TERMİNAL KONTROL SAHALARINDA DİNAMİK KAPI ATAMASI İÇİN SİMÜLASYON MODELİ ÖNERİSİ

Fulya AYBEK ÇETEK

Doktora Tezi

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı

Nisan-2015

Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1203F052

JURİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Fulya AYBEK ÇETEK'in "Terminal Kontrol Sahalarında Dinamik Kapı Ataması için Simülasyon Modeli Önerisi" başlıklı **Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı'ndaki** Doktora Tezi 27 Nisan 2015 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	**Prof. Dr. Aydan CAVCAR**	**…..……**
Üye :	**Doç. Dr. Yeliz MERT KANTAR**	**..……**
Üye :	**Yard. Doç. Dr. Ertan ÇINAR**	**..……**
Üye :	**Yard. Doç. Dr. Ayşe KAHVECİOĞLU**	**..……**
Üye :	**Yard. Doç. Dr. Erdal DURSUN**	**....…...…...**

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

**TERMİNAL KONTROL SAHALARINDA
DİNAMİK KAPI ATAMASI İÇİN
SİMÜLASYON MODELİ ÖNERİSİ**

Fulya AYBEK ÇETEK

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aydan CAVCAR
2015, 129 sayfa

Çalışma, Terminal Kontrol Sahalarındaki giriş noktalarının yapısını kapasitelerine göre dinamik olarak planlayan bir yöntem kullanarak hizmet verilen trafik sayısının artırılmasını amaçlayan bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ile hava sahasının daha verimli şekilde kullanımını sağlamak için, mevcut Terminal Kontrol Saha organizasyonunun basitleştirilmesini hedeflemektedir. Literatürde terminal kontrol sahaları içindeki yolların dinamik planlamasına yönelik çok sayıda çalışma mevcut olmakla birlikte bunların hiçbirinde giriş noktalarının planlamasına odaklanılmamıştır. Bu nedenle, bu yeni yöntem terminal kontrol sahası içindeki trafik akış ve kapasite problemlerine, uçakların ilgili sahaya girişi öncesinde çözüm sunan alternatif bir yaklaşım getirmektedir. Dinamik planlama algoritmasının oluşturulması ve sınanması için hızlı zamanlı simülasyon tekniği kullanılmıştır. Dinamik planlama algoritması yeni giriş noktalarının nerelerde ve hangi koşullarda oluşturulabileceğine ilişkin bir karar modeli sunmaktadır. Tasarlanan model Yeşilköy Terminal Kontrol Sahası üzerinde çeşitli alternatif senaryolar için uygulanmıştır. Alternatif senaryolardaki hava sahası ile mevcut hava sahasının durumu arasında ortaya çıkan farklılıklar incelenmiştir. Ayrıca yapılan regresyon çalışması ile hava sahasında gerçekleşen gecikmelerin sebepleri matematiksel bir model ile açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava Sahası Kapasitesi, Dinamik Hava Sahası yapısı, TMA Kapı Ataması, Hızlı Zamanlı Simülasyon,

ABSTRACT

PhD Thesis

A SIMULATION MODEL PROPOSAL FOR DYNAMIC GATE ASSIGNMENT IN TERMINAL CONTROL AREAS

Fulya AYBEK ÇETEK

Anadolu University

Graduate School of Sciences

Air Traffic Control Program

Supervisor: Prof. Dr. Aydan CAVCAR
2015, 129 pages

This study aims to increase the number of traffic served within Terminal Control Areas (TMAs) using a dynamic planning method for the configuration of entry-points according to their capacities. In order to provide an efficient use of airspace, the proposed method intends to simplify the current airspace organization of TMAs. Though numerous studies are available regarding the re-organization of routes within TMAs, none of them focused on the planning of entry-points. Therefore, this new method offers an alternative perspective proposing solution for air traffic flow and capacity problems prior to the entry of corresponding TMAs. The dynamic planning algorithm provides a decision model for the location and conditions of new entry points to be generated. A Fast-time simulation technique is used to model and test the model for various alternative simulation scenarios in Yeşilköy TMA. The differences between airspace models in alternative scenarios and the current airspace were compared. In addition, a regression analysis was performed to explain causes of delay quantitatively within the TMA.

Key Words: Airspace Capacity, Dynamic Airspace Structure, TMA Entry-point Assignment, Fast-time Simulation

ÖNSÖZ

Çalışmalarımız sırasında yardımını, sabrını ve desteğini hiç bir zaman esirgemeyen, çalışmalarım için her zaman beni yüreklendiren, hatta çoğu zaman hata yapmama ve ders almama fırsat veren, benim için rol model olmuş sevgili danışmanım Prof. Dr. Aydan CAVCAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme jürimdeki sayın hocam Doc. Dr. Yeliz MERT KANTAR ve sayın hocam Yard. Doç. Dr. Ertan ÇINAR'a doktora süresi boyunca içtenlikle verdikleri destek ve motivasyondan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca akademik çalışmalarıma başladığım günden bu güne kadar yanımda olan ve her zaman beni destekleyen hayatımı ve çalışmalarımı anlamlı kılan sevgili eşim Yard. Doç. Dr. Cem ÇETEK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fulya AYBEK ÇETEK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

ÖNSÖZ ..... **iii**

İÇİNDEKİLER ..... **iv**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **vii**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **x**

KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Problemin Tanımı 1

1.2. Çalışmanın Önemi 3

1.3. Araştırma Yöntemi 4

1.4. Çalışmanın Düzenlenmesi 5

2. HAVA TRAFİK SİSTEMİ **7**

2.2. Hava Trafik Sistemi Girdileri 8

2.1.1. Hava Sahası 8

2.1.1.1. Havaalanı 9

2.1.1.2. Kontrol bölgesi 9

2.1.1.3. Terminal Kontrol Sahası 9

2.1.1.4. Hava Yolları 10

2.1.1.5. Uçuş Bilgi Bölgesi 11

2.1.2. Hava Araçları 11

2.1.3. Teknik Donanım 11

2.1.3.1. Haberleşme 12

2.1.3.2. Seyrüsefer 12

2.1.3.3. Gözetim 13

2.1.4. İnsan Gücü 13

2.2. Hava Trafik Sistemi Süreci ve Hava Trafik Hizmetleri 14

2.2.1. Hava Trafik Kontrol Hizmeti 15

2.2.1.1. Meydan Kontrol Hizmeti 16
2.2.1.2. Yaklaşma Kontrol Hizmeti 17
2.2.1.3. Saha Kontrol Hizmeti 18
2.2.2. Uçuş bilgi hizmeti 18
2.2.3. İkaz (Uyarı) hizmeti 19
2.3. Hava Trafik Sistemi Çıktıları 21
2.4. Geri Besleme 21
2.5. Hava Trafik Sisteminin Çevresi 22
2.6. Hava Trafik Yönetimi 23
2.6.1. Hava trafik akış yönetimi 24
2.6.2. Hava sahası yönetimi 26
2.6.2.1. Stratejik düzey 27
2.6.2.2. Ön-taktik düzey 27
2.6.2.3. Taktik düzey 28
2.6.2.4. Uçuş sonrası geri besleme 28
2.6.2.5. Esnek hava sahası yapıları 29
2.6.2.5.1. Şartlı yollar 30
2.6.2.5.2. Yönetilebilir sahalar 30
2.6.2.5.1. Azaltılmış koordinasyon hava sahaları 31
2.6.3. Hava trafik yönetiminin planlama ve kontrol fonksiyonları 32
2.6.3.1. Planlama fonksiyonu 32
2.6.3.2. Kontrol fonksiyonları 34
2.6.4. Talep kapasite değişimi 36
2.6.4.1. Hava aracı yeteneği 37
2.6.4.2. Teknoloji becerileri 41
2.6.4.3. İnsan faktörleri 42
2.6.4.4. Hava sahası kapasitesi 43

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **45**

3.1. Dinamik Hava Sahası Yapıları 45
3.2. Matematiksel Modellemeler 51
3.3. Simülasyon Modelleri 54

4. MODEL **57**

4.1. Hava Trafik Yönetiminde Simülasyon 57

4.2. Simülasyon Modellinin Tanımlanması ve Kurulması 61

4.3. Yeşilköy TMA yapısı ve Kabuller 66

4.4. Kapı Çoklama Algoritması 73

4.5. Senaryo Tasarımı ve Deney Planlaması 78

4.5.1. Birinci Senaryo: Dört yönden uçuş talebi 79

4.5.2. İkinci Senaryo: Tüm rotalardan uçuş talebi 80

4.5.3. Üçüncü Senaryo: Tüm hava alanlarına gelen uçuş talebi 82

4.5.4. Dördüncü Senaryo: Mevcut durum analizi 83

4.5.5. Yeni yol çözümü 85

4.5.6. Hava sahasında bulunan kapı sayısının gecikmeye etkisinin incelenmesi 86

4.6. Terminal Kontrol Sahası İçin Regresyon Çalışması 88

4.6.1. Deney Tasarımı 89

4.6.2. Deney Sonuçları 90

4.6.3. İstatistiksel Analiz 91

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI **94**

5.1. Birinci Senaryo, Dört Yönden Uçuş Talebi 94

5.2. İkinci Senaryo, Tüm Rotalardan Uçuş Talebi 101

5.3. Üçüncü Senaryo, Tüm Hava Alanlarına Gelen Uçuş Talebi 106

5.4. Dördüncü Senaryo, Mevcut Durum Analizi 109

5.5. Yeni Yol Çözümü Analizi 114

5.6. Hava Sahasında Bulunan Kapı Sayısının Gecikmeye Etkisinin İncelenmesi 119

6. SONUÇ VE ÖNERİLER **121**

6.1. Sonuçlar 121

6.2. Öneriler ve Tartışma 123

KAYNAKÇA 124

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Hava trafik sistemi şematik gösterimi....7
Şekil 1.2. Hava sahası profili 10
Şekil 1.3. Hava trafik izleme sistemi gösterimi 13
Şekil 1.4. Hava trafik hizmetleri ve alt dalları şematik gösterimi....15
Şekil 2.1. Hava trafik yönetimi alt bileşenleri şematik gösterimi 24
Şekil 2.2. Hava trafik akış yönetimi şematik gösterimi 27
Şekil 2.3. Planlama ve kontrol modeli zaman ufku 33
Şekil 2.4. Kontrol fonksiyonu 34
Şekil 2.5. Talep kapasite değişimi....36
Şekil 2.6. Uçak kategorisine göre kuyruk türbülansı ayırmaları....40
Şekil 3.1. Hava sahası kapasitesi dengesi 46
Şekil 3.2. Geng ve arkadaşları hava sahası çalışması 49
Şekil 3.3. Hava sahası etrafındaki çoklu ajana dayalı hava trafik yönetimi mimarisi....53
Şekil 3.4. Mukherjee ve Hasen'in hava sahası dinamik yol yapılandırması....54
Şekil 4.1. Hava Trafik Yönetim sisteminin incelenmesi ve sınanmasına ilişkin genel stratejiler 58
Şekil 4.2. Simülasyon Yönteminin Adımları 61
Şekil 4.3. Yeşilköy TMA'nın harita üzerindeki görünümü 67
Şekil 4.4. Yeşilköy TMA'nin 2014 yılı geliş trafiklerinin aylara göre dağılımı....70
Şekil 4.5. Yeşilköy TMA'nin 2014 yılı geliş trafikleri en yoğun günü 24 saatlik dağılımı 70
Şekil 4.6. Yeşilköy TMA'nin 2014 yılı geliş trafiklerinin hava sahasına giriş yönlerinin dağılımı 71
Şekil 4.7. Yeşilköy TMA'nin 24 Ekim 2014 günü 14:00-15:00 saatlerindeki geliş trafiklerinin hava sahasına giriş yönlerinin dağılımı 72
Şekil 4.8. SIMMOD modeli görünümü....73
Şekil 4.9. Kapı çoklama algoritması 76

Şekil 4.10. Karmaşık yol ağı yapılandırması 77
Şekil 4.11. Birinci Senaryo dört yönden uçuş talebi uçuş rotaları 79
Şekil 4.12. Tüm noktalardan gelen uçakların SIMMOD Animatör görünümü 81
Şekil 4.13. Tüm hava alanları senaryosunun SIMMOD animasyon görüntüsü.....82
Şekil 4.14. Yenilenmiş hava sahası.....86
Şekil 4.15. Hava sahasında açılan yeni kapı ve yok yapıları 88
Şekil 5.1. Birinci Senaryo toplam gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi 95
Şekil 5.2. Birinci Senaryo gerçekleşen gecikme sebepleri 96
Şekil 5.3. Birinci Senaryo gecikmelerin 5dk'lık baremlerle incelenmesi.....97
Şekil 5.4. Birinci Senaryo, 1. Rota gecikme süreleri 98
Şekil 5.5. Birinci Senaryo, 2. Rota gecikme süreleri 98
Şekil 5.6. Birinci Senaryo, 3. Rota gecikme süreleri. 99
Şekil 5.7. Birinci Senaryo, 4. Rota gecikme süreleri. 100
Şekil 5.8. Birinci Senaryo, TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler.....100
Şekil 5.9. İkinci Senaryo toplam gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi.....101
Şekil 5.10. İkinci Senaryo talep-kapasite ilişkisi 102
Şekil 5.11. İkinci Senaryo gecikmelerin 5dk'lık baremlerle incelenmesi 102
Şekil 5.12. İkinci Senaryo gerçekleşen gecikme sebepleri 103
Şekil 5.13. İkinci Senaryo, TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler.....104
Şekil 5.14. Üçüncü Hava sahasında yaşanılan gecikmelerin gruplandırılması....106
Şekil 5.15. Üçüncü Senaryo toplam gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi.....107
Şekil 5.16. Üçüncü Senaryo talep-kapasite ilişkisi 107
Şekil 5.17. Üçüncü Senaryo gecikmelerin 5dk'lık baremlerle incelenmesi 108
Şekil 5.18. Üçüncü Senaryo gerçekleşen gecikme sebepleri 108
Şekil 5.19. Üçüncü Senaryo, TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler 109
Şekil 5.20. Dördüncü Senaryo toplam gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi 110
Şekil 5.21. Dördüncü Senaryo talep-kapasite ilişkisi.....110
Şekil 5.22. Dördüncü Senaryo gecikmelerin 5dk'lık baremlerle incelenmesi.....111
Şekil 5.23. Dördüncü Senaryo gerçekleşen gecikme sebepleri.....112
Şekil 5.24. Dördüncü Senaryo, TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler.....112
Şekil 5.25. Hava sahası kritik noktaları 113
Şekil 5.26. Beşinci Senaryo toplam gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi 114

Şekil 5.27. Beşinci Senaryo talep-kapasite ilişkisi.....115
Şekil 5.28. Beşinci Senaryo AMANI noktası gecikmeleri 115
Şekil 5.29. Beşinci Senaryo DUGLA noktası gecikmeleri.....116
Şekil 5.30. Beşinci Senaryo PIMAV noktası gecikmeleri 116
Şekil 5.31. Beşinci Senaryo BIG noktası gecikmeleri 117

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Ağırlıklarına göre uçak kategorileri.....40
Çizelge 2.2. Kuyruk türbülansı ayırmaları.....40
Çizelge 4.1. Yeşilköy TMA trafik istatistikleri.....66
Çizelge 4.2. Dört yönden uçuş talebi rotaları.....80
Çizelge 4.3. Senaryo 2 uçuş rotaları ve noktaları.....81
Çizelge 4.4. 2011 TMA uçuş oranları.....83
Çizelge 4.5. Hava sahası girişlerine göre iniş meydanı rotaları.....84
Çizelge 4.6 Bağımsız değişkenlerin alabilecekler değerler.....90
Çizelge 4.7. Regresyon deneyi sonuçları.....90
Çizelge 4.8. Kolerasyon Matrisi.....92
Çizelge 4.9. Tahmin edilen regresyon modelinin katsayıları.....92
Çizelge 5.1. Hava sahası noktalarına göre gecikme süreleri.....105
Çizelge 5.2. Hava sahası noktalarına göre gecikme süreleri kıyaslaması.....118
Çizelge 5.3. Kapı sayılarına göre gecikme verileri.....119

KISALTMALAR DİZİNİ

ACC	: Area Control Service, Saha Kontrol Hizmeti
AFTN	: Aeronautical Fix Telecommunications Network, Sabit Havacılık Telekomünikasyon Ağı
AIP	: Aeronautical Information Publication, Havacılık Bilgi Yayını
AMC	: Managebla Areas, Yönetilebilir Sahalar
APP	: Approach Control Service, Yaklaşma Kontrol Hizmeti
APRT	: Number of Airport in Airspace, Hava Alanı Sayısı
ASM	: Air Space Management, Hava Sahası Yönetimi
ATIS	: Automatic Terminal Information Service, Otomatik Terminal Bilgi Hizmeti
CBA	: Cross Border Areas, Sınırı Aşan Sahalar
CDR	: Conditional Routes, Şartlı Yollar
CFMU	: Central Flow Management Unit, Merkezi Akış İdaresi Ünitesi
CTR	: Control Zone, Kontrol Bölgesi
DARA	: Dynamic Air-Route Adjustment, Dinamik Hava Yolu Düzenlemesi
ECAC	: European Civil Aviation Conferance, Avrupa Sivil Havacılık Konferansı
ENPO	: Number of Entry Point of the Airspace, Hava Sahası Giriş Noktası Sayısı
EUROCONTROL	: The European Organisation for the Safety of Air Navigation, Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı
FAA	: Federal Aviation Administration, ABD Ulusal Havacılık Otoritesi
FIC	: Flight Information Centre, Uçuş Bilgi Merkezi
FIR	: Flight Information Region, Uçuş Bilgi Bölgesi
FPA	: Fix Posting Area, Sabit Atama Alanı

FUA	: Flexible Use Of Airspace, Esnek Hava Sahası
GPS	: Global Satellite System, Küresel Konumlama Sistemi
HF	: High Frequency, Yüksek Frekans
ICAO	: International Civil Aviation Organisation, Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı
NFLG	: Number of Flight Operation, Uçuş Sayısı
NFIX	: Number of Fixes in the Airspace, Hava Sahası İçindeki Kullanılan Nokta Sayısı
NPWB	: Probability Wide Body Aircraft, Uçuş Düzenleyen Uçakların Geniş Gövdeli Olma Olasılığı
PSR	: Primary Surveillance Radar, Birincil Gözetim Radarı
RAMS	: Re-organized ATC Mathematical Simulator, Yeniden Yapılandırılmış Hava Trafik Kontrol Matematiksel Simülatörü
RCA	: Reduced Coordination Airspace Mimima, Azaltılmış Koordinasyon Hava Sahaları
RNAV	: Area Navigation, Saha Seyrüsefer
RVSM	: Reduced Vertical Seperation, Azaltılmış Dikey Ayırma Standardı
SIMMOD	: The Airport and Airspace Simulation Model, Havaalanı ve Hava Sahası Benzetim Modeli
SSR	: Secondary Surveillance, Radar İkincil Gözetim Radarı
STAR	: Standart Arrival Route, Standart Geliş Yolları
TAAM	: Total Airport and Airspace Model, Toplam Havaalanı ve Hava Sahası Modeli
TMA	: Terminal Control Area, Terminal Kontrol Sahası
TSA	: Temporary Segregated Areas, Geçici Olarak Ayrılmış Sahalar
TWR	: Aerodrome Control Service, Meydan Kontrol Hizmeti
UCP	: Unit Commitment Problem, Birim Taahhüt Problemi
VHF	: Very High Frequency, Çok Yüksek Frekans

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın konusu "Terminal Kontrol Sahalarında Dinamik Kapı Ataması için Simülasyon Modeli Önerisi"'dir. Terminal kontrol hava sahaları için kapı ataması; hava sahasının giriş noktası olan kapıların trafik sayısına bağlı olarak hava sahası kapasitesini arttıracak ve/veya gecikmeleri azaltacak şekilde yapılandırılmasıdır. Terminal hava sahalarında kapı ataması, bu çalışma ile ortaya konulan bir kavramdır.

1.1. Problemin Tanımı

Sürekli artan talep hava trafiğini nicelik olarak daha fazla, nitelik olarak daha karmaşık hale getirmekle beraber mevcut hava sahası kapasitesindeki artış aynı oranda gerçekleşmemektedir. Bu durum sistem bütününde karşılanamayan talep sebebiyle kayıplara sebep olmanın yanında hava trafik yönetiminin birinci amacı olan emniyeti de tehdit eder hale gelebilmektedir.

Ortaya çıkan kapasite ve emniyet problemlerinin çözümü hava sahası tasarımında ve yönetiminde yeni arayışları beraberinde getirmektedir. Bu anlamda teknolojinin sağladığı olanakların havacılık faaliyetlerine entegre edilmesi ile sistemin yeni baştan tanımlanması bir zorunluluk haline gelmektedir. Hatta havacılık ve uzay faaliyetleri günümüz teknoloji gelişimine yön veren sektörlerin başında gelmektedir. Bu faaliyetler ile birlikte dünyada çok yüksek miktarda ekonomik değer yaratma gücüne sahip olan havacılık sektörünün büyümesi ve yaygınlaşması sağlanmaktadır.

Havacılık faaliyetlerinin artışı, havacılığın ticari bir şekilde yürütülmeye başlamasından itibaren her geçen gün yükselen bir ivme ile devam etmektedir. ICAO'nun resmi verilerine göre hava trafik sayısı her geçen yıl katlanarak

artmaktadır. Trafik verilerinin tutulmaya başlandığı 1960 yılında tüm dünyada yıllık trafik 6,6 milyon iken 2011 yılında bu sayı yaklaşık 27,6 milyona yükselmiştir [1]. Özellikle 20 milyon uçuş sayısının üzerine 2000'li yıllarda ulaşıldığı düşünüldüğünde, son yıllarda gerçekleşen operasyon sayısı artışı oranının yüksek olduğu görülmektedir [2].

Bu durum ülkemiz hava trafiğinde çok daha yüksek oranlarda oluşmaktadır. 2009 yılı verilerine göre Türkiye'de gerçekleşen operasyon sayısı 788.469 iken 2014 yılında bu sayı %70'lik bir artış ile 1.344.265'e yükselmiştir [3]. Son bir yıllık gelişime bakılacak olursa 2013 yılında 1.223.795 olarak gerçekleşen trafik yaklaşık %9 oranında bir büyüme ile 2014 yılında 1.244.265'e yükselmiştir [3]. Ülkemizde ve dünyada bu oranlar korunursa gelecek yıllarda gerçekleşecek trafik çok yüksek boyutlara ulaşacaktır. Hava trafiğindeki bu nicel artış karşısında yetersiz olan hava sahası kapasitesi özellikle uçuş talebinin yoğun olduğu hava sahalarında sıkışıklıklara neden olmakta ve buna bağlı olarak yerde ve havada gecikmeler yaşanmaktadır. Hava sahasının niteliğinin karmaşıklaşması ileriye dönük tahminlerde kapasite probleminin küresel olarak daha kronik hale geleceğini göstermektedir ve bu hava taşımacılığı sektörünün gelişiminde önemli bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır.

Artan talep karşısında en büyük darboğaz havaalanlarına iniş ve kalkış yapan uçakların toplandıkları ve yeniden dağıldıkları yerler olan terminal kontrol sahalarında yaşanmaktadır. Uçuşların yoğunluğu ve operasyonların çeşitliliği nedeni ile hava trafiğinin en karmaşık olduğu yerler yine terminal kontrol sahalarıdır. Terminal kontrol sahalarında alçalma, tırmanma ve düz uçuş gibi hareketlerin tamamı her uçuş için hedef olan havaalanları etrafında yoğunlaşmaktadır. Farklı performans kategorilerindeki uçakların bu hareketleri

farklı meteorolojik koşullarda gerçekleştirmeleri terminal hava sahalarını adeta arı kovanına dönüştürmektedir. İçerisinde hizmet verilen havaalanlarının büyüklüğü ve sayısı bu sahanın yoğunluğunu belirlemektedir. bu çalışmanın konusu kapsamına alınan örnek terminal kontrol sahası da bu hedef doğrultusunda içerisinde birden fazla büyük ölçekli havaalanı bulunduracak şekilde seçilmiştir.

1.2. Çalışmanın Önemi

Bu çalışma kapsamında; terminal kontrol sahası operasyonlarının yapısındaki karmaşıklık ve trafiğin yoğunluğu nedeniyle yaşanılan kapasite problemlerine ve gecikmelere çözüm olabilecek düzenlemeler üzerinde çalışılacaktır. Hava sahalarının yıllık ve sezonluk trafik talebine göre planlanması uçuşların gerçekleştiği sırada hizmetin mümkün olan en kaliteli şekilde verilmesini ve gecikmeler sebebiyle ortaya çıkabilecek malie kayıplardan sakınmayı sağlamaktadır. Planlama ve yapılan planlamaların gerçekleşen trafik durumu ile uyumu bu anlamda havacılık faaliyetleri açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada kapsam olarak hava trafik yönetimi içerisinde hava sahası planlaması çalışma alanı içerisindedir.

Bu çalışmanın amacı terminal kontrol sahalarının giriş ve çıkış noktalarındaki talebe göre kapasiteyi dinamik olarak planlamak ve trafik organizasyonunu basitleştirerek hava sahasının verimli kullanılmasını sağlamaktır. Dinamik hava sahası planlaması hava sahası yapısının trafik ihtiyacına göre yapılandırılmasını sağlayarak personel, teknik donanım gibi kaynakların verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Bu açıdan ihtiyaç duyulmadığı sezon yada saat dilimlerinde farklı bir personel planlaması yapılmasını, yoğun dönemlerde belirlenen ihtiyaç doğrultusunda farklı bir personel planlamasının

yapılması sağlanmaktadır. Bu çalışmada terminal hava sahası kapı yapılarının dinamik olarak belirlenmesine yardımcı bir model ortaya koymayı hedeflemektedir.

Hava sahası yapılarının inşası ve planlamalarına bağlı olarak kapıların konumları ve sayıları hava sahası tasarımı aşamasında (en az 5 yıllık stratejik planlamalar kapsamında) belirlenmektedir. Bu şekilde konumlanan kapılar esnek olmamaktadır. Bu durumda özellikle kimi zamanlarda belirli yönlerden gelen trafiğin arttığı zamanlarda bazı kapılarda yığılmalara sebep olur. Bu yığılmalara bağlı ortaya çıkan karmaşıklık ve iş yükünün giderilmesi için ancak yeni uzun vadeli planlamalar yapılarak çözüm aranmaktadır. Bu sırada ne yazık ki gecikmeler artarak devam etmektedir. Bu şekilde standartlaşmış bir yapı yerine talep için kapasite mantığı çerçevesinde sistemin dinamik bir şekilde işletilmesi ve gerekli görüldüğünde yapılacak değişiklikler için bir karar mekanizmasının geliştirilmesi, zaman ve işgücünden tasarruf sağlayacaktır.

Dinamik yapıların hava trafik yönetimine entegresi ile uzun vadeli planlama alanları kapsamında olan hava sahası tasarımları ve sektörizasyon çalışmalarına daha rahat çalışma ortamı sağlanacaktır. Basitleştirilmiş dinamik hava sahası yapısı ile prosedür geliştirilmesi de kolaylaşacaktır. Bu sebeple yol safhası ile terminal kontrol sahası arasında geçişi sağlayan bu kapılarda trafiğin organizasyonu uzun vadeli planlamalar kapsamından çok ön taktik safhaya destek verecek bir hava sahası yönetimi aracı olacaktır.

1.3. Araştırma Yöntemi

Araştırmanın odağında benzetim teknikleri kullanılarak mevcut durumun analizi ve geliştirilen önerilerin denenmesi ile elde edilen sonuçların değerlendirmesi yer almaktadır. Metodoloji olarak kullanılan hızlı zamanlı

simülasyon tekniği hava sahası planlaması çalışmalarında sıklıkla başvurulan bir teknik olmakla beraber karmaşık bir sistem olan hava sahası yapısının gerçeğe en yakın şekilde canlandırılmasını sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında seçilen örnek hava sahasının mevcut trafik durumuna göre analizi hızlı zamanlı benzetim modelleri ile yapılarak üretilecek çözüm önerilerine veri sağlanacaktır. Üretilen çözüm önerileri ise yine hızlı zamanlı benzetim modelinde farklı senaryolar altında denenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma sonucunda önerilen çözümün etkisi incelenecektir.

Diğer yandan ilk defa bu çalışma ile ortaya konulacak olan "terminal hava sahası dinamik kapı ataması" kavramı dünyada terminal kontrol sahaları ve hava sahası kapasitelerini arttırmaya yönelik yapılan çalışmalarda rastlanılmış bir kavram değildir. Bu anlamda özgün bir yapıya sahip olacak bu çalışma konuya yeni bir yaklaşım getirecek ve aynı zamanda ortaya çıkarılması hedeflenen hava sahası gelecekte yapılacak çalışmaların temelini atmış olacaktır.

1.4. Çalışmanın Düzenlenmesi

İkinci bölümde çalışmanın konusu ile ilişkili temel havacılık kavramları üzerinde durulmuştur. Hava trafik sistemi girdileri, hava trafik hizmetleri, hava trafik sistemi çıktıları açıklanmıştır. Ayrıca hava trafik yönetimi ve hava trafik akış yönetimi kavramları ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

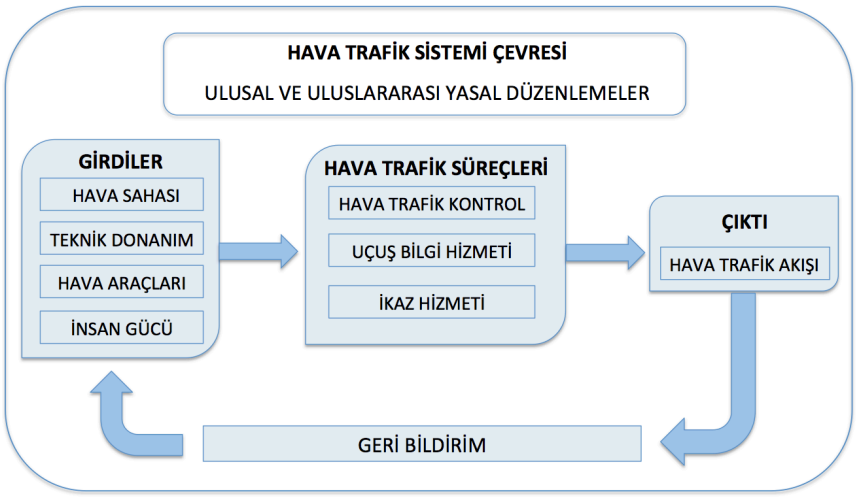
Üçüncü bölümde çalışmanın kapsamı ile ilgili olarak yapılan literatür çalışmasına yer verilmiştir. Literatür taraması konu ile doğrudan ilişkili olan dinamik hava sahası yapıları olarak, ayrıca matematiksel modellemeler ve simülasyon modelleri şeklinde sınıflandırılmıştır.

Dördüncü bölümde hava trafik sisteminde simülasyon kullanımının açıklanması ile birlikte çalışmada oluşturulan modelin kurulum aşamaları açıklanmıştır. Bununla birlikte örnek hava sahası olarak seçilen hava sahasının yapısı ve çalışmanın kabulleri açıklanmıştır. Çalışmanın temel prensibini oluşturan algoritma ortaya konulmuştur. Çalışma içerisinde gerçekleştirilen deney ve senaryolar tanımlanmıştır. Deney sonuçlarına göre yapılan regresyon çalışması da bu bölümde yer almaktadır.

Beşinci bölümde gerçekleştirilen simülasyon sonuçları oluşturulan senaryolara göre sınıflandırılarak ortaya konulmuştur.

2. HAVA TRAFİK SİSTEMİ

Genel Sistem Teorisi her türlü sisteme uygulanabilecek genel ilke ve prensipleri bulmayı ve geliştirmeyi amaçlayan disiplinler arası matematiksel bir çalışma alanıdır [4]. Ancak bir sistemi tanımlarken tüm süreçleri ile birlikte bütüncül bir yaklaşımla tanımlamak gerekmektedir. Bu yolla bir sistemi o sistemi oluşturan tüm parçalardan (alt birimlerinden, alt sistemlerinden), bu parçalar arasında belirli ilişkilerden ve bu parçaların aynı zamanda dış çevre ile ilişkisi olan, bir bütün olarak tanımlamak mümkündür [4]. Bu ifadeler doğrultusunda bir sistemi genel olarak aralarında ilişkiler bulunan ve belirli bir amacı geliştirmek üzere bir araya getirilmiş elemanlardan oluşan bir bütündür şeklinde tanımlanabilir [5]. Hava trafik sistemi ise havacılık faaliyetlerinin emniyetli, verimli ve ekonomik bir şekilde yürütülmesi amacı etrafında toplanmış hava sahası, hava seyrüseferi teknik donanımı, hava araçları ve insan gücü olarak sıralayabileceğimiz hava trafik sistemi elemanlarından oluşan sistemdir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Hava trafik sistemi şematik gösterimi

2.1. Hava Trafik Sistemi Girdileri

Hava trafik sisteminin başlıca girdileri hava sahası, hava araçları, teknik donanım ve insan gücü olarak sıralanabilir. Hava trafik sistemine dâhil olacak tüm hava araçları hava trafik sisteminin talebini oluşturan en temel girdidir. Hava araçlarının operasyonlarını gerçekleştireceği yerdeki ve havadaki tüm birimler ise hava sahası olarak hava trafik sisteminin bir diğer girdisini oluşturmaktadır. Hava araçlarının seyrüseferini gerçekleştirmesi ve kolaylaştırması için tasarlanmış tüm teknolojik gereçler teknik donanım olarak sistemin girdileri arasında sayılabilir. Pek çok sistemde olduğu gibi hava trafik sisteminin kullanıcısı ve yürütücüsü olan insan kabiliyetleri çerçevesinde insan gücü girdisini oluşturmaktadır.

2.1.1. Hava sahası

Hava sahası, hava araçlarının uçuş operasyonlarını gerçekleştirdikleri yerdir. Hava sahaları kullanım ve tasarım amaçlarına göre çok farklı şekillerde sınıflandırılabilir. En genel şekliyle hava sahaları kontrollü hava sahası ve kontrolsüz hava sahası olarak ikiye ayrılmaktadır [6]. Kontrollü hava sahaları; sınırları ve boyutları belirlenmiş, içerisinde ilgili hava sahası sınıflandırmasına uygun olarak hava trafik kontrol hizmetlerinin verildiği hava sahalarıdır [6]. Kontrolsüz hava sahaları ise ilgili hava sahası sınıflandırmasına uygun olarak içerisinde pilotlara hava trafik hizmeti sağlanmayan hava sahalarıdır. Bu çalışma kontrollü hava sahaları ile ilgilidir. Kontrollü hava sahaları ise içerisinde gerçekleşen operasyonlara ve verilen hizmetlere göre havaalanı, kontrol bölgesi, terminal kontrol sahası, hava yolları ve uçuş bilgi bölgesi sınıflandırılabilir.

2.1.1.1. Havaalanı

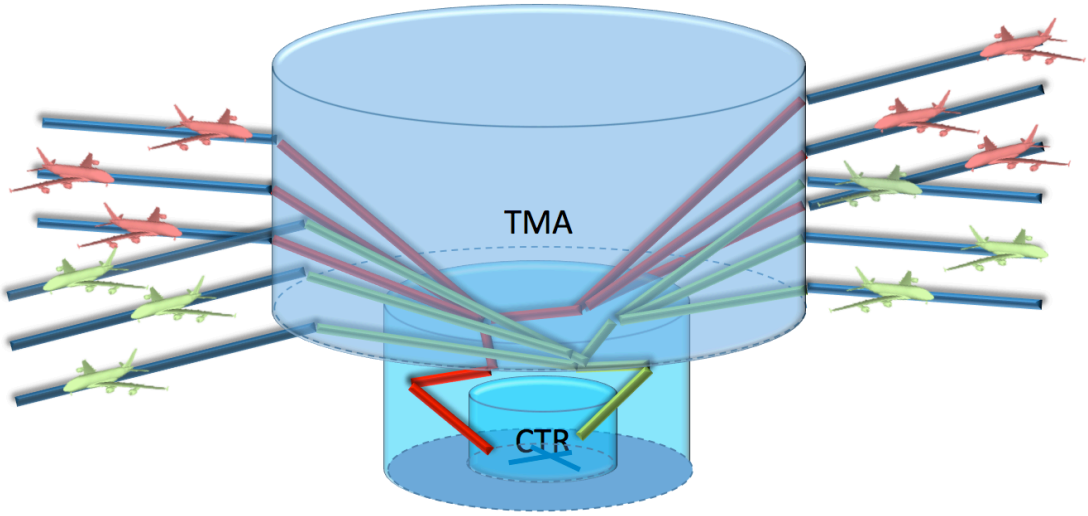
Havaalanı, hava araçlarının iniş, kalkış ve uçuşa hazırlık amacıyla yerdeki operasyonlarını düzenlenmesi için gerekli olan bina tesis ve donanımları kapsayan özel bir şekilde düzenlenmiş karada ya da suda olabilen sahalar olarak tanımlanmaktadır [7]. Hava alanları hava seyrüseferinin başlangıç ve bitiş noktası olduğundan başlı başına bir düğüm noktasıdır ve bu açıdan hava trafik sistemi içerisinde önemli bir yere sahiptir.

2.1.1.2. Kontrol bölgesi

Kontrol bölgesi (CTR-Control Zone), havaalanını çevreleyen, boyutları ve geometrisi tanımlanmış kontrollü hava sahasıdır. Bu bölgeler genellikle havaalanını merkezine alacak şekilde konumlandırılmış, belirli bir yarıçapa ve yüksekliğe sahip silindirik hava sahaları olarak tasarlanmaktadır (Şekil 1.2). Kontrol bölgesinde verilen hava trafik kontrol hizmeti ilgili hava sahası sınıfının gereklerine göre sunulmaktadır [6].

2.1.1.3. Terminal kontrol sahası

Terminal kontrol sahası (TMA-Terminal Control Area) bir ya da daha çok büyük havaalanı etrafındaki hava trafik rotalarının birleştiği bölgede kurulu olan kontrollü hava sahasıdır [6]. Terminal kontrol sahaları ilgili hava alanlarına iniş veya kalkış operasyonu düzenleyecek tüm uçakların alçalma ve tırmanma hareketlerini, iniş uçakları için trafik sıralamasının yapıldığı karmaşık hava sahalarıdır (Şekil 1.2). Ayrıca terminal kontrol sahası limitleri içerisindeki bir havaalanına operasyon düzenlemeyecek fakat aletli seyrüsefer uçuşu bu limitler içinde olan uçaklara da hava trafik kontrol hizmeti verilir.



Şekil 1.2. Hava sahası profili

Hava alanları etrafında tanımlanmış kontrol bölgesini kapsayan terminal kontrol sahası, hava alanları ile hava trafik yol ağının arasındaki geçişi sağlamaktadır. Hava alanlarının uçuş başlangıç ve bitiş noktası olmasından kaynaklanan düğüm noktası olması özelliği, terminal kontrol sahalarına da taşınmaktadır. İçerisinde düzenlenen operasyonlarda sürekli yön, seviye ve hız gibi çok boyutlu değişiklikler çoğunlukla aynı anda olmaktadır. Bu sebeple operasyonlar sırasında zaman baskısının ve karmaşıklığın en çok hissedildiği hava sahalarıdır.

2.1.1.4. Hava yolları

Radyo seyrüsefer cihazlarıyla veya hava seyrüsefer cihazlarıyla donatılmış koridor şeklinde tesis edilmiş kontrollü bir saha ya da kontrollü bir sahanın bir bölümüdür [6]. Uçaklar uçuşlarını tanımlanmış bu yollar üzerinden planlarlar ve gerçekleştirirler. Hava yolları birleşerek hava trafik yol ağı sistemini oluştururlar.

2.1.1.5. Uçuş bilgi bölgesi

Uçuş bilgi bölgesi (FIR- Flight Information Region) içerisinde uçuş bilgi hizmeti ve ikaz hizmetinin sağlandığı, sınırları belirli bir hava sahasıdır [6]. Türkiye hava sahasında İstanbul ve Ankara FIR'ı olmak üzere iki adet FIR bulunmaktadır.

2.1.2. Hava araçları

Aerodinamik ve fizik kurallarına göre havada tutunabilen ve taşıma/nakil işlemini gerçekleştirebilen havadan ağır araçlara hava araçları denir. Bir hava sahası içinde gerek uçak gerekse farklı şekil ve özelliklerde yapılandırılmış operasyon düzenleyen tüm hava araçları hava trafik sisteminin elemanıdır. Uçuş halindeki veya bir havaalanının manevra sahasındaki bütün uçaklar ise hava trafiği olarak adlandırılır [8].

2.1.3. Teknik donanım

Günümüzde havacılık faaliyetlerinin neredeyse tamamı teknik donanım yardımıyla yürütülmektedir. Uçağın uçuşu boyunca seyrüseferinde, haberleşmede ve uçuş seyrinin izlenmesinde günden güne gelişmekte olan teknik donanımlar mevcuttur. Gelişen teknolojinin havacılık faaliyetleriyle birleştirilmesi havacılık faaliyetlerinin daha emniyetli ve verimli, buna bağlı olarak da daha ekonomik gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

Teknik donanım bileşenlerini haberleşme, seyrüsefer ve gözetim olarak üç grupta toplanmaktadır.

2.1.3.1. Haberleşme

Havacılıkta ilk akla gelecek haberleşme, uçaklarla yerdeki hava trafik kontrolörleri arasındaki veya pilotlarla uçak işleticileri arasındaki telsiz yoluyla yapılan çift yönlü haberleşme sistemleridir. Haberleşme VHF veya HF frekans bantları üzerinden yapılmaktadır. Bu haberleşme sözlü olarak yapıldığından gönderilen mesajların açık ve anlaşılır bir şekilde ifade edilmesi ve iletilmesi gereklidir. Bir diğer haberleşme hava trafik kontrol üniteleri arasındaki sözlü iletişimdir ve direk telefon hatları ile yapılmaktadır. Direk telefon hatları ile yapılan haberleşme sadece hava trafik kontrol üniteleri arası değil ayrıca meteoroloji istasyonu gibi birimlerle de kesintisiz olarak sağlanmalıdır.

Sözlü iletişimin yanında yazılı iletişimin sağlanabilmesi için oluşturulmuş haberleşme ağı bulunmaktadır. Bu haberleşme ağına Sabit Havacılık Telekomünikasyon Ağı (AFTN-Aeronautical Fix Telecommunications Network) denilmektedir. AFTN yerden yere sivil havacılık iletişim ağı olup geçmişi 1950'lere dayanmaktadır. Bütün havaalanları, hava trafik kontrol merkezleri ve meteoroloji ofisleri bu ağ aracılığı ile birbirine bağlı olup aralarında uçuşun tüm aşamaları boyunca mesajlaşabilmektedirler [9].

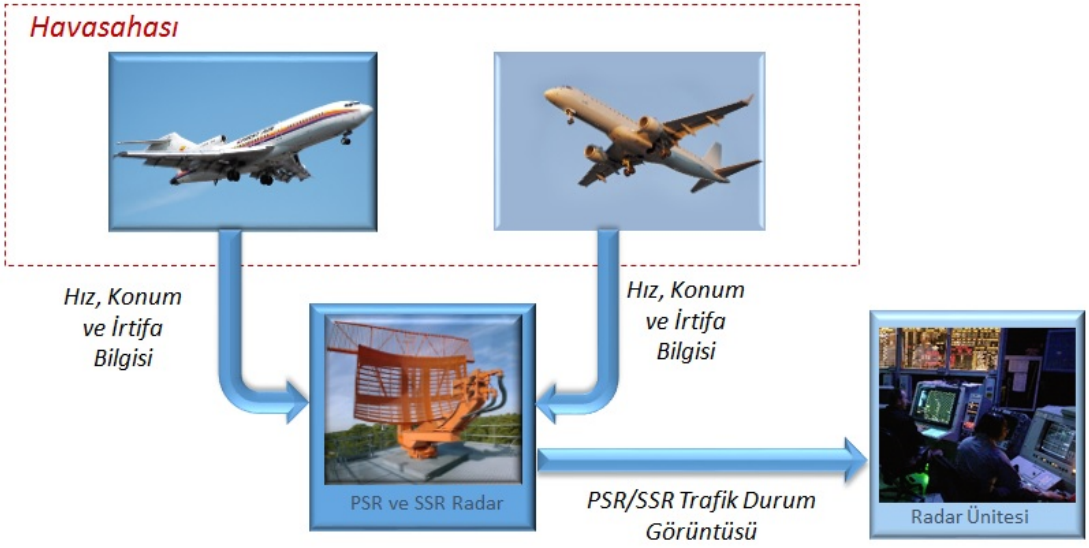
2.1.3.2. Seyrüsefer

Hava sahası içerisindeki yolların tasarımında ve uçakların bu yollar üzerinde uçuşlarını gerçekleştirmelerinde radyo seyrüsefer yardımcıları denilen teknik cihazlar kullanılmaktadır. Yol ağı tasarımlarında yolların sınırları, boyutları ve doğrultuları seyrüsefer sistemlerinden sağlanan pozisyon bilgileri ile belirlenmektedir. Uçakların uçuşları sırasında seyrüseferini devam ettirebilmek için aldıkları pozisyon bilgileri de teknik seyrüsefer sistemleri tarafından

sağlanmaktadır. Seyrüsefer sistemleri yer tabanlı olabildiği gibi GPS (Global Satellite System - Küresel Konumlama Sistemi) gibi uydu tabanlı da olabilmektedir.

2.1.3.3. Gözetim

Uçağın uçuşu sırasında seyrüseferinin yerden takibini sağlayan sistemlere gözetim sistemleri denir. İzleme sistemleri uçaklardan alınan hız, pozisyon ve irtifa bilgilerini toplayarak hava sahasında bulunan tüm uçakların görüntülerini hava trafik kontrolörlerine iletir (Şekil 1.3). Bu sayede hava sahasında bulunan uçuşlar izlenebilmekte ve böylelikle uçağın hassas kontrolü sağlanarak olası tehlikeli durumların belirlenmesi kolaylaştırılır.



Şekil 1.3. Hava trafik gözetim sistemi gösterimi

2.1.4. İnsan Gücü

Hava trafik sistemi bir insan-makine sistemidir. Hava trafik sisteminde insan gücü iş tanımları açısından geniş bir yelpazeye dağılmış fakat aynı ortak

amaç için çalışan, alanında özel eğitimden geçmiş, yüksek derecede sorumluluk taşıyan personelden oluşmaktadır. Pilotlar, hava trafik kontrolörleri, radyo seyrüsefer sistemleri teknisyenleri, uçak bakım teknisyenleri, meteoroloji uzmanları, uçuş mürettebatı, kabin ekibi, dispeçerler vb. pek çok alandaki personeli insan gücü içinde sayılabilmektedir. Bu personel yapısı bir bütün olarak işlemektedir. Uçuşun emniyetli sürdürülebilmesi için her bir personelin görevini eksiksiz ve hatasız yerine getirmesi gerekmektedir. Ancak insanın yoğun olarak bulunduğu sistemde mutlaka insan hatası ve insan faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır.

İnsan gücünü en doğru biçimde eğitmek ve yetiştirmek insan kaynaklı hataların en aza indirilmesinde önemli bir etkendir. Ayrıca gelişen teknoloji insan kaynaklı hataları en aza indirmek amaçlı yapılandırılmaktadır. Ancak teknik donanımların gelişimine karşın insan yapabilirlikleri sınırlı kalmakta ve sistemin sınırlarını da yine insan gücü kapasitesi belirlemektedir.

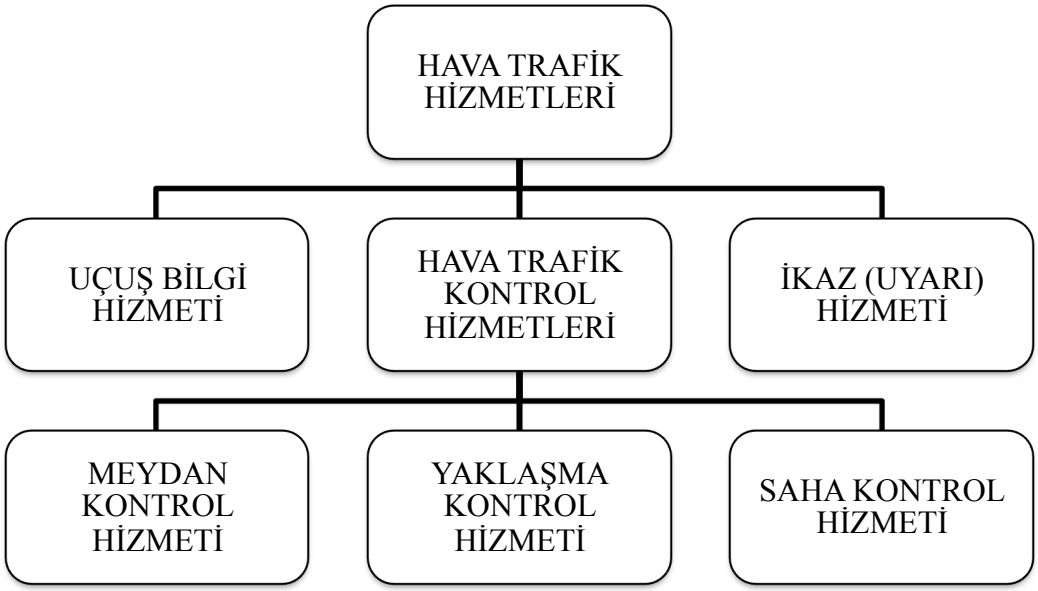
2.2. Hava Trafik Sistemi Süreci ve Hava Trafik Hizmetleri

Hava Trafik Sistemi Süreci ve Hava Trafik Hizmetleri, Hava trafik akışını sağlamak amacıyla yürütülen faaliyetleri kapsar. Bu faaliyetleri hava trafik hizmetleri olarak isimlendirebiliriz. Hava trafik hizmetleri uçuş bilgi hizmeti, ikaz (uyarı) hizmeti, tavsiye hizmeti ve hava trafik kontrol hizmetleri olarak üç gruba ayrılmaktadır (Şekil 1.4). Hava trafik kontrol hizmetleri bir uçağın uçuşuna başlamak üzere motor çalıştırmasından, varış meydanındaki park pozisyonuna yanaşmasına kadar geçen tüm süreçte sağlanmaktadır.

Hava trafik hizmetlerinin amaçları şu şekilde sıralanabilir [6];

- Uçaklar arasındaki çarpışmaları önlemek,

- Manevra sahasındaki uçakların birbirleriyle ve o sahadaki mânialarla (araç, insan vb.) çarpışmalarını önlemek,
- Düzenli trafik akışını sürdürmek ve hızlandırmak,
- Uçuşların emniyetli ve etkili bir biçimde yürütülmesi için faydalı tavsiye ve bilgileri sağlamak,
- Arama ve kurtarmaya ihtiyaç duyan uçakla ilgili olarak ilgili kuruluşları uyarmak ve istendiğinde bu kuruluşlara yardımcı olmak.



Şekil 1.4. Hava trafik hizmetleri ve alt dalları şematik gösterimi

2.2.1. Hava trafik kontrol hizmeti

Hava trafik kontrol hizmeti, uçaklar arasındaki çarpışmaları ve uçaklarla manevra sahası üzerindeki manialar arasındaki çarpışmaları önlemek ve düzenli, hızlı bir trafik akışı sağlamak amacıyla verilen hizmettir [6]. Hava trafik kontrol hizmeti üç tip hizmetten oluşmaktadır, bu hizmetler şunlardır [10];

i. Meydan Kontrol Hizmeti (Aerodrome Control Service: TWR)

ii. Yaklaşma Kontrol Hizmeti (Approach Control Service: APP)

iii. Saha Kontrol Hizmeti (Area Control Service: ACC)

Bu hizmetler çoğunlukla aynı adı taşıyan hava trafik kontrol ünitelerince sağlanmaktadır. Üniteler arasında uçaklar transfer edilerek hizmet kesintisiz bir şekilde sağlanmaktadır. Bir uçağın uçuşu sırasında transfer olduğu üniteler Şekil 1.4'de gösterilmiştir. Üniteler arasında eksiksiz bilgi akışının sağlanabilmesi için belirlenmiş koordinasyon usulleri uygulanmalıdır. Bu koordinasyon usulleri ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı, International Civil Aviation Organisation) tarafından Doc 4444 Air Traffic Management dokümanında açıklanmıştır [11].

2.2.1.1. Meydan kontrol hizmeti

Meydan kontrol hizmeti bir havaalanının çevresindeki uçaklara verilen hizmettir. Havaalanı ICAO Annex 14'de; "bütünü ya da bir bölümü içinde hava araçlarının iniş-kalkış ve yer hareketlerini gerçekleştirebilmeleri için karada veya suda oluşturulmuş (bina, tesis ve teçhizatla donatılmış) tanımlanmış saha" olarak tanımlanmaktadır [7]. Bu tanıma ek olarak ülkemizde uluslararası havaalanları için havalimanı terimi kullanılmaktadır ve tanımı şu şekilde yapılmaktadır; uluslararası hava trafiği, geliş ve gidişlerine hizmet vermek amacıyla tesis edilmiş olup, gümrük, göçmenlik, halk sağlığı, hayvan ve bitki karantina işlemleri ve benzeri işlemlerin bünyesinde vakit kaybetmeksizin yürütüldüğü havaalanıdır [12].

Bir havaalanının manevra sahasındaki uçaklar ve meydan civarında uçan bütün uçaklar meydan trafiğini oluştururlar. Meydan kontrol hizmeti ise meydan trafiği için verilen hava trafik kontrol hizmetidir. Meydan kontrol hizmeti TWR [6]. Meydan kontrol kulesinin fonksiyonları şunlardır [10];

- Kontrolü altındaki uçakların emniyetli, verimli ve hızlı akışını sağlamak,

- Meydan trafik paternindeki uçakların veya manevra sahasındaki uçakların, birbirleri ile, manevra sahasındaki diğer araçlarla veya manialarla çarpışmasını önlemek,

- Gerektiğinde veya istendiğinde uçak veya diğer uçuşların bilgilerini uçuş ekibine bildirmek,

- Gerektiğinde görerek koşullarda uygulanan uçuşları durdurmak,

- Arama kurtarma ve yangın söndürme faaliyetlerine yardım etmek,

- Meydanlardaki görsel ya da görsel olmayan seyrüsefer yardımcılarının çalışmasını kontrol etmek ve arızları bildirmek,

- İniş izni verildiği halde 5 dakika içinde inişini gerçekleştirmeyen uçuşları ilgili birimlere bildirmek,

- Meydan civarındaki uçak kazalarının raporunu tutmak.

Meydan kontrol kulelerinde görevli olan hava trafik kontrolörleri, manevra sahasındaki uçaklar, araçlar ve personelde dahil olmak üzere, meydan üzerindeki ve meydan civarındaki uçuşla ilgili görülebilir bütün hareketleri sürekli gözetim altında tutmakla ve bu trafiği ilgili yöntemlere ve uygulanabilir trafik kurallarına göre kontrol etmekle sorumludur [10].

2.2.1.2. Yaklaşma kontrol hizmeti

Yaklaşma kontrol hizmeti terminal kontrol sahası içinde yer alan uçaklara verilen hizmettir. Yaklaşma kontrol ünitesi bir veya birden fazla havaalanına iniş kalkış yapan kontrollü uçuşlara hava trafik hizmeti sağlamak için oluşturulmuş bir ünitedir [6]. Yaklaşma kontrol ünitesi, havaalanına inmek üzere saha kontrol ünitesinden gelen uçakların sıralamalarının yapılarak gerekli ayırma

standartlarına göre havaalanına yönlendirilmesinden sorumludurlar. Aynı şekilde havaalanından kalkan uçakların uçuş seviyelerini almış bir şekilde sıralanarak uçuş planındaki uçuş rotalarına yönlendirilmesinden sorumludur. Yaklaşma kontrol hizmeti radarlı ya da radarsız usullere göre verilebilir.

2.2.1.3. Saha kontrol hizmeti

Saha kontrol hizmeti, kontrol sahaları içerisindeki kontrollü uçuşlara verilen hava trafik kontrol hizmetidir. Saha kontrol hizmeti saha kontrol ünitesi tarafından verilmektedir. Saha kontrol, ABD Ulusal Havacılık Otoritesi (FAA, Federal Aviation Administration) tarafından yol kontrol (en-route control) olarak da isimlendirilmektedir [5].

Saha kontrol hizmetleri FIR sınırları içerisinde verilmektedir. FIR sınırları içerisindeki transit uçakların seyrüseferlerinin emniyetli bir şekilde tamamlanmasından, FIR içerisinde bir havaalanına iniş veya kalkış operasyonu düzenleyecek uçakların alçalma veya tırmanma hareketlerinin koordinesinden sorumludurlar.

2.2.2. Uçuş bilgi hizmeti

Uçuş bilgi hizmeti, uçuşların etkili ve emniyetli bir şekilde yapılabilmesi için yararlı tavsiye ve güncel bilgileri vermek amacıyla sağlanan hizmettir. Uçuş bilgi hizmeti, FIR içerisinde verilir. Uçuş bilgi hizmeti hava trafik kontrol hizmeti alan ya da hava trafik hizmeti veren ünitelerce bilinen uçaklara sağlanır. Uçuş bilgi hizmetini hava trafik kontrol hizmeti veren ünite sağlayabilir. Genellikle iki hizmet birlikte sağlanır fakat bu durumda öncelikli hizmet her zaman hava trafik kontrol hizmetidir [13]. Uçuş bilgi hizmetinin hava trafik kontrol hizmeti verilen

ünitelerce verilmediği durumlarda uçuş bilgi hizmeti ve ikaz hizmeti sağlamak için tesis edilmiş ünite olan Uçuş Bilgi Merkezi (FIC: Flight Information Centre) tarafından sağlanmaktadır. FIC her türlü gerekli bilgiyi hava trafik kontrol hizmeti ofislerine de iletmektedir.

Uçuş bilgi hizmeti, hava raporu, seyrüsefer yardımcılarının durumları, atmosferdeki meteorolojik veya volkan, zehirli kimyasal aktiviteler gibi uçuş emniyetini etkileyebilecek her türlü bilgiyi kapsamaktadır.

Uçuş bilgi hizmetleri için bilgi akışı üç şekilde yapılmaktadır. Bunlar, HF, VHF ve otomatik terminal bilgi hizmeti (ATIS: Automatic Terminal Information Service) olarak sıralanmaktadır [14]. Bu yayınlarla havadaki ve yerdeki uçaklara, ilgili meydanlar ve hava yollarındaki meteorolojik durum ve iniş, kalkış ve uçuş için gerekli diğer bilgiler belirli frekanslardan aktarılır. Meteorolojik durumda ve diğer bilgilerde önemli değişiklikler olduğunda bu yayınlar yenilenerek verilmeye devam edilir. Yayınlarda verilen bilgiler belirli bir biçimde ve sırada hazırlanır. Uçuş bilgi hizmeti yayınları genellikle İngilizce dilinde yapılır (ülkemizde ayrıca Türkçe olarak İngilizce mesajın akabinde yayınlanmaktadır) ve mesajlar her devlet tarafından belirtilen en uygun ünite tarafından hazırlanır ve yayınlanır [6].

2.2.3. İkaz (Uyarı) hizmeti

İkaz hizmeti, arama ve kurtarmaya ihtiyaç duyan uçaklar hakkında ilgili kuruluşları haberdar etmek ve gerektiğinde bu kuruluşlara yardımcı olmak amacıyla sağlanan bir hizmettir. İkaz hizmeti de uçuş bilgi hizmetinde olduğu gibi uçuş bilgi bölgesi içerisinde verilir.

İkaz hizmeti;

- Hava trafik kontrol hizmeti sağlanan tüm uçaklara,
- Uygulanabildiği kadar, uçuş planı doldurmuş olan veya hava trafik hizmet ünitelerince bilinen diğer uçaklara,
- Kanunsuz girişime uğramış olduğu bilinen veya kanunsuz girişime uğramış olduğuna inanılan her uçağa sağlanır.

İkaz hizmetinde uçuş bilgi merkezleri veya saha kontrol merkezleri, kontrol sahası ya da uçuş bilgi bölgesi içinde uçuş yapan bir uçağın acil durumlarıyla ilgili tüm bilgileri toplayan ve bu bilgileri ilgili kurtarma koordinasyon merkezine aktaran bir ünite olarak hizmet verirler. Yaklaşma kontrol ofisi veya meydan kontrol kulesinin kontrolü altındaki bir uçak acil durumla karşılaştığında, bu üniteler hemen sorumlu uçuş bilgi merkezi ya da saha kontrol merkezini ikaz ederler ve bu merkezlerde öncelikle uçağın işleticilerine ve kurtarma koordinasyon merkezine durumu bildirirler.

Bir uçağın acil durumlarda olduğunun kabul edilmesini gerektiren şartlar şüphe hali, alarm hali ve tehlike hali olmak üzere üç aşamada incelenirler. Şüphe hali; uçakla son haberleşmenin ardından 30 dakika boyunca yeni bir bağlantı kurulamamışsa veya uçağın varış meydanına tahmini varış zamanından 30 dakika geçmesine rağmen iniş yapmamışsa şüphe hali ilan edilir. Şüphe hali ilan edildikten sonra uçakla ilgili herhangi bir haber alınamadığında, iniş izni verilmiş bir uçağın tahmini iniş zamanından 5 dakika içinde uçak iniş yapmamışsa, uçağın mecburi iniş yapmasını gerektirmeyecek şekilde normal çalışmasının aksadığına ait bir bilgi alınmamışsa ya da uçak kanunsuz girişime uğramışsa alarm hali ilan edilir. Alarm halinden sonra uçakla haberleşme sağlanmışsa, uçağın bir meydana inmek için yakıtı yetersizse, uçağın mecburi iniş yapmasını gerektirecek şekilde

normal çalışmasının aksadığı biliniyorsa ya da uçağın mecburi iniş yaptığı veya yapacağı öğrenilmişse tehlike hali ilan edilir.

Acil bir durum başladığında, acil durumdaki uçağın bilinen son pozisyona göre uçabileceği en uzak mesafe belirlenir ve olası pozisyonu harita üzerinde işaretlenir. Bu uçağın yakınındaki diğer uçakların da olası pozisyonları yakıt durumlarına göre haritada işaretlenir. Diğer uçaklar acil durumdaki uçakla ilgili olarak bilgilendirilir [6].

2.3. Hava Trafik Sistemi Çıktıları

Hava trafik sisteminin çıktısı hava trafik akışıdır. Süreç aşamasında hava trafik işlemleri yürütülerek üretilen hava trafik hizmetleri aracılığı ile ortaya çıkan hava trafik akışı hava trafik sisteminin ürünüdür. Hava trafik akışının emniyetli, verimli ve ekonomik olması hem hava trafik sisteminin kendisi hem de hizmetten yararlanan kullanıcılar açısından son derece önemlidir. Hava trafik sisteminin süreç aşamasında emniyetli, verimli ve ekonomik bir hava trafik akışı sağlamak için çaba gösterir [14]. Sistemin çıktıları sistemin başarısını da ortaya koymaktadır. Hava trafik akışında emniyetsiz bir olay ya da kaza söz konusu ise sistem içerisinde bir yerde emniyet açığı olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca akış içerisinde meydana gelen gecikmeler de sistemin çıktıları arasında yer alacaktır.

2.4. Geri Besleme

Sistem üzerinde yapılan ve sistemi daha başarılı kılmak için yapılan araştırmaların tümü geri beslemeyi oluşturur. Hava trafik sistemi çıktıları arasında saydığımız gecikmeler veya emniyeti ihlal edebilecek olaylar üzerinde yapılan araştırmalar da hava trafik sisteminin geri beslemesini oluşturacaktır. Hava trafik

sistem kapasitesini arttırmaya yönelik çalışmaları, gecikme analizlerini, daha verimli uçuş sağlayan uçak tasarımlarını ve kaza kırım raporlarını hava trafik sistemi geri beslemelerine örnek olarak sayabiliriz. Bu çalışmaların her biri sisteme geri besleme yaparak yeni prosedürlerin geliştirilmesi ya da uygulamaların düzenlenmesine ışık tutmaktadırlar.

2.5. Hava Trafik Sisteminin Çevresi

Hava trafik sisteminin çevresi, hava trafik hizmetleri ile ilgili düzenlemelerden oluşur. Bu düzenlemeler ulusal seviyede olabileceği gibi uluslararası seviyede de olabilir. Düzenlemeler can ve mal emniyetini güvence altına almak için yapılır. Bu düzenlemeler hava trafik sistemi elemanlarının tasarımı sırasında yapılan hesaplamalar veya "hava trafik sisteminde geri besleme" konusunda açıklandığı gibi yaşanılan olaylardan ortaya çıkan sonuçların incelenmesi ile yapılmaktadır. Düzenlemelerin can ve mal güvenliği gibi önem arz eden ve hassas bir konu olması sebebi ile tüm dünyada kabul görür ve ulusal-uluslararası kuruluşlar düzeyinde son derece düzenli ve yaptırımlı bir denetleme mekanizmasına sahiptir. Uluslararası düzeyde pek çok devletin bir araya gelmesi ile oluşturulan ICAO ve EUROCONTROL (The European Organisation for the Safety of Air Navigation, Hava Seyrüseferinin Güvenliği için Avrupa Teşkilatı) bu kuruluşlara örnek olarak verilebilir.

Devletler ulusal düzeyde kendi hava trafik sistemlerinde düzenlemeler yapmak ve bunların uygulanmasını sağlamak amacıyla ihtiyaçları ve bürokratik yapıları doğrultusunda sivil havacılık otoriteleri oluşturmuşlardır. Ulusal sivil havacılık otoriteleri ülkelerinde uluslararası kurallara göre havacılık faaliyetlerinin yürütülmesinden sorumludurlar. Ayrıca ihtiyaçlar doğrultusunda,

uluslararası kurallar ulusal ihtiyaçlara göre yeniden tanımlanabilir. Bu ihtiyaçların belirlenmesinden ve gerekli çalışmaların yürütülmesinden, sonuçlarının yayınlanmasından ilgili devlet otoriteleri sorumludur.

2.6. Hava Trafik Yönetimi

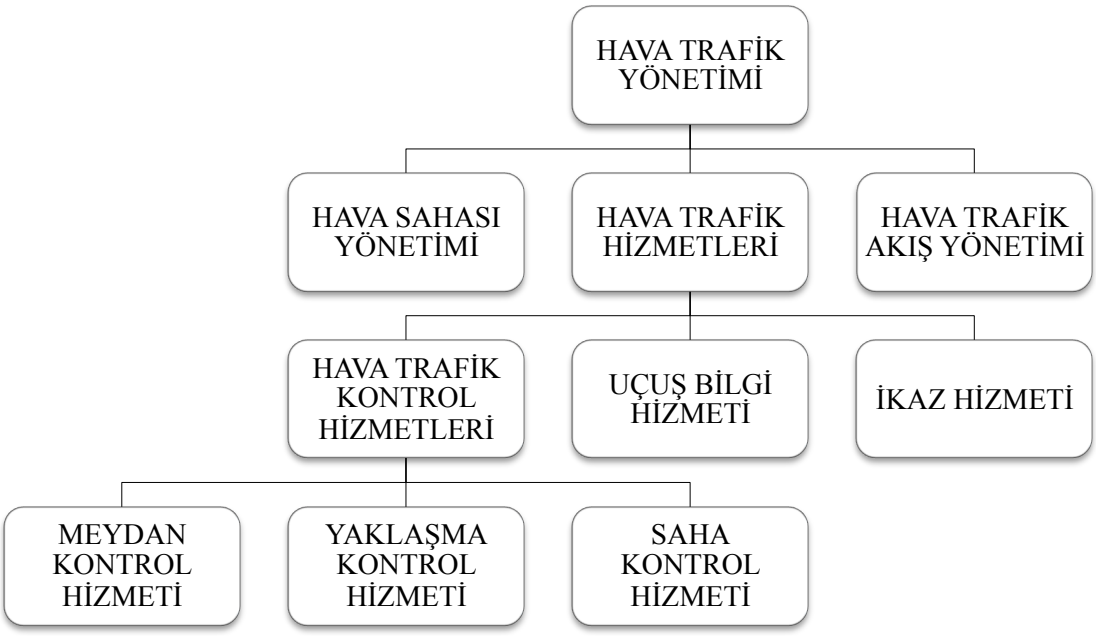
"Sanatların en eskisi, bilimlerin en yenisi" olarak nitelendirilen [4] "yönetim" kavramı pek çok alanda yaygın olarak kullanılan ve araştırılan, ilkeleri ve felsefesi yeni yeni incelenmeye başlanmış bir bilim dalıdır. Belki de bu yüzdendir ki yönetim tanımı kişiden kişiye değişmekte farklı kavramlarla alana göre farklılık gösteren tanımlar ortaya atılmaktadır.

Bu tanımlar arasında konuyu en basite indirgeyerek ele alan tanım; başkaları arayıcılığı ile iş görmek olarak ifade edilmektedir [15]. Diğer bir tanıma göre bir işletmede amaçlara ulaşmak için işbirliğinin yapılması ve çalışanların bu amaçlar doğrultusunda düzenlenmesidir [16]. Farklı farklı tanımların ortak olarak birleştiği nokta yönetimin ancak birden fazla kişinin varlığı ile ortaya çıkan ve bu yönü ile ekonomik faaliyetten ayrılan bir grup faaliyeti olduğudur [4]. Yönetimin tanımını fonksiyonları yardımıyla yapacak olursak; planlama, organizasyon, emir-komuta, kontrol ve koordinasyon fonksiyonlarının bir arada kullanılması ile işletme amaçları doğrultusunda iş görme becerisi olarak ifade edebiliriz.

Hava trafik yönetimi ise hava trafik sisteminin maliyetlerini en aza indirme çabasıyla hava trafik akışı gecikmelerinin mümkün olduğunca az, ancak emniyet unsurundan ödün vermeden verilebilmesini hedeflemektedir. Uluslararası kurallar çerçevesinde hava sahasının en etkin biçimde işletilmesi anlamına gelmektedir. Bu bilgileri toparlayarak hava trafik yönetimini; sorumluluk alanları içindeki hava trafik akışları ve hava sahasının en etkin kullanımını planlama ve

organize etmekle yetkili otoritelerin işbirliği içindeki çalışmalarını açıklamak üzere kullanılan bir terim olarak tanımlayabiliriz [5].

"Hava trafik sistemi süreci ve hava trafik hizmetleri" bölümünde tanımlanmış hizmetlerin yönetimi hava trafik yönetimi faaliyetleri olarak tanımlanmaktadır. ICAO hava trafik yönetimini iyileştirebilmek için görev ve sorumlulukları ayrılmış alanlar kurarak yönetim faaliyetlerini organize etmiştir. Buna göre şeması Şekil 2.1'de gösterilen yapı içinde hava trafik yönetimi, hava sahası yönetimi, hava trafik hizmetleri, hava trafik akış yönetimi olarak üç ana kola ayrılmaktadır. Bunlardan hava trafik hizmetleri "Hava trafik sistemi süreci ve hava trafik hizmetleri" bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.



Şekil 2.1. Hava trafik yönetimi alt bileşenleri şematik gösterimi

2.6.1. Hava Trafik Akış Yönetimi

Talebin kapasiteye göre yönetilebilmesi için hava trafik hizmetlerini ek faaliyetlerle destekleme ihtiyacı doğmuştur. Hava trafik hizmetleri uçuşların başlangıcının ardından "online-uçuş sırası" olarak yürütülürken, uçuş başlangıcı

öncesi “offline-uçuş öncesi” olarak kapasite talep dengesinin önceden yapılması, karar mekanizması, insana dayalı hava trafik sisteminin yükünü hafifletmektedir. Uçuş öncesi safhada yapılan planlamalar olası kapasite aşılma durumlarını önceden saptar ve önlem alınmasını sağlayarak trafik akışının organizasyonunu kolaylaştırıp gecikmeleri azaltmayı, emniyetli trafik akışının sağlanmasını hedefler. Hava trafik akış yönetimi trafik talebinin hava trafik kontrol kapasitesini aştığı bölgelerde hava trafiğinin en iyi şekilde akıtılmasını planlar. Böylelikle talep ile kapasite arasında denge oluşturmak ve söz konusu hava trafik kontrol biriminin talebi karşılaması sağlanmış olur.

Hava trafik akış yönetimi kavramı 1979 yılında ECAC (European Civil Aviation Conferance, Avrupa Sivil Havacılık Konferansı) toplantısında tüm Avrupa hava trafik hizmetlerinden sorumlu genel müdürlerin kararı ile ortaya çıkmıştır [17]. Bu amaçla kurulan birim uçuş bilgilerinin toplanması, arşivlenmesi ve istenildiği anda dağıtılma işlerini üslenmiştir [18].

Hava trafik akış yönetiminde akışın düzenli ve ekonomik sağlanabilmesi için uçuşlar üzerinde iki çeşit düzenleme yapılır. Bunlar re-routing denilen yeni yol tahsisi ve SLOT tahsisi denilen uçakların iniş ve kalkış saatleri üzerinde yapılan düzenlemelerdir. Yeni yol tahsisi uçuşun başlamasına 2 gün kalaya kadar tüm uçuş planları üzerinde yapılan incemeler sonucunda sıkışma olması beklenilen hava yollarında, uçuşların planlarını değiştirerek farklı hava yolları üzerinden uçuş planlamaları sağlanır. Uçuşun başlanmasına saatler kala halen tıkanıklık öngörülüyor ve düzenleme gereksinimi var ise uçuş işleticileri ile koordinasyon kurarak yeni yol tahsisi ya da kalkış/iniş saati üzerinde düzenleme (SLOT tahsisi) alternatifi işleticiye sunulur. Bu alternatifler kuyruk teorisine göre gerçekleştirilmektedir, bu konudaki uygulamalar A. Cavcar yayımlanmamış

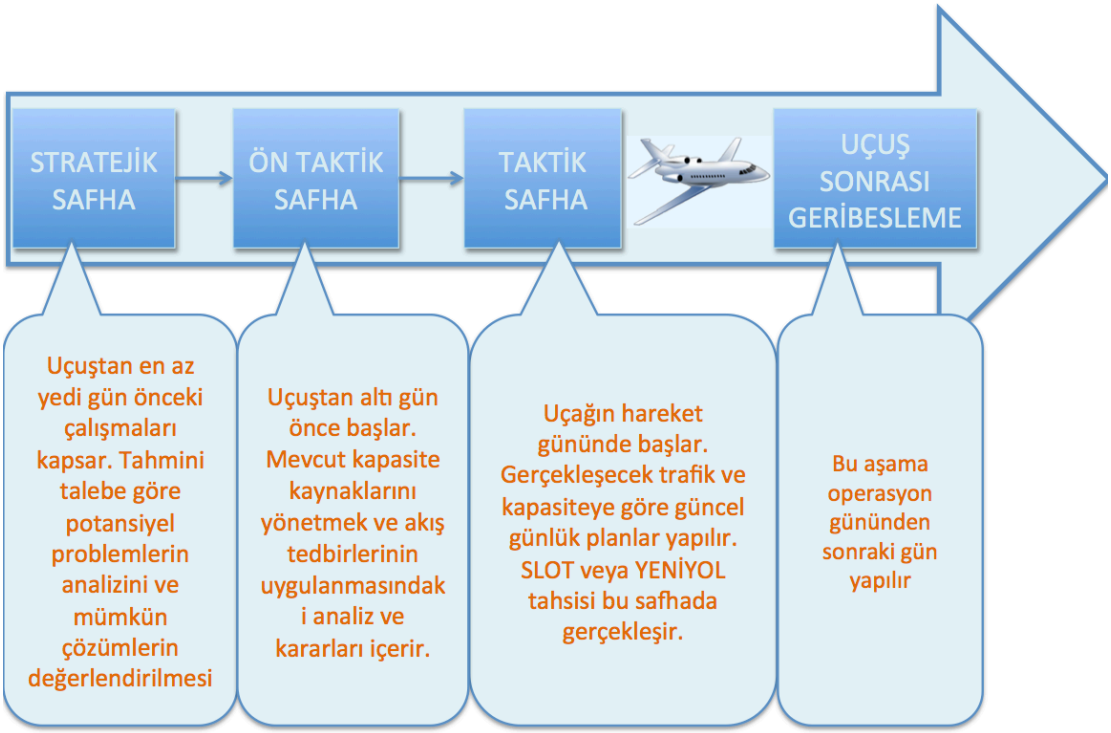
doktora tezinde açıklanmaktadır [19]. Hava yolu işletmesi planlaması doğrultusunda yeni yol tahsisi ya da yeni kalkış zamanını seçer.

2.6.2. Hava Sahası Yönetimi

Genel olarak hava trafik kontrol sisteminin elemanlarından olan hava sahasının en verimli şekilde kullanılabilmesi için Avrupa hava sahası üzerinde yapılan düzenlemelere hava sahası yönetimi (ASM: Air Space Management) denir. En iyi hava sahası; içerisinde düzenlenen operasyonlarda beklemelerin en az olduğu, uçuşların en ez yakıt yakılarak ekonomik şekilde tamamlanabildiği, yüksek emniyet düzeyinde ve mevcut yapısı ile gelecekteki trafik talebini karşılayabilecek yapıda olan, tüm bunlara paralel olarak hava trafik kontrolörleri ve pilotların iş yükünün az olduğu hava sahalarıdır. Hava sahası yönetimi ise tanımlanan şekilde en iyi hava sahasını yaratabilmek için yürütülen tüm stratejik planlama ve problem çözme çalışmalarının bütünüdür.

Hava sahası yönetimi faaliyetleri uzun vadeli planlama ve karar alma faaliyetleridir. Bir hava sahasında yaşanılan tıkanıklıkların çözümü için analiz ve hesaplamaların ardından iyileştirme çalışmaları yapılarak uygulamaya geçirilen çözümler hem uzun vadede ortaya atılmaktadır hem de uzun vadeli çözümler olmaktadır. Bu sebeple mevcut durumun yanında gelecek öngörüleri doğrultusunda stratejik çalışmalar yapılmaktadır.

Bu bağlamda üç hava sahası yönetimi düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar; stratejik düzey, ilk-taktik düzey, taktik düzeydir [5]. Bu üç aşamaya ek olarak uçuş sonrası verilerin arşivlenmesi ve geri beslemenin yapılması safha olarak eklenebilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Hava trafik akış yönetimi şematik gösterimi

2.6.2.1. Stratejik düzey

Stratejik düzeyi kısaca önceden belirlenmiş hava sahası yapılarının kurulması olarak açıklayabiliriz. Stratejik düzeydeki hava sahası yönetimi uzun dönemli planlamaları ve tasarımları kapsamaktadır. Dinamik hava sahası yapısı içinde kullanılacak çözümlerin üretilmesi, hesaplanması ve geçerliliğinin test edilmesi gibi aşamalar bu düzeyde yer almaktadır. Kalıcı veya geçici hava sahaları yapıları ve tahsisi bu düzeyde gerçekleşir. Tüm ülkeler veya havacılık otoriteleri arasında yapılan müzakereler ve anlaşmalar bu düzeyde sayılmaktadır.

2.6.2.2. Ön-taktik düzey

Ön-taktik düzeyde hava sahasının kullanıcı gereklerine göre günlük tahsisi yapılmaktadır. Stratejik düzey çerçevesinde inşa edilmiş yapının içerinde

operasyonel yönetimin yürütülmesidir. Hava sahasının günlük tahsisi ve hava sahası tahsisi ile ilgili tüm iletişim verilerini içerir.

2.6.2.3. Taktik düzey

İlk-taktik düzeyinde tesis edilmiş hava sahasının gerçek zamanlı olarak yeniden tesis edilmesini içerir. Ayrıca özel hava sahası problemlerin çözümü ve/veya operasyonel hava trafiği ve genel hava trafik arasındaki trafik durumu ve olası problemlerin çözümü gerçekleştirilir. Buna göre ülkeler sivil-askeri koordinasyonu kolaylık ve usullerini gerçek zamanlı olarak sağlamak için,

- ayırma gereklilikleri azaltılmış, emniyet içinde, sivil ve asker trafiğince hava sahası kullanımının maksimum düzeyde ortaklığa izin vermeli,
- birinci ve ikinci düzeyde esnek hava sahaları kavramını bütünüyle kullanmayı sağlamalıdır.

2.6.2.4. Uçuş sonrası geri besleme

Uçuşların sonra ermesiyle ilgili hava sahasında hizmet verilen uçuş sayısı ve bu uçuşlarda var ise gerçekleşen gecikmeleri analizi yapılmaktadır. Aynı zamanda tüm uçuş kayıtları arşivlenmiş olmaktadır. Tüm veriler bir sonraki planlamaya ışık tutacak şekilde incelenip arşivlenmektedir.

Yapılan planlamaların koordinasyonundan ve uygulanmasından sorumlu olan CFMU (Central Flow Management Unit, Merkezi Akış İdaresi Ünitesi) sistemleri hava sahası ortamı ve yol verilerine göre sürekli yenilenmeli, bu yeni verilere göre kapasite ve talebi karşılaştırarak, trafik akışı en verimli şekilde sağlanmalıdır.

2000'li yıllarla birlikte hava sahalarının asker ve sivil kullanım için ayrı ayrı kalıcı olarak tahsis edilmiş olması yerine ihtiyaca göre hizmet yapısının değiştirilebileceği hava sahası yapılarının kurulması planlanmıştır. Bu yeni kavram esnek hava sahası kavramıdır.

2.6.2.5. Esnek hava sahası yapıları

Özellikle Avrupa hava trafik sisteminin bir problemi olan sivil-asker hava trafiği koordinasyonu problemine bir çözüm olarak düşünülmüş bir kavramdır. Prensipte görevleri farklı da olsa her iki tür trafikte aynı hava sahasını paylaşmak zorundadır. O halde bu paylaşım esnasında, her iki tür hava trafiğinin farklı merkezlerden yönetilmeleri, verilen hizmetlerdeki farklılıklar sonucunda çakışmalar oluşabilmektedir. Tasarlanmış hava sahalarının kemikleşmiş yapı içinde olması, sivil kullanıcıya ayrılmış hava sahalarının veya askeri kullanıcıya ayrılmış hava sahalarının uzun süreli olarak o kullanıcıda kalması kaynakların verimli kullanılması ilkesine ters düşmektedir. Örneğin askeri kullanıcıya tahsis edilmiş bir hava sahası askeri kullanıcılar tarafından kullanılmadığı zaman dilimlerinde atıl kalmak yerine sivil kullanıcıların hizmetine açılması halinde hava sahası daha verimli kullanılmış olur. Planlamalar doğrultusunda kullanıcı değişikliğine imkân veren hava sahası yapısı esnek hava sahası (FUA, Flexible Use of Airspace) olarak tanımlanmaktadır [20]. Esnek hava sahası yapısının ilkesi; hava sahasının uzun süreli olarak askeri ya da sivil kullanıcı üzerinde kalmaması, ihtiyaç doğrultusunda askeri veya sivile tahsis edilebilmesidir. Bu ilke ile hava sahası kapasitesinde artış hedeflenmekte ve buna bağlı olarak gecikmelerin azalması beklenmektedir. Esnek hava sahasının uygulanmasında

kullanılacak hava sahası yapılandırılmaları belirlenmiş ve kavram bu yapılar aracılığı ile daha iyi açıklanmaktadır.

2.6.2.5.1. Şartlı yollar

Şartlı yollar (CDR, Conditional Routes) belirlenmiş kapasite dengesizliklerine çözüm üretebilmek için önceden belirlenmiş yollar gibi kullanılan fakat ihtiyaca göre kullanıma açılan yollardır. Şartlı yollar eğer kullanılacaksa, kullanılacak zaman periyodu için ulusal havacılık yayınlarında ve uluslararası hava sahası kullanıcı planlarında duyurulur [21]. Üç kategoride incelenen şartlı yollar Kategori 1, Kategori 2 ve Kategori 3 şekilde sınıflandırılır.

Kategori 1 şartlı yolları, daimi olarak planlanan yollardır. Kategori 2 şartlı yolları, daimi olmayan planlanabilir yollardır. Bu yollardan yararlanan uçuşlar sadece günlük gereksinimlerden dolayı açılmış bu yollara açık olduğu süre zarfı için uçuş planlayabilirler. Kategori 3 şartlı yolları ise planlanamaz yollardır. Sadece anlık (kısa süreli) olarak ilgili hava trafik kontrol ünitesinin yönlendirmesi ile kullanılabilen yollardır.

2.6.2.5.2. Yönetilebilir sahalar

Yönetilebilir sahalar (AMC, Managable Areas) hava sahalarının ihtiyaç doğrultusunda farklı kullanıcı hizmetine açılmasını organize eder. Dört kategoriden oluşmuş hava sahaları tanımlanmıştır.

Geçici olarak ayrılmış sahalar (TSA, Temporary Segregated Areas) özel kullanım amaçları için geçici olarak ayrılmış sahalardır [22].

Sınırı aşan sahalar (CBA, Cross Border Areas) uluslararası sınırlar üzerinde tesis edilmiş geçici olarak ayrılmış sahalardır [22].

Yönetilebilir tahditli sahalar (Managable D&R Areas) bazı tehlikeli ve tahditli sahalar operasyondan bir gün öncesi tahsis edilir ve R/D olarak isimlendirilir [5, 22].

2.6.2.5.3. Azaltılmış koordinasyon hava sahaları

Azaltılmış koordinasyon hava sahaları (RCA, Reduced Coordination Airspace) sivil ve askeri kontrolörler arasında koordinasyon başlatılmasına gerek kalmaksızın, içerisinde sivil uçuşların yol dışında uçmasına izin verilen hava sahası bölümleridir [22].

Esnek hava sahası yapıları ile ilgili tüm değişiklikler ve güncellemeler esnek hava sahası bilgi yayınları ile duyurulur.

Esnek hava sahası yapısının ardından ortaya çıkan kavram "dinamik hava sahası yapısı" kavramdır. Dinamik hava sahası yapısı uçuşların başlangıcına daha yakın bir zamanda tespit edilen sıkışıklıklar için dinamik çözümler getiren bir yapıdır. Böylelikle önceden tasarlanmış çözümlerin günlük ihtiyaçlar doğrultusuna uygulamaya konularak gün hatta saat bazında kullanım şeklinin değişebildiği bir hava sahası yapısı oluşturulmuştur. Bu bakış açısı ile anlık ortaya çıkan problemlere yine o an geliştirilen fikirlerle çözüm aramak yerine, problemlerin öngörüldüğü bir ortamda alternatif çözüm önerileri ile birlikte bir planlama yapılarak, ilgili tıkanıklık ortaya çıkmadan çözümün hayata geçirilmesi ile hava sahası yönetilmektedir. Böylelikle geliştirilen çözümlerin sadece ihtiyaç anında kullanılması sağlanmakta, öngörülü bir yaklaşım olduğu için, ihtiyaç oluştuğunda da çözümün gecikmesi önlenmiş olmaktadır. Dinamik hava sahası yapısı halen üzerinde çalışmaların sürdürüldüğü güncel çalışma alanlarından biridir.

2.6.3. Hava trafik yönetiminin planlama ve kontrol fonksiyonları

Yönetimin en önemli fonksiyonlarından biri planlamadır. Planlama ile yapılacak faaliyetler zaman çizgisi içinde yerlerini alırken, konu üzerinde çalışacak birey ya da kuruluşların görev dağılımları da planlama kapsamında planlama sırasında yapılır. Kontrol fonksiyonu ise yapılan işlerin önceden ortaya konmuş hedefler doğrultusunda gerçekleşip gerçekleşmediğinin ölçülmesidir.

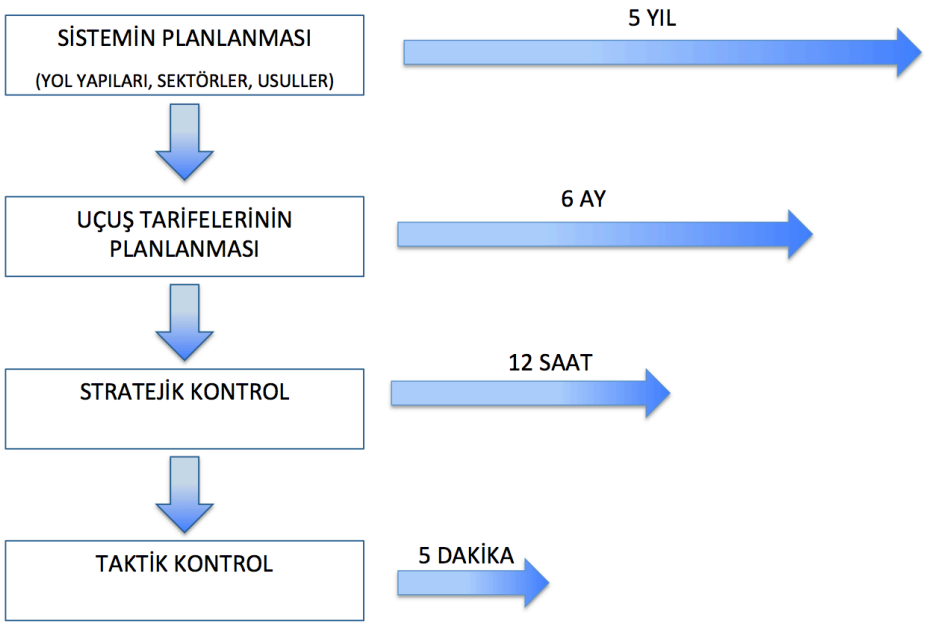
2.6.3.1. Planlama fonksiyonu

Hava trafik yönetiminde planlama fonksiyonu Bölüm 2.3.'de verilen amaçlar doğrultusunda zaman ufkundaki yerleri açısından sınıflandırılmaktadırlar. Buna göre hava trafik yönetiminin planlama fonksiyonu kısa, orta ve uzun vadeli olarak ele alınır. Yapılan planlamaların içerik bakımından ayrıldığı durumda sistemin planlaması ve uçuş tarifelerinin planlaması olarak iki grupta incelenebilir. Sistemin planlanması faaliyeti uzun vadeli olarak (genellikle 5 yıl) trafik talebi tahminlerine göre yapılmaktadır. Uçuş tarifelerinin planlanması ise orta vadeli bir planlamadır.

Hava trafik kontrol sisteminin planlama ve kontrol modelinin zaman ufku Bianco [23-25] tarafından yapılan farklı çalışmalarda ortaya koyulmuştur (Şekil 2.3). Bu zaman ufkuna göre planlama sistemin planlanması ve uçuşların planlanması olarak ikiye ayrılmakla birlikte, uçuş saatine 12 saat kala başlayan kontrol safhası da stratejik ve taktik olarak ikiye ayrılmaktadır.

Uzun vadeli planlama (6 ay ile 5 yıl) sistemin yapısal tasarımı ile ilgilidir. Oluşturulacak sektörler, tasarlanacak yollar, prosedürler veya yeni havaalanı yapımı uzun vadeli sistem planlaması içerisinde yer almaktadır. Uzun vadeli planlamaların çok titizlikle ve sağlam öngörülerle yapılması hava trafik

yönetiminin en az kayıpla (zaman veya para) yapılabilmesini sağlamaktadır. Orta vadeli planlamada uçuş tarifelerinin planlaması gerçekleştirilmektedir. Uçuş planları tek bir havuzda toplanarak tıkanıklık yaşanabilecek dönemlerin belirlenmesi ve gerekli ise plan saatlerinde değişiklik yapılmasını kapsamaktadır. Böylelikle talep kapasite dengesi karşılaştırılacaktır. Stratejik kontrol olarak isimlendirilen seviye kısa vadeli bir planlamadır ve orta-uzun vadeli dönemde trafik akışlarının organize edilmesi ile ilgili planlama faaliyetini gösterir. Bu faaliyetlerin tamamı uçuşların başlamasından önce gerçekleştirilen faaliyetler olduğundan bu faaliyetlere uçuş öncesi faaliyetler denir. Son olarak taktik kontrol seviyesi uçuş başlangıcından sonra gerçekleştirilen hava trafik kontrolörleri tarafından sunulan hizmetleri kapsayan uçuş günü faaliyetlerini oluşturmaktadır.



Şekil 2.3. Planlama ve kontrol modeli zaman ufku [23-25]

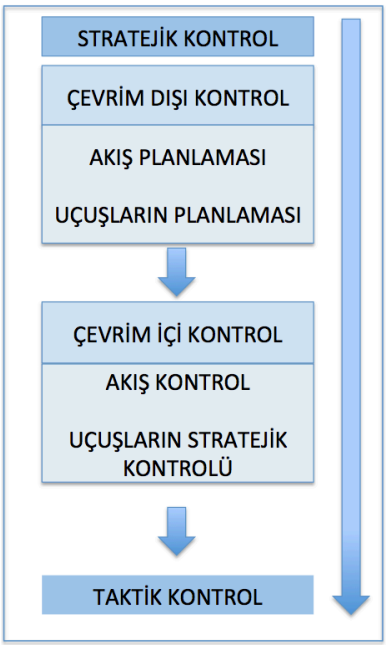
Stratejik uzun ve orta vadeli planlamalar hava sahası yönetimi faaliyetleri içerisinde yer almaktadır. Hava trafik akış yönetimi ise ortaya konulan

stratejilerin ardından uçuş tarifelerinin planlanması ile trafiğin verimli akışını sağlamaya yönelik kısa ve orta vadeli faaliyetler göstermektedir.

2.6.3.2. Kontrol fonksiyonları

Kontrol fonksiyonu da uçuş öncesi ve uçuş günü gerçekleşen faaliyetler bakımından incelenebilir. Uçuş öncesi kontrolde; ilgili hava trafik yönetim sistemine gelen uçuş bilgileri ile, uçuş tahminlerine dayalı planlama işlemidir. Buna karşın, uçuş günü kontrol fonksiyonu, sistemin mevcut durumunun gözlenmesine dayalı olarak kontrol işlevinin planlamasıdır [5].

Şekil 2.4'de kontrol fonksiyonunun çok seviyeli bölünmesini gösterilmektedir. Stratejik kontrol uçuşlar başlamadan 12 saat önce başladığı için çevrimdışı kontrol olarak adlandırılmaktadır. Burada akış planlaması ve uçuşların planlaması yapılmaktadır. diğer yandan uçuşların gerçekleştiği saat içinde başlayan çevrim içi kontrolde hava trafik kontrolörleri tarafından gerçekleştirilen uçuşların kontrolü işlemi gerçekleşir.



Şekli 2.4. Kontrol fonksiyonu [23-25]

Akış planlaması terimi; birkaç saat içerisinde gerçekleştirilen bir faaliyettir. Tahmin edilen trafik talebini sistem kapasitesi ile karşılaştırır [5].

Uçuşların planlanması; akış planlaması ile aynı zaman boyutunda olan bir uçuş öncesi faaliyet olup, karşılaştırma sonucunda yeni zamanları belirler [5].

Akış kontrol; 15-30 dakikalık bir zaman boyutuna sahip, çevrim içi faaliyettir [5]. Kısa dönemli trafik yükselişlerinin sistem üzerindeki etkilerini rötarlar yoluyla azaltır. Kontrollü bir sahada eğer trafik tıkanıklığı varsa akış kontrol işlemi mutlaka uygulanmalıdır. Bu işlem ise hava trafik kontrol sistem kapasitesi ile trafik talebinin karşılaştırılmasını gerektirir. Akış kontrol kavramı, kavramsal olarak iki farklı aşamaya ayrılabilir;

i. Tıkanıklık tahmini: bu tıkanıklığın ne zaman ve nerede ortaya çıkacağının belirlenmesidir.

ii. Tıkanıklık önleme: aşırı yüklenme tahmininin yapıldığı yerde, tıkanıklığın büyümesinin önlenmesi için olası en iyi kontrol faaliyetlerinin yapılmasıdır.

İlk aşama hava trafik kontrol sisteminin verimliliği temeline dayanır, özel olarak ise hava trafik kontrol kapasitesi ve talebin gerçek gelişiminin bilinmesi gereklidir.

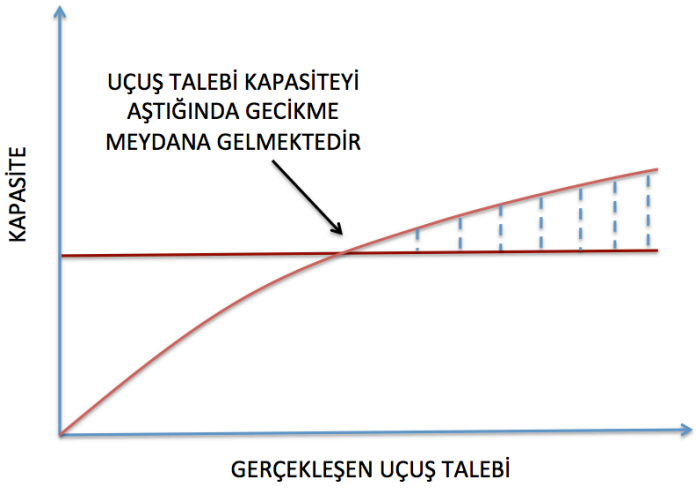
Uçuşların stratejik kontrolü ise; çevrim içi akış kontrolüdür [5]. Sistemin mevcut durumunun gözlenerek çakışan rotaların belirlenmesi temeline dayalı olup uçak performansı kısıtlayıcını sağlamak için hava sahası yapısı ve olası akış kısıtlayıcısını kullanır.

Verilen bu fonksiyonlardan uçuş planlarının depolanması ve stratejik kontrolün çevrim dışı aşaması hava trafik akış yönetimince gerçekleştirilir. Çevrim içi akış kontrol işlemi ise birimlerdeki akış kontrol birimlerince yapılır.

Gerçekte hava sahası yönetimi sayesinde mevcut kapasite belirlenirken, ihtiyaç duyulan kapasiteyi belirlemek için trafik talebi bir girdi olacaktır. Hava trafik akış yönetimi ise bu talep-kapasite dengesinin yapılması işleminin kendisidir.

2.6.4. Talep Kapasite Değişimi

Hava trafik kontrol sisteminde talep, planlanan operasyon sayısıdır. Kapasite ise; sistemde birim zamanda hizmet verilebilen uçak sayısıdır. Hava trafik yönetiminde tüm sistemi etkileyen en önemli faktör talep kapasite dengesidir. Talebin kapasiteyi aştığı durumlarda gecikmeler meydana gelmeye başlar (Şekil 2.5) ve mali kayıplar yaşanır.



Şekli 2.5. Talep kapasite değişimi

Hava trafik sisteminin kapasitesi belirli koşullar altında sabittir, ancak talep yıl veya gün içinde değişken olabilmektedir. Bazı dönemlerde talep az iken bazı dönemlerde (günlük veya saatlik) talep yüksek olabilmektedir. İyi bir kapasite yönetimi için talep kapasite dengesinin kurulması çalışmalarında kapasitenin hangi sıklıkla aşıldığında göz önünde bulundurulması gereken noktalardan biridir. Hava trafik sistemi elemanlarının her biri için kendi

kapasitelerinden bahsedebiliriz. Bunlar hava sahası kapasitesi, hava aracı yeteneği, teknoloji becerileri ve insan faktörleridir.

2.6.4.1. Hava aracı yeteneği

Hava araçlarının yeteneğini belirleyen bazı performans parametreleri bulunmaktadır. Bu performans parametrelerinden hava trafik kontrol sistemi için önem arz edenler aşağıda verilmiştir.

A. Hız: Uçağın hız kabiliyeti verilen talimatı tamamlama süresini etkilemektedir.

a. Uçağın yataydaki hızı: Uçağın ilgili sektör içerisinde kalış süresini etkilemektedir. Sektör içerisindeki diğer uçaklarla aralarında hız açısından performans farklılığının olması hava trafik akış dengesini etkilemektedir.

i. En düşük hız: Uçakların havada tutunabilecekleri en düşük hız hava trafik kontrol açısından önemlidir. Uçakların sıralamalarında ve uçaklar arası gerekli ayırmaların sağlanması sırasında hız kıstırma uygulanmaktadır. Bu açıdan havada tutunma hızının düşük olması tercih edilen bir durumdur.

ii. En yüksek hız: Hava trafik kontrol hizmetinin verilmesi sırasında yüksek hızlı olan uçağın sektör meşguliyet süresi, kalkış ve iniş gibi manevraların süresi azalacaktır.

iii. Ekonomik hız: Uçağın uçuşunu en ekonomik şekilde tamamlayacağı hızdır. Bu hızın yüksek olması hava trafik akışının hızlı olmasını sağlamakta ve böylelikle sektör meşguliyet süresi düşük olmaktadır.

b. Uçağın düşeydeki hızı: Uçağın özellikle TMA içerisindeki önemli bir manevra kabiliyetidir.

i. Alçalma oranı: Havaalanına iniş için gelen bir uçağın hava sahasında alçalmaya başlayacağı mesafeyi belirler. Aynı zamanda alçalma talimatı verilen bir uçağın, izinli kılındığı seviyeyi alma süresini etkiler. Bu da kontrolörlerin ihtiyaç duydukları bir seviyenin o uçak tarafından alçalarak terk edilme süresini etkilemektedir.

ii. Tırmanma oranı: tırmanma oranı iki açıdan önem taşımaktadır, Birincisi; uçağın en kısa mesafede belirli bir seviyeye tırmanma kabiliyeti olup, kalkış sonrasında ilk tırmanma hattındaki olası maniaları aşmasını sağlamaktadır. İkincisi ise belirli bir irtifaya en kısa sürede tırmanma kabiliyetidir. Böylelikle uçak seyir seviyesine tırmanırken kat ettiği diğer uçuş seviyelerini en kısa sürede boşaltır.

A. İrtifa:

a. Servis tavanı: bir uçağın emniyetli şekilde uçuş operasyonu düzenleyebileceği irtifadır. Uçaklar servis tavanına yaklaştıkça tırmanma kabiliyetleri büyük oranda azalmaktadır. Seyir tavanı yüksek olması uçakların kullanabilecekleri seviye sayısını arttırmaktadır. Trafik yoğunluğunun az olduğu yüksek seviyelerden daha iyi faydalanabilmektedirler.

b. Ekonomik irtifa: Bir uçağın en az yakıt maliyeti ile seyir yapabileceği irtifadır. Ekonomik irtifa bandının geniş olması hava trafik kontrolde seviye tahsisini rahatlatan bir unsurdur.

B. Dönüş: Uçağın yatay düzlemde belirli bir referansa göre açısal konumunu değiştirme yeteneğidir. Bu referans manyetik kuzey olarak alınırsa bu açısal konum uçuş başı olarak adlandırılır. Özellikle TMA içerisinde gerçekleşen dönüş hareketlerinin en kısa zamanda ve yarıçapta tamamlanması hava sahasının emniyetli ve verimli şekilde kontrol edilebilmesi açısından önemlidir.

Bu performans parametrelerine göre tanımlanmış uçak performansları hava trafik sistemini doğrudan etkilemektedir. Hava trafik sistemi içerisindeki tüm uçaklar birbirleri ile etkileşim içerisinde olduğundan, birbirinden farklı kabiliyet ve ihtiyaçlardaki uçakların bir arada ve sürekli manevra yapmak durumunda olmaları gerek aralarında ayırma minimumlarını ve gerekse hava sahası işgal sürelerini etkilemektedir. Aynı hava sahası içindeki uçakların performans farklılıkları ne kadar büyükse hava trafiği de o derece karmaşık hale gelir. Bu karmaşıklık gerek kontrolöre gerekse sisteme artan iş yükü olarak yansımaktadır.

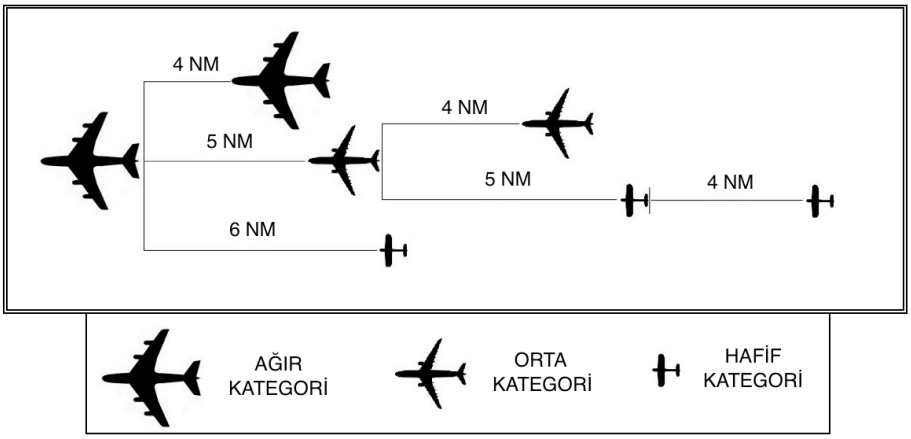
Hava araçlarının birbirleri ile çakışmadan emniyetli bir şekilde uçuşlarını tamamlayabilmeleri için ICAO tarafından hava araçlarının aralarında bulunması gereken (mesafeye ya da zamana dayalı) ayırmalar tanımlanmıştır. Ayırma standartlarının korunması ile iki hava aracı arasındaki uçuş emniyeti de korunmaktadır.

Her bir hava aracı ya da uçak ihtiyaçlar ve teknoloji düzeyine göre farklı özelliklerle donatılarak üretilmektedir. Bu farklılıklar uçakların kabiliyetlerini de değiştirmektedir. Uçaklar için tırmanma, dönüş yarıçapı, hız, uçuş menzili ve havada kalma süresi gibi kabiliyetlerin bütününe o uçağın performansı denir. Uçaklar arasında bulunan performans farklılıkları ICAO'nun belirlemiş olduğu ayırma standartlarının korunması/korunamaması konusunda en belirleyici etkendir. Mesafe veya zaman olarak belirlenmiş bu standartlarının korunmasını etkileyen performans ölçütü uçağın ağırlığıdır. Bu farklılıkların önem arz etmesi sebebi ile ICAO uçakları ağırlıklarına göre Çizelge 2.1.'de verildiği gibi sınıflandırmaktadır [6].

Çizelge 2.1. Ağırlıklarına göre uçak kategorileri

Uçak Kategorisi	Uçağın Ağırlığı
Ağır (H-Heavy)	136.000 kg. (299.880 lbs) dan fazla olan uçaklar
Orta (M-Medium)	136.000 - 7.000 kg (299.880 - 15.435 lbs) arasındaki uçaklar
Hafif (L-Light)	7.000 kg (15.435 lbs)'den az olan uçaklar

Birbirini izleyen uçakların performans kategorisine göre aralarında bulunması gereken ayırma minimumları belirlenmiştir. Uçak ağırlık sınıflandırmasına göre kuyruk türbülansı referans alınarak hesaplanan ayırma standartları Çizelge 2.2.'de gösterilmektedir ve Şekil 2.6'de resmedilmiştir [11].



Şekil 2.6. Uçak kategorisine göre kuyruk türbülansı ayırmaları

Çizelge 2.2. Kuyruk türbülansı ayırmaları

Öndeki Uçak	Arkadaki Uçak	Kuyruk Türbülansı Radar Ayırması
Ağır	Ağır	7,4 km (4 NM)
Ağır	Orta	9,3 km (5 NM)
Ağır	Hafif	11,1 km (6 NM)
Orta	Hafif	9,3 km (5 NM)

Giderek artan hava taşımacılığı talebini karşılamak için uçak imalatçılarından Airbus daha yüksek yolcu veya kargo kapasiteli uçaklar tasarlamaya yönelmiş, buna karşın Boeing geleneksel tasarım anlayışını sürdürmeye devam etmektedir. Ayrıca teknolojik gelişmeler kokpit içi pilot görevlerine mümkün olduğunca yardımcı sistemler geliştirilmesini sağlamaktadır.

Böylelikle uçuşlar daha güvenli ve konforlu bir hale gelmektedir. Diğer yandan uçakların fiziksel yapıları ve performans farklılıkları nedeniyle artan operasyon çeşitliliği ve genişleyen hız ve irtifa aralıkları uygulanacak prosedürleri de karmaşık hale getirmektedir.

2.6.4.2. Teknoloji becerileri

Teknoloji havacılığın her aşamasının vazgeçilmez bir parçasıdır. Teknolojik gelişmeler günlük hayatımızı kolaylaştırdığı gibi havacılık faaliyetlerinin de gelişmesini sağlamaktadır. Hava aracı yeteneği konusunda açıklandığı gibi teknolojik gelişimin hava araçları üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Son teknoloji ile üretilmiş uçaklar daha ekonomik ve daha kabiliyetlidir. Ayrıca pilotlar açısından kullanımda büyük kolaylıklar getirmektedir (oto pilot, trafik uyarı sistemi vb.).

Havacılık faaliyetlerinde teknolojik gelişim sadece uçaklar üzerinde kendisini göstermez. Hava seyrüsefer yardımcılarının becerilerinin gelişimi de söz konusudur. Kullanıma geçen ilk radar sistemi olan PSR (Birincil Gözlem Radarı, Primary Surveillance Radar) havadaki tüm nesneleri sadece nokta olarak gösterirken gelişen teknoloji ile birlikte SSR (İkincil Gözlem Radarı, Secondary Surveillance Radar) kullanımında artık hava araçları hem havadaki diğer nesnelerden ayırılabilmekte hem de uçakların her türlü uçuş bilgilerini de elde ederek birbirlerinden ayırılabilmektedir. Radar sistemleri kapasitesinin bu şekilde gelişmesi hava trafik sisteminin kapasitesini doğrudan ve büyük farklar yaratacak şekilde etkilemektedir.

Yer bazlı seyrüsefer yardımcılarının ardından uydu bazlı seyrüsefer yardımcısı olan GPS teknolojisi ile seyrüsefer yardımcılarının hata payları düşmüş böylelikle çok daha hassas şekilde seyrüsefer yapılabilmektedir.

2.6.4.3. İnsan faktörleri

Hava trafik sisteminin kontrol edilemeyen bileşeni insandır. İnsan doğası gereği eşsiz becerilere sahip iken bu becerileri ortaya koyma konusunda birbirleri arasında çok yüksek farklılıklar göstermektedirler. Diğer yandan bir insan için inceleme yaptığımızda da hata yapma olasılığı bulunduğu koşullara göre büyük değişiklik göstermektedir. Hava trafik sisteminin istikrarlı ve düzenli yürütülebilmesi için insan faktörleri çok önem arz eden bir konudur. Bu açıdan insan performansının en yüksek düzeye çıkarılabilmesi ve o düzeyde tutulabilmesi için sürekli çalışmalar yapılmaktadır.

İnsan performans farklılıklarının ortadan kalkması için ilk önce benzer özelliklerdeki personelin seçilmesi ve belirli standartlara sahip eğitimden geçirilmesi gereklidir. Çalıştığı alandaki görevleri yerine getirme becerisine sahip bireyler yetiştirilerek uygun çalışma koşullarında çalıştırılmalıdır. Çalışma ortamının çalışanların performanslarını pozitif etkileyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

İnsan faktörlerini en aza indirmeyi hedefleyen çalışma düzenleri oluşturulmaktadır. Bu çalışma düzenleri kimi zaman personelin dinlenme saatinin planlaması şeklinde iken kimi zaman çalışma ortamının konsantrasyonunu arttıracak şekilde tasarlanması ve teknolojik desek ile birlikte işinin kolaylaştırılması şeklinde olmaktadır. Hava trafik sisteminde teknoloji desteği çağımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Teknoloji yatırımları hava trafik

kontrolörlerinin iş yükünü azaltmak ve emniyeti arttırmak için oluşturulmuş olsa da elde edilen bir diğer önemli fayda da kapasite artışı olmaktadır. Ülkemizde gerçekleştirilen teknoloji yatırımına en büyük örnek SMART projesidir. Bu proje ile Türkiye hava sahası radar hizmetleri verilen merkezlerin ve bazı meydan kontrol kulelerinin modernizasyonu yapılmıştır [26].

Diğer yandan teknoloji ne kadar gelişirse gelişsin teknik donanımları kullanan yine insandır. Bu sebeple hava trafik sistemi içerisinde görev alan personelin seçim, eğitim ve çalışma süreçlerinin çok titizlikle tasarlanması gerekmektedir. Yüksek teknolojiliye sahip ancak düşük nitelikli personelle idare edilen bir hava trafik sisteminden verim alınamayacaktır.

2.6.4.4. Hava sahası kapasitesi

Hava sahası kapasitesi hava sahasında birim zamanda hizmet verilen trafik sayısıdır. Hava sahası kapasitesi içerisinde uygulanan prosedürlere bağlıdır. Hava sahası kapasitesi taleple de ilişkilidir. Talebin sıklığı ise saatlik kapasiteyi etkilemektedir.

Hava trafik kontrol hizmeti verilen bir hava sahasında kapasite problemi olup olmadığı, talebin artışı ile ortaya çıkmaktadır. Tüm hava trafik sisteminin temel problemi kapasite olup, çözümü için farklı arayışlar sürmektedir. Bu çalışmalar sonucunda Avrupa'da hava sahası kapasitesinin geliştirilebilmesi için azaltılmış dikey ayırma standardı (RVSM, Reduced Vertical Seperation Mimima) uygulanmaya başlanmıştır. RVSM ile birlikte düz uçuş safhasında uçaklar arasında olması gereken minimum dikey uçuş yoğunluğunun da yüksek olduğu 29.000-41.000 ft arasında ayırma 2.000 ft'ten 1.000 ft'e düşürülmüştür. Böylelikle hava sahası kapasitesinde artış sağlanmıştır [27].

Kapasite problemi yoğun talebin gerçekleştiği zaman dilimlerinde ortaya çıkmaktadır. Talebin zaman içine yayılması ile bu problem çözülebiliyorsa kapasite geliştirme çalışmaları yapmak yerine talebin saatlerini düzenlemek daha uygun olacaktır. Sistemin verimini arttırabilmek için öncelikle geliştirilebilecek en düşük maliyetli çözüm uçuşların akış planlamasının yapılması yani hava trafik akış yönetimi uygulaması ile olası iyileştirmeye gidilmesidir.

Ancak o hava sahasına gerçekleşen talep planlamasına rağmen tıkanıklıklar oluşuyor ve belirli saat diliminde daha fazla uçuşa hizmet verilerek maddi kazanç sağlanacağı belirlenmişse kapasite çalışmaları belirli yatırımlar yapılıp iyileştirme sağlanarak sistemin verimi arttırılabilir. Gerçekleşen talebin belirli bir zaman dilimine yığılması durumunda gecikmeler meydana geliyorsa ya da bu durum gelecek tahminleri doğrultusunda öngörülüyorsa hava sahası kapasite problemi ortaya çıkmaktadır. Bu durumda hava sahası kapasitesini etkileyen faktörler ve sistem gözden geçirilerek kapasiteyi kısıtlayan sebepler belirlenir ve çözüm önerileri geliştirilir.

Bu çalışmaların geliştirdiği öneriler küçük ya da geniş bütçeli yatırımlar gerektirebilir. Bu yatırımların hesaplanmış getireceği kazancı doğrultusunda uygulamasına karar verilir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

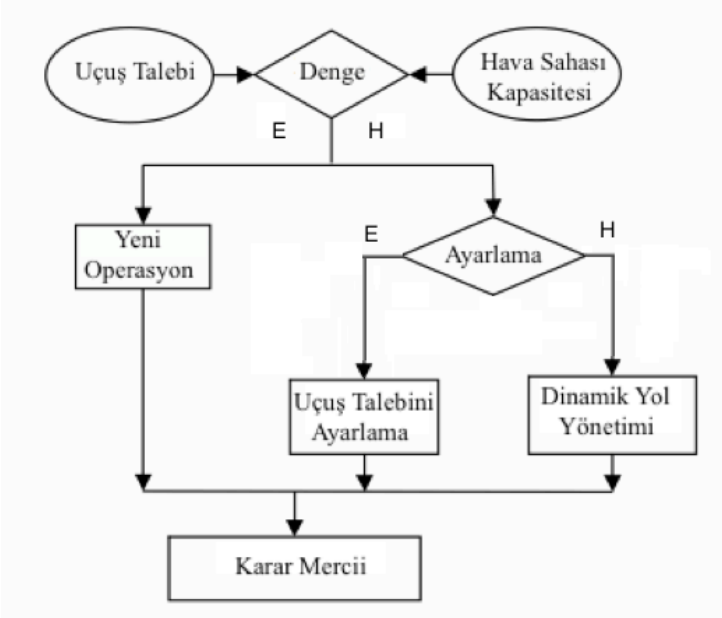
Terminal kontrol sahası ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde modellemeler ve prosedür geliştirme çalışmaları dikkati çekmektedir. Prosedür geliştirme çalışmaları bu tez kapsamı dışında olduğundan modellemeler üzerinde durulacaktır. Yapılan modelleme çalışmaları matematiksel modellemeler ve simülasyon modelleri olarak iki grubu ayrılabilmektedir. Yapılan bu tezin kapsamında dinamik hava sahası yapısı yer aldığından yapılan literatür araştırmasında dinamik yapılara ayrı bir yer verilmesine karar verilmiştir.

3.1. Dinamik Hava Sahası Yapıları

Bu çalışmanın konusu olan terminal kontrol sahası dinamik kapı yapısına literatür çalışması sırasında rastlanmamıştır. Literatür çalışmasında hava sahası içinde bulunan hava yollarının ya da sektörlerin dinamik olarak yapılandırılması ile ilgili çalışmalar açıklanmıştır. Bu çalışmaların temel yaklaşımları bakımından terminal hava sahası giriş kapılarının dinamik yapı çalışmasına ışık tuttuğu düşünülmektedir. Bu anlamda yürütülmesi düşünülen çalışma ortaya çıkarılacak ilk çalışma olacaktır.

Yapılan pek çok hava sahası çalışması hava sahası kaynakları ile uçuş talebinin dengesini sağlamak üzerinedir. Hava trafik akış yönetiminin de temel amacının bu olduğu göz önüne alındığında bu çalışmaların hava trafik akış yönetimi çözümleri üzerine olduğu söylenebilir. Dinamik yol yönetimi trafik talebine göre yolların açılması ya da kapatılması üzerinedir. Dinamik hava sahası çalışmaları, hava trafik akış yönetimine en iyi çözümün bu şekilde getirilebileceğini belirtmektedirler. Lanshou ve arkadaşlarının 2010 yılında yapmış oldukları “Dynamic Air Route Management Based on Flight Demand”

çalışmasında talebe dayalı dinamik hava yolu tahsisi problemine optimizasyona dayalı bir yöntemle yaklaşmışlardır. Bu yöntemde maliyete dayalı bir hedef fonksiyon ortaya konulmuş ve en kısa meşguliyet süresi ve yeni yol tahsis giderleri problemin kısıtlayıcıları olarak ele alınmıştır. Bu model elektrik güç dağıtım şebekelerinde kullanılan birim taahhüt probleminden (UCP, Unit Commitment Problem) esinlenerek geliştirilmiştir. Çalışma uçuş talebi ile mevcut kapasiteyi koordine ederek hava sahasının maksimum kullanımını ve uçuş bekleme maliyetinin düşürülmesi üzerine yoğunlaşmıştır.



Şekil 3.1. Hava sahası kapasitesi dengesi [28]

Yapılan bu çalışmada Şekil 3.1.'de gösterilen algoritma ile hava sahası çözümünün sorgulanması yapılmaktadır. Ayrıca geliştirilen matematiksel modelleme ile dinamik yol çoklaması yapılmaktadır. Hava sahası kapasitesinin en verimli şekilde kullanımı ve uçuş beklemelerinden kaynaklanan maliyetin azaltılması bakımından hava sahası yöneticilerine karar almada kolaylık sağladığı belirtilmektedir [28].

Sınırları belirli statik sektörlerden oluşan mevcut hava sahası konfigürasyonu, her geçen gün artan hava trafiğine sınırlı sayıda hava trafik kontrolörü kaynağı ile hizmet vermek durumunda olduğundan, operasyonlarda ciddi gecikme ve tıkanıklıklar yaşanmaktadır. Bu sorunları gidermek üzere ortaya konulan çözümlerden biri de A.B.D'de NextGen programı kapsamında geliştirilen, Dinamik Hava sahası Konfigürasyonu (DAC-Dynamic Airspace Configuration) kavramıdır. Dinamik Hava sahası Konfigürasyonu temel olarak uçuşların sektörlere ve hava trafik kontrolörlerine dengeli şekilde dağıtılmasına yönelik olarak geliştirilen dinamik atama algoritmalarını içermektedir [29].

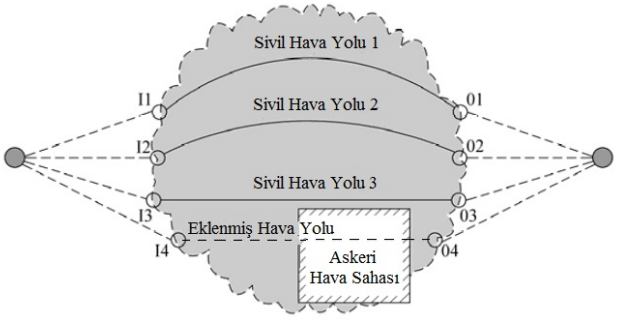
Webb ve ark. [29] hava sahası bölümlendirilmesi, fonksiyonel uzay bölümlendirmesi ve iteratif algoritmalar olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırdıkları bu algoritmaların uygulanabilmesi için kaynak atama sıklığı, karar kriterleri, operasyon koşulları ve teknik altyapı gereklilikleri açısından değerlendirilmeleri gerektiğini ilgili eserlerinde vurgulanmışlardır.

Dinamik hava sahası konfigürasyonu üzerine geliştirilen çalışmaların büyük çoğunluğunun saha kontrol hava sahası problemlerine yönelik olmasına karşın, Michalek ve Balakrishnan [30], bu yaklaşımı terminal kontrol sahalarına uyarlamışlardır. İlgili çalışmada Atlanta Hartsfield-Jackson Havalimanı etrafındaki terminal kontrol sahasının geliş ve gidiş noktalarını ve rotalarını hava durumuna göre yeniden konumlandıran tamsayı programlamaya dayalı bir model sunulmuştur [30].

Dinamik hava sahası konfigürasyonuna ilişkin modellerin gerçek hava trafik ortamında etkili şekilde uygulanabilmesi, bu modellerin hava trafik kontrolörlerini iş yükü üzerinde etkilerinin incelenmesini gerektirmektedir. İş yükü öznel bir kavram olmakla beraber hava sahası yapısının karmaşıklığına göre

değişim göstermektedir. Hava sahası karmaşıklığını etkileyen ölçütlerin belirlenmesi, ölçümü ve tahmini üzerine yapılan çalışmalarda ortaya konulan başlıca model ve ölçütler Koperdekar ve ark. [31] tarafından özetlenmiştir.

Geng ve Cheng 2007 yılında yapmış oldukları "Dinamic Air Route Open-Close Problem for Airspace Management" çalışmalarında dinamik hava sahası yapısı içerisinde hava sahalarının ihtiyaçlar doğrultusunda açılıp kapatılması üzerine benzetim modeli kullanılarak bir çalışma ortaya koymuşlardır. Bu çalışma bilgisayar yazılımı kullanılarak maliyet ve işgal süresini en aza indirmeye çalışır. Tipik askeri ve sivil hava sahası kullanıcıları vardır. Geleneksel hava sahası yönetim stratejisinde olduğu gibi uzun vadeli taleplere göre hangi kullanıcı hangi hava sahasını sıklıkla kullanıyorsa o sahayı ona tahsis etmek yerine ihtiyaçlar doğrultusunda dinamik olarak kullanıcı değişikliğinin yapılmasını hedeflemektedir. Bu çalışma, yapılan diğer çalışmalarda kullanılan benzetim araçlarından farklı olarak, elektrik güç sistemlerinde kullanılan bilgisayar yazılım modellerini hava sahasına uyarlamaktadır. İlgili hava sahasının kullanımı sırasında karşılanması gereken maliyetin hesapları da yapılmaktadır. Bir sektörün açılmasının maliyeti, açık kaldığı süre cinsinden ifade edilmekte ve sektörün açılması haline ortaya çıkan personel maliyeti incelenmektedir. Şekilde gösterilen üç yol ve bir askeri çalışma sahasından oluşan bir hava sahası üzerinde çalışılmıştır (Şekil 3.2). Her yol farklı kapasiteye sahip, açılış ve kullanış maliyetleri de farklıdır. Bu şekilde maliyetlerine ve ihtiyaca göre yolların kullanıcılara tahsisi yapılmaktadır [32].



Şekil 3.2. Geng ve arkadaşları hava sahası çalışması [32]

Geng ve arkadaşlarının 2009 yılında yaptıkları bir diğer "Dynamic Air-Route Adjustments Model, Algorithm and Sensitivity Analysis" başlıklı çalışmalarında dinamik hava yolu düzenlemesi (DARA, Dynamic Air-route Adjustment) uygulanmıştır. Çalışmada sivil hava sahasında meydana gelen geçici yoğunluk dönemlerinde, askeri hava sahasında geçici yol açılabilmesini sağlamaktadır. Yapılan bu çalışma FUA konsepti ile yakından ilişkilidir. Hava sahasını esnek olarak kullanmaya odaklanmış ve hava sahasını sivil ve asker trafikler arasında ihtiyaç doğrultusunda paylaştırmıştır. Çalışmada yöntem olarak sezgisel algoritma kullanılmıştır. Aşamaları şu şekildedir. Alt yapı ağı seçimi ve yolların açılış kapanış zamanlarını belirlemek, seçilen alt yapılara gelen uçuşların tarifelendirilmesi, tarifelendirilen uçuşların yeni planlarında beklenilen fayda sağlanıp sağlanmadığını kontrol eden geri dönüş kriterleri, yapılan yeni tarifelendirmenin en iyi sonuçları ile eski durumun arasında %2'lik bir fark varsa yeterli bir fayda sağlanamayacağı için sürecin iptal edilmesinden oluşmaktadır. Arama ağacı modellerinden farklı olarak bu arama ağacı modelinde aynı düğüm farklı seviyelerde bulunmaktadır. Düğümler aynı geçici ağda bulunmakta fakat farklı seviyelerde farklı açılış kapanış saatleri gerçekleşmektedir. Sonuçlar elde edildiğinde yeni açılan yolların açılış ve kullanım maliyetleri açısından

değerlendirilir. Senaryolara göre toplam maliyet, toplam gecikme süresi ve toplam kullanım süresi gibi veriler elde edilir [33].

Klein ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış oldukları "Simplified dynamic density: A metric for dynamic airspace configuration and NextGen analysis" isimli çalışmalarında gelecekte kullanılacak dinamik hava sahası konfigürasyonlarının analizleri için basitleştirilmiş gerekli olan yeni ölçütlerin tanımlanması üzerine çalışmışlardır. Çalışma içerisinde dinamik yoğunluğu basitleştirerek özellikle gelecekteki sistem analizlerinde hızlı benzetimlerde daha yararlı bir ölçüt yaratmaya çalışmaktadır. Geleneksel olarak kullanılan metrikler; sektör meşguliyet miktarı, bilişsel iş yükü, hava sahası karmaşıklığı dinamik yoğunluğu olarak sıralanmıştır. Önceden planlanmış sektörlerin birleştirilmesi ya da ayrılması üzerinde yapılmış dinamik yapı incelenmiştir. Hava koşullarına veya trafik talebinin durumuna göre sektör yapılandırılması gözden geçirilmektedir. Ölçütler sadece sayı ile belirlenmemeli aynı zamanda trafik karmaşıklığı ile belirlenmeli görüşüne yer verilmiştir. Hızlı zamanlı benzetim sistemlerinin yeterince iyi yansıtmadığı, geleceğe yönelik sitemlere bakarken gerçek zamanlı benzetim modellerinin de kullanılması gerektiği savunulmaktadır [34].

Klein ve arkadaşlarının 2008 yılında yaptıkları bir diğer çalışma "Dynamic FPAs: A new method for dynamic airspace configuration" olup dinamik hava sahası konfigürasyonlarının tasarımında ve operasyonda dinamik olarak değiştirilebilen koridorların (FPA, Fix Posting Area) kullanımı üzerine bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yöntemle optimizasyona dayanan dinamik sektörleme yöntemlerinde önerdiği sürekli sınır değişiklikleri yerine ihtiyaç halinde kullanılacak küçük koridorların açılması ilkesine dayanmaktadır. Bu yaklaşımla talebin yoğun olması durumunda sektörlerin sınırlarında önceden

tanımlanmış bir ya da birkaç geçiş koridorunun açılması sağlanmakta talebin belirli bir noktanın altına düşmesi durumundaysa bu koridorlar tekrar diğer sektörlere dahil olmaktadır. Değişiklikler 15 dakikalık zaman aralıklarında güncellenmektedir. Yoğunluğun belirlenmesi karar sürecinde trafik adedi sektörün izleme ve ikaz parametresi olarak kullanılmıştır. Parametrenin limitleri kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Anlaşılması kolay ve uygulanabilir bir yöntem olup hızlı uygulanabilmektedir [35].

Dinamik hava sahası konfigürasyonu oluşturmak için statik ve dinamik sektörleme olmak üzere iki temel yaklaşım ortaya konulmuştur. Statik sektörleme hava sahasını meydana getiren sektörlerin sınırlarının mevcut trafik verileri referans alınarak belirli aralıklarda (günlük, aylık, yıllık vb) bir defalığına yeniden çizilmesi sürecidir.

Kulkarni ve ark. [36] ilgili kaynakta statik sektörleme konusunda ortaya konmuş başlıca algoritmaları inceledikten sonra, yaklaşık dinamik programlama (Approximate Dynamic Programing) yöntemine dayalı olarak geliştirilen statik sektörleme algoritmasını Dallas (ZFW) Yol Trafik Kontrol Merkezi'nin sorumlu olduğu hava sahası üzerinde uygulamışlardır.

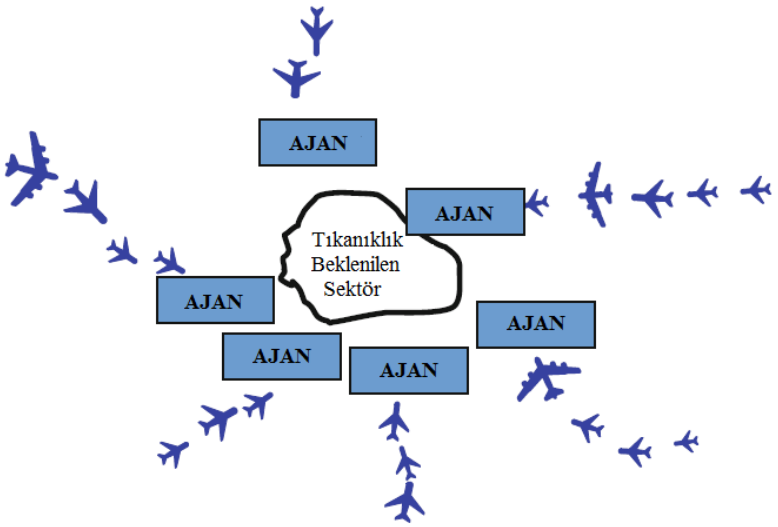
Dinamik sektörleme ise, trafik verilerine göre, ihtiyaç halinde, sektörlerin temel geometrisine dokunmadan, bitişik sektörlerin bölünerek ya da birleştirilerek yeniden düzenlenmesi süreci olarak tanımlanabilir [37].

3.2. Matematiksel Modellemeler

Kalkış uçaklarının gecikme dağılımlarını tahminlemek için geliştirilmiş bir modeli inceleyen bir çalışma yapılmıştır. Gecikme dağılımları, hava trafik çakışmalarını tespit etmekte kullanılan bazı modellerde ilgili hava sahasının

karakteristiğinin modele yansıtılması açısından önem taşımaktadır. Genetik algoritma ile oluşturulan bu model yerel optimizasyon problemlerini inceleyen çalışmalara karşın bir küresel optimizasyon versiyonudur. Bu çalışma Denver Uluslararası Havalimanı'ndan alınan uçuş kayıt bilgileri ile yapılmıştır [38].

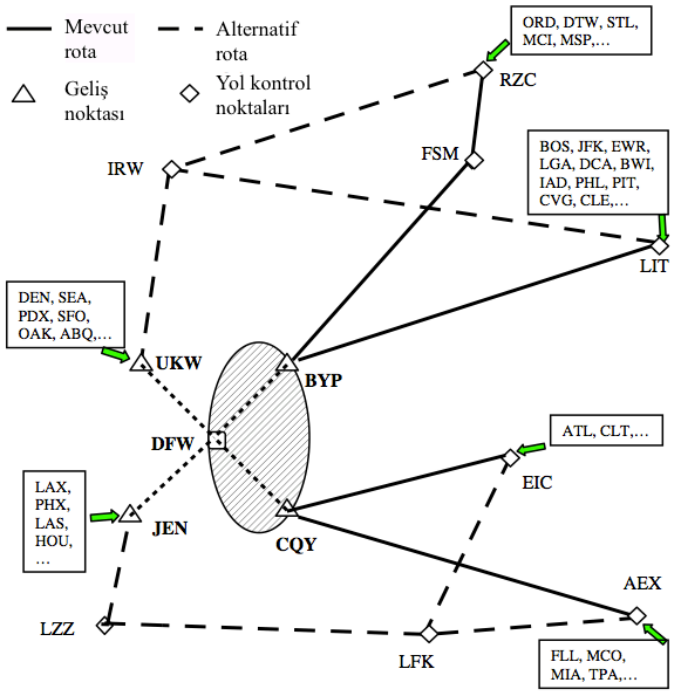
Crespo ve Weigang'ın 2010 yılında yaptıkları "Agent Evaluation Function Considering Airspace Dynamic Density" çalışmasında, hava trafik yönetimi senaryolarını değerlendirmek için trafik sayısı ve dinamik yoğunluk ölçütleri ile bir yapay zeka ajan metodolojisi geliştirmişlerdir. Analizler, trafik sayısının aynı olduğu senaryolarda dinamik yoğunluk ölçütünün kullanımının daha avantajlı olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 3.3) [39]. Hava trafik akış yönetiminin geliştirilmesine yönelik yapılan bir başka çoklu yapay zekâya dayalı ajan uygulamasını konu alan "A Multiagent Approach to Managing Air Traffic Flow" çalışması, Agogino ve Tumer tarafından 2010 yılında gerçekleştirilmiştir. Sistemdeki her bir düğüm noktası için tanımlanan ajanlar üç farklı eylem (uçaklar arasında ayırma yapmak, yerde bekletmek ve yeni rota tahsis etmek) yapabilme kabiliyetine sahiptir. Bu ajanların amacı, uzlaşma ve öğrenme yollarını kullanarak seçecekleri lokal eylemlerle sistem bütünündeki tıkanıklıkları en aza indirmektir. Önerilen bu sistemin temel avantajı mevcut sistemlere kolaylıkla uyarlanabilecek olmasıdır [40].



Şekil 3.3. Hava sahası etrafındaki çoklu ajana dayalı hava trafik yönetimi mimarisi [40]

Mukherjee ve Hansen'in yaptığı çalışmada yol yapılandırmasının dinamik olarak değiştirilmesi üzerine Dallas Fort-Worth Uluslararası Havalimanı çalışma sahası olarak seçilmiş ve matematiksel bir model geliştirilmiştir. Böylelikle hava sahası kapasitesinin arttırılarak yer beklemelerinin azaltıldığı belirtilmektedir. Alternatif yol ağı şeması Şekil 3.4'daki gibidir [41].

Temel olarak kontrolör iş yüküne bağlı bir kavram olan hava sahası karmaşıklığı, hava sahası sektörlerin kapasitesini de doğrudan etkilemektedir. Bu anlamda, Song ve ark. hava sahası karmaşıklığında farklılıklara neden olan trafik akış değişimlerini örüntü tanıma teknikleri yardımıyla tespit ederek sektör kapasitesini tahmin eden bir model ortaya koymuşlardır [42].



Şekil 3.4. Mukherjee ve Hasen'in hava sahası dinamik yol yapılandırması [41]

Wang ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları "Preliminary Assessment Of Operational Benefits For A Graph-Based Dynamic Airspace Configuration Algorithm" çalışmalarında dinamik hava sahası konfigürasyonu için geliştirmiş oldukları grafik tabanlı algoritmanın operasyonel faydalarını gerçek zamanlı verilerle Klivent saha kontrol merkezindeki trafiğe uygulayarak sınamışlardır. Bu uygulamada sektör sayısı, sektördeki uçak sayısı ve bu uçakların sektörde kalış süreleri inceleme ölçütleri olarak kullanılmıştır [43].

3.3. Simülasyon Modelleri

Wang ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptıkları "Simulating The Impact Of Gate Operation Disruptions And Mitigation Strategies On Gate Delay" çalışmasında hava alanları yerdeki kapı (uçak park yeri pozisyonları) operasyonlarındaki aksaklıkların etkilerini benzetim modellerine dayalı olarak

inceleyerek kapılarda oluşan gecikmeleri azaltma yöntemleri üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada benzetim modeli oluşturulmasında faktöriyel dizayn kullanılmıştır. Benzetim planlaması yapılırken aksamalara sebep olan nedenler faktöriyel tasarımda kullanılmıştır. Benzetimde geliş zamanı sapması ve kapı engelleme zamanı olmak üzere iki adet stokastik faktör kullanılmıştır [44].

Lee ve Balak'ın 2008 yılında yaptıkları "A Study of Tradeoffs in Scheduling Terminal-Area Operations" çalışmasında terminal kontrol sahası operasyonlarının planlanmasında çeşitli takasları belirlemek için dinamik programlamaya dayanan bir algoritma kullanarak minimum maliyetli geliş planlamasını belirli uçağa bağlı maliyetler için incelemişlerdir. En çok operasyon ve en az ortalama gecikme programları karşılaştırılmış ve operasyon sayısını arttırmanın ortalama gecikmelerinde artışa sebep olacağı, gecikmelerin azaltılmasında ise pek çok durumda daha avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Yakıt maliyetleri ve operasyon sayısı ve operasyon maliyetleri arasındaki ilişkilerde incelenmiştir. Bu takas analizi yakıt ya da operasyon maliyetlerini azaltmanın yapılan operasyon sayısında çok büyük düşüşlere sebep olmadığı görülmüştür. Bunun yanında operasyon sayısını arttırmanın da yakıt ve operasyon giderlerinde orta halli artışlar yaşattığı görülmüştür [45].

Harris ve arkadaşlarının 2006 yılında gerçekleştirdikleri "Preliminary Design Analysis of Dynamic Airspace Super Sectors DASS" çalışmasında dinamik hava sahası süper sektörleri denilen kavramın üzerinde durarak bunun tasarım analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu kavram uçuş talebinin yüksek olduğu havaalanları arasında (günlük 60 uçuş operasyonu ve fazlası için) ortak uçuş koridorları kurulmasına dayanmaktadır. Talebin yüksek olduğu bu koridorların tanımlanması hava trafik akışını daha yönetilebilir bir hale sokacağı, tıkanıklıkları

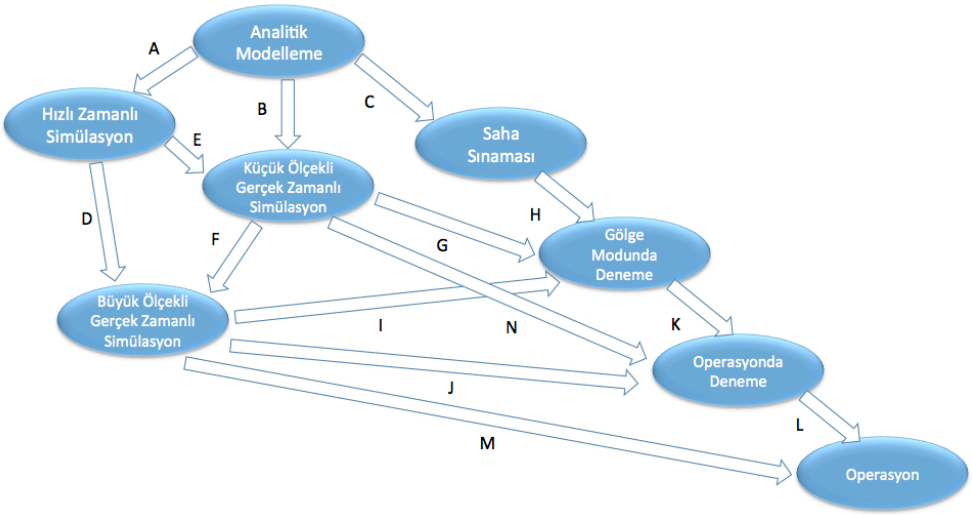
düşüreceği ve hava trafik kontrolör iş yükünü azaltacağı düşünülmektedir. Hızlı zamanlı benzetim modellerinde yapılan ön çalışmalara göre dinamik hava sahası süper sektörleri kavramının gelecek için etkili bir alternatif çözüm olabileceği gösterilmektedir [46].

4. MODEL

Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin en yoğun hava trafiğine sahip Yeşilköy terminal hava sahası yapısı simülasyon modeli ile incelenmiş ve gerçekleşen tıkanıklıklar için çözüm önerisi geliştirilmiştir. Yeşilköy TMA yapısı gereği birden fazla uluslararası havalimanına hizmet veren karmaşık yapıya sahip, yoğun trafik talebinin olduğu bir hava sahasıdır. Bu hava sahasının incelemesi hızlı zamanlı simülasyon aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Hızlı zamanlı simülasyon programı olarak SIMMOD (The Airport and Airspace Simulation Model, Havaalanı ve Hava Sahası Benzetim Modeli) kullanılmıştır.

4.1. Hava Trafik Yönetiminde Simülasyon

Hava Trafik Yönetim sistemleri, küresel boyutta birbirleriyle sıkı bir etkileşim içinde bulunan oldukça karmaşık hizmet ağlarını içermektedirler. Hava taşımacılığı sistemindeki hızlı talep artışı ve teknolojik gelişim tüm bu mevcut sistemlerin sorgulanarak yeniden yapılandırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu amaçla ortaya konulan yeni hava trafik kavramlarının araştırılması, değerlendirilmesi ve geçerliliklerinin sınanması konularında yoğun şekilde emniyet, kapasite ve verimliliğe ilişkin birçok konuyu ve ölçütü içeren modellere ve bilgisayar destekli araç ve yardımcılara ihtiyaç duyulmaktadır [47]. Yeni bir hava trafik yönetimi kavramının değerlendirilmesi ve sınanmasına ilişkin yöntemsel ana hatlar Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Hava Trafik Yönetim sisteminin incelenmesi ve sınanmasına ilişkin genel stratejiler [48]

Söz konusu yeni kavram sistemin stratejik boyutta incelenmesini gerektiriyorsa, genellikle çalışmanın ilk adımı ilgili sistemin davranışını matematiksel olarak temsil eden bir analitik modelin oluşturulmasıdır. Analitik modeller sistem hakkında genel bir bakış sağlayarak araştırmacılara ilke analizi ve maliyet-fayda karşılaştırmaları gibi konularda katkı sağlarlar. Ancak bu modellerin taktiksel ve operasyonel detaylardan yoksun olmasından dolayı çoğunlukla doğrudan saha uygulanmaları mümkün değildir. Bu nedenle yeni kavramların daha yüksek detay seviyesi gerektiren taktiksel ve operasyonel davranışlarının incelenmesi için simülasyon tekniklerine başvurulur.

Simülasyon karmaşık gerçek dünya sistemlerinin zamana göre davranışını tahmin etmek için o sistemleri temsil eden fiziksel veya matematiksel modeller kullanarak analiz eden bir dizi yöntem ve teknikler bütünüdür [49]. Simülasyon modelini geliştirmede ve model evreninin karakteristiğini değerlendirirken genellikle bilgisayar yazılımları kullanılmaktadır. Hava trafik

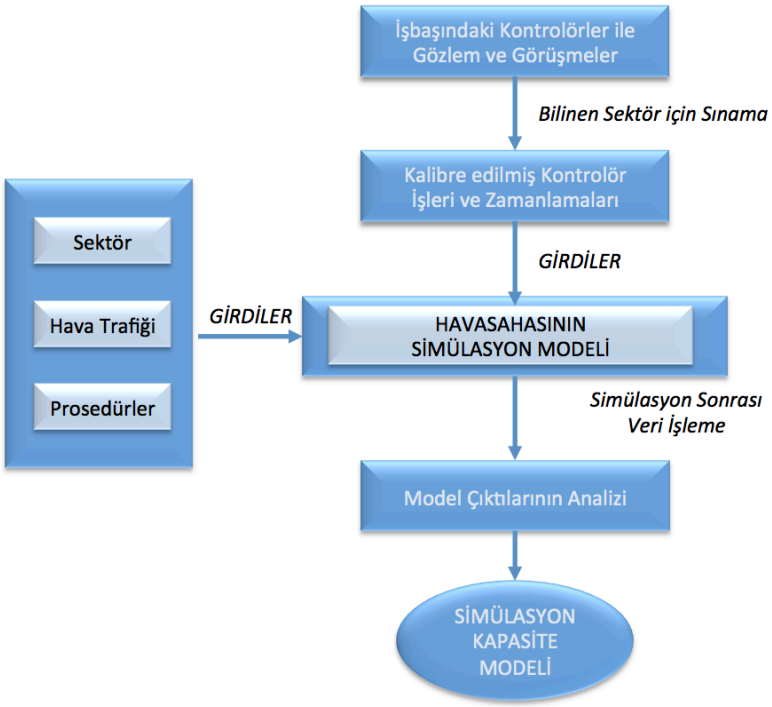
yönetimi araştırmalarında temel olarak gerçek zamanlı ve hızlı zamanlı olmak üzere iki tip simülasyon yöntemi bulunmaktadır.

Gerçek zamanlı simülasyonlar tipik olarak insanın da simülasyon döngüsüne dâhil edildiği uygulamalı araştırma yöntemleridir. Eğitim ya da araştırma amaçlı kullanılan bu yöntem hem ilgili hava trafik ortamının (örneğin; radar ya da meydan kontrol ünitesi) fiziksel temsilinin (çalışma pozisyonları, telsiz ve ekran sistemleri vb.) hem de hava trafik işleyişini temsil eden bilgisayar yazılımı ve görüntüleme sistemlerini içermektedir. Gerçek zamanlı simülasyon yöntemi, başta insan faktörü olmak üzere gerçek hava trafik ortamına dair birçok detayı içerdiği için gerçek operasyon ortamına oldukça yakın sonuçlar verebilmektedir. Ancak gerek yüksek yatırım ve operasyon maliyeti ve gerekse uzun süreç alan simülasyon zamanı gerektirmesi nedeniyle her zaman tercih edilmemektedir.

Hızlı zamanlı simülasyonlar incelenen sistemin belirli noktalarındaki trafik akışını izleyerek sistemin davranışını hızlı şekilde ortaya koymaya yardımcı olur. Bu simülasyon tekniğinde bir hava trafik sistemi üzerinde deney yaparken gerçek hava trafik kontrolörü çalıştırmak zorunda kalınmamaktadır. Hızlı zamanlı simülasyon yöntemine dayalı temel olarak üç teknik bulunmaktadır. Bunlar Monte-Carlo Simülasyon, Sürekli Zamanlı Simülasyonlar ve Kesikli Olay Simülasyonları'dır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı yüksek güvenilirliği, hem skolastik hem de deterministik sistemleri analiz yeteneği ve sistemin dinamiği hakkında araştırmacıya iyi dönüt vermesinden dolayı kesikli olay simülasyon tekniğidir. Dünyada kesikli zaman simülasyonu gerek havacılık gerekse diğer sistemler üzerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. A.B.D. ve Avrupa'daki kuruluşlar kesikli olay simülasyonuna dayalı farklı kapasite

modelleri geliştirmiştir. Bunlardan en yaygın olanları SIMMOD, TAAM (Total Airport and Airspace Model - Toplam Havaalanı ve Hava Sahası Modeli) ve RAMS (Re-organized ATC Mathematical Simulator - Yeniden Yapılandırılmış Hava Trafik Kontrol Matematiksel Simülatörü) uygulamalarıdır [47,50,51].

Hava trafik yönetim sistemine ilişkin çalışmalarda kullanılan simülasyon yönteminin adımları Şekil 4.2'de verilmiştir. Simülasyon yönteminin ilk adımı ilgili sistemi yeterli detay seviyesinde temsil edecek modelin kurulması için yapılan veri toplama aşamasıdır. Bu adımda modellenecek hava sahasını oluşturan sektör, nokta ve yolların coğrafi konumları; yıllık, günlük veya saatlik trafik istatistikleri; mevcut ve uygulanması planlanan hava sahası kural ve prosedürlerine ilişkin veriler simülasyon girdilerini oluşturmak üzere toplanır. Bu verilerin yanı sıra modelin önsel olarak sınanması ve geçerliliği için gerekli girdiler ilgili hava trafik biriminde yapılan gözlem, görüşme ve ölçümler yardımıyla toplanır. Bu girdiler çerçevesinde oluşturulan simülasyon modeli sınama ve doğrulama amacı olarak koşturulur. Yeterli hassasiyet sağlandıktan sonra model mevcut ve alternatif senaryo çıktıların üretmek üzere koşturulur. Çıktılar simülasyon sonrası bir dizi veri işleme sürecine tabi tutularak analiz edilir.



Şekil 4.2. Simülasyon Yönteminin Adımları [48]

4.2. SIMMOD Modelinin Tanımlanması ve Kurulması

Bu çalışmada hava sahasının hızlı zamanlı simülasyon modeli için SIMMOD programı kullanılmıştır. SIMMOD Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ATAC firması tarafından geliştirilen havaalanı ve hava sahası modellemesi amacıyla üretilmiş bir kesikli zaman simülasyon modelidir [52]. SIMMOD hava sahası ve havaalanı modeli tasarımlarında kullanılmak üzere tasarlanmış dünyada da yaygın olarak kullanılan bir araçtır.

SIMMOD programında oluşturulan hava sahası modeline girdi olarak hava yolları ve uçaklar tanımlanmaktadır. Uçak performans verileri program içerisinde tanımlanmıştır. Gerek duyulduğu takdirde bu parametreler değiştirilebilir ya da yeni performans verileri yaratılabilmektedir. Model çıktıları olarak tasarlanan her bir noktadaki ve toplam sistemdeki gerçekleşen uçuş

zamanları ve gecikmeleri verilmektedir. Bu veriler ile hava sahasının gecikme analizi yapılabilmektedir. Ayrıca belirli saat aralıklarında hizmet verilen uçak sayısı model raporu olarak verilmektedir. Belirli saat aralığında hizmet verilebilen uçak sayısı hava sahası kapasitesi olarak değerlendirilmektedir.

SIMMOD programı hava sahası yapılandırılmasında hava sahasının her bir elemanının model üzerine bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Bir hava sahası tasarlandığında o hava sahası içinde uçuşların inişini gerçekleştireceği havaalanının ve tüm geliş yollarının tanımlanmış olması gerekmektedir. Bu sebeple bir hava sahası modellenirken öncelikle havaalanı yapısının kurulması gerekmektedir. Kullanıcı için havaalanı yapısındaki önem arz eden tüm elemanların belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin hava sahası analizi yapılacak bir model için havaalanı içindeki taksi yolları ve park pozisyonları ayrıntılı şekilde önemli ise tüm bilgilerin girilmesi gerekirken havaalanı kapasitesinin çalışma sonuçları için esnek olabileceği kabul ediliyorsa havaalanı tanımlamaları kısıtlı olarak tanımlanabilir. Hava sahasında yaklaşma yapılacak pist/pistler ve sadece bu pistlerin yaklaşma ve pas geçme prosedürleri tanımlanarak inceleme gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada havaalanı yapısı ayrıntılı şekilde incelenmemiştir. Her havaalanı için belli pist oryantasyonları seçilmiş ve bu oryantasyonlar için gerekli çizimler gerçekleştirilmiştir. Pist oryantasyon, pist başı, meydan koordinat bilgileri için 2011 yılındaki Türkiye AIP'si temel alınmıştır [11].

Havaalanı ve son yaklaşma prosedürü tanımlandıktan sonra bu yaklaşmanın yapılacağı yollar model üzerinde tanımlanır. Oluşturulan model gerçek bir hava sahası üzerinde uygulama ise her bir hava sahası noktasının koordinat verisi girilerek model üzerindeki "düğümler" oluşturulmalıdır. Kesikli

zaman simülasyonu prensibi ile çalışan SIMMOD modelinde bu düğümler büyük önem arz etmektedir. Tüm uçuşlar oluşturulan bu düğümler arasında gerçekleştirilmekte ve raporlar, gecikmeler bu düğümler aracılığı ile ortaya çıkmaktadır. Her düğüm için uçakların hangi irtifada olması gerektiği belirlenmelidir. Uçuşlar bu belirlenen seviyelere göre alçalma hareketlerini gerçekleştireceklerdir. Örneğin; hava sahası içinde bulunan bir mania sebebiyle uçuşun o coğrafi koordinatta hangi seviyede olması gerektiği model oluşturulurken sisteme girilmelidir. Hava sahası içindeki tüm noktalar birer düğüm olarak tanımlandıktan sonra bu düğümler arasında uçuşun düzenleneceği hava yolları tanımlanmalıdır. Düğümler arasında tanımlanan hava yollarının bilgileri gerçeğe uygun olmalıdır. Örneğin; yollar tek yönlü ise yönü ile birlikte girilmeli, çift yönlü ise sistemde çift yönlü olarak tanımlanmalıdır. Bu yollarda gerçekleştirilecek uçuş hareketinin tırmanma, alçalma ya da düz uçuş hareketi olarak tanımlanması gerekmektedir.

Tanımlanan bu yollardan uçuşların gerçekleştirilebilmesi için yaklaşma ve iniş prosedürlerinin pistlere göre tanımlanması gerekmektedir. Tanımlanan prosedürde bir uçuşun geliş için alçalma hareketi mi yoksa kalkışın ardından tırmanma hareketi mi yapacağı tanımlanmış olup, böylece kullanılan pist de belirlenmiş olmaktadır. Prosedürlerin tanımlanmasının ardından uçuşların gerçekleşmesi için yolların tanımlanması gerekmektedir. Normal bir uçuş planında uçağın hava sahasına giriş ve çıkış noktaları tanımlanarak arada uçuşunu gerçekleştireceği yolun ismi belirtilerek uçuş planı doldurulur. Ancak SIMMOD'da uçuş planı önceden tanımlanmış yollar ile girilmektedir. Yollar sadece iki nokta arasında tanımlanan hava yolları değil, uçağın hava sahasına girişinden itibaren inişe kadar izleyeceği yörünge olacak şekilde tanımlanmış

olmaktadır. Önceden tanımlanan bu yollar hava sahası giriş noktası dahil hava sahasında ilerleyeceği her bir düğümü sırası ile içermelidir. Geliş uçağı için hava sahasına girdiği nokta ve hava sahası içinde üzerinden geçeceği her bir düğüm ve en son yaklaşma prosedürünün başladığı noktaya kadar bu yola tanımlanmalıdır. Kalkış uçakları için de kalkış hareketinin tamamlandığı noktadan başlayarak hava sahasını terk edeceği noktaya kadar her bir düğüm sırası ile bu yolda tanımlanmalıdır. Buna göre SIMMOD'a girilen uçuş planına sadece bir yol ismi girilerek tüm rota tanımlanmış olmaktadır.

Oluşturulan yollar ve model üzerinde tanımlanan her veri için kullanıcı tarafından isimlendirme yapılmaktadır. Model içinde anlam bütünlüğü olacak şekilde bir isimlendirme yapılması model üzerinde çalışılmasını kolaylaştıracaktır. Her bir havaalanı ve her pist için kullanılan yaklaşma rotası tanımlanmalıdır. Çalışma kapsamında oluşturulan model için 27 farklı yol tanımlanmıştır. Bu sayı modelin kullanılacağı amaca ve modellemesi yapılan hava sahasının karmaşıklığına bağlı olarak değişiklik gösterecektir.

Hava sahasında uçuşunu gerçekleştirecek uçakların performans parametreleri kullanıcı tarafından deneysel çalışmalar için yenilenebilir. Dünyada halihazırda uçmakta olan uçakların performans verileri program üzerinde hazır bulunmaktadır. Ancak bu performans parametrelerinde değişikliğe ihtiyaç duyulduğunda hava aracı modelleme bölümünden ihtiyaç doğrultusunda gerekli değişiklikler yapılabilir yada var olmayan bir uçak tipi yaratılabilir. Bu performans parametrelerine göre uçakların ağır/orta/hafif gibi sınıflandırılması kullanıcı tarafından esnek bir şekilde oluşturulabilir.

Performans sınıflandırmasına uygulanacak hava trafik kontrol ayırma kriterlerinin kullanıcı tarafından tanımlanması gerekmektedir. Uygulanacak

ayırma kriterleri modelin oluşturulma amacına göre halihazırda uygulanan ayırmalar olabileceği gibi kullanıcı tarafından hesaplanmış uygulanmayan ayırmaların denenmesine olanak sağlayabilir.

SIMMOD modelinde uçuşların tanımlanması en son aşamada gerçekleştirilecek adımdır. Ancak modelin çalışıp çalışmadığı herhangi bir uçuşun gerçekleştirilmesi ile test edilmektedir. Bu sebeple modelin kurulmasından sonra az sayıda uçuş planı ile ön denemesi yapılmalıdır. Uçuş planları doldurulurken uçuşların gerçekleşeceği saat sisteme girilmelidir. Hangi zaman aralığında hangi noktadan uçuşun gerçekleşeceği bilgisi önceden yapılan planlama doğrultusunda sisteme girilir.

SIMMOD simülasyon sonuçlarını çalışma sayfası programları ve metin dokümanı formatında vermektedir. Simülasyon çıktıları içinde sistem içerisinde saatlik hizmet verilen uçak sayısı, bu uçakların aldıkları gecikme dakika cinsinden yer almaktadır. Bunun yanı sıra her bir uçağın hangi noktada ne kadar süre ile gecikme aldığı ve bu gecikmelerin nasıl yada hangi sebeple gerçekleştiği bilgisi de yer almaktadır. Örneğin; bir uçağın aldığı gecikme ayırma sebepli iken bu gecikme sadece hız ile gerçekleştirilmiş olabilir yada vektör tekniği kullanılmış olabilir, bunun bilgisi gecikme süresinin yanında yer almaktadır. Ayrıca gerçekleşen gecikme sadece öndeki uçağın/uçakların aldığı gecikme sebebiyle de olabilir. Bu durumda kümülatif bir şekilde gecikme söz konusudur. Bu bilgi de çıktılar arasında yer almaktadır. Ayrıca uçuşların toplam seyahat süreleri de çıktılar arasındadır. Sistem üzerinde yapılan değişiklikler ile bu simülasyon çıktıları arasındaki sonuçların incelenmesi ile yapılan değişikliklerin sisteme olan etkisi incelenebilmektedir. Bu tez çalışmasında SIMMOD kullanılmasının amacı da budur. Çalışma içinde gerçekleştirilen çözüm önerilerinin sistem üzerindeki

etkileri incelenerek uygulanan tekniğin çözüm üretip üretmediği sorgulanabilmektedir.

4.3. Yeşilköy TMA Yapısı ve Kabuller

Yeşilköy Terminal Kontrol Sahası içerisinde Atatürk Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı ve Çorlu Havalimanı olmak üzere 3 uluslararası havalimanı barındırmaktadır. Bu hava limanları trafik hacmi bakımından Türkiye'nin önde gelen hava limanlarıdır. Bu hava limanlarına bir yıl içerisinde düzenlenen toplam operasyonların yıllara göre dağılımı Çizelge 4.1'de verilmiştir [3,53-55].

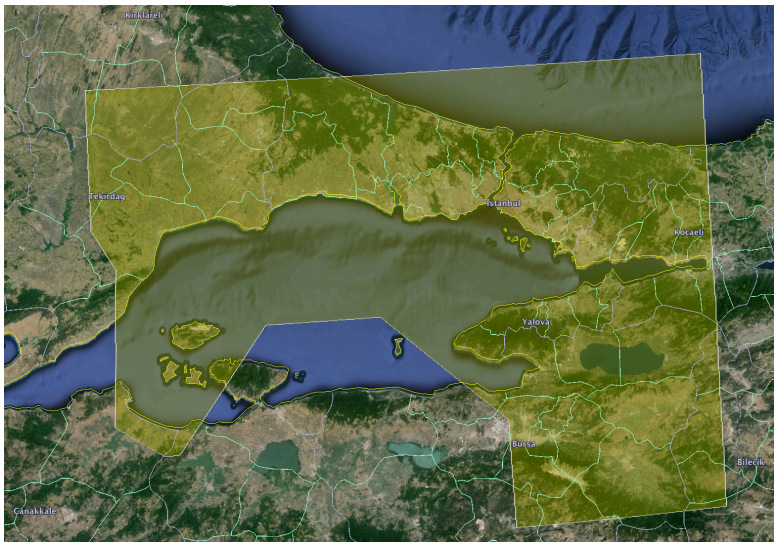
Çizelge 4.1. Yeşilköy TMA trafik istatistikleri.

	2009	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**
İstanbul Atatürk	283.953	288.246	325.209	364.322	406.317	439.517
İstanbul Sabiha Gökçen	63.749	105.962	121.407	126.043	150.575	185.654
Tekirdağ Çorlu	17.481	20.252	23.207	16.571	21.600	19.241
Toplam Yeşilköy	365.183	414.460	469.823	506.936	578.492	644.412
Toplam Türkiye	**788.469**	**919.411**	**1.042.369**	**1.093.047**	**1.223.795**	**1.344.265**

Bu verilere göre Atatürk Havalimanı trafik miktarında 2011 yılında 2010 yılına göre %10'luk bir artış gerçekleşmiştir. Bu artış oranı Türkiye'de gerçekleşen tüm hava trafiğinin artış eğilimi ile aynıdır. Atatürk Havalimanı Türkiye'nin en yoğun hava trafiğine sahip havalimanı olduğundan Türkiye'deki hava trafiği artışında belirleyici etkiye sahiptir. Yeşilköy Terminal Kontrol Sahası içinde bulunan diğer havalimanı olan İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı 2011 yılında Antalya Havalimanı'ndan sonra trafik yoğunluğu bakımından Türkiye'nin üçüncü büyük havalimanıdır. Yeşilköy terminal kontrol sahasında bulunan Çorlu Havalimanı ise gelişme gösteren bir havalimanıdır. Yeşilköy Terminal Kontrol Sahası gerek içerisinde birden fazla havalimanına hizmet verilmesi bakımından

gerekse trafik yoğunluğu bakımından Türkiye'nin en önemli terminal kontrol sahasıdır. Bu özellikleri sebebiyle bu çalışmanın kapsamına alınmasına karar verilmiştir.

Yeşilköy TMA'nın çevresi 458 NM kapladığı alan ise 30.837 km^2'dir (Şekil 4.1). Atatürk Havalimanı'nın 05-23, 35-17R ve 35-17L pisti olmak üzere üç adet pisti bulunmaktadır. Sabiha Gökçen Havalimanı'nın 06-24 oryantasyonunda bir adet pisti bulunmaktadır. Çorlu Havalimanı'nın ise 05-23 oryantasyonunda bir adet pisti bulunmaktadır [10].



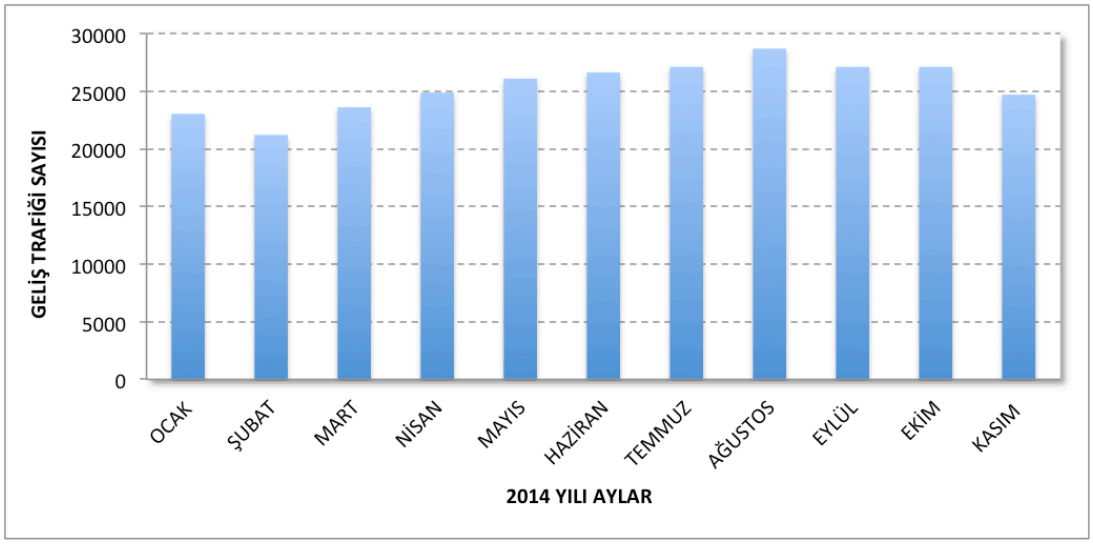
Şekil 4.3. Yeşilköy TMA'nın harita üzerindeki görünümü

Yeşilköy Terminal Kontrol Sahası radarlı yaklaşma kontrol hizmeti verilen bir hava sahasıdır. 2011 yılına kadar konvansiyonel yaklaşma ve kalkış prosedürleri kullanılmış ve 2011 yılı başında Sabiha Gökçen ve Atatürk Havalimanı için RNAV (Area Navigation) usullere dayalı yaklaşma ve kalkış prosedürleri kullanılmaya başlanmıştır. Çorlu Havalimanı için konvansiyonel yaklaşma ve kalkış rotaları bulunmaktadır. Konvansiyonel uçuş yolları yerde var

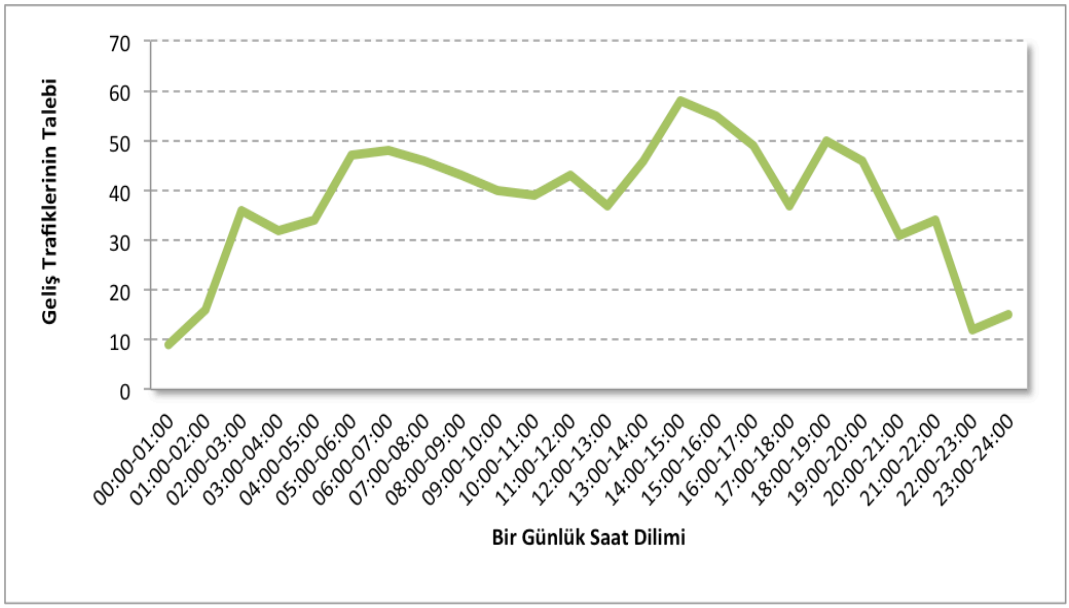
olan seyrüsefer yardımcılarının üzerinden geçilmesi şeklinde inşa edilmektedir. Yerdeki seyrüsefer cihaz hassasiyetleri ve sayıları RNAV prosedürlere göre daha düşüktür. Bu sebeple oluşturulan yol ağı yapısında sınırlar çerçevesinde seyrüsefer yardımcılarının üzerinden geçen yol yapılandırılmaları oluşturulmaktadır. Konvensiyonel yaklaşma prosedürleri yapılandırması ve gereklilikleri ICAO Doc. 8168'de açıklanmıştır [56]. ICAO RNAV prosedürlerini, "istasyon-referanslı seyrüsefer yardımcıları kapsama alanı içinde veya müstakil seyrüsefer yardımcılarının üzerinde veya bunların bir kombinasyonu ile uçuş yolunun istenilen herhangi bir rota üzerinde tanımlanmasına imkan sağlayan bir seyrüsefer yöntemidir", şeklinde tanımlamaktadır [11,57]. RNAV prosedürlerin kullanılmaya başlamasından önce kontrolörler, trafiği hızlandırmak adına vektör tekniği kullanmaktaydılar. Artan trafik talebinin akışını sağlayabilmek için vektör tekniğinin esnekliği kontrolörler için avantaj sağlamaktaydı. Ancak trafik artışının devam etmesi ile alçalma ve sıralama planlamasında vektör tekniğinin kullanımı efektifliğini kaybetmiş, kontrolörler için iş yükü doğurmaya başlamıştır. Tüm dünyada aynı problemlerin ortaya çıkması ile RNAV prosedürleri uygulamaya geçmiştir [58-61] RNAV prosedürler, vektör tekniğinin esnekliğini prosedürlere yansıtarak standart ve emniyetli hizmet verilmesini sağlamaktadır. Kontrolör tekniğinin ön plana çıkmadığı daha az radar vektörünün verildiği iş yükünün azalması ile birlikte kapasitenin arttırıldığı bir trafik akışı sağlamaktadır. İş yükünün azalması ile birlikte kontrolörün problemleri çözebilmesi için daha fazla vakti bulunmaktadır. Devamlı alçalma ve tırmanma ile yakıt ekonomisine katkıda bulunmaktadır [59].

Yeşilköy Terminal Kontrol Sahası'nın EUROCONTROL'den alınan verilere göre 2014 yılı trafik analizi yapılmıştır [62]. Bu analizde Yeşilköy

Terminal Kontrol Sahasında bulunan üç havalimanına gerçekleşen geliş trafiklerinin toplamları üzerinden yoğun gün ve saat analizi yapılmıştır. En yoğun gün tespit edilirken Neufville ve Odoni'nin Airport Systems: Planning Design and Management kitabında anlatılan prensip temel alınmıştır [63]. Bu yükseklerin ortalaması prensibine göre yıl içinde aylara göre trafik dağılımı alınır en yoğun iki ay tespit edilir. Bu iki ayın günlük trafik ortalaması bulunur ve bu aylar içinde bu ortalamaya en yakın günün en yoğun saati en yoğun saat olarak alınır. Buna göre 2014 yılında TMA geliş trafik talebinin aylara göre dağılımı çıkartılmıştır (Şekil 4.4). 2014 yılı içinde gerçekleşen talebin en yüksek iki ayı 28.692 trafikle Ağustos ve 27.109 trafikle Ekim olarak belirlenmiştir. Bu iki ayda günlük ortalama geliş trafikleri sayısı 900 olarak belirlenmiştir. Bu ortalamaya en yakın olan gün içindeki en çok talebin gerçekleştiği saat 2014 yılının en yoğun saatidir. Bu şekilde yapılan hesapla 17 ve 24 ekim gününün 901 trafikle en yoğun gün oluğu belirlenmiştir. İki günde de eşit miktarda trafik oluştuğu için iki günün de saatlik analizi yapılmış ve en çok talebin gerçekleştiği 24 Ekim günü zulu saatine göre 14:00-15:00 arasının 58 geliş trafiği ile 2014 yılının en yoğun saati olduğu belirtilmiştir. En yoğun günün saatlere göre trafik talebi grafik olarak verilmiştir (Şekil 4.5).



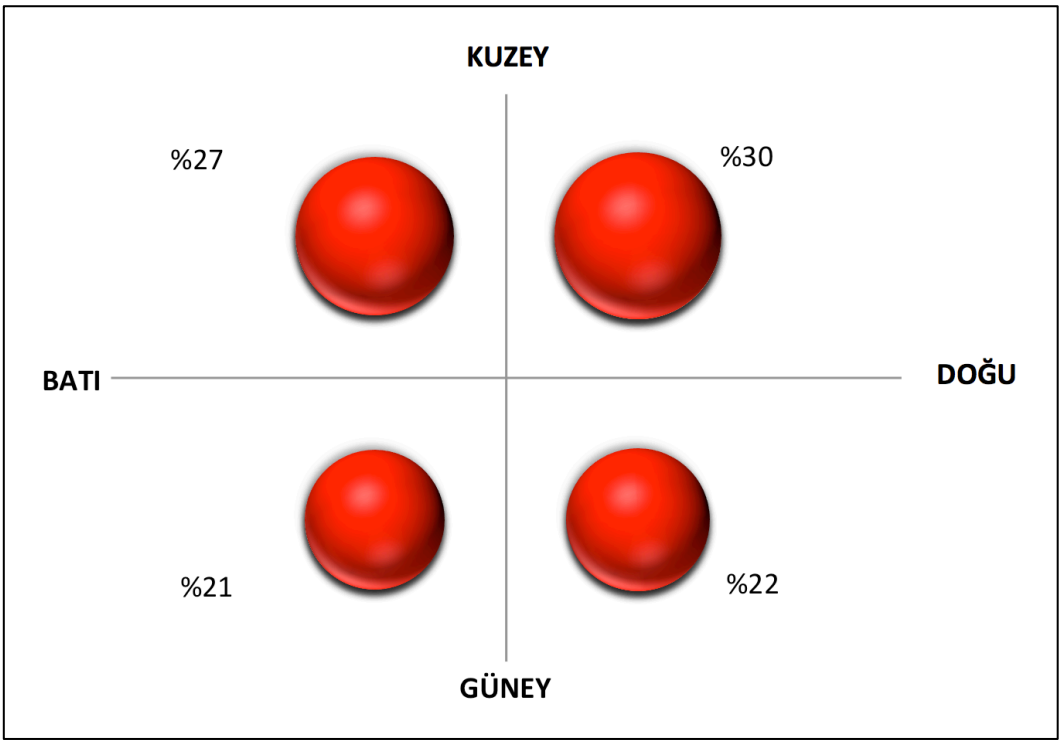
Şekil 4.4. Yeşilköy TMA'nin 2014 yılı geliş trafiklerinin aylara göre dağılımı



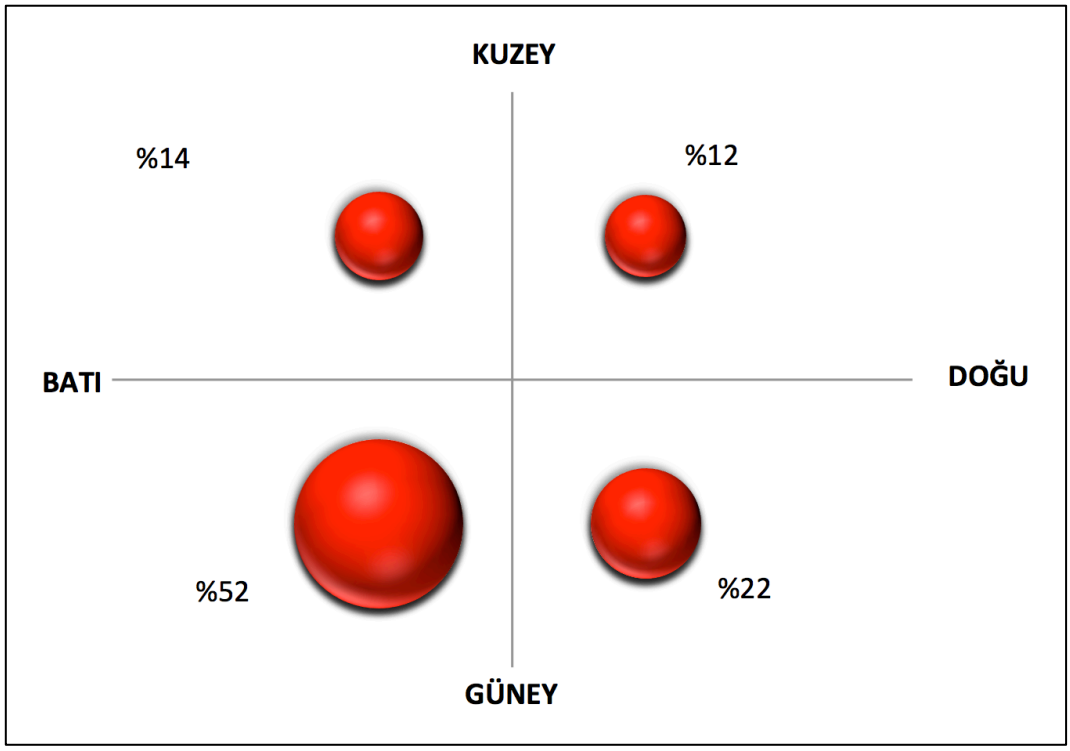
Şekil 4.5. Yeşilköy TMA'nin 2014 yılı geliş trafikleri en yoğun günü 24 saatlik dağılımı

Yeşilköy TMA içerisinde bulunan hava alanlarına iniş gerçekleştiren uçuşların FIR sınırlarına giriş noktalarının coğrafi yönlere göre dağılım oranları EUROCONTROL'den alınan verilere göre belirlenen en yoğun günün tüm trafikleri ile yapılan grafik Şekil 4.6'de gösterildiği gibidir. Örneğin; grafikteki

verilere göre Yeşilköy TMA'ya iniş gerçekleştiren uçuşların %30'u kuzey-doğu yönünden gelmektedir. Bu grafikte görüldüğü gibi bir gün içinde gerçekleşen uçuşların yönleri birbirine yaklaşık değerlerdedir. Bu durum hava sahasının hava trafik yönetiminden sorumlu hava trafik kontrolörleri için trafik yapısını karmaşıklaştırmaktadır. En yoğun saatin trafik durumuna bakıldığında (Şekil 4.7) trafiğin %52'sinin güney doğu yönünden geldiği görülmektedir. Bu durum hava sahasının trafik talebinin dinamik olarak değiştiğini göstermekte ve yapılacak planlamaların bu duruma uyum sağlaması gerektiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 4.6. Yeşilköy TMA'nin 24 Ekim 2014 günü geliş trafiklerinin hava sahasına giriş yönlerinin dağılımı



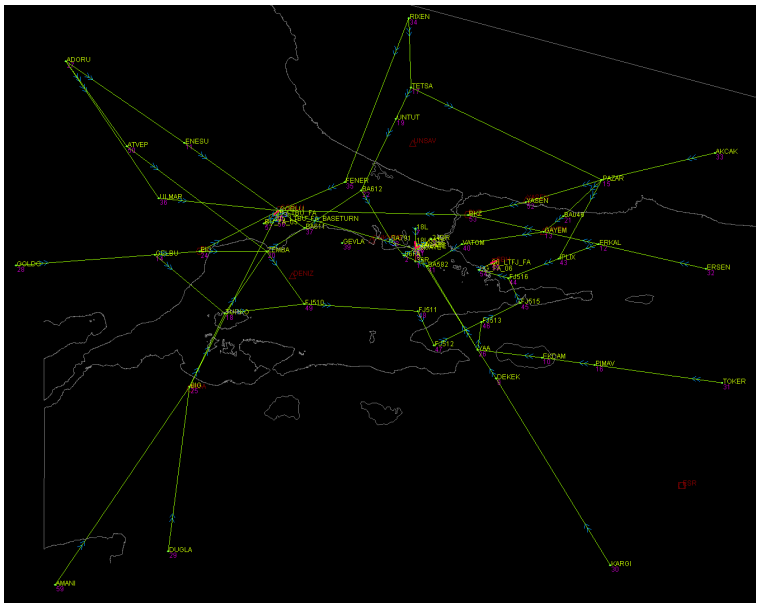
Şekil 4.7. Yeşilköy TMA'nin 24 Ekim 2014 günü 14:00-15:00 saatlerindeki geliş trafiklerinin hava sahasına giriş yönlerinin dağılımı

Hava sahası kabulleri:

Model oluşturulurken gerçeğe en yakın şekilde tasarlanmıştır. Model de inceleme olarak geliş trafikleri seçildiğinden sadece geliş yolları modele girilmiştir.

Geliş rotaları ve bağlı oldukları noktalar modele girilirken hava sahası koordinat verileri Aralık 2011 tarihli Türkiye AIP'sinden alınmıştır [10]. Terminal kontrol sahasının giriş ve çıkış noktalarındaki yaşanılan gecikmelerin ortaya konulabilmesi için model içerisindeki yol ağı üst hava sahası olan İstanbul FIR'ının yol bağlantıları ile birlikte girilmiştir. Hava sahasında incelenecek olan üç havaalanı RNAV STAR (Standart Geliş Yolları, Standart Arrival Route) ve

geleneksel STAR yolları ile birlikte ilgili AIP verilerine göre tasarlanmıştır. Oluşturulan modelin SIMMOD görünümü Şekil 4.8'de verilmektedir.



Şekil 4.8. SIMMOD modeli görünümü

İstanbul üst hava sahasında kullanılan ayırma 10 NM olduğundan TMA kapılarına kadar kullanılan hava trafik kontrol ayırması 10 NM olarak modele yansıtılmıştır. Yayınlanan Türkiye AIP'sine göre Yeşilköy Terminal Kontrol Sahasında kullanılan radar ayırması 3 NM olduğundan modelde aynısı kullanılmıştır [10]. Hava sahası modeli içerisinde herhangi bir meteorolojik koşul etkisi değerlendirilmemektedir. Tekrarlanan tüm deneylerde simülasyon süresi 1 saat olarak belirlenmiştir ve simülasyon başlangıcında hava sahasında uçak bulunmamaktadır.

4.4. Kapı Çoklama Algoritması

TMA kapılarındaki uçak talebine bağlı olarak tıkanıklık gerçekleştiği durumlarda yeni bir giriş noktası tasarlanmasının sisteme olan etkileri bu çalışma

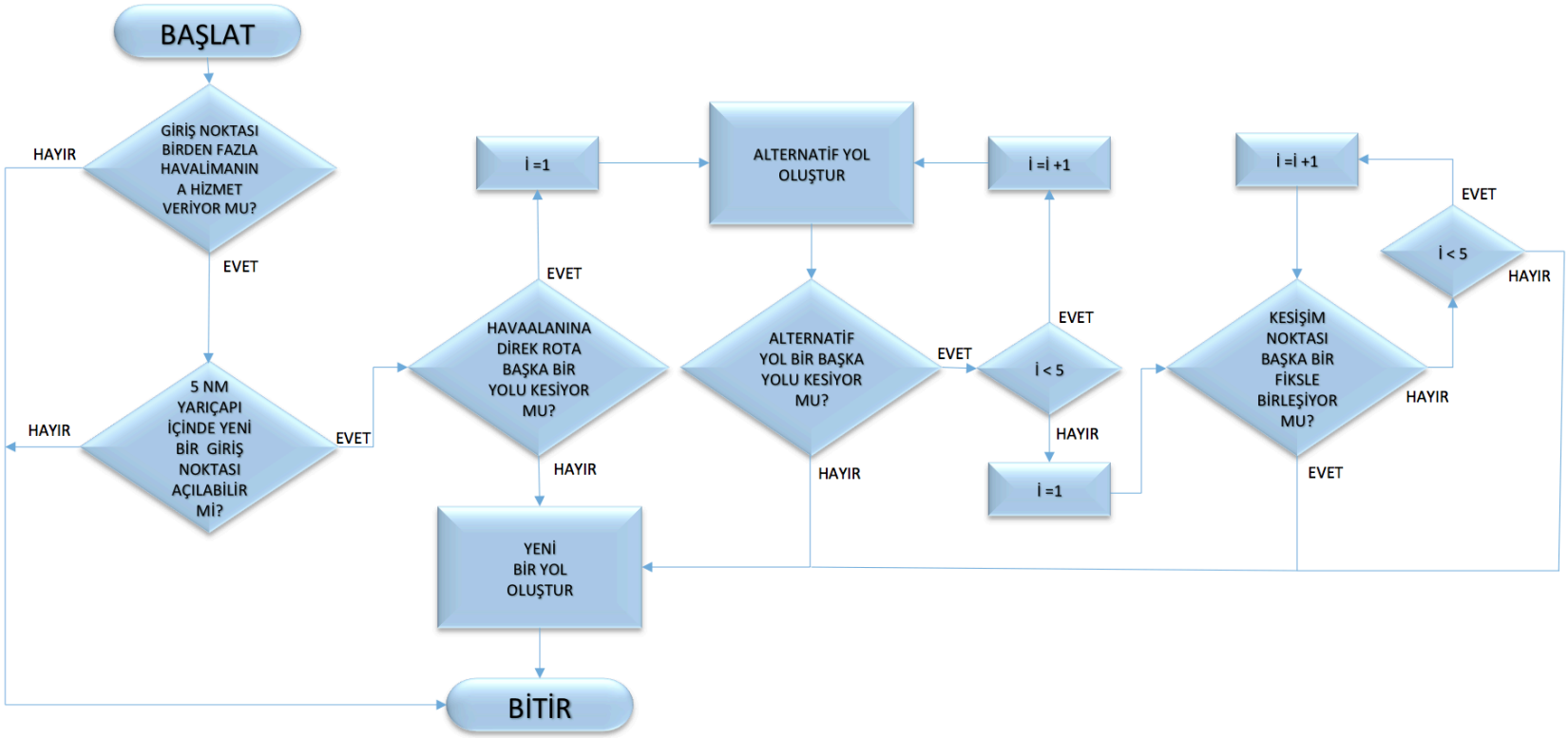
kapsamında incelenecektir. Yeni giriş noktasının tasarlanmasında dikkat edilmesi gereken bazı noktalar bulunmaktadır. Bu noktaları dikkate alırken ilk adımından son adımına kadar izlenmesi gereken yolu tanımlamak amacıyla bir algoritma oluşturulmuştur (Şekil 4.9). Bu algoritma genel olarak bir TMA'da giriş noktalarının arttırılması konusunda izlenecek adımları belirlemektedir. Geliştirilen algoritma uluslararası bildiri olarak 2014 yılında İstanbul'da sunulmuştur [64].

Bu algoritma hava trafiği artışı karşısında duyulan ihtiyaç halinde işleme konulacaktır. İhtiyacın olup olmadığının belirlenmesi ilgili hava sahası yöneticisi tarafından yapılmalıdır. Giriş noktaları üzerinde meydana gelen tıkanıklıklar ve gerçekleşen gecikmelerin tolere edilemediği uçak sayısının kararı ilgili hava sahası yöneticisi tarafından verilmelidir. Belirlenen bu sayıdan sonra açılacak yeni giriş noktası için bu algoritma işletilecektir.

Algoritmanın temel prensibi geliş yollarının havaalanına göre bölünmesi üzerinedir. Birden fazla havaalanına hizmet veren TMA'lar için geliş yolları üzerinde gerçekleşen alçalma hareketinin uçaklar arasında benzer olması açısından havaalanına göre geliş yollarının ayrılması yol üzerindeki dikey hareket çeşitliliğini azaltacağından karmaşıklığı da azaltacaktır. Yakıt ekonomisi açısından faydalı olan devamlı alçalmanın [65] sağlanabilmesi için bir yol üzerinde farklı iki havaalanına iniş gerçekleştirecek iki uçak hava alanları arasındaki mesafe farklılığından dolayı farklı zamanlarda alçalmaya başlamayı tercih edeceklerdir. Bu durum yol üzerinde uçakların birbirlerinin seviyesini kat etmeleri anlamına gelmekte ve bu iki uçak için de ayrıca ayırma kriterinin sağlanmasının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu gereksinimi en aza

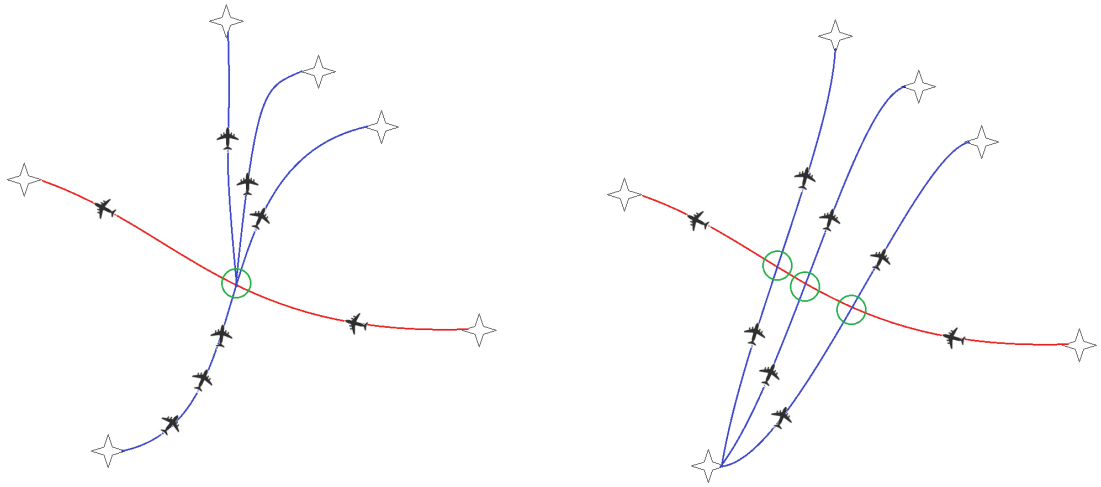
indirebilmek için bir yolu kullanan uçakların aynı havalimanına gitmeleri sağlanarak uçakların alçalma hareketlerinin eşzamanlanması hedeflenmektedir.

Ancak söz konusu giriş noktasının hizmet verdiği havalimanı sayısı birden fazla ise yeni bir giriş noktası tasarlanmalıdır. Uçaklar arasında gerekli minimum ayırmanın sağlanabilmesi için bu tasarlanan giriş noktası mevcut giriş noktasına en az 5NM uzaklıkta olmalıdır. Hava sahasının sıkışık yapısı gereği 5NM uzaklıkta bir yere bir giriş noktası tasarlayamıyorsa hava sahasının yapısı çok karmaşıklaşmış ve giriş noktaları birbirlerine tehlikeli şekilde yakınlaşmış demektir bu sebeple işlem bitirilir ve hava sahasının problemlerinin çözümü için farklı yolların aranması tavsiye edilir.



Şekil 4.9. Kapı çoklama algoritması [64]

5NM yanlamasına ayırma sağlanabilecek şekilde giriş noktası tasarlanabiliyorsa bu nokta tesis edilir. Ardından oluşturulan bu noktadan havaalanına en kısa mesafeden bir yol çizildiğinde bu yolun başka bir yolu kesip kesmediği kontrol edilir. Bu direkt yol başka bir yolu kesmiyorsa rahatlıkla yeni yolu tasarlayarak yeni giriş kapısı oluşturulmuş olur. Oluşturulan yol ağı yapısında mümkün olan en az kesişme ile tasarlanması esastır. Her kesişme noktası hava trafik kontrolörü tarafından çözüm bekleyen potansiyel çakışma noktası olduğundan hava sahası tasarımında yol ağının birbirini kesmesi mümkün olduğunca engellenmelidir (Şekil. 4.10)



Şekil 4.10. Karmaşık yol ağı yapılandırması

Bu sebeple sınanan direkt yol başka bir yolu kesiyorsa bu durumu engelleyecek şekilde alternatif yolların aramasına gidilir. Geliştirilen bu algoritmada 5 farklı deneme öngörülmüştür. Ancak diğer yolları kesmeyecek şekilde yol çizilmesi denemesinin tekrar sayısı ilgili hava sahası tasarımcısının inisiyatifindedir. Tekrarlara rağmen açılan yol başka bir yolu kesiyorsa kritik kararı yine hava sahası tasarımcısı verecektir. Bu noktada iki yolun kesiştiği yerde uçakların seviyelerinin kesişip kesişmediği kontrol edilmelidir. Devamlı alçalma

ile hizmet verilen hava sahalarında uçakların hangi noktada hangi seviyede olduğu öngörülebiliyorsa ve bu kesişim tolere edilebiliyorsa hava sahası tasarımcısı bu kararı verebilir. Ancak devamlı alçalma hareketinin yapılamadığı uçakların hangi noktada hangi seviyede olduğunun kesin olmadığı hava sahalarında (bu çalışmada örnek seçilen Yeşilköy TMA gibi) bu tip kesişmeler hava trafik kontrolörüne yeni iş yükü getireceğinden önerilmemektedir. Bu tip durumda bu rotanın mevcut başka kesişme noktası ile birleştirilip birleştirilmeyeceği sınanmalıdır. Bu şekilde zaten var olan bir kesişme noktası kullanılmış olup karmaşıklık yaratmayacak bir şekilde yeni yolun açılması hedeflenmektedir. Farklı bir nokta ile birleştirilmesi mümkün olmayan durumlarda yine de yolun yapılandırılması konusunda alınacak karar yine hava sahası tasarımcısına bırakılmaktadır. Ancak kesişimler yaratarak yeni problemlere sebep olacak şekilde yol tasarlanması önerilmemektedir [66].

4.5. Senaryo Tasarımı

Bu çalışmada TMA içindeki farklı trafik karmalarına göre gerçekleşen kapasite ve oluşan gecikmelerin analizi için "*senaryo"*lar oluşturulmuştur. Bu senaryoların her birinde diğerinden farklı hava sahası koşulları modellenmiştir. Örneğin; bir senaryoda tüm gelişlerin tek bir havaalanına geldiği kabul edilirken diğer bir senaryoda gelişler üç havaalanını da içermektedir. Ayrıca uçuş talebinin geliş yönlerinde farklı senaryolarda değişiklikler yapılmıştır. Diğer yandan uçak kategorilerine göre farklı incelemeler yapılabilmesi için senaryolarda performans kategori ağırlıkları değiştirilmiştir.

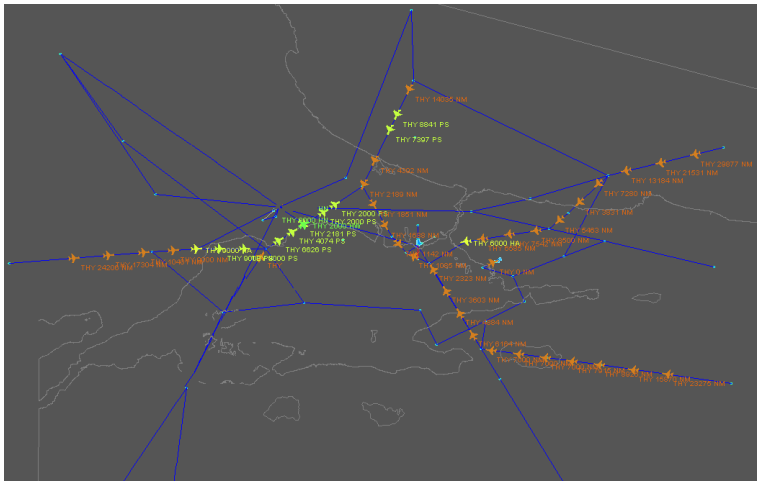
Her senaryonun içerisinde trafik sayısına göre değişimin incelenmesi için sadece uçak sayısı değiştirilerek farklı "deney*"*ler tekrarlanmıştır. Bir senaryo

içinde önceden kabul edilen uçak performans kategorileri yada havaalanı sayısı gibi değişkenler aynı iken tekrarlanan deneylerin birbirlerinden farklılığı sadece trafik sayısıdır. Trafik sayısının artışı ile oluşturulan senaryoda deney sonuçlarına göre hava sahası sisteminin nasıl etkilendiği incelenmektedir.

Oluşturulan model ile incelenmek istenilen koşullara bağlı olarak değişkenler belirlenmektedir. Bu değişkenlere göre oluşturulan farklı modeller farklı senaryolar olarak adlandırılmaktadır. Senaryo planlamasında basitten karmaşığa doğru gelişen farklı senaryolar geliştirilmiştir.

4.5.1. Birinci senaryo: Dört yönden uçuş talebi

En basit şekilde modelin çalışmasını gözlemek amacıyla ve uçuş talebinin sadece 4 ana yönden gerçekleştiği kabul edilen bu senaryoda hava sahasına sadece kuzey, güney, doğu ve batı yönünden gelen yollardan talep olduğu kabul edilmiştir (Şekil 4.11). Bu şekilde oluşturulan temel modelin karmaşık senaryo geliştirilmesine geçilmiştir. Bu temel senaryoda diğer senaryo kabullerinden farklı olarak tüm saha içerisinde radar ayırması 5NM olarak alınmıştır.



Şekil 4.11. Birinci Senaryo, dört yönden uçuş talebi uçuş rotaları

Bu senaryo da hava sahası boyunca sadece dört yol kullanılmaktadır. Tüm uçuşların sadece Atatürk Havalimanına iniş yaptığı kabul edilen bu çalışma 2012 yılında uluslararası bildiri olarak California Üniversitesi'nde sunulmuştur [67]. Hava sahasında uçakların rotaları üzerinde yer alan ve uçuşu sırasında üzerinden geçtiği kabul edilen sanal noktalar bulunmaktadır. Bu noktalar bazı özelliklerine göre 3 veya 5 harfli tanımlayıcı isimler almaktadırlar. Kullanılan dört yol boyunca üzerinden geçilen noktalar ve rotalar Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Dört yönden uçuş talebi rotaları

Uçuş Rotaları	Uçuş Planı
1. ROTA	GOLDO - GELBU- EKI - ZEMBA - BA611 - BA612 - BA791
2. ROTA	TOKER - PIMAV - EKDAM - YAA - BA582
3. ROTA	AKCAK - PAZAR - BA046 - GAYEM - VATOM - BA582
4. ROTA	RIXEN - TETSA - UNTUT - BA611 - BA612 - BA791

Simülasyon deneylerinin her tekrarında uçak talebi arttırılmaktadır. Böylelikle artış karşısında simülasyon sonuçlarının değişimi incelenecektir. Her bir geliş uçağı FIR giriş noktasında aynı anda doğmaktadır. İlk deneyde hava sahasının dört giriş noktasından sadece birer uçak aynı anda hava sahasına giriş yapmaktadır. İkinci deneyde her bir noktadan gelen uçak sayısı ikiye çıkartılarak tekrarlanan deneylerin her birinde uçak sayıları birer arttırılmıştır. Sonuncu deneyde hava sahasına gerçekleşen toplam talep 48 uçaktır. Her noktadan peş peşe gelen uçakların talep aralıkları ise 1 dakika olarak kabul edilmiştir.

4.5.2. İkinci senaryo: Tüm rotalardan uçuş talebi

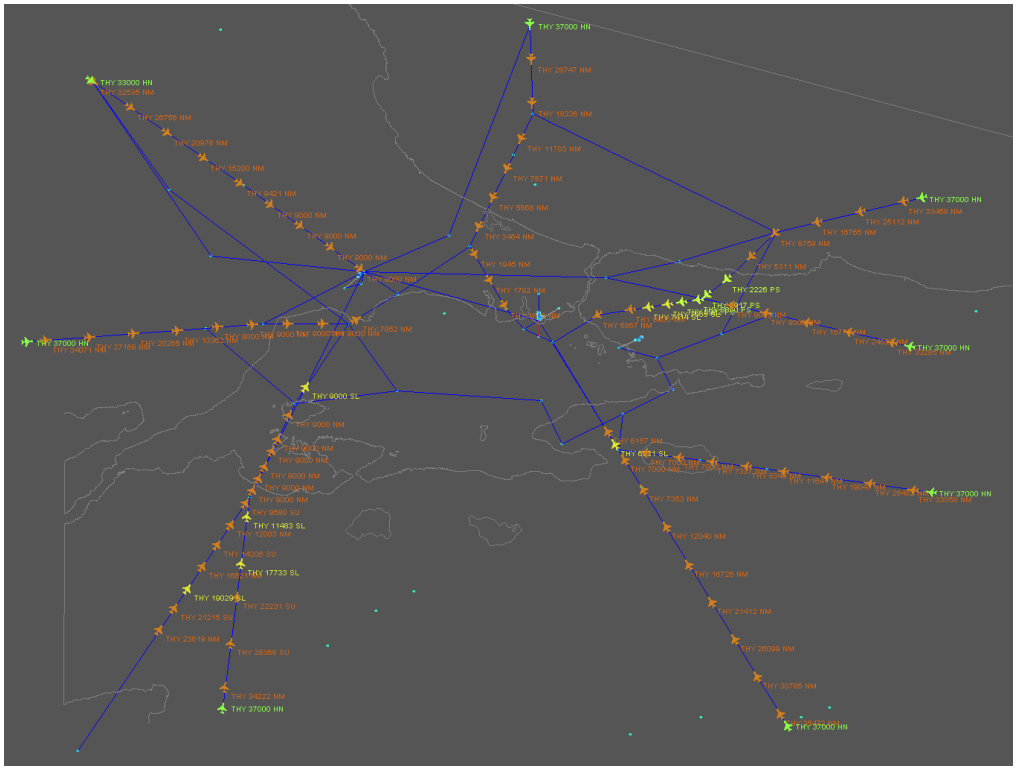
Senaryoların karmaşıklaştırılması ve hava sahası analizinin gerçeğe yaklaştırılması hedefi doğrultusunda ikinci senaryo tasarlanmıştır. Bu senaryoda da geliş taleplerinin hepsinin sadece Atatürk Havalimanına olduğu kabul

edilmiştir. Uçuş talebi hava sahasına dört noktadan değil FIR'ın tüm geliş noktalarından olmaktadır. Bu senaryo grubunda uçuş rotaları 9 tane olup rotalar ve rota üzerindeki nokta isimleri Çizelge 4.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Uçuş rotaları ve noktaları

Uçuş Rotaları	Uçuş Planı
1. ROTA	GOLDO - GELBU- EKI - ZEMBA - BA611 - BA612 - BA791
2. ROTA	AMANI - BIG - TURKO - ZEMBA - BA611 - BA612 - BA791
3. ROTA	DUGLA - BIG - TURKO - ZEMBA - BA611 - BA612 - BA791
4. ROTA	KARGI - DEKEK - YAA - BA582
5. ROTA	TOKER - PIMAV - EKDAM - YAA - BA582
6. ROTA	ERSEN - ERKAL - GAYEM - VATOM - BA582
7. ROTA	AKCAK - PAZAR - BA046 - GAYEM - VATOM - BA582
8. ROYA	RIXEN - TETSA - UNTUT - BA611 - BA612 - BA791
9. ROTA	ADORU - ENESU - CORLU - BA611 - BA 612 - BA791

Hava sahasının tüm giriş noktalarından gelen uçakların SIMMOD Animator'daki görünümü Şekil 4.12'de verilmiştir.

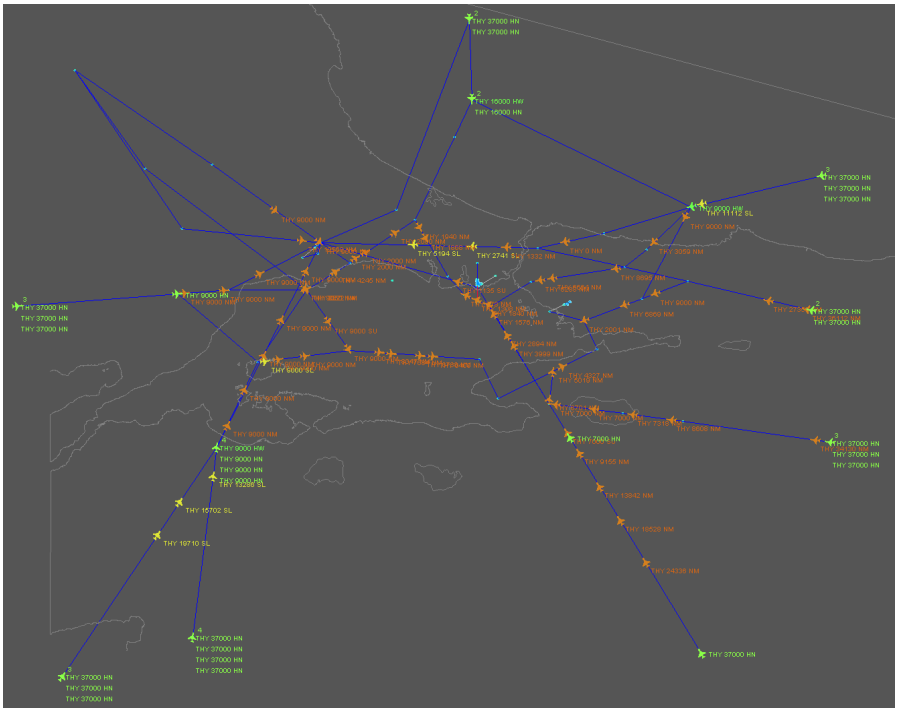


Şekil 4.12. Tüm noktalardan gelen uçakların SIMMOD Animator'deki görünümü

FIR giriş noktalarında aynı anda üretilen uçakların talep aralıkları 1 dakikadır ve en son deneyde hava sahasında bulunan toplam trafik talebi 108 uçaktır.

4.5.3. Üçüncü senaryo: Tüm hava alanlarına gelen uçuş talebi

Hava sahası için oluşturulan modeldeki tanımlanan tüm yollar bu senaryoda kullanılmaktadır. Hava sahasında bulunan her bir havaalanına operasyon düzenlendiği varsayılan bu senaryoda hangi uçuş talebinin hangi havaalanına gerçekleşeceği rassal olarak belirlenmiştir. Bölüm 4.5.2. Çizelge 4.3.'de açıklanan 9 rotadan gelen her 9 uçak üretilen rassal sayılarla hava sahasındaki üç havaalanına eşit oranda dağıtılmıştır. Yani talebin her havaalanına eşit şekilde geldiği varsayılmaktadır. Bu senaryo ve elde edilen sonuçları uluslararası bildiri olarak Çek Cumhuriyeti'nde sunulmuştur [68]. Simülasyon animasyonunun görünümü Şekil 4.13'de verilmektedir.



Şekil 4.13. Tüm hava alanları senaryosunun SIMMOD animasyon görüntüsü

FIR giriş noktalarında aynı anda üretilen uçakların talep aralıkları 1 dakikadır ve en son deneyde hava sahasında bulunan toplam trafik talebi 108 uçaktır.

4.5.4. Dördüncü senaryo: Mevcut durum analizi

Yeşilköy terminal kontrol sahası mevcut durumunu belirlemek ve gerçekleşen gecikmeleri analiz edebilmek için mevcut durum analizi yapılmıştır. Mevcut durum analizinde 2011 yılında terminal kontrol sahasına düzenlenen operasyonlardan çıkartılan oranlar doğrultusunda havaalanı karması belirlenmiştir (Çizelge 4.4.). 16 farklı deney ile toplam 144 uçuş talebinin olduğu tasarımda bu talebin hava alanlarına göre ayrılması Çizelge 4.4.'de yer alan 2011 yılı değerlere göre yapılmıştır. 2014 yılına gelindiğinde bu oranlar %68 Atatürk Havalimanı, %29 Sabiha Gökçen Havalimanı ve %3 Çorlu Havalimanı şeklindedir [3,48-50]. Uçuşların hava sahasına giriş noktaları ve iniş gerçekleştirecekleri havaalanları rassal olarak belirlenmiştir. Bu senaryo ve elde edilen sonuçları uluslararası bildiri olarak Çek Cumhuriyeti'nde sunulmuştur [68].

Çizelge 4.4. 2011 TMA uçuş oranları [55].

2011 Yılı Uçak Hareketleri		
	Uçuş Sayısı	**%**
Atatürk Havalimanı	325.209	69
Sabiha Gökçen Havalimanı	121.407	26
Çorlu Havalimanı	23.207	5
TOPLAM	469.823	

Hava sahası uçuş rotaları hava alanlarına göre değişiklik göstermektedir. Bu rotalar Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir. Rotaların üzerindeki her havaalanı için ortak olan noktalar italik olarak görülmektedir. Nihai olarak farklı havaalanlarına

gidecek uçuşların aynı güzergahları kullanmaları fazladan yük getirmektedir. Buna bağlı olarak ortak noktaların sayısı arttıkça gecikmelerin de artacağı düşünülmektedir. Çalışma içerisinde ortaya koyulacak çözüm bu fikre odaklanmaktadır.

Çizelge 4.5. Hava sahası girişlerine göre iniş meydanı rotaları

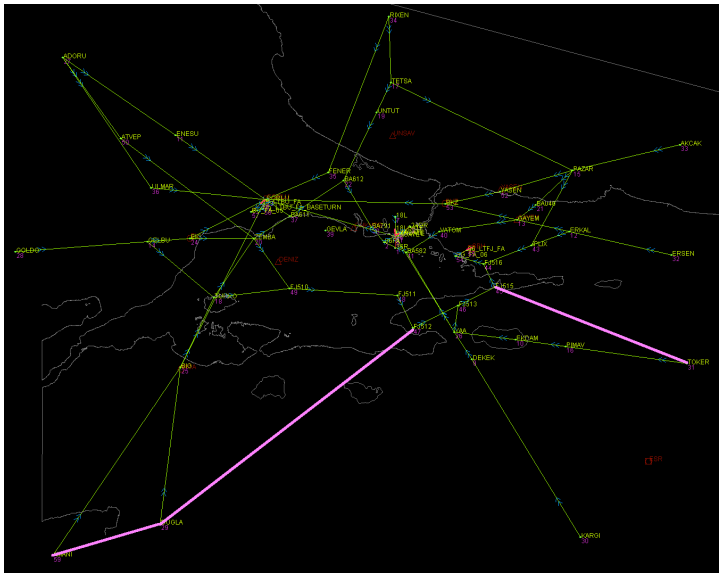
Hava Sahası Girişi-İniş Meydanı	**Uçuş Planı**
RIXEN-ATATURK	*RIXEN-TETSA*-UNTUT-BA612-BA791
RIXEN-SABIHA	*RIXEN-TETSA*-PAZAR-IPLIX-FJ516
RIXEN-CORLU	*RIXEN*-FENER-CORLU
AKCAK-ATATURK	*AKCAK-PAZAR*-GAYEM-VATOM-BA582
AKCAK-SABİHA	*AKCAK-PAZAR*-IPLIX- FJ516
AKCAK-CORLU	*AKCAK-PAZAR*-BKZ-CORLU
ERSEN-ATATURK	*ERSEN-ERKAL*-GAYEM-VATOM-BA582
ERSEN-SABIHA	*ERSEN-ERKAL*-IPLIX-FJ516
ERSEN-CORLU	*ERSEN-ERKAL*-GAYEM-BKZ-CORLU
TOKER-ATATURK	*TOKER-PIMAV-EKDAM*-YAA-BA582
TOKER-SABIHA	*TOKER- PIMAV-EKDAM*-YAA-FJ513-FJ515
TOKER-CORLU	*TOKER- PIMAV-EKDAM*-YAA-IST-CORLU
KARGI-ATATURK	*KARGI-DEKEK-YAA*-BA582
KARGI-SABIHA	*KARGI-DEKEK-YAA*- FJ513-FJ515
KARGI-CORLU	*KARGI- DEKEK-YAA*- IST-CORLU
DUGLA-ATATURK	*DUGLA-BIG-TURKO*-ZEMBA-BA611-BA612-BA791
DUGLA-SABIHA	*DUGLA- BIG-TURKO*-FJ510-FJ511-FJ512-FJ513-FJ515-FJ516
DUGLA-CORLU	*DUGLA- BIG-TURKO*-CORLU
AMANI-ATATURK	*AMANI-BIG-TURKO*-ZEMBA-BA611-BA612-BA791
AMANI-SABIHA	*AMANI- BIG-TURKO*-FJ510-FJ511-FJ512-FJ513-FJ515-FJ516
AMANI-CORLU	*AMANI- BIG-TURKO*-CORLU
GOLDO-ATATURK	*GOLDO-GELBU*-EKI-ZEMBA- BA611-BA612-BA791
GOLDO-SABIHA	*GOLDO-GELBU*- TURKO-FJ510-FJ511-FJ512-FJ513-FJ515-FJ516
GOLDO-CORLU	*GOLDO-GELBU*-EKI-CORLU
ADORU-ATATURK	*ADORU*- ENESU-CORLU- BA611-BA612-BA791
ADORU-SABIHA	*ADORU*-ATVEP-ZEMBA- FJ510-FJ511-FJ512-FJ513-FJ515-FJ516
ADORU-CORLU	*ADORU*-ULMAR-CORLU

İlk deneyde her bir noktadan bir uçak gelirken deney sayısı tekrarlandıkça uçak sayıları da artmaktadır. İlk deney için 9 hava sahası giriş noktasından 1'er tane olmak üzere toplam 9 uçak talebi gerçekleşmiştir. Tekrarlanarak 16 deney yapılmıştır. 16. deneyde 9 noktadan toplam 144 uçuş talebi gerçekleşmektedir.

4.5.5. Yeni yol çözümü

Hava sahasında yapılabilecek iyileştirmenin tasarlanan algoritmaya göre yapılmasına karar verilmiştir. Mevcut durum analiz sonuçlarına göre problemli nokta olarak belirlenen BIG noktası ve Sabiha Gökçen Havalimanına yakın olan PIMAV noktası iyileştirme için seçilmiştir. Buna göre; uçuşların yönü hava sahasına girişlerinden itibaren değiştirilerek bu iki noktayı kullanmadan ilgili havaalanına inişleri sağlanacaktır [68].

Sabiha Gökçen Havalimanına gerçekleşen gelişlerin BIG ve PIMAV noktasında diğerlerinden ayrılması hedeflenerek bu bölgelerdeki yükün azaltılması hedeflenmiştir. Buna göre oluşturulan modelin görünümü Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Yeni tasarlanan deneydeki tek değişiklik ilgili noktalardan hava sahasına giren uçakların yollarının değiştirilmesidir. Diğer tüm değişkenler mevcut durum analizi ile aynı tutularak yapılan değişimin sonuçlara olan etkisi incelenecektir.



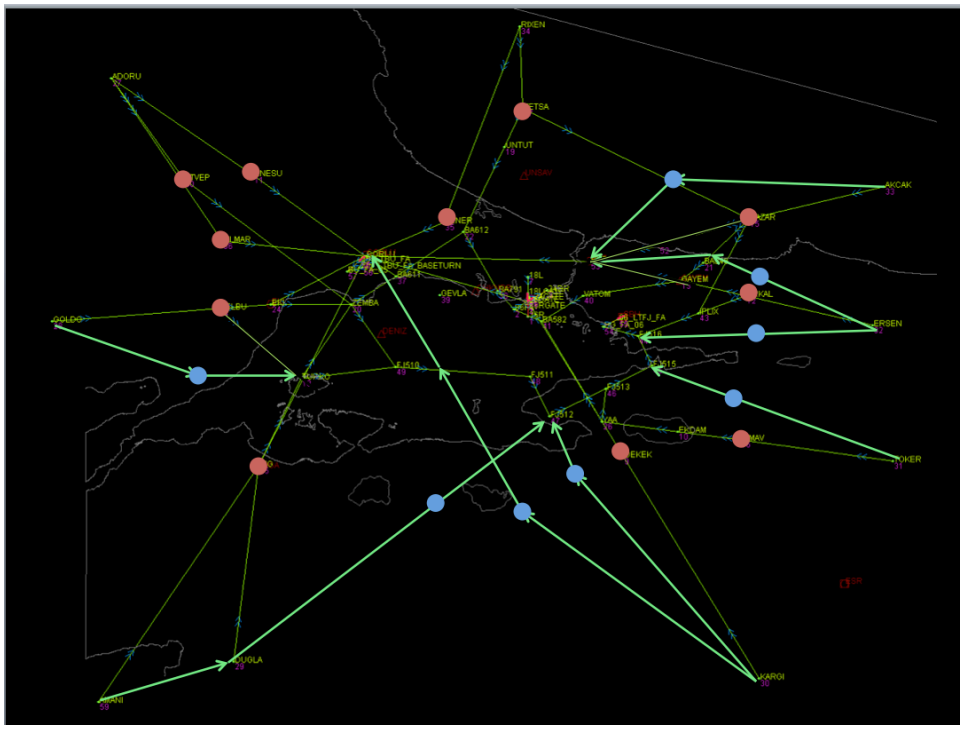
Şekil 4.14. Yenilenmiş hava sahası

4.5.6. Hava sahasında bulunan kapı sayısının gecikmeye etkisinin incelenmesi

TMA kapıları şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda mevcut durum üzerinden incelenmiştir. Bu doğrultuda üç yeni deney yapılmıştır. İlk deneyde mevcut hava sahasında bulunan 11 TMA kapısı alınmış ve hava sahasında bulunan üç havaalanı da kullanılmıştır. Daha önceden gerçekleştirilen deneylerde talep kapasite eğrisinde kırılma noktası olarak görülen 90 uçuş sayısı bu deneylerde sabit uçuş değeri olarak alınmıştır. Bu 90 uçuşun üç havaalanına ve tüm giriş noktalarına eşit dağıldığı kabul edilmiştir. Tüm uçuşlar B738 uçak tipi ile gerçekleştirilmiştir.

İlave edilen yollar Şekil 4.15'de harita üzerinde gösterilmiştir. Mevcut TMA kapıları turuncu renkte olup ilave kapılar mavi renkle ve bu kapıları bağlayan hava yolları kalın yeşil olarak çizilmiştir. Bu şekilde ilave 8 adet yol çizilmiştir. Bu yolların BIG, TURKO, ERKAL, PIMAV DEKEK ve PAZAR

noktalarında gerçekleşen gecikmeleri azaltması hedeflenmektedir. BIG noktası için Sabiha Gökçen Havalimanına iniş gerçekleştirecek uçuşlar için ilave yol yapılarak gecikme azaltılması hedeflenmektedir. Yaratılan yeni yol askeri hava sahasından geçmektedir. Bu saha üzerinde bu sebeple bu güne kadar yol tasarlanmamıştır ancak son dönemlerde yapılan ünite ziyaretlerinde bu sahanın askeri hava trafik kontrol birimi ile koordinasyon sağlanarak sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Burada gecikmenin azalması durumunda bu sahasının kullanımının önemi ortaya çıkacak ve askeri otoritelerle gerekli protokollerin kurulması gerekecektir. DEKEK noktasında gerçekleşen gecikmenin azaltılması için Sabiha Gökçen ve Çorlu Havalimanı için iki ayrı rota belirlenmiştir. PAZAR noktasında gecikme azaltılması için Sabiha Gökçen Havalimanı gelişleri için yeni bir kapı açılmıştır. ERKAL noktası için Sabiha Gökçen ve Çorlu Havalimanı'nın yollarını ayıran iki adet rota çizilmiştir. TURKO ve PAZAR için ise sadece Sabiha Gökçen Havalimanı gelişleri için ayrı kapı açılarak rota çizilmiştir. İlave edilen bu rotaların gecikme durumu ve toplam hava sahasındaki gecikmeler üzerindeki etkileri incelenecektir.



Şekil 4.15. Hava sahasında açılan yeni kapı ve yol yapıları

4.6. Terminal Kontrol Sahası İçin Regresyon Çalışması

Hava sahasında gerçekleşen gecikmelerin hava sahası yapısı ile ilişkisinin incelenmesi için bir regresyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışma ile hava sahası tasarımı yada iyileştirilmesi çalışmalarına ışık tutacak bir yaklaşım ortaya konulması hedeflenmektedir.

Hava sahalarında yaşanılan gecikmeler hava sahası kullanıcıları olan hava yolu şirketlerine büyük mali kayıplara sebep olmaktadır. Hava trafik sisteminin son kullanıcısı olan yolcular açısından kalite ve memnuniyet algısı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu gibi sebeplerle gecikmenin azaltılması çalışmaları büyük öneme sahiptir. Gecikme azaltıcı ya da hava sahası iyileştirme çalışmaları için gecikmenin sebeplerini ortaya koyan çalışmalar önem kazanmaktadır. Yapılan regresyon çalışması bu açıdan literatüre farklı bir katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Çalışma için hızlı zamanlı simülasyon programı SIMMOD ile yapılan deney sonuçlarında elde edilen gecikme verileri kullanılmıştır. Ayrıca ortaya çıkan çalışma uluslararası poster olarak İsveç'de sunulmuştur [69].

4.6.1. Deney Tasarımı

Oluşturulacak regresyon analizinde bağımlı değişken, "gerçekleşen gecikme" olarak belirlenmiştir. Gerçekleşen gecikmeyi açıklaması beklenen beş bağımsız değişken belirlenmiştir. Bu bağımsız değişkenlerin başında uçuş sayısı (number of flight operation – NFLG) gelmektedir. Hava sahası içerisindeki kullanılan havaalanı sayısı (number of airport in airspace – APRT), hava sahası giriş noktası sayısı (number of entry point of the airspace - ENPO), hava sahası içindeki kullanılan nokta sayısı (number of fixes in the airspace - NFIX) ve uçuş düzenleyen uçakların geniş gövdeli olma olasılığı (probability wide body aircraft - NPWB) diğer bağımsız değişkenler olarak alınmıştır.

Tekrarlanan otuz deney ile veri seti oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen deneylerin verileri tamamen rassal olarak belirlenmiştir. Hava sahası içindeki havaalanı sayısı (APRT), 1 ile 3 arasında değer almaktadır. Hava sahasına 9 ayrı noktadan giriş gerçekleştiği için (ENPO), 1-9 arasında değer almaktadır. Hava sahasındaki olabilecek en çok nokta sayısı 42 olduğundan uçuş planlarına göre uçuşların üzerinden geçtiği nokta sayısı (NFIX), 1-42 arasında değer almaktadır. Gerçekleşen uçuş talebinin (NFLG), 5-144 arasında gerçekleşmesi kabul edilmiştir. Gerçekleşen uçuşların geniş gövdeli uçak olma olasılığı (NPWB) ise 0-1 arasında değer almaktadır (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.6. Bağımsız değişkenlerin alabilecekler değerler

Kısaltmalar	Bağımsız Değişkenler	Alınan Değer Aralıkları
NFLG	Uçuş Sayısı	5-144
APRT	Havaalanı Sayısı	1-3
ENPO	Hava Sahası Giriş Noktası Sayısı	1-9
NFIX	Hava Sahası İçinde Bulunan Çakışma Sayısı	1-42
NPWB	Uçak Karmasının Geniş Gövdeli Olma Olasılığı	0-1

4.6.2. Deney Sonuçları

Gerçekleştirilen 30 deneyin tüm sonuçları Çizelge 4.6'de verilmiştir. Örneğin; onuncu deneyde 15 uçuş 1 havaalanına 3 ayrı noktadan hava sahasına giriş yaparak uçuş planı üzerinde bunun 12 nokta üzerinden geçerek inişini gerçekleştirmektedir. Bu deneydeki geniş gövdeli uçak olasılığı 0,2'dir. Deney sonucunda hava sahasında toplam 31 dakikalık gecikme gerçekleşmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde en çok 1138 dakikalık gecikme ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.7 Regresyon deneyi sonuçları

Deney No	APRT	ENPO	NFIX	NFLG	NPWB	Toplam Gecikme
1	1	1	6	5	0	8
2	1	5	32	55	0	297
3	1	5	22	75	0,4	136
4	1	8	27	72	0,6	297
5	1	6	33	42	0,2	35
6	1	2	8	26	0,2	252
7	1	9	42	144	0,8	1138
8	1	4	23	44	0,6	162
9	1	7	36	63	0,4	335
10	1	3	12	15	0,2	31
11	2	3	15	9	0	5
12	2	4	15	32	0,4	99
13	2	6	24	48	0,6	269
14	2	5	26	55	0,2	100
15	2	7	34	98	0	559
16	2	8	37	72	0.6	362
17	2	3	17	21	0.8	74
18	2	9	36	144	1	840

Deney No	APRT	ENPO	NFIX	NFLG	NPWB	Toplam Gecikme
19	2	8	36	120	0,4	1118
20	2	7	37	63	0,2	202
21	3	3	16	45	0,8	115
22	3	5	29	55	0,6	207
23	3	9	39	81	0,4	0
24	3	4	20	36	0,2	47
25	3	8	41	72	0,4	142
26	3	6	28	72	0	212
27	3	5	25	50	0,6	207
28	3	9	39	117	0	580
29	3	4	20	20	0,2	29
30	3	7	31	112	0,2	268

4.6.3. İstatistiksel analiz

Regresyon analizi sonucunda gecikmenin mevcut bağımsız değişkenlerle açıklanabildiği ortaya çıkmıştır. Bağımsız değişkenlerin korelasyon matrisi Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bağımsız değişkenlerin kolerasyon matrisi incelendiğinde giriş noktası sayısı ve hava sahasında bulunan çakışma noktası sayısının birbirini etkilediği görülmektedir.

Bu korelasyon matrisine bakıldığı zaman birinci bağımsız değişkenin (APRT) diğer hiç bir bağımsız değişkenle ilişkisi olmadığı görülmektedir. İkinci bağımsız değişkenin (ENPO), üçüncü bağımsız değişken (NFIX) ve dördüncü bağımsız değişken (NFLG) ile ilişkisinin olduğu görülmektedir. Ayrıca APRT'nin altıncı bağımlı değişken olan gecikme de yüksek ilişkisinin olduğu söylenebilir.

Üçüncü bağımsız değişken (NFIX), ikinci (ENPO) ve dördüncü (NFLG) bağımsız değişken ile ilişkilidir. Beşinci bağımsız değişkenin (NPWB) diğer bağımsız değişkenlerle bir ilişkisi olmadığı görülmektedir.

Belirlenen beş bağımsız değişken ile sabit terimli ve sabit terimsiz olmak üzere iki adet model ortaya konulmuştur. Ayrıca ortaya çıkan bağımsız değişkenler arasındaki ilişki sebebiyle hava sahası giriş noktası sayısı ve hava sahasında kullanılan nokta sayısının birbirini etkilediğinden yalnızca hava sahası giriş noktası sayısı incelemeye alınarak yeni bir model incelemesi yapılmasına karar verilmiştir (Çizelge 4.7). Bu model de bağımlı değişkeni çok güçlü şekilde açıklayan hava sahasındaki uçak sayısının da çıkartılarak diğer üç faktörün etkisinin incelenmesine karar verilmiştir. Bu yeni modelin de sabit terimli ve sabit

terimsiz olmak üzere iki adet versiyonu yapılmıştır. Oluşturulan modellerin istatistiksel değerleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Bu tabloya göre F değerleri anlamlıdır ve P < 0,05'den olduğu için model anlamlıdır.

Çizelge 4.8. Pearson Kolerasyon Matrisi

Korelasyon Matrisi						
	APRT	ENPO	NFIX	NFLG	NPWB	TDLY
APRT	1	,182	,193	,132	,000	-,122
ENPO	,182	1	,934**	,862**	,283	,618**
NFIX	,193	,934**	1	,788**	,217	,555**
NFLG	,132	,862**	,788**	1	,366*	,824**
NPWB	,000	,283	,217	,366*	1	,395*
TDLY	-,122	,618**	,555**	,824**	,395*	1

**. Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı (2-kuyruklu).

*. Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı (2-kuyruklu).

Çizelge 4.9. Tahmin edilen regresyon modelinin katsayıları

	Sabit Terim	APRT X_1	ENPO X_2	NFIX X_3	NFLG X_4	NPWB X_5	R^2	F	P
Model 1	69,673	-76,276	-43,969	1,142	8,635	91,533	0,764	15,565	0
Model 2	-	-64,174	-40,965	2,361	8,345	113,854	0,870	33,488	0
Model 3	-100,046	-83,372	78,343	-	-	238,246	0,486	8,190	0
Model 4	-	-104,545	71,372	-	-	212,887	0,685	22,706	0

Birinci modelde sabit terim kullanılarak model açıklanmaya çalışılmış ancak sabit terimin çıkartıldığında R^2'nin 0,765'den 0,870'ye yükseldiği görülmektedir. Bu nedenle oluşturulan modelin sabit terimsiz olmasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca bu analizler yapılırken değişkenler arasında çoklu bağlantı problemi ile karşılaşılmıştır ve bu problemin yok edilmesi için de değişkenler indirgenmiştir.

Denklem (1)' ile verilen regresyon denklemine göre; hava sahası içinde bulunan havaalanı sayısı ve hava sahası giriş noktası sayısı arttıkça hava sahasındaki gecikmeler azalmaktadır. Bu sonuca göre trafik yükü farklı noktalara ve havaalanına dağıtıldıkça gecikme sayısı azalmaktadır. Diğer yandan hava sahasındaki düğüm sayısı arttıkça gecikmeler artmaktadır. Bunun sebebi hava

sahasında karmaşıklığın artması, potansiyel çakışma noktası sayısının artmasıdır. Hava sahasındaki uçak sayısının gerçekleşen gecikmeleri etkilemesi beklenen bir durum olmakla birlikte regresyon analizinde de görülmektedir. Geniş gövdeli uçak oranı ise uygulanacak ayırmalardaki değişim sebebiyle gecikmeyi etkilemektedir. Yapılan incelemede giriş noktası sayısı ve hava sahasında bulunan düğüm sayısının birbiri ile ilişkili olabileceği matematiksel olarak ortaya çıkmıştır. Bu nedenle hava sahasındaki düğüm sayısı değerleri çıkartılarak yeniden regresyon denklemi oluşturulmasına karar verilmiştir.

$$Y = -64{,}174\,APRT - 40{,}965\,ENPO + 2{,}361\,NFIX + 8{,}345\,NFLG + 113{,}854\,NPWB \quad (1)$$

Bu analizde de R^2 0,658'den 0,486'ya düştüğü için sabit terim olmadan modelin oluşturulması daha uygundur. Bu model R^2 0,658 olarak bağımlı değişkeni açıklamaktadır. Denklem (2)'de verilen regresyon modeline göre havaalanı sayısının artması gecikmeyi azaltan bir faktör olarak görülürken hava sahasına giriş noktası sayısı ve hava sahasına operasyon düzenleyen geniş gövdeli uçak oranı gecikmeyi arttıran faktörler arasındadır.

$$Y = -104{,}545\,APRT + 71{,}372\,ENPO + 212{,}887\,NPWB^2 \quad (2)$$

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Simülasyon sonuçları yapılan senaryo planlaması doğrultusunda incelenmektedir. Beş adet senaryo planlaması bulunmaktadır. Bu beş adet senaryonun sonuçları benzer grafiklerle kıyaslanmaktadır.

Grafiklerde bahsedilen ard arda gelen uçak sayısı, deney içerisinde hava sahasına giriş notalarından gerçekleşen peş peşe gelen uçak sayısını temsil etmektedir. Önceki bölümde açıklandığı gibi ilk deneyde her bir noktadan gelen uçak sayısı 1 iken bu sayı her deneyde birer arttırılarak ilerlemektedir. Hava sahasındaki uçak sayısı ilgili senaryo içinde hava sahasına kaç noktadan uçak talebinin olduğunun kabulü ile ilgilidir. Hava sahasındaki uçak sayısı grafikte okunan ard arda gelen uçak sayısı çarpı o senaryodaki giriş noktası sayısına eşit olacaktır. Bu ilişki her bir senaryo alt başlığında örnekle açıklanmaktadır.

Gecikmelerin sebepleri hava sahasındaki uçak sayısı ile ilişkisi simülasyon programının verdiği çıktılar ile incelenmiştir. Simülasyon programının kullanım kılavuzunda bu beş çeşit sebep tanımlanmıştır [50]. Bu sebepler için belirtilen tanımlamalar şu şekildedir.

Ayırma sebepli gecikme: bir düğüm üzerinde kuyruk türbülansı sebebiyle gerçekleşen gecikmedir.

Belirsiz gecikme: hava sahası içerisinde gerçekleşen gecikmenin sebebi belirlenmemiştir.

Vektör-Hız: hava sahası içerisinde bir uçağın bir noktaya vektör gecikmesi ve normalden daha yavaş uçarak gecikmeli olarak ulaşmasıdır.

Öndeki uçağın gecikmesi: bir uçağın öndeki uçağın aldığı gecikme sebebiyle gecikme almasıdır.

Hız azaltılması: hava sahasındaki bir uçağın normalden yavaş uçarak bir sonraki düğüme gecikmeli varmasıdır.

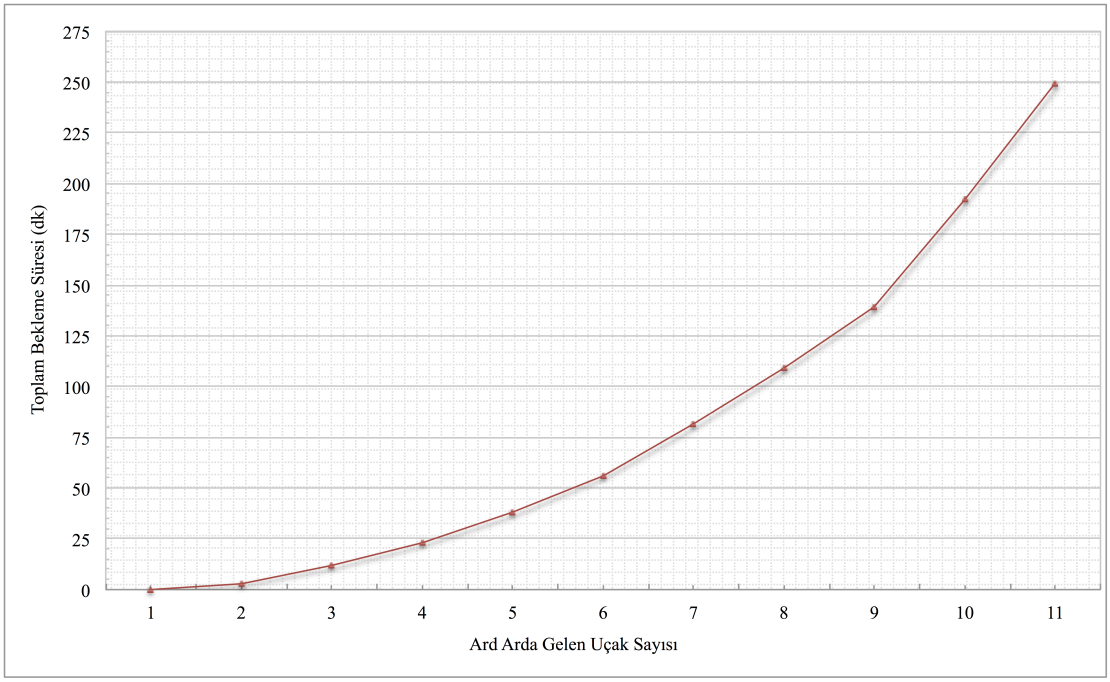
5.1. Birinci Senaryo: Dört Yönden Uçuş Talebi

Dört yönden uçuş talebinin gerçekleştiği senaryoda hava sahasına en çok 48 uçak talebi gerçekleşmiştir. 48 uçağın hepsine bir saatlik dilimde gecikme

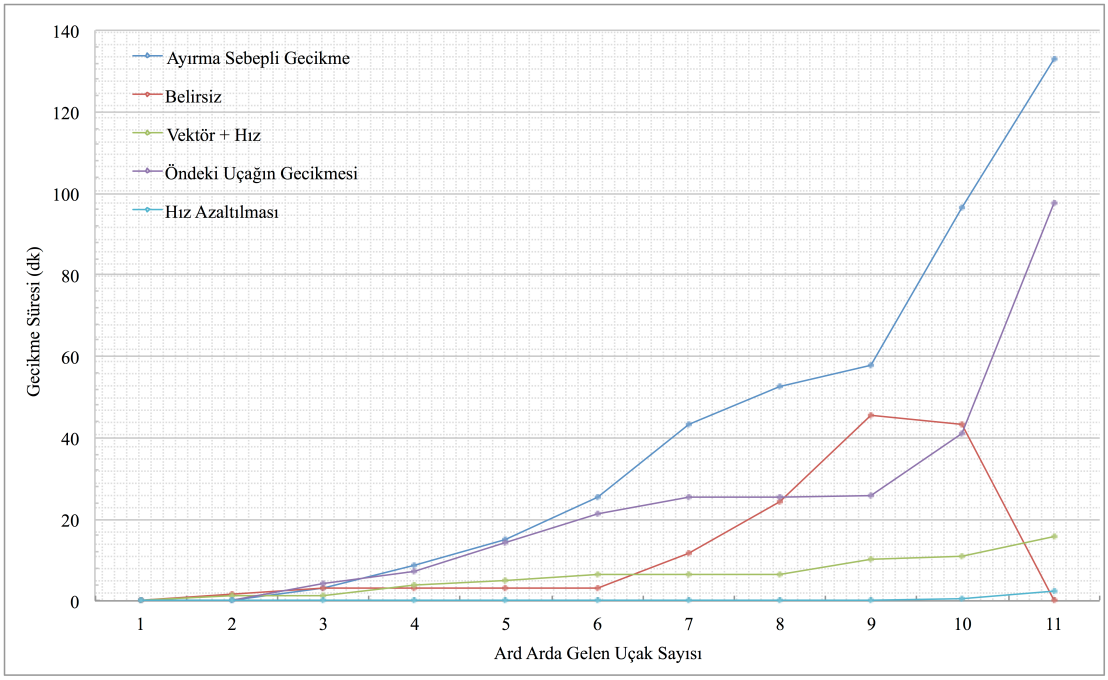
gerçekleşmesine rağmen hizmet verilebilmiş bir sonraki saat dilimine kalan uçak olmamıştır.

Sadece dört ana yönden uçuş talebinin olduğu senaryoda hava sahasında gerçekleşen toplam gecikme süresi Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu senaryoda hava sahasına dört farklı noktadan giriş gerçekleştiği için ard arda gelen uçak sayısı ile dört çarpılarak hava sahasındaki uçak sayısına ulaşılmaktadır. Bu senaryoda gerçekleşen en yüksek toplam gecikme 250 dakika ile hava sahasındaki 12x4=48 uçakla gerçekleşmiştir

Gerçekleşen gecikmelerin sebepleri bakımından incelendiğinde gecikmelerin en büyük sebebinin ayırma kuralları olduğu görülmektedir (Şekil 5.2). Ayırmaları belirleyici diğer bir sebep ise öndeki uçağın gecikme almasıdır. Öndeki uçağın gecikme alması ve ayırma sebepli gecikmeleri 36 uçaktan sonra yüksek bir artış göstermektedir.

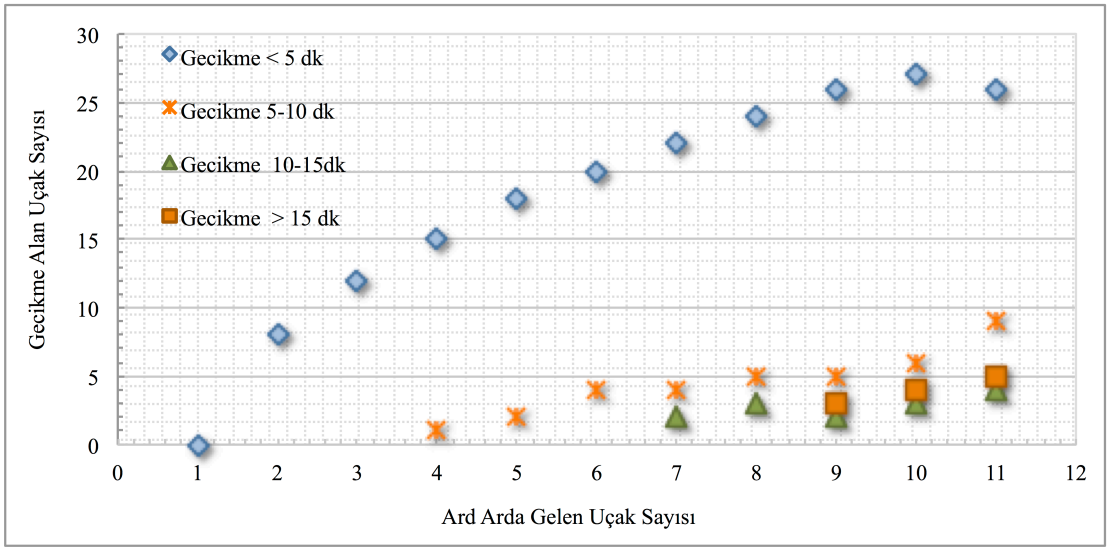


Şekil 5.1. Birinci senaryo toplam gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi



Şekil 5.2. Birinci Senaryo gerçekleşen gecikme sebepleri

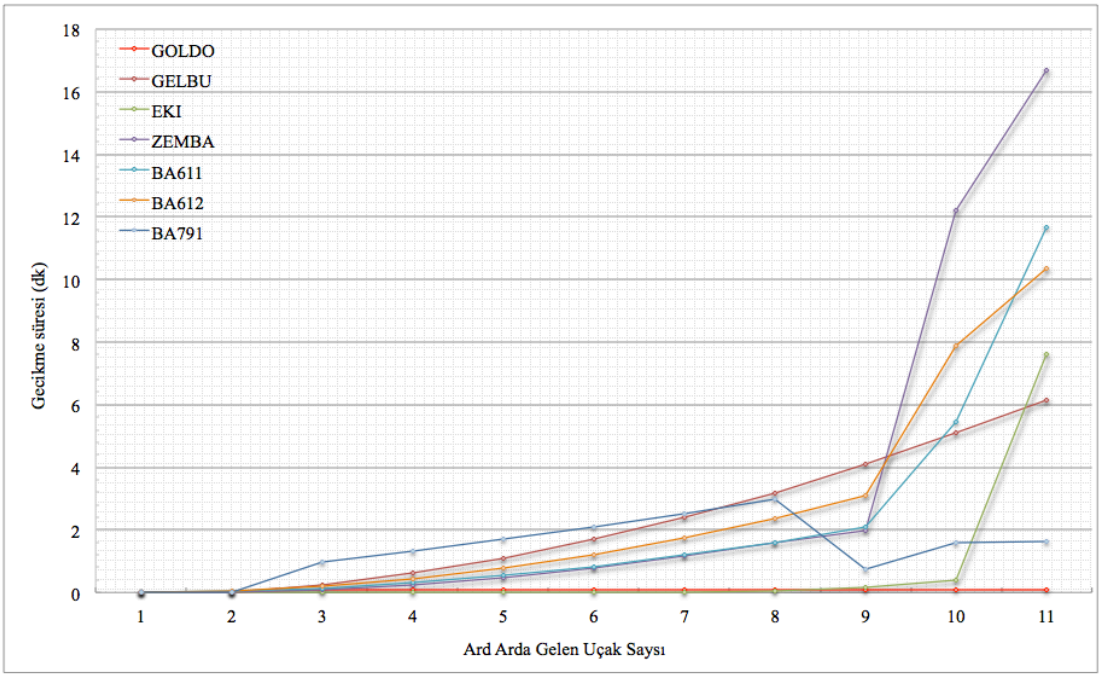
Hava sahasına operasyon düzenleyen uçakların aldıkları gecikme süresi bakımından incelendiğinde (Şekil 5.3) 5 dakikanın altında gecikme alan uçak sayısının hava sahasındaki uçak sayısına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Hava sahasında 16 uçak operasyon düzenlediği zaman uçakların 5 dakikanın üzerinde gecikme aldığı görülmekte, 28 uçak operasyon düzenledikten sonra 10 ile 15 dakikalık gecikme olduğu görülmektedir. Hava sahasındaki uçak sayısı 36'ya ulaştığında 15 dakikanın üzerinde gecikme gerçekleşmeye başlamaktadır. Hava sahasında 48 uçak operasyon düzenlediği deneyde 25 uçak 5 dakikanın altında, 9 uçak 5 ila 10 dakikalık, 4 uçak 10 ila 15 dakikalık, 5 uçak ise 15 dakikanın üzerinde gecikme almaktadır. Bu noktada hava sahasının kapasitesini belirleyen bir saatlik diliminde hizmet verilen uçak sayısı yerine, bir uçağın bir saatlik dilimde hava sahası otoritesinin belirlediği gecikme limitine göre gecikme gerçekleştiği uçak sayısı olmalıdır. Bu çalışmada önerilen hava sahasındaki uçakların 15 dakikanın üzerinde gecikme almamasıdır. Buna göre bölüm 4.2 ve 4.6.2'de kabul edilmiş şartlarda bu hava sahasının kapasitesi saatlik 35 uçaktır.



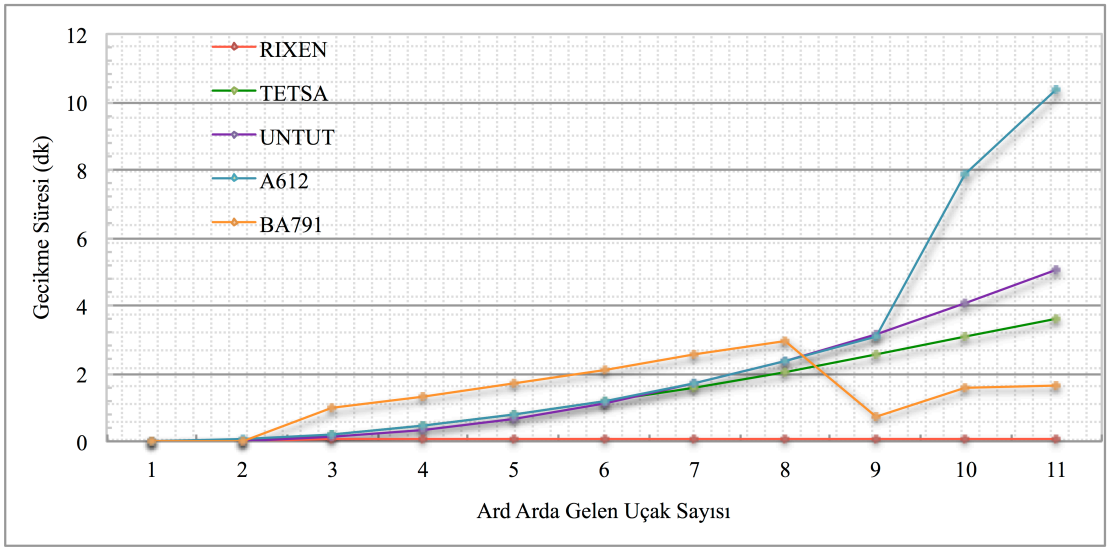
Şekil 5.3. Birinci Senaryo gecikmelerin 5 dakikalık baremlerle incelenmesi

Rotalar üzerindeki gecikmeler incelendiğinde 1. rota olan batı gelişleri üzerinde en çok gecikmenin ZEMBA noktasında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 5.4). Senaryolar incelendiğinde rotalar üzerinde gecikme gerçekleşen ortak kritik noktalar belirlenerek olası çözümlerin bu problemli bölgelere odaklanması planlanmaktadır.

2. rota üzerinde gerçekleşen gecikmelerin içinde dikkati çeken nokta A612'dir (Şekil 5.5). Bu nokta kuzey ve doğu uçuşlarının toplanarak sıralandığı ve havalimanına iniş için kat edilen son noktalardan biridir. Kuzey ve doğu, güney doğu rotalarından gelen uçuşlar toplanarak sıralandığından burada gecikme gerçekleşmesi doğaldır ve bu nokta TMA'nın iç kesimindeki kritik noktalardan biridir.



Şekil 5.4. Birinci senaryo 1. rota gecikme süreleri

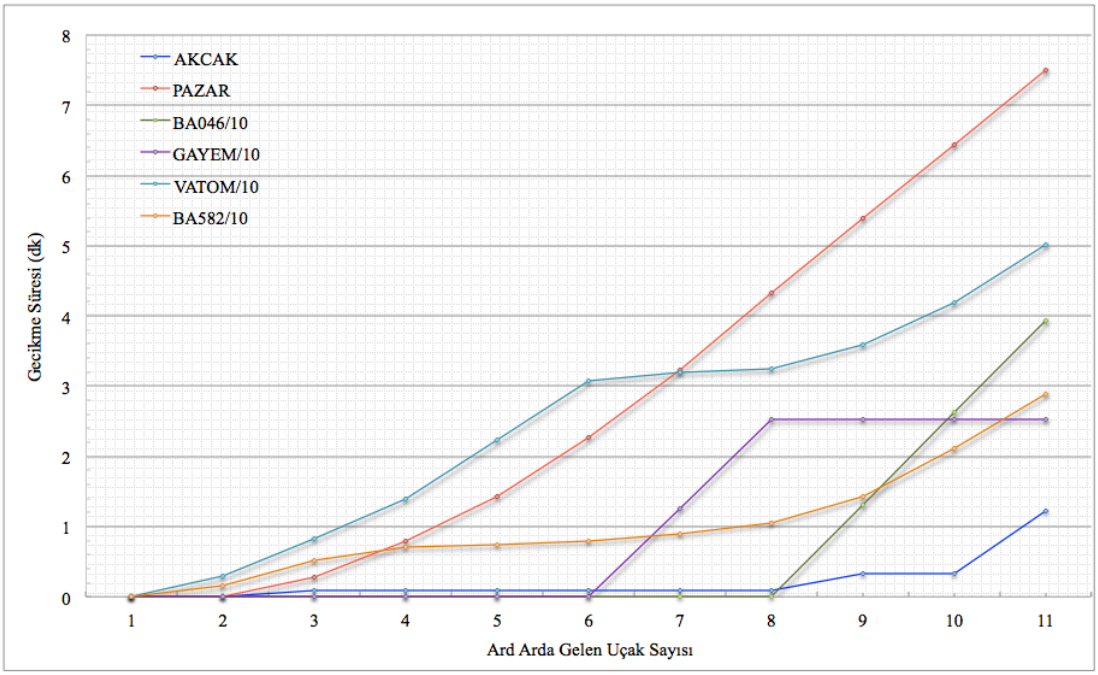


Şekil 5.5. Birinci senaryo 2. rota gecikme süreleri

3. rota üzerinde bulanan düğümlerde gerçekleşen gecikmeler Şekil 5.6'da verilmiştir. Bu grafikte değerler arasında büyük farklar bulunması sebebiyle bazı değerler olduğunun 10'da 1'i olarak verilerek grafikteki değerler birbirine yaklaştırılmış, okuması kolaylaştırılmıştır. BA582 düğümü doğu ve güney rotalarının birleşim yeri olduğundan bu noktada gecikme gerçekleşmesi doğaldır.

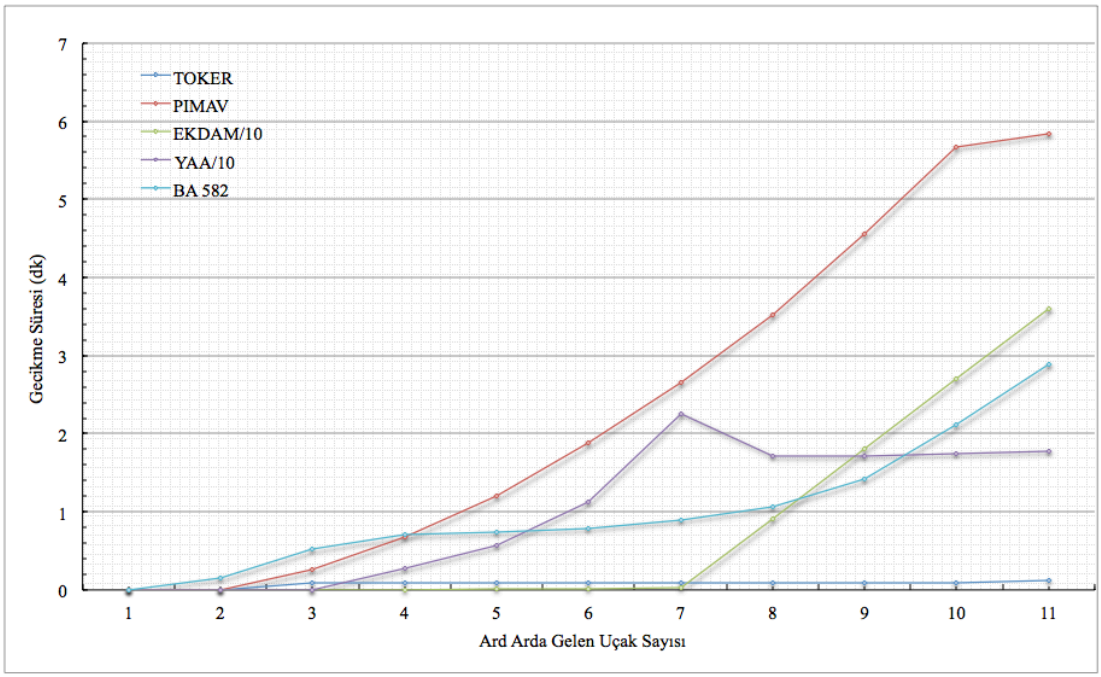
Diğer yandan gerçekleşen en yüksek gecikme VATOM düğümünde gerçekleşmiştir.

4. rota üzerinde bulunan EKDAM düğümü üzerinde gerçekleşen gecikme en yüksek gecikme olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.7). Bu düğüm TMA kapıları bir sonraki düğüm olması bakımından çalışma açısından önemlidir.

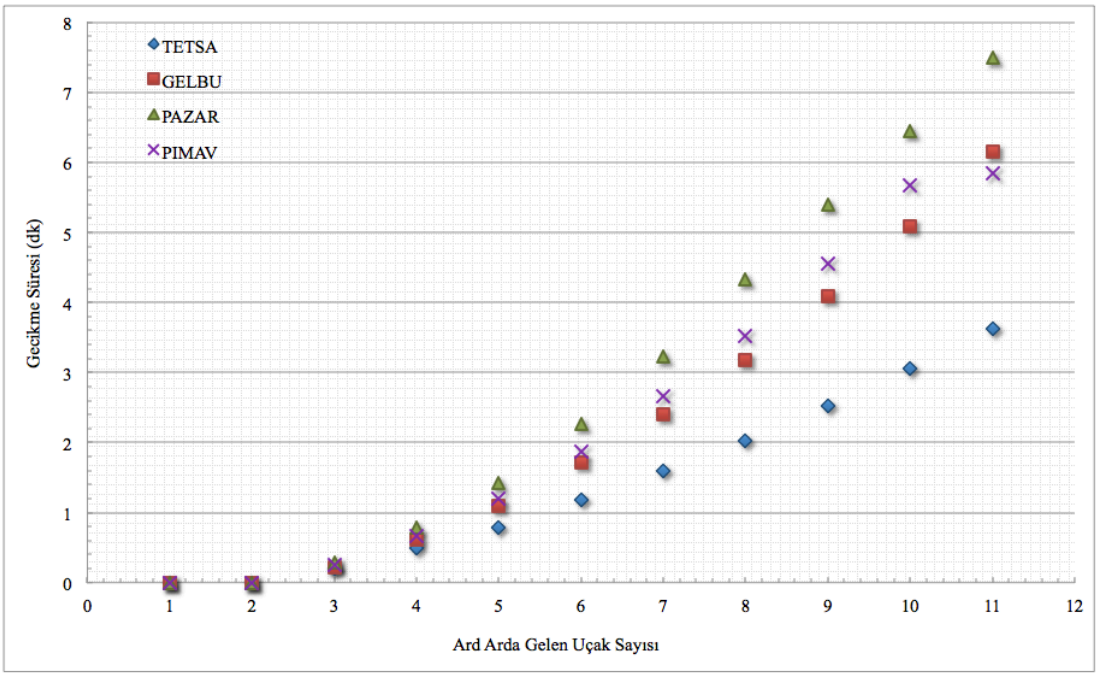


Şekil 5.6. Birinci senaryo 3. rota gecikme süreleri

Gerçekleştirilen senaryonun rotaları üzerinde bulunan TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler Şekil 5.8'de verilmiştir. TMA kapıları arasında en çok gecikme PAZAR ve PIMAV'da gerçekleşmiştir.



Şekil 5.7. Birinci senaryo 4. rota gecikme süreleri



Şekil 5.8. Birinci senaryo, TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler

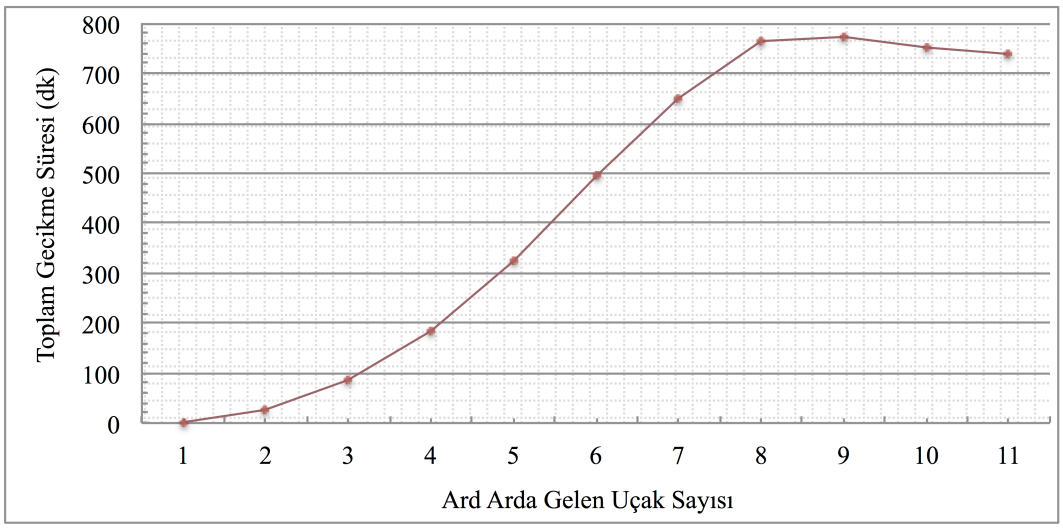
Senaryo 1'in sonuçlarına göre saatlik 48 uçağa hizmet verilebilirken gerçekleşen gecikmeler göz önüne alındığında kapasite 35 olarak bulunmaktadır.

ZEMBA, A612, BA582, VATOM ve EKDAM düğümlerinde gecikme gerçekleşmiştir. ZEMBA ve EKDAM düğümleri TMA kapısından hemen sonra yer alması açısından bu çalışma için önemli düğümleridir. A612 ve BA582 düğümleri havalimanına oldukça yakın bir şekilde konumlanmış ve farklı rotaların birleşim düğümleri olduğundan bu bölgelerde gecikmeler yaşanmıştır.

5.2. İkinci Senaryo: Tüm Rotalardan Uçuş Talebi

FIR sınırında bulunan tüm giriş noktalarından gelişlerin gerçekleştiği ve tüm gelişlerin sadece Atatürk Havalimanına geldiği varsayıldığı senaryo 2'de 9 ayrı FIR giriş noktasından 99 uçuş talebi gerçekleşmiştir. Hava sahasındaki uçak sayısının belirlenmesi için 9 giriş noktası ele alındığından ard arda gelen uçak sayısı 9 ile çarpılmalıdır.

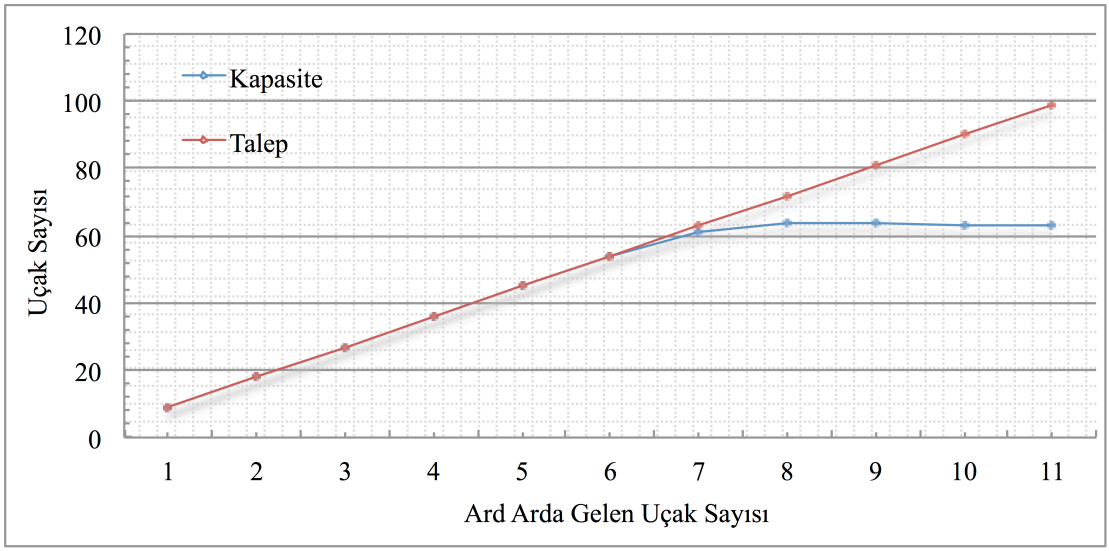
FIR sınırlarında bulunan tüm noktalardan gerçekleştirilen uçuş talebi ile yapılan senaryoda toplam gecikme 738 dakika olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.9). Uçuş talebi ile gerçekleşen gecikme arasında kuvvetli bir ilişki olduğu açıkça görülmektedir.



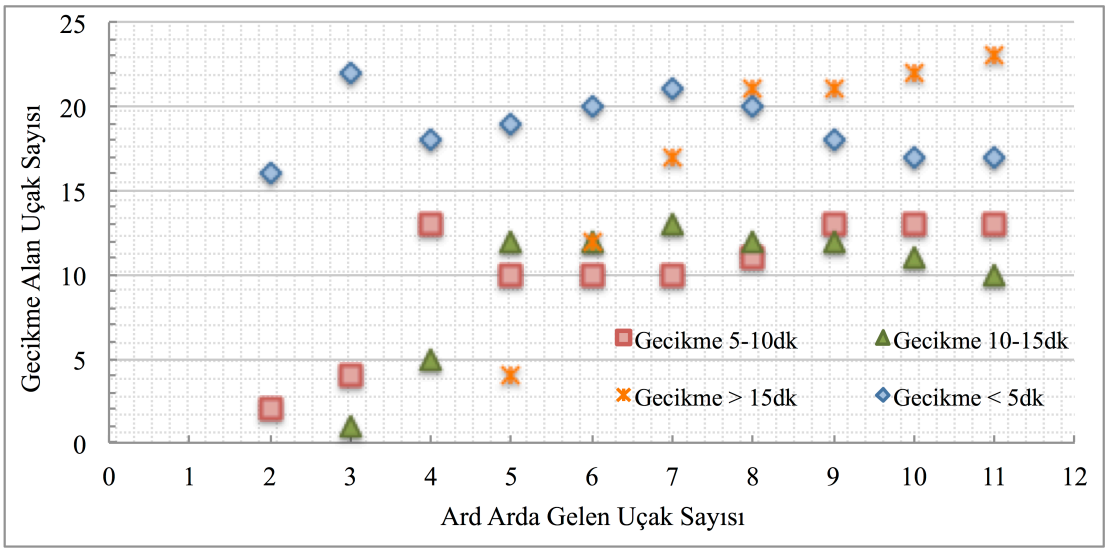
Şekil 5.9. İkinci Senaryo Toplam Gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi

Talep artışı karşısında kapasitenin durumu incelendiğinde 64 uçaktan sonra talep artmasına rağmen kapasite artmamaktadır (Şekil 5.10). 64 uçaktan sonrası bir sonraki saat dilimine kaymaktadır. 64 uçak bir saatlik zaman diliminde

hizmet verilen uçak sayısıdır. Bu değerlendirmede herhangi bir şekilde gecikmeler göz önüne alınmamıştır.



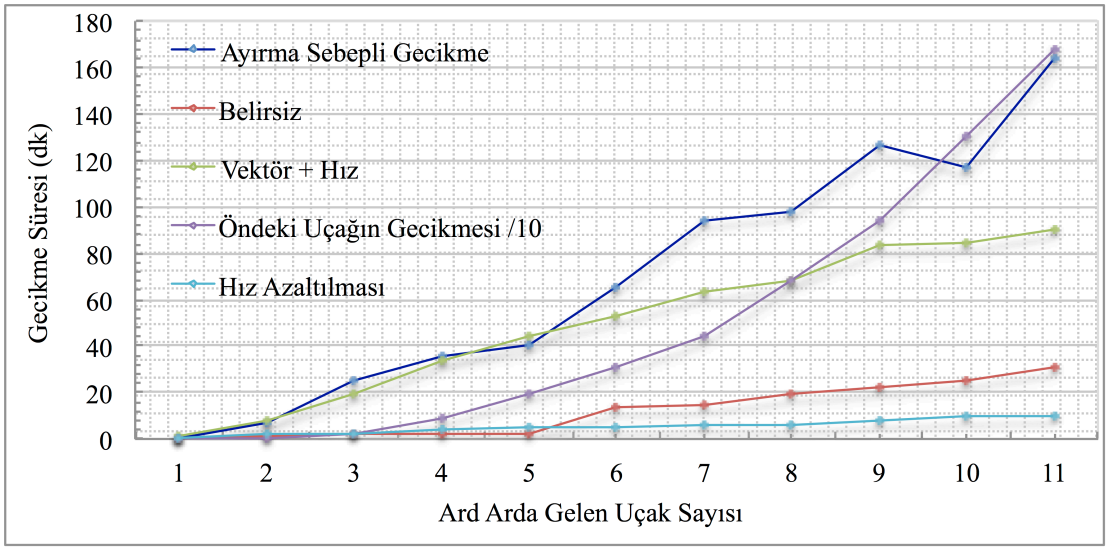
Şekil 5.10. İkinci senaryo talep-kapasite ilişkisi



Şekil 5.11. İkinci senaryo, gecikmelerin 5 dakikalık baremlerle incelenmesi

5 dakikanın altında gecikme alan uçak sayısı tüm talep aralığında benzer şekilde olup 15 ila 20 arasında değişmektedir. 5-10 dakikalık gecikme peşpeşe 3 uçağın gelmesi ile birlikte yani 18 uçaktan itibaren görülmeye başlamaktadır (Şekil 5.11). 10-15 dakikalık gecikme ise 27 uçaktan itibaren, 15 dakikanın üzerinde gerçekleşen gecikmeler 45 uçaktan itibaren görülmektedir. Farklı noktalardan hava sahasına giriş hava sahası yapısını karmaşıklaştırdığından

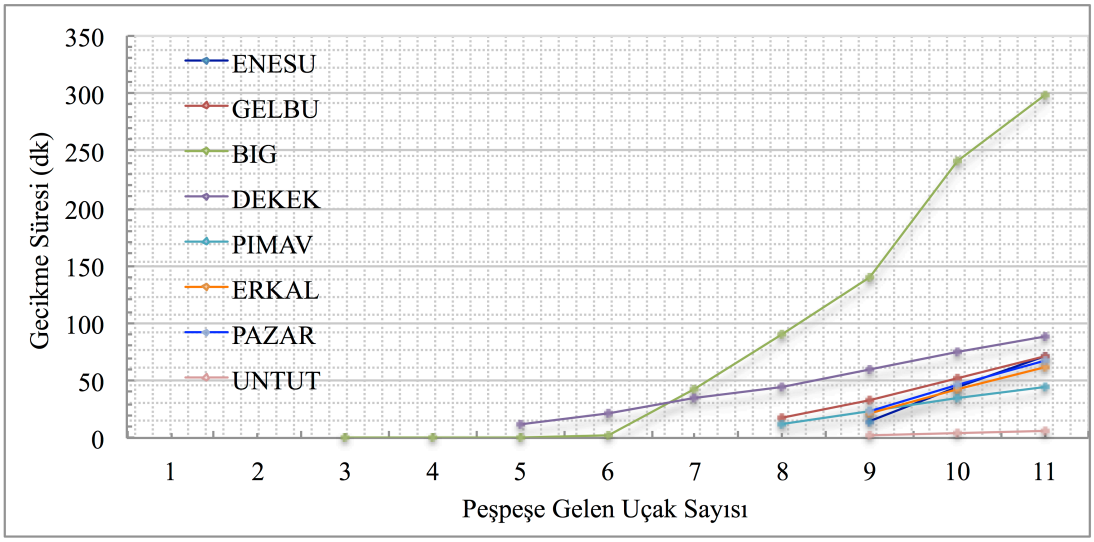
gecikmelerin ortaya çıkması daha az uçak sayısı ile ortaya çıkmaktadır denebilir. Buna rağmen gecikmenin etkisi ile kapasitenin belirlenmesini incelediğimizde 15 dakikanın altında gecikme alan uçak sayısı 44 olduğundan hava sahasında 15 dakikanın üzerinde gecikme gerçekleşmeksizin hizmet verilebilecek uçak sayısı 44'tür. Bu sayı sadece dört yönden uçuş düzenlendiğinde 35 idi.



Şekil 5.12. İkinci Senaryo gerçekleşen gecikme sebepleri

Gerçekleşen gecikmeler sebepleri bakımından incelendiğinde en büyük sebep öndeki uçağın gecikmesi olarak görülmektedir (Şekil 5.12). İkinci önde gelen sebep ise ayırma kuralları olarak görülmektedir. Ayrıca gecikmelerin gerçekleşmesinde vektör - hız tekniğinin etkili olduğu görülmektedir.

TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler incelendiğinde BIG ve DEKEK noktaları kritik nokta olarak belirlenebilir. Özellikle BIG noktasında gerçekleşen toplam gecikme saatlik 300 dakikaya ulaşmaktadır (Şekil 5.13). Bu sonuca bağlı olarak yapılacak bir iyileştirme çalışmasının BIG noktasını kapsaması düşünülebilir. Bu iyileştirmedeki hedef BIG noktasındaki gecikmenin diğer TMA kapılarındaki seviyelere inmesini sağlamak üzerine olmalıdır.



Şekil 5.13. İkinci Senaryo, TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler

Hava sahasında bulunan tüm noktaların üzerinde gerçekleşen gecikme süreleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Bu tabloya göre en çok gecikme gerçekleşen noktalar TURKO ve BIG olarak görülmektedir. TURKO noktası TMA'nın batı girişinden bir sonraki noktadır. Bu nokta güney-batı girişi olan BIG'dan sonra bu yönden gelen rota ile batı girişinin birleşim noktası olduğundan gecikme oranı yüksektir. BIG üzerinde yapılacak bir iyileştirmenin TURKO üzerindeki etkisi de incelenmeli ve ortaya konulacak yöntem ikisine birden çözüm getiremiyor ise TURKO noktası için de yeni bir çözüm geliştirilmelidir.

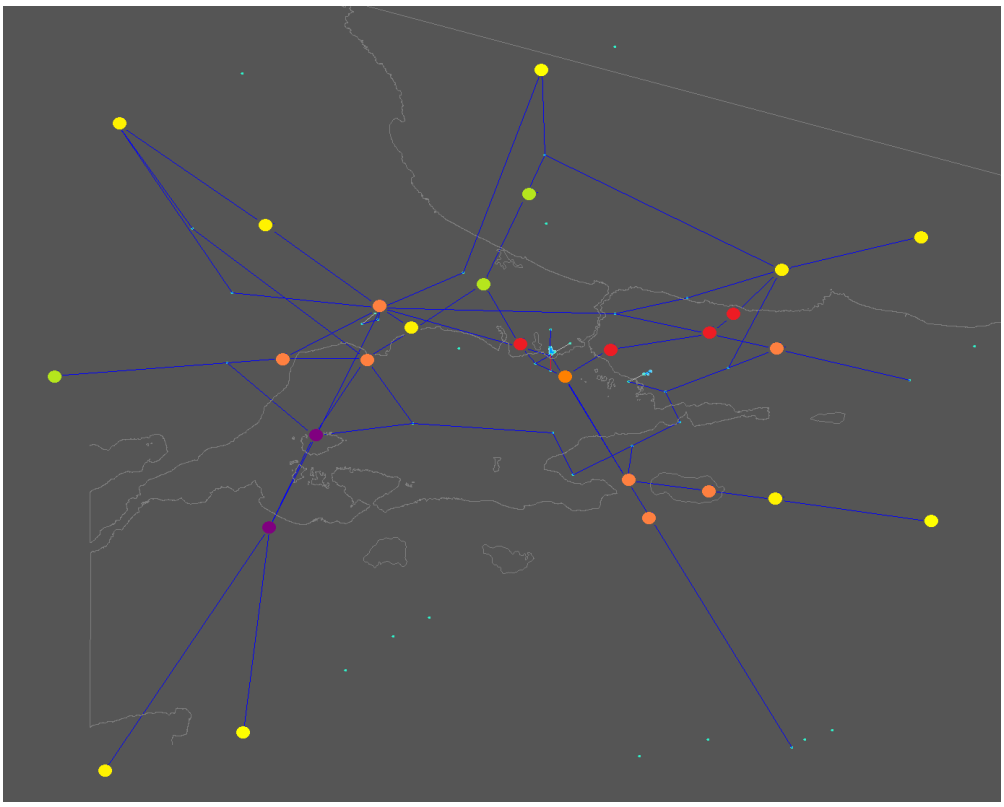
TMA içerisinde gerçekleşen gecikmelerin kabul edilebilir olup olmadığının anlaşılabilmesi ve gecikmelerin ne boyutta yaşandığının görülebilmesi için yaşanılan gecikmeler süre bazında kategorilendirilmiştir. FAA'in havaalanları iniş kalkış trafikleri için açıkladığı uçak başına kabul edilebilir gecikme miktarını hava sahasındaki noktalar üzerinde yaşanılan kabul edilebilir gecikme miktarına uyarlamak hava sahasında yaşanılan gecikmeleri kolay anlaşılır kılacaktır. FAA yaptığı sınıflandırmada, geliş veya kalkış trafikleri için 15 dakikayı kabul edilebilir bir düzey kabul ederek gösterimlerde "yeşil" ile simgelemiştir. 15 dakikadan 45 dakikaya kadar olan gecikmeleri bir bekleme sonucu ortaya çıkan gecikmeler olarak tanımlayıp gösterimde "sarı" ile simgelenmektedir. Daha fazla gerçekleşen gecikmeler "turuncu" ve "kırmızı" gibi renklerle simgelenmektedir [70].

Çizelge 5.1. Hava sahası noktalarına göre gecikme süreleri

Hava Sahası Fixleri	Peş Peşe Gelen Uçak Sayısı ve Oluşan Gecikme Süresi (dk)										
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
AKCAK		1	2	4	7	11	16	21	27	34	41
ADORU		1	2	5	8	12	17	23	29	37	45
AMANI	0	1	3	5	8	13	19	24	30	38	45
BA 046		0	1	1	2	23	45	68	79	97	121
BA582	0	1	2	3	3	3	5	4	5	6	8
BA611	0	1	4	5	7	9	10	28	27	36	37
BA 612	0	0	0	0	1	1	1	2	4	7	6
BA 791		10	27	52	70	73	84	102	118	133	147
BIG			0	1	1	1	42	91	139	242	299
CORLU		3	6	10	16	22	24	45	48	60	75
DEKEK					11	22	34	45	60	74	88
DUGLA		1	2	4	7	11	16	21	27	34	41
EKDAM						11	21	28	34	44	56
EKI				0	2	15	30	39	44	70	88
ENESU									15	44	72
ERKAL									21	42	62
GAYEM		1	3	6	28	50	72	103	119	139	213
GELBU								17	34	52	72
GELVA	0	1	2	3	3	3	5	4	5	6	8
GOLDO			0	0	0	0	0	5	4	5	41
PAZAR									23	46	68
PIMAV								12	24	34	45
RIXEN		0	2	4	7	10	14	19	24	30	37
TOKER		1	2	4	7	11	16	21	27	34	41
TURKO			2	31	72	115	122	142	183	189	243
UNTUT									2	3	6
YAA	0	2	4	17	26	30	40	45	45	46	46
VATOM		10	27	52	70	73	84	102	118	133	147
ZEMBA		2	16	23	26	30	32	40	69	74	85

Benzer bir sınıflandırmaya giderek yapılan deney sonuçları şu şekilde sınıflandırılmıştır. Hava sahasındaki her bir nokta için ayrı ayrı olmak üzere; nokta üzerinde gerçekleşen toplam gecikme 15 dakika ve altında ise önem miktarda olmayan gecikme "yeşil", 16-45 dakikalık gecikmeler "sarı", 46-90 dakikalık gecikmeler "turuncu" renk ile gösterilmektedir ve tıkanıklıkların oluştuğu noktalardır. 90 dakikanın üzerindeki gecikmeler problemli bölgelerin gecikmeleridir ve 150 dakikaya kadar olanlar "kırmızı" ile gösterilmiştir. Bu bölgelerde trafik talebine hizmet verilememektedir ve acil çözüm önerileri

getirilmelidir. 150 dakikanın üzerinde gerçekleşen gecikmeler ise “mor” renk ile gösterilmiştir ve bu bölgeler mevcut trafik talebini kesinlikle karşılayamamaktadır. Bu sınıflandırmaya göre incelenen hava sahası trafik yapısından bir deney sonucu Şekil 5.14’de gösterilmiştir. Verilen bu hava sahasına peş peşe 10 uçak talebi olmaktadır. Talebin sonucunda noktalar üzerinde yaşanılan gecikmeler yapılan bu sınıflandırmaya göre renklendirilmiştir. Buna göre bu hava sahasında 3 adet yeşil, 10 adet sarı, 8 adet turuncu, 4 adet kırmızı ve 2 adet mor bölge vardır.

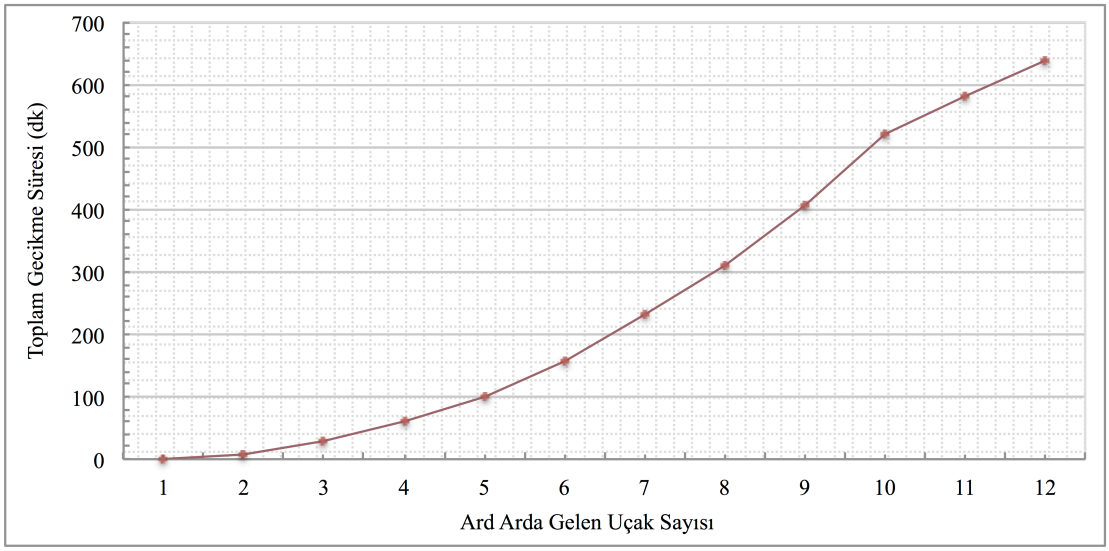


Şekil 5.14 Hava sahasında yaşanılan gecikmelerin gruplandırılması

5.3. Senaryo 3: Tüm Havaalanlarına Gelen Uçuş Talebi

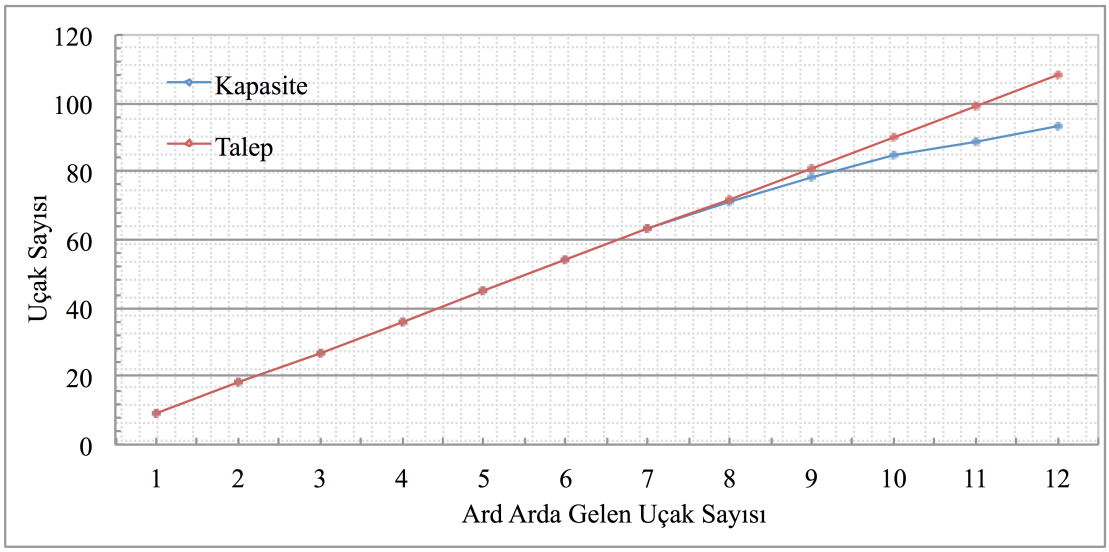
Uçuş talebinin TMA’daki tüm havaalanlarına geldiği senaryoda hava sahasındaki toplam gecikme süresinin her bir FIR giriş noktasındaki ardışık uçak sayısı ile arttığı görülmektedir (Şekil 5.15). Toplam gecikmenin uçak sayısına göre değişimi yaklaşık doğrusal kabul edilebilir. Düşük uçak sayılarında gecikmede büyük bir artış gözükmezken özellikle 27 uçağın üzerinde gecikme

artışı artmakta 90 uçağa ulaşıldığında artışta bir yavaşlama olmaktadır. Hava sahasında 108 uçağa hizmet verildiğinde gecikme süresi 640 dakikaya ulaşmaktadır.



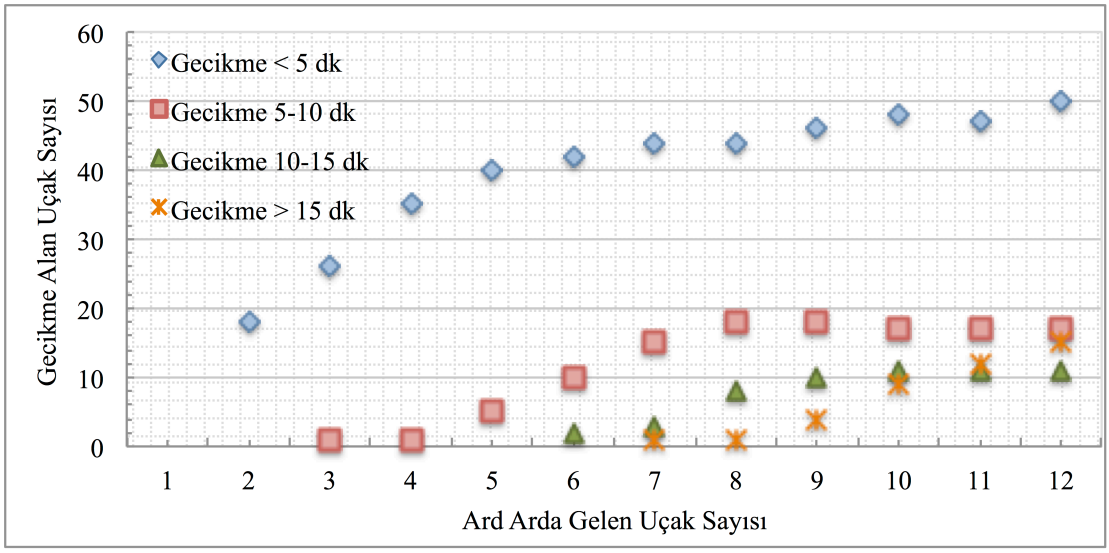
Şekil 5.15. Üçüncü Senaryo toplam gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi

Talep kapasite eğrisi incelendiğinde 85 uçaktan sonra gerçekleşen talebin karşılanamadığı ve bir sonraki saat dilimine kaydığı görülmektedir (Şekil 5.16). Gerçekleşen 85 uçaklık kapasitenin gecikmeler bakımından incelenmesi gerekmektedir.

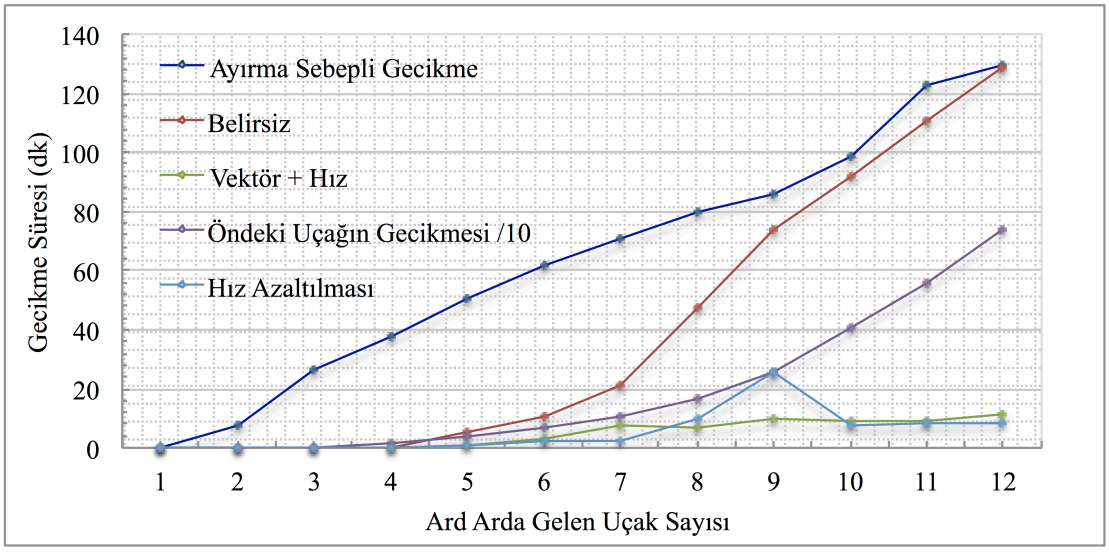


Şekil 5.16. Üçüncü Senaryo talep-kapasite ilişkisi

63 ve 72 uçak sayısına ulaşıldığında sadece bir uçak 15 dakikanin üzerinde gecikme almıştır (Şekil 5.17). Bu açıdan 81 uçuş talebinin gerçekleştiği durumda ortaya çıkan 15 dakikanın üzerinde gecikme alan uçak sayısı 4 olduğundan fiili kapasitenin 81 uçak olduğu kabul edilebilir.



Şekil 5.17. Üçüncü Senaryo gecikmelerin 5 dakikalık baremlerle incelenmesi

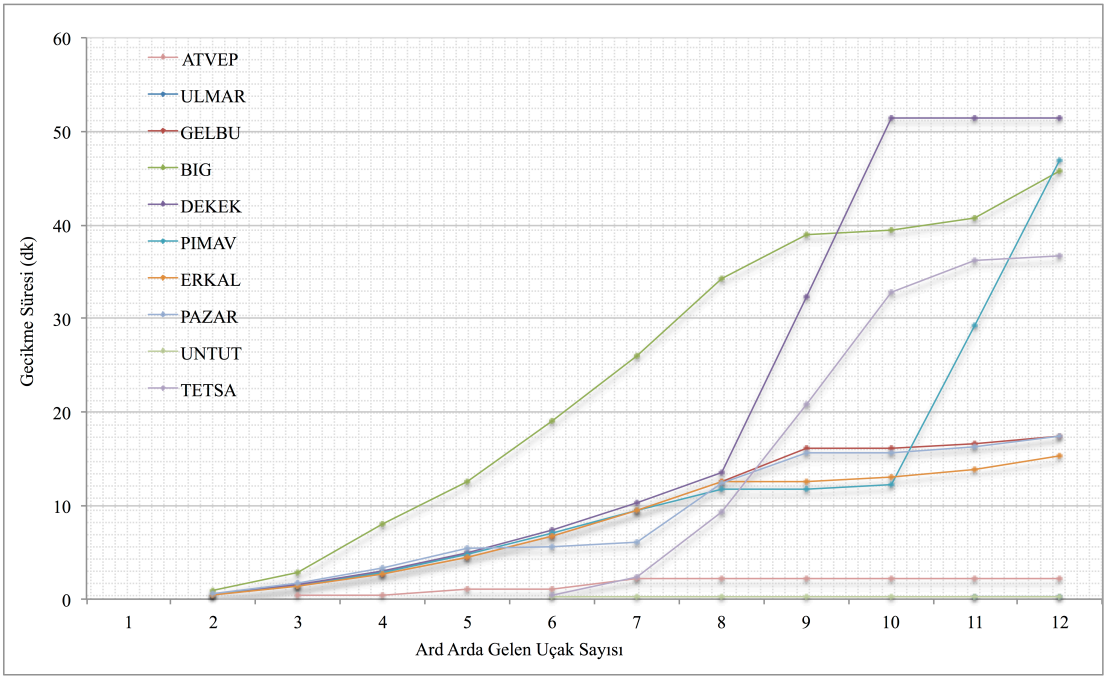


Şekil 5.18. Üçüncü Senaryo gerçekleşen gecikme sebepleri

Gecikme sebepleri bakımından incelendiğinde öndeki uçağın gecikme alması gecikme sebeplerinin başında görülmektedir (Şekil 5.18). Öndeki uçağın

gecikme almasının sebebi ise hava sahası ayırmalarıdır. İlk uçağın ardından gelen uçak gecikme aldığında onun arkasında gelen 3. ve diğer uçaklar ilk uçağın gecikmesine bağlı gecikme almaktadırlar. Bu durum tüm uçakları kümülatif bir şekilde etkilediğinden gecikme süresi büyümektedir.

TMA kapılarındaki gecikmeler incelendiğinde gerçekleşen gecikmelerin daha çok DEKEK, BIG, TETSA ve PIMAV kapılarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 5.19). Bu durum TMA kapılarında yapılacak iyileştirmenin bu noktalarda yoğunlaşması gerektiğini ortaya koymaktadır.

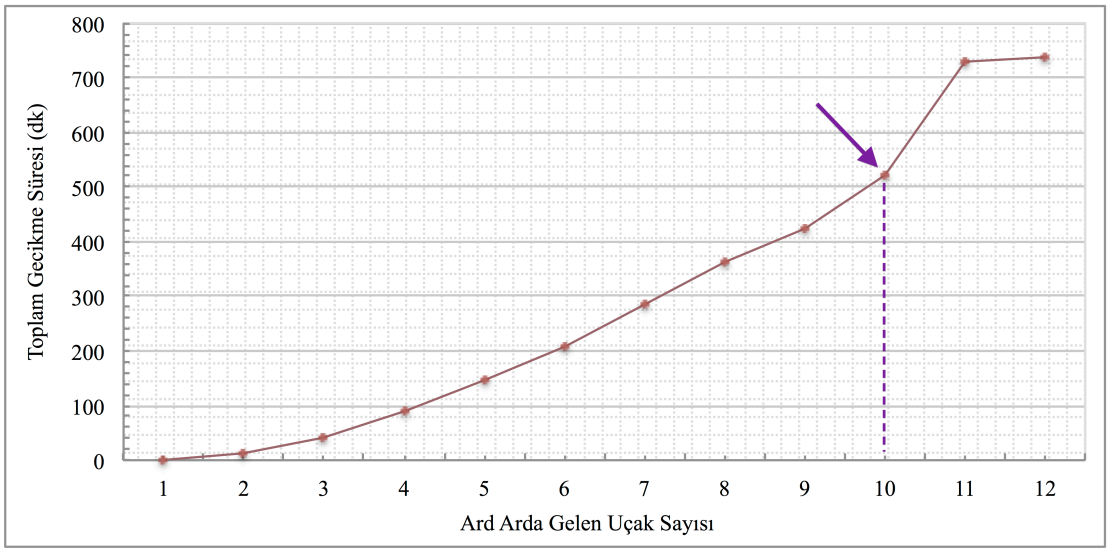


Şekil 5.19. Üçüncü Senaryo, TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler

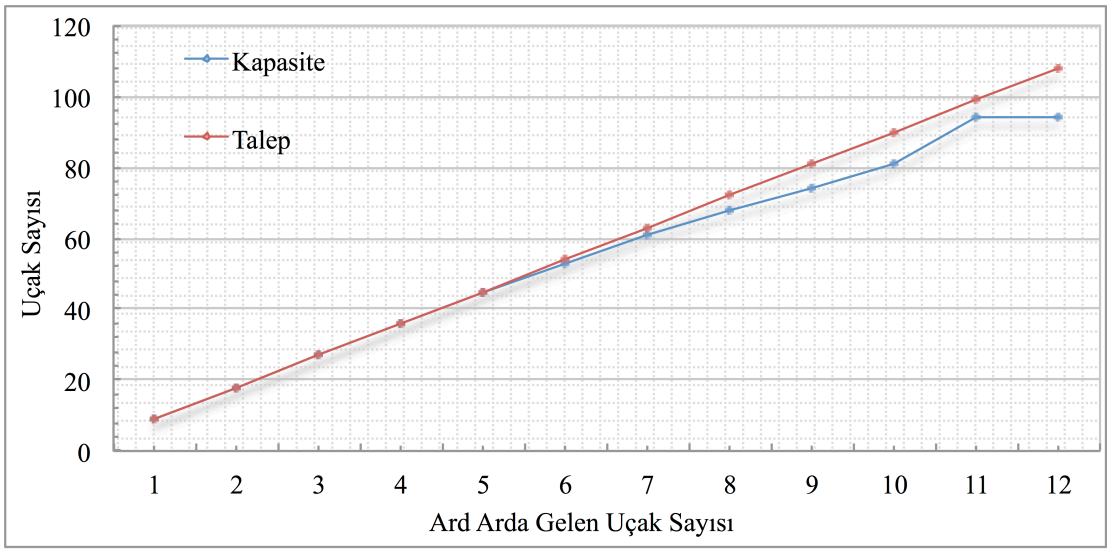
5.4. Senaryo 4, Mevcut Durum Analizi

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda mevcut durum analizinde topam gecikme ve uçak sayısı ilişkisi Şekil 5.20'da gösterilmektedir. Hava sahasında 90 uçak ve üzerine hizmet verildiğinde gecikme miktarı marjinal şekilde artmaktadır. Diğer yandan talep artışı karşısında kapasite incelendiğinde en çok 94 rakamına

ulaşabilmiştir (Şekil 5.21). Tasarlanan bu hava sahasında işlem görebilen uçak sayısı 94'dür bu sebeple 90 uçaktan sonra gecikme marjinal şekilde artmaktadır. Ancak bu sayının uygulanabilir olup olmadığını yorumlamak için hava sahasında gerçekleşen gecikmeler ayrıntılı olarak incelenmelidir.



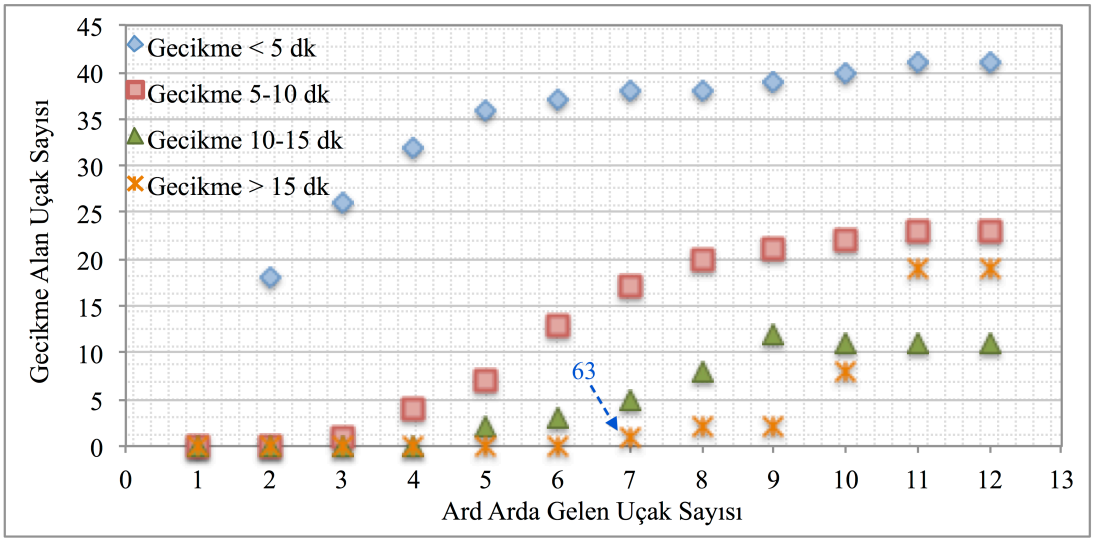
Şekil 5.20. Dördüncü Senaryo toplam gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi



Şekil 5.21. Dördüncü Senaryo talep kapasite ilişkisi

Uçak başına gerçekleşen gecikme süresi hava sahasında gerçekleşen gecikmeler hakkında fikir vermektedir. Uçak başına gerçekleşen gecikmelerin

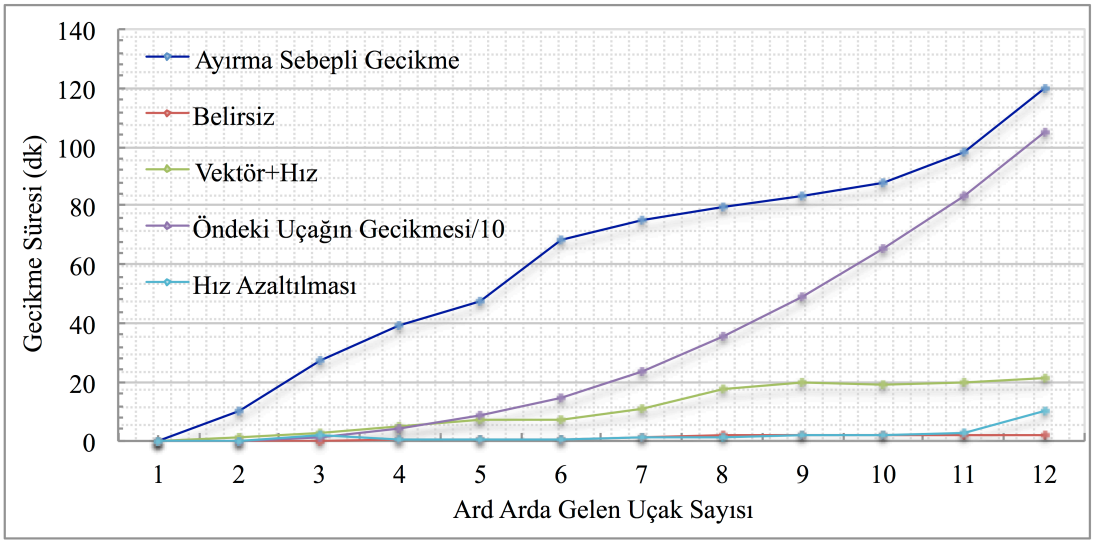
grafiği Şekil. 5.22'de verilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi sisteme 63 uçağın giriş yapması ile uçak 15 dakika ve üzerinde gecikme almaktadırlar. Bu açıdan bakıldığında hava sahasının kapasitesi 63'e düşmektedir.



Şekil 5.22. Dördüncü Senaryo gecikmelerin 5 dakikalık baremlerle incelenmesi

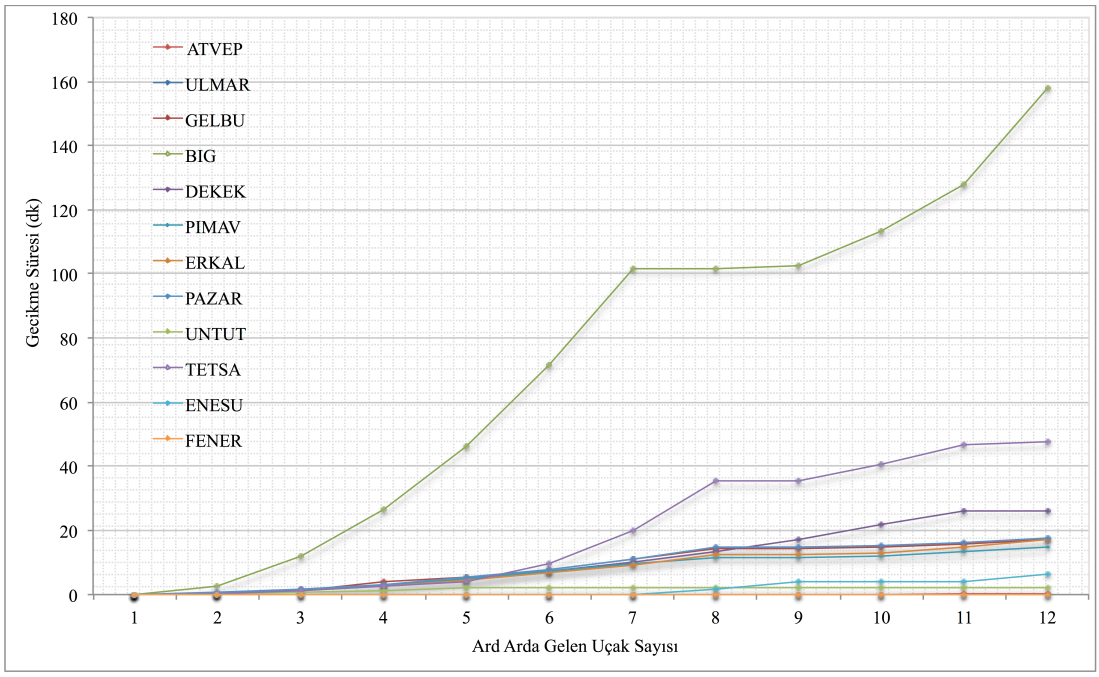
Aynı zamanda uçak sayısının artışı ile 5 dakikanın altında gecikme alan uçak sayısı da sürekli artmaktadır. Gecikme alan tüm uçaklar incelendiğinde 63 uçak değerinde 61 uçağın gecikme aldığını görülmektedir. Gecikmelerin ve gecikme alan uçak sayısının bu şekilde artması hava sahası karmaşıklığını arttırmakta ve kontrolörlerin iş yüklerini arttırarak üretilebilecek çözümleri sınırlamaktadır.

Gerçekleşen gecikmelerin sebepleri incelendiğinde yoğun gecikme yalan bir hava sahası olduğundan en büyük sebep öndeki uçağın gecikme alması şeklinde görülmektedir (Şekil 5.23). Ayrıca ayırma kriterleri ikincil sebep olarak ortaya çıkmaktadır.



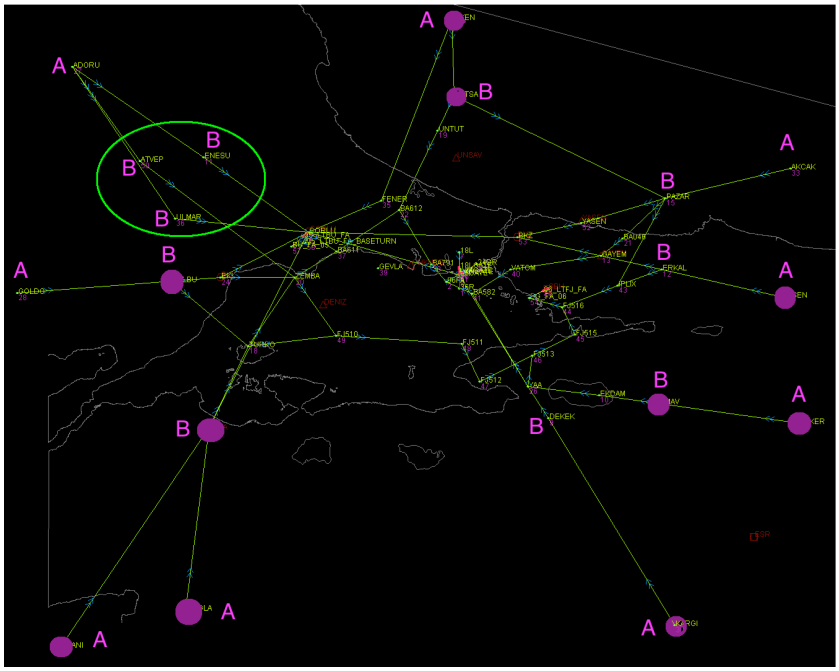
Şekil 5.23. Dördüncü Senaryo gerçekleşen gecikme sebepleri

TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler incelendiğinde en yüksek gecikmenin BIG ve TETSA noktalarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 5.24). BIG noktasında gecikme ortaya çıkması hemen hemen tüm senaryolarda gerçekleşen bir durumdur bu sebeple yapılacak bir iyileştirme çalışmasının bu nokta üzerinde olması gerektiği açıktır.



Şekil 5.24. Dördüncü Senaryo TMA kapılarında gerçekleşen gecikmeler

Bu çalışmada hava sahasındaki gecikme gerçekleşen noktalar incelenmekte ve yüksek gecikme gerçekleşen hava sahası noktaları "hava sahasının kritik noktaları" olarak adlandırılmaktadır. Hava sahasının kritik noktalarının harita üzerinde gösterimi Şekil 5.25'deki mor baloncuklarla gösterilmektedir. Şekildeki A ile gösterilen noktalar İstanbul FIR giriş noktalarıdır. B ile gösterilen noktalar ise Yeşilköy TMA kapılarıdır. FIR giriş noktalarında yaşanılan gecikmelerin bir diğer sebebi uzunlamasına ayırmanın 10NM olduğu bölgeye dakikada bir uçak talebinin olmasıdır.



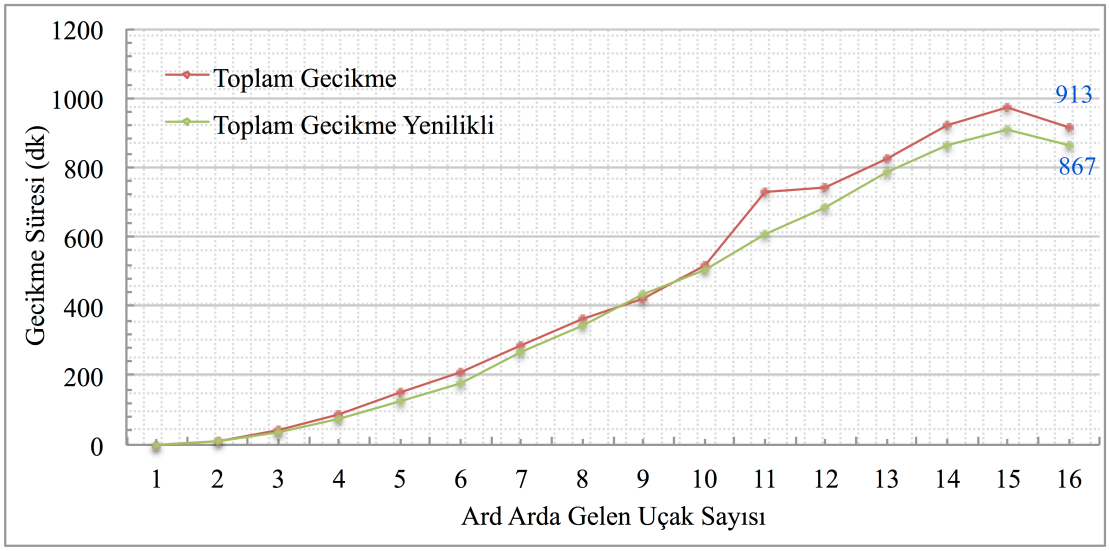
Şekil 5.25. Hava sahası kritik noktaları

Bu çalışmanın ana amacı TMA kapılarında yaşanılan gecikmeyi azaltacak bir öneri geliştirmektir. Bu TMA içindeki üç havaalanına gelen tüm trafikler bu noktalardan geçmektedir. Ancak şekilde daire içine alınan bölgede 3 ayrı yol ile her havaalanının STAR'ları birbirinden ayrılmış durumdadır. Bu bölgedeki yük 3'e bölündüğü için yük azalmış ve bu bölgede gecikme gerçekleşmemiştir. Aynı

prensibi diğer noktalara uygulamak TMA kapılarında yaşanılan gecikmeleri azaltabilir.

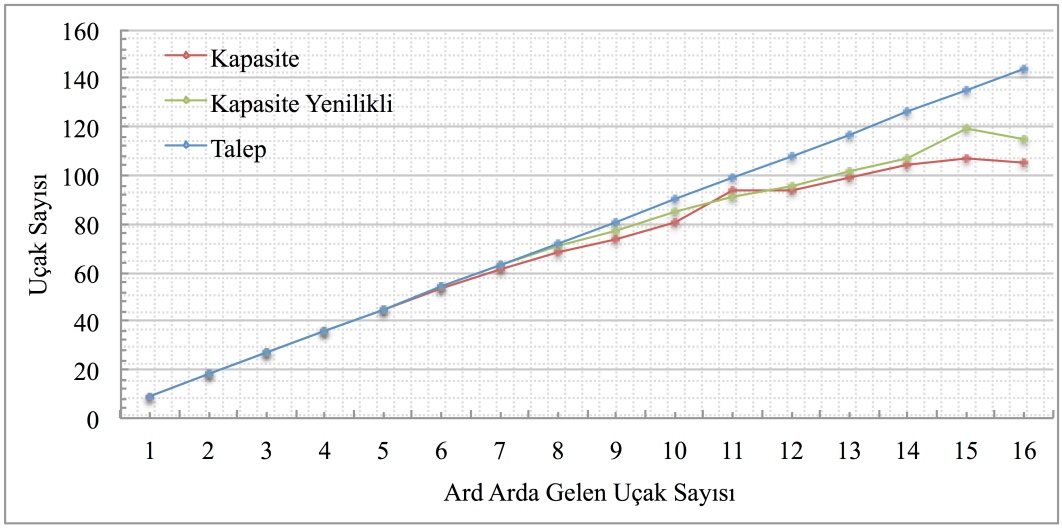
5.5. Yeni Yol Çözümü Analizi

Kritik iki nokta üzerinde uygulanan hava alanlarına göre trafiklerin ayrılması çözümü, sistemin toplamında gerçekleşen gecikmelerde 913 dakikadan 867 dakikaya gerileme sağlamıştır (Şekil 5.26).



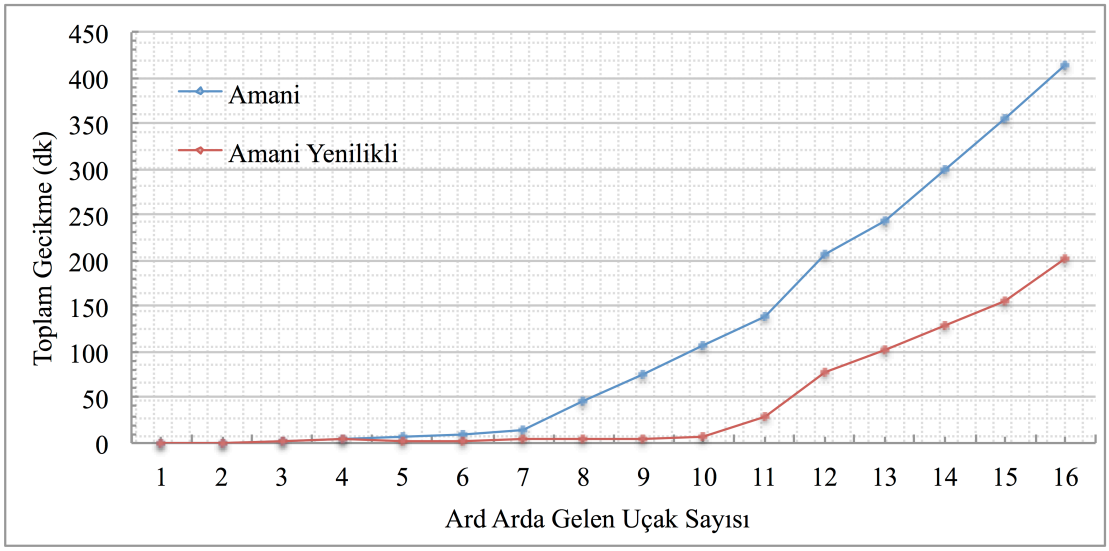
Şekil 5.26. Beşinci Senaryo toplam gecikme süresi uçak sayısı ilişkisi

Talep kapasite bakımından incelendiğinde yapılan iyileştirmenin kapasiteyi 105'den 115'e çıkartarak doğrudan büyük bir etkiside bulunmadığı görülmektedir (Şekil 5.27). Ancak hava sahasında gerçekleşen gecikmelere olan etkisi ile uygulanabilir trafik hacmini arttırmaktadır.



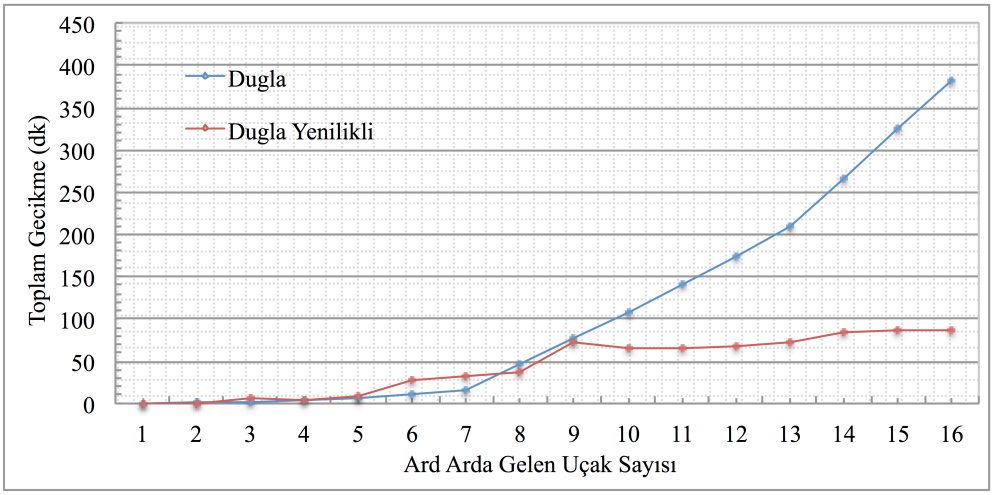
Şekil 5.27. Beşinci Senaryo talep kapasite ilişkisi

Gecikmelerin azaltılması hedeflenen noktalardaki değişim aşağıdaki grafiklerde incelenmiştir. Buna göre AMANI noktası üzerinde gerçekleşen gecikmeler yaklaşık yarı yarına düşürülmüştür. AMANI noktası FIR giriş noktasıdır. Ancak bir sonraki nokta olan BIG TMA kapısıdır ve burada yaşanılan gecikme AMANI noktasına da yansıdığından BIG noktasında yapılan bir iyileştirme önceki nokta olan AMANI'yi de olumlu etkileyerek buradaki gecikmelerin azalmasını sağlamıştır (Şekil 5.28).



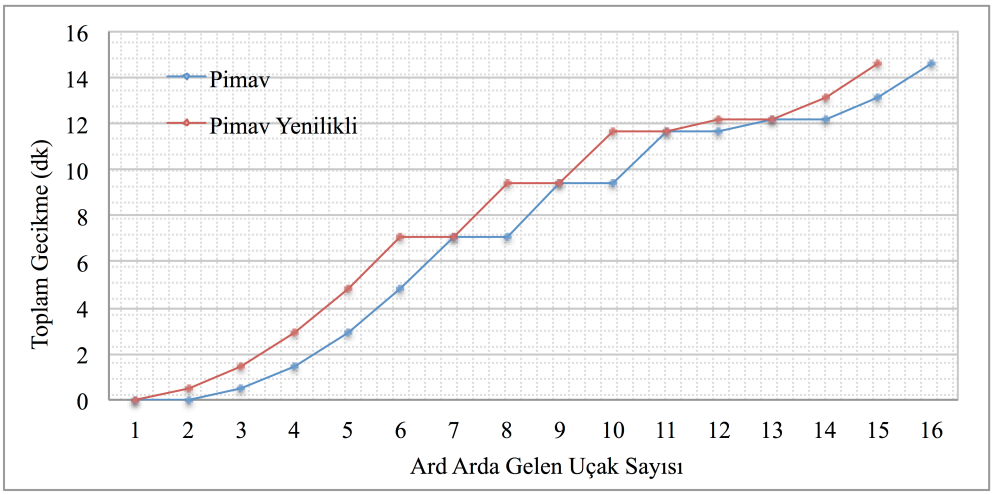
Şekil 5.28. Beşinci Senaryo AMANI noktası gecikmeleri

Aynı şekilde bir FIR giriş noktası olan DUGLA noktası üzerinde gerçekleşen gecikmeler sürekli artış gösterirken düzenlenen iyileştirme ile bu gecikmelerin 90 dakikanın altında sabitlenmesi sağlanmıştır (Şekil 5.29).



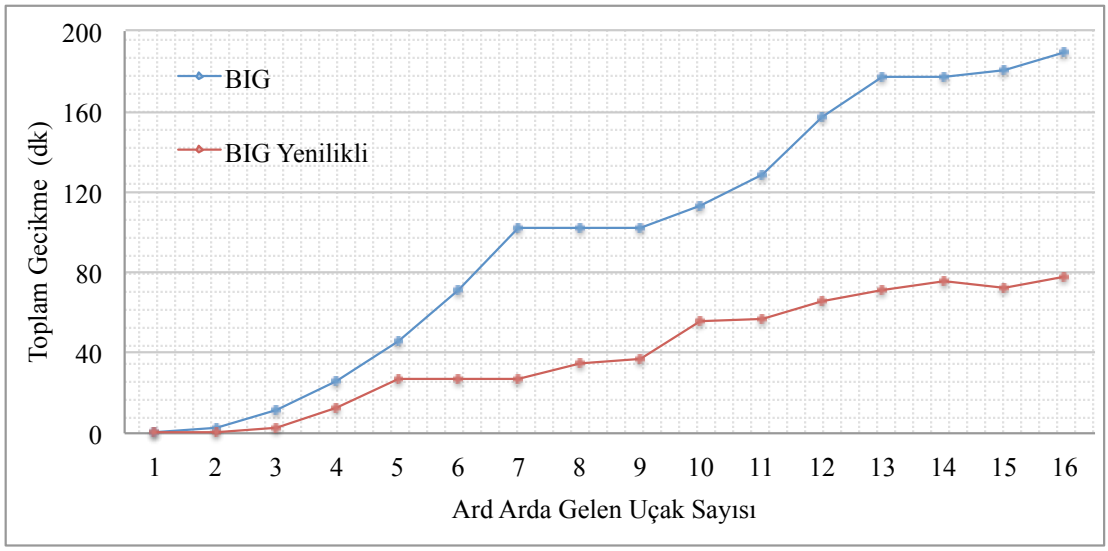
Şekil 5.29. Beşinci Senaryo DUGLA noktası gecikmeleri

Bir diğer TMA kapısı olan PIMAV için yapılan iyileştirme sonucunda gerçekleşen gecikme 23 dakikadan 14 dakikaya indirilmiştir (Şekil 5.30). Bu iyileştirme FIR giriş noktası ve PIMAV'dan önceki nokta olan TOKER noktası üzerindeki trafiği de hafifletmiştir. Burada gerçekleşen gecikme 159 dakikadan 73 dakikaya indirilmiştir.



Şekil 5.30. Beşinci Senaryo PIMAV noktası gecikmeleri

Sistemdeki gecikmelerin en çok BIG noktası üzerinde gerçekleşmesi sebebiyle bu nokta çalışmanın odağı olmuştur. Şekil 5.31'de görüldüğü üzere, gerçekleştirilen iyileştirme, bu nokta üzerindeki gecikmelerin eğilimini değiştirmemiştir ancak gerçekleşen 189 dakikalık gecikmeyi 78 dakikaya indirmeyi başarmıştır. Burada oluşan darboğazın yüksek ölçüde azaltıldığı ortadadır. Yapılan iyileştirme BIG noktası üzerindeki probleme bir çözüm getirebilmektedir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31. Beşinci Senaryo BIG noktası gecikmeleri

Çizelge 5.2'de gerçekleşen gecikmelerin uçak sayısı ile ilişkisi tablo halinde verilmiştir. Tabloda açıklandığı gibi 0-15, 15-45, 45-90, 90-150 ve 150 dakika ve üstü gecikme baremleri ile sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya benzer olarak FAA incelemelerinde bir sınıflandırma bulunmaktadır [71]. Hava alanları için yapılmış olan bu sınıflandırma bu çalışma içinde hava sahasına uyarlanmıştır. Buna göre önerilen çözüm ile her noktada gerçekleşen gecikmeler (soldan sağa doğru) daha çok uçak sayısına ötelenmiştir.

Çizelge 5.2. Hava sahası noktalarına göre gecikme süreleri kıyaslaması

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Amani	0	0,5	2,0	4,1	6,9	10,5	15,1	45,1	75,8	107,3	139,4	206,8	242,4	299,0	356,3	414,3
Amani Yenilikli	0	0,0	1,5	3,6	3,2	3,2	4,1	4,2	5,1	6,6	28,9	76,5	101,9	128,0	156,5	201,1
Dugla	0	0,5	2,1	4,3	7,3	11,1	15,7	45,6	76,4	107,9	140,1	173,1	210,3	266,8	324,2	382,2
Dugla Yenilikli	0	0,0	6,4	4,8	9,5	27,2	31,5	37,7	73,6	66,1	66,1	67,7	71,6	85,2	86,9	86,9
BIG	0	2,5	11,8	26,4	46,3	71,6	101,7	101,7	102,6	113,5	128,1	157,9	177,6	177,6	180,2	189,5
BIG Yenilikli	0	0,0	2,8	13,0	27,3	27,2	27,2	34,7	36,6	56,0	56,8	65,4	70,9	75,7	72,8	77,8
Pimav	0	0,5	1,4	2,9	4,8	7,1	9,4	11,7	11,7	12,2	13,2	14,6	16,5	18,9	21,2	23,5
Pimav Yenilikli	0	0,0	0,5	1,4	2,9	4,8	7,1	7,1	9,4	9,4	11,7	11,7	12,2	12,2	13,1	14,6

0-15dakika ve altındaki gecikmeler

15-45dakika ve altındaki gecikmeler

45-90dakika ve altındaki gecikmeler

90-150dakika ve altındaki gecikmeler

150 ve üzeri gecikmeler

5.6. Hava Sahasında Bulunan Kapı Sayısının Gecikmeye Etkisinin İncelenmesi

Bu bölümde yeni kapıların açılması yada mevcut kapıların kapanması ile gecikmenin nasıl değiştiği incelenmektedir. İlk deney sonucuna tüm hava sahasında 405 dakikalık gecikme gerçekleşirken bu miktar TMA içinde 160 dakika olmuştur (Çizelge 5.3.).

Kapı sayısı azaltılarak deney tekrarlandığında 90 uçuş 8 kapıya ve yine üç havaalanına eşit bir şekilde dağıtılmıştır. Bu durumda gerçekleşen gecikmeler artmış tüm hava sahasında 569 dakikaya ve TMA içinde 149 dakikaya çıkmıştır.

Kapı sayısının arttırıldığı durumu incelemek için hava sahasına yedi yeni kapı eklenmiştir. Bu eklenen kapılar Bölüm 4.3.'de anlatılan algoritmaya göre yapılmıştır. Böylelikle açılan yeni kapının sadece bir havaalanına hizmet vermesi sağlanmıştır. Bu prensibin çözüm getirdiği görülmektedir. Tüm hava sahasında gerçekleşen gecikme 212 dakikaya düşerken TMA içinde gerçekleşen gecikme 95 dakikaya kadar gerilemiştir.

Çizelge 5.3. Kapı sayılarına göre gecikme verileri

	Gerçekleşen Gecikme		Uçak başına gerçekleşen gecikme (dk)			
Kapı sayısı	Tüm Hava Sahasında	TMA içinde	5<	(5-10)	(10-15)	>15
11	405	160	59	23	5	2
8	569	149	38	26	14	7
18	212	95	75	14	0	0

Yapılan çalışmalar sonucunda TMA için giriş kapılarının önemi ortaya konulmuştur. Trafik yükünün dağıtılması prensibi daha az gecikme ile daha kaliteli hizmet verilmesini sağlamaktadır. Tıkanıklık yaşanılan noktalar için açılan alternatif yollar tıkanıklıklara çözüm getirmektedir.

Kapıların havaalanlarına göre ayrılarak hava trafiğinin düzenlenmesi hava sahasını rahatlatan bir yöntemdir. Farklı havaalanlarına giden uçakların aynı yolu kullanması durumunda uçakların alçalma taleplerinin birbirinden çok farklı zamanlarda gelmesi sebebiyle trafik yapısını karmaşıklaştırmaktadır. Buna karşın havaalanlarına göre ayrılan rotalarda uçaklar benzer alçalma hareketlerini tekrarladığından trafiğin yapısı da basitleştirilmektedir.

Ayrıca uçakların alçalma hareketlerine saha kontrol sektöründen itibaren başladıkları ve havaalanlarına göre ayrılmış yollarda alçalma gerçekleştirdikleri için saha kontrol sektörünün iş yükünü de hafifletici bir özellik taşımaktadır. Trafiğin devir noktasında yani TMA giriş kapısında havaalanına göre ayrışmış bir trafiği devralan yaklaşma kontrol sektörünün iş yükü de bu anlamda azalmış olmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneyler ve analizler sonucunda çalışmanın sonucunda önerilen modelin hava sahasında yapılacak bir akış planlaması ve TMA kapı sayısının değiştirilmesi ile birlikte rahatlama sağlanacağı görülmüştür. Hava sahası içerisinde bulunan geliş yollarının havaalanlarına göre ayrılarak trafik akışının yönetilmesi hava sahasındaki gecikmeleri azaltmaktadır. Gecikmelerin azalması hava sahasında hizmet verilebilecek uçak sayısını arttırmakla birlikte, uçuş başına yakıt maliyetini azaltmaktadır.

6.1. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında geliştirilen algorima, TMA hava sahasına geliş trafiklerinin yüklerini açılan yeni kapılara dağıtılarak trafik akışını düzenlemektedir. Trafik yükünün dağıtılması, TMA içinde bulunan havaalanlarına göre yolların ayrılması ile sınıflandırılarak yapılmaktadır. Böylelikle aynı rota üzerindeki uçuşların aynı havaalanına gitmesi ile benzer alçalma profillerine sahip olması sağlanmaktadır. Benzer alçalma profilleri uçakların birbirlerinin seviyelerini kat etme gereksinimlerini azaltmaktadır. Bu durum hava trafiğinin kontrolünü ve uçakların devamlı alçalma hareketi yapmalarını kolaylaşmaktadır.

Geliştirilen algoritmaya göre tasarlanan yeni rotalar TMA giriş kapılarında trafiği rahatlatmaktadır. Hava sahasında tıkanıklık tespit edilen BIG noktası için alternatif kapı açıldığında bu noktadaki gerçekleşen gecikmeler yarı yarıya düşmektedir. Bu sayede hava sahası içerisinde daha fazla uçağa hizmet verilebilmektedir. Aynı zamanda TMA içerisine hava alanlarına göre ayrışıp

yönlendirilen uçakların henüz TMA'ya girmeden organizasyonu sağlanmakta böylelikle TMA içindeki iş yükü azaltılmaktadır.

Yapılan bu iyileştirme TMA'nın geneline uygulandığında hava sahası içinde gerçekleşen gecikmelerin kayda değer şekilde azaldığı görülmektedir. Örneğin bölüm 5.6'da açıklandığı gibi, TMA kapı sayısı arttırıldıkça hava sahası içindeki uçakların aldığı gecikme 15 dk'nın altına düşmektedir. Tersi durumda yani mevcut kapılardan bir kısmının kapanması durumunda ise 15 dk'nın üstünde gecikme alan uçak sayısı 7 taneye çıkmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda TMA kapı sayılarının arttırılması durumunda hava sahası içinde yaşanılan gecikmelerin azaldığı, birim zamanda daha fazla uçağa hizmet verildiği ve hava trafik akışının rahatladığı görülmektedir. Böylelikle hava sahası yöneticilerinin uçuş planlarının toplanmasının ardından hava sahası ile ilgili yapacakları personel, sektör ve altyapı planlamasına ışık tutacak bir model ortaya konulmuştur. Bir hava sahası yöneticisi uçuş planlarının eline ulaşmasının ardından belirlenmiş talep doğrultusunda hava sahasının hangi noktalarında problem ortaya çıkabileceğini öngörebilecek ve yeni kapıların açılması ile birlikte personel planlaması yapabilecektir. Böylelikle günlük, hatta saatlik olarak hava sahası yapısı değiştirilerek dinamik bir yapı kazandırılabilir.

Çalışma içerisinde gerçekleştirilen deneyler ile yapılan regresyon çalışması; hava sahasında bulunan kapı sayısının gerçekleşen gecikmeler ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu analize göre Yeşilköy TMA içinde gerçekleşen gecikmelerin, hava sahası içinde bulunan uçak sayısı, hava alanı sayısı, uçak performans karması ve TMA kapı sayısı ile ilişkili olduğunu ortaya

koymuştur. Hava sahası içerisinde bulunan havaalanı sayısı kısa vadede sabit bir değerdir. Uçak sayısı, uçak performans karması ve kapı sayısı hava sahasının değişkenleridir. Kısa vadeli planlamada hava sahası yöneticisi gelen talebe göre ancak TMA kapı sayısını değiştirebilecektir. Yapılan regresyon çalışması ile hava sahasının gecikme ile ilişkili elemanlarının belirlenmiş olması, uzun vadede hava sahası tasarımcılarına ışık tutacak bir çalışma olmuştur. Hava sahasında gerçekleştirilecek değişiklikler söz konusu olduğunda bu çalışma referans niteliğinde olacaktır.

5.2. Öneriler ve Tartışma

Oluşturulan bu model ve yapılan çalışma hava sahasında gerçekleştirilen operasyonların yakıt maliyetini düşürecek ve gecikmenin azalmasına bağlı hava trafik kontrol hizmetinin kalitesini arttıracaktır. Ülkemizde ve dünyada bulunan çoklu hava limanlarına hizmet veren TMA'lar (örneğin Antalya TMA) üzerinde bu çalışmaların hava sahası tasarımından önce yapılması önerilmektedir. Böylelikle oluşturulacak yol ağı yapısı daha rahat planlanabilecektir ve dinamik bir TMA yapısına ulaşılacaktır.

İstanbul için planlanan üçüncü havaalanı, Yeşilköy TMA içindeki dördüncü havaalanı olacağından ve planlanan trafik hacmi bakımından çok büyük bir havalimanı olması sebebiyle havalimanı tasarımında hava sahasına olabilecek etkileri bakımından kurulan bu model üzerinden sınanmalıdır.

Ayrıca geliştirebilecek bir program yardımı ile hava sahasına beklenen talep girildiğinde sonuçlar doğrultusunda hava sahası yöneticisine doğrudan öneri iletebilecek bir yazılım geliştirilebilir. Böylelikle bu çalışma doğrultusunda bir

karar destek sistemi geliştirilerek hava sahası servis sağlayıcı birime kullanıcı dostu bir şekilde fayda sağlayabilir.

Ortaya çıkan önerinin operasyonda uygulanabilmesi için gerçek zamanlı simülasyon ile sınanması gerekmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarının hava sahası kullanıcıları ile değerlendirilerek gerçek zamanlı simülasyon deneyleri planlanmalı ve kontrolörler ile birlikte denenmelidir. Ardından ortaya çıkan öneriler ile birlikte doğrulanan model gerçek operasyona yansıtılabilir.

KAYNAKÇA

[1] Anonim, "*Annual Results: World Airlines*", Ekim 2011, http://www.airlines.org/Economics/DataAnalysis/Pages/AnnualResultsWorldAirlines.aspx.

[2] Anonim, "*Outlook for Air Transport to the Year 2015*", ICAO Publications, Eylül 2004.

[3] Anonim, *DHMİ İstatistik Yıllığı 2014*, Devlet Hava Meydanları İşletmesi, Ankara, 2014.

[4] Koçel T., *"İşletme Yöneticiliği"*, Beta, İstanbul, 2010.

[5] Cavcar A., *"Hava Trafik Yönetimi"*, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 1998.

[6] Anonim, *"Annex 11, Air Traffic Services"*, ICAO Publications, 2009.

[7] Anonim, *"Annex 14, Airport and Airport Equipment"*, ICAO Publications, 2009.

[8] Anonim, *"Annex 2, Rules of Air"*, ICAO Publications, 2009.

[9] Cook A., "*European Air Traffic Management",* Ashgate Pub., Aldershot, 2007.

[10] Anonim, "*Aerodromes*", AIP, Aeronautical Information Publication Turkey, Devlet Hava Meydanları Genel Müdürlüğü, Ankara, 4 Haziran 2011.

[11] Anonim, ICAO Rules of the Air and Air Traffic Services Doc 4444 ATM 501, "*Air Traffic Management*", ICAO Publications, 2009.

[12] Anonim, DHMİ Genel Müdürlüğü, "*Havacılık Terimleri Sözlüğü*" APK Daire Başkanlığı, Ankara, 2011.

[13] Çınar E., "*Hava Trafik Kontrol Hizmetlerinde Algılanan Hizmet Kalitesi*", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 2010.

[14] Uslu S., "*Hava Trafik Sistemi Değerlendirme Ölçütleri*", T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 2007.

[15] Baraz B., Besler S., Tonus H. Z., "*Yönetim ve Yöneticilik*", Eskişehir Ticaret Odası Yayınları, Eskişehir, 2007.

[16] Özalp İ., "*İşletme Yönetimi*", Birlik Ofset, Eskişehir, 2005.

[17] Çınar E., "*Hava Trafik Akış Yönetimi Ve İstanbul Atatürk Havalimanındaki Taksi Sürelerinin Kalkış Slotu Tahsisine Etkisi*", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 2003.

[18] Anonim, "*ATFM Studies Remanning Overdeliveries*", EUROCONTROL, Belgium, 1998.

[19] Cavcar A., "*Hava Trafik Akış Yönetimi ve Hava Sahası Kapasitesi Analizi*", Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1997.

[20] Anonim, "*Airspace Management Handbook for the Application of the Concept of the Flexible Use of Airspace*", EUROCONTROL Guidelines, Haziran 2010.

[21] Anonim, "*Air Traffic Management Strategy for the Years 2000+*", EUROCONTROL Guidelines, 2003.

[22] Anonim, Eurocontrol, "*FUA AMC/CADF Operations Manuel*", edition 5.1. 2013.

[23] Bianco L., "*Multilevel Approach to ATC Problems: on-line Strategic Control of Flights*", International J. Systems SCI, Vol 21, No:8 1515-1527, 1990.

[24] Bianco L., Bielli M., "*Air Traffic Management: Optimization Models and Algorithms*", Journal of Advanced Transportation, Vol. 26, No.2, s. 131-167.

[25] Bianco L., Del'Olmo P., Giordani S., "*Scheduling Models for Air Traffic Control in Terminal Areas*", DOI: 10.1007/s10951-006-6779-7.

[26] Anonim, Mayıs 2015, http://www.dhmi.gov.tr/dairebaskanliklari.aspx?BaskanlikID=139#.VUaTNabdKS0.

[27] Anonim, ICAO Sample Air Traffic Control Operations Manuel for Implementation of Reduced Vertical Seperation Minimum in the AFI Region, 2008.

[28] Lanshou H., Fuqing D., "*Dynamic Air Route Management Based on Flight Demand*", Second International on Computer and Network Technology IEEE, 2010, s.426-429, DOI:10.1109/ICCNT.2010.79.

[29] Webb A. G., Sarkani S., Mazzuchi T. A., "*Resource Allocation for Air Traffic Controllers using Dynamic Airspace Configuration*", Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, Vol II, San Fransisco USA, 20-22 Kasım 2009.

[30] Michalek D., Balakrishnan H., "*Dynamic Reconfiguration of Terminal Airspace During Convective Weather*" Decision and Control 49. IEEE Conference, Atlanta GA, 15-17 Aralık 2010, ISBN: 978-14244-7745-6.

[31] Kopardekar P. H., Schwartz A., Mahyarits S., Rhodes J., "*Airspace Complexity Measurement: An Air Traffic Control Simulation Analysis*", International Journal of Industrial Engineering, 2009, Online ISSN: 1943-670X.

[32] Geng R., Cheng P., "*Dinamic Air Route Open-Close Problem for Airspace Management*", Tsinghua Science and Tehnolohy, Volume 12-Number 6, s.647-651, Aralık 2007.

[33] Geng R., Cheng P., Cui D., "*Dynamic Air-Route Adjustments Model, Algorithm and Sensitivity Analysis*", Tsinghua Science and Tehnolohy, Volume 14, Number 1, s:95-102 Şubat 2009.

[34] Klein, A.; Rodgers, M.D.; Leiden, K., "*Simplified Dynamic Density: A Metric for Dynamic Airspace Configuration and Nextgen Analysis*", IEEE 2009.

[35] Klein, A.; Rodgers, M.D.; Hong Kaing, "*Dynamic FPAS: A New Method for Dynamic Airspace Configuration*", IEEE, 2008.

[36] Kulkarni s., Ganesan R., Sherry L., "*Static Sectorizatıon Approach to Dynamıc Airspace Configuration Using Approximate Dynamic Programming*", Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference, Herndon VA. 10-12 Mayıs 2011.

[37] Kulkarni S., Ganesan R., Sherry L., "*Static Sectorization Approach to Dynamic Airspace Configuration Using Approximate Dynamic Programming*", Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference, Dulles, Virginia, Mayıs 10-12, 2011.

[38] Tu Y., Ball M., Jank W., "*Estimating Flight Departure Delay Distributions — A Statistical Approach With Long-term Trend and Short-term Pattern*", Journal of the American Statical Association, Vol. 103, No: 481 Mart 2008 s. 112-125.

[39] Crespo, A.M.F., Li Weigang, "*Agent Evaluation Function Considering Airspace Dynamic Density*", IEEE ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, 2010.

[40] Agogino A. K., Tumer K., "*A Multiagent Approach to Managing Air Traffic Flow*", Sipringer, s10458-010-9142-5, Temmuz 2010.

[41] Avijit Mukherjee, Mark Hasen, "*A Dynamic rerouting model for air traffic flow management*", Elsevier Transportation Research Part B 43, 2009 s. 159-171, DOI: 10.1016/j.trb.2008.05.011.

[42] Song L., Wanke C., Greenbaum D., *"Predıctıng Sector Capacıty for TFM*", 7th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Barcelona, İspanya 02 - 05 Haziran 2007.

[43] Wang T., Li J., Wei J., Hwang I., "*Preliminary Assessment of Operational Benefits for a Graph-Based Dynamic Airspace Configuration Algorithm*", Integrated Communications Navigaion and Surveillance (ICNS) Conference, IEEE, Mayıs 2010.

[44] Wang J., Shortle J. F., Sherry L.i Mason G., "*Simulating The Impact Of Gate Operation Disruptions and Mitigation Strategies on Gate Delay*", 2011 Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference, Herndon VA, 10-12 Mayıs 2011, ISSN: 2155-4943.

[45] Lee H., Balakrishnan H., "*A Study of Tradeoffs in Scheduling Terminal-Area Operations*", Proceedings of the IEEE, Vol. 96, No. 12, Aralık 2008.

[46] Harris M. Raza A., Rojas Z., Price E., Rajlawat S., "*Preliminary Design Analysis of Dynamic Airspace Super Sectors DASS*", IEEE System and Informatin Engineering Design Symposium, Charlottrsville VA, 2006.

[47] Odoni, A.R., Bowman, J., Delahaye, D., Deyst, J.J., Feron, E.,Hansman, R.J., Khan, K., Kuchar, K.J., Pujet, N. andSimpson, R.W., *"Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts",* Final Report to National Aeronautics and Space Administration Ames Research Center, International Center for Air Transportation, 1997.

[48] Majumdar A., Ochieng W. Y., Bentham J., Richards M., "*En-Route Sector Capacity Estimation Methodologies: an International Survey*", Elsevier Journal of Air Transport Management, 2005 s. 375-387, DOI: 10.1016/j.jairtraman.2005.05.002.

[49] Law A. M., Kelton D. W., "*Simulation Modelling and Analysis*", McGraw-Hill, New York, 1991, ISBN: 0-07-036698-5.

[50] Anonim, SIMMOD Reference Manual, AOR-200. FAA, U.S. Department of Transportation, 1989.

[51] RAMS Plus Simulation Solutions: Welcome to RAMS Plus www.ramsplus.com Şubat 2012.

[52] Anonim, "*ATAC*", Haziran 2012, http://www.atac.com.

[53] Anonim, *DHMİ İstatistik Yıllığı 2010*, Devlet Hava Meydanları İşletmesi, Ankara, 2010.

[54] Anonim, *DHMİ İstatistik Yıllığı 2012*, Devlet Hava Meydanları İşletmesi, Ankara, 2012.

[55] Anonim, *DHMİ İstatistik Yıllığı 2013*, Devlet Hava Meydanları İşletmesi, Ankara, 2013.

[56] Anonim, ICAO Doc 8168-OPS/611 Vol II, "*Construction of Visual and Instrument Flight Prosedures"*, Montreal Kanada, 5. Baskı 2006, Güncelleme 2008.

[57] Anonim, EUROCONTROL, "*Guidelines for Airspace Management - The ASM Handbook*", Edition 3.0 Edition date: 15/06/2010 Reference nr: EUROCONTROL-GUID-140.

[58] Anonim, EUROCONTROL, *"Manual for Airspace Planning Volume 2 Section 5 -Terminal Airspace Design Guidelines",* Edition 2.0 -Amendment 1, 2005.

[59] Anonim, EUROCONTROL, "*RNAV Application in Terminal Airspace: an ATC Operational Perspective*", Edition 2D, 1999.

[60] Anonim, EUROCONTROL, "Standard Document for Area Navigation Equipment–Operational requirements and functional requirements", Edition 2.2,1998.

[61] Anonim, EUROCONTROL*, "Guidance Material for the Design of Terminal Procedures for Area Navigation (DME/DME, B-GNSS, Baro-VNAV &RNP-RNAV)",* 5 Edition 3.0, 2003.

[62] Anonim, *EUROCONTROL İstanbul Hava Sahası Trafik Verileri*, Ocak-Kasım 2014.

[63] Richard de Neufville, Amedeo R. Odoni, "*Airport Systems: Planning Design and Management*", McGraw-Hill, New York,2003 ISBN: 0-07-138477-4.

[64] Aybek, F., Cavcar, A. "*An Algorithm for TMA Enterence Point Multiplicity*", 6th International Conference on Research in Air Transportation ICRAT 2014, Istanbul Technical University, İstanbul, Turkey, 26-30 Mayıs 2014.

[65] Clarke J.B., Ho N. T., Ren L., Brown J. A., Elmer K. R., Tong K., Wat J. K., "*Continuos Descent Approach: Design and Flight Test for Louisville International Airport*", Journal of Aircraft Vol. 41 No.5 September-October 2004.

[66] Anonim, EUROCONTROL "*European Route Network Improvement Plan, Part 1 European Airsapce Design Methodology – Guidelines*", Edition June 2012.

[67] Aybek, F., Cavcar, A. "*Delay Analysis for the RNAV Approach Procedure at Istanbul Yesilkoy TMA Using SIMMOD*", 5th International Conference on Research in Air Transportation ICRAT 2012, University of California, Berkeley, USA, 22-25 Mayıs 2012.

[68] Aybek,F., Cavcar,A., "*Enhanced Delay Analysis and Capacity Improvement in a RNAV TMA*", Multidisciplinary Academic Conference- Transport, Logistics and Information Technology, Prag, Çek Cumhuriyeti, Mayıs 2013.

[69] Aybek F., A.Cavcar, "*Correlation Analysis Between TMA Entry Point and Delay*", SESAR Innavation Days 2013, Stockholm, İsveç, Kasım 2013.

[70] Anonim, "FAA", Haziran 2012, http://www.fly.faa.gov/flyfaa/usmap.jsp.