya aynı yönde (sağ diagram) sıralama bacakları,
- Parçalı, merkezi toplama noktası olan dairenin yaylarına benzeyen (standart mesafe gereklidir) sıralama bacakları.



Şekil 4.12. Aynı veya zıt yönlü ayrı sıralama bacakları [7]

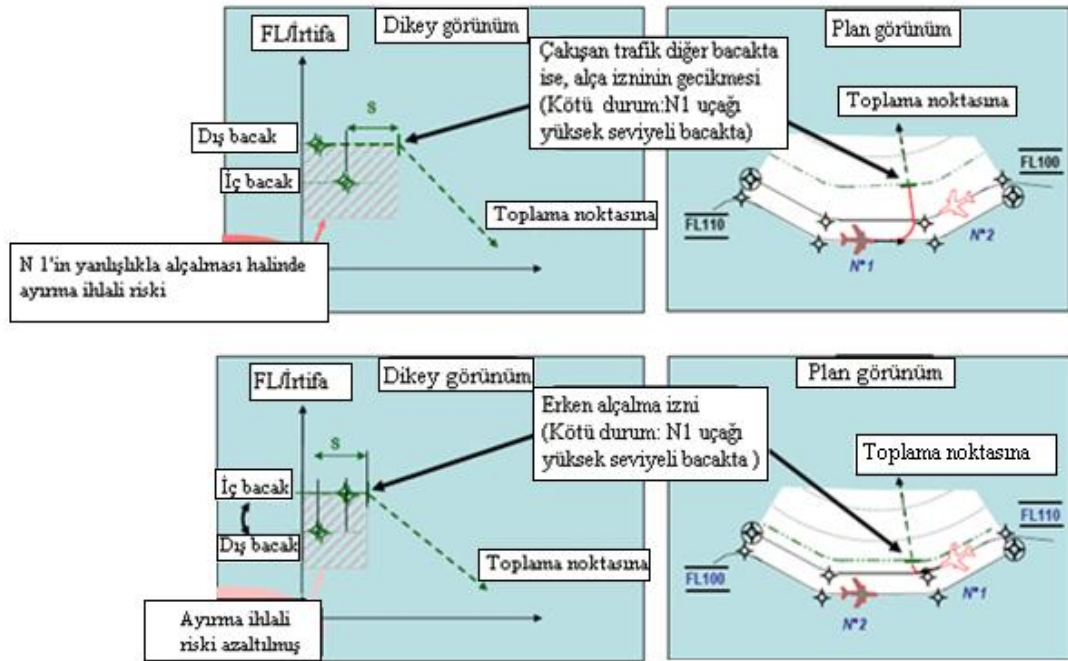
Sıralama bacaklarının bağıl dikey pozisyonu

Sıralama bacakları arasındaki dikey ayırma, aşağıdaki maddeler dikkate alınarak uygulanacaktır:

- Genel bir kural olarak; uçağın, sıralamanın oluşturulması/korunması için uygun hızlarda tutulması ihtiyacı ve alçalma açısından, uzunlamasına ayırma sağlanırken, toplama noktasına aynı irtifada ulaşmak için, sıralama bacakları boyunca kullanılan seviyelerde /irtifalarda çok büyük farklılıklar olmayacaktır;
- Paralel sıralama bacakları dikey olarak ayrılacaktır, uygun dikey tahditler kullanılarak yayınlanan farklı irtifa/seviyelere (en azından 1000ft ayrı seviye) atanabilir.

Çok doğal görünmemekle birlikte, genellikle PMS'in içteki sıralama bacağı en yüksek FL/irtifada belirlenerek tasarlanacaktır. Bu durumun ana sebebi; uçağın toplama noktasına direkt gönderme talimatı almasıyla birlikte beklenmedik şekilde alçalmaya başlaması halinde ayırmanın ihlali riskini azaltmaktır.

Bu tasarımın seçilmesinin bir diğer nedeni ise; özellikle bu yüksek bacadaki uçağın, alçalmaya daha erken izinli kılınabilmesidir (Şekil 4.13). Sıralama bacakları arasındaki yatay/dikey ayırmalara dayalı olarak, hangi bacadan gelirse gelsin toplama noktasına dönüşten hemen sonra, aynı kontrolör hem direkt gönderme (direct to) talimatını hem de alçalmasını verebilir.



Şekil 4.13. Paralel sıralama bacakları irtifa tasarım seçenekleri [7]

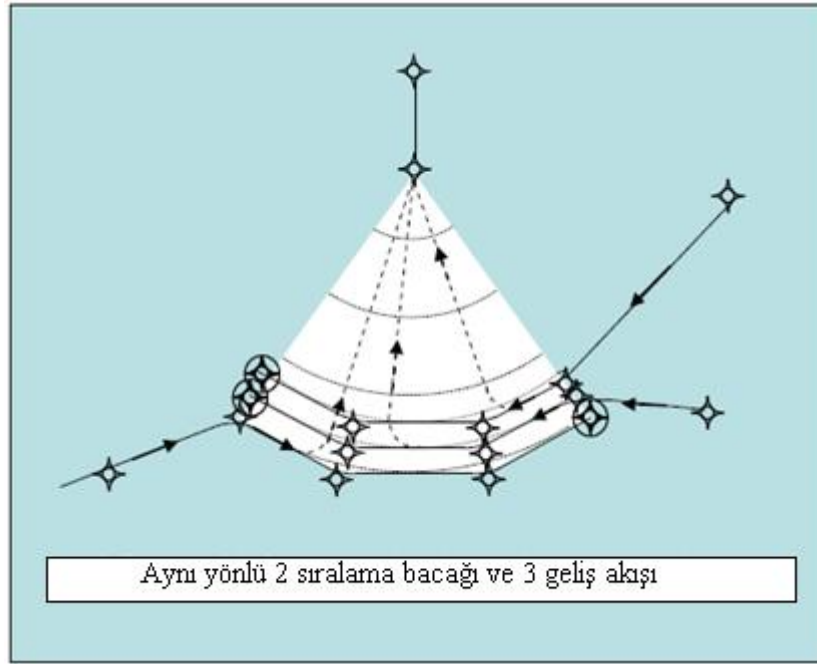
Sıralama bacaklarının sayısı

Geliş trafik akışının sayısına bağlı olarak, PMS tasarımının iki veya daha fazla sıralama bacağına içermesi gerekebilir. Üç paralel sıralama bacaklı tek bir PMS örneği Şekil 4.14'de gösterilmektedir.

Üç veya daha fazla sıralama bacağı olması durumunda, eğer öndeki uçak içteki bacadaki ve izleyen uçak dıştaki bacadaki ise, toplama noktasına direkt gönderme talimatının verilmesi için karar zamanı önemli derecede azalabilir.

Tek bir PMS'de sıralama bacaklarında ikiden daha fazla seviye kullanılması, boş seviyelerin bulunmasını gerektirebilir.

Sonuç olarak, iki veya üçten daha fazla geliş trafik akışını yönetmek için diğer bir çözüm ise kombine PMS'lerin kullanılmasıdır [7].



Şekil 4.14. Üç sıralama bacağı örneği [7]

Simetri ve açılar

PMS de simetri

Genel bir kural olarak, PMS rota yapısının tasarımındaki simetrinin sağlanmasında, ayrıca:

- Uygulama için operasyon yönteminin kolay ve sezgisel tutulması,
- Uçulan yörüngede daha iyi tahmin edilebilirliğin sağlanması,

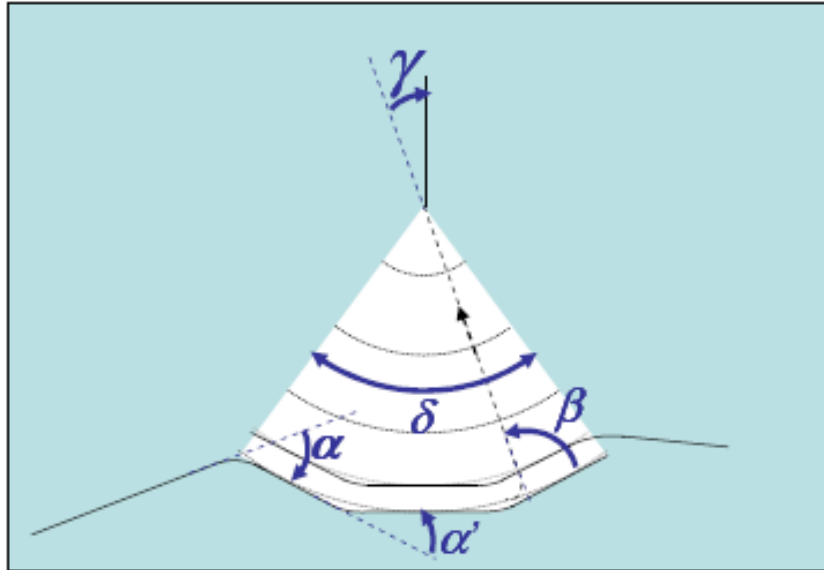
nedenleriyle tek veya kombine PMS tavsiye edilmektedir. Bu simetri kuralı, özellikle mesafeler ve açılar için uygulanmaktadır [7].

PMS de açılar

PMS'de açılar şu şekilde tanımlanmaktadır (Şekil 4.15):

- Sıralama bacağı üzerindeki ilk WP'teki rota değişim açısıdır (α) ve daire yayına yakın bacaklar olması halinde, sıralama bacağı üzerindeki izleyen WP'teki müteakip rota değişim açısıdır.
- Toplama noktasına doğru direkt gönderme talimatı ile ilgili rota değişim açısıdır (β).
- Rotaların toplama noktasına doğru zarf şeklini oluşturduğu bölgedeki açıdır (δ).
- PMS'nin çıkışına doğru, toplama noktasındaki rota değişim açısıdır (γ).

Sıralama bacaklarını belirleyen WP'ler (her bir bacağın en son noktasındaki hariç) ve toplama noktası geçiş noktası özelliği taşıyan WP olacaktır. Sonuç olarak, α (α' , $\alpha'' \dots$) ve γ , geçiş noktasından geçişlere karşılık gelmektedir [7].



Şekil 4.15. PMS tasarımında açılar [7]

P-RNAV'ın genel kuralları

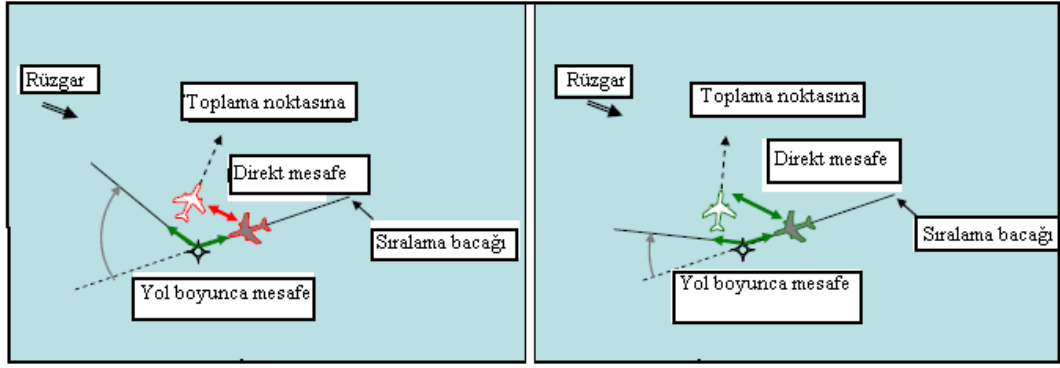
P-RNAV prosedür tasarımı için genel bir kural; α' , α'' ,... ve γ 120° den daha küçük olacaktır ve bu açılar geçiş noktasından geçişler ile ilgili olduğu için, 90° den olabildiğince daha küçük olması gerekir. Rota açısı değişiklikleri geçiş noktasından geçişlerde 120° 'yi aşmamalıdır. 120° 'den daha büyük dönüşlerde sabit yarıçap geçişi kullanılabilir ve mümkün olduğunda 90° den büyük tüm dönüşler için kullanılması gereklidir.

Sıralama bacakları boyunca rota açısı değişiklikleri

α (α' , α'' ...) nın değeri; bölgesel kısıtları göz önüne alan tasarım seçeneklerine bağlı olacaktır:

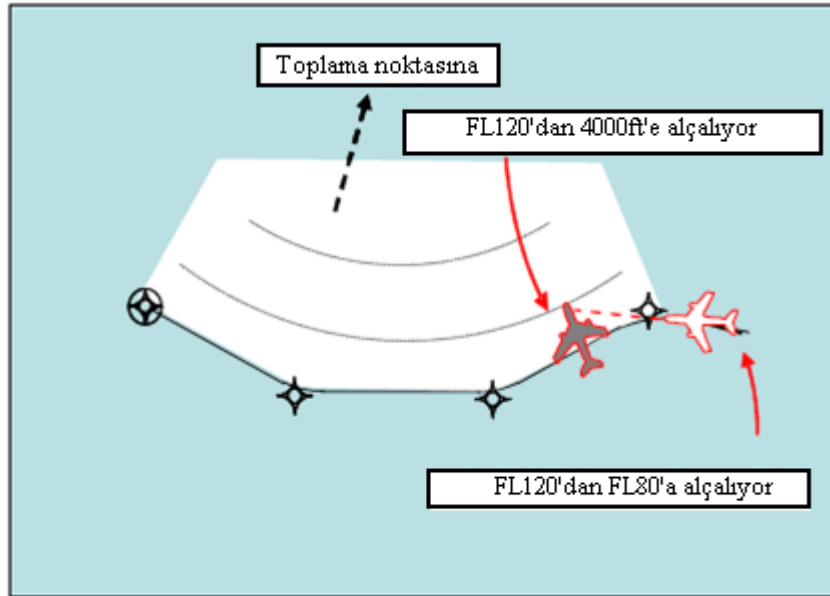
- a) Yukarıdaki simetri kurallarına bağlı kalarak, sıralama düzeninde belirsizlik yaratmak gibi sonuçlar doğuracak rota mesafesi boyunca değişikliklerden kaçınmak için, tek veya kombine PMS içindeki farklı sıralama bacakları ve belli bir sıralama bacağı boyunca α (α' , α'' ...) değerlerinin benzer olması istenmektedir.
- b) Aynı zamanda; sıralama bacaklarının parçaları arasındaki rota değişim açısının büyük olması örneğin, α (α' , α'' ...) nın büyük değer alması; aynı bacadaki birbirini izleyen iki uçak arasında dönüş performansı değişikliğinden dolayı oluşacak büyük hasssiyet nedeniyle ayırmayı kaybetme riskinin artmasına sebep olabilir.
- c) Son olarak; α (α' , α'' ...) nın büyük değer alması, özellikle rüzgar şartlarında öndeki uçağın toplama noktasına dönerken aynı bacadaki birbirini izleyen iki uçak arasındaki ayırmayı kaybetme riskinin yükselmesine neden olabilir. Bu durum PMS'ye özel değildir. RNAV prosedürü uygulayan aynı rotadaki iki uçaktan, öndeki uçağın kontrolör tarafından vektör edilmesi ile de aynı risk meydana gelebilir. Toplama noktasına dönerken, sıralama bacaklarının iki parçası arasındaki rota açısı değişiminin büyük olması durumunda, aynı bacağın öndeki parçası boyunca uçan trafik ile arasının kapanma hızı artabilir (Şekil 4.16).





Şekil 4.16. Sıralama bacağı WP'inde büyük rota değişim açısı [7]

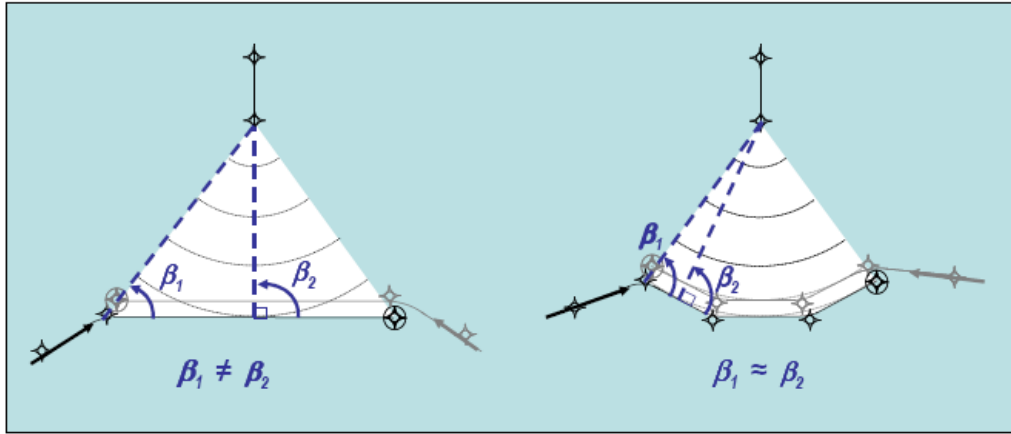
Öndeki uçak toplama noktasına doğru uçarken, onu izleyen uçağın belirlenen rota boyunca dönerek uçuşunu gerçekleştirmemesi halinde de ayırma kaybı riski yaşanmaktadır (Şekil 4.17). Sonuç olarak, sıralama bacağı'nın ilk WP'indeki rota değişim açısının (α) dikkatli şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kontrolör tarafından yanlış tavırların açık şekilde saptanması ve sezilmesine imkan tanımak için, bu açı dönüş yarıçapı nedeniyle zorluk yaratacak ya yüksek değer (örneğin, 45° den büyük); ya da rota parçaları arasında daha fazla sayıda birbirine yaklaşmaları önlemek için yeterince küçük bir değer (15° den az) olabilir [7].



Şekil 4.17. Sıralama bacağı WP'inde büyük rota değişim açısı [7]

Toplama noktasına dönüşte rota açısı değişimi

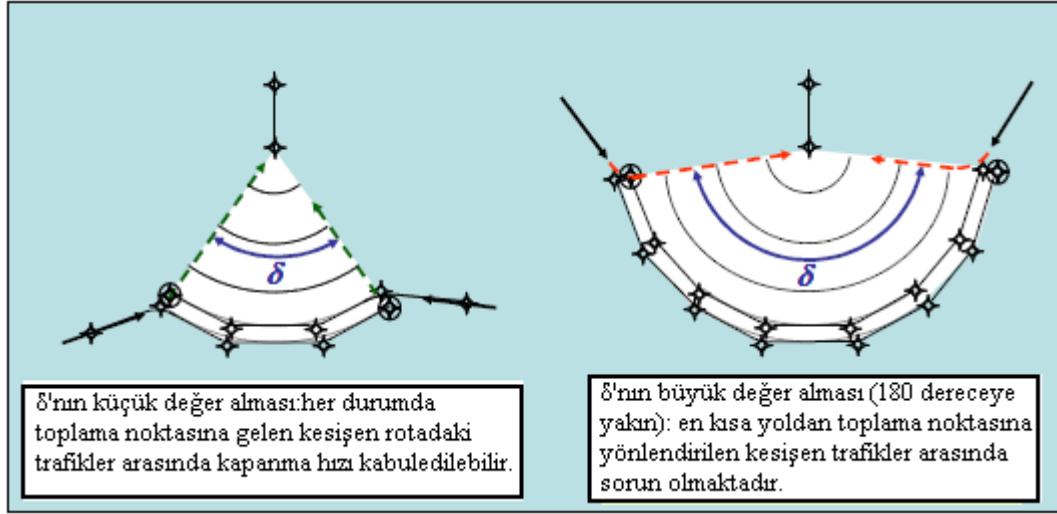
β değeri (toplama noktasına direkt dönerken rota açısı değişikliği) ve bu değer değişkenliği, sıralama bacağına terk edişte ayırmaya etkisi olabilir. Bu değişkenlik gerçekte sıralama bacalarının şekil ve uzunluğuna bağlıdır. Daire yayına yakın sıralama bacaları toplama noktasından yeterli uzaklıktaki kısa parçaları içerir. β genellikle daha az veya daha fazla, 90° 'ye yakın olacaktır. Uzun ve düz sıralama bacaları için β değeri, daha büyük değişikliklere sebep olabilir, örneğin; bacağın başlangıcında küçük, sonunda büyük değişimler keskin dönüşleri içerir ve uçaklar arasındaki ayırmaları da önemli derecede etkiler (Şekil 4.18) [7].



Şekil 4.18. Rota açısı değişkenliği (direkt gönderme) [7]

Toplama noktasına doğru kesişen açılar

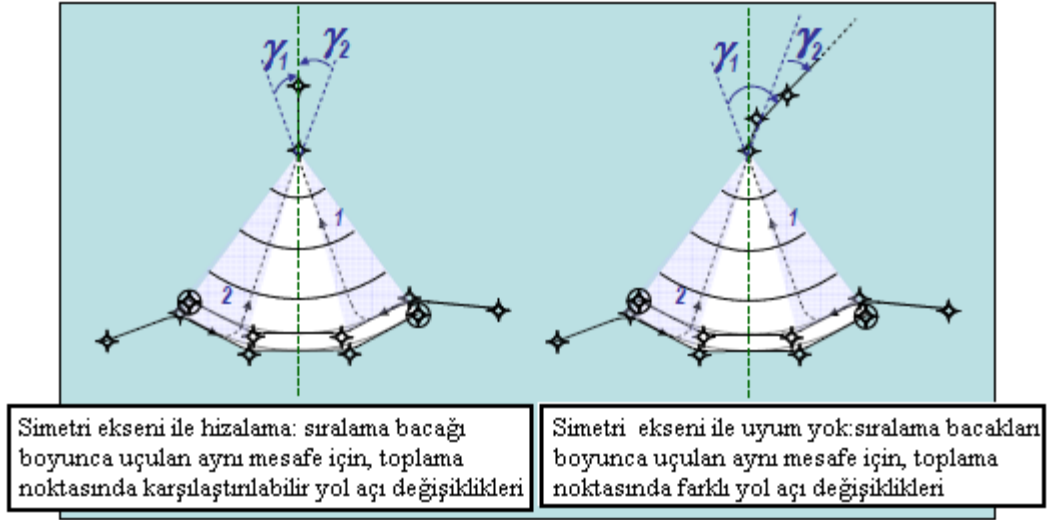
δ 'nin maksimum değeri, sıralama bacaları ve toplama noktası arasındaki mesafe ve sıralama bacalarının uzunluğu ile bağlantılıdır. Farklı sıralama bacalarındaki uçakların erken şekilde direkt olarak toplama noktasına gönderilmesi durumunda aralarındaki kapanma hızına engel olmak için δ 'nin büyük değerlerinden kaçınılmalıdır. En kötü durumda ($\delta=180^\circ$), toplama noktasında yüksek yaklaşma oranı ile trafikler karşı karşıya kalabilir, ayırma için tepki süresi azalır (Şekil 4.19). Bu durumda, rota açısı değişimi olabildiğince büyür, aynı zamanda heterojen uçak dönüş performanslarına neden olur ve rüzgar etkisine hassasiyet artar [7].



Şekil 4.19. Toplama noktasında uzantıları kesişen açı [7]

Toplama noktasından sonra rota açısı değişiklikleri

Herhangi bir uçak için γ 'nın değeri, PMS'nin son bölümünün yönü ile ilişkilidir, örneğin; toplama noktasından sonra ve toplama noktası korsundayken rota açısı değişkendir. Sıralama bacağına birbirini izleyen iki uçağın bacaklar boyunca uçtukları mesafenin aşağı yukarı eşit olduğu kabul edildiğinde, şekil 4.20'de görüldüğü gibi, eğer son yaklaşma noktası PMS simetri eksenine hizalanmışsa (ya da eğer iki uçak aynı bacakta ise) γ 'nın değeri benzer olacaktır. Diğer yandan, γ 'nın değerindeki değişiklik, farklı bacaklardaki iki uçak için son parçanın PMS simetri eksenine hizalanmamış olmasından kaynaklanabilir. Bu değişiklik, heterojen dönüş açılarından dolayı, toplama noktasında ayırma çeşitliliğine sebep olabilir.



