



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TÜRK HAVA SAHASININ ESNEK
KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mustafa GÜLEÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa GÜLEÇ tarafından hazırlanan “TÜRK HAVA SAHASININ ESNEK KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması 18/11/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr.Öğr.Üyesi. Yakup ATASAGUN

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Kemal ALAYKIRAN

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Bilal ERVURAL

İmza

.....

.....

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mustafa GÜLEÇ

Tarih: 18/11/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRK HAVA SAHASININ ESNEK KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mustafa GÜLEÇ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Kemal ALAYKIRAN

2024, 71 Sayfa

Jüri

Dr.Öğr.Üyesi Kemal ALAYKIRAN

Dr.Öğr.Üyesi Yakup ATASAGUN

Dr.Öğr.Üyesi Bilal ERVURAL

İnsanlar günümüzde hava taşımacılığını eski zamanlara oranla daha çok tercih eder hale geldiler. Çünkü zamandan ve mekândan tasarruf insanlar için gittikçe önem arz etmeye başlamıştır. Gelişen havacılık sektörü artan hava trafiği yoğunluğu beraberinde bazı sorunlar getirmiştir. Bunların en başında hava sahası yoğunluğu ve sivil-asker uçuşların hava sahasını katmanlara ayırıp tahdit oluşturmasıdır. Bu noktada hava sahasının esnek kullanımı karşımıza çıkmaktadır. Hava sahasının esnek kullanımı, sürekli olarak tamamen sivil veya askeri hava sahası olarak belirlenmek yerine, sivil ve askeri hava sahasının belirli süreler için etkinleştirilmesini sağlanması durumudur. Aktif hava sahası kullanıcıları olmayan uçuş operatörleri, yön değiştirerek bunlardan kaçınırlar, bu da genellikle planlanandan daha fazla mil ve çevre üzerinde ek olumsuz etki ile sonuçlanır. Hava trafiği COVID-19 pandemisi öncesi seviyelere dönerken, hava sahasının esnek kullanımı ile 24 saatten daha kısa bir sürede hava sahasını etkinleştirmesinden kaynaklanan gelişmeleri gözlemek bu sürecin bir parçası olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Esnek Hava Sahası, Emniyet, Güvenlik, Hava Trafik Yönetimi, Hava Trafik Kontrol, Emniyet, Tek Avrupa Sahası, Optimizasyon

ABSTRACT

MS THESIS

EVALUATION OF FLEXIBLE USE OF TURKISH AIRSPACE

Mustafa GÜLEÇ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN

2024, 71 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN

Assist. Prof. Dr. Yakup ATASAGUN

Assist. Prof. Dr. Bilal ERVURAL

People today prefer air transportation more than in the past. Because saving time and space has become increasingly important for people. The developing aviation sector has brought with it some problems such as increasing air traffic density. The most important of these is the airspace density and the fact that civil-military flights divide the airspace into layers and create restrictions. At this point, we encounter the flexible use of airspace. Flexible use of airspace is the situation of activating civil and military airspace for certain periods, instead of constantly determining it as completely civil or military airspace. Flight operators who are not active airspace users avoid them by changing direction, which usually results in more miles than planned and additional negative impact on the environment. While air traffic returns to pre-COVID-19 pandemic levels, observing the developments resulting from the flexible use of airspace and activating the airspace in less than 24 hours will be a part of this process.

Keywords: Air Traffic Control, Air Traffic Management, Flexible Use of Airspace, Single European Sky,

ÖNSÖZ

Hava sahasının ortak amaçlar doğrultusunda verimli bir şekilde kullanılması ile endüstri mühendisliği optimizasyon yöntemlerinin harmanlandığı bu yüksek lisans tezi içerisinde sabit olmayan belirsiz girdiler olmasına rağmen bana güvenen, beni destekleyen, gerektiğinde yol gösteren başta danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Kemal ALAYKIRAN olmak üzere annem Ayşe GÜLEÇ, kardeşlerim Hakan ve Fatma Zehra GÜLEÇ'e şükranlarımı sunarım.

Çalışma sürecinde inancımın kırıldığı her an bana manevi desteğini esirgemeyen değerli eşim Ebru GÜLEÇ'e ithafen...

Mustafa GÜLEÇ
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| ÖNSÖZ | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| KISALTMALAR..... | ix |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Hava Sahasında Söz Sahibi Olmak | 2 |
| 1.2. Avrupa Hava Sahası ve SES..... | 4 |
| 1.2.2. Tek Avrupa Hava Sahası (SES) Girişimi | 5 |
| 1.3. Esnek Hava Sahası Kullanımı (FUA) | 6 |
| 1.3.1. Stratejik Ön Planlama Aşaması | 9 |
| 1.3.2. Taktik Hava Sahası Yönetimi Aşaması..... | 10 |
| 1.3.3. Operasyon Sonrası Değerlendirme Aşaması | 11 |
| 1.4. Hava Trafik Yönetimi | 12 |
| 1.4.1.Hava Trafik Kontrol Hizmetleri | 16 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 18 |
| 2.1. Kaynak Paylaşımı Teorisi | 18 |
| 2.2. Optimizasyon Teorisi..... | 18 |
| 2.3. Dinamik Sistem Teorisi | 19 |
| 2.4. Ekonomik ve Maliyet Fayda Teorisi | 19 |
| 2.5. Hava Trafik Yönetimi ve Doğrusal Programlama (LP)..... | 20 |
| 2.6. Hava Trafik Akış Yönetimi Stratejileri..... | 26 |
| 2.7. Rota Optimizasyonu | 28 |
| 2.7.1. Rota Planlanmasında Kullanılan Matematiksel Yöntemler | 29 |
| 2.8. Hava Trafik Yönetimi için Simülasyon Modelleri | 30 |
| 2.9. Esnek Hava Sahası ve Türk Hava Sahası Yönetimi | 31 |
| 2.9.1. Mevcut Türk Hava Sahası Yönetim Yapısı..... | 32 |
| 2.9.2. Türkiye'de Esnek Hava Sahasının Entegrasyonu | 33 |
| 2.9.3. Türk Hava Sahası Yönetimi için Gelecek Beklentileri | 34 |
| 2.10. Sivil ve Askeri Kullanımı Arasındaki Denge | 35 |
| 2.10.1. Mevcut Durumun Zorlukları | 36 |
| 3. EKONOMİK VE ÇEVRESEL DEĞERLENDİRME..... | 37 |
| 3.1. Esnek Hava Sahasının Mekanizmaları | 38 |
| 3.2. Esnek Hava Sahası Uygulamalarının Faydaları | 39 |
| 3.3. Havacılıkta Yakıt Tüketimi Analizi..... | 40 |
| 3.4. Esnek Hava Sahasının Yakıt Tüketimi Üzerindeki Etkisi | 41 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5. Gelecek Beklentileri ve Düzenleyici Politika Zorlukları..... | 42 |
| 3.6. Artan Yakıt Tüketiminin Çevresel Etkisi..... | 45 |
| 4. SWOT ANALİZİ..... | 48 |
| 4.1. SWOT Analizinin Bileşenleri | 49 |
| 4.1.1. Güçlü Yönler (STRENGTHS)..... | 49 |
| 4.1.2. Zayıf Yönler (WEAKNESSES) | 50 |
| 4.1.3. Fırsatlar (OPPORTUNITIES) | 50 |
| 4.1.4. Tehditler (THREATS) | 51 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 53 |
| 6. KAYNAKLAR..... | 57 |



KISALTMALAR

- ACC: Area Control Center- Saha Kontrol Merkezi
- AIP: Aeronautical Information Publication- Havacılık Enformasyon Yayını
- AIS: Aeronautical Information Services- Havacılık Bilgi Hizmetleri
- AMC: Air Management Cell- Hava Yönetim Hücreleri
- ANSP: Air Navigation Service Provider- Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı
- ASM: Airspace Management- Hava Sahası Yönetimi
- ATC: Air Traffic Control- Hava Trafik Kontrol
- ATFM: Air Traffic Flow Management- Hava Trafik Akış Yönetimi
- ATM: Air Traffic Management- Hava Trafik Yönetimi
- ATS: Air Traffic Services- Hava Trafik Hizmetleri
- CATMT: Collaborative Air Traffic Management Technologies -İşbirlikçi Hava Trafik Yönetim Teknolojileri
- CDR: Conditional Route- Şartlı Rota
- CNS: Communication, Navigation, Surveillance- iletişim, seyrüsefer, gözetim
- CNS/ATM: Communication, Navigation, Surveillance /Air Traffic Management iletişim, seyrüsefer, gözetim/ hava trafik yönetimi
- CRM: Crew Resource Management- Ekip Kaynak Yönetimi
- DHMI: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
- ECAC: European Civil Aviation Conference- Avrupa Sivil Havacılık Konferansı
- EUROCONTROL: European Organization for the Safety of Air Navigation- Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü
- FAA: Federal Aviation Administration- Federal Havacılık Dairesi
- FANS: Future Air Navigation Systems- Geleceğin Hava Seyrüsefer Sistemleri
- FIR: Flight Information Region- Uçuş Bilgi Bölgesi
- FUA: Flexible Use of Airspace- Hava Sahasının Esnek Kullanımı
- GAT: General Air Traffic- Genel Hava Trafiği
- ICAO: International Civil Aviation Organization- Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu
- IMC: Instrument Meteorological Conditions- Aletli Meteorolojik Şartlar
- JUA: Joint Use of Airspace- Hava Sahasının Ortak Kullanımı
- MAP: Military Airport Program- Askeri Havaalanı Programı

MET: Meteorological Information Services- Meteorolojik Bilgi Hizmetleri
MTMA: Military Terminal Control Area- Askeri Terminal Kontrol Sahası
NextGen: Next Generation Air Transportation System- Gelecek Nesil Hava Ulaşım Sistemi
NVS: The National Airspace System Voice System- Ulusal Hava Sahası Sistemi Ses Sistemi
OAT: Operational Air Traffic- Operasyonel Hava Trafiği
PBN: Performance Based Navigation- Performans Tabanlı Seyrüsefer
RCC: Rescue Coordination Center- Kurtarma Koordinasyon Merkezi
RNP: Required Navigation Performance- Asgari Seyrüsefer Performansı
SES: Single European Sky- Tek Avrupa Hava Sahası
SESAR: The Single European Sky ATM Research- Tek Avrupa Hava Sahası ATM Araştırması
SHGM: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SSR: Secondary Surveillance Radar- İkincil Takip Radarı
SWIM: System Wide Information Management- Tüm Sistem Geneli Bilgi Yönetimi
TAA: Temporary Airspace Allocation- Hava Sahası Tahsisi
THY: Türk Hava Yolları
TMA: Terminal Management Area- Terminal Yönetim Sahası
TRA: Temporary Reserved Area- Geçici Ayırılmış Saha
TRM: Team Resource Management- Takım Kaynak Yönetimi
TSA: Temporary Segregated Area- Geçici Bölümlendirilmiş Sahadır
VHF: Very High Frequency- Çok Yüksek Frekans
VMC: Visual Meteorological Conditions- Görerek Meteorolojik Şartlar

1. GİRİŞ

Günümüz devletlerin bir bileşeni olan ulusal egemenlik kavramı, 16. yüzyılda meydana gelmiştir. 20. yüzyılda kara egemenliğine hava egemenliği de eklenmiştir. Bu durum 18. yüzyılın sonlarında ortaya çıkan ulus devletlerinin kara ve karasuları üzerinde hava sahalarında söz sahibi olma konusunu meydana getirmiştir. Sivil ve askeri uçaklar arasında ayırım yapmaya ilişkin bu hava sahasında söz sahibi olma hakkının, 20. yüzyılın sonlarından bu yana dünyada hava sahalarında söz sahibi olmak isteyen devletlerin oynadığı yeni rol üzerinde ve kanunlar çerçevesinde dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Devletlerin yeni amacı ve üstlendikleri sorumluluk, alınan kararların ulusal konseylerden geçen uluslararası rotalar aracılığıyla uygulanmasını sağlamaktır. Avrupa Birliği (AB), Maastricht Antlaşması ile uluslararası statüde giden havayolunu açmış ve yeni araç, yöntemlerle politikaların uygulanmasındaki engelleri aşmıştır. AB, Avrupa hava sahasının bütünlüğünü istiyor ve Türkiye de dahil olmak üzere kendi ilgi alanlarındaki devletlerin kendi içinde ve birbirleriyle sivil-asker iş birliği içinde olmasını istiyor; bu tezde uygulanan politikalar neticesinde ülkemizde gerçekliği üzerinde durulacak ve cevap aranacaktır. Amaç mevcut hava sahası politikaların nasıl oluşturulduğunu ve Türkiye’de bu politikaların uygulanabilirlik durumunu matematiksel modeller yardımı ile incelemektir (Yücel,2021).

İnsanlar günlük yaşamlarında ya kendi arzularından dolayı ya da mal ve hizmet taşımacılığında zaman tasarrufu sağlayan zorunluluktan dolayı havayolu ulaşımını kullanmaktadırlar. Savaş durumu olmadığı zamanlarda artan talebi karşılamak için hava taşımacılığı iki kategoriye ayrılmaktadır. Bunlardan biri, uçakların kalkış ve inişindeki hava durumudur. Bir diğeri ise devletlerin sahip oldukları hava sahaları üzerinde söz sahibi olma meselesidir. Günümüzde ülkeler güvenlikleri için kendi hava sahalarının kullanımını sınırlandırmıştır. Zaman gecikmelerine neden olan iki ana faktör ise, havaalanı yönetimini, hava sahası yönetimini ve bu hava sahasındaki söz sahibi olma durumudur. Bir uçağın bir dakikalık gecikmesinin ortalama maliyeti 62 litre yakıt ve atmosfere salınan 160 kilogram karbondioksit gazıdır. Bu duruma uçağın gövdesinde, iniş takımları, kuyruk vb. yerlerinde oluşan yorgunluk da dahildir. Maliyet hesaplarına fiziksel (ekipman, materyal vb.) ve manevi maliyetler (mürettebat ve uçuş ekibi giderleri vb.) de eklenince, her dakika gecikme taşıyıcılar için kelebek etkisi yaratıyor. Havacılık sektöründe rakip olan her firma daha düşük maliyetler ile daha fazlasını üretmek için

birbiriyle yarışır. Kâr elde etmekle ilgili olduğundan iki ana sorunu çözmek için çalışırlar. Birincisi artan nüfusun ihtiyaçlarını sınırlı kaynaklarla etkili ve verimli bir şekilde karşılamak. İkincisi ise bu arta talebe hizmetin eşit olarak nasıl karşılanacağı, hizmet etmek için var olan zihniyet meselesidir.

Havacılığın ortaya çıkışı sistem ve teknolojinin önemini ortaya koyan gelişmelerin ortaya çıkmasına neden oldu. Devletler ve hava sahası düzenleyicileri hava sahasının belli kurallara göre kullanılması gerektiğini, kuralların belirlenmesi gerektiğini açıkladılar ve ardından bir sözleşme imzaladılar. 1919 Paris Konvansiyonu ve onun yerine geçen 1944 Chicago Konvansiyonu, uluslararası kamu havacılık hukukudur (Yücel, 2021). Hava taşımacılığı ve askeri uçuşlar da olmak üzere tüm hava araçlarının hava sahasını kullanma durumu gibi konular bireysel olarak devletlerden ziyade AB'nin gündemindedir. AB ortak bir paydada devletleri buluşturacak politika ve uygulamalar geliştirmektedir. Bu politikaların genel olarak bir çatı altında birleştirecek olursak Tek Avrupa Gökyüzü (SES) olarak gündeme getirilmiştir. Hava Sahasının Esnek Kullanımı (FUA), Chicago Konvansiyonu'nu temel alarak ve referans göstererek hedefleri dahilinde sivil ve askeri hava sahası sınıflandırmasını ortadan kaldıran düzenlemeler ortaya koymaktadır. Günlük zaman gereksinimlerine göre hava sahasının tamamını tamamen ortak kullanıma açarak sürekli aktif kullanılmasını amaçlamaktadır. Böylece sivil uçaklar zamandan tasarruf edecek, daha az yakıt tüketecek, çevreyi daha az kirletecek ve en önemlisi halkın memnuniyetini kazanacaktır.

1.1. Hava Sahasında Söz Sahibi Olmak

Modern hukukta hürriyette söz sahibi olmak ülkelerin koşulsuz bağımsızlığı ve diğer ülkelerle ilişkilerinin bağımsızlık çerçevesinde olmasıdır. Kanun önünde eşit durumda olmak ve üstün güç ve yetkiye sahip olmamak bir ülkede hukukun ne kadar üstün olduğunun göstergesidir. Ülkeler de hava sahalarının egemenliği söz konusu olduğu zaman insana benzemektedir. Hava sahası kuralları belli başlı hava hukuksal kanunlar ile çerçevelenir (Gemici, 2018). Bir ülkenin varlığı için gerekli üç unsur vardır bular toprak, millet ve bağımsızlıktır. Bir ülke ancak ve yalnızca toprakta yani litosferin içinde var olabilir. Ülkelerin yeraltında, hidrosferde veya atmosferde var olamayacağını, bir ülkenin diğer bir ülkeyle tek veya çift taraflı karşı toprak egemenliği yüzünden bu şekilde karşıya gelemeyeceğini belirtmemiz gerekir (Gemici, 2018). Ülkelerin egemenlik gücü anayasaya yansır ve devletin gücüyle temsil edilir. Türkiye Cumhuriyeti'nde 1921 ve 1924 Anayasalarında "egemenlik" kelimesi kullanılmış; 1961 ve 1982 Anayasaları ise

egemenlik sözcüğünü aracı olarak kullanarak dolaylı yoldan egemenliğin kayıtsız şartsız millete ait olduğu vurgulanmıştır (Yücel,2017).Türkiye'de egemenlik milletindir; iktidar, gücünü ülkenin çoğunluğundan alsa da ülkenin tamamını temsil eder. İşte tam bu noktada yeni bir kavram doğdu; hava sahasında egemenlik. Çünkü o zamana kadar hava sahalarının uluslararası statüde nasıl kullanılacağı çok fazla gündeme gelmemiştir. Havacılık devletleri, hava taşımacılığı ve uçak rejimleri konularını ilk kez 1910 yılında Paris ve Verona'daki konferanslarda gündeme getirdi ve tartışmaya açtı. Birinci Dünya Savaşı, havacılığın devletler tarafından düzenlenmesinin gerekliliğini gösterdi. Çünkü savaş esnasında görüldü ki kuralsız uçan bir uçak yarardan çok zarar sağlıyordu. Savaş Sonrası, 13 Ekim 1919, Public International Paris Sözleşmesi, hava hukukuna ilişkin ilk büyük çok taraflı anlaşma imzalandı. Hava da toprak gibi bir ülkenin parçasıdır ve barış zamanı sivil havacılık kanunu geçerlidir. Araçların prensipte yüksek seviyelerde serbest geçişi olmasına rağmen hava sahasını kullandığı ülkeden izin alınması gerekmektedir. İkinci Dünya Savaşı sırasında hava sahası egemenliğinin önemi, havacılık sektörünün gelişimini de hızlandırmıştır (Yücel,2017). 1947 yılında, savaş bitmeden Türkiye'nin de katıldığı 1944 Chicago Konferansı'nda kuruldu. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'nün (ICAO) kurulmasına ve faaliyete geçmesine karar verildi Paris Sözleşmenin Yerine Geçen Uluslararası Kamu Havacılık Hukukuna İlişkin Chicago Sözleşmesi 1. maddesinde “Akit taraflar, her devletin kendi hava sahası üzerindeki tam ve münhasır egemenliğini tanıır” (ICAO-Doc4444,2007) ifadesi yer almakta ve her devletin kendi hava sahasına sahip olması öngörmektedir. Sözleşmenin 2. maddesine göre ulusal toprak, “Devletin egemenliği, koruma veya otoritesi altında bulunan topraklar ile bunlara bitişik olan topraklar” olarak tanımlanmaktadır (ICAO-Doc4444,2007). Karasuları kavramı hava sahasının kapsadığı alan, karasuları üzerinde ülkeye ait kara parçası olarak belirtilmektedir. 3.madde devlet uçaklarını sivil uçaklardan ayırmaktadır. Bu sözleşme yalnızca sivil uçakları kapsadığı dolayısı ile devlet uçakları yani askeri uçakların sözleşmeye dahil olmadığı belirtilir. Anlaşmayı imzalayan ülkelerin egemenlik haklarına sahip oldukları hava sahasında devlet uçakları uçakları bulunurken, sivil uçakların seyrüsefer güvenliğini sağlamayı kabul etmektedir. 1955 yılında ICAO Avrupa Komisyonu tarafından havacılık politikasını gözden geçirmek, tartışmak ve uyumlaştırmak amacıyla Sivil Havacılık Konferansı (ECAC) kurulmuştur. Avrupa'da sivil ve devlet uçağı sayısında artış gelişmiş hava trafik yönetimi ve güvenliği gerektirmektedir. Avrupa'da havacılık aktörlerinin (sivil ve askeri) çalışmalarını tek

merkezden koordine etmek ve kontrol etmek amacıyla Avrupa hava seyrüsefer emniyeti teşkilatı (EUROCONTROL) 1963 yılında kurulmuştur (Gemici, 2018).

Türkiye, hava sahası ve sivil havacılığın uluslararası düzenlemelerine aktif olarak katılırken, aynı zamanda kendi hava sahasını da kontrol etmektedir. Sivil Havacılık Hukuku, Sorumlu Kişilerin Tanımlanması ve Belirlenmesi, Chicago Sözleşmenin imzalanmasından 38 yıl sonra, 1983 yılında yürürlüğe girdi. Kanun şu şekilde Madde 7, hava sahasının tamamının veya bir kısmının uçmasının yasak olduğunu belirtmektedir (R.G,1983). Kanununun 90. maddesine göre, Türk devlet hava araçlarının iç ve dış hava sahasında uçuşlarına ilişkin kurallar Türkiye Cumhuriyeti yürütme organları tarafından belirlenmektedir (R.G,1983). Türk askeri uçakları kuralları çıkarılan yönetmelikler ile belirlenir ve Türkiye'nin uluslararası hava sahası idari otoritesinin belirlediği kurallara uygundur. “Cumhurbaşkanı, kamu düzeni ve güvenliği yararına veya askeri nedenlerle Türk hava sahasının kullanımını geçici veya kalıcı tedbir olarak kısıtlayabilir. Tamamen veya kısmen veya belirli alanlarda kullanım üzerindeki uçuşlar yasaklanabilir veya kısıtlanabilir. Uçuş emniyetinin sağlanması amacıyla Genelkurmay Başkanlığı ve Ulaştırma Bakanlığı tarafından getirilen diğer kısıtlamalar Ulaştırma Bakanlığı tarafından belirlenir.” (R.G,1983) Chicago Konvansiyonu uyarınca Türkiye Cumhuriyeti'nin hava sahası ile sınırları antlaşmalarla belirlenen kara, ada ve adacıklar üzerindeki egemenliği karasularının üstünde olduğu kabul edilir. “Türkiye'nin karasularının genişliği 6 deniz mili (NM) belirli sular ve 6 deniz milinin üzerinde, bu denizlere ilişkin tüm özellik ve koşullar dikkate alınarak hakkaniyet ilkelerine uyulması şartıyla karasularının genişliğini belirlemeye yetkilidir”(Gemici,2018). Türkiye, karasularının maksimum 12 deniz mili sınırına sahip olduğunu kabul etmektedir.1982 Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesini imzalamamıştır Yunanistan'ın karasularını 12 deniz miliyle sınırlaması durumunda cumhurbaşkanının karasuları hukuku çerçevesinde gerekli reaksiyonu verme yetkisi bulunmaktadır (Gemici ,2018).

1.2. Avrupa Hava Sahası ve SES

Avrupa hava sahası, işlevselliği için gerekli olan birkaç temel bileşeni kapsayan karmaşık ve çok yönlü bir sistemdir. Hava trafiğinin kapasite, güvenlik, verimlilik ve çevresel etki ihtiyaçlarını karşılamak üzere yönetildiği Avrupa kıtasının üstündeki alan olarak tanımlanır. Hava sahası, her biri sorunsuz operasyonları sağlamak için belirli hava trafik kontrol birimleri tarafından yönetilen farklı sektörlerle yapılandırılmıştır. Bu sektörler, kontrollü ve kontrolsüz hava sahası olarak daha da ayrılır ve kontrollü hava

sahası, güvenliği ve verimliliği korumak için sıkı bir şekilde düzenlenir. Hava Sahasının Esnek Kullanımı (FUA) konsepti, hava sahasının dinamik tahsisine izin vererek esnekliği ve mevcut alanın optimum kullanımını kolaylaştırır. Bu entegre yaklaşım, Avrupa hava sahasının yüksek güvenlik standartlarını korurken farklı hava trafiği seviyelerini karşılayabilmesini sağlar (Çelik, 2020).

