



**HAVAALANI HAVA TARAFI KAPASİTE
PLANLAMA MODELİ GELİŞTİRME VE BİR
UYGULAMA**

Doktora Tezi

Niyazi Cem GÜRSOY

Eskişehir 2025

**HAVAALANI HAVA TARAFI KAPASİTE PLANLAMA MODELİ
GELİŞTİRME VE BİR UYGULAMA**

Niyazi Cem GÜRSOY

Doktora Tezi

Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Havacılık Yönetimi Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan OKTAL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2025

16/01/2025

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Niyazi Cem GÜRSOY'un "HAVAALANI HAVA TARAFI KAPASİTE PLANLAMA MODELİ GELİŞTİRME VE BİR UYGULAMA" başlıklı çalışması 16/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin" ilgili maddeleri uyarınca, Havacılık Yönetimi Anabilim dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Hakan OKTAL
Üye	: Prof. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU
Üye	: Prof. Dr. Nesrin ALPTEKİN
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Gülnaz BÜLBÜL
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Ertan ÇINAR

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

16/01/2025

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Doktora đrencisi Niyazi Cem GÜRSOY, Havaalanı Hava Tarafı Kapasite Planlama Modeli Geliştirme ve Bir Uygulama başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Daniřmanı

Prof. Dr. Hakan OKTAL

ÖZET

HAVAALANI HAVA TARAFI KAPASİTE PLANLAMA MODELİ GELİŞTİRME VE BİR UYGULAMA

Niyazi Cem GÜRSOY

Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı

Havacılık Yönetimi Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2025

Danışman: Prof. Dr. Hakan OKTAL

Hava taşımacılığına olan talebin artması, havaalanları üzerinde oluşan baskıyı arttırmakta ve mevcut altyapılar bu talebi karşılama konusunda yetersiz kalmaktadır. Gelişmekte olan pazarlarda havaalanı hava tarafının kapasite yetersizliği, üstesinden gelinmesi gereken kritik bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma, kapasitesi yetersiz olan veya böyle bir sorunla karşılaşma riski olan havaalanlarının kapasitesini arttırmak amacıyla hava tarafı kapasite iyileştirme planlamasına yönelik çok amaçlı bir karar destek sistemi geliştirmeyi hedeflemektedir. Geliştirilen model, üç temel modülden oluşmaktadır. İlk modül, ortaya konan hava tarafı simülasyon modeli ile hava tarafı süreçlerindeki kapasite kısıtları belirlenmiş ve bu süreçlerin birbirleriyle etkileşimi değerlendirilmiştir. İkinci modül, Bulanık En-İyi En-Kötü Yöntemi (F-BWM) ile Analitik Ağ Süreci (ANP-BCR) birleştirilerek geliştirilen hibrit çok kriterli karar verme (ÇKKV) modeli ile iyileştirme önerilerini değerlendiren bir modüldür. İyileştirme önerileri, kapasiteyi artırma, maliyet, süre ve riskleri en aza indirme hedefleri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Son modül ise, karar vericilere rehberlik eden bir proje akış şeması sunmakta ve önerilen aktivitelerin tamamlanma sürelerine dair öngörüler ortaya koymaktadır. Önerilen model, Sabiha Gökçen Havaalanı hava tarafı özelinde uygulanarak, geliştirilen özgün metodolojilerin pratikte kullanılabilirliği gösterilmiştir. Vaka çalışmasının sonuçları, planlamacılara hava tarafı iyileştirme projelerinde en etkin programların nasıl oluşturulabileceğine dair bir yol haritası oluşturmuştur.

Anahtar Sözcükler: Havaalanı kapasitesi, Karar destek sistemi, Çok kriterli karar verme, Hava tarafı iyileştirme, Bulanık BWM, ANP-BCR.

ABSTRACT

AIRPORT AIRSIDE CAPACITY PLANNING MODEL DEVELOPMENT AND AN APPLICATION

Niyazi Cem GÜRSOY

Department of Aviation Management

Programme in Aviation Management

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2025

Supervisor: Prof. Dr. Hakan OKTAL

As the demand for air transportation increases, the pressure on airports increases and the existing infrastructures become inadequate. The inadequacy of airport airside capacity is a problem that needs to be overcome in developing markets. This study aims to develop a multi-objective decision support system for airside capacity improvement planning in order to improve the capacity of airports that have or may be insufficient in capacity. The developed model consists of three basic modules. In the first module, the capacity constraints in airside operational processes were determined with the airside simulation model and the interaction of these processes with each other was evaluated. The second module is a module that evaluates improvement suggestions with a hybrid multi-criteria decision-making (MCDM) model developed by combining the Fuzzy Best-Worst Method (F-BWM) and the Analytical Network Process (ANP-BCR). Improvement suggestions are evaluated in line with the objectives of increasing capacity, minimizing cost, time and risks. The last module presents a project flow chart that guides decision makers and provides predictions about the completion times of the proposed activity. The application of the proposed model to the airside of Sabiha Gökçen Airport has demonstrated the practical usability of the original methodologies developed. The results of the case study have clearly shown planners how to develop the most effective programs for airside improvement projects.

Keywords: Airport capacity, Decision support system, Multi-criteria decision-making, Airside improvement, Fuzzy BWM, ANP-BCR.

TEŞEKKÜR

Uzun süre boyunca üzerinde çalıştığım, ciddi bir emek ve özveri ile hazırladığım doktora tezimi tamamlamanın sevincini ve gururunu yaşıyorum. Bu bölümü, çalışmalarım sürecinde bana desteğini esirgememiş ve teşvik etmiş herkese teşekkür fırsatı olarak değerlendireceğim.

Tez danışmanlığımı üstlenen, konu seçiminden tezin sonlandırılmasına kadar tüm süreçlerde desteğini hiçbir an esirgemeyen, yolumu aydınlatan değerli hocam Prof. Dr. Hakan Oktal'a danışmanlığı için çok teşekkür ediyorum. Tez izleme komitemde yer alarak kıymetli görüşleri ile araştırmanın kalitesini arttıran sayın Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Gülnaz Bülbül hocalarıma çok teşekkür ederim. Bunun yanında tez savunmama katılarak can alıcı noktalarda yapıcı görüşlerini paylaşan, akademik kariyerime büyük katkıları olan hocam sayın Prof. Dr. Nesrin Alptekin'e ve araştırma sürecinde modelime katkı sunan sayın Dr. Öğr. Üyesi Ertan Çınar'a teşekkürü bir borç bilirim.

Meşakkatli doktora yolculuğunda gerek yeterlilik aşamasında gerek tez yazım sürecinde ailemin sorumluluklarını paylaşan, her zaman arkamda olan, desteğiyle beni ayrıcalıklı hissettiren, farklı görüşleri ile bakış açımı geliştiren yol arkadaşım sevgili eşime ve doktora eğitimim sırasında doğan varlığı ile yaşam enerjim olan biricik oğluma sonsuz teşekkür ederim. Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi her anlamda destek veren beni yetiştiren anneme, babama, dedeme ve tüm aileme çok teşekkür ederim. Son olarak doktora eğitimim sürecinde bana kolaylık sağlayan, teşvik eden değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Niyazi Cem GÜRSOY

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

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

Niyazi Cem GÜRSOY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
2. HAVAALANI HAVA TARAFI KAPASİTE PLANLAMASINDA	
KULLANILAN ARAÇLAR VE LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Havaalanı Sistem Planlaması ve Master Planlama	7
2.2. Havaalanı Hava Tarafının Kapasitesinin Önemi	9
2.3. Havaalanı Hava Tarafı Kapasitesini Etkileyen Unsurlar	13
2.4. Havaalanı Kapasite İyileştirme Stratejileri	16
2.4.1. Havaalanı kapasite iyileştirmede altyapı yatırım uygulamaları	17
2.4.2. Havaalanı kapasite iyileştirmede yatırım dışı uygulamalar	21
2.4.2.1. Uçuş trafik yoğunluğunu kısıtlayıcı tedbirler	21
2.4.2.2. Hava trafik yönetim seçenekleri	24
2.4.2.3. Havaalanı işbirlikçi karar verme (A-CDM Airport Collaborative Decision-Making)	26
2.5. Havaalanı Kapasite Analizinde Kullanılan Araçlar	27
2.6. Havaalanı Kapasite İyileştirmesine Yönelik Literatür Taraması	28

2.7. Dünyada ve Türkiye’de Havaalanı Planlaması.....	31
3. HAVAALANI HAVA TARAFI KAPASİTE PLANLAMA MODELİ.....	34
3.1. Araştırma Yaklaşımı	34
3.2. Analitik Ağ Süreci (ANP) Fayda, Maliyet Risk (BCR) Yöntemi	39
3.3. Bulanık En İyi En Kötü (BWM) Yöntemi	40
3.4. Geliştirilen Model İçin Önerilen Metodoloji	41
4. SABIHA GÖKÇEN HAVAALANI VAKA ÇALIŞMASI	47
4.1. Sabiha Gökçen Havaalanı Simülasyon Uygulaması	48
4.1.1. Simülasyon Varsayımları.....	57
4.1.2. Simülasyon Modelinin Uygulaması	57
4.1.3. Simülasyon Model Doğrulama.....	59
4.1.4. Simülasyon Model Uygulama Sonuçları.....	61
4.2. Sabiha Gökçen Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Araştırma Modeli.....	63
4.3. Sabiha Gökçen Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Karar Destek Sistem Model Uygulaması.....	68
4.3.1. Kapasite İyileştirme Çözümleri Genel Değerlendirme Duyarlılık Analizi.....	78
5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	86
KAYNAKÇA	90
EK-1 ARAŞTIRMA GÖRÜŞME FORMU	
EK-2 ETİK KURUL ONAYI	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Kriter Karşılaştırması için Dilsel Terimler ve Bulanık Değerler Ölçeği (Foroozesh vd., 2022; Hafezalkotob vd., 2020; Rahimi vd., 2020).....	43
Tablo 4.1. Avrupa en yoğun havaalanları (EUROCONTROL, 2023)	47
Tablo 4.2 Sabiha Gökçen Havaalanı Tasarım Günü Havada Bekleme Doğrulaması.....	61
Tablo 4.3 Sabiha Gökçen Havaalanı Tasarım Günü Takside Bekleme Validasyonu	61
Tablo 4.4. Senaryoların Simülasyon Trafik Çıktıları	62
Tablo 4.5. Kuyruklarda Geçirilen Ortalama Süre (Dakika)	62
Tablo 4.6. Kuyruklarda Ortalama Bekleyen Uçak Sayısı	62
Tablo 4.7. Kuyruklarda En Yüksek Bekleyen Sayıları.....	63
Tablo 4.8. Havaalanı Hava Tarafı Kapasite Kullanım Oranları (%)	63
Tablo 4.9. Hava Tarafı İçin Geliştirilen Senaryoların Kuyrukta Ortalama Bekleme Süreleri (dk)	65
Tablo 4.10. Hava Tarafı İçin Geliştirilen Senaryoların Kuyrukta Ortalama Bekleyen Sayıları	65
Tablo 4.11. Fayda ağı alt kriterler etki matrisi	65
Tablo 4.12. Kısıtlar Etki Matrisi.....	67
Tablo 4.13. Görüşme Formu Uygulanan Uzmanların Meslekleri ve Deneyimleri	69
Tablo 4.14. Fayda (Kapasite Artırımı) ANP Süpermatrisi	71
Tablo 4.15. Fayda (Kapasite Artırımı) ANP Limit Süpermatrisi	72
Tablo 4.16. Fayda Modeli (Kapasite Artışı) Ağırlıkları	73
Tablo 4.17. Maliyet Modeli Ağırlıkları	74
Tablo 4.18. Risk Modeli Ağırlıkları	74
Tablo 4.19. BWM Tabanlı BCR-ANP Sonrası Elde Edilen Genel Çözüm Öncelik Değerleri	75
Tablo 4.20. Aralık Değerli Gruplandırma	76
Tablo 4.21. Kritik Yolun Bulunması ve PERT Uygulanması İçin Gereken Veriler	76

Tablo 4.22. SAW Hava Tarafı Kapasite İyileştirmeleri Uygulama Süreleri ve Boşluk Zamanları	77
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kapasite ve Talebe Bağlı Gecikme (Horonjeff vd., 2010, s. 488).....	6
Şekil 2.2. Küresel Havaalanı Ağındaki Uçuşların Göreli Kümülatif Dağılımı (OAG, 2016'den aktaran Gelhausen vd., 2019)	11
Şekil 2.3. Frankfurt, Palma De Mallorca ve Londra Stansted Havalimanlarında 2016 Yılı Operasyon Saatlerine Göre Trafik Sıralaması (OAG, 2016'den aktaran Gelhausen vd., 2019)	12
Şekil 2.4. EUROCONTROL Kapasite İyileştirme Seçenekleri (O'Flynn, 2016)	17
Şekil 2.5. Havaalanı Kapasite Kısıtlarını Azaltma Stratejileri (Gelhausen vd., 2019)...	17
Şekil 3.1. Araştırma Akış Şeması	35
Şekil 3.2. Hava Tarafı Kapasite İyileştirme ANP-BCR Modeli	37
Şekil 4.1. Pegasus Havayolları ASK verileri (2019-2023) (Pegasus Havayolları, 2024)	48
Şekil 4.2. Havaalanı Hava Tarafı Simülasyon Modeli	50
Şekil 4.3. Sabiha Gökçen Havalimanı Tasarım Günü Geliş Dağılımı.....	52
Şekil 4.4. Sabiha Gökçen Havaalanı Gelen Orta Ağırlıklı Uçak Pist Meşguliyet Süre Dağılımı	53
Şekil 4.5. Sabiha Gökçen Havaalanı Gelen Ağır Uçak Pist Meşguliyet Süresi Dağılımı	53
Şekil 4.6. Sabiha Gökçen Havaalanı Giden Orta Ağırlıklı Uçak Pist Meşguliyet Süre Dağılımı	54
Şekil 4.7. Sabiha Gökçen Havalimanı Kalkış Yapan Ağır Uçak Pist Meşguliyet Süre Dağılımı	54
Şekil 4.8. Sabiha Gökçen Havalimanı Gelen Uçak Taksi Süre Dağılımı	55
Şekil 4.9. Sabiha Gökçen Havalimanı Giden Uçak Taksi Süre Dağılımı.....	55
Şekil 4.10. Sabiha Gökçen Havaalanı Yolcu Köprüsü Uçak Çevrim Süre Dağılımı	56
Şekil 4.11. Sabiha Gökçen Havaalanı Açık Park Pozisyonu Uçak Çevrim Süresi.....	57
Şekil 4.12. Sabiha Gökçen Havaalanı Hava Tarafı Simülasyon Modeli	58
Şekil 4.13. Sabiha Gökçen Havaalanı Tasarım Günü Gerçek Trafığa Karşı Simülasyon Çıktısı.....	60

Şekil 4.14. Sabiha Gökçen Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Modeli.....	70
Şekil 4.15 SAW Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Proje Şebekesi.....	76
Şekil 4.16. Havaalanı İyileştirme Planı Gantt Şeması.....	77
Şekil 4.17. Toplamalı Formül Duyarlılık Analizi	79
Şekil 4.18. Çarpımlı Formül Duyarlılık Analizi	80
Şekil 4.19. Toplamalı Formülle Değişen Fayda Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi	81
Şekil 4.20. Toplamalı Formülle Değişen Maliyet Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi	82
Şekil 4.21. Toplamalı Formülle Değişen Risk Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi	82
Şekil 4.22. Çarpımlı Formülle Değişen Fayda Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi.....	83
Şekil 4.23. Çarpımlı Formülle Değişen Maliyet Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi	83
Şekil 4.24. Çarpımlı Formülle Değişen Risk Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi	84
Şekil 5.1. Sabiha Gökçen Havaalanı Yıllık Uçuş Sayısı Trend Analizi	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A-CDM	: Airport Collaborative Decision-Making (Havaalanı İşbirlikçi Karar Verme)
ACI	: Airport Council International (Uluslararası Havalimanları Konseyi)
ADS-B	: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (Otomatik Bağımlı Gözetim-Yayını)
AGVT	: Advanced Ground Vehicle Technologies (Gelişmiş Kara Taşıtı Teknolojileri)
AIP	: Aeronautical Information Publication (Havacılık Enformasyon Yayını)
ANP-BCR	: Analytical Network Process (Analitik Ağ Süreci) – Benefit, Cost Risk (Fayda, Maliyet, Risk)
ARC	: Airport Research Center (Havaalanı Araştırma Merkezi)
ASA	: Airport Slot Allocation (Havaalanı Slot Tahsisi)
ASK	: Available Seat Kilometer (Arz Edilen Koltuk Kilometre)
ATC	: Air Traffic Controller (Hava Trafik Kontrolörü)
ATFM	: Air Traffic Flow Management (Hava Trafik Akış Yönetim)
ATM	: Air Traffic Movement (Hava Trafik Hareketi)
ATM	: Air Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi)
A-VDGS	: Advanced Visual Docking Guidance System (Gelişmiş Görsel Park Rehberlik Sistemi)
BAA	: British Airports Authority (İngiliz Havaalanı Otoritesi)
BWM	: Best Worst Method (En-İyi-En-Kötü Yöntemi)
CAMACA	: Commonly Agreed Methodology For Airport Airside Capacity Assessment (Havaalanı Hava Tarafı Kapasitesinin Değerlendirilmesi için Ortaklaşa Kabul Edilmiş Metodoloji)
CAST	: Comprehensive Airport Simulation Technology (Kapsamlı Havalimanı Simülasyon Teknolojisi)
CPDLC	: Controller-Pilot Data Link Communications (Kontrolör-Pilot Veri Hattı Haberleşmesi)

ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
DEMATEL	: Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı)
DHMI	: Devlet Hava Meydan İşletmesi
EBAA	: European Business Aviation Association (Avrupa İş Havacılığı Kurumu)
ECAC	: European Civil Aviation Conference (Avrupa Sivil Havacılık Konferansı)
EUROCONTROL	: European Organisation for the Safety of Air Navigation (Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı)
FAA	: Federal Aviation Administration (Federal Havacılık İdaresi)
GBAS	: Ground Based Augmentation System (Yer Tabanlı Destek Sistemi)
GBWM-FPP	: Grup BWM-Fuzzy Preference Programming (Grup BWM-Bulanık Tercih Programlama)
HTK	: Hava Trafik Kontrolörü
IATA	: International Air Transport Association (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği)
IFR	: Instrument Flight Ruler (Aletli Uçuş Kuralları)
ILS	: Instrument Landing System (Aletli İniş Sistemi)
İAÇ	: İnisiyatif Almadan Çalışma
LTFJ	Sabiha Gökçen Havaalanı
MITRE	: Massachusetts Institute of Technology Research Establishment (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü Araştırma Kuruluşu)
NPIAS	: The National Plan of Integrated Airport Systems (Ulusal Entegre Havaalanı Sistemleri Planı)
PERT	: Project Evaluation and Review Technique (Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği)
PIATA	: Performance Indicator and Analysis Tool for Airports (Havalimanları için Performans Göstergesi ve Analiz Aracı)
SBAS	: Satellite Based Augmentation System (Uydu Tabanlı Destek Sistemi)
SES	: Single European Sky (Tek Avrupa Seması)

SESAR	: Tek Avrupa Seması ATM Araştırma Programı (Single European Sky ATM Research)
SIMMOD	: Simulation Model for Airport and Airspace Operations (Havaalanı ve Hava Sahası Simülasyon Modeli)
TAAM	: Total Airspace and Airport Modeller (Toplam Hava Sahası ve Havaalanı Modelleyicisi)
TPHP	Typical Peak Hour Passenger (Tipik Yoğun Saat Yolcusu)
VFR	: Visual Flight Rules (Görerek Uçuş Kuralları)
WSG	: World Slot Guidelines (Dünya Çizelgeleme Yönergesi)
WWACG	: Worldwide Airport Coordinators Group (Dünya Çapında Havaalanı Koordinatörleri Grubu)

1. GİRİŞ

Kullandığımız tüm sistemlerin potansiyelleri bellidir ve çıkabilecekleri maksimum bir sınırları vardır. Planlama ise yönetimin en temel işlevlerinden biridir. Verimli sistemler incelendiğinde, bu sistemi oluşturan tüm bileşenlerin yapabilecekleri veya diğer bir deyişle kapasiteleri temel alınarak çıktı planlaması yapıldığı görülmektedir. Sistem yöneticileri hedefleri doğrultusunda kapasitelerini sürekli gözden geçirme ve güncelleme yapmak durumundadırlar. Sistemin alt sistemlerden oluşması nedeniyle genel sistem içindeki en düşük kapasiteli alt sistem, genel sistemin verimliliğini belirlemektedir. Havaalanları ise hava taşımacılık sisteminde taşımacılara hizmet veren sistemin bel kemiğini oluşturan oldukça karmaşık yapılardır. Havaalanı kapasitesi bir ülkede veya bir bölgede hava taşımacılığına olan talebe cevap vermede belirleyici en önemli kaynaklardanır. Günümüz küresel dünyasında hava taşımacılığının bir ülkenin gelişimine ve ekonomisine katkısı düşünüldüğünde havaalanlarının önemi oldukça büyüktür. Havaalanı kapasitesi havacılık sektöründe sınırlı bir kaynaktır. Hava taşımacılığına olan talep arttığı sürece, havaalanı kapasitesi üzerinde çalışılması gereken konulardan biri olmaya devam edecektir. Hava taşımacılığı faaliyetlerinin sorunsuz ve hızlı bir şekilde devam etmesi, bölgelerin ve ülkelerin ekonomik ve kültürel kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir yere sahiptir.

Hava taşımacılığı trafiği, 2019 yılında oluşan COVID salgını neticesinde tarihinde görülmemiş bir düşüş yaşasa da geri toparlanmayı 49 ay içerisinde sağlayarak Haziran 2024'te 2019 seviyesine dönmüştür ve istikrarlı bir şekilde artış öngörülmektedir (IATA, 2024). Federal Havacılık İdaresi'ne (FAA) göre, yolcu trafiğinin 2044 yılına kadar 2024 yılından itibaren her yıl ortalama %2,7 büyümesi beklenmektedir (FAA, 2024). Benzer şekilde, Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI), küresel yolcu trafiğinin 2024'ten 2042'ye kadar iki katına çıkacağını öngörmektedir (ACI, 2023). Önümüzdeki 20 yıl içinde, Avrupa ve Kuzey Amerika pazarlarında talepte daha yavaş bir artış olması (sırasıyla yılda %2,3 ve %2,7), Asya Pasifik de ise yolcu sayısında en hızlı artışı kaydetmesi ve 2043'e kadar küresel yolcu sayısındaki net artışın yarısından fazlasına katkıda bulunması beklenmektedir (IATA, 2024). Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Örgütü (EUROCONTROL) tarafından yapılan bir çalışmada, Avrupa Sivil Havacılık Konferansı (ECAC) ülkelerinde 2050 yılına kadar ne kadar hava yolculuğu yapılacağı yüksek, normal ve düşük büyüme senaryoları dikkate alınarak incelenmiştir. Normal büyüme senaryosunda havalimanları talebin %3'ü olan 500.000 uçuşu

karşılayamayacaktır. Yüksek büyüme senaryosunda ise talebin %12'si olan 2,7 milyon uçuş karşılanamayacaktır. Türkiye'de düşük büyüme senaryosunda 50 bin uçuş, normal büyüme senaryosunda ise 200 bin uçuş kapasite açığı olacağı belirtilmektedir. Yüksek büyüme senaryosunda ise Almanya, Hollanda ve İspanya'da havalimanı kapasite açığının 200 bin uçuşun üzerinde olacağı öngörülmektedir (EUROCONTROL, 2022a).

Havalimanı inşaatı ve genişletme faaliyetleri büyük yatırımlar gerektirmekte ve oldukça karmaşık iş süreçlerini içermektedir. Yapılan yatırımların uzun vadede artan talebe yanıt verebilmesi veya buna göre geliştirilebilmesi esastır (Al-Ghzawi ve El-Rayes, 2023). Havaalanı kapasitesi, havaalanı operasyonlarının iki temel unsuru tarafından belirlenir. Yolcuların ve uçak operatörlerinin hava taşımacılığı talebi ile havaalanı tesislerinin, altyapısının, personelinin ve hava sahasının kapasitesi, bu talebi karşılamada temel faktörlerdir. Havaalanlarındaki yetersiz kapasite, tıkanıklığa ve ardından gecikmelere yol açabilir. Havaalanı yoğunluğunun artmasına katkıda bulunan birincil faktörler arasında artan talep, yetersiz sistem kapasitesi, topla-dağıt (hub-and-spoke) ağ yapısı ve çevresel sınırlamalar yer almaktadır (Caves ve Gosling, 1999). Havaalanlarında oluşan kapasite yetersizliği gecikmelere sebep olurken aynı zamanda talep üzerinde bir fiyat baskısı oluşturabilmektedir. Uluslararası Havalimanları Konseyi (Airport Council International-ACI) iş birliği ile 2016 yılında yapılan çalışmada Avrupa'da kapasite kısıtı olan yoğun havaalanlarında yüksek talep ve sabit arz olmasından dolayı bilet fiyatlarında artış olduğu gösterilmiştir (Burghouwt ve diğerleri, 2017).

Hava ulaştırmasına olan talep artmaya devam ederken havaalanlarının kapasitesi aynı oranda artış yaparak oluşan talebe cevap verememektedir. Kapasite, bir havaalanının fiziksel veya teknolojik altyapısının (pistler, taksi yolları, yolcu ve kargo terminali, hava sahası, kapılar, yer erişimi, güvenlik taraması, sınır kontrolü, bagaj taşıma ve diğer yolcu işleme faaliyetleri dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere) talebi emniyetli bir şekilde karşılama yeteneğini tanımlar. Bu durumda talep, havayolu işletmelerinin günün ve yılın belirli bir saatinde bir havaalanından yapılan uçuş işletme hizmet isteği olarak tanımlanabilir. Havaalanı kapasitesini etkileyen unsurlar dahili ve harici olarak ele alındığında, dahili faktörler: pistlerin ve taksi yollarının sayısı, konumu, yönü ve fiziksel özellikleri (uzunlukları, genişlikleri, yüzey malzemeleri, mevcut aydınlatma ve navigasyon yardımcıları ve yüzey dayanıklılığı dahil); hava tarafı manevra alanlarının ve yolcu terminali tesislerinin boyutu ve düzeni; yakın hava sahasının yapılandırması ve

sınırları; yerel lokasyona özgü çevresel/gürültü kısıtlamalarının, sokağa çıkma yasaklarının veya diğer işletme kısıtlamalarının varlığı; ve havayoluna olan talebinin niteliği (özellikle uçuşların zamanlamaları, tesisi kullanan uçakların büyüklüğü ve karışımı, yolcuların milliyeti ve havayolunun iş modeli) olarak sıralanabilir. Havaalanı kapasitesini etkileyen harici unsurlar ise yerel meteorolojik koşullar, hava trafik kontrol düzenlemeleri, kurtarma ve yangınla mücadele kapsamı ve ulusal güvenlik ve emniyet düzenlemeleri olarak verilebilir (Ison ve Budd, 2021).

Havaalanlarında kapasite yetersizliği için en etkili çözüm yöntemi olarak havaalanının fiziksel altyapılarının geliştirilmesi görülmektedir. Fakat mevcut kapasitenin iyileştirilmesi için geliştirilen inşaat projeleri maliyeti oldukça yüksek ve zaman alan çözümlerdir. Üstelik havaalanı genişletme projeleri inşaat süresince mevcut operasyonları da olumsuz etkilemekte ve kapasiteyi daha da kısıtlayabilmektedir. Havaalanı sisteminde oluşan darboğazların ortadan kaldırılması için kısa, orta ve uzun vadeli çözümlerin mevcut operasyonların akışına müdahale etmeden en etkili şekilde yerine getirilebilmesi, talep tahminleri değerlendirilerek geliştirilen planlar ile mümkün olabilecektir.

Havaalanı süreçlerinde oluşan problemlerin tespitinde literatürde en çok simülasyon yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Havaalanı simülasyon modellerinin ortak özelliklerini incelediğimizde, amaçlarının pist, taksi yolu ve kapı süreçlerinde havaalanının etkinliğini, havaalanı kaynaklarının gecikmelerini ve verimliliğini gözler önüne sermek ve gelecekteki kuyrukları tahmin edebilmek olduğu görülmektedir. Bu tahminler, mevcut talebe ve/veya zaman içerisindeki büyüme tahminlerine dayanmaktadır (Trani A. ve Hojong, 2018).

Bu çalışmada amaç, havaalanlarının artan taleplere en verimli şekilde cevap verebilmesi için, kapasiteyi artırmak ve maliyetleri minimumda tutmak üzere, uzun ve orta vadeli havaalanı hava trafiği iyileştirme programlarını planlayabilmektir. Çalışmada havaalanı kapasite planlamada karar vericilere destek sağlayacak sistematik bir model geliştirilmiştir. Modelde ilk olarak havaalanında kapasite kısıtı oluşturan sebepler yoğun dönemlere ait istatistiksel veriler ışığında saptanmış, daha sonra da darboğazları aşmaya yönelik olası çözümler literatür ve karar vericilerin katkılarıyla belirlenmiş ve yine karar vericiler tarafından ortaya konan çözümler değerlendirilmiştir. Hava trafiği kapasitesini arttırmaya yönelik çözümler (kapasiteyi maksimize eden, maliyeti ve oluşabilecek riski minimize eden) geliştirilen hibrit bulanık mantık temelli En-İyi En-Kötü (Best Worst Method BWM) ve Analitik Ağ Süreci (Analytical Network Process ANP Benefit ,Cost

Risk BCR) yöntemleri kullanılarak uygunluk ve etkinlik derecelerine göre sıralanmıştır. Daha sonra çıktı olarak elde edilen çözümlerin iş akış süreçleri, karar vericinin ağırlıklandırmaları göz önünde bulundurularak uygulama sırasını verecek şekilde oluşturulmuştur. Her bir çözümün uygulanma süreleri istatistiksel olarak değerlendirilerek, önerilen kapasite artırım planının toplam süresinin en iyi ve en kötü ihtimalle ne kadar zamanda tamamlanacağı ve planlamanın aşamaları belirlenmiştir.

Havaalanı hava tarafı kapasite planlamada önerilen modelin uygulanması için Türkiye'nin en yüksek ikinci hava trafiğine ev sahipliği yapan Sabiha Gökçen Havaalanı vaka çalışması olarak değerlendirilmiştir. Sabiha Gökçen Havaalanı'nın hava tarafında kapasite kısıtlayıcı problemlerin tespiti için simülasyon yönteminden yararlanılmıştır. Simülasyon sonucunda hava tarafında kuyruk oluşturan ve gelecekte trafiğin artması sonucunda kuyruk oluşabilecek süreçler belirlenmiştir. Belirlenen problemlerin üstesinden gelecek çözüm önerileri uzman görüşleri ve literatür katkıları ile ortaya konmuştur. Elde edilen çözümlerin sıralamaları önerilen yöntemle tespit edilmiş ve süreleri dikkate alınarak bir proje planı oluşturulmuştur. Modelin uygulanması sonucunda Sabiha Gökçen Havaalanı hava tarafı kapasite iyileştirilme planlamaları için karar vericiye destek sağlayacak bir yol haritası çıkartılmıştır.

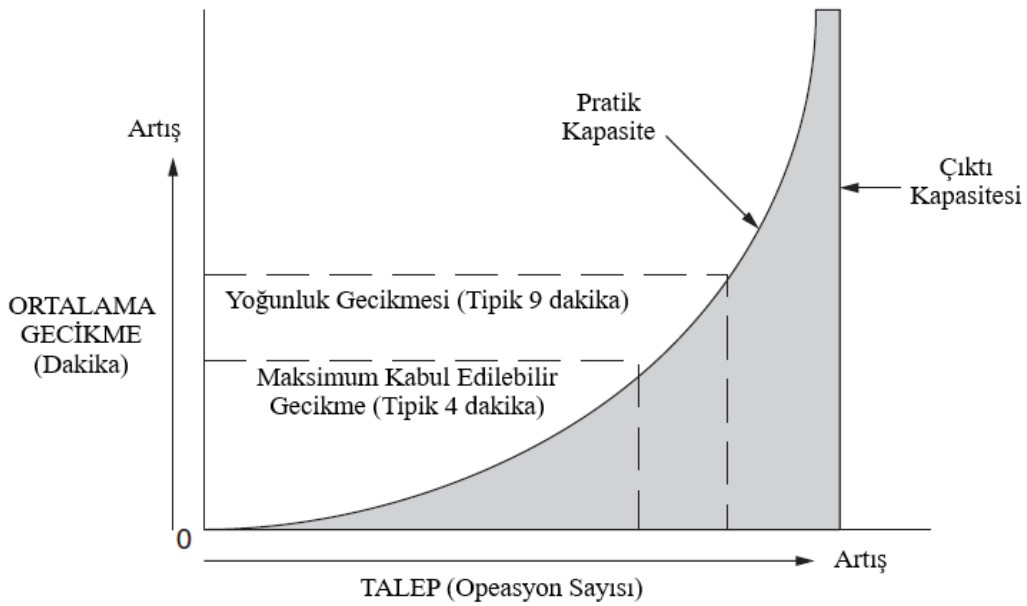
Bu çalışmada, kapasite kısıtlı havaalanlarını hava tarafı açısından değerlendiren ve iyileştirilmesi için özgün bir metodoloji sunan yeni bir model önerilmiştir. Havaalanı hava tarafının karmaşık yapısı, ANP-BCR yöntemi ile gruplandırılarak modellenmiş ve sonrasında Bulanık BWM yöntemi ile uzman görüşleri modele dahil edilmiştir. Hibrit bir ÇKKV modeli geliştirilerek kapasiteyi arttırmaya yönelik önerilen iyileştirmelerin önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Önceliklendirme skorları ve iyileştirmelerin uygulama süre olasılıkları kullanılarak kapasite iyileştirme planlaması için bir metodoloji ortaya konmuştur. Önerilen metodolojinin uygulanabilirliği Sabiha Gökçen Havaalanı vaka çalışması ile gösterilmiştir. Çalışmada, havaalanı hava tarafı iyileştirme planlaması için gerekli olan unsurlar tek model üzerinden işlenerek, karar vericinin çabasını en aza indirgeyebilen sistematik ve etkili bir yaklaşım önerilmektedir. Karar vericiye hem zaman hem de bütçe tasarrufu sağlayan esnek ve akılcı bir planlama içgörüsü sunulmuştur. Çok kriterli karar verme tekniklerinin hava tarafı planlama süreçlerine uygulanması, dilsel verilerin bulanık mantık ile modele dahil edilmesi, havaalanı hava tarafı süreçlerinin istatistiksel olarak analiz edilip simülasyonda kullanılması ve birden fazla yöntemin entegre bir şekilde kullanılması çalışmanın özgünlüğünü yansıtmaktadır.

2. HAVAALANI HAVA TARAFI KAPASİTE PLANLAMASINDA KULLANILAN ARAÇLAR VE LİTERATÜR TARAMASI

Havaalanı kapasitesi genellikle operasyonel terimlerle ifade edilir ve belirli bir zaman diliminde belirli çalışma koşulları, hizmet standartları ve sürekli talep altında, bir havaalanında güvenli bir şekilde barındırılacak maksimum hava trafiği hareketi (ATM) sayısı olarak tanımlanır. Ancak kapasitenin her durumda geçerli bir tanımını yapmak oldukça zordur. Sivil havacılık otoritelerince farklı tanımlar yapılmış, hatta bir ülke içindeki bireysel havaalanları için farklı yaklaşımlar benimsenmiştir. Bu nedenle kapasiteyi ölçmek veya tanımlamak için evrensel olarak kabul edilmiş bir standart bulunmamaktadır.

Urbatzka ve Wilken (2007), havaalanı kapasitesini emniyet düzenlemelerine, operasyon koşulları ve standartlarına bağlı olarak belirli bir zaman aralığında bir havaalanı tesisinden geçebilecek yolcu, yük veya inen/kalkan uçak sayısı cinsinden maksimum trafik miktarı olarak tanımlamaktadırlar. ABD Sivil Havacılık Otoritesi FAA (Federal Aviation Administration), kapasiteyi çıktı kapasitesi ve pratik kapasite olmak üzere iki farklı türde açıklamıştır. Çıktı kapasitesi, operasyonlardaki kusurların veya rastgele meydana gelebilecek küçük olayların sonucunda karşılaşılabilecek olan kısa süreli gecikmelere bakılmaksızın, uçak operasyonlarının gerçekleştirilebileceği nihai kapasite olarak tanımlanır. Pratik kapasite ise kabul edilebilir ortalama gecikme süresi hesaba katılarak, belirli bir zaman içerisinde karşılanabilecek operasyonların sayısıdır. Pratik kapasite hesaplanırken her uçağın 4 dakika gecikeceği ve sonsuz bir kapasitenin olacağı varsayılır (Neufville vd., 2013).