Şekil 4.20. Rota açı değişikliği (toplama noktasından sonra) [7]

Bu gibi ayırma değişikliklerini önlemek için, toplama noktasından gelen rota parçasının mümkün oldukça PMS'nin simetri eksenine hizalanması önerilmektedir (Şekil 4.20) [7].

3) PMS'nin kombinasyonları

PMS'nin kombinasyonu için paralel veya seri kombinasyonlar gibi rota yapısı seçenekleri tanımlanmaktadır.

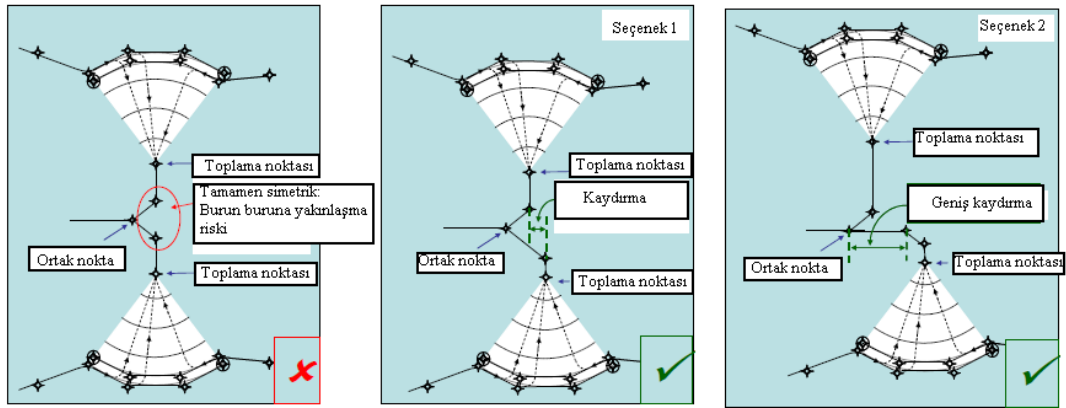
PMS'nin paralel kombinasyonları

Giriş noktasının birden fazla olması ve bu noktalar üzerinden gelen trafik akışlarının birleşmesi durumunda, tek bir PMS'in sıralama bacaklarının sayısının artırılması yerine, birden fazla PMS'nin kombinasyonu öngörülmektedir. Bu durumda, her birinin tek toplama noktası fakat hepsinin ortak bir çıkış noktası olacaktır. Bu şekilde sonuçlanan yol yapısı, PMS'nin paralel kombinasyonuna karşılık gelmektedir.

Sıralama bacağına terk eden trafikler arasında uzunlamasına ayırma sağlanacaktır. Bu durumda birbirini izleyen iki uçak, farklı PMS'i kullandığında uçaklar arasında uzunlamasına ayırma olduğu kabul edilecektir. Bu nedenle; bu gibi rota tasarımlarında, sadece her bir PMS içinde (bacaklar ve toplama noktası

arasında) değil, aynı zamanda kombine rota yapısındaki herhangi sıralama bacağı ile ortak nokta arasında, toplama noktasına eşit mesafe uzaklık sağlanmalıdır. Ortak çıkış noktasına aynı mesafe uzaklık sağlandığında, birbirini izleyen iki uçak arasındaki ayırmanın görsel değerlendirilmesi kolaylaşacaktır.

Şekil 4.21’de dört geliş akışını tek bir akışta birleştirmeyi destekleyen, simetrik konfigürasyonda iki tane PMS içeren farklı kombinasyonlar gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Çoklu PMS-paralel kombinasyon için seçenekler [7]

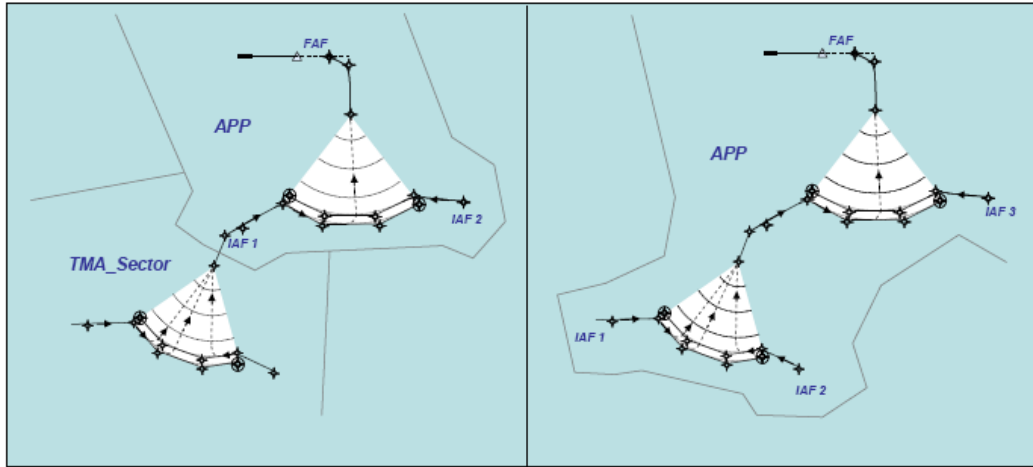
Aletli İniş Sistemi (ILS-Instrument Landing System) kullanımına benzer olarak, toplama noktaları ve ortak çıkış noktası arasındaki yol yapısı ile ilgili olarak:

- Ortak noktaya gelen iki kesişen akış arasında dikey ayırma sağlanacaktır. Farklı PMS’den gelen iki uçağın ortak noktada karşı karşıya gelme pozisyonuna çok yakın şekilde ulaşması durumu da dikey ayırma ile çözülecektir.
- Ortak noktaya dönüşten önce burun buruna kesişmeyi önlemek için, iki PMS arasında yatay kaydırma (lateral offset) uygulanacaktır. Bu yatay kaydırma, toplama noktaları ile ortak nokta arasındaki bölümlerin uzunluğunun ayarlanması ile sağlanabilir. Bu konfigürasyonda bile uçaklar halen geçiş noktası dönüşü olarak tanımlanmış ortak noktaya kesişen pozisyonda uçmaktadır. Burun buruna kesişme riskini

azaltmak için, tasarımda Şekil 4.21’de gösterildiği gibi ortak eksen ile kesişme noktaları kaydırılabilir [7].

PMS’lerin seri kombinasyonu

Geliş akışlarının doğası gereği birleşmesi nedeniyle, PMS’nin rota yapısının ardışık/peşpeşe şekilde tasarımının yapılması öngörülebilir. Bu tasarım PMS seri kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır. Aşağıda Şekil 4.22’de gösterildiği gibi, yaklaşımda belirli kısıtlamalar olabilir veya E-TMA/TMA ve yaklaşma arasında bölünmüş PMS tekniği kullanılabilir. Bu konfigürasyonlar henüz test edilmemiştir [7].



Şekil 4.22. Ardışık PMS için seçenekler [7]

4.1.3 PMS yararları

PMS rota yapısı tasarım parametrelerinin muhtemel varyasyonu sonucundaki yararları ve kısıtları aşağıda belirtilmektedir:

- a) *Kapasite:* Sıralama bacalarının uzunluğu ve sıralama bacaları ile toplama noktası arasındaki mesafe gibi rota yapısının boyutları ile ilişkilidir (Bu iki parametre verilen herhangi bir zamanda sistem içindeki maksimum uçak sayısını etkilemektedir).

b) *Yakıt verimliliği ve çevresel etki*: Rota yapısının dikey boyutları boyunca sıralama bacakları ve toplama noktası arasındaki mesafeyle ilişkilidir. Bu parametreler, CDA kabiliyeti, aynı zamanda, genel olarak PMS boyutları direkt olarak yörüngelerin dağılımı ile ilgilidir.

PMS'nin, beklenen yararları şunlardır:

- a) Yüksek doğrulukla, uzun periyotlar boyunca mevcut pist kapasitesini muhafaza etmek ve gelecekteki pist kapasite artışı ile karşılaştırmak,
- b) TMA kapasitesini muhafaza etmek veya arttırmak (kontrolör iş yükünün ve radyo telefon kanal meşguliyetinin azaltılması ile),
- c) Uçuş verimliliği ve tahmin edilebilirliği geliştirmek (yoğun trafikte bile FMS yatay rehberliğinin ve RNAV uygulamasının kullanımının artırılması ile),
- d) Çevresel etkilerin minimize edilmesi veya belirlenen hedef seviye içinde optimize etmek (devamlı alçalma uygulamasının daha sistematik olarak sağlanması ile),
- e) Personel ve niteliklerini belirlemek (kontrolör çalışma şartlarını uygun ve standart hale getirmek),
- f) Yukarıda bahsedilen tüm faktörler sayesinde emniyeti arttırmak.

PMS yoğun trafik şartlarında, kapasite, tahmin edilebilirlik ve çevresel açıdan aynı zamanda mümkün olduğu yerde uçulan mesafeye göre de, geliş trafik akışının toplanması için hava sahası kullanımının optimize edilmesini amaçlamaktadır. PMS mevcut prosedürlerle kıyaslandığında uçulan mesafe ve zaman açısından farklılık göstermemesi beklenmektedir.

Önemli gereklilikler ve öneriler

PMS tasarımı için gerekenler; yol yapısı, operasyon yöntemi, geleneksel prosedürler, insan faktörleri, haritalama (charting) başlıkları altında ifade edilmektedir [7].

Yol yapısı

1. Bacakların toplama noktasına aynı mesafe uzaklıkta bulunması, PMS prosedürleri için önemli bir özelliktir. Böylelikle daha kolay ve sezgisel operasyon yöntemi sağlanmış ve direkt gönderme talimatının verilmesi için uygun zamanın yeterli doğrulukla karar verilmesine imkan tanımaktadır. Bu nedenle; sıralama bacaklarının tasarımı aşağıda belirtilen gibi olacaktır:
 - a) Denk mesafe (Iso-distance): Her bir sıralama bacağına şekli, uçağı bacak boyunca toplama noktasından aynı mesafe uzaklıkta tutacak şekilde olacaktır.
 - b) Eşit mesafe (Equidistance): Ayrılmış/farklı sıralama bacakları, toplama noktasından aynı mesafe uzaklıkta yerleştirilecektir.
2. Rota tasarımı, operasyon yöntemini kolay ve sezgisel tutmak ve böylelikle sıralama düzenine ve uygun zamanda direkt gönderme talimatına karar verilmesi için genel simetriyi göstermesi gereklidir.
3. TMA tasarım rehberine göre, rota yapısının tasarımı, sıralama yapılmadan önce, farklı geliş akışları arasında çakışmalara izin verecektir. Özellikle, sıralama bacakları yatay ve/veya dikey düzlemde ayrılacaklardır.
4. Paralel sıralama bacakları aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı dikey olarak ayrılacaklardır:
 - a) Toplama noktasından aynı mesafedeki uzaklığa yerleştirilecekleri için, tasarım ile yatay ayırma sağlanması beklenmemektedir.
 - b) Dış bacadaki uçak, direkt uçuş talimatı aldığı anda iç bacadaki trafiğin yolunu kat edeceğinden, tasarım ile farklı geliş akışları arasında yatay ayırma sağlanamaz.
5. Kontrolör radar ekranında karmaşık görüntüyü engellemek için, iki paralel bacak arasında yeterli yatay mesafe olacaktır.
6. PMS'deki WP'ler (toplama noktası dahil), geçiş noktası WP olarak belirlenecek ve sıralama bacağına en son noktası prosedürü kapatan nokta uğrak nokta WP olarak belirlenecektir.

7. Herhangi bir hava sahası tasarım sürecinde, özellikle Trafik Çakışma Uyarı Sistemi Çözüm Tavsiyeleri (TCAS RA- Traffic Alert and Collision Avoidance System- Resolution Advisories) riskini olabildiğince minimize etmeyi sağlamak için, prosedür tasarımcılarının TCAS etkisini göz önüne alması gerekmektedir.

Haritalama (Charting)

1. PMS prosedürünün Havacılık Bilgi Yayını'nda (AIP-Aeronautical Information Publication) detaylandırılması gerekmektedir.
2. PMS içindeki WP'lerin isimleri adlandırma düzenine uygun olacaktır. Özellikle sıralama bacakları üzerindeki WP'ler alfanümerik isimlendirme ile tanımlanacaktır. Toplama noktasının hava trafik kontrol için önemli bir nokta olduğu kabul edilecek ve söylenişi eşsiz 5 harf kullanılarak adlandırılacaktır.
3. Her durumda özellikle hassas yaklaşma prosedüründe toplama noktasının Son Yaklaşma Fiksine (FACF-Final Approach Course Fix) yakın olması durumunda, uygun WP kullanımının sağlanması için, toplama noktasının yeri hava trafik kontrol ve seyrüsefer veri sağlayıcıları ile koordineli şekilde belirlenmesi gerekmektedir.
4. Haritalar/Planlar (Chartlar), PMS prosedürü ile ilgili ayrıntılı notlar içermeyecektir.
5. Uçuş mürettebatının yeterli durum farkındalığına izin vermek için, özellikle zıt yönlü paralel bacakların olması halinde, aynı toplama noktasını içeren tüm ilgili STAR'ların haritada bulunması önerilmektedir [7].

4.1.4 PMS'de sıralama

Günümüzde kullanılan vektör ve P-RNAV rotalar dahil prosedürler ile PMS operasyon yöntemi karşılaştırıldığında, PMS tekniğinin trafiği eksen üzerine toplama yerine tek bir noktaya toplaması dahil önceden tanımlanmış coğrafik noktalarla ve sıralama bacakları boyunca yol uzatma (toplama noktasına aynı mesafedeki) ile ilişkilendirilen sistematik sıralama eylemine bağlı olduğu

görülmektedir. PMS de sıralama kontrolörün direkt gönderme talimatı ile, uçaklar arasındaki ayırma ise direkt gönderme talimatının verildiği zaman ve bunu izleyen hız kontrolü ile ilgilidir. Çizelge 4.2’de PMS ile sıralamanın aşamaları gösterilmektedir [7].

Çizelge 4.2. PMS sıralama aşamaları [7]

| Sıralama aşamaları | Yapılacak | Nerede/ne zaman | Nasıl |
|---|---|---|---|
| Sıralamanın planlanması/hazırlanması | Ayrı geliş akışları arasında ayırmayı sağlamak | PMS giriş noktasından ve bacak boyunca | Dikey ayırma: Tasarım |
| | Her bir geliş akışın içinde ayırmayı sağlamak | PMS giriş noktasından ve bacak boyunca | Uzunlamasına ayırma: Hız kontrolü |
| Sıralamanın yapılması | Kesişen geliş akışlarındaki uçaklar arasında ayırma sağlamak | Bacak boyunca, öndeki uçak ile gerekli ayırmaya ulaşıldığında | Uzunlamasına ayırma: Direkt gönderme talimatını izleyecek olan bacak uzatma |
| Sıralamanın muhafaza edilmesi | Kesişen akışlar içindeki uçaklar arasında ve sonrasında ayırmayı muhafaza etmek | Toplama noktasına gidiş yolu üzerinde ve PMS çıkışına kadar | Uzunlamasına ayırma: Hız kontrolü |

4.2 Araştırmanın Tanıtımı

Hava trafik talebinin giderek büyümesi ile birlikte TMA içindeki trafik operasyon sayısı da artmakta ve kontrolör iş yükünde de artış meydana gelmektedir. Özellikle iniş için havaalanına gelen trafikler (geliş trafiği) arasında doğru ve adil sıralamayı gerçekleştirerek, trafikleri geciktirme ya da bekleme yaptırmaksızın hizmet vermek önemli bir sorumluluktur.



Bu durumda özellikle kontrolörler arasında sıralamada standartlaşma getirecek yeni bir teknik PMS'dir. En doğru sıralama ile kısa sürede daha fazla trafiğe hizmet verilebilir, gereksiz gecikmeler/beklemeler azalır ve yakıt tasarrufu sağlanarak, işleticiler açısından maliyetler azalır.

Günümüzde TMA'da geliş trafik akışının toplanması ve sıralanması için yaygın olarak radar vektör tekniği kullanılmaktadır. Bu teknik trafik sıralamasında kontrolöre esneklik sağlamakla birlikte kontrolörlerin yoğun trafik ortamında çabuk karar vermesini ve uçuş ekibi tarafından talimatların kritik zamanda uygulamasını gerektirmektedir. Böylelikle, yüksek frekans meşguliyeti, öngörü eksikliği, dikey profilleri optimize etmede zorluk ve yörüngelerin dağılması ile düzensiz trafik akışı meydana gelebilmektedir. Aynı zamanda, trafikler çeşitli ve fazla sayıda radar vektör talimatları alarak, planlanan rotasından çıkarılmakta, tekrar rotalarına alınarak ya da verilen vektör talimatı muhafaza ettirilerek yönlendirilmektedir. Bu teknik manevralar süresince, yoğun TMA'da uçakların kesin pozisyonlarını tahmin etmek ya da sıralamayı gerçekleştirmek de zorlaşmaktadır. Bununla birlikte, uçaklar TMA'ya girişten itibaren adım adım erken zamanda alçaltılır ve bu durumda alçak seviyede fazla zaman harcayan uçağın yakıt tüketimi artmakta, kontrolörün dağınık yörüngedeki trafikleri izlemesi güçleşmektedir.

Daha önceden tanımlanmış toplama noktasına eşit uzaklıkta olan ve yolun kısaltılması veya uzatılması için kullanılan bacaklar (sıralama bacakları) ile elde edilmiş özel P-RNAV yol yapısına dayalı bir teknik olan PMS ise vektör talimatı kullanmaksızın trafik gelişlerinin toplanmasında ve sıralanmasında kullanılan yeni bir yöntemdir. Şu an dünyada PMS'in tasarlanıp uygulanmış olduğu herhangi bir TMA bulunmamaktadır. Bununla birlikte, PMS'in deneysel çalışmalarının tek pist ve paralel pist uygulamaları bir araştırma geliştirme projesi olarak devam etmektedir ve bu çalışma kapsamında halen sürmekte olan deneysel araştırmalar incelenmiştir.

PMS tekniği, RNAV'a dayalı belirli rota yapısına sahip olarak uygulandığı için, kontrolör sadece tek bir WP'e direkt gönderme talimatı vererek rotayı kısaltabilir ya da geciktirme yaptırmak istediği trafiği sıralama bacağı üzerinde

tutarak rotasını uzatabilir. Aynı zamanda; rotanın şekli bir dairenin parçası ve toplama noktası da bu dairenin merkezinde olduğu için; direkt gönderme talimatı uçağı her zaman bu dairenin merkezine götürür. Bu nedenle vektör vermeye gerek kalmadan trafiklerin belirli bir nokta üzerinde toplanması sağlanmış olacaktır.

PMS tekniğinin RNAV Standart Terminal Hava sahası Geliş Yolu (STAR-Standart Terminal Arrival Route) olması nedeniyle, modeli uygulayacak trafiklerce daha önceden belirlenmiş kısıtların göz önüne alınması gereklidir. Bu durumda kontrolör açısından trafik akışı homojen bir durum halini alacak, trafiklerin izlenmesi, toplanması kolaylaşacaktır. Aynı zamanda, trafiklerin pist ekseninde değil, belirli bir nokta üzerinde toplanması söz konusu olacağından, toplama noktasına olan tahmini zamana göre de gerekli uzunlamasına ayırma sağlanarak sıralama yapmak mümkün olacaktır.

Bu araştırmada; şu an uygulaması bulunmayan RNAV yol yapısına dayalı olan PMS STAR'ın uzantıları kesişen pistler için tasarlanması hedeflenmektedir. PMS terminal saha geliş yolu, özellikle yoğun TMA'da geliş hava trafiğinin sıralanmasında büyük kolaylık ve standartlaştırma getirmekle birlikte trafiğin düzenli şekilde akışına imkan vermektedir. Bu doğrultuda, TMA'da trafik sıralamasında yaygın olarak kullanılan vektör tekniği ile PMS tekniğinin, kontrolörün verdiği talimat sayısı ve frekans yoğunluğundaki farklılıklar kapsamında analizi yapılacaktır.

4.2.1 Deney kabulleri

1) Genel Kabuller

Bu araştırmada, simülasyon ortamında hazırlanan TMA'nın tek sektör olması ve tek kontrol ünitesi tarafından trafiklerin yönetilmesi öngörülmüş, aynı zamanda TMA içerisinde aletli uçuş şartlarının (IMC-Instrument Meteorological Conditions) sağlandığı ve rüzgarın sakin olduğu kabul edilmiştir. Bununla birlikte, TMA içerisinde herhangi bir özel hava sahasının (tehlikeli, yasak, tahditli, askeri vb.) bulunmadığı ve minimum radar vektör irtifa minimalarında (MRVA-Minimum Radar Vectoring Altitude) herhangi bir kısıtlamanın olmadığı

kabul edilmiştir. Çalışma kapsamı TMA içerisinde sadece geliş trafiği ile sınırlı tutulmuştur. Kalkış ve transit uçuşlar çalışmaya dahil edilmemiştir.

Araştırmada, uçaklar arasında gerekli olan ayırma kriterleri mesafeye göre belirlenmiş olup, ICAO Dokümanı 4444 Hava Trafik Yöntemi (ATM-Air Traffic Management) standartları gereğince radar kabiliyetinin de izin vermesi durumunda TMA içinde yaklaşma kontrol hizmetinde ufki radar ayırması asgari 3 NM olarak kabul edilmiştir. Aynı zamanda uçakların son yaklaşma rotasında dümen suyu türbülans kategorileri de göz önüne alınarak Çizelge 4.3’de verilen ayırma kriterleri uygulanmıştır [128].

Çizelge 4.3. Dümensuyu türbülans ayırma kriterleri [128]

| ÖNDEKİ UÇAK | TAKİP EDEN UÇAK | MESAFEYE DAYALI DÜMEN SUYU TÜRBÜLANS AYIRMA MİNİMASI |
|-------------|-----------------|--|
| AĞIR | AĞIR | 7.4 km (4.0 NM) |
| | ORTA | 9.3 km (5.0 NM) |
| | HAFİF | 11.1 km (6.0 NM) |
| ORTA | HAFİF | 9.3 km (5.0 NM) |

Araştırmada trafiklerce uyulması gereken tasarlanmış bir uçuş prosedür modeli ve aynı zamanda bu modelin getirdiği kısıtlar mevcuttur. Prosedürü uygulamaya başlayan her uçak bu kısıtlara uymak zorundadır. Böylelikle, uçuşlar arasında homojen bir ortam yaratılmış olmaktadır. Ayrıca, trafiklerin farklı yönlerdeki yollardan modele dahil olması için yol safhası ile TMA arasında gerekli yol bağlantıları yapılmıştır.

2) Model Kabulleri

PMS Tasarım Parametreleri

PMS aşağıda belirtilen özellikler ile karakterize edilen, tek sıralama içinde iki veya daha fazla geliş trafik akışının birleşmesine olanak tanıyan yol yapısının

bir parçasıdır [129]. Bu çalışmada farklı yönlerden TMA'ya giren geliş trafiklerinin özellikle uzantıları kesişen pistler için sıralama yapılması amacıyla PMS tasarımı amaçlanmıştır.

Toplama noktası

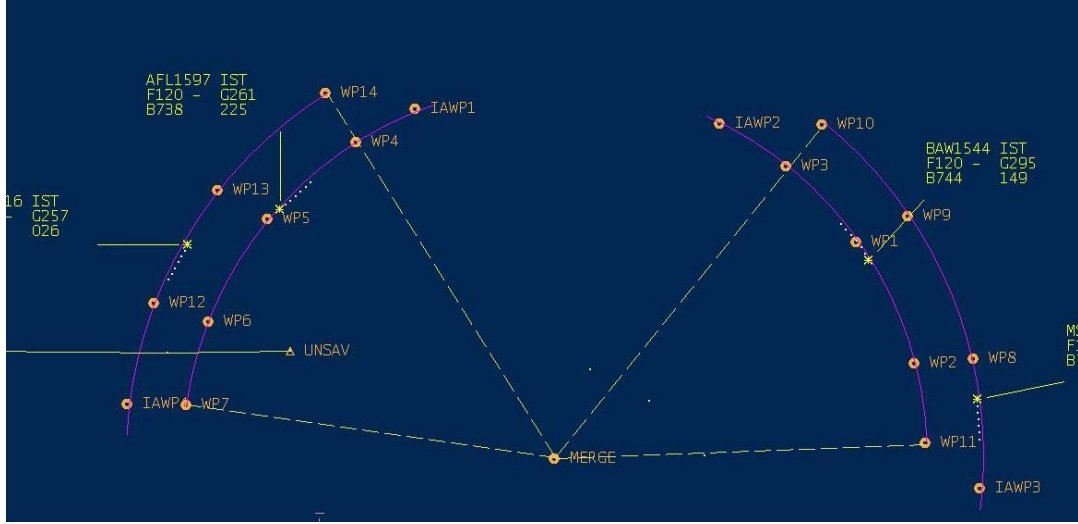
Geliş trafik akışını bir eksen değil bir nokta üzerinde toplanmasında öncelikle belirlenmesi gereken en önemli öge trafiklerin üzerinde toplanması amacını taşıyan bir noktanın belirlenmesidir. Uzantıları kesişen pistler için PMS tekniği kullanılarak geliş trafiklerinin sıralanması amacı doğrultusunda öncelikle mevcut her pist için toplama noktası yerleştirilmiştir. Bu durumda toplama noktaları pist merkez hatlarının uzantılarının üzerinde en uygun şekilde yerleştirilmiştir. Toplama noktasının birden fazla sayıda ve her pist için kendine özgü olması ile birden fazla PMS prosedür kombinasyonlarının olduğu gözlemlenmiş ve PMS tekniğinin tek pist için tasarlanması durumu ile aralarında fark olmadığı görülmüştür. Bu nedenlerden dolayı, geliş trafiklerinin tek bir noktada toplanması ve bu nokta üzerinden kontrolör tarafından uygun olan piste yönlendirilmesi amaçlanmıştır. Uçakların toplama noktasından sonra uçuş mesafesi açısından eşit koşullarda olması amacıyla, bu noktanın her iki pistin son yaklaşma fiksine eşit uzaklıkta olan mesafede (15NM) olmasına dikkat edilmiş ve uzantıları kesişen bu pistlerin orta noktasına yerleştirilmiştir. PMS'nin elemanlarından birisi olan sıralama bacağını terk eden uçağın muhafaza ettiği seviyeden devamlı alçalma şartlarına uygun olarak alçalmasına imkan tanınması açısından irtifası da 6000ft olarak belirlenmiştir. Sıralama bacağını terk eden uçak kontrolör tarafından toplama noktasına direkt olarak gönderilmektedir.

Sıralama bacak sayısı ve uzunluğu

İniş sıralaması için uçaklara zaman kaybettirmeyi amaçlayan sıralama bacak sayısı geliş trafik sayısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sıralama bacak sayısı, uzunlukları ve şekli belirlenirken öncelikle tek toplama noktasında birleşen 4 tane ayrılmış konfigürasyonda sıralama bacağı tasarlanmıştır. Bu sıralama bacalarının uzunlukları 20NM olarak belirlenmiştir (Şekil 4.23). Yoğun olmayan trafik senaryosu ile simülasyon ortamında denendiğinde bu tasarım şeklinin uygun

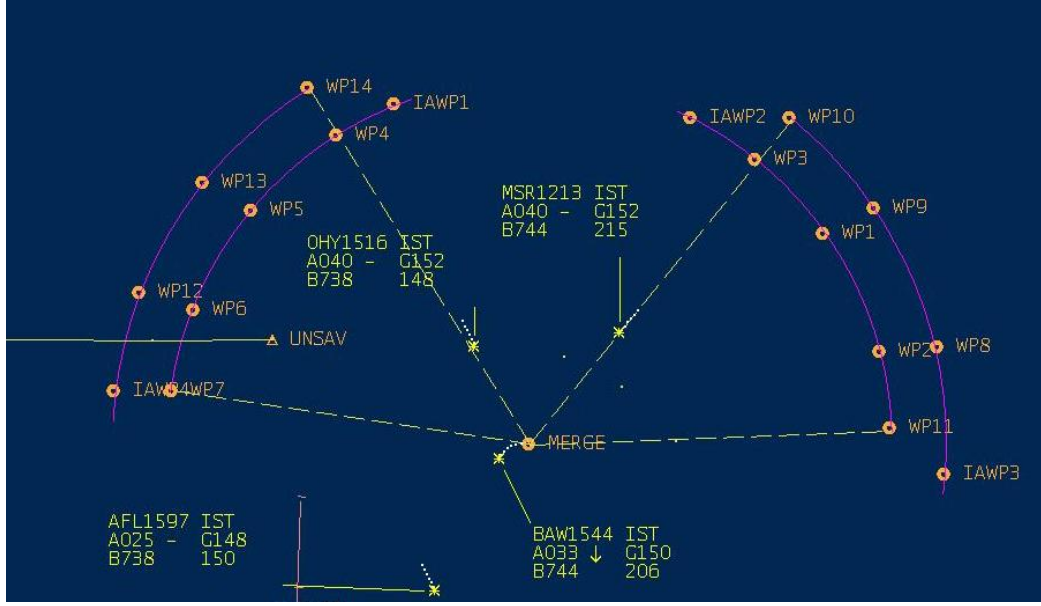


olduğu görülmüştür fakat yoğun trafik ortamında tekrar incelendiğinde iki ayrı bacak olmasından dolayı trafiği izleme, yönlendirmede ve sıralama açısından kontrolöre iş yükü getirdiği görülmüştür. Kontrolör her bir PMS prosedüründe sıralama yaparken aynı zamanda iki ayrı PMS prosedüründeki trafiklerinde birbirine göre sıralamasını yapmak zorunda kalmaktadır.



Şekil 4.23. Az yoğun trafik ile ayrık sıralama bacağı

Bununla birlikte sıralama bacaklarının ayrı konfigürasyonda tasarlanması durumunda bacak boyunun kısa olması nedeniyle bacak üzerinde daha az sayıda trafik bekletilebilmektedir. Bacak uzunluğunun daha kısa olmasının bir sonucu olarak da trafiklerin daha az süre bacak üzerinde kalabilmesi ve böylelikle bacak üzerinde rota uzatma süresinin kısılması olarak ortaya çıkmaktadır. İki ayrı konfigürasyondaki sıralama bacağına sonuna gelmiş trafiklerin karşılıklı durumda kalarak birbirleri ile çarpışma riskinin doğmasına engel olmak için sıralama bacaklarının üzerinde muhafaza edilmesi gereken uçuş seviyelerinin birbirinden farklı olması gerekliliği ortaya çıkmıştır (Şekil 4.24). Sıralama bacağına sonuna gelen uçak, diğer sıralama bacağına sonuna gelen uçak ile aynı seviye olması nedeniyle acilen toplama noktası gönderilmeli ya da trafikler farklı seviyelerde tutulmalıdır. Bu durum kontrolörün iş yükünü arttırmaktadır.



Şekil 4.24. Sıralama bacağından sonundan aynı irtifada dönen ve toplama noktasına alçalarak gelen trafikler

Sıralama bacağına tasarımında diğer bir seçenek olarak, iki tane sıralama bacağı ve uzantıları kesişen pistler arasındaki yay uzunluğu dikkate alınarak 36 NM olarak hesaplanan sıralama bacak uzunluğu kullanılarak tasarım yapılmıştır. ICAO doküman 9184 Havaalanı Planlama Manüel Bölüm 1'e göre (Airport Planning Manual, Part I) uzantıları kesişen pistler için saatlik kapasite 56-60 IFR trafik operasyonudur [130]. Bu çalışmada kalkış trafikleri dikkate alınmaksızın, sadece geliş trafikleri ile trafik senaryosu hazırlanmıştır. Trafik sayısı belirlenirken toplama noktasına gelen trafikler arasında 1dk'lık zaman ayırmasının yeterli olması ve aynı zamanda ICAO doküman 9184'de de belirtildiği gibi maksimum trafik sayısının 60 olması nedeniyle öncelikli olarak toplam 60 trafik senaryo için hazırlanmıştır. 60tane geliş trafiğinden oluşan senaryo, PMS tekniği kullanılarak simülasyon ortamında denenmiş ve toplama noktasında 1dk'lık ayırmanın yeterli olmadığı ve maksimum 50 trafik ile 1 saatlik periyodun sonlandığı görülmüştür. Hazırlanan bu senaryodaki mevcut iki tane sıralama bacağına gerekli hizmetin verilmesinde yeterli olduğu görülmüştür. Sıralama bacak sayısının ikiden fazla sayıda olması incelendiğinde, bu senaryo için saatte 50'den fazla trafiğe hizmet verilememesi, kontrolörün daha fazla izleme yapmasını gerektirmesi ve aynı zamanda PMS tasarım kriterlerinde

belirtilmiş olan TMA sınırlarının dışına çıkabilme ihtimali de göz önüne alınarak gerekli görülmemektedir.

Bununla birlikte 36NM olarak belirlenen sıralama bacak uzunluğunun daha fazla artırılması durumunda bacakların yay şeklinde belirlenmesi nedeniyle trafiklerin birbiri ile karşılıklı trafik problemi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Sıralama bacağıнын uzunluğunun 36NM olması bacak üzerindeki 50 trafiğin sıralama yapılırken bacak üzerinde rota uzatarak geciktirilebilmesine ve böylece kontrolörün sıralama yapmasına imkan tanınması nedeniyle yeterli görülmüştür.

Sıralama bacakları ve toplama noktası arasındaki mesafe

Sıralama bacakları ve toplama noktası arasındaki mesafe belirlenirken, trafiklerin muhafaza ettikleri seviyelerden % 5 alçalma eğimi ile son yaklaşma safhasına hazırlanmaları dikkate alınmıştır. Trafiklerin % 5 alçalma eğimi dikkate alınarak, sıralama bacakları için belirlenen uçuş seviyelerinden toplama noktasına alçalma sırasında kaybedecekleri irtifa değerine göre hesaplama yapılmış ve içteki bacak için 21NM ve dıştaki bacak için 23NM mesafenin uygun olduğu görülmüştür.

Aynı zamanda kontrolörün sıralama yaparken iki bacak üzerindeki trafikleri radar ekranında karışıklığa sebep vermeden kolay şekilde izleyebilmesi ve gerekli ayırmanın oluştuğunu gördüğünde izleyen talimatı verebilmesi için iki sıralama bacağı arasında 2NM yatay mesafe sağlanmıştır.

Sıralama bacaklarının şekilleri ve irtifa kısıtları

Sıralama bacak şekillerinin belirlenmesinde düz ve daire yayı şeklinde (parçalı) olmak üzere iki seçenek mevcuttur. Düz sıralama bacaklarında toplama noktasına direkt dönerken meydana gelen rota açısı değişikliği (β) farklı noktalardan dönen trafikler arasında büyük farklılıklar yaratmakta ve açıdaki bu farklar trafikler arasındaki sıralamayı etkileyebilmektedir. Aynı zamanda sıralama bacağıнын düz şekilde olması trafik için bazen keskin dönüşlere neden olabilmektedir. Bu nedenle çalışmada sıralama bacakları daire yayı şeklinde, birbirine paralel olarak tasarlanmış ve aralarında en az 1000ft dikey ayırma sağlanmıştır. Her bir sıralama bacağıнын şekli, uçağı bacak boyunca toplama

noktasından aynı mesafe uzaklıkta tutacak şekilde tasarlanmıştır. Sıralama bacalarının daire yayı şeklinde olması, trafiklerin sıralama bacağını birbirine yaklaşık açı değerlerinde ($\beta_1 \sim \beta_2$) terk etmeleri nedeniyle kontrolöre trafikleri ayırmada ve sıralamada kolaylık sağlamakla birlikte, uçakların keskin dönüşlerden kaçındırılmasını sağlaması açısından en uygun tasarım şekli olarak öngörülmüştür.

Bu çalışmada, sıralama bacalarının seviyeleri, uçakların devamlı alçalma profillerine ve uygun alçalma eğimi ile yaklaşmalarına imkan tanınması nedeniyle FL120 ve FL100 olarak belirlenmiştir. FL110 söyleniş açısında FL100'a yakın olması nedeniyle kontrolörün pilot ile iki yönlü iletişimde herhangi bir karmaşıklık önlemek ve aynı zamanda herhangi bir risk durumunda ilave bir seviyeye ihtiyaç duyulabileceği düşüncesiyle boş bırakılmıştır.

Sıralama bacalarının irtifa kısıtları, birbirinin tersi olacak şekilde hazırlanan senaryoda denenmiş (içteki bacak için FL120, dıştaki bacak için FL100 ve içteki bacak için FL100 ve dıştaki bacak için FL120) ve verilen talimat sayısında %2,3 oranında önemsenemeyecek kadar az farklılık görülmüştür. Trafik sıralaması açısından değerlendirildiğinde ise, iki farklı parametrelili prosedürü uygulayan uçakların iniş sıra numaraları arasında Pearson katsayısının 0,99 çıkması ile güçlü bir korelasyon olduğu görülmüştür.

Sıralama bacalarının irtifa değişimleri yapıldığında büyük farklılıkların ortaya çıkmaması, aynı zamanda toplama noktasına daha yakın olan trafiğin iniş sıralamasında öncelikli olacağı düşüncesiyle içteki bacağın seviyesinin daha düşük olması uygun görülmüştür. Bu nedenle, sıralama bacalarının seviyeleri içteki bacak için FL100 ve dıştaki bacak için FL120 olarak belirlenmiştir. İlk yaklaşma WP'ine ulaşan uçak içteki bacak için FL100 ve dıştaki bacak için FL120'ı muhafaza edecektir. Uçağa belirlenen toplama noktasına (MERGE) direkt gitme talimatı verilmesiyle birlikte 6000ft'e alçalacaktır.

Uçuş prosedürlerinin tasarımı ve tasarımda kullanılan kriterler uluslararası kabul gören standartlar doğrultusunda belirlenmiştir. Konuya ilişkin en yaygın kullanılan referans doküman Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'na yayınlanan ICAO 8168 Hava Seyrüsefer Hizmetleri için Prosedürler ve Uçak Operasyonları

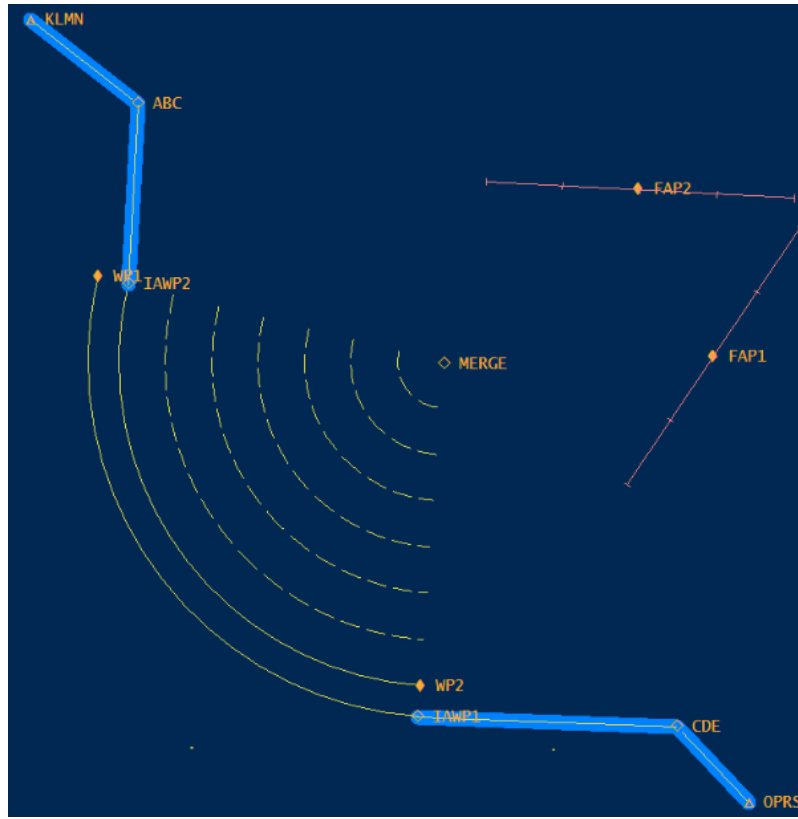
(PANS-OPS-Procedures for Air Navigation Services and Aircraft Operations) Dokümanı'na göre, ilk yaklaşma safhasında optimum alçalma eğimi % 4, maksimum eğim ise % 8'dir [126]. Hazırlanan senaryoda öncelikle orta kategorideki uçakların alçalma eğimleri göz önüne alınmıştır. Sıralama bacağını terk edip, toplama noktasına (MERGE) uçuşa başlayan uçağın kaybetmesi istenen 6000ft'i % 5 alçalma eğimi ile kat edeceği görülmüştür. Bu durumda uçak ilk yaklaşma safhasında % 5 alçalma eğimiyle son yaklaşma safhasına hazırlanmış olmaktadır. Tasarlanan modelde alçalma eğiminin %5 olması irtifa parametrelerin tasarım için uygunluğunu kanıtlanmaktadır. Ayrıca bu değer uçuş verimliliği açısından CDA ile de uyum sağlamaktadır.

Daha sonra hazırlanan senaryoda trafik açısından karma tip (orta ve ağır) uçaklar beraber kullanılmış ve performans açısından birbirinden farklı trafiklerin son yaklaşma safhasında pist korsuna oturduktan sonraki hızlarında meydana gelen büyük değişimler göz önüne alınarak sıralamaya etkisi incelenmiştir. Son yaklaşma korsunda birbirini izleyen uçaklar arasındaki uzunlamasına ayırmanın sağlanması hem de kesişen pistlere eş zamanlı yaklaşmayı önlemek açısından 2011 yılı Türkiye Havacılık Bilgi Yayının'da (AIP-Aeronautical Information Publication) belirtildiği gibi FL170 altında asgari 220kt, FL100 altında 180kt ve uçak son yaklaşma korsuna girdikten sonra ve yaklaşma fiksini geçene kadar asgari 160kt işari hava sürati (IAS-Indicated Air Speed) uygulanarak, hız tahditi uygulamasında standardizasyon sağlanmıştır [5].

Sıralama bacalarının yönleri modelde zıt yönlü olarak belirlenmiştir ve uçakların geliş yönlerine yakın olan ilk yaklaşma WP'inden PMS'e dahil olması istenmiştir. Tasarlanan bu modelde iki tane ilk yaklaşma WP'i mevcuttur ve prosedürün sonundaki WP'ler hariç hepsi geçiş noktası özelliği göstermektedir. Sıralama bacağının en sonundaki WP'ler ise uğrak nokta olarak belirlenmiştir. Böylece, kontrolörün hiçbir talimat vermediği uçak, prosedürün sonuna kadar uçuşunu gerçekleştirecek ve en son WP'e geldiğinde toplama noktasına otomatik olarak dönüşünü gerçekleştirerek toplama noktasına direkt olarak uçuşuna başlayacaktır.

4.2.2. Uzantıları kesişen pistler için benzetim modeli

Farklı yönlerden TMA'ya giriş yapan geliş trafiklerinin özellikle uzantıları kesişen pistler için sıralama yapılması amacıyla PMS modeli, toplama noktası ve sıralama bacalarının tasarım kriterleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Uzantıları kesişen pistler için tasarlanan PMS modelinin simülasyon ortamına aktarılmış görüntüsü aşağıda Şekil 4.25'te verilmiştir. Uzantıları kesişen pistlere geliş trafik sıralaması için tasarlanan PMS benzetim modeli, aynı konfigürasyona sahip farklı meydanlara da uygulanabilecek genel bir modeldir.



Şekil 4.25. Simülasyon ortamında PMS modeli

PMS'de Sıralama yöntemi

Tasarlanan PMS modelde sıralama yapılırken uçaklar arasında uzunlamasına ve yanlamasına mesafe ICAO standart kuralları gereğince olması gereken değer 3NM kabul edilmiştir. Aynı zamanda farklı bacaklar arasında

1000ft olarak dikey ayırma belirlenmiş ve sıralama bacakları da yatayda birbirinden 2NM mesafede ayrı olarak tasarlanmıştır.

Trafiklerin, PMS giriş noktasına en az 20NM kala bacak için verilen irtifa kısıtına göre alçalmasını tamamlamış ve istenilen seviyeye ulaşmış olması gerekmektedir. Bacak üzerinde uçuşuna devam eden uçak direkt gönderme talimatını aldığı toplama noktasına (MERGE) direkt olarak uçacak ve bu noktada olması istenilen seviye 6000ft'e ulaşacaktır.

Toplama noktasını terk eden uçak kullanılan piste göre yönünü çevirecek ve son yaklaşma noktasına kadar TMA içindeki minimalarına uygun olarak alçalmasını gerçekleştirecektir. Son yaklaşma noktasına gelen uçak ILS yaklaşması yaparak, inişini gerçekleştirecektir.

PMS'de açılar ve önceden tanımlanmış WP'ler

Öngörülen prosedürün başlangıç bölümünden sıralama bacağının birinci parçasına olan rota açısı değişikliği (α) 30° olarak belirlenmiştir. Sıralama bacaklarının parçaları arasındaki geniş açı değişiklikleri, aynı bacak üzerinde birbirini izleyen dönüş performansları farklı trafikler arasında ayırma kaybı riskini arttırabileceği göz önüne alınmıştır. Bu durumda bu açı değeri diğer parçalar arasında (α') 10° olarak belirlenmiştir.

Toplama noktasına direkt gönderme talimatı verilmesiyle oluşan rota açısı değişikliği sıralama bacağının şekline bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Öncelikle düz sıralama bacağı şeklinde tasarlanan prosedürde β değerinin başlangıç (30°) ve orta (90°) noktadan dönüşlerde birbirinden farklı değerler aldığı görülmüştür. Bu durum uçaklar arası ayırmayı da etkilemektedir. Sıralama bacaklarının daire yayına yakın ark şeklinde belirlenmesi ile β değerleri birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür. Bu çalışmada β değeri 90° den az ya da fazla (başlangıç değeri 100° , orta nokta değeri 95°) fakat 90° yakın değerler olarak hesaplanmıştır.

δ sıralama bacakları ile toplama noktası arasındaki mesafeye bağılı olan bu değer aynı zamanda sıralama bacak uzunluğu ile de bağlantılıdır. δ değerinin yüksek olması trafiklerin birbiri ile karşılıklı rotalarda toplama noktasına getirmektedir. Bu nedenle bu çalışmada δ değeri 100° olarak belirlenmiştir.

Uçağın prosedürü terk edişi sırasındaki toplama noktasındaki rota aı değişikliği ise (γ) 40° aşmamaktadır. Bu açı değerleri de PMS in temelini oluşturan RNAV tasarımıda geçiş noktasından geçişler için olması gereken aı değerlerini (γ değeri 120° 'den küçük olmalıdır hatta mümkünse 90° daha küçük olması istenir) ihlal etmemektedir.

Sıralama bacakları üzerinde önceden tanımlanmış WP'lerin yerleştirilmesi, pilot ve kontrolöre döneş noktası açısından öngörü sağlamasına imkan tanıyacak şekilde tasarlanabilmesi mümkündür.

Bu bölümde elde edilenler doğrultusunda Bölüm 5'de, tasarlanan PMS model uygulama alanı olarak seçilen İstanbul Atatürk Havalimanı 17L ve 23 uzantıları kesişen konfigürasyondaki pistlere uygulanacak ve sonuçları değerlendirilecektir.

5. İSTANBUL ATATÜRK HAVALİMANI'NIN UZANTILARI KESİŞEN PİSTLERİ İÇİN PMS TEKNİĞİNE DAYALI GELİŞ TRAFİĞİ SIRALAMA UYGULAMASI

İstanbul Atatürk Havalimanı (LTBA), Türkiye’de ilk defa sivil hava ulaşımının başlatıldığı meydandır. 1953 yılında uluslararası hava trafiğine açılmıştır. Toplam 11.776.961 m²’lik alana kurulu bulunan havalimanında 62.500 m²’lik iç hatlar terminali, 268.000 m²’lik dış hatlar terminali olmak üzere toplam 330.500 m²’lik, 27.5 milyon yolcu/yıl kapasiteli terminal mevcuttur. Coğrafi koordinatları 40°58’34"N, 28°48’50"E olan meydanın uydu görüntüsü Şekil 5.1’de gösterilmektedir [131].



Şekil 5.1. İstanbul Atatürk Havalimanı uydu görüntüsü [132]

İstanbul Atatürk Havalimanı’nda 05/23 oryantasyonunda bir pist, 35R/17L ve 35L/17R oryantasyonuna sahip birbirine paralel konumda iki olmak üzere toplam üç adet pist bulunmaktadır (Şekil 5.1). Haziran 2010 öncesinde 06/24, 36R/18L, 36L/18R olan pist numaraları manyetik sapmadan dolayı 05/23,

35R/17L ve 35L/17R olarak değiştirilmiştir. Bununla birlikte aynı sene içinde daha önce 2300 m uzunluğundaki 05/23 pisti 300m uzatılarak 2600m'ye çıkarılmıştır [133].

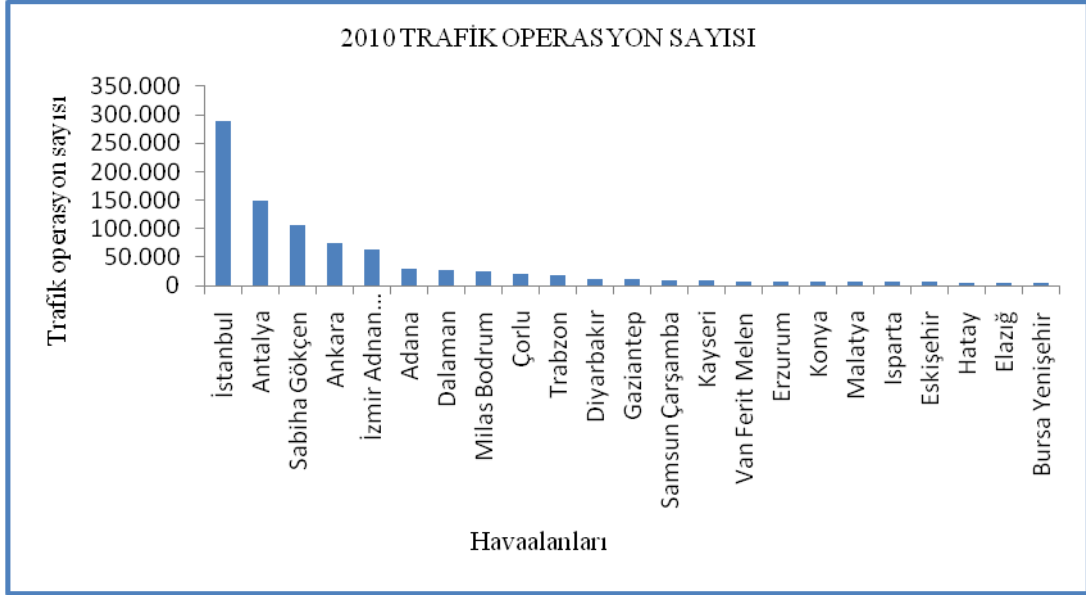
Pist başı koordinatları ve uzunlukları 2011 tarihli AIP AD 2 LTBA-13 referans alınarak aşağıda izelge 5.1'de verilmiştir [5].

Çizelge 5.1. Pist koordinatları ve uzunlukları [5]

| Pist | Coğrafi koordinatlar | Pist uzunlukları (m) |
|------|---------------------------|----------------------|
| 35R | 405810.04N 0284834.09E | 3000×45 |
| 35L | 405809.66N 0284825.12E | 3000×45 |
| 17R | 405946.88N 0284821.71E | 3000×45 |
| 17L | 405946.89N 0284830.69E | 3000×45 |
| 05 | 405758.75N 0284841.19E | 2600×60 |
| 23 | 405839.95N 0285010.16E | 2600×60 |

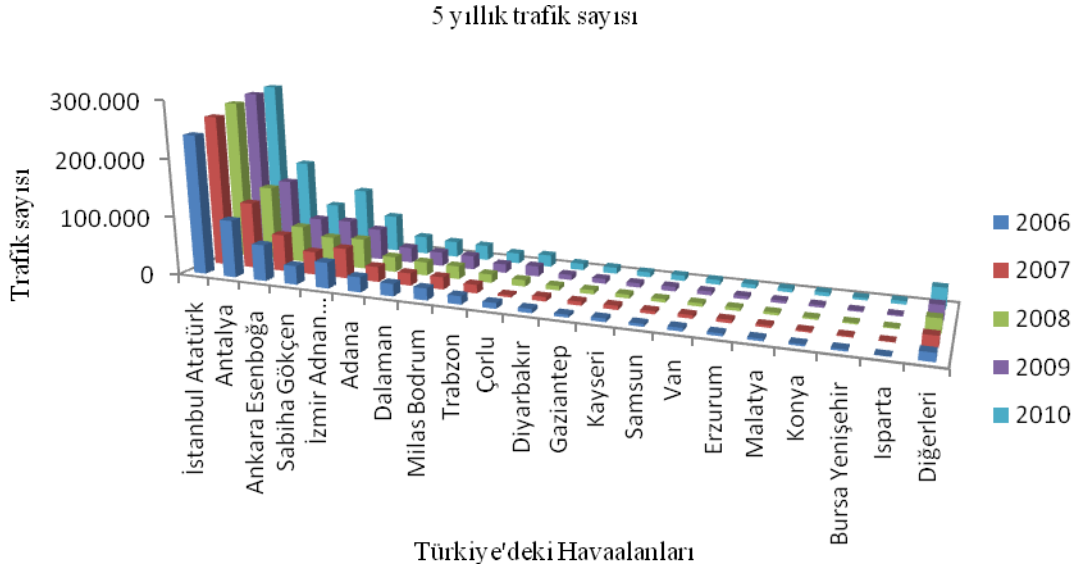
LTBA'da ILS, DME, Ynlendirilmemiş Radyo Bıkın (NDB-Non-Directional Radio Beacon) ve VOR-Taktik Hava Seyrüsefer Yardımcısı (VORTAC-VOR and Tactical Air Navigation Aid) mevcuttur. 35L, 17L, 05 ve 23 pistleri için ILS kategori I ekipmanlı, 35R pisti ILS kategori II ekipmanlıdır. 05 pisti hariç diğer tüm pistlerde VORTAC seyrüsefer yardımcı cihazı mevcuttur [5].

2010 yılı için DHMI'nin yaptığı sayısal çalışmadan alınan veriler doğrultusunda Türkiye'deki havaalanlarının trafik operasyon sayısı incelendiğinde elde edilen sonuç Şekil 5.2'de gösterilmektedir. LTBA, 2010 yılında 288.246 trafik sayısı ile en yoğun havalimanı olarak görülmektedir [6].



Şekil 5.2. 2010 yılı trafik operasyon sayısı

Aynı veriler kullanılarak, havaalanları son 5 yıl için trafik operasyon sayısı açısından incelendiğinde ise Şekil 5.3.'teki sonuç elde edilmiştir. LTBA'nın trafik operasyon sayısı açısından en yoğun havalimanı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. Türkiye'deki havaalanları ve 5 yıllık trafik operasyon sayısı

İstanbul Atatürk Havalimanı, sahip olduğu 17L ve 23 pistlerinin konfigürasyon açısından uzantıları kesişen pistler olması, aynı zamanda en yoğun havalimanı olması dikkate alınarak bu çalışmada uygulama alanı olarak seçilmiştir.

Kasım 2010 tarihi sonrasında LTBA'daki mevcut tüm pistler için RNAV GNSS STAR ve SID haritaları AIP'de yayınlanmıştır. Bu tarihten itibaren hava trafiğini yönetilmesinde Açık RNAV STAR uygulamasına geçilmiştir; ancak bu teknik uçakların ILS hattına girmesi için son yaklaşıma dönüştürme kontrolör tarafından vektör talimatı verilmesini gerektirmektedir. Bu özelliğinden dolayı, açık RNAV STAR uygulaması, kontrolörün, prosedür ve vektör tekniğinin birlikte kullanımını gerektiren bir uygulamadır.

Bu çalışmada, uygulama alanı olarak belirlenen LTBA'nın, 17L ve 23 uzantıları kesişen pistlerine RNAV yol tasarımına dayalı bir teknik olan PMS model uygulanarak, geliş trafiğinin tek bir nokta üzerinde toplanması ve sıralanması amaçlanmıştır. PMS uygulaması ile trafiklere vektör talimatı verilmesi gerekliliği ortadan kalkacaktır.

Çalışmada İstanbul Atatürk Havalimanı için simülasyon ortamında hazırlanan İstanbul TMA'da hem vektör tekniği hem de PMS tekniği kullanılarak yapılan hava trafik yönetimi sonucunda kontrolörlerin verdiği toplam talimat sayısı (baş, seviye, hız) ve frekans meşguliyet süreleri ölçülecektir.

5.1 İstanbul TMA'nın Oluşturulması

Türkiye hava sahası Ankara Uçuş Bilgi Bölgesi (FIR-Flight Information Region) ve İstanbul FIR olmak üzere iki FIR'dan oluşmaktadır. İstanbul FIR'ın içinde yer alan İstanbul TMA'da İstanbul Atatürk Havalimanı, Sabiha Gökçen Havaalanı, Çorlu Havaalanı olmak üzere üç tane uluslararası havalimanı mevcuttur.

2010 yılı Türkiye Havacılık Bilgi Yayını'ndan (AIP) alınan veriler doğrultusunda merkezi koordinatları 410038N – 0285424E olan, 30NM yarıçaplı olarak belirlenen İstanbul TMA'nın sınırları gerçek koordinat verileri ile simülasyon ortamına girilmiştir (Çizelge 5.2).

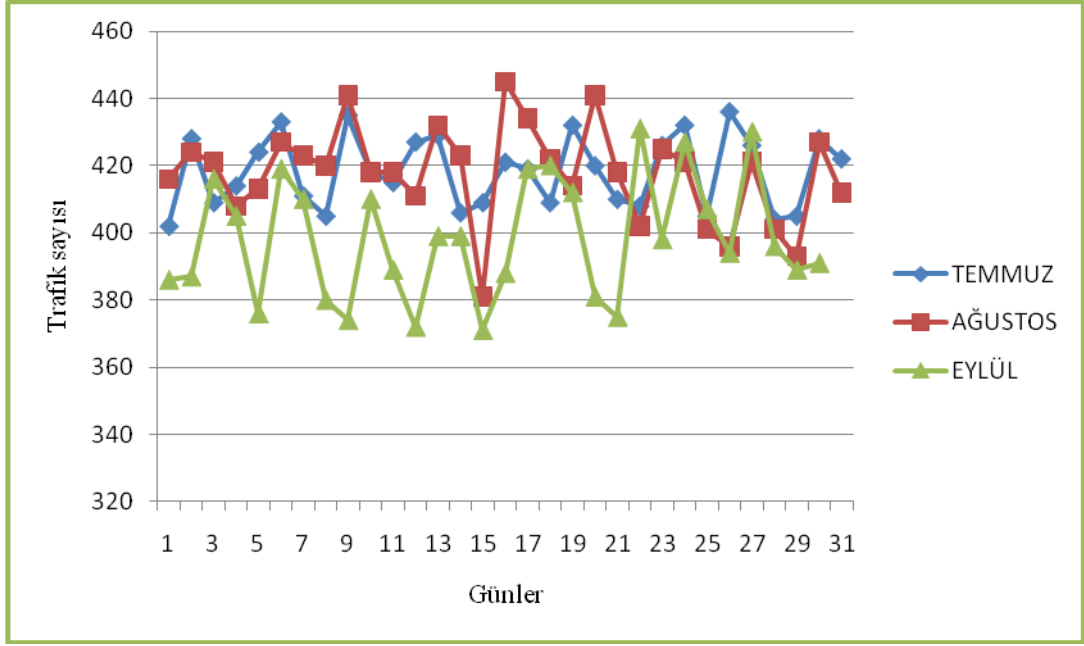
Çizelge 5.2. İstanbul TMA koordinatları [5]

| | | |
|------------------|------------------|------------------|
| 412836N-0283838E | 412836N-0271113E | 405941N-0271113E |
| 405126N-0271728E | 401926N-0271458E | 401256N-0272758E |
| 401256N-0273158E | 403826N-0275658E | 403831N-0282743E |
| 401556N-0285958E | 295356N-0285958E | 395456N-0295558E |
| 404126N-0292458E | | |

Meydan referans noktası (ARP-Aerodrome Reference Point) 405834.202N-0284850.738E ve koordinatları 405946.89N-0284830.69E olan 17L pisti ve 405839.95N-0285010.16E koordinatlarına sahip 23 pisti İstanbul TMA içine yerleştirilmiştir. LTBA için gerekli tüm seyrüsefer yardımcıları, kesişme noktaları simülasyon ortamına aktarılmıştır, ayrıca TMA'ya giriş noktaları ve koordinatları Çizelge 5.3'te verilmektedir [5].

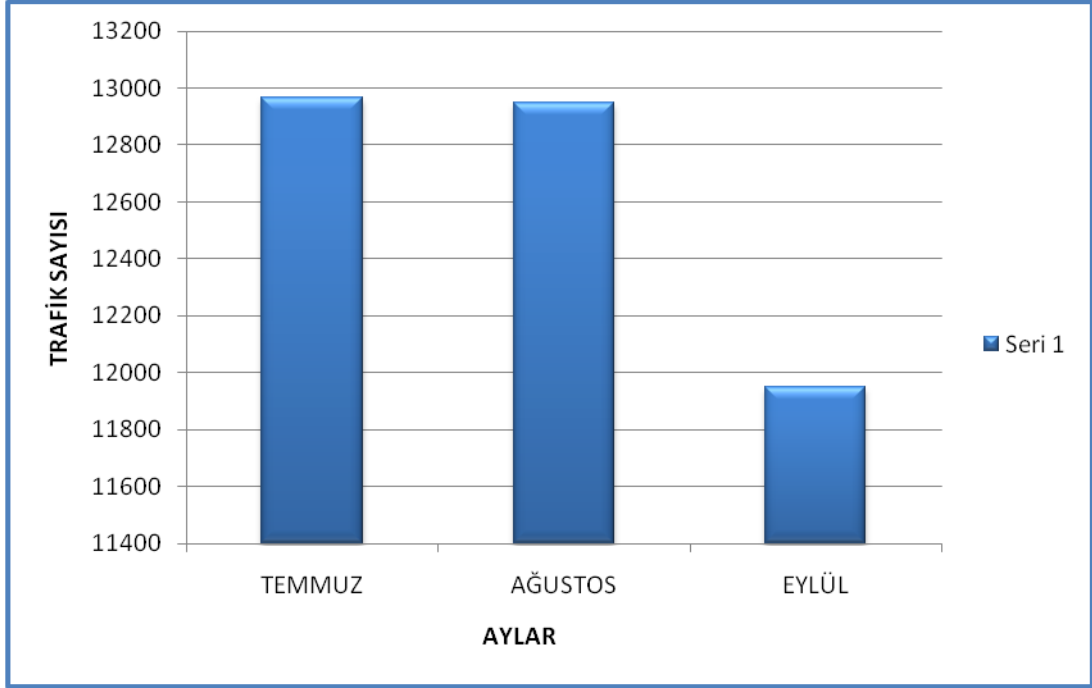
5.1.1 TMA geliş trafik analizi

İstanbul TMA geliş trafik analizi için, TMA'daki trafiğin en yoğun olduğu yaz dönemine ait (2009 yılının Temmuz, Ağustos ve Eylül ayının) veriler İstanbul Atatürk Radar Kontrol Ünitesi'nden temin edilmiştir. Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında TMA'daki trafik dağılımları incelenmiştir (Şekil 5.5).



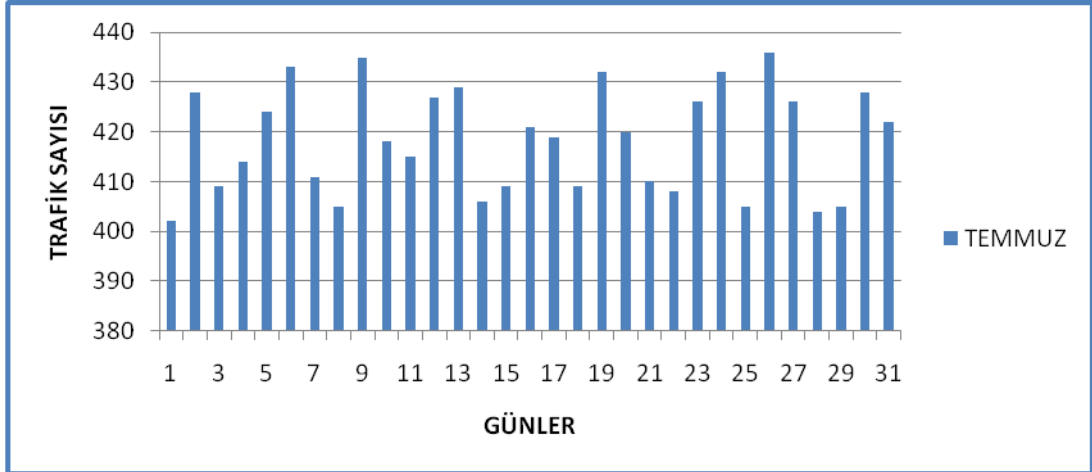
Şekil 5.5. Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında TMA'daki trafik dağılımı

Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında TMA'daki toplam trafik sayısının en yoğun Temmuz ayında olduğu görülmüştür (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Temmuz, Ağustos ve Eylül ayında TMA'daki toplam trafik sayısı

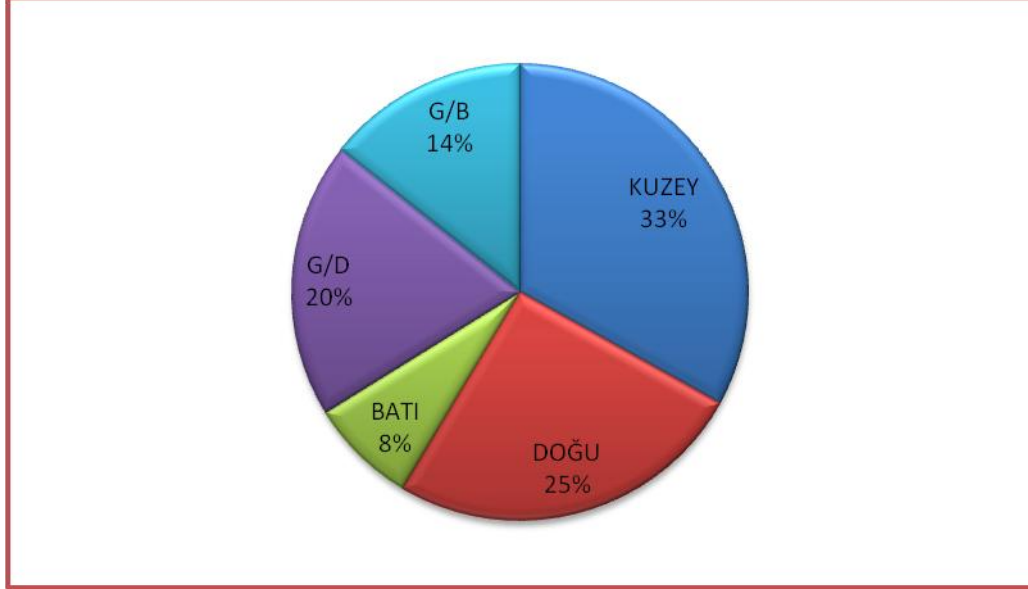
Temmuz ayının günlerine göre trafik dağılımına bakıldığında ise TMA'daki en yoğun günün 436 trafik sayısı ile 26 Temmuz olduğu görülmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Temmuz ayının günlerine göre trafik dağılımı

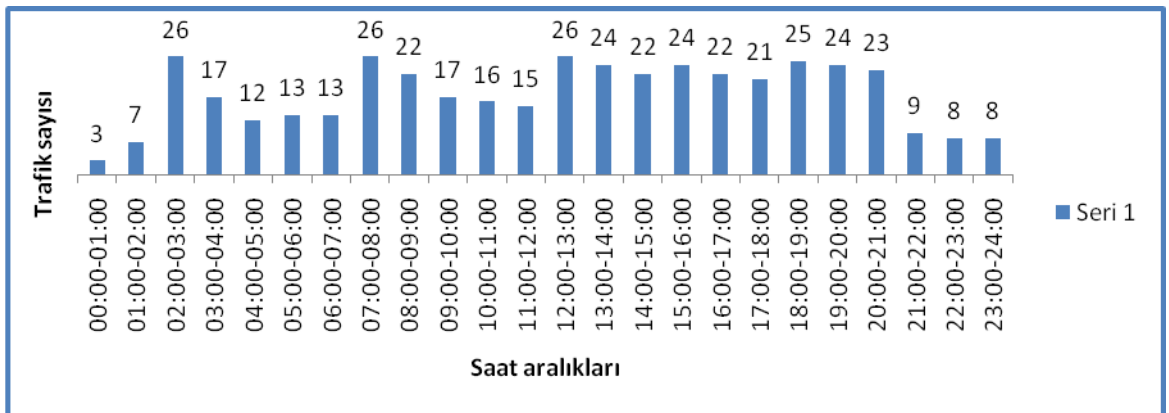
Elde edilen en yoğun günün (26 Temmuz 2009) trafik verileri kullanılarak geliş trafik akışının en fazla olduğu yönler sayısal açıdan incelenmiş, en fazla kuzey ve doğu yönlerinden trafik akışının olduğu görülmüştür (Şekil 5.8). Geliş

trafik akış yönü, PMS modelinin giriş noktalarının konumlandırılmasında önemlidir. Bu nedenle tasarlanan PMS modeli giriş noktaları özellikle kuzey ve doğu trafiği için etkin konumda yerleştirilmiştir.