Avrupa hava sahasının düzenleyici yapısı, her biri hava trafiği yönetimi ve güvenliğinin farklı yönlerinden sorumlu olan (Cruciol et al., 2015)birden fazla kuruluş tarafından yönetilir. Bunların arasında en önemlisi, Avrupa havacılık politikalarını koordine etmek ve uluslararası standartlara uyumu sağlamak için kurulan Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'dür(ICA0-Doc4444,2007). Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) ayrıca Avrupa Birliği genelinde sivil havacılık emniyet politikalarının belirlenmesi ve uygulanmasında önemli bir rol oynar. EUROCONTROL bölgedeki tüm havacılık paydaşlarının çabalarını koordine ederek pan-Avrupa Hava Trafik Yönetimi (ATM) sistemi geliştirmede etkili olmuştur. Bu düzenleyici kurumlar, Avrupa hava sahasının güvenli, verimli ve çevresel açıdan sorumlu bir şekilde yönetilmesini sağlayan tutarlı bir çerçeve oluşturmak için koordine halinde çalışırlar (Turhan,2015).

Avrupa hava sahasının mevcut yapısını yönetmek, verimliliğini ve güvenliğini etkileyen çeşitli zorluklar sunar. Birincil sorunlardan biri, verimsizliklere ve artan operasyonel maliyetlere yol açan hava sahasının parçalanmasıdır (Keskin,2012). Bu parçalanma genellikle uçak gecikmelerine neden olur, çünkü farklı ulusal hava trafik kontrol sistemleri karmaşık uçuş yollarını koordine etmek zorundadır ve bu da bazen hava sahasının sıkışmasına neden olur. Ayrıca, üye devletler arasındaki mali kısıtlamalar ve siyasi anlaşmazlıklar, gerekli reformları uygulama ve hava trafik yönetim sistemlerini modernize etme çabalarını engelleyebilir. Bu zorluklar, Avrupa'nın artan hava trafiğinin taleplerini karşılarken yüksek güvenlik ve çevre standartlarını koruyabilmesini garanti altına alan, hava sahası yönetimine yönelik daha bütünleşik ve işbirlikçi bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır (Tuncal ,Uslu, 2021).

1.2.2. Tek Avrupa Hava Sahası (SES) Girişimi

Tek Avrupa Hava Sahası (Single European Sky) girişimi, kıta genelinde birleşik hava trafiği yönetimi kurarak Avrupa hava sahasının verimliliğini ve güvenliğini artırmak için temel olarak tasarlanmıştır. Birincil hedefleri arasında gecikmeleri azaltmak, emisyonları azaltmak ve havayolları ve yolcular için maliyetleri düşürmek için hava trafiği yönetimini optimize etmek yer almaktadır (Keskin,2012). SES'in önemli

hedeflerinden biri, tek tek ülkeler tarafından kontrol edilen parçalanmış hava sahasını ortadan kaldırmak ve böylece kesintisiz ve entegre bir ortam sağlamaktır. Girişim bunu yaparak, ulusal hava sahası sınırlarının neden olduğu verimsizlikleri ortadan kaldırmayı ve daha pürüzsüz ve daha doğrudan uçuş yolları sağlamayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak, SES, gelişmiş havacılık güvenliği ve performansı için temel rol oynayan Avrupa hava trafiği yönetim sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır.

SES girişimi kapsamındaki temel reformlar ve teknolojik gelişmeler, genel hedeflerine ulaşmada çok önemlidir. Çerçeve Yönetmeliği, Hava Sahası Yönetmeliği, Hizmet Sağlama Yönetmeliği ve İşletilebilirlik Yönetmeliği'nden oluşan SES yasa paketi, bu dönüşümler için temel oluşturur. Bu reformlar, tek bir güvenlik çerçevesi, gelişmiş yer yönetimi kapasitesi ve yeni teknolojilerin entegrasyonu ile karakterize edilen performans odaklı bir sistem kurmaya yöneliktir. Özellikle, SES teknolojik ayağı, Avrupa'nın hava ve kara hava trafiği yönetim altyapısının ve operasyonel prosedürlerinin modernize edilmesini vurgulayarak, hava sahasının artan trafik taleplerini verimli bir şekilde karşılayabilmesini sağlar. Bu gelişmelerin hava trafiği yönetiminde önemli iyileştirmelere yol açması ve daha rekabetçi ve sürdürülebilir bir havacılık sektörünü teşvik etmesi bekleniyor (Keskin, 2012).

SES girişiminin havayolları ve yolcular üzerindeki etkisi önemlidir ve hava yolculuğunun çeşitli yönlerini etkiler. Girişim hava trafiği yönetimini kolaylaştırmayı ve gecikmeleri en aza indirmeyi hedeflediğinden, havayolları azaltılmış operasyonel maliyetlerden ve iyileştirilmiş verimlilikten faydalanabilir. Yolcular için bu, daha kısa uçuş süreleri, daha az gecikme ve havayolları tasarrufları yansıttıkça potansiyel olarak daha düşük bilet fiyatları anlamına gelir. SES ayrıca daha doğrudan uçuş yolları sağlayarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur ve bu da yakıt tüketimini ve emisyonları azaltır. Ek olarak, girişim, küresel hava trafiğinin artmaya devam ettiği bir çağda hayati önem taşıyan sivil havacılığa yönelik artan talebi karşılayarak havacılık sektörünün büyümesini destekliyor. Bu değişiklikler, ilgili tüm paydaşlar için daha verimli, uygun maliyetli ve çevre dostu bir havacılık deneyimi vaat ediyor.

1.3. Esnek Hava Sahası Kullanımı (FUA)

Esnek hava sahası kullanımı, statik bölümler yerine gerçek zamanlı olarak sivil ve askeri kullanıcılar için hava sahasını tahsis ederek hava sahasını yönetmek için dinamik ve etkili bir yaklaşımdır. EUROCONTROL gibi kuruluşlar tarafından yönetilen bu konsept, verimliliği en üst düzeye çıkarmayı ve hava sahasının gereksiz kısıtlamalar

olmadan tam potansiyeliyle kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır (Turhan, 2015). Esnek hava sahası kullanımını uygulayarak, yetkililer hava sahası yapılandırmalarını mevcut taleplere göre dinamik olarak ayarlayabilir ve böylece hava trafiğinin akışını optimize edebilir. Bu yaklaşım, çeşitli hava sahası kullanıcılarının sorunsuz bir şekilde entegre olmasını sağlayarak hem güvenliği hem de operasyonel verimliliği artırır. Bu tür bir esneklik, artan sayıda uçuşu barındırmaya, gecikmeleri azaltmaya ve genel hava sahası yönetimini iyileştirmeye yardımcı olur (Uslu, 2015).

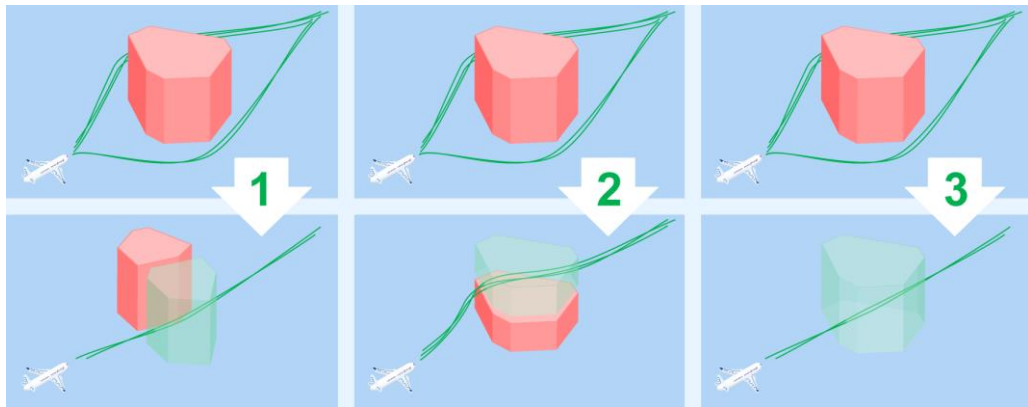
Günümüzün hızla gelişen havacılık ortamında, hava sahasını verimlilik için optimize etmek çok önemlidir. Hava sahasının esnek kullanımı, hava sahası tahsisinin ve bölünmesinin gerçek zamanlı ihtiyaçlara yanıt vermesini sağlamak için tasarlanmıştır ve bu da verimsizliğe yol açabilecek katı ayrımlardan kaçınmaya yardımcı olur (R.G., 2014). Hava trafik kontrolörleri bu yaklaşımı benimseyerek, mevcut koşullara dayalı bilinçli kararlar alabilirler ve bu da daha verimli rota ve kaynak kullanımına yol açar. Bu, özellikle yoğun trafik dönemlerini yönetmek ve hava yolculuğuna yönelik artan talebi karşılamak için önemlidir. Optimize edilmiş hava sahası, yakıt tüketiminin ve emisyonların azaltılmasına, çevresel hedeflerle uyumlu hale getirilmesine ve sürdürülebilir havacılık uygulamalarının teşvik edilmesine katkıda bulunur (Yücel, 2021).

Esnek hava sahası kullanımının faydaları hem havacılık hem de askeri operasyonlara uzanır ve genel etkinliği artıran bir dizi avantaj sunar. Havacılık sektörü için bu yaklaşım, daha doğrudan uçuş yollarına, uçuş sürelerinin azaltılmasına ve tıkanıklığın azaltılmasına yol açar ve bunların hepsi maliyet tasarrufuna ve yolcu memnuniyetinin artmasına katkıda bulunur. Askeri operasyonlar ayrıca, sabit hava sahası sınırları tarafından engellenmeden dinamik durumlara hızla yanıt verme yeteneği kazanarak esnek hava sahasından faydalanır. Hava sahası yapılandırmalarının uyarlanabilirliği, sivil ve askeri ihtiyaçların aynı anda karşılanmasına olanak tanır ve her iki sektörün de verimli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu ikili fayda, modern hava trafiği yönetiminde esnek hava sahası kullanımının önemini vurgular (Çeçen, Çetek,2017).

Esnek hava sahası kullanımının aşamaları hem sivil hem de askeri hava sahası operasyonlarını optimize etmek için titizlikle tasarlanmıştır ve verimli gerçek zamanlı tahsis ve kullanım sağlar. Bu süreç genellikle stratejik, taktik öncesi ve taktik aşamalara ayrılır ve her biri sorunsuz hava sahası yönetimini kolaylaştırmak için farklı işlevler görür. Stratejik aşama, genellikle hava sahası tahsisi için temel oluşturan anlaşmalara ve

çerçevelere odaklanan uzun vadeli planlamayı içerir (R.G.,2014). Taktik öncesi aşamaya geçildiğinde, hava sahası kullanıcıları ve yöneticileri gerçek kullanımdan günler veya saatler önce gerçekleşen planlama faaliyetlerine katılır ve hem sivil hem de askeri ihtiyaçların hesaba katılmasını sağlar. Son aşama olan taktik aşama, öngörülemeyen koşullara veya hava sahası talebindeki değişikliklere uyum sağlamak için anında ayarlamaların yapıldığı gerçek zamanlı olarak gerçekleşir. Bu yapılandırılmış yaklaşım, hava sahası kaynaklarının dinamik ve verimli kullanımına olanak tanır ve güvenliği ve operasyonel verimliliği artırır (Uslu, 2017).

Çeşitli paydaşlar arasındaki koordinasyon, esnek hava sahası kullanımının etkili bir şekilde uygulanmasında çok önemlidir ve sivil ve askeri kuruluşlar arasındaki iş birliğinin gerekliliğini vurgular. Ana paydaşlar arasında hava seyrüsefer hizmeti sağlayıcıları, sivil ve askeri hava sahası kullanıcıları ve havaalanları yer alır ve bunların hepsi hava sahasının optimum tahsisini ve kullanımını sağlamak için uyum içinde çalışmalıdır(Gerede, 2016). Bu koordinasyon, farklı kullanıcıların çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak ve askeri gereksinimlerin sivil hava trafiği talepleriyle bütünleştirilmesine olanak tanımak için çok önemlidir. Bu bağlamda, etkili iletişim kanalları ve karar alma çerçeveleri esastır ve paydaşların değişikliklere hızla yanıt vermesini ve güvenlik ile verimlilik arasında bir denge sağlamasını sağlar. Esnek hava sahası kullanımının başarısı büyük ölçüde bu işbirlikçi çabaların gücüne bağlıdır ve devam eden diyalog ve iş birliğinin önemini vurgular (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Örnek FUA Uygulaması (URL-1)

Hava sahası tahsisinin dinamik yapısı, esnek hava sahası kullanım konseptinin temel bir özelliğidir ve hava sahası yapılarının değişen talep ve operasyonel koşullara yanıt olarak uyarlanmasına olanak tanır. Bu esneklik, hava sahası yapılandırılmalarının gerçek zamanlı olarak hem sivil hem de askeri kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak

şekilde uyarlandığı sürekli değerlendirme ve ayarlama süreciyle elde edilir (R.G.,2014). Hava sahasını dinamik olarak tahsis etme yeteneği yalnızca kapasiteyi artırmakla kalmaz, aynı zamanda gecikmeleri en aza indirerek ve uçuş yollarını optimize ederek hava trafiği yönetiminin genel verimliliğini de artırır. Bu uyarlanabilirlik, hava trafiğinin dalgalanan modellerini ele almada hayati önem taşır ve hava sahası kaynaklarının tam potansiyeliyle kullanılmasını sağlar. Sonuç olarak, dinamik tahsis süreci modern hava sahası yönetiminin omurgasını oluşturur ve daha duyarlı ve verimli bir havacılık sistemini kolaylaştırır.

1.3.1. Stratejik Ön Planlama Aşaması

Esnek hava sahası kullanımının stratejik ön planlama aşamasındaki ilk adım, hava sahası gereksinimlerinin belirlenmesidir. Bu süreç, hava sahasının verimliliği ve güvenliği en üst düzeye çıkaracak şekilde tahsis edilmesini sağlamak için hem sivil hem de askeri hava sahası kullanıcılarının ihtiyaçlarını belirlemeyi içerir. Esnek hava sahası kullanımının amacı, hava sahasının tahsisini veya bölünmesini gerçek zamanlı olarak uygulamak ve kullanıcıların dinamik ihtiyaçlarına uyum sağlamaktır(R.G.,2014). Bu gereksinimleri belirlemek, hava sahası kaynaklarına olan talepleri anlamak için geçmiş verileri, mevcut eğilimleri ve gelecek tahminlerini analiz etmeyi içerir. Bunu yaparak, paydaşlar hava sahası kullanımını gerçek ihtiyaçlarla daha iyi uyumlu hale getirebilir, sivil ve askeri uçuşlar arasındaki tıkanıklık veya çatışma olasılığını en aza indirebilir. Bu proaktif yaklaşım, statik hava sahası tahsisinin tuzaklarından kaçınarak verimli hava sahası yönetiminin önünü açmaya yardımcı olur (Rogošić ,2022).

Hava sahası gereksinimlerinin belirlenmesinin ardından, bir sonraki kritik adım beklenen trafik ve askeri ihtiyaçların değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme kapsamlıdır ve tüm kullanıcıların güvenliğinin yanı sıra uçak operasyonlarının kapasitesini, esnekliğini ve verimliliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Süreç, yoğun talep dönemlerini ve olası çatışmaları öngörmek için öngörülen trafik düzenlerini ve askeri tatbikatları değerlendirmeyi içerir. Bu düzenleri anlayarak, hava sahası yöneticileri operasyonel güvenlik veya verimlilikten ödün vermeden hem sivil hem de askeri faaliyetleri barındıracak stratejiler geliştirebilirler. Bu aşama ortaya çıkabilecek benzersiz gereksinimleri veya kısıtlamaları ele almak için sivil ve askeri yetkililer arasında yakın koordinasyonu içerir ve planlama sürecinde tüm paydaş ihtiyaçlarının dikkate alınmasını sağlar (Monechi ,2015).

İlk hava sahası tahsis planlarının geliştirilmesi, stratejik ön planlama aşamasının doruk noktasıdır. Bu aşama, belirlenen gereksinimleri karşılamak ve değerlendirilen trafik ve askeri talepleri karşılamak için hava sahasını tahsis eden planların hazırlanmasını içerir. Amaç, hava sahasını ihtiyaçlar çerçevesinde etkili bir şekilde kullanmak ve hava sahasının kalıcı olarak bölünmesini önlemektir. Bu ilk planlar, gerçek zamanlı ayarlamalar için bir temel görevi görür ve değişen koşullara uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu planların temel unsurları arasında esnek rotalar oluşturmak, belirli operasyonlar için öncelikli erişimi belirlemek ve dinamik ayarlamalar için parametreler belirlemek yer alır. Planlar, şeffaflığı sağlamak ve gerçek hava sahası operasyonları sırasında sorunsuz koordinasyonu kolaylaştırmak için tüm ilgili taraflara iletilmelidir.

1.3.2. Taktik Hava Sahası Yönetimi Aşaması

Hava sahası aktivitesinin gerçek zamanlı izlenmesi, esnek hava sahası kullanımında Taktik Hava Sahası Yönetimi Aşamasının kritik bir bileşenidir. Bu aşama hem sivil hem de askeri operasyonlar için verimli tahsis ve kullanımı sağlamak üzere hava sahasının mevcut durumunu sürekli olarak gözlemlemeyi ve analiz etmeyi içerir. Amaç, anında geri bildirim sağlamak ve hava sahası tahsisinin durumunu mevcut trafik ve çevre koşullarına göre güncellemektir. Gerçek zamanlı izleme, olası çatışmaları ve verimsizlikleri belirlemeye yardımcı olur ve optimum hava sahası kullanımını sürdürmek için hızlı düzeltici eylemlere olanak tanır. Uçak hareketlerini, hava koşullarını ve hava sahası yönetimini etkileyebilecek diğer ilgili faktörleri izlemek için gelişmiş teknolojiler ve sistemler kullanır. Statik izlemeden dinamik izlemeye geçiş, daha duyarlı ve uyarlanabilir bir hava sahası yönetim çerçevesi sağlar (Künnen, Strauss, 2022).

Güvenlik ve verimliliği sağlamak için taktik hava sahası yönetiminde mevcut koşullara dayalı anında ayarlamalar esastır. Hava sahası koşulları dalgalandıkça, trafik düzenlerindeki, hava koşullarındaki ve diğer etki eden faktörlerdeki değişikliklere uyum sağlamak için hızlı bir şekilde uyum sağlamak gerekir. Bu esneklik, olası çatışmaları önlemek ve hava trafiğinin akışını optimize etmek için çok önemlidir. Gerçek zamanlı ayarlamalar yaparak, hava trafik kontrolörleri hava sahasını daha etkili bir şekilde tahsis edebilir, kapasiteyi en üst düzeye çıkarabilir ve gecikmeleri en aza indirebilir. Bu süreç, uçuş yollarını yeniden kalibre etmeyi, seyir seviyelerini ayarlamayı ve gerektiğinde geçici kısıtlamalar uygulamayı içerir. Bu anında ayarlamaları yapma yeteneği, hava sahası yönetiminin yanıt verme yeteneğini artırarak hem sivil hem de askeri kullanıcıların

ihtiyaçlarının güvenlik veya verimlilikten ödün vermeden karşılanmasını sağlar (Yücel,2021).

Hava sahası kullanıcıları arasındaki etkili iletişim protokolleri, taktik hava sahası yönetimi aşamasında hayati öneme sahiptir. Bu protokoller, sivil ve askeri yetkililer, hava trafik kontrolörleri ve pilotlar arasında sorunsuz bilgi alışverişini kolaylaştırır ve tüm tarafların mevcut hava sahası koşullarından ve meydana gelebilecek değişikliklerden haberdar olmasını sağlar. Hava sahasının esnek kullanımında, koordinasyon ve iş birliği için sağlam iletişim kanalları oluşturmak çok önemlidir. Bu tür protokoller, uçuş operasyonlarını etkileyebilecek anında ayarlamalar veya kısıtlamalar dahil olmak üzere hava sahası durumuyla ilgili zamanında güncellemelerin yayılmasına yardımcı olur. Bu işbirlikçi iletişim çerçevesi, hava sahası yönetimine daha bütünleşik bir yaklaşımı destekleyerek, verimsizliklere veya güvenlik tehlikelerine yol açabilecek yanlış anlaşılma veya yanlış iletişim riskini azaltır (Turhan, 2015).

1.3.3. Operasyon Sonrası Değerlendirme Aşaması

Operasyon sonrası değerlendirme aşaması, özellikle esnek hava sahası kullanımı uygulandığında hava sahası kullanımının etkinliğini değerlendirmek için çok önemlidir. Bu aşama, hava sahasının operasyonlar sırasında ne kadar iyi kullanıldığına dair titiz bir incelemeyi, planlanan ve gerçek kullanım arasındaki tutarsızlıkları belirlemeyi içerir. Yetkililer, hava sahası tahsisinin verimliliğini ve trafik akışının yönetimini değerlendirerek hava sahasının esnek kullanımının hedeflerine ulaşip ulaşmadığını belirleyebilir. Amaç, hava sahasının hem sivil hem de askeri kullanıcıların ihtiyaçlarını dengeleyerek, güvenliği ve verimliliği koruyarak en iyi şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Bu değerlendirme süreci, stratejileri iyileştirmek ve hava sahası kaynaklarının genel yönetimini geliştirmek için önemlidir (Rogošić, 2022).

Paydaşlardan kapsamlı bir geri bildirim toplanması, operasyon sonrası değerlendirme aşamasının hayati bir bileşenidir. Hava trafik kontrolörleri, havayolu operatörleri ve askeri personel dahil olmak üzere çeşitli paydaşlarla etkileşim kurmak, hava sahasının performansına dair bütünsel bir görünüm sağlar. Bu taraflardan geri dönüş toplamak, hava sahası yönetiminde operasyonel zorlukları ve iyileştirme alanlarını belirlemeye yardımcı olur. Uçucu geri bildirim, hava sahası düzenlemelerinin pratik etkilerini ve operasyonlar üzerindeki etkilerini anlamada etkilidir. Yetkililer, çeşitli bakış açılarını birleştirerek bilinçli kararlar alabilir ve hava sahasının esnek kullanımını destekleyen iş birliğine dayalı bir ortam yaratabilirler (Monechi, 2015).

Toplanan değerlendirme ve geri bildirimlere dayanarak, hava sahası yönetiminde gelecekteki iyileştirmeler için öneriler geliştirilir. Bu öneriler, hava sahası kullanımının verimliliğini ve etkinliğini artırmayı, hava sahasının esnek kullanımının kullanıcılarının değişen ihtiyaçlarını karşılamaya devam etmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Öneriler arasında hava sahası tahsis prosedürlerinde ayarlamalar, hava trafiği yönetim sistemlerinde güncellemeler ve sivil ve askeri yetkililer arasındaki koordinasyonu iyileştirme girişimleri yer alabilir. Bu iyileştirmeleri uygulayarak, hava sahası yönetimi artan talepleri daha iyi karşılayabilir ve mevcut kaynakların kullanımını optimize edebilir. Bu proaktif yaklaşım, hava sahasının esnek kullanımının modern hava trafiği zorlukları için uygulanabilir ve verimli bir çözüm olmaya devam etmesini sağlamaktadır.