Şekil 2.1’de havaalanlarında yaşanan gecikme çıktı ve pratik kapasitenin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Bu iki kapasite ölçüsündeki önemli bir fark, birinin gecikme açısından tanımlanması ve diğerinin tanımlanmamasıdır. İki kapasite tanımının dikkate alınmasının birkaç nedeni vardır. Tüm havalimanları ve bunların havaalanı bileşenleri için geçerli kabul edilebilir gecikme seviyelerinin belirlenmesi konusunda genel bir mutabakat eksikliği vardır. Politikalar, beklentiler ve kısıtlamalar farklılık gösterdiğinden, kabul edilebilir gecikme miktarı havalimanından havalimanına farklılık gösterir. Çıktı kapasitesinin tanımı gecikmeyi içermez ve havaalanının en yoğun faaliyet dönemlerinde uçakları barındırma kapasitesini yansıtır. Ancak, bu tanım için tıkanıklık ve gecikmenin büyüklüğünün açık bir ölçüsü yoktur. Gecikmenin büyüklüğü büyük ölçüde talep örüntüsünden etkilenir (Horonjeff vd., 2010, s. 488).



Şekil 2.1. *Kapasite ve Talebe Bağlı Gecikme (Horonjeff vd., 2010, s. 488)*

Kapasite hesaplamada kullanılan diğer tanımlar sırası ile aşağıda verilmiştir. Dinamik kapasite; birim zaman başına (dakika veya saat olarak) bir alt sistemin içinde yolcu veya trafik cinsinden en fazla işlem ya da akış oranını verir. Statik kapasite ise bir tesisin veya alanın depolama potansiyelini tanımlamak üzere kullanılmakta olup, belirli bir anda bir alanın barındırabileceği kişi sayısı ile belirtilir. Sürdürülebilir kapasite; tıkanıklık veya gecikme olmaksızın en optimum seviyede hizmet verilebilecek yolcu veya trafik değeri standardıdır. Maksimum kapasite ise operasyonel gereklilikler ve bunlardan kaynaklı gecikmeler dikkate alınmaksızın en yüksek trafik akış miktarı olarak tanımlanmıştır. Son olarak beyan edilen kapasite, havalimanı tesis ve kaynakları hakkında ilgili kurum ve işletmelere bildirilen kapasitedir. Beyan edilen kapasitenin hesaplanması ve tanımı üzerine bir görüş sağlanamamıştır (IATA, 2014).

Havaalanları uçakların iniş kalkış yapmalarına olanak veren, birçok teknik özelliği olan karmaşık yapılardır. Tipik bir havalimanının üç farklı bileşeni vardır; bunlar hava tarafı, terminal ve kara tarafıdır. Havalimanında kapasiteyi belirleyen en önemli unsur hava tarafı kapasitesidir. Hava tarafının kapasitesini ise genel olarak pistler belirler. Hava tarafı kapasitesi belirli bir zaman diliminde gelen ve giden maksimum uçak trafiği anlamına gelir. Hava tarafı; pist, apron, taksi yolu, park yerleri, kapı ve hava sahasından oluşmaktadır.

Havaalanı kapasitesi değişkendir. Literatürde ve kaynaklarda kesin sayı şeklinde ifade edilmesi sabit bir değer gibi algılanabilir. Havaalanı kapasitesi hava koşulları, inişte

ve kalkışta gereken ayırma minimumları, trafik karması, yerel altyapı durumları, çevresel yönetmelikler ve gürültü gibi faktörlerden etkilenir. Hava tarafı kapasitesini etkileyen unsurlar başlık 2.4 altında verilmiştir.

2.1. Havaalanı Sistem Planlaması ve Master Planlama

Havaalanı planlamasında farklı türde birçok çalışma yapılır. Bunlara tesis planlaması, finansal planlama, trafik ve pazarlar, ekonomi ve çevre ile ilgili çalışmalar dahildir. Ancak, bu çalışmaların her biri genellikle üç seviyeden birinde yapılıyor olarak sınıflandırılabilir: sistem planlama seviyesi, master planlama seviyesi ve proje planlama seviyesidir.

Havaalanı sistem planlaması yerel, eyalet, bölgesel veya ulusal düzeyde, koordineli bir hava ulaşım sisteminin parçası olarak birbirini tamamlaması beklenen bir dizi havaalanlarını dikkate alan bir planlama çabasıdır (Young ve Wells, 2011, s. 380). Havaalanı sistemi planlamasıyla, bireysel havaalanlarının hedefleri, örneğin her havaalanının misyonu doğrultusunda hava ulaştırma talebinin hizmet etmek istediği pazara odaklanarak toplumun ihtiyaçlarının karşılanması sağlanır. Örneğin bir bölgedeki bir havaalanında uluslararası ticari yolculara hizmet etmek hedeflenirken, diğer havaalanının da ise genel havacılık maksatlı daha küçük uçaklara hizmet sağlamak hedeflenebilir.

Havaalanı sistem planı bütünlük bir hava ulaştırma sistemi kurmak için stratejik politikalar, planlar ve programlar sağlar ve bölgede ihtiyaç duyulan hava ulaştırma talebini karşılamayı amaçlar. Havaalanı Sistem planının hedefleri şunlardır (Horton vd., 2010, s. 135):

1. Mevcut ve gelecekteki havacılık ihtiyaçlarını karşılayacak, sanayi, istihdam, sosyal, çevresel ve rekreasyonel hedeflerle ilgili olarak bölgesel büyüme modelini teşvik edecek, düzenli ve zamanında gelişen bir havaalanı sistemi oluşturmak.
2. Havacılığın, ulaştırma sistem planı ve kapsamlı kalkınma planında yansıtılan bölgenin genel hedeflerini desteklemek amacıyla dengeli ve çok modlu bir ulaşım sistemindeki rolünü yerine getirmesini sağlamak.
3. Havacılık tesislerinin yerleşimi ve genişletilmesi yoluyla ekolojik ve çevresel zararları önlemek, çevreyi korumak ve iyileştirmek.

4. Kısa ve uzun vadeli havaalanı sistemi gereksinimlerine uygun olarak, belirli havaalanı programlarının geliştirilmesine olanak tanıyacak alanları sağlamak.
5. Kısıtlı bir ortamda bu kaynakları en iyi şekilde kullanacak arazi kullanımı ve hava sahası planlarını uygulamak.
6. Uzun vadeli mali planları geliştirmek ve havaalanı finansmanında kamunun bütçe süreci içinde önceliklerini belirlemek.
7. Devlet kurumları arasındaki gerekli koordinasyonu, kamu ve özel havacılık ve havacılık dışı paydaşların katılımını ve mevcut mevzuatın içeriği, standartları ve kriterleriyle uyumu sağlayarak, sistem planının normal siyasi çerçeve içinde uygulanmasına yönelik bir mekanizma oluşturmak.

Havaalanı sistemi planlama süreci, ulaşım, arazi kullanımı ve çevre ile ilgili bölgesel veya ulusal hedeflerle tutarlı olmalıdır. Havaalanı sistem planı çerçevesinde her bir havaalanının talebi karşılamadaki payı belirlenir ve bu doğrultuda havaalanı master planı oluşturulması beklenir.

Master planlamanın yapılması ICAO tarafından önerilmektedir. ICAO'nun tanımına göre master plan; büyüklükleri ve fonksiyonel görevleri göz önünde bulundurulmaksızın, eski havaalanlarının modernize edilmesi ve genişletilmesi ile yenilerinin inşasını; yapılan araştırmalarla grafik ve yazılı bir rapor yardımıyla sergileyen plan olarak tanımlanmaktadır (ICAO, 1987). Master planlamanın amacı yerel, bölgesel ve ulusal ulaştırma planları ile ulusal ve uluslararası havacılık politikaları çerçevesiyle uyumlu olarak düzenli bir kalkınmaya izin vermek ve aynı zamanda çevreyi korumak ve geliştirmektir. Master plan, kamu ve özel sektörü havacılık gereksinimleri konusunda bilgilendirmeli, ilgili siyasi kuruluşların planlamaya katılmasını ve arazinin en iyi şekilde kullanılmasını sağlayan bir planlama çerçevesi sunmalıdır (Caves ve Gosling, 1999, s. 7).

Havaalanı master planlama süreci çok yönlüdür ve bir projeye (havaalanına) stratejik ve taktiksel planlama bakış açılarını gerektirir. Stratejiktir çünkü plan, havaalanının sistemdeki nihai rolüne göre uzun vadelidir. Taktiktir çünkü havaalanının havacılık ve havaalanı sistemi planlarının stratejik hedeflerine ulaşmak için atması gereken kısa ve orta vadeli adımları belirtir. Master plan, sonuçta, havaalanının nihai hedefine ulaşmak için üstlenilmesi gereken belirli gelişim aşamalarını tanımlamak için proje düzeyinde hazırlanmış bir plandır. Havaalanı master planlama süreci politika ve koordinasyon planlaması, ekonomik planlama, hava sahası ve havaalanı

konfigürasyonları çerçevesinde fiziksel planlamalar, çevresel ve finansal planlamalar gibi çok disiplinli çalışma gerektiren birçok faaliyeti içerir.

Havaalanı proje planlaması ise havaalanı master planının kısa vadede uygulanacak belirli bir unsuruna odaklanır ve yeni bir pist eklenmesi, mevcut pistlerin değiştirilmesi, taksi yolları veya taksi yolu çıkışlarının sağlanması, kapı eklenmesi, yolcu terminal tesislerine ekleme yapılması veya bu tesislerin yenilenmesi ya da yer erişim tesislerinin değiştirilmesi gibi faaliyetleri içerir (Horonjeff vd., 2010, s. 141).

2.2. Havaalanı Hava Tarafının Kapasitesinin Önemi

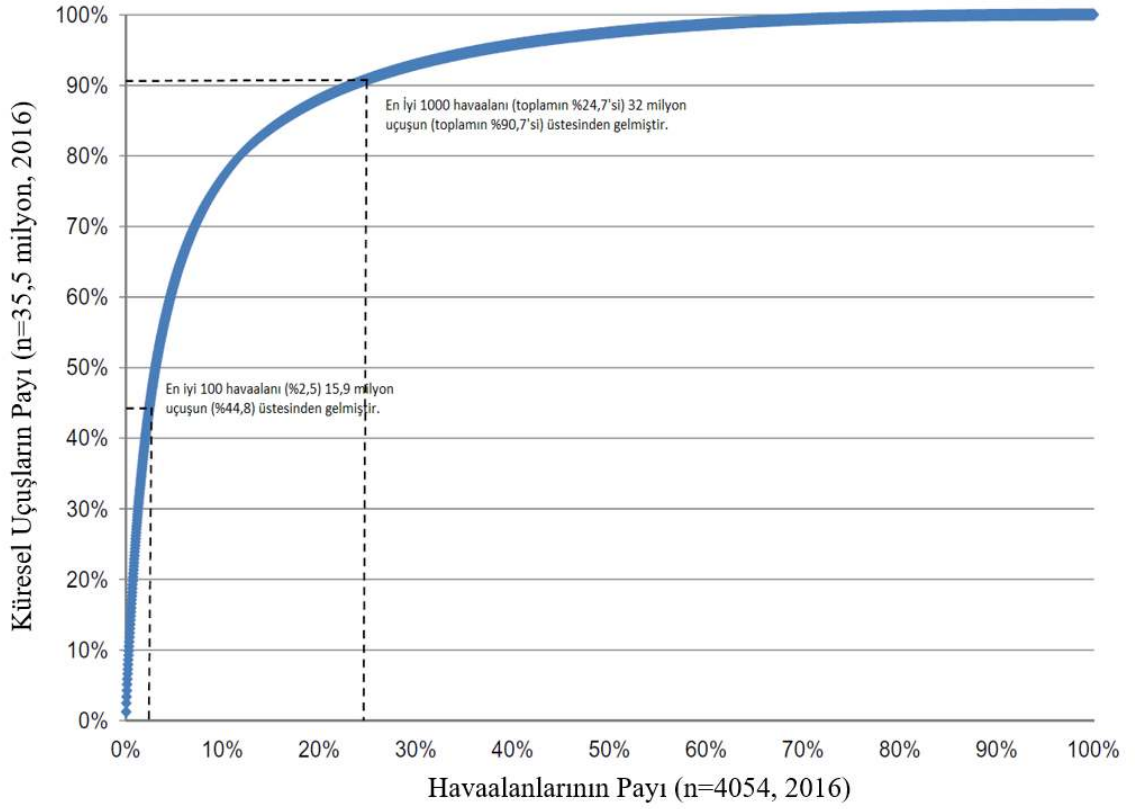
Dünyada trafik yoğunluğunun olduğu havaalanlarının, artan talebe aynı hızda cevap veremediği ve birçok havaalanında sıkışıklık yaşandığı görülebilmektedir. Kapasitenin yetersiz kalması sonucu ortaya çıkan problemi aşmak için bariz çözüm olarak görülen yeni pistlerin inşa edilmesi veya büyük hava ulaştırma merkezlerinin yanına yeni havaalanlarının inşa edilmesi pek kolay değildir. Çünkü oluşan maliyet, çevresel etki, arazi mevcudiyeti, uzun onay süreçleri ve siyasi olabilirlik ve bu etmenlerin birbirleri ile etkileri gibi sebepler bu kararın alınmasını zorlaştırır (Barnhart vd., 2012). Özellikle batı toplumlarında kapasite kısıtlı havaalanlarının problemlerinin üstesinden gelebilmek için en etkili seçeneklerden birisi olan yeni pist yapımı gibi çözümler halkın çevresel kaygılar nedeni ile oluşturduğu baskılar neticesinde uygulamaya konamamakta veya yeni pist inşası uzun süreler alabilmektedir. Örneğin Londra Heathrow Havaalanı uzun yıllar boyunca kapasitesi kısıtlı olarak hizmet vermiş ve üçüncü pistin yapımı için hükûmet kararı ancak 2018 yılında alınmıştır. Havaalanı çevresindeki halk ve çıkar grupları projeye karşı çıkarak durumu mahkemeye taşımıştır. Bunun gibi sebeplerle üçüncü pistin inşasının bitmesi ve kullanıma açılması için 2027 yılı öngörülmektedir (Berster, Gelhausen ve Wilken, 2019).

2017 yılında ACI'ya üye havalimanlarına altyapı iyileştirmeleri için toplam 48 milyar dolar harcanmıştır (ACI, 2020). Dray (2020), 2000 ve 2016 yılları arasında en yoğun 150 havaalanını incelemiş ve 55 tanesinin sistemlerine yeni pist eklediğini belirtmiştir. Fakat genişleyen havaalanlarının yarısından fazlası genişleme öncesi kapasitelerinin altında kalmış veya daha sıkışık hale gelmişlerdir. Havaalanlarında kapasiteyi artırma projeleri genel olarak; artan uçak trafiği ile başa çıkabilmek için yeni pistler, artan yolcu sayıları ile başa çıkabilmek için yeni ve genişletilmiş terminal binaları yapımı ve son olarak yeni havaalanı inşaatı şeklindedir (National Academies of Sciences, Engineering, 2013). 2008 yılında yapılan bir çalışmada toplam 2400 havaalanından 177'si

örneklem alınmış ve 20 tanesinde kapasite yetersizliği gözlemlenmiştir. İncelemeye alınan havalimanlarında 2016 yılına kadar hiç iyileştirme yapılmazsa %70'inin kapasite kısıtlı havalimanı olacağı öngörülmüştür (Gelhausen, Berster ve Wilken, 2013).

Stratejik havaalanı planlamasında, yıllık kapasiteler, pistin gelecekte belli bir uçuş hacmini karşılayabilme yeteneği olarak görülür. Tahminlemeler ile elde olan kapasite verisi kıyaslanır ve kapasite rezervi hesaplanmış olur. Talep maksimum kapasiteye yaklaştığında tolere edilemez bir duruma gelmiş olur ve uçuşlarda gecikmeler yaşanmaya başlayabilir (Wilken, Berster ve Gelhausen, 2011).

Dünyada hava ulaştırmaya olan talep sürekli artarken havaalanı sayısı neredeyse sabit kalmaktadır. Bunun sonucu olarak meydana gelen sıkışıklık ise havaalanlarında gecikmelere sebep olmaktadır. FAA (2020) Amerika'daki trafik gecikmelerinin toplam maliyetini değerlendirmiştir. 2019 yılında toplamda 33 milyar dolar maliyet oluşmuş olup bunun 8,3 milyar doları doğrudan havayoluna ve 18,1 milyar doları yolculara yansıyan maliyettir. Gecikmeden dolayı oluşan talep kaybının maliyeti ise 2,4 milyar dolar olarak hesaplanırken, dolaylı yollardan oluşan maliyet ise 4,2 milyar dolar olarak tahmin edilmiştir. 2000 yılında düzenli tarifeli seferleri olan havaalanı sayısı 4035'ten 2016'da 4054'e yükselmiştir. Buna kıyasla trafik hacmi 2000'de 27,9 milyon uçuş iken 2016'da uçuş sayısı 35,5 milyon olmuştur. 2019'da küresel uçuş sayısı 38,9 milyona ve Covid-19 salgını sonrası 2023 yılında uçuş sayısı 36 milyona yükselmiştir. Gelecek 20 yılda küresel yolcu trafiğinin yıllık ortalama %3,8 artacağı öngörülmektedir (IATA, 2024). Küresel hava yolu yolcu trafiğinin yarısına sadece 120 havaalanı ile hizmet verildiği ve diğer havaalanlarının büyük kapasite rezervlerine sahip oldukları görülmüştür (Gelhausen, Wilken ve Berster, 2019, s. 101). Şekil 2.2'de Lorenz eğrisi diye bilinen havaalanı başına düşen uçuş trafiğinin birikimli grafiği gösterilmiştir. Trafiği az olan 3000 havaalanının toplam trafik hacmi, küreselin %10'u düzeyindedir.



Şekil 2.2. Küresel Havaalanı Ağındaki Uçuşların Görelî Kümülatif Dağılımı (OAG, 2016'den aktaran Gelhausen vd., 2019)

Havaalanı trafiği gece ve gündüz arasında, hafta içi hafta sonu arasında ve yıl içinde belli mevsimlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu değişkenlik azaldıkça trafik yoğunluğunun önemi bir diğer deyişle havaalanı kapasite kısıtlarının ciddiyeti artmaktadır. Havaalanı kapasite analizi yapılabilmesi için kapasitenin belirli bir şekilde ölçülebilmesi gerekmektedir. Havaalanlarında değişken olan talebi ortalama olarak gösterebilmek için trafiğin zirve olduğu bir saat seçilir. Bu saati belirlemede literatürde farklı konseptler mevcuttur (Ashford, Mumayiz ve Wright, 2011, s. 58);

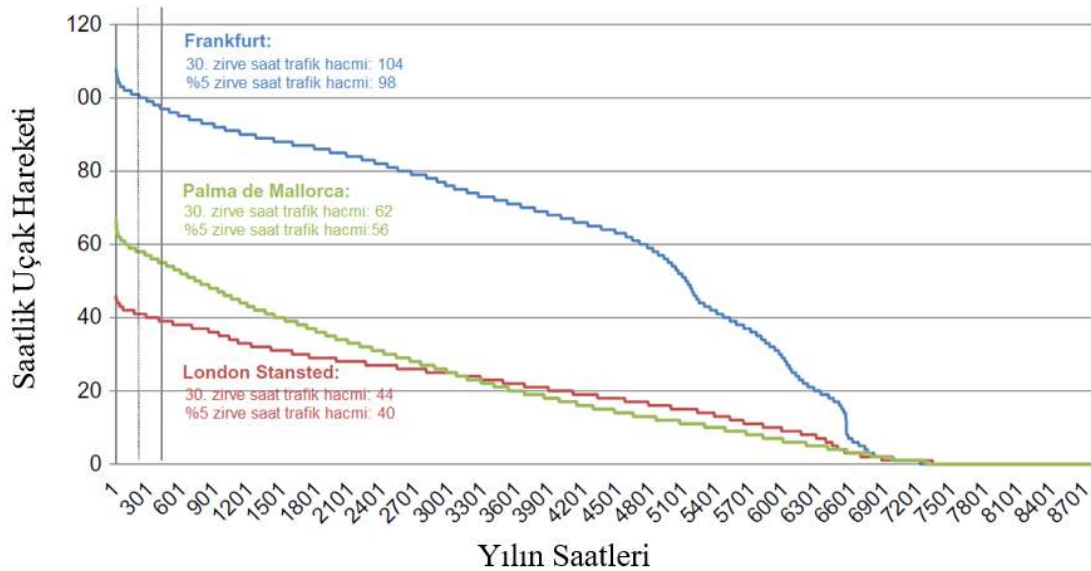
- FAA'nın tanımlamış olduğu Tipik Yoğun Saat Yolcu (Typical Peak-Hour Passenger TPHP) konseptine göre havaalanının yıllık trafiği incelenir ve en yoğun günler seçilir. Seçilen günlerdeki trafik saatlik olarak ele alınır ve trafiğin zirve yaptığı saatlerin dağılımları esas alınarak ortalama bir değer elde edilir.

- BAA ise zirve saati belirlerken en yoğun 30. saati seçer.
- IATA ise havaalanı yoğun gün tanımlamasını en yoğun ayın, ortalama haftasının ikinci en yoğun günü olarak tanımlar.

• Urbatzka ve Wilken'in (1997) önerdiği %5 zirve saat yöntemine göre havaalanının yıl boyunca saatlik uçak hareketleri (iniş ve kalkış sayıları) belirlenerek sıralanır ve ilk %5'lik dilime giren saatler havaalanının yoğun dönemlerini temsil eder.

Kapasite kullanım indeksi havaalanının ortalama saatlik trafik hacminin, %5 zirve saat trafik hacmine oranlanması ile elde edilir. İndeks değerinin 0,65-0,7 değerlerinden fazla olması belirlenen havaalanında ciddi kapasite kısıtlarının olduğu anlamına gelebilmektedir.

Yıllık havaalanı kapasitesini en iyi şekilde temsil edilebilmek için hava trafik sıralama eğrisi tanımlanmıştır (Gelhausen vd., 2019; Matthews, 1995; Urbatzka ve Wilken, 1997; Wilken vd., 2011). Hava trafik sıralama eğrisi havaalanlarındaki kapasite durumlarını görselleştirmek için kullanılan bir araçtır ve havaalanının yıl içerisindeki tüm saatlik trafik hacimlerini azalan bir şekilde sıralar.



Şekil 2.3. Frankfurt, Palma De Mallorca ve Londra Stansted Havalimanlarında 2016 Yılı Operasyon Saatlerine Göre Trafik Sıralaması (OAG, 2016'den aktaran Gelhausen vd., 2019)

Şekil 2.3'te Frankfurt, Palma De Mallorca ve Londra Stansted havaalanlarının hava trafik eğrisi görülmektedir. Yıl içinde en yüksek kapasitede hizmet verilen 1. saatten başlayarak hiç uçak hareketinin olmadığı sonuncu saate kadar sıralanır. Grafikte eğrilerin ortalarında saatlik trafik seviyeleri arasında küçük farklılıkların olduğu görülmektedir. Eğrilerin eğimlerinin en az ve en yüksek trafiğin olduğu saate uzun süre yakın takip edilirse o havaalanı kapasite sınırlarında hizmet veriyor demektir. Şekildeki üç havaalanının trafik eğrileri karşılaştırıldığında, Frankfurt ve Londra Stansted havaalanlarının eğimlerinin Palma De Mallorca'nın trafik eğiminden daha az olduğu görülmektedir. Bu

da Frankfurt ve Stansted havaalanlarının kapasite kullanım oranlarının daha fazla olduğu anlamına gelmektedir (Gelhausen vd., 2019, s. 38). Frankfurt havaalanında dört pist, Palma De Mallorca’da iki pist ve Stansted havaalanında tek pist yerleşimi söz konusudur.

2.3. Havaalanı Hava Tarafı Kapasitesini Etkileyen Unsurlar

Bir havaalanının kapasitesi başta pistlerin kullanımı, havaalanını kullanan uçak karması, belli bir zaman dilimindeki operasyonların iniş ve kalkış yüzdesi, havaalanı yükseltisi ve iklim koşulları, yetkili otoritenin kısıtlamaları, hava trafik kontrolörlerinin etkinliği, hava sahasının verimli kullanımı, havaalanının diğer havaalanlarına veya şehir merkezine yakınlığı, pist konfigürasyonu ve yerleşimi, hakim rüzgar yönü, pistlerden taksi yoluna çıkışların tipi ve konumu, yabani hayat fauna veya florasına yakınlık, gürültü ve diğer çevresel hususlar ile ilgili uygulamalar ve kısıtlamalar gibi farklı unsurlar tarafından belirlenir.

Yer seviyesindeki fiziksel yerleşim ve tesislere ek olarak, bir havalimanının işletim ortamı çevresindeki hava sahasını da içerir. Hava sahasının yapısı ve tasarımı, hava alanına giren ve çıkan uçakların izleyebileceği rota sayısını belirler. Yüksek arazi, yüksek yapılar, özel kullanımlı hava sahası ve yakındaki başka bir havaalanındaki uçak operasyonları gibi hava sahası kısıtlamaları, bu tür rotaların sayısını sınırlandırabilir ve böylece havaalanı kapasitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle hava sahasının yapısı, havaalanı kapasitesinin değerlendirilmesinde çok önemli bir unsurdur.

Pist kapasitesi, belirli hava koşullarında ve kabul edilebilir bir uçak gecikmesi seviyesinde, belirli bir pist konfigürasyonunda ve belirli bir zaman aralığında (örneğin, 15 dakika veya bir saat) gerçekleştirilebilen uçak operasyonlarının maksimum sürdürülebilir çıktısı olarak tanımlanır (Ashford vd., 2011, s. 97). Pist kapasitesi, hava tarafı kapasitesinin kontrol unsurudur (Urbatzka ve Wilken, 2007).

Ashford ve arkadaşları (2011) havaalanı hava tarafı kapasitesini etkileyen unsurları dört grup altında toplamıştır; bunlar hava trafik kontrol, talebin özellikleri, havaalanı çevresindeki çevresel koşullar ve pist sisteminin yerleşimi ve tasarımıdır. İlk olarak hava trafik kontrol unsurları incelendiğinde, hava seyrüseferi sırasında uçakların emniyeti için dikey ve yatay olarak aralarına belli mesafeler konmaktadır. Uçaklar arasındaki yatay ayırmalar uçakların boyutuna, hava sahasının çeşidine, uçuş tipine (IFR-VFR) ve irtifasına bağlı olarak değişebilmektedir. Uçakların iniş ve kalkışı sırasında ağırlıklarından dolayı ve yavaş süratlerde kanatlarının uçlarında dümensuyu türbülansı (wake turbulence) denilen bir düzensiz hava akımı oluşur. Bu akımın şiddeti uçak

büyüdükçe ve yavaşladıkça artmaktadır. Uçaklar yapısal kalkış ağırlıklarına göre sınıflandırılır ve 7000 kg altı uçak “Hafif (Light)”, ağırlığı 7000kg ve 136000kg arasında olanlar “Orta (Medium)” ve kalkış ağırlığı 136000 kg’dan fazla olanlar ise “Ağır (Heavy)” şeklinde sınıflandırılmıştır. İniş ve kalkışta uçakların birbirini takip etme durumuna bağlı olarak ayrımları bu sınıflandırma dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir (Jeppesen, 2011).

Havaalanlarında kapasiteyi etkileyen bir diğer etmen de taleptir. Talebin artması ve bu ivmenin devam etmesi, aynı zamanda günün hangi saatlerinde zirve yapıyor olması kapasite problemlerini belirlemede önem arz etmektedir. Talep arttıkça havaalanına gelen uçak tipinin çeşitliliği de artacaktır. Yaklaşma hızlarındaki farklılıklar nedeniyle, yaklaşma yolu boyunca herhangi bir noktada minimum ayırmanın ihlal edilmediğinden emin olmak için bir güvenlik payına izin verilmelidir. Uçağın konma hızı, frenleme ve yer manevra kabiliyeti, iniş için pist meşguliyet süresini etkiler ve bu da kalkış yapan bir uçağın serbest bırakılabileceği süreyi belirler. Merkez (hub) havaalanlarında pist sistemi ile apron/kapı sistemi arasındaki fonksiyonel ilişki, merkez olmayan (non-hub) havaalanlarına göre daha önemlidir. Bu nedenle hava tarafındaki kapasite darboğazları incelenirken bu durumun göz önünde bulundurulması gerekir (Mirković ve Tošić, 2017).

Havaalanlarında faaliyet gösteren havayolu şirketlerinin benimsemiş oldukları iş modeli ve dolayısıyla bunun şekillendirdiği ağ yapısının da havaalanının sıkışıklık durumu üzerinde önemli bir etkisi vardır. Geleneksel ya da tam hizmet sağlayıcı olarak bilinen havayolu işletmeleri yoğunluk ekonomisinden faydalanmak için topla dağıt ağ yapısını kullanmaktadırlar. Havayolları uçuş hatlarını merkez havaalanlarında toplar ve bağlantılı uçuşlarla yolcuları daha fazla destinasyona ulaştırabilir. Artan uçuş sıklıkları neticesinde merkez havaalanlarındaki sıkışıklık önemli seviyelere ulaşır. Programın kapasite göz önünde bulundurulmadan yapılması ve olumsuz hava koşulları ciddi gecikmeler, iptaller ve kaçırılan bağlantı uçuşları ile sonuçlanarak ciddi maliyetlere sebep olabilmektedir (Fageda ve Flores-Fillol, 2016).

Pist kapasitesini etkileyen en önemli çevresel faktörler görüş, pist yüzey koşulları, hâkim rüzgâr yönü ve şiddeti ile gürültü azaltma gereklilikleridir. Yetersiz görüş koşulları altında, pilotlar ve hava trafik kontrolörleri daha dikkatli olurlar. Daha uzun uçak ayrımları ve daha uzun pist meşguliyet süreleri ortaya çıkar ve kuvvetli yan rüzgarlara sahip pistlerin kullanılma olasılığı düşer. Görüş veya bulut tavanı belirli değerlerin altına indiğinde, aletli uçuş kuralları uygulanır ve emniyetli ayırım sorumluluğu pilotlardan hava

trafik kontrol personeline geçer. Benzer şekilde pistin ıslak, kaygan olma durumlarında veya kar ve buz birikintilerinin olduğu durumlarda pistin meşguliyet süreleri artar ve kapasite düşer. Uçakların belli bir yan rüzgâr ve kuyruk rüzgâr limiti olduğundan, rüzgâr hızının arttığı zamanlarda pistin kullanımına kısıtlamalar gelebilmektedir. Havaalanlarında uçak trafiğinden kaynaklanan gürültü kirliliğini azaltmak için uyulması gereken prosedürler de kapasiteyi etkilemektedir.

Pist kapasite tahmini yapmada temel olarak dört farklı yaklaşım vardır. Bunlar kıyaslama içeren ampirik çalışmalar, kuyruk modelleri, çözümsel yaklaşımlar ve simülasyon modelleridir (Ashford vd., 2011, s. 245). Ampirik çalışmalar gözlemlere, anketler ve istatistiklere dayanır. Elde edilen analiz sonuçları kapasiteyi tahminlemede faydalı bir araç olarak kullanılabilir. Kıyaslama ise benzer altyapı ve operasyonel koşullara sahip havaalanlarının kapasite durumları kıyaslama için kullanılır. FAA kapasite tahminlemelerini üç farklı hava koşulu (optimum, marjinal ve IFR) altında yapmaktadır. Kuyruk modelleri, ortalama bir uçağın gecikmesi, uçuş hareket oranı (saatlik iniş kalkış yapan uçak sayısı), ortalama ayırma süreleri ve standart sapma gibi verileri girdi olarak alır. Genel olarak gelişlerin rastgele olduğu ve Poisson dağılımı şeklinde dağıldığı kabul edilir. Fakat bu hususun günümüz tarifeli uçuş trafiği için geçerliliği azdır (Gelhausen vd., 2019). Çözümsel yaklaşımlar kalkışın ve inişin belirli zamanlarda kontrollü bir hava sahasında olacağı, zaman ve mekân verilerinin radarlar tarafından alınacağı temeli üzerinde çalışır.

Havaalanının tasarımı da kapasite için belirleyici bir unsur oluşturur. Burada pistin, apronun ve taksi yollarının geometrileri ve konumlandırılmaları kapasiteyi belirleyicidir. Tek bir pist veya birden fazla pist ile hizmet veriliyorsa, bunların konfigürasyonları da kapasitede etkindir. Pist konfigürasyonları tek pist, paralel pistler, kesişen pistler ve açık V şeklindeki pistler olarak verilebilir. Paralel pist, aynı yönde hizalanmış yan yana iki ya da daha fazla pistin yerleştirildiği konfigürasyon kategorisidir. Paralel pistlerin birbirlerine olan mesafesine bağlı olarak bağımsız iniş kalkışlar yapılabilmektedir.

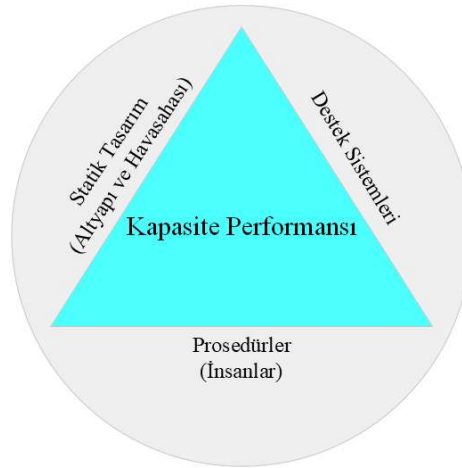
Açık-V pist konfigürasyonu, birbiriyle paralel olarak hizalanmayan, ancak hava tarafında herhangi bir noktada birbirini kesmeyen iki pisti tanımlar. Hâkim rüzgarlara yönlendirilen pist, birincil pist olarak bilinir ve diğer pist ise yan rüzgâr pisti olarak tanımlanmaktadır. Hafif rüzgâr koşullarında, her iki pist aynı anda kullanılabilir. Kesişen pist konfigürasyonu, birbiriyle paralel olarak hizalanmayan ve havaalanında bir noktada birbiriyle kesişen iki pist olarak belirtilen konfigürasyondur. Düşük rüzgâr

koşullarında ve görerek uçuş şartlarında, iki uçak arasında belirli bir ayırım sağlanarak her iki pist de aynı anda, ancak oldukça koordineli bir şekilde kullanılabilir (Neufville vd., 2013)

2.4. Havaalanı Kapasite İyileştirme Stratejileri

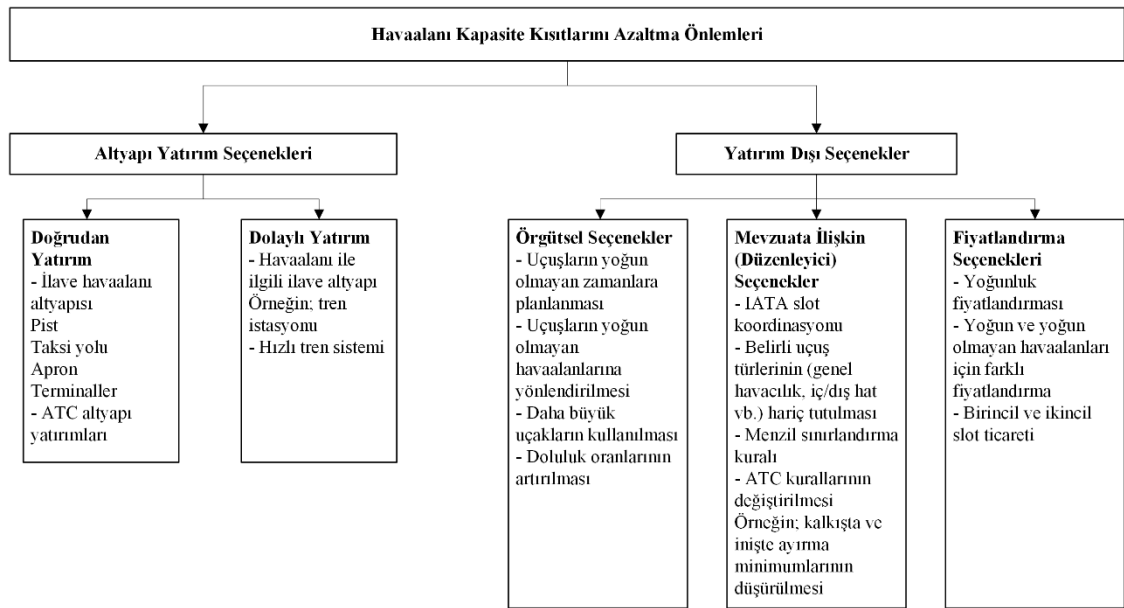
Havaalanı kapasite kısıtlarını aşmak için geliştirilen çözümler havaalanından havaalanına veya bölgeden bölgeye farklılıklar gösterebilir. Bunun yanında çözümler kapasite kısıtının şiddetine, darboğazın tipine, havaalanı sahiplik durumuna ve finansal yapısına, devletin havaalanlarını denetleme ve düzenleme çerçevesine bağlı olarak şekillenir. Kapasite kısıtının aşılması sadece havaalanı altyapısına yapılan yatırımlar veya yatırım dışı seçenekler ile ortaya çıkan çözümlerden ziyade talep ve arz yönetimi yapılarak da çözümler geliştirilebilir. Barnhart (2012) havaalanı kapasitesini ve oluşabilecek talebi yönetmek amacıyla geliştirilen yaklaşımları zaman ölçeği altında stratejik planlamalar, taktiksel ayarlamalar ve gerçek zamanlı müdahaleler olarak sınıflandırmıştır. Stratejik planlamanın altında ulaştırma sistem koordinasyonu, her bir slot için kapasitenin artırılması, talebin verimli bir şekilde dağıtılması ve tarifeli havaalanlarındaki operasyon sayılarının artırılması gibi uzun dönemde yapılabilecek uygulamaları sıralamıştır. Taktiksel ayarlamalarda ise hava trafik akış yönetiminin optimize edilmesi ve kötü hava koşullarındaki operasyonlardan verimli bir şekilde geri dönüşe değinmiştir. Son olarak gerçek zamanlı müdahaleler ile hava trafik yönetim sisteminin iyileştirilebileceğini belirtmiştir.

EUROCONTROL (2016) havaalanı kapasite değerlendirme metodolojisi el kitabında kapasite iyileştirme seçeneklerini Şekil 2.4'teki gibi belirtmiştir. Kapasite iyileştirmesinin ilk ayağı olarak altyapı ve hava sahasının geliştirilmesi için uygulanabilecek seçenekleri değerlendirmiştir. Hem altyapı hem de büyük hava sahası değişiklikleri uzun vadelidir ve düzenli olarak değiştirilememektedir. Hava Trafik Yönetim (ATM) sistem iyileştirmelerinin belirlenmesi ve uygulanması, yüksek düzeyde entegrasyon ve iş birliğini gerektirirken büyük altyapı ve hava sahası değişikliklerinden daha karmaşık olabilir. Bununla birlikte sistem iyileştirmelerinin uygulanması daha az maliyetli olabilir ve uçuş operasyonlarının uzunca süreler kesintiye uğramadan sürdürülmesini sağlayabilir. Prosedürleri ve operasyonel ATM yapısını değiştirerek insan performansını iyileştirmek, karmaşık değişim yönetimi süreçleri gerektirebilir, ancak önemli faydalar sağlayabilir.



Şekil 2.4. EUROCONTROL Kapasite İyileştirme Seçenekleri (O'Flynn, 2016)

Şekil 2.5'te genel olarak uygulanan havaalanı kapasite kısıtlarını azaltma seçenekleri verilmiştir.



Şekil 2.5. Havaalanı Kapasite Kısıtlarını Azaltma Stratejileri (Gelhausen vd., 2019)

2.4.1. Havaalanı kapasite iyileştirmede altyapı yatırım uygulamaları

Havaalanı kapasite kısıtının üstesinden gelmenin bariz çözümü olarak görülen faaliyet, yeni bir pist inşaatıdır. Yeni bir pistin havaalanı sistemine kazandırılması havaalanı hava tarafı kapasitesini önemli ölçüde artırmaktır. Pistler havaalanının kapasitesini belirleyen en temel altyapı olarak kabul edilir. Farklı hava koşullarından pistlerin kapasitesi etkilenmektedir. Çevre görüşünün düşük olduğu durumlar için çeşitli yaklaşma sistemleri geliştirilmiştir. Yaklaşma sistemlerinin hassasiyeti de pistin kapasitesini belirlemede etkili olmaktadır. Fakat havaalanlarına yeni bir pistin eklenmesi

maliyeti oldukça yüksek ve uygulaması oldukça uzun süren altyapı yatırımıdır. Yapımına karar verilmesi sürecinde havaalanı çevresinde yaşayan toplum da belirleyici olmaktadır. Çünkü yeni bir pistin inşa edilmesi havaalanında oluşan gürültünün ve salınan karbon gazlarının artmasına, havaalanının yüzölçümünün genişlemesine ve konumlandığı çevrenin habitatına olumsuz etkilerinin katlanmasına neden olabilir. Belirtilen sebeplerden dolayı bu kararın alınması, alınsa bile uygulamaya konulması riskler ve belirsizlikler barındırmaktadır.

Havaalanı altyapısına yapılan yatırımlardan diğerleri ise yeni taksi yollarının yapılması veya uzatılması, apron alanının ve park yerlerinin genişletilmesi ve daha etkili havaalanı yaklaşma teknolojilerine geçilmesi gibi yatırımların her biri ayrı ayrı havaalanının kapasitesini etkileyen faaliyetlerdir. Grebenšek ve Kosel (2014) taksi yolunun uzatılmasının pist kapasitesine etkisini farklı operasyonel koşullarda, öncesi ve sonrası durumlarını da dikkate alarak karşılaştırmış ve sonuç olarak kapasitede %25'lik bir artış elde edildiğini göstermiştir. Havalimanı apron kapasitesi de taksi ve pist altyapılarına benzer şekilde hava tarafı kapasitesinde belirleyici olabilmektedir. Öyle ki bazı havaalanlarında apronda yeteri kadar kapı bulunamadığı için trafiğin havada bekletildiği durumlar oluşabilmektedir. Mirkovic ve Tosic (2014) her apron konfigürasyonun belli kapasite esnekliği oluşturduğu ve apron kapasite esnekliğinin artırılabilmesi de oluşabilecek kapasite kısıtlarının etkisini azaltabildiğini vurgulamışlardır.

Havaalanlarının yetersiz apron alanları park edecek uçak sayısını kısıtlamakta ve havaalanının geliş ve gidiş trafiğini aksatabilmektedir. Özellikle yoğun saatlerde bu yetersiz apron alanına sahip havaalanlarında havada bekleme süreleri uzayabilmektedir. Apron kapasitesinin iyileştirilmesi havaalanlarında daha kısa çevrim sürelerini sağlarken gecikmelerde azalmalara da imkân vermektedir.

Hava tarafı faaliyetleri, yurtiçi ve uluslararası yolcu ve kargo hareketliliğini desteklemek için güvenli ve verimli operasyonlar sunmalıdır. Gelişmiş kara taşıtı teknolojilerinin (Advanced Ground Vehicle Technologies AGVT) hava tarafında stratejik olarak uygulanması, havalimanlarının dünya genelinde en güvenli ve en verimli havacılık sistemlerini sunma misyonuna katkıda bulunabilir (IATA, 2017). Ramp ve uçak faaliyetlerinin çoğu terminalin yakınında trafik oluşmayan alanda yürütülür. Genellikle alan kısıtlıdır ve aynı anda çok sayıda faaliyet devam eder. Bu durum engellerden kaçınma ve koordinasyon açısından özel hususlar gerektirir. Fakat AGVT, operasyonel

iyileştirmeler için fırsatlar da sunabilir (Hubbard vd., 2020, s. 41). Apron yönetim sistemleri ile gerçek zamanlı izleme ve veri odaklı karar alma ortamı oluşacak, böylece sorunlara hızlı yanıt verilmesi, gecikmelerin azalması ve uçakların sorunsuz hareket etmesini sağlayacak ve çevrim sürelerini kısaltacaktır (Airport Information Systems, 2024). Zürih Havalimanı'ndaki tüm apron alanları otomatik bir yanaşma rehberlik sistemiyle donatılmıştır. Bu sistem, uçak mürettebatına park yerlerine yerleşme sırasında yardımcı olur ve uçuş numarası, beklenen blok dışı zaman ve pistte kalkış zamanı gibi uçuş bilgilerini görüntüler (Zurich Airport, 2024).

Hava trafik yönetim altyapılarına yapılan yatırımlar esas olarak hava trafiği operasyonlarını etkiler ve havaalanı operasyonlarının verimliliğini, güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini iyileştirmek için operasyonel iyileştirmeler içerir. HTK birimlerinde yer kontrol, kule, yaklaşma, ve radar veya en-route fonksiyonları bulunmaktadır. Örneğin yer kontrol alt yapısına yapılan yatırım taksi yolu kapasitesini artırırken, kule kontrol altyapısına yapılan yatırım pist operasyonları ile ilgilidir ve pist kapasitesini iyileştirir (Jorge-Calderón, 2016, ss. 141-142).

Ticari havaalanlarında genellikle hassas aletli yaklaşma sistemi (ILS Instrument Landing System) yardımı ile uçaklar çeşitli kategorilerde hassas yaklaşımlar yaparak görüş mesafesinin oldukça düşük olduğu zamanlarda dahi inişler yapabilmektedirler. Son yıllarda yaklaşma veya radar teknolojilerindeki ilerlemeler ve yapılan havaalanı yatırımları, havaalanı kapasitesini kısıtlayan hava koşullarının üstesinden gelirken diğer yandan da pilotun iş yükünü azaltarak hem verimli hem de emniyetli operasyonların gerçekleşmesini sağlamaktadır. Geliştirilen Uydu Tabanlı Destek Sistemi (UTDS-SBAS) ve Yer Tabanlı Destek Sistemi (YTDS-GBAS) ile yapılan yaklaşımlarda operasyonel avantajlar elde edildiği gözlemlenmiştir (Ataş ve diğerleri, 2014). YTDS sistemi, yapılan çalışmalarda ILS sisteminden daha iyi performans göstermiştir (Jeong, Bae, Jun ve Lee, 2016). GBAS temelli hassas iniş sistemlerinin (GLS), ILS'e kıyasla daha verimli olduğu, kazandırdığı esneklik yetileri ile ortaya çıkabilecek operasyonel sınırlamaların üstesinden gelebildiği kanıtlanmıştır (Geister, 2011). Performans Temelli Seyrüsefer (PBN) anlayışı ile daha emniyetli ve hassas seyrüsefer hizmetleri artan trafik bağlamında mevcut sistemler ile karşılanamayabilir. Bundan dolayı YTDS (GBAS), ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) ve CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communications) teknolojileri ile hem seyrüsefer sırasında, hem de yaklaşımlarda

operasyonların performansı, emniyeti ve yönetimi iyileştirilecektir (López-Lago vd., 2020).

Havaalanlarında genellikle yaklaşımlarda veya kalkışlarda karşılaşılan emniyetsiz ve aynı zamanda gecikmelere sebep olan durumlardan biri de yaban hayat tehlikeleridir. Havaalanlarının özellikle kuşlara su, yemek, yaşam alanı ve güvenlik ortamı oluşturduğundan popülasyonları artış gösterebilmektedir. Aynı zamanda havaalanı yakınlarında bulunan sulak alanlar, belediye katı atık depolama alanları ve yaban hayatı koruma alanları gibi kuşların kolaylıkla beslenebildikleri ve yuva yapabildikleri alanların bulunması havacılık emniyetini tehlikeye atmaktadır. Havaalanı çevresinde yaban hayat popülasyonunu artıracak tehlikeli oluşumlar yasaklanmalı veya oluşabilecek yaban hayat popülasyonunu en aza indirecek şekilde tasarlanmalı ve işletilmelidir. Havaalanlarında kuş çarpması riskini azaltma yönetim uygulamaları hava tarafı aktörleri tarafından koordine bir şekilde ele alınmalıdır. Uzun vadede kuş radarı ve kuş göçü tahminlerinin hava sahası yönetimine entegre edilmesi, aynı zamanda uçakların kuşları tespit edip engellemesini sağlayacak ışılandırma sistemlerinin iyileştirilmesi bütünlük programına dahil edilebilir. Kuş çarpması tehlikelerinin tam anlamıyla anlaşılabilmesi açısından özellikle genel havacılık uçakları da dahil olmak üzere kuş çarpması olayı yaşayanların durumu ayrıntılı bir biçimde açıklayarak raporlamaları önem kazanmıştır. Havaalanlarında kuş çarpması tehlike yönetimi için yapılan yatırımlar sabit ve taşınabilir ekipmanlara yapılmaktadır. Sabit ekipmanlar gaz topları ve ses jeneratörleri gibi rastgele veya önceden programlanmış zamanlarda sesler üreten ve kuşların zamanla alıştıkça etkinliğini kademeli olarak kaybettikleri sistemlerdir. Taşınabilir ekipmanlar ise uygun şekilde eğitim verilmiş havaalanı personelinin kullandığı işaret fişegi, tabanca veya araç üstü tehlike çağrı jeneratörleri gibi cihazlardır. Bunlar kuşların sabit ekipmanlara alışmasını engellemek adına değişken zamanlarda kullanılabilen ekipmanlardır (Hussein, 2018). Son yapılan çalışmalar kuş hareketlerinin tahminmesi (Metz vd., 2021) ve kuş çarpması risk algoritmaları sayesinde emniyet riskleri ortadan kaldırılırken aynı zamanda havaalanı kapasitesinde bir düşüş oluşmamaktadır (Metz vd., 2021).

Doğrudan olmayan yatırımlar çerçevesinde havaalanının kapasite kısıtlarını azaltabilecek bir önlem olarak havaalanında hızlı tren istasyonunun yapılması hava ulaştırması ile demiryolunun entegrasyonunu sağlayarak havaalanına karayolu ile ulaşımı tek alternatif olmaktan çıkaracaktır. Özellikle kapasite sıkışıklığı olan havaalanlarında yolcuların bir kısmının demiryolunu kullanarak havaalanına gelmesi kapasiteyi

rahatlatacaktır. Hızlı tren hattı ile koordine olan topla dağıt sistemi havaalanı kapasitesini olumlu yönde etkilerken, sosyal refahı da yükseltecektir (Jiang ve Zhang, 2014; Xia ve Zhang, 2017).

2.4.2. Havaalanı kapasite iyileştirmede yatırım dışı uygulamalar

Havaalanı hava tarafına yapılan altyapı yatırımları havayolu işletmelerinin frekansları artırmaları ile sonuçlanabilmekte ve bu doğrultuda oluşabilecek gecikmeler azalmakta, hava tarafı kapasitesi iyileşmektedir. Diğer taraftan hava tarafı altyapı yatırımları gerçekleştirilmeden hava tarafı kapasitesini iyileştirmeye yönelik uygulamalar da mevcuttur.

2.4.2.1. Uçuş trafik yoğunluğunu kısıtlayıcı tedbirler

Kapasite kısıtlı bir havaalanının trafiğini kapasite kısıtı olmayan başka bir havaalanına kaydırmak teorik olarak uygulanabilir bir seçenektir. Fakat operasyonel uygulanabilirliği açısından değerlendirildiğinde kapasite kısıtlı havaalanlarının birçoğu sadece orijin destinasyon uçuşu yapan yolculara değil aynı zamanda uzun mesafe veya kıtalar arası uçan transfer yolculara da hizmet vermektedir. Günümüzde havaalanı işletmeleri müşterilerini kaybetmek veya rakiplerine uçuş kazandırmak istemeyeceklerdir. Bununla birlikte havayolunun ve havaalanlarının tekel olarak yönetildiği bir ülkede kapasite kısıtlı havaalanından sefer sıklığı azaltılarak başka bir havaalanına kaydırma yapılabilir.

Kapasite kısıtının oluşturduğu darboğazın üstesinden gelebilmek için artan talebe daha büyük uçaklar ile hizmet vererek çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Son yıllarda uçuş başına düşen ortalama koltuk kapasitesi önemli artışlar gösterirken, uçak hareketi sayısı neredeyse sabit kalmıştır. Havayolu işletmelerinin doluluk oranları artarken sıklığı artırmaktansa, birim maliyetleri düşürmek amacıyla daha yüksek koltuk sayısına sahip uçakları filolarına katmışlardır (Berster, Gelhausen ve Wilken, 2015).

Havaalanlarına çeşitli trafik türlerinde uçuşlar yapılabilmektedir. Örneğin oluşan trafikten dolayı bazı havaalanı işletmecileri genel havacılık faaliyetlerinin azaltılarak daha yüksek getiriler sağlayan havayolu şirketlerine hizmet vermeye odaklanabilirken bazıları da yurtiçi veya yurtdışı uçuşlara odaklanmışlardır. Örneğin Dublin havaalanı otoritesi, havaalanına gerçekleştirilecek olan özel ve plansız uçuşların yanı sıra tüm genel havacılık uçuşlarının askıya alınması ile 2024 yılında aşılması öngörülen 32 milyon yolculuk yıllık yolcu sınırını geçmeyi öngörmüştür (EBAA, 2024).

Kapasite kısıtlı havaalanlarında uygulanan benzer bir yöntem ise mesafe sınırlandırma kuralı (perimeter rule) uygulamasıdır. Mesafe sınırlandırma kuralı uygulaması havaalanlarına doğrudan uçuş yapılabilecek mesafeyi kısıtlar. Böylece havaalanına belirli bir mesafe dahilindeki uçuşlar gerçekleştirilir ve daha uzun mesafeli uçuşlar için yakın mesafedeki diğer havaalanlarına yönlendirilir. Mesafe sınırlandırma kuralı ilk olarak 1966 yılında Ronald Reagan Washington Ulusal Havaalanı'nda uygulanmaya başlamış ve kesintisiz uçuşlar 650 kara mili ile sınırlandırılmıştır. 1980'lerde yapılacak kesintisiz uçuş mesafesi 1250 kara miline çıkarılmış olup günümüzde bazı istisna şehirler dahilinde bu uygulama halen devam etmektedir. Bölgeye gerçekleşen kısa mesafeli uçuşlar Reagan Ulusal Havaalanına gerçekleşirken, uzun mesafe uçuşlar için Washington Dulles Uluslararası havaalanı kullanılmaktadır ("flyreagan.com", 2024). Takebayashi (2012) Tokyo'da uygulanan mesafe sınırlandırma uygulamasının etkinliğini araştırmış ve sonuç olarak devletin uygulamış olduğu politika çerçevesinde şehir merkezlerindeki havaalanlarının iç hat uçuşlar için kullanılması ve şehir dışında kalan havaalanlarının hem iç hat hem de dış hat trafiği için kullanılmasının etkili sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Havaalanı yoğunluk fiyatlandırması kapasite kısıtlı havaalanlarında altyapı yatırımı gerektirmeden yoğun talebi yönetebilmek adına uygulanan fiyatlandırma seçeneklerindendir. Havaalanı yoğunluk fiyatlandırması iki şekilde oluşturulabilmektedir. İlki çoklu havaalanı sistemlerinde talebi dengeleyebilmek için diğeri ise havaalanındaki yoğun saatlerde oluşan uçuş trafiğini azaltmak için yapılan fiyatlandırmalardır. Çoklu havaalanı kullanan belirli bölgelerdeki yoğun havaalanlarında iniş-kalkış slotları daha yüksek bedellere kiralanarak, iniş ücretleri farklılaştırılarak ya da yolcuların otopark ve kara ulaşım ücretleri artırarak talep dengelenmeye çalışılmaktadır (Moon ve Park, 2002). New York bölgesinde uygulanan yoğunluk fiyatlandırma uygulaması ile hem altyapı yatırımları için fon oluşturulmakta hem de gecikmeler artış göstermemektedir (Levine, 2007). Hava trafiğinin belli saatlerde yoğunlaşmasını engellemek ve mevcut kapasiteyi daha verimli kullanabilmek adına yoğun saatlerde oluşan talebi diğer saatlere kaydırabilmek için de yoğunluk fiyatlandırması uygulanabilmektedir. Yoğun saatlerde gerçekleşen uçuşların slotlarının daha yüksek fiyatlara satılması ya da yoğun saatlerde gerçekleşen inişler için daha yüksek fiyat belirlemeleri buna örnek olarak verilebilir. Fiyatlandırmalar ise temelde hava trafik hareketi sayısı ya da iniş ağırlığı temel alınarak yapılabilmektedir (Lin ve Zhang, 2017).

Kanada'daki trafik yoğun havaalanlarında (Toronto ve Vancouver) yoğun saatlerde iniş ve kalkış ücretlerinin artırılarak yoğun saatlerdeki uçuşların azaltılması amaçlanmış ve sonuç olarak gecikme maliyetlerinden yılda toplamda 72 ile 105 milyon dolar arasında bir tasarruf sağlandığı gözlemlenmiştir (Daniel, 2011). Guangzhou Baiyun Uluslararası Havaalanında uygulanan yoğunluk fiyatlandırmasının sonuçları araştırılmış yoğun trafik saatlerindeki frekansların azalmasının gecikme maliyetlerine olumlu yansımalarının yansırı oluşabilecek çevresel maliyetlerden de (enerji tasarrufu ve emisyon azalması) tasarruf sağlandığı görülmüştür (Hu, Chen ve Zheng, 2018).

Kapasite kısıtlı havaalanlarına yatırım yapılamadığı ve fiziksel olarak kapasitesinin artırılmadığı durumlarda slot yönetimi uygulanmaktadır. Slot, havaalanlarına belirli gün ve saatte iniş kalkış yapmak amacıyla havayolu şirketine tahsis edilen izin olarak tanımlanabilir. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA), Uluslararası Havalimanı Konseyi (ACI) ve Dünya Çapında Havaalanı Koordinatörleri Grubu (WWACG)'nin ortaklaşa hazırladığı bir kılavuz ile slot uygulamasının standartları belirlenmiştir. İlgili dokümanda havaalanı slot koordinasyonunun amaçları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (ACI vd., 2022);

- Tüketicilerin hava hizmetleri seçimini kolaylaştırmak, küresel bağlantıyı iyileştirmek, yolcular ve kargo için sıkışık havalimanlarında rekabeti artırmak.
- Tüketicilere talebi karşılayan, bir sezondan diğerine tutarlı ve operasyon açısından güvenilir olan uygun tarifeler sağlamak.
- Bağımsız hareket eden bir slot koordinatörü tarafından sıkışık havalimanlarında açık, adil, şeffaf ve ayrımcı olmayan slot tahsisi yapmak.
- Havalimanı altyapısının tam kapasite ile kullanılmasını sağlamak, bu tür kapasite ve talebin düzenli olarak gözden geçirilmesini teşvik etmek, sezonluk olarak slot tahsisi için etkin kapasite bildirimlerini mümkün kılmak.
- Mevcut ve yeni havayolları için havaalanı erişim fırsatlarını dengelemek.
- Sektörün değişen pazar koşullarına ve tüketici talebine yanıt vermesi için esneklik sağlamak.
- Tıkanıklığı ve gecikmeleri en aza indirmek.

Avrupa'da kapasite kısıtlı olarak faaliyet gösteren havaalanlarında kapasite oluştuğu zaman yeni slotlar tanımlanmaktadır. Avrupa Birliği normları, sunulan yeni kapasitenin yarısının pazara yeni katılan havayolu işletmelerine verilmesini ister. Fakat bu durum mevcut havayollarının elinde bulundurduğu pazar payının azalmasına ve

rekabetin artmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle mevcut havayolları slot yönetiminin olduğu kısıtlı havaalanlarında kapasitenin artırılmasını istemeyebilmektedirler (Gillen ve Starkie, 2016). Kapasite kısıtlı havaalanlarında slot ticareti sürecine baktığımızda havaalanı kapasitesini deklare eder ve slot havuzu oluşur. Oluşan slot havuzundan havayolu şirketleri slot talep eder ve ilk paylaşırma gerçekleşmiş olur. Birincil slot ticareti denilen bu süreçte genel olarak idari paylaşım ya da piyasa temelli mekanizmalar ile slotlar havayolu şirketlerine paylaşılır. Havayolu işletmeleri öncelikli olarak yoğun havalimanlarında operasyonel esnekliği ve pazar varlığını artırmak için ikincil slot ticareti yapmaktadır. İkincil slot ticareti, havayollarının birincil tahsis yoluyla mevcut olmayabilecek yüksek talepli slotlara erişmesini sağlayarak, uçuş programlarını optimize etmelerine, yeni pazarlara girmelerine veya karlı rotalarda uçuş sıklığını artırmalarına olanak tanır. Böylece havaalanı kapasitesi daha verimli kullanılarak rekabetin ve frekansların artması ile yeni rotaların eklenmesi sağlanabilmektedir. Fakat diğer yandan ikincil slot ticareti ile piyasada baskın olan havayolu işletmeleri slotları ele geçirirse havaalanında hizmet veren havayolu sayısı azalabilir ve sonuç olarak bilet fiyat seviyeleri ve servis çeşitliliği açısından olumsuz bir etki yaratabilir (Y. Wang vd..

2.4.2.2. Hava trafik yönetim seçenekleri

Hava Trafik Hizmetleri bünyesinde uçuş bilgi hizmeti, hava trafik kontrol hizmeti, acil durum hizmeti ve tavsiye hizmetleri verilmektedir. ICAO Ek 11 de hava trafik hizmetlerinin amacı; hava araçlarının birbirleriyle veya engellerle çarpışmasını engellemek, hava trafik akışının sürdürülmesini ve hızlandırılmasını sağlamak, uçuşların emniyetli ve verimli bir biçimde yürütülmesi için tavsiye ve bilgiler sağlamak ve son olarak arama ve kurtarma faaliyetleri için ihtiyaç duyulan koordinasyonu sağlamak olarak tanımlanmıştır (ICAO, 2018). Türkiye’de hava trafik hizmetleri Devlet Hava Meydan İşletmesi (DHMİ) sorumluluğundadır. Hava trafik kontrolörleri hava trafiğinin emniyetli bir şekilde sağlanması için kuralları ve prosedürleri uygulayarak talimatlar, tavsiyeler ve öneriler veren eğitilmiş kişilerdir. Hava trafik kontrolörleri vektörleme, hız kontrolü, varyo kontrolü ve seviye değişikliği gibi tekniklerle hava araçlarının birbirleriyle olan mesafesini yatayda ve dikeyde belli limitlerde emniyetli bir şekilde tutmaktadırlar. Bu mesafeler, uçak tipine, hızına ve hava koşullarına göre değişir. Büyük havaalanlarında yüksek yoğunluklu trafik olduğu için bu mesafeler havaalanının operasyonel kapasitesini doğrudan etkiler. Büyük uçaklarda daha fazla oluşan kanat ucu türbülansı neticesinde daha fazla ayırım yapmak gerekmekte, bu da hava tarafı kapasitesini azaltabilmektedir.

Stewart ve Shortreed'in (1993) yapmış oldukları simülasyon sonucuna göre iki uçak arasındaki 5490 m olan ayırım mesafesi 4570 m'ye düşürüldüğünde kapasite %15 ve oluşabilecek emniyet riski %1,5 artış göstermektedir.

Kapasite kısıtlı havaalanlarında özellikle hava trafik kontrolörleri kapasiteyi artırabilmek adına havacılık prosedürleri ve kurallarını bire bir uygulamayıp, inisiyatif olarak çalışabilmektedirler. Sabiha Gökçen Havaalanında kapasiteyi artırabilmek için inisiyatif olarak çalışılan havaalanlarından biridir. Fakat 26 Eylül – 26 Kasım 2023 tarihleri arasında Sabiha Gökçen hava trafik kontrolörleri kendi özlük haklarının ve mesleki koşullarının geliştirilmesi için farkındalık yaratmak için İnisiyatif Almadan Çalışma (İAÇ) olarak adlandırdıkları bir süreci duyurmuşlardır. Ortaya konan süreç sonrasında oluşan gecikmeler hesaplandığında trafik başına ortalama olarak giden trafik için 5,6 dakika ve gelen trafik için 6,39 dakika gecikme artışı görülmüştür (Altıntaş ve Uslu, 2024).

Havacılıkta iletişim ve koordinasyon, operasyonların emniyeti, verimliliği ve sürekliliği açısından oldukça önemlidir. Uçuş operasyonlarının emniyetli bir şekilde sürdürülebilmesi için ICAO iletişim dili standardını İngilizce olarak belirlemiştir. Uluslararası operasyonlarda farklı dillerden personellerin faaliyet gösterdiği düşünülürse İngilizce yeterlilik seviye düşüklüğü, frezyoloji kullanım hataları ve operasyonel usullerin bilinmemesi operasyonlardaki verimliliğe olumsuz etki etmektedir. AIP'de yayınlanan havaalanı usullerinin gelen giden pilotlar tarafından iyi anlaşılması yaklaşma ve ayrılma süreçlerinde gecikmeleri ortadan kaldırabilmektedir. Hava trafik kontrolörü ve pilot arasındaki sesli iletişimi yazılı mesaja çevirerek ileten ve iletişimin etkinliğini artırmayı amaçlayan Veri Bağlantılı Kontrolör-Pilot İletişim (Controller–Pilot Data Link Communications- CPDLC) sistemleri geliştirilmektedir. CPDLC sistemleri yoğun VHF sektör frekanslarını rahatlatan güvenilir bir iletişim kanalı sunarak, hava sahası kapasitesini ve uçuş emniyetini artırıp, kontrolör ve pilot arasındaki günlük iletişimi daha verimli hale getirmektedir (EUROCONTROL, 2024a). Hava tarafında gerçekleşen operasyonlarda kontrolör ve pilot iletişiminin yanı sıra push back, köprü, bagaj ve benzeri operasyonlar için gerçekleşen iletişimdeki hatalar da gecikmelere sebep olabilmektedir. Hava tarafında oluşan operasyonların koordinasyonu için belli dönemlerde hava tarafı emniyet eğitimleri veya toplantıları düzenlenmesi operasyonel verimliliği artırmaktadır (ACI, 2024).

2.4.2.3. Havaalanı işbirlikçi karar verme (A-CDM Airport Collaborative Decision-Making)

A-CDM sistemi havaalanı operasyonlarını daha verimli ve daha dayanıklı hale getirmek için EUROCONTROL tarafından tasarlanmış bir sistemdir. A-CDM sistemi havaalanı işletmecileri, havayolu işletmeleri, yer hizmetleri ve hava trafik kontrolü gibi havaalanı paydaşlarının doğru bilgileri zamanında paylaşmasını sağlayarak hava trafiği planlamasının daha öngörülebilir olmasını hedefler. A-CDM sistemi havaalanındaki paydaşların daha şeffaf ve iş birliği içinde çalışmasını sağlayarak kalkış, iniş ve uçak dönüş süreçlerini daha verimli hale getirir, böylece hem operasyonel gecikmeleri azaltır hem de hava trafik kapasitesini artırır. A-CDM sistemi Avrupa’da 33 havaalanında tamamen kullanılmakta olup İstanbul, Atina Elefterios Venizelos ve Dublin gibi havaalanları sisteme dahil olma sürecindedirler (EUROCONTROL, 2024b).

A-CDM sistemini kullanan havalimanları, müşterilerine daha avantajlı slotlar sağlayarak önemli ölçüde hava tarafı gecikme maliyetlerinden tasarruf etmişlerdir. 2015 yılında yapılan çalışmaya göre bazı A-CDM havalimanlarında gecikme maliyeti tasarruflarının yaklaşık 1 milyon Euro’ya ulaştığı görülmüştür. Bu çalışma sonucunda sistem kullanımından doğan havaalanı hava tarafı operasyonlarına faydaları şunlardır (EUROCONTROL, 2016):

- 0.25 ila 3 dakika kalkış başına ortalama taksi süresi tasarrufu
- 0.5 ila 2 dakika uçuş başına ortalama zamanlama uyumu (planlanan ve gerçekleşen uçuş saati) iyileşmesi
- Motor çalıştırma onayı sonrasında push-back gecikmelerinde azalma.
- Artan trafik talebine ve ATFM düzenleme hacimlerine rağmen ATFM slot uyumunun artışı.
- Yer hizmetleri kaynaklarının daha verimli kullanımı.
- Geç yapılan park pozisyonu ve kapı değişikliklerinin azaltılması.
- Olumsuz hava koşulları sırasında ve sonrasında operasyonların daha iyi yönetimi ve hızlı toparlanma.
- Uçuş Aktivasyon İzleme (Flight Activation Monitoring - FAM) sürecinde askıya alınan uçuşların sayısında azalma.
- Pistte en yüksek kalkış oranlarında artış.

- Kalkış zamanı tahmin edilebilirliğinin büyük ölçüde iyileştirilmesi (olumsuz hava koşullarında tahmin edilebilirlik oranı %85'e ulaşmıştır.)

Corrigan ve diğerleri (2015) A-CDM sistem kullanım faydalarına değinirken aynı zamanda A-CDM sistemine geçecek havaalanları için ortaya çıkabilecek potansiyel zorluklardan bahsetmişlerdir. Odak noktasının yalnızca kullanılacak araçlar ve yazılım entegrasyonu üzerinde olmaması gerektiğinden ve başarının sosyal ilişkiler, çoklu paydaş gruplar arasında uyum, doğru bilgi ve bilgi süreçleri ile sağlanacağına değinmişlerdir.

2.5. Havaalanı Kapasite Analizinde Kullanılan Araçlar

Havaalanı kapasitesini değerlendirebilmek ve kapasite kısıtı oluşturan noktaların tespiti amacıyla sektörde büyük ölçüde simülasyon modellerinden yararlanıldığı gözlemlenmiştir. Havaalanı simülasyonları mevcut altyapı ve tesislerin talebe ne ölçüde cevap verdiği ve gelecekte oluşabilecek durumları kuramsal (what if) senaryolar geliştirerek resmedebilmesi açısından karar vericilerin elini rahatlatabilmektedir. Bu alt başlıkta sektörde geliştirilen ve kullanılmakta olan havaalanı kapasite değerlendirme araçları derlenerek aktarılmıştır.

FAA'in geliştirmiş olduğu veya geliştirilmesine katkı sağladığı simülasyon araçlarına baktığımızda runwaySimulator ve SIMMOD dikkat çekmektedir. runwaySimulator FAA ve MITRE tarafından geliştirilmiş, mevcut havaalanı kapasitesinin yanı sıra yeni altyapı ve uçuş prosedürleri gibi kapasite iyileştirmelerini değerlendirmek üzere tasarlanmış bir simülasyon aracıdır (FAA, 2022a). SIMMOD (Simulation Model for Airport and Airspace), çeşitli hava trafik senaryolarının etkisini analiz etmek için kullanılan bir hava sahası ve havaalanı simülasyon modelidir. Bunların yanı sıra uçakların seyahat ve gecikme sürelerini de hesaplamaktadır (FAA, 2022b).

EUROCONTROL ise havaalanı performans ve kapasitesini analiz edebilmek amacı ile PIATA'yı geliştirmiş ve en son "neo" versiyonunu kullanıma sunmuştur. PIATA neo kapasite analiz aracı ile pist, taksi yolu, apron ve terminal manevra sahasında (PAT) gerçekleşen operasyonlar incelenir ve kapasite analizi yapmak için canlı operasyonel veriler ile havalimanı yapılandırılır. EUROCONTROL'ün geliştirmiş olduğu bir diğer araç ise CAMACA'dır. Havaalanı hava tarafı kapasitesinin değerlendirilmesi ve gelişim planının ortaya konulması için karar vericilerin dahil olduğu bir dizi alitmadan oluşur (EUROCONTROL, 2022b). TAAM, Jeppesen'in havalimanı ve hava sahası operasyonlarının kapıdan kapıya simülasyonunu yapan yazılımıdır. Karar vermeye destek amaçlı analiz ve planlama yapabilmek için hava sahası ve havaalanlarının modelini

oluşturur (Jeppesen, 2022). ARC (Havaalanı Araştırma Merkezi) şirketi tarafından geliştirilen CAST modüler sistemleri, havaalanı süreçlerini optimize etmek ve sorunları tespit etmek için kullanılan simülasyon tabanlı farklı yazılımlar içermektedir (Airport Research Center, 2024).

2.6. Havaalanı Kapasite İyileştirmesine Yönelik Literatür Taraması

Kapasite kısıtlı havaalanlarında ilk olarak kapasiteyi iyileştirici eylemleri belirlemek ve bu eylemlerin önem seviyelerini ve yapılma sırasını şekillendirmek dolayısıyla kapasite iyileştirme eylemlerinin planlamasını yapmak bu araştırmanın problemidir.

Havaalanı kapasite planlamasını en etkin şekilde yapabilmek için birçok resmi kuruluş ve özel teşebbüs bu konunun üzerine çalışmışlardır. Akademik araştırmalarda da çok fazla olmasa da kimi araştırmacılar bu konunun üzerinde durmuşlardır. Yapılan çalışmalara ve geliştirilen araçlara bakıldığında birçoğunun simülasyon temelli uygulamalar olduğu görülmüştür.

Havaalanı kapasite planlamada kullanılan araçların yanı sıra literatürde son yıllarda yapılan ve en çok atıf alan çalışmalar incelenmiştir. Dell’Olmo ve Lulli (2003), havalimanı kapasite zarfını kullanarak tüm uçuşlarda yaşanan gecikmeleri azaltmak için geliş ve gidiş sayıları arasındaki optimal dengeyi bulmaya çalışmışlardır. Kapasite optimizasyonunu dinamik programlama modeli ile oluşturmuşlar ve farklı senaryolar için test etmişlerdir.

Zografos ve Madas (2007) yaptıkları çalışmada, bütünlük bir yapıda karar vermeye yardımcı olacak, kullanıcı dostu olan ve problem odaklı bir model ortaya koymuşlardır. Simülasyon ile havaalanı performans değerlendirmeleri yapan ve kapasite yönetmeye yardımcı olan bir sistem geliştirmişlerdir. Zografos ve arkadaşları (2013), çalışmalarını geliştirerek havaalanı planlama ve karar verme sürecini desteklemek amacı ile simülasyon temelli bir karar destek sistem önerisi ortaya koymuşlardır.

Xiao ve arkadaşları (2013), talep belirsizliğinin havaalanı kapasitesini belirlemeye olan etkilerini analiz etmeye çalışmışlardır. Doğrusal olmayan programlama modeli ile çalışmışlar ve farklı piyasalardaki farklı amaçları olan havaalanlarının (kar, maksimizasyonu ya da konfor maksimizasyonu) çeşitli senaryolar altında test etmişlerdir. Talep değişkenliğinin düşük olmasının optimum kapasite seçimini değiştirmeyeceğini, ancak talep değişkenliğinin yüksek olduğu durumlarda kapasite seçiminin deterministik bir ortalama talebe göre yapıldığını belirlemişlerdir.

Santos ve arkadaşları (2017), kapasite kısıtlı havaalanlarındaki uçuşların ertelenip ertelenmemesine veya zamanında kalkmalarına karar verecek bir problemi tam sayılı programlama modeli ile çözümlemeye çalışmışlardır. Modelin amaç fonksiyonunda yakıt maliyeti, yolcu tazminatı ve yolcu rahatsızlık maliyetleri yer alırken; karar değişkenleri arasında uçuşların kalkış ve varışlarının yeniden zamanlaması, zaman içinde havalimanı kapasitesinin kullanımı ve kaçırılan bağlantılarda yolcuların yeniden rezerve edilmesi durumlarına yer vermişlerdir. Çalışmanın sonucunda önerdikleri modelin kullanılması durumunda maliyetin %30'a kadar düşebileceğini göstermişlerdir.

Jacquillat ve Odoni (2018), literatürü taradıkları makalelerinde havaalanı talebini ve kapasitesini yönetmek için mevcut olan başlıca müdahaleleri, temel politikayı destekleyebilecek analitik araçları, yönetsel ve operasyonel kararları ve politikaları ortaya koymuşlardır. Çıkardıkları sonucu üç grup altında toplamışlardır. İlk olarak havaalanı verimi önemli ölçüde değişkenlik gösterir ve havaalanı kapasitesi mevcut alt yapı ve işletme prosedürlerine bağlıdır. İkinci olarak havaalanlarının zamanında kalkış performansı doğrusal değildir. Bu nedenle talep ve kapasitedeki değişkenliklere karşı duyarlıdır. Son olarak havaalanı talep yönetimi, tıkanıklığı azaltmak ve kapasite kullanımını en üst düzeye çıkarmak arasında bir dengeyi içerir ve çizelgeleme mekanizmaları mevcut uygulamaları destekleyebilir ve geliştirebilir.

Coniglio ve arkadaşları (2021), havayolu işletmelerinin orta ve uzun vadeli filo planlama kararlarını göz önünde bulundurarak, liberal bir havacılık pazarında faaliyet gösteren bir havaalanı için, bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Model optimal pist genişlemelerini ve en uygun havaalanı ücretlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Literatürden altı havaalanı örneği üzerinde modeli test etmişlerdir. Sonuç olarak havaalanların kapasite geliştirme planlamalarının ve havayolu filo planlamalarının birbirleri ile uyumşayan bir şekilde geliştirildiğini belirlemişlerdir.

Scala ve arkadaşları (2021), belirsizlik altında havaalanlarının günlük çizelgeleme problemlerini çözmek için bir model önermiştir. Opt-Sim adını verdikleri yöntem ile hem optimizasyon hem de simülasyon yaparak kapasite darboğazı nedeniyle ortaya çıkacak olan karmaşayı çözmeyi amaçlamışlardır. Model, uçak çakışmalarını optimize edilmemiş senaryolara kıyasla %57'ye kadar azaltabilmiştir. Modelin farklı optimizasyon çözüm teknikleri ve simülasyon parametreleri için de uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Katsigiannis ve Zografos (2021), havaalanı kapasite kısıtlarının üstesinden gelmek amacıyla uygulanan ASA (Airport Slot Allocation- Havaalanı Slot Tahsisi)

uygulamalarının yetersizliğinden ve havayolu işletmelerinin ihtiyaçlarına cevap veremediklerinden bahsetmiştir. Belirtilen sorunun üstesinden gelmek amacıyla koordineli bir havaalanının verileri kullanılmış, havayollarının içsel ve dinamik kapasite ihtiyaçları dahil edilmiş ve IATA'nın Dünya Çizelgeleme Yönergesi (WSG) doğrultusunda bir çerçeve önerilmiştir. Çalışmanın sonucunda slot programlarının iyileştiği, toplam ve maksimum yer değiştirmelerin azaldığı gözlemlenmiştir.

Rodríguez-Sanz ve Rubio-Andrada (2022), havaalanı kapasite kısıtı nedeni ile genişlemeye gidecek havaalanları için iktisadi anlayış ile bir başlangıç çerçevesi sunmayı amaçlamışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda kapasiteyi artırmak için yapılan planlamalarda karar vericilerin veya otoritelerin dikkat etmesi gereken üç ana sorunun ortaya çıkabileceğini vurgulamıştır. Bunlar kapasitenin tanımı, talepteki belirsizliğin yönetimi ve ekonomik kavramları dikkate alma ihtiyacıdır. Havaalanı kapasitesi ve talep yönetimi, yoğunluğu azaltma ve kapasite kullanımını en üst düzeye çıkarma arasında oluşan ikilemi içerir. Bu nedenle politika ve yönetim tercihlerini desteklemek ve geliştirmek için karar alma araçlarına ihtiyaç olduğunu savunmuşlardır.

Al-Ghzawi ve El-Rayes (2023) havaalanı genişleme projelerinin planlamasını eniyilemek için toplam inşaat maliyetini ve havaalanı operasyon aksamalarından oluşacak maliyeti en küçükleyen çok amaçlı bir model geliştirmişlerdir. Modelin uygulaması dört modülden oluşmaktadır; (1) havalimanı inşaat faaliyetlerinin havalimanı operasyonları üzerindeki etkisini hesaplayan ve ölçen bir simülasyon modülü, (2) havalimanı hava tarafı genişleme projeleri için çok amaçlı bir genetik algoritma optimizasyon modülü, (3) her inşaat faaliyetinin başlangıç ve bitiş zamanlarını hesaplayan bir planlama modülü ve (4) havalimanı operasyonlarında inşaattan dolayı oluşan aksamaların toplam maliyetini ve toplam inşaat maliyetini hesaplayan bir maliyet modülü. Gerçek bir havaalanı genişleme projesi üzerinde geliştirdikleri metodolojiyi uygulamışlar ve sonuç olarak havaalanı hava tarafı genişleme projelerini maliyet etkin ve sistematik bir düzende planlayabilme aracı elde etmişlerdir.

Literatürde havaalanı kapasitesinin önemli bir problem olduğu konusunda araştırmacıların hemfikir olduğu ve kaynakların verimli kullanılması açısından çözümünün önemi ortaya konmuştur. Kapasite problemlerinin genellikle mevcut kapasiteyle anlık olarak çözülebilmesi için uygulamaların geliştirildiği görülmüştür. Bu problemlerin çözümü için ise genellikle simülasyon ve optimizasyon temelli yöntemler kullanılmaktadır. Uzun vadede kapasite probleminin çözümü için talebe bağlı olarak,

karar vericilerin de sürece dahil edildiği sistematik bir planlama modelinin literatürdeki eksikliği görülmüştür.

2.7. Dünyada ve Türkiye’de Havaalanı Planlaması

Havaalanı kapasite planlaması ve yatırımları, her ülkedeki havaalanlarının mülkiyet yapısına göre farklılık gösterebilen dünya çapında çeşitli yaklaşımlarla uygulanır. ICAO, ACI ve IATA gibi uluslararası kuruluşların havaalanı planlaması ile ilgili birçok el kitabı ve rehber dokümanları mevcuttur. Bazı ülke veya bölgeler önerilen meteorolojileri dikkate alarak planlama raporlarını kamuoyu ile paylaşırken bir kısmı planlamalarının sadece ana hatlarını paylaşmakta, ayrıntılar ise paylaşılmamaktadır. Genelde hava ulaştırmaya olan talep bölgesel bazda dikkate alınarak havaalanı kapasite planlamaları yapılmaktadır. Kapasite kısıtları oluşan havaalanlarının birçoğunda geçmişte yaşanan planlamalarda hatalar olduğu görülebilmektedir. Başarılı planlamalara baktığımızda ise havaalanı master planlamalarını bölgenin hava ulaştırma ihtiyacı doğrultusunda havaalanı sistem planı ile eşleyerek ve bu doğrultuda ortaya çıkan ihtiyacı tahmin ederek kapasite değerlendirilip havaalanı tesislerine yatırım yapma yoluna gitmektedirler. Aşağıda dünyada sivil havacılık düzenlemeleri konusunda önde gelen ve takip edilen bazı ülke ve bölgelerin havaalanı kapasite planlama süreçleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

ABD’deki toplam 4783 kamu kullanımına açık havaalanından 3244’ü Ulusal Entegre Havaalanı Sistemleri Planı’na (NPIAS- The National Plan of Integrated Airport Systems) dahil edilmiştir. NPIAS, havaalanlarını beş yıllık bir süre boyunca öngörülen kapasite gereksinimlerine göre stratejik olarak planlamak için kullanılır. FAA, kamu kullanımına açık havalimanı kapasite gereksinimlerini belirlemek için yerel planlama örgütleri ve eyalet havacılık kurumlarıyla yakın bir şekilde iş birliği yapmaktadır (FAA, 2022c). Boeing’in verilerine göre dünyada havaalanı kapasite planlamasını en etkili yapan devlet ABD’dir ve 2023’te en az kapasite sıkışıklığının Amerika’da olacağı tahminlenmiştir (2015).

Birleşik Krallık’ta havaalanları çoğunlukla özel işletmeler tarafından işletilmektedir ve devlet özellikle ulusal öneme sahip projelerde, önemli planlama kararlarına dahil olmaya devam etmektedir. Havaalanları için ulusal politikalar beyanında (2018) İngiltere’nin güneydoğusunda oluşan havaalanı kapasite ihtiyacına dikkat çekerek, yeni kapasite için yer planı oluşturulmuş ve hukuksal zemin hazırlanmıştır. Avrupa’da havaalanı planlamasına baktığımızda ise merkezîyetçi bir planlama yapısının olmadığı görülmektedir. Havaalanı kapasite planlaması Avrupa Birliği ülkelerinde genel

olarak ulusal boyutta kalmakta ve kısıtlı havaalanlarının sayısı giderek artmaktadır. Avrupa Ekonomik ve Sosyal Komitesi (2015) Avrupa'daki havaalanı kapasitesinin çözülmesi için altyapıların daha verimli kullanılmasını, çok modlu ulaşımı ve süreç optimizasyonunu önermektedir. Uzun vadede Avrupa'nın küresel piyasada rekabetçi gücünü koruyabilmek adına bütünleşmiş bir havacılık stratejisinin geliştirilmesi ve kilit havaalanlarına odaklanması gerektiği belirtilmiştir. EUROCONTROL'un özellikle SES (Tek Avrupa Seması- Single European Sky) ve SESAR (Tek Avrupa Seması ATM Araştırma Programı) programları ile kapasite artımını, uzun dönemli talep tahminleme ve altyapı yatırımlarını hedeflemektedirler. Avrupa'daki karmaşık yasal prosedürler ve arazi edinimi sorunları nedeniyle, mevcut uluslararası rehber materyal önerilerine kıyasla daha uzun bir havaalanı planlama ufkunun tercih edilmesi gerekmektedir (Kazda, Novák Sedláčková ve Bračić, 2023).

Çin'de de havaalanı mülkiyet yapısında Amerika'ya benzer şekilde bir devlet sahipliği söz konusudur. Çin Halk Cumhuriyeti'nin havaalanı planlama yaklaşımına baktığımızda oldukça merkezi bir yapısının olduğu görülmekte ve talep tahminlemesinde, proje geliştirmede devletin anahtar role sahip olduğu görülmektedir. Çin Sivil Havacılık İdaresi (2022) 14. Beş Yıllık Plan çerçevesinde 2025 yılı sonuna kadar Çin'in 270 havaalanına ve yılda 17 milyon uçak trafiğine ulaşacağı belirtilmiştir. Hu ve arkadaşları (2022) Çin'deki mevcut 239 havaalanının kapasite verimliliğini incelemiş, 2025-2035 yılları tahminlemelerine göre havaalanlarının %85'inde bir kapasite problemi oluşmayacağını, uluslararası pazarlara hizmet eden 10 merkez (hub) havaalanında ise ciddi kapasite kısıtlarının oluşacağını saptamışlardır.

Türkiye'de sivil havaalanlarının neredeyse tamamı devlet mülkiyetindedir ve bazıları özel işletmeler tarafından yap-işlet-devret modeli ağırlıklı olmak üzere işletilmektedir. Türkiye'de gerek ulusal, gerekse uluslararası hava ulaştırma trafiğinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığınca hazırlanan 12. Kalkınma Planı (2024-2028) çerçevesinde havalimanı yatırımları ile ilgili bir plana değinilmemiştir. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından hazırlanan 2053 Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı (2019) içerisinde genişleme yapılacak havaalanı sayısının 4 ve yeni inşa edilecek havaalanı sayısının 5 olduğu görülmektedir. Türkiye'de paylaşılan ulaştırma plan raporları çerçevesinde bölgesel veya havaalanı özelinde hava ulaştırma talep tahminlerinin olmadığı görülmüştür. Hava ulaştırma kapasite yatırımlarının gerekçesi, artan yolcu ve yük taşımacılığını karşılamak,

yerli ve yabancı turizmi desteklemek olarak verilmiştir (2023). Saldıraner (2013) yapmış olduğu çalışmada Türkiye’de havaalanı master planlarının kamuoyu ile paylaşılmadığı, mevcut planlamalarda ise sivil havacılık otoriteleri, ilgili bakanlık ve belediyeler arasında koordinasyonsuzluğun olduğu, planlama ve uygulama süreçlerinin değişmesi gerekliliğinden bahsetmiştir.



3. HAVAALANI HAVA TARAFI KAPASİTE PLANLAMA MODELİ

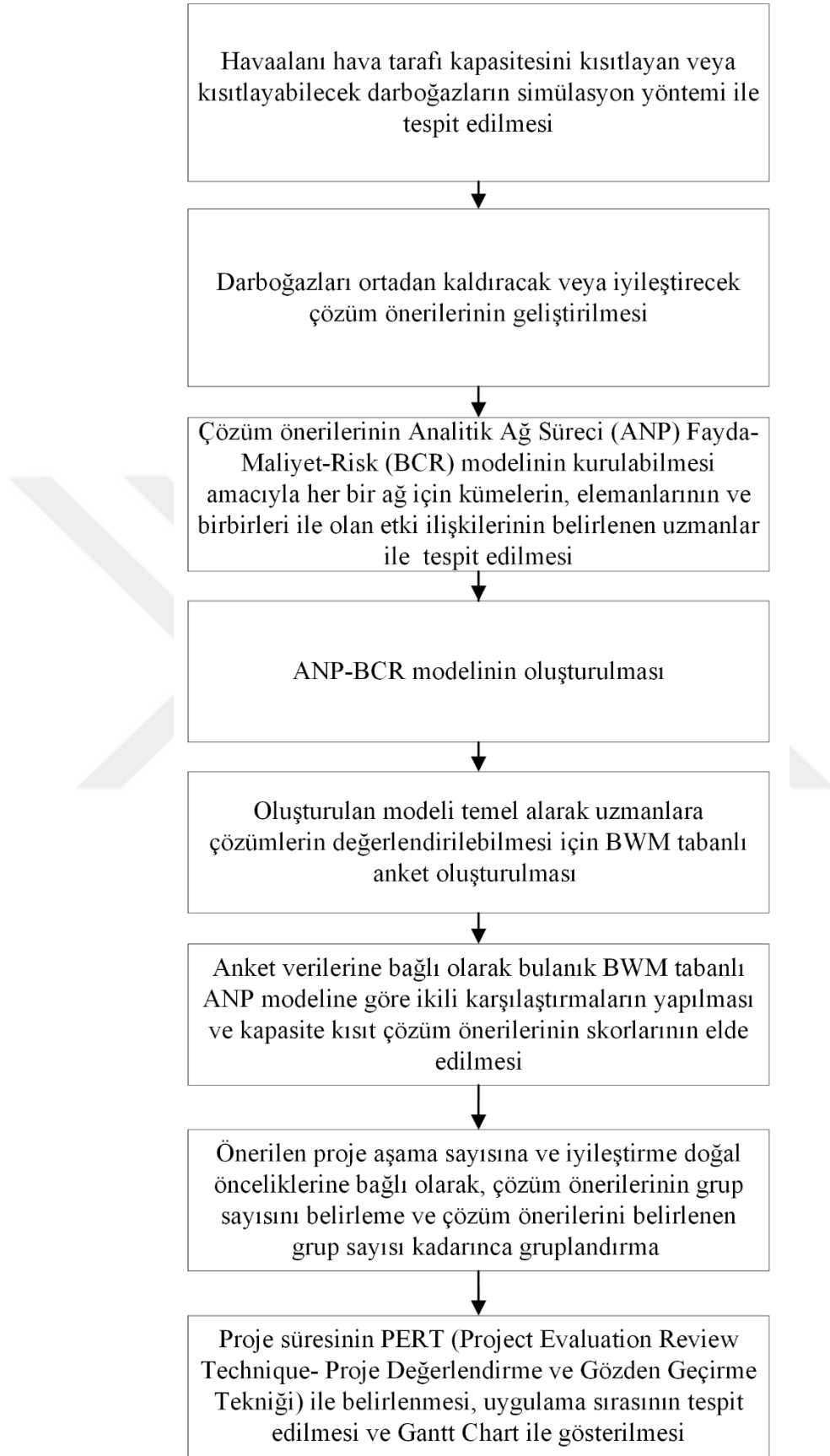
3.1. Araştırma Yaklaşımı

Havaalanı kapasite planlama problemi çok yönlü çalışılması gereken kompleks bir problemidir. Tek amaç olarak kapasite artırımı gibi görünse de havaalanı yönetimi ve paydaşlar açısından en uygun maliyette, en kısa sürede ve riski en aza indirecek şekilde planlamak elzemdir.

Modelin ilk aşamasında üzerinde çalışılacak olan havaalanının hava tarafı kapasitesi analiz edilerek kapasiteyi kısıtlayan darboğazlar belirlenir. Kapasite kısıtlarının belirlenmesinde simülasyon tekniği veya görüşme yöntemlerinden yararlanılabilmektedir. Detaylı bir şekilde geliştirilen havaalanı hava tarafı simülasyon modeli mevcut durumda ortaya çıkan ve oluşturulan senaryolar ile gelecekte ortaya çıkabilecek darboğazların tespitinde kullanılan etkin bir araç niteliğindedir.

Belirlenen darboğazların üstesinden gelmek amacıyla ne gibi iyileştirmeler yapılabileceği konusunda literatürde geçen çözüm seçenekleri ve ilgili havaalanında çalışan kıdemli personelle yapılan görüşmeler sonucunda çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Hava tarafı kapasite iyileştirmesi için önerilen karar destek modelinde iyileştirme önerilerini birbirleri ile kıyaslama yapabilmek için Analitik Ağ Süreci (ANP) adı verilen çok kriterli karar verme tekniğinden yararlanılmıştır. ANP, problemi ağ yapısı ile modelleyebilme, birden fazla amacı aynı anda optimize edebilmesi hem karar verici değerlendirmelerini hem de açık verileri modele dahil edebilme özellikleri açısından hava tarafı iyileştirme çözümlerini analiz edebilmek için tercih edilmiştir. Problemin doğası gereği ortaya atılan çözümlerin hem birbirlerini hem de diğer kısıtları etkileyebilme özelliklerinin olması karmaşık ağ gruplarını ortaya çıkaracaktır. Bu bağlamda en iyi planlamayı yapabilmek için bu çalışmada Şekil 3.1’de verilen yaklaşım önerilmiştir. Araştırma için önerilen metodoloji adımları ise başlık 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırma Akış Şeması

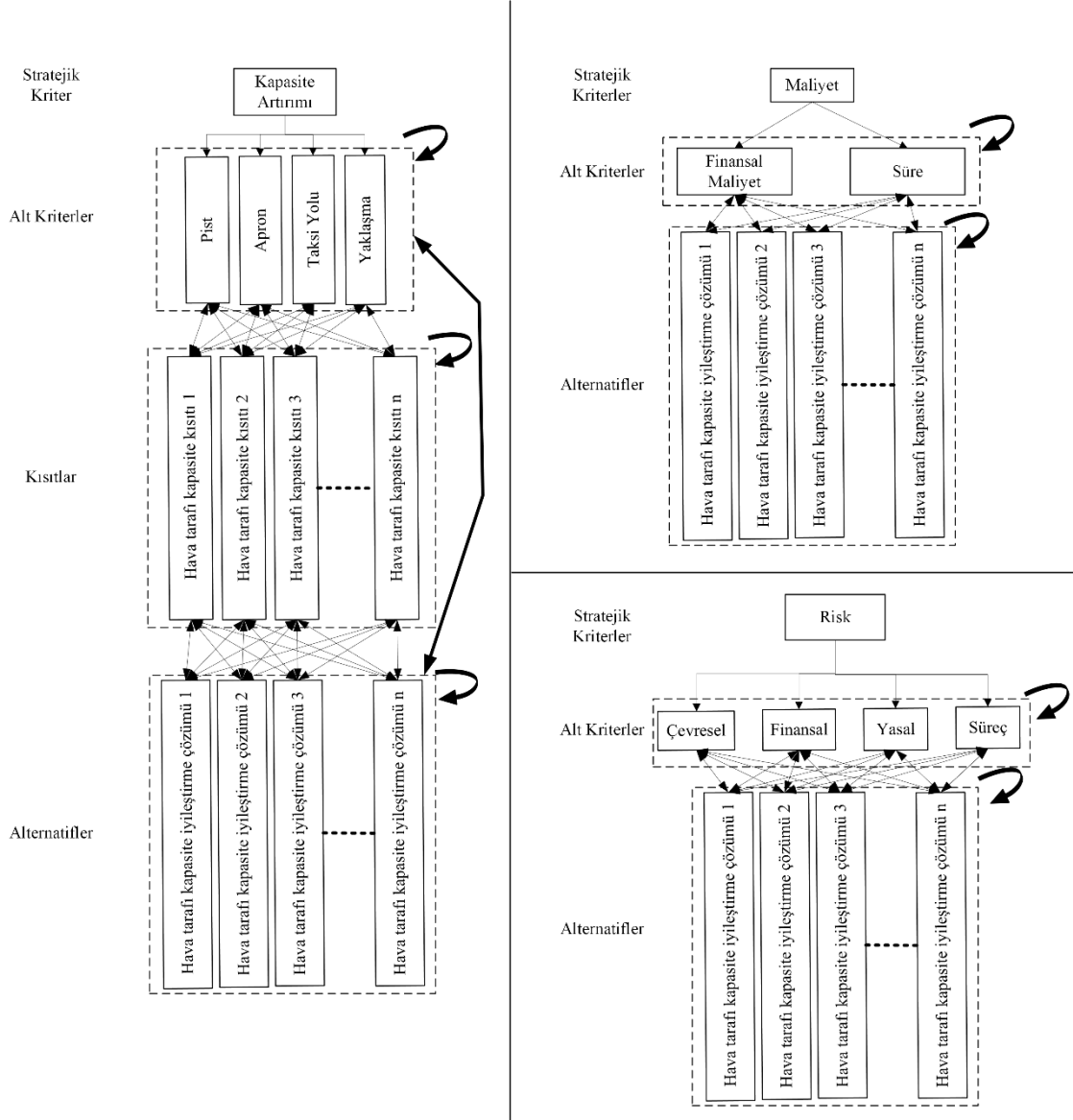
Havaalanlarına kapasite kısıtlarına uygulanan kapasite iyileştirme çözümleri her havaalanı için farklı sonuçlar verebilecektir. Bu nedenle geliştirilen modelin uygulanacağı havaalanı kilit personelinin görüşünden yararlanılmış, aynı zamanda çözüm seçeneklerinin uygulama maliyetleri ve süreleri ile ilgili veriler açık kaynaklardan elde edilmiştir. Burada kilit personel hava tarafı süreçlerine hâkim, operasyonlara doğrudan katılan ve hava tarafında oluşabilecek tıkanıklıklar konusunda bilgi birikimi ve tecrübeye sahip kişileri temsil etmektedir.

Alınan veriler doğrultusunda Analitik Ağ Süreci (ANP) Fayda, Maliyet ve Risk (BCR) modeli oluşturulacaktır. Literatürde ANP modelinin çoğunlukla Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk (BOCR) ağları çerçevesinde uygulandığı bilinse de yapılan bu çalışmada çözüm önerilerinin uygulamasından doğan bir fırsat görülememiştir. Bunun nedeni geliştirilen yaklaşım ile mevcut ve halihazırda oluşacak talebe hizmet verebilmek amacıyla kapasite iyileştirmelerinin hedeflenmesidir. Altyapı iyileştirmeleri ve diğer yönetsel iyileştirmeler ile yeni gelir kaynakları veya farklı müşteri segmenti oluşturmaktan çok mevcut süreçleri geliştirilmeye odaklanılmaktadır. Dolayısıyla hava tarafı kapasite iyileştirme modeli için fayda ağı kapasiteyi pist, apron, taksi yolu ve yaklaşma açısından en çok artıran çözüm seçeneğinin değerlendirmesi, maliyet ağı çözüm alternatiflerinin en kısa süre ve en az finansal maliyeti olan seçeneğin değerlendirmesi ve risk ağı ise çözüm önerilerinin uygulaması sürecinde ve sonrasında ortaya çıkabilecek çevresel, finansal, yasal ve süreç riskleri açısından değerlendirilmesi için oluşturulmuştur. Şekil 3.2’de hava tarafı kapasite iyileştirme ANP-BCR modeli verilmiştir.

Modelde verilen grupların elemanlarının birbirlerini etkileme, kısıtların çözümüne diğer alternatif çözümün etkisi olabilme veya uygulanan iyileştirmenin başka bir kısıt oluşturabilme durumu söz konusu olabilir. Modelde ilişkilerin etki yönleri ok işareti kullanılarak gösterilmiştir. Simülasyon tekniğinde varsayımsal senaryolar geliştirilerek modelin içerisinde bulunan grupların diğerleri ile oluşturduğu ilişkilerin varlığı ve yönü tespit edilmiştir. Simülasyon tekniğinin yanı sıra hava tarafı konusunda uzman kişilere ve havaalanı personeline danışarak bu ilişkilerin varlığı teyit edilmiştir.

Ortaya atılan çözümlerin kapasiteyi artırıcı etkileri pist, apron taksi yolu ve yaklaşma kapasiteleri yönünden sınıflandırılmış, havaalanı hava tarafı kapasite sınıflandırmalarının birbirlerine olan etkilerinin olup olmadığı belirlenmiştir. Kapasite kısıtlarının birbirlerini etkileyip etkilemediği ve kısıtların çözüm yöntemlerinin, birden fazla kısıta çözüm getirebileceğinden, hangi kısıtlara çözüm getirebildiği tespit edilmiştir.

Son olarak kapasite kısıt çözümlerinin olası risklerinin neler olabileceği (finansal, politik, çevresel) ve bu risklerin birbirine olan etkileri belirlenmiştir. Karar vericilere rasyonel bir karar alma zemini oluşturmak için çok amaçlı karmaşık ilişkileri birden çok adımla sentezleyerek modeldeki adımlar geliştirilmiştir.



Şekil 3.2. Hava Taraflı Kapasite İyileştirme ANP-BCR Modeli

ANP yöntemini uygulamak için karar vericilere uygulanmak üzere oluşturulan görüşme formu AHP yöntemine dayanmaktadır. AHP yönteminde alternatiflerin skorlarını elde etmek için tüm alternatiflerin birbirleri ile ikili karşılaştırmasının yapılması karar vericilerin çok zamanını almaktadır. Bu durum ANP yönteminin dezavantajı olarak kabul edilmektedir. Rezaei (2015) tarafından geliştirilen En-İyi-En-

Kötü Yöntemi (BWM) bu dezavantajın üstesinden gelerek en iyi ve en kötü alternatifin belirlenerek, diğer alternatiflerin yalnızca en iyi ve en kötü alternatif ile ikili karşılaştırmalarının yapılması alternatiflerin ağırlıklarını belirlemede yeterli olmuştur. Çalışmada BWM tabanlı ANP'nin uygulanma amacı karar vericilere çok daha az sayıda soru sorarak daha tutarlı sonuçlar elde edebilmektir. Görüşme sonrasında oluşturulan form, BWM yöntemi uygulanacak şekilde hazırlanmış ve modeldeki kümelerin etki yönlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda çözüm önerilerinin risk verileri bir ölçek üzerinden alınmış, karar vericilerin zamanını almamak adına ikili karşılaştırmaları araştırmacı tarafından yapılmıştır. Hava tarafı kapasite iyileştirme çözüm önerilerinin uygulama süre ve maliyet verileri ise literatürden ortalama veriler derlenerek elde edilmiştir.

Alınan veriler doğrultusunda ANP hesaplama sürecindeki süper matris BWM yöntemi kullanılarak elde edilen ağırlıklar ile oluşturulmuş, karar vericilerden alınan veriler bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Bulanık mantık, insanların dilsel değerlendirmelerini hesaplamalara daha iyi yansıtabilmek amacı ile geliştirilmiştir (Zadeh, 1965). Bulanık BWM yöntemi ilk olarak Guo ve arkadaşları (2017) tarafından geliştirilmiştir. Yapılacak olan çalışmada birden fazla karar verici sürece farklı zamanlarda dahil edilmiştir. Bu nedenle grup olarak karar verme söz konusu olduğundan ANP içerisindeki ağırlıkları belirlemede Amiri ve arkadaşlarının (2020) geliştirdiği hibrit yaklaşım kullanılmıştır. Modelde kullanılan ÇKKV yöntemlerinin hesaplama yöntemleri başlık 3.4'te önerilen metodoloji kısmında verilmiştir.

Havaalanı hava tarafı kapasite kısıtlarını çözen uygulamaların her birinin genel skoru elde edildikten sonra uygulama planını yapmak amacıyla çözümler, aldığı skora bağlı olarak gruplandırılmıştır. Gruplandırma işleminin amacı havaalanı hava tarafı iyileştirme uygulamalarının biri uygulanırken diğerinin de uygulanabilmesinden kaynaklanır. Bir iyileştirme diğerinin önkoşulu ise doğal olarak önkoşul olan iyileştirme öncelikli grupta yer alır. Bu gruplandırma işlemi en yüksek skoru elde eden ile en düşük skoru elde eden arasındaki farkı grup sayısına böler. Böylece her bir grup için bir aralık belirlenmiş olur. Bu aralıklar arasında değer alan çözümler o gruba dahil edilir. Sonuç olarak en yüksek kapasite artış etkisi gösteren, en az maliyetli olan ve en az risk barındıran iyileştirmenin öncelikli olarak uygulanması garanti altına alınmış olur.

Uygulanma sırası ile tahmini uygulanma süresi verileri temel alınarak olasılıklı proje tamamlanma süresi hesaplanmıştır. Kritik yol yöntemi ile belirlenen tüm

çözümlerin uygulanma süreci Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) ile ortaya konmuştur. PERT yöntemi ile proje uygulanma süresini en iyimser, en kötümser ve en yüksek olasılıklı olarak belirlenmiştir. Tespit edilen iyileştirmelerin uygulanma sıraları ve ortalama uygulama süreleri iş akış süreci Gantt çizelgesi ile gösterilmiştir.

3.2. Analitik Ağ Süreci (ANP) Fayda, Maliyet Risk (BCR) Yöntemi

Analitik Ağ Süreci (ANP) ve En İyi En Kötü (BWM) çok kriterli karar verme yöntemlerindendir. İki yöntem de Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemine dayanmaktadır.

AHP’de karar problemi hiyerarşik bir yapıda ve tek yönlü olarak modellenmekte, kriterlerin birbirlerinden etkilenmedikleri bir diğer deyişle bağımsız oldukları varsayılmaktadır. ANP (Saaty, 1996) AHP yönteminin daha genelleştirilmiş halidir. ANP’de hiyerarşi yerine bir ağ yapısı mevcuttur. Bu yöntemde bir küme içerisinde bulunan alternatifler veya kriterler birbirlerini küme içinde etkileyebilirken aynı zamanda kümeler arasında da ilişkiler meydana gelebilir. ANP’de karar problemi modellenirken üç tür bağımlılıktan söz edilmektedir. Bunlar; dışsal bağımlılık, geri besleme ve içsel bağımlılıktır. Dışsal bağımlılıkta bir kümenin elemanları bir başka kümenin elemanları ile ilişki içerisinde. Geri beslemede ise alternatiflerin kriterlere etkisi söz konusudur. Risk ve belirsizlik ihtiva eden karar problemlerinde geri beslemeli sistem modeli kullanılarak kriterler arasındaki karmaşık etki yansıtılmış olur. (R. W. Saaty & Saaty, 2003 aktaran Onder, 2015). İçsel bağımlılıkta ise kümenin elemanları arasında korelasyon bulunmaktadır. ANP’nin hesaplama adımları aşağıda verilmiştir (Onder, 2015);

1. Adım: Karar probleminin tanımlanması
2. Adım: Bağımlılıkların tespit edilmesi
3. Adım: İkili karşılaştırmaların yapılması
4. Adım: Süper matrisin oluşturulması
5. Adım: Limit süper matrisin elde edilmesi
6. Adım: En iyi alternatifin seçimi

ANP yönteminde bir matris yardımıyla kümeler arasındaki bağımlılıklar gösterilmektedir. Oluşturulan bu matrise etki matrisi denir ve ikili karşılaştırma değerleri bu matris üzerine işlenir. Daha sonra ağda yer alan elemanların diğer elemanlar üzerindeki etkileri süpermatris adı verilen bir matriste bir araya getirilir. Süper matris oluşturulduktan sonra sütunlarda yer alan değerler sütun toplamlarına bölünerek normalize edilir ve böylece her bir sütun toplamı 1’e eşit olur. Ağırlıklandırılmış süper

matrisin kuvveti bir önceki kuvvetle eşit olana kadar alınır ve ağda yer alan elemanların ağırlıkları belirlenmiş olur.

Saaty (2001 aktaran Öztayşi vd., 2013) bir karar problemini Fayda (B-Benefit), Fırsat (O-Opportunity), Maliyet (C-Cost) ve Risk (R-Risk) perspektiflerinden analiz etmek ve bu perspektifler altında alternatiflerin önceliklerini sentezlemek için BOCR modelini sunmuştur. BOCR konseptine göre dört farklı ağ yapılandırılmıştır ve yapılandırılmış ağlara göre hangi alternatifin en faydalı, en iyi fırsata sahip, hangisinin en tehlikeli (riskli) ve hangisinin en maliyetli (en-küçüklenecek özellikler) olduğu tespit edilir. Bu dört ağın her biri için ikili karşılaştırmalar neticesinde elde edilen kriter ağırlıklarına bağlı olarak alternatiflerin ağırlıkları belirlenir. Her bir ağda bulunan alternatiflerin ağırlıkları aşağıdaki eşitlikler ile belirlenir (Öztayşi, Uğurlu ve Kahraman, 2013). Genel değerlendirme değeri P, her bir ağın ağırlığı b, o, c, ve r ile temsil edilmiştir. Ağların içindeki alternatiflerin sentezlenmiş sonuçları ise B, O, C ve R ile gösterilmiştir.

1. Toplama;

$$P = bB + oO + c[(1/C)_{Normalleştirilmiş}] + r[(1/R)_{Normalleştirilmiş}] \quad (3.1)$$

2. Olasılıklı Toplama

$$P = bB + oO + c(1 - C) + r(1 - R) \quad (3.2)$$

3. Çıkarma

$$P = bB + oO - cC - rR \quad (3.3)$$

4. Çarpımsal Önem Kuvveti

$$P = B^b O^o [(1/C)_{Normalleştirilmiş}]^c [(1/R)_{Normalleştirilmiş}]^r \quad (3.4)$$

5. Çarpımlı

$$P = BO/CR \quad (3.5)$$

ANP BOCR modellemesi literatürde yüksek teknoloji hareket işleme sistemlerinin değerlendirilmesi (Erdoğan, Kapanoglu ve Koç, 2005), lojistik merkez yer seçimi (Peker, Baki, Tanyas ve Murat Ar, 2016), kentsel yenileme projeleri (Pazzini, Corticelli, Lantieri ve Mazzoli, 2023) gibi farklı alanlarda uygulanmıştır.

3.3. Bulanık En İyi En Kötü (BWM) Yöntemi

BWM yöntemi ise Rezaei (2015) tarafından geliştirilen en güncel çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden birisidir. Yöntem AHP'de kriterlerin ağırlıklarını belirlerken her bir kriterin diğer kriterlerle 1-9 ölçekli önem düzeyi ile karşılaştırılmasında ortaya çıkan çok fazla karşılaştırmayı azaltmaktadır. BWM

yönteminde kriterler arasından en iyisi ve en kötüsü belirlenmekte ve daha sonra diğer kriterler aynı ölçek ile belirlenen bu iki kriterle ikili karşılaştırma yapmaktadır. Bu yöntemde AHP ve ANP yöntemlerine kıyasla ikili karşılaştırma sayıları ciddi oranda azalmaktadır. Oluşan bu durum karar vericinin verdiği cevapların daha tutarlı olmasını sağlamaktadır.

Zadeh (1965) dilsel ifadelerin belirsizliğinden kaynaklanan karmaşayı çözmek, dilsel ifadelerin doğrudan nicelleştirildiğinde tam olarak açıklanamayan ve kesin olmayan durumları ortadan kaldırmak amacıyla bulanık kümeleri geliştirmiştir. Bulanık mantığın ÇKKV yöntemlerine uygulanması ile daha hassas değerlendirmelere imkân sağlanmış, karar verici veya vericilerin algılarında meydana gelen küçük değişikliklerin kararı etkilemesi engellenmiştir. Güncel literatürde sıklıkla ÇKKV yöntemleri ile farklı tipte bulanık sayıların kullanıldığı görülmektedir.

Belirtilen yöntemlerin literatürde kullanımları incelendiğinde güncel çalışmalarda bu yöntemlerin beraber kullanıldığı ve hibrit yöntemlerin geliştirildiği gözlemlenmiştir. Dağdeviren ve Yüksel (2010) yaptıkları çalışmada Porter'ın beş güç modelini kullanarak bulanık ANP yöntemiyle sektörel rekabet seviyesini ölçmeye çalışmışlardır. Ele aldıkları probleme bulanık mantık çerçevesinde yaklaşımlarının nedeni rekabet kavramındaki karmaşıklık ve belirsizliktir. ANP ise Porter'ın beş güç modelindeki unsurların birbirleri ile olan etkileşimlerini yansıtabileceğinden seçilmiştir.

Lee ve arkadaşları (2012) yeni ürün geliştirmede kullanacakları teknolojiyi belirlemede çok kriterli karar verme tekniklerinden bulanık ANP yönteminden yararlanmışlardır. Teknolojilerin faydalarını, fırsatlarını, maliyetlerini ve risklerini (BOCR) değerlendiren bir ağ oluşturmuşlar ve kümeler arasındaki karşılıklı ilişkileri ise yorumlayıcı yapısal modelleme ile belirlemişlerdir.

Liu ve arkadaşları (2020) yeşil bina değerlendirmede etkili olan göstergelerin ilişkisini bunların önemini araştırmak için yeni bir hibrit yöntem oluşturmuşlardır. Kriterler arasındaki ilişkiyi belirlemek için DEMATEL yönteminden yararlanmışlardır. Kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için ise BWM yöntemini kullanmışlar ve elde edilen dereceleri ANP modeline uygulayarak limit matrisi elde etmişlerdir.

3.4. Geliştirilen Model İçin Önerilen Metodoloji

Yapılacak bu çalışmada uzmanlardan ve/veya karar vericilerden veriler elde edildikten sonra aşağıda verilen adımlar uygulanarak hava tarafı kapasite geliştirme çözümlerinin skorları elde edilecektir. Fayda, Maliyet ve Risk perspektifinden bakılarak

üç farklı ağ için de ANP yöntemi uygulanacaktır. Son olarak her bir çözümün genel skoru elde edilecektir.

Adım 1: Araştırma konusu havaalanında görev yapan ve hava tarafı kapasite planlaması konusunda yetkin birkaç uzman ve/veya karar verici ile taslak yapısı oluşturulan model hakkında görüşme yapılır. Görüşme sonrası havaalanı hava tarafı kısıtları ve çözüm önerileri netleştirilir. Fayda, maliyet ve risk modelini oluşturacak etki bağlantıları tespit edilir.

Görüşme sonrasında çerçevesi belirlenen modelin yapısı ortaya konur. BWM yönteminin uygulanması için uygun görüşme formu oluşturulur. Karar vericilere görüşme yapılır ve ilgili veriler elde edilir.

Adım 2: Modeldeki her bir ilişki ağı için Hibrit Çok Kriterli Grup Karar Verme Yöntemi olan bulanık GBWM-FPP (Grup BWM-Fuzzy Preference Programming) (Amiri vd., 2020) yöntemi aşağıdaki adımları takip ederek uygulanır. Amiri çalışmasında karar vericilerin üstünde bir süpervizörün olduğunu belirtmiştir. Süpervizör karar vericileri birbirleri ile kıyaslamakta, aynı zamanda alternatifleri de değerlendirmektedir. Süpervizörün genel değerlendirmedeki ağırlığı daha fazla alınmaktadır. Bu çalışmada süpervizör olmadığı varsayılarak tüm karar vericilerin yapmış olduğu değerlendirmeler eşit kabul edilmiştir.

Adım 2.1: Karar kriterleri tanımlanır $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$.

Adım 2.2: Her bir karar verici tarafından en iyi ve en kötü alternatif tanımlanır, en iyi ve en kötü alternatif diğer alternatiflerle Tablo 3.1'deki ölçek kullanılarak kıyaslama yapılır. Kıyaslama sonrası Eşitlik 3.6 ve 3.7 elde edilir. $\tilde{a}_{Bj}^i$ i'nci karar vericinin değerlendirmesine göre en iyi kriterin j'inci kritere kıyasla ne ölçüde iyi olduğunu gösterir. $\tilde{a}_{iW}^i$ ise i'nci karar vericinin değerlendirmesine en kötü kriterin j'inci kriterden ne kadar kötü olduğunu gösterir.

$$\tilde{a}_{Bj}^i = (l_{B1}, m_{B1}, u_{B1}), \dots, (l_{Bn}, m_{Bn}, u_{Bn}) \quad (3.6)$$

$$\tilde{a}_{jW}^i = (l_{1W}, m_{1W}, u_{1W}), \dots, (l_{nW}, m_{nW}, u_{nW}) \quad (3.7)$$

En iyi kriterin ve en kötü kriterin kendi ile kıyaslamaları Eşitlik 3.8'deki gibidir.

$$\tilde{a}_{BB}^i = \tilde{a}_{WW}^i = (1, 1, 1) \quad (3.8)$$

Tablo 3.1. Kriter Karşılaştırması için Dilsel Terimler ve Bulanık Değerler Ölçeği (Foroozesh vd., 2022; Hafezalkotob vd., 2020; Rahimi vd., 2020)

Dilsel Terimler	Bulanık Değerler Ölçeği
Eşit Derecede Önemli	(1,3,3)
Orta Derecede Önemli	(1,3,5)
Çok Önemli	(3,5,7)
Pek Çok Önemli	(5,7,9)
Aşırı Derecede Önemli	(7,9,9)

Adım 2.3: Karar vericiler tarafından atanan kriter ağırlıkları $(w_1^{i*}, w_2^{i*}, \dots, w_n^{i*})$ Model 3.9’de verilen hibrid GBWM-FPP’den elde edilir.

Önerilen model çözümünün kabul edilebilirliği i ’nci karar verici için $\xi_i \geq 0$ ise i ’nci karar verici tarafından yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğu dikkate alınarak değerlendirilebilir, $\xi_i = 1$ ise i ’nci karar verici tarafından yapılan karşılaştırmaların tamamen tutarlı olduğu aksi takdirde karar verici i ’nin karşılaştırmalarında bazı tutarsızlıklar olduğu kabul edilir.

$$\begin{aligned}
 & \text{maks } \sum_i \xi_i \\
 \text{st: } & \begin{cases} -w_B^i + l_{Bj}^i w_j^i + \xi_i (m_{Bj}^i - l_{Bj}^i) w_j^i \leq 0, \forall_i \\ w_B^i - u_{Bj}^i w_j^i + \xi_i (u_{Bj}^i - m_{Bj}^i) w_j^i \leq 0, \forall_i \\ -w_j^i + l_{jW}^i w_W^i + \xi_i (m_{jW}^i - l_{jW}^i) w_W^i \leq 0, \forall_i \\ w_j^i - u_{jW}^i w_W^i + \xi_i (u_{jW}^i - m_{jW}^i) w_W^i \leq 0, \forall_i \\ \sum_i w_j^i = 1 \\ w_j^i \geq 0 \\ \xi_i \text{ sınırlandırılmamış işaretli} \end{cases} \quad (3.9)
 \end{aligned}$$

Kriterlerin birleştirilmiş genel ağırlığı Eşitlik 3.10’deki gibi hesaplanır.

$$\mu_j = \sum_i w_j^i \quad (3.10)$$

Adım 3: ANP-GBWM-FPP değerlendirmesinden elde edilen vektörler uygun n sütununa girilerek bir süpermatris oluşturulur.

Süpermatris, kriterler arasındaki karşılaştırmalar sonucu her bir matrisin büyük matriste birleştirilmesi ile elde edilir. Süpermatriste tüm göreceli değerler (öz vektörler) görülebilir. Süpermatris önce stokastik hale getirilir. Diğer bir deyişle süpermatristeki kolonlar toplamı 1 olacak şekilde normalize edilir. Böylece Markov zinciri sürecinden yararlanılabilen stokastik matris oluşturulur. Bunu takiben model ağındaki doğrudan veya dolaylı tüm etkileşimleri yakalayabilmek için süpermatrisin üssünü alma işlemleri gerçekleştirilir. Matris stokastik bir yapıda olduğundan her bir üs almada satırların hepsi sabit bir değere yakınsayacaktır. Limit matris elde edildiğinde alternatiflerin genel skorları bulunmuş olur. Limit süpermatriste tüm olası etkileşimler yakınsama sürecinde hesaba katılmış olmaktadır. Limit süpermatris Eşitlik 3.11'deki gibi hesaplanır.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (3.11)$$

Adım 4: Alternatifler, elde ettiği skor (öncelik) değerlerine bağlı olarak gruplandırılır.

Adım 4.1: Öncelik değerlerine bağlı olarak alternatifler küçükten büyüğe sıralanır. En büyük ve en küçük değer farkı alınır. Elde edilen değer aralığı oluşturulmak istenen n adet grup sayısına bölünür, böylece her bir grubun aralık genişliği Eşitlik 3.12'deki gibi bulunmuş olur.

$$\frac{w_{maks} - w_{min}}{n} = r \quad (3.12)$$

Adım 4.2 Aralık değerlerine göre her sayı karşılık gelen aralığa atanır. Her bir gruba dahil olan çözümler Eşitlik 3.13'deki gibi belirlenir.

$$\begin{aligned} \text{Grup 1: } & [w_{min}, w_{min} + r) \\ \text{Grup 2: } & [w_{min} + r, w_{min} + 2r) \\ & \vdots \\ \text{Grup } n: & [w_{min} + (n - 1)r, w_{maks}) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Adım 5: Gruplandırılmış çözümleri grup sırasına göre önceliklendirerek ve sürelerini dikkate alarak Proje Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT) ile toplam kapasite iyileştirme süresi hesaplanır ve bu süreyi etkileyecek kritik çözümler belirlenir.

Adım 5.1: Çözümler gruplara bağlı olarak önceliklendirilerek bir ağ çizilir.

Adım 5.2: Ağ üzerine kritik yol bulunarak olasılıksal olarak proje tamamlama süresi belirlenir.

Kritik yolu belirlemek için ilk olarak çözüm sürecinin başlangıcından sonuna en uzun yol bulunur (Öztürk, 2016, s. 535). Belirlenen yol aynı zamanda çözümlerin uygulanmaya başlanabilecek en erken zamanın bulunmasında yardımcı olur. En son çözüme gelindiğinde çözümlerin uygulanabileceği en kısa zaman bulunur. Çözüm sürecinin bitiminden geriye doğru giderek her çözüm için en uzun yol bulunur ve faaliyet zamanları buradaki toplam geçen sürelerden çıkarılarak geliştirilen yol için ortalama en geç bitim zamanı tespit edilir. Kritik yolun uzunluğu, çözümlerin uygulanabileceği minimum bitirilme süresidir. Kritik yol üzerindeki faaliyetler kritik faaliyetler olup, bunlardaki herhangi bir gecikme projenin gecikmesine neden olur. Kritik yol belirlenirken her bir çözüm için dört süre hesaplanır.

EB_i = Çözüm i 'nin en erken başlama zamanı

ET_i = Çözüm i 'nin en erken bitirilme zamanı

GB_i = Çözüm i 'nin en geç başlama zamanı

GT_i = Çözüm i 'nin en geç bitirilme zamanı

Çözüm i 'nin bitirilmesi için gerekli süre t_i ile ifade edilirse Eşitlik 3.14'teki gibi olur.

$$\begin{aligned} ET_i &= EB_i + t_i \\ GB_i &= GT_i - t_i \end{aligned} \quad (3.14)$$

Kritik yol üzerinde bulunmayan faaliyetler geciktirilebilecek yani aylak süreleri Eşitlik 3.15'teki gibi olacaktır.

$$GT_i - ET_i \quad (3.15)$$

PERT yöntemi istenilen amaca ulaşabilmek için gerekli iş çabalarının planlaması, eşgüdümü ve kontrolü yaklaşımıdır. PERT analizi geliştirilirken kesin olarak bilinmeyen faaliyetlerin tamamlanma sürelerinin olasılıksal olarak dağıldığı kabul edilir ve bulunan kritik yola olasılıklı kritik yol denir. PERT analizinde her bir faaliyetin beta olarak dağıldığı varsayımı ile üç süre belirlenir. Bu süreler;

En iyimser süre (a); her şey istenildiği gibi gittiğinde faaliyetin en çabuk tamamlanma süresini temsil eder.

En kötümser süre (b); en kötü şartlarda faaliyetin bitirilme süresidir.

En yüksek olasılıklı süre (m); olabilir faaliyet süresidir.

$\bar{x}$ (ortalama) ağda bir faaliyetin gerçekleşmesi için öngörölmüş süre veya zamandır. Her bir iyileştirmenin beklenen süresi ($\bar{x}$) ve varyansı (s^2) Eşitlik 3.16 ve 3.17'deki gibi belirlenmiştir.

$$\bar{x} = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (3.16)$$

$$s^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2 \quad (3.17)$$

Projenin başlangıcından bitimine kritik yol ortalama süre ile belirlenir. Belirlenen kritik yolun ortalama zaman toplamı (μ) ve varyansı (σ^2) olur.

Adım 6: PERT yönteminden elde edilen veriler Gantt Chart kullanarak görselleştirilir.

4. SABIHA GÖKÇEN HAVAALANI VAKA ÇALIŞMASI

Önerilen modelin uygulanması için vaka çalışması olarak Sabiha Gökçen Havaalanı belirlenmiştir. Sabiha Gökçen Havaalanı Türkiye’de ve Avrupa’da yolcu ve trafik sayısı en yüksek olan havaalanlarından birisidir. Tablo 4.1’de görüleceği üzere 2023 yılı Aralık ayı itibari ile yıllık yurtiçi ve yurtdışı günlük ortalama trafik hareketi incelendiğinde Sabiha Gökçen Havaalanı Avrupa’da 18., Türkiye’de ise 2. sırada yer almaktadır.

Tablo 4.1. Avrupa en yoğun havaalanları (EUROCONTROL, 2023)

2023 Sıralaması	Havaalanı Kodu	Havaalanı İsmi	Günlük Ortalama Trafik Hareketi	2019 vs 2023 Değişimi
1	IST	Istanbul Airport	1375	-
2	AMS	Amsterdam	1255	%-10
3	LHR	London Heathrow Apt	1251	%-4,5
4	CDG	Paris Charles de Gaulle Apt	1247	%-9,9
5	FRA	Frankfurt International Apt	1179	%-16,2
6	MAD	Madrid Adolfo Suarez-Barajas	1066	%-8,7
7	BCN	Barcelona Apt	874	%-7,4
8	MUC	Munich Apt	821	%-27,6
9	FCO	Rome Fiumicino Apt	730	%-14
10	LGW	London Gatwick Apt	704	%-9,8
11	ZRH	Zurich Apt	666	%-9,7
12	DUB	Dublin Apt	659	%1,1
13	ATH	Athens Apt	648	%7,2
14	VIE	Vienna Apt	645	%-16,5
15	PMI	Palma de Mallorca Apt	624	%4,9
16	CPH	Copenhagen Apt	623	%-13,7
17	LIS	Lisbon Apt	621	%2,6
18	SAW	Istanbul Sabiha Gokcen Apt	605	%-3,4

Sabiha Gökçen Havaalanı’nın trafiği incelendiğinde gecikmelerin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Sabiha Gökçen Havalimanı’nı merkez olarak kullanan Pegasus Havayolunun büyümesi pandemi sürecinde duraklasa da sonrasında artmaya devam etmektedir. Şekil 4.1’de Pegasus Havayolları’nın Ocak 2019 sonrası Arz Edilen Koltuk Kilometre (ASK) verileri görülebilmektedir. Görüldüğü üzere havayolu son zamanlarda pandemi öncesinde gösterdiği performansın üzerine çıkmıştır. Havayolunun büyümesinin önünde duran en büyük kısıtlardan birisi ise merkez olarak kullandığı Sabiha Gökçen Havaalanı’nın kapasite yetersizliğidir.



Şekil 4.1. Pegasus Havayolları ASK verileri (2019-2023) (Pegasus Havayolları, 2024)

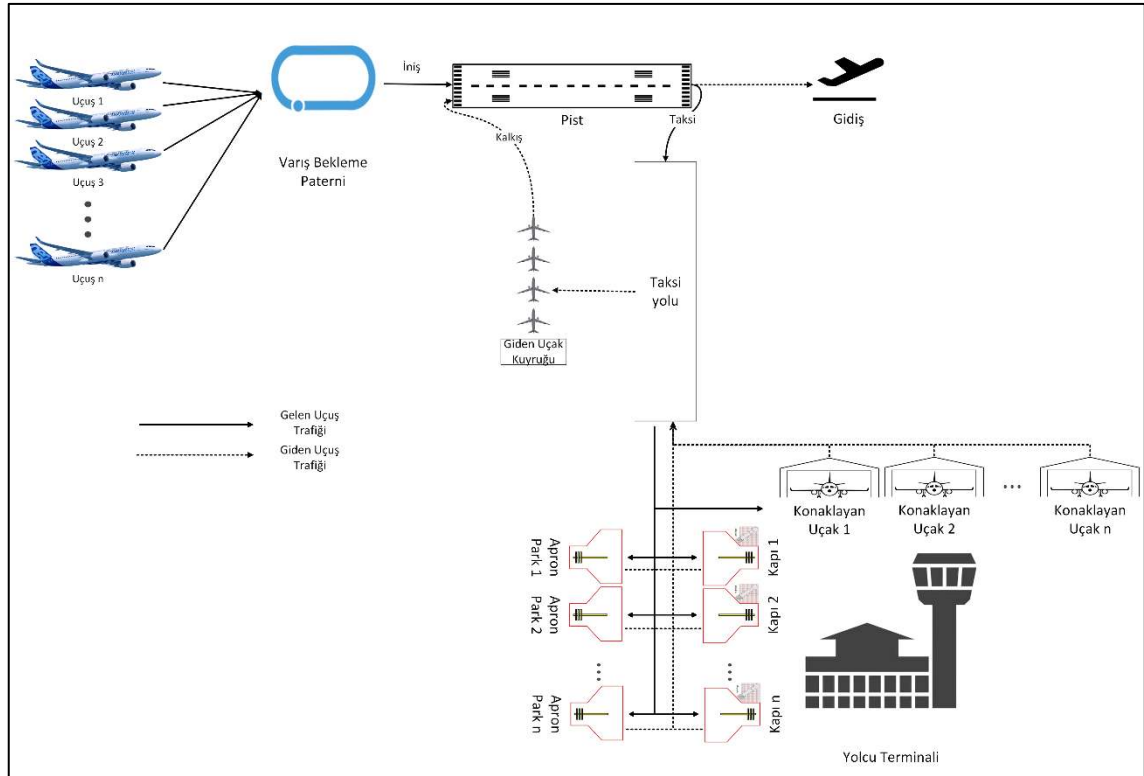
4.1. Sabiha Gökçen Havaalanı Simülasyon Uygulaması

Sabiha Gökçen Havaalanı'nı simüle etmeden önce, tasarım gününü belirlemek gerekir (Bubalo ve Daduna, 2012). Simülasyon modeli, belirlenen güne ait trafik istatistiklerine göre çalıştırılır. Tasarım günü veya saati, önceki çalışmalarda veya kurumlar tarafından farklı yöntemlerle tanımlanmıştır. Tipik yoğun saat yolcusu (TPHP) olarak bilinen ilk kavram, FAA tarafından tasarlanmıştır. TPHP konseptine göre bir havaalanının yıllık trafiği analiz edilerek en yoğun günler belirlenir. Bu günlerdeki trafik saatlik olarak incelenir ve zirve saatlerdeki dağılımlara dayanarak ortalama bir değer hesaplanır (FAA, 1976). İngiliz Havaalanı Otoritesi (BAA), bir yıldaki en yoğun 30. saatteki yolcu akışının analiz edilmesiyle belirlenen standart yoğun oranı olarak bilinen bir kavram ortaya koymuştur (Ashford ve diğerleri, 2011). Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'ne göre, önerilen tasarım saati yıl içerisindeki 30. veya 40. en yoğun saat olmalıdır. Urbatzka ve Wilken (1997) çalışmalarında %5'lik yoğun saat fikrini ortaya koymuştur. %5'lik yoğun saat, bir yıl boyunca havalimanı trafik istatistiklerinin saatlik dağılımının analiz edilmesi ve 5. yüzdalık değeri temsil eden değerin seçilmesiyle belirlenir. Brezilya'da yürütülen bir araştırma, küçük havalimanlarının en yüksek aktivite seviyesini deneyimlemesi için en uygun zaman aralığının %3,5 ile %4,5 arasında olması gerektiğini belirlemiştir (P. T. Wang ve Pitfield, 1999). IATA'nın tasarım ve planlama amaçları için havalimanında yoğun bir gün tanımı, ortalama bir haftadaki en yoğun ayın ikinci en yoğun günüdür (IATA, 2014).

Simülasyon kullanılarak havalimanı hava tarafını inceleyen çalışmalarda farklı araçların kullanıldığı gözlemlenmiştir ve bunların çoğunun ayrı olaylı benzetim modellerine dayandığı belirlenmiştir. Chen vd. (2015), havalimanı hava tarafı kapasitesinin ve havalimanı tasarımı ve operasyonları için olası stratejilerin

değerlendirilmesini sağlayan bir havalimanı hava tarafı modeli geliştirmiştir. Çeşitli senaryolar altında geliştirilen modeli ProModel platformunu kullanarak incelemişlerdir. Örnek olaya uygulanan simülasyon uygulaması sonucunda havalimanında oluşabilecek darboğazları belirleyebilmiş, mevcut ve gelecekteki durumları değerlendirebilmişlerdir. Özdemir ve arkadaşları (2018) çalışmalarında, İstanbul Atatürk Havalimanı'ndaki kapasite ve gecikmelerin, hızlı çıkış taksi yolları ve end-around taksi yollarının birleşik etkilerinden nasıl etkilendiğini analiz etmek için SIMMOD ve ARENA yazılımlarını kullanmışlardır. Bu makale, dört farklı pist konfigürasyonunu ele almakta ve İstanbul Atatürk Havalimanı'ndaki taksi yolu ağının yanı sıra iyileştirilmiş bir taksi yolu ağının hızlı zamanlı simülasyonlarını sunmaktadır. Sonuçlar, end-around taksi yollarının taksi yolu çıkış süresini %52'ye kadar azaltabileceğini göstermektedir. Aynı şekilde, hızlı çıkış taksi yolları uçak iniş sürelerini %10,6 oranında azaltabilmektedir. Simić ve Babić (2020), hava tarafı konfigürasyonlarının Hava Trafik Yönetimi (ATM) üzerindeki etkilerini zaman ve maliyet açısından araştırmış ve deneylerinde SIMMOD'u kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, farklı havaalanı hava tarafı tasarımları zaman ve maliyet açısından farklı verimlilikler yaratmaktadır. Sadono ve diğerleri (2021), Soekarno-Hatta Uluslararası Havalimanı'nı bir vaka çalışması olarak ele almış ve taksi yollarındaki uçak kuyruklarını değerlendirmek için Arena yazılımını kullanarak simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarının; gelen ve giden uçuş programlarını düzenlemek, altyapı ve tesisleri yeniden tasarlamak, taksi rotalarını iyileştirmek ve ayrıca taksi sürelerini azaltmak için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Havaalanı hava tarafı süreçlerinin basit bir gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Havaalanı hava tarafı süreci ilk olarak uçağın yaklaşma programlarını dikkate alarak havaalanı terminal sahasına girmesiyle başlar. Hava trafik kontrolörleri (HTK), havaalanına gelen trafiği dikkatli bir şekilde ayırır ve havaalanına emniyetli bir şekilde yaklaşmasını sağlar. Havaalanındaki apron ve pist doluluğuna bağlı olarak, varış trafiğinde bekleme talep edebilirler. Aynı zamanda, meteorolojik faktörler gecikmeler yaratabilir, bekleme sürelerinde ve kuyruklarda uzamalara neden olabilir. Havaalanı trafiğindeki artışı ve gecikmeleri yönetmek için Hava Trafik Akış Yönetim (ATFM) hizmetleri kullanılır. ATFM, hava trafiğinin verimli ve etkin bir şekilde yönetimini sağlar (ICAO, 2019).



Şekil 4.2. *Havaalanı Hava Tarafı Simülasyon Modeli*

Havalimanına yaklaşan uçakların HTK kontrolü altında piste inmesine izin verilir. Havalimanındaki pist sayısı ve havalimanının etrafındaki engeller, pistlerin varış ve kalkış için kullanımı için önceden belirlenir. Tek pistli havalimanlarında, pistler hem varış hem de kalkış için kullanılır. Uçağın iniş ve kalkış yönü, hâkim rüzgâr dikkate alınarak kafa rüzgarı alacak şekilde belirlenir. Pistlerden ayrılan uçaklar, apron ve kapılara doğru yönelmek için taksi yolu sistemini kullanır. Pilot, uçağın planlanan kapıya veya apron park alanına ulaşmak için hangi taksi yollarını kullanacağı konusunda HTK tarafından bilgilendirilir. Yolcular, uçaktan terminale köprü, biniş rampası ve otobüs yoluyla ulaşır. Uçak gece konaklamayacaksa tekrar kalkışa hazırlanır. Yolcuların boarding işlemleri tamamlandıktan sonra kaptan motor çalıştırma izni ister ve taksi için park pozisyonunu terk eder. Uçağın havaalanı park pozisyonuna varması ile bir sonraki uçuş için ayrılması arasındaki zamana çevrim süresi denir. Uçaklar için dönüş süreleri stokastiktir ve birçok faktöre bağlı olarak uçuştan uçuşa farklılıklar gösterir (Wu, 2008). Aynı zamanda, uçağın köprü veya açık park pozisyonunda olup olmaması, koltuk konfigürasyonu ve büyüklüğü de çevrim sürelerini etkileyebilir (Schmidt, 2017). Kalkış için uçaklar uygun taksi yollarını kullanarak piste yönlendirilir ve kalkış kuyruğuna girerler.

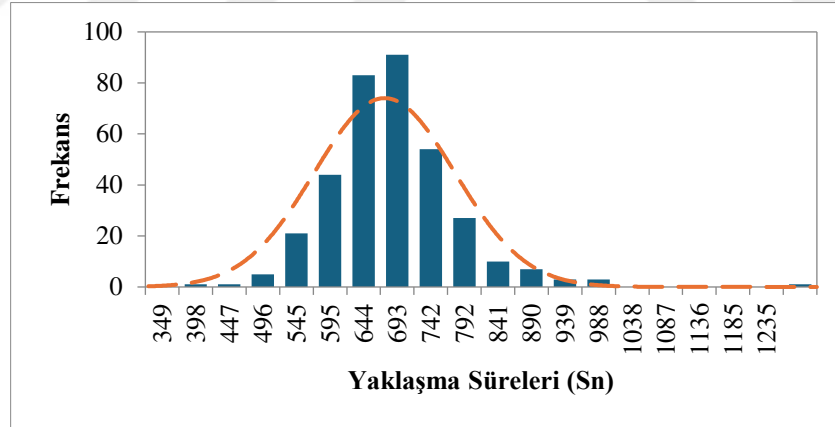
Sabiha Gökçen Havalimanı, İstanbul'un ikinci havalimanı olup, Türkiye'nin en yüksek trafik yoğunluğuna sahip üç havalimanından biridir. Ayrıca Avrupa trafik sıralamasında ilk 20 havalimanı arasında yer almaktadır. EUROCONTROL tarafından yapılan çalışmaya göre, 2023 yılına kadar hava sahası ve pist sistemlerinde kapasite kısıtlamaları olmasına rağmen, trafiğin 2030 yılına kadar baz senaryoya göre %25 artması beklenmektedir (EUROCONTROL, 2024). Avrupa'da filosunu genişleten ve yolcu talebini artırmaya devam eden havayollarından biri olan Pegasus Havayolları, Sabiha Gökçen Havalimanı'nı ana üs olarak kullanmaktadır. Hava ulaşım sistemindeki havalimanlarındaki gecikmeler hava trafiğini ve yolcu talebini etkilemektedir; bir başka deyişle, hub havalimanlarındaki (ana üs) kapasite kısıtlamaları havayolu şirketlerinin aldığı stratejik kararlar üzerinde bağlayıcı olabilmektedir (Evans & Schäfer, 2011). Buna dayanarak, havalimanlarındaki gecikmelerin havayolları üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Devletin mülkiyetinde özel bir şirket tarafından işletilen ve İstanbul'un doğusunda bulunan Sabiha Gökçen Havalimanı'ndaki potansiyel kapasite kısıtlamalarını ele almak için çalışmalar yürütülmüştür. 2014 yılında ikinci pist, ikinci kule ve otopark alanı yapımı ile terminal binasının genişletilmesi için ihaleler açılmıştır (İstanbul Sabiha Gökçen, 2017). Bu çalışmada kullanılan veriler elde edildiğinde pist projeleri henüz teslim edilmemişti. Pist doluluk süresini azaltmak için Sabiha Gökçen Havalimanı'ndaki kalkış ve varışlar için Havacılık Enformasyon Yayınları'nda (AIP) birçok prosedür belirtilmiştir. Pilotların havalimanına varmadan önce veya kalkış sırasında bu süreçlere hakim olmaları ve aldıkları talimatlara belirli bir süre içinde tepki vermeleri beklenmektedir (AIP, 2024).

Sabiha Gökçen Havalimanı tasarım gününü (yoğun gün) belirlemek için bu çalışmada IATA'nın yöntemi kullanılmıştır. IATA'nın havalimanı tasarım ve planlaması için önerdiği havalimanı yoğun günü tanımı, en yoğun ayın ortalama haftasının ikinci en yoğun günüdür (IATA, 2014). Sabiha Gökçen'in en yoğun günü için ilk olarak AirNav RadarBox (2024)'a ücretli üye olunarak 1 Aralık 2022 – 30 Kasım 2023 tarihleri arasındaki günlük veriler elde edilmiştir. Sabiha Gökçen Havalimanı'nın yıllık verileri incelenmiş ve IATA'nın önerdiği yöntemle göre havalimanı yoğun günü 4 Ağustos 2023 Cuma olarak belirlenmiştir. 3-4 Ağustos 2023 tarihlerine ait anlık uçak trafik bilgileri, flightradar24 sitesine ücretli üye olunarak elde edilmiştir. Geçmiş 360 günü geriye sarmaya olanak veren sistemi sayesinde her bir uçuşun pistte, park pozisyonunda ve takside ne kadar zaman geçirdiği gibi veriler elde edilmiştir (flightradar24, 2024).

Kullanılan her iki sistemin veri kaynakları Otomatik Bağımlı Gözetim-Yayın (ADS-B) tabanlıdır. ADS-B, uçaktaki elektronik ekipmanlar sayesinde uçağın konumunun elektronik olarak yayınlanmasıdır. Havaalanı hava trafiği kapasitesini belirlemek, gecikmelerin ve kuyrukların yapısını ve nerelerde oluştuğunu tespit etmek için karmaşık hava trafiği yapısının simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Sistemlerden elde edilen veriler kullanılarak, tasarım gününde LTFJ havaalanına gelen ve buradan ayrılan trafiğin her bir süreçte harcadığı süre kaydedilmiştir. Elde edilen verilerin istatistikleri çıkarılıp ve olasılık dağılımları ARENA Input Analyzer aracı ile elde edilmiştir. LTFJ'nin trafiği incelendiğinde, trafiğinin yoğunluğunun orta ağırlıktaki uçaklardan oluştuğu belirlenmiştir. Çevrim süreleri, pist doluluk süreleri ve taksi süreleri uçak kategorisine göre değişebileceğinden, orta ve ağır uçaklar için istatistikler ayrılarak tutulmuştur.

Yaklaşma süreleri belirlenirken, varış trafiğinin bekledikten sonra alçalmaya başladığı andan, tekerleğin piste değdiği ana, yani irtifanın 0 ft olduğu ana kadar geçen süre dikkate alınmıştır. İstatistikler elde edildikten sonra, Şekil 4.3'te görüldüğü gibi yaklaşmaların normal dağılımlı olduğu, örneklem ortalamasının 637 saniye ve örneklem standart sapmasının 93,1 olduğu tespit edilmiştir.

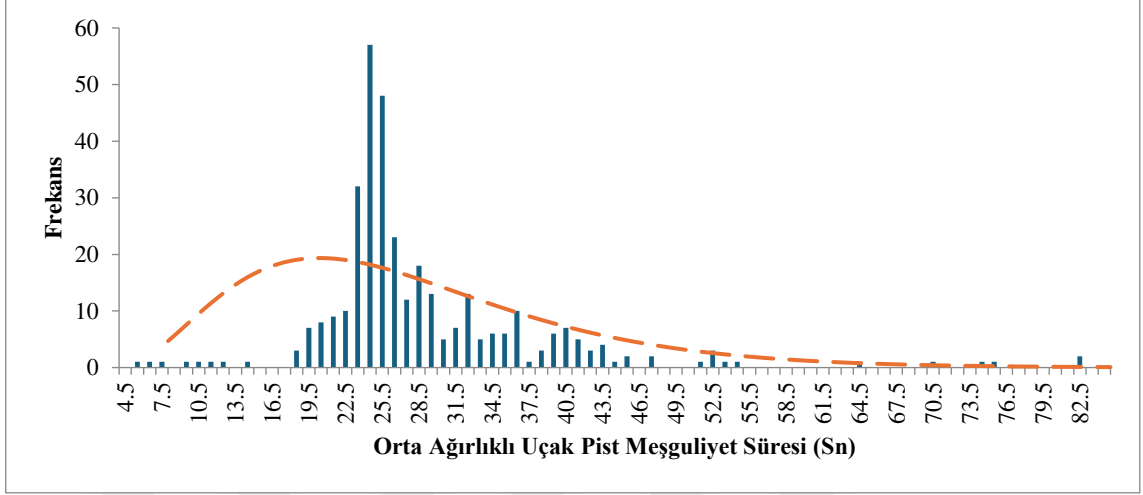


Şekil 4.3. Sabiha Gökçen Havalimanı Tasarım Günü Geliş Dağılımı

Gelen orta ağırlıklı uçakların pist kullanım süreleri, piste indikleri andan taksi yoluna girdikleri ana kadar geçen zamanı temel almaktadır. Şekil 4.4, orta ağırlıklı gelen uçakların pist kullanım süresi dağılımını göstermektedir. Olasılık dağılımı Erlang dağılımı olarak belirlenmiştir. Erlang dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x, k, \lambda)$ 'dır; burada k şekil parametresi ve λ oran parametresidir. LTFJ'ye gelen orta ağırlıktaki uçakların pist meşguliyet süresi Erlang olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak

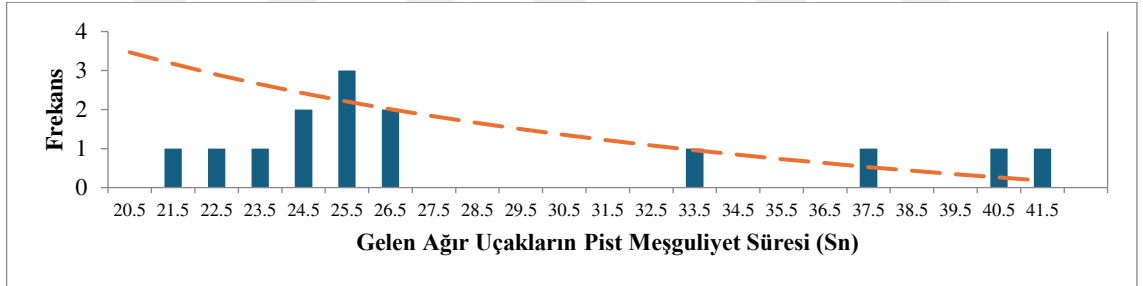
Eşitlik 4.1'de verilmiştir. Gelen orta ağırlıkta uçakların pist meşguliyet süresi ortalamaları 28,4 saniye ve standart sapması 9,57 saniye olmuştur.

$$4.5 + f(x, 3.41, 7) \quad (4.1)$$



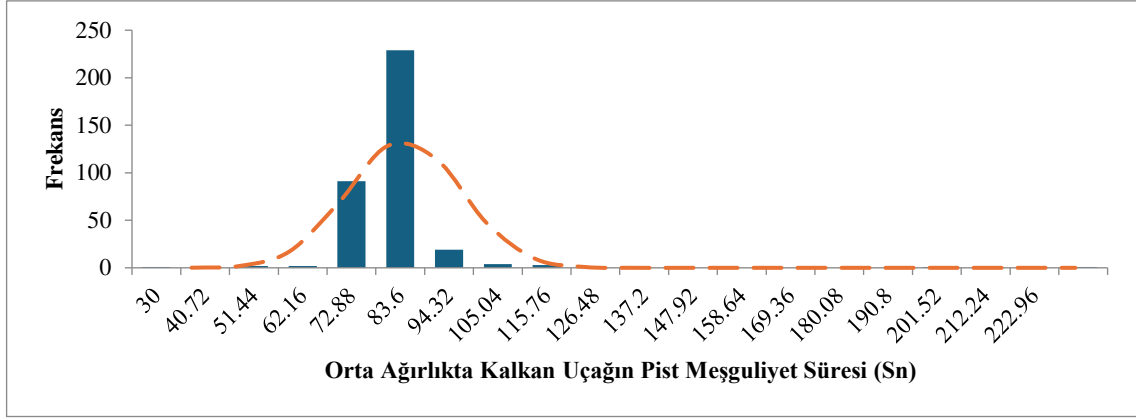
Şekil 4.4. Sabiha Gökçen Havaalanı Gelen Orta Ağırlıklı Uçak Pist Meşguliyet Süre Dağılımı

Şekil 4.5'te ağır kategorideki iniş yapan uçakların pist meşguliyet süreleri lognormal dağılıma göre 28 saniye ortalama ve 6,77 standart sapma ile dağılmıştır. Ancak ağır kategorideki iniş yapan uçaklara ait veri sayısının 14 olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 4.5. Sabiha Gökçen Havaalanı Gelen Ağır Uçak Pist Meşguliyet Süresi Dağılımı

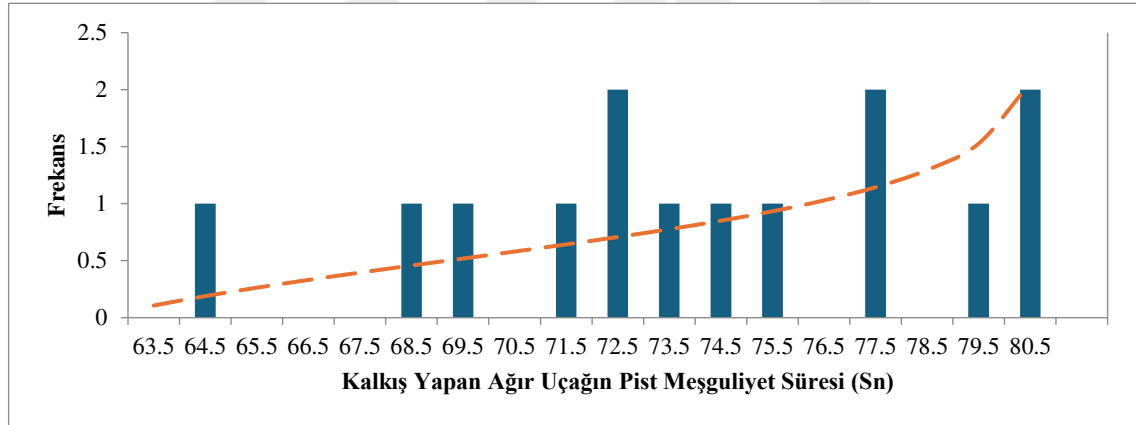
Giden orta kategoride uçağın pist meşguliyet süreleri, uçağın piste girdiği andan itibaren 50 ft yüksekliğe ulaştığı ana kadar olan süreyi temel almaktadır. Şekil 4.6, orta kategoride kalkan uçağın pist meşguliyet süresi dağılımını göstermektedir. Olasılık dağılımı, 76,5 saniyelik ortalama ve 12,4 standart sapmaya sahip normal dağılım olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Sabiha Gökçen Havaalanı Giden Orta Ağırlıklı Uçak Pist Meşguliyet Süre Dağılımı

Kalkış yapan ağır uçakların pist meşguliyet süresi, Şekil 4.7'deki gibi beta olarak dağılmıştır. Beta dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x, \alpha, \beta)$ 'dir, burada α şekil parametresidir ve β değişkeni x 'in kuvvet fonksiyonudur. LTFJ'den kalkış yapan ağır uçakların tasarım günü pist meşguliyet süresi Beta olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak Eşitlik 4.2'de verilmiştir.

$$63.5 + 17 * Beta(x, 1.24, 0.84) \quad (4.2)$$

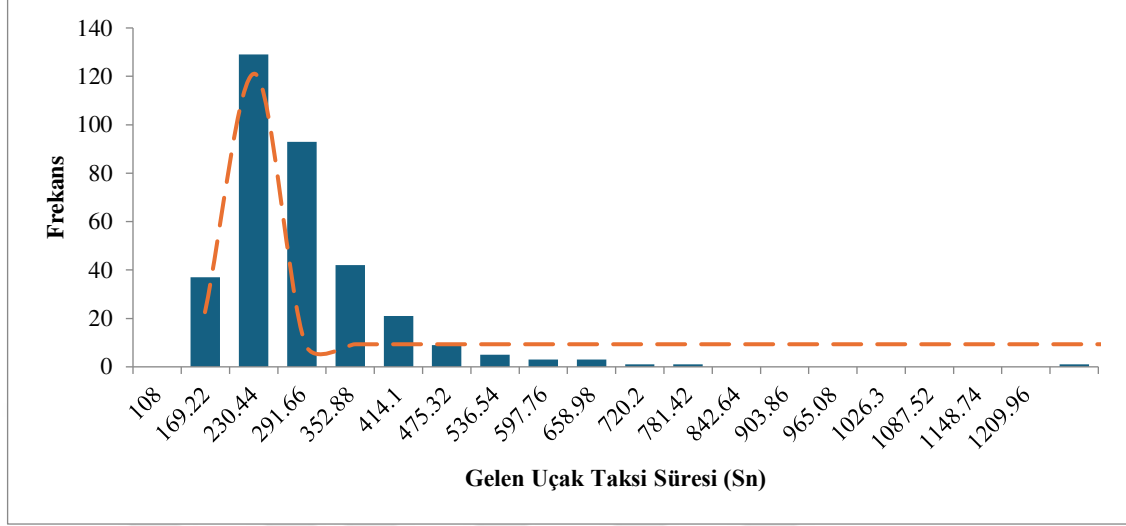


Şekil 4.7. Sabiha Gökçen Havalimanı Kalkış Yapan Ağır Uçak Pist Meşguliyet Süre Dağılımı

Taksi süresi istatistikleri için uçağın pistten çıktığı andan park pozisyonuna ulaştığı ve yer hızının "0" olduğu ana kadar geçen süre esas alınır. Doğal olarak bu sürede kalkış ve iniş için hangi pistin belirlendiği ve uçağa hangi park yerinin atandığı etkili olmaktadır. Havayolu işletmeleri, yer hizmetleri süreçlerini kolaylaştırmak için uçaklarının belirli park yerlerine konumlandırılmasını isteyebilmektedir. Aynı zamanda aktif pist, hakim rüzgar yönü ve şiddetine bağlı olarak değişebilmektedir. Elde edilen istatistiksel veriler gelen ve giden uçakların taksi süreleri olarak iki grupta incelenmiştir. Gelen uçakların taksi süresi, Şekil 4.8'deki gibi Gama olarak dağılmıştır. Gama dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x, \alpha, \beta)$ 'dir; burada α , x değişkeninin şekil parametresi ve β ,

oran parametresidir. LTFJ gelen uçağının taksi süresi gama olasılık yoğunluk dağılım fonksiyonunu Eşitlik 4.3'te verilmiştir.

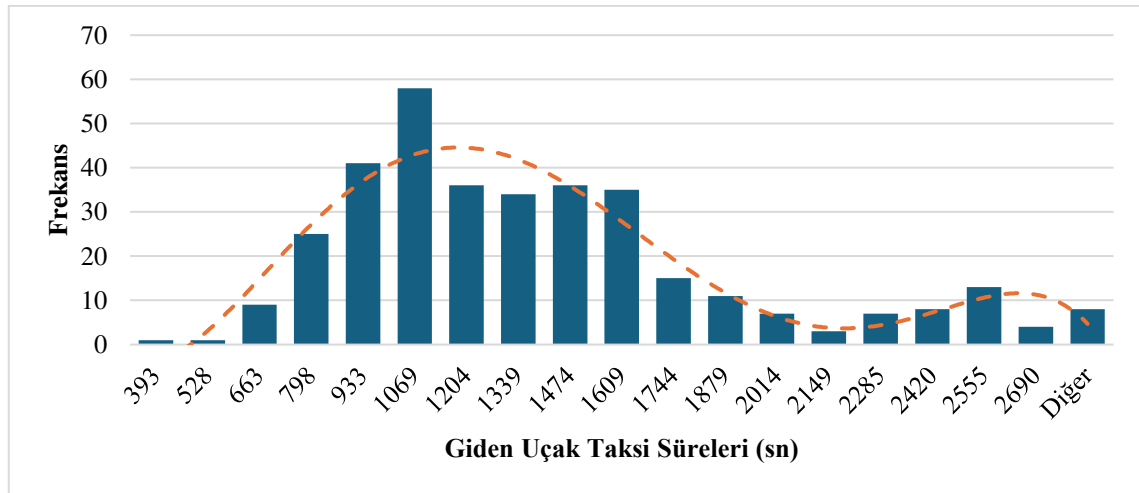
$$108 + \text{Gamma}(x, 60.5, 2.49) \quad (4.3)$$



Şekil 4.8. Sabiha Gökçen Havalimanı Gelen Uçak Taksi Süre Dağılımı

LTFJ'den belirlenen tasarım gününde giden uçakların taksi süre dağılımı Eşitlik 4.4'te verildiği gibi erlang olasılık yoğunluk fonksiyonu şeklinde dağılmıştır. Erlang dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x, k, \lambda)$ 'dır; burada k şekil parametresi ve λ oran parametresidir.

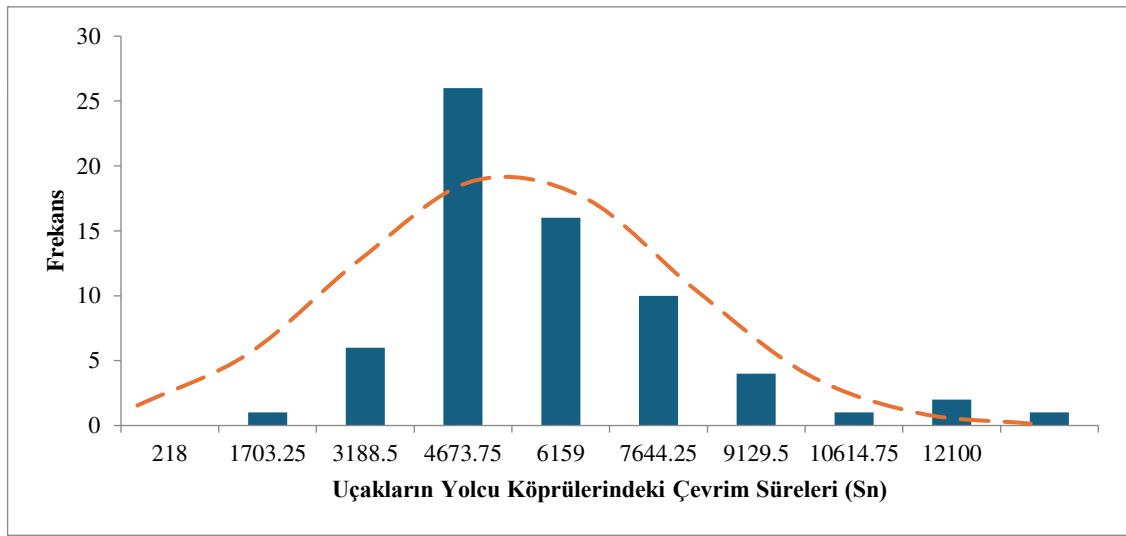
$$393 + f(x, 315, 3) \quad (4.4)$$



Şekil 4.9. Sabiha Gökçen Havalimanı Giden Uçak Taksi Süre Dağılımı

LTFJ'de apron alanı, köprü alanı ve açık park pozisyonlarından oluşmaktadır. Açık park alanı ve köprü süreçlerinde farklılıklar vardır. Yolcular açık park alanından otobüslerle terminale taşınırken, yolcular köprü sistemiyle doğrudan terminale girebilirler. Açık park pozisyonundaki yolcular genellikle uçağın ön ve arka çıkış

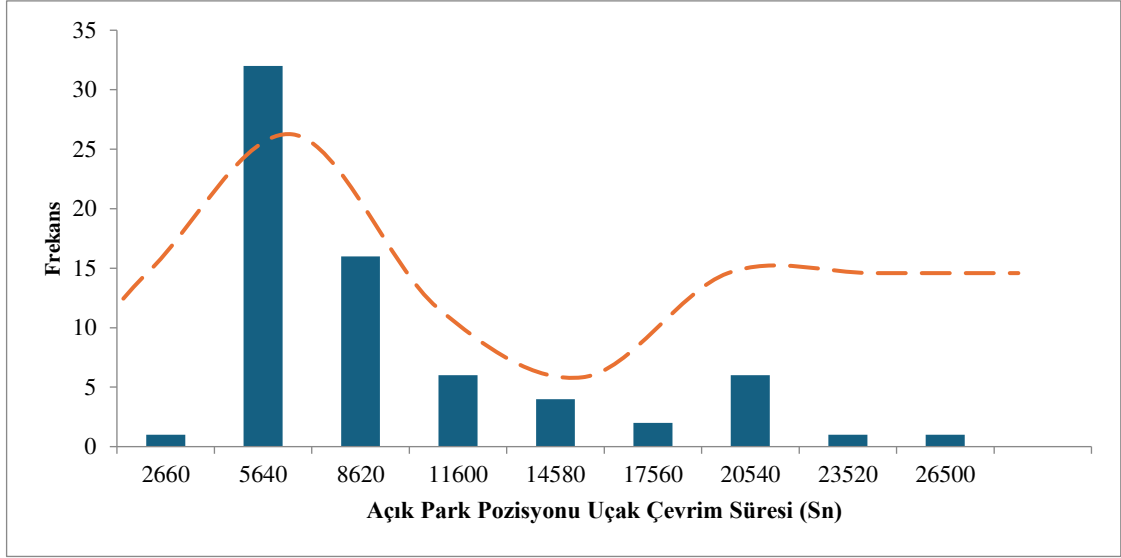
kapılarındaki merdivenlerden inerek uçaktan daha hızlı çıkabilirken, köprü sisteminde genellikle öndeki tek kapıdan çıkabilmektedirler. Ağır kategorisindeki uçaklar köprüdeyken, köprü sisteminin yapısına bağlı olarak yolcular iki veya daha fazla kapıdan terminale giriş yapabilmektedirler. Yükleme, boşaltma, yakıt ikmali, temizlik, elektrik desteği ve ikram servislerinin uçağa yüklenmesi gibi birçok faaliyet apron alanında gerçekleştirilir. LTFJ havalimanında uçakların köprü sisteminde geçirdiği süre Şekil 4.10'da verildiği gibi, 5190 saniye ortalama ve 2210 saniye standart sapma ile normal dağılımlı olduğu belirlenmiştir. Gece havaalanında konaklayan uçakların verileri istatistiklere dahil edilmemiştir.



Şekil 4.10. Sabiha Gökçen Havaalanı Yolcu Köprüsü Uçak Çevrim Süre Dağılımı

Apron açık alanında uçakların çevrim süresi, Şekil 4.11'de verildiği gibi Weibull olarak dağılmıştır. Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x, k, \lambda)$ 'dir, burada k şekil parametresidir ve λ değişkeni x in oran parametresidir. Tasarım günü açık park pozisyonundaki uçağın çevrim süresi Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak Eşitlik 4.5'te verilmiştir.

$$2660 + f(x, 5390, 0.98) \quad (4.5)$$



Şekil 4.11. Sabiha Gökçen Havaalanı Açık Park Pozisyonu Uçak Çevrim Süresi

4.1.1. Simülasyon Varsayımları

Simülasyon varsayımları aşağıdaki gibidir;

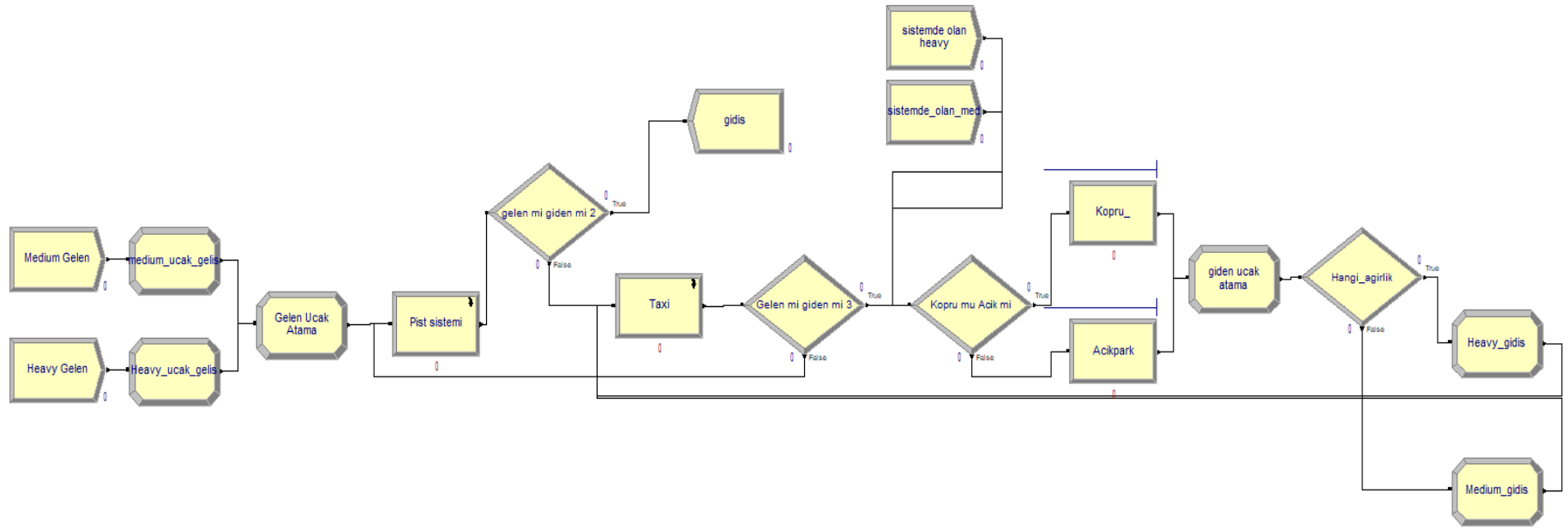
- Uçaklar, belirlenen günde planlanan uçuş programına uygun olarak gelir.
- Gelen uçuşlar önceden belirli bir kapıya atanmaz.
- Kapıda yükleme, boşaltma ve push-back gibi faaliyetlerin toplam süresi, çevrim süresi olarak kabul edilir.

- Meteorolojik koşullar modele yansıtılmamıştır.

- Havaalanı tasarım günü istatistikleri temel alınarak yolcu köprü alanı veya açık park pozisyon alanlarında park etme olasılıkları belirlenmiştir. Gelen trafiğin %48,4'ü yolcu köprü alanına park ederken, kalan %51,6'sı açık apron alanında park etmiştir.

4.1.2. Simülasyon Modelinin Uygulaması

Simülasyon deneyi için ARENA yazılımından yararlanılmıştır. Şekil 4.12'de Sabiha Gökçen Havaalanı hava tarafını simüle etmek için oluşturulan model gösterilmiştir. İlk olarak, gelen uçaklar ağırlıklarına göre ayrılır. Gelen uçak atama modülünde, uçağa “gelen uçak” olarak bir atama yapılır ve olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak her süreçte ne kadar zaman geçireceği tanımlanır. Daha sonra, pist sistemine giren uçak pistin sonunda taksi yapmaya başlar.



Şekil 4.12. Sabiha Gökçen Havaalanı Hava Taraflı Simülasyon Modeli

Pisti kullanacak uçağın havaalanına gelen veya giden bir uçak olmasına bağlı olarak pist kullanım süreleri değişmektedir. Gelen uçakların pist sürecine son yaklaşma da dahil edilmiştir. Geliş trafiğinde oluşabilecek yoğunluklarda, son yaklaşımdan önce bekleme yapılır. Uçağın her süreçte geçireceği zaman olasılıksal dağılımlarla belirlenmiştir. Gelen uçak atama modülüne damgalanır. Bunun nedeni, her süreçte gelen ve giden trafiğinin farklı dağılımlara sahip olmasıdır. Pist sisteminden sonra bir karar modülü yerleştirilmiştir. Gelen uçak taksi yapmaya devam eder, ancak giden uçak sistemden çıkar. Taksi sistemi için bir alt model oluşturulmuştur. Bunun nedeni, gelen ve giden uçuş taksi trafiğinde farklılıklar gözlemlenmesidir. Ayrıca, havalimanında geceyi geçiren bir uçak varsa, köprü veya açık apron sistemini kullanmak üzere 0 zamanında sisteme dahil edilir. Taksi sisteminden sonra uçağın kapı tercihi olasılıksal olarak köprü veya açık apron olarak karar modülü ile sağlanır. Sabiha Gökçen Havaalanında mevcut köprü ve açık park alanları dikkate alınarak seçim olasılığı belirlenmiştir.

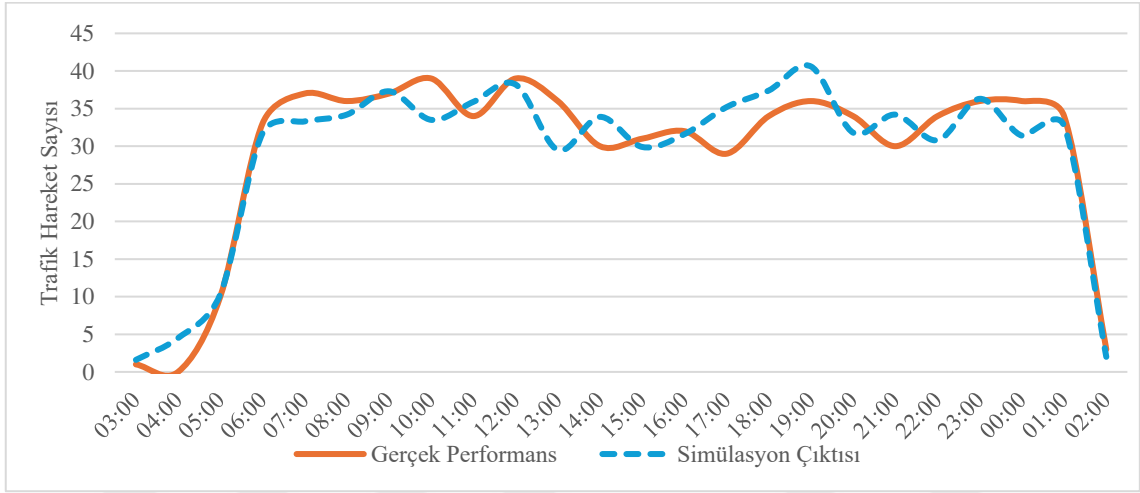
Veri girişi yapılırken, kapılar için açık park pozisyonunun ve uçağın köprüde durma sürelerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kapı süreci simülasyon modeline köprü ve açık park olarak yansıtılmıştır.

Park pozisyonundan ayrılan uçağa “giden uçak” ataması yapılmıştır. Giden uçağa yönelik elde edilen taksi ve pist meşguliyet süreleri atama modülünde uçağa tanımlanır, böylece taksi ve pist sürelerinde giden trafiğin gelen trafikten farklı sürelerde kaynak kullanımı yapması sağlanmış olur. Kalkış yapan uçak, taksi ve pist işlemlerini tamamladıktan sonra sistemden ayrılır.

4.1.3. Simülasyon Model Doğrulama

Modele ait istatistiksel veriler uçuşlar gözlemlenerek Fligtradar24 uygulamasından çıkarılmış ve elde edilen verilerle ve LTFJ hava tarafı simülasyon modeli tasarım gününde gerçekleşen uçuş saatleri temel alınarak test edilmiştir. Simülasyon modeli on kez çalıştırılarak ortalama saatlik trafik verileri elde edilmiştir. Şekil 4.13'te simülasyon modeli ortalama saatlik uçuş trafik hareket çıktıları ve gerçek uçuş trafiği hareket sonuçları gösterilmiştir. Simülasyon modelindeki uçakların süreçlerde geçirecekleri süreler elde edilen istatistiki dağılımlara dayanmaktadır. Orta ağırlıktaki uçakların yaklaşımda geçirdiği sürenin normal, gelen orta ağırlık trafiğin piste geçirdiği sürenin Erlang, kalkış yapan orta ağırlıktaki trafiğin Beta, gelen trafiğin taksi sürecinde geçirdiği sürenin Gama, giden uçağın taksi sürecinde geçirdiği sürenin Erlang, köprü sürecinde uçakların çevrim süresinin normal ve son olarak açık park pozisyonunda uçakların çevrim

sürelerinin weibull olasılıksal fonksiyonları olarak dağıldığı tespit edilmiş ve modele yansıtılmıştır. Gerçek uçuşlar ile simülasyon çıktıları arasında oluşan küçük farkın sebebi simülasyonda süreçlerin işlem süreleri olarak verilen dağılımlardan kaynaklanan rassallıklar olarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen simülasyon modelinin çıktıları ve gerçek uçuş performansı karşılaştırıldığında eğrilerin büyük olasılıkla birbirleri ile örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bu yönü ile Sabiha Gökçen simülasyon modelinin doğru çalıştığı söylenebilir.



Şekil 4.13. Sabiha Gökçen Havaalanı Tasarım Günü Gerçek Trafiğe Karşı Simülasyon Çıktısı

Sabiha Gökçen Havaalanının gerçekte oluşan trafik yoğunluğunu göstermek için Tablo 4.2 ve 4.3 oluşturulmuştur. Havada bekleyen uçak sayısının en yüksek olduğu anlar ve kalkıştan önce uçakların piste giriş sırasında taksi yolunda oluşturdıkları anlar için trafik sayıları ve en yüksek bekleme süreleri verilmiştir. Simülasyon modelinde de belirlenen anlarda havada ve yerdeki bekleyen trafiklerin sayısı ve en yüksek bekleme süreleri verilmiştir. Simülasyon modelinin 10 kez çalışma sonrası elde edilen bekleyen uçak sayılarının ortalaması alınmıştır. Simülasyon sonuçları ile gerçek bekleme sonuçlarının benzer değerler verdiği görülmüştür. Simülasyonda oluşan trafikler gözlemlendiğinde gerçekte oluşan bekleyen uçak sayısı ve süresinden daha düşük değerler elde edilmektedir. Bu durum daha önce sözü edilen ve simülasyonda dikkate alınan süreçlerin stokastik karakteristiğinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.2 *Sabiha Gökçen Havaalanı Tasarım Günü Havada Bekleme Doğrulaması*

Zaman	Havada Bekleyen (Holding Pattern) Uçak Sayısı	Simülasyonda Havada Bekleyen (Holding Pattern) Uçak Sayısı	Havada En Yüksek Bekleme Süresi (dk)	Simülasyon Havada En Yüksek Bekleme Süresi (dk)
11:47:14	7	6,2	30	22
18:00:22	7	5,8	29	25
21:07:58	7	6,5	19	18
21:41:31	6	6,2	18	17

Tablo 4.3 *Sabiha Gökçen Havaalanı Tasarım Günü Takside Bekleme Doğrulaması*

Zaman	Takside Bekleyen Uçak Sayısı	Simülasyonda Takside Bekleyen Uçak Sayısı	Takside Geçirilen En Yüksek Süre (dk)	Simülasyonda Takside Geçirilen En Yüksek Süre (dk)
09:50:48	11	7,9	25	22
11:57:01	12	9,8	42	34
21:24:23	11	8,6	47	34
24:11:45	12	9,4	45	40

Sabiha Gökçen Havaalanında gerçekleşen uçuş operasyonların 06.00 ile 01.00 arasında yoğunlaştığı gözlemlenmiş ve simülasyonda havaalanı trafik yoğunluğun etkisinin görülebilmesi amacıyla bu saatler temel alınarak çalıştırılmıştır.

4.1.4. Simülasyon Model Uygulama Sonuçları

Geliştirilen simülasyon modeli, havaalanı hava tarafındaki gelecekte oluşabilecek kapasite kısıt durumunu senaryolarla test etmek için kullanılmıştır. Aynı zamanda hava tarafı standart işlem süreleri literatürden derlenerek Sabiha Gökçen havaalanına uyarlanmıştır.

Simülasyon uygulamasında gerçek süreçlerin işlem süreleri elde edilen istatistiki dağılımlar temel alınarak benzetilmiştir. Temel senaryoda, tasarım günü ile aynı hava trafiği seviyesine sahip olduğu varsayılmıştır. Daha sonra, senaryolarda trafiğin sırasıyla %10, %20 ve %40 arttığı varsayılarak simülasyon her senaryo için 20 kez çalıştırılmıştır. Hava tarafındaki kapasite yetersizliğini belirlemek amacıyla, süreçlerde oluşan kuyruklar ve kaynak verimlilikleri referans alınmıştır. Her bir trafik tarafından havaalanında geçirilen ortalama süre ile iniş ve kalkış trafik sayıları Tablo 4.4'te verilmiştir. Köprü sistemini kullanan uçakların havaalanında daha az süre geçirdiği gözlemlenmiştir. Trafik arttıkça, bekleme sürelerinin trafikten dolayı uzadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.4. Senaryoların Simülasyon Trafik Çıktıları

	Havaalanında her bir orta ağırlık trafik tarafından geçirilen ortalama süre (dakika)	Gelen Trafik Sayısı	Giden Trafik Sayısı
Temel Senaryo	159,14	346,25	324,4
Senaryo 1 (%10)	167,11	379,65	355,7
Senaryo 2 (%20)	171,06	381	356,7
Senaryo 3 (%40)	243,58	469,95	384,45

Tablo 4.5, 4.6 ve 4.7, simülasyon sonucu elde edilen kuyruk verilerini göstermektedir. Havaalanına olan talebin artmasıyla birlikte, pist sistemi için oluşan kuyruğun önemli ölçüde artacağı görülmektedir. Çünkü son yaklaşma ve giden taksi için oluşan kuyruğun asıl sebebi, pist sisteminde meydana gelen yoğunluktur. Pist sisteminin yanı sıra, kapı (gate) sisteminin de yetersiz kalacağı gözlemlenmektedir. Burada apron alanı için oluşan kuyruk, taksi yolu veya kalkış kuyruğunu işgal ettiğinden havaalanının genelindeki süreçlerin anormal çalışmasına sebep olacaktır.

Tablo 4.5. Kuyruklarda Geçirilen Ortalama Süre (Dakika)

	Yaklaşma	Pist	Gelen Taksi	Giden Taksi	Köprü	Açık Park
Temel Senaryo	1,26	0,47	0	5,83	0	0
Senaryo 1 (%10)	2,24	0,54	0	12,84	0,02	0,05
Senaryo 2 (%20)	2,59	0,55	0	16,47	0,01	0,09
Senaryo 3 (%40)	7,96	3,54	0	79,73	0,07	1,55

Tablo 4.6. Kuyruklarda Ortalama Bekleyen Uçak Sayısı

	Yaklaşma	Pist	Gelen Taksi	Giden Taksi	Köprü	Açık Park
Temel Senaryo	0,38	0,27	0	1,77	0	0
Senaryo 1 (%10)	0,75	0,34	0	4,21	0	0,01
Senaryo 2 (%20)	0,87	0,35	0	5,48	0	0,02
Senaryo 3 (%40)	3,32	2,65	0	31,28	0	0,5

Tablo 4.7. Kuyruklarda En Yüksek Bekleyen Sayıları

	Yaklaşma	Pist	Gelen Taksi	Giden Taksi	Köprü	Açık Park
Temel Senaryo	9	7	0	24	0	1
Senaryo 1 (%10)	14	7	0	30	4	8
Senaryo 2 (%20)	20	7	0	39	2	8
Senaryo 3 (%40)	26	56	0	97	3	19

Kingman'ın (1961) önerisine göre, kullanım oranı arttıkça kuyruk ve bekleme süresi üstel olarak artar. Özellikle %60'ın üzerindeki oranlar, kapasite yoğunluğunun gelecekte daha da artabileceğine işaret etmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre, LTFJ (Sabiha Gökçen Havalimanı) havaalanına olan talep arttıkça, hizmet süresinin sabit kaldığı ve gelişlerin sabit olmadığı göz önünde bulundurulduğunda, pist ve apronun yetersiz kalacağı öngörülmektedir. Tablo 4.8'de hava tarafı kaynak kullanım oranları verilmiştir. Var olan durumu simgeleyen temel senaryoda bile yaklaşma, giden taksi ve açık park kaynak kullanım oranlarının %60 ve üstü olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.8. Havaalanı Hava Tarafı Kapasite Kullanım Oranları (%)

	Yaklaşma	Pist	Gelen Taksi	Giden Taksi	Köprü	Açık Park
Temel Senaryo	64	50	16	80	42	60
Senaryo 1 (%10)	70	55	18	88	46	68
Senaryo 2 (%20)	71	56	18	88	46	70
Senaryo 3 (%40)	87	68	22	95	56	84

LTFJ (Sabiha Gökçen Havalimanı) havaalanında gelecekteki talep artışları durumunda mevcut kaynaklarla kuyrukların daha da artacağı belirlenmiştir. Senaryoların uygulanması sonucunda ortaya çıkan yüksek kullanım oranları, havaalanında kapasite kısıtlarının meydana gelebileceğini göstermektedir. Özellikle pist ve apron sistemlerinin yetersizliği nedeniyle gelecekte gecikmelerin artarak devam etmesi beklenmektedir.

4.2. Sabiha Gökçen Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Araştırma Modeli

Sabiha Gökçen Havaalanı hava tarafı kapasite iyileştirmeleri önceliklendirme modeli ANP-BCR yapısı temel alınarak oluşturulmuştur. ANP'de çok kriterli karar verme yönteminin doğası gereği önceliklendirmeyi etkileyecek olan gruplar AHP'deki gibi hiyerarşik bir yapı yerine ilişkilere dayalı bir ağ oluşturularak incelenmiştir. ANP yöntemini uygulamak için uzmanlardan veri edinmek amacıyla oluşturulan görüşme formu, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemine dayanmaktadır. AHP yönteminde alternatiflerin skorlarını elde etmek için tüm alternatiflerin birbirleri ile ikili

karşılaştırmasının yapılması, karar vericilerin çok zamanını almaktadır. Çalışmada BMW tabanlı ANP'nin uygulanma amacı, karar vericilere çok daha az sayıda soru sorarak daha tutarlı sonuçlar elde edebilmektir. Karar vericilerin dilsel değerlendirmelerini en iyi şekilde yansıtabilmek amacı ile bulanık mantıktan yararlanılmış ve grup karar verme yöntemi uygulanmıştır. Bulanık mantık, insanların değerlendirmelerini hesaplamalara daha iyi yansıtabilmek amacı ile geliştirilmiştir (Zadeh, 1965). Bulanık BMW yöntemi ilk olarak Guo ve arkadaşları (2017) tarafından geliştirilmiştir. Çalışmada birden fazla karar verici, sürece dahil edilmiştir. Bu nedenle grup karar verme söz konusu olup ANP içerisindeki ağırlıkları belirlemede Amiri ve arkadaşlarının (2020) geliştirdiği hibrit yaklaşım kullanılmıştır.

Sabiha Gökçen havalimanı hava tarafı kapasite iyileştirme önceliklendirme modeli simülasyon sonuçları, uzman görüşleri ve literatür çıkarımları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Araştırma modelinde stratejik kriterler olarak fayda modelinde amaç kapasite artırımı olarak belirlenmiştir. Maliyet stratejik kriteri ile önerilen kapasite iyileştirme önerilerinin uygulanması durumunda ortaya çıkacak finansal maliyetler ve iyileştirme sürelerinin en küçüklenmesi hedef alınmıştır. Risk modelinde ise Sabiha Gökçen Havaalanı hava tarafı iyileştirme alternatiflerinin uygulanması durumunda ortaya çıkabilecek çevresel, finansal, yasal ve süreç risklerinin azaltılması hedeflenmiştir.

Fayda modeli alt kriterler, kısıtlar ve alternatif çözümler olmak üzere 3 gruptan oluşmaktadır. İlk olarak hava tarafı kapasitesi dört farklı şekilde ele alınabileceğinden alt kriterler pist kapasitesi, apron kapasitesi, taksi yolu kapasitesi ve yaklaşma kapasitesi olarak belirlenmiştir. Pist, apron, taksi yolu ve yaklaşma kapasiteleri birbirlerini etkileyebilmektedir. İkili olarak değerlendirildiğinde ortaya çıkan bu etkinin yönünü ve hangi elemanlar arasında oluştuğunu belirleyebilmek adına daha önceden de modellenen hava tarafı simülasyon modelinden yararlanılmıştır.

Hava tarafı pist, apron, taksi yolu ve yaklaşma kapasitelerinin birbirlerine olan etkileri, 4 farklı senaryo ile test edilmiştir. Geliştirilen senaryolarda Sabiha Gökçen havaalanının tasarım günü istatistiklerine dayanarak işlem süreleri belirlenmiş ve 24 saatlik uçuş programı temel alınarak çalıştırılmıştır. Tablo 4.9 ve 4.10'da geliştirilen senaryo süreçlerinde oluşan kuyruk bilgileri verilmiştir. İlk senaryoda (senaryo 4) pist kapasitesi %100 artırılarak diğer süreçlerdeki etkisi gözlemlenmiştir. İkinci senaryoda (senaryo 5) apron açık park ve köprü kapasitelerinin %50 artırılmasının diğerlerine olan etkisi test edilmiştir. Senaryo 6 ile taksi kapasitesinin %50 artırılmasının diğer hava tarafı

süreçlerine olan etkisi gösterilmiştir. Senaryo 7 ile yaklaşma kapasitesinin %50 artışının diğer senaryolara olan etkisi incelenmiştir.

Tablo 4.9. Hava Tarafı İçin Geliştirilen Senaryoların Kuyrukta Ortalama Bekleme Süreleri (dk)

	Açık Park	Taksi	Köprü	Pist	Yaklaşma
Temel Senaryo	0,054	0,057	0	0,496	1,3
Senaryo 4	0	0,052	0	<u>0,2</u>	1,52
Senaryo 5	<u>0</u>	0,06	<u>0</u>	0,496	1,29
Senaryo 6	0	<u>0</u>	0	0,52	1,25
Senaryo 7	0	0,05	0	0,5	<u>1,11</u>

Tablo 4.10. Hava Tarafı İçin Geliştirilen Senaryoların Kuyrukta Ortalama Bekleyen Sayıları

	Açık Park	Taksi	Köprü	Pist	Yaklaşma
Temel Senaryo	0,011	0,015	0	0,257	0,339
Senaryo 4	0	0,014	0	<u>0,045</u>	0,4
Senaryo 5	<u>0</u>	0,017	<u>0</u>	0,257	0,338
Senaryo 6	0	<u>0</u>	0	0,27	0,32
Senaryo 7	0	0,016	0	0,259	<u>0,029</u>

Hava tarafı etki testleri sonucu olarak Tablo 4.11’deki etki matrisi elde edilmiştir. Matris soldan sağa okunmakta ve “X” değeri etkinin var olduğunu temsil etmektedir. Bu anlamda bakıldığında örnek olarak pist kapasitesi yaklaşmayı etkiler diyebiliriz.

Tablo 4.11. Fayda ağı alt kriterler etki matrisi

Etki matrisi	Pist	Apron	Taksi Yolu	Yaklaşma
Pist		0	0	X
Apron	0		X	0
Taksi Yolu	0	0		0
Yaklaşma	0	0	0	

Belirlenen darboğazların üstesinden gelmek amacıyla ne gibi iyileştirmeler yapılabileceği konusunda uzmanlardan görüş alınarak ve literatür taraması yapılarak çözüm seçenekleri geliştirilmiştir.

Fayda matrisinin ikinci grubu olarak Sabiha Gökçen Havaalanı’nın hava tarafı kapasite kısıtlayıcıları belirlenmiştir. Kısıtlar belirlenirken, uzman görüşlerinden ve gözlemlerden faydalanılmıştır. Bu doğrultuda aşağıdaki kısıtlar belirlenmiştir;

- Yüksek pist meşguliyet süresi

- Olumsuz hava koşulları
- Apron alanının yetersizliği
- Havalimanı işletmesi ile yer hizmetleri işletmesi koordinasyonsuzluğu
- Alternatif taksi yollarının olmaması
- Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması
- HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi
- Pist yaklaşımlarında kuş problemi

Sabiha Gökçen Havaalanı'nda tek pist kullanımından ve yüksek trafik hacminden dolayı simülasyondan da elde ettiğimiz veriler sonucunda yüksek pist meşguliyet süresinin büyük bir kısıt oluşturduğu görülmüştür. İstanbul, coğrafi konumu ve iklimi ile yılın büyük bir zamanında uçuşa elverişli havalara sahip olsa da özellikle kış aylarında oluşan kar yağışı ve düşük görüş nedeni ile havaalanı kapasitesi olumsuz etkilenebilmektedir. Aynı zamanda ara sıra oluşabilen yan rüzgâr da pist ve taksi yolu kapasitesini etkilemektedir. Apron alanı dolu olduğu zamanlarda, özellikle yoğun trafik olduğu saatlerde uçakların havada bekletilmesi söz konusu olabilmekte ve giden trafiğe daha çok ağırlık verilmektedir. Apron alanındaki operasyonlarda, köprülerde olan uçaklar pushback hizmetleri ile geri çıkabilmektedir. Manevra alanının yetersiz olması pilot ve yer hizmetleri operasyon memurunun aynı zamanda pushback operatörünün iletişimde olmasını gerekli kılmaktadır. Bu gibi durumlarda oluşan iletişim sorunları operasyonlarda gecikmelere sebep olmaktadır.

Yoğun trafik saatlerinde özellikle kalkış izninin 24R pistinden verildiği durumlarda, kalkışta bekleyen uçak kuyruğunda artış olduğunda aprondan taksi yoluna çıkışlar engellenebilmektedir. Alternatif bir taksi yolunun olmayışı nedeni ile kapasite kısıtlanabilmektedir.

Sabiha Gökçen Havaalanı slot koordinasyonu ile faaliyet gösteren bir havaalanıdır. Diğer bir deyişle kapasite kısıtlı bir havaalanı olduğu için havayolu işletmelerinin operasyonlarını kalkış ve inişlerini haftada belirli günlerde belirli saat aralıklarında yapabilecekleri anlamına gelir. Havayolu işletmeleri bu saatlere sıkı bir şekilde uyamamaktadırlar. Aynı zamanda havayolu işletmelerinin slotları da özellikle belli saatlerde yoğunlaşabilmektedir. Ortaya çıkan bu trafik yığılmaları kuyruk oluşumunu artırabilmekte ve kapasite kısıtı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Havalimanı operasyonlarının birçok faaliyetlerinde pilot ve hava trafik kontrolörleri (HTK) iletişimde ve koordinasyon halinde olması gerekmektedir. HTK'lar

havaalanı trafiğini etkili ve verimli şekilde yönetmekten sorumludurlar. Trafiği düzenlemek adına verilen HTK talimatlarının pilotlar tarafından en uygun sürede yerine getirilmesi havaalanı operasyonlarının gecikmemesi için çok önemlidir. Talimatlara en kısa sürede doğru bir şekilde tepki verilmemesi hem emniyetsiz bir durum ortaya çıkarmakta hem de kapasitenin olumsuz bir şekilde etkilenmesine neden olmaktadır.

Sabiha Gökçen Havaalanı kapasitesini etkileyen bir diğer durum ise özellikle bahar aylarında ve kuş göç zamanlarında ortaya çıkan kuş çarpması riskidir. Özellikle son yaklaşmalarda havaalanı çevresinde kuş mevcudiyeti operasyonlarda potansiyel tehlike oluşturmaktadır. Kuş çarpması durumunda olayın şiddetine bağlı olarak havalimanı operasyonları etkilenebilmekte ve gecikmeler yaşanabilmektedir.

Hava tarafı kapasite kısıtlayıcılarından bazıları diğerlerini etkileyebilmektedir. Bu etki durumu incelendiğinde Tablo 4.11'deki matris elde edilmiştir. Matristeki ilk sütundan yüksek pist meşguliyet süresini; olumsuz hava koşullarının, havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmamasının ve HTK-pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesinin etkilediği çıkarımı yapılabilir.

Tablo 4.12. Kısıtlar Etki Matrisi

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1. Yüksek pist meşguliyet süresi	0	0	0	0	0	0	X	0
2. Olumsuz hava koşulları	X	0	0	0	0	0	0	0
3. Apron alanının yetersizliği	0	0	0	X	0	0	0	X
4. Havalimanı işletmesi yer işletmesi koordinasyonsuzluğu	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Alternatif taksi yollarının olmaması	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması	X	0	X	0	0	0	0	0
7. HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi	X	0	X	0	0	0	0	0
8. Pist yaklaşmalarında kuş problemi	0	0	0	0	0	0	0	0

Sabiha Gökçen Havaalanında kapasite kısıtlayıcı durumların üstesinden gelmek için ortaya atılan çözüm yöntemleri uzman görüşleri ve literatürde önerilen çözümlerden geliştirilmiştir (Berster ve diğerleri, 2015, 2019; Gelhausen ve diğerleri, 2019). Önerilen iyileştirmelerden bazıları tek kısıta çözüm getirebilirken bazıları birden çok kısıtta iyileştirmeler sağlayabilmektedir. Sabiha Gökçen Havaalanı kapasite kısıtlarını iyileştiren çözüm alternatifleri aşağıda verilmiştir;

- Bağımsız paralel bir pistin inşası
- Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi

- Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi
- Apron yönetim sistemlerinin kullanımı (A-VDGS, marshaling olmadan park edebilme)
- Alternatif taksi yollarının oluşturulması
- Havaalanı şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenlemesi
- HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi
- EUROCONTROL A-CDM (Airport- Collaborative Decision Making) yapısının kurulması
- Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması
- Kuş çarpması tehlike yönetimi

Geliştirilen iyileştirme önerilerinin uygulamaları için ortaya bir finansal maaliyet çıkmakta ve belli bir süre gerekmektedir. Aynı zamanda önerilen iyileştirme alternatiflerinin uygulanması esnasında ortaya çevresel, finansal, yasal ve süreçsel riskler çıkabilmektedir. Kapasite iyileştirme çözüm alternatiflerinin önceliklendirilebilmesi için ortaya çıkabilecek maliyet ve risklerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu bağlamda öncelikleri belirlemede kullanılan ANP BCR yapısı sayesinde havaalanı kısıtlarının ve çözüm önerilerinin ilişkileri de hesaba katılarak, kapasite artırımını enbüyükleyen; maliyeti ve riski enküçükleyen bir model geliştirilmiştir.

Kapasite artırım modelinde 4 farklı grup oluşturulmuştur ve aralarında ağ şeklinde ilişkiler mevcuttur. Maliyet ve risk modelinde ise gruplar arasında hiyerarşik bir ilişki olduğu verilmiştir. Bunun nedeni alt kriterlerin birbirini etkilemeleri veya alternatiflerin birbirlerini nasıl ve ne derecede etkilediğinin kestirilmesinin çok zor oluşudur.

4.3. Sabiha Gökçen Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Karar Destek Sistem Model Uygulaması

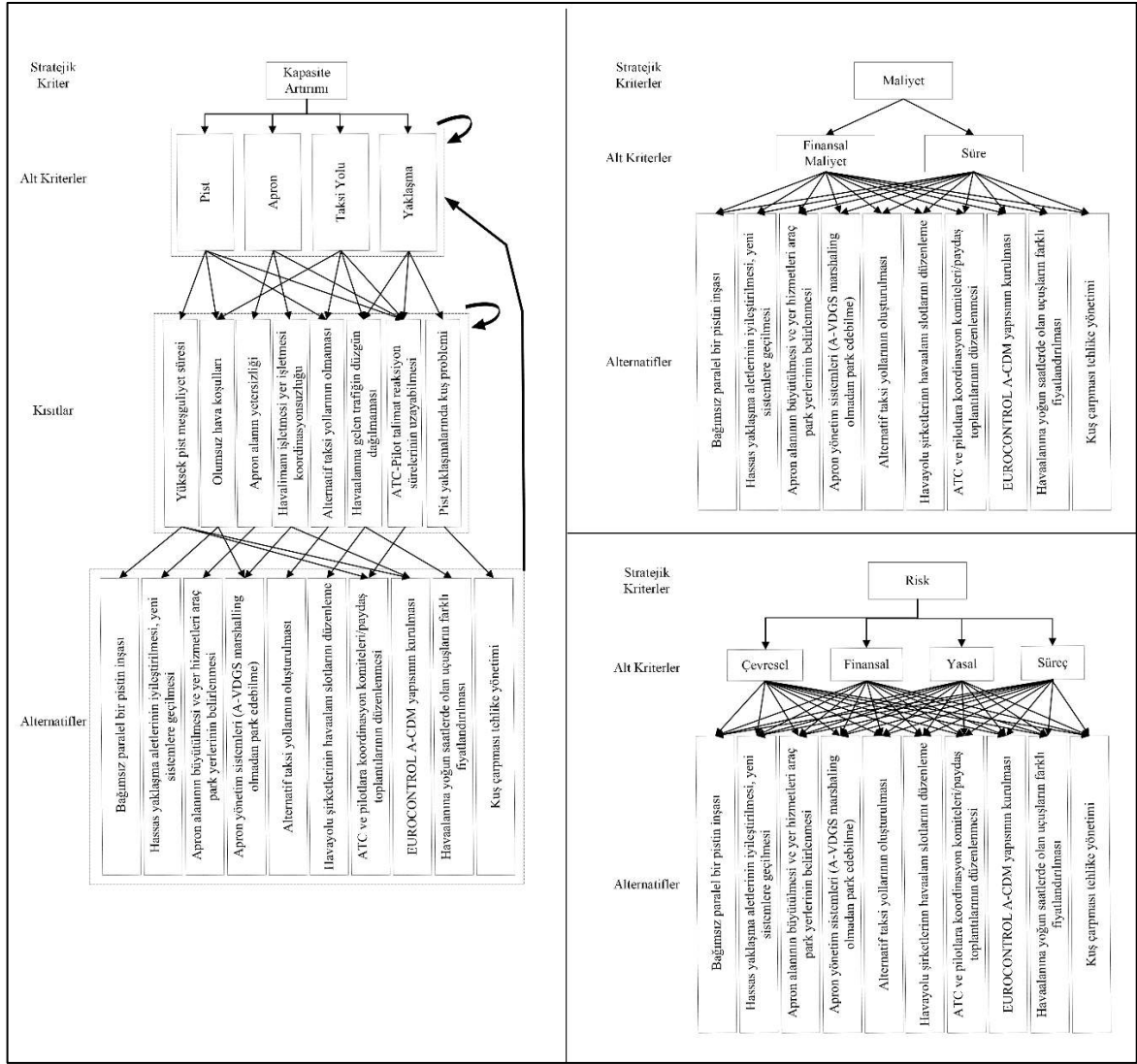
Yapılacak bu çalışmada uzmanlardan ve/veya karar vericilerden elde edilen veriler sonrasında başlık 3.4'te verilen metodoloji uygulanarak hava tarafı kapasite geliştirme çözümlerinin skorları elde edilmiştir. Fayda, Maliyet ve Risk perspektifinden bakılarak üç farklı ağ için de ANP yöntemi uygulanmıştır. Böylece her bir kapasite iyileştirme uygulama genel skoru elde edilmiştir.

Araştırma uygulamasını yapabilmek için kullanılan verilerin bir kısmı görüşme yöntemi ile Sabiha Gökçen Havaalanı hava tarafında tecrübe sahibi 4 uzmandan alınmıştır. Görüşme formu, Şekil 4.14’te verilen araştırma modelindeki ağlar, aralarındaki ilişkiler ve kümelerin kendi içerisinde olan etki ilişkileri dikkate alınarak hazırlanmıştır. Ek 1’de uzmanlara uygulanan görüşme formu verilmiştir. Görüşme yapılan uzmanların meslekleri ve havacılık deneyimleri Tablo 4.13’te sunulmuştur.

Tablo 4.13. *Görüşme Formu Uygulanan Uzmanların Meslekleri ve Deneyimleri*

	Mesleği	Havacılık Deneyimi (yıl)
Uzman 1	Hava Trafik Kontrolörü (HTK)	14
Uzman 2	Hava Tarafı Yöneticisi	21
Uzman 3	Kaptan Pilot	20
Uzman 4	Apron Memuru	7

Yüz yüze yapılan görüşmelerden elde edilen veriler Tablo 3.1’deki ölçek kullanılarak üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Model 3.9’da verilen GBWM-FPP modeli MATLAB uygulaması kullanılarak süper matristeki ağırlıklar elde edilmiştir. Çözülen her bir problemdeki ξ değerinin [0-1] aralığında olduğuna bakılarak karar verici değerlendirmelerinin tutarlı olup olmadığı gözlemlenmiştir ve tutarsız cevaplar değerlendirmeden çıkarılmıştır. Fayda stratejik alt kriteri çerçevesinde oluşturulan ANP süpermatrisi Tablo 4.14’te verilmiştir. ANP uygulama adımları çerçevesinde süpermatrisin limitini elde edebilmek için Markov sürecine dahil olması gerekmektedir. Bu nedenle süpermatris her bir sütunun toplamı 1 olacak şekilde normalleştirilmiştir (ağırlıklandırılmıştır). Limit matrisi elde edebilmek için yine MATLAB kullanılarak matrisin satır elemanları eşitleninceye kadar kuvveti alınmıştır. Limit matris, Tablo 4.15’te gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Sabiha Gökçen Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Modeli

Tablo 4.14. *Fayda (Kapasite Artırımı) ANP Süpermatrisi*

	Pist	Apron	Taksi Yolu	Yaklaşma	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10
Pist	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.23	0.17	0.14	0.14	0.28	0.28	0.27	0.23	0.24
Apron	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.14	0.43	0.52	0.25	0.30	0.26	0.27	0.28	0.15
Taksi Yolu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.14	0.22	0.17	0.43	0.10	0.16	0.11	0.13	0.17
Yaklaşma	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.48	0.18	0.17	0.19	0.31	0.30	0.35	0.35	0.44
K1	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2	0.18	0.00	0.14	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K3	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K4	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K5	0.19	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K6	0.00	0.00	0.12	0.47	0.51	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K7	0.18	0.22	0.19	0.23	0.23	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K8	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ç10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 4.15. *Fayda (Kapasite Artırımı) ANP Limit Süpermatrisi*

	Pist	Apron	Taksi Yolu	Yaklaşma	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10
Pist	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Apron	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Taksi Yolu	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Yaklaşma	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
K1	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
K2	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
K3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
K4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K5	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
K6	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
K7	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
K8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ç1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Ç2	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Ç3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Ç4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ç5	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Ç6	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Ç7	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Ç8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ç9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ç10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Tablo 4.15’te verilen limit matris sonrasında kapasite iyileştirme açısından alt kriterlerin, kısıtların ve alternatif çözümlerin ağırlıkları Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.16. Fayda Modeli (Kapasite Artışı) Ağırlıkları

Alt Kriterler	Kısıtlar	Çözüm Önerileri
Pist 32.1%	K1 Yüksek pist meşguliyet süresi 18.9%	Ç1 Bağımsız paralel bir pistin inşası 8.2%
Apron 29.2%	K2 Olumsuz hava koşulları 9.4%	Ç2 Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi 11.3%
Taksi Yolu 15.2%	K3 Apron alanının yetersizliği 18.7%	Ç3 Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi 13.4%
Yaklaşma 23.6%	K4 Havalimanı işletmesi yer işletmesi koordinasyonsuzluğu 2.2%	Ç4 Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshaling olmadan park edebilme) 2.8%
	K5 Alternatif taksi yollarının olmaması 9.0%	Ç5 Alternatif taksi yollarının oluşturulması 12.9%
	K6 Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması 20.4%	Ç6 Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme 24.3%
	K7 HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi 19.5%	Ç7 HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi 15.4%
	K8 Pist yaklaşmalarında kuş problemi 1.8%	Ç8 EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması 4.3%
		Ç9 Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması 4.9%
		Ç10 Kuş çarpması tehlike yönetimi 2.6%

Maliyet ve risk modeli için kapasite artışı gibi bir ağ yapısı söz konusu olmadığından çözüm alternatif ağırlıklarını belirlemek için doğrudan GBWM-FPP yöntemi kullanılmıştır. Kapasite iyileştirme önerilerinin uygulanması için ihtiyaç duyulan maliyet ve süre tahmini verileri 2024 yılı Eylül ayında yapay zeka tabanlı bir dil modeli olan ChatGPT-4o modelinden elde edilmiştir. Risk modelinde kullanılan veriler uzmanlara sorularak görüşme formundan elde edilmiştir. Önerilen kapasite iyileştirme uygulamalarının maliyet modeli yerel ve küresel ağırlıkları Tablo 4.17’de verilmiştir. Risk açısından değerlendirilen çözüm öneri alternatiflerinin ağırlıkları ise Tablo 4.18’de verilmiştir.

BCR konseptine göre üç farklı ağ yapılandırılmıştır ve bu ağlara göre hangi alternatifin en faydalı, hangisinin en tehlikeli (riskli) ve hangisinin en maliyetli (en-küçüklenecek özellikler) olduğu tespit edilir. Bu üç ağın her biri için elde edilen ağırlıklarına bağlı olarak alternatiflerin ağırlıkları belirlenir. Her bir çözüm alternatifi için genel öncelik değerlendirme değeri P , çarpımsal formül olarak Eşitlik 4.6 ve toplamalı formül olarak Eşitlik 4.7’deki gibi elde edilir.

$$P = B/(C * R) \quad (4.6)$$

$$P = B + (1/C) + (1/R) \quad (4.7)$$

Tablo 4.17. Maliyet Modeli Ağırlıkları

Boyut	Ağırlık	Alternatif	Yerel Ağırlıklar	Boyut	Ağırlık	Alternatif	Yerel Ağırlıklar	Maliyet Küresel Ağırlıkları	Maliyet Küresel Ağırlık Sıralamaları
Finansal Maliyet	25.8 %	Ç1	22.04%	Süre	74.2 %	Ç1	20.63%	21.00%	1
		Ç2	17.14%			Ç2	6.88%	9.53%	4
		Ç3	21.45%			Ç3	16.05%	17.45%	2
		Ç4	7.35%			Ç4	6.88%	7.00%	5
		Ç5	7.35%			Ç5	6.88%	7.00%	6
		Ç6	4.39%			Ç6	19.76%	15.79%	3
		Ç7	2.45%			Ç7	2.29%	2.33%	10
		Ç8	7.35%			Ç8	6.88%	7.00%	7
		Ç9	3.14%			Ç9	6.88%	5.91%	9
		Ç10	7.35%			Ç10	6.88%	7.00%	8

Tablo 4.18. Risk Modeli Ağırlıkları

Çevresel										
Boyut										
Ağırlık	19.12%									
Alternatif	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10
Yerel Ağırlıklar	23.68%	10.29%	13.54%	3.42%	15.90%	6.69%	6.15%	3.75%	4.36%	12.22%
Yerel Sıralamalar	1	5	3	10	2	6	7	9	8	4
Finansal										
Boyut										
Ağırlık	25.66%									
Alternatif	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10
Yerel Ağırlıklar	18.77%	17.75%	13.39%	7.32%	12.43%	9.31%	4.19%	2.39%	7.60%	6.85%
Yerel Sıralamalar	1	2	3	7	4	5	9	10	6	8
Yasal										
Boyut										
Ağırlık	24.16%									
Alternatif	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10
Yerel Ağırlıklar	23.05%	15.15%	15.07%	5.67%	12.38%	7.43%	3.96%	6.76%	5.16%	5.37%
Yerel Sıralamalar	1	2	3	7	4	5	10	6	9	8
Süreç										
Boyut										
Ağırlık	31.06%									
Alternatif	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10
Yerel Ağırlıklar	21.90%	14.49%	11.71%	6.53%	12.07%	5.40%	7.78%	9.92%	5.11%	5.09%
Yerel Sıralamalar	1	2	4	7	3	8	6	5	9	10
Risk Küresel Ağırlıkları	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10
	21.7%	14.7%	13.3%	5.9%	13.0%	7.1%	5.6%	6.0%	5.6%	7.0%
Risk Küresel Sıralamalar	1	2	3	8	4	5	9	7	10	6

Alternatif çözümlerin fayda, maliyet ve risk modellerinde elde ettikleri değerleri kullanarak Eşitlik 4.6 ve 4.7'yi uyguladığımızda Tablo 4.19'daki sonuçlar elde edilir.

Tablo 4.19. *BWM Tabanlı BCR-ANP Sonrası Elde Edilen Genel Çözüm Öncelik Değerleri*

		Fayda	Maliyet	Risk	Genel [(B/(C*R))]	Sırala ma	Genel [B+(1/C)+(1/R)]	Sırala ma
Ç1	Bağımsız paralel bir pistin inşası	8%	21%	22%	1.804	10	9.4500034	10
Ç2	Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi	11%	10%	15%	8.046	6	17.417563	8
Ç3	Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi	13%	17%	13%	5.763	8	13.383066	9
Ç4	Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshaling olmadan park edebilme)	3%	7%	6%	6.639	7	31.179271	3
Ç5	Alternatif taksi yollarının oluşturulması	13%	7%	13%	14.234	4	22.127569	6
Ç6	Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme	24%	16%	7%	21.568	2	20.582179	7
Ç7	HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi	15%	2%	6%	117.395	1	60.797766	1
Ç8	EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması	4%	7%	6%	10.108	5	30.867616	4
Ç9	Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması	5%	6%	6%	14.643	3	34.765934	2
Ç10	Kuş çarpması tehlike yönetimi	3%	7%	7%	5.342	9	28.658572	5

Genel öncelik değerlerini bulduktan sonra Adım 4'teki alt adımlar takip edilerek aralık tabanlı gruplandırma işlemleri yapılmıştır. Literatür incelendiğinde ANP-BCR modelini kullanan çalışmaların genel skorlarını hesaplamada çarpımlı ve toplamalı formüllerden yararlandıkları gözlemlenmiştir. Özdemir ve arkadaşları (2020) ve Ravazi ve Samani (2012) çalışmalarında toplamalı formülden yararlanmıştır. Hassasiyet analizinde geliştirilen senaryolarda fayda, maliyet ve risk ağırlıklarının değişmesi sonucu genel skorda alternatifler arasındaki farkın toplamalı formülde daha belirgin olması nedeniyle gruplandırma işlemi için toplamalı formülden elde edilen değerler kullanılmıştır. Çözümlerin tamamının 3 aşamada tamamlanacağı varsayılmıştır. Gruplandırma yapılırken elde ettikleri skorların yanı sıra önerilen kapasite iyileştirme uygulamasının durumuna bağlı olarak önce yapılması gereken iyileştirme daha önceki gruba dahil edilebilir. Yapılan hesaplamalar sonrasında Tablo 4.20'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.20. Aralık Değerli Gruplandırma

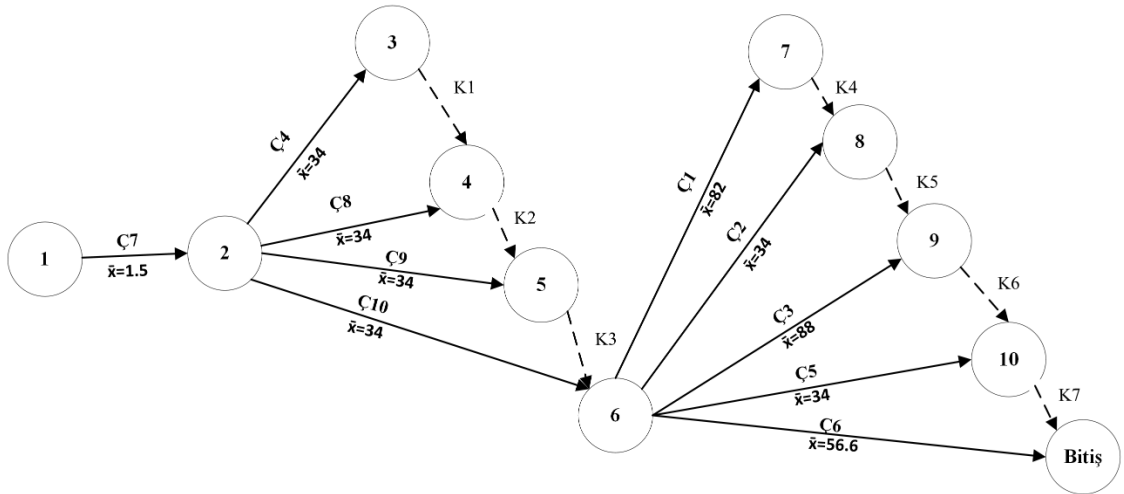
Gruplar	Aralık Değerleri	Öncelik Değerleri	Çözümler
Grup 1	[43.6818, 60.7977]	60.7977	Ç7
Grup 2	[26.5659, 43.6818)	28.6586, 30.8676, 31.1793, 34.7659	Ç9, Ç4, Ç8, Ç10
Grup 3	[9.45, 26.5659)	9.45, 13.3831, 17.4176, 20.5822, 22.1276	Ç5, Ç6, Ç2, Ç3, Ç1

Belirlenen grup sırasına göre iyileştirmeler önceliklendirilmiştir. İyileştirmelerin en iyimser (a), en kötümser (b) ve en olasılıklı (m) süreleri kullanılarak elde edilen iyileştirmenin beklenen ortalama uygulama süresi ($\bar{x}$) ve varyansı (s^2) ile PERT yöntemi uygulanmış ve Tablo 4.21 elde edilmiştir.

Tablo 4.21. Kritik Yolun Bulunması ve PERT Uygulanması İçin Gereken Veriler

	Gereken Süre (Hafta)	Öncelikli Faaliyet	a	m	b	$\bar{x}$	s^2
Ç1	72-96 hafta	Ç9, Ç4, Ç8, Ç10	72	81	96	82	16
Ç2	24-48 hafta	Ç9, Ç4, Ç8, Ç10	24	33	48	34	16
Ç3	72-96 hafta	Ç9, Ç4, Ç8, Ç10	72	90	96	88	16
Ç4	24-48 hafta	Ç7	24	33	48	34	16
Ç5	24-48 hafta	Ç9, Ç4, Ç8, Ç10	24	33	48	34	16
Ç6	48- 72 hafta	Ç9, Ç4, Ç8, Ç10	48	55	72	56.666667	16
Ç7	1-2 hafta	-	1	1.5	2	1.5	0.0277778
Ç8	24-48 hafta	Ç7	24	33	48	34	16
Ç9	24-48 hafta	Ç7	24	33	48	34	16
Ç10	24-48 hafta	Ç7	24	33	48	34	16

Kritik yol yönteminin uygulanması için Adım 5 takip edilerek Şekil 4.15'teki şebeke diyagramı oluşturulmuştur.

**Şekil 4.15 SAW Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Proje Şebekesi**

Şebeke diyagramında kritik faaliyetlerin Ç7, Ç4 (veya Ç8, Ç9, Ç10) ve Ç3 olduğu görülmektedir. Başlangıçtan bitime kritik faaliyetlerin ortalama sürelerinin toplamı $\mu = 123,5$ olurken toplam varyansı $\sigma^2 = 32.03$, standart sapması $\sigma = 5.66$ olmaktadır. Faaliyetlerin normal dağıldığını varsayarsak %95 olasılığın normal dağılım tablosunda z değeri olarak ($z = 1.645$) alınır.

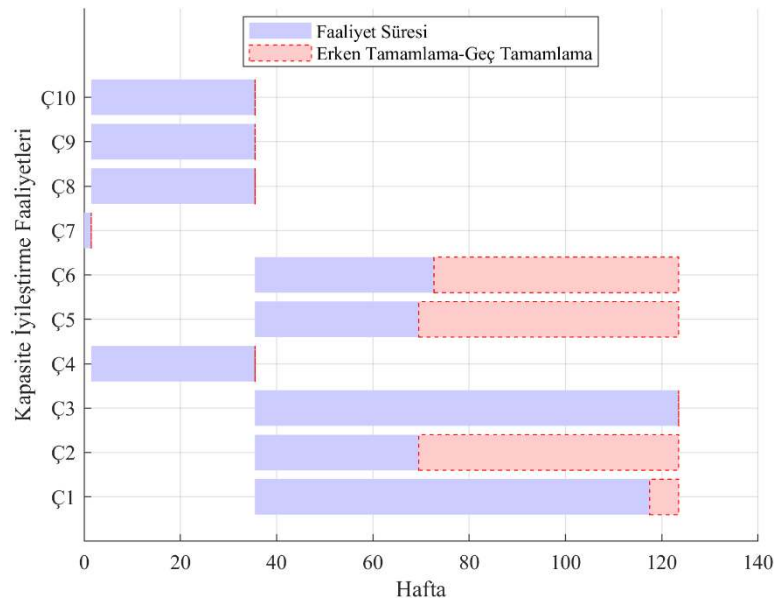
$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4.8)$$

Eşitlik 4.8'den yararlanılarak projenin %95 olasılıkla 132.81 hafta içerisinde bitirilebileceği söylenebilir.

Tablo 4.22'de çözümlerin en erken ve en geç başlama ve en erken ve en geç bitirme zamanları gösterilmiştir. Şekil 4.16'da tabloya ilişkin Gantt Chart verilmiştir.

Tablo 4.22. SAW Hava Tarafı Kapasite İyileştirmeleri Uygulama Süreleri ve Boşluk Zamanları

	$\bar{x}$	s^2	EB	ET	GB	GT	Boşluk	Kritik Faaliyet
Ç1	82	16	35.5	117.5	41.5	123.5	6	Hayır
Ç2	34	16	35.5	69.5	89.5	123.5	54	Hayır
Ç3	88	16	35.5	123.5	35.5	123.5	0	Evet
Ç4	34	16	1.5	35.5	1.5	35.5	0	Evet
Ç5	34	16	35.5	69.5	89.5	123.5	54	Hayır
Ç6	56.666667	16	35.5	72.666667	66.833333	123.5	50.833333	Hayır
Ç7	1.5	0.0277778	0	1.5	0	1.5	0	Evet
Ç8	34	16	1.5	35.5	1.5	35.5	0	Evet
Ç9	34	16	1.5	35.5	1.5	35.5	0	Evet
Ç10	34	16	1.5	35.5	1.5	35.5	0	Evet



Şekil 4.16. Havaalanı İyileştirme Planı Gantt Şeması

4.3.1. Kapasite İyileştirme Çözümleri Genel Değerlendirme Duyarlılık Analizi

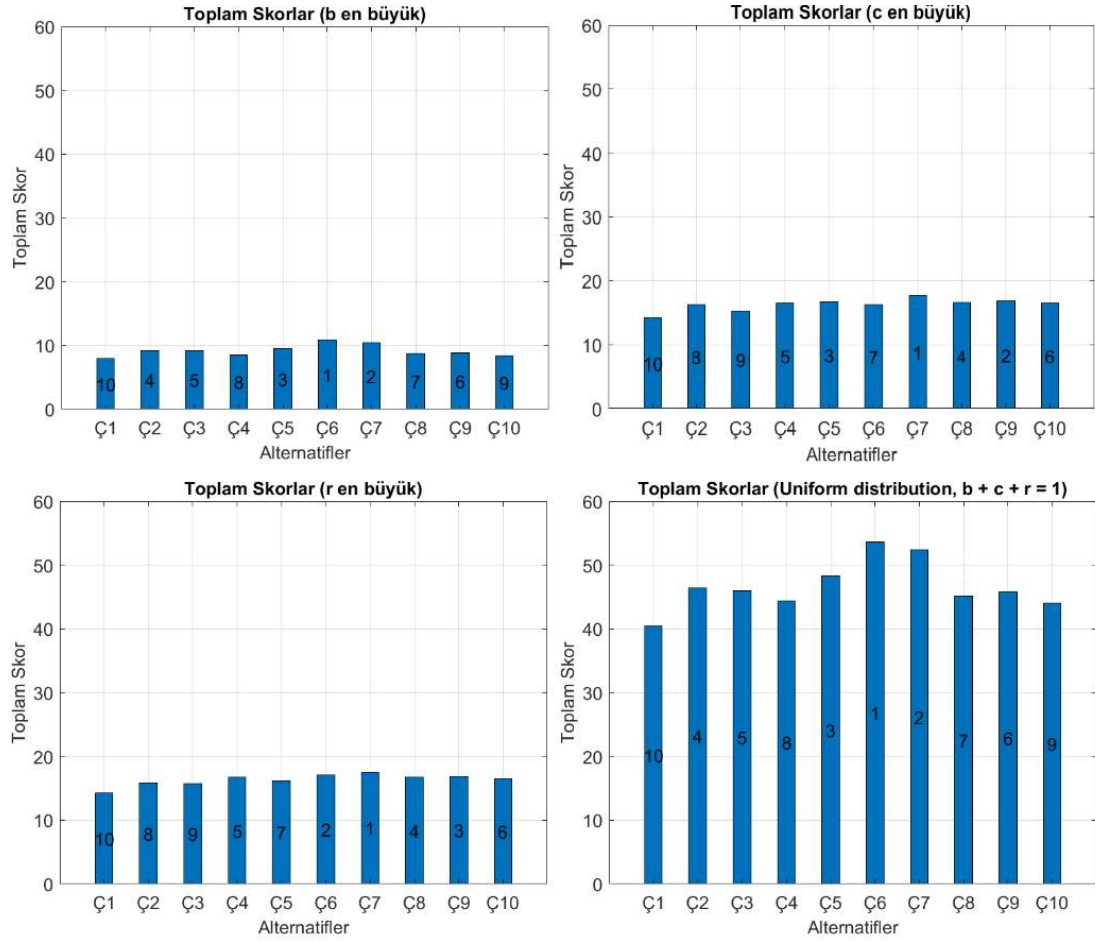
Sabiha Gökçen Havaalanı kapasite iyileştirme önerilerinin fayda, maliyet ve risk boyutları altında genel değerlendirmesi hesaplanırken Eşitlik 4.7 temel alınarak genel skorlar elde edilmiştir. Diğer yandan karar vericiler fayda, maliyet ve risk ağırlıklarını farklı değerlendirebilir. Eşitlik 4.9’da çarpımlı, Eşitlik 4.10’da toplamalı ağırlıklı genel skor hesaplama formülleri bulunmaktadır. “B” fayda, “C” maliyet ve “R” risk modellerinden elde edilen öncelik değerleri olup, “b, c ve r” harfleri sırasıyla fayda, maliyet ve risk ağırlıklarını belirtmektedir.

$$B^b / (C^c * R^r) \quad (4.9)$$

$$B * (b) + (1 - C) * c + (1 - R) * r \quad (4.10)$$

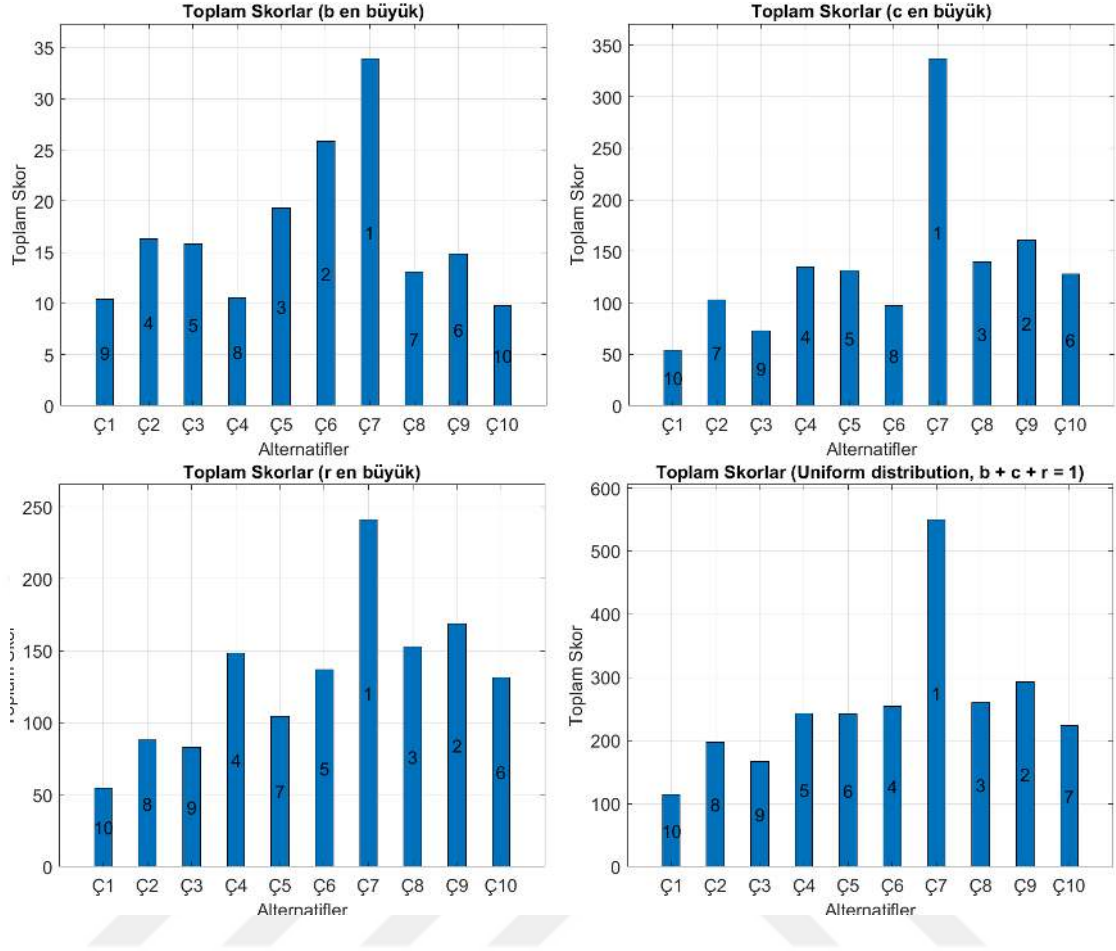
Yapılan çalışmada b, c ve r ağırlıkları eşit kabul edilmiştir. Ağırlıkların değişmesi durumunda kapasite iyileştirme çözüm önerilerinin de sıralamaları değişkenlik gösterebilecektir. Ağırlıkların değişme durumları için toplam 4 farklı grupta senaryolar geliştirilmiştir. İlk senaryo kümesinde fayda ağırlığının (b) diğerlerinden büyük olduğu varsayılarak 0,1 aralıklarla değişecek şekilde 22 senaryo oluşturulmuştur. 2. ve 3. senaryo kümelerinde ise sırayla en büyük ağırlığın maliyet (c) ve risk (r) olduğu varsayılmıştır. 4. senaryoda rassal olarak 100 adet ağırlık belirlenmiş ve bu senaryolar test edilmiştir.

Alternatif çözümlerin aldıkları skora bağlı olarak kaçınıcı sırada yer aldıkları sütunların üzerinde verilmiştir. Toplamalı formülde fayda ağırlığının baskın olduğu ve rassal olarak ağırlıkların belirlendiği senaryolarda Ç6 (Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme) alternatifi ilk sırada yer alırken maliyet ve risk ağırlıklarının baskın olduğu durumlarda Ç7 (HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi) çözümünün öne çıktığı tespit edilmiştir. Ağırlıkların toplamalı formülde test edildiği tüm durumlarda Ç1 (Bağımsız paralel bir pistin inşası) toplam en düşük skoru elde etmiştir.



Şekil 4.17. Toplamalı Formül Duyarlılık Analizi

Geliştirilen farklı ağırlık senaryolarının çarpımlı formül temel alınarak yapılan hesaplamalarında ise Ç7 seçeneğinin en yüksek önceliklendirme skorunu elde ettiği görülmektedir. Toplamalı formülle yapılan duyarlılık analiz sonucuna benzer şekilde en düşük önceliklendirme skorunu b'nin en büyük olduğu senaryolar haricinde Ç1 alternatifi elde etmiştir. Çarpımlı formül ile ağırlıklarının rassal belirlenme durumlarında ilk üç alternatif Ç6, Ç7 ve Ç5 olmuştur. Fakat çarpımlı formüle rassal olarak belirlenen ağırlıklar uygulandığında toplamda en yüksek önceliklendirme değerini Ç7, Ç9 ve Ç8 alternatifleri almıştır.



Şekil 4.18. Çarpımlı Formül Duyarlılık Analizi

Fayda, maliyet ve risk ağırlıklarının değişimini çözüm alternatiflerinin skorlarının nasıl etkilendiğini belirlemek için üç farklı genel senaryo geliştirilmiştir. Her bir senaryo için 100 farklı durum Eşitlik 4.11, 4.12 ve 4.13'te verilen formüller temel alınarak sırasıyla fayda, maliyet ve risk ağırlıklarının 0'dan 1'e değişmesi sonucu sıralamalarda nasıl bir etki bıraktığı incelenmiştir.

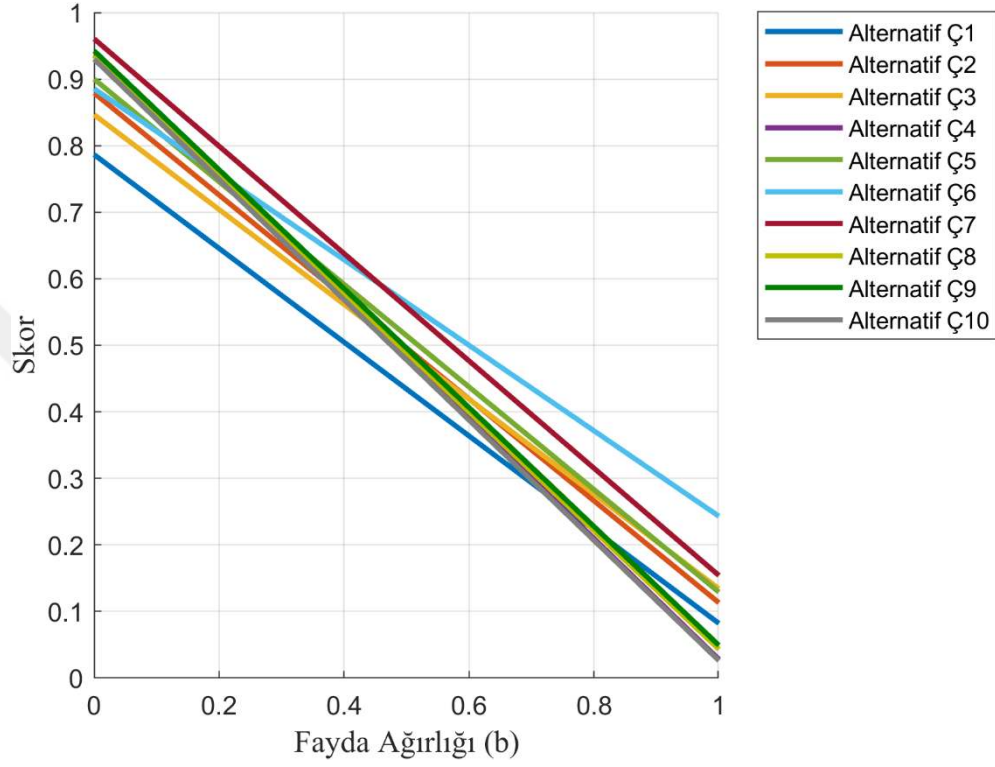
$$c = \frac{1-b}{2} \text{ ve } r = 1-b-c \quad (4.11)$$

$$b = \frac{1-c}{2} \text{ ve } r = 1-b-c \quad (4.12)$$

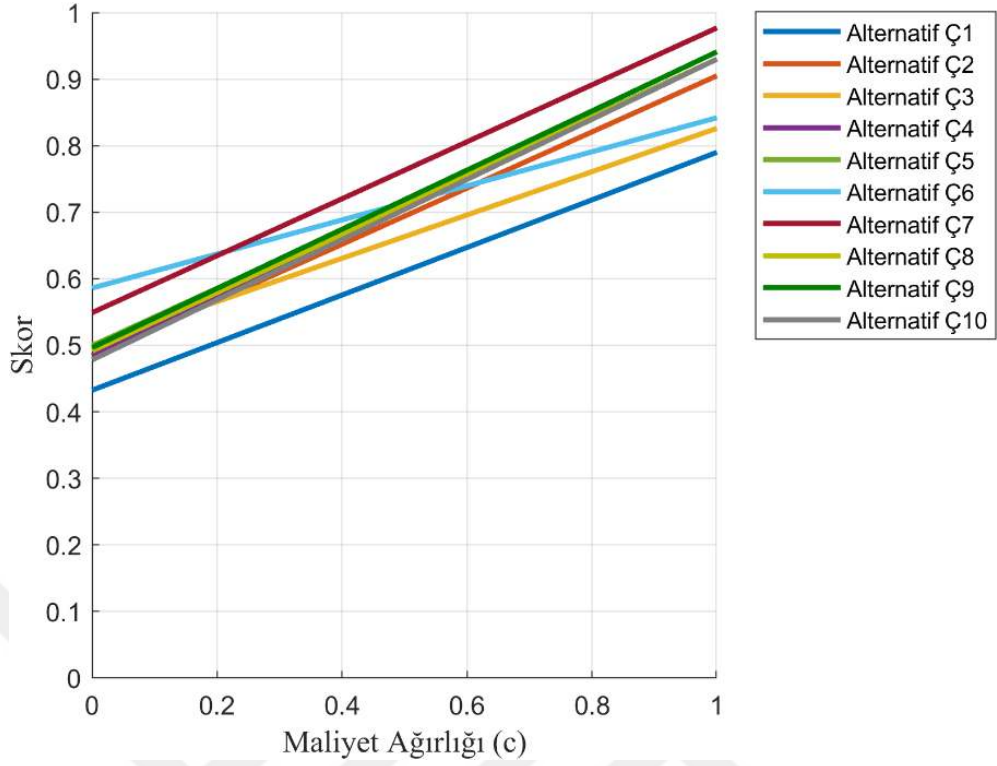
$$b = \frac{1-r}{2} \text{ ve } c = 1-b-r \quad (4.13)$$

Toplamalı formül ile elde edilen değişen fayda, maliyet ve risk ağırlıklarının çözüm alternatiflerini nasıl etkilediği Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21'de görülmektedir. Fayda ağırlığı arttıkça alternatiflerin genel skorları azalma göstermektedir. En iyi ve en kötü skorları

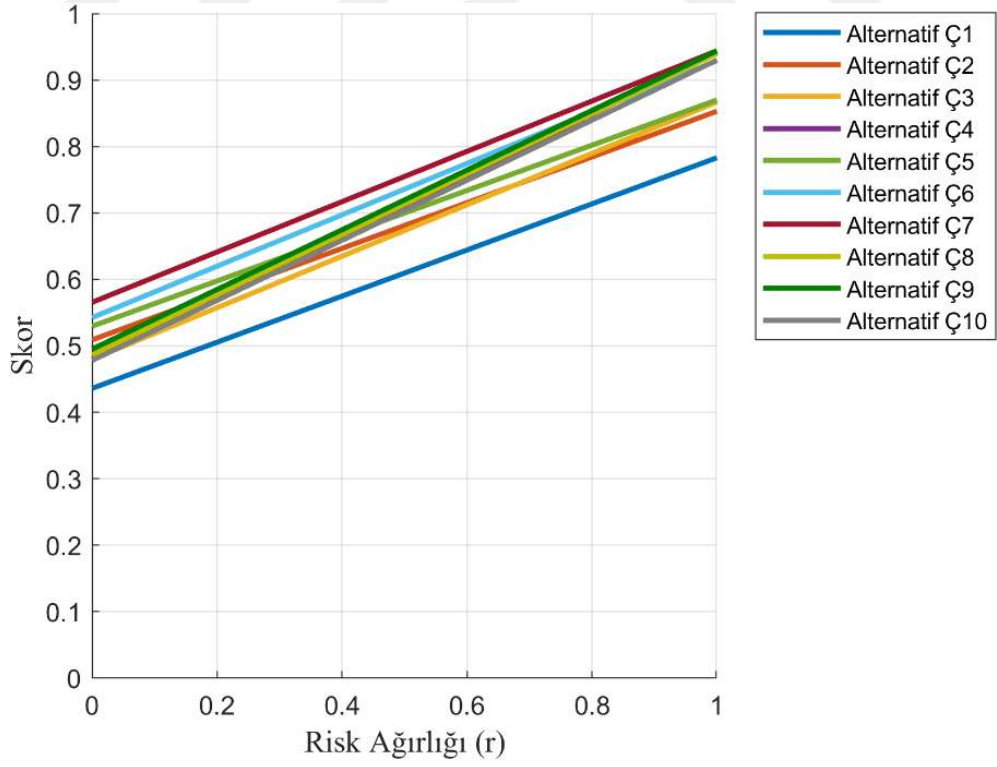
elde eden çözüm alternatiflerinin sıralamalarında çok fazla bir değişiklik olmadığı söylenebilir. Risk ve maliyet ağırlıklarının değişimi sonucu ise en iyi ve en kötü skor değerlerinde çok bir değişme olmadığı, fakat ara sıralamaların değişkenliklerinin arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.19. Toplamalı Formülle Değişen Fayda Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi

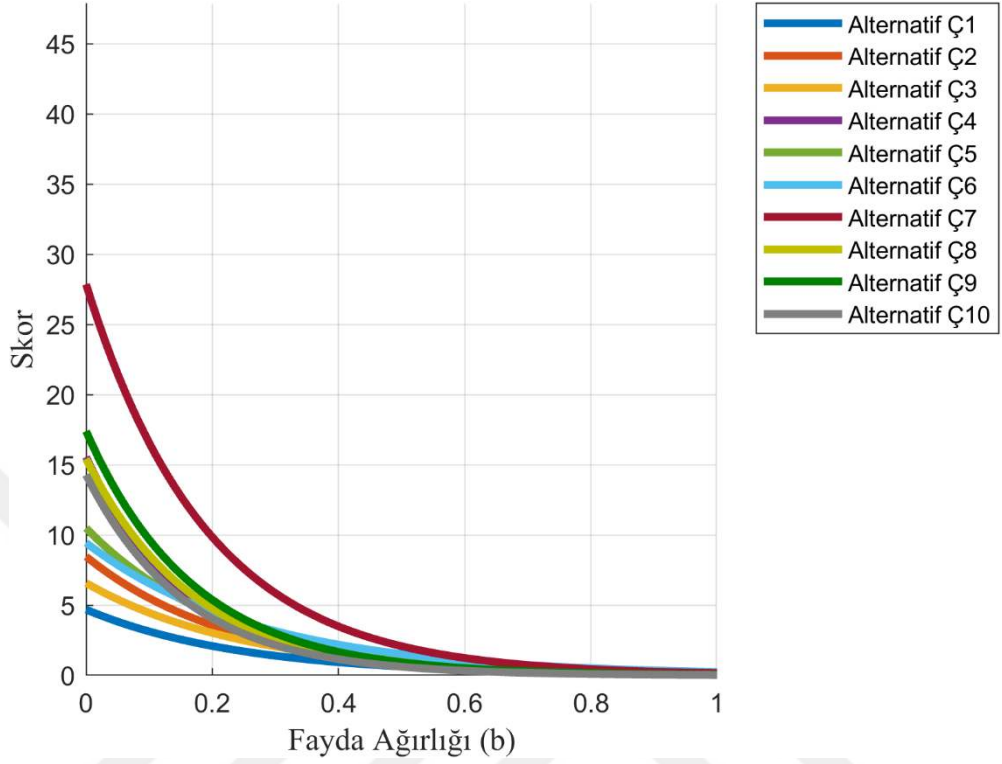


Şekil 4.20. Toplamalı Formülle Değişen Maliyet Ağırlığı ile Duyarluluk Analizi

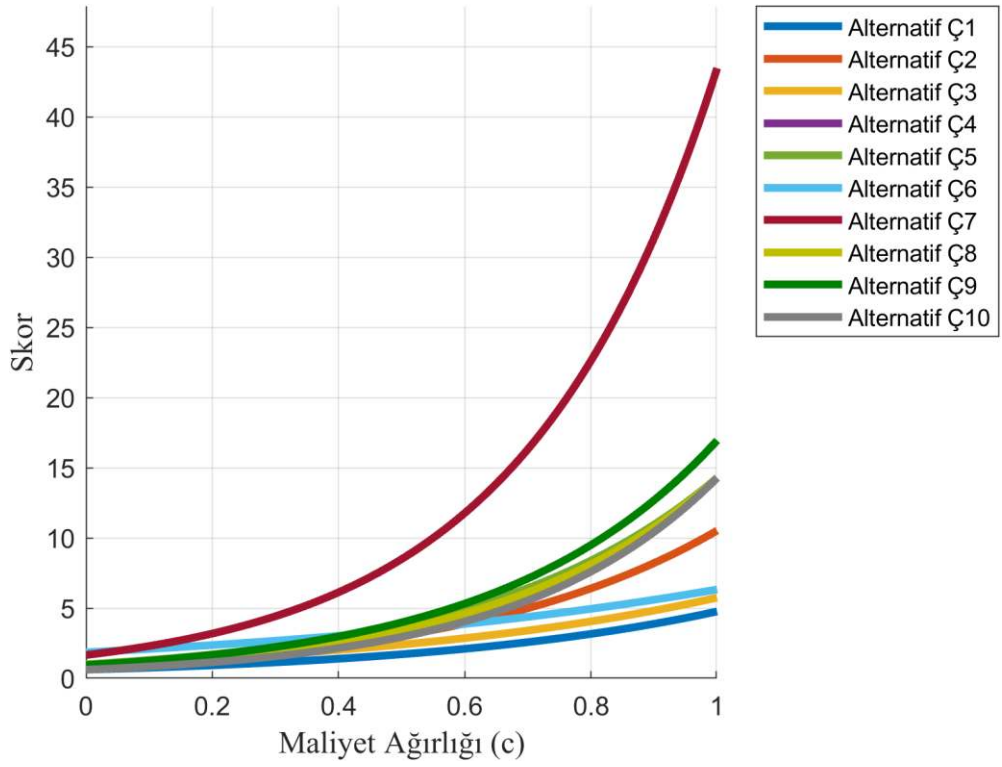


Şekil 4.21. Toplamalı Formülle Değişen Risk Ağırlığı ile Duyarluluk Analizi

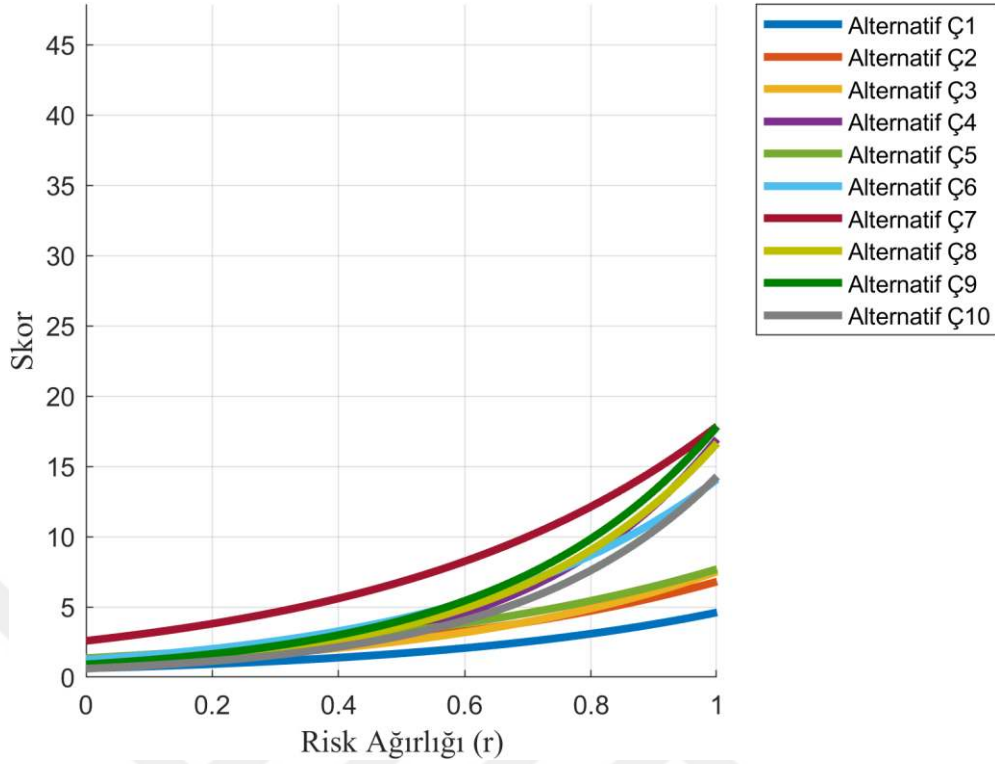
Çarpımlı formül kullanılarak yapılan duyarlılık analizi Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.22. Çarpımlı Formülle Değişen Fayda Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi



Şekil 4.23. Çarpımlı Formülle Değişen Maliyet Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi



Şekil 4.24. Çarpımlı Formülle Değişen Risk Ağırlığı ile Duyarlılık Analizi

Fayda ağırlığı özellikle 0.6 üzerine çıktığı durumlarda alternatif çözümlerin önceliklendirme değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Maliyet ve risk ağırlığı ise 0.4 üzerine çıktığı durumlarda çözüm alternatiflerinin elde ettiği skorlar birbirlerinden farklılaşmaktadır. Çarpımlı formülün uygulanması sonucu fayda, maliyet ve risk ağırlıklarının değişimleri ile çözüm alternatiflerinin elde ettikleri skorlar incelendiğinde sırası ile Ç7, Ç9 ve Ç8'in yüksek skorlar elde ettiği anlaşılmaktadır.

Toplamalı formül uygulamasında fayda, maliyet ve risk ayrı ayrı değerlendirildiği için değişiklikler doğrusal bir etki yaratmaktadır. Her bir kriterin etkisi, ağırlığına bağlı olarak bağımsız bir şekilde hesaplanır. Maliyet ve risk ağırlığındaki değişiklikler, skor üzerinde daha az dramatik ve dengeli bir etki yaratır. Çarpımsal formülün uygulandığı çözümlerde ise fayda (B) değerini maliyet (C) ve risk (R) değerlerine bölerek oransal bir değerlendirme yapar. Maliyet veya riskteki küçük değişiklikler, skor üzerinde daha dramatik bir etki yaratmaktadır. Özellikle aşırı durumlarda (örneğin, maliyet ya da risk ağırlıklarının 1'e yaklaşmaları durumlarında), genel skor büyük ölçüde etkilenmektedir.

Karar verici açısından toplamalı formülün kullanımı çarpımlıya kıyasla uygulama kolaylığı ve anlaşılabilir olmasının yanında fayda, maliyet ve risk ağırlıklarının daha dengeli bir şekilde ele alınması gerektiği durumlarda tercih edilebilir. Çarpımlı formülün karar vericiler tarafından kullanımı maliyet ve riskin çok küçük değişimlerinin dahi karar

sürecini etkileyeceği senaryolarda değerlendirilebilir ve karar vericinin daha karmaşık matematiksel verilere alışkın olması anlaşılabilirliği artırabilir. Toplamalı formülün uygulama sonucunda öncelik skorlarının daha ölçülü bunun yanında çarpımlı formülün uygulanmasının daha hassas ölçümler yapabildiği görülmüştür. Bu bağlamda kısa vadeli kararlar alınırken çarpımlı formülün uygulanması, uzun vadeli kararlar alınırken de toplamalı formülün uygulanması daha isabetli olacaktır.

Her iki duyarlılık analizinde de fayda ağırlığı arttıkça alternatiflerin elde ettiği değerler azalırken, maliyet ve risk ağırlığı arttıkça alternatiflerin elde ettikleri genel skorlarda artış görülmüştür. Bunun nedeni ise genel hesaplama formülünde (Eşitlik 4.9, Eşitlik 4.10) pozitif etkiyi sadece fayda yaparken negatif etkiyi hem risk hem de maliyet ağırlıklarının ikisinin birden yapıyor olmasıdır.

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

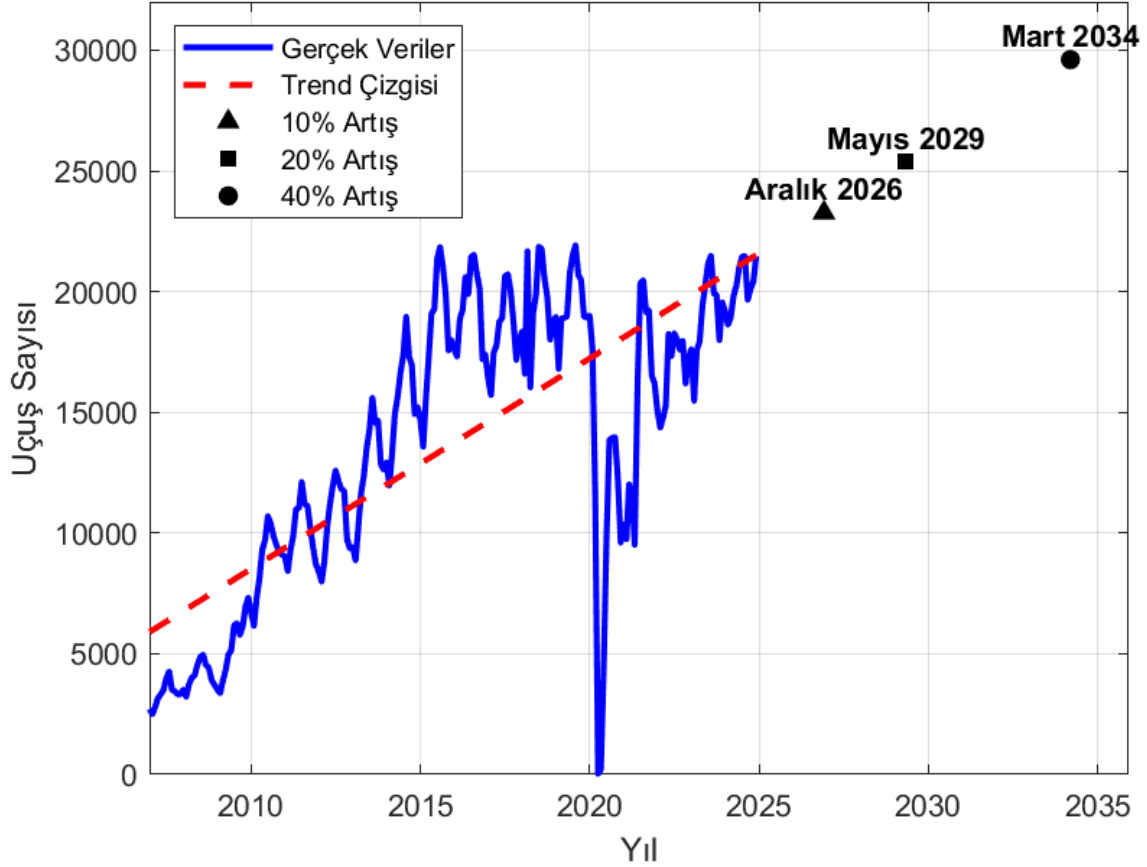
Bu çalışma, kapasite kısıtlı havaalanlarında kapasiteyi iyileştirme süreçlerine yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın temel hedefi, havaalanı kapasite iyileştirme önerilerini sistematik bir şekilde değerlendirmek, kapasite artırıcı çözümleri belirlemek ve bu çözümlerin etkinliklerini çok kriterli bir modelle sıralayarak projelendirme sürecine rehberlik etmektir.

Havaalanı hava tarafı kısıtları simülasyon uygulamasından elde edilen verilerle uzman görüşleri harmanlanarak elde edilmiştir. Simülasyon tekniğinin uygulanabilmesi için havaalanı tasarım günü hava tarafı süreçlerinin istatistiksel verileri çıkarılmıştır. Havaalanı gelen ve giden trafiğinde yaklaşma, pist, taksi yolu ve apron süreçleri hava tarafı simülasyon modeline yansıtılmıştır.

Çalışmada geliştirilen hibrit yöntem, bulanık En-İyi En-Kötü Yöntemi (BWM) ve Analitik Ağ Süreci (ANP) Fayfa Maliyet Risk (BCR) ile birleştirilerek oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, kapasite kısıtlarını, önerilen çözümleri kapasite artırımı, maliyet ve risk açısından değerlendirebilmeye ve hava tarafının karmaşık yapısını modele yansıtmaya imkân vermiştir. İyileştirme önerilerinin ve kısıtların ikili karşılaştırmaları ANP ağını temel alan bulanık BWM yöntemi uygulanarak elde edilmiştir. AHP tekniği yerine bulanık BWM temelli bir görüşme formunun hazırlanması karar verici açısından değerlendirmeyi kolaylaştırırken aynı zamanda da karar vericilerin değerlendirmelerinde oluşan belirsizliğin üstesinden gelinmesini sağlamıştır. Genel değerlendirme sonuçları, önerilen çözümlerin etkinliklerini gösterirken, bu çözümler üzerinden karar vericiye rehberlik eden bir proje akış şeması geliştirilmiştir. Ayrıca, proje sürecinin olası tamamlanma süreleri öngörülmüş, uygulanabilir bir plan ortaya konmuştur.

Sabiha Gökçen Havaalanı trafiğinin son zamanlarda artış göstermesi ve zaman zaman gecikmelerin yaşandığı bir havaalanı olarak bilinmesi nedeniyle önerilen modelin uygulanması için vaka çalışması olarak ele alınmıştır. Yıllık uçuş verileri üzerinden tasarım günü belirlenerek Sabiha Gökçen Havaalanının hava tarafı süreçlerinin istatistiksel verileri çıkarılmıştır. İstatistiksel dağılımlarla hava tarafı simülasyon modeli oluşturulmuş ve trafik artış senaryolarında havaalanının hava tarafı elemanlarında yüksek kullanım oranları gözlemlenmiştir. Şekil 5.1’de Sabiha Gökçen Havaalanı aylık uçuş trend analizi yapılmıştır. Senaryolarda 2023 Ağustos verileri üzerinden yapılan tahminde %10 trafik artışına Aralık 2026’da %20 trafik artışına Mayıs 2029’da ve %40’lık trafik artışına Mart 2034 tarihlerinde ulaşacağı öngörülmüştür. Grafikte 2020-2022 yılları arasında oluşan

etkili düşüşün sebebi o yıllarda gerçekleşen Covid-19 salgınıdır. Özellikle pist ve apron sistemlerinin gelecek yıllarda yetersiz kalacağı, oluşan kuyruklar neticesinde havaalanı süreçlerinde gecikmelerin oluşacağı simülasyon çıktılarıyla görülmüştür.



Şekil 5.1. Sabiha Gökçen Havaalanı Aylık Uçuş Sayısı Trend Analizi

Bulanık BWM tabanlı ANP BCR yöntemi ile kapasite kısıtları ve iyileştirme önerileri değerlendirmesi dört uzmanın desteği ile gerçekleştirilmiştir. Sabiha Gökçen Havaalanı hava tarafı kapasitesine etkisi açısından pist sisteminin %32,1 ile ilk sırada sonrasında sırasıyla %29,2 ile apron, %23,6 ile yaklaşma ve %15,2 ile taksi sisteminin etki ettiği görülmüştür. Hava tarafı kapasitesini en çok kısıtlayan durumların sırasıyla havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması (%20,4), HTK-pilot talimat reaksiyon süresinin uzaması (%19,5), yüksek pist meşguliyet süresi (%18,9) ve apron alanının yetersizliği (%18,7) olduğu tespit edilmiştir. Uzmanlar açısından süre, finansal maliyetten daha önemli görülmüş ve uygulanma süresi ve finansal maliyeti en çok olan uygulamalar bağımsız paralel bir pistin inşası (Ç1), hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi (Ç2) ve apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi (Ç3) olmuştur. Kapasite iyileştirme önerilerinin çevresel, finansal, yasal ve süreç risklerinin hemen hemen aynı ağırlıklarda olduğu görülüp Ç1, Ç2 ve Ç3

iyileştirmelerinin en yüksek risk barındırdıkları belirlenmiştir. Uygulama sonucunda genel sıralamada ilk sıralarda büyük altyapı yatırımları gerektirmeyen (Ç7-HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi, Ç9- havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması ve Ç4- apron yönetim sistemleri) seçenekler öne çıkmıştır. Değerlendirme sıralamasının sonlarında ise ciddi yatırımlar gerektiren kapasite iyileştirmeleri yer almıştır (Ç1, Ç3 ve Ç2).

Kapasite kısıtlarına çözüm olarak önerilen iyileştirme seçeneklerinin hepsini uygulayacağımızı düşündüğümüzde elde edilen genel sıralama skorları kullanılarak seçeneklerin olasılıklı uygulanma süreleri temel alınarak projelendirilmiştir. PERT yöntemi ile projenin süresinde belirleyici olacak uygulamalar tespit edilmiş ve tahmini olarak 133 hafta süreceği hesaplanmıştır.

ANP-BCR yöntemi uygulanırken fayda, maliyet ve risk ağlarının ağırlıkları eşit alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Fakat karar verici farklı ağırlıklar verebilmekte ve genel sıralamayı hesaplamada çarpımlı veya toplamalı formülden birini seçebilmektedir. