

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**TÜRK HAVA SAHASININ ESNEK HAVA SAHASI YAKLAŞIMI İLE
ETKİN KULLANIMI İÇİN ALGORİTMİK BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet KÖKHAN

Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Havacılık Yönetimi Programı

ARALIK 2017

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**TÜRK HAVA SAHASININ ESNEK HAVA SAHASI YAKLAŞIMI İLE
ETKİN KULLANIMI İÇİN ALGORİTMİK BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet KÖKHAN

1508051002

Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Havacılık Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Meriç H. GÖKDALAY

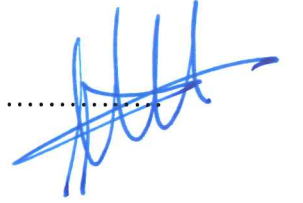
Türk Hava Kurumu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nün 1508051002 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi "Ahmet KÖKHAN", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları gerine getirdikten sonra hazırladığı "Türk Hava Sahasının Esnek Hava Sahası Yaklaşımı İle Etkin Kullanımı İçin Algoritmik Bir Uygulama" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Meriç H. GÖKDALAY

Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Kabul/Red

☒ ☐



Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Hasan U. AKIN

Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Kabul/Red

☒ ☐



: Yrd. Doç. Dr. Suat USLU

Anadolu Üniversitesi

Kabul/Red

☒ ☐

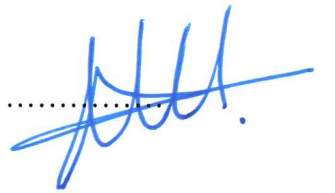


: Yrd. Doç. Dr. Meriç H. GÖKDALAY

Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Kabul/Red

☒ ☐



Tez Savunma Tarihi: 21 Aralık 2017

ONAY

Yrd. Doç. Dr. Adnan GÜZEL

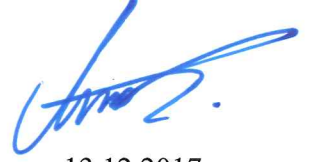
Enstitü Müdürü

Tarih: 19.01/2018



TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum, "Türk Hava Sahasının Esnek Hava Sahası Yaklaşımı İle Etkin Kullanımı İçin Algoritmik Bir Uygulama" adlı çalışmamın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.



13.12.2017

Ahmet KÖKHAN

ÖNSÖZ

Türk hava sahasını kullanan yerli ve yabancı hava trafik sayısının son yıllardaki hızlı artışı, ülkemizdeki mevcut hava trafik sisteminin iyileştirilmesi ve hava sahası yapısının geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu ihtiyaçlara belirli ölçütlerde cevap verebilen, hava sahasını ihtiyaçlar dâhilinde değerlendiren ve tahsis eden Hava Sahasının Esnek Kullanımı (FUA), hava trafik akışının daha etkin ve verimli bir şekilde oluşturulması amacıyla, hava trafik yönetim mekanizmaları içerisinde yer almaya başlamıştır.

Türk hava sahasının genel sorunlarını içerecek şekilde belirlenen ve yoğun olarak kullanılan Ankara-İzmir rotasının hava sahası problemlerini, darboğazlarını tespit etmek ve bu problemlerin çözümüne yönelik FUA çerçevesinde değişen hava sahası dinamiklerine göre alternatif çözüm yolları üretmek, konuyu ekonomik açıdan, kapasite açısından ve aynı zamanda çevresel etkileriyle birlikte irdelemek adına bu çalışma yapılmıştır.

Yapmış olduğum yüksek lisans tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde desteği, görüş ve önerileri ile her zaman yardımcı olan tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Meriç H. GÖKDALAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez çalışması süresince, beni hiç yalnız bırakmayan hocalarıma, hayatımda her zaman en büyük desteği veren aileme, değerli fikirlerini esirgemeyen, Serhan KÖKHAN'a en içten dileklerimle teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Aralık 2017

Ahmet KÖKHAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
KISALTMALAR	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM	2
1. HAVA SAHASININ ESNEK KULLANIMI	2
1.1 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Tanımı	2
1.2 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Tarihçesi	2
1.3 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Amacı	3
1.4 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Hedefleri	4
1.5 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Uygulanması	4
1.5.1 Hava Sahası Yönetim Seviyeleri	5
1.5.1.1 Hava sahası yönetimi Seviye-1 (stratejik seviye)	5
1.5.1.2 Hava sahası yönetimi seviye-2 (ön taktiksel seviye)	6
1.5.1.3 Hava sahası yönetimi Seviye-3 (taktiksel seviye)	7
1.6 Hava Sahasının Esnek Kullanımı Yapıları ve Prosedürleri	7
1.6.1 Şartlı Rota	7
1.6.1.1 Sürekli planlanabilir şartlı rota	8
1.6.1.2 Sürekli planlanabilir olmayan şartlı rota	8
1.6.1.3 Planlanabilir olmayan şartlı rota	8
1.6.2 Geçici Rezerve Edilmiş Saha	9
1.6.3 Geçici Ayrılmış Saha	9
1.6.4 Sınır Geçiş Sahası	10
1.6.5 Hava Sahası Tahditleri	10
1.6.6 Hava Sahası Serbest Yol Uçuşları	10
1.7 Hava Sahası Yönetimi Bilgilerinin Yayınlanması	11
1.7.1 Hava Sahası Kullanım Planı	11
1.7.2 Güncellenmiş Hava Sahası Kullanım Planı	11
1.7.3 Elektronik Hava Sahası Yönetim Bilgileri	12
1.8 Hava Trafik Hizmetleri / Hava Trafik Akış Yönetimi / Hava Sahası Yönetimi İlişkileri	12
1.8.1 Hava Trafik Hizmetleri	12
1.8.1.1 Hava trafik kontrol hizmeti	13
1.8.1.2 Saha / Yol kontrol hizmeti	13
1.8.1.3 Yaklaşma kontrol hizmeti	13
1.8.1.4 Meydan kontrol hizmeti	13
1.8.1.5 Uçuş bilgi hizmeti	14

1.8.1.6	İkaz hizmeti.....	14
1.8.2	Hava Trafik Akış Yönetimi.....	15
1.8.2.1	Hava trafik akış yönetimi safhaları	15
1.8.2.2	Hava trafik akış yönetimi bileşenleri	16
1.8.2.3	Hava trafik akış yönetiminde sorumluluk.....	17
1.8.2.4	Federal Havacılık Dairesi yapısı.....	21
1.8.3	Hava Sahası Yönetimi.....	22
1.8.3.1	Hava sahası yönetimi temel işlevleri	22
1.8.3.2	Stratejik seviye ASM/ATFM ilişkisi	23
1.8.3.3	Ön taktiksel seviye ASM/ATFM ilişkisi	24
1.8.3.4	Taktiksel seviye ASM/ATFM ilişkisi.....	24
1.9	Sivil-Asker İş Birliği ve Birlikte Çalışabilirlik	24
1.10	Hava Sahasının Esnek Kullanımının Getirdiği Kazanımlar	25
1.11	Türkiye’deki Hava Sahası Yapısı	26
1.11.1	Türkiye’deki Hava Sahası Yapısının ve Havacılık Endüstrisinin GZFT(SWOT) Analizi	26
1.12	Hava Sahasının Esnek Kullanımı Kavramının Türkiye’deki Gelişimi	28
1.13	Hava Sahasının Esnek Kullanımı Kavramının Türkiye’deki Uygulamaları	29
İKİNCİ BÖLÜM		30
2. PROBLEMİN TANIMLANMASI		30
2.1	Problemin Açıklanması	30
2.2	Ekonomik Etkileri	31
2.2.1	Yakıt Tüketimi Etkisi.....	32
2.2.2	Uçuş Gecikmeleri Etkisi	38
2.3	Çevresel Etkileri	47
2.3.1	Emisyon Etkisi	47
2.3.2	İklim Değişikliğine Etkisi	49
2.3.3	Hava Kalitesine Etkisi.....	50
2.4	Hava Sahası Kapasitesine Etkisi	52
2.5	Literatürdeki Geçmiş Çalışmalar	55
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM		75
3. TÜRKİYE’DE HAVA SAHASININ ESNEK KULLANIMINA YÖNELİK ARAŞTIRMA VE BİR UYGULAMA		75
3.1	Türkiye’deki Esnek Hava Sahası Yapısına Yönelik Araştırma	75
3.1.1	Araştırmanın Amacı.....	75
3.1.2	Araştırmanın Yöntemi.....	76
3.1.2.1	En kısa yol algoritmaları	76
3.1.2.2	Bellman-Ford Algoritması	78
3.1.2.3	Floyd-Warshall Algoritması	78
3.1.2.4	Johnson Algoritması	78
3.1.2.5	Dijkstra Algoritması.....	79
3.2	Türkiye’deki Esnek Hava Sahası Yapısına Yönelik Bir Uygulama.....	84
3.2.1	Varsayım ve Kısıtlar	84
3.2.2	Ankara-İzmir Arası Uçuşların Hesaplanması ve Yorumlanması.....	85
3.2.2.1	Ankara-İzmir arası uçuşların ekonomik kazanımları.....	89
3.2.2.2	Ankara-İzmir arası uçuşların çevresel kazanımları.....	93
3.2.2.3	Ankara-İzmir arası uçuşların kapasite kazanımları.....	95
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM		97

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	97
4.1 Genel Değerlendirme.....	97
4.2 Hava Sahasının Esnek Kullanımına Yönelik Değerlendirmeler	97
4.2.1 Ekonomik Etkisinin Değerlendirilmesi.....	98
4.2.2 Çevresel Etkisinin Değerlendirilmesi	99
4.2.3 Kapasite Etkisinin Değerlendirilmesi	99
4.3 Ankara-İzmir Rotası İçin Oluşturulan Karar Destek Sistemi Uygulamasına Yönelik Değerlendirmeler	100
SONUÇ VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	102
EKLER	110
Ek-A: Ankara-İzmir Arası Günlük Tarifeli Uçuş Çizelgesi.....	111
ÖZGEÇMİŞ	112



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: 2016 yılı ABD havayolu şirketleri için uçuş operasyonlarının ortalama maliyet kalemleri.	41
Tablo 2.2	: Avrupa hava sahası için ATFM gecikme maliyetleri tahmini.	42
Tablo 2.3	: Uçak tipine göre rota kaynaklı uçuş gecikme sürelerinin toplam maliyete etkisi.	42
Tablo 2.4	: Uçuş gecikme sürelerinin bakım maliyetlerine etkisi.	43
Tablo 2.5	: Uçuş gecikme sürelerinin filo planlama maliyetlerine etkisi.	43
Tablo 2.6	: Uçuş gecikme sürelerinin personel maliyetlerine etkisi.	44
Tablo 2.7	: Güzergâh değişikliğinden kaynaklanan maliyetler.	44
Tablo 2.8	: 3 büyük havayolu şirketinin saatlik maliyetleri.	45
Tablo 2.9	: Farklı motor çalışma rejimleri altında hava taşıtı emisyon salınım değerleri.	48
Tablo 2.10	: Emisyonların insan sağlığına etkileri.	51
Tablo 3.1	: Dijkstra Algoritması örnek uygulama sonuçları.	83
Tablo 3.2	: Ankara-İzmir arası uçuş noktaları mesafe matrisi (nm).	86
Tablo 3.3	: Ankara-İzmir güzergahı uçuş senaryolarının yakıt kazanımları.	90
Tablo 3.4	: ABD havayolu şirketleri için uçuş operasyonlarının 2016 yılı ortalama maliyetleri.	91
Tablo 3.5	: Ankara-İzmir güzergahı uçuş senaryolarının zaman kazanımları.	92
Tablo 3.6	: B738 uçak tipi için rota kaynaklı uçuş gecikme sürelerinin toplam maliyete etkisi.	93
Tablo 3.7	: Uçuş gecikme sürelerinin bakım maliyetlerine etkisi.	93
Tablo 3.8	: Uçuş gecikme sürelerinin personel maliyetlerine etkisi.	93
Tablo 3.9	: Ankara-İzmir arası uçuş senaryolarının emisyon kazanımları.	94

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Hava trafik akış yönetimi içerisinde ortaklaşa karar verme mekanizmasının işleyişi.	19
Şekil 1.2	: Havalimanlarında ortaklaşa karar verme mekanizması.	20
Şekil 1.3	: FAA hava trafik akış yönetimi ortaklaşa karar verme mekanizmasının planlama akışı.	21
Şekil 1.4	: Hava sahası yönetimi	22
Şekil 1.5	: Türkiye’deki hava sahası yapısının ve havacılık endüstrisinin GZFT (SWOT) analizi.	27
Şekil 2.1	: Uçuş operasyonu maliyet dağılımları.	33
Şekil 2.2	: Jet yakıtı fiyatlarının tarihsel değişimi ve gelecek tahmini.....	35
Şekil 2.3	: Jet yakıtı fiyatlarındaki döviz kuru göstergesi.	35
Şekil 2.4	: ABD havayolu şirketlerinin işletme gelir ve gider kalemleri.	37
Şekil 2.5	: Avrupa’da en yoğun 20 havalimanı için uçuş gecikmelerinin sebepleri.	40
Şekil 2.6	: Avrupa’da 2009-2013 yılları arası uçuş gecikmeleri.	41
Şekil 2.7	: Aylık uçuş gecikmelerinin son 5 yıllık karşılaştırması.	45
Şekil 2.8	: 2014 yılı için IFR uçuş gecikmeleri.....	46
Şekil 2.9	: Havacılık endüstrisinin 1990–2050 yılları arası küresel CO ₂ etkisi ve tahmini.	48
Şekil 2.10	: 2016 yılındaki uçuş gecikmelerinin sebepleri.....	53
Şekil 2.11	: Uçuş gecikmelerinin talep-kapasite ilişkisi.....	55
Şekil 3.1	: Yönlendirilmiş graf örneği.....	77
Şekil 3.2	: Dijkstra Algoritması örnek uygulama-1.	80
Şekil 3.3	: Dijkstra Algoritması örnek uygulama-2.	80
Şekil 3.4	: Dijkstra Algoritması örnek uygulama-3.	81
Şekil 3.5	: Dijkstra Algoritması örnek uygulama-4.	81
Şekil 3.6	: Dijkstra Algoritması örnek uygulamasının tüm adımları.	82
Şekil 3.7	: Ankara-İzmir arası normal uçuş rotası.....	85
Şekil 3.8	: Ankara-İzmir arası tek yönlü uçuş şebekesi.	87
Şekil 3.9	: Ankara-İzmir uçuş rotasının ızgaralara bölünmüş gösterimi.	88
Şekil 3.10	: Ankara-İzmir uçuş rotası için örnek uygulama.....	88
Şekil 3.11	: Ankara-İzmir arası örnek uygulama.	96

KISALTMALAR

ACC	: Saha Kontrol Merkezi (Area Control Center)
ADS-B	: Otomatik Bağımlı İzleme Yayını (Automatic Dependent Surveillance Broadcast)
AIP	: Havacılık Bilgi Yayını (Aeronautical Information Publication)
AIS	: Havacılık Bilgi Hizmetleri (Aeronautical Information Services)
AMC	: Hava Yönetim Hücresi (Air Management Cell)
ANSP	: Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı (Air Navigation Service Provider)
AO	: Uçak Operatörü (Aircraft Operator)
ASM	: Hava Sahası Yönetimi (Airspace Management)
ATC	: Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control)
ATFM	: Hava Trafik Akış Yönetimi (Air Traffic Flow Management)
ATM	: Hava Trafik Yönetimi (Air Traffic Management)
ATS	: Hava Trafik Servisi (Air Traffic Service)
AUP	: Hava Sahası Kullanım Planı (Airspace Use Plan)
CATMT	: İşbirlikçi Hava Trafik Yönetim Teknolojileri (Collaborative Air Traffic Management Technologies)
CBA	: Sınır Ötesi Sahalar (Cross Border Areas)
CDM	: İşbirlikçi Karar Alma (Collaborative Decision Making)
CDR	: Şartlı Rota (Conditional Route)
CFMU	: Merkezi Akış Yönetim Birimi (Central Flow Management Unit)
CIAM	: Arayüz Hava Sahası Yönetimi (Interface Airspace Management)
CNS	: İletişim Seyrüsefer Gözetim (Communication Navigation Surveillance)
CRM	: Ekip Kaynak Yönetimi (Crew Resource Management)
CSS-Wx	: Genel Destek Hizmetleri- Meteoroloji (Common Support Services Weather)
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
EATCHIP	: Avrupa Hava Trafik Uyum ve Entegrasyon Programı (European Air Traffic Harmonization and Integration Program)
EAUP	: Avrupa Hava Sahası Kullanım Planı (The European Airspace Use Plan)
EAW	: Hafta Sonuna Erken Erişim Rotaları (Early Access to Weekend Routes)
ECAC	: Avrupa Sivil Havacılık Konferansı (European Civil Aviation Conference)
EUUP	: Avrupa Güncellenmiş Hava Sahası Kullanım Planı (The European Updated Airspace Use Plan)
FAA	: Federal Havacılık Dairesi (Federal Aviation Administration)
FAB	: Fonksiyonel Hava Sahası Bloğu (Functional Airspace Block)

FANS	: Geleceğin Hava Seyrüsefer Sistemleri (Future Air Navigation Systems)
FIR	: Uçuş Bilgi Bölgesi (Flight Information Region)
FMP	: Akış Yönetim Pozisyonu (Flow Management Position)
FUA	: Hava Sahasının Esnek Kullanımı (Flexible Use of Airspace)
GAT	: Genel Hava Trafiği (General Air Traffic)
HLAPSB	: Üst Düzey Hava Sahası Politikası Kuruluşu (High Level Airspace Policy Body)
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (International Civil Aviation Organization)
IMC	: Aletli Meteorolojik Şartlar (Instrument Meteorological Conditions)
JUA	: Hava Sahasının Ortak Kullanımı (Joint Use of Airspace)
LARA	: Yerel ve Bölgesel Hava Sahası Yönetim Sistemi (Local and Regional Airspace Management System)
LOA	: Anlaşma Mektubu (Letter of Agreement)
MAP	: Askeri Havaalanı Programı (Military Airport Program)
MET	: Meteorolojik Bilgi Hizmetleri (Meteorological Information Services)
MTMA	: Askeri Terminal Kontrol Sahası (Military Terminal Control Area)
NETOPS	: Ağ Operasyon Ekibi (The Network Operations Team)
NEXTGEN	: Gelecek Nesil Hava Ulaşım Sistemi (Next Generation Air Transportation System)
NM	: Ağ Yöneticisi (Network Manager)
NOP	: Ağ İşlemleri Portalı (Network Operations Portal)
NVS	: Ulusal Hava Sahası Sistemi Ses Sistemi (The National Airspace System Voice System)
OAT	: Operasyonel Hava Trafiği (Operational Air Traffic)
PBN	: Performans Tabanlı Seyrüsefer (Performance Based Navigation)
PRISMIL	: Tüm Avrupa Sivil-Asker Performans Ölçümü Bilgi Kaynağı (Pan-European Repository of Information Supporting Civil-Military Performance Measurement)
RCC	: Kurtarma Koordinasyon Merkezi (Rescue Coordination Center)
RNAV	: Saha Seyrüseferi (Area Navigation)
RNP	: Asgari Seyrüsefer Performansı (Required Navigation Performance)
S-CDM	: Yüzeysel İşbirlikçi Karar Alma (Surface Collaborative Decision Making)
SES	: Tek Avrupa Hava Sahası (Single European Sky)
SESAR	: Tek Avrupa Hava Sahası ATM Araştırması (The Single European Sky ATM Research)
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SSR	: İkincil Takip Radarı (Secondary Surveillance Radar)
SWIM	: Tüm Sistem Geneli Bilgi Yönetimi (System Wide Information Management)
TAA	: Hava Sahası Tahsisi (Temporary Airspace Allocation)
TMA	: Terminal Yönetim Sahası (Terminal Management Area)
TRA	: Geçici Ayırılmış Saha (Temporary Reserved Area)
TRM	: Takım Kaynak Yönetimi (Team Resource Management)
TSA	: Geçici Bölümlendirilmiş Saha (Temporary Segregated Area)
UTC	: Eş Güdümlü Evrensel Zaman (Coordinated Universal Time)
VHF	: Çok Yüksek Frekans (Very High Frequency)
VMC	: Görerek Meteorolojik Şartlar (Visual Meteorological Conditions)

ÖZET

TÜRK HAVA SAHASININ ESNEK HAVA SAHASI YAKLAŞIMI İLE ETKİN KULLANIMI İÇİN ALGORİTMİK BİR UYGULAMA

KÖKHAN, Ahmet

Yüksek Lisans, Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Meriç H. GÖKDALAY

Aralık 2017, 112 Sayfa

Bu çalışmanın amacı, Türk hava sahasını kullanan tüm hava araçlarının ihtiyaçlarına karşılık verebilen çok yönlü dinamik bir hava sahası ortamı oluşturulmasını sağlamak, hava araçlarının uçuş operasyonlarında gereksiz zaman kayıplarının önüne geçen bir uygulama ortaya koymak ve aynı zamanda hava sahası kullanıcılarının yakıt ve maliyet tasarrufu sağlamalarına, çevreye vermiş oldukları zararın azaltılmasına ve verimsiz hava sahası kullanımının önüne geçilmesine katkı sağlamaktır.

Son yıllarda ülkemizde hızla artan hava trafik yoğunluğu, hava sahasında darboğazlar oluşturmaya, uçuş maliyetlerini arttırmaya, hava taşımacılığı kaynaklı çevreye olan zararın daha ileri seviyelere taşınmasına ve hava sahası kapasitesinin düşmesine sebep olmuştur. Bu durum ülkemizdeki mevcut hava sahası yapısının iyileştirilmesini ve hava trafik problemleri için alternatif çözümler üretilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu doğrultuda hava sahasının mevcut kapasitenin daha verimli kullanılarak hava sahası kapasite kullanım oranlarını arttırmaya yönelik karar destek sistemlerine, dinamik hava trafik yönetimine ve hava sahasının esnek kullanımına ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma ile hava sahası esnek kullanıldığında elde edilen kazanımlar analiz edilmiştir. Buna ilave olarak en verimli rota seçimi için Dijkstra Algoritması prensibi ile çalışan ve sistematik bir yol gösterici niteliğinde olan bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Hava Sahasının Esnek Kullanımı kavramının tanımlanması, tarihçesi, amacı, hedefleri, seviyeleri, yapıları, prosedürleri, ilişkileri ve hava sahasının esnek kullanımının getirdiği kazanımlardan bahsedilmiş olup, bölümün son kısmında Türk hava sahası yapısının ve havacılık endüstrisinin GZFT (SWOT) analizi yapılmış ve Esnek Hava Sahası Kullanımının (Flexible Use of Airspace- FUA) Türkiye’de gelişimi ve uygulamaları anlatılmıştır.

İkinci Bölümde; Hava sahası probleminin tanımlanması, probleminden kaynaklı hava araçları ve havayolu firmaları için maddi kayıplar, problemin çevresel etkileri, hava sahası kapasite kayıplarından bahsedilmektedir. Ayrıca bu bölümde hava sahası yönetimi üzerine literatürde yapılmış başlıca çalışmalara değinilmiştir.

Üçüncü bölümde; Hava sahasının esnek kullanımına yönelik araştırma, araştırmanın amacı, araştırmanın yöntemi, kısıtları, varsayımları ve en kısa yol algoritmaları anlatılmıştır. Sonrasında araştırmanın ekonomik, çevresel ve kapasite kazanımlarından bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde; Genel değerlendirme ve FUA’ya yönelik değerlendirmeler yapılmış, sonrasında Ankara-İzmir rotası için oluşturulan karar destek sistemi uygulamasından ve değerlendirmelerinden bahsedilmiş sonrasında gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hava Sahasının Esnek Kullanımı, Hava Sahası Yönetimi, Hava Trafik Yönetimi, Hava Trafik Akış Yönetimi, Hava Trafik Hizmetleri, En Kısa Yol Algoritması, Karar Destek Sistemi.

ABSTRACT

AN ALGORITHMIC APPLICATION FOR THE EFFECTIVE USE OF TURKISH AIRSPACE WITH FLEXIBLE AIRSPACE APPROACH

KÖKHAN, Ahmet

Master, Department of Aviation Management

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Meriç H. GÖKDALAY

December 2017, 112 Pages

The aim of this study is to form a versatile dynamic airspace environment that can meet the needs of all aircraft that use the Turkish airspace, and to provide an application that avoids unnecessary time lost in flight operations of aircraft and at the same time, to enable airspace users make fuel and cost savings, mitigate damage to the environment, and contribute to prevent unnecessary airspace use.

The rapid increase in air traffic density in our country in recent years has led to bottlenecks in the air, increased flight costs, increased levels of damage to the environment sourced by air transportation, and reduced airspace capacity. This situation has made it necessary to improve the existing airspace structure in our country and to produce alternative solutions for air traffic problems. In this direction, it is thought that decision support systems, dynamic Air Traffic Management (ATM) and Flexible Use of Airspace (FUA) are needed to increase the capacity utilization rate of the airspace by using the existing capacity more efficiently.

In this study, the achievements obtained when the airspace is flexible are analyzed. In addition, for the most efficient route selection, a decision support system, which has the characteristics of a systematic guide, and works with the principle of Dijkstra Algorithm, has been established.

The study consists of four parts. In the First part; the definition of the FUA, its history, purpose, objectives, levels, structures, procedures, relationships and the benefits of flexible use of the airspace were explained. In addition, SWOT analysis of the Turkish airspace structure was made at the last part and the development and applications of FUA in Turkey were explained.

In the second chapter; The definition of the airspace problem, the financial losses for the airline companies, the environmental effects of the problem, reducing of the airspace capacity are mentioned. In addition, in this section, the studies in the literature on airspace management have been mentioned.

In the third chapter; The purpose of the research, the method of the research, the constraints, the assumptions and the shortest path algorithms are briefly explained. Thereafter, the economic, environmental and capacity gains of the research were mentioned.

In the fourth chapter; General assessments and FUA assessments were made, thereafter the decision support system implementation which formed for Ankara-İzmir route evaluated and suggestions for future studies were made.

Keywords: Flexible Us of Airspace, Airspace Management, Air Traffic Management, Air Traffic Flow Management, Air Traffic Services, Short Path Algorithm, Decision Support System.

GİRİŞ

Türk hava sahası konumu sebebiyle doğu-batı arasında bir üst geçiş bölgesi olarak kullanıldığından yoğun bir hava trafiğine sahiptir. Gelecek yıllarda bu yoğunluğa ilave olarak İstanbul'da 3. havalimanının açılması ile birlikte özellikle doğu-batı yönündeki rotalar arasında uçuşların ciddi yoğunluk göstereceği ve düğüm oluşturacağı değerlendirilmektedir. Bu sebeple Türk hava sahasının daha verimli ve dinamik kullanımı adına hava trafik hizmet sağlayıcıları tarafından kullanılan mevcut uygulamalar geliştirilmeli yeni uygulamalar ve yeni karar destek sistemleri hayata geçirilmelidir.

Hava Trafik Yönetimi ATM (Air Traffic Management) hava araçlarına tüm operasyonlarında emniyetli ve hızlı bir ortam oluşturarak dinamik bir hava trafik akışı sağlama amacını esas alır. Hava Sahasının Esnek Kullanımı (FUA) ise tüm hava araçlarının sivil-asker hiçbir ayrım olmaksızın hava trafik yönetim organizasyonu içerisindeki tüm hava sahası kullanıcılarına doğru bilginin en kısa süre içerisinde paylaşımı ile hava trafik yönetiminin etkinliğini artırmayı amaçlar. Bu sayede hava sahasının mevcut kapasitesi daha iyi kullanılır, gecikmeler düşük seviyelere indirilir ve hava araçlarının operasyonel verimliliği artar. Ayrıca FUA ile trafik akışı içerisinde talep/kapasite dengesi sağlanarak, daha emniyetli uçuş operasyonları gerçekleşir, uçuş planlama işlemleri kolaylaşır ve daha etkin bir hava trafik yönetimi oluşturulur.

Bu çalışma ülkemizde hava sahasının daha verimli ve rasyonel kullanımının sağlanması amacıyla belirlenen Ankara-İzmir rotasında FUA kazanımlarını ortaya koymayı ve önerilen karar destek sistemi ile Türk hava sahasının mevcut kapasitesini artırmayı amaçlar. Bu sayede havayolu firmaları ve diğer hava sahası kullanıcıları için yakıt, zaman, maliyet tasarrufu sağlanacağı ve hava araçlarının çevresel olumsuz etkileri azaltılacağı düşünülmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

HAVA SAHASININ ESNEK KULLANIMI

1.1 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Tanımı

Hava Sahasının Esnek Kullanımı (FUA), hava sahasının sadece askeri ya da sivil hava sahası olarak değerlendirilmemesi, hava sahasını kullanan tüm hava araçlarının ihtiyaçlarına karşılık verebilen, dinamik bir hava sahası ortamı olarak ifade edilir (SHGM, 2015). FUA ile hava trafik kontrol üniteleri tarafından daha etkin ve verimli bir hava sahası sistemi oluşturulur. Hava sahasının ihtiyaçlara göre şekillenmesi sayesinde uçuş operasyonlarının performansını önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir. Sivil ve askeri kullanıcılar arasında tüm verilerin eş zamanlı aktarımının olması ve gereksiz hava sahası kullanımının önüne geçilmesi, hava sahasının en yüksek seviyede birlikte kullanımına olanak sağlamaktadır. Ayrıca FUA, belirli zaman aralığında hava sahasının hacmi ile gerçek kullanım ihtiyacını dengeleyerek anlık olarak tahsis edilmesine olanak sağlar. Bu sayede hava sahasında oluşabilecek tıkanıklıkların ve kapasite problemlerinin önüne geçilmiş olunur.

1.2 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Tarihçesi

Avrupa için tek hava sahası düşüncesi Eurocontrol teşkilatının kuruluşu ile aynı dönemde ortaya çıkmış olup, 1960 yılında Eurocontrol teşkilatı kuran devletlerin (Belçika, Fransa, Almanya, Hollanda, İngiltere ve Lüksemburg) temel amacının “tek bir üst hava sahası” oluşturmak olduğu bilinmektedir (DHMİ, 2006).

FUA, Eurocontrol tarafından geliştirilen Avrupa’da tek hava sahası oluşturmak için, Avrupa hava trafiği yönetim ağı ile hava seyrüsefer servislerinin uyumlu bir şekilde çalışabilirliğini sağlamak amacıyla sistemler, bileşenler ve ilgili prosedürler kapsamında yer almaktadır.

FUA, 10 Mart 2004 tarihli ve 551/2004 sayılı Single European Sky (SES) mevzuat paketinin 7. maddesi ile 20 Nisan 2004 tarihinde yürürlüğe girmiştir. SES, hava sahasının kullanımı ve düzenlenmesiyle ilgili olup, amacı ortak ulaştırma politikası çerçevesinde daha bütünleşmiş bir hava sahası fikrini desteklemek, etkin ve emniyetli hava trafik yönetimi sağlanabilmesi için ortak tasarım, planlama ve yönetim usullerini belirlemektir (DHMI, 2006).

1.3 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Amacı

FUA'nın amacı ileri seviye koordinasyon ve dinamik planlama yoluyla hava sahası verimliliğini artırarak, hava sahası kullanıcılarının yakıt, zaman tasarrufu ile uçuş maliyetlerini azaltmak ve en uygun uçuş rotalarının kullanılmasına imkân sağlamaktır. Aynı zamanda FUA hava sahasının kapasitesini artırarak hava sahasının gereksiz kullanımını azaltmak ve hava araçlarının çevresel etkilerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

FUA, hava trafik hizmet sağlayıcıları için mevcut uçuş operasyonlarını daha sistematik yönetmeleri ve hava sahası optimizasyonunu üst seviyeye çıkarmaları amacıyla geliştirilmiştir. Sivil-asker iş birliğinin daha verimli ve eş zamanlı etkileşimi üzerine kuruludur. Sivil-asker iş birliğinin amacı hava seyrüsefer altyapılarını geliştirerek ülkenin ekonomik çıkarları ile ülke savunma gereksinimlerini ortak paydada buluşturmaktır.

FUA, dinamik yapısı ile hava sahası problemlerini ve ihtiyaçlarını gerçek zamanlı olarak hızlı şekilde değerlendirip, en iyi çözümü bulmakta ve verimli uçuş rotalarının kullanımına imkân sağlamaktadır. Ayrıca FUA askeri amaçlar için kapatılan sahaları, kullanılmadığı zaman dilimleri içerisinde şartlı rotalar vasıtasıyla sivil uçuşlara açarak diğer hava sahası kullanıcılarına doğrudan rota imkânı sunmaktadır. FUA bu yapısı ile hava sahası kapasitesinde ciddi ölçüde artış sağlamaktadır (Eurocontrol, 2009).

FUA sayesinde, ileri seviye iş birliği ve üst düzey sivil-askeri koordinasyon sağlanır, hava sahasının dinamik yapısı güçlenir ve daha verimli Hava Trafik Servis (ATS) yol yapıları oluşturulur. Bu sayede hava sahasında hava araçlarının uçuş mesafelerinin kısılması, yakıt tüketimlerinin iyileşmesi, atmosfere bırakılan emisyon miktarının azalması ve zaman tasarrufu gibi ilave kazanımlar sağlanmaktadır (Eurocontrol, 2009)

1.4 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Hedefleri

1. Hava sahası ihtiyaçlarını sürekli olarak değerlendirerek, tüm hava sahası kullanıcıları için optimum hava sahası konfigürasyonu oluşturmak.
2. Uçuş rotalarında mesafe, zaman ve yakıt tasarrufu sağlayarak, uçuş verimliliğini artırmak ve çevresel kirliliğin azaltılmasına katkı sağlamak.
3. Kapasite artışı sağlayarak daha ileri düzeyde Hava Trafik Servis (ATS) yol ağı ve bağlantılı hava sahası rotaları oluşturmak.
4. İleri seviye sivil-askeri koordinasyon ortamı oluşturmak.
5. Hava sahasının etkili ve sistemli kullanımı ile hava trafik kontrol hizmet sağlayıcılarının iş yükünün azaltılmasını sağlamak.
6. Hava sahası tahsis gereksinimlerini gerçek ihtiyaçlara dayandırmak.
7. Hava sahasının operasyonel etkinliğinde önemli ölçüde artış sağlamak.
8. Tüm uçuş operasyonlarında sivil ve askeri otoriteler arasında sağlanan stratejik, ön taktik ve taktik düzeylerdeki iletişim sayesinde hava sahası yönetiminin dinamikliğini ve verimliliğini artırmak.
9. Hava sahası kullanıcıları için gerçek ihtiyaçlarına cevap verebilen bir hava sahası ortamı oluşturularak, hava sahasının gereksiz kullanımını ve tahsisini azaltmaktır.

1.5 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Uygulanması

FUA'nın tam olarak uygulanması için Avrupa Sivil Havacılık Konferansı (ECAC) devletlerinin her birinde ulusal seviyede bir Üst Düzey Hava Sahası Politikası Kuruluşu (HLAPB) yapısının oluşturulmasını gerektirir. Bu kuruluş mevcut hava sahasının dinamik olarak değerlendirilmesi, yeni esnek hava sahası yapılarının oluşturulması ve bu hava sahası yapılarının ihtiyaçlara dayalı olarak tahsis edilmesine ilişkin uygulamaların aktif hale getirilmesiyle görevlidir. Devletler FUA kullanımında tam olarak verim alabilmeleri için çeşitli seviyelerde eş zamanlı sivil-askeri koordinasyon ünitelerine ihtiyaç duyarlar. FUA uygulanması, esnek hava sahası yapılarının günlük olarak tahsis edilmesi ve ilan edilmesi için ulusal ya da alt bölgesel Hava Sahası Yönetim Hücresi (AMC) ve Ağ Yöneticisi (NM) dahilinde Merkezileşmiş Hava Sahası Veri İşlevine (CADF) dayanır. NM, özellikle serbest rota uçuşları hava sahasını ilgilendiren, uçuş planları için bağlantılı bilgiler tahditler,

zorunlu ara noktalar gibi sürekli olmayan ATS yollarının günlük kullanılabilirliğini yayılmasından ve sahaların günlük tahsisinden sorumludur.

FUA uygulaması, esnek hava sahası ağlarının günlük bazda değerlendirmesi ve sonrasında tahsis edilmesi yoluyla belirli bir zaman periyodu ve hava sahası hacmi dâhilinde gerçek kullanıma dayandırılmasını sağlar.

AMC'ler Stratejik, Ön Taktiksel ve Taktiksel olarak hava sahası yönetimini 3 seviyede planlayarak FUA'yı uygular (Eurocontrol, 2009).

1.5.1 Hava Sahası Yönetim Seviyeleri

Hava Sahası Yönetimi (ASM) seviyeleri, gerçek gereksinimlere dayalı olarak hava sahasının en verimli şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla üç ASM seviyesinde oluşturulmuştur. Bu seviyelerin her biri diğer seviyeler ile yakından ilişkili olup, sürekli olarak birbiri ile etkileşim halindedir. FUA aşağıda sıralanan şekilde belirlenmiş olan üç ASM seviyesinden oluşur.

- a) Stratejik ASM – Seviye 1
- b) Ön taktiksel ASM – Seviye 2
- c) Taktiksel ASM – Seviye 3

1.5.1.1 Hava sahası yönetimi Seviye-1 (stratejik seviye)

Stratejik Seviye ASM-1, ASM politikasını formüle eden ulusal ve uluslararası hava sahası kullanıcılarının gereksinimlerini hesaba katarak gerekli stratejik planlama çalışmalarını yürüten ortak sivil ve askeri bir süreçten ibarettir.

Avrupa ECAC devletleri esnek bir hava sahası yapısı sağlamak amacıyla serbest yol uçuşlarını ve hava sahası yol yapılarını sürekli değerlendirirler. ASM-1'de devletler ASM-2 ve 3 için çalışma yapılarını belirler ve onlara görevlerini yerine getirmek için gerekli olan yetkiyi verirler. Taktiksel ve Ön Taktiksel seviyelerde izlenecek olan prosedürleri ortaya koyarlar. ASM-2 ve 3'deki hava sahası tahsisatı için öncelik kuralları ve müzakere prosedürleri üzerinden mutabakata varırlar.

ASM-1'de HLAPSB ulusal ASM politikalarına yön verir. Tüm hava sahası kullanıcılarını hava trafik kontrol ünitelerini göz önünde alarak stratejik seviye planlama çalışması yapar.

HLAPSB'nin temel işlevi mevcut hava sahasının ve ATS yol ağının dinamik bir şekilde kullanılmasını sağlayarak diğer devletler ile karşılıklı iş birliğine dayalı bir hava sahası ortamı oluşturmaktır. Bu yapı ulusal güvenlik, ülke savunma ihtiyaçları, çevresel konular ve diğer ihtiyaçlar çerçevesinde ulusal politikalar oluşturulması ve uygulanması temeline dayanır. ECAC devletlerinde HLAPSB aşağıdaki faaliyetleri ASM-1'de yerine getirmekle sorumludur (Eurocontrol, 2009).

1. Hava sahası yönetimi için ihtiyaçlara göre değişebilen dinamik bir hava sahası planı oluşturulması.
2. Kullanılan esnek hava sahası yapıları ve ATS yol ağının sürekli olarak değerlendirilmesi.
3. Hava sahası tahsisini gerektiren ihtiyaçların uygulamaya konulması ve hava sahası kullanıcıları için uçuş emniyeti değerlendirilmesinin yapılması.
4. Geçici Ayırılmış Saha (TRA), Şartlı Rota (CDR), Sınır Ötesi Sahaları (CBA), Geçici Bölümlendirilmiş Saha (TSA) yapıları planlanırken uçuş emniyetinin göz önünde bulundurulması.
5. Hava sahası yapısı değerlendirilirken hava sahasının esnek kullanımının göz önüne alınması.
6. ASM seviye 2 ve 3 yapılarının planlanabilir ve uygulanabilir olması.
7. Komşu devletler ile iş birliği çerçevesinde hava sahası planlama ve yönetim görevlerini yerine getirmek.

1.5.1.2 Hava sahası yönetimi seviye-2 (ön taktiksel seviye)

Ön Taktiksel Seviye ASM-2, AMC'ler vasıtasıyla ve NM ile iş birliği yaparak hava sahasının günlük olarak yönetimi ve geçici tahsisi işlemlerini yerine getirirler. AMC'ler ulusal HLAPB tarafından ortaya konulan hava sahası yapılarını, öncelik kurallarını ve müzakere prosedürlerini yürütme yetkisine sahip olan müşterek sivil-askeri hava trafik hizmet sağlayıcıları ile uygulamaya koyar. AMC'ler tüm hava sahasının kullanım taleplerini toplar, analiz eder ve gerekli koordinasyonu yaptıktan sonra hava sahası tahsisatını bir Hava Sahası Kullanım Planı (AUP) ile ilan ederler. Birleştirilmiş Avrupa Hava Sahası Kullanım Planı (EAUP) ve Avrupa Güncellenmiş Hava Sahası Kullanım Planı (EUUP) günlük olarak Ağ İşlemleri Portalı (NOP)'de yayınlanır. NOP, uçak operatörleri tarafından uçuş planlama aşamasına kullanılır (Eurocontrol, 2009).

1.5.1.3 Hava sahası yönetimi Seviye-3 (taktiksel seviye)

Taktik Seviye ASM-3 ve ASM Seviye 2’de aktif edilmiş olan hava sahasının gerçek zamanlı olarak devreye sokulması, devreden çıkarılması ya da yeniden tahsis edilme uygulamalarının yerine getirildiği seviyedir. Sivil ATS üniteleri ve askeri hava trafik kontrolörleri arasındaki hava sahası problemlerinin ve darboğazların çözülmesi aşamalarını içerir. ASM-3, Tüm uçuş verilerinin hava sahası kullanıcılarına sistem desteğiyle gerçek zamanlı olarak paylaşımı ile hava sahasının en verimli şekilde kullanımına olanak sağlar. Ayrıca hava sahasını ayırma ihtiyaçlarını daha alt seviyelere indirgenmiş olur (Eurocontrol, 2009).

1.6 Hava Sahasının Esnek Kullanımı Yapıları ve Prosedürleri

FUA, Şartlı Rota (CDR), Geçici Rezerve Edilmiş Sahalar (TRA), Ayrılmış Sahalar (TSA), Sınır Geçiş Alanları (CBA), Azaltılmış Koordinasyon Hava Sahası (RCA) ve Ön Koordinasyon Hava Sahası (PCA) gibi sahaların planlaması ve kullanımı için en elverişli olan hava sahası yapıları ve uygulamalarını kullanır. Mevcut yol ağında ve doğrudan rotaların kullanıldığı bir hava sahası ortamında mevcut kullanımı daha üst seviyelere çıkarmak amacıyla bu yapılar hava sahası kullanıcılarının ihtiyacına göre tercih edilir.

1.6.1 Şartlı Rota

Şartlı Rota (CDR), hava sahasının uygunluğu durumunda planlanabilen ve belirli şartlar altında hava araçlarına ATS yol ağı ile uyumlu olarak direk uçuş imkânı sağlayan yollardır. Sivil ve askeri hava sahası faaliyetleri için oluşturulan hava sahası tahsisleri veya revizyonlarının uygunluğu durumunda, diğer hava araçlarının geçiş yapabilmelerine olanak sağlayan şartlı rotalar, özellikleri, kategorileri ve konumları ile beraber ulusal Havacılık Bilgileri Yayını (AIP)’de yayınlanır. Bir CDR için aşağıda açıklanan üç kategoriden bir ya da daha fazlası ASM-1 seviyesinde kurulabilir.

1.6.1.1 Sürekli planlanabilir şartlı rota

Bir CDR'nin zaman aralığının büyük bir bölümünde kullanımı muhtemel olan zaman aralıkları için planlanır ve AIP'de Sürekli Planlanabilir Şartlı Rotalar (CDR1) olarak yayınlanır. CDR1'ler 24 saatlik bir periyodunda belirli zaman aralıkları için veya belirli uçuş irtifaları aralıklarında oluşturulur. CDR1'ler Uçak Operatörü (AO)'lar tarafından uçuş planlaması sürecinde, kullanılır. CDR1'ler Uçuş Planı (FPL)'leri etkileyen durum oluşturduğunda, uygulanabilirliği göz önünde tutularak bölgeden sorumlu sivil-askeri ATS birimleri için daha önceden belirlenen taktik koordinasyon uygulamaları çerçevesinde kullanımına müsaade verilir.

1.6.1.2 Sürekli planlanabilir olmayan şartlı rota

Sürekli Planlanabilir Olmayan Şartlı Rotalar CDR2 şartlara uygun olarak uçuş planlaması için kullanılır. CDR2'ler için uçuş operasyonları sadece EAUP ve EUUP'de günlük olarak yayınlanan şartlara uygun olarak planlanabilir. CDR2'ler ile AMC yönetilebilir sahaların tahsisine göre önceden belirlenmiş yol oluşturma senaryolarının bir bölümünü meydana getirir. CDR2'lerin kullanılabilir olması, kapasite problemi tespit edildiği zaman Akış Yönetim Pozisyonları (FMP) tarafından değerlendirildikten sonra hava trafik akışını dengelemek amacıyla talep edilebilir. Belirli şartlar altında kullanıma izin verildiği zaman, hava sahası sektöründeki sorumlu sivil-askeri ATS birimleri tarafından değerlendirmeye tabi olarak, EAUP ve EUUP yayını ile CDR2'ler taktik olarak da kullanılır.

1.6.1.3 Planlanabilir olmayan şartlı rota

Planlanabilir Olmayan Şartlı Rotalar (CDR3), uçuş planlaması için kullanılması uygun değildir. Hava araçları rota üzerinde anlık ihtiyaçlar çerçevesinde ATC üniteleri tarafından değerlendirilerek mevcut rotada taktik kleranslar verilerek oluşturulur. CDR3'ler AMC ile yönetilebilir sahalardaki hava sahası tahsisi bittiği zaman ya da ATC'nin anlık ihtiyaçları doğrultusunda kullanılabilir olması düşünülen rotalardır. AMC'ler yönetilebilir sahalardan sorumlu sivil-askeri ATS üniteleri ile gerekli değerlendirmeyi yaptıktan sonra sektörden sorumlu kontrolör ihtiyaç duyduğunda CDR3'ü devreye sokarak taktik kleranslar ile hava aracına saha içinden

kısa süreli olarak yeni bir rota önerebilir. Planlanabilir Olmayan Şartlı Rotalar sadece ATC tarafından anlık ihtiyaca göre uygulanabilir ve Şartlı Rota olarak AIP’de yayınlanır.

1.6.2 Geçici Rezerve Edilmiş Saha

Geçici Rezerve Edilmiş Sahalar (TRA), sivil-askeri çalışma sahaları, eğitim amaçlı uçuşlar, test uçuşları ya da sürekli olmayan hava sahası faaliyetleri için gerçek ihtiyaçlar çerçevesinde oluşturulur. Çeşitli bölümlere ayrılmış sahaların devreye sokulma ve devreden çıkarılma aşamaları hava sahası trafik yoğunluğuna göre günlük değişimlerin ve hava sahası kullanıcılarının ihtiyaçlarının ortak bir payda da buluşmasına imkân sağlar. TRA’lar ASM Seviye-1’de kurulur, ASM Seviye-2’de günlük ihtiyaçlara göre tahsis edilir. Gerçek zamanlı sivil-askeri hava sahası kullanıcı ihtiyaçları kapasite ile uyumlu olarak yakın düzeyde gerek duyulan zaman aralıklarında ASM Seviye-3’de aktif edilir. Planlı bir hava sahası faaliyetine dahil olmayan hava araçlarının uçuş emniyeti için ayırma işlemine ihtiyaç duyulmayan faaliyetler için kullanılması düşünüldüğünde bu sahalar TRA olarak belirlenir. Hava aracı bu sayede hava sahasının dinamik yapısıyla beraber devreye giren sahalardaki faaliyete dahil olmayan hava aracının uçuş emniyetini tehlikeye atmadan taktik çapraz geçiş imkânına sahip olur. TRA’lar mümkün olduğu zaman tehlike alanları (D) ya da sınırlı (R) alanlar gibi mevcut hava sahası yapılarını tamamlar ve bu alanların yerine geçer.

Sivil ve askeri koordinasyon uygulamalarının ve hava sahası çapraz geçiş imkânının müsait olduğu alanlarda hava sahası kullanıcılarına uçuş planlama imkânı sağlar. Bazı durumlarda, çapraz geçiş için hava sahası uygun değilse, taktiksel yeniden güzergâh belirleme işlemi de uygulanır.

1.6.3 Geçici Ayrılmış Saha

TRA yapısının uygulanabilir olmadığı durumlarda ve hava sahası üzerinde belirlenen bölgeye harici bir hava aracı girişine kesinlikle müsaade edilmiyorsa Geçici Ayrılmış Saha (TSA) yapısı oluşturulur. Bu sahalar devreye girmesiyle beraber aktif saha içinde faaliyet gösteren hava araçları dışında diğer hava araçlarının girmesine müsaade edilmez. Genellikle ülke savunması amaçlı askeri operasyonlar

için bu sahalar aktif edilir. Askeri hava araçları dışında diğer hava araçlarının sahaya girişine müsaade edilmez.

1.6.4 Sınır Geçiş Sahası

Sınır Geçiş Sahası (CBA), operasyonel uçuş ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla uluslararası sınırlar üzerine kurulmuş olan bir hava sahası bölgesidir. Ayrıca sınır geçiş sahaları bir sınırın her iki yanında askeri faaliyetlere veya diğer ihtiyaçlara imkân sağlamak için oluşturulan sahalardır. CBA kendi içlerinden geçen Şartlı Rotaların aktif kullanımı ile beraber sınır bölgelerinde hava sahası verimliliğini artırır. Mevcut ATS trafik yol ağının daha üst bir seviyeye taşınmasına yardımcı olur.

CBA'nın oluşturulmasında önce komşu devletler arasında siyasi, hukuki, teknik anlaşmaların yapılması gerekir. CBA'nın oluşturulması ve uygulanmasına ilişkin anlaşmada ulusal egemenlik, ülke savunması, uluslararası hukuka uygunluk, yasal sorumluluk, uçuş operasyonlarının çevresel etkileri, arama ve kurtarma faaliyetleri gibi konular ele alınır.

1.6.5 Hava Sahası Tahditleri

Hava sahası kullanıcıları için potansiyel bir risk teşkil eden bazı havacılık faaliyetleri uçuştan önceki gün planlanması mümkün olmayabilir. Bu durumlarda devlet ülke savunma sebepleri ile tehlikeli (D), sınırlı (R) ve yasaklı (P) sahaları alıkoyabilir ya da yenisini oluşturabilir. Bir hava sahası tahditi ASM Seviye-2'de yönetilebilir olduğu durumda ve FUA uygulanabilir olduğunda, bu sahalarının TRA'lar veya TSA'lar tarafından değiştirilmesine olanak sağlar. Ancak, R ve D sahalarını sürekli olarak alıkoyma gereksinimi içinde bulunan devletlerin bu sahaları TRA ve TSA gibi tahsis etmeleri ve devreye sokmaları gerekir. ASM Seviye-2'de yönetilen ve tahsis edilen R ve D sahalarını "Yönetilebilir Saha" olarak belirlenmiştir. ASM Seviye-2 için yönetimi uygun olmayan R, D, P sahaları, değişiklik olmadığı sürece kalır ve AIP'de bu şekilde belirtilir.

1.6.6 Hava Sahası Serbest Yol Uçuşları

Hava sahası serbest yol uçuşları, Avrupa hava trafik yönetimi ağının ayrılmaz bir parçasını oluşturur. Hava sahasında yatay ve dikey olarak uygulanır. Hava sahası

serbest yol uçuşları çerçevesinde oluşturulan hava sahası tahsisleri sayesinde, tüm hava sahası kullanıcıları serbest yol uçuşlarına ulaşma imkânına sahip olur.

Tüm hava sahası kullanıcılarının yararına olan bu uygulama, sivil ve askeri hava trafik ünitelerinin ileri düzey koordinasyonuna ihtiyaç duyar. Serbest yol uçuşları hava sahası dahilinde geçiş yapacak bir hava aracına, hava sahası tahsislerinden kaçınan bir uçuş yolunu belirlemesinde sivil-askeri hava trafik kontrol üniteleri, hava sahası kullanıcıları ve Ağ Yöneticilerinin hava sahasının güncel bilgisine sahip olunması koşuluyla, hava sahasını serbest olarak kullanılabilme imkânı verir.

1.7 Hava Sahası Yönetimi Bilgilerinin Yayınlanması

FUA kapsamında bilgiler hava sahası kullanıcılarına Hava Sahası Kullanım Planı (AUP), Güncellenmiş Hava Sahası Kullanım Planı (UUP) ve Elektronik Hava Sahası Yönetim Bilgileri (eAMI) yoluyla çeşitli zaman dilimlerinde yayınlanır.

1.7.1 Hava Sahası Kullanım Planı

Hava Sahası Kullanım Planı (AUP), esnek hava sahası kavramının önemli bir parçası olup, AMC'ler tarafından günlük olarak ASM seviye-2'de hava sahası tahsislerini kapsayacak şekilde yayınlanır.

AUP, ağ yöneticisi tarafından hava sahası yönetimi için sınıflandırılmış ortak bir format vasıtasıyla oluşturulur. Bir sonraki gün 06:00 Eş Gündümlü Evrensel Zaman (UTC) ile ikinci gün 06:00 UTC arasındaki 24 saatlik zaman aralığını kapsayacak şekilden kısa süre içerisinde yayınlanır.

Hafta sonu ya da tatil günleri zaman aralıklarında her bir gününü içerecek şekilde maksimum 7 günlük süre olmak koşulu ile AMC'nin son iş günü birkaç AUP'yi tek bir bütün halinde yayınlayabilir.

1.7.2 Güncellenmiş Hava Sahası Kullanım Planı

AMC, tahsis işlemlerini sonlandırdıktan sonra, önceden tahsis edilmiş ve planlanmış herhangi bir hava sahası yapısının iptal edilmesiyle oluşan kullanım boşluğundan yararlanmak için hava sahası tahsisi üzerinde düzenlemeler yapabilir. Değişen yeni durum sonrasında diğer hava sahası kullanıcılarına ilave kapasite

imkânı sunmak amacıyla hava sahası tahsisi üzerindeki yapılan bu düzenlemeler AMC tarafından Güncellenmiş Hava Sahası Kullanım Planı (UUP) olarak yayımlanır.

En son UUP belirtilen zaman aralığına göre mevcut kullanımda olan AUP'nin veya daha önce yayımlanan UUP'lerin yerine geçmektedir.

1.7.3 Elektronik Hava Sahası Yönetim Bilgileri

Elektronik Hava Sahası Yönetim Bilgileri (eAMI), tüm hava sahası ayırımlarının ASM Seviye-1, Seviye-2, CDR1, CDR2 ve ATS yollarının açılış ve kapanış zaman aralıklarını içeren elektronik bir mesajdır.

Hava sahası kullanıcıları, eAMI yoluyla CDR'lerin rota kullanılabilirliği bilgisine ve hava sahası ayırımlarına NM vasıtasıyla web hizmetleri üzerinden erişmektedir.

1.8 Hava Trafik Hizmetleri / Hava Trafik Akış Yönetimi / Hava Sahası Yönetimi İlişkileri

Hava Trafik Hizmetleri (ATS), Hava Trafik Akış Yönetimi (ATFM) ve Hava Sahası Yönetim (ASM) yapıları birbirinden farklı gibi görünse de işlev olarak hava sahası yönetimi üst seviyeye taşıma konusunda birleşmektedir. Sürekli birbirleri ile etkileşim halinde olan bu yapıların amacı hava trafik organizasyonu içerisinde bulunan tüm hava araçlarının emniyetli, etkin ve verimli uçuş operasyonları gerçekleştirmelerini sağlamaktır.

1.8.1 Hava Trafik Hizmetleri

Hava Trafik Hizmetleri (ATS), Hava trafik akışını etkin olarak sağlamak amacıyla hava sahasında, taksi sahalarında ve apronda uçakların ayırımını yapmak, uçuş operasyonlarında uçuş emniyetini sağlamak için gerekli bilgilere ulaşarak bu bilgileri hava araçlarına iletmek, acil durumlarda arama-kurtarma ekiplerine bilgi vermek, kurtarma ekiplerinin bölgeye sevk ve idaresini sağlayan hizmetlerin bütünüdür.

1.8.1.1 Hava trafik kontrol hizmeti

Hava trafik kontrol hizmeti, hava araçları arasındaki yatay ve dikey gerekli ayırma işlemlerini yaparak çarpışmayı önlemek, hava trafiğinin düzenli şekilde akışını sağlamak, uçuş operasyonlarının emniyetli ve etkin yönetimi sağlamak için hava araçlarına bilgi aktarmak ve arama kurtarma ihtiyaçlarında ilgili kuruluşları ikaz etme faaliyetlerini yerine getirir. Hava trafik kontrol hizmetleri hava trafik iş yükünün paylaşılması adına saha/yol kontrol hizmeti, yaklaşma kontrol hizmeti ve meydan kontrol hizmet bölümlerine ayrılmıştır.

1.8.1.2 Saha / Yol kontrol hizmeti

Terminal kontrol sahaları (TMA) dışında kalan hava sahasında ve ATS hava yolu ağında bulunan trafiklere Hava Trafik Kontrol (ATC) üniteleri tarafından sağlanan hava trafik hizmetidir. 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu esaslarına göre Türkiye’de saha/yol kontrol hizmetleri DHMİ Genel Müdürlüğü tarafından yerine getirilmektedir.

1.8.1.3 Yaklaşma kontrol hizmeti

Yaklaşma kontrol hizmeti, kalkış (Take off) ve iniş (Landing) uçuş safhasında olan hava araçlarının yönetimini sağlamak, uçuş emniyetini daha üst seviyeye çıkarmak için gerekli seyrüsefer cihazlarını bulunduran havalimanlarında verilen hava trafik hizmetidir. Yaklaşma kontrol hizmeti Aletli Uçuş Kuralları (IFR) ile yapılan uçaklar için uygun uçuş rotaları oluşturur. Bu sayede uçakların emniyetli bir şekilde iniş ve kalkış yapmalarına yardımcı olunur.

1.8.1.4 Meydan kontrol hizmeti

Uçuş kontrol kulesi tarafından icra edilen 5 nm yarıçapta ve genellikle 3.000 feet yüksekliğe kadar uzanan saha içerisinde meydan paternlerinin bulunduğu bölgede verilen hava trafik kontrol hizmetidir. ICAO Annex-11 de alt limitin 700 feet olacağı belirtilmiştir. Meydan kontrol sahası limitleri AIP’de yayımlanır.

1.8.1.5 Uçuş bilgi hizmeti

Hava trafik hizmetlerinin emniyetli bir şekilde yönetilebilmesi için gerekli tavsiyelerin ve bilgilerin hava aracına iletilmesidir. ICAO Annex-11'e göre hava araçlarına aktarılan bilgiler aşağıdaki gibidir.

1. Güncel meteorolojik bilgiler
2. Operasyonel bilgiler
3. Havalimanı bilgileri
4. Seyrüsefer bilgileri
5. İnsansız hava araçları bilgileri
6. Oluşan veya oluşabilecek volkanik faaliyet bilgileri
7. Kimyasal, radyoaktif maddelerin oluşturdukları tehlikeli durum bilgileri

1.8.1.6 İkaz hizmeti

ICAO Annex-11'de ülkelerin sorumluluklarında olan Uçuş Bilgi Bölgesi (FIR) içerisinde acil durumlarda arama-kurtarma hizmeti vermek ve acil durum ünitelerine ikaz etmekten sorumlu hava trafik hizmetidir. İkaz hizmeti arama-kurtarma safhaları 3 safhadan oluşmaktadır. Bu safhalar aşağıdaki gibidir.

a) Şüpheli safha, deniz veya hava vasıtasına ilişkin seyir bilgilerin olmaması, belirli zaman ve kriterler içinde bilgi temin edilmemesi sebebiyle, vasıtalarındaki kişilerin emniyeti ve can güvenliğinden şüphe edildiğinde “Şüpheli Safha” ilan edilir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001).

b) Alarm Safhası, deniz veya hava vasıtasının mevki ve son durumu ile ilgili bilginin devamlı suretle alınamaması veya ciddi bir zorluk içerisinde bulunmasının kesinlikle kaçınılmaz olması sebebiyle vasıta veya personelin tehlike içinde olduğu biliniyorsa “Alarm Safhası” ilan edilir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001).

c) Tehlike Safhası, deniz ve hava vasıtasının veya kişinin ciddi bir tehlike içinde olduğu veya acil olarak yardıma ihtiyaç duyulduğuna dair kesin bilgi alındığında, alarm safhasını müteakip vasıta ile temas kurmak için yapılan teşebbüsler ve yapılan girişimler başarısız kaldığında ve kişinin tehlike içinde olduğu ihtimalinin açıklık kazandığı durumlarda “Tehlike Safhası” ilan edilir (Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği, 2001).

1.8.2 Hava Trafik Akış Yönetimi

Hava Trafik Akış Yönetimi (ATFM), hava trafik yönetim organizasyonu içerisindeki tüm hava sahası kullanıcılarına doğru bilginin, en kısa süre içerisinde paylaşımı ile hava trafik yönetiminin etkinliğini artırma temelli olarak, mevcut kapasitenin artırılması, gecikmelerin en düşük seviyeye indirilmesi ve operasyonel etkinliğin artırılması amacıyla hava trafiğinin etkin, verimli ve çok yönlü kullanımınıdır. Aynı zamanda hava trafik hizmeti sağlayan ünitelerin belirtilen kapasitelere uyumlu olmasını temin ederek hava trafiğinin düzenli, emniyetli ve süratle akışına katkıda bulunmak amacıyla oluşturulmuş bir işlev olarak tanımlanır.

Hava trafik hizmetleri, içerisinde bulunan tüm kullanıcı ve servis sağlayıcıların uçuş emniyetini tehlikeye sokmayacak şekilde hava trafik akışını dinamik olarak kısa sürede ihtiyaçlara göre şekillendirmesi, sevk ve idare etmesi işlemidir. Bu yönetim organizasyonu içerisindeki ana hava sahası kullanıcıları aşağıdaki gibidir.

- a) Hava servis sağlayıcıları
- b) Hava sahası kullanıcıları
- c) Havayolu operatörleri
- d) Havalimanı operatörleri
- e) Havalimanı yer hizmetleri
- f) Havalimanı slot koordinatörleri
- g) Otoriteler
- h) Askeri otoriteler
- i) Güvenlik otoriteleri
- j) Hava trafik hizmetleri otoriteleri ve diğer otoriteler

1.8.2.1 Hava trafik akış yönetimi safhaları

ATFM, uçuş operasyonlarının yönetimi açısından Stratejik, Taktik Öncesi ve Taktik olmak üzere 3 safhadan oluşmaktadır.

- a) Stratejik Safha

Stratejik safha, genel olarak uçuş operasyonunun bir günden daha önce planlanması ile havalimanı kapasitesi göz önünde bulundurularak slot tahsisi ve hava trafik hizmeti yönetimi işlemlerinin yerine getirilme aşamasıdır.

b) Taktik Öncesi Safha

Taktik öncesi safha, uçuş operasyonunun bir gün ile iki saatlik süre arasını kapsayan planlanma aşamasıdır. Meteorolojik tahminler, talep/kapasite dengesi tahminleri işlemlerinin değerlendirildiği safhadır.

c) Taktik Safha

Taktik safha, uçuş operasyonunun iki saatlik süre ile uçuş bitene kadar ki süreyi kapsayan planlanma aşamasıdır. Bu safhada eş zamanlı olarak talep/kapasite dengesi tahminlerini oluşturulur.

1.8.2.2 Hava trafik akış yönetimi bileşenleri

ATFM trafik talebinin mevcut ATM kapasitesini aştığı durumlarda ilgili sahadaki optimum trafik akışını temin etmek ve güncel ihtiyaçlar doğrultusunda hava trafik kullanımının verimli olmasını sağlamayı amaçlayan taktik ve stratejik planlama çalışmalarını kapsamaktadır. Bu çalışmaların uygulanabilmesi için aşağıdaki ATFM bileşenlerine ihtiyaç duyulur.

a) Emniyet (Safety)

Emniyet, hava trafik yönetim sistemi içerisindeki en önemli unsurlardan biridir. Hava trafik sisteminin çeşitli durumlardaki potansiyel risk seviyelerini değerlendirir, oluşabilecek acil durumları tahmin eder ve hava trafik sistemi kullanıcılarının sorumluluklarını ortaya koyar.

b) Maliyet Etkinlik (Cost-Effectiveness)

Hava sahası kullanıcılarının uçuş operasyonlarındaki maliyetlerini optimum seviyede tutması için gereklilikleri belirler. Fiyat/fayda analizi yapar ve maliyet etkinliği artırmak için maliyet etkinliği tahminlerine odaklanır.

c) Erişim (Access)

Hava sahası kullanıcılarının tamamı için şeffaf eş zamanlı bir bilgi paylaşım ortamı oluşturur. Bu sayede hava trafik operasyonları için optimum talep/kapasite tahmini dengesi sağlar.

d) Kapasite (Capacity)

ATFM kullanıcıları ile çok yönlü kapasite seviyelerini belirler. ATFM sistemindeki planlama ve uygulamaların kapasite ihtiyaçlarına göre talep tahmini işlemini gerçekleştirir.

e) Çevre (Environment)

ATFM sistemini için önemli bir faktör olan çevre, ATFM sisteminin tüm operasyonlarında, gelişiminde, dizaynında göz önünde bulundurulur. Uçuş operasyonlarındaki emisyonlar, hava kalitesi, uçak gürültüsü ve olumsuz çevresel etkileri ATFM kapsamında değerlendirilir.

f) Öngörülebilirlik (Predictability)

ATFM sisteminde bilgi operasyon planlamasının öngörülebilirliği açısından önemli bir faktördür. Geçmiş bilgilerin analizi ve aynı zamanda güncel bilgilerin değerlendirilmesi ile hava trafik tahminleri yapılır.

g) Esneklik (Flexibility)

ATFM organizasyonundaki hava sahası kullanıcıları hava trafik akışı içerisindeki tüm faaliyetleri gerçekleştirirken özellikle hava sahasını etkin ve verimli kullanabilmeleri için ATFM esnek bir yapıya sahiptir.

h) Etkinlik (Efficiency)

Etkinlik, tüm hava trafik akış yönetimi safları içerisinde, maliyet etkinliği ve operasyonel verimliliği göz önünde bulundurarak ATFM sistem performansını artırmayı temel alır.

i) Katılım (Participation)

ATFM sistemini hava trafik kullanıcılarını bir bütün olarak düşünür ve tüm kullanıcıları hava sahasının bir parçası olarak görür. Bu yapısı ile hava sahasının etkinliğe ve verimliliğine odaklanan şeffaf bir sistemdir.

j) Küresel Yapı (Global Structure)

ATFM sistemi her zaman küresel ölçekli bir yapıya sahip olmalıdır. Bu sayede hava sahası kullanıcılarına erişim kolaylığı sağlanarak tüm kullanıcıların ihtiyaçlarına en kısa süreli olarak cevap verebilir.

1.8.2.3 Hava trafik akış yönetiminde sorumluluk

Hava trafik akış yönetiminde sorumluluk hava trafik hizmetleri kapsamındaki tüm organizasyonlara aittir. Avrupa hava sahası dahilinde ATFM hizmetlerinin düzenlenmesi yetkisi Eurocontrol Merkezi Akış Yönetimi Ünitesi sorumluluğunda olduğu bilinmektedir (Leon, 2015).

Eurocontrol bu sorumluluk çerçevesinde hava trafik akışlarının kat edildiği sektörlerin belirlenmiş kapasitelerine uygun dağılımını sağlamaktan ve gerektiğinde

uçak işletmecileri için adil ve kısıtlamaların mümkün olan en az düzeye indirildiği ATFM işlemleri uygulamaktan sorumludur. Bu sorumluluklar yerine getirilirken Eurocontrol Merkezi Akış Yönetimi nitesi uluslararası anlaşmalara, ATFM dokümanlarına, FIR içinde yayımlanan AIP usullerine başvurmaktadır.

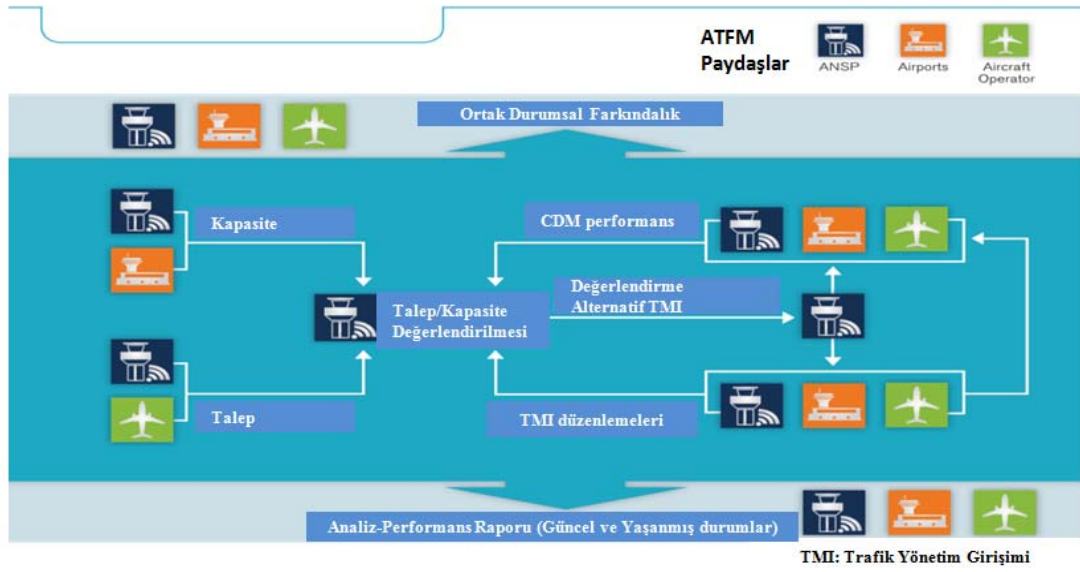
a. Hava Trafik nitelerinin Sorumlulukları

ATS otoritesi tarafından ATC nitesinde ile uçak işletmeleri ve Eurocontrol Merkezi Akış Yönetimi nitesi (CFMU) arasında irtibatı sağlamak üzere bir Akış Yönetim Pozisyonu (FMP) birimi tesis edilir. Havalimanı ve hava meydanlarında uçuşların, ATFM servisinde yayınlanmış kalkış slotlarına uyumlu olarak kalkışları ATS niteleri tarafından sağlanır. Avrupa, bölgesel ek uygulamaları uyarınca slotlarına uymayan uçuşlara müsaadesi verilmez. Bununla birlikte, ATC niteleri kalkışların slotlarına uymalarını sağlayacak her türlü çabayı gösterir (Leon, 2015).

b. Uçak işleticilerinin Sorumlulukları

Uçuş planı doldurma ve karşılıklı yazışma gereklerini karşılayacak genel ATFM uygulamalarını yerine getirmekten, ATFM tahditlerini oluşturacak durumları belirtmekten, ATFM birimi tarafından yayınlanmış özellikle kalkış slotlarını ve diğer uygulamalara riayet etmekten sorumludurlar. Genel olarak hava trafik yönetiminde sorumluluk hava trafik hizmet sağlayıcılarına aittir (ICAO, Annex 11 - Air Traffic Services, 2003).

Hava Trafik Akış Yönetimi içerisinde Ortaklaşa Karar Verme Mekanizması (ATFM-CDM) hava trafik yönetim organizasyonu içerisindeki tüm hava sahası kullanıcılarına doğru bilginin en kısa süre içerisinde paylaşımını esas alır. Hava trafik yönetiminin etkinliğini artıma temelli olarak, mevcut kapasitenin artırılması, gecikmelerin en düşük seviyeye indirilmesi, operasyonel etkinliğin artırılması amacıyla hava sahasının çok yönlü kullanımını sağlayan bir akış sistemidir. şekil 1.1’de Hava trafik akış yönetimi içerisinde ortaklaşa karar verme mekanizması işleyişi gösterilmiştir (Metron, 2017).



Şekil 1.1: Hava trafik akış yönetimi içerisinde ortaklaşa karar verme mekanizmasının işleyişi.

ATFM, Hava trafik servisleri kanalıyla belirlenmiş kurallar çerçevesinde veya uçakların istekleri doğrultusunda, hava sahası ve havaalanlarının mevcut kullanımını hesaba katarak kapasite değerlendirmesi, performans analizi, talep tahmini yapar ve bunun sonucunda alternatif çözüm yolları üretir. Aynı zaman da tüm bu işlemlere monitör ederek uçaklar arasında emniyetli, düzenli ve hızlı bir trafik akışını sağlar.

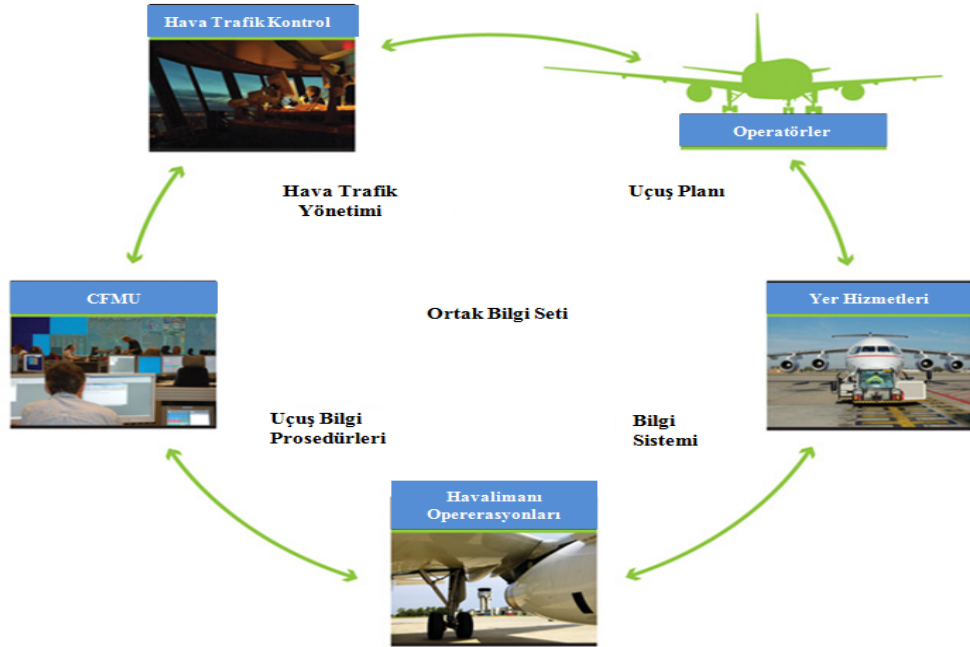
Ortaklaşa Karar Verme (CDM), hava trafik akış yönetiminin kalbi niteliğindedir. Hava trafik akış sürecinin koordinasyonu, iş birlikleri ile hava sahası kullanıcılarının doğru bilgiye ulaşabilmesi sağlayarak hava operasyonlarının etkinliğini artırır ve operasyonlara dinamik bir yapı kazandırır. ATFM-CDM'nin temel işlevleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Havaalanlarından, ATC sistem ünitelerinden ve hava seyrüsefer altyapısından veri toplamak ve karşılaştırmak.
2. Hava sahasından geçen bütün uçuş operasyonları için veri toplama ve analiz etmek.
3. Planlanan trafik tahmini ile trafik talebinin ortak resmi görerek, mevcut kapasiteyle değerlendirmek.
4. Gerektiğinde sistemin imkânları çerçevesinde ATC kapasitesini arttırmak için hava trafik servis otoriteleriyle koordinasyon sağlamak.
5. Uçak işleticileriyle ilgili ATFM kapsamında uygun ölçümler yaparak, hava trafik akışının sevk ve idaresini talep/kapasite odaklı olarak en etkin şekilde

kullanımını sağlamak ve hava sahasını kullanan tüm kullanıcıların çıkarları doğrultusunda bir politika izlemektir.

ATFM S-CDM, hava trafik akışını havalimanı içerisinde bulunan hava sahası kullanıcıları ile birlikte emniyet temelli olarak hava trafik verimliliğinin artırılması için kullanılır. Operasyonel bilginin hava trafik hizmet sağlayıcıları, havalimanı operatörleri, uçuş operatörleri ve diğer hava sahası kullanıcıları ile beraber anlık olarak paylaşımı ile havalimanı talebini tahmin etme ve yönetmeyi amaçlar.

Şekil 1.2’de havalimanlarında ortaklaşa karar verme mekanizması (ATFM S-CDM) yapısı gösterilmiştir (Eurocontrol, Airport Collaborative Decision Making , 2017).



Şekil 1.2: Havalimanlarında ortaklaşa karar verme mekanizması.

Havalimanlarında ortaklaşa karar verme mekanizması işleyişi sayesinde elde edilen hava trafik kazanımları aşağıdaki gibidir;

1. Hava trafik yönetimi üniteleri, uçuş operatörleri, havalimanı operatörleri ve diğer trafik unsurlarının kapasite tahmin edilebilirliğini geliştirir.
2. Taksi çıkış sürelerini, yakıt tüketimini, emisyon salınımlarını ve gürültüyü azaltır.
3. Trafik yönetim organizasyonu ile sektör/talep tahminini artırır.
4. Stratejik planlama için operasyonun tahmin edilebilirliği artırılır.

5. Hava trafiğini analiz ederek ATFM kullanıcılarının uyumunu sağlar.
6. Hava trafik yönetim üretkenliğine ve eş zamanlı olarak bilgi alışverişine imkân sağlar.

1.8.2.4 Federal Havacılık Dairesi yapısı

Federal Havacılık Dairesi (FAA), bünyesinde, hava trafik kontrol sistemi komuta merkezi talep/kapasite gerekliliklerini güvenlik merkezli olarak önce taktik sonra operasyonel analiz yaparak çok yönlü bilgi paylaşımı sağlar. Bu sayede ulusal etkili ve verimli hava sahası sistemi oluşturur. Hava trafik komuta kontrol merkezinde 5 yönlü olarak bir işleyiş söz konusudur. Tüm koordinasyon faaliyeti ortak olarak yürütülür. Talep yönetimi, kapasite yönetimi ve hava sahası tahsisleri tek bir merkezden yürütülür. Bu sayede hava operasyonlarının etkinliği önemli ölçüde artırılır.

Şekil 1.3'de hava trafik komuta kontrol merkezinde ortaklaşa karar verme mekanizması (ATFM-CDM) işleyişi gösterilmiştir (FAA, 2015).



Şekil 1.3: FAA hava trafik akış yönetimi ortaklaşa karar verme mekanizmasının planlama akışı.

Federal Havacılık Dairesi (FAA), ATFM-CDM yapısının amacı, ATM sistemi içerisindeki tüm kullanıcıların ihtiyaç duydukları bilgiye hızlı şekilde ulaşması için taleplerin değerlendirildiği çözümler ve alternatif çözümler oluşturulduğu süreçlerinin tamamıdır. Federal Havacılık Dairesi ATFM-CDM yapısının hava trafik yönetimi sistemine kazanımları aşağıdaki gibidir;

1. Emniyetli, düzenli ve verimli uçuş operasyonları
2. Düzenli hava trafik akışını muhafaza etmek ve hızlandırmak

3. Maliyet verimliliği
4. Hava sahasının esnek kullanımı
5. Talep/kapasite dengesi
6. Hava trafik senkronizasyonu
7. Dinamik bir hava trafik akış yönetimi

1.8.3 Hava Sahası Yönetimi

Hava Sahası Yönetimi (ASM), hava sahasını kullanan tüm hava araçları için hava sahası içerisinde operasyonel etkinliğin artırılması amacıyla hava trafiğinin emniyetli, verimli ve çok yönlü kullanımının sistemli olarak yapılmasını sağlar. Hava sahasının esnek kullanımı hava sahası yönetimi için büyük önem arz eder. Hava sahasının esnek kullanımı hava trafik yönetimi için kapasite kullanımının oranına pozitif anlamda doğrudan etkiye sahiptir.



Şekil 1.4: Hava sahası yönetimi (Metron, 2015).

1.8.3.1 Hava sahası yönetimi temel işlevleri

Hava trafik hizmet sağlayıcıları hava sahası yönetimi sürecini yerine getirirken aşağıdaki temel işlevleri göz önünde bulundururlar;

1. Hava trafik akışı içerisinde talep/kapasite dengesi sağlamak
2. Emniyetli ve düzenli uçuş operasyonları oluşturmak
3. Hava sahasının verimli ve rasyonel kullanımı

4. ATM sistemi kapasitesini artırmak
5. Uçuş operasyonlarındaki potansiyel çarpışma durumlarına engel olmak
6. Optimal uçuş yönlendirme işlemi yapmak
7. Hava sahasını esnek kullanmak
8. Operatörlerin uçuş planlamalarını kolaylaştırmak
9. Hava trafik servis sağlayıcıları arasında koordinasyon sağlamak
10. Dinamik hava trafik akışı oluşturmak

Özetle hava sahası yönetiminin temel işlevi, hava trafik kapasitesinin azami düzeyde kullanılmasını ve trafik hacminin artırılmasını dikkate alarak uçuş operasyonlarının her aşamasında talep/kapasite dengesini tahmin eden dinamik bir hava trafik mekanizması oluşturmaktır.

1.8.3.2 Stratejik seviye ASM/ATFM ilişkisi

Stratejik seviye hem ASM hem de ATFM için bir stratejik planlama aşamasına sahiptir. Bu seviye, trafik istatistikleri ve tahminlerini kullanarak hava sahasının kullanımının dönemsel olarak gözden geçirilmesinden ibarettir. ATFM Seviye-1 gözden geçirme işlemi sonrası incelenmesi gereken sektör kapasitesini ve talepteki dengesizlikleri saptar. Hava sahası kullanıcılarını ve yol planlamacılarını içeren ulusal periyodik gözden geçirme süreci iyileştirilmiş seyrüsefer kapasiteleri, ileri ATC teknikleri ile kullanıcı ihtiyaçlarını hava sahasındaki gelişmelere göre şekillendirir.

Sürekli ATS yollarının ve şartlı rotaların ulusal ve bölgesel düzeyde planlanması Avrupa çapında bir hava sahası organizasyonu çerçevesinde yürütülür. Ulusal hava sahası gözden geçirmesi işlemi aynı zamanda, bir sonraki yaz dönemi için saptanmış olan problemlere çözümler oluşturmak üzere Eurocontrol tarafından organize edilen yıllık ICAO stratejik planlama toplantılarına da yardımcı olur.

Ayrıca bu seviyede şartlı rotaların kullanımının gözden geçirilmesi işlemi, herhangi bir ATFM sorununu çözmek için önceden tanımlanmış CDR senaryolarının tespitine olanak sağlayacaktır.

1.8.3.3 Ön taktiksel seviye ASM/ATFM ilişkisi

Ön taktiksel ATFM aşamasında Ağ Yöneticisi (NM) yetersiz ATC kapasitesine sahip olan sahaları belirtir. Bunun ardından Yol Kullanılabilirlik Belgesi (RAD)'ı izleyen ya da kritik ACC sektörleri için önceden tanımlanmış senaryoları kullanan yol belirleme senaryolarının kapasite eksikliklerinin ilgili hava trafik hizmet sağlayıcıları ve Akış Yönetim Pozisyonu ile birlikte iş koordinasyon halinde çözülmesi için ele alınır.

Ayrılmış hava sahasını gerektiren kullanıcı ihtiyaçları TRA ve TSA'ların talepleri ve tahsislerinin temelini oluşturur. Bu sayede hava sahası kullanımını daha ileri bir seviyeye çıkarmak için önceden belirlenmiş saha tahsisi senaryolarının kullanımı teşvik edilir.

1.8.3.4 Taktiksel seviye ASM/ATFM ilişkisi

Birimler arasında bir TRA veya TSA'nın aktivasyon süresinin azaltılması konusunda anlaşmaya varılmış ise bunun ardından hava sahasının serbest bırakılması sivil ACC'lere belirli CDR'leri açma ve trafik akışlarının yolunu yeniden belirleme olanağını sağlar. Buna benzer bir şekilde askeri birimleri kontrol etmekten sorumlu ATS birimleri, genel ATFM planını hesaba katmak suretiyle TRA veya TSA'ları anlık kullanma olanağına sahiptir. TRA ya da TSA'ları genişletmek veya birleştirmek için sivil ACC'ler, kısa süreli bildirim dayalı olarak, geçici saha kullanımı için, ATS yol bölümlerinin bazı uçuş seviyelerini tahsis edebilir (SHGM, 2015).

1.9 Sivil-Asker İş Birliği ve Birlikte Çalışabilirlik

Hava trafik kontrol merkezleri, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından kabul edilmiş emniyet seviyelerine uygun, mevcut duruma göre daha ucuz maliyetli operasyonlar sağlayan, çevre açısından sürdürülebilir olan ve tüm kullanıcıların ulusal güvenlik gereksinimlerine uygun ve global olarak birlikte çalışılabilir bir hava trafik yönetimi sisteminin etkinliğini artırmayı hedeflemektedir. FUA, artan hava sahası trafik sayısı ile beraber navigasyon ve gözetim sistemleri, gelişmiş bilgi yönetim teknolojisi sayesinde yeryüzünden ve havadan sistem

unsurlarının tüm kullanıcılara açık olarak tamamen entegre olmuş bilgi paylaşımı ağı ve birlikte çalışılabilir bir hava trafik yönetiminin oluşturulması için önem arz etmektedir.

1.10 Hava Sahasının Esnek Kullanımının Getirdiği Kazanımlar

1. Hava sahası kullanıcılarına gerçek gereksinimlere dayalı olarak hava sahasının verimli bir şekilde kullanılması ve yönetilmesi imkânı sunar.
2. Hava sahasının esnek kullanım süreçleri hava araçlarına dinamik uçuş rotaları sağlayarak hava trafik sıkışıklığı olduğunda optimal çözüm imkânları sağlar.
3. Yoğun bir hava sahası ortamında gerçekleştirilen uçuşlarda hava sahası tahditlerinin boyutları, şekilleri ve zaman dilimlerinin operasyon üzerindeki etkileri en aza indirgenir.
4. Hava sahası yapısı, tüm kullanıcıların gereksinimlerini karşılamak ve uçuş operasyonları kısıtlamalarını en aza indirmek için sürekli olarak koordine edilir.
5. Hava sahası tahsisleri, dinamik olarak yapılan değişikliklerle önceden planlanır. Ayrıca hava trafik sistemin kısa sürede planlanmayan gereksinimleri de esnek yapı ile karşılanır.
6. Sivil ve askeri makamlar arasındaki iş birliği ve hava sahası operasyonlarının verimliliğini geliştirmeyi amaçlayan değerlendirmeler yapılır.
7. Hava sahası yönetimi, hava trafik yönetimi, hava trafik akış yönetimi ve hava trafik hizmeti arasındaki tutarlılık üç hava sahası yönetim düzeyinde (Stratejik, Ön Taktik ve Taktik) seviyeler ile sağlanır.
8. Oluşturulan hava sahası kolaylıklarıyla hava trafik hizmet birimleri ve hava sahası kullanıcıları mevcut hava sahasını mümkün olan en iyi şekilde kullanırlar.
9. Hava sahası yönetiminin stratejik, ön taktik ve taktik aşamaları sürecinde ATS'ler ve ATFM birimlerin koordinasyona dayalı karar almalarına olanak sağlar.
10. Ulusal hava sahasının güvenliği, değişen koşullarla birlikte daha üst bir seviyeye çıkartılır.

1.11 Türkiye’deki Hava Sahası Yapısı

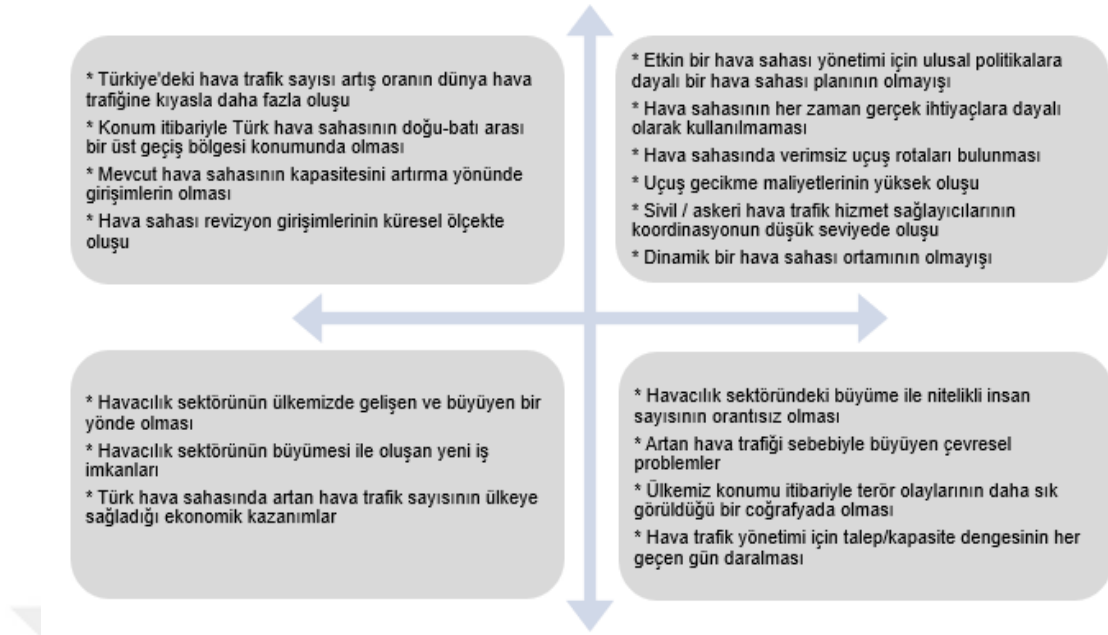
Türk hava sahasındaki hava trafik sayısının artış oranı dünya hava trafiğine kıyasla daha hızlı oluşu ülkemiz hava sahası yoğunluğunun her geçen gün daha fazla artmasına sebep olmaktadır. Türkiye dış hat uçuşlarına bakıldığında, 2003 yılında ülkemizden 60 noktaya uçuş var iken 2017 itibariyle %370 artış ile 282 noktaya uçuş olduğu görülmektedir (SHGM, Stratejik Planı, 2017).

Türk hava sahasının bugün ve gelecekte ihtiyaçlara hızlı şekilde cevap verebilen dinamik bir yapıda olması için oluşması muhtemel kapasite problemlerinin çözümü adına şimdiden önlem alınmalıdır. Kapasite problemlerinin yanı sıra yoğun hava trafiğinin çevresel olumsuz etkileri de önlem alınması gereken diğer ciddi bir sorundur. Havacılık sektörünün büyüme oranının 2003-2015 yılları arasında dünyada %5,7 iken bu rakamın ülkemizde %13,7 olduğu görülmektedir (SHGM, Stratejik Planı, 2017). Bu büyüme oranı ülke açısından bazı kazanımlar sağlasa da bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu durumun analizi için sonraki bölümde GZFT(SWOT) analiz çalışması yapılmıştır.

1.11.1 Türkiye’deki Hava Sahası Yapısının ve Havacılık Endüstrisinin GZFT(SWOT) Analizi

Türk hava sahasının ve havacılık endüstrisinin mevcut yapısı üzerine yapılan GZFT (SWOT) analizi değerlendirilmesi ülkemiz havacılık faaliyetlerinin güçlü yönlerini, zayıf yönlerini, tehditlerini ve fırsatlarını temel anlamda ortaya koymaktadır.

Şekil 1.5’de Türkiye’deki hava sahası yapısının ve havacılık endüstrisinin en temel konu başlıkları ile GZFT (SWOT) analiz çalışması gösterilmektedir.



Şekil 1.5: Türkiye'deki hava sahası yapısının ve havacılık endüstrisinin GZFT (SWOT) analizi.

Ülkemizin coğrafi konumu ile doğu-batı arası bir üst geçiş güzergâhı olması önemli bir avantaj olarak düşünülmektedir. Ülkemizde havacılık otoriteleri tarafından hava trafik ve hava sahası iyileştirme girişimlerinin küresel ölçekte oluşu, gelecekte havacılık endüstrisinin ülke açısından daha büyük bir güç olacağını göstermektedir. Ayrıca havacılık sektörünün gelişen ve büyüyen bir yönde olması yeni istihdam alanları oluştururken girişimcilere yeni pazar imkânı da sunmaktadır.

Havacılık endüstrisi dünya havacılık faaliyetlerine kıyasla ülkemizde yeni gelişen bir sektör olduğundan, ulusal politikalara dayalı uzun vadeli hava sahası planı oluşturulması gereklidir. Ayrıca sivil-askeri hava trafik hizmet sağlayıcılarının koordinasyonunun düşük seviyede oluşu, çoğunlukla hava sahasının gerçek ihtiyaçlara dayalı olarak kullanılmaması verimsiz uçuş rotaları uçuş maliyetlerini ciddi oranda artırmaktadır.

Ülkemizde üniversite ve eğitim kurumlarında havacılık bölümlerinin eğitim kalitesinin düşük oluşu, havacılık alanında uzmanlaşmış akademisyen sayısının çok az oluşu, havacılık alanında yeterli Türkçe akademik kaynak ve Türkçe eğitim materyali bulunmaması sektördeki büyüme ile nitelikli insan sayısının orantısız büyümesine neden olmaktadır. Bu durum üzerinde çalışılması ve geliştirilmesi gereken en önemli eksik yönümüz olarak görülmektedir.

Dünyada bazı ülkeler tarafından uygulanmaya başlanan çevresel kısıtlamaların (emisyon, gürültü vb.) henüz ülkemizde yeterli seviyede uygulanmaması ve artan

hava trafiğine karşı yeterli önlem alınmaması büyüyen çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir. Hava trafik akışı talep/kapasite dengesinin her geçen gün azalması sıklıkla uçuş gecikmelerine neden olmaktadır. Mevcut durum sektördeki hizmet kalitesinin düşmesine, yolcu memnuniyetinde ciddi azalmalar meydana gelmesine bunun sonucunda havayolu şirketlerinin emniyet politikalarından, kalite politikalarından ve kurumsal politikalarından ödün vermelerine yol açmaktadır. Ayrıca ülkemiz konumu itibariyle terör olaylarının daha sık görüldüğü bir coğrafyada olması, havacılık endüstrisinin gelişim ve geleceği için büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Genel itibariyle ülkemizde gelişen ve büyüyen havacılık sektörünün olumlu etkilerinin yanında olumsuz etkileri olsa da çeşitli girişimler ile zaman içinde olumsuz etkilerin azaltılabileceği düşünülmektedir. Bu girişimlerden biri olan Türk Hava Sahasının Esnek Kullanımı (FUA) sayesinde kapasite problemlerin daha alt seviyelere indirgeneceği, hava araçlarının çevresel etkilerinin azaltılacağı, hava operasyonları için ekonomik kazanımlar sağlanacağı değerlendirilmektedir.

FUA uygulanması ile birlikte yoğun rotalar üzerinde olup sık kullanılan sahalar ve hava sahasında darboğaz oluşturan diğer sahalar değerlendirmeye alınarak hava sahası koridorlarına göre yatay ve dikey limitlerinin tekrar belirlenmesi işlemleri devam etmektedir. Türk hava sahasının verimsiz kullanımı, hava araçlarının düz uçuşları ağırlıklı olmak üzere alçalma ve kalkış uçuş safhaları için de terminal kontrol sahaları içerisinde kalan çeşitli sahalarının varlığı sebebiyle hava trafiğini olumsuz etkilediği görülmektedir.

1.12 Hava Sahasının Esnek Kullanımı Kavramının Türkiye’deki Gelişimi

Avrupa hava trafiği için tek hava sahası düşüncesi Eurocontrol teşkilatının kuruluşu ile aynı dönemde ortaya çıkmış olup, 1960 yılında Eurocontrol teşkilatı kuran devletlerin (Belçika, Fransa, Federal Almanya, Hollanda, İngiltere ve Lüksemburg) temel amacının “Tek bir üst hava sahası” oluşturmak olduğu bilinmektedir (DHMI, 2006, s. 3).

Ülkemizde FUA uygulaması süreci Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme bakanlığı ve Millî Savunma Bakanlığı tarafından hazırlanan SHY-FUA, 18.04.2014 tarihinde resmî gazetede yayınlanması ile beraber yürürlüğe girmiştir. Hava Sahasının Esnek Kullanım Yönetmeliği (SHY-FUA) yapısı ile birlikte ilerleyen

dönemde Türk hava sahasının Planlama, Yürütme, Kontrol, Koordinasyon ve iş birliği esaslarına göre yürütülmesi planlanmaktadır.

1.13 Hava Sahasının Esnek Kullanımı Kavramının Türkiye'deki Uygulamaları

Hava Sahasının Esnek Kullanımı Yönetmeliği (SHY-FUA)'nın 18.04.2014 tarihinde yayınlanması ile birlikte 183 askeri çalışma sahasının özellikle sivil terminal kontrol sahası içerisinde kalan 42 adet sahanın yatay ve dikey limitlerinin askeri ve sivil trafik kontrol merkezleri ve DHMİ Genel Müdürlüğü temsilcileri tarafından tekrar değerlendirilmesi ile 141 adet sahanın ise FUA yönetilebilir (Manageable) ibaresi Türkiye AIP'sinde yayınlanması kararlaştırılmıştır.

FUA'nın uygulanması için Türkiye Hava Trafik Kontrol Merkezi (SMART) projesi hayata geçirilmiş sivil ve askeri hava trafik ünitelerinin koordinasyonu ileri seviyeye taşınmıştır. SMART ile hava sahası trafiği tek merkezden etkin olarak yönetimi uygulaması başlamıştır.

Ayrıca havacılık ortak bilgilerinin yayınlanması için gerekli çalışmalar yapılmış ve hava sahası veri tabanı oluşturulmuştur. Türk hava sahasında FUA kavramının uygulanabilir hale getirilmesi için NOTAM mevzuatlarının güncellenmesi yoluna gidilmiştir.

Türk hava sahasındaki FUA yapılaşması süreci devam ederken özellikle son dönemlerde yavaşladığı ve pek fazla gelişme kaydedemediği görülmüştür. Eurocontrol tarafından hayata geçirilmek istenen Avrupa bölgesinde tek hava sahası oluşturma projesinin aşamalarından biri olan FUA uygulaması şu an için geçiş aşamasında olduğundan ülkemizde tam anlamıyla hayata geçirilmiş değildir.

İKİNCİ BÖLÜM

PROBLEMİN TANIMLANMASI

2.1 Problemin Açıklanması

Ülkemiz hava sahasındaki hızla artan hava trafiğine karşı yapılan düzenlemelerin trafik sayısı artışına oranla yetersiz kalması zaman içerisinde hava trafik yönetiminde darboğazlar oluşturmuş, Türk hava sahası gerçek zamanlı etkin ve verimli bir kullanım yapısından uzaklaşmıştır. Hava sahasındaki bu durumun temel sebepleri sivil-askeri hava trafiğinin ve diğer hava sahası kullanıcılarının birbiriyle olan koordinasyonunun düşük seviyede olması, Türk hava sahasının sistematik yapısının olmaması ve sivil havayolu şirketlerinin ticari kaygıların olmasının yanında askeri trafik ünitelerinin anlık ülke savunması için ihtiyaç duyduğu gereksinimlerin ortak payda da buluşturulamamasıdır. Aynı zamanda Türk hava sahasında çoğunlukla gerçek ihtiyaçlar ve asli kullanım zaman aralıklarına göre saha tahsisleri ve NOTAM işleminin yapılmaması Türk hava sahasında kısıtların oluşmasına ve dinamik yapısını kaybetmesine sebep olmaktadır.

Hava sahasındaki bu problemler uçakların tahmini iniş ve kalkış zamanlarında gecikmelere sebep olmakta, hava sahasını kullanacak diğer hava araçları için de olumsuz bir domino etkisi yaratmaktadır. Türk hava sahasının esnek olmayan yapısı sebebiyle rotaların gerçek kullanım oranlarına bakıldığında, çoğu zaman hava araçlarının rotalarında uzamalar olduğu ve verimsiz uçuş operasyonları gerçekleştiği görülmüştür. Hava araçlarının Türk hava sahasında daha uzun süre kalmaları ilave yakıt, personel, zaman maliyetleri dışında kapasite problemlerine, çevresel kirliliğe sebep olmaktadır. Ayrıca bu verimsiz hava sahası kullanımı bazı istenmeyen durumların oluşmasına uçaklar arası uçuş emniyetini tehlikeye düşürecek yakın geçişlerin yaşanmasına, tahmini planlı varış zamanından geç inen uçakların havada

daha uzun süre kalarak diğer uçuşlara tehdit oluşturmaya sebep olmaktadır. Tüm bu olumsuzlukların daha alt seviyelere çekilmesi amacıyla hava sahasının esnek kullanımının tam anlamıyla uygulanması ve hava sahası dinamiği içerisinde anlık ihtiyaçlar doğrultusunda hava araçlarının yönlendirildiği yeni rotaların sezgisel olarak değil de karar destek sistemleri yoluyla seçilmesi gerekmektedir. Hava Sahasının Esnek Kullanımı Yönetmeliği (SHY-FUA) 2014 yılında yürürlüğe konmuştur (SHGM, 2014). Fakat Türk hava sahasının problemleri, darboğazları ve yapılan hava sahası analizi dikkate alındığında, FUA'nın hava trafik kontrol merkezlerinde şu an için tam anlamıyla aktif olarak kullanılmadığı ve geçiş aşamasında olduğu değerlendirilmiştir.

2.2 Ekonomik Etkileri

Havayolu şirketleri, ticari amaçla taşımacılık yapan işletmelerdir. Ticari amaçla, kar elde etmek için faaliyet gösteren her işletmede olduğu gibi havayolu şirketleri için de maliyet konusu oldukça önemlidir. İşletme maliyetleri, uçuş hizmetleriyle doğrudan ilgili olması nedeniyle verilen hizmetin kalitesi ve ücreti anlamında belirleyici bir unsurdur. Ayrıca hava trafik yönetimi faaliyetleri ile havayolu işletmelerinin maliyet stratejileri ve ekonomik performansları arasında önemli etkileşimler bulunmaktadır. Özellikle uçakların düz uçuş safhasındaki verimsiz rota seçimi kaynaklı zaman kayıplarının neden olduğu uçuş gecikmeleri, havayolu işletmelerine bazı ek maliyetler ortaya çıkarabilmektedir. Yapılan çalışmada, ilerleyen bölümde hava trafik yönetimi kaynaklı uçuş gecikmelerinin havayolu işletmelerinin toplam maliyetlerine, uçak bakım ve personel maliyetlerine etkisi hesaplanmıştır. Ayrıca uçuş gecikmeleri havayolu işletmelerinin yatırım stratejileri üzerinde de etkili olduğu düşünülmektedir.

Hava trafik yönetiminin havayolu işletmelerinin uçuş hatları ve uçuş tarifeleriyle ilgili hizmet planlamaları üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır (Uslu & Cavcar, 2002).

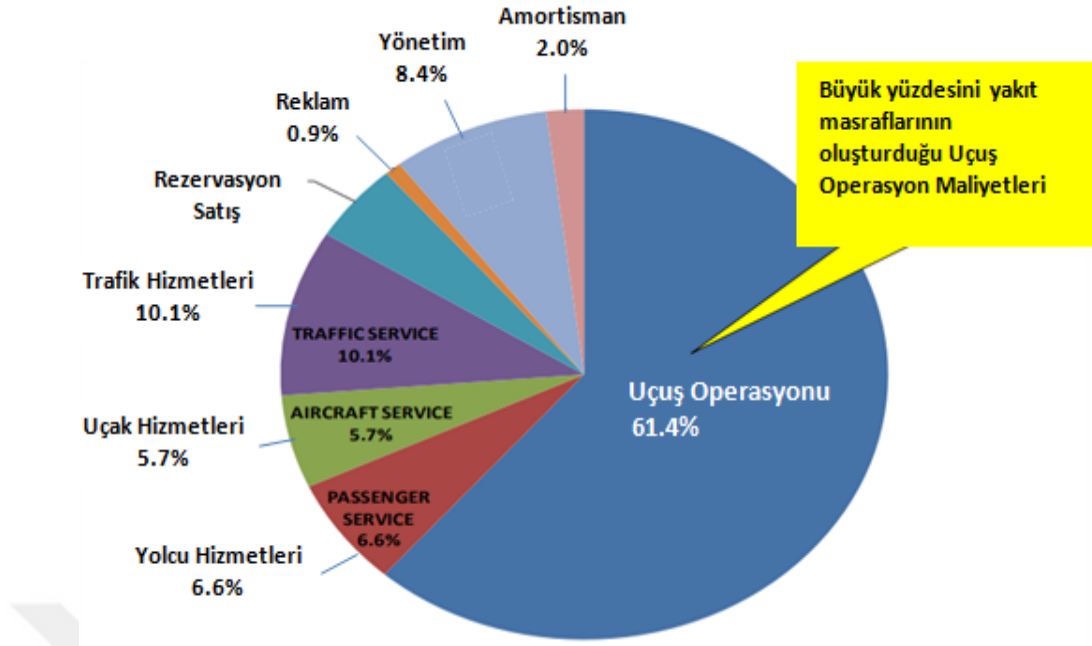
Hava ulaşım sistemi ülke ekonomisine büyümeyi mümkün kılan, önemli sosyal yardımlar sağlayan hayati bir altyapıdır. Havayolu şirketleri hava ulaşım sistemlerinin gelişmesi adına büyük bir yere sahiptir. Havayolu şirketleri bu gelişime katkı sağlarken birçok maliyet unsurundan etkilenmektedir. Havayolu şirketleri için önemli maliyet unsurlarından olan petrol fiyatlarındaki artış ve dalgalanmalar

havayolu şirketlerinin diğer maliyet unsurlarını, hizmet kalitesini ve ülke ekonomisini önemli ölçüde etkilemektedir. Havayolu şirketlerinin uçuş maliyetleri uçuşlara olan arz ve talebin değişmesinde büyük bir yere sahiptir. Aynı zamanda maliyetler havayolu şirketlerinin ağ yapılarının oluşumunu ve değişmesini büyük ölçüde etkilemektedir. Havayolu taşımacılığının ekonomik ve sosyal önemi göz önüne alındığında gerçek ihtiyaçlara cevap verebilen dinamik bir hava trafik sistemi ve etkin ve verimli esnek bir hava sahasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Hava trafik yönetimi, havayolu işletmelerinin verimliliğini etkileyen en kritik unsurlardan biridir. Hava trafik yönetiminin temel amaçları uçuşların emniyetli, düzenli ve verimli olmasını sağlamaktır. Bu amaçların etkin şekilde sağlanamaması, uçakların planlı uçuş zamanlarından sapmalarına, hava sahası kapasitesinin düşmesine, ilave zaman ve yakıt maliyetlerine neden olur (Uslu & Cavcar, 2002).

2.2.1 Yakıt Tüketimi Etkisi

Hava trafik yönetim sistemi hava araçlarının yakıt tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yoğun bir hava trafik akış sistemi içerisinde görev yapan hava trafik kontrolleri hava trafik hizmeti verirken dikkat etmeleri ve yoğunlaşmaları gereken birçok husus vardır. Bu hususlardan bazıları hava sahasının esnek kullanılmaması kaynaklı uzatılan rotalar, havada bekletmeler ve benzer nedenlerle olumsuz şekilde etkilenen uçakların yakıt tüketim giderleridir. Şekil 2.1’de US DOT Form 41 Finansal raporuna göre US havayolu şirketlerinin 2012 yılındaki uçuş faaliyetleri maliyet dağılımını göstermektedir (US DOT form 41 financial reports, 2012). Yakıt fiyatlarının şekilde görüldüğü üzere maliyet dağılımı içerisinde büyük bir yüzdeye sahip olduğu için gider kalemleri arasındaki yeri önem arz etmektedir.



Şekil 2.1: Uçuş operasyonu maliyet dağılımları.

Uçakların kalkıştan itibaren tırmanma, düz uçuş, yaklaşma ve inişe kadar olan rotaları boyunca hava sahası tahditleri, ayırmalar, meteorolojik etkenler ve birçok kontrol edilebilir ve edilemez nedenler havada kalış sürelerini olumsuz etkilemekte ve yakıt tüketim miktarını artırmaktadır. Ayrıca jet yakıt fiyatların son yıllarda büyük dalgalanmalar göstermesi de havayolu şirketleri için büyük riskler oluşturmakla beraber, hava trafik yönetiminin ve hava sahasının esnek kullanımının önemini arttırmıştır.

Havayolu yöneticilerinin, yakıt maliyetlerinin dönemsel olarak dalgalanması nedeniyle, çoğu zaman kapasite disiplini sağlayamadıkları gözlemlenmiştir. 2010 yılında jet yakıtı fiyatlarındaki düşüş, uçuş kapasitesini yaklaşık %4 arttırdığı görülmüştür. Jet yakıt fiyatlarında 1990 yılında yaşanan bir dalgalanma 2000 yılında fiyatların yaklaşık iki katına çıkmasına neden olmuştur (IATA, Jet Fuel Price Monitor, 2017). İlerleyen dönemde tekrar değişkenlik gösteren fiyatlar Temmuz 2004 ile Temmuz 2009 tarihleri arasında %244 kadar arttığı görülmektedir. Artan talep ile birlikte uzun vadede yakıt fiyatlarındaki yükseliş eğilimini devam ettireceği düşünülmektedir. 2014 yılına kadar olan yükseliş eğilimi sonrasında tekrar 2014 yazında başlayan petrol fiyatlarındaki belirgin düşüşün etkileri havayolu şirketlerinde açıkça görülmüştür. 2014 yılında, petrol fiyatları küresel finansal krizden bu yana en büyük yıllık düşüşünü ilan ederek zayıf talep ve güçlü küresel ham üretim, arz

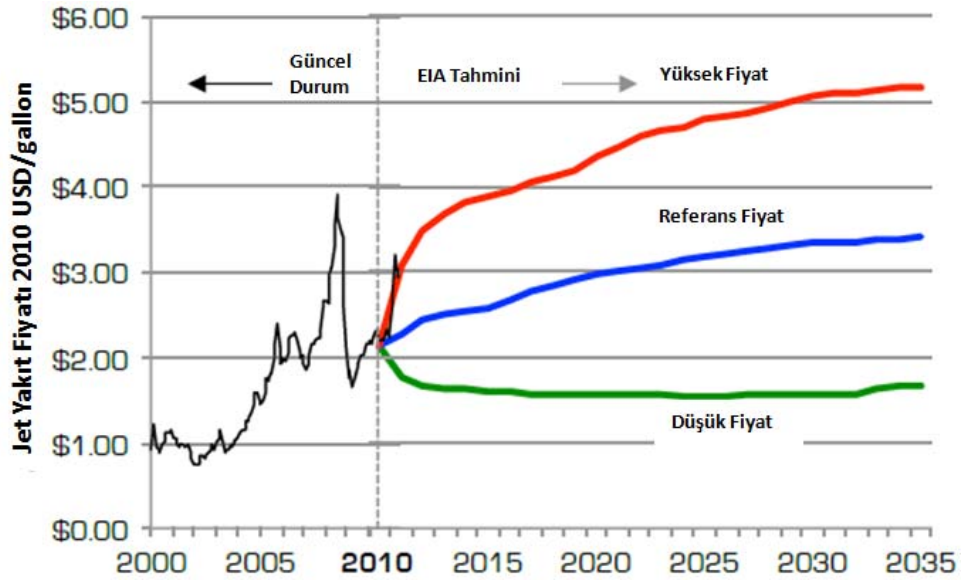
sıkışıklığı yarattığından %45'ten fazla değer kaybetmiştir (Morrison, Yutko, & Hansman, 2011).

Jet yakıt fiyatlarının hızlı değişkenliği havayolu şirketlerinin iş modelleri denklemlerini çarpıcı bir biçimde değiştirmelerine ve yakıt olarak daha verimli uçaklara yönelmelerine neden olmuştur. Ayrıca yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalar birçok havayolu için kısa vadeli mali yararlar sağlamakla birlikte, havayolu şirketleri ve uçak üreticileri için karışık bir durum oluşturmuştur.

Yakıt fiyatları, diğer emtia fiyatlarında olduğu gibi, arz ve talep değişikliklerini yansıtır ve buna tepki verir. 1970'lerin başında Amerika Birleşik Devletleri liderliğindeki büyük yakıt tüketicisi olan ülkeler üretici ülkelerdeki ekonomik ve politik dalgalanmalara karşı savunmasız hissederek ABD'li yetkililer tarafından Ortadoğu'ya olan bağımlılığın azaltılması konusunu ele alınmıştır. Bu doğrultuda, tüketici ülkeler üç aşamalı bir strateji benimsemiştir. Stratejinin hedefleri, petrol ve gaz üretimini artırmak, enerji karışımını çeşitlendirmek ve tüketim azaltmak olmuştur (Bahgat, 2014). Bu dönemde petrol arzındaki artışın ve tüketimin azaltılması için büyük çabalar verildiği bilinmektedir.

Ayrıca dönemsel olarak düşen petrol fiyatları da havayolu şirketleri için güçlü bir cazibe olduğu gibi aynı zamanda önemli bir testtir. Bu testi geçmek için, yakıt tüketiminde geçici düşüşlerin sağladığı kazanımlar üzerine planlamalar yapılmamalı, kapasite artışlarının uzun vadeli talep eğilimleri tarafından desteklendiğinden emin olmalı, özellikle uçuş verimliliği ve hava sahasının verimli kullanılması üzerinde durmalıdır.

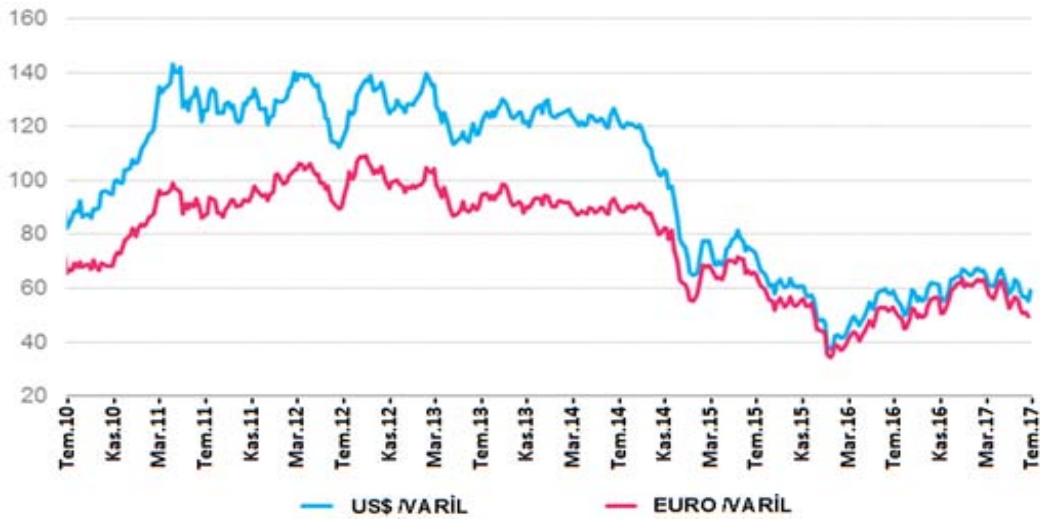
Şekil 2.2'de jet yakıtı fiyatlarının tarihsel değişimi ve ilerleyen yıllarda gelecek fiyat tahmini gösterilmektedir (Morrison, Yutko, & Hansman, 2011).



Şekil 2.2: Jet yakıtı fiyatlarının tarihsel değişimi ve gelecek tahmini.

Yakıt fiyatlarında artışın devam etmesi ve büyük dalgalanmaların olması hava taşıma endüstrisi ve havayolu şirketleri için ciddi riskler oluşturmaktadır. Havacılık endüstrisine olan talebin her geçen gün artıyor olması yakıt fiyatlarının da yukarı yönlü olacağının bir göstergesidir. Fakat değişken enerji piyasasındaki uzun dönemli tahminin zor olması göz önünde bulundurulması gerekir.

Şekil 2.3'de jet yakıtı fiyatlarındaki Temmuz 2010-Temmuz 2017 arası dönemde döviz kuru hareketinin etkisi gösterilmiştir (IATA, Jet Fuel Price Development, 2017).



Şekil 2.3: Jet yakıtı fiyatlarındaki döviz kuru göstergesi.

Son birkaç yıl içinde ABD doları, çoğu dünya para birimine kıyasla hızlı ve önemli bir şekilde güçlenmiş olup, bu durum havayolu şirketlerinin özellikle fiyatlama, gelir ve yönetim planlamaları için gerçek bir zorluk haline gelmiştir. IATA, 35 büyük havayolu şirketinin döviz işlemlerinde meydana gelen dalgalanmalar nedeniyle toplam 475 milyon USD tutarında bir kayıp yaşadığını bildirmiştir (IATA, Airline Cost Management Group, 2014).

ABD Hava Taşımacılığı Birliği (ATA)'ya göre, bir varil petrolün maliyetine eklenen her 1 dolar, ABD havayolu şirketlerine jet-yakıt maliyetlerinde 456 milyon dolar ilave maliyet eklediğini öne sürülmektedir (Doran, 2008).

2014 yılının dördüncü çeyreğinde Japon yeninin ABD doları karşısında çarpıcı bir şekilde devalüasyona geçmesinden kaynaklı Delta Havayolları, Pasifik bölgesinde en zayıf performansını 2014 yılının dördüncü çeyreğinde kaydederek, Pasifik rotalarında karını yaklaşık %0,5 azaltmıştır (Delta, 2014).

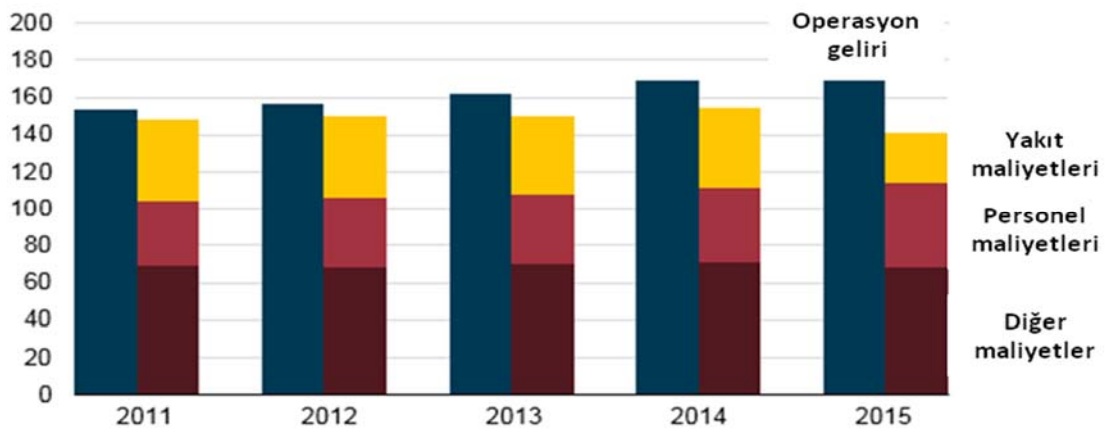
Döviz kurlarının diğer olumsuz yönü toplam seyahat masrafı ile ilgilidir. Dünya genelindeki otel fiyatları, araba kiralama gibi hizmetler genellikle ABD doları cinsinden fiyatlanmaktadır. Dolayısıyla, yerel müşteriler için ABD doları ne kadar pahalı olursa, özellikle yurtdışına seyahat etmelerinde o kadar pahalı olacaktır. Böylece, toplam fiyat esnekliğinin, uluslararası gezilere olan yerel talep üzerindeki etkisi olumsuz yönde olurken, yerli hava trafiğine fayda sağlayan bir ikame etkisi olacaktır. Bu etkiler en başta havayolu şirketleri için frekans ve rota seçimi optimizasyon sürecine kritik bir girdi olup, şirketlerin talep tahminlerine de yansımaktadır.

İşgücünden sonra yakıt giderleri, havayolları operasyonlarındaki en büyük maliyet bileşenini temsil eder. Basit anlamda maliyetleri düşürmenin etkin yollarından biri daha az yakıt kullanmaktır. IATA, havacılık endüstrisinin yakıt gereksinimlerini azaltmak için dünya çapındaki hava taşımacılığı endüstrisi ortaklarıyla birlikte çalıştığı bilinmektedir. Havayolu şirketleri, toplam işletme giderleri (emek, yakıt, bakım, vb.) dakikada uçuş başına yaklaşık 100 USD harcadığı tahmin edilmektedir (IATA, Fuel Conservation, 2017). IATA, hava trafik servis sağlayıcıları, hava trafik kontrolörleri, havayolu şirketleri ve diğer önemli hava sahası kullanıcılarına daha iyi hava sahası tasarımı ve yönetimi sayesinde uçuş başına 1 dakika tasarruf etmeye çalıştığı görülmüştür. Bu girişim, toplam sanayi işletme maliyetlerini yılda 1 milyar USD azaltabileceği ve çevresel emisyonları önemli

ölçüde etkileyebileceği IATA tarafından tahmin edilmektedir (IATA, Fuel Conservation, 2017).

Avrupa Sivil Havacılık Konferansı (ECAC) hava sahasında yeni güzergâhların açılması, verimsiz güzergâhların yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmiş yer hizmetleri trafik akışı ile hava taşımacılığı endüstrisi maliyetlerini yılda yaklaşık 2,5 milyar USD azaltabileceği IATA tarafından ileri sürülmüştür. Ayrıca havayolu şirketleri kendi çalışma verimliliklerini artırmak için bireysel çabalarıyla endüstri yakıt verimliliğinde yapılan her %1'lik iyileşme, yakıt faturasını yılda yaklaşık 700 milyon USD düşürebileceği tahmin edilmektedir (Doersam & Popovich, 2016).

Şekil 2.4'de ABD havayolu şirketlerinin işletme gelir ve gider kalemleri gösterilmiştir (U.S. Airlines operating expenses increase net profits, 2017).



Şekil 2.4: ABD havayolu şirketlerinin işletme gelir ve gider kalemleri.

Diğer yönden son yıllarda dönemsel olarak düşen ham petrol fiyatları, ABD havayolu şirketleri için düşük yakıt maliyetlerine ve genel olarak daha düşük işletme giderlerine yol açtığı görülmüştür. ABD Ulaştırma İstatistik Bürosu (BTS)'ye göre, ABD havayolu şirketlerinin yolculardan elde ettiği toplam net kâr, 2014 yılında 7,5 milyar dolar iken, 2015 yılında 25,6 milyar dolara yükselmiştir. Global yolcu verileri, havayolu seyahat talebinin altı yıl içinde görülmeyen bir artışla ABD'li havayolu şirketleri, geçtiğimiz yıla oranla her zamankinden daha fazla yolcu taşıdığını göstermektedir. Bu artışın büyük kısmına, yakıt maliyetlerinin düşmesi sebep olmuştur.

Havayolu endüstrisi için jet yakıtı maliyetleri, havaalanı ücretleri, uçuş mürettebatı maliyetleri ve uçak bakım giderleri gibi diğer yakıtsız maliyetlerin yanı sıra en büyük harcama kalemlerinden biridir. Ortalama olarak, yakıt masrafları tüm

işletme masraflarının %29'unu, havayolu sektörünün toplam gelirinin %27'sini oluşturmaktadır (ICAO, Airline Operating Costs and Productivity, 2017). Yakıt çoğu havayolu için %20 ila %50 arasında değişen en büyük harcama kalemlerinden biridir. Birçok havayolu şirketi yakıt fiyatlarındaki değişkenlik nedeniyle dönemsel olarak büyük kayıplar yaşamamak için riskten korunma stratejileri izlemeye başlamıştır. Ayrıca çoğu havayolu şirketi yakıt fiyatlarını sabit fiyatla endekslemek için hedging yöntemi kullandıkları bilinmektedir. Bazı havayolu şirketleri yanlış zamanda hedging yaptığından dönemsel maliyetlerini artırdığı da bilinmektedir. Özetle yakıt fiyatlarındaki tahmin zorluğu şirketler için büyük riskler oluşturmaktadır.

Bazen bir havayolu şirketinin kapatılması, binlerce iş kaybı, yüz binlerce yolcunun rahatsızlığı ve milyonlarca mali kayıp içermektedir. Söz konusu havayolu ulusal bir taşıyıcı ise, uluslararası prestij kaybında hesaba katılmalıdır. Gözlemlenen tüm tahribatlar göz önünde bulundurulduğunda, ucuz petrolün gerçekten sanayi için iyi olup olmadığını merak ediyor.

Havayolu şirketleri için bu derece önemli olan yakıt tüketimi, uçakların iki nokta arasındaki seyri boyunca irtifa, hız, rüzgâr, uçak tipi, rota, sıcaklık değişkenlerine göre ve tırmanış, alçalış, düz uçuş gibi uçakların seyir durumuna göre değişkenlik gösterse de bu değişkenler içerisinde büyük öneme sahip olan uçağın iki nokta arasındaki rotasının uzaması ve kısalması şirketlerin yakıt maliyetleri üzerinde ciddi etkiye sahiptir. Esnek olmayan bir hava sahası ortamında, gereksiz hava sahası kapasite kayıpları ve uzayan rotalar sebebiyle yakıt maliyetleri de büyük ölçüde etkilenmektedir. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) raporuna göre havacılıkta kullanılan yakıtın %18'den fazlası operasyonlardaki verimsizlik sonucunda boşa harcanmaktadır (IPCC, 1999).

2.2.2 Uçuş Gecikmeleri Etkisi

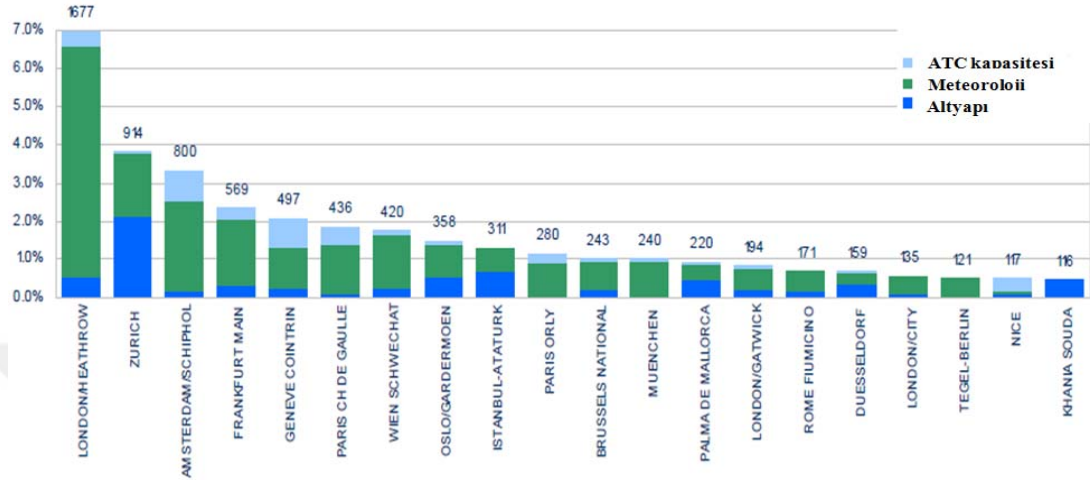
Uçuş gecikme maliyetleri diğer ekonomik sektörler üzerindeki makro ekonomik bir etkiye sahiptir. Uçuş gecikmelerinin havayolları şirketleri, havaalanı işletmeleri ve yolcular üzerinde birçok olumsuz etkisi vardır. Özellikle, ticari havacılık gecikmeleri, ulaşım sistemlerinin en belirgin performans göstergelerinden biridir. Hava sahasında veya havaalanlarındaki bir tıkanıklık, bazen kuyruklar oluşturmakta, bazı uçuşların ertelenmesi ve iptaline sebebiyet vermektedir. Yayılmış gecikme, başlangıçta ertelenen uçuşta ve uçuş akışlarındaki kaynaklara bağlı olarak

meydana gelir. Gecikmeye sebep olan uçak, mürettebat, yolcu ve havaalanı kaynaklı olabilir. Örneğin, aynı uçağın bir günde birden fazla uçuş bacağına uçuyor olması, uçağın sonraki uçuşlarında erken gelişen bir uçuş gecikmesi meydana getirebilir. Ayrıca bir uçuş ekibi birden fazla uçak arasında geçiş yapıyorsa, bu durum bir uçuşun gecikmesi kaynaklı olarak birden fazla uçuşa yayılmasına neden olur. Mürettebat gibi merkezi havaalanlarında yolcuların bağlantı kurması, bağlantılı bir uçuşun önceki gecikmiş bacaklarından dolayı yeni uçuşun yolcuları beklemesi sürecinden ve gecikmenin yaygınlaşmasından gecikmeye sebep olan ilk uçuş sorumludur. Genel olarak, küçük bir başlangıç gecikmesi, günün ilerleyen saatlerinde daha büyük gecikmelere yol açabilir ve bu süreç bir gün boyunca devam edebilir.

Birleşik Devletlerde 2007 yılında, yaklaşık her dört uçuştan biri gecikmiş veya iptal edilmiştir. Ayrıca bu gecikmelerin yıllık maliyetinin doğrudan ekonomi üzerindeki etkisi yaklaşık 2 milyar dolara eşit olduğu tahmin edilmektedir (Alochukwu, Adewumi, & Ali, 2016). Uçuş gecikmelerine sebep olan faktörler içerisinde Hava Trafik Yönetimi (ATM) büyük bir yere sahiptir. ATM için temel zorluk, değişen meteorolojik koşullar, talep dalgalanmaları ve öngörülemez birçok etkenin önemli talep/kapasite dengesizliklerine neden olmasıdır. Özellikle, olumsuz hava koşulları ve rota kaynaklı problemler hava sahası ve havaalanı kapasitesinde önemli ölçüde düşüşler meydana getirir.

2013 yılında Avrupa'da uçuşların %36'sı 5 dakikadan fazla gecikmiş, bunun sonucunda Avrupa da %31'lik gecikmeye, Birleşik Devletlerde ve Brezilya'da 15 dakikadan fazla ertelenen uçuşlara %16,3'lük uçuşların ise iptaline ve 30 dakikadan fazla diğer uçuşların gecikmesine sebep olmuştur (Sternberg, Soares, Carvalho, & Ogasawara, 2017). Bu göstergenin özellikle ekonomik olarak yolculara, havayollarına ve havalimanlarına büyük olumsuz etkileri vardır. Uçuş gecikmeleri yolcular için randevularından saatler sonra seyahat etmek zorunda kalmak, yolculuk masraflarını arttırmak, öte yandan, havayolu şirketleri için para cezaları, ilave havaalanları ücretleri, mürettebat, operasyon maliyetleri, sürdürülebilirlik açısından uçakların zaman kaybı gibi birçok olumsuzluğa sebebiyet verebilir. Aynı zamanda fazla tüketilen yakıtın sebep olduğu emisyonlar çevreye ciddi zararlar verir. Gecikmeler ayrıca havayollarının pazarlama stratejilerini de tehlikeye atmaktadır. Bu gecikmelerin büyük kısmını havalimanı kapasitesi, meteorolojik durumlar ve hava trafik kontrol gecikmeleri oluşturmaktadır. Şekil 2.5'de Avrupa'da yoğun olarak

kullanılan 20 havalimanının 2013 yılındaki günlük ortalama gecikme sayılarını ve havalimanı kapasitesinin, meteorolojik durumların ve hava trafik kontrolünün gecikmeler üzerindeki payını gösterilmektedir (Eurocontrol, Flight delays of the busiest 20 airports, 2014).



Şekil 2.5: Avrupa’da en yoğun 20 havalimanı için uçuş gecikmelerinin sebepleri.

Uçuş gecikme maliyetleri, çeşitli sebeplere bağlı olarak özellikle doğal sebeplerle gerçekleşen ve sonucunda havayolu firmalarına hesap etmediği ilave maliyetler yükleyen sel, deprem volkanik patlamalar, çığ, kasırga, hortumlar, toprak kaymaları, tsunami gibi önlenemez sebeplerden de meydana gelebilir. Uçuş gecikme maliyetleri ile bağlantılı olarak personel giderleri, uçak bakım maliyetleri, yakıt giderleri, havaalanı giderleri, uçak sigorta giderleri, uçak sahiplenme, kiralama maliyetleri, yolcu hakları kapsamındaki giderler ve amortisman giderleri gibi kontrol edilebilir maliyet kalemleri üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. ABD’de 2007 yılında iç hat uçuş gecikmelerinin ekonomik, sosyal ve çevresel işletmelere ve tüketicilere maliyeti 40,7 milyar dolar olmuştur (Blackwood, 2012). Avrupa bölgesinde ise uçuşlardaki gecikmenin sadece havayolu şirketlerine olan zararı dakikada 72 Euro olarak tahmin edilmektedir (Westminster, 2015). Gecikmeler, havayolu şirketlerine mürettebat, yakıt, bakım, uçak sahipliği maliyetlerine ve diğer ekstra ücret ve ilave maliyetlere sebep olur.

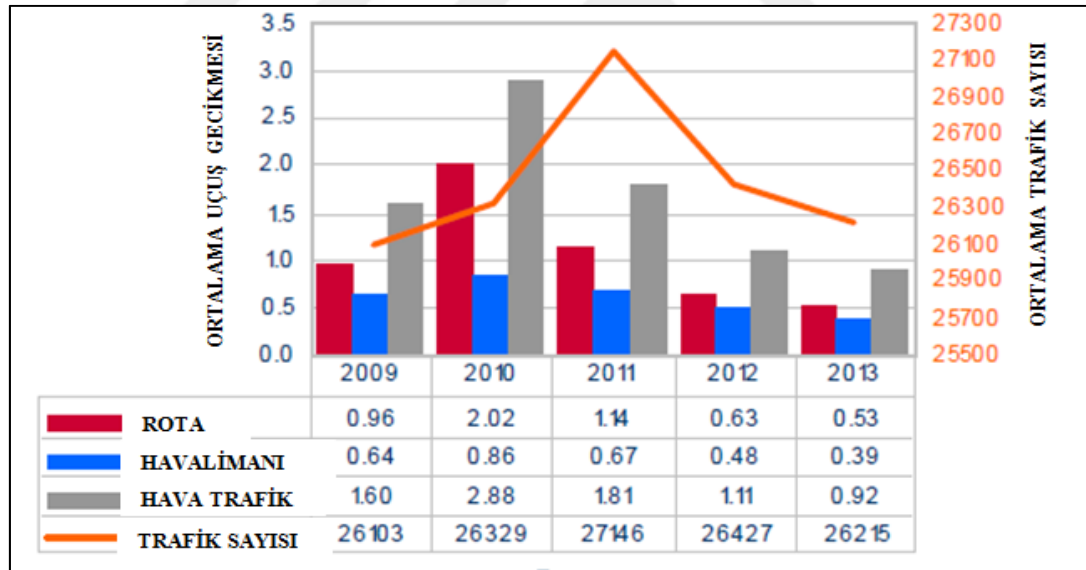
Tablo 2.1’de 2016 yılı için ABD havayolu şirketleri uçuş operasyonlarının dakikalık ortalama maliyet kalemleri USD cinsinden gösterilmiştir (U.S. Passenger Carrier Delay Costs, 2016).

Tablo 2.1: 2016 yılı ABD havayolu şirketleri için uçuş operasyonlarının ortalama maliyet kalemleri.

2016 yılı	İşletme Maliyeti (dk.)	2015'e göre
Mürettebat	\$ 21,24	% 8,7
Yakıt	\$ 18,44	% -18,5
Bakım	\$ 12,01	% 3,3
Uçak Sahipliği	\$ 8,06	% -8,4
Diğer	\$ 2,8	% -1,8
Toplam Doğrudan İşletme Giderleri	\$ 62,55	% -4,4

İşletme maliyetleri göz önüne alındığında hava trafik yönetimi ve hava sahası sistemin ülke ekonomisi için kritik öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 2.6'da Avrupa hava sahasında 2009-2013 yılları arası uçuş gecikmeleri sebepleriyle beraber gösterilmiştir (Eurocontrol, 2014). Gecikmeler içinde hava trafik ve rota kaynaklı gecikmelerin büyük yer tuttuğu görülmektedir.



Şekil 2.6: Avrupa'da 2009-2013 yılları arası uçuş gecikmeleri.

Tablo 2.2'de Avrupa hava sahasında ATFM gecikme maliyetleri tahmini gösterilmiştir. Avrupa için ATFM gecikmesi yıllık toplam maliyeti yaklaşık 1.250 milyon Euro olarak tahmin edilmektedir. Avrupa hava sahasında uçuşların %92'si ATFM gecikmesine maruz kalmamakla birlikte, ATFM gecikmeli uçuşun ortalama gecikme maliyeti 1.660 Euro'dur. Toplam ATFM gecikme maliyetleri dakikada

ortalama 81 Euro olduğu görülmektedir (Eurocontrol, The cost of passenger delay to airlines in Europe, 2010).

Tablo 2.2: Avrupa hava sahası için ATFM gecikme maliyetleri tahmini.

Faktör	Maliyet
ATFM gecikmelerinin toplam maliyeti	1.250 milyon Euro
ATFM gecikmelerinin uçak başına ortalama maliyeti	1.660 Euro
ATFM gecikmelerinin ortalama maliyeti (dk.)	81 Euro

Tablo 2.3’de Avrupa’da uçak tipine göre rota kaynaklı gecikme süresinin toplam maliyete dakikadaki etkisi, 2010 yılı ortalama Euro değeri esas alınarak gösterilmektedir (Westminster, 2015).

Tablo 2.3: Uçak tipine göre rota kaynaklı uçuş gecikme sürelerinin toplam maliyete etkisi.

Uçak tipi	Gecikme süresi (Euro/dk.)								
	5	15	30	60	90	120	180	240	300
B733	200 €	770 €	2.110 €	7.420 €	18.170 €	33.010 €	44.920 €	60.290 €	79.510 €
B734	200 €	810 €	2.250 €	8.150 €	20.280 €	36.950 €	50.180 €	67.240 €	88.510 €
B735	180 €	710 €	1.920 €	6.700 €	16.370 €	29.740 €	40.530 €	54.500 €	72.080 €
B738	210 €	860 €	2.430 €	8.900 €	22.270 €	40.660 €	55.130 €	73.740 €	96.870 €
B752	270 €	1.070 €	3.000 €	10.990 €	27.480 €	50.020 €	67.760 €	90.430 €	118.350 €
B763	410 €	1.660 €	4.690 €	17.630 €	44.060 €	90.440 €	129.260 €	161.980 €	201.810 €
B744	740 €	2.800 €	7.580 €	27.050 €	65.900 €	133.500 €	190.870 €	239.070 €	296.890 €
A319	190 €	760 €	2.100 €	7.540 €	18.700 €	34.030 €	46.290 €	62.120 €	81.950 €
A320	200 €	800 €	2.280 €	8.400 €	21.070 €	38.470 €	52.200 €	69.910 €	91.990 €
A321	230 €	940 €	2.710 €	10.040 €	25.330 €	46.230 €	62.640 €	83.690 €	109.750 €
AT43	60 €	240 €	690 €	2.510 €	6.250 €	11.630 €	16.070 €	22.270 €	30.730 €
AT72	80 €	310 €	920 €	3.390 €	8.510 €	15.760 €	21.610 €	29.570 €	40.110 €

Uçuş operasyon gecikmeleri uçuk bakım giderleri üzerinde direk etkiye sahiptir. Tablo 2.4’de sekiz Avrupa havayolu şirketi ile görüşmeler yoluyla toplanan detaylı verilerin analizi ile elde edilen uçak tipine göre saatlik maliyetler düşük senaryo, ortalama ve yüksek senaryo tahmini ile Euro cinsinden gösterilmiştir (Cook & Tanner, 2002).

Tablo 2.4: Uçuş gecikme sürelerinin bakım maliyetlerine etkisi.

Gecikme süresi (Euro/Saat)			
Uçak Tipi	Alt senaryo	Orta senaryo	Üst senaryo
B733	340 €	740 €	1.200 €
B734	400 €	790 €	1.250 €
B735	340 €	680 €	1.080 €
B738	290 €	620 €	1.160 €
B752	450 €	900 €	1.430 €
B763	630 €	1.170 €	2.180 €
B744	1.290 €	1.640 €	2.330 €
B319	370 €	800 €	1.290 €
B320	290 €	740 €	1.350 €
B321	440 €	880 €	1.390 €
AT43	170 €	350 €	550 €
AT72	220 €	430 €	680 €

Filo maliyetleri amortisman, kira, filo finansman, uçuş ekipman kiralama, kullanım ücretlerini ve şirketlerin filo planlamasını etkilemektedir. Bu maliyetler Tablo 2.5’de uçak tiplerine göre saatlik Euro cinsinden gösterilmiştir (Cook & Tanner, Airline delay cost reference values Final Report , 2002).

Tablo 2.5: Uçuş gecikme sürelerinin filo planlama maliyetlerine etkisi.

Gecikme süresi (Euro/Saat)			
Uçak Tipi	Alt senaryo	Orta senaryo	Üst senaryo
B733	110 €	320 €	540 €
B734	130 €	380 €	640 €
B735	130 €	360 €	610 €
B738	190 €	540 €	920 €
B752	200 €	560 €	950 €
B763	250 €	710 €	1.210 €
B744	390 €	1.090 €	1.860 €
A319	180 €	510 €	870 €
A320	210 €	610 €	1.030 €
A321	260 €	730 €	1.240 €
AT43	60 €	160 €	280 €
AT72	80 €	230 €	390 €

Personel giderleri havayolu şirketleri için önemli maliyet kalemlerinden biridir. Şirketlere, ülkelere göre değişkenlik gösteren personel maliyetleri, uçuş gecikmeleri

sonucunda havayolu firmalarına önemli miktarda ilave maliyet yükü getirmekte ve iş güce kaybına sebep olmaktadır.

Uçak gecikme maliyetlerinin saatlik personel maliyetlerine etkisi Tablo 2.6’da gösterilmiştir (Cook & Tanner, 2002).

Tablo 2.6: Uçuş gecikme sürelerinin personel maliyetlerine etkisi.

Gecikme süresi (Euro/Saat)			
Uçak Tipi	Alt senaryo	Orta senaryo	Üst senaryo
B733	190 €	330 €	570 €
B734	190 €	320 €	570 €
B735	160 €	310 €	560 €
B738	210 €	400 €	720 €
B752	280 €	420 €	700 €
B763	400 €	680 €	1.310 €
B744	510 €	870 €	1.660 €
A319	200 €	310 €	530 €
A320	210 €	360 €	620 €
A321	240 €	370 €	630 €
AT43	100 €	160 €	270 €
AT72	110 €	180 €	320 €

Tablo 2.7’de güzergâh değişikliğinden kaynaklanan saatlik toplam maliyetler, Avrupa 2010 ortalama Euro değeri baz alınarak gösterilmiştir (Cook & Tanner, 2002).

Tablo 2.7: Güzergâh değişikliğinden kaynaklanan maliyetler.

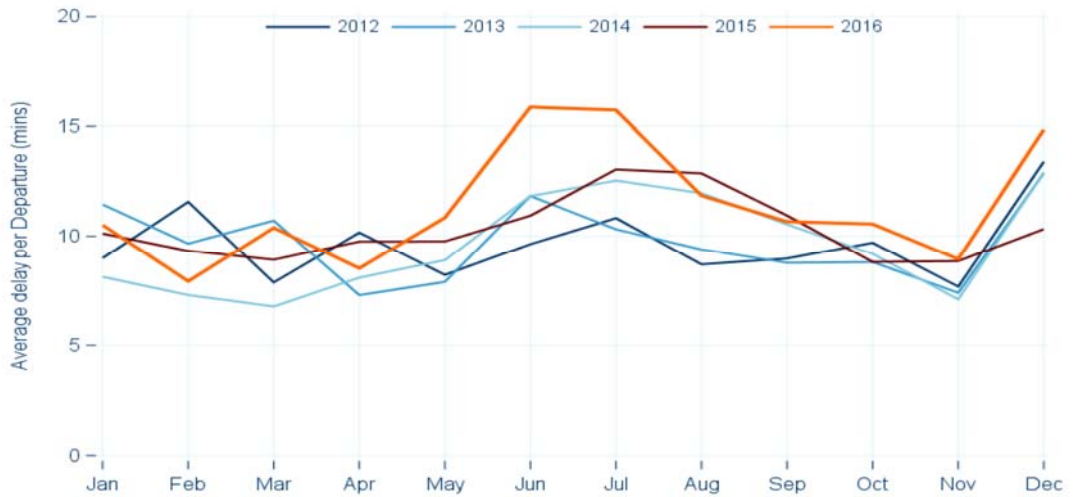
Gecikme süresi (Euro/Saat)			
Uçak Tipi	Alt senaryo	Orta senaryo	Üst senaryo
B733	1.620 €	2.850 €	4.260 €
B734	1.680 €	2.940 €	4.400 €
B735	1.520 €	2.690 €	4.030 €
B738	1.730 €	3.100 €	4.850 €
B752	2.250 €	3.870 €	5.730 €
B763	3.170 €	5.390 €	8.470 €
B744	6.100 €	9.480 €	13.700 €
A319	1.670 €	3.000 €	4.540 €
A320	1.750 €	3.120 €	4.880 €
A321	2.050 €	3.650 €	5.490 €
AT43	500 €	920 €	1.440 €
AT72	660 €	1.220 €	1.900 €

Tablo 2.8’de Continental Airlines, United Airlines, Southwest Airlines’a ait Boeing 737-500 tipindeki uçağın saatlik yaklaşık maliyetleri gösterilmiştir (ICAO, Airline Operating Costs and Productivity, 2017). Havayolu şirketleri için zamanın maliyet için en önemli çarpan olması uçuş gecikmelerinin önemini ortaya koymaktadır.

Tablo 2.8: 3 büyük havayolu şirketinin saatlik maliyetleri.

Gecikme süresi (Saat)					
Havayolu	Mürettebat	Yakıt	Bakım	Sahiplik	Toplam
Continental	\$ 510	\$ 430	\$ 651	\$ 698	\$ 2.291
United	\$ 927	\$ 487	\$ 1.048	\$ 510	\$ 2.974
Southwest	\$ 388	\$ 537	\$ 251	\$ 350	\$ 1.526

Şekil 2.7’de aylık uçuş gecikmelerinin son 5 yıllık karşılaştırması gösterilmiştir. Uçuş gecikmeleri son 5 yılda artmaya devam ederek 2016 yılında %43’e ulaşmıştır. Ayrıca uçuş başına dönemsel gecikmelere bakıldığında, yaz boyunca daha yüksek gecikmeler olduğu gözlemlenmiştir (Eurocontrol, All-Causes Delay to Air Transport in Europe, 2016).



Şekil 2.7: Aylık uçuş gecikmelerinin son 5 yıllık karşılaştırması.

2016 yılı uçuş başına ortalama gecikme süresi 27,1 dakika, 2015 kıyasla 1 dakika artış ile son 5 yıl içinde gözlenen en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Hava trafik

2.3 Çevresel Etkileri

Hava taşımacılığı endüstrisi bulunduğu çevre üzerinde istihdam, ticaret, turizm, yatırım, kültürel ve ekonomik hareketlilik gibi birçok olumlu etkilere sahiptir. Bu olumlu etkilerinin yanında çevreye verdiği zararda azımsanmayacak kadar önemli ölçüdedir. Özellikle uçaklardan çıkan emisyonlar iklim değişikliğine ve yerel hava kirliliğine neden olurken uçak gürültüsü, havaalanı yakınlarında yaşayan insanların sağlık durumlarını negatif etkilemektedir. Bununla beraber su kirliliği, toprak kirliliği, ekolojik türleri ve türlerin yaşam alanları üzerinde olumsuz birçok etkiye sahiptir. Bir uçağın havada kalış süresi ne kadar artarsa çevreye verdiği olumsuz etkilerinin de artış göstermesi hava trafik kontrol sisteminin çevre üzerinde ki etkisinin önemini göstermektedir. Esnek bir hava sahası ortamında uçakların olumsuz çevresel etkileri verimsiz bir hava sahası ortamına göre büyük ölçüde daha düşüktür. Bu durum hava sahasının esnek kullanımının çevresel açıdan da önemini göstermektedir.

2.3.1 Emisyon Etkisi

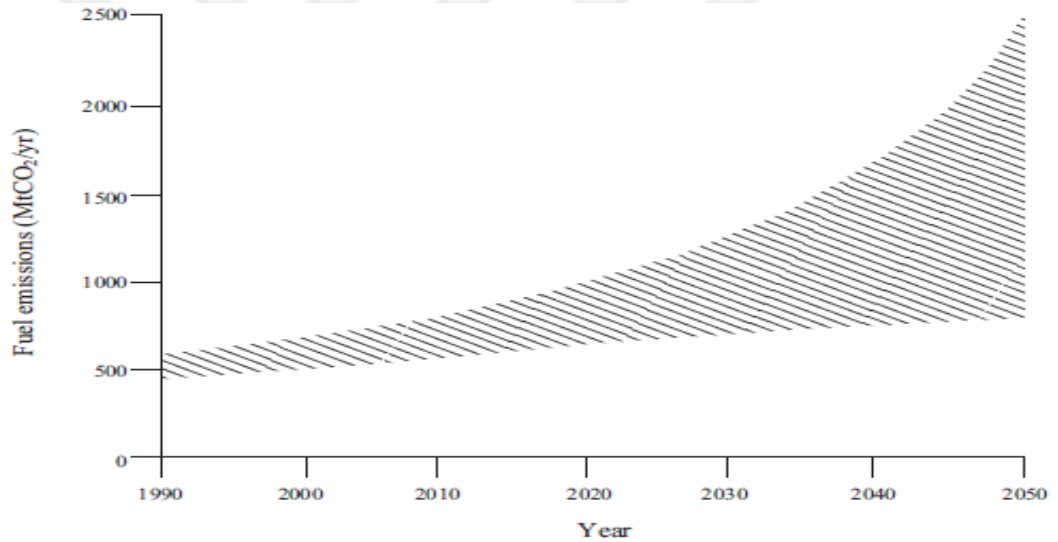
Emisyonların miktarı ve oranları uçak motor tiplerine göre değişiklik gösterir. Çoğu motor tipi kerosene yanması ile güç sağlar. Kerosene, petrolün damıtılmasından elde edilen yanıcı bir hidrokarbon karışımıdır. Uçuş esnasında uçak motorları (CO_2 , NO_x , HCs , CO , SO_x) ve partiküller gibi birçok emisyon yayar. Bu emisyonlar atmosferin içerisine yayılır ve atmosferin kimyasal bileşimini doğrudan ve dolaylı olarak değiştirir. Emisyonlar, uçakların düz uçuş esnasında üst troposferin içine yani dünya yüzeyinin yaklaşık 9 ile 13 kilometre üzerine enjekte edilir. Uçakların emisyonlarının etkisi Troposfer veya stratosfere uçuş yüksekliğine göre değişir. Özellikle uçakların düz uçuşu esnasındaki emisyon salınımları atmosfere doğrudan etkisi olduğundan büyük önem arz etmektedir. Uçak yakıtının yanması ile atmosfere karbondioksit, su buharı, azot oksit, kükürt oksit, hidrokarbon, parçacıklar ve diğer emisyonlar yayılmaktadır.

Tablo 2.9'da Farklı motor çalışma rejimleri altında hava taşıtı emisyon salınım değerleri gösterilmiştir. Her 1 kg yakıtın yanması ile atmosfere 3,160 g (+/-60) karbondioksit, 1,230 g (+/-20) su buharı ve diğer emisyonlar yayılmaktadır (Daley, 2010).

Tablo 2.9: Farklı motor çalışma rejimleri altında hava taşıtı emisyon salınım değerleri.

Species	Emissions (g) per kg kerosene burned		
	Idle	Take-off	Cruise
CO ₂	3,160	3,160	3,160
H ₂ O	1,230	1,230	1,230
NO _x (as NO ₂)			
Short-haul	4.5 (3–6)	32 (20–66)	7.9–11.9
Long-haul	4.5 (3–6)	27 (10–53)	11.1–15.4
CO	25 (10–65)	<1	1–3.5
HC (as methane)	4 (0–12)	<0.5	0.2–1.3
SO _x (as SO ₂)	1.0	1.0	1.0

Şekil 2.9’da Havacılık endüstrisinin 1990-2050 yılları arasındaki küresel CO₂ etkisi ve tahmini gösterilmiştir (Lee, ve diğerleri, 2009).



Şekil 2.9: Havacılık endüstrisinin 1990–2050 yılları arası küresel CO₂ etkisi ve tahmini.

Havacılık sektörünün büyümesiyle birlikte yakıt tüketimi kaynaklı emisyon salınım oranları da hızla arttığı görülmektedir. Hava taşımacılığı kaynaklı CO₂ miktarının 1990’lı yıllardan 2006’ya dört kat artması, bazı tahminlere göre 1990-2050 yılları arası on kat artacağı şeklindedir (Cairns & Newson, 2006). Sanayileşmiş ekonomilerin en kritik atık ürünlerinden olan CO₂ uzun süreli atmosferik ömrü sebebiyle iklim değişikliği üzerinde önemli etkisi olan bir kirleticidir.

Karbondioksit CO₂ gibi 1 kg kerosene yanması ile beraber yaklaşık 1.230g ($\pm$ 20g) su buharı açığa çıkar. Çevre yoğunluklarıyla karşılaştırıldıklarında küçük etkiye sahip olsa da 2025-2050 yılları arası için ön görülen emisyonlar arasına katılacaktır. Stratosferin orta ve üst kısımları oldukça kuru olduğundan Stratosfere herhangi bir su girişi yüksek seviyede atmosferik ısınmayı artıracakı düşünülmektedir. Yüksek seviyelerde uçabilen süpersonik uçakların iklim üzerindeki etkisinin daha büyük olacağı değerlendirilmektedir (Aviation and global climate change in the 21st century, 2009).

Kerosene yanması ile beraber karbondioksit CO₂, su buharı H₂O ve diğer birçok emisyon atmosfere yayılır. Emisyon oranları uçak motor tipi performans değerlerine göre önemli ölçüde değişiklik gösterir. Bunun yanında ortam sıcaklığı, basınç, nem ve diğer değişkenler de emisyon salınım oranlarını büyük ölçüde etkiler. Avrupa bölgesinde hava sahası gecikmeleri nedeniyle yıllık yaklaşık 148.429 ton yakıt tüketildiği ve 3.365 tonluk NO_x, HC, CO emisyonlarının çevreye salındığı tahmin edilmektedir (Carlier, Lépinay, Hustache, & Jelinek, 2007).

2.3.2 İklim Değişikliğine Etkisi

Emisyon salınımlarının iklim değişikliği üzerine etkisi konusunda geçmiş çalışmalara bakıldığında yeni bir sorun olmadığı eski tarihlerde bu konu üzerinde çalışmaların olduğu görülmüştür. Svante Arrhenius 1896 yılında insan faaliyetleri sonucunda salınan CO₂'nin küresel sıcaklığı artabileceğini öne sürmüştür (Arrhenius, 1896). Hava taşımacılığının iklim değişikliği üzerinde birçok etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu etkilerden başlıcası uçak emisyonları etkileri gelmektedir. Hava taşımacılığı endüstrisinin öngörülen hızla büyümesi göz önüne alındığında endüstrinin çevreye yılda yaklaşık %5 oranında küresel sera gazı etkisi vardır (Bows, Anderson, & Peeters, 2009).

Çeşitli insan faaliyetleri tarafından özellikle de fosil yakıtların yanması ile açığa çıkan sera gazları, toprak yüzeyini ve atmosferdeki ısının korumasını önemli ölçüde etkiler. Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitrojen oksit (N₂O), hidrokarbonlar (HFC), perfluoro karbonlar (PFC) ve sülfür heksaflorid (SF₆) en önemli insan kaynaklı uzun atmosferik ömrü olan emisyonlar olup iklim değişikliğini önemli ölçüde etkilemektedir. İklim değişikliğinin etkisi ile zaman içinde ekosistemdeki değişimlerin gözleneceği, bazı bitki ve hayvan türlerinin yok olacağı,

bioçeşitlilikde, bitki örtüsünde, gıdalarda büyük oranda değişiklik olacağı düşünülmektedir. Ayrıca etkinin fazla olduğu bölgelerde kıyı erozyonlarının yaşanacağı, kötü beslenme sebebiyle sağlık problemleri ve ölümlerin artış göstereceği, kuraklık seviyesinde değişim yaşanacağı, tarımda sulama talebinin artacağı ve özellikle tatlı su türlerinde büyük değişiklikler yaşanacağı tahmin ediliyor (Houghton, 2004). Bu nedenle yeteri kadar önlem alınmadığı ve tüm sektörlerin çevresel etkileri konusunda mevcut durumlarında iyileştirme yapmadıklarında, iklim değişikliği tüm dünya açısından büyük tehlike oluşturacağı ve çağımızın en büyük problemlerinden biri olduğu düşünülmektedir. Hava araçları kaynaklı bazı emisyonların iklim değişikliği üzerindeki başlıca etkileri aşağıda sıralanmıştır.

1. Karbondioksit (CO₂) emisyonu: Karbondioksit emisyonu insan aktiviteleri kaynaklı atmosfere yayılan en önemli sera gazıdır. Küresel ısınmayı direk etkilediğinden havacılık kaynaklı emisyonların iklim değişikliği üzerindeki etkileri konusunda önemli bir yere sahiptir.
2. Azot oksit (NO_x) emisyonu: Azot oksit atmosferik sera gazının oluşmasını tetikler ve metan oluşumuna sebep olur.
3. Su buharı (H₂O) emisyonu: Su buharı özellikle süpersonik uçakların yüksek irtifalardaki salınımı ile küresel ısınma üzerinde doğrudan etkiye sahiptir.
4. Kurum partikülleri emisyonu: Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasını olumsuz etkiler, bulut şeklinde oluşur. Küresel ısınma sürecini negatif yönde etkiler.
5. Sülfür oksitlerin (SO_x) emisyonu: Güneşten geri yansıyan sülfat partiküllerinin yeryüzünde soğutma etkisi oluşturmaya sebep olur.

Her yıl ortaya çıkan insan kaynaklı sera gazı emisyonları küresel diğer emisyonların yaklaşık %2-2,5'ini temsil etmektedir (Aviation and global climate change in the 21st century, 2009).

2.3.3 Hava Kalitesine Etkisi

Büyük kentsel alanlarda ve sanayileşmiş bölgelerde hava kalitesi düşük seviyelerde olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda havacılık endüstrisinin yoğun kullanım alanlarında da hava kalitesinin düşük olduğu görülmektedir. Temiz hava, canlılar için hayati bir bileşendir. Canlıların refahını, yaşam kalitesini ve yaşam süresini direk etkilemektedir. Hava taşımacılığının azımsanmayacak çevresel

etkilerinden biri de hava kirliliğidir. Hava aracı yakıtının yanması sonucu ortaya çıkan emisyonlar iklim değişikliğini ve küresel ısınmayı etkilediği gibi beraberinde hava kirliliğine de sebep olmaktadır.

Havacılık kaynaklı emisyonlar insan ve diğer canlıların sağlığını, bitki örtüsünü çoklu ve karmaşık yollarla etkiler. Özellikle nitrik oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) içeren, NO_x emisyonları insanlarda solunum yolu iltihabına ve diğer birçok hastalığa neden olduğu bilinmektedir. Buna ek olarak, NO_x emisyonları bitki dokusuna zarar vererek bitkilerin büyüme hızlarını azaltmaktadır (Air quality modelling for annual reporting , 2009). NO_x emisyonlarının bir başka etkisi ise asit çökeltmesi ve çeşitli şekillerde çapı 10 mikrometreden daha küçük parçacıklar oluşturmalarıdır. Bu parçacıkların yayılması ile kardiyovasküler ve solunum sistemleri doğrudan etkilenir. Ayrıca daha şiddetlenirler ise astım ve benzer hastalıklara doğrudan neden olur. Bu sağlık etkileri kalp ve karaciğer hastası olanlarda daha şiddetli olabilmektedir (Air quality modelling for annual reporting , 2009). Avrupa'da kötü hava kalitesi, insan sağlığı üzerinde ciddi etkiler yarattığı ve 370.000 civarında erken ölüm meydana geldiği tespit edilmiştir (Directive on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe, 2005).

Tablo 2.10'da hava araçlarının meydana getirdiği emisyonların hava kalitesine ve insan sağlığına etkilerinden bahsedilmiştir.

Tablo 2.10: Emisyonların insan sağlığına etkileri.

Emisyonlar	Etkileri
Azot emisyonu (NO _x)	Özellikle insan sağlığı üzerindeki akut ve kronik etkileri vardır. Astımlı kişilerin akciğer fonksiyonunu etkileyebilir. NO _x ayrıca ekolojik türleri de büyük ölçüde olumsuz etkilemektedir.
Partikül maddeler (PM)	Parçacıklar çeşitli sağlık sorunlarına neden olur. Kardiyovasküler ve solunum sistemi üzerindeki etkileri de dahil olmak üzere astım rahatsızlığı üzerinde etkilidir.
Kükürt emisyonu (SO _x)	Özellikle astımlı ve kronik akciğer hastalığı olan bireylerde solunum yollarının daralmasına neden olur.
Karbonmonoksit emisyonu (CO)	Karbonmonoksit, solunum ya da kardiyovasküler hastalıkları var olan bireylerde, kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır.

Hava araçlarının hava kalitesi üzerinde ki çevresel etkisine bakıldığında insan sağlığı üzerinde akut, solumun kronik etkileri ve özellikle de astım etkisi büyük ölçüde görülmektedir. Bu emisyonlara uzun süreli maruz kalınması halinde solunum sistemi iltihaplanması, akciğer fonksiyon bozukluğu da söz konusu olabilmektedir.

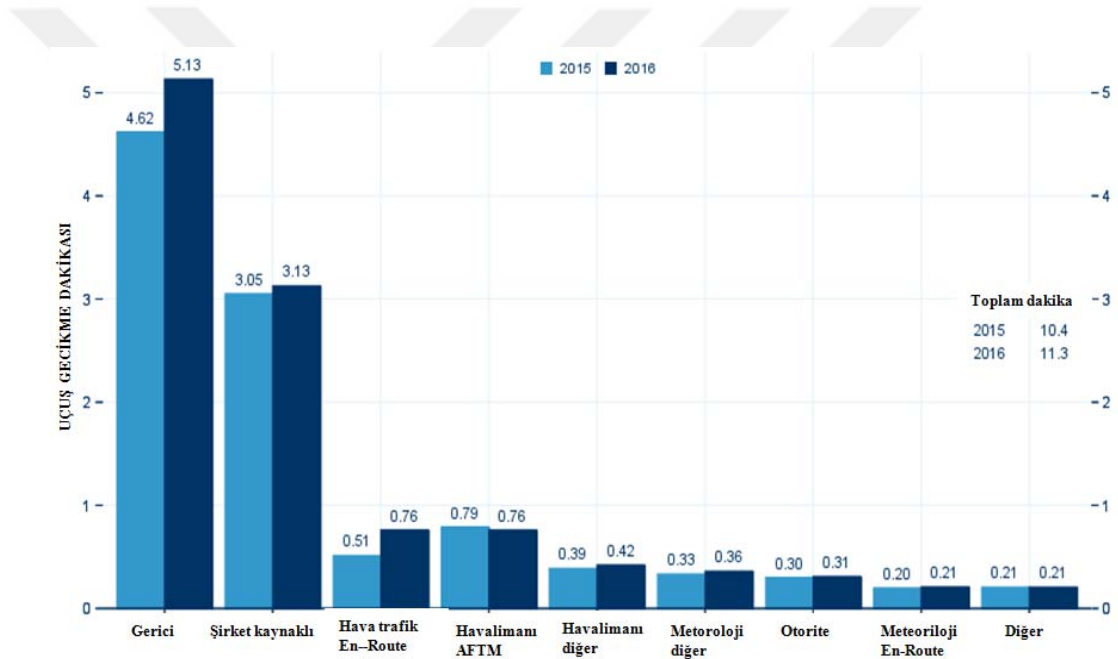
Hava kalitesi üzerinde havacılık emisyonlarının ciddi bir etkisi olması sebebiyle bu etkiyi azaltmak için ülkeler tarafından çeşitli teknolojik, operasyonel ve politik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların çoğu özellikle yakıt verimliliğini artırmak konusunda birleşmektedir. Hava trafik yönetim sisteminin verimliliği hava araçlarının yakıt tüketimi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu sebeple hava trafik hizmet sağlayıcıları tarafından hava sahasının esnek kullanması daha az emisyon ve daha az çevresel etki anlamına gelmektedir.

2.4 Hava Sahası Kapasitesine Etkisi

Hava taşımacılığı endüstrisinin özellikle son 40 yılda hızla ve sürekli bir büyüme kaydettiği görülmektedir. Hava taşımacılığı 2014 yılında yaklaşık 85 milyon uçuş operasyonu, 6,7 milyar yolcu transferi ve 102 milyon metrik ton kargo sevki faaliyetlerini yerine getirmiştir (ACI, 2015). Ayrıca hava trafiğinin yıllık büyüme hızının 2030 yılına kadar yaklaşık %4,7-5,1 artacağı öngörülmüyor (ICAO, Global and Regional 20 Year Forecasts, 2011). Bu durum hava sahası kapasite yönetimini, operasyonel verimliliği ve hava trafik hizmetlerinde sürdürülebilir büyümeyi daha da kritik hale getirmiştir. Hava sahası hava trafik hizmet sağlayıcıları tarafından genellikle ilgili FIR içerisinde çeşitli sektörlerle ayrılarak yönetilir. Hava trafik yönetim sektörleri içerisinde bulunan trafik sayısı mevcut kapasiteye ulaştığında ve aştığında ciddi hava sahası gecikmeleri meydana gelir. Bu gecikmeler hava sahasında sadece tıkanıklığa sebep olmaz aynı zamanda diğer operasyonların gecikmesi ve hava sahası kapasitesinin düşmesine neden olur. Gecikmeler aynı zaman da havayolu şirketlerine ilave maliyetler yükleyerek şirketlerin ve müşterilerin memnuniyetsizliğine sebep olur (Janić & Tošić, 1991). Avrupa bölgesinde gecikmelerin havayolu şirketlerine saatlik maliyeti 4.860 Euro, yıllık maliyetinin ise yaklaşık 7 milyar Euro olduğu bilinmektedir (Cook, European airline delay cost reference values, 2011). ABD bölgesinde ise gecikmelerin ekonomiye yıllık maliyeti yaklaşık 33 milyar USD olduğu tahmin edilmektedir (Total Delay Impact Study, 2010).

Gecikmeleri en aza indirmek hava sahasının etkin ve verimli kullanımı ile mümkün kılınabilir. Dinamik ve esnek bir hava sahası ortamında bu gecikmeler daha alt seviyelerde olur, operasyonel etkinlik artar, uçuş maliyetleri azalır ve uçuş verimliliği daha üst seviyelere taşınmış olur. Hava trafik yönetimi konusunda çeşitli trafik senaryoları yapılmış olup, etkin ve verimli bir hava trafik yönetimi sayesinde %10'a varan performans artışı sağlanmış olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda uçak başına ortalama gecikme süresinde önemli düşüşler sağlanmıştır (Çeçen & Çetek, 2017).

Şekil 2.10'da 2016 yılındaki uçuş gecikmelerinin 2015 yılına kıyasla, ortalama gecikme zamanı ve gecikmelerin sebepleri gösterilmiştir (Eurocontrol, All-Causes Delay to Air Transport in Europe, 2016)



Şekil 2.10: 2016 yılındaki uçuş gecikmelerinin sebepleri.

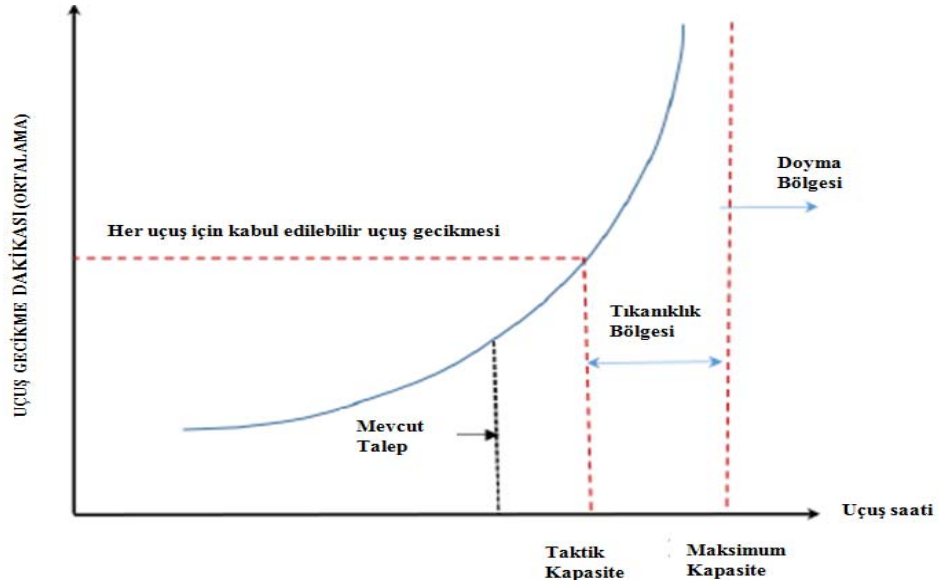
Avrupa bölgesi uçuşları için 2016 yılı uçuş başına ortalama 11,3 dk. gecikme görülmüştür. Tüm sebepleriyle beraber gecikmeler 2015 yılına kıyasla yaklaşık %9 artış göstermiştir (Eurocontrol, All-Causes Delay to Air Transport in Europe, 2016). Gecikme nedenlerinin analizi, gerici gecikmelerin uçuş başına 5,1 dakika ile gecikmelere en çok katkıda bulunduğunu göstermektedir. Havayolu kaynaklı gecikmeler, uçuş başına 0,1 dakika artmıştır. Hava trafik hizmetleri güzergâh gecikmeleri, uçuş başına 0,8 dakika ile 2015'e kıyasla uçuş başına 0,3 dakikada artarak üçüncü en yüksek gecikme sebeplerindendir. Ayrıca Havayolu şirketleri

tarafından bildirilen toplam ATFM gecikmesi, en çok rota kısıtlamaları ağırlıklı olarak genel artışa etki ederek 2015 yılına kıyasla uçuş başına 1,7 dakika artmıştır. (Eurocontrol, All-Causes Delay to Air Transport in Europe, 2016).

Uçuş faaliyeti içerisinde tüm operasyonlardaki gecikmelerin yaklaşık %11'ine hava sahası en-route problemi sebep olmaktadır (Murillo & Carlier, 2006, s. 3). Bir hava sahası kapasitesi, hizmet verilen maksimum uçak sayısı olarak tanımlanabilir. Hava sahasının kapasitesi birçok faktöre bağlı olarak anlık olarak değişkenlik göstermektedir. Hava sahası sektör kapasitesi ise en-route sektör kapasitesine, sektör geometrisine, rota yapısına, uçuş seviyelerinin sayısına, ayırma minimumlarına, ATC prosedürleri, navigasyon cihazlarına, hava durumu koşullarına, insan faktörlerine uçak performans durumlarına ve birçok faktöre göre değişiklik gösterir. Ancak bu faktörler değişmediği sürece, kapasite sabit bir değer olabilecektir. Hava sahası kapasitesi birçok değişkene bağlı olduğundan hava sahasının planlaması ve tahmini oldukça zordur. Hava sahasının etkin ve verimli kullanılması için uzun, orta, kısa vadeli ve anlık kararlar ile çabuk gelişen ihtiyaçlara cevap veren bir mekanizmalarla sağlanması gerekir. Aksi durumda hava sahası kapasite sorunları kaçınılmazdır.

Kapasite sorunu, trafik talebinin kapasite limitlerine yaklaşması ile ortaya çıkarak uçuş operasyonlarının çoğunlukla gecikmesine ve aksamasına neden olabilir. Bu gecikmeler yalnızca uçuş operasyonlarını etkilemekle kalmaz sonraki uçuş programlarında da gecikmelere neden olabilir. Gecikmeler sistem trafik akışında ciddi bir aksama olmaksızın kritik bir sınırla ele alınabilir. Bu sınır uçuş başına önceden tanımlanmış kabul edilebilir gecikme veya hizmet düzeyi olarak bilinir. Hava sahası sektörü talebin mevcut kapasiteyi aşması durumunda tıkanık olur ve kabul edilebilir uçuş sınırın ötesine geçer. Sektördeki tıkanıklıklar büyüdükçe, komşu sektörler ve sonunda tüm sistem üzerinden gecikmeler meydana gelebilir.

Şekil 2.11'de uçuş gecikmelerinin talep-kapasite ilişkisini göstermektedir (Çeçen & Çetek, 2017).



Şekil 2.11: Uçuş gecikmelerinin talep-kapasite ilişkisi.

Kontrollü hava sahası ayırma mesafesi, Hava Trafik Kontrol (ATC) tarafından yönetilmektedir. Hava trafik kontrolleri tarafından emniyet nedeniyle, uçaklar minimum yatay ve dikey bir ayırma mesafesine ihtiyaç duyarlar. ATC hizmetleri hava sahası kapasitesini optimize etmek için mümkün olduğunca homojen olmalı hava sahasının mevcut yapısını etkin ve verimli olarak kullanmalıdır. ATC sorumluluk bölgesindeki hava araçlarına hava trafik hizmeti sağlarken emniyet ve kapasite açısından hava araçları ile sürekli telsiz teması içinde değildir. ATC ile temasa geçmeyen uçakların çok kısa sürede gecikmelere neden olduğu ve bu gecikmelerin havayolu şirketlerine yaklaşık 2010 yılında 450 milyon Euro ilave maliyet yüklediği ve bu rakamın 2020 için 6 milyar Euro olacağı tahmin edilmektedir (Eurocontrol, 2006, s. 10-12). Aynı zamanda hava sahası kapasitesi problemi kaynaklı gecikmeler ulusal hava seyrüsefer servis sağlayıcılarına yılda yaklaşık 250.000 saat uçuş gecikmesine neden olmaktadır (Learnmount, 2007). Kısaca arz/talep dengesizliği ile meydana gelen hava sahasının kapasite problemi havayolu şirketlerine ilave maliyet yükleyen, uçuş verimliliği ve emniyeti gibi birçok konuda olumsuz etkiye sahip ciddi bir sorundur.

2.5 Literatürdeki Geçmiş Çalışmalar

Hava sahası yönetimi konusunda literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğunluğu hava sahasının mevcut etkinliğini ve verimliliğini artırma

amaçlı çalışmalardır. İncelendiği kadarıyla çalışmalar hava sahası kapasite problemi, hava trafik akış problemi, güzergâh planlama, uçak çizelgeleme problemi, uçuş gecikme problemi ve havacılığın çevresel etkileri konuları üzerine yoğunlaşmaktadır. Hava sahası yönetimi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış olup ülkemizde hava sahasının esnek kullanımının hava sahasının verimliliğini artırma yoluyla kazandırdığı ekonomik, çevresel ve kapasite etkileri alanında bir çalışma yapılmamıştır.

Morgan (1957), Geliştirilmiş ATC sistemi üzerine düşünceler makalesinde hava trafik yönetiminin, genel iletişimlerden ayrı olarak düşünülmesi gerektiğini ele alarak sabit bloğun, zamanlanmış bloğun ve hava trafik kontrolünün zamanlı geçiş sistemleri analizinin sunduğu avantajları ortaya koymuştur. Sinyalleşme bağlantısı için bir iletişim şeması yaparak hava sahası bloklarının talep edilmesi ve tüm uçakların sırayla sorgulanması için zaman paylaşımli ve yer kontrollü bir sistem oluşturmuştur. Havaalanında koşulların periyodik olarak yayınlanmasının ardından bir uçağın varış saatinden itibaren özel talep yapılma zaman diliminin yarım saat olduğunu havaalanı iniş saatini korumak için bir yöntem olarak önermektedir.

Eade (1973), Askeri havacılık ve hava trafik kontrol sistemi planlaması makalesi, dönemin son 7 yılına bakıldığında hava sahası uçuşların yaklaşık %75 askeri amaçlı uçuşlar olduğunu sivil ve askeri hava trafik kontrol merkezlerinin hava sahasının dinamik kullanımı adına sivil-asker koordinasyonun daha ileri seviyeye taşınması, hava sahası bilgi paylaşımının artırılması üzerinedir.

Attwooll (1977), Hava trafik kontrolünde kuyruk teorisi çalışması, uçuş gecikmesinden kaynaklı ortaya çıkan problemleri ortaya koyarak bir havayolu ağındaki trafik programlarının belirli rotalar üzerindeki tıkanıklığa bağlı gecikmelerini en aza indirmek için bu rotaların en iyi nasıl ayarlanabileceğini açıklamıştır.

Bianco, Bieli, Cini, Gippo, Ricciardelli (1981), Hava trafik akışının genel sorunlarını tipik büyük ölçekli bir karmaşık problem olarak görerek farklı hava trafik kontrol işlevlerinin çok katmanlı gösterimi, belirtilen hedefin zaman dilimini ve sistemin içindeki bağlantılarını sistemin her katmanı için illüstrasyonlar kullanılarak çözüm sağlanmıştır. Ayrıca çalışmada uçak sıralama problemine çözüm aranmış olup, ayrık-olay (discrete-event) benzetim modeli geliştirerek problem çözümü yapılmıştır. Benzetimi yapılan senaryolar için sonuçları hesaplanmış olup, yeni hava

trafik kontrol metodolojilerinin potansiyel faydalarından ve mevcut kısıtlamalardan bahsetmiştir.

Simpson, Odoni, Roche (1986), Hava trafik sistemindeki gelişen teknolojilerin yüksek yoğunluklu terminal alanlardaki ATC kapasitesi üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirerek, gelişmiş ATC operasyonları sayesinde artan kapasite miktarını ve ABD yüksek yoğunluklu Denver ve Boston havaalanlarında meydana gelecek potansiyel kazanımları değerlendirmek için sistematik bir analiz yapmıştır.

Butler, Franklin (1987), Hava trafik akış yönetimi stratejilerinin değerlendirilmesi için bir hava trafik kontrol (ATC) simülatörü tasarlanmış ve uygulanmıştır. Simülatörü ATC sistemi, kuyruklama sistemleri ağı olarak modellenmiştir. Model, hava trafik akış kontrol eylemlerini destekleyerek hız kontrolü ve yeniden yönlendirme işlemlerini yerine getirmektedir. Bu çalışma, hava trafik akış yönetimi problemine genel bir bakış ile modelleme konuları ve tasarım hususları değerlendirerek basit bir akış yönetimi stratejisi içeren örnek simülasyon senaryosunun sonuçlarını açıklamıştır.

Hormann (1987), Hava Trafik Simülasyon Analiz Modeli (ATSAM) kullanarak havayolu rotaları ve hava trafik akış işlemlerini simülasyon ile açıklamıştır. ATSAM, hava trafik analizine olanak tanıyan ayrıntılı bir sürekli model olan güvenlik ve ekonomik açısından sistem senaryoları ve hava sahası yapısını modellemek için kullanılan bir veri tabanı sistemi simülasyonudur.

Andreatta, Rornanin (1987), Hava trafik akış yönetimi problemini çeşitli politikalarla birlikte ele almaktadır. Serbest uçuş politikaları için optimizasyon algoritmaları üzerine bir anket yapılmıştır. Bir sezgisel doğrusal programlama modeliyle sezgisel bir algoritmanın bütünleştirilmesine dayanan kesin bir algoritma ortaya konmuştur. Bu yaklaşım literatürde öne sürülen önceki algoritmalara kıyasla çok daha kısa bir hesaplama zamanı ile kesin çözümler sunmaktadır. Çalışmada ABD hava trafiği ağında tam gün verilerine dayanan 20.000'den fazla uçuş verisi üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Layton, Smith, Coy (1992), Uçuş planlamasına yardımcı olmak için bilgisayar tabanlı araçların planlama değerlendirmesini, sistemin alternatif versiyonlarını, araçlar ile etkileşimlerini incelemek ve tasarım kavramlarını test etmek için bir parça-görev simülasyon ortamı olan Uçuş Planlama Test Yarı (FPT)'yi kullanmıştır. FPT, tüm senaryoların operatörler ile olan tüm etkileşimlerini analiz

çalışmaları için kaydeder. Çalışma otuz ticari havayolu pilotu, üç alternatif sistem tasarımı ve dört uçuş yeniden planlama senaryosunu içermektedir. Ayrıca farklı tasarım kavramlarının planlama davranışları üzerindeki etkileri anlatmıştır.

Brinton (1993), Hava trafik akış sistemi içerisinde olası sıralamaları deneyerek arama yapan “depth-first” adlı ağaç arama algoritmasını kullanmıştır. Kullandığı yöntemde, ağacın herhangi bir dalındaki çözüm değerleri o ana kadar bulunan en iyi çözüm değerini aştığında o dal işlem dışı bırakılmalı şeklinde olmuştur. Çalışma bu yönüyle en kısa yol algoritmalarıyla benzerlik göstermektedir.

Tofukuji (1993), Sektör kapasite tahmini için enroute ATC simülasyon çalışması Japonya’daki mevcut sektörlerin hava sahası kapasitesini tahmin etmek, gelecekte trafik artışını karşılamak ve yeni bir rota yapısını değerlendirmek için enroute ATC simülasyon deneyleri gerçekleştirmiştir. Kapasite tahmini için bir simülasyon yöntemi ve denetleyicinin iş yükü limitine odaklanan deneylerin sonuçları sunarak, hava sahası kapasitesi ile kontrolörün trafik akışına müdahalesi arasındaki ilişkiyi tartışmıştır. Çalışmada paralel güzergâhların ve trafik akış yönetiminin uygulanmasıyla kapasitenin yaklaşık %40 oranında artırılması ön görülmüştür.

Fedida (1994), Planlı varış zamanı dışında havaalanında gelen uçakları hava trafik akış yönetimi için dinamik bir yaklaşım ile ele alarak havayolu endüstrisinin ve yolcuların artan gecikmelere maruz kalmalarını ve büyük havaalanları için artan işletme maliyetlerini incelemiştir. Hava trafik akışında belirli bir havaalanındaki genel tıkanıklığın Dinamik Varış Akışı Yönetimi işlemi ile yönetim süreci için yeni bir yaklaşım sunmuş ve değerlendirmiştir.

Bowers (1996), Serbest uçuş ortamında uçuş profilinin fizibilitesinin belirlenmesi çalışmasında bir uçağın uçuş profilinin fizibilitesinin belirlenmesi, serbest uçuşta hayati bir rol oynadığını ortaya koyarak önerilen bir uçuş profilinin, verilen zaman periyodu boyunca hava sahasındaki diğer hava araçlarıyla potansiyel çarpışmalara neden olmaması için hava trafik kontrolünün kritik rolünü anlatmıştır. Uçuş profilleri önceden onaylanmış olan uçakların kullandığı hava sahası yoluyla önerilen bir uçuş profilinin fizibilitesinin test edilmesini açıklamıştır.

Milan (1997), Havada iniş yapmak için bekleyen uçaklara kuyruk teorisi kullanılarak öncelik sıralamasını yapmıştır. Havada bekleyen uçakların inişlerinin sıralanması için yapılan çizelgeleme çalışmaları içerisinde öne çıkanlar Lockett ve

Mehlemann (1972), White ve Wilson (1977), So (1190), Guinet (1991, 1993), Simchilevi ve Berman (1991), Ovacık ve Uzsoy (1993,1995), Jırdan ve Drexl (1995), Rubin ve Ragatz (1995), Brucker ve Thiele (1996), Franca (1996), Liao ve Yu (1996), Van Der Veen (1996), Hwang ve Sun (1997), Lee, Bhaskaran ve Pinedo (1997), Tan ve Narasim (1997) çalışmalarıdır. Hava trafik kapasitesi ile ilgili Blumstein (1959), Stewat ve Shortreed (1993), çalışmalarında ayırım zamanları ve trafik kapasitesi değişimlerini benzetim modeli ile incelemişlerdir. Ayrıca benzer nitelikte ve daha kapsamlı olan Odoni, Rousseau ve Wilson (1994) çalışması, pist ve trafik kapasitesi üzerine yapılan çalışmaların toplandığı bir çalışmadır.

Wong, Gary (1996), havalimanına varan uçaklar üzerinde dinamik akış denetimi değerlendirilmesi çalışmasında Dinamik Akış Kontrolü (DFC) adı verilen simülator modeline yeni gelişmeler dahil edilmiştir. Simülator, ulusal hava sahası sistemini değerlendirerek daha sonra optimum trafik, zemin kaplamaları ve hız değişiklikleri içeren tavsiyeler sunmaktadır. Ayrıca hava trafik kontrol merkezlerinde tekrar eden gerçek zamanlı uçuş verilerini değerlendirmek için kaydedilen gerçek uçuş planlarından elde edilen verilerin simülasyon sonuçlarını incelemiştir.

Zellweger (1997), Teknolojik gelişimin hava trafik yönetimine etkisi konusunu ele alarak Hava Trafik Yönetimi (ATM)'de yapılan önemli ilerlemeleri biraz farklı bir perspektifle tamamlamak için ATM'nin temelini oluşturan son yirmi yılda gördüğümüz yeni teknolojilerin uygulanmasından kaynaklanan değişikliklerin etkisini ve ATM sistemindeki çözülmesi gereken problemleri anlatmıştır.

Simpson (1997), Küresel ATM sistemleri için yeni operasyonel kavramlar setini açıklamak ve bazı yüksek yoğunluklu trafik alanlarında ihtiyaç duyulan kapasite artışında önemli etkisi olan prosedürlerinin güvenliği ve ekonomikliği üzerine çalışmıştır. Bu çalışma dönemin yeni ATC kavramlarını tanımlamak ve analiz etmek için yeni bir çerçeve oluşturmaktadır.

Patterson, Bertsimas (1998), Rota kapasiteleri ile hava trafik akış yönetimi problemi çalışmalarında Ulusal Hava Sahası (NAS) sisteminin kapasitelerini ve havalimanlarındaki kapasiteleri dikkate alan bir model oluşturulmuştur. Temel sorunun çeşitli varyasyonları, özellikle de uçuş rotalarını nasıl değiştireceğimizi ve hava sahası kısıtlamalardan bazılarını hafifleterek daha önce yapılan çalışmalara kıyasla, gerçekçi bir boyuta problem gerçek uçuş verilerine dayalı olarak incelenmiştir.

Szczerba, Galkowski, Glictein (2000), Gerçek zamanlı rota planlaması için kullanılan robot algoritmaların hem askeri hem de ticari uygulamalarda akıllı rehberlik ve navigasyon sistemleri için kullanılarak güzergâh planlaması yapılmasının son derece karmaşık bir problem olduğunu anlatmıştır. Rota planlama algoritmalarının, genellikle önceden belirlenmiş bir maliyet fonksiyonuna dayanan minimum bir maliyet yolu ürettiğini açıklamıştır. Çalışma hava sahasında uyarlanabilir rotaları doğru ve verimli bir şekilde işlerliğini sağlamak için yeni bir rota planlama yaklaşımı sunmaktadır. Çalışmada güzergahlar gerçek zamanlı olarak hesaplanarak planlayıcıya yeni rota planlaması için asgari rota uzunluğu, maksimum dönüş açısı, rota mesafesi ve hedef pozisyona sabit yaklaşma vektörü gibi bilgileri sağlamaktadır.

Bicchi, Pallottino (2000), Hava trafik yönetim sistemleri için en iyi yol planlama çözümü üzerine yapılan çalışmada, uçağın belirli bir irtifada seyir halinde, sabit hız ve düz uçuş safhasında olduğu ve diğer uçaklara önceden belirlenmiş bir emniyet mesafesinden daha fazla yaklaşmayacağı varsayılmıştır. Birçok uçağın bulunduğu hava sahasın ortamında en iyi rotanın seçimi konusundaki problemin çözümü yapılmıştır. Çalışmada ilk aşamada problemin çözümü için gerekli koşullar sağlanarak olası rotalar tasarlanmıştır. Sonrasında gerçekçi bir uçuş rotası senaryosu için simülasyon yapılarak sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca hava sahası yönetiminde serbest uçuş imkânı sağlayabilecek optimal rota çözme planının bir uygulaması yapılmıştır.

Wang, Wanke, Wieland (2004), Ulusal hava sahası sistemindeki uçuşların zaman ve mekân ölçümlerinin modellenmesi çalışması, Sektör geçişleri gibi önemli noktalardaki uçuşların ölçülmesi, yüksek talebin değişen hava koşullarından dolayı Ulusal Hava Sahası Sistemi (NAS) trafik tıkanıklığını azaltmada önemli bir operasyon prosedürü olduğunu anlatmıştır. NAS içindeki mevcut olan darboğazları incelemek ve tahmin etmek için yeni geliştirilmiş bir yöntemle ayrı olay simülasyonu ile matematiksel bir model sunulmuştur. Bir ceza fonksiyonunu oluşturularak mevcut ve gelecek uçuşlar arasındaki gecikmeler tekrar tanımlanmıştır. Ayrıca kesikli olay simülasyonları ile, herhangi bir geçiş noktasına varmak için planlanan tüm uçuşların beklenen gecikmelerini incelemiştir.

Williams, Brandford, Liang (2004), ATM Performans değerlendirme ve izleme için ortak ölçümler çerçevesi çalışması, FAA, Eurocontrol ve ortakları tarafından

önerilen, ATM performansı ölçüm farklılıklarına yönelik devam eden bir çalışmanın ilk sonuçlarını detaylı şekilde açıklamaktadır.

Abeysooriya, Kulasekera (2005), Serbest rota hava trafiği akış yöneticisi makalesi, mevcut hava trafik kontrol sistemlerinin çoğu öncelikli olarak, sabit rota modeli ile uçakların önceden tanımlanmış yolları izlemesine odaklanmaktadır. Makale, serbest rota hava trafik akış yöneticisinin tasarımı ve uygulanmasını sunmaktadır. Mevcut kısıtlamaların üstesinden gelmek için genel bir araç olarak kullanılabilecek bir çerçeve ile kullanıcının hava sahası için verilen şartlara göre bir 3D hava sahası yapılandırarak dinamik olarak serbest rota modelleme sistemi oluşturmaya izin verir. Dinamik olarak geliştirilen serbest yol modelleme sistemi, bir uçağın başlangıçtaki serbest yolunun oluşturulması işlevlerini kolaylaştırarak çelişkili bir senaryo rapor edildiğinde yapılandırılmış hava sahası için dinamik bir şekilde yeniden planlama sağlamaktadır.

Dravecka (2005), Orta Avrupa üst hava sahasındaki trafik senkronizasyonuna doğru çalışması ile senkronize edilmemiş olan mevcut ATM, gelecekteki hava trafiği talebini karşılamak için bir akış içerisinde evrimleşen tüm hava araçları arasında senkronize edilmiş bir uzaklık ayırma işaret ettiğini ifade ederek orta Avrupa yüksek hava sahasındaki operasyonel fizibilitesinin değerlendirilmesine yönelik bir adım sunulmaktadır. Trafik senkronizasyonu etkinliğinde yeterli görev paylaşımı yoluyla hava trafik kontrolörleri üretkenliğinin geliştirilmesi için basit bir senkronizasyon modeli önerilmiştir.

Majumdar, Ochieng, Bentham, Richards (2005), En-route sektör kapasite tahmini çalışması, Avrupa ve Kuzey Amerika'daki birkaç ülkenin hava sahasının kapasitesini tahmin etmek için kullandığı metodolojileri analiz etmektedir. Elde edilen veriler hava sahası planlamacılarından ve yöneticilerden elde edilmiştir. Sonuçlar, denetleyici iş yükünün simülasyonunda kullanılan iki temel model olduğunu ve kapasite tahmini sürecinde hem uygulamalarında hem de denetleyicilerin katılımında önemli değişiklikler sağlayacağını anlatmaktadır.

Wang, Snow (2006), Ulusal hava sahası sisteminin simülasyonu için hava sahası geometri ve 4D uçuştan yakınlık algılama çalışması, uçakların rotası ve hızı bilindiği varsayılarak anahtar geçiş noktalarını ile uçağın yakınlığını belirlemek için bir simülasyon oluşturmuştur. Simülasyonda kapalı formdaki denklemler ile dört boyutlu 4D uzay-zaman alanı içindeki iki uçak arasındaki minimum mesafeyi

hesaplamak için bir model geliştirilmiştir. 4D uçuş yakınlık bilgisinin, sınırlı bir hava sahası boyunca çok sayıda tarifeli güzergahı değerlendirerek trafik akış yönetimi stratejilerinin etkilerini tespit etmek için kullanılabileceğini ortaya koyarak bu yöntemle iki uçuş arasındaki mesafeyi hesaplayan bir örnek sunulmuştur.

Rui, Peng (2007), Hava sahası yönetimi için dinamik hava yolu açma-kapama problemi çalışmasında DROP adlı bir tamsayılı program modeli sunulmuştur. DROP, ATFM modellerinde dikkate alınmayan yolların en kısa doluluk süresi gibi kısıtlamaları dikkate alan maliyet esaslı bir hedef fonksiyona sahiptir. DROP'un amacı belirli bir süre boyunca belli bir kullanıcıya hangi güzergahların açılacağını belirlemektir. Simülasyon sonuçları DROP'un hava yollarının kullanılmasını kolaylaştırabildiğini ve hava sahasının verimliliğini artırdığını göstermektedir.

Haralddottir, Scharl, Berge (2007), 3D kısa yol ve hız kontrolü ile varış yönetiminin performans analizi makalesi, gelişmiş Uçuş Yönetim Sistemi (FMS)'nin ve gelişmiş hava trafik yönetiminin otomasyon araçları kullanımını entegre eden rota tabanlı varış yönetimi kavramını açıklamaktadır. Varış yönetiminde zemin tabanlı otomasyon sistemi, sayaç sabitlemelerinde ve pistlerde optimum varış zamanlamasını hesaplayarak çizelgeyi karşılayan rotayı seçer ve ayrımı sağlar. Çalışmada önerilen rotalar, uçağın doğru navigasyon performansına ve en iyi dikey profillere sahip olduğundan, açık uçlu vektörlerin kullanılması durumunda uygun değildir. Ayrıca Boeing yörünge analizi ve modelleme ortamı (TAME) kullanılarak varış yönetiminin performans analizi ele alınmıştır. Uçak performansını temsil etmek için Eurocontrol (BADA) veri tabanını kullanmaktadır.

3D yol modeli için Houston havaalanındaki operasyonları ve havaalanına gelen uçuş verileri kullanılarak modellenmiştir. Çalışmanın sonuçları, rotanın, hız ayrıklığının, rüzgârın tahmininin ve gezinme performansının etkilerini göstermektedir. Aynı zamanda varış sayacı kullanarak varış akışının genel performansını gösteren sonuçlar sunulmuştur.

Lopez, Cano, Escalonilla (2009), Gelecekteki hava trafiği yönetim sistemindeki hava sahası yapılandırma yönetimi çalışması, askeri hava sahası rezervasyonunda ani bir değişiklik olduğunda kısa vadeli aşamada ve kısmen orta vadeli aşamada odaklanan işbirlikçi karar alma müzakere süreçlerini açıklamaktadır. SESAR kavramının, askeri-sivil tüm aktörlerin uygun katılımını ile

hava sahası talebindeki değişiklikleri gidermek için kısa sürede uygulanabilen hava sahası çözümleri getirilmiştir.

Rui, Peng, Deguang (2009), Dinamik Hava Sahası Yönetimi (DAM)'nın kullanımı incelenerek hava sahasında dinamik rota ayarlamaları algoritması ve hassasiyet analizi çalışması yapılmıştır. Model mevcut hava yolu ağına ne zaman ve nasıl minimum maliyetle ayarlayacağına dair dinamik kararlar vermektedir. Bu model, havayolu sekmenlerinin dinamik olarak açılıp kapanmasını yalnızca belirli bir hava trafiği ağında düzenlemek yerine birkaç parametreyi de hesaba katarak problemi iki adımlı bir sezgisel algoritma kullanılarak çözülmektedir.

Lanshou, Fiqing (2010), Uçuş talebine dayalı dinamik hava yolu yönetimi çalışması, hava trafik akış yönetim sistemi ve uçuş talebi ile hava sahası kaynağı arasında dinamik bir havayolu yönetimi modeli önermiştir. Bu model, ATFM modellerinde dikkate alınmayan en kısa doluluk süresi, rota açma ücreti gibi kısıtlamaları hesaba katarak maliyet esaslı bir hedef fonksiyona sahiptir. Dinamik havayolu yönetimi modeli uçuş gecikmelerini azaltarak ve geçici güzergahları kullanarak güzergâh kapasitesini optimize etmektedir.

Vela, Solak, Clarke (2010), Gerçek zamanlı optimum yakıtla rota çakışma çözümü çalışması, hava trafiğinde çakışma çözme sorununu ele alarak çakışmalardan kaçınmak için yakıt maliyetlerinin en aza indirgeneceği şekilde uçağın gerekli rota ve hız değişikliklerini belirlemek için bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Optimizasyon probleminde konveks olmayan yakıt fonksiyonları, problemin karışık tamsayılı doğrusal bir program olarak formülasyonunu sağlayan doğrusal yaklaşımlarla modellenmiştir. Geliştirilen model çok sayıda uçağın bulunduğu hava operasyonlarında bile optimum yakıtla çakışma çözme manevralarının gerçek zamanlı olarak belirlenebilmesine olanak sağlar. Gerçekçi hava trafiği senaryolarına dayanan hesaplamalar problemin 15 uçağın bulunduğu yaklaşık %0,02'lik bir optimumluk farkıyla 10 saniyeden kısa sürede çözülebileceğini göstermiştir.

Paul, Lee, Prevot, Homola, Kessell, Smith (2010), Esnek hava sahası yönetiminde hava sahası karmaşıklığı, tanımlanan trafik eşiğini aşan sektörlerin yanı sıra yetersiz kullanılan sektörleri belirlemek için sektörleri birkaç saat öncesinden değerlendirmektedir. Ayrıca çeşitli hava sahası optimizasyon algoritmalarını kullanarak hava sahası, uçakları kullanıcıları tarafından tercih edilen rotalar dışına çıkmadan mevcut trafik talebini yönetimini açıklamıştır. Çalışmada hava sahasının

yeniden yapılandırmasının hava trafik kontrol cihazları üzerindeki etkisini değerlendirmek için 2009 yılında halkalı simülasyon çalışması yapılmıştır. Nesnel verilerden elde edilen sonuçlar, rota değişiminin kabul edilebilirliğini ve buna bağlı iş yükünün, hava sahası hacmi tarafından etkilendiğini ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte, gözlemler ve öznel geri bildirim yoluyla sektörler arasındaki mekânsal ilişkiler gibi diğer bilişsel temelli faktörlerin de rol oynayabileceği gösterilmiştir. Ayrıca hava sahası ve hava sahası geçişleri tasarlanırken dikkate alınması gereken insan faktörleri konularını da incelenmiştir.

Lee, Brasil, Homola, Kessell, Mainini (2011), Esnek hava sahası yönetiminin fizibiliteleri ve faydaları çalışması, hava sahasının potansiyel kullanıcı ve sistem faydalarını değerlendirmek için esnek hava sahasının yeniden yapılandırması fizibilitesi ve hava durumu sapmalarını temel duruma göre açıklamıştır. Test hava sahasının FL340 olduğu ve tüm uçakların iletişim, otomatik veri aktarım, gelişmiş çakışma algılama ve çözünürlük yetenekleri kontrol istasyonları verileriyle tam donanımlı olması varsayılmıştır. Çalışma sonuçlarında hem uçuş hem de kullanıcı yararları, uçuş mesafesi, daha az yeniden yönlendirme ve artan hava sahası kullanımı gözlemlenmiştir.

Belle, Sherry (2011), Uçuş planı rota seçiminin gecikmelere ve çatışmalara katkısının analizi Ulusal Hava Sahası Sisteminde (NAS)'nın performansında uçuş planı ve rota seçiminin rolü değerlendirilmektedir. Simülasyon ile yeniden Düzenlenmiş Hava Trafik Kontrolü ve Matematik Simülatörü (RAMS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

E. Lee, Jung (2011), Esnek hava sahası yönetiminde hava sahası tasarımlarının kullanıcı seçim kriterleri çalışması, hava sahası kalite metriğini kullanarak algoritma tarafından oluşturulan yapılandırmaların hava sahası özelliklerini nesnel olarak ölçmenin ve onları simülasyondan elde edilen katılımcıların kabul edilebilirlik dereceleri ile karşılaştırmanın yollarını ortaya koymaktadır. Esnek hava sahası avantajları ve kalite ölçümleri katılımcıların puanlarıyla açıklanmıştır.

Bojia Ye, Sherry, Minghua Hu (2012), Maliyet, işleme ve alternatif iş birliğine dayalı rota seçme stratejilerinin analizi çalışması, Hava Trafik Akış Yönetimi (ATFM), Hava Sahası Sağlayıcısı (ATC), ve Hava Sahası Kullanıcıları (AOC) arasındaki iş birliğine dayalı bir işlem olduğunu açıklamıştır. İşbirliğinin sonucu, hava sahası kullanıcılarının herhangi birini cezalandırılmadan sistemin kullanımını

maksimize etmek amaçlanmıştır. Ayrıca hava sahasında, kapasiteyi etkileyen uçuş planı rota seçimleri için ATC ve AOC stratejilerinin kombinasyonları uçuş maliyetleri ve sektör verimliliği analizinin sonuçları açıklanmaktadır. Çeşitli sektörler ve alternatif hava yollarına sahip bir hava sahası ağı bir olay simülasyon modelini kullanarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, her ikisi de hava sahası için Miles-in-Trails (MIT) kısıtlamaları yanı sıra, AOC ile birlikte yeniden rota düzenlenmesinin gerçekleştiği zaman, genel sistemin performansı gecikme maliyetlerinde %67, gecikme süresinde %61, gecikme oranında %22 ve toplam yolcu gecikme süresinde %69 oranında bir düşüş sağlandığı görülmüştür.

Deamon, Baden, Bateman (2013), Rota güzergahının yol açtığı uçuş gecikmesinin değerlendirilmesi çalışması, hava sahası çevresinde taktik yeniden yönlendirmenin yararları üzerine yapılan bir araştırmanın bir bölümü, hava sahasında meydana gelen gecikmeyi karakterize etmeyi içermektedir. Karakter sapmalarını ve tutan kalıpları saptayan bir algoritmaya dayanarak, hava sahasını etkilenen sektör bölgeleri ve zamanları ilişkilendirmek için bir arama rutini uygulaması geliştirilmiştir. Ayrıca sektör içi ve sektör öncesi gecikmeler tahmin edilerek arama rutini uygulaması ile operasyonel verilerin büyük setlerinin işlenmesinde uçuş gecikmesi ve hava sahası arasındaki tespit edilen ilişkinin doğrulanması için kaba coğrafi filtreleme yöntemi kullanılmıştır.

Button, Nieva (2013), Tek Avrupa Gökyüzü (SES) ve İşlevsel Hava Sahası Blokları ekonomik verimliliği artıracak mı? sorusuna yanıt arayan çalışma, Avrupa hava trafik kontrol sisteminde süregelen değişikliklerin potansiyel ekonomik verimliliğini incelemektedir. Avrupa'da hava seyrüsefer hizmetleri, Tek Avrupa Gökyüzü (SES) girişimi olarak bilinen konsolidasyon ve teknolojik değişikliklerden geçmektedir. Nihai hedef endüstriyi, ulusal sınırlara dayanan bir paradigmadan, operasyonel etkinliğin hedefi haline getirmiş olup hareketi buna yönlendiren temel unsurlardan biri, hava sahası bloklarının sistemin toplamı için bir öncül olarak birleştirildiği fonksiyonel Hava Sahası Blokları (FAB) kavramıdır. Bu değişikliklerin sistemin ekonomik etkinliği üzerindeki etkilerini incelemek için bir veri zarflama analiz yöntemi kullanılmıştır.

Kim, Hansen (2013), Ağ için havayolu rota kaynak tahsisi stratejilerinin değerlendirilmesi çalışması, Birleşik Yörünge Seçenekleri Programı (CTOP) adı verilen yeni bir program ile trafik talebinde öngörülen artışı sağlamak için araştırma

yapılmaktadır. CTOP'de, merkezi olarak yeniden yönlendirme ve kullanıcı tercihi girdileri, başlangıçtaki rota kaynağı ayırmalarına dahil edilmiştir. Bu araştırmada CTOP içinde kaynak tahsisinin dört alternatif versiyonunu, sabit havayolu uçuş zamanı oranına dayanan basit bir modele kıyasla ölçülürken, havayolu uçuş atama maliyetlerinde rastgele değişkenlik derecesine ilişkin farklı varsayımlar altında yerden erteleme birimi maliyeti araştırılmıştır. Bu araştırmanın temel katkısı, uçuş operatörlerinin rota tercihleri hakkında alternatif rota kaynak tahsisi şemalarını değerlendirmek ve karşılaştırmak için bir çerçeve oluşturmaktadır.

Meo, Cavallo, Chiesa (2013), SESAR ve askeri Hava Trafik Yönetimi (ATM) entegrasyonuna doğru makalesi, sivil-askeri birlikte çalışabilirlik sorununu çözmek için yapılan çalışmaların sonuçlarını sunmaktadır. Ayrıca makalede askeri uçaklar için bir referans ile hava sahası kullanımı sunulmuş, iletişim, seyrüsefer ve gözetim gereksinimleri vurgulanmıştır. Birlikte işlerlik problemine yaklaşım ve önerilen çözüm sunulmuştur. Birlikte işlerlik problemine en iyi çözümün bir yenileme çözümü olmadığını mevcut aviyonik ekipmanların yükseltilmesine dayalı bir çözüm olduğunu açıklamıştır.

Tian, Wan, Shuangshuang (2014), Sektör dinamik kapasite değerlendirilmesi üzerine araştırmasında sektörün dinamik kapasitesinin tanımını ve etkileyen faktörlerini ortaya koymaktadır. Bununla beraber şiddetli etkiye sahip temel dinamik faktörlerin sektör kapasitesinin karakteristiğini analiz edilmiştir. Sektör yapısını değerlendirirken, sivil havacılık düzenlemesi, denetleyici iş yükü ve sektör dinamik kapasite tahmin modeli oluşturulmuş ve sektörün dinamik kapasitesini değerlendirmek için bir prototip örneği verilmiştir. Sonuçlar, modelin geçerli ve pratik olduğunu doğrulamaktadır.

Reynolds (2014), Uçuş verimsizlik ölçümlerini kullanarak hava trafiği yönetim performans değerlendirmesi analiz edip uçakların en uygun dört boyutlu rotalarına daha yakın uçmalarına ve uçuşun yüksek yakıt verimsizliklerin azalmasına ilişkin önemi vurgulamaktadır. Aynı zamanda, yakıt tüketimini ve çevresel etkisinin azalmasını sağlamak için hangi operasyonel ve teknik olanakların uygun olabileceği üzerinde durmuştur.

Schafer, Waitz (2014), Hava taşımacılığı ve çevre üzerine son 8 yıl içinde yapılan çalışmalar Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde ve Cambridge Üniversitesi'nde entegre havacılık modelleme ekipleri tarafından bir araya

getirilmiştir. Hava taşımacılığının doğrudan ve dolaylı olarak hava kirliliği, iklim değişikliği, gürültü üzerine etkileri ve bunlara tepki verme konuları ele alınarak bu etkilerin azaltılması hafifletme fırsatlarını belirlemektedir. Bununla birlikte, yılda %5-6 düzeyinde küresel havacılık talebinde beklenen bir büyümenin göz önüne alındığında, çalışmada tanımlanan uygulamalarla birlikte önümüzdeki 20-30 yılda içerisinde en azından çevresel etkilerdeki büyümeyi hafifletmesi beklenmektedir.

Dessens, Köhler, Rogers, Jones, Pyle (2014), Havacılığın iklim değişikliğine katkısının mevcut durumunu tanımlayarak havacılıktan kaynaklanan emisyonları ve buna bağlı gelişmeler karşılaştırılmıştır. İklim değişikliğinin nicelleştirilmesi için kullanılan farklı analitik yöntemler birbirleriyle olan ilişkilerini ve belirsizliklerini gösterilmiştir. Havacılık kaynaklı CO ve CO₂ sera gazlarının olumsuz etkilerinden bahsedilmektedir.

Turgut, Kara, Usanmaz, Canarslanlar, Döğeroğlu, Armutlu, Yay (2014), İç hatlarda ticari uçakların yakıt tüketimini daha iyi anlamak için kullanılabilen seyir yakıt akışını denklemler üzerinde açıklamıştır. Türkiye'de ana iç hatlar ve en sık kullanılan dar gövdeli ticari uçaklar incelenmiştir. Denklemler, Türk hava sahasında A319, A320, A321 ve B737, B738 uçakları tarafından gerçekleştirilen 3857 gerçek uçuş verilerini kullanarak çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yakıt akışında seyir yüksekliği, kütle ve hız olmak üzere üç ana performans parametresinin etkisi karakterize edilmiştir. Sonuçlar, gereksiz kütlelerin taşınması, optimum seyir irtifasından ayrılma veya seyir uçuşunun hızlandırılması yoluyla verimsiz yakıt kullanımı miktarını göstermektedir.

Grote, Williams, Preston (2014), Sivil uçaktan doğrudan karbondioksit emisyonları makalesi, uçaklardan CO₂ emisyonlarını azaltmak ve sivil havacılık endüstrisi için mevcut önlemler üzerine olan literatür hakkında bir inceleme sunmuştur. Makale problem tedbirler, politikalar, yasal önlemler, teknolojik ve operasyonel önlemler kategorinde ele alınmıştır. İncelemenin sonuçları, karşılaşılan zorluklara ilişkin hava trafikteki güçlü büyüme tahminlerinin, sivil havacılığın insan kaynaklı CO₂ emisyonların giderek önemli ölçüde artacağını göstermektedir.

Chao (2014), Hava kargo taşımacılığında karbon emisyonu maliyetlerinin değerlendirilmesi çalışması, hava kargo taşımacılığında bireysel uçuş evrelerinde karbon emisyonlarını hesaplayan, uçak tipine ve uçuş rotasına bağlı karbon izlerini araştıran ve karbon vergilerine bağlı olarak havayolları için ulaşım maliyetlerinde

meydana gelen artışları tahmin eden bir dizi model sunulmaktadır. Sonuçlar, farklı güzergâhlarda uçak teslimi havayollarında ve yeni alımlar için uçak seçiminde yararlı referanslar sağlayacağı 6 güzergâh ve 6 uçak tipi için hava kargo taşımacılığı maliyetleri üzerindeki potansiyel etkisini simüle ederek incelenmiştir. Sonuçlar, hava kirliliği, uçak başına birim karbon emisyonu, havayolu için havacılık emisyonu ödenekleri ve karbon ticaret fiyatları gibi çeşitli faktörlere bağlı olabilmekte olduğunu ve hava kargo taşımacılığı maliyetlerindeki artış, uçak başına %0-5,27 arasında olduğunu göstermiştir.

Toth, Takacs (2014), 4D uçuş rotası optimizasyonu için dinamik bir programlama yaklaşımında, yakıt tüketimine ve gecikmeye bağlı toplam maliyetin olabildiğince düşük olmasını sağlamak için uçuş rotalarını en iyi duruma getirmeyi amaçlanmıştır. Hava aracı pozisyonları ve varış yerleri, hava durumu bilgileri ve diğer veriler dahil olmak üzere, çeşitli veri tablolarını girdi olarak kullanılarak her uçuş için enlem, boylam, irtifa, hız bilgilerini veren bir uçuş planı üretmiştir. Uçuş planlarının maliyeti bir açık kaynak simülatörü ile değerlendirilmiştir. Önerilen yöntemde kısıtlı bölgelerin önüne geçmek için Dijkstra algoritması dinamik programlama ve yerel arama teknikleri kullanılarak çözüm daha da geliştirilmiştir.

Yen (2015), Gerçek zamanlı bilgileri kullanarak havayollarının uçuş rotasını optimize edilmesi çalışması, en-route gerçek zamanlı hava durumu bilgilerini kullanarak bir havayolunun yakıt maliyetlerini azaltmayı amaçlamaktadır. Belli bir uçuş için bir uçağın uçuş işletme maliyetlerini (yakıt masrafları, havayolu masrafları, mürettebat maaşları, bakım, amortisman ve vb. maliyetleri) en aza indirgeyen optimum uçuş yolunu aramak için bir tamsayı programlama modeli kullanılmıştır. Modelde, optimum yolun araştırılması için havayolu seçimi ve uçuş seviyesi seçimi de dikkate alınarak ilk aşamada, yakıt tüketimi kazanmak için, önceden belirlenmiş koşullara dayanan hesaplamasına göre, ilgili havayolu, kalkıştan önce uygun bir hava yolu seçmektedir. Matematiksel olarak, yakıt tüketimini en aza indirgeyen objektif bir fonksiyon sunulmuştur. Araştırma, havayollarının yakıt maliyetlerini azaltmak için gerçek zamanlı hava durumu bilgilerini kullanmasının mümkün olduğunu göstermiştir.

Sheng, Marais, Landry (2015), Sivil ticari havacılık ile stratosfer yakıt yanmasının değerlendirilmesi 2008-2012 yılları arasında kamuya açıklanmış geçmiş veriler temel alınarak şu anda stratosferde meydana gelen ABD ticari yolcu ve kargo

uçuşunun kapsamını tahmin etmek için basit ve hızlı bir yöntem sunmaktadır. Bir uçuşun dikey profilini modellenerek karşılaştırılır ve yol boyunca tropopoz yüksekliğiyle analiz etmektedir. Çalışmada stratosferde uçuş şansının bölgelere göre değişiklik gösterdiğini, ancak ABD'nin komşu ülkelerindeki uçuşların stratosferin altında kalma eğiliminde olduğunu ve Asya-ABD seferlerinde yakıtın önemli ölçüde azaltılabilirliğini göstermektedir.

Wasiuk, Lowenberg, Shallcross (2015), Küresel ve bölgesel ticari havacılık emisyonlarının tahmini için bir uçak performans modeli uygulamasında küresel ticari havacılık yakıtı emisyon tahminlerini güncellemek için kullanılan Uçak Performans Modeli Uygulamasının (APMI) yazılımının geliştirilmesi anlatılmaktadır. APMI'nın sonuçları, 2006 yılı için ABD Federal Havacılık İdaresi Havacılık Küresel Emisyonları (SAGE) değerlendirme sistemi kullanılarak elde edilen tahminlerle karşılaştırılmıştır. APMI yazılımı ile modellenen küresel gidiş sayısı, SAGE ile karşılaştırıldığında ticari hava trafik istatistikleri veri kaynakları arasındaki fark %8 daha düşüktür. CO₂ ve H₂O tahminleri, 2006 yılında SAGE tarafından tahmin edilenlerden yaklaşık %20 daha düşüktür, toplam küresel uçak SO₂ emisyonu için tahmin yaklaşık %40 daha düşüktür. CO, HC emisyonu ve NO tahminleri sırasıyla SAGE tarafından tahmin edilenden %30 daha yüksektir. Çalışmada bu farklılıkların sebepleri ayrıntılı bir şekilde tartışılmaktadır.

Kern, Medeiros, Yoneyama (2015), Data-driven uçakların tahmini varış zamanı çalışmasında, makine öğrenme teknikleri uygulayarak Tahmini Varış Zamanı (ETA) tahminlerini arttırmak için bir yöntem sunmaktadır. En-route sırasında bir uçağın ETA tahmininde bulunmak zorlu bir süreç olduğunu bir uçuşun dakiklığını etkileyebilecek çok sayıda faktör, uçuş seviyesi ve seyir hızları gibi, pilotun kontrolü altında olan şeylerden, hava olayları ve havaalanı tıkanıklığı gibi tahmin etmek genellikle çok zor olan çevre koşullarına kadar uzandığını açıklamıştır. Bu nedenle, uçak ETA tahminleri, parametrik ya da fizik temelli yörünge modelleri ile birlikte, uçak performans modellerine büyük oranda güvenir olduğunu bazen de bir uçuş sırasında karşılaşılan ortalama rüzgarlar gibi basit istatistiksel faktörlerle artırılabilirliğini ifade etmiştir. Hava durumu ve hava trafiği yanı sıra uçuş hakkındaki genel bilgileri de dikkate alarak özelliğin oluşturulması ve seçimi için iyi bir çaba sarf edilmesi gerektiğini söyleyerek tahmin doğruluğu artışına izin veren temsilci uçuş, hava ve hava trafiği verilerinden bir model oluşturulmuştur. Sonuçlar,

uçuş, hava trafiği ve hava durumu bilgileri arasında gözlemlenen istatistiksel ilişkileri hesaba katan bir modelle onları düzelterek geleneksel yöntemlerden elde edilen ETA tahminlerini iyileştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir.

Vaaben, Larsen (2015), Hava sahası tıkanıklığını azaltılmasının hava yolu ağlarına etkisi çalışması, uçak gecikmeleri yönetiminin uçuş planlaması ile nasıl birleştiğine dair bir yaklaşımı önermekte ve değerlendirmektedir. Tıkanıklıkların hava sahasından kaynaklanan kesintilerin daha proaktif bir şekilde ele alarak orta büyüklükte bir Avrupalı taşıyıcıdan gelen verileri kullanarak değerlendirme yapmıştır.

Piquet, Feron, Jarry, Luce (2016), Hava seyrüsefer servis sağlayıcıları için yeni enroute performans ölçümlerinin değerlendirilmesi çalışması hava trafik yönetim sistemlerine yönelik yeni performans tasarımı ve değerlendirilmesini sunmaktadır. Mevcut performans değerlerine genel bir bakış sağladıktan sonra, yeni performans artırıcı öneriler tanıtılmıştır. Uçuş planının tercih edilen rotalar setinin dışına çıkma sayısı, bir havayolu uçuş planı ile rüzgâr en uygun rotalar arasındaki uzunluk ve süre arasındaki farkları değerlendirmesi yapılmıştır.

Chen, Hu, Zhang, Yin, Han (2016), Hava trafik talebindeki dalgalanma dikkate alınarak, hava sahasındaki havacılık emisyonlarının kısa-orta vadeli tahminleri makalesinde hava sahasında havacılık emisyon dağılımı için yeni bir tahmin yöntemi önermektedir. Trafik artışının değişkenliği ve belirsizliğinin tahmin edildiği gerçek trafik talebinin hem dinamiklerini hem de dalgalanmalarını karakterize eden bir trafik yoğunluğu talep modeli geliştirilmiştir. Trafik talep tahminine ve yol gazı emisyon tahminine dayanarak, belirsizlik sınırlarıyla birlikte güzergâh emisyonlarının üretilmesini tahmin etmek için kullanılabilen bir havacılık emisyon tahmin modeli oluşturulmuştur. Yıllık ve aylık zaman ayrıntıları ile emisyon tahmini ile ilgili belirsizlik sınırlarını doğrulamak için FAA ve Eurocontrol tarafından geniş kabul gören regresyon modelinden türetilen gelecek trafik taleplerine dayanan tahmin sonuçları da sunulmaktadır. Vaka analizi önerilen yöntemin yol emisyonlarının dinamiklerini ve dalgalanmalarını iyi karakterize edebildiğini böylece uygun belirsizlik sınırlarıyla tatmin edici tahmin sonuçlarının sağlandığını göstermiştir. Tahmin sonuçları, yıllık ortalama %7,74 oranında kademeli bir büyüme göstererek aylık tahmin sonuçları büyümedeki belirgin dalgalanma kalıplarını ortaya koymaktadır.

Zhang, Sulli (2016), Hava trafik akış yönetiminde dağılmış uçuş rota ve çizelgeleme çalışması havaalanı kalkış ve varış zaman sapmalarını en aza indirmek için dağılmış bir hava trafik akış yönetimi stratejisi önermektedir. Planlama problemi, hava yolları, yol işaretleri ve havaalanlarından oluşan bir en-route hava trafik sistemi modeline dayanılarak formüle edilmiştir. Havayolu, havalimanı kapasiteleri ve uçak hız limitleri gibi emniyetle ilgili kısıtlamalar altında sistem dinamiklerini tanımlamak için bir hücre iletim akış dinamiği modeli kabul edilmiştir. Hava trafiği akış yönetimi problemi bir tam sayı kuadratik programlama problemi olarak formüle edilmiştir. Tamsayı çözümü elde etmek için ileri geri iletime dayalı sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Deneysel sonuçlar önerilen planlama stratejisinin etkinliğini göstermektedir.

Edwards, Hardy, Wadud (2016), Uçak maliyet endeksi ve hava taşımacılığında meydana gelen karbon emisyonlarının geleceği çalışması, havacılığın CO₂ üzerindeki etkisini, farklı uçak modelleri için emisyonların uçağın uçuş bazında ve temsili bir uçak için endüstri üzerindeki gelecek etkilerden nasıl olacağını değerlendirmektedir. Bu çalışma aynı zamanda mürettebat, bakım maliyetleri, kümülatif maliyetler, tıkanıklık ve iklim değişikliği olaylarından kaynaklanan gecikmenin yanı sıra CO₂ emisyonlarında bir azalmanın sağlanması için doğru politikanın göz önüne alınması gerekliliğini de vurgulamaktadır.

Sheth, Sridhar, McNally (2016), Dinamik hava yollarının stratejik hava sahası kısıtlaması analizi ve çevresel etkisi çalışmasında hava sahası otomasyonunun stratejik hava sahası kısıtlamaları ve çevresel etkileri analizleri sunmaktadır. Dinamik havayolu, uçağın geçerli olarak etkin uçuş planına kıyasla kullanıcının belirlediği rüzgârla düzeltilmiş uçuş süresini kaydedebildiği uçuş planları olduğunu anlatmıştır. Çevresel etki, iki uçuş planı boyunca yakıt yanması ve emisyonları göz önüne alınarak hava taşıtındaki kısıtlamaları, emisyon değerlerini ve önerilen dinamik hava yolları arasındaki bir karşılaştırma sunulmuştur. Sonuçlar, NASA'nın Dynamic Weather Routes yazılımı ile American Airlines System Operations Center'da sürekli olarak çalışmıştır. Çalışmada sadece uçuş süresinden ve yakıttan tasarruf sağlamakla kalmadığını aynı zamanda trafik tıkanıklığını ve zararlı emisyonları da azalttığını gözlemlenmiştir.

Hurter, Bewnier, Ducas (2016), Hava sahası yönetimi ve optimize uçuş performansı arasındaki dengeyi sağlama çalışması, Avrupa'daki en yoğun sektörlerde

(Reims, Paris ve Marsilya sektörlerinde) mevcut uçuş talebini kontrol altına almak için yeni bir kontrol stratejisi yaklaşımı sunulmuştur. Alan kontrol merkezlerindeki akış yönetimi pozisyonları, havayolu operasyon merkezlerine, Fransız hava sahasında en fazla kapasiteyi engelleyen uçuşlar için gecikmesiz güzergahlar önerilmiştir. Uçuş talebini zamanla yaymak yerine bu yenilikçi yaklaşım talebi yerel uzmanlığa ve gelişmiş iş birliğine dayandırarak uzaya yaymayı amaçlamıştır. Çalışmada Temmuz-Eylül 2015 tarihleri arasında yapılan denemeler, 12'den fazla havayolunun operasyonları için yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Hava trafik akışında 9 saatten 13 saate kadar %6 oranında gelişme kaydedilmiştir.

Gaxiola, Barrado (2016), Serbest rota hava sahası ve yeni hava trafik kontrol ihtiyaçları makalesi, Tek Avrupa Gökyüzü Hava Sahası Araştırma Programı (SESAR)'nin bir parçası olarak, yeni bir operasyonel araç olduğunu anlatarak, Serbest Rota Hava Sahası (FRA)'yı kullanıcının hava yollarına veya zorunlu geçiş noktalarına tabi olmayan en iyi performans rotalarına karar verebileceği hava sahası alanlarını tanımlamıştır. 11 FRA projesi özel olarak düşük yoğunluklu alanlarda ve düşük yoğunluklu zaman dilimlerinde yaklaşık günde 32.000 deniz mili (nm) kadar tasarruf sağlayabilmektedir. İlgili hava trafik kontrolörlerinin görüşleri ile kazanımlar değerlendirmektedir. Ayrıca gelecekteki FRA'yı genişletmeden önce oluşacak güçlükler açıklanmıştır.

Schefers, Piera, Ramos, Nosedal (2017), Hava sahası kapasitesini artırmak için havayolu rota tercihlerinin nedensel analizi çalışması, uçağın ayrılması, güvenlik standartları, alan navigasyonunda doğrudan yönlendirmeler ve diğer faktörleri göz önünde bulundurarak ATC sektörlerine maksimum sayıda uçak yerleştirilmesi sorunu hava sahası kapasite sorununu ile beraber ele almıştır. Avrupa hava sahasının üstünde, kontrolörlerin iş yükü tarafından belirlenen yüksek yoğunluklu bir hava trafiği ağına sahip olduğunu açıklamıştır. Kısıt programlama ile geniş bir kombinasyonlu problem serisini temsil etmek ve çözmek için rotalar arasındaki sıkı bağımlılıkları tanımlayarak ve sıcak noktalardaki uçaklar için hava sahası kullanıcısının rota tercihlerini desteklemiştir.

Chen, Hu, Zhang, Yin, Han (2017), Hava sahası sistemi trafik akış optimizasyonu için bir ağ tabanlı dinamik hava trafiği akış modeli çalışması, hava sahası trafik hızının dinamiklerini ve dağılımını karakterize ederek, rota hava sahaları için dinamik bir ağa dayalı bir mesoscopic dinamik hava trafik modeli önermektedir.

Bu modelde, bir çift ayrıştırma yöntemi kullanarak kapasite kısıtlamalarını minimum işletme maliyetiyle uygulamak için bir akış optimizasyon problemi çözülmüştür. Şanghai'daki hava sahasında bir vaka incelemesi, önerilen dinamik trafik talebini ve hava sahası kapasitesini dengeleyerek yol gecikmelerini azaltmak için önerilen optimizasyon çerçevesinin etkinliğini ve aynı zamanda akış dinamiklerini başarıyla yakalamak için önerilen modelin doğruluğunu göstermiştir.

Yun, Xiao, Tang, Han, Chen (2017), Planlı trafik akışı sistemi için bir kontrol politikası çalışmasında, hava trafik akışını kontrol etmek amacıyla bir modelleme metodolojisi sunulmuştur. Minimum emniyet ayırma mesafesini ve süresini içeren terminal kontrol alanında hava trafiği akışının kontrolünün, her bir düzeltmede farklı gidiş sıralarının planlanması olarak görülebileceği açıklanmıştır. Farklı senaryolar ile jet yolu kontrol modeli, hava trafik kontrol kurallarında vurgulanan çeşitli kısıtlamaları formüle ederek öne sürülmüştür. Farklı sistem değişkenleri için olan doğal ilişkiler ve önerilen düzeltme modelleri, belirtilen düzeltmelerde birkaç farklı gidiş hava trafik akışını koordine etmek için uygulanmıştır. Buna ek olarak, sunulan sistem optimizasyon modelinin bazı temel özellikleri maksimum artı sistem modeli, gerçek trafik akışı verileri kullanılarak araştırma sonuçları açıklanmıştır. Ayrıca önerilen sistem modelinin geçerliliğini gösteren sıcaklık, ağırlık ve aynı zamanda uçak tırmanma modu gibi farklı faktörlerin sistem optimizasyon performansı üzerindeki etkisi de analiz edilmiştir.

Cai, Zhang, Xiao (2017), Hava trafik ağ akışı yönetiminde hava sahası tıkanıklığının ve uçuş gecikmesinin eş zamanlı optimizasyonu çalışması, hava sahası tıkanıklığının hafifletilmesi ve aynı anda ATFM'deki uçuş gecikmelerinin azaltılması sorunu ele alınmaktadır. Bu sorunu, çok objektif bir Hava Trafiği Ağ Akış Optimizasyonu (MATNFO) problemi olarak formüle etmektedir. Bu MATNFO modelinde, kapsamlı ATFM eylemleri, yeniden yönlendirme ve hız kontrolü gibi konular ele alınarak MATNFO problemini çözmek için sistematik bir yaklaşım ile rota ve Zaman Aralığı Tahsisi (RTA) algoritması geliştirilmiştir. Hem rota arama modülü hem de zaman düzeltme modülü algoritmaya gömülüdür. Ayrıca, bir ön seçim operatörü çözümleri belirlemek ve bir sektör dengesini tanımlayarak arama alanını azaltmak için sezgisel bir strateji önerilmiştir. Çin hava sahasının gerçek verileri üzerinde yapılan denemeler, RTA algoritmasının mevcut çok amaçlı evrim algoritmalarından daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Desai, Patil, Jain (2017), Yakıt optimal hava trafik kontrol yönetim sistemi çalışması, havalimanının ATC tarafından yönetilen hava sahasında uçakların yönlendirilmesi ve yönetimi için yeni bir metodoloji önermektedir. Önerilen sistem, havalimanında, şu anda havaalanı tarafından sunulan uçuşlara hitap edebilmek için, en verimli yakıt ikmali pisti kombinezonunu tahsis etmesi planlanmaktadır. Sistem, genel yakıt tüketimi açısından pistlerin en verimli kombinasyonunu belirlemek için geçerli rüzgâr koşulları, hava süresi, taksi süresi, uçak tipi gibi çeşitli parametreleri incelemektedir. Hava trafik kontrolü tarafından yönetilen mevcut uçuşlarda pistlerin en etkili kombinasyonunu belirlemek için dinamik bir programlama metodolojisi kullanılmaktadır. Ayrıca, iki uçak arasındaki gerekli ayrımı koruyacak bir program tasarlanmıştır.

Levy, Bassett (2017), İrtifa seviyesinin uçuş bölümlerine ekonomik etkisi çalışması, kayıp hava sahası operasyon maliyetlerinin büyüklüğünü hesaplamak için uçuş izi verileri ve sezgisel bir algoritma kullanmıştır. 2015 mali yılı için New York bölgesindeki hava limanlarında faaliyet gösteren uçaklarda irtifanın uçuşlar üzerindeki etkisi tahmin edilmiştir. 2015'te 200.000 dakika ve New York City havaalanındaki hava aracı operasyonları için seviye-yükseklik prosedürlerinin kullanılması nedeniyle 10 milyon kg yakıt kaybedildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Sandamali, Su, Zhang (2017), Hava trafik akış yönetiminde gidiş belirsizlikleriyle uçuş rotası ve zaman çizelgesi çalışması, hava trafik sistemdeki talep belirsizliğini dikkate alarak yeni bir uçuş yönlendirme ve zamanlama şeması önermektedir. Talep belirsizliği altında bile tüm bağlantı kapasitesi kısıtlamalarını tatmin ederken genel ağ gecikmesini en aza indirmek için uçuşları rotaya planlamak ve zamanlama yapmak işlemlerini yerine getirmiştir. Yer ve zaman gibi uçuş parametrelerini tahmin ederken, ayrık tek bir değer yerine gidiş belirsizliğinden dolayı uçuşun alabileceği çeşitli değerler düşünülerek sorun Karışık Tamsayılı İkinci Dereceden Programlama (MIQP) problemi olarak formüle edilmiştir. Simülasyon yardımı ile önerilen yaklaşım sisteminde kapasite ihlali tamamen ortadan kaldırdığı ve düşük uçuş gecikmesini sağladığını göstermektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE’DE HAVA SAHASININ ESNEK KULLANIMINA YÖNELİK ARAŞTIRMA VE BİR UYGULAMA

3.1 Türkiye’deki Esnek Hava Sahası Yapısına Yönelik Araştırma

Ülkemizde geçiş aşamasında olunan ve şu an için tam anlamıyla uygulanmayan Türkiye’deki FUA yapısının belirli bir rota için ekonomik, çevresel ve kapasite kazanımları üzerine yerli ve yabancı kaynaklar incelendiği kadarıyla bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada FUA uygulamasının Ankara-İzmir güzergâhında tek yönlü uçuşlar için kullanılması durumunda yakıt, mesafe, zaman tasarrufları ve ülke açısından ekonomik, çevresel ve hava sahası kapasitesi kazanımları üzerine, belirtilen varsayımlar ve kısıtlar dâhilinde, gerçek uçuş verileri ve senaryolar kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.1.1 Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı, FUA çerçevesinde, uygulama rotası olarak seçilen Ankara-İzmir güzergahında uçuş operasyonlarının daha verimli hale getirilmesi ve değişen hava sahası dinamiklerine karşı hızlı ve doğru reaksiyon gösterebilmek için önceden planlanan senaryoları içeren bir karar destek sistemi geliştirilmesidir. Dijkstra en kısa yol algoritması prensibi ile çalışan bu karar destek sistemi ile hava trafik kontrolörüne ilgili rotada değişen hava sahası koşullarında hedef noktaya kontrolündeki uçağı sezgileriyle yönlendirmesi yerine, en kısa yolu bulmasında sistematik bir çözüm üretmektir. Ayrıca FUA’nın bu güzergahta uygulandığı durumda kısalan uçuş rotalarının ekonomik, çevresel ve hava sahası kapasite kazanımlarını ortaya koymaktır.

3.1.2 Araştırmanın Yöntemi

Araştırmada hava sahası problemlerinin çözümü için gerekli yakıt verileri Eurocontrol BADA uygulamasında yer alan uçak performans analizinden elde edilmiştir. Emisyon hesaplamaları için ICAO Aircraft Engine Emissions Databank verileri ve Inter Governmental Panel on Climate Change (IPCC) Sera Gazı Referans Rehberi verileri kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Aşağıdaki bölümde bu çalışmada kullanılan Dijkstra en kısa yol algoritmasını da içeren ve literatürde en çok kullanılan 4 en kısa yol algoritması temel çerçevede tanımlanmıştır.

3.1.2.1 En kısa yol algoritmaları

En kısa yol algoritmaları, en kısa yol problemlerini çözmek için tasarlanmış algoritma türleridir. En kısa yol problemi, bir grafdaki iki düğüm arasındaki en kısa yolun hangi güzergâhın olduğuna karar verme işlemidir.

En kısa yol problemi, çoğu insanın sezgisel olarak alışık olduğu iki nokta arasındaki uzaklığın hesaplanması işlemleri daha karmaşık hali ile bilgisayar bilimlerinde en kısa yol problemi olarak farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlerin niteliğine göre çözümü için farklı algoritmalara ihtiyaç duyulur. En kısa yol problemine çözüm bulmak için çoğunlukla en bilindik yöntemlerden olan Floyd-Warshall Algoritması, Dijkstra Algoritması ve bu algoritmaların farklı varyasyonları kullanılır. En kısa yol algoritmalarının çözümünden faydalanan kullanım alanları arasında yol şebekeleri, lojistik, iletişim, elektronik tasarım, elektrik hattı, ihtimal analizi ve topluluk tespiti gibi alanlar mevcuttur.

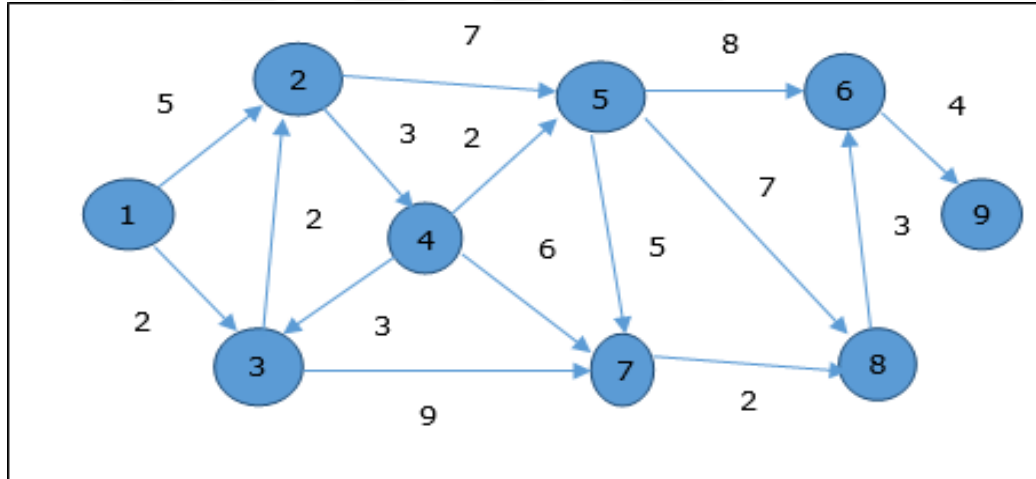
En kısa yol algoritmaları tipik olarak farklı graf türlerinde çalışır. Bu türler düğümlerden ve düğümleri birbirine bağlayan bir ark kümesinden oluşur. Arkların ağırlıkları varsa, graf ağırlıklı graf olarak adlandırılır. Ayrıca bu arklar çift yönlü ise graf yönlendirilmemiş olarak adlandırılmaktadır. Bazen bir graf döngülere veya farklı özelliklere sahip olabilir, bu farklılıkların her biri bir algoritmayı belirli graf türü için başka bir algoritmadan daha iyi kılan etkenlerdir. Yapılan araştırmada en kısa yol problemleri içinde negatif ağırlık arklara sahip graflar için genellikle Bellman-Ford yöntemi kullanılmaktadır. Yoğun graflar ve tüm düğüm çifti problemleri için de daha çok Floyd-Warshall yöntemi kullanılır. Seyrek graflar ve diğer düğüm problemleri için, Johnson Algoritması kullanıldığı görülmüştür. Graftın

negatif kenar ağırlıkları yoksa, uygulamada Dijkstra Algoritması çoğunlukla kullanılmaktadır.

Bu algoritmaların birçoğu aynı mantıkla çalışmaktadır. Örneğin en temel formlarında, Bellman-Ford ve Dijkstra aynı yapıya sahiptir. Çünkü bu algoritmalar bir grafin aynı gösterimini kullanarak çalışmaktadırlar. Ayrıca bu algoritmaların hızlanması için Fibonacci gibi gelişmiş veri yapıları da kullanılmaktadır.

Zamana bağlı en kısa yol algoritmaları ile ilgili ilk makale Cooke ve Halsey tarafından yazıldığı bilinmektedir. Makalede, Bellman'ın optimallik prensibinin bir uzantısı olan ve ağdaki her düğümden ayrık ayrık zaman adımları seti için bir hedef düğüme zaman bağımlı kısa yollar sağlayan bir yinelemeli fonksiyon geliştirilmiştir (Ziliaskopoulos, Kotzinos, & Mahmassani, 1993).

Yönlendirilmiş bir graf örneği olan Şekil 3.1'de düğümler arası mesafeler ve düğümlerin birbirine olan ark bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Yönlendirilmiş graf örneği.

En kısa yol algoritmaları düğümler arası mesafeleri değerlendirerek hedef noktaya en kısa hangi güzergâhtan gidilebileceği problemi çözer. En kısa yol algoritmaları, iki düğüm arasındaki mesafeyi sezgisel değil de sistematik olarak hesaplar ve bu sayede sağlıklı olan doğru sonuca ulaşır.

Bu algoritmalar günlük hayatta da birçok uygulamada kullanılmaktadır. Sık olarak kullandığımız yol haritası yazılımları, en kısa yol algoritmaları üzerine kuruludur. Ayrıca, bu algoritmalar karayolu ağları ve lojistik araştırmaları için de önemli bir yere sahiptir. Bir rota seçimine yardımcı olan herhangi bir yazılım,

tabanında en kısa yol algoritmalarının bir türevi kullanıldığı bilinmektedir. Örneğin, Google Haritalar bir başlangıç noktası ve bitiş noktası olan 2 düğüm arasında en kısa yol problemini çözmektedir.

Literatürde en kısa yol problemi çözümü için birçok algoritma bulunmaktadır. Bu bölümde en çok tercih edilen ve temel nitelikte olan Bellman-Ford, Floyd-Warshall, Johnson ve Dijkstra Algoritmalarına temel çerçevede değinilmiştir.

3.1.2.2 Bellman-Ford Algoritması

Bellman-Ford Algoritması, kaynağından erişilebilen negatif ağırlık döngülerini algılayabileceği bir özelliğe sahiptir. Bu sayede algoritma kenarları negatif ağırlıklara sahip graflar ve yönlendirilmiş graflar için kaynak problemini çözer. Bellman-Ford Algoritmasında graf yönlendirilmemişse, yönlendirilmesi için her iki kenarını da içerecek şekilde değiştirilmesi gereklidir. Grafda negatif bir ağırlık döngüsü varsa, o döngüde bir yol sonsuza kadar sürebilir. Herhangi bir negatif ağırlık döngüsü yoksa Bellman-Ford Algoritması, en kısa yol ağırlığına göre çalışmaktadır.

3.1.2.3 Floyd-Warshall Algoritması

Floyd-Warshall Algoritması, graftaki tüm düğüm çiftlerinin en kısa yol problemini dinamik olarak çözer. Bu özellik ile Floyd-Warshall Algoritması en kısa yol problemin çözümünde dinamik programlama imkânı sağlar. Algoritma bunu yapmak için dinamik bir programlama yaklaşımı kullanır. Negatif ark ağırlığına sahip graflar için kullanımı uygundur.

3.1.2.4 Johnson Algoritması

Floyd-Warshall Algoritması, yoğun düğümlü graflar için iyi çalışırken, Johnson Algoritması daha seyrek graflar için en iyi sonucu vermektedir. Seyrek graflardaki Johnson Algoritması, Floyd-Warshall'a kıyasla çalışma süresinin daha düşük olduğu görülmüştür.

Johnson Algoritması yeniden ağırlıklandırma kavramından yararlanır ve arkları yeniden ağırlıklandırmayı bitirdikten sonra en kısa yolu bulmak için birçok düğümde Dijkstra Algoritması temelini kullanır.

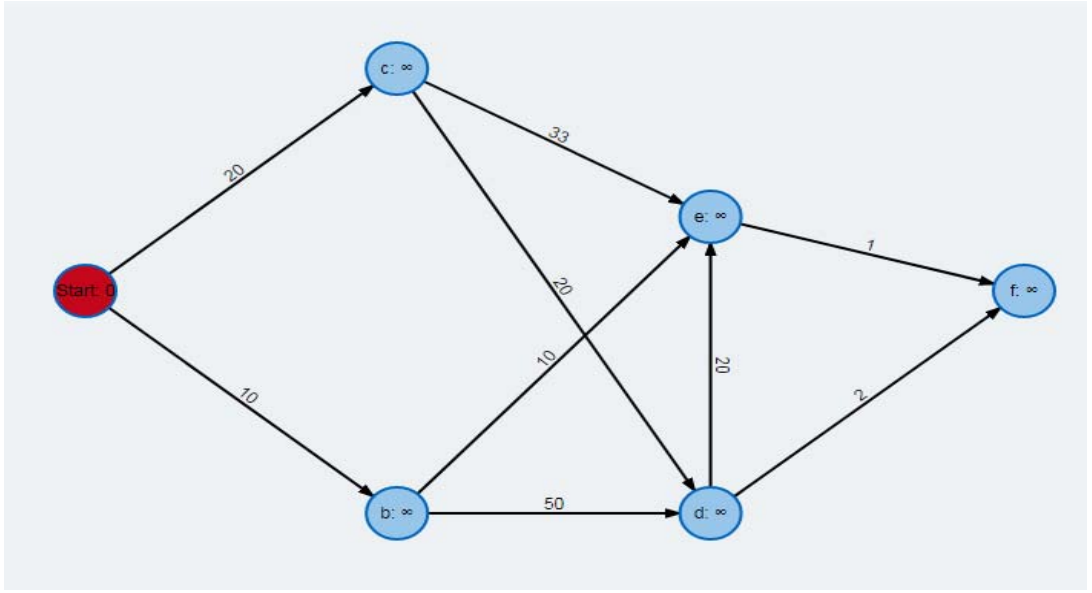
3.1.2.5 Dijkstra Algoritması

1959 yılında yayınlanan ve yaratıcısı Hollandalı bilgisayar bilimcisi Edsger Dijkstra'nın adını taşıyan Dijkstra Algoritması, Bellman-Ford Algoritmasının çalışma süresini büyük ölçüde geliştirmiştir. Bir kaynak düğümden minimum mesafeye sahip diğer düğümleri belirlemek için kullanılır. Dijkstra Algoritmasında Graf yönlendirilmiş veya yönsüz olabilir fakat düğümler arasındaki tüm ağırlıkların pozitif olması gerekir. Bu algoritma, bir graftaki başlangıç düğümünden diğer düğümlere olan en kısa yol maliyetini hesaplar. Algoritma bu işlemi yaparken kaynak düğümden başlar ve komşu düğümler aracılığıyla en kısa yolları tekrarlı olarak günceller. Tüm düğümleri ziyaret edilene kadar ve düğümlere yönelik en düşük maliyet değerini güncelleme işlemini bitirene kadar devam eder. Algoritma bulduğu düğümleri öncelik sırasına koyduğu için kaynak düğüme en yakın mesafedeki düğüm sıradaki ilk düğümdür. Eğer bir düğüme başlangıç düğümünden erişilemiyorsa, düğümün maliyeti sonsuz değeri alır.

Algoritmanın çalışma prensibi aşağıdaki adımlarla tanımlanmıştır.

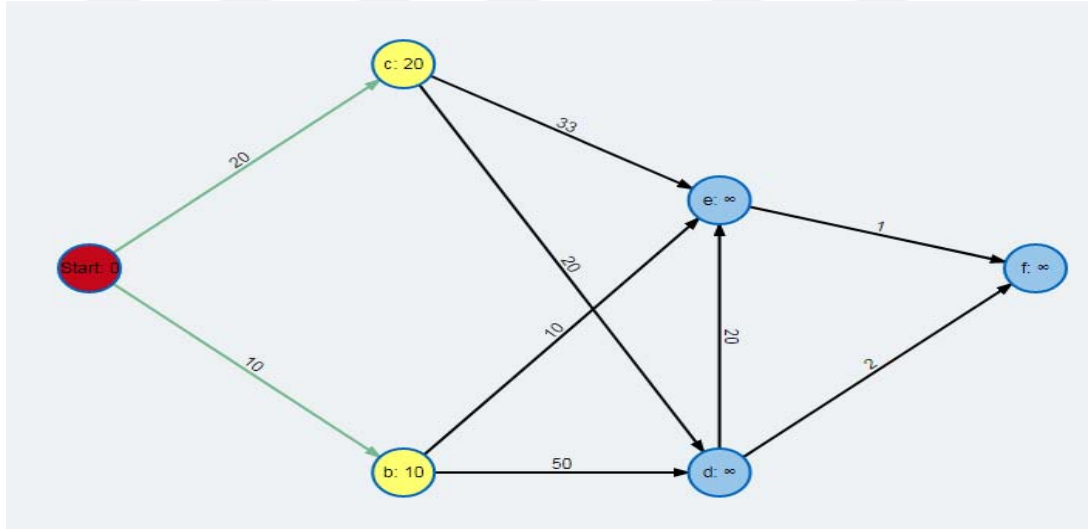
1. Graf içerisinde bulunan bir düğüm kaynak düğüm olarak seçilir. Kaynak düğüm maliyeti yani kendine olan ağırlığı $'0'$ olarak kabul edilir.
2. Kaynak düğümden diğer düğümlere olan maliyetler ilk aşamada sonsuz $'\infty'$ olarak kabul edilir ve seçilen her yeni düğüm için kaynak düğüme olan ağırlığına göre yeni maliyet değeri atanır.
3. Seçilen düğümle bağlantılı olan komşu düğümler kontrol edilir.
4. Komşu düğümlerin ağırlıklarına göre maliyet değerleri hesaplanır.
5. Komşu düğümlerden kaynak düğüme uzaklık olarak en az maliyetli olan düğüm seçilir.
6. Seçilen her yeni düğümden sonra 3-5 adımları arasındaki işlemler tekrarlanır.

Şekil 3.2'de gösterilen yönlendirilmiş graf örneği için Dijkstra Algoritması kullanılarak örnek bir uygulama yapılmıştır. İlk aşamada kaynak düğüm $'a'$ düğümü olarak seçilmiştir. Kaynak düğümün kendi maliyeti $'0'$ ve kaynak düğümden diğer düğümlere olan maliyetleri sonsuz değeri aldığı görülmektedir. Sonraki aşamada algoritma çalışma prensibine göre maliyeti azaltmayı amaçlayacaktır.



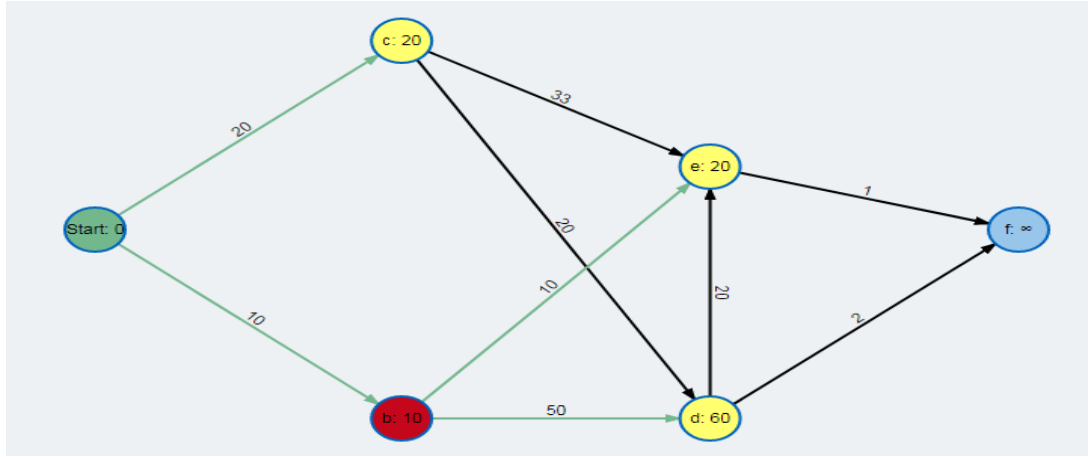
Şekil 3.2: Dijkstra Algoritması örnek uygulama-1.

Şekil 3.3’de başlangıç düğümünden komşu düğümler kontrol edilerek komşu düğümlere yeni maliyet değerleri atanır. Yeni maliyetler düğümler için c:20, b:10 olduğu görülmektedir. Bu sayede öncelik sırası {b, c} olacaktır.



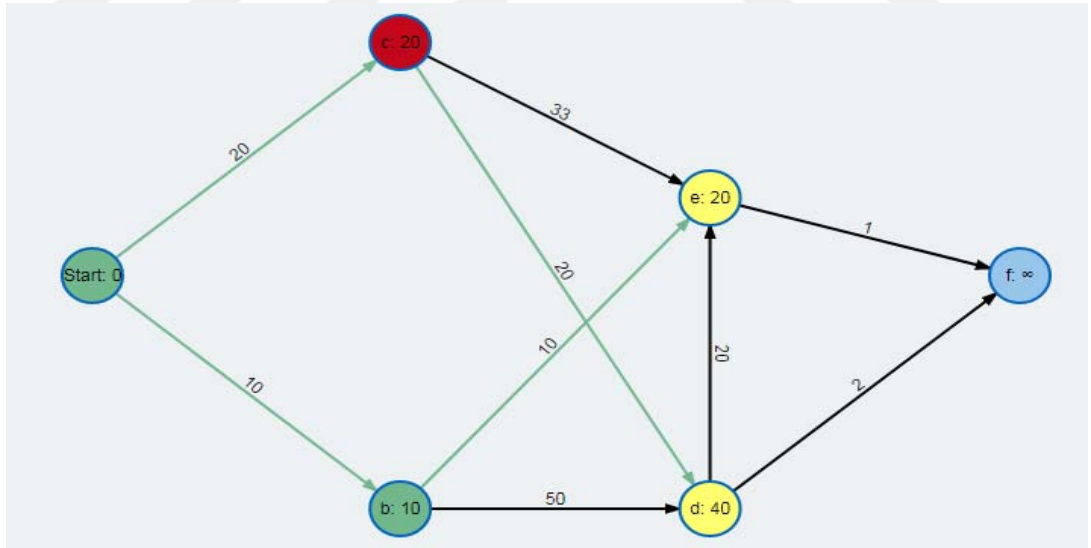
Şekil 3.3: Dijkstra Algoritması örnek uygulama-2.

Şekil 3.4’de b düğümü için aynı işlem tekrarlanarak komşu düğümler kontrol edilir. Komşu düğümlerin kaynak düğüme göre maliyetleri hesaplanarak yeni maliyet değerleri atanır. Yeni maliyetler b:10, c:20, e:20, d:60 olduğu görülmektedir. Bu sayede öncelik sırası {b, c, e, d} olacaktır.



Şekil 3.4: Dijkstra Algoritması örnek uygulama-3.

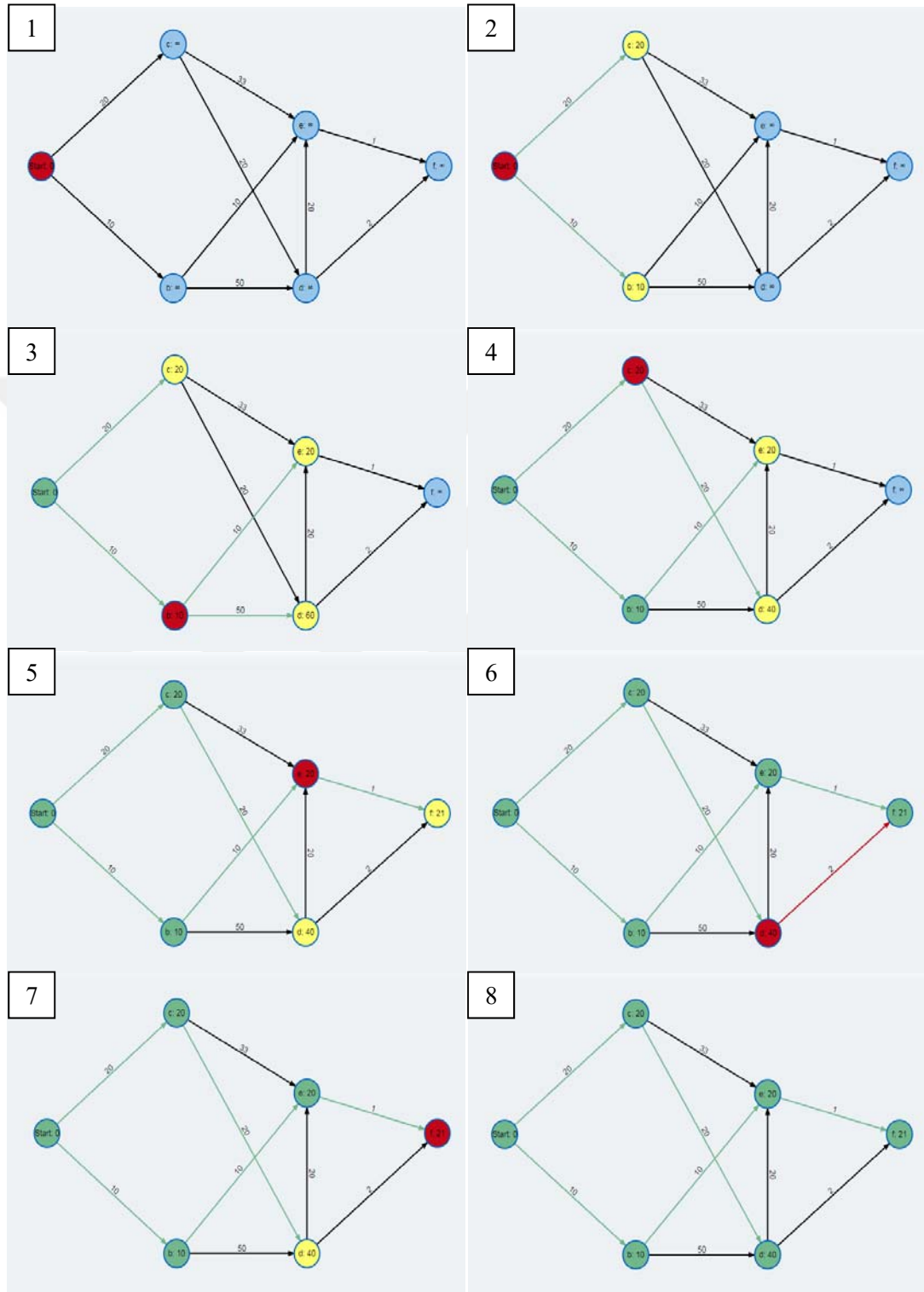
Şekil 3.5’de “c” düğümü için aynı işlem tekrarlanarak komşu düğümler kontrol edilir. Komşu düğümlerin kaynak düğüme göre maliyetleri hesaplanarak yeni değerleri atanır. Yeni maliyetler b:10, c:20, e:20, d:40 olduğu görülmektedir. “d” düğümünün kaynak düğüme olan maliyeti önceki aşamada 60 iken “c” düğümü kontrol edildiğinde, daha düşük maliyet olan 40 değerini almıştır. Bu adım sonrası için öncelik sırası {b, c, e, d} olacaktır.



Şekil 3.5: Dijkstra Algoritması örnek uygulama-4.

Başlangıçta düğümlerim kaynak notaya olan maliyetleri sonsuz kabul edilirken örnek uygulamada gösterilen adımlar diğer düğümler için de tekrarlanması işlemi sonrasında tüm düğümlere kaynak noktaya göre en az maliyetli olan yeni değerleri atanacaktır.

Şekil 3.6’da en kısa yol problemi çözümü için Dijkstra Algoritması’nın çalışma prensibini gösteren örnek uygulamanın tüm adımlar gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Dijkstra Algoritması örnek uygulamasının tüm adımları.

Dijkstra Algoritması çalışma prensibini gösteren örnek uygulamanın tüm adımları tamamlandıktan sonra en kısa yol problemi çözülmüş ve tüm düğümlerin kaynak düğüm olan “a” düğümüne göre maliyetleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Dijkstra Algoritması örnek uygulama sonuçları.

	a	b	c	d	e	f
a	∞	10	20	40	20	21
b	∞	∞	∞	50	10	11
c	∞	∞	∞	20	33	20
d	∞	∞	∞	∞	20	2
e	∞	∞	∞	∞	∞	1
f	∞	∞	∞	∞	∞	∞

Aşağıdaki kısımda Dijkstra Algoritmasının bilgisayar ortamında çalışma prensibini gösteren Pseudocode tanımlanmış ve kodların karşısına açıklaması yapılmıştır.

Pseudocode

begin	Başla
dist[s]←0	Kaynak 0 olarak belirle
for all v ∈ V- {s}	
do dist[v] ← ∞	Tüm mesafelere sonsuz değeri ata
S ← ∅	S başlangıçta boş kümedir
Q8 ← V	Q başlangıçta tüm düğümleri içerir
while Q ≠ ∅	Q boş küme değilken
do u ← mindistance(Q,dist)	Minimum uzaklıkta olan Q elemanını seç
S ←S∪{u}	Ziyaret edilen düğümler listesine ekle
for all v ∈ neighbors[u]	
do if dist[v] > dist[u] + w(u,v)	Eğer yeni en kısa yol bulunursa
then d[v]←d[u] + w(u,v)	En kısa yeni değer ata
return	Başa dön

Çalışılan hava sahası probleminde belirlenen varsayım ve kısıtlar dâhilinde tek yönlü kullanıma daha uygun olması ve rotada negatif ağırlıkların olmaması sebebiyle Ankara-İzmir uçuş rotasında en kısa yol probleminin çözümü için yapılan karar destek sisteminde, Visual Studio platformunda C# ile Dijkstra En Kısa Yol Algoritması (Dijkstra's Shortest Path Algorithm) kodlanarak karar verici pozisyonda olan hava trafik kontrolörleri için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Çalışılan hava sahası probleminin çözümü için Ankara-İzmir tek yönlü uçuş güzergahı graf

yapısına uygun diğer en kısa yol algoritmalarının da kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

3.2 Türkiye’deki Esnek Hava Sahası Yapısına Yönelik Bir Uygulama

Bu bölümde Türkiye’deki esnek hava sahası yapısına yönelik Ankara-İzmir rotasında bir uygulama yapılmıştır. Öncelikle problemin varsayım ve kısıtları tanımlanmış, problemin girdisi olan Ankara-İzmir uçuş rotasındaki olası tüm rotalar ve uçuş verileri varsayım ve kısıtlar dahilinde hesaplanmıştır. Son olarak Dijkstra algoritması ile hava sahası dinamiklerine göre en kısa rotayı veren bir karar destek sistemi oluşturulmuş ve sonuçları farklı senaryolar için uygulanarak yorumlanmıştır.

3.2.1 Varsayım ve Kısıtlar

1. Araştırma için Türk hava sahasında özellikle yoğun uçuşun olduğu ve gelecek dönemde artan hava trafiği sayısı ve 3. havalimanının yapılmasıyla beraber darboğazlar oluşacağı düşünülen rotalardan biri olan Ankara-İzmir uçuş rotası seçilmiştir.
2. Ankara-İzmir uçuş rotası için uçuş seviyesi FL360 irtifa ve Düz Uçuş (Cruise) uçuş safhası “TAS (True Air Speed: 453kts.)” hız değeri dikkate alınmıştır.
3. Belirlenen rotada Boeing 737-800 uçak tipi performans değerleri referans alınmıştır.
4. Ankara (Esenboğa) havalimanı için Aktif Pist (Active Runway) yönü: 21, İzmir (Adnan Menderes) havalimanı için Aktif Pist (Active Runway) yönü: 34 değerleri referans alınmıştır.
5. Uçak Kütle Seviyesi (Aircraft Mass Level): 62.100 kg ortalama değeri referans alınmıştır.
6. 20.10.2017 tarihli, IATA Jet yakıt fiyatı (bbl/\$): 71,4 ve USD Kuru: 3,82₺, Euro Kuru: 4,52₺ olarak kabul edilmiştir.
7. Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) ve Basınç (International Standard Atmosphere (ISA) and Pressure) değerleri kabul edilerek, deniz seviyesi basınç değeri: 1013,25 hPa, Sıcaklık: 15,0 degC değerleri dikkate alınmıştır.
8. Ankara-İzmir rotasında uçuş sayısı dönemsel olarak değişkenlik göstermekte olup, tarifeli (Scheduled) uçuşlar için ortalama değer olan 25.11.2017

tarifli 15 uçuş değeri esas alınmıştır. Günlük tarifeli uçuş çizelgesi Ek-A'da gösterilmiştir.

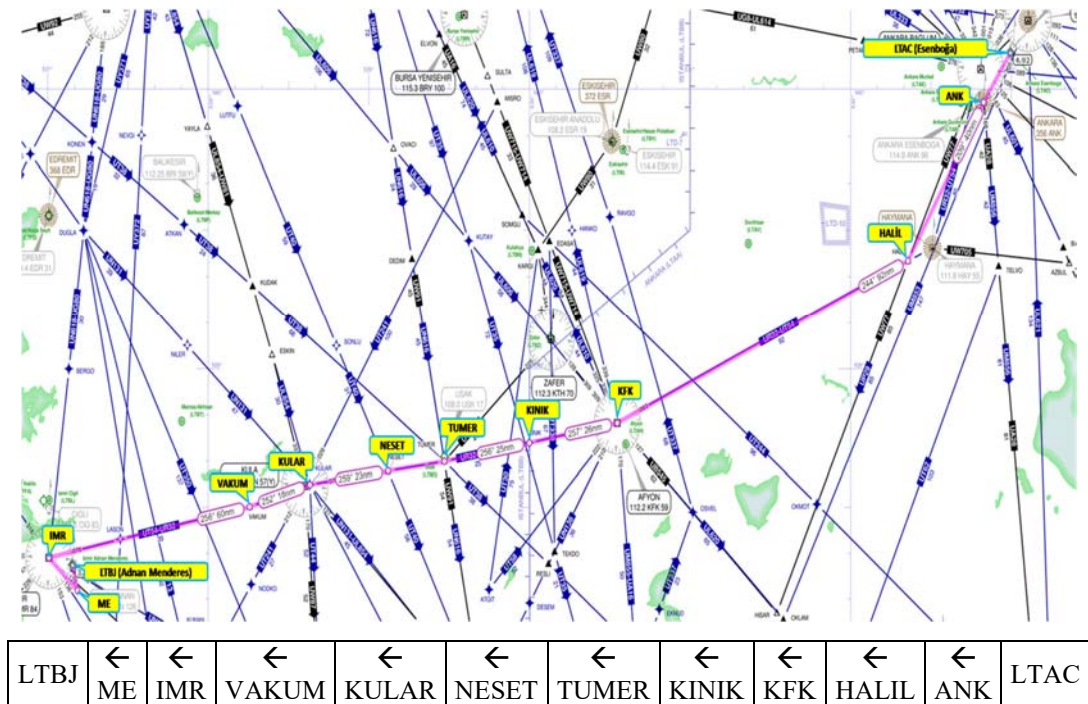
9. Uçuş rotası Ankara→İzmir yönünde tek yönlü olarak hesaplamalar yapılmıştır.

10. Senaryolar için uçuş safhalarından kalkış, tırmanma, alçalma ve iniş safhalarında normal duruma göre değişiklik yapılmamış olup, Düz Uçuş (Cruise) değeri üzerinden hesaplama yapılmıştır.

11. Ekonomik, çevresel ve kapasite hesaplaması yapılan 55 adet senaryonun seçimi için ilgili sektör görev pozisyonunda çalışan ATC hava trafik kontrollerinin görüşü alınarak senaryolar belirlenmiştir.

3.2.2 Ankara-İzmir Arası Uçuşların Hesaplanması ve Yorumlanması

Ankara-İzmir arası uçuş rotası planlı Uçuş Planı (FLP)'de başlangıç ve bitiş noktasıyla beraber 12 noktadan geçmektedir. Bu güzergahın toplam mesafesi 330,8 nm ve havada kalış süresi yaklaşık 50-55 dakika arasındadır. Bu rotada günlük ortalama 15 adet uçuş faaliyeti olmaktadır. Şekil 3.7'de Ankara (LTAC)-İzmir (LTBJ) arası normal olarak planlanan uçuş rotası ve alt kısımda sağdan sola doğru hava aracının geçeceği tüm noktalar gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Ankara-İzmir arası normal uçuş rotası.

Ankara-İzmir arası uçuş operasyonunda kalkış noktası olan Ankara Esenboğa (LTAC) havalimanı ile varış noktası olan İzmir Adnan Menderes (LTBJ) havalimanı arasında Esenboğa havalimanı hariç 11 adet uçuş noktası vardır. FUA çerçevesinde hava sahasının uygunluğu durumunda Esenboğa havalimanından kalkış yapan bir uçak, uçuş emniyeti ve uçuş operasyon verimliliği dikkate alınarak bu 11 noktaya direk yönlendirilebilmektedir.

Tablo 3.2’de Ankara-İzmir arası uçuş rotasında yer alan her bir nokta arasındaki mesafeleri gösteren mesafe matrisi tanımlanmıştır.

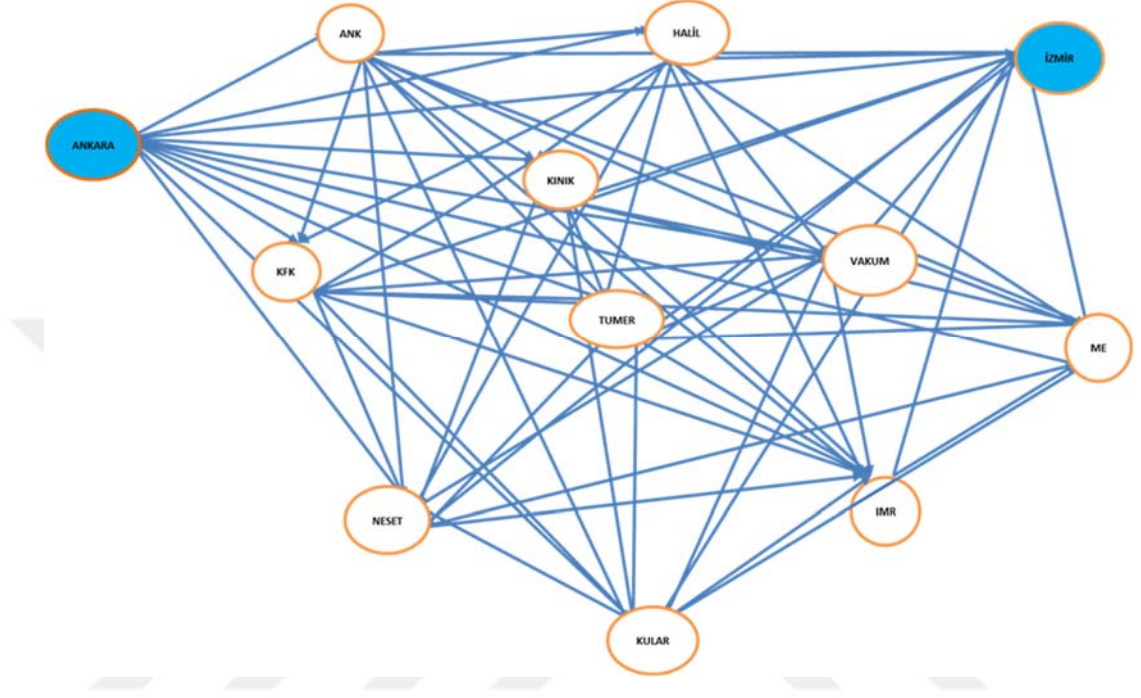
Tablo 3.2: Ankara-İzmir arası uçuş noktaları mesafe matrisi (nm).

	LTAC	ANK	HALIL	KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ
LTAC	M	13	53,2	138,7	162,5	185,9	201,4	223,1	241,1	299,5	294,7	293,7
ANK	M	M	40,2	126,5	150,6	174,4	190	212	230,1	288,8	283,8	283
HALIL	M	M	M	91,6	117,6	142,8	159,4	182,5	200,8	260,8	252,9	252,6
KFK	M	M	M	M	26	51,2	67,8	90,9	109,2	169,2	162,4	162,6
KINIK	M	M	M	M	M	25,2	41,8	64,9	83,2	143,2	136,4	136,6
TUMER	M	M	M	M	M	M	16,6	39,7	58	118	111,3	111,4
NESET	M	M	M	M	M	M	M	23,1	41,4	101,4	94,8	94,8
KULAR	M	M	M	M	M	M	M	M	18,3	78,3	72,1	71,8
VAKUM	M	M	M	M	M	M	M	M	M	60	53,8	53,6
IMR	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	11,1	7,2
ME	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	5,7
LTBJ	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

Mesafe matrisinde, LTAC-LTBJ arası tek yönlü uçuşlar hesaplandığından, mavi bölümde gösterilen ters yönlü değerler M (Büyük Sayı) olarak tanımlanmıştır. Mesafe matrisinde bulunan 12 nokta arasında tek yönlü olarak alternatif rotalar mevcuttur.

Bu çalışmada geliştirilen karar destek sistemi Ankara-İzmir uçuş rotası için mesafe matrisi kullanılarak rota güncelleme işlemi yapmaktadır. Bu sayede karar destek sistemi, hava sahası dinamiği içerisinde hedef noktalar arasında kapalı alanları göz önüne alarak mesafe matrisine göre için en kısa mesafeli yolu seçmektedir.

Şekil 3.8’de Karar destek sistemin görsel olarak çalışma prensibini anlatan tek yönlü uçuş şebekesi göstermektedir. Şebekede Mavi alanlar Ankara-İzmir uçuş rotasındaki Kalkış (İlk Nokta) ve İniş (Son Nokta) noktalarını, diğer alanlar ise bu rotadaki düğüm noktalarını göstermektedir.

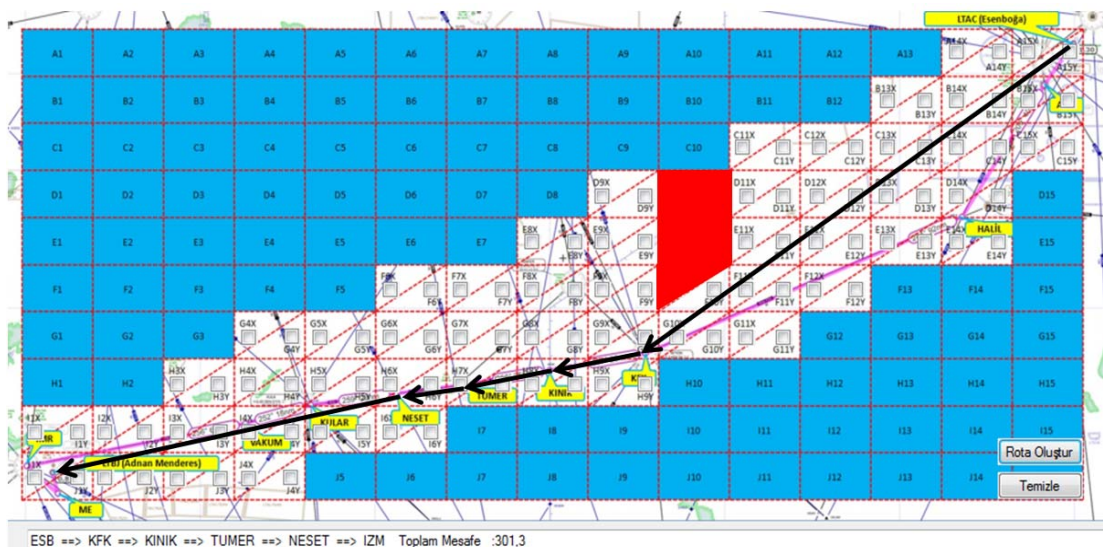


Şekil 3.8: Ankara-İzmir arası tek yönlü uçuş şebekesi.

Şekil 3.9’da Ankara-İzmir rotasında oluşturulan karar destek sisteminde kullanılan görselin ızgaralara bölünmüş hali gösterilmektedir. Esenboğa (LTAC)-Adnan Menderes (LTBJ) uçuş rotası arasında kalan alanlar ızgaralara ayrılmış ve numaralandırılmıştır. Mavi renk ile gösterilen alanlar rotanın değişkenliğini etkilemediğinden tüm hesaplamalar ilgili diğer alanlar üzerinden yapılmıştır. Ayrıca karar destek sisteminde uçuş rotasını etkiletebilecek olan alanlar için 110 adet işaretlenebilir buton tanımlanmıştır.



Karar destek sisteminin çalışma prensibine göre hava trafik kontrolörü tarafından Ankara-İzmir rotasında dolu ve kullanımda olan ızgaralar buton ile işaretlenmekte ve sonrasında Rota Oluştur ikonu tıkladığında o an için kullanılabilir olan en kısa rota ve toplam mesafe C# kodu ile yazılmış Dijkstra Algoritması sayesinde alt bölümde teşhir edilmektedir. Böylece hava sahası dinamiğine göre hava trafik kontrolörüne Ankara-İzmir uçuş operasyonunda en verimli olan rota gösterilmektedir.



Rota üzerinde hava trafik kontrolörü tarafından işaretlenen (kırmızı renk ile gösterilen) 5 bölge için hava sahası dolu veya kullanımda olduğu varsayılarak butonlar aktif hale getirilmiştir. Sonrasında Rota Oluştur ikonuna tıklanıldığında, dolu alanlar dışında kalan diğer alternatif yollar mesafe matrisi kullanılarak hesaplanıp, kullanıma uygun en kısa olan ESB ==> KFK ==> KINIK ==> TUMER ==> NESET ==> IZM rotası ve Toplam Mesafe:301,3 nm olarak kullanıcıya önerildiği görülmektedir.

3.2.2.1 Ankara-İzmir arası uçuşların ekonomik kazanımları

Bu bölümde hava sahasının esnek kullanıldığı varsayıldığında, geliştirilen karar destek sisteminin önerdiği en kısa yol senaryoları içinden seçilen ve hava sahası kapasitesine önemli etki edebilecek nitelikte olan 55 senaryonun, normal rotaya kıyasla mesafe, zaman ve yakıt kazanımları hesaplanmıştır.

Yakıt Kazanımları:

İşgücünden sonra yakıt, uçuş operasyonlarındaki en büyük maliyet bileşenini temsil eder. Maliyetleri düşürmenin etkin yollarından biri de daha az yakıt kullanmaktır. Havayolu firmaları için değerli maliyet unsurlarından olan yakıt harcamaları, havayolu firmalarının diğer maliyet unsurlarını, hizmet kalitesini ve ülke ekonomisini önemli ölçüde etkilemektedir.

British Airways raporuna göre 2000-2001 yılları arasında bir yıllık süre içinde üç büyük İngiliz havaalanı üzerinde ATM bekletilmeleri kaynaklı British Airways'a ait uçakların yakıt tüketimi, toplam yakıt tüketiminin %1,2'sini oluşturduğu ortaya konulmuştur (Eyers, Norman, & Middel, 2005).

Havayolu şirketleri kendi çalışma verimliliklerini artırmak için havacılık endüstrisi yakıt verimliliğinde yapılan her %1'lik iyileşme, yakıt faturasını yılda yaklaşık 700 milyon dolar düşürebileceği tahmin edilmektedir (Doersam & Popovich, 2016).

Tablo 3.3'de Ankara-İzmir güzergahı uçuş operasyonu için 55 adet farklı uçuş senaryosuna ait toplam uçuş mesafesi, toplam uçuş zamanı, mesafe kazanımı, yakıt kazanımı (kg), yakıt kazanımı (₺) değerleri gösterilmiştir. Ankara-İzmir rotası normal güzergâhı ESB ==> ANK ==> HALIL ==> KFK ==> KINIK ==> TUMER ==> NESET ==> KULAR==> VAKUM ==> IMR ==> ME ==> IZM toplam uçuş mesafesi: 330,8 nm ve 52,3 dk. olarak tablolarda "0" numaralı satırda gösterilmiştir. Diğer senaryolar için hesaplamalar normal rota ile kıyaslanarak yapılmıştır.

Tablo 3.3: Ankara-İzmir güzergahı uçuş senaryolarının yakıt kazanımları.

ROTA												Toplam Uçuş Mesafesi (nm)	Toplam Uçuş Zamanı (dk)	Mesafe Kazanımı (nm)	Yakıt Kazanımı (kg)	Yakıt Kazanımı (tl)	
0	LTAC	ANK	HALIL	KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	330,8	52,30	0	0,00	0,00
1	LTAC		HALIL	KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	330,6	52,27	0,2	1,43	3,27
2	LTAC			KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	324,7	51,49	6,1	43,63	99,80
3	LTAC				KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	322,4	51,19	8,4	60,08	137,42
4	LTAC					TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	320,6	50,95	10,2	72,95	166,87
5	LTAC						NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	319,5	50,80	11,3	80,82	184,87
6	LTAC							KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	318,2	50,63	12,6	90,12	206,14
7	LTAC								VAKUM	IMR	ME	LTBJ	317,9	50,59	12,9	92,26	211,05
8	LTAC									IMR	ME	LTBJ	316,2	50,37	14,6	104,42	238,86
9	LTAC										ME	LTBJ	300,4	48,27	30,4	217,43	497,35
10	LTAC											LTBJ	293,7	47,39	37,1	265,35	606,96
11	LTAC	ANK		KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	325,5	51,60	5,3	37,91	86,71
12	LTAC	ANK			KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	323,6	51,35	7,2	51,50	117,79
13	LTAC	ANK				TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	322,1	51,15	8,7	62,23	142,33
14	LTAC	ANK					NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	321,2	51,03	9,6	68,66	157,06
15	LTAC	ANK						KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	320,1	50,88	10,7	76,53	175,05
16	LTAC	ANK							VAKUM	IMR	ME	LTBJ	319,9	50,86	10,9	77,96	178,33
17	LTAC	ANK								IMR	ME	LTBJ	318,6	50,68	12,2	87,26	199,59
18	LTAC	ANK									ME	LTBJ	302,5	48,55	28,3	202,41	462,99
19	LTAC	ANK										LTBJ	296	47,69	34,8	248,90	569,33
20	LTAC		HALIL		KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	330,1	52,21	0,7	5,01	11,45
21	LTAC		HALIL			TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	329,7	52,15	1,1	7,87	18,00
22	LTAC		HALIL				NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	329,4	52,11	1,4	10,01	22,90
23	LTAC		HALIL					KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	329,1	52,07	1,7	12,16	27,81
24	LTAC		HALIL						VAKUM	IMR	ME	LTBJ	329,1	52,07	1,7	12,16	27,81
25	LTAC		HALIL							IMR	ME	LTBJ	328,8	52,04	2	14,30	32,72
26	LTAC		HALIL								ME	LTBJ	311,7	49,77	19,1	136,61	312,48
27	LTAC		HALIL									LTBJ	305,8	48,99	25	178,81	409,00
28	LTAC			KFK		TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	324,7	51,49	6,1	43,63	99,80
29	LTAC			KFK			NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	324,7	51,49	6,1	43,63	99,80
30	LTAC			KFK				KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	324,6	51,48	6,2	44,34	101,43
31	LTAC			KFK					VAKUM	IMR	ME	LTBJ	324,6	51,48	6,2	44,34	101,43
32	LTAC			KFK						IMR	ME	LTBJ	324,6	51,48	6,2	44,34	101,43
33	LTAC			KFK							ME	LTBJ	306,8	49,12	24	171,66	392,64
34	LTAC			KFK								LTBJ	301,3	48,39	29,5	210,99	482,62
35	LTAC				KINIK		NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	322,4	51,19	8,4	60,08	137,42
36	LTAC				KINIK			KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	322,4	51,19	8,4	60,08	137,42
37	LTAC				KINIK				VAKUM	IMR	ME	LTBJ	322,4	51,19	8,4	60,08	137,42
38	LTAC				KINIK					IMR	ME	LTBJ	322,3	51,17	8,5	60,79	139,06
39	LTAC				KINIK						ME	LTBJ	304,5	48,82	26,3	188,11	430,27
40	LTAC				KINIK							LTBJ	299	48,09	31,8	227,44	520,25
41	LTAC					TUMER		KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	320,6	50,95	10,2	72,95	166,87
42	LTAC					TUMER			VAKUM	IMR	ME	LTBJ	320,5	50,94	10,3	73,67	168,51
43	LTAC					TUMER				IMR	ME	LTBJ	320,5	50,94	10,3	73,67	168,51
44	LTAC					TUMER					ME	LTBJ	302,9	48,60	27,9	199,55	456,45
45	LTAC					TUMER						LTBJ	297,3	47,86	33,5	239,60	548,06
46	LTAC						NESET		VAKUM	IMR	ME	LTBJ	319,4	50,79	11,4	81,54	186,51
47	LTAC						NESET			IMR	ME	LTBJ	319,4	50,79	11,4	81,54	186,51
48	LTAC						NESET				ME	LTBJ	301,9	48,47	28,9	206,70	472,81
49	LTAC						NESET					LTBJ	296,2	47,72	34,6	247,47	566,06
50	LTAC							KULAR		IMR	ME	LTBJ	318,1	50,62	12,7	90,83	207,77
51	LTAC							KULAR			ME	LTBJ	300,9	48,34	29,9	213,85	489,17
52	LTAC							KULAR				LTBJ	295	47,56	35,8	256,05	585,69
53	LTAC								VAKUM		ME	LTBJ	300,6	48,30	30,2	216,00	494,08
54	LTAC								VAKUM			LTBJ	294,7	47,52	36,1	258,20	590,60
55	LTAC									IMR		LTBJ	306,7	49,11	24,1	172,37	394,28
ORTALAMA												315,39	50,26	15,41	110,22	252,12	

Ankara-İzmir rotasında 55 senaryo için ortalama yakıt kazanımı uçuş başına 110,22 kg olup, Türk Lirası karşılığı: 252,12₺'ye eşittir. Tablo 3.3'de en verimli rotaya sahip olan 10'nolu senaryo için Ankara-İzmir arası uçuş mesafesi 293,7 nm uçuş süresi 47,39 dk. olduğu görülmektedir. Bu senaryo normal rota ile karşılaştırıldığında 37,1 nm mesafe, 4,91 dk. kazanım söz konusudur. Belirtilen

varsayım ve kısıtlar çevresinde hesaplanan 10'nolu senaryo için normal rotaya kıyasla 265,35 kg yakıt tasarrufu elde edilmektedir. 265,35 kg yakıtın Türk Lirası karşılığı 606,96₺ olarak hesaplanmıştır. Hava sahasında 10'nolu senaryonun gün boyu uygunluğu varsayıldığında, Ankara-İzmir rotasında günlük ortalama 15 uçuşun olması günlük 9104,4₺ yakıt tasarrufu sağlanacağını göstermektedir. Bu rakam yıllık yaklaşık olarak 3.325.382 ₺'ye eşittir.

Zaman Kazanımları:

ABD'de toplam uçuş gecikme maliyetinin her yıl 30 milyar dolardan fazla olduğu tahmin edilmektedir (Ball, ve diğerleri, 2010). Gecikmeler beraberinde mürettebat giderleri, yakıt harcamaları ve uçak bakım masrafları dâhil olmak üzere çeşitli kaynakların ek kullanımına da sebep olmaktadır.

Avrupa havayolu şirketleri için birim zemin geciktirme maliyetleri orta, büyük ve ağır jetler için sırasıyla saatte 1.330, 2.007 ve 3.022 USD olarak hesaplanmıştır (Janić & Tošić, 1991).

Tablo 3.4'de 2016 yılı ABD havayolu şirketleri için uçuş operasyonu ortalama maliyetlerinin dakikadaki değeri gösterilmiştir. Uçuş operasyon maliyetinin toplam işletme giderlerine direk etkisi, dakikada 62,55 USD olduğu görülmektedir (U.S. Passenger Carrier Delay Costs, 2016).

Tablo 3.4: ABD havayolu şirketleri için uçuş operasyonlarının 2016 yılı ortalama maliyetleri.

Yıllık Takvim 2016	Uçak İşletme Maliyeti (dk.)
Mürettebat ve Pilotlar	\$ 21,24
Yakıt	\$ 18,44
Bakım	\$ 12,01
Uçak Sahipliği	\$ 8,06
Diğer	\$ 2,8
Toplam İşletme Giderlerine Direk Etkisi	\$ 62,55

Eurocontrol verilerine göre Avrupa hava sahası trafiği gecikmeleri için ATFM uçuş gecikme maliyeti ortalama dakikada 81 Euro olduğu tahmin edilmektedir (Eurocontrol, The cost of passenger delay to airlines in Europe, 2010).

Tablo 3.5'de Ankara-İzmir uçuş rotası için oluşturulan 55 adet senaryonun, normal rotaya kıyasla toplam uçuş zamanları ve zaman kazanımları gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Ankara-İzmir güzergahı uçuş senaryolarının zaman kazanımları.

ROTA													Toplam Uçuş Zamanı (dk)	Zaman Kazanımı (dk)
0	LTAC	ANK	HALİL	KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	52,30	0,00
1	LTAC		HALİL	KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	52,27	0,03
2	LTAC			KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,49	0,81
3	LTAC				KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,19	1,11
4	LTAC					TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	50,95	1,35
5	LTAC						NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	50,80	1,50
6	LTAC							KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	50,63	1,67
7	LTAC								VAKUM	IMR	ME	LTBJ	50,59	1,71
8	LTAC									IMR	ME	LTBJ	50,37	1,93
9	LTAC										ME	LTBJ	48,27	4,03
10	LTAC											LTBJ	47,39	4,91
11	LTAC	ANK		KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,60	0,70
12	LTAC	ANK			KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,35	0,95
13	LTAC	ANK				TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,15	1,15
14	LTAC	ANK					NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,03	1,27
15	LTAC	ANK						KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	50,88	1,42
16	LTAC	ANK							VAKUM	IMR	ME	LTBJ	50,86	1,44
17	LTAC	ANK								IMR	ME	LTBJ	50,68	1,62
18	LTAC	ANK									ME	LTBJ	48,55	3,75
19	LTAC	ANK										LTBJ	47,69	4,61
20	LTAC		HALİL		KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	52,21	0,09
21	LTAC		HALİL			TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	52,15	0,15
22	LTAC		HALİL				NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	52,11	0,19
23	LTAC		HALİL					KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	52,07	0,23
24	LTAC		HALİL						VAKUM	IMR	ME	LTBJ	52,07	0,23
25	LTAC		HALİL							IMR	ME	LTBJ	52,04	0,26
26	LTAC		HALİL								ME	LTBJ	49,77	2,53
27	LTAC		HALİL									LTBJ	48,99	3,31
28	LTAC			KFK		TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,49	0,81
29	LTAC			KFK			NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,49	0,81
30	LTAC			KFK				KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,48	0,82
31	LTAC			KFK					VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,48	0,82
32	LTAC			KFK						IMR	ME	LTBJ	51,48	0,82
33	LTAC			KFK							ME	LTBJ	49,12	3,18
34	LTAC			KFK								LTBJ	48,39	3,91
35	LTAC				KINIK		NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,19	1,11
36	LTAC				KINIK			KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,19	1,11
37	LTAC				KINIK				VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,19	1,11
38	LTAC				KINIK					IMR	ME	LTBJ	51,17	1,13
39	LTAC				KINIK						ME	LTBJ	48,82	3,48
40	LTAC				KINIK							LTBJ	48,09	4,21
41	LTAC					TUMER		KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	50,95	1,35
42	LTAC					TUMER			VAKUM	IMR	ME	LTBJ	50,94	1,36
43	LTAC					TUMER				IMR	ME	LTBJ	50,94	1,36
44	LTAC					TUMER					ME	LTBJ	48,60	3,70
45	LTAC					TUMER						LTBJ	47,86	4,44
46	LTAC						NESET		VAKUM	IMR	ME	LTBJ	50,79	1,51
47	LTAC						NESET			IMR	ME	LTBJ	50,79	1,51
48	LTAC						NESET				ME	LTBJ	48,47	3,83
49	LTAC						NESET					LTBJ	47,72	4,58
50	LTAC							KULAR		IMR	ME	LTBJ	50,62	1,68
51	LTAC							KULAR			ME	LTBJ	48,34	3,96
52	LTAC							KULAR				LTBJ	47,56	4,74
53	LTAC								VAKUM		ME	LTBJ	48,30	4,00
54	LTAC								VAKUM			LTBJ	47,52	4,78
55	LTAC									IMR		LTBJ	49,11	3,19
ORTALAMA													50,26	2,04

Tablo 3.5’de gösterilen 55 senaryo için ortalama zaman kazanımı 2,04 dakikadır. Tablo 3.5’de en verimli rotaya sahip olan 10’nolu senaryo için Ankara-İzmir arası uçuş süresi 47,39 dakika olduğu görülmektedir. Belirtilen varsayım ve kısıtlar çevresinde hesaplanan 10’nolu senaryo için normal rota ile karşılaştırıldığında 4,91 dakika kazanımı söz konusudur.

Ankara-İzmir rotasında Türkiye iç hat uçuşlarında genellikle tercih edilen Boeing 737-800 uçak tipi kullanılmaktadır. Aşağıdaki Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de B738 uçak tipinin rota kaynaklı gecikme sürelerinin dakikada toplam maliyete etkisi (Westminster, 2015), saatlik bakım ve personel maliyetlerine etkisi gösterilmiştir (Cook & Tanner, 2002). Ankara-İzmir rotasında kullanılan B737-800 uçak tipinin senaryoların ortalamasına göre 2,04 dakikalık bir kazanımı söz konusudur. Bu kazanımın uçuş operasyonu toplam maliyetine etkisi uçuş başına yaklaşık 387,27₺’dir. Ayrıca bakım maliyetlerine etkisi yaklaşık 95,28₺, personel maliyetlerine etkisi yaklaşık 61,47₺’dir.

Tablo 3.6: B738 uçak tipi için rota kaynaklı uçuş gecikme sürelerinin toplam maliyete etkisi.

Gecikme süresinin toplam maliyete etkisi									
Gecikme süresi (dk.)	5	15	30	60	90	120	180	240	300
B738	210€	860€	2.430€	8.900€	22.270€	40.660€	55.130€	73.470€	96.870€

Tablo 3.7: Uçuş gecikme sürelerinin bakım maliyetlerine etkisi.

Gecikme süresinin bakım maliyetine etkisi (Saat)			
Senaryolar	Alt senaryo	Orta senaryo	Yüksek senaryo
B738	290 €	620 €	1.160 €

Tablo 3.8: Uçuş gecikme sürelerinin personel maliyetlerine etkisi.

Gecikme süresinin personel maliyetine etkisi (Saat)			
Senaryolar	Alt senaryo	Orta senaryo	Yüksek senaryo
B738	210€	400€	720€

Bu bilgiler doğrultusunda Ankara-İzmir rotasında, hava sahasının esnek kullanımı ve sistematik rota seçimi sayesinde sağlanan zaman kazanımları ile gecikme kaynaklı personel, bakım ve diğer maliyetler daha alt seviyelere çekilecek ayrıca hava sahasında ilave zaman kazanımı sağlayacaktır.

3.2.2.2 Ankara-İzmir arası uçuşların çevresel kazanımları

Bu bölümde hava sahasının esnek kullanıldığı varsayıldığında, geliştirilen karar destek sisteminin önerdiği en kısa yol senaryoları içinden seçilen 55

senaryonun, ‘‘0’’ numaralı satırda gösterilen normal rotaya kıyasla elde edilen çevresel kazanımları hesaplanmıştır.

Tablo 3.9’da senaryoların normal güzergâh olan ESB ==> ANK ==> HALIL ==> KFK ==> KINIK ==> TUMER ==> NESET ==> KULAR ==> VAKUM ==> IMR ==> ME ==> IZM rotasına kıyaslama yapılarak yakıt kaynaklı emisyon kazanımları gösterilmiştir.

Tablo 3.9: Ankara-İzmir arası uçuş senaryolarının emisyon kazanımları.

ROTA													Yakıt Kazanımı (kg)	Kükürt Dioksit (SO ₂) Kazanımı (kg)	Karbonmonoksit (CO) Kazanımı (kg)	Karbondioksit (CO ₂) Kazanımı (kg)	Nitrojen Oksit (NO _x) Kazanımı (kg)
0	LTAC	ANK	HALIL	KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	LTAC		HALIL	KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	1,43	0,00	0,01	4,51	0,02
2	LTAC			KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	43,63	0,04	0,31	137,43	0,48
3	LTAC				KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	60,08	0,06	0,42	189,25	0,66
4	LTAC					TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	72,95	0,07	0,51	229,80	0,80
5	LTAC						NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	80,82	0,08	0,57	254,59	0,89
6	LTAC							KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	90,12	0,09	0,63	283,88	0,99
7	LTAC								VAKUM	IMR	ME	LTBJ	92,26	0,09	0,65	290,63	1,01
8	LTAC									IMR	ME	LTBJ	104,42	0,10	0,73	328,94	1,15
9	LTAC										ME	LTBJ	217,43	0,22	1,52	684,91	2,39
10	LTAC											LTBJ	265,35	0,27	1,86	835,86	2,92
11	LTAC	ANK		KFK	KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	37,91	0,04	0,27	119,41	0,42
12	LTAC	ANK			KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	51,50	0,05	0,36	162,21	0,57
13	LTAC	ANK				TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	62,23	0,06	0,44	196,01	0,68
14	LTAC	ANK					NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	68,66	0,07	0,48	216,29	0,76
15	LTAC	ANK						KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	76,53	0,08	0,54	241,07	0,84
16	LTAC	ANK							VAKUM	IMR	ME	LTBJ	77,96	0,08	0,55	245,57	0,86
17	LTAC	ANK								IMR	ME	LTBJ	87,26	0,09	0,61	274,86	0,96
18	LTAC	ANK									ME	LTBJ	202,41	0,20	1,42	637,59	2,23
19	LTAC	ANK										LTBJ	248,90	0,25	1,74	784,04	2,74
20	LTAC		HALIL		KINIK	TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	5,01	0,01	0,04	15,77	0,06
21	LTAC		HALIL			TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	7,87	0,01	0,06	24,78	0,09
22	LTAC		HALIL				NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	10,01	0,01	0,07	31,54	0,11
23	LTAC		HALIL					KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	12,16	0,01	0,09	38,30	0,13
24	LTAC		HALIL						VAKUM	IMR	ME	LTBJ	12,16	0,01	0,09	38,30	0,13
25	LTAC		HALIL							IMR	ME	LTBJ	14,30	0,01	0,10	45,06	0,16
26	LTAC		HALIL								ME	LTBJ	136,61	0,14	0,96	430,32	1,50
27	LTAC		HALIL									LTBJ	178,81	0,18	1,25	563,25	1,97
28	LTAC			KFK		TUMER	NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	43,63	0,04	0,31	137,43	0,48
29	LTAC			KFK			NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	43,63	0,04	0,31	137,43	0,48
30	LTAC			KFK				KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	44,34	0,04	0,31	139,68	0,49
31	LTAC			KFK					VAKUM	IMR	ME	LTBJ	44,34	0,04	0,31	139,68	0,49
32	LTAC			KFK						IMR	ME	LTBJ	44,34	0,04	0,31	139,68	0,49
33	LTAC			KFK							ME	LTBJ	171,66	0,17	1,20	540,72	1,89
34	LTAC			KFK								LTBJ	210,99	0,21	1,48	664,63	2,32
35	LTAC				KINIK		NESET	KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	60,08	0,06	0,42	189,25	0,66
36	LTAC				KINIK			KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	60,08	0,06	0,42	189,25	0,66
37	LTAC				KINIK				VAKUM	IMR	ME	LTBJ	60,08	0,06	0,42	189,25	0,66
38	LTAC				KINIK					IMR	ME	LTBJ	60,79	0,06	0,43	191,50	0,67
39	LTAC				KINIK						ME	LTBJ	188,11	0,19	1,32	592,53	2,07
40	LTAC				KINIK							LTBJ	227,44	0,23	1,59	716,45	2,50
41	LTAC					TUMER		KULAR	VAKUM	IMR	ME	LTBJ	72,95	0,07	0,51	229,80	0,80
42	LTAC					TUMER			VAKUM	IMR	ME	LTBJ	73,67	0,07	0,52	232,06	0,81
43	LTAC					TUMER				IMR	ME	LTBJ	73,67	0,07	0,52	232,06	0,81
44	LTAC					TUMER					ME	LTBJ	199,55	0,20	1,40	628,58	2,20
45	LTAC					TUMER						LTBJ	239,60	0,24	1,68	754,75	2,64
46	LTAC						NESET		VAKUM	IMR	ME	LTBJ	81,54	0,08	0,57	256,84	0,90
47	LTAC						NESET			IMR	ME	LTBJ	81,54	0,08	0,57	256,84	0,90
48	LTAC						NESET				ME	LTBJ	206,70	0,21	1,45	651,11	2,27
49	LTAC						NESET					LTBJ	247,47	0,25	1,73	779,53	2,72
50	LTAC							KULAR		IMR	ME	LTBJ	90,83	0,09	0,64	286,13	1,00
51	LTAC							KULAR			ME	LTBJ	213,85	0,21	1,50	673,64	2,35
52	LTAC											LTBJ	256,05	0,26	1,79	806,57	2,82
53	LTAC								VAKUM		ME	LTBJ	216,00	0,22	1,51	680,40	2,38
54	LTAC								VAKUM			LTBJ	258,20	0,26	1,81	813,33	2,84
55	LTAC									IMR		LTBJ	172,37	0,17	1,21	542,97	1,90
ORTALAMA													110,22	0,11	0,77	347,20	1,21

Tablo 3.9’da bulunan 55 senaryo için ortalama Karbondioksit (CO₂) kazanımı 347,20 kg dır. En verimli rotaya sahip olan 10’nolu senaryonun normal rotaya kıyasla bir uçuşta: 265,35 kg yakıt tasarrufu sağladığı görülmektedir. Bu bilgi doğrultusunda belirtilen varsayım ve kısıtlar çerçevesinde 265,35 kg jet yakıtı yaklaşık olarak 0,27 kg kükürt dioksit (SO₂), 1,86 kg Karbonmonoksit (CO), 2,92 kg nitrojen oksit (NO_x) ve 835,86 kg karbondioksit (CO₂)’e eşit olduğu hesaplanmıştır. Karbondioksit (CO₂) emisyonunun diğer emisyonlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir.

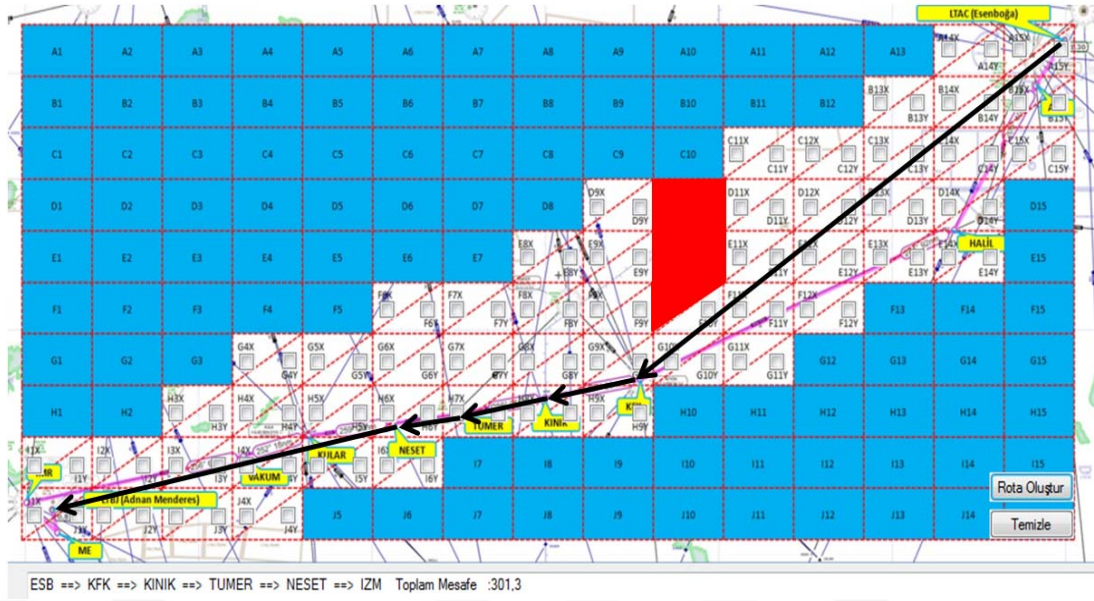
Hava sahasında 10’nolu senaryonun gün boyu uygunluğu varsayıldığında Ankara-İzmir rotasında günlük ortalama 15 uçuş olması günlük yaklaşık 12.538 kg karbondioksit (CO₂) emisyonunun daha az salınacağı değerlendirilmektedir. Bu rakam yıllık yaklaşık olarak 4.576.336 kg karbondioksit (CO₂) emisyonuna eşittir.

3.2.2.3 Ankara-İzmir arası uçuşların kapasite kazanımları

FUA, sistematik yapısı ile hava trafik kontrolörlerine hava sahasını esnek ve dinamik kullanılabilme imkânı vermektedir. Bu sayede uçuş operasyonlarında hava trafik kontrolörleri tarafından daha emniyetli şekilde direk rota verilebilmektedir. Ayrıca FUA kapsamında oluşturulan şartlı rotalar, TSA, TRA sahaları vasıtasıyla hava sahasının gerçek ihtiyaçlara dayalı olarak kullanım kapasitesi artırılmaktadır.

Ankara-İzmir normal uçuş rotası ESB ==> ANK ==> HALIL ==> KFK ==> KINIK ==> TUMER ==> NESET ==> KULAR ==> VAKUM ==> IMR ==> ME ==> IZM noktaları üzerinden bir güzergâh izlemekte olup toplam mesafesi: 330,8 nm olduğu bilinmektedir.

Şekil 3.11’de Ankara-İzmir uçuş rotası için geliştirilen karar destek sisteminin tavsiye ettiği örnek rota gösterilmiştir. Sonraki kısımda bu rotanın normal rotaya kıyasla hava sahası kapasite kazanımı hesaplanacaktır.



Şekil 3.11: Ankara-İzmir arası örnek uygulama.

Hava sahasında kullanıma müsait olmayan alanlar seçildikten sonra örnekte görüldüğü üzere karar destek sistemi tarafından hava trafik kontrolörüne önerilen yeni rota ESB ==> KFK ==> KINIK ==> TUMER ==> NESET ==> IZM ve toplam uçuş mesafesi 301,3 nm olarak gösterilmektedir. Uçuş operasyonu öncesinde ilgili havayolu şirketi Uçuş Planlayıcı (Dispatcher)'ı tarafından planlanan rotaya kıyasla karar destek sisteminin önerdiği uçuş rotası arasında 29,5 nm mesafe farkı mevcuttur. Önerilen uçuş rotası normal rotaya göre 29,5 nm mesafe ve yaklaşık 3,91 dakika kazanımı sağlayacaktır. Hava sahasının müsaitlik durumu aynı şekilde olduğu varsayıldığında ve günlük ortalama 15 Tarifeli (Scheduled) uçuş operasyonu göz önüne alındığında, hava sahasında yaklaşık 58,65 dakika ilave kullanım imkânı oluşmaktadır. Ankara-İzmir arası bir uçuş faaliyeti yaklaşık 50-55 dakika olduğu düşünüldüğünde havayolu şirketine 58,68 dakika zaman kazanımı bu rotada ilave 1 uçuş faaliyeti imkânı daha sunabilmekle beraber ciddi bir ekonomik, çevresel ve kapasite kazanımı da sağlayacaktır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

4.1 Genel Değerlendirme

Bu çalışmada hava sahasının verimsiz kullanılması kaynaklı oluşan ekonomik, çevresel ve kapasite problemlerinden bahsedilmiş olup, bu problemlerin çözümü ve daha alt seviyelere çekilmesi için FUA uygulaması önerilmiştir. Ankara-İzmir uçuş rotasında oluşturulan senaryoların ekonomik, çevresel ve kapasite kazanımları ile bu model doğrulanmıştır. Ayrıca araştırma değişen hava sahası dinamiklerine karşı hava trafik kontrolörleri tarafından verilen kararlarda yoğunlukla sezgisel çözümlerin kullanıldığı görülmüştür. Hava sahasında hava araçlarına rota seçimi konusunda doğru karar verebilmek, gereksiz kayıplarının önüne geçmek ve sağlıklı çözümler sumak adına daha çok bilgisayar odaklı sistematik mekanizmaların olması gerektiği değerlendirilmiş, rota tavsiyesi konusunda sistematik çözümler sunan karar destek sistemlerine ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Bu ihtiyaca çözüm olarak uygulama rotası olarak seçilen Ankara-İzmir güzergahında Dijkstra Algoritması prensibi ile çalışan ve en kısa yolun seçimi konusunda en sağlıklı kararı veren bir karar destek sistemi geliştirilerek bu rotada hava sahası kapasitesine önemli ölçüde katkı sağlayacağı değerlendirilen 55 senaryo üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Sonrasında senaryoların sonuçları normal rotaya kıyaslanarak ekonomik, çevresel ve kapasite kazanımları yorumlanmış, karar destek sisteminin hava sahası verimliliğine olan etkisi gösterilmiştir.

4.2 Hava Sahasının Esnek Kullanımına Yönelik Değerlendirmeler

Bu çalışma ile FUA'nın hava sahası kapasite kullanım oranı iyileştiren ve hava trafik yönetim performansını arttıran bir yapı olduğu görülmüştür. FUA, herhangi bir

geçici hava sahası yapısına dayalı olarak, daha fazla hava sahası kapasitesi ve uçuş verimliliği elde etmenin bir işlevi olarak hava sahası kullanımını daha ileri seviyeye çıkarmayı amaçladığı değerlendirilmiştir. Ayrıca FUA, esnek hava sahası yapılarını Stratejik, Taktik Öncesi ve Taktik seviyelerde planlayarak hava sahasını belirli bir zaman periyodu içerisinde ve hava sahası hacmi dâhilinde gerçek kullanıma dayandırılmasını sağlayan bir yapı olması nedeniyle hava trafik yönetimi için büyük öneme sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Hava trafik kontrol hizmetleri, havaalanında bir hava aracına verilecek en temel hizmetten, hava sahalarının sorumluluğuna, küresel haberleşme ve uluslararası iş birliğine kadar en üst düzeyde hizmet veren bilgisayar merkezi bir organizasyon yapısına sahiptir. Bu yapı uçuş emniyetini üst seviyeye çıkararak uçuş operasyonlarında ortaya çıkan maliyetleri minimum seviyeye indirmeyi amaçlar. Hava trafik kontrol merkezleri, FUA ile birlikte hava sahası kapasite limitlerini artıracığı, daha emniyetli ve verimli uçuş operasyonları gerçekleştireceği düşünülmektedir. Ayrıca FUA ile Türk hava sahası kapasite problemlerinin daha alt seviyelere indirgeneceği, hava araçlarının çevresel etkilerinin azaltılacağı ve hava operasyonlarında önemli ölçüde tasarruflar sağlanacağı değerlendirilmiştir.

4.2.1 Ekonomik Etkisinin Değerlendirilmesi

FUA'yı içerisinde barındıran SESAR projesi 2020 yılında tamamlanması ile Avrupa hava sahasının tek olarak yönetilmesi planlanmaktadır. Bu sayede hava trafik yönetimi verimliliği adına %8-16 arasında yakıt tasarrufu sağlanacağı tahmin edilmektedir (Eurocontrol N. M., 2007).

Bu çalışmada FUA uygulaması, Ankara-İzmir uçuş rotasında oluşturulan senaryolar ile test edilmiş, sonrasında senaryo sonuçları değerlendirilerek hava sahasında ciddi ekonomik kazanımlar elde edildiği görülmüştür. FUA'nın ekonomik etkisinin değerlendirilmesi için geliştirilen karar destek sisteminin önerdiği en kısa yol senaryoları içinden seçilen 55 senaryonun normal rotaya kıyasla mesafe, zaman ve yakıt kazanımları hesaplanmış, sonrasında yorumlanmıştır. Bu senaryoların ortalaması alınarak Ankara-İzmir rotasında uçuş başına 110,22 kg yakıt tasarrufu ile yaklaşık 252,12\$, 15.41 nm mesafe ve 2,04 dk. zaman tasarrufu sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Bu sonuç çerçevesinde FUA'nın aktif olarak kullanılması ve

karar destek sistemleri vasıtasıyla doğru rota seçimi ile ülke ekonomisinde ciddi kazanımlar sağlanacağı değerlendirilmektedir.

4.2.2 Çevresel Etkisinin Değerlendirilmesi

Eurocontrol bölgesi hava sahasında 1 nm mesafe tasarrufu yıllık yaklaşık 4 milyon nm mesafeye, 24.000 ton yakıt tasarrufuna, 80.000 ton CO₂'nin daha az salınmasına ve 20 milyon Euro'ya eşit olduğu tahmin edilmektedir (Flight Efficiency Plan, 2008).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) raporuna göre havacılıkta kullanılan yakıtın %18'den fazlası uçuş operasyonlarındaki verimsizlik sonucunda boşa harcanmaktadır (IPCC, 1999). Bu rakam yılda 100 milyon tondan fazla karbondioksit'e eşit olduğu ve havacılık emisyonların %6-12'sinin hava sahası rota ağındaki verimsizliklerden kaynaklı olduğu bilinmektedir (IPCC, 1999). Bu çalışmada FUA çerçevesinde oluşturulan 55 senaryonun çevresel kazanımları incelendiğinde, FUA uygulaması ile Ankara-İzmir rotasında ortalama uçuş başına 0,11 kg kükürt dioksit (SO₂), 0,77 kg karbonmonoksit (CO), 1,21 kg nitrojen oksit (NO_x) ve 347,20 kg karbondioksit (CO₂) kazanımı sağlandığı sonucuna varılmıştır.

4.2.3 Kapasite Etkisinin Değerlendirilmesi

Havayolu şirketleri toplam işletme giderleri için dakikada yaklaşık 100 USD harcadığı tahmin edilmektedir. IATA hava trafik servis sağlayıcıları, hava trafik kontrolörleri, havayolu şirketleri ve diğer önemli hava sahası kullanıcılarıyla daha iyi hava sahası yönetimi sayesinde uçuş başına 1 dakika tasarruf ettiğinde, toplam sanayi işletme maliyetlerini yılda yaklaşık 1 milyar dolar azaltabileceği tahmin edilmektedir (IATA, Fuel Conservation). Bu çalışmada FUA çerçevesinde oluşturulan 55 senaryonun zaman kazanımları incelendiğinde, ortalama uçuş başına 2,04 dk. zaman kazanımı sağlandığı ve normal uçuş rotasında 52,30 dk. olan uçuş zamanının 50,26 dakikaya indiği görülmüştür.

4.3 Ankara-İzmir Rotası İçin Oluşturulan Karar Destek Sistemi Uygulamasına Yönelik Değerlendirmeler

Hava trafik kontrolörleri hava araçlarının rota tavsiyesinde bulunurken daha çok sezgisel yöntemlerini kullandıkları gözlemlenmiştir. Bu durum uçuş faaliyeti için hava sahası dinamiği içerisindeki en verimli rotanın seçimi konusunda her zaman doğru ve sağlıklı sonucu vermemektedir. Aynı zamanda bu yaklaşım ekonomik, çevresel ve kapasite kayıplarına da yol açmaktadır. Bu sebeple yapılan çalışmada en kısa ve en verimli rotanın seçimi konusunda sezgisel yöntemlerin kullanılması yerine probleme sistematik bir çözüm sunularak en kısa rotaya yol gösterici nitelikte olan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu sayede ekonomik, çevresel ve kapasite kayıplarının önüne geçileceği değerlendirilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hava taşımacılığının ekonomik, sosyal ve çevresel etkisi üzerine çalışmalar ve tartışmalar devam etmektedir. Son dönemde iklim değişikliği ve diğer çevresel konular üzerindeki çalışmalar hava taşımacılığına artan büyük talep karşısında ve hava operasyonları sayısının ciddi artışı ile beraber hız kazanmıştır. Özellikle havacılık emisyonları, iklim değişikliği, hava kirliliği, hava taşımacılığının önemli çevresel problemleridir. Hava taşımacılığının çevresel etkilerini azaltmaya yönelik ülkeler emisyon ücretleri, yakıt vergileri, zorunlu havalimanı gürültü yalıtımları ve benzer önlemler almaya başlamıştır. Dünyada ve ülkemizde yapılan girişimlerin havacılık endüstrisinin büyümesine oranla yetersiz oluşu sebebiyle kısa orta ve uzun vadede hava taşımacılığının çevresel etkisinin yönetimi ve etkin küresel iklim politikalarının belirlenmesi adına özellikle hava trafik yönetim sistemlerinde iyileştirmelerin yapılması ve verimli bir esnek hava sahası ortamının oluşturulması gerekmektedir.

Sonuç olarak ülkemizde FUA'nın tam anlamıyla kullanımının sağlanması ve sağlıklı rota seçimi konusunda karar destek sistemlerinden faydalanılması ile FUA'nın ekonomik, çevresel, kapasite etkisi ve diğer etkileriyle beraber Türk hava sahasında önemli kazanımlar sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada FUA'ya yönelik elde edilen sonuçlar ve Ankara-İzmir güzergâhı için geliştirilen karar destek sistemi örnek alınarak, gelecek dönemde yapılacak yeni çalışmalar için bu çalışmanın farklı güzergahlarda uygulanması ve geliştirilmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

ACI. (2015). World Airport Traffic Report (2014). Montreal.

Ahuja, R. K., Mehlhorn, K., Orlin, J., & Tarjan, R. E. (1990). Faster algorithms for the shortest path problem. *Journal of the ACM (JACM)*, 213-223.

Airbus. (2002). Flight operations support and line assistance. Airbus.

Alochukwu, A. S., Adewumi, A., & Ali, M. (2016, January 11). On The Air Traffic Flow Management Rerouting Problem. www.wits.ac.za/. adresinden alındı

Altus, S. (2010). Dynamic cost index management in flight planning and replanning. Airline Operations Study Group Meeting. Brisbane: AGIFORS.

Andreussi, A., Bianco, L., & Ricciardelli, S. (1981). A simulation model for aircraft sequencing in the near terminal area. *European Journal of Operational Research*, 345-354.

Arguello, M. F. (1998). Framework for exact solutions and heuristics for approximate solutions to airlines irregular operations control aircraft routing problem.

Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 237-276.

Attwooll, V. (1977). Some Mathematical Aspects of Air Traffic Systems. *The Journal of Navigation*, 394-414.

Bahgat, G. (2014). Global Energy Outlook: Opportunities and Challenges. Washington: National Defense University.

Ball, M., Cynthia, B., Dresner, M., Hansen, M., Neels, K., Odoni, A., Trani, A. (2010). Total Delay Impact Study. Aviation Operations Research.

- Bellman, R. E. (1958). On a Routing Problem. *Quar J Math*, 87-90.
- Bianco, L., Bieli, M., Cini, M., Gipponi, L., & Ricciardelli, S. (1981). New Approaches to Air Traffic Control and Management. *Transport Research for Social and Economic Progress. Proceedings of the Second World Conference on Transport Research*. London.
- Blackwood, P. (2012). Understanding Flight Delays at U.S. Airports in 2010 Using Chicago O'Hare International Airport as a Case Study. Western Michigan University.
- Bows, A., Anderson, K., & Peeters, P. (2009). *Air Transport, Climate Change and Tourism*. Routledge.
- Butler, J. (1987). An air traffic-control (ATC) simulator for the evaluation of flow management strategies. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Aeronautics and Astronautics, Flight Transportation Laboratory.
- Cairns, S., & Newson, C. (2006). *Predict and decide Aviation, climate change*. Oxford: Environmental Change Institute University of Oxford.
- Carlier, S., Lépinay, I. d., Hustache, J.-C., & Jelinek, F. (2007). environmental impact of air traffic flow management delays. Paris: Eurocontrol Experimental Centre.
- Cook, A. (2011). European airline delay cost reference values. Brussels: Department of Transport Studies University of Westminster.
- Cook, A., & Tanner, G. (2002). Airline delay cost reference values Final Report. University of Westminster.
- Cordeau, J.-F., Stojković, G., Soumis, F., & Desrosiers, J. (2001). Benders Decomposition for Simultaneous Aircraft Routing and Crew Scheduling. *Transportation Science*, 375-388.
- Çeçen, R. K., & Çetek, C. (2017). En-Route Airspace Capacity And Traffic Flow Enhancement Using Genetic Algorithms. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*.
- Daley, B. (2010). *Air Transport and Environment*. Routledge.
- Delta. (2014). Annual financial report. Delta Airlines.

DHMI. (2006). Tek Avrupa Seması (Single European Sky) SES Durum Raporu. Hava Trafik Müdürlüğü. Ankara: DHMI Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı.

Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik, s. 269-271.

Doersam, M., & Popovich, A. (2016). Supporting Airline Industry Achievement of Sustained Financial Health. IATA Financial Committee.

Doran, J. (2008, May 25). Fuel costs kill off a US airline. theguardian: <https://www.theguardian.com/business/2008/may/25/theairlineindustry.usa> adresinden alındı

EADE, J. (1973). Military Aviation and Air Traffic Control System Planning. IEEE, 528-529.

EC. (2005). Directive on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. Brussels.

EIA. (2017). Jet Fuel Price. Energy Information Administration: www.eia.gov/petroleum/ adresinden alındı.

Eurocontrol. (2006). 8.33 kHz Expansion Programme. Edition 0.3.

Eurocontrol. (2007). High performing aviation for Europe. Brussels: Eurocontrol, Network Manager.

Eurocontrol. (2009). Specification for the application of the Flexible Use of Airspace.

Eurocontrol. (2010). The cost of passenger delay to airlines in Europe. Brussels: Eurocontrol Performance Review Unit.

Eurocontrol. (2014). Flight delays of the busiest 20 airports. Brussels: Eurocontrol, Network Manager.

Eurocontrol. (2014). Operational ANS Performance at Airports. Brussels: Eurocontrol, Network Manager.

Eurocontrol. (2015, June). European Network Operations Plan 2013-2015. <https://www.eurocontrol.int/>:
<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/ernip-part-4-rad-users-manual.pdf> adresinden alındı.

Eurocontrol. (2016). All-Causes Delay to Air Transport in Europe. Eurocontrol Network Manager.

Eurocontrol. (2016). Coda Digest. Eurocontrol Network Manager.

Eurocontrol. (2017). Airport Collaborative Decision Making. [www.eurocontrol.int: http://www.eurocontrol.int/articles/airport-collaborative-decision-making-cdm](http://www.eurocontrol.int/articles/airport-collaborative-decision-making-cdm) adresinden alındı.

Eyers, C., Norman, P., & Middel, J. (2005). Global Aviation Emissions Inventories for 2002 and 2025. Köln: Institute of Propulsion Technology.

FAA. (2003, September 22). High Altitude Airspace Redesign Phase 1. www.faa.gov:
https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/23141 adresinden alındı.

FAA. (2009, October 16). Department of Transportation Part III. www.faa.gov:
https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/production_approvals/14cfr_amendments/media/FAA-2006-25877.pdf adresinden alındı.

FAA. (2015). A-CDM Conference. Lima: The Federal Aviation Administration (FAA). (2008). Flight Efficiency Plan. IATA/Eurocontrol/CANSO.

Golden, B. (1976). Shortest-Path Algorithms. Maryland: Institute for Operations Research and the Management Sciences.

Gössling, S., & Upham, P. (2009). Climate Change and Aviation Issues, Challenges and Solutions. London: Earthscan.

Grimme, W. (2004). Measuring the Long-term Sustainability of Air Transport An Assessment of the Global Airline Fleet and Its CO₂ Emissions Up to the Year 2050. Strategic Research Agenda. Brussels: Association for European Transport.

Grover, J. (1990). Airline Route Planning. Science Press Blackwell.

Haacker, J. (2006). Fuel efficiency campaign. IATA Fuel Efficiency Campaign. Montreal: IATA.

Hoffman, E. (1993). Hoffman Contribution to Aircraft Performance Modeling for ATC use. EEC Report No.258.

Houghton, J. (2004). Global warming: the complete briefing (4rd edition). Cambridge: Cambridge University Press.

Hume, K., & Watson, A. (2003). The human health impacts of aviation. (P. Upham, Dü.) London: Earthscan.

IATA. (2014). Airline Cost Management Group.

IATA. (2017). Fuel Conservation. August 13, 2017 tarihinde <http://www.iata.org:80/http://www.iata.org/whatwedo/ops-infra/fuel/Pages/fuel-conservation.aspx> adresinden alındı.

IATA. (2017, July). Jet Fuel Price Development. 2017 tarihinde www.iata.org:80/http://www.iata.org/publications/economics/fuel-monitor/Pages/price-development.aspx adresinden alındı

ICAO. (2003, December 27). Annex 11 - Air Traffic Services. www.icao.int:80/www.icao.int/mid.gov.kz/images/stories/contents/an11_en.pdf adresinden alındı.

ICAO. (2011). Global and Regional 20 Year Forecasts. Montreal: International Civil Aviation Organization.

ICAO. (2017). Airline Operating Costs and Productivity. Tehran: ICAO.

IPCC. (1999). Aviation and the Global Atmosphere. Geneva: IPCC.

Janić, M., & Tošić, V. (1991). En Route Sector Capacity Model. Transportation Science, 299-307.

Lan, S., Clarke, J.-P., & Barnhart, C. (2004). Planning for Robust Airline Operations: Optimizing Aircraft Routings and Flight Departure Times to Minimize Passenger Disruptions. Transportation Science, 15-28.

Learmount, D. (2007). Single Sly is the holy grail. Flight International, 13.

Lee, D., W.Fahey, D., M.Forster, P., J.Newton, P., C.N.Wit, R., L.Lim, L.,... Sausen, R. (2009). Aviation and global climate change in the 21st century. Atmospheric Environment, 3520-3537.

Leon, M. (2015, November 10). ICAO Doc 7030. www.icao.int:80/https://www.icao.int/airnavigation/Lists/T_Documents/DispForm.aspx?ID=43 adresinden alındı.

Liu, F. (2016). Sustainable transport at the heart of the Sustainable Development Goals (SDGs). Global Sustainable Transport Conference. Ashgabat: ICAO.

Metron, A. (2017). Air Traffic Flow Management (ATFM) / Collaborative Decision Making (CDM). <http://www.metronaviation.com:8080/air-traffic-flow-management/> adresinden alındı.

Milan, J. (1997). The flow management problem in air traffic control: a model of assigning priorities for landings at a congested airport. Transportation Planning and Technology.

Morgan, K. (1957). IRE Transactions on Aeronautical and Navigational Electronics.

Morrison, J., Yutko, B., & Hansman, R. (2011). Cambridge: MIT International Center for Air Transportation (ICAT) Department of Aeronautics & Astronautics Massachusetts Institute of Technology.

Morrison, J., Yutko, B., & Hansman, R. (2014). Transitioning the U.S. Air Transportation System to Higher Fuel Costs. Journal of the Transportation.

Murillo, A., & Carlier, S. (2006). Flight Prioritisation Prototype. Massy: Eurocontrol.

Padilla, C. E. (1996). Optimizing Jet Transport Efficiency. McGraw Hill.

Schultz, T. J. (1998). Synthesis of social surveys on noise annoyance. The Journal of the Acoustical Society of America.

SHGM. (2014, Nisan 18). Hava Sahasının Esnek Kullanımı Yönetmeliği (SHY-FUA). Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı ve Milli Savunma Bakanlığı.

SHGM. (2015). Hava Sahası Yönetimi El Kitabı (1. Baskı b.). (E. Ö. Dince, Dü.) Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık.

SHGM. (2017). Stratejik Planı. SGHM.

Simpson, R., Odoni, A., & Roche, F. (1986). Potential impacts of advanced technologies on the ATC capacity of high-density terminal areas. Cambridge: Langley Research Center.

- Stansfeld, S., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Öhrström, E., Hygge, S. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. In *The Lancet*, 49.
- Sternberg, A., Soares, J., Carvalho, D., & Ogasawara, E. (2017). A Review on Flight Delay Prediction. *Computers and Society*.
- Stroup, J. S., & Wollmer, R. D. (1992). A Fuel Management Model for the Airline Industry. *Operations Research*, 229-237.
- Suchkov, A. (2003). Aircraft Performance Modeling for Air Traffic Management Applications. *Europe Seminar on ATM R&D*.
- Susannah Grice, Sally L.Cooke, John R.Stedman, Tony J.Bush, Keith J.Vincent, Martyn Hann, Andrew J.Kent (2009). Air quality modelling for annual reporting. Didcot: AEA.
- Türk Arama ve Kurtarma Yönetmeliği. (2001, Aralık 12). <http://www.mevzuat.gov.tr:>
<http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/3.5.20013275.pdf> adresinden alındı.
- U.S. Airlines operating expenses increase net profits. (2017, February 17). www.eia.gov: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=30012> adresinden alındı.
- U.S. Passenger Carrier Delay Costs. (2016). www.airlines.org:
<http://airlines.org/dataset/per-minute-cost-of-delays-to-u-s-airlines/> adresinden alındı.
- US DOT form 41 financial reports. (2012). US Department of Transportation.
- Uslu, S., & Cavcar, A. (2002). Havayolu İşletmelerinde Bir Maliyet Unsuru: Avrupa Hava Sahası'nda Hava Trafik Yol Ücretleri. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 81.
- W.Drake, J. (202). Social, political and economic constraints on airline fuel optimization. *Transportation Research*, 443-449.
- Wandeler, Y. D. (2014). Building the delay-analysis system for Europe. ICAO Business Class Symposium (s. 5-26). Montréal: Eurocontrol.
- Westminster, U. o. (2015). The cost of passenger delay to airlines in Europe. University of Westminster.

Ziliaskopoulos, A., Kotzinos, D., & Mahmassani, H. S. (1993, January). Transportation Research Record, s. 94.

Ziliaskopoulos, A., Kotzinos, D., & S.Mahmassani, H. (1997, April). Design and implementation of parallel time-dependent least time path algorithms for Intelligent Transportation Systems. Transportation Research.



EKLER

1. Ek-A: Ankara-İzmir Arası Günlük Tarifeli Uçuş Çizelgesi.....	111
---	-----



Ek-A: Ankara-İzmir Arası Günlük Tarifeli Uçuş Çizelgesi

Tablo A.1: Ankara-İzmir arası günlük tarifeli uçuş çizelgesi

	HAVAYOLU	NERDEN	NEREYE	KALKIŞ ZAMANI	İNİŞ ZAMANI
1		ESB	ADB	06:00	07:15
2		ESB	ADB	07:35	08:50
3		ESB	ADB	08:15	09:30
4		ESB	ADB	10:15	11:30
5		ESB	ADB	12:10	13:25
6		ESB	ADB	12:15	13:30
7		ESB	ADB	14:10	15:25
8		ESB	ADB	16:00	17:15
9		ESB	ADB	16:05	17:20
10		ESB	ADB	17:00	18:15
11		ESB	ADB	18:15	19:30
12		ESB	ADB	19:20	20:35
13		ESB	ADB	19:50	21:05
14		ESB	ADB	21:35	22:50
15		ESB	ADB	22:50	00:05

Ankara-İzmir rotasında uçuş sayısı dönemsel olarak değişkenlik göstermekte olup, tarifeli (Scheduled) uçuşlar için ortalama değer olan 25.11.2017 tarihli çizelgede gösterilen 15 uçuş değeri esas alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet KÖKHAN
Uyruğu : T.C.
E-Posta Adresi : ahmetkokhan@gmail.com
İletişim (Telefon) : 0542 391 2541
Web Sitesi : www.ahmetkokhan.com

EĞİTİM

Lisans : Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi, 2012
Yüksek Lisans : Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Havacılık Yönetimi
Yüksek Lisans Programı, 2017

MESLEKİ DENEYİM

2008 – Devam Türk Hava Kuvvetleri (Türkiye Hava Trafik Kontrol Merkezi
Esenboğa / ANKARA)