1.4. Hava Trafik Yönetimi

1903'teki ilk başarılı uçuş, modern havacılığın başlangıcı olarak kabul edilir. O tarihten bu yana havacılık sektörü hızla gelişmiş, uçuş sayıları artmış, posta taşımacılığı başta olmak üzere hava taşımacılığı yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hava trafik yönetimi hizmetlerinin temelleri 1920'li yıllarda hava araçlarının her türlü hava koşulunda kalkış ve iniş yapabilmesi ihtiyacının önemi nedeniyle atılmıştır. Telsiz haberleşmesi ve işaret lambalarının kullanılması gibi ilk hizmetlerle, sayıları giderek artan uçakların birbirine ve engellere çarpmasının ve olumsuz hava koşullarında operasyonların aksamasının önlenmesine yönelik çalışmalar yapıldı. Modern hava trafik hizmetlerinin temelleri 1930'lu yıllarda atılmış ve teknolojik gelişmelerin yanı sıra hava trafik yönetiminin temel mantığı da uzun süre pek değişmemiştir. 1944 yılında imzalanan Chicago Sözleşmesinin ekleri (Annex), havacılığın farklı alanlarındaki standartları ve tavsiye edilen uygulamaları ortaya koymaktadır. 1945 yılında Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'nün (ICAO) ilgili komiteleri hava trafik hizmetleri konusunda çalışmaya başladı. Hava trafik hizmetleri uluslararası standartlar ve tavsiye edilen uygulamalar- Hava Trafik Hizmetleri olarak adlandırılarak Chicago Konvansiyonu Annex-11 haline geldi.(ICAO-Annex-11,2018) Bu kanun 1950 yılında yürürlüğe girmiştir. ATM kavramı hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi ve hava trafik yönetimi dahil olmak üzere hava ve karayı kapsayan tesislerin kesintisiz hizmetlerin sağlanması yoluyla hava sahasında hava trafik işlevlerinin güvenli, ekonomik ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Hava trafik yönetimi bileşeninde bulunan tüm paydaşlar ile ortaklaşa çalışır ve buna dinamik, entegre yönetim olarak tanımlar. Bu tanımdan operasyonel açıdan bakıldığında ATM'nin alt sistemleriyle birlikte çalışan büyük bir sistem olduğu

anlaşılmaktadır. Uçuş operasyonlarının tüm aşamalarında hava araçlarının emniyetli, düzenli ve verimli çalışmasını sağlamak için gereken üç temel fonksiyon vardır. Bunlar Hava Trafik Hizmetleri (ATS), Hava Sahası Yönetimi (ASM) ve Hava Trafik Akış Yönetimi (ATFM). Hava trafik yönetimi bu fonksiyonların bir arada yerine getirilmesiyle, eşgüdümlü çalışması ile sağlanır. Hava trafik hizmetleri, hava trafik kontrolünü saha-yol kontrolü, yaklaşma kontrolü, meydan kontrolü, uçuş bilgi hizmetleri ve alarm hizmetlerini içerir. (Tunç, 2021) Hava sahası yönetimi, mevcut hava sahasının kullanımının planlanması ve yönetimidir. Bu bölüm hava sahasının kalıcı veya geçici olarak kullanıcılara tahsis edilmesi, hava sahasının sınıflandırılması, tahsis işlemi yapıldıktan sonra aynı hava sahasında dinamik izleme işlemi gibi görevleri yerine getirir.

Hava trafik akış yönetimi, yoğun bir havalimanının kapasitesi dahilinde saat başına uçak/trafik sayısının ayarlanmasıdır. Hava trafik yönetim sistemi, operasyonel ATM sisteminin ötesinde, insanları, bilgiyi, teknolojiyi, rahatlığı ve hava, yer ve/veya uzay tabanlı iletişim, navigasyon ve gözetim hizmetleriyle desteklenen hizmetleri entegre eden hava trafik yönetim hizmetlerini sağlayan bir sistemi ifade eder. Hava trafik hacimleri her geçen gün arttıkça mevcut hava trafik yönetimi uygulamaları, yetenekleri ve teknolojileri yetersiz hale gelmektedir. Bu amaçla ICAO, 1980'li yıllardan bu yana yeni hava trafik yönetim sistemleri üzerinde çalışmaktadır. Geleceğin Hava Navigasyon Sistemi ilk başta FANS olarak adlandırılıyordu ve artık CNS/ATM (İletişim, Navigasyon, Gözetleme ve Hava Trafik Yönetimi) olarak biliniyor. CNS/ATM, geleneksel yer iletişimine dayalı hava trafik yönetiminin, uydu sistemlerine, çeşitli düzeylerde otomasyona ve dijital veri iletişimine dayalı bir yapıya dönüştürülmesini ifade etmektedir. CNS/ATM'nin amacı yalnızca hava trafik yönetimini modernleştirmek değil, aynı zamanda dünya çapında kesintisiz hava trafik yönetimi hizmetlerinin yanı sıra güvenliği, kapasiteyi ve verimliliği de geliştirmektir. ATM modernize olarak düşünüldüğünde ICAO şu şekilde tanımlanmaktadır: Hava ve yer fonksiyonlarını kapsayan tüm birimlerin iş birliğiyle tesisler oluşturarak, düzenli hizmetler ve güvenlik sağlayarak, uygun maliyetli hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi hava trafiği akış yönetimi de dahil olmak üzere hava trafiği ve hava trafik yönetimi.(ICAO-Doc 4444,2007) Bir bakıma hava trafik yönetimi alanın entegre ve dinamik yönetimi olarak da tanımlanabilir. ICAO'nun ATM tanımından da anlaşılacağı üzere bahsettiğimiz yönetim fonksiyonları birçok birim, tesis hizmet ve hedefe ulaşmak için birbiriyle entegre olarak uyum içinde bir arada bulunmasıdır. Bu tür entegre bir çalışma ancak sağlam bir

koordinasyonla sağlanabilir. Koordinasyon Yapısının anlaşılabilmesi için yönetim bileşenlerinin ortaya konulması gerekmektedir (Cavcar, 2000).

ATM; Hava Trafik Hizmetleri (ATS: Hava Trafik Hizmetleri), Hava Sahası Yönetimi;(ASM: Hava Sahası Yönetimi) ve (ATFM: Hava Trafik Akışı Yönetim) bileşenlerinden oluşur. ICAO, ATM'lerin daha güvenli olduğunu ileri sürdüğü maliyet etkin olma çabaları nedeniyle FANS (Geleceğin Hava Navigasyon Sistemleri) kavramını önerdi. "Hava Seyrüsefer Sistemi" oluşturuldu. Daha sonra konsept uydulara dayanacak şekilde değişti ve ileri teknolojiler kullanılarak iletişim, navigasyon, gözetleme/hava trafik yönetimi (CNS/ATM: İletişim, Navigasyon, Gözetim/Hava Trafik Yönetimi) gündeme geldi ve yürürlüğe geçti(Turhan,2014). Bu sistemler halen her ne kadar gelecekte kullanılacak sistemler olarak bahsedilse de geleneksel sistemler olmaya başladılar. Güvenli, düzenli ve etkin hava trafik hizmeti sunmak uçuşunuz öncesinde ve uçuş sırasında ihtiyacınız olan havacılıkla ilgili bilgiler ilgili birimlere iletim şeklinde sunulan bir hizmettir. Yine ICAO (Annex-3,2011.)'göre MET; meteorolojik bilgileri, uçuş ekibini, hava trafik birimini, arama kurtarmayı içerir. ATM işletim sistemini oluşturan bileşen hava trafik akış verileridir (Bozkurt, 2013).

Hava taşımacılığı sektörünün sürekli büyümesi, hava trafik sisteminin kapasitesini artırmaktadır. Mevcut tıkanıklık sorunlarının yanı sıra değişen meteorolojik koşullar da Kazalar vb. nedeniyle hava trafik hizmetleri (ATS: Hava Trafik Hizmetleri). Kapasitedeki ani düşüşler beklenmeyen gecikmelere neden olabilir. Bu gecikmeler ise ciddi ekonomik kayıplara neden olurlar. Hava trafik akışı yönetimi (ATFM: Hava Trafik Akış Yönetimi) ekonomik kayıplar, tıkanmaların önlenmesi ve kontrolör yükünün artması açısından önemli bir özelliktir.

ATS kapasitesi, meteoroloji, hava sahası rota yapısı, hava sahası kullanım sıklığı ve denetleyici iş yükü. ATS kapasitesi trafik yoğunluğunu azaltır. ATFM maksimum istenen verim ATS kapasitesi hava trafiği güvenli, düzenli ve hızlı bir şekilde işlediğinden emin olmaktır. Hava trafik hizmetleri otoritesi, hava trafik akış yönetimine uygulanabilir kapasite sınırlarını belirler. ATFM organizasyonu merkezi bir organizasyon ve süreç yönetimidir. Pozisyonlar genellikle Saha Kontrol Merkezinde (ACC: Saha Kontrol Merkezi) bulunmaktadır (Deitchman,Seymour,Blumstein,Alfred,2011). Hava sahası yönetimi (ASM) ile koordinasyon ihtiyacı dikkate alınarak hava sahası kontrolü hava trafik akış yönetimine dahil edilmelidir. Bu durum aralarında ki koordinasyona olumlu katkı sağlar.

Hava sahası yönetimi (Airspace Management - ASM), bir ülkenin hava sahasının güvenli, düzenli ve verimli bir şekilde kullanımını sağlamak amacıyla yapılan planlama, düzenleme ve kontrol süreçlerini ifade eder. Hava sahası, sivil ve askeri uçakların güvenli bir şekilde hareket edebilmesi için sınırlı bir kaynaktır ve bu nedenle etkin bir şekilde yönetilmesi kritik öneme sahiptir. Hava sahası yönetimi, hava trafiği akışını düzenlerken, sivil ve askeri operasyonlar arasında hava sahasının paylaşılmasını sağlar. Ayrıca hava sahasının optimum kullanımı, çevresel etkilerin azaltılması ve uçuş emniyetinin korunması gibi hedefleri de içerir (Xu , 2020).

Hava trafik hizmetleri; uçuş bilgi hizmetleri, uyarı hizmetleri, hava trafik danışmanlık hizmetleri ve hava durumu trafik kontrol hizmetinin tamamını ifade eden genel bir terimdir (Cavcar, 2000). ICAO'ya göre ATS'nin amaçları şu şekilde sıralanabilir:

- Uçak çarpışmalarını önlemek için,
- Uçağın manevra alanındaki engellere çarpmasını önlemek,
- Normal ve hızlı hava trafik akışını sağlamak,
- Uçuşu güvenli ve verimli hale getirmek için tavsiye ve bilgi sağlamak,
- Bir uçağın arama ve kurtarma hizmetlerine ihtiyacı olduğunda, kuruluşu bilgilendirir ve yardımcı olur(ICAO-Doc4444 ,2007).

İlk üç madde hava trafik kontrolü (ATC: Air Traffic Control) ile ilgili olup, dördüncü madde uçuş bilgi hizmetidir. Sonuncusu ise uyarı servisedir ATS tarafından sağlanmaktadır. ATC, kontrolörler ve pilotlar ATS 'nin vazgeçilmez bir bileşeni olup, araçlar arasındaki iletişim sayesinde olası çarpışmaları önlemeyi ve normal trafik akışını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu amaçla ATC Hava trafik hizmetlerinde uçuş emniyeti ile doğrudan ilgili olduğundan, uçaklarla ve engellerle çarpışmayı önlemeye çalışır.

ATC'nin temel amacı, uçakların bir havaalanından diğerine güvenli bir şekilde uçmasıdır ve uçuş sırasında uçağa mümkün olan en iyi yolu sağlayıp, mevcut rotayı kullanılabilir hale getirmektir(ICAO-Annex/11, 2018). ATC hizmetleri hava trafik akışlarını önleme, düzenleme ve hızlandırma sorumluluklarının yanı sıra ayrıca ulusal güvenliği ve savunmayı desteklemek gibi sorumlulukları da vardır. Hava trafik kontrol hizmetleri; havaalanı kontrol hizmetleri, yaklaşma kontrol hizmetleri, saha yol kontrol hizmetleri ve bu hizmetleri sağlayan birimler arasında ulaştırma sorumluluklarının devrinden sorumludur (Hoffman , 2011).

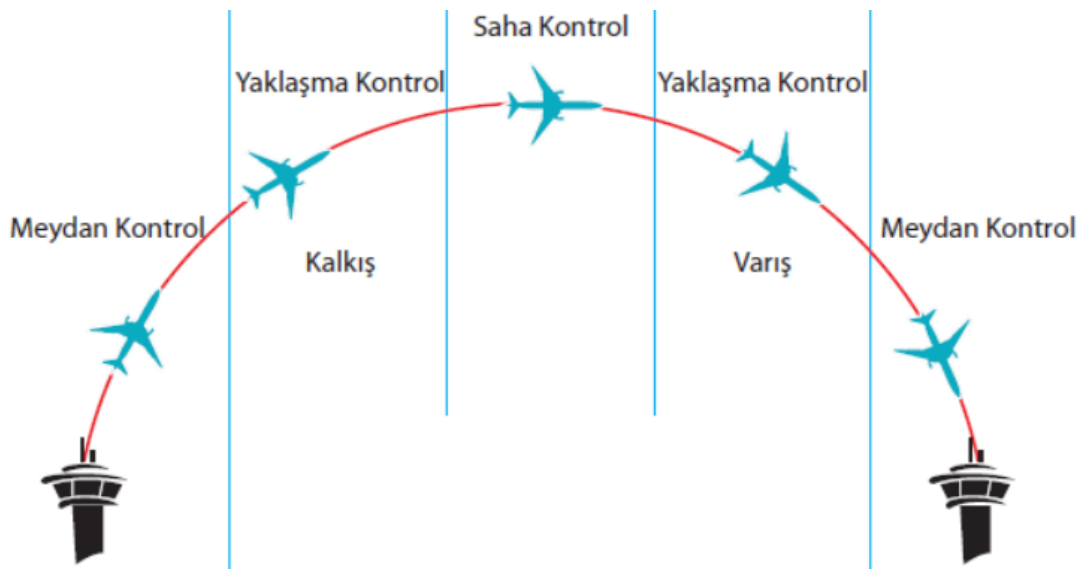
1.4.1.Hava Trafik Kontrol Hizmetleri

Hava trafik hizmetleri (Air Traffic Services- ATS), hava araçlarının güvenli, düzenli ve verimli bir şekilde hareket etmesini sağlamak amacıyla verilen hizmetlerdir. Bu hizmetler, uçakların uçuş esnasında ve yerde güvenli bir şekilde yönlendirilmesini, çarpışmaların önlenmesini, uçuş bilgisi sağlanmasını ve acil durumlarda yardım edilmesini içerir. Hava Trafik Kontrol Hizmeti (Air Traffic Control - ATC); Uçuşların güvenli bir şekilde seyretmesini sağlamak için uçakların yönlendirilmesi ve kontrol edilmesi amacıyla verilen hizmettir. ATC, hava sahasındaki uçakların çarpışmalarını önlemek, uçaklar arasında güvenli mesafeleri korumak ve pilotlara iniş, kalkış ve rota değişiklikleri konusunda talimatlar vermek gibi temel görevleri üstlenir(ICA0-Annex/11,2018).

Kule Kontrol Hizmeti (Aerodrome Control Service): Uçakların havaalanı çevresinde iniş ve kalkış sırasında güvenli bir şekilde yönlendirilmesini sağlar. Havaalanı kule kontrolörleri, uçakların yerdeki hareketlerini de kontrol eder.

Yaklaşma Kontrol Hizmeti (Approach Control Service): Uçakların havaalanına yaklaşırken veya kalkıştan sonra tırmanış yaparken güvenli bir şekilde yönlendirilmesini sağlar. Özellikle iniş sırasındaki trafik yoğunluğunu yönetir.

Saha Kontrol Hizmeti (Area Control Service): Uçakların yüksek irtifalarda, bir hava trafik kontrol bölgesi (FIR) içindeki uçuşlarını yönetir. Bölge kontrolörleri, geniş hava sahalarında uçaklar arasındaki güvenli mesafeyi korumaktan sorumludur(ICA0-Doc-4444,2007), (Şekil.1.2.).



Şekil 1.2. Hava Trafik Hizmetleri (URL -2)

Uçuş Bilgilendirme Hizmeti (Flight Information Service - FIS): Uçuş emniyetini artırmak amacıyla pilotlara hava durumu, trafik bilgileri, hava sahası durumu, tehlikeli bölgeler ve acil durumlarla ilgili bilgi sağlama hizmetidir. Bu hizmet, hava trafiği kontrol hizmeti gerektirmeyen bölgelerdeki uçaklar için önemli olup, uçuş sırasında pilotların karar almasına yardımcı olur. FIS, özellikle kontrolsüz hava sahalarında veya düşük yoğunluklu hava trafiği olan bölgelerde kullanılır.

Uyarı Hizmeti (Alerting Service): Hava araçlarının bir acil durumla karşı karşıya kalması halinde, arama-kurtarma hizmetlerinin başlatılması ve gerekli kurumların bilgilendirilmesi amacıyla sağlanan hizmettir. Uçağın kaybolması, iletişim kesilmesi, kazalar veya diğer tehlikeli durumlar söz konusu olduğunda harekete geçilir. Uyarı hizmeti, hava trafik kontrol merkezleri aracılığıyla yürütülür ve ilgili arama-kurtarma ekiplerine gerekli bilgi aktarılır (Deitchman ,Blumstein, 1960).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sivil ve askeri hava sahasının esnek paylaşımının teorik temeli, hava sahası yönetimi ve kaynak tahsisine yönelik stratejik, operasyonel ve optimizasyon yöntemlerini içerir. Bu temellerin amacı, hava sahasını güvenlik ve verimliliğe dayalı olarak iki ana kullanıcı grubu (sivil ve askeri) arasında optimum şekilde bölmektir (Yücel, 2020).

2.1. Kaynak Paylaşımı Teorisi

Hava sahası bir kamu kaynağı olarak kabul edilir. Kaynak paylaşımı teorisine göre, sınırlı kaynakların yani hava sahası farklı kullanıcılar arasında etkili bir şekilde nasıl tahsis edileceği, maksimum verimlilik ve kullanıcı memnuniyetini sağlamak için önemli bir konudur. Hava araçlarının kaynakların aşırı kullanılması durumunda tüm kullanıcıların verimliliğinin düşeceğini öngörülmektedir. Hava sahası sınırlı bir kaynak olduğundan, aşırı yüklenmesi ve yanlış yönetimi, sivil ve askeri operasyonlar arasında çatışmalara ve güvensiz durumlara yol açabilir. Bu teori çerçevesinde esnek hava sahası, kaynakların belirli bir zaman diliminde kullanımını optimize ederek aşırı kullanımın önüne geçmektedir. Sivil ve askeri hava sahasının esnek bir şekilde bölünmesi durumunda zaman paylaşımı yaklaşımı devreye giriyor. Bu yaklaşımın ilkesi, hava sahasının bir kısmının belirli aralıklarla sivil kullanıma, belirli aralıklarla da askeri kullanıma tahsis edilmesidir. Zaman paylaşımı esnek hava sahası uygulamalarının en önemli temellerinden biridir ve hava sahası kullanımını talebe göre uyarlayarak verimliliği artırmak için tasarlanmıştır(Turhan, 2015). Kaynak paylaşımı teorisine göre hava sahasının esnek kullanımı ancak askeri ve sivil birimler arasındaki etkin koordinasyonla sağlanabilir. Bu koordinasyon, talep üzerine hava sahasının anında tahsis edilmesine olanak tanıyor. Esnek hava sahası uygulamaları, her iki tarafın ihtiyaçları doğrultusunda belirlenen kurallara ve dinamik değişikliklere göre sürekli güncellenmektedir (Keskin, 2012).

2.2. Optimizasyon Teorisi

Hava sahasının verimli kullanımına yönelik optimizasyon teorisi, hava sahasının iki ana kullanıcı grubu (sivil ve askeri) arasında en verimli şekilde nasıl tahsis edileceğine dair matematiksel bir model sağlar. Amaç, her iki tarafın ihtiyaçlarını dengelemek ve hava sahası kullanımını optimize etmektir. Hava sahası tahsisi doğrusal programlaması,

esnek hava sahası uygulamalarının teorik temellerinden biridir. Doğrusal programlama sayesinde sivil ve askeri uçuşların belirli rotalarda ve belirli zaman aralıklarında en verimli şekilde nasıl organize edilebileceğini hesaplamak mümkündür. Amaç fonksiyonu uçuş süresi, yakıt tüketimi ve çatışmalar gibi faktörlerin en aza indirilmesine odaklanır. Sınırlar kapasite (aynı anda hava sahasında uçabilecek uçak sayısı), güvenlik ve operasyonel gereksinimlere göre tanımlanır (Uslu,2012),(Cruciol, 2015).

2.3. Dinamik Sistem Teorisi

Esnek hava sahası yönetimi dinamik sistem teorisi kullanılarak da açıklanabilir. Hava sahası birbirinden bağımsız hareket eden, sürekli değişen unsurlardan oluşan dinamik bir sistemdir. Sivil ve askeri uçuşların programları, rotaları ve operasyonel gereklilikleri, hava sahasının nasıl kullanılacağını belirleyen dinamik faktörler olarak kabul edilmektedir. Hava sahası dinamik bir sistem olduğundan esnek hava sahasının yönetimi gerçek zamanlı optimizasyon gerektirir. Hava sahasını mevcut koşullara göre optimize etmek için gerçek zamanlı uçuş verilerinden ve askeri operasyon bilgilerinden yararlanmakta fayda vardır. Dinamik sistem teorisi, hava sahası kapasitesi ve talep dengesinin anlaşılmasına yardımcı olur. Talep arttığında (örneğin, turizmin yoğun olduğu sezonlarda sivil uçuşlar), askeri uçuşların kısıtlandığı alanlar sivil uçuşlara tahsis edilebilir. Bunun yerine, askeri operasyonların öncelik kazanması durumunda sivil uçuşlar başka rotalara yönlendirilmektedir (Keskin, 2012).

2.4. Ekonomik ve Maliyet Fayda Teorisi

Hava sahasının sınırlı bir kaynak olması gerçeğinin yanı sıra, ekonomik kullanımı ekonomik açıdan da önemlidir. Hava sahası etkili bir şekilde kullanılır ise hem sivil hem de askeri kullanıcılar ekonomik faydalar elde edebilir. Hava sahasının dikkatli kullanımı, yakıt tüketiminde ve işletme maliyetlerinde azalma sağlar. Sivil uçuşlar, daha kısa rotalar aracılığıyla yakıt tasarrufu sağlayabilir. Benzer şekilde, askeri operasyonlar uygun şekilde planlanırsa daha az kaynak tüketilir. Her iki taraftan uçuş sayısını artırarak kaynak verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için hava sahası kullanımında esneklik sağlamak her iki tarafa da fayda sağlar (Künnen, Strauss,2022).Yoğun trafik dönemlerinde hava sahasını sivil uçuşlara açmak ekonomik faydalar sağlayabilir ve operasyonel verimliliği artırabilir. Sonuç olarak, sivil ve askeri kullanıcılar arasında hava sahasının esnek bir şekilde paylaşılması çeşitli teorik gerekçeye dayanmaktadır. Bu teoriler, etkili hava sahası kullanımı için kaynak paylaşımı, optimizasyon ve oyun teorisi yaklaşımlarını birleştirir.

Esnek hava sahası yönetimi, verimlilik ve güvenlik seviyelerini artırırken sivil ve askeri uçuşlar arasındaki rahatsızlığı en aza indirmeyi amaçlar. Gelişmiş koordinasyon dinamik yönetimi ve gerçek zamanlı optimizasyon gerektirir (Yücel, 2021).

2.5. Hava Trafik Yönetimi ve Doğrusal Programlama (LP)

Doğrusal programlama (LP), belirli kısıtlamalar altında (genellikle maliyetleri azaltmak veya karı artırmak gibi) bir amaç fonksiyonunun en iyi sonucunu bulmak için kullanılan matematiksel bir optimizasyon tekniğidir. LP, gerçek hayat problemlerini modellemek için yaygın olarak kullanılmakta ve endüstri mühendisliği, lojistik, finansal planlama, enerji yönetimi, üretim planlama vb. gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Doğrusal programlama, belirli koşullar ve hedefler altında kaynak tahsisini optimize etmek için tasarlanmış matematiksel bir yöntemdir. "Doğrusal" terimi, modeldeki tüm matematiksel işlevlerin doğrusal olması gerekliliğine atıfta bulunur. Bu yaklaşım, kaynak yönetimi ve optimizasyonu hakkında kritik soruları yanıtlamak için gerçek dünya senaryolarında yaygın olarak uygulanır. Temel olarak, süreç en iyi olası çözümü bulmak için matematiksel modeller kullanarak karmaşık sorunları temsil etmeyi içerir. (Hillier, Lieberman, 1995). Bir sorunu sistematik olarak analiz ederek, doğrusal programlama maliyet, kâr veya zaman gibi belirli bir sonucu en üst düzeye çıkaran veya en aza indiren bilinçli kararlar almaya yardımcı olur. Bu yöntem, karmaşık sorunlara verimli ve etkili çözümler sağlayan çeşitli endüstrilerde önemli bir araç haline gelmiştir.

Doğrusal programlamanın tarihsel gelişimi, Leonid Kantorovich ve George Dantzig gibi önemli isimlerin önemli katkılarıyla günümüze ulaşmıştır. Sovyet bir matematikçi olan Kantorovich ve Amerikalı bir matematikçi olan Dantzig, 1930'ların sonu ve 1940'larda doğrusal programlama tekniklerinin ilerlemesinde etkili olmuştur. Çalışmaları modern optimizasyon yöntemlerinin temelini attı ve optimizasyon teorisinde ikilik ve ayrıştırmanın önemini vurguladı. 20. yüzyılın ortalarında bilgisayar teknolojisinin ortaya çıkmasıyla doğrusal programlama, büyük ölçekli endüstriyel ve hükümet projelerinin işlenmesini kolaylaştırdığı için daha da önemli hale geldi. Bu gelişmeler, doğrusal programlamanın çeşitli sektörler üzerindeki dönüştürücü etkisini vurgulayarak karmaşık sistemlerin ve büyük veri kümelerinin verimli bir şekilde yönetilmesini sağladı (Hillier, Lieberman, 1995).

Herhangi bir doğrusal programlama modelinin merkezinde üç temel bileşen bulunur: karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlamalar. Karar değişkenleri karar vericilerin kullanımına sunulan seçenekleri temsil eder. Bu değişkenler, belirli bir sonucu

en üst düzeye çıkarmayı veya en aza indirmeyi amaçlayan doğrusal bir denklem olan amaç fonksiyonunu oluşturmak için kullanılır. Kısıtlamalar, çözümlerin belirli gereksinimlere veya sınırlara uymasını sağlayan karar değişkenlerine uygulanan koşullar veya sınırlamalardır. Bu bileşenlerin entegrasyonu, eldeki problemin özünü etkili bir şekilde yakalayan doğrusal programlama modelinin oluşturulmasını sağlar. Karar değişkenlerini, amaç fonksiyonunu ve kısıtlamaları açıkça tanımlayarak doğrusal programlama, optimizasyon problemlerini analiz etmek ve çözmek için yapılandırılmış bir çerçeve sağlar (Cecen, Çetek, 2020).

Doğrusal programlama, çok yönlülüğünü ve değerini göstererek çeşitli endüstrilerde ve ekonomik sektörlerde yaygın uygulamalar bulmuştur. Başlangıçta askeri amaçlar için geliştirilen bu yöntem, bugün kaynak tahsisini ve karar alma süreçlerini optimize etmek için endüstriyel ve ekonomik alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretimde, doğrusal programlama modelleri kuruluşların üretim bileşenlerinin en karlı kombinasyonunu belirlemelerine yardımcı olarak maliyetleri en aza indirirken çıktıyı en üst düzeye çıkarmalarına olanak tanır. Ek olarak, ulaşım, enerji, telekomünikasyon ve tarım gibi endüstriler, planlama, rotalama ve kaynak planlama gibi görevler için doğrusal programlamayı kullanır ve operasyonel verimliliği önemli ölçüde artırır. Bu geniş uygulanabilirlik, doğrusal programlamanın çeşitli alanlardaki karmaşık optimizasyon zorluklarını ele almadaki önemini vurgular.

Doğrusal programlama problemlerini çözmek için her biri benzersiz yaklaşımlar ve faydalar sunan çeşitli yöntemler mevcuttur. Simplex algoritması, uygulanabilir bölgenin köşelerinde gezinerek optimum çözümleri verimli bir şekilde bulma yeteneğiyle tanınan en yaygın kullanılan tekniklerden biridir. Bu yöntem, analitik veya grafiksel olarak çözülmesi zor olan büyük ölçekli problemlerle uğraşırken özellikle avantajlıdır. Buna karşılık, grafiksel yöntem çözümlerin görsel bir temsilini sağlar ve iki değişkenli problemler için idealdir, uygulanabilir bölge ve optimum çözüm hakkında sezgisel bir anlayış sunar. Bu teknikler, doğrusal programlamanın çeşitli senaryolarda pratik uygulamasını sağlamada önemli bir rol oynar ve sorun özelliklerine göre uygun yöntemi seçmenin önemini vurgular (Şahin, Aghayeva,2017).

Doğrusal programlama önemli avantajlar sunarken, pratik uygulamalarda dikkate alınması gereken belirli sınırlamaları da vardır. Birincil faydalarından biri, üretken kaynakların kullanımını optimize etme yeteneğidir ve bu da gelişmiş karar alma ve operasyonel verimliliğe yol açar. Ancak, hedef ve kısıt fonksiyonlarında doğrusallık gereksinimi kısıtlayıcı olabilir, çünkü gerçek dünya problemleri genellikle doğrusal

olmayan ilişkileri içerir. Doğrusal programlama tüm değişkenlerin sürekli olduğunu ve tek bir hedefin takip edildiğini varsayar, bu da her zaman gerçek dünya senaryolarının karmaşıklıklarıyla uyumlu olmayabilir. Bu avantajları ve sınırlamaları anlamak, doğrusal programlama tekniklerini pratikte etkili bir şekilde kullanmak ve potansiyellerinin tam olarak gerçekleştirilebileceği uygun problemlere uygulanmalarını sağlamak için çok önemlidir (Hillier,Lieberman, 1995).

Doğrusal programlama, hava trafiği yönetiminde kalkış ve varış saatlerinin yönetilmesinde önemli bir rol oynar. Bu çizelgeleri optimize ederek, hava trafik kontrolörleri uçuşların tahsis edilen zaman aralıklarında kalkış ve varış yapmasını sağlayarak havalimanlarında tıkanıklık olasılığını azaltabilir. Bu optimizasyon, hava trafiğinin daha akıcı bir şekilde akmasını sağlayarak olası çatışmaları ve gecikmeleri en aza indirdiği için çok önemlidir. Doğrusal programlama modelleri, model parametrelerinin kesin olarak bilindiği, hassas planlama ve uygulamaya olanak tanıyan bu tür kesin senaryoları ele almak üzere tasarlanmıştır. Bu uygulama yalnızca havayolları için faydalı olmakla kalmaz, aynı zamanda bekleme sürelerini azaltarak ve dakikliği iyileştirerek genel yolcu deneyimini de iyileştirmektedir (Çeçen,Çetek 2017).

Hava sahası kapasitesini taleple dengelemek, hava trafiği yönetiminde doğrusal programlamanın bir diğer kritik uygulamasıdır. Doğrusal modellerin kullanımı, hava trafiğini gökyüzünün farklı sektörlerine verimli bir şekilde dağıtmaya yardımcı olur ve hiçbir segmentin aşırı yüklenmemesini, diğerlerinin ise yetersiz kullanılmasını sağlar. Bu denge, hava sahasına olan talebin analiz edilmesi ve mevcut kapasiteyle uyumlu hale getirilmesiyle sağlanır, böylece darboğazlar önlenir ve sorunsuz operasyonlar sağlanır. Hava trafiği yöneticileri, doğrusal programlama tekniklerini kullanarak, yoğun seyahat saatlerinde bile hava sahasının kullanımını optimize eden bilinçli kararlar alabilirler. Bu stratejik tahsis, yalnızca gecikmeleri en aza indirerek havayollarına fayda sağlamakla kalmaz, aynı zamanda hava yolculuğunun güvenliğini ve güvenilirliğini de artırır (Uslu,2012).

Uçuş programlarında gecikmeleri en aza indirmek ve verimliliği en üst düzeye çıkarmak, hava trafiği yönetiminde en önemli hedeflerdir ve doğrusal programlama, bu zorluklara etkili çözümler sunar. Doğrusal programlama modellerini kullanarak, havayolları hava sahası tıkanıklığı ve kaynak kısıtlamaları gibi gecikmelere neden olan faktörleri sistematik olarak ele alabilir. Modeller, uçak dönüş sürelerini optimize eden ve zamanında kalkış ve varış sağlayan programlar geliştirmeye yardımcı olur. Bu optimizasyon, uçuşlar planlanan programlara uyabildiği ve kesintilerden kaçınabildiği

için artan operasyonel verimliliğe dönüşür. Dahası, gecikmeleri azaltarak havayolları yakıt verimliliğini iyileştirebilir ve operasyonel maliyetleri düşürebilir, böylece genel karlılıklarını artırabilirler. Dolayısıyla doğrusal programlamanın kullanımı, daha verimli ve güvenilir bir hava trafiği yönetim sistemi elde etmede etkili hale gelir (Uslu, 2012).

Hava trafik kontrol personelinin verimli bir şekilde dağıtılması, hava trafik yönetiminde emniyet ve operasyonel verimliliğin sağlanması için çok önemlidir. Bu dağıtım için doğrusal programlamanın kullanılması, kuruluşların personel atamalarını çeşitli kısıtlamalara ve ihtiyaçlara göre optimize etmelerini sağlar. Doğrusal programlama modelleri, hava trafik kontrolörlerinin en çok ihtiyaç duyulan yerlere tahsis edilmesini sağlamak için vardiya düzenleri, deneyim seviyeleri ve iş yükü dağılımı gibi faktörleri göz önünde bulundurulabilir. Bu optimizasyon süreci yalnızca hava trafik kontrolünün etkinliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda personelin aşırı yüklenmemesini sağlayarak hata riskini azaltmaktadır. Doğrusal programlamayı kullanarak havacılık kuruluşları kaynaklarını sistematik olarak hava trafiği talepleriyle uyumlu hale getirebilir ve sonuçta daha güvenli ve daha verimli bir hava sahasına katkıda bulunabilir (Gerdes., 2018).

Pist ve kapı kaynaklarının tahsisi, doğrusal programlamanın hava trafiği akışını optimize etmede başarılı olduğu bir başka alandır. Havaalanları, özellikle yoğun saatlerde sınırlı pist ve kapı kullanılabilirliğini yönetme zorluğuyla karşı karşıyadır. Doğrusal programlama modelleri, uçak kalkış ve inişlerini gecikmeleri ve tıkanıklığı en aza indirecek şekilde planlayarak bu kaynakların kullanımını en üst düzeye çıkarmak için geliştirilebilir. Bu modeller, uçak varış saatleri, dönüş gereksinimleri ve kalkış programları gibi çeşitli parametreleri hesaba katar. Bunu yaparak, havaalanları daha sorunsuz bir hava trafiği akışı sağlayabilir, sıklığı azaltabilir ve genel verimliliği artırabilir. Bu bağlamda doğrusal programlamanın stratejik kullanımı yalnızca operasyonel performansı artırmakla kalmaz, aynı zamanda bekleme sürelerini ve gecikmeleri en aza indirerek yolcu memnuniyetini de artırmaktadır (Cruciol, 2015).

Yakıt ve bakım kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesi, hava trafik yönetim sistemlerinin sorunsuz çalışması için esastır. Doğrusal programlama, bu kaynakların optimum şekilde tahsis edilmesine yardımcı olarak uçakların zamanında ve uygun maliyetli bir şekilde bakımlarının yapılmasını ve yakıt ikmalinin yapılmasını sağlayabilir. Bakım programları, yakıt tüketim oranları ve kaynakların kullanılabilirliği gibi faktörleri göz önünde bulundurarak, doğrusal programlama modelleri yüksek operasyonel standartları korurken maliyetleri en aza indiren çözümler sağlayabilir. Bu yaklaşım, havayollarının ve havaalanlarının operasyonlarını daha iyi planlamalarını, gereksiz duruş

sürelerini azaltmalarını ve uçakların gerektiğinde hizmete hazır olmasını sağlamalarını sağlar. Yakıt ve bakım kaynaklarının yönetiminde doğrusal programlamanın uygulanması yalnızca operasyonel verimliliği desteklemekle kalmaz, aynı zamanda kaynak kullanımını optimize ederek hava trafik yönetiminin sürdürülebilirliğine de katkıda bulunur (Künnen,Strauss, 2022).

Optimum uçuş yolları tasarlamak, tıkanıklığı hafifletmeyi ve yakıt tüketimini en aza indirmeyi amaçlayan hava sahası yönetiminin önemli bir yönüdür. Hava trafiği yöneticileri, doğrusal programlama tekniklerini kullanarak hava sahası kaynaklarını verimli bir şekilde tahsis edebilir ve uçakların güvenliği tehlikeye atmadan mümkün olan en doğrudan rotaları izlemesini sağlayabilir. Bu yaklaşım, aynı hava sahası için rekabet eden uçak sayısını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda uçuş sürelerini kısaltarak önemli yakıt tasarrufları ve daha düşük emisyonlara yol açar. Bu tür optimizasyonun, havayolları için maliyet tasarrufu ve azaltılmış çevresel ayak izi gibi çok çeşitli faydaları vardır. Sürekli artan hava trafiği hacmiyle birlikte, bu tür verimli rota çözümlerine olan ihtiyaç daha da acil hale geliyor (Xu,2020).

Bu stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanması, dünya çapındaki hava trafiği otoriteleri arasındaki kapsamlı araştırma ve iş birliği tarafından yönlendirilmekte ve hava trafiği yönetiminde inovasyonun önemini vurgulamaktadır. Olumsuz hava koşulları sırasında yeniden rota stratejilerinin uygulanması, hava trafiği operasyonlarının güvenliğini ve verimliliğini korumak için esastır. Doğrusal programlama modelleri, hava trafik kontrolörlerinin gerçek zamanlı hava durumu verilerine yanıt olarak uçuş yollarını hızla ayarlamasını sağlayarak bu süreçte etkilidir. Bu yeniden yönlendirme stratejileri, tehlikeli hava bölgelerinden kaçınan ve optimum seyahat sürelerini koruyan alternatif rotalar belirleyerek gecikmeleri ve iptalleri önlemeye yardımcı olur (Çelik,2020). Değişen hava koşullarına dinamik olarak uyum sağlama yeteneği, kesintileri en aza indirmek ve yolcu güvenliğini sağlamak için hayati önem taşır. Yetkililer, gelişmiş hava modellemesini hava trafiği yönetim sistemleriyle entegre ederek karar alma süreçlerini iyileştirebilir ve hava yolculuğu ağlarının dayanıklılığını artırabilir. Öngörülemeyen hava olayları sırasında hava sahasını yönetmeye yönelik bu proaktif yaklaşım, hava trafiği yönetim sistemlerini modernize etmede teknolojinin kritik rolünü vurgular.

Öngörücü modelleme ve risk değerlendirmesi yoluyla güvenliği artırmak, hava trafiği yönetiminin ayrılmaz bir parçasıdır. Doğrusal programlama teknikleri, potansiyel riskleri değerlendiren ve hava sahası kullanımının stratejik planlamasına yardımcı olan öngörücü modeller geliştirmek için kullanılır. Bu modeller, güvenlik risklerini tahmin

etmek ve azaltmak için uçak performansı, hava trafiği yoğunluğu ve potansiyel çatışma noktaları gibi çeşitli faktörleri hesaba katar. Hava trafiği yetkilileri, endişe verici alanları kritik hale gelmeden önce belirleyerek önleyici tedbirler uygulayabilir ve genel güvenlik standartlarını iyileştirebilir. Bu proaktif duruş, yalnızca olay olasılığını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda havayolları ve yolcular arasında güveni de artırır. Risk değerlendirme modellerinin hava trafiği yönetim sistemlerine entegre edilmesi, modern hava yolculuğunun karmaşıklıklarını ele almak için gereken ileri görüşlü yaklaşıma örnek teşkil eder. Bu modellerin sürekli iyileştirilmesi ve uygulanması yoluyla, yetkililer hava trafiği operasyonlarının güvenliğini ve güvenilirliğini artırabilir (Gerdes , 2018).

Doğrusal programlamanın hava trafiği yönetimine entegre edilmesi, mali açıdan zorlu havacılık sektöründe bir zorunluluk olan maliyet düşürme için önemli bir fırsat sunar. Kaynak tahsisini optimize ederek havayolları, yakıt tüketimi, mürettebat planlaması ve bakım masrafları gibi operasyonel maliyetleri en aza indirebilir. Doğrusal programlama modelleri, kat edilen mesafeyi ve havada geçirilen süreyi azaltarak yakıt verimliliğini doğrudan etkileyen verimli rota planlamasına olanak tanır. Bu optimizasyon yalnızca yakıt maliyetlerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda uçaklardaki aşınma ve yıpranmayı da azaltarak daha düşük bakım masraflarına yol açar. Dahası, doğrusal programlama yoluyla etkili mürettebat planlaması, fazla mesai ücreti ihtiyacını azaltır ve genel işgücü verimliliğini artırır. Bu maliyet tasarrufu stratejileri, kâr marjlarının genellikle düşük olduğu havacılık pazarında rekabet gücünü korumak için hayati öneme sahiptir. (Özgür,2007).

Doğrusal programlama tekniklerinden türetilen optimize edilmiş uçuş rotaları, özellikle karbon emisyonlarını azaltma açısından önemli çevresel faydalar sunar. En verimli yolları hesaplayarak havayolları, sera gazı emisyonlarına büyük katkıda bulunan gereksiz yakıt kullanımını önemli ölçüde azaltabilir. Bu çevre bilincine sahip yaklaşım, havacılık sektörünün karbon ayak izini en aza indirerek iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik küresel çabalarla uyumludur. Ayrıca, optimize edilmiş rotaların uygulanması, uçuşlar kolaylaştırıldığı ve gereksiz rota değişiklikleri ortadan kaldırıldığı için havaalanları çevresindeki gürültü kirliliğinin azalmasına yol açabilir. Emisyonların ve gürültü kirliliğinin azaltılması yalnızca ekosistemlerin korunmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda havaalanlarının yakınında yaşayan toplulukların yaşam kalitesini de artırır. Bu iyileştirmeler, daha sürdürülebilir bir havacılık endüstrisine ulaşmak için doğrusal programlamanın benimsenmesinin önemini vurgular (Li,Wan, 2021).

Ekonomik büyümeyi sürdürülebilir hava trafiği uygulamalarıyla dengelemek, doğrusal programlamanın stratejik uygulamasıyla ele alınabilecek kritik bir zorluktur. Hava trafiği artmaya devam ettikçe, verimli ve çevre dostu çözümlere olan talep daha da acil hale gelir (Ye,2022). Doğrusal programlama hem ekonomik genişlemeyi hem de çevresel sürdürülebilirliği destekleyen hava trafiği yönetim sistemlerinin geliştirilmesini kolaylaştırır. Uçuş operasyonlarını optimize etmeye odaklanarak, havayolları yakıt verimliliğinden veya çevre standartlarından ödün vermeden daha fazla uçuşu idare etme kapasitelerini artırabilirler. Bu denge, katı sürdürülebilirlik yönergelerine uyarken ekonomik büyümeyi sürdürmek için önemlidir. Havacılık endüstrisinin çevresel bozulmaya katkıda bulunmadan gelişmeye devam edebilmesini sağlar. Bu nedenle doğrusal programlama, hava trafiği yönetiminde ekonomik hedefleri ekolojik sorumluluklarla uyumlu hale getirme çabasında bir temel taşı olarak durmaktadır.

Sonuç olarak, doğrusal programlama, uçuş planlamasını, kaynak tahsisini ve hava sahası yönetimini optimize ederek hava trafiği yönetimini geliştirmede önemli bir rol oynar. Doğrusal modellerin uygulanması, kalkış ve varış saatlerinin etkili bir şekilde yönetilmesini, hava sahası kapasitesinin taleple dengelenmesini ve gecikmelerin en aza indirilmesini sağlar ve sonuçta daha verimli uçuş planlamalarına yol açar. Ek olarak, doğrusal programlama, hava trafik kontrol personelinin stratejik dağıtımını ve pist ve kapı kaynaklarının optimum tahsisini kolaylaştırır; bu da sorunsuz operasyonlar ve verimli kaynak kullanımı için olmazsa olmazdır. Optimum uçuş yollarının tasarımı ve yeniden yönlendirme stratejilerinin uygulanması, özellikle olumsuz hava koşullarında tıkanıklığı ve yakıt tüketimini azaltmada doğrusal programlamanın önemini daha da vurgular. Dahası, optimize edilmiş hava trafiği yönetiminin ekonomik ve çevresel etkileri göz ardı edilemez, çünkü bu stratejiler maliyet azaltımına katkıda bulunur, sürdürülebilirliği teşvik eder ve ekonomik büyümeyi destekler. Hava trafiği artmaya devam ettikçe, doğrusal programlamanın güvenlik ve verimliliği sağlarken havacılık sektörünün karmaşık zorluklarını ele almak için kullanılması hayati önem taşımaya devam edecektir.

2.6. Hava Trafik Akış Yönetimi Stratejileri

İşbirlikçi Karar Alma (CDM) teknikleri, hava trafiği ve hava sahasının dinamik yönetiminde önemli bir rol oynar. Bu teknikler, Hava Trafik Yönetimi'nde (ATM) yer alan çeşitli paydaşlar arasında iş birliğine dayalı etkili bir karar alma sürecinin kurulmasını gerektirmektedir. Havayolları hava trafik kontrolörleri ve havalimanı operatörleri arasında iletişimi ve iş birliğini teşvik ederek, CDM mevcut hava sahasının

kullanımını optimize etmeye yardımcı olur ve hava trafiği operasyonlarının verimliliğini artırır. Bu iş birlikçi yaklaşım, kararların tüm ilgili taraflardan gelen gerçek zamanlı veriler ve girdiler dikkate alınarak alınmasını sağlayarak daha bilgili ve etkili sonuçlara yol açar. CDM tekniklerinin uygulanması yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda hava trafiği sistemlerinin emniyetine ve güvenilirliğine de katkıda bulunur. Hava trafiği arttıkça, karmaşık hava sahası ortamlarını yönetmede CDM'nin önemi daha da kritik hale gelir ve bu iş birlikçi süreçlerde sürekli ilerlemeler ve iyileştirmeler gerektirir (Deitchman, Blumstein, 1960).

Trafik akışı yönetimi girişimleri (TFMI'ler), hava trafiği tıkanıklığının zorluklarını ele almada ve sorunsuz ve verimli uçuş operasyonlarını sağlamada çok önemlidir. Bu girişimler, hava trafiğinin akışını optimize etmeyi ve gecikmeleri en aza indirmeyi amaçlayan bir dizi strateji ve önlemi kapsar. Örneğin, taktik hava trafiği akışı ve kapasite yönetimi modelleri, uçak çatışmalarını önlemek ve hava trafiği sistemlerinin genel verimliliğini artırmak için kullanılır. Bu tür modeller, uçuş yollarında ve programlarında gerçek zamanlı ayarlamalar yapmak için hava koşulları, hava sahası kısıtlamaları ve pist kullanılabilirliği gibi çeşitli faktörleri hesaba katar. TFMI'lerin uygulanmasıyla havacılık endüstrisi, yüksek güvenlik ve güvenilirlik standartlarını korurken hava yolculuğuna olan artan talebi etkili bir şekilde yönetebilir. Hava trafiği yöneticileri, bu girişimleri sürekli olarak iyileştirerek, endüstrinin gelişen ihtiyaçlarına uyum sağlayabilir ve hava sahası kapasitesinin tam potansiyeline göre kullanılmasını sağlayabilir (Uslu, 2012).

Akış yönetimi verimliliğini artırmada teknolojinin rolü yeterince vurgulanamaz. Teknolojik gelişmeler, hava trafiği akışının yönetilme biçiminde devrim yaratarak operasyonel verimliliği ve güvenliği artıran yenilikçi araçlar ve çözümler sunar. Örneğin, büyük veri teknolojisi, en verimli ve karlı rotaları belirlemek için çok miktarda veriyi analiz ederek rota optimizasyonunu mümkün kılar.(Dursun, 2021) Bu veri odaklı yaklaşım, daha iyi talep tahmini ve filo yönetimine olanak tanır ve sonuç olarak hava sahasının ve kaynakların daha verimli kullanılmasına yol açar. Ek olarak, makine öğrenimi ve yapay zekâ gibi gelişmiş teknolojilerin hava trafik yönetim sistemlerine entegre edilmesi, öngörücü içgörüler ve gerçek zamanlı analizler sağlayarak karar alma süreçlerini daha da iyileştirir. Bu teknolojik yeniliklerden yararlanarak havacılık sektörü, akış yönetimi verimliliğinde önemli iyileştirmeler elde edebilir ve bunun sonucunda gecikmeler azalabilir, operasyonel maliyetler düşebilir ve yolcu deneyimleri iyileştirilebilir (Yaman, Atmaca, 2024).

2.7. Rota Optimizasyonu

Hava trafiğinin giderek artan karmaşıklığıyla, rota planlamasında algoritmaların ve makine öğreniminin kullanımı vazgeçilmez hale gelmiştir. Tahmini makine öğrenimi yöntemleri, kısa mesafeli uçuşlarda varış saati tahmini ve maliyet endeksi optimizasyonu için etkili bir şekilde uygulanmıştır ve bu da hava trafiği akış yönetiminin verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır (Yaman,Atmaca, 2024). Bu algoritmalar, potansiyel gecikmeleri tahmin etmek için geçmiş verileri ve mevcut uçuş koşullarını analiz ederek daha doğru ve güvenilir rota planlamasına olanak tanır. Makine öğrenimi modelleri, hava trafiği verilerindeki kalıpları ve anormallikleri belirlemek üzere eğitilebilir ve bu da uçuş rotalarında proaktif ayarlamalar yapılmasını sağlar. Bu teknolojik ilerleme yalnızca uçuş yollarını optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda yakıt tüketimini en aza indirir ve havada çatışma olasılığını azaltır. Bu tür akıllı sistemleri entegre ederek, hava trafik kontrolörleri hem güvenlik hem de verimlilik hedefleriyle uyumlu bilinçli kararlar alabilirler (Özgür, 2013).

Hava koşulları, rota optimizasyonunda önemli bir rol oynar ve genellikle uçuş yollarında dinamik ayarlamalar yapılması ihtiyacını belirler. Örneğin, rüzgârın etkisi hem yakıt verimliliğini hem de uçuş süresini etkileyebileceği için rota optimizasyonunda dikkate alınan kritik bir faktördür. Değişen rüzgâr koşulları altında uçak rota optimizasyonu sorununu ele almak için optimum kontrol teknikleri kullanılmış ve uçuşların mümkün olan en güvenli ve en verimli yolları koruması sağlanmıştır. Ani hava değişikliklerini hesaba katmayan statik rota planlamasının aksine, dinamik rota ayarlamaları uçakların türbülans veya fırtına gibi olumsuz koşulların etrafından dolaşmasını sağlar. Bu uyarlanabilirlik, gecikmeleri en aza indirdiği ve yolcu güvenliğini artırdığı için sorunsuz ve zamanında operasyonları sürdürmek için çok önemlidir. Hava trafik yönetim sistemleri, gerçek zamanlı hava durumu verilerinden yararlanarak rotaları operasyonel verimlilik ile güvenlik marjlarını dengeleyecek şekilde optimize edebilir.

Rota optimizasyonu alanında, yakıt verimliliği ile zaman yönetimi arasında bir denge kurmak çok önemlidir. Hava trafik hizmetleri, yalnızca güvenli değil aynı zamanda ekonomik ve verimli operasyonlar sunmayı hedefler. Bu, zamanında varış ve kalkışları sağlarken yakıt tüketimini en aza indiren stratejik rota kararları almayı içerir. Yakıt açısından verimli rotalama, genellikle uçakların daha uzun mesafeler kat etmesini veya elverişli rüzgarlardan yararlanmak için irtifaları ayarlamasını gerektirir ve bu da daha uzun uçuş sürelerine yol açabilir. Tersine, zaman verimliliğine öncelik vermek daha yüksek yakıt kullanımına neden olabilir. Bu nedenle, hava trafik kontrolörleri yakıt

tasarrufu ile sıkı programlara uyma arasındaki olası dengeleri göz önünde bulundurarak bu faktörleri dikkatlice tartmalıdır. Gelişmiş algoritmaların ve gerçek zamanlı veri analitiğinin entegrasyonu, bu hassas dengeyi sağlamaya yardımcı olur ve hem kaynak kullanımını hem de operasyonel zaman çizelgelerini optimize eden bir karar çerçevesi sağlar (Tinoco, 2021).

2.7.1. Rota Planlanmasında Kullanılan Matematiksel Yöntemler

Doğrusal programlama (LP), hava sahası rotalarını optimize etmede kullanılan temel bir tekniktir ve karmaşık senaryolarda karar almaya yapılandırılmış bir yaklaşım sunar. LP modelleri, çok sayıda değişkeni ve kısıtlamayı işleyebildikleri ve yakıt verimliliği, zaman ve güvenlik açısından uçuş yollarının optimizasyonuna olanak sağladıkları için güçlü araçlardır. Doğrusal programlama, gerçek dünya problemlerini matematiksel denklemlere dönüştürerek hava trafik kontrolörlerinin ve planlamacılarının tüm operasyonel gereklilikleri karşılayarak maliyetleri en aza indiren bilinçli kararlar almalarına yardımcı olur. Örneğin, harita servislerini kullanarak bir mesafe matrisi oluşturarak LP, farklı sipariş kümeleri arasındaki rotaları optimize edebilir ve uçuşların mümkün olan en verimli şekilde gerçekleştirilmesini sağlayabilir.(Dişkaya,2018) Bu sistematik yaklaşım, çok sayıda faktörü aynı anda dengeleme ihtiyacının en önemli olduğu hava sahası yönetiminde çok önemlidir (Samà , 2013).

Genetik algoritmalar (GA'lar), karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için doğal evrimden ilkelere ödünç alarak hava sahası planlamasında rota verimliliğini artırmak için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu algoritmalar, geleneksel optimizasyon tekniklerinin yetersiz kalabileceği büyük ölçekli problemlerde özellikle etkilidir. GA'lar, çözümlerin daha optimum hale gelmek için yinelemeler boyunca evrimleştiği doğal seçilime benzer bir süreç kullanır. Özellikle hızlı çözüm üretimi gerektiren senaryolarda avantajlı olduklarını kanıtlayarak, nispeten kısa bir zaman diliminde neredeyse optimum çözümler sunarlar (Gerede,Turhan,Şekerli,Bükeç,2016). Uygulamalar insansız hava araçlarının rota planlamasına kadar uzanır ve çeşitli bağlamlarda çok yönlülüklerini ve etkinliklerini gösterir. Evrimsel süreçleri taklit ederek, GA'lar rota planlama verimliliğini iyileştirmek, dinamik ortamlara ve değişen kısıtlamalara uyum sağlamak için sağlam bir yöntem sunar (Uçan,2013).

Dinamik programlama (DP), gerçek zamanlı hava sahası rota planlamasında önemli bir rol oynar ve canlı karar alma karmaşıklıklarını ele almak için metodik bir yaklaşım sunar. DP modelleri, kararların bir dizi halinde alınması gereken ve her seçimin

bir öncekinin sonucuna bağlı olduğu senaryolar için özellikle uygundur. Bu, koşulların aniden değişebileceği ve anında ayarlamalar gerektirebileceği hava sahası yönetimi için onları ideal hale getirir. DP, niceliksel karar alma tekniklerini kullanarak dinamik rota planlamasının zorluklarını etkili bir şekilde ele alabilir. Gerçek zamanlı verilere uyum sağlama yeteneği, rotaların sürekli olarak optimize edilmesini, gecikmelerin azaltılmasını ve genel hava trafiği verimliliğinin iyileştirilmesini sağlar. Bu uyarlanabilirlik, hava sahası yönetiminin uçuş koşullarındaki hem öngörülebilir hem de öngörülemeyen değişikliklere duyarlı kalmasını sağlamak açısından kritik öneme sahiptir (Önder, 2011).

2.8. Hava Trafik Yönetimi için Simülasyon Modelleri

Monte Carlo simülasyonları, belirsiz olayların olası sonuçlarını tahmin etmek için matematiksel bir çerçeve sağlayarak hava trafiği yönetimi için risk değerlendirmesinde önemli bir rol oynar. Bu teknik, olasılık dağılımlarından rastgele sayılar üretmeyi içerir ve analistlerin çeşitli risk senaryolarını istatistiksel bir güven derecesiyle değerlendirmesine olanak tanır. Örneğin, Monte Carlo simülasyonları içinde Poisson sürecini kullanmak, giderek kalabalıklaşan göklerde güvenliği sağlamak için elzem olan belirli hava sahası kazalarının doğru risk analizini sağlar. Geçmiş verilerden ve hesaplamalı modellerden yararlanarak, bu simülasyonlar karar vericilerin farklı olayların olasılığını değerlendirmelerine ve bunları etkili bir şekilde azaltmak için stratejiler geliştirmelerine olanak tanır (Hançerlioğulları,2006).

Ajan tabanlı modeller, bir sistem içindeki bireysel varlıkların veya "ajanların" etkileşimlerini simüle ettikleri için hava sahasındaki trafik akışını analiz etmede etkilidir (Keleş , Eren, 2020). Bu modeller, her uçağı farklı davranışları ve hedefleri olan bireysel bir ajan olarak ele alır ve karmaşık trafik düzenlerinin ve olası darboğazların simülasyonunu sağlar. Bu yaklaşım sayesinde analistler, hava koşulları veya hava sahası kısıtlamaları gibi farklı faktörlerin hava trafiğinin genel verimliliğini ve güvenliğini nasıl etkilediğini değerlendirebilirler. Etkileşimleri bu kadar ayrıntılı bir düzeyde modelleme yeteneği, hava trafiği akışını optimize etme ve havacılık sektöründeki birden fazla paydaş arasındaki koordinasyonu geliştirme konusunda tatmin edici sonuçlar verir (Temizkan,2016).

Ayrık olay simülasyonları, sistemi zaman içinde meydana gelen bir dizi farklı olay olarak modelledikleri için hava trafiği yönetiminin de senaryo testleri için güçlü bir araç sunar. Bu yöntem, ekipman arızaları veya uçuş programlarında ani değişiklikler gibi belirli olayların genel hava sahası sistemi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için simüle

edilebildiği çeşitli "ya şöyle olsaydı" senaryolarının araştırılmasına olanak tanır. Olası güvenlik açıklarını belirleyerek ve mevcut protokollerin sağlamlığını test ederek, ayrık olay simülasyonları planlamacıların acil durum planları geliştirmelerine ve hava trafiği operasyonlarının dayanıklılığını artırmalarına yardımcı olur. Bu simülasyonlardan elde edilen bilgiler, hava trafik sistemlerinin beklenmedik zorluklara uyum sağlayabilmesini ve çeşitli koşullar altında sorunsuz operasyonları sürdürebilmesini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir (Dişkaya, 2013).

2.9. Esnek Hava Sahası ve Türk Hava Sahası Yönetimi

Esnek hava sahası konseptlerinin tarihsel gelişimi, sivil ve askeri hava sahası kullanıcıları arasındaki koordinasyon ihtiyacının artmasına kadar uzanmaktadır. Başlangıçta hava sahası katı bir şekilde bölünmüştü ve bu da uçuşların yönetiminde sıklıkla verimsizliklere ve çatışmalara yol açmıştır. Hava sahasının esnek kullanımı konsepti, farklı paydaşlar arasında bilgi ve tavsiye paylaşımı için koordinasyon mekanizmalarının önemini vurgulayan bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. (Turhan, 2015) Bu yaklaşım, hava sahasının sabit sınırlar yerine gerçek zamanlı ihtiyaçlara göre dinamik olarak tahsis edilmesini sağlamıştır. Zamanla, bu konseptler hava yolculuğunun artan karmaşıklığı ve hava sahası kullanımını optimize etme ihtiyacından etkilenerek evrimleşmiştir. Esnek hava sahası modeli, etkili hava sahası yönetiminin tüm seviyelerde sivil ve askeri otoriteler arasında iş birliği gerektirdiği anlayışıyla daha da rafine edilmiştir. Bu tarihsel evrim, esnek hava sahası yönetiminin verimli hava trafiği operasyonları için ayrılmaz bir parçası olduğu Türkiye gibi ülkelerde görülen modern uygulamalar için temel oluşturmuştur (Kökhan , 2017).

Teknolojik gelişmeler, esnek hava sahasını kolaylaştırmada önemli bir rol oynamış ve hava sahasını dinamik ve verimli bir şekilde yönetmeyi mümkün kılmıştır. Gelişmiş radar sistemlerinin, uydu tabanlı navigasyonun ve gerçek zamanlı veri paylaşım teknolojilerinin geliştirilmesi, daha hassas ve uyarlanabilir hava sahası yönetimini mümkün kılmıştır. Bu teknolojiler, sivil ve askeri hava sahası kullanıcılarının sorunsuz entegrasyonunu sağlayarak hava sahasının en iyi şekilde kullanılmasını sağlar. Dahası, gelişmiş hava trafiği yönetim sistemlerinin uygulanması, hava sahasını esnek bir şekilde koordine etme ve tahsis etme yeteneğini daha da artırmıştır. Bu tür sistemler, hava trafiği, hava koşulları ve diğer kritik faktörler hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayarak proaktif karar almaya olanak tanır. Teknolojinin hava sahası yönetimine entegrasyonu hem sivil

hem de askeri uçuşların güvenli ve verimli bir şekilde bir arada var olmasını sağlayarak mevcut hava sahası kaynaklarının kullanımını en üst düzeye çıkardığı için çok önemlidir.

Esnek hava sahası sistemlerinin uluslararası olarak benimsenmesi ve uyarlanması, hava trafiği yönetimini optimize etmedeki faydalarının küresel olarak tanınmasını vurgulamaktadır. Çeşitli ülkeler bu sistemleri benimsemiş ve bunları kendi özel hava sahası ihtiyaçlarına ve düzenleyici çerçevelerine uyacak şekilde uyarlamıştır. Sivil ve askeri uçuşlara önceden belirlenmiş koşullar altında izin verilen koordineli hava sahaları kavramı, bu uyarlamanın önemli bir yönü olmuştur (Yılmaz, Ulvi, 2022). Bu tür girişimler, hava sahasının iş birliğine dayalı olarak yönetilmesini, güvenliği ve verimliliği önceliklendirmesini sağlar. Hava sahası yönetim el kitaplarında özetlenen ROL yönergeleri gibi uluslararası yönergeler, esnek hava sahası uygulamalarının uygulanması için bir çerçeve sağlar. Bu yönergeler, ülkeleri en iyi uygulamaları benimsemeye teşvik ederek esnek hava sahası yönetiminin havacılık sistemlerine sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini kolaylaştırır. Sonuç olarak, uluslararası toplum hava trafiği akışında iyileşme, gecikmelerde azalma ve güvenlikte artış görmüştür ve bu da esnek hava sahası sistemlerinin küresel ölçekte etkinliğini göstermektedir (Yılmaz, Ulvi,2022).

2.9.1. Mevcut Türk Hava Sahası Yönetim Yapısı

Türk hava sahası, sınırları içerisinde uçakların güvenli ve verimli bir şekilde hareket etmesini sağlayan uluslararası standartlarla uyumlu kapsamlı bir sınıflandırma sistemi tarafından yönetilmektedir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından oluşturulan düzenlemeler, bu kuralların şekillenmesinde önemli bir rol oynayarak Türkiye'deki hava trafik hizmetleri için bir çerçeve sunmaktadır (Turhan, 2015). Hava sahası, her biri kendi operasyonel kuralları ve prosedürleri olan ve hem sivil hem de askeri havacılık ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış belirli sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflandırma sistemi, çeşitli hava sahası kullanıcıları için sorumlulukları ve erişim haklarını açıkça belirleyerek etkili hava sahası yönetimini kolaylaştırır. Amaç, yüksek güvenlik standartlarını korurken tüm havacılık faaliyetlerinin sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini sağlamaktır (Uçan, 2013).

Türk hava sahasının yönetiminde, her biri verimli bir şekilde çalışmasını sürdürmede önemli bir rol oynayan birkaç önemli kurum yer almaktadır. Örneğin, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, hava seyrüsefer hizmetlerinin uygulanmasını denetlemekten ve uluslararası düzenlemelere uyumu sağlamaktan sorumludur. Ek olarak, Hava Sahası Yönetim Kurulu, hava sahası yapılarını belirlemek ve üst kurulların kararlarını

yürütmekle görevlendirilmiştir, böylece çeşitli paydaşlar arasında koordinasyonu kolaylaştırır. Diğer önemli kuruluşlar arasında, Türk hava sahasını tasarlamaya ve standart enstrüman kalkışları (SID), standart terminal varış rotaları (STAR) ve enstrüman yaklaşma prosedürleri (IAP'ler) için prosedürler geliştirmeye odaklanan Hava Sahası Tasarım Dairesi Müdürlüğü yer almaktadır. Bu kurumlar, karmaşık hava sahası çerçevesini yönetmek ve kullanıcılarının çeşitli ihtiyaçlarını desteklemek için iş birliği içinde çalışmaktadır (Yücel, 2021).

Türk hava sahası politikalarındaki son reformlar, esnekliği artırmayı ve modern havacılığın dinamik ihtiyaçlarını karşılamayı hedeflemiştir. Önemli bir gelişme ile Nisan 2014'te resmi olarak uygulanan Esnek Hava Sahası Kullanımı (FUA) konsepti tanıtıldı. Bu gelişme, sivil ve askeri havacılık otoriteleri arasında dinamik paylaşımı kolaylaştırarak daha uyarlanabilir hava sahası yönetimine olanak tanımaktadır. FUA konsepti, sınırları ve erişimi gerçek zamanlı olarak ayarlayarak hava sahası kullanımını optimize etmek, böylece tıkanıklığı azaltmak ve verimliliği artırmak için tasarlanmıştır. Bu reformlar, Türkiye'nin hava sahası yönetimindeki küresel eğilimlerle uyum sağlama taahhüdünü yansıtarak hava sahasının hava trafiğinin değişen taleplerine yanıt vermeye devam etmesini sağlar (R.G., 2014).

2.9.2. Türkiye'de Esnek Hava Sahasının Entegrasyonu

Türkiye'de esnek hava sahasının kullanımı uygulamaları hem sivil hem de askeri koordinasyonu vurgulayan stratejik çerçeveler tarafından yönlendirilmiştir. Bu koordinasyon, hava sahasını yönetmek için çeşitli düzeylerde yetkililerin birlikte çalışmasını gerektirdiği için etkili hava trafiği yönetimi için önemlidir. Temel stratejilerden biri, hava sahası kullanım taleplerini değerlendiren ve hem sivil hem de askeri uçuşların herhangi bir müdahale olmadan gerçekleştirilebilmesini sağlayan bir Hava Sahası Yönetim Birimi'nin kurulmasıdır. Sivil ve askeri kullanıcılar arasında ayrım yapmayan öncelikler belirleyerek, Türk hava sahası yönetim çerçevesi hava sahası kullanımını optimize etmeyi ve operasyonel verimliliği artırmayı amaçlamaktadır. Hava Sahası Yönetim Kurulu, hava sahası yapılarını belirleyerek ve genel stratejik hedeflerle uyumlu kararlar alarak bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır. Bu yapılandırılmış yaklaşım, esnek hava sahası konseptinin mevcut hava sahası yönetim sistemlerine etkili bir şekilde entegre edilmesini sağlar (Özgür, 2013).

Esnek hava sahası konseptlerinin Türk hava sahası yönetimine entegre edilmesi zorlukları da beraberinde getirmiştir. Hava trafiği yönetimiyle ilgili koordinasyon

sorunları uçuş güvenliğini önemli ölçüde etkileyebilir ve sorunsuz bir entegrasyon sürecinin önemini vurgular. Hava sahasının esnek kullanımı kavramı, sivil ve askeri kullanıcılar için gerçek zamanlı tahsis ve bölümlenme gerektirir ve bu yönetimi karmaşık olabilir. Ayrıca, ulusal Hava Trafik Hizmet Birimleri (ATSU'lar), Ağ Yöneticisi ve Hava Operatörleri (AO'lar) arasında sürekli iletişim ve veri alışverişi ihtiyacı devam eden bir zorluk teşkil etmektedir. Bu koordinasyon çabaları, hava sahasının emniyet ve güvenlik standartlarını korurken verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Ancak, bu zorlukların üstesinden gelmek, hava sahası taleplerinin dinamik doğasını ele almak için stratejilerin sürekli iyileştirilmesini ve iyileştirilmesini gerektirir (Keskin,2012).

2.9.3. Türk Hava Sahası Yönetimi için Gelecek Beklentileri

Potansiyel teknolojik yenilikler, gelişmiş verimlilik ve güvenlik sunarak Türkiye'deki hava sahası yönetiminde devrim yaratmaya hazır. Bu yeniliklerden biri de yapay zekanın (YZ) hava trafik kontrol sistemlerine entegre edilmesidir. YZ, büyük miktarda veriyi gerçek zamanlı olarak analiz edebilir ve hava trafiği yönetimi için daha kesin tahminler ve karar alma süreçlerini mümkün kılabilir. Bu YZ destekli sistemler uçuş yollarını optimize edebilir, gecikmeleri azaltabilir ve yakıt tüketimini en aza indirerek daha sürdürülebilir havacılık uygulamalarına katkıda bulunabilir. Ayrıca, Avrupa Jeostatik Navigasyon Kaplama Hizmeti (EGNOS) gibi uydu tabanlı navigasyon sistemlerindeki gelişmeler, uçak konumlandırmasının doğruluğunu ve güvenilirliğini iyileştirmeyi vaat ediyor. Bu teknoloji, hassas konum verileri sağlayarak hava sahasının yönetimini önemli ölçüde iyileştirebilir ve mevcut hava sahasının daha verimli kullanılmasını sağlayabilir. Türkiye hava sahası altyapısını modernize etmeye devam ettikçe, bu yenilikler havacılık sektörünün geleceğini şekillendirmede önemli bir rol oynayacaktır (Turhan, 2015).

Hava sahası esnekliğini artırmak için, politika önerileri sivil ve askeri otoriteler arasındaki iş birliğini teşvik etmeye odaklanmalıdır. Esnek Hava Sahası Kullanımı (FUA) kavramı, hava sahası kullanımını optimize etmek için bu kuruluşlar arasındaki koordinasyonun önemini vurgular. Politikalar, düzenli iletişim ve iş birliğini kolaylaştıran ortak komitelerin veya çalışma gruplarının kurulmasını teşvik etmelidir. Bu koordinasyon hem sivil hem de askeri hava sahası gereksinimlerinin güvenlik veya verimlilikten ödün vermeden karşılanmasını sağlar. Politikalar dinamik hava sahası tahsis sistemleri gibi gelişmiş hava sahası yönetim teknolojilerinin geliştirilmesini ve uygulanmasını teşvik

edebilir. Bu sistemler, talebe göre hava sahası yapılandırmalarında gerçek zamanlı ayarlamalar yapılmasına olanak tanır, esnekliği artırır ve tıkanıklığı azaltır. Koordinasyonu ve teknolojik ilerlemeyi teşvik eden politikaları benimseyerek Türkiye, hava sahası yönetim yeteneklerini önemli ölçüde iyileştirebilir.

Esnek hava sahasının Türkiye'nin havacılık endüstrisi ve ekonomisi üzerindeki etkisi önemlidir ve çok sayıda fayda sağlar. Esnek hava sahası yönetimi, daha az yakıt tüketimi ve daha kısa uçuş süreleri yoluyla havayolları için maliyet tasarrufu sağlayabilen daha verimli uçuş operasyonlarına olanak tanır. Bu verimlilikler, daha düşük operasyonel maliyetlere dönüşür ve Türk havacılık pazarını küresel ölçekte daha rekabetçi hale getirir. Ayrıca, iyi yönetilen esnek bir hava sahası daha fazla uluslararası havayolunu çekebilir, hava trafiğini artırabilir ve turizmi ve iş seyahatlerini canlandırabilir. Ortaya çıkan ekonomik büyüme, iş yaratmayı ve altyapı yatırımını teşvik ederek Türkiye ekonomisine daha fazla fayda sağlayabilir. Havacılık sektörü, ekonomik kalkınmanın temel itici gücüdür ve esnek hava sahası yönetimini benimseyerek Türkiye, küresel havacılık endüstrisinde lider olarak konumlanabilir (Yücel, 2017).

2.10. Sivil ve Askeri Kullanımı Arasındaki Denge

Türk hava sahasının sivil ve askeri kullanımı arasındaki denge, hava trafik yönetiminde önemli bir konudur ve esnek hava sahası uygulamaları nedeniyle daha da karmaşık hale gelmektedir. Türk hava sahasının sivil ve askeri dengesi ile esnek hava sahası uygulamalarının mevcut durumu aşağıda ele alınmaktadır. Türk Hava Sahası: Türk hava sahası coğrafi konumu nedeniyle stratejik öneme sahiptir. Ülke, sivil ve askeri uçuşların yoğun olarak gerçekleştiği bir bölgede bulunuyor. Bu durum hava trafik yönetimi açısından çeşitli zorluklar yaratmaktadır. Türkiye sivil havacılıkta büyük atılımlar yaptı. Özellikle İstanbul'un uluslararası bir havacılık merkezi haline gelmesiyle sivil hava trafiği arttı. Türkiye'de birçok uluslararası ve yerel havaalanı bulunmaktadır. Bu havalimanları sivil hava trafik yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin jeopolitik konumu askeri hava trafiğini artırmaktadır (Uslu,2012).

Türk Silahlı Kuvvetleri hava sahasını çeşitli operasyon ve tatbikatlar için kullanmaktadır. Türkiye'de hava trafik yönetimi açısından hayati öneme sahip birçok askeri üs bulunmaktadır. Sivil ve askeri hava trafiği arasındaki denge, hava sahasının güvenliği ve verimliliği açısından özellikle önemlidir. Bu dengeyi sağlamak için dikkate alınması gereken birkaç önemli unsur vardır. Askeri uçuşlar genellikle belirli zaman dilimlerinde gerçekleştirilirken, sivil hava trafiği sürekli bir akış halindedir. Dolayısıyla

askeri uçuşların zamanlamasının sivil uçuş akışını etkilememesi gerekiyor. Askeri uçuşların yapıldığı bölgelerde sivil uçuşlar kısıtlanmalı veya yönlendirilmelidir. Bu, hava sahasının verimli kullanılması açısından önemlidir. Sivil ve askeri hava trafik kontrol yetkilileri arasındaki etkili koordinasyon, çatışma riskini azaltır. Türkiye'de Ulusal Hava Meydanları İşletmesi (DHMi) ve Türk Hava Kuvvetleri, hava trafik yönetiminde bu koordinasyonu sağlamaktadır. Esnek hava sahası uygulamaları, sivil ve askeri hava trafiği arasında daha iyi entegrasyon sağlamak üzere tasarlanmıştır. Esnek hava sahası modeli sivil ve askeri hava trafiğinin birlikte yönetilmesini sağlar. Askeri uçuşların yapılmadığı dönemlerde sivil uçuşlar hava sahasını esnek bir şekilde kullanabilmektedir. Türkiye, hava sahasını farklı bölgelere ayırmakta ve her bölgedeki uçuş faaliyetlerini düzenlemektedir. Bu sayede askeri ve sivil havacılık arasında daha iyi bir denge sağlanıyor. Türkiye, AB'nin esnek hava sahası uygulamalarını benimsiyor ve hava sahasının daha etkin ve verimli kullanılmasını sağlayacak şekilde geliştiriyor. Türkiye, sivil ve askeri hava trafik yönetimi için ileri teknolojik sistemler kullanmaktadır. Bu sistemler hava trafiğini daha verimli yönetebilmektedir (Gerdes, 2018).

2.10.1. Mevcut Durumun Zorlukları

Mevcut Durum Türk hava sahasında sivil ve askeri kullanımlar arasında belli bir denge sağlanmıştır. Esnek hava sahası uygulamaları bu dengeyi güçlendirerek hava trafiğinin verimliliğini artırır. Sivil ve askeri uçuşların aynı hava sahasında olması çatışma riskini artırabilmektedir. Bu nedenle çarpışma önleme tedbirlerinin sürekli güncellenmesi gerekiyor. Türkiye'nin hava sahası yoğun hava trafiği nedeniyle sıkışık hale gelebilmektedir. Bu, uçuş gecikmelerine ve güvenlik sorunlarına neden olabilir. Sivil ve askeri hava trafiği arasındaki koordinasyon eksikliği, hava sahası yönetiminde sorunlara yol açabilir. Bu nedenle yetkililer arasında sürekli iletişim ve koordinasyon sağlanmalıdır. Türk hava sahasının sivil ve askeri kullanımı arasındaki denge, hava trafik yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Esnek hava sahası uygulamaları bu dengeyi güçlendirebilir ve hava trafiğinin daha verimli yönetilmesini sağlayabilir. Ancak çatışma riskleri, hava sahası tıkanıklığı ve koordinasyon sorunları gibi zorlukların sürekli olarak ele alınması gerekmektedir. Türkiye, bu zorlukların üstesinden gelmek ve hava sahasını daha etkin yönetmek için çeşitli stratejiler geliştirmekte ve uygulama yolunda önemli ölçüde yol almaktadır (Tunca,Uslu, 2021).

3. EKONOMİK VE ÇEVRESEL DEĞERLENDİRME

Esnek hava sahası (FUA) kavramı, hava sahasının gerçek zamanlı ihtiyaçlara göre uyarlanmasına olanak tanıyan ve sivil veya askeri bölgelere kesin bir şekilde bölünmekten ziyade hava sahasının dinamik yönetimini ifade eder. Bu yaklaşım, hava sahası tahsisinin hem sivil hem de askeri kullanıcılar için optimize edilmesini sağlayarak verimli ve etkili hava trafiği yönetimini kolaylaştırır. Hava sahasının esnek kullanımı (FUA), hava sahasının günlük olarak çeşitli amaçlar için tahsis edilebilen tek bir süreklilik olduğu ilkesine dayanır. Bu yaklaşım, mevcut alanı optimize ederken farklı kullanıcıların çeşitli ihtiyaçlarını karşılayan daha akıcı ve duyarlı bir hava sahası yönetim sistemine olanak tanır (Atioğlu, 2021).

Esnek hava sahasının tarihsel gelişimi ve uygulanması, hava sahası yönetiminin verimliliğini artırmayı amaçlayan kademeli bir süreç olmuştur. Başlangıçta, hava sahası geleneksel olarak tasarlanmıştı ve genellikle kara tabanlı navigasyon yardımcılarını yerine sabit rotalara dayanıyordu. Havacılık teknolojisi ilerledikçe, daha uyarlanabilir ve duyarlı bir hava sahası sistemine olan ihtiyaç belirginleşti. Hava sahasının esnek kullanımının uygulanması, hava sahasının sürekli ve esnek bir şekilde yönetilmesine olanak tanımış ve sivil ve askeri uçuşların günlük gereksinimlere göre çalışmasını sağlamıştır. Bu evrim, daha verimli bir hava sahası sisteminin azaltılmış yakıt tüketimi ve gelişmiş operasyonel esneklik gibi önemli faydalara yol açabileceğinin kabul edilmesiyle yönlendirilmiştir.

Esnek hava sahası yönetiminde yer alan temel paydaşlar arasında çeşitli ulusal ve uluslararası havacılık otoriteleri, askeri örgütler ve havayolu şirketleri yer almaktadır. Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü (EUROCONTROL), esnek hava sahası kullanımının uygulanması için yönergeler ve özellikler sağlayarak önemli bir rol oynamaktadır. Ek olarak, hava sahası yönetim birimleri ve yönetim kurulları, FUA kapsamında geçici ayrılmış alanlar (TSA'lar) ve geçici rezerv alanlar (TRA'lar) oluşturmaktan ve denetlemekten sorumludur. Havayolu şirketlerinin de esnek hava sahası yönetimine çıkarları vardır çünkü bu, daha verimli uçuş rotaları ve azaltılmış yakıt tüketimi sağlayarak nihayetinde operasyonel maliyetlerini ve çevresel ayak izlerini etkiler. Genel olarak, bu paydaşlar arasındaki iş birliği, esnek hava sahası sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanması ve yönetimi için çok önemlidir (Çelik & Eren, 2020).

3.1. Esnek Hava Sahasının Mekanizmaları

Dinamik hava sahası yönetim teknikleri, yakıt tüketimini önemli ölçüde etkileyen esnek hava sahası sistemlerinin merkezinde yer alır. Bu teknikler, gerçek zamanlı taleplere yanıt olarak hava sahası segmentlerinin stratejik olarak yeniden tahsis edilmesini içerir, böylece uçuş yolları optimize edilir ve gereksiz sapmalar en aza indirilir. Havayolları, dinamik hava sahası yönetimini uygulayarak rotalarını mevcut hava trafiği koşullarına, hava desenlerine ve askeri kısıtlamalara göre ayarlayabilir. Bu uyarlanabilirlik, uçakların daha verimli bir şekilde seyahat etmesini sağlayarak yakıt kullanımını ve ilişkili maliyetleri azaltır. Dahası, dinamik yönetim teknikleri, hava sahasını ve rotaları yeniden tanımlama çalışmalarının hızla tamamlanmasını kolaylaştırır, minimum yakıt tüketimi ve zaman tasarrufu sağlar. Bu yaklaşım, geleneksel sabit rota sistemlerinin verimsizliğe ve artan emisyonlara yol açabileceği sıkışık hava sahası bölgelerinde özellikle faydalıdır (Keskin, 2012; Yücel, 2021).

Araçlar ve teknolojiler, esnek hava sahasını etkinleştirmede, hava trafiği yönetiminin verimliliğini ve tepki verme yeteneğini artırmada çok önemlidir. Gelişmiş yazılım sistemleri ve gerçek zamanlı veri değişim platformları, hava sahasını dinamik olarak yönetmek için kullanılır ve bu da sivil ve askeri operasyonların sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini sağlar. Otomatik uçuş planlama araçları ve uydu tabanlı navigasyon sistemleri gibi teknolojiler, uçuş yollarını optimize etmede ve yakıt tüketimini azaltmada önemli bir rol oynar. Bu araçlar, hava trafik kontrolörlerine hava sahası yapılandırılmalarını hızla izleme ve ayarlama yeteneği sağlayarak mevcut kaynakların optimum kullanımını sağlar. Ayrıca, EUROCONTROL Spesifikasyonu, bu tür teknolojilerin hava sahasının esnek kullanımını desteklemek için uygulanmasını özetler ve gerçek zamanlı iletişim ve koordinasyonun önemini vurgular. Bu teknolojik gelişmeler yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda havayolları için önemli yakıt tasarruflarına da katkıda bulunur (Çetek.Çeçen, 2017).

Esnek hava sahası sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanması için sivil ve askeri hava sahası kullanıcıları arasındaki koordinasyon esastır. Bu koordinasyon, güvenlik veya verimlilikten ödün vermeden hava sahasının ortak kullanımına izin veren gerçek zamanlı iletişim ve karar alma süreçlerini içerir. İş birliğini teşvik ederek hem sivil hem de askeri yetkililer hava sahası kaynaklarını gerçek ihtiyaçlara göre dinamik olarak tahsis edebilir ve böylece operasyonel esnekliği en üst düzeye çıkarabilir. Etkili koordinasyon, hava sahasının sürekli olarak yönetilmesini sağlayarak, talepteki kaçınılmaz dalgalanmalara izin verir ve olası çatışmaları azaltır. Ayrıca,

EUROCONTROL Spesifikasyonu, gerçek zamanlı sivil/askeri koordinasyon prosedürleri için kılavuzlar sunarak, kesintisiz iletişimin ve uçuş bilgisi değişiminin önemini vurgulamaktadır. Bu tür işbirlikçi çabalar, hava sahası kullanımını optimize ederken yakıt tüketimini en aza indirmek ve hava trafiği yönetim sistemlerinin genel verimliliğini artırmak olan esnek hava sahası kullanımının temel amacına ulaşmada hayati öneme sahiptir (Uslu, 2017).

3.2. Esnek Hava Sahası Uygulamalarının Faydaları

Esnek hava sahası uçuş verimliliğini önemli ölçüde artırır ve gecikmeleri azaltır, bu da yakıt tüketiminde önemli iyileştirmeler sağlar. Hava sahasını dinamik olarak yöneterek ve gerçek zamanlı ayarlamalara izin vererek, rotalar mevcut trafik ve hava koşullarına göre optimize edilebilir, bu da daha kısa uçuş yolları ve bekleme düzenlerinde harcanan daha az zamana yol açar. Bu yalnızca gecikmeleri en aza indirmekle kalmaz, aynı zamanda uçağın daha verimli bir şekilde çalışmasını sağlayarak yakıt tasarrufu sağlar. Serbest rota uçuşlarının hava trafik kontrolü (ATC) sektörleri üzerindeki etkisi, esnek hava sahasının faydalarına daha fazla örnek teşkil eder, çünkü beklenen uçuş mesafesini, süresini ve nihayetinde yakıt tüketimini azaltır. Bu iyileştirmelerle, havayolları daha öngörülebilir programlar ve verimli yakıt yönetimi elde edebilir, bu da hem operatörler hem de yolcular için ekonomik faydalara dönüşür (Uslu, 2012).

Esnek hava sahasının uygulanması hem sivil hem de askeri uçuşlar için hava sahası kapasitesinin artmasına ve güvenliğin artmasına katkıda bulunur. Sistem, hava sahasını günlük ihtiyaçlara ve taleplere göre tahsis ederek, güvenlikten ödün vermeden optimum kullanımı sağlar. Bu esnek yaklaşım, hava trafiğinin daha iyi yönetilmesini, tıkanıklığın azaltılmasını ve olay riskini artırmadan aynı anda daha fazla uçuşun gerçekleştirilmesini sağlar. Ulusal güvenlik ve savunma ihtiyaçlarını kapsayan hava sahası güvenliği, tüm kullanıcıların dinamik gereksinimleri karşılanırken sürdürülür. Böyle bir sistem, yalnızca mevcut hava sahasının kullanımını en üst düzeye çıkarmakla kalmaz, aynı zamanda güvenliğin en önemli öncelik olmasını sağlayarak sürekli ve güvenli havacılık operasyonlarını destekler (Künnen, Strauss, 2022).

Esnek hava sahasının çevresel faydaları, emisyonların azaltılmasıyla belirgindir ve küresel ısınmaya karşı mücadeleye olumlu katkıda bulunur. Uçuş rotalarını optimize ederek esnek hava sahası yakıt tüketimini azaltır ve böylece karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltır. Bu, havacılık sektörünün çevresel ayak izini en aza indirme ve iklim değişikliği endişelerini ele alma çabaları için çok önemlidir. Esnek hava sahası

kullanımına ilişkin çalışma, yakıt tasarrufunu ve çevresel etkilerin azaltılmasını birincil faydalar olarak vurgular. Ayrıca, çevresel hususların hava sahası yönetimine entegre edilmesi, sektörün sera gazı emisyonlarına katkısını azaltma yönündeki daha geniş hedeflerle uyumlu, sürdürülebilir havacılık uygulamalarına olan bağlılığı yansıtır.

3.3. Havacılıkta Yakıt Tüketimi Analizi

Uçak yakıt tüketimi, bir uçuşun verimliliğini ve maliyet etkinliğini önemli ölçüde etkileyebilecek çok sayıda faktörden etkilenir. Fırtına veya türbülans gibi hava olayları, irtifa veya hızda değişiklikler gerektirebilir ve bu da yakıt kullanımının artmasına neden olabilir. Ek olarak, rüzgâr desenleri önemli bir rol oynar; karşı rüzgarlar direnci artırabilir, daha fazla güç ve dolayısıyla daha fazla yakıt gerektirebilirken, kuyruk rüzgarları tam tersi etkiye sahip olabilir. Hava trafiği koşulları da yakıt tüketimine katkıda bulunur, çünkü yoğun hava sahası bekleme desenlerine veya daha az doğrudan rotaya neden olabilir. Bu faktörler bir araya geldiğinde havacılıkta yakıt verimliliğini yönetmenin karmaşıklığını vurgular ve yakıt kullanımını optimize etmek ve masrafları en aza indirmek için stratejik planlama ve gerçek zamanlı ayarlamalar gerektirir (Li, Wan, 2021).

Yakıt verimliliğini doğru bir şekilde değerlendirmek ve artırmak için havacılık sektöründe çeşitli yöntemler kullanılır. Yaygın bir yaklaşım, farklı uçuşlar ve koşullar genelinde yakıt kullanımının ayrıntılı kayıtlarının toplanmasını ve incelenmesini içeren yakıt tüketim verilerinin analizidir. Bu veriler daha sonra desenleri ve iyileştirmelerin yapılabileceği alanları belirlemek için kullanılabilir. Uçak performans izleme sistemleri de uçuşlar sırasında yakıt verimliliği hakkında gerçek zamanlı içgörüler sağlayarak hayati bir rol oynar. Regresyon analizi gibi teknikler, yakıt tüketimi ile mesafe ve uçuş süresi gibi değişkenler arasında ilişki kurulmasına yardımcı olabilir. Bu yöntemler toplu olarak havayollarının yakıt kullanımını optimize etme konusunda bilinçli kararlar almasını sağlayarak maliyetleri ve çevresel etkiyi azaltır (Rogošić., 2022).

Gelişmiş analitiğin yakıt tüketimi analizine entegre edilmesi, havayollarının kaynaklarını yönetme biçiminde devrim yarattı. Büyük veri teknolojilerinden yararlanarak havayolları yakıt verimliliğini önemli ölçüde artırabilir ve yolculuk başına tüketimi azaltabilir. Bu, uçuş operasyonları, hava koşulları ve geçmiş yakıt kullanımı gibi çeşitli kaynaklardan gelen büyük miktarda verinin işlenmesiyle elde edilir. Gelişmiş algoritmalar ve makine öğrenimi modelleri yakıt ihtiyaçlarını daha doğru bir şekilde tahmin edebilir ve optimum rotalar ve hızlar önerebilir, bu da daha ekonomik uçuş

operasyonlarına yol açar. Bu, yalnızca maliyetleri düşürmeye yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda sektörün karbon emisyonlarını azaltma ve sürdürülebilir havacılık uygulamalarını teşvik etme çabalarına da katkıda bulunur. Büyük jetler genellikle saatte 1.500 ila 4.000 galonluk bir yakıt tüketim aralığına girer. Ancak, bu rakamlardaki değişiklikler, diğer değişkenlerin yanı sıra uçağın türüne ve seyir hızına bağlı olarak daha yüksek veya daha düşük olabilir. Örneğin, tipik ticari uçaklar, daha kısa rotalarda uçan muadillerine kıyasla daha fazla uçtukları için daha büyük yakıt depoları ve daha yüksek yakıt tüketimi ile karakterize edilir. Uzun mesafeli ticari uçaklar genellikle saatte 2.000 ila 4.000 galon (yani 7.570 ila 15.142 litre) arasında yakıt yakar. Küçük işletme jetleri bu açıdan biraz daha iyidir ve saatte 500 ila 1.500 galon (1.893 ila 5.678 litre) arasında yakıt tüketir (Uslu, 2017).

3.4. Esnek Hava Sahasının Yakıt Tüketimi Üzerindeki Etkisi

Esnek hava sahası girişimleri, çeşitli vaka çalışmalarında önemli yakıt tasarrufları göstermede etkili olmuştur. Daha doğrudan uçuş yollarına izin vererek ve rotaları optimize ederek, havayolları kat edilen genel mesafeyi azaltmayı başarmıştır ve bu da yakıt tüketimini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, EUROCONTROL tarafından Esnek Hava Sahası Kullanımının (FUA) uygulanması, çok sayıda havayolu için önemli yakıt tasarrufları sağlamıştır. Bu sistem, gerçek zamanlı hava trafiği verilerine göre rotaları dinamik olarak ayarlayarak uçakların hava sahasını daha verimli kullanmasını sağlar. Bu tür ayarlamalar, havayollarının rotaları ve bekleme sürelerini en aza indirmesine yardımcı olarak yakıt tasarrufu sağlar. Faydalar yalnızca finansal değil, aynı zamanda çevreseldir, çünkü azaltılmış yakıt tüketimi daha düşük emisyonlara yol açar ve çevresel sürdürülebilirliğe olumlu katkıda bulunur (Temizkan,2016).

Nicel analiz, esnek hava sahasının benimsenmesiyle elde edilen yakıt tüketimi azaltımının daha net bir resmini sunar. Çalışmalar, hava sahası kullanımını optimize ederek havayollarının yakıt gereksinimlerini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir. Yakıt tüketimindeki azalma ölçülebilirdir ve bazı raporlar uçuş başına yakıt kullanımında %5 ila %10'a kadar bir azalma olduğunu belirtmektedir. Bu, daha verimli rotalama ve yakıt tüketimini artırdığı bilinen daha az irtifa değişikliği yoluyla elde edilir. Kişi başına enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu gibi enerji verimliliği göstergeleri, esnek hava sahasının daha sürdürülebilir havacılık uygulamalarına nasıl katkıda bulunduğunu göstererek bu bulguları daha da desteklemektedir. Bu analizlerden elde edilen veriler

yalnızca gelecekteki iyileştirmeler için bir ölçüt sağlamakla kalmaz, aynı zamanda yakıt verimliliğine ulaşmada esnek hava sahasının önemini de pekiştirmektedir (Çeçen, 2017).

Esnek hava sahasını benimseyen havayolları için uzun vadeli ekonomik faydalar önemlidir. Yakıt tüketimini azaltarak havayolları, artan yakıt fiyatları göz önüne alındığında kritik bir faktör olan işletme maliyetlerini önemli ölçüde düşürebilir. Bu tasarruflar hizmet kalitesini artırmaya, daha yeni, daha verimli uçaklara yatırım yapmaya veya rota ağlarını genişletmeye yönlendirilebilir. Dahası, ekonomik dalgalanma etkileri havayollarının kendilerinin ötesine uzanır. Hava taşımacılığı sektörünün performansı diğer sektörlerin büyümesiyle yakından bağlantılıdır ve yakıt verimliliğini optimize ederek havayolları daha sağlam ve sürdürülebilir bir ekonomik manzaraya katkıda bulunur. Havayolu sektörünün kârı üzerindeki olumlu etki açıktır, çünkü yakıt tasarrufları daha rekabetçi fiyatlandırmaya ve daha iyi hizmet tekliflerine dönüşür. Esnek hava sahasının stratejik olarak benimsenmesi, havayollarının hem ekonomik performanslarını hem de çevresel sorumluluklarını artırmayı hedeflemeleri için ikna edici bir durum sağlar.

3.5. Gelecek Beklentileri ve Düzenleyici Politika Zorlukları

Gelişmiş hava trafiği yönetim sistemlerinin entegrasyonu, esnek hava sahasının uygulanmasında kritik bir bileşendir, ancak önemli teknolojik zorluklar sunar. Bu sistemler, çeşitli hava sahası kullanıcılarının sorunsuz koordinasyonunu kolaylaştırdıkları için giderek karmaşıklaşan ve kalabalıklaşan gökyüzünü yönetmek için olmazsa olmazdır. Ancak, bunların entegrasyonu, öncelikle uyumlu hale getirilmesi gereken çeşitli mevcut teknolojiler ve protokoller nedeniyle zorluklarla doludur. Geleneksel sistemler, modern hava sahası ihtiyaçları için gereken esneklikle tasarlanmadığından, yenilik ve adaptasyon için acil bir talep vardır. Yeni teknolojileri eski sistemlerle entegre etmenin karmaşıklığı genellikle teknik darboğazlara ve operasyonel verimsizliklere neden olur. Geleneksel hava trafiği yönetiminden daha dinamik sistemlere geçiş, yalnızca teknolojik ilerlemeleri değil, aynı zamanda operasyonlarda güvenliği ve verimliliği sağlamak için politika ayarlamalarını da içerir. Bu geçiş, hava sahası yönetimine ek bir karmaşıklık katmanı ekleyen insansız hava aracı sistemleri gibi ortaya çıkan teknolojilere uyum sağlama ihtiyacıyla daha da karmaşık hale gelir (Cavcar, 2000).

Esnek hava sahası uygulamasında bir diğer önemli zorluk, birbiriyle uyumlu iletişim protokollerinin geliştirilmesidir. Bu protokoller, sivil ve askeri operatörler dahil olmak üzere çeşitli paydaşlar arasında kesintisiz iletişimi sağlamak için çok önemlidir. Ancak, birlikte çalışabilirliğin sağlanması genellikle farklı kuruluşlar tarafından

kullanılan iletişim teknolojileri ve standartlarındaki farklılıklar nedeniyle engellenir. Tekdüzeliliğin olmaması, hava sahası operasyonlarının güvenliğini ve verimliliğini tehlikeye atabilecek iletişim kesintilerine yol açabilir. Tüm hava sahası kullanıcıları tarafından evrensel olarak benimsenebilecek bir dizi standart iletişim protokolü oluşturmak esastır ancak başarılması zordur. Süreç, birden fazla sektörde iş birliği gerektirir ve genellikle mevcut sistemlere alışkın paydaşların değişime karşı direncinin üstesinden gelinmesini içerir. Dahası, iletişimlerde güvenliği ve gizliliği koruma ihtiyacı, protokollerin yetkisiz erişimi önleyecek kadar sağlam olması ve yine de açık iletişimi kolaylaştırması gerektiğinden ek bir karmaşıklık katmanı ekler (Uslu, 2017).

Dijital sistemlere ve ağlara olan güvenin artması göz önüne alındığında, hava sahası yönetiminde sağlam siber güvenlik önlemlerinin sağlanması son derece önemlidir. Gelişmiş teknolojilerin hava trafik yönetim sistemlerine entegrasyonu, kötü niyetli aktörler tarafından istismar edilebilecek potansiyel güvenlik açıkları ortaya çıkarır. Siber güvenlik tehditleri hava sahası operasyonlarının güvenliği ve verimliliği için önemli riskler oluşturur ve kapsamlı güvenlik protokolleri geliştirmeyi zorunlu hale getirir. Zorluk, dinamik hava sahası yönetimi için gereken esnekliği korurken siber saldırılara dayanabilen sistemler tasarlamaktır. Bu, güvenli ağ yapıları, titiz kimlik doğrulama süreçleri ve tehditleri tespit etmek ve azaltmak için sürekli izleme uygulamayı içerir. Ek olarak, siber tehditlerin hızla evrimi, kaynak yoğun ve tutarlı bir şekilde uygulanması zor olabilen güvenlik önlemlerinde sürekli güncellemeler ve iyileştirmeler gerektirir. Hava sahası ortamı daha fazla birbirine bağlı hale geldikçe, çeşitli paydaşlar arasındaki iş birliği, etkili siber güvenlik stratejileri geliştirmek ve sürdürmek için hayati önem taşımaktadır (Yücel, 2021).

Uluslararası hava sahası düzenlemelerinin uyumlaştırılması, esnek hava sahasının uygulanmasında önemli bir zorluktur. EUROCONTROL tarafından geliştirilen Esnek Hava Sahası Kullanımı (FUA) kavramı, hava sahasının günlük ihtiyaçlara göre dinamik tahsise izin veren tek bir süreklilik olarak ele alınması gerektiğini vurgular. Ancak bu yaklaşım, her biri kendi düzenleyici çerçeveleri ve egemenlik endişeleri olan çeşitli ülkeler arasında tutarlı bir iş birliği ve anlaşma gerektirir. Zorluk, sınırlar arasında sorunsuz bir hava trafiği yönetim sistemi oluşturmak için bu çeşitli düzenlemeleri uyumlu hale getirmektir. Ülkeler, düzenlemelerin uyumlu olduğundan emin olmak için birlikte çalışmalıdır; bu da genellikle karmaşık müzakereler ve uzlaşmalar içerir. Bu uyumlaştırma süreci, gelişmiş verimlilik ve azaltılmış tıkanıklık gibi esnek hava sahasının faydalarına ulaşmak için çok önemlidir (Çelik & Eren, 2020).

Ulusal güvenliği hava sahası esnekliğiyle dengelemek başka bir zorlu zorluk sunar. Esnek hava sahası, mevcut hava sahasının kullanımını optimize etmeyi hedeflerken, güvenliğin tehlikeye atılmamasını sağlamak için sivil ve askeri yetkililer arasında koordinasyon gerektirir. Ulusal hava sahası, doğası gereği bir ülkenin egemenliğine ve güvenliğine bağlıdır ve bu nedenle nasıl kullanıldığı konusunda sıkı kontrollerin sürdürülmesi önemlidir. FUA'nın uygulanması, askeri ve sivil havacılık sektörlerinin bilgi ve kaynak paylaşımında bulunarak yakın bir şekilde iş birliği yapmasını gerektirir. Bu iş birliği, mevcut protokollerde değişiklikler ve yeni iletişim kanallarının kurulmasını gerektirebileceğinden zorlu olabilir. Güvenlik ihtiyacı ile hava sahasını daha verimli kullanma isteği arasında bir denge kurmak, dikkatli planlama ve sürekli iş birliği gerektiren hassas bir görev olmaktadır (Yücel, 2021).

Çevresel etki ve uyumluluk gerekliliklerini ele almak, esnek hava sahasını uygulamanın kritik bir yönüdür. Hava trafiği arttıkça, havacılığın çevresel ayak izi de artar ve kapsamlı çevresel etki değerlendirmeleri (ÇED) gerektirir. FUA konsepti, uluslararası çevre standartlarına uyumu sağlarken olumsuz çevresel etkileri azaltmak için stratejileri içermelidir. Bu, emisyonlar gibi hesaplanabilir etkilerin ve gürültü kirliliği gibi daha az öngörülebilir faktörlerin dikkate alınmasını içerir. Politika yapıcılar ve havacılık otoriteleri, esnek hava sahasının faydalarını engellemeden çevresel sürdürülebilirliği destekleyen düzenlemeler geliştirmek için iş birliği yapmalıdır. Hava sahasının dinamik kullanımına izin verirken küresel çevre hedefleriyle uyumlu politikalar oluşturmak, yenilikçi çözümler ve uluslararası iş birliği gerektiren karmaşık bir zorluktur.

Esnek hava sahasının uygulanması, potansiyel faydalarını en üst düzeye çıkarmak için ele alınması gereken bir dizi teknik ve operasyonel zorluk sunar. Birincil zorluklardan biri, sorunsuz bir operasyon sağlamak için gerçek zamanlı koordinasyon gerektiren sivil ve askeri hava sahası yönetiminin entegrasyonudur. Bu entegrasyon, hava sahası kullanımını optimize etmek ve farklı hava sahası kullanıcıları arasındaki çatışmaları en aza indirmek için çok önemlidir. Ek olarak, esnek hava sahasını uygularken uçuş güvenliğini en üst düzeyde tutmak önemli bir endişe kaynağıdır ve sağlam hava sahası düzenlemeleri ve güvenlik protokollerinin geliştirilmesini gerektirir. Bu zorluklar, esnek hava sahası sistemlerinin başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlamak için çeşitli paydaşlar arasında gelişmiş teknolojik çözümler ve iş birliği çabaları gerektirir.

Geleceğe bakıldığında, hava sahası yönetimi ve teknolojisindeki trendlerin hava sahası sistemlerinin verimliliğini ve uyarlanabilirliğini artırmaya odaklanması muhtemeldir. Büyük veri teknolojisinin kullanımı, uçak tasarımı ve performans

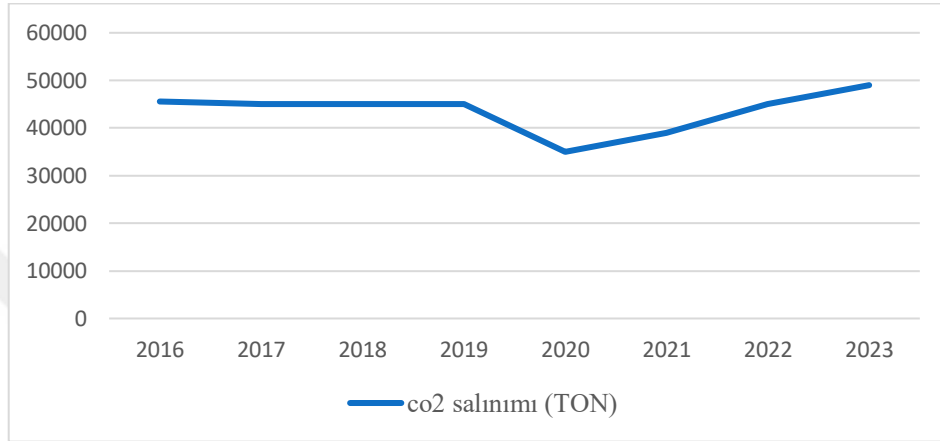
iyileştirmesi dahil olmak üzere havacılık yönetim süreçlerine kapsamlı içgörüler sunan umut verici bir trend olarak öne çıkmaktadır. Veri analitiğinden yararlanarak, hava trafik otoriteleri hava sahası kullanımını optimize etmek ve genel verimliliği artırmak için bilinçli kararlar alabilirler. Ayrıca, yapay zekâ ve makine öğrenimi teknolojilerinin hızla ilerlemesinin, minimum yakıt tüketimi ve zaman tasarrufu elde etmek için hava sahası rotalarını yeniden tanımlamada önemli bir rol oynaması bekleniyor. Bu teknolojik ilerlemeler, hava sahası yönetiminde devrim yaratma potansiyeline sahip olup, daha sürdürülebilir ve verimli havacılık operasyonlarının önünü açmaktadır (Keskin, 2012).

Esnek hava sahasının küresel olarak benimsenmesi, sorunsuz bir uygulama sağlamak için politika ve düzenleyici çerçevelerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir. Hava Sahasının Esnek Kullanımına İlişkin EUROCONTROL Spesifikasyonu, hava sahasının günlük olarak tahsis edilmesi gereken bir süreklilik olarak görülmesi gerektiğini vurgulayan temel bir kılavuz sunar. Bu yaklaşım, hava sahasının gerçek zamanlı tahsisini ve bölünmesini teşvik ederek optimum kullanımı teşvik eder ve verimsizlikleri azaltır. Politika yapımcılar, esnek hava sahası sistemlerinin faydalarını tam olarak gerçekleştirmek için beklenen mesafe, uçuş süresi ve yakıt tüketimi gibi potansiyel ekonomik faktörleri de ele almalıdır. Kapsamlı politikalar ve düzenlemeler geliştirmek, küresel iş birliğini teşvik etmede ve esnek hava sahası girişimlerinin yaygın olarak benimsenmesini kolaylaştırmada kritik öneme sahip olacaktır (Uslu, 2017) .

3.6. Artan Yakıt Tüketiminin Çevresel Etkisi

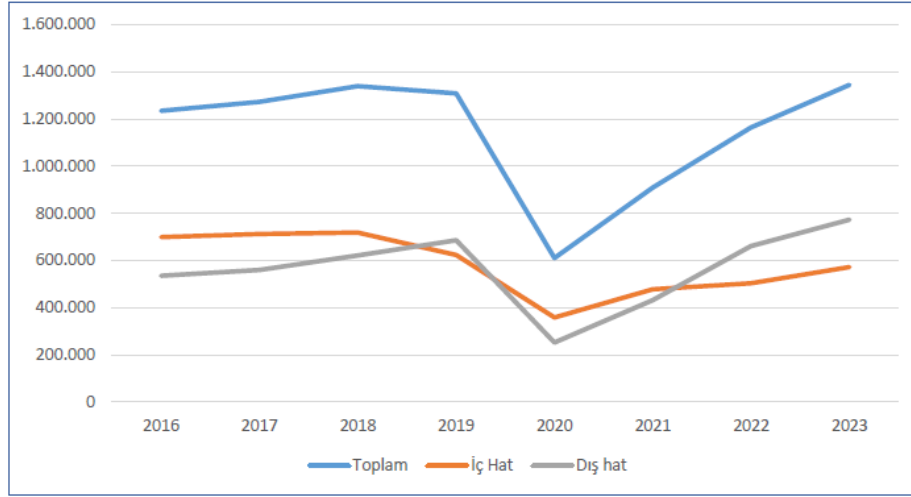
Havacılık sektörü, öncelikle karbondioksit (CO₂) ve metan ve nitrojen oksitler gibi diğer sera gazlarının atmosfere salınması yoluyla karbon emisyonlarına önemli bir katkıda bulunmaktadır. Bu, özellikle emisyonların arttığı Türkiye bağlamında, büyüyen bir çevresel zorluk yaratmıştır. 2021'deki sera gazı envanteri sonuçları, bir önceki yıla kıyasla toplam sera gazı emisyonlarında %7,7'lik bir artış olduğunu ve 564,4 milyon ton CO₂'ye ulaştığını göstermiştir. Özellikle havacılık ulaştırma sektörü, yılda ortalama 45000 ton CO₂ emisyonuyla bu emisyonların önemli bir kaynağı olmuştur. Bu veriler, havacılık emisyonlarının çevresel etkisinin ele alınmasına yönelik acil ihtiyacın altını çizerek sektörün Türkiye'nin genel karbon ayak izine katkısını vurgulamaktadır. Yakılan her bir kilogram jet yakıtı yaklaşık 3,15 kilogram karbondioksit açığa çıkarır ve özellikle günlük olarak gerçekleştirilen binlerce uçuş düşünüldüğünde küresel ısınmaya önemli ölçüde katkıda bulunur. Bu önemli emisyon, çevresel etkiyi azaltmak için yakıt verimliliğini artırmanın önemini vurgular. Motor tasarımı ve malzemelerindeki

teknolojik gelişmeler yakıt verimliliğini artırabilir ve böylece emisyonları azaltabilir. Ancak, bu çabalara rağmen, uçuşların hacmi hala bir zorluk oluşturmaya devam ediyor. Yaşam döngüsü boyunca karbon ayak izini %80'e kadar azaltabilen Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları (SAF'ler) gibi alternatif yakıtlara geçiş, emisyonları azaltmak için umut verici bir yol olarak görülmektedir (Şekil 3.1.).



Şekil.3.1. Yıllara Göre Ortalama Uçuşlardan Kaynaklı Karbondioksit Salınımı

Artan yakıt tüketimi ve emisyonların çevresel etkisini azaltmak için Türkiye'nin havacılık sektöründe çeşitli stratejiler uygulanmıştır. Dikkat çekici yaklaşımlardan biri, doğrudan yakıt tüketimini ve dolayısıyla karbon emisyonlarını etkileyen uçak ağırlığını azaltmaktır. Örneğin Türk Hava Yolları, sürdürülebilir büyüme stratejisinin bir parçası olarak bu konuya odaklanmıştır. Rota verimliliğini artırma ve uçuş operasyonlarını optimize etme çabaları, gereksiz yakıt tüketimini azaltmada önemli olmuştur. Türkiye, günlük ortalama 3.026 uçuşla Avrupa'da 6. sırada yer aldığından ve çevresel yükü daha da kötüleştirdiğinden bu tür girişimler hayati önem taşımaktadır. Bu stratejiler, operasyonel verimliliği korurken havacılık sektörünün ekolojik ayak izini en aza indirmeye yönelik proaktif bir yaklaşımı yansıtmaktadır. Pandemi öncesi oranla aynı seviyelere gelen uçuş sayıları her geçen gün artmaya devam etmektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2 Gerçekleşen Ortalama Uçuş Sayıları (DHMİ,2024).

Hükümet düzenlemeleri ve politikaları, Türkiye'de havacılık emisyonlarını azaltmada kritik bir rol oynamaktadır. Ülke, daha geniş iklim değişikliği ve enerji politikalarıyla uyumlu, düşük karbonlu bir ekonomiye geçişi amaçlayan politikalar aktif olarak geliştirmektedir. Bu düzenlemeler, havacılık endüstrisinde sürdürülebilir uygulamaları desteklemek, havayollarını daha yeşil teknolojiler ve uygulamalar benimsemeye teşvik etmek için tasarlanmıştır. Örneğin, daha yakıt tasarruflu uçakların kullanımını teşvik etmek ve alternatif yakıtlara yatırım yapmak, bu politika önlemlerinin bir parçasıdır. Bu tür hükümet girişimleri, havacılık sektörünü daha sürdürülebilir bir geleceğe yönlendirmek, uluslararası iklim hedeflerine uyumu sağlamak ve sektörün genel çevresel etkisini azaltmak için önemlidir.

4. SWOT ANALİZİ

SWOT analizi, kuruluşların karar alma süreçlerini bilgilendirmek için iç güçlerini ve zayıflıklarını, ayrıca dış fırsatlarını ve tehditlerini değerlendirmelerini sağlayan stratejik bir araçtır. Bu metodolojiyi kullanarak, şirketler performanslarını ve stratejik yönlerini etkileyebilecek faktörleri sistematik olarak belirleyebilir ve değerlendirebilirler. SWOT analizi yapmanın temel amacı, bu unsurların kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak, güçlü yönlerden ve fırsatlardan yararlanırken olası zayıflıkları ve tehditleri azaltan stratejilerin formüle edilmesini kolaylaştırmaktır. Bu analitik çerçeve, kurumsal strateji geliştirmeden kişisel kariyer planlamasına kadar çeşitli bağlamlarda özellikle değerlidir ve paydaşların hedefleriyle uyumlu bilinçli seçimler yapmalarını sağlar.

SWOT analizinin tarihsel kökleri, kurumsal planlamada gözlemlenen başarısızlıklara bir çözüm olarak geliştirildiği 20. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır. Başlangıçta amaç, stratejik girişimlerin istenen sonuçları vermemesinin temel nedenlerini belirlemek ve bir kuruluşun stratejik konumunun yapılandırılmış bir değerlendirmesini sağlayabilecek bir yöntemin oluşturulmasına yol açmaktır. Zamanla, SWOT analizi evrimleşerek kritik başarı faktörlerini vurgulamadaki basitliği ve etkinliği nedeniyle farklı sektörlerde yaygın bir şekilde benimsendi. Bu gelişme, kuruluşların SWOT analizini stratejik planlama süreçlerine tutarlı bir şekilde entegre etmelerine olanak tanıdı ve böylece rekabetçi ortamlarda gezinme ve uzun vadeli hedeflere ulaşma yeteneklerini artırdı.

Stratejik planlamada SWOT analizinin önemi yeterince vurgulanamaz, çünkü bir kuruluşun hedeflerini çevresel bağlamıyla uyumlu hale getirmede önemli bir rol oynar. Hem iç yetenekleri hem de dış piyasa koşullarını sistematik olarak inceleyerek, SWOT analizi stratejik girişimlerin yalnızca ilgili değil, aynı zamanda ulaşılabilir olmasını sağlar. Bu uyum, kurumsal başarıyı teşvik ederken kuruluşun misyon ve vizyonunu destekleyen stratejiler geliştirmek için çok önemlidir. Ayrıca, SWOT analizini stratejik yönetime dahil etmek karar vermeyi, planlamayı ve uyarlanabilirliği artırarak dinamik ortamlarda gelişmeye çalışan kuruluşlar için vazgeçilmez bir araç haline getirir. Bu nedenle, SWOT analizinin stratejik planlama süreçlerine entegre edilmesi, işletmelerin sürdürülebilir büyüme ve rekabet gücü için gerekli olan iyi bilgilendirilmiş stratejiler oluşturmasını sağlar.

4.1. SWOT Analizinin Bileşenleri

Güçlü yönler, SWOT analizinin bir bileşeni olarak, bir organizasyona rekabet avantajı sağlayan iç nitelikleri ve kaynakları kapsar. Bu güçlü yönler, güçlü bir marka itibarı, benzersiz teknoloji veya oldukça yetenekli bir iş gücü gibi faktörleri içerebilir. Örneğin, şirketler genellikle pazar liderliğini korumak ve iş ufuklarını genişletmek için güçlü yönlerinden yararlanırlar. Bu güçlü yönleri belirlemek, organizasyonların mevcut varlıklarından yararlanmalarını ve bunlar etrafında stratejiler oluşturmalarını sağlar. İyi çalışan şeylere odaklanarak, işletmeler etkili bir şekilde performans göstermeye devam etmelerini ve rekabet avantajlarını korumalarını sağlayabilirler. Güçlü yönleri değerlendirme süreci ayrıca daha da geliştirilebilecek alanların tanınmasına yardımcı olur ve böylece genel organizasyonel performansı artırır.

Zayıf yönler, SWOT analizi bağlamında, bir organizasyonun performansını engelleyebilecek iç zorlukları ve sınırlamaları ifade eder. Bu zayıf yönler arasında yetersiz kaynaklar, uzmanlık eksikliği veya verimsiz süreçler yer alabilir. Bu tür iç sınırlamalar, organizasyonun hedeflerine ve amaçlarına ulaşma yeteneğini engelleyebilir. Zayıflıkları kabul etmek, işletmelerin bu sorunları proaktif bir şekilde ele almasını sağladığı için çok önemlidir. Zayıflıklarını belirleyip anlayarak, kuruluşlar potansiyel riskleri azaltmak için yeni beceriler edinmek veya operasyonları optimize etmek gibi düzeltici önlemler uygulayabilirler. Bu stratejik iç gözlem, sürekli iyileştirme ve uzun vadeli başarı için hayati önem taşır.

Fırsatlar ve tehditler, bir kuruluşun stratejik planlamasını etkileyen dış faktörlerdir. Fırsatlar, pazar eğilimlerinden, teknolojik gelişmelerden veya tüketici tercihlerindeki değişikliklerden kaynaklanabilir ve büyüme ve genişleme için yollar sunabilir. Tersine, tehditler, ekonomik gerilemeler, artan rekabet veya kuruluşu olumsuz etkileyebilecek düzenleyici değişiklikler gibi dış zorluklardır. Bu dış faktörleri tanımak, işletmelerin stratejilerini pazar gerçekleriyle uyumlu hale getirmelerine ve değişen ortamlara uyum sağlamalarına olanak tanır. Fırsatları değerlendirerek ve tehditleri ele alarak kuruluşlar dayanıklılıklarını artırabilir ve sürdürülebilir büyümeyi sağlayabilir. Bu dış analiz, güçlü ve zayıf yönlerin dahili değerlendirmesini tamamlayarak iş ortamının kapsamlı bir genel görünümünü sağlar.

4.1.1. Güçlü Yönler (STRENGTHS)

Hava Sahası Verimliliği: Esnek hava sahası kullanımı, hava sahasının daha verimli kullanılmasına olanak tanır. Zaman dilimlerine göre askeri ve sivil uçuşlar

arasında hava sahası paylaşımı yapılabilir, böylece trafik tıkanıklığı önlenir ve hava sahası kapasitesi artırılır.

Gelişmiş Koordinasyon: Hava trafik kontrolü, esnek hava sahası kullanımı ile daha uyumlu hale gelir. Hava trafik kontrolörleri, askeri ve sivil uçuşları entegre bir şekilde yönetebilir, böylece çakışmalar ve güvenlik riskleri azaltılır.

Uçuş Güvenliği Artışı: Hava sahası paylaşımı ve esnek kullanım, uçuşların daha organize ve planlı olmasını sağlar, bu da potansiyel çakışma ve kazaları azaltır. Ayrıca, hava sahası daha etkin yönetildiğinden, güvenlik riskleri minimize edilir.

Ekipman ve Teknoloji Kullanımı: FUA, gelişmiş hava trafik yönetim sistemleri ve teknolojilerinden faydalanmayı gerektirir. Bu da daha doğru ve hızlı kararlar almayı sağlayarak hava trafiğini daha verimli hale getirir.

Ekonomik Yararlar: Hava sahasının esnek kullanımı, hava yolları şirketlerine uçuş rotalarını daha verimli seçme imkânı sunarak, operasyonel maliyetleri azaltabilir.

4.1.2. Zayıf Yönler (WEAKNESSES)

Yüksek Koordinasyon İhtiyacı: Askeri ve sivil uçuşların zamanlamaları, hava sahasında etkin bir koordinasyon gerektirir. Esnek hava sahası kullanımının sağlanması için çok sayıda paydaş arasında sürekli iletişim ve anlaşmalar yapılması gerekir.

Kompleks Yönetim: Esnek hava sahası kullanımı, hava sahasının yönetimini daha karmaşık hale getirebilir. Hava sahası zaman dilimlerine göre yeniden düzenlendiği için, trafik akışları ve uçuş güvenliği için sürekli bir denetim ve planlama gereklidir.

Çoklu Kullanıcılar Arasında Çatışma Riski: Hem askeri hem de sivil uçuşların aynı hava sahasında kullanımını düzenlemek, zaman zaman çatışmalara veya koordinasyon hatalarına yol açabilir. Bu da güvenlik risklerini artırabilir.

Altyapı ve Teknoloji Yatırımı Gereksinimi: Esnek hava sahası kullanımının etkili bir şekilde uygulanabilmesi için büyük yatırımlar gereklidir. Gelişmiş radar sistemleri, uydu takibi ve otomatik sistemler gibi teknolojik altyapı ihtiyaçları, yüksek maliyetler doğurabilir.

4.1.3. Fırsatlar (OPPORTUNITIES)

Hava Trafik Yoğunluğunun Azaltılması: Hava sahasının esnek kullanımı, özellikle yoğun bölgelerde hava trafiğini azaltarak, uçuşların daha düzenli ve hızlı olmasını sağlar. Bu da hava yolları için daha fazla kapasite ve düşük gecikme oranları yaratabilir.

Askeri ve Sivil Entegrasyonu: Askeri uçuşlar için tahsis edilen hava sahası, sivil uçuşların daha verimli kullanılmasına olanak tanır. Bu, askeri ve sivil hava sahası kullanıcıları arasında daha iyi bir iş birliği ortamı yaratabilir.

Yeni Rotaların Oluşması: Esnek hava sahası kullanımı, yeni uçuş rotalarının oluşturulmasına olanak tanıyabilir. Hava yolları şirketleri, mevcut hava sahası kısıtlamalarına takılmadan daha kısa ve ekonomik rotalar geliştirebilir.

İleri Teknoloji ve İnovasyon: Esnek hava sahası yönetimi, yeni teknolojiler ve yenilikçi sistemlerin kullanımını teşvik edebilir. Özellikle yapay zekâ, otonom uçuşlar ve dijital sistemler hava trafiği yönetimini daha verimli hale getirebilir.

Bölgesel ve Uluslararası Koordinasyon: Esnek hava sahası kullanımı, uluslararası hava sahası kullanımını kolaylaştırabilir. Özellikle komşu ülkelerle hava sahası paylaşımı konusunda koordinasyon geliştirilerek, transit uçuşlar için daha büyük fırsatlar yaratılabilir.

4.1.4. Tehditler (THREATS)

Güvenlik Riskleri: Esnek hava sahası kullanımı, özellikle askeri ve sivil uçuşların aynı bölgelerde operasyon yapmasını gerektirdiği için güvenlik tehditlerini artırabilir. Özellikle askeri uçuşların sivil uçuşlarla çakışması, ciddi güvenlik sorunlarına yol açabilir.

Uluslararası Politik Gerilimler: Esnek hava sahası kullanımı, komşu ülkelerle iş birliği gerektirdiğinden, bölgesel politik gerilimler hava sahası kullanımını zorlaştırabilir ve bu da havacılık faaliyetlerinde aksamalara neden olabilir.

Bürokratik Engeller: Esnek hava sahası kullanımının uygulanabilmesi için birçok yasal ve bürokratik engelin aşılması gereklidir. Özellikle farklı ülkelerin hava sahası kuralları arasında uyumsuzluklar yaşanabilir, bu da uygulamada zorluklara neden olabilir.

Teknolojik Altyapı Yetersizlikleri: Bazı ülkelerde hava trafik yönetim sistemleri ve altyapı, esnek hava sahası kullanımına uygun olmayabilir. Bu da uygulamanın etkili bir şekilde sağlanamamasına ve gecikmelere yol açabilir.

Ekonomik Zorluklar: Teknolojik yatırımlar ve altyapı geliştirme maliyetleri, havacılık sektöründeki ekonomik dalgalanmalara bağlı olarak ertelenebilir veya kesilebilir. Bu da esnek hava sahası kullanımının potansiyelini sınırlayabilir.

Sonuç olarak esnek hava sahası kullanımı, hava trafiğini optimize etmek ve kaynakları daha verimli kullanmak adına büyük fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu süreç, iyi bir koordinasyon, güçlü bir altyapı, teknolojik yatırımlar ve güvenlik önlemleri

gerektirir. Esnek kullanımın etkin bir şekilde uygulanabilmesi, pek çok olumlu sonucu beraberinde getirebilir, ancak aynı zamanda potansiyel riskler ve zorluklarla da karşı karşıya kalabilir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hava sahası verimliliği ve güvenliğindeki iyileştirmeleri ölçmek, havacılıktaki optimizasyon stratejilerinin etkinliğini anlamak için çok önemlidir. Araç rotalama modelleri gibi gelişmiş araçlar kullanılarak, iş yükü farklılıkları olan hava sahası sektörleri belirlenebilir ve hava trafiğinin daha dengeli ve verimli bir şekilde yönetilmesi sağlanabilir. Bu yaklaşım yalnızca hava sahası kullanımının verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda güvenlik iyileştirmelerine de önemli ölçüde katkıda bulunur. Matematiksel modelleme ve güvenlik değerlendirmelerinin bir arada kullanılması, hava sahası yönetimini optimize etmek için kapsamlı bir çerçeve sağlar. Sonuç olarak, verimlilikteki herhangi bir artış genellikle daha sorunsuz operasyonlara ve kaza riskinin azalmasına yansır ve bu stratejilerin somut faydalarını vurgular.

Uygulanan stratejilerin maliyet-fayda sonuçlarını analiz etmek, hava sahası optimizasyonunun ekonomik uygulanabilirliği hakkında değerli sonuçlar sağlar. Güvenlik riski azaltma faaliyetleri sırasında kritik bir bileşen olan maliyet-fayda analizi, optimizasyon stratejilerine yapılan finansal yatırımların orantılı faydalar sağlayıp sağlamadığını belirlemeye yardımcı olur. Örneğin, birden fazla bölgede yürütülen kapsamlı maliyet analizleri, maliyet-fayda teorisi ilkelerini uygulamak için yapılan ciddi çabaların altını çizer. Bu tür analizler genellikle azaltılmış gecikmelerden, gelişmiş yakıt verimliliğinden ve artan hava sahası kapasitesinden elde edilen parasal tasarrufları değerlendirmeyi içerir. Bu sonuçlar, kaynakların optimizasyon girişimlerine tahsisini haklı çıkarmada çok önemlidir. Finansal etkileri anlayarak, paydaşlar güvenlik ve verimliliği ekonomik getirilerle dengeleyen bilinçli kararlar alabilirler. Bu yaklaşım, stratejilerin yalnızca operasyonel performansı artırmakla kalmayıp aynı zamanda net bir ekonomik avantaj sağlamasını da sağlar.

Başarılı hava sahası optimizasyon girişimlerinin vaka çalışmalarını incelemek, teorinin pratiğe nasıl çevrildiğine dair pratik örnekler sunar. Dikkat çekici bir örnek, hava sahası yönetimini iyileştirmek için Sivil Havacılık Otoritesi verilerini etkili bir şekilde kullanan Brezilya Ulusal Sivil Havacılık Ajansı (ANAC) tarafından uygulanan Decolagem Certa (DCERTA) Sistemidir. Bu vaka çalışmaları genellikle hava trafiği yönetimindeki belirli zorlukları ele almak için veri odaklı yaklaşımların ve yenilikçi teknolojilerin stratejik kullanımını vurgular. Dahası, benzer girişimleri uygulamak isteyen diğer bölgeler için taslak görevi görürler. Bu vaka çalışmalarında karşılaşılan

başarıları ve zorlukları inceleyerek, paydaşlar en iyi uygulamaları ve olası tuzakları belirleyebilir ve optimizasyon stratejilerinin daha etkili bir şekilde uygulanmasını kolaylaştırabilir. Bu bilgi alışverişi, hava sahası yönetiminde sürekli iyileştirme kültürünü teşvik ederek daha verimli ve daha güvenli gökyüzüne giden yolu açar.

Hava sahası, savunma için kritik bir ulusal varlıktır ve bir ülkenin egemenliğini ve güvenliğini korumada önemli bir rol oynar. Bir ülkenin toprakları üzerindeki atmosferik kütle olarak hava sahası, boyutlarını ve kullanımını tanımlayan çeşitli yasalara, kurallara ve antlaşmalara tabidir]. Hava sahasının stratejik yönetimi, ülkelerin sınırları içindeki faaliyetleri izleyebilmelerini ve kontrol edebilmelerini, yetkisiz saldırıları önleyebilmelerini ve ulusal güvenliği sağlayabilmelerini sağlamak için esastır. Örneğin, sivil ve devlet uçakları arasındaki ayrım, egemenlik ihlallerini önlemek için ihtiyati bir tedbirdir ve devlet uçaklarının ulusal hava sahasının bütünlüğünü korurken müdahale olmadan çalışabilmesini sağlar. Bir ülke, hava sahasını güvence altına alarak olası tehditleri etkili bir şekilde yönetebilir, askeri operasyonları kolaylaştırabilir ve sağlam bir savunma duruşu oluşturabilir.

Etkili hava sahası yönetimi, bir ülkenin tehditlere yanıt verme ve düzeni sağlama yeteneğini doğrudan etkilediği için ulusal güvenlik operasyonlarının başarısı için çok önemlidir. Ulusal hava sahasının sürekli değerlendirilmesi ve düzenlenmesi, hava trafiğinin ve askeri operasyonların optimizasyonuna olanak tanır. Bu, sivil havacılığın ihtiyaçlarını ulusal savunma öncelikleriyle dengeleyen stratejik düzenlemelerin uygulanmasını içerir. Örneğin, hava sahasının esnek kullanımı hem sivil hem de askeri ihtiyaçları karşılayacak şekilde hava sahası yönetim prosedürlerini uyarlamayı içerir ve genel güvenlik çerçevesini geliştirir. Ülkeler, hava sahası kullanımını ve planlamasını koordine ederek operasyonları kolaylaştırabilir, çatışma riskini azaltabilir ve ortaya çıkan tehditlere hızla yanıt verme yeteneklerini geliştirebilir.

Teknolojik gelişmeler, hava sahası izleme ve kontrolünde devrim yaratarak ulusal güvenlik için gelişmiş yetenekler sağlamıştır. Gelişmiş hava trafik kontrol sistemleri ve gözetim teknolojilerinin entegrasyonu, uçak hareketlerinin daha hassas bir şekilde izlenmesini ve yönetilmesini sağlar. İnsansız hava araçları (İHA'lar), eğlence faaliyetlerinden güvenlik gözetimine kadar çeşitli amaçlar için giderek daha fazla kullanılıyor ve bu da hava sahası yönetiminin kapsamının genişlediğini gösteriyor. Bu yenilikler yalnızca hava sahası operasyonlarının verimliliğini artırmakla kalmıyor, aynı zamanda gerçek zamanlı izlemeyi ve potansiyel tehditlere hızlı yanıt vermeyi kolaylaştırarak bir ülkenin savunma mekanizmalarını da güçlendiriyor. Teknoloji

gelişmeye devam ettikçe, ülkeler hava sahalarını yönetmek, toprak sınırlarının güvenliğini ve emniyetini sağlamak için daha iyi donanımlı hale gelmektedir.

Sivil havacılık ihtiyaçlarını askeri güvenlik gereklilikleriyle dengelemek, hava sahası yönetimi alanında karmaşık bir zorluk sunar. Ekonomik ve sosyal bağlantı için sivil havacılığa yer verme zorunluluğu, genellikle kısıtlı hava sahası kullanımı gerektiren askeri eğitim ve güvenlik operasyonlarıyla çakışır. Bir denge kurmak, her iki sektörün de ulusal güvenliği tehlikeye atmadan verimli bir şekilde çalışabilmesini sağlayan bir çerçeve gerektirir. Ulusal Sivil Havacılık Güvenlik sisteminin kurulması, askeri zorunlulukları göz önünde bulundurarak sivil havacılık operasyonlarını korumak için yapılandırılmış bir yaklaşım sağlar. Bu sistem, hava sahasının güvenli ve esnek kullanımını kolaylaştırmak için sivil ve askeri otoriteler arasında net bir koordinasyon gerektirir. Bu tür bir koordinasyon, ticari hava trafiğindeki kesintileri önlemek ve askeri operasyonların engellenmeden ilerlemesini sağlamak için hayati önem taşır. Hava sahası gerekliliklerinin dinamik yapısı hem sivil hem de askeri ihtiyaçları etkili bir şekilde karşılamak için gerçek zamanlı ayarlamalara izin veren düzenli değerlendirmeler ve politikalara uyarlamalar gerektirmektedir.

Uluslararası iş birliği ve anlaşmalar, hava sahasının uluslar arasında etkili bir şekilde paylaşılmasında önemli bir rol oynar. Uluslararası anlaşmalarda belirtildiği gibi Hava Kuralları, üye devletlerin uyruğuna ve tescil işaretlerine sahip uçaklar için evrensel olarak geçerlidir ve nerede faaliyet gösterdiklerine bakılmaksızın tutarlı düzenlemeler sağlar. Bu anlaşmalar, uluslararası hava sahası yönetiminin omurgasını oluşturur ve çakışan hava sahası talepleri olan ülkeler arasında koordinasyonu ve ihtilaf çözümünü kolaylaştırır. Örneğin, Federal Havacılık İdaresi'ni (FAA) içerenler gibi ülkeler arasındaki ikili anlaşmalar, hava sahasını verimli ve güvenli bir şekilde yönetmek için iş birliği çabalarına örnektir. Bu tür anlaşmalar yalnızca prosedürleri standartlaştırmakla kalmaz, aynı zamanda paylaşılan hava sahasını etkili bir şekilde yönetmek için kritik öneme sahip olan karşılıklı güveni ve iş birliğini de artırır. Ülkeler, bu yerleşik yönergelerle uyarak hava sahası ihlalleriyle ilişkili riskleri en aza indirebilir ve sivil ve askeri havacılık çıkarlarının uyumlu bir şekilde bir arada var olmasını sağlayabilir.

Risk değerlendirmesi ve azaltma stratejileri, paylaşılan hava sahası senaryolarını yönetmede temel bileşenlerdir. Esnek hava sahası yapılarının sürekli yeniden değerlendirilmesi ve geliştirilmesi, hava sahası kullanımının değişen dinamiklerini ele almada çok önemlidir. Bu stratejiler, sivil ve askeri uçaklar arasındaki olası çatışmalar gibi hava sahası paylaşımıyla ilişkili potansiyel riskleri belirlemeyi ve bunları azaltmak

için önlemler uygulamayı içerir. Temel önlemler arasında, bölgesel güvenliği artırmak için güvenlik faaliyetlerinin kolluk kuvvetleriyle koordinasyonu yer alır. Bu koordinasyon hem kamu hem de özel sektör havalimanlarındaki güvenlik politikalarının ulusal güvenlik hedefleriyle uyumlu olmasını sağlayarak güvenlik açıklarını en aza indirir. Ek olarak, gelişmiş teknolojilerin ve gerçek zamanlı veri paylaşımının entegrasyonu, potansiyel hava sahası çatışmalarını tırmanmadan önce öngörme ve ele alma yeteneğini daha da artırır. Risk değerlendirmesine öncelik vererek ve proaktif azaltma stratejileri benimseyerek, paydaşlar paylaşılan hava sahasının verimli kullanımını en üst düzeye çıkarırken hem sivil hem de askeri çıkarları koruyabilir.



6. KAYNAKLAR

- Air Traffic Management Procedures for Air Navigation Services International Civil Aviation Organization Doc 4444 ATM/501 Fifteenth Edition-2007.* (n.d.).
- Air-Traffic Control on JSTOR.* (n.d.). Retrieved December 25, 2022,
- Annex 3 - 75.* (2011).
- BOZKURT, A. (2013). TÜRK HAVA SAHASININ BELİRLENMESİ (1914-1923). *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(1), 251–278.
- Cavcar', A. (2000a). A SCHEDULING ALGORITHM FOK AIR TRAFFIC FLOW MANAGEMENT. *Eug. i Arch. Far. Osmmıgad Vnıvers'Uy*, 2.
- Cavcar', A. (2000b). A Scheduling Algorithm Fok Air Traffic Flow Management. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13(1), 27–45.
- Cecen, R. K., & Aybek Çetek, F. (2020). Optimising aircraft arrivals in terminal airspace by mixed integer linear programming model. *The Aeronautical Journal*, 124(1278), 1129–1145.
- Çelik, K., Eren, H., Trafik, H., Bölümü, K., Yüksekokulu, S. H., & Üniversitesi, F. (2020). Hava Trafik Yönetimi Araştırma Alanlarının Sınıflandırılması. In *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi* (Vol. 32, Issue 1).
- ÇELİK Kübra, & EREN Haluk. (n.d.). *Hava Trafik Yönetimi Araştırma Alanlarının Sınıflandırılması.: EBSCOhost.* Retrieved December 25, 2022, from
- Cruciol, L. L. B. V., Weigang, L., De Barros, A. G., & Koendjibharie, M. W. (2015). Air holding problem solving with reinforcement learning to reduce airspace congestion. *Journal of Advanced Transportation*, 49(5), 616–633.
- Deitchman, S., & Blumstein, A. (1960). *Air-Traffic Control*. 203(6), 47–55.
- Doç Uğur TURHAN Eskişehir Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Y. (2015). *HAVA TRAFİK YÖNETİMİNDE KOORDİNASYON: TÜRKİYE HAVA SAHASININ ESNEK KULLANIMI KONSEPTİNİN KOORDİNASYON SÜREÇLERİNİN BETİMLENMESİ* Ersavaş ÖZBEK YÜKSEK LİSANS TEZİ Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı.

- Doç Uğur TURHAN Eskişehir Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Y. (2015b). *HAVA TRAFİK YÖNETİMİNDE KOORDİNASYON: TÜRKİYE HAVA SAHASININ ESNEK KULLANIMI KONSEPTİNİN KOORDİNASYON SÜREÇLERİNİN BETİMLENMESİ* Ersavaş ÖZBEK YÜKSEK LİSANS TEZİ Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı.
- Doğrusal programlama | Tanım ve Gerçekler | Britannica.* (n.d.). Retrieved October 14, 2024.
- Gemici, E., Yeşiller, M., Yönetimi, H., Yüksekokulu, S. H., Üniversitesi, K., Hukuku, T., Dalı, A. B., Ve İdari, İ., Fakültesi, B., & Üniversitesi, K. (2018). Hava Hukukunun Kapsamı ve Terminolojisi. *Journal of Aviation*, 2(2), 125–140.
- Gerdes, I., Temme, A., & Schultz, M. (2018). Dynamic airspace sectorisation for flight-centric operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 460–480.
- Hakan Keskn, M. (n.d.). *Tek Avrupa Hava Sahası inisiyatifinin Türkiye'nin AB Üyeliğine Etkisi The Effects of the Single European Sky Initiative on the Accession Process of Turkey to EU.*
- HAVA TRAFİK AKIŞ YÖNETİMİ VE ESENBOĞA HAVALİMANI UYGULAMASI* Tuba USLU YÜKSEK LİSANS TEZİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ GAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ARALIK 2012 ANKARA. (n.d.).
- HAVAYOLU SEKTÖR RAPORU STRATEJİ GELİŞTİRME DAİRESİ BAŞKANLIĞI ANKARA Mayıs 2024 DEVLET HAVA MEYDANLARI İŞLETMESİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ.* (n.d.).
- Hoffman, R., Mukherjee, A., & Vossen, T. W. M. (2011). Air Traffic Management. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science.*
- I I CONVENTION ON INTERNATIONAL CIVIL AVIATION.* (2007)
- ICAO-Annex-11-Air-Traffic-Services.* (2011).
- ICAO-Annex-11-Air-Traffic-Services.* (2011).
- Keleş, E., & Eren, E. (n.d.). *AJAN TABANLI MODELLEME VE HESAPLAMALI İKTİSAT.*
- KESKİN, M. H. (2012). Tek Avrupa Hava Sahası İnisiyatifinin Türkiye'nin AB Üyeliğine Etkisi. *Güvenlik Stratejileri Dergisi*, 8(16), 85–114.
- Kökhan, A., Yönetimi, H., Dalı, A., & Programı, H. Y. (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.*

- Künnen, J.-R., & Strauss, A. K. (2022). The value of flexible flight-to-route assignments in pre-tactical air traffic management. *Transportation Research Part B: Methodological*, 160, 76–96.
- Li, T., & Wan, Y. (2021). A fuel savings and benefit analysis of reducing separation standards in the oceanic airspace managed by the New York Air Route Traffic Control Center. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, 102407.
- Monechi, B., Servedio, V. D. P., & Loreto, V. (2015). Congestion transition in air traffic networks. *PLoS ONE*, 10(5).
- MONTE CARLO SİMULASYON METODU VE MCNP KOD SİSTEMİ [#626632]-819135. (n.d.).
- OPUS © Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi-International Journal of Society Research Sivil Havacılık Sektöründe Büyük Veri Teknolojisinin Kullanımı ve Getireceği Yeni Fırsatlar. (n.d.).
- Özgür'ün ", M., Trafik, H., Kontrol, Y., Çatışmaların, S., Tabanlı, B., Destek, K., Çözümü, A., & Başlıklı Sivil, ". (n.d.). *JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI*.
- Resmî Gazete*. (2014).
- Rogošić, T., Antulov-Fantulin, B., Juričić, B., & Andrašić, P. (2022). Environmental Benefits of Flexible Use of Airspace. *Transportation Research Procedia*, 64, 337–344.
- Samà, M., D'Ariano, A., & Pacciarelli, D. (2013). Rolling horizon approach for aircraft scheduling in the terminal control area of busy airports. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 80, 531–552.
- Temizkan1, Ş., Sipahioğlu2, A., Okulu, H., Enstitüsü, S. B., Üniversitesi, O., Ve, M., & Fakültesi, M. (2016a). Hava sahası sektör tasarımı için model önerisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 913–920.
- Temizkan1, Ş., Sipahioğlu2, A., Okulu, H., Enstitüsü, S. B., Üniversitesi, O., Ve, M., & Fakültesi, M. (2016b). Hava Sahası Sektör Tasarımı İçin Model Önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(4), 913–920.
- Tezi, D. (n.d.). *YEŞİL LOJİSTİK YÖNETİMİNDE ULUSAL KARAYOLU YÜK TAŞIMACILIĞI ARAÇ ROTALAMA OPTİMİZASYONU*.
- Tezi, D. (2013). *Taktik hava trafik akış ve kapasite yönetimi için bir optimizasyon modeli*.
- Tinoco, J. K., Yu, C., Firmo, R., Castro, C. A., Moallemi, M., & Babb, R. (2021). Sharing airspace: Simulation of commercial space horizontal launch impacts on airlines and finding solutions. *Journal of Space Safety Engineering*, 8(1), 35–46.

- TUNÇ, İ. (2021). Hava Trafik Kontrol Hizmetlerinde Emniyet Yönetim Sistemi Uygulamaları. *Journal of Aviation Research*, 3(1), 81–105.
- TUNCAL, A., & USLU, S. (2021). Kentsel Hava Hareketliliği Kavramının Gelişiminde İki Önemli Faktör: ATM ve Toplum. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 23(41), 564–577.
- Turhan, U., Açikel, B., Güneş, T., Üniversitesi, E. T., Yüksekokulu, M., Hava, İ., Teknolojisi, A., Programı, O., Gövde Ve Motor, U., & Bölümü, B. (n.d.). *HAVA TRAFİK KONTROLÖRLERİNİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER FACTORS AFFECTING THE PERFORMANCE OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS Eskişehir Teknik Üniversitesi-Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi*.
- Türk Sivil Havacılık Kanunu*. (1983).
- Uçan, F., Mühendisliği, B., Dalı Bilgisayar, A., Programı, M., Dalı, A., Mühendislik, H., Programı, B., & Program, H. (n.d.). *İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ↔ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DOKTORA TEZİ TEMMUZ 2013 DİNAMİK ORTAMLAR İÇİN YENİ BİR GERÇEK ZAMANLI EVRİMSEL SEYRÜSEFER PLANLAMA VE GÜDÜMLEME SİSTEMİ*.
- Üniversitesi, A. (2016). *Anadolu Üniversitesi*.
- Üniversitesi, A., Bilimler, S., Araç, D., Probleminin, R., & Algoritma İle Çözümü, G. (n.d.). *Solution of Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithm Ebru OKUR 2-Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ATLAS 3*.
- Üniversitesi, A., Ve, B., Dergisi, T., Bilimler, A.-U., Mühendislik, V., Kürşat Çeçen, R., & Çetek, C. (2017). EN-ROUTE AIRSPACE CAPACITY AND TRAFFIC FLOW ENHANCEMENT USING GENETIC ALGORITHMS. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A - Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 18(1), 39–58.
- Üniversitesi, İ., Bilimler, S., İşletme, E., Dalı, A., Yöntemler, S., Dalı, B., Tezi, D., & Önder, E. (n.d.). *Araç Rotalama Problemlerinin Parçacık Sürü ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu*.
- Üniversitesi, K., Yüksekokulu, U. B., Yönetimi, H., Kelimeler, A., Havacılık, S., Büyüme, E., & Analizi, E. (2021). TÜRK SİVİL HAVACILIK SEKTÖRÜNÜN EKONOMİK BÜYÜME ÜZERİNDEKİ ETKİSİ. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 11(4), 1936–1945.
- Üniversitesi, M., Dergisi, S. B., Metin, S., & Türkoğlu, İ. (n.d.). *DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK KÜÇÜK İŞLETMELERDEKİ KAR PAYLARININ ARTIRILMASI: MERT CAM ÖRNEĞİ*. Retrieved October 13, 2024, from
- Uslu, S. (n.d.-a). *UÇUŞ GECİKMELERİ VE HAVAYOLU İŞLETMELERİNİN MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ*.

- Uslu, S. (n.d.-b). *UÇUŞ GECİKMELERİ VE HAVAYOLU İŞLETMELERİNİN MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ*.
- USLU, S. (2015). TÜRKİYE’DE HAVAALANLARINDAKİ SLOT SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, 50, 219–230.
- USLU, S. (2017). TÜRKİYE’DE HAVA TRAFİK SİSTEMİNİN YENİDEN YAPILANDIRILMASI. *Kesit Akademi Dergisi*, 12, 136–149.
- Volkan YÜCEL, Y. (n.d.-a). *HAVA SAHASI EGEMENLİĞİ’NDE DÖNÜŞÜM: TÜRKİYE’DE HAVA SAHASI ESNEK KULLANIMI*. Retrieved September 6, 2024,
- Volkan YÜCEL, Y. (n.d.-b). *HAVA SAHASI EGEMENLİĞİ’NDE DÖNÜŞÜM: TÜRKİYE’DE HAVA SAHASI ESNEK KULLANIMI*. Retrieved September 6, 2024,
- Xu, Y., Dalmau, R., Melgosa, M., Montlaur, A., & Prats, X. (2020). A framework for collaborative air traffic flow management minimizing costs for airspace users: Enabling trajectory options and flexible pre-tactical delay management. *Transportation Research Part B: Methodological*, 134, 229–255.
- Yaman, N., & Atmaca, E. (2024). Flight delay prediction with machine learning algorithms in airline disruption management. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39(4), 2031–2040.
- Ye, Z., Kong, F., Zhang, B., Gao, W., & Mao, J. (n.d.). *A Method Framework for Automatic Airspace Reconfiguration-Monte Carlo Method for Eliminating Irregular Sector Shapes Generated by Region Growth Method*.
- Yılmaz, A., & Ulvi, H. (2022). Kentsel Hava Sahasında İnsansız Hava Aracı Sistemleri Trafik Yönetimi için Verilmesi Gereken Hizmetler ve Kullanılabilecek Bazı Teknolojiler. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 8–18.
- YÜCEL, Y. V. (2021). HAVA SAHASI EGEMENLİĞİ’NDE DÖNÜŞÜM: TÜRKİYE’DE HAVA SAHASI ESNEK KULLANIMI. *Memleket Siyaset Yönetim*, 16(35), 225–254.

Web İletileri

URL 1: <https://www.fabec.eu/advancing-aviation/dynamic-traffic-management/civil-military-integration>

ERİŞİM TARİHİ :18 Temmuz 2024

URL-2: <https://www.gulactisen.com.tr/wp-content/uploads/2016/10/5.Hafta-Hava-Trafik-Kurallar%C4%B1.pdf>

ERİŞİM TARİHİ :20 Mayıs 2024