Şekil 5.8. Geliş yönüne göre trafik dağılımı

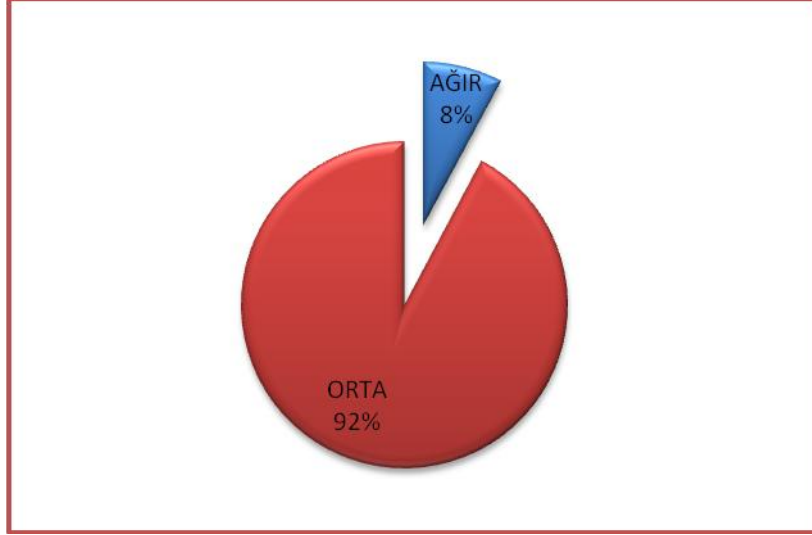
26 Temmuz verileri saatlik periyotlar bazında incelenmiş ve senaryoda kullanılacak olan trafik karmasına temel oluşturacak trafik için en yoğun (peak) zaman dilimi olan üç zaman aralığından 07:00-08:00 saat aralığı seçilmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. 1 saatlik zaman dilimine göre trafik dağılımı

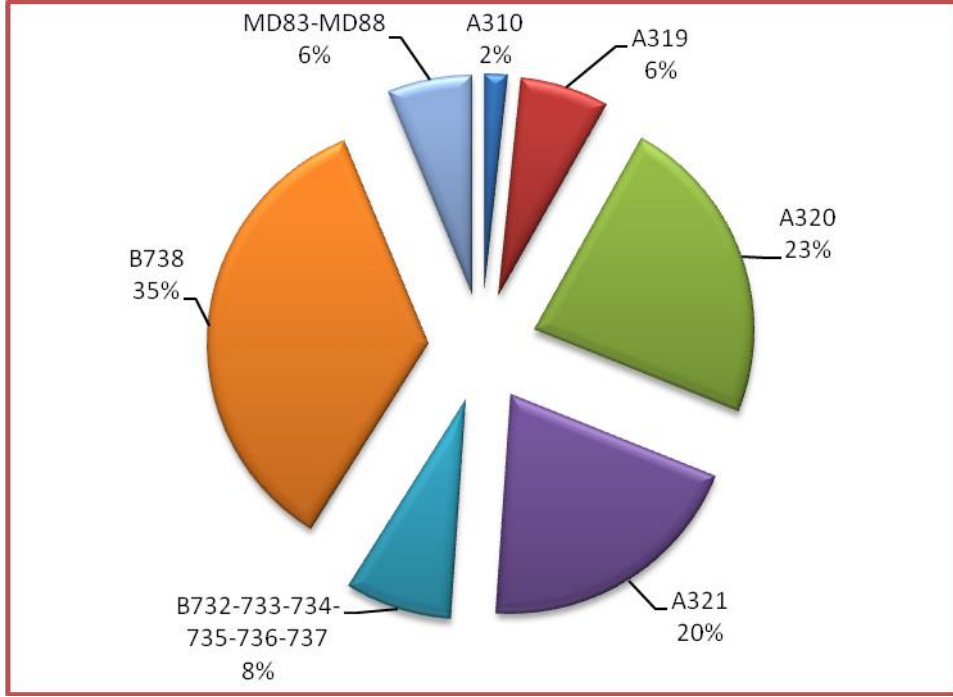
5.1.1. Uçak tipi

En yoğun günün (26 Temmuz 2009) mevcut veri grubu kullanılarak, sıralama için geliş trafik tipinin belirlenmesinde, kategorilerine göre gelen trafik incelenmiş ve %92 oranında orta (medium), % 8 oranında ise ağır (heavy) uçak olduğu görülmüştür (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Uçak kategorilerine göre trafik dağılımı

Orta kategorideki uçak tipleri arasında TMA'da en fazla B738 olduğu görülmektedir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Orta kategorili uçakların yüzdesi

Bu çalışmada, PMS uygulaması için hazırlanacak senaryo için, şu ana kadar istatistiksel açıdan değerlendirilmiş trafik dağılımlarının analizleri dikkate alınmıştır. Gerçek trafik verilerinin temel oluşturduğu senaryonun trafik sayısı geliş yönleri de göz önüne alınarak analiz sonuçlarına göre belirlenmiş ve geliş yönlerine göre bu oranlarda rastsal trafik sayısında artış gerçekleştirilmiştir. Böylece hazırlanan senaryoda TMA'nın en yoğun olması durumu dikkate alınacağından trafik sayısı geliş yönü ile orantılı olarak artırılmış ve kesişen pistler için saatlik maksimum kapasiteye yakın bir değer olarak 50 trafiğe çıkarılmıştır. Aynı zamanda uçak tipleri de göz önüne alınarak, hazırlanan senaryoda orta kategorideki uçak sayısının, ağır kategorideki uçak sayısına oranla daha fazla olmasına özen gösterilmiştir. Senaryo için hazırlanan trafik verileri uçak çağrı adı, uçak tipi ve TMA'ya giriş noktaları ve giriş saatleri Ek 1'de verilmiştir.

5.1.2 Önceden tanımlanmış WP'ler

Tasarlanan PMS modelinin sıralama bacakları üzerinde uçakların pozisyon tahmin edilebilirliğini artırması açısından önceden belirlenmiş WP'ler yerleştirilebilir. Bu çalışmada, önceden tanımlanmış WP'ler yerleştirilmiş ve bacak üzerindeki her bir parça üzerinde yer alan WP'lerin dönüş özelliği geçiş noktası olarak belirlenmiştir. Prosedürün bitişindeki WP'ler ise uğrak nokta olarak belirlenmiştir. Böylelikle prosedürü uygulayıp son noktaya gelen uçak otomatik olarak toplama noktasına direkt olarak uçuşuna başlayacaktır. PMS üzerindeki önceden belirlenmiş WP'lerin yol sonlandırıcıları TF olarak belirlenmiştir.

Trafiklerin önceden belirlenen geçiş noktası özelliğindeki WP'lerden dönüş gerçekleştirebilmesi için, bu WP'ler arasında uçağın dönüş yarıçapına bağlı olarak değişen belirli minimum mesafenin sağlanması gereklidir. Bu nedenle, geçiş noktası özelliği taşıyan WP'lerin aralarında olması gereken mesafe ICAO Doküman 8168 PANS-OPS'da belirtilen formülasyona göre (denklem 3.2), şu an TMA'da en fazla mevcut olan orta kategorideki B738'in performans özellikleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. B738 model uçak için dönüş yarıçapı hesaplanmasında performans değerleri Eurocontrol dokümanı Temel Uçak Verileri (BADA-The Base of Aircraft Data) Revision 3.6'dan, diğer veriler ise DOC 8168 PANS-OPS'dan alınmıştır.

Hesaplamalarda gerçek/hakiki hava sürati (TAS-True Air Speed) kullanılmaktadır. TAS, irtifa ve hava sıcaklığı gibi etkenler dikkate alınarak düzeltilmiş olan hakiki hava hızıdır. Bu nedenle işari hava hızı (IAS-Indicated Air Speed) 5.1.'de belirtilen formülasyon ile TAS'a çevrilmektedir [126].

$VAR = ^\circ C$ cinsinden sıcaklık değişimini (15°),

$H =$ Feet cinsinden irtifa değerini (10000ft) göstermektedir.

$$V_{TAS} = V_{IAS} \times 171233 \times [(288 \pm VAR) - 0.00198H]^{0.5} \div (288 - 0.00198H)^{2.628} \quad (5.1)$$

BADA referans alınarak, B738 için son yaklaşımda $V_{IAS} = 250kt$ olarak alınmıştır [126].



$$V_{TAS} = V_{IAS} \times 171233 \times [(288+15) - (0.00198 \times 10000)]^{0.5} \div (288 - (0.00198 \times 10000))^{2.628}$$

$$V_{TAS} = 298,95kt = \sim 300kt = (154,33 \text{ m/sn}) \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Dönüş yarıçapı (r) 5.2. ve 5.3.'de belirtilen denklemler ile hesaplanmaktadır [126].

V_{TAS} : Uçağın maksimum hakiki hava süratini,

α : Uçuş safhasının maksimum yatış açısını göstermektedir.

$$r = \frac{(V_{TAS})^2}{68626 \times \tan \alpha} \quad r, \text{ NM}; V \text{ kt}, \quad (5.2.)$$

$$r = \frac{(V_{TAS})^2}{127094 \times \tan \alpha} \quad r, \text{ km}; V \text{ km/sa} \quad (5.3.)$$

cinsinden ifade edilmektedir.

Yatış açısı (α) uçuşun farklı safhaları için farklı değerler almaktadır. Bu değer kalkış safhası, yol safhası ve pas geçme safhasında 15° , turlu yaklaşımda 20° , IAF, IF ve FAF'ta 25° olarak belirlenmektedir. Yatış açısının uçuş safhalarına göre aldığı değerler PANS-OPS Vol II Bölüm 1 Tablo I-2-3-4-1 referans alınarak, bu çalışma için yaklaşma safhasında olması gereken değer 25° olarak alınmıştır [126]. Uçuş safhalarına göre yatış açısı değerleri Ek 2'de verilmiştir.

Denklem 5.2. kullanılarak yapılan hesaplamada,

$$r = \frac{(298,95)^2}{68626 \times \tan 25^\circ} = 2,8NM \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Geçiş noktası için minimum stabilizasyon mesafesinin hesaplanmasında denklem [3.2] kullanılmıştır. PMS prosedüründe uçağın rota değişikliğindeki dönüş açısı 100° olarak belirlenmiştir.



$$\theta \text{ (dönüş açısı)} = 100^\circ$$

$$L1 = 2,8 \times \left(\tan \frac{100}{2} \right) = 3,33 \text{ NM}$$

$$L2 = 5 \times \frac{300}{3600} = 0,41 \text{ NM}$$

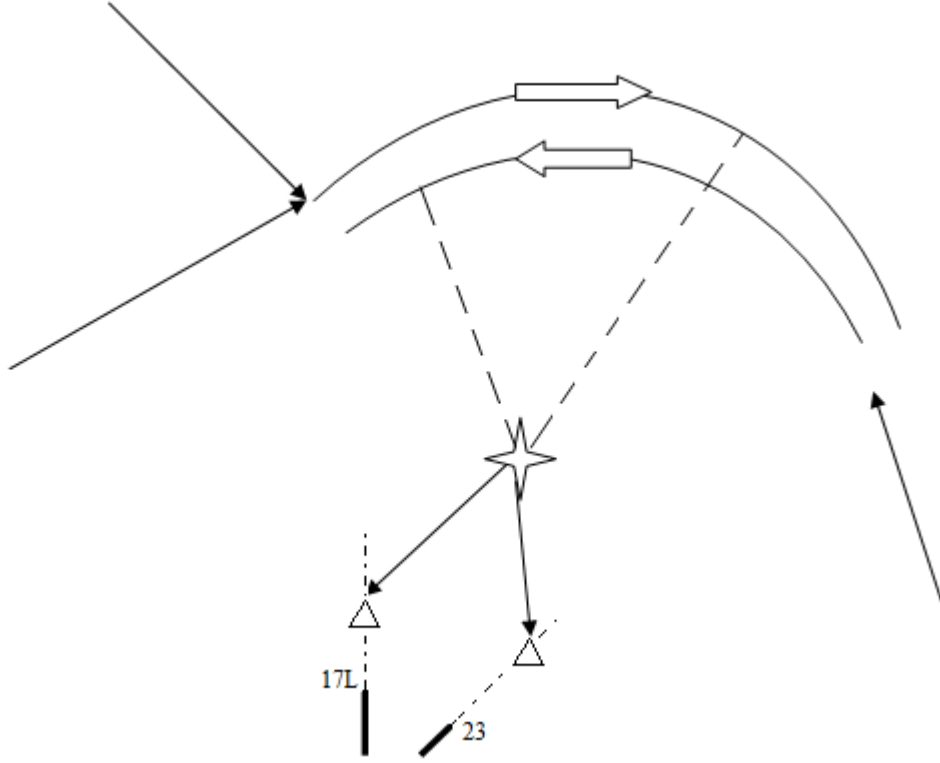
$$L1 + L2 = 3,33 + 0,41 = 3,74 = \sim 4 \text{ NM} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Bu hesaplamalar sonucunda, geçiş noktaları arasında 4NM mesafenin sağlanması durumunda uçakların dönüş yapabilmesi için gerekli olan minimum mesafeyi karşıladığı görülmektedir. Birbirine 4NM uzaklıktaki WP'ler, toplama noktasının radyalleri üzerine 11° aralıklarla yerleştirilmiştir (Şekil 5.12). Sıralama bacakları üzerinde önceden belirlenmiş WP'lerin olması, trafiğin pozisyon tahmin edilebilirliğini arttıracak aynı zamanda rotaların önceden belirlenmesini sağlayarak RNAV rotaların tam olarak uygulanmasına olanak tanıyacaktır.



Şekil 5.12. Önceden belirlenmiş dönüş noktaları ile PMS modeli

Tasarlanmış olan PMS modelinin giriş WP'lerinin yerleri, İstanbul TMA için gerçek trafik verileri ile yapılan sayısal çalışma sonucunda trafik akışının en fazla olduğu yön olarak elde edilen kuzey ve doğu yönlerine yakın konumda yerleştirilmiştir. Böylelikle, geliş trafikleri zaman kaybetmeden en kısa yoldan bu noktaları kullanarak PMS'e gireceklerdir. Geliş trafikleri, birbirine zıt yönlü ve dikey olarak ayrılmış sıralama bacakları üzerinde iniş sırası için beklemelerini yapacaktır. Şekil 5.13'de, tasarlanan PMS modelinin LTBA'nın 17L ve 23 uzantıları kesişen pist konfigürasyonundaki pistleri için yerleştirilmiş bir örneği gösterilmektedir.

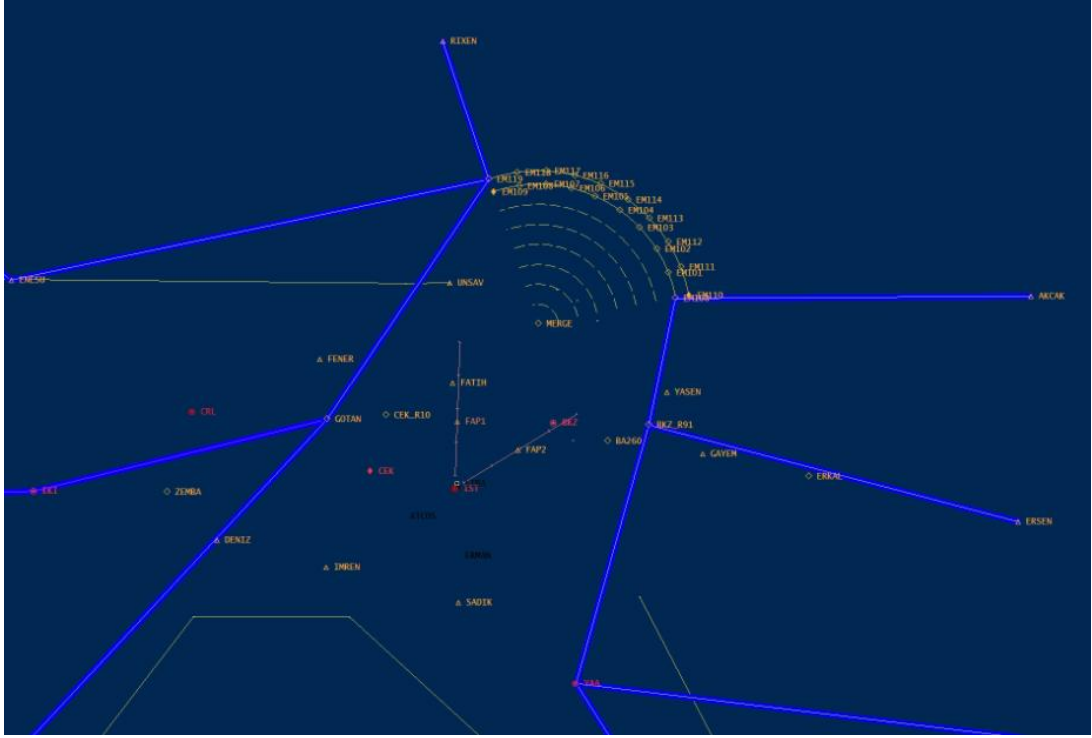


Şekil 5.13. PMS modeli örneği

5.2 İstanbul Atatürk Havalimanı PMS Modeli

Tasarlanan PMS model, LTBA'nın 17L ve 23 uzantıları kesişen pistleri için yerleştirilmiş ve hava trafik yolları ile bağlantıları yapılmıştır (Şekil 5.14). Prosedürde bir tane toplama noktası (MERGE), iki sıralama bacağı, sıralama

bacakları üzerinde önceden tanımlanmış WP'ler, kontrolörün trafikler arasında ayırmayı sağlayarak radar ekranı üzerinde görsellik açısından sıralama yapmasında kolaylık sağlamasını amaçlayan mesafe halkaları (kesik sarı çizgiler) yer almaktadır. Bununla birlikte, 17L ve 23 pist merkez hatları ve mevcut seyrüsefer yardımcıları, kesişme noktaları da Şekil 5.14'de görülmektedir.



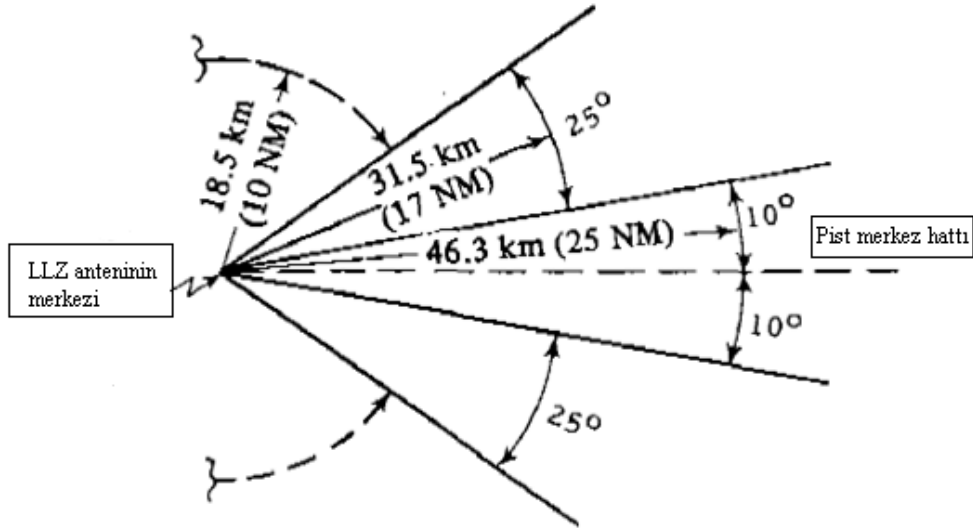
Şekil 5.14. İstanbul Atatürk Havalimanı için PMS modeli

5.2.1 PMS tekniği

TMA'ya giren trafikler prosedür ile bağlantısı yapılmış standart rotalar boyunca uçuşlarına devam etmektedir. Trafikler bölüm 4.2'deki model kabullerinde belirtilen değerlere göre modele giriş noktasına kadar sıralama bacakları için belirlenen uçuş seviyelerini muhafaza etmek zorundadırlar. Sıralama bacakları üzerinde kontrolör tarafından sıralaması yapılan trafikler, herhangi bir noktada beklemeye ihtiyaç kalmaksızın iniş için son yaklaşma noktasına 15NM mesafedeki belirli bir toplama nokta üzerine direkt gönderme talimatı ile yönlendirilmektedir. Trafikler toplama noktasından sonra pist ekseninde son yaklaşma noktasına yaklaşık 5NM uzaklıktaki noktalara

gönderilerek inişe hazırlanmaktadır. Toplama noktasından sonra, kontrolör pist seçimine göre trafiklerin 17L veya 23 pistine gönderilmesi durumunda 17L pisti için FATİH noktası, 23 pisti için ise BKZ noktasına direkt yönlendirilerek ILS izni verilmiştir.

FATİH ve BKZ noktaları, pistlerin mevcut ILS Lokalizer (LLZ-Localizer) sistemlerinin kapsama alanı içinde olması gerekmektedir. Bu nedenle LLZ kapsama alanının oluşturulmasında gerekli değerler için ICAO Ek 10 referans alınmış (Şekil 5.15) ve kapsama alanı simülasyon ortamında çizilmiştir (Şekil 5.16) [135].



Şekil 5.15. LLZ kapsama alanı [135]

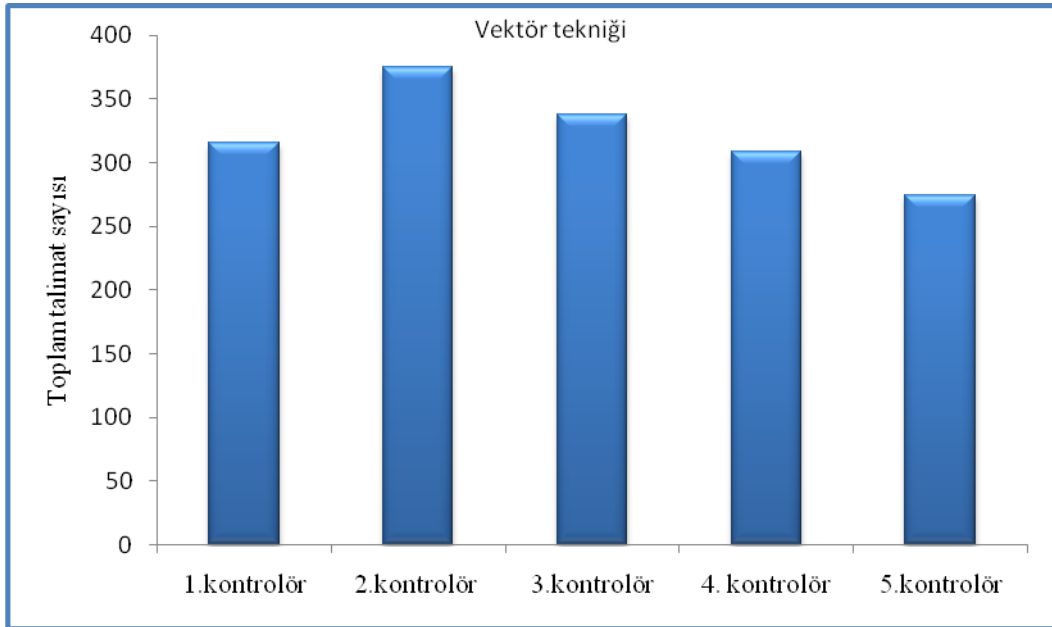
Simülasyon ortamında LLZ kapsamı alanı belirlenirken öncelikle 2011 AIP referans alınarak 17L ve 23 pistlerinin LLZ antenlerinin koordinatları 17L için 405805N 0284834E ve 23 pisti için 405753.9N 0284830.7E olarak simülasyon ortamına aktarılmış ve Şekil 5.15'te belirtilen açı değerlerine göre çizim yapılmıştır. Her iki pist için LLZ kapsama alanı için elde edilen sonuç Şekil 5.16'da gösterilmektedir. Mavi renkte gösterilen alan 23, yeşil renkte gösterilen alan ise 17L pistine aittir. Şekil 5.16'da görüldüğü gibi hem FATİH hem de BKZ noktaları LLZ kapsama alanı içinde yer almaktadır.

5.3 Vektör Tekniği ve PMS Tekniği Arasında Karşılaştırma

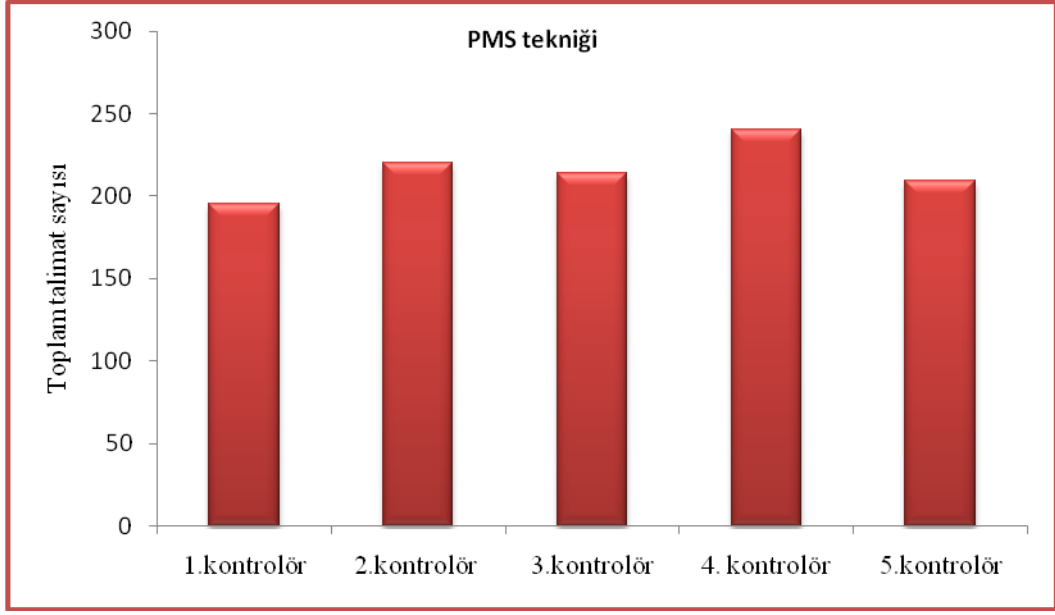
Vektör tekniği ve PMS için simule edilmiş aynı TMA kullanılacaktır. Vektör tekniğinde trafikler herhangi bir kontrolör talimatı almadıkları durumda geleneksel STAR'ları uygularken, PMS tekniğinde ise her bir IAF'ten model ile bağlantı için tasarlanmış rotalar kullanılacaktır. Simülasyon uygulamasında kontrolörler aynı senaryoyu hem vektör hem de PMS tekniğini kullanarak çalışmıştır. Bölüm 4.2 deki genel kabuller ve model kabulleri kapsamında gerçek zamanlı olarak denenmiş senaryodan elde edilen sonuçlar toplam talimat sayısı, frekans meşguliyet süresi, dikey profil ve yörünge dağılımı açısından incelenmiştir.

5.3.1 Kontrolör toplam talimat sayısı

Trafiklerin TMA'ya giriş noktasından, son yaklaşma noktasına kadar bir saatlik zaman periyodu içerisinde kontrolörler tarafından verilen talimatların (baş, seviye, hız) toplam sayısı hem vektör hem de PMS için hesaplanmıştır (Şekil 5.17 ve Şekil 5.18).

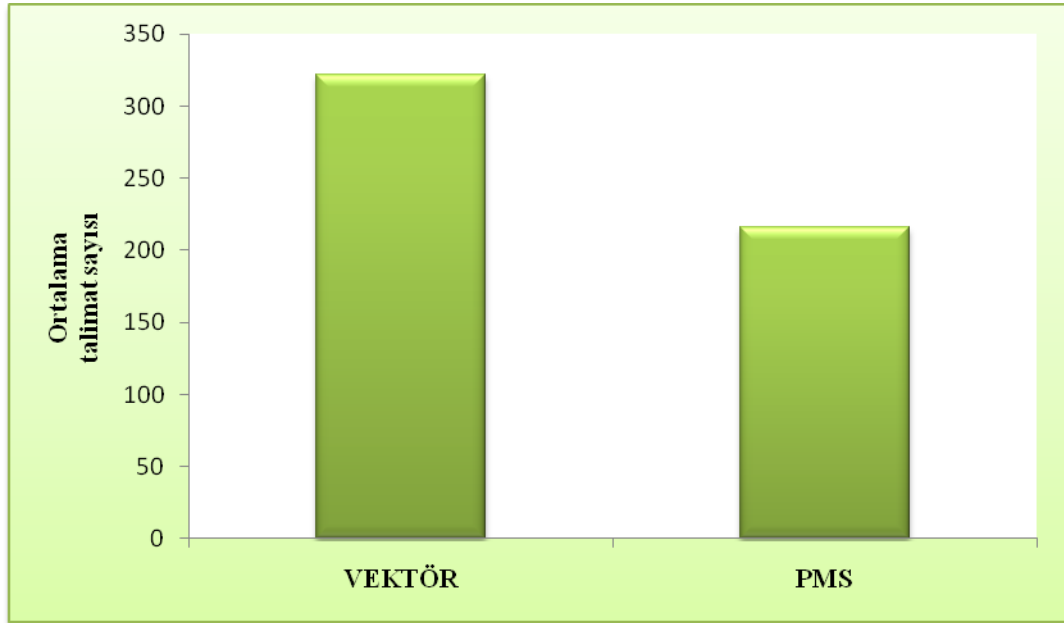


Şekil 5.17. Vektör tekniği ile toplam talimat sayısı



Şekil 5.18. PMS tekniği ile toplam talimat sayısı

Kontrolörlerin vermiş oldukları talimat sayılarında PMS de verilen direkt gönderme talimatları da göz önüne alınmıştır. Vektör tekniği için ortalama toplam talimat sayısı 322, PMS te ise 216'dır (Şekil 5.19). Kontrolörün PMS tekniğini kullanması durumunda verdiği toplam talimat sayısında %33 azalma olduğu görülmektedir.



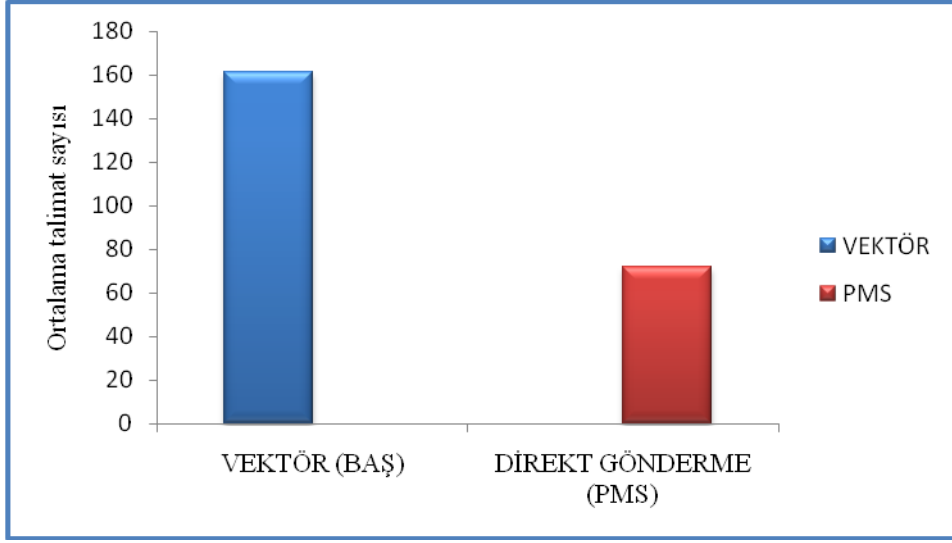
Şekil 5.19. Ortalama toplam talimat sayısı

Kontrolörlerin PMS tekniğini uygulama öncesi (vektör tekniği kullanma) ve PMS tekniğini uygulaması sonrasında verdikleri ortalama toplam talimat sayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı ise bağımlı tek örneklem analizi için yürütülen parametrik olmayan testlerden Wilcoxon işaretli sıralar testi ile SPSS 13.0 programı kullanılarak araştırılmıştır. Wilcoxon işaretli sıralar testi sonucunda, kontrolörün verdiği toplam talimat sayısında önce vektör tekniği kullanılması daha sonra PMS tekniği kullanılması durumunda 0,05 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark ($p = ,043 < ,05$) olduğu görülmüştür (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Wilcoxon işaretli sıralar testi sonucu

| PMS-VEKTÖR | |
|------------------------|-------|
| z | 2,023 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | ,043 |

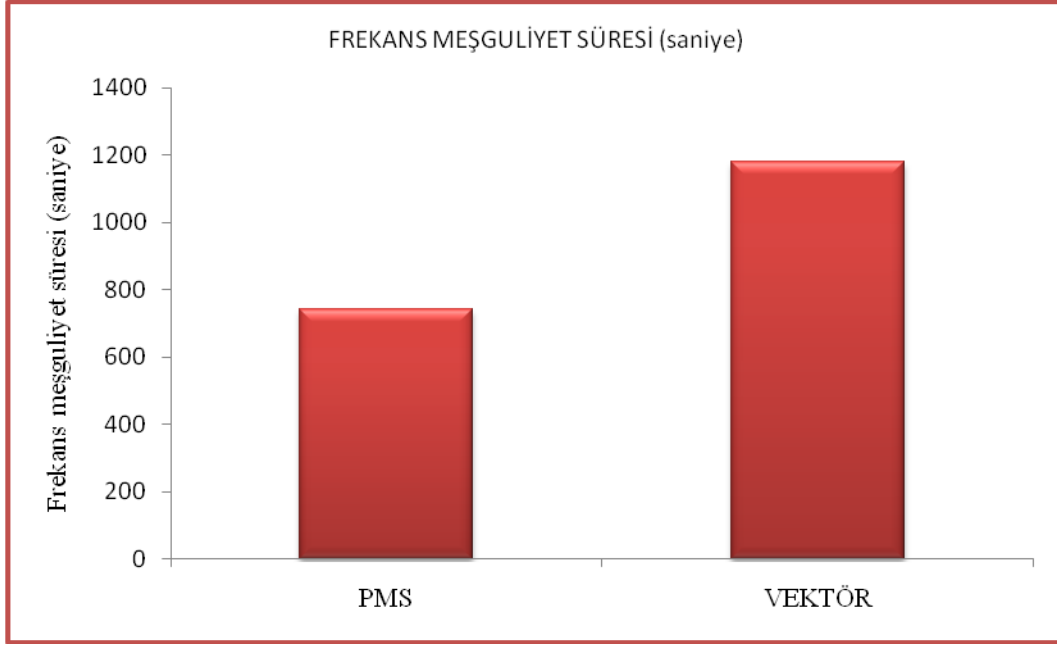
PMS, baş (heading) talimatı kullanmaksızın; vektör tekniği ise sadece baş talimatları kullanarak trafiği toplaması durumu göz önüne alınarak bu iki teknik sadece direkt gönderme ve baş talimatları açısından değerlendirilmiş ve kontrolörlerin sadece baş ve direkt gönderme verdikleri durumda ortalama talimat sayıları için Şekil 5.20'deki sonuç elde edilmiştir.



Şekil 5.20. Vektör ve Direkt gönderme talimat sayısı

5.3.2 Kontrolör frekans meşguliyet süresi

PMS ve vektör tekniğindeki toplam talimatların verilme süreleri ölçülmüş ve sonuçlar aşağıdaki grafikte verilmiştir. Vektör tekniği uygulanmasında kontrolör frekans meşguliyet süresi 1179sn (19dk 39sn), PMS tekniği uygulanması durumunda ise 743sn (12dk 23sn) olarak bulunmuştur. PMS'in vektör tekniğine göre kontrolörün toplam frekans meşguliyet süresinde %37 oranında azalma sağladığı görülmektedir (Şekil 5.21).

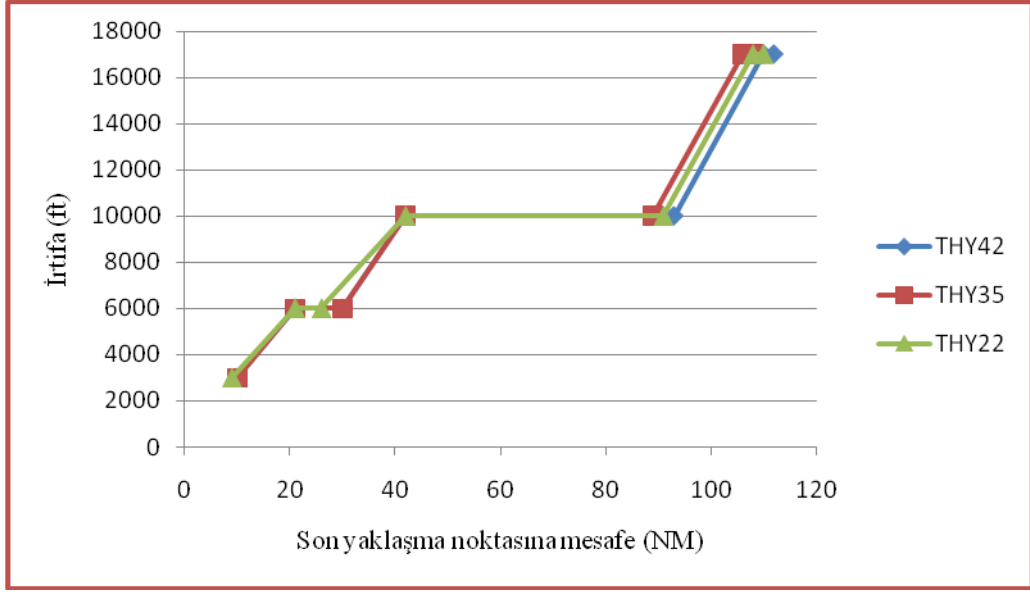


Şekil 5.21. Kontrolör frekans meşguliyet süresi

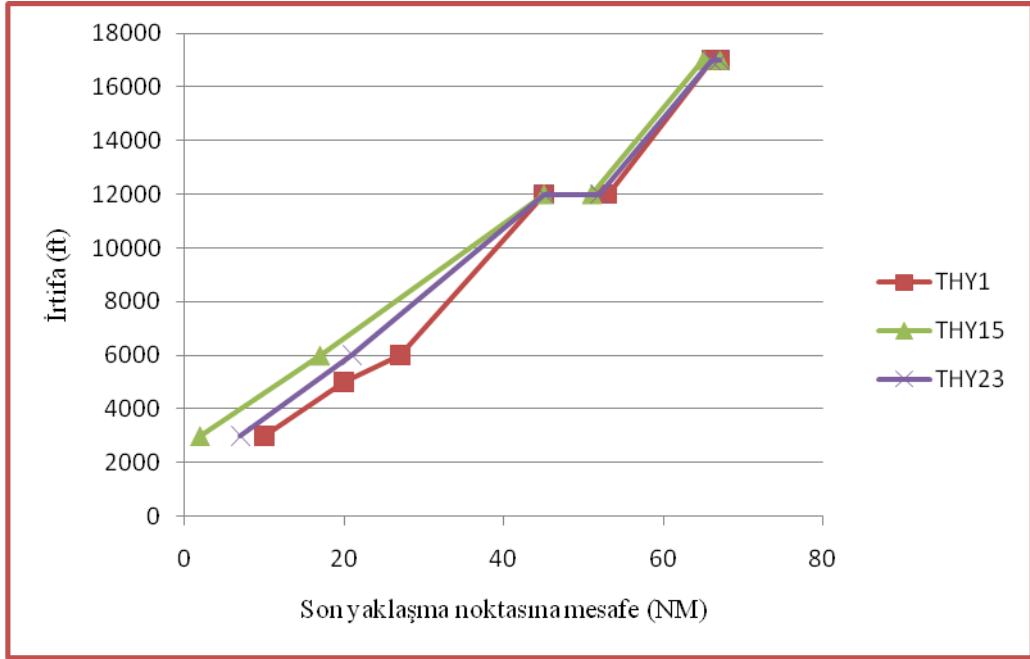
5.3.3 Dikey alçalma profili

PMS tekniği ile vektör tekniği karşılaştırıldığında; PMS’de inişlerin daha yüksek ve belirli bir dar alan içerisinde daha düzenli şekilde geldiği görülmektedir. Aynı zamanda PMS tekniği uygulanması ile, alçalma profilleri bütün uçaklar arasında aynıdır, buna karşın vektörde ise; FAP noktasından uzaktayken bazı uçakların düşük seviyelerde uçuğu (örneğin TMA’ya girişinden inişine kadar FL50 ya da MRVA’ın izinli kıldığı daha düşük seviyede uçmak gibi) ve trafik yörüngelerinde büyük dağılmaların olduğu görülmüştür. PMS’de uçulması gereken irtifalar daha önceden standart şekilde belirlendiği için trafiklerin düşük seviyelerde uçmasına gerek kalmamaktadır.

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’te farklı yönlerden gelen trafiklerin PMS model uygulaması durumunda standart alçalma profili ile alçaldıkları görülmektedir. Trafik, sıralama bacağından ayrılması ile birlikte son yaklaşma noktasına kadar adım adım alçalma yerine devamlı alçalma yaklaşması yapmaktadır.

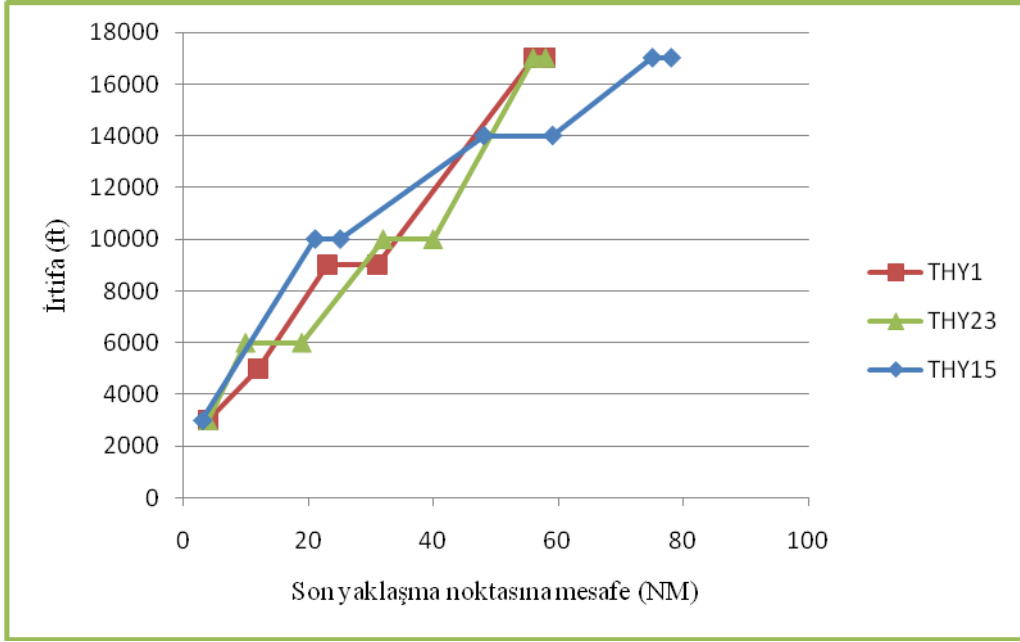


Şekil 5.22. Doğu yönünden gelen trafiklerin alçalma profili



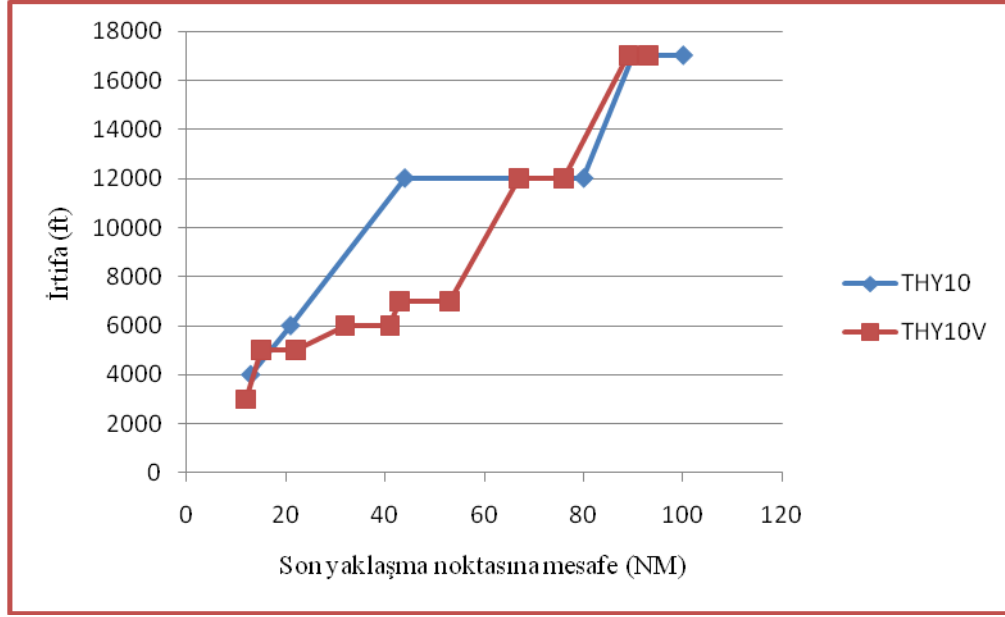
Şekil 5.23. Kuzey yönünden gelen trafiklerin alçalma profili

Aynı trafik için vektör tekniği kullanılması durumunda elde edilen alçalma profilleri Şekil 5.24'te verilmiştir. Trafiklerin alçalma profillerinin birbirinden farklı olduğu ve devamlı alçalma yerine adım adım alçalma yaptıkları gözlenmiştir.



Şekil 5.24. Vektör tekniği kullanımında alçalma profili

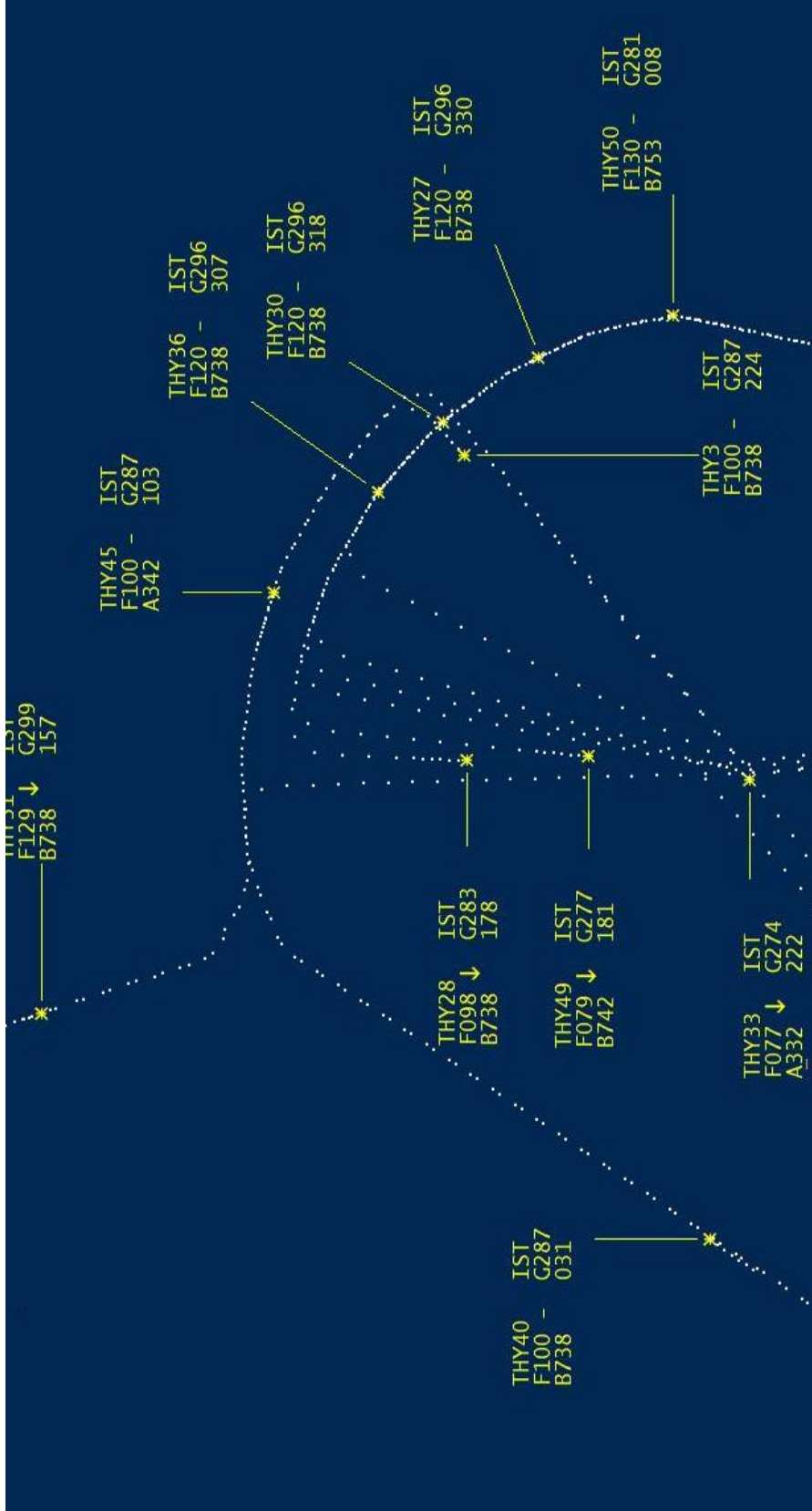
TMA'nın batı yönünden giriş yapan THY10 adlı çağrı uçağının PMS ve vektör tekniğinin ayrı ayrı uygulanması durumundaki alçalma profili Şekil 5.25'te gösterilmektedir. PMS ile uçağın, belirli bir süre FL120 muhafaza ettikten sonra, (modelde uçağın sıralama bacağının üzerinde olduğu anlaşılmaktadır) devamlı alçalmaya başladığı görülmektedir. THY 10 çağrı adlı uçağın vektör tekniği ile yönlendirilmesi durumunda ise FL120'dan sonra adım adım alçaldığı görülmektedir.



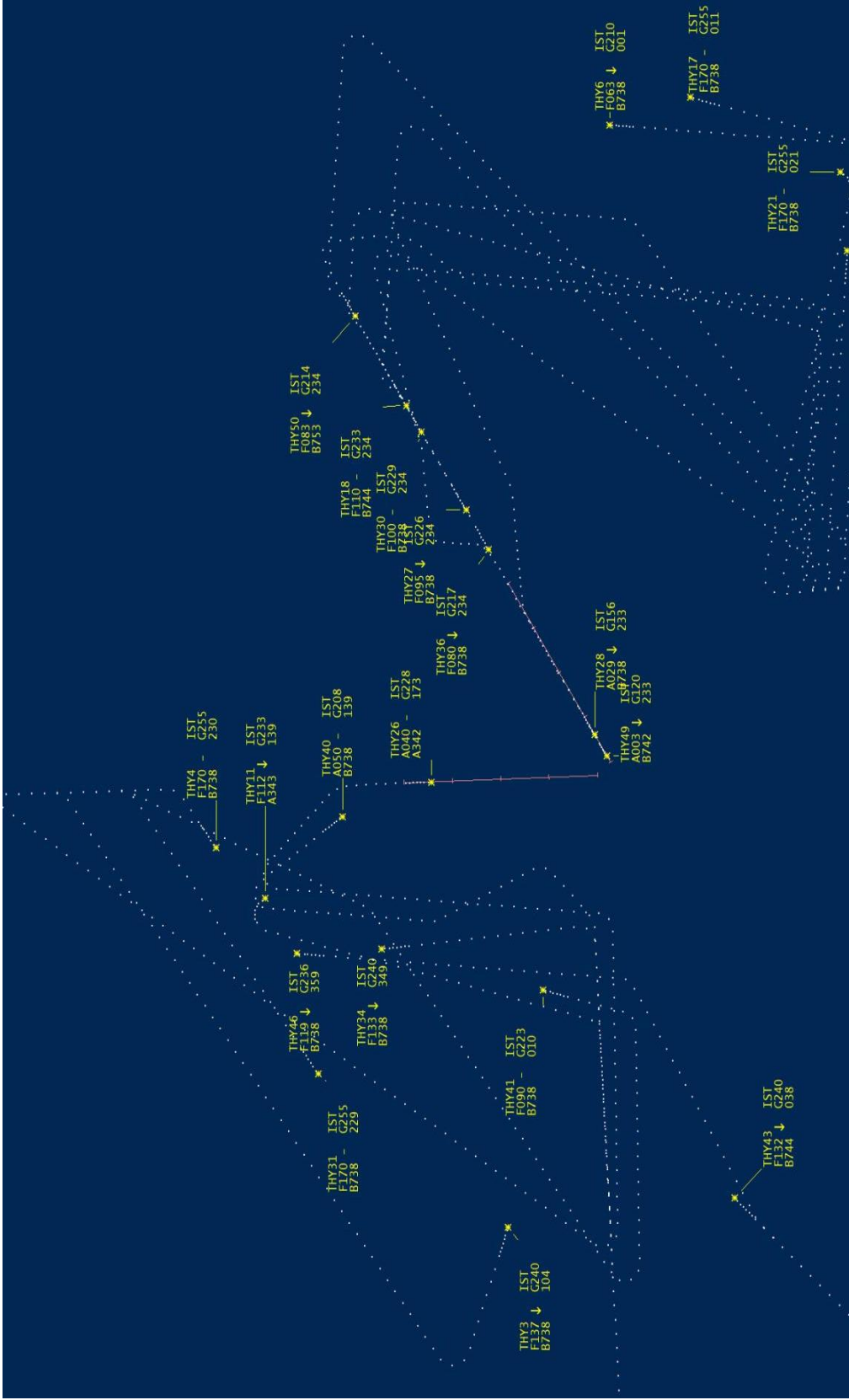
Şekil 5.25. THY10 çağrı adlı uçağın dikey alçalma profili

5.3.4 Trafik yörünge düzeni

PMS tekniğini ile kontrolörler tarafından aynı standart kısıtlar dahilinde yönetilen trafiklerin, vektör tekniğine göre daha düzenli bir akışa sahip olduğu görülmektedir. Vektör tekniğinde kontrolörlerin verdikleri farklı baş talimatları ile trafik yörüngeleri daha geniş alana yayılmakta (Şekil 5.26), PMS tekniği kullanımında ise dar bir üçgen alan içerisinde kalmaktadır (Şekil 5.27). Böylelikle kontrolörün belirli bir alan içindeki trafikleri izlemesi söz konusu olacaktır.



Şekil 5.26. PMS ile trafik yörünge görüntüsü



Şekil 5.27. Vektör tekniği ile trafik yörünge görüntüsü

5.3.5 Trafik sıralaması

Vektör tekniğinin esnek ve subjektif olmasından dolayı, kontrolörlerin bu tekniği kullanarak geliş trafiklerini sıralamalarında farklılıklar olduğu görülmektedir. PMS tekniği kullanılması durumunda, sıralama bacağı üzerinde beklemesini yapan geliş trafiği, sıralama bacağına giriş zamanına ve dolayısıyla sıralama bacağındaki konumuna göre kontrolör tarafından iniş için sıralanmaktadır. PMS tekniğinde sıralama bacaklarının mevcut olması, kontrolörün görsel anlamda trafik sıralamada farkındalığını ve öngörüsünü arttırmaktadır. PMS tekniği vektör tekniğine göre, daha adil olup en önemli kontrolörler arasında standart sıralama yapmaya imkan tanımaktadır.

Çizelge 5.5. PMS ve Vektör tekniği ile trafik sıralaması

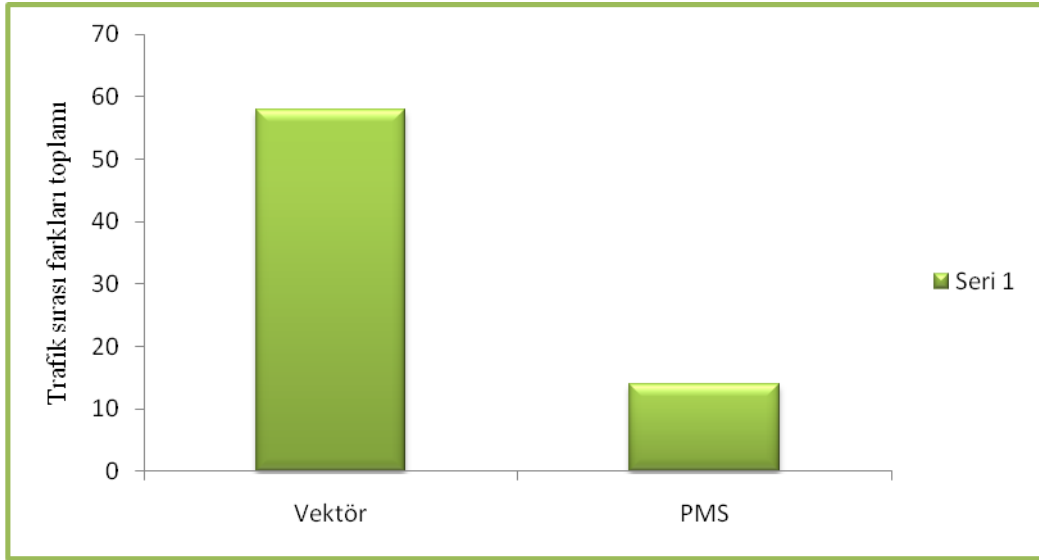
| ÇAĞRI ADI | PMS | | VEKTÖR | | SIRALAMA FARKI | |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| | Kontrolör A | Kontrolör B | Kontrolör A | Kontrolör B | PMS FARK | VEKTÖR FARK |
| THY24 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| THY2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| THY32 | 3 | 3 | 3 | 5 | 0 | 2 |
| THY5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| THY1 | 5 | 5 | 5 | 7 | 0 | 2 |
| THY10 | 6 | 7 | 6 | 6 | 1 | 0 |
| THY23 | 7 | 6 | 7 | 3 | 1 | 4 |
| THY22 | 8 | 8 | 8 | 9 | 0 | 1 |
| THY42 | 9 | 9 | 11 | 10 | 0 | 1 |
| THY37 | 10 | 11 | 10 | 12 | 1 | 2 |
| THY35 | 11 | 10 | 14 | 14 | 1 | 0 |



Çizelge 5.5. (devam) PMS ve Vektör tekniği ile trafik sıralaması

| ÇAĞRI ADI | PMS | | VEKTÖR | | SIRALAMA FARKI | |
|-----------|-------------|-------------|-------------|---------------------|----------------|-------------|
| | Kontrolör A | Kontrolör B | Kontrolör A | Kontrolör B | PMS FARK | VEKTÖR FARK |
| THY13 | 12 | 12 | 13 | 13 | 0 | 0 |
| THY39 | 14 | 14 | 12 | 11 | 0 | 1 |
| THY15 | 13 | 13 | 15 | 15 | 0 | 0 |
| THY25 | 15 | 15 | 16 | 16 | 0 | 0 |
| THY48 | 16 | 16 | 17 | 22 | 0 | 5 |
| THY47 | 17 | 19 | 18 | 24 | 2 | 6 |
| THY7 | 19 | 18 | 19 | 18 | 1 | 1 |
| THY20 | 18 | 17 | 21 | 20 | 1 | 1 |
| THY29 | 20 | 21 | 24 | 27 | 1 | 3 |
| THY19 | 21 | 22 | 26 | 32 | 1 | 6 |
| THY38 | 22 | 20 | 23 | 21 | 2 | 2 |
| THY14 | 23 | 24 | 20 | 17 | 1 | 3 |
| THY12 | 25 | 25 | 25 | 23 | 0 | 2 |
| THY45 | 24 | 23 | 22 | 19 | 1 | 3 |
| THY44 | 26 | 26 | 27 | 26 | 0 | 1 |
| THY16 | 27 | 27 | 28 | 28 | 0 | 0 |
| THY33 | 28 | 28 | 31 | 29 | 0 | 2 |
| THY49 | 29 | 29 | 29 | 30 | 0 | 1 |
| THY28 | 30 | 30 | 33 | 25 | 0 | 8 |
| THY41 | 31 | 31 | 32 | 31 | 0 | 1 |
| | | | | FARK TOPLAMI | 14 | 58 |

Farklı iki kontrolör PMS tekniğini kullanarak geliş trafiklerini sıraladıklarında, sıralama arasındaki fark değerleri toplamı 14, vektör tekniği kullandıklarında ise bu değerler toplamı 58 olarak bulunmuştur (Çizelge 5.5). Vektör tekniği kullanımında trafik sayısı artmaya başladıkça, Çizelge 5.5'te özellikle 15. trafikten sonra, iki kontrolör arasındaki sıralama farkının arttığı görülmektedir. PMS tekniği kullanımı ile kontrolörlerin geliş trafiği sıralaması arasındaki fark değerinin, vektör tekniği kullanımına göre daha az olduğu Şekil 5.28'de gösterilmektedir. Bu durum PMS tekniğinin vektör tekniğine göre trafik sıralamasında standartlaşma sağladığını açıklamaktadır. Bu değerlendirme, sadece iki kontrolörün simülasyon ortamında çalışmasının sonucu elde edilmiştir. Analiz sonucunun, istatistiksel olarak anlam kazanması için farklı zaman aralıklarında tekrarlı ölçümler yapılabilir.



Şekil 5.28. Trafik sırası farklarının toplamı

6. SONUÇ

PMS tekniği, TMA'ya gelen trafiğin RNAV'a dayalı yol tasarımı ile optimum dikey alçalma profillerinde uçmasına olanak tanıyarak, herhangi bir vektör talimatı almaksızın, trafiklerin pist ekseninde değil belirli bir toplama noktası üzerinde toplanması ve sıralanmasını sağlayan ayrıca terminal hava sahası operasyonlarında ve personel çalışma şartlarında standartlaşmayı amaçlayan yenilikçi bir tekniktir. Dünyada şu an herhangi bir TMA'da uygulaması bulunmayan fakat tek pist ve paralel pistler için deneysel çalışmalarını sürmekte olan bir araştırma geliştirme projesidir.

Bu çalışmada uzantıları kesişen pistler için, tek bir toplama noktası ve birbirine paralel iki sıralama bacağından oluşan PMS tekniği modeli tasarlanmıştır. Trafiklerin performans kriterleri de göz önüne alınarak, sıralama bacakları üzerinde önceden tanımlanmış WP'ler yerleştirilmiştir. Ayrıca, PMS tekniğini uygulayacak trafikler için standart seviye kısıtları FL120 ve FL100 olarak belirlenmiştir.

Tasarlanan bu model, çalışma alanı olarak Türkiye'nin trafik hareketliliği açısından son 5 yılda ilk sırada yer alan İstanbul Atatürk Havalimanı'na uygulanmıştır. İstanbul Atatürk Havalimanı 17L ve 23 uzantıları kesişen pist konfigürasyonuna sahiptir. MicroNav ürünü olan Best simülasyon programı kullanılarak İstanbul Atatürk Havalimanı için gerçek koordinat verileri kullanılarak hazırlanan İstanbul TMA içerisine RNAV STAR yol yapısına dayalı PMS modeli yerleştirilmiş ve modelin TMA ile olan hava trafik yol bağlantıları yapılmıştır.

Uzantıları kesişen pistler için maksimum kapasiteye yakın bir değer olan 50 tane karma tip geliş trafiği ile hazırlanan senaryo, farklı kontrolörler tarafından gerçek zamanlı olarak hem yaygın olarak kullanılan vektör tekniği hem de yeni PMS tekniği ile bir saatlik zaman periyodu içinde denenmiştir. PMS tekniği kullanımı ile kontrolör toplam talimat sayısında (baş, seviye, hız) %33 oranında azalma görülmüştür. Kontrolörlerin PMS tekniğini uygulama öncesi (vektör tekniği kullanma) ve PMS tekniğini uygulaması sonrasında verdikleri ortalama

toplam talimat sayıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı ise bağımlı tek örneklem analizi için yürütülen parametrik olmayan testlerden Wilcoxon işaretli sıralar testi ile SPSS 13.0 programı kullanılarak araştırılmış ve Wilcoxon işaretli sıralar testi sonucunda, kontrolörün verdiği toplam talimat sayısında önce vektör tekniği kullanılması daha sonra PMS tekniği kullanılması durumunda 0.05 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir fark ($p = .043 < .05$) olduğu görülmüştür. Aynı zamanda vektör tekniği uygulanmasında kontrolör frekans meşguliyet süresi 1179sn (19dk 39sn), PMS tekniği uygulanması durumunda ise 743sn (12dk 23sn) olarak bulunmuştur. PMS'in vektör tekniğine göre kontrolörün toplam frekans meşguliyet süresinde %37 oranında azalma sağladığı sonucuna varılmıştır.

Vektör tekniği kullanılarak trafik sıralamasında, pist eksenine doğru trafiklerin yönlendirilmesi subjektif özellikler içermektedir. Vektör tekniğinin subjektifliğe açık olmasından dolayı trafikler her kontrolörün çalışma sürecinde farklı talimatlar almaktadır. Buna karşılık, PMS teknikte trafiklerin yönlendirilmesinde vektör talimatı verilmesine gerek kalmamaktadır ve trafikler sıralama bacaklarında sıralandıktan sonra direkt gönderme talimatı ile belirli bir toplama noktasına yönlendirilmektedir. Kontrolör uygun olan pist seçimini yapar ve toplama noktasındaki trafiği uygun olan pist merkez hattı üzerindeki bir noktaya direkt göndererek LLZ hattına oturmasını sağlamaktadır. Tasarlanan PMS model ile trafikler standart kısıtlar dahilinde yönetilirken, vektör tekniği kullanımı ile daha esnek şekilde yönetilmektedir. Kontrolörlerin PMS ve vektör tekniği kullanarak yaptıkları trafik sıralaması karşılaştırıldığında, PMS uygulanması ile kontrolörlerin trafik sıralamaları arasındaki fark değeri, vektör tekniğine göre daha az olduğu görülmüştür. Bu durum PMS'nin, kontrolörlere standart sıralama yapma imkanı tanıdığını göstermektedir.

Vektör tekniğinin standart kısıtlarının olmamasından dolayı esnek olması, trafiklerin farklı vektör talimatları alarak yörüngelerinin geniş alanlara yayılmasına yol açmaktadır; bunun aksine, PMS tekniği ile yönetilen trafikler rotalarından ayrılmamakta, mevcut sıralama bacakları üzerinde rotalarını uzatmakta ya da kısaltmaktadır. Ayrıca, belirli bir üçgen alan içerisinde son

yaklaşma safhasına hazırlanmaktadır. Böylelikle PMS tekniği kullanımı ile TMA içindeki trafiklerin belirli bir alan içinde tutularak, daha düzenli bir trafik akışı sağladığı görülmüştür.

Gelen trafik akışları için alçalma profilleri incelendiğinde, vektör tekniğinde kontrolörün sadece MRVA şartlarına göre alçalma talimatı vermesinden dolayı trafiklerin son yaklaşma safhasına kadar uçuş seviyeleri her kontrolörün çalışma periyodunda farklılık göstermektedir. Dolayısıyla trafiklerin alçalma profillerinde tutarlılık sağlanmamaktadır. PMS tekniğinde ise, sıralama bacalarına giren trafiklerin muhafaza etmesi gereken seviyelerin belirli olması ve bu seviyelerin uçağın herhangi bir kademeli (adım adım) alçalma yapmadan direkt alçalmasına imkan tanımasından dolayı TMA'daki tüm trafiklerin bu kısıtları uygulaması ile alçalma profillerinde standartlaşma sağlanmaktadır. Alçalma profilleri, gerçek zamanlı simülasyon ortamında elde edilen sonuçlar doğrultusunda her iki teknik içinde çıkartılmıştır. PMS tekniğinde alçalma profillerinin bütün uçaklar arasında aynı olduğu, buna karşılık vektör tekniğinde ise; uçuş profillerinin birbirinden farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada uzantıları kesişen pistler için tasarlanan yeni model PMS, kontrolörün verdiği toplam talimat sayısı, kontrolör frekans meşguliyet süresi, dikey alçalma profilleri, trafik yörünge dağılımı ve trafik sıralaması açısından simülasyon ortamında değerlendirilmiştir. PMS modelin olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Uzantıları kesişen pistler için tasarlanan PMS benzetim modeli, aynı konfigürasyona sahip farklı meydanlar için de uygulanabilecektir. Gerektiğinde tasarım parametrelerinde değişiklik yapılarak farklı pist konfigürasyonları için de uygulanması mümkündür. Ayrıca, E-TMA içinde PMS modeli tasarlanarak yol safhasındaki trafiklerin yaklaşma safhasına devamlı alçalma yaklaşması ile düzenli trafik akışı içerisinde geçişine imkan tanıyacaktır. Bununla beraber, aynı TMA içindeki mevcut meydanlar arasında PMS kombinasyonları tasarlanarak, meydanlar arası trafik akışı sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Eurocontrol Mid- Term Forecast: IFR Flight Movements 2009-2015 and Eurocontrol Long- Term Forecast: IFR Flight Movements Long Term Forecasts 2008-2030
- [2] Glockner, D.G., *Effects of Air Traffic Congestion Delays Under Several Flow-Management Policies*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Board of the National Academies, 1517, 29-36, 2007
<http://trb.metapress.com/content/ch76813462187288/fulltext.pdf>
- [3] Horonjeff, R., McKelvey F. X., *Planning&Design of Airports*, McGraw Hill Inc., 4. Baskı, 1993
- [4] FAA Order 7210.57- CD Release, Ocak 31, 1998
- [5] Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Genel Müdürlüğü, *Havacılık Enformasyon Yayını (AIP)*, (2006)
- [6] Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI), *2010 İstatistik Yıllığı*, 2010
- [7] EUROCONTROL, *Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application And CDA – Operational Services and Environment Definition*, Eurocontrol Experimental Center, Version 2.0, 2010
- [8] Kettunen, T., Hustache, J., Fuller, I., Howell D., Bonn J., *Flight Efficiency Studies In Europe And The United States*, 6th USA/Europe Seminar on ATM Research and Develpoment Baltimore, Maryland, Haziran 27-30, 2005
- [9] IATA, CANSO, EUROCONTROL, *Flight Efficiency Plan Fuel And Emissions Savings*, 2008
- [10] Sprong, K., R., Haltli B., M., DeArmon, J., S., Bradley, S., *Improving Flight Efficiency Through Terminal Area RNAV*, The MITRE Corporation, 2005

- [11] International Civil Aviation Organization (ICAO) *Doküman 9931-Continuous Descent Operations (CDO) Manual*, First Edition, 2010
- [12] Boursier, L., Favennec, B., Hoffman, E., Trzmiel, A., Vergne, F., Zeghal, K., *Merging Arrival Flows Without Heading Instructions*, 7th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Barcelona, İspanya, 2007
- [13] Neuman F., Erzberger, H., *Analysis of Sequencing and Scheduling Methods for Arrival Traffic*, NASA Technical Memorandum, 1990
- [14] Wang, S., *Solving Aircraft-sequencing problem Based on Bee Evolutionary Genetic Algorithm and Clustering method*, Dependable, Autonomic and Secure Computing, DASC '09, Eighth IEEE International Conference on 2009
- [15] Lee, H., *Tradeoff Evaluation of Scheduling Algorithms For Terminal-Area Air Traffic Control*, Massachusetts Institute of Technology, Haziran 2008
- [16] Baik, H., *Development of Optimization and Simulation Models for the Analysis of Airfield Operations*, Virginia Polytechnic Institute and State University, PhD Thesis in Civil Engineering 2000
- [17] Psaraftis, H., *A Dynamic Programming Approach For Sequencing Groups of Identical Jobs*, Operations Research, 28, No 6, 1980
- [18] Wen, M., *Algorithms of Scheduling Aircraft landing Problem*, Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, DTU, Master Thesis, 2005
- [19] Bayen, A., M., Tomlin, C., J., Ye, Y., Zhang, J., *An Approximation Algorithm for Scheduling Aircraft with Holding Time*, 43rd IEEE Conference on Decision and Control Atlantis, Paradise Island, Bahamas, Aralık 14-17, 2004
- [20] Lee, K., K., and Davis, T., J., *The Development Of The Final Approach Spacing Tool (Fast): A Cooperative Controller-Engineer Design Approach*, Journal of Control Engineering Practice, 4, No. 8, Ağustos 1996, 1161-1168.

- [21] Hoffman, E., Bellman, J., Zeghal K., *Traffic Analysis With Fast Time Simulations To Evaluate Delegation Potentialities Of Sequencing Operations*, IEEE, 2000
- [22] Barmore, B., Abbott, T., Krishnamurthy, K., *Airborne-Managed Spacing in Multiple Arrival Streams*, 24th International Congress of The Aeronautical Sciences, 2004
- [23] Oliverira I., Honda, R., Cusnasca P., *Risk Analysis of Airborne Spacing in Approach Sequencing*, Journal of The Brazilian Air Transportation Research Society, 2, 2, 2006
- [24] Macwilliams, P., Porter, D., *An Assesment of a Controller Aid for Merging and Sequencing Traffic on Performance Based Arrival Routes*, 2007
- [25] Conway R., W., Maxwell, W., L., *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley Publishing Company, 1967
- [26] Bianco, L., Nicoletti, B., Ricciardelli, S., *An Algorithm for Optimal Sequencing of Aircraft in the Near Terminal Area*, Optimization Techniques Lecture Notes in Control and Information Sciences, 7, 443-453, 1978
- [27] Bianco, L., and Ricciardelli, S., *A Simulation Model For Aircraft Sequencing In The Near Terminal Area*, European Journal Of Operational Research, 1981
- [28] Dear R., G., Sherif Y., S., *The Dynamic Scheduling of Aircraft in High Density Terminal Areas*, Microeletronics and Reliability, 29 ,5, 1989
- [29] Dear R., G., Sherif Y., S., *An Algorithm for Computer Assisted Sequencing And Scheduling of Terminal Area Operations*, Transportation Research Part A: General ,25, 2-3, 129-139, Mart-Mayıs 1991
- [30] Stevens, G., *An Approach To Scheduling Aircraft Landing Times Using Genetic Algorithms*, Honours Thesis,1995

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.50.9231>
(14.04.2011)

- [31] Carr G., C., Erzberger, H., Neuman F., *Airline Arrival Prioritization In Sequencing And Scheduling*, 2nd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Orlando, 1998
- [32] Beasley, J., E., Krishnamoorthy, M., Saharaiha, Y., M., *Scheduling Landing Aircraft- Static Case*, *Transportation Science*, 34, No. 2, 180-197, 1998
- <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.52.9654>,
(20.04.2011)
- [33] Ernst, A., T., Krishnamoorthy, M., *Heuristic And Exact Algorithms For Scheduling Aircraft Landings*, *Networks An International Journal*, 34, 1999
- [34] Cheng T.,C., E., Gupta J., N., ve Wang, G., *A Review of Flowshop Scheduling Research With Setup Times*, *Production and Operations Management*, 9, 2000
- [35] Sorensen, J., A., *Detailed Description for CE-11 Terminal Arrival: Self Spacing For Merging And In-trail Separation*, *Technical Research In Advanced Air Transportation Technologies*, 2000
- [36] Ernst, A., T., Krishnamoorthy, M., *Algorithms for Scheduling Aircraft Landings*, *CSIRO Mathematical and Information Sciences*, 2001
- http://www.cmis.csiro.au/or/pdf/papers/aircraft_landing.pdf (05.03.2011)
- [37] Beasley, J.,E., Sonander, J., ve Havelock, P., *Scheduling Aircraft Landings At London Heatrow Using A Population Heuristic*, *The Journal of the Operational Research Society*, 2001
- [38] Hoffman, E., Ivanescu, D., Shaw, C., Zeghal, K., *Analysis Of Spacing Guidance For Sequencing Aircraft On Merging Trajectories*, *21st Digital Avionics Systems Conference*, Irvine, California, 2002
- [39] Ivanescu, D., Shaw, C., Hoffman, E., Zeghal, K., *Effect Of Entry Conditions On Airborne Spacing When Sequencing Multiple Converging*

Aircraft, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, 2003

- [40] Grimaud, I., Hoffman, E., Rognin, L., Zeghal, K., *Towards The Use Of Spacing Instructions For Sequencing Arrival Flows*, Operational Datalink Panel (Oplinkp) Meeting Of Working Group A, 2003
- [41] Beasley, J.,E., Krishnamoorthy, M., *Displacement Problem And Dynamically Scheduling Aircraft Landings*, Journal of Operational Research Society, 2004
- [42] Harikiopoulo, D., *Class Dependent Sequencing Strategies For Landing Aircraft at Congested Airports*, Master of Science in Aerospace Engineering in the University of Illinois at Urbana, 2004
- [43] Barmore ,B., Abbott,T., Krishnamurthy,K., *Airborne -Managed Spacing In Multiple Arrival Streams*, 24th International Congress Of The Aeronautical Sciences, 2004
- [44] Bussink, F.,J., L., Doble, N., A., Barmore, B., E., Singer, S., *A Fast Time Simulation Environment For Airborne Merging And Spacing Research*, IEEE, 2004
- [45] Grimaud, I., Hoffman, E., Rognin, L., Zeghal,K., *Spacing Instructions In Approach: Benefits And Limits From An Air Traffic Controller Perspective*, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, 2004
- [46] Ivanescu, D., Shaw, C., Hoffman, E., Zeghal, K., *Cospace 2003 Aircraft Guidance Model Based Experiments Evaluation Of Airbone Spacing For Traffic Sequencing*, Eurocontrol Experimental Center (Cospace Project), 2004
- [47] Hull, J., Barmore, B., Abbott, T., *Technology-enabled Airborne Spacing and Merging*, IEEE, 2004

- [48] Hu X., Chen,W., *Genetic Algoritm Based On Receding Horizon Control For Arrival Sequencing And Scheduling*, Science Direct Engineering Applications Of Artificial Intelligence, 2004
- [49] Hansen, J., V. *Genetic Search Methods In Air Traffic Control*, Computers & Operations Research, 31, 3, Mart 2004, 445-459, 2004
- [50] Kılıç S., Kalyan, A., R., *Uçak Çizelgeleme Probleminin Karınca Kolonileri Optimizasyonu İle Çözümü*, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, 2005
- [51] Boursier, L., Favennec ,B., Hoffman, E., Rognin, L., Vergne, F., Zeghal, K., *Combining Sequencing Tool And Spacing Instructions To Enhance The Management Of Arrival Flows Of Aircraft*, AIAA 5th Aviation, Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO), 2005
- [52] Ivanescu,D., Shaw,C., Hoffman, E., and Zeghal, K., *A Pilot Decision Support Tool For Merging Behind A Lead Aircraft*, 44th IEEE Conference On Decision And Control, And The European Control Conference, 2005
- [53] Krishnamurthy, K., Barmore, B., Bussink, F., *Airborne Precision Spacing In Merging Terminal Arrival Routes*, 6th USA/Europe ATM Seminar, 2005
- [54] Díaz, J., F., and Mena,J., A., *Solving the Aircraft Sequencing Problem Using Concurrent Constraint Programming*, Multiparadigm Programming in Mozart/OZ Lecture Notes in Computer Science,. 3389, 2005
- [55] Roy, K., Bayen, A., M., Tomlin, C., J., *Polynomial Time Algorithms for Scheduling of Arrival Aircraft*, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, 2005
- [56] Bianco, L., Dell'Olmo, P., *Scheduling Models For Air Traffic Control In Terminal Areas*, Journal of Scheduling, 9, 3, 2006
- [57] Balakrishnan, H., Chandran, B., *Scheduling Aircraft Landings Under Constrained Position Shifting*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006

- [58] Saraf, A., P., Slater, G., L., *An Efficient Combinatorial Optimization Algorithm For Optimal Scheduling Of Aircraft Arrivals At Congested Airports*, IEEE, 2006
- [59] Ludovic, B., Favennec, B., Hoffman, E., Rognin, L., Trzmiel, A., Vergne, F., Zeghal, K., *Airborne Spacing in The Terminal Area: Controller Experiments on Mixed Equipage, Abnormal Situations and Transition*, Eurocontrol Experimental Center (Cospace Project), 2006
- [60] Ivanescu, D., Shaw, C., Hoffman, E., Zeghal, K., *Towards Performance Requirements for Airborne Spacing a Sensitivity Analysis of Spacing Accuracy*, 6th AIAA Aviation Technology, Integration And Operations Conference (ATIO), 2006
- [61] Boursier, L., Hoffman, E., Rognin, L., Vergne, F., Zeghal, K., *Airborne Spacing In the Terminal Area: A Study of Non-Nominal Situations*, 6th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO), 2006
- [62] Pinola, H., and Beasley, J., E., *Scatter Search And Bionomic Algorithms For The Aircraft Landing Problem*, European Journal of Operational Research, 171, 2, 439-462 , 2006
- [63] Soomer, M., J., Franx, G., J., *Scheduling Aircraft Landings Using Airlines' Preferences*, European Journal Of Operational Research, 2007
- [64] Hu, X., Paolo, E., *An Efficient Genetic Algorithm With Uniform Crossover For Air Traffic Control*, Computers & Operations Research, 2007
- [65] Balakrishnan, H., Chandran, B., *Efficient and Equitable Departure Scheduling In Real-time: New Approaches to old Problems*, ATM Seminear, 2007
- [66] Lee, H., *A Study of Tradeoffs in Scheduling Terminal-Area Operations*, IEEE, 2008

- [67] Hu, X., ve Paolo, E., *Binary-Representation-Based Genetic Algorithm for Aircraft Arrival Sequencing and Scheduling*, IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, 9 No 2, 2008
- [68] Jia,X., Cao, X., Guo,Y., Qiao, H., ve Zhang, J., *Scheduling Aircraft Landing Based on Clonal Selection Algorithm and Receding Horizon Control*, Proceedings of the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Beijing, Çin, 2008
- [69] Romano, E., *A Static Algorithm To Solve The Air Traffic Sequencing Problem*, Journal Wseas Transactions On Systems, 7, 6, 2008
- [70] Shuang, C., ve Xuezhi, X., *Study on Scheduling Model For Arrival Aircraft in The Terminal Area*, IEEE, 2009
- [71] Kupfer, M., *Sheduling Aircraft Landings To Closely Spaced Parallel Runways*, ATM Seminear, 2009
- [72] Bencheikh, G., Boukachour, J., Alaoui, A., and Khoukhi, F., *Hybrid Method For Aircraft Landing Scheduling Based On A Job Shop Formulation*, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 9 No.8, 2009
- [73] Sun, B., Wang, H., Fang, Y., *Application of Ant Colony Algorithm in Discrete Job-Shop Scheduling, Knowledge Acquisition and Modeling*, KAM '09. Second International Symposium, 2009,
- [74] D'Ariano, A., D'Urgolo, P., Pacciarelli, D., Pranzo, M., *Optimal Sequencing Of Aircrafts Take-Off And Landing At A Busy Airport*, Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference, 2010
- http://www.agifors.org/award/submissions2010/PaoloDUrgolo_paper.pdf
(10.06.2011)

- [75] Hu, X., *A Ripple-Spreading Genetic Algorithm For The Aircraft Sequencing Problem*, Journal Evolutionary computation Vol 19 Issue 1, MIT Press Cambridge, MA, USA, 2011
http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/EVCO_a_00011
(08.06.2011)
- [76] Lmah, A., Y., Lmah, I., S., B., *A Population Heuristic Method Used For Resolving Aircraft Landing Problem (ALP)*, In Proceedings of IC-AI, 669-674, 2006
- [77] National Aeronautics And Space Administration (NASA), *Final Approach Spacing Tool (FAST)*
<http://www.aviationsystemsdivision.arc.nasa.gov/research/foundations/fast.shtml>,
(01.05 2011)
- [78] Capri, S., Ignaccolo, M., *Genetic Algorithms For Solving The Aircraft-Sequencing Problem: The Introduction Of Departures Into The Dynamic Model*, Journal of Air Transport Management, 10, 5, 2004
- [79] Zhang, X., Zhang, X., Zhang, J., Liu, B., *Optimization of Sequencing for Aircraft Arrival Based on Approach Routes*, Intelligent Transportation Systems Conference, ITSC 2007 IEEE, 2007
- [80] Grönkvist, M., *Accelerating Column Generation For Aircraft Scheduling Using Constraint Propagation*, SCD, Computers & Operations Research 33, 2918–2934, 2006
- [81] Pan, J., Huang, H., C., *A Hybrid Genetic Algorithm For No-Wait Job Shop Scheduling Problems*, SCD, Expert Systems with Applications 36, 5800–5806, 2009
- [82] Bertsimas, D., Lulli, G., and Odoni, A., *The Air Traffic Flow Management Problem: An Integer Optimization Approach*, Integer Programming and Combinatorial Optimization Lecture Notes in Computer Science, 2008

- [83] Becher, T., Formasa, J., *RNAV Near Term Terminal Procedures Development*, 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, 2000
- [84] Robinson, S., M., DeArmon, J., S. *Benefits Of RNAV Terminal Procedures: Air/Ground Communication Reduction And Airport Capacity Improvements*, IEEE, 2002
- [85] Laqui, C., Barker, D., R., DeAmon, J., S., Fawell, D., W., *Terminal RNAV:Analyses Of Las Vegas Mccarran International Airport Terminal RNAV Operations*, IEEE, 2003
- [86] Klein, K., A., Sprong, K., R., Haltli, B., M., Becher, T., A., DeArmon, J., S., *Evaluating Operational Benefits Of Terminal RNAV: Las Vegas Case Study*, IEEE, 2004
- [87] Becher, T., A., Barker, D., R., Smith, A., P., *Methods For Maintaining Benefits For Merging Aircraft On Terminal RNAV Routes*, IEEE, 2004
- [88] Barker, D., R., Haltli, B., M., Laqui, C., MacWilliams, P., McKee, K., L., *Assessment Of Terminal RNAV Mixed Equipage*, IEEE, 2004
- [89] Smith, E., C., *Impact of RNAV Terminal Procedures On Controller Workload*, IEEE, 2005
- [90] Boursier, L., Favennec, B., Hoffman, E., Trzmiel, A., Vergne, F., Zeghal, K., *Integrating Aircraft Flows In The Terminal Area With No Radar Vectoring*, 6th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO), 2006
- [91] Sprong, K., R., and Mayer, R., H., *Analysis of RNAV Arrival Operations With Descend Via Clearances At Phoenix Airport*, IEEE, 2007
- [92] Smith, E.,C., *Assessment of Controller Situation Awareness In Future Terminal RNAV Operations*, IEEE, 2007
- [93] Mayer, R., H., and Sprong, K.,R., *Improving Terminal Operations Benefits of RNAV Departure Procedures At Dallas-Fort Worth And Hartsfield-Jackson Atlanta International Airports*, The 26th Congress of

International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS- 26th International Congress Of The Aeronautical Sciences), 2008

- [94] Ivanescu, D., Shaw, C., Tamvaclis, C., Kettunen, T., *Models of Air Traffic Merging Techniques: Evaluating Performance of Point Merge*, 9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO), 2009
- [95] Rose, H., Rawlings, R., Hendriks, F., *RNAV Application In Terminal Airspace - An ATC Operational Perspective*, EUROCONTROL, 1999
- [96] Williams, J., Meyer, T., Bradley, J., *The Evolution From Area Navigation (RNAV), Required Navigation Performance (RNP), to RNP RNAV*, Global Navigation Satellite System Panel Meeting, Rio de Janeiro, Brezilya, 2001
- [97] Pate, D., P., *RNAV Approaches Procedures*, Flight Procedure Standards Branch RNAV in Terminal Area Workshop, 2001
- [98] Eurocontrol, *Istanbul Terminal Airspace Project-1*, European Air Traffic Management Programme, 2001
- [99] Eurocontrol, *Istanbul Terminal Airspace Project-2*, European Air Traffic Management Programme, 2001
- [100] Levy, B.,S., *Track Averages And Traffic Pattern Characterization For Airspace Analysis*, IEEE, 2003
- [101] Rawlings, R., Hendriks, A., *Guidance Metarial For The Design of Terminal Procedures For Area Navigation (DME/DME, B-GNSS, Baro-VNAV&RNP-RNAV)*, European Air Traffic Management Programme, 2003
- [102] Matthiesen, H., *RNAV In Terminal Airspace: ATC And P-RNAV*, RNAV In Terminal Airspace Workshop, Lüksemburg, 2003
- [103] Pate, D., P., *RNAV Approaches FAA Experiences And Future Plans*, Flight Procedure Standards Branch RNAV in Terminal Area Workshop, Lüksemburg, 2003

- [104] Callantine, T., J., and Palmer, E., A., *Fast-Time Simulation Studies of Terminal-Area Spacing And Merging Concepts*, IEEE, 2003
- [105] Sprong, K., R., *Measuring The Effects of RNAV Departure Procedures On Airport Efficiency*, IEEE, 2005
- [106] Becher, T., A., Barker, D., R., Smith, A., P., *Near Term Solution For Efficient Merging Of Aircraft On Uncoordinated Terminal RNAV Routes*, IEEE, 2005
- [107] Mercer, J., Callantine, T., J., Lee, P., U., Prevot, T., *An Evaluation of Airborne Spacing In The Terminal Area*, IEEE, 2005
- [108] Rawlings, R., *Guidance Material for the Validation of RNAV Procedures*, IEEE, 2005
- [109] Haltli, B., Ewing, P., Williams, H., *Global Navigation Satellite System (GNSS) And Area Navigation (RNAV)*, IEEE, 2005
- [110] Sprong, K., R., Mayer, R., H., *Modeling Efficiency Gains From Diverging Departures At Atlanta Hartsfield-Jackson*, IEEE, 2006
- [111] MacWilliams, P., V., Smith, A., P., Becher, T., A., *RNP RNAV Arrival Route Coordination*, IEEE, 2006
- [112] Callantine, T., J., *Tradeoffs In High Density Trajectory Based Operations*, IEEE, 2007
- [113] FAA, *Highways in the Sky*, 2007
- http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/systemops/aaim/organizations/rnav_rnp/highways/ (17.03.2009)
- [114] Cornell, T., L., *Enablers For Capacity Gains From New Air Traffic Control And Air Navigation Technologies*, Panel on New Air Traffic Control and Management Technology, 2007
- [115] Klein, K., A., Shepley, J., P., *An Analysis Of Automation For Monitoring Area Navigation (RNAV) and Required Navigation Performance (RNP) Terminal Operations*, IEEE, 2008

- [116] Johnson, C., and Smith, E., C., *A Mid-Term Terminal Concept of Operations: Evaluation and Evolution Analysis*, IEEE, 2008
- [117] Duquette, A., *NextGen Goal: Performance-Based Navigation RNAV and RNP Evolution Through 2025*, 2009
www.faa.gov/news/facts_sheets/news_story.cfm?newsId=8768, 2009
- [118] Shepley, J., *Near-Term Terminal Area Automation For Arrival Coordination*, Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2009), 2009
- [119] ICAO, FAA, EUROCONTROL, *Development and Validation of Procedures*, ICAO PBN Seminar, 2009
- [120] Rawlings, R., *Area Navigation: An Historical Perspective*, JAA, EUROCONTROL, RNAV In Terminal Airspace Workshop, 1998
- [121] Givry, B., *RNAV In Paris TMA*, RNAV In Europe-Procedure Design Master Class, 2007
- [122] Belin, E., *Procedure Design Criteria*, Instrument Procedure Design RNAV Master Class, 2004
- [123] Shaw, C., Ivanescu, D., *Fast-Time Simulation of Point Merge Indicates Significant Improvements*, Eurocontrol, 2008
http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/EEC_News_2008_1_PM.html, 2011
- [124] International Civil Aviation Organization (ICAO) Doc 9613, *Performance –Based Navigation (PBN) Manual*, 3. Baskı, 2008
- [125] EUROCONTROL, *Introducing Performance Based Navigation (PBN) and Advanced RNP (A-RNP)*, 2010
- [126] International Civil Aviation Organization (ICAO) DOC 8168 *Procedures For Air Navigation Services Aircraft Operations (PANS-OPS) Bölüm II*, 5. Baskı, 2006

- [127] Hoffman, E., *Point Merge: Improving and Harmonising Arrival Operations with Existing Technology*, Eurocontrol, 2011
http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/proj_Point_Merge.html
(13.04.2011)
- [128] International Civil Aviation Organization (ICAO) Doc 4444 *Procedures For Air Navigation Services Air Traffic Management*, 15. Baskı, 2007
- [129] *Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application And CDA – Operational Services and Environment Definition*, Eurocontrol Experimental Center, Version 1.0, 21 Nisan 2008
- [130] International Civil Aviation Organization (ICAO) DOC 9184 *Airport Planning Manual, Part I, Master Planning*, 2. Baskı, 1987
- [131] www.dhmi.gov.tr/havaalanlari.aspx?hv=1 (10.06.2011)
- [132] earth.google.com/intl/tr (15.05.2011)
- [133] <http://www.airporthaber.com/readnews.php?newid=24805> (30.06.2010)
- [134] EUROCONTROL, *Aircraft Performance Summary Tables for The Base of Aircraft Data (BADA)*, Revision 3.6, 2004
- [135] International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 10-*Aeronautical Telecommunications Radio Navigation Aids, Bölüm I*. 6. Baskı, 2006

Ek-1 Trafik Senaryosu

| GİRİŞ SAATİ | GİRİŞ NOKTASI | ÇAĞRI ADI | UÇAK TİPİ |
|-------------|---------------|-----------|-----------|
| 00:00 | BIG | THY 24 | B738 |
| 00:01 | RIXEN | THY 2 | B738 |
| 00:02 | EKI | THY32 | B738 |
| 00:03 | YAA | THY5 | B738 |
| 00:05 | EKI | THY10 | B738 |
| 00:05 | RIXEN | THY1 | B738 |
| 00:07 | RIXEN | THY23 | B744 |
| 00:07 | YAA | THY22 | B738 |
| 00:09 | YAA | THY42 | B738 |
| 00:11 | RIXEN | THY37 | B738 |
| 00:12 | YAA | THY35 | B738 |
| 00:13 | YAA | THY13 | B762 |
| 00:14 | YAA | THY39 | B738 |
| 00:15 | RIXEN | THY15 | B738 |
| 00:16 | BIG | THY25 | B738 |
| 00:17 | YAA | THY48 | B738 |
| 00:18 | BIG | THY47 | B744 |
| 00:19 | YAA | THY7 | A343 |
| 00:20 | RIXEN | THY20 | B738 |
| 00:22 | RIXEN | THY19 | A342 |
| 00:22 | YAA | THY29 | A343 |
| 00:24 | YAA | THY38 | B738 |
| 00:25 | RIXEN | THY14 | B738 |
| 00:26 | RIXEN | THY26 | A342 |
| 00:27 | BIG | THY45 | A342 |
| 00:27 | YAA | THY12 | B738 |
| 00:28 | YAA | THY44 | B738 |
| 00:29 | YAA | THY16 | B738 |
| 00:32 | YAA | THY33 | A332 |
| 00:32 | EKI | THY9 | B738 |
| 00:33 | YAA | THY49 | B742 |
| 00:34 | YAA | THY28 | B738 |
| 00:35 | RIXEN | THY41 | B738 |
| 00:37 | YAA | THY18 | B744 |
| 00:38 | YAA | THY36 | B738 |
| 00:39 | YAA | THY30 | B738 |
| 00:40 | YAA | THY27 | B738 |
| 00:40 | EKI | THY40 | B738 |

| | | | |
|-------|-------|-------|------|
| 00:41 | YAA | THY50 | B753 |
| 00:42 | BIG | THY46 | B738 |
| 00:43 | RIXEN | THY3 | B738 |
| 00:45 | EKI | THY11 | A343 |
| 00:46 | YAA | THY6 | B738 |
| 00:47 | EKI | THY34 | B738 |
| 00:48 | YAA | THY17 | B738 |
| 00:50 | YAA | THY21 | B738 |
| 00:51 | RIXEN | THY31 | B738 |
| 00:53 | BIG | THY43 | B744 |
| 00:53 | YAA | THY8 | B738 |
| 00:55 | RIXEN | THY4 | B738 |

Ek-2 Dönüş Parametreleri

| Dönüş fiksi ya da segmenti | Hız (IAS) | İrtifa/Vükseklik | Rüzgar | Yatış açısı | FTT (saniye) | | | Baş tolerans |
|--------------------------------------|--|--|---|-------------|-----------------|------------------------|---------------------------|--------------|
| | | | | | c (saniye) | | | |
| | | | | | Tolerans süresi | Pilot reaksiyon süresi | Dış bacak tolerans süresi | |
| İlk yaklaşma-DR rota prosedürleri | CAT A, B-165-335km/sa (90-180kts) CAT C, D, E-335-465km/sa (180-250kts) | CAT A, B-1500m (5000 ft) CAT C, D, E -3000m (10 000 ft) | ICAO standart rüzgar DR bacak: 56km/sa (30kts) | 25° | 5 | 6 | N/A | 5 |
| IAF, IF, FAF | Tablo I-4-1-1 ve I-4-1-2 LAF ve IF'den dönüş için ilk yaklaşma hızı FAF'dan dönüş için son yaklaşma hızı | Belirlenmiş irtifa | %95 her yönden rüzgar 56km/sa (30kts) | 25° | 5 | 6 | N/A | N/A |
| Pas geçme | Tablo I-4-1-1 veya Tablo I-4-1-2 | A/D irtifası + 300m (1000ft) | 56km/sa (30kt) | 15° | 3 | 3 | N/A | N/A |
| Tanımlanmış rota ile görerek manevra | Tablo I-4-1-1 ve I-4-1-2 | A/D irtifası + 300m (1000ft) | 46km/sa (25kt) | 25° | N/A | N/A | N/A | N/A |
| Turlu yaklaşma | Tablo I-4-1-1 ve I-4-1-2 | A/D irtifası + 300m (1000ft) | 46km/sa (25kt) | 20° | N/A | N/A | N/A | N/A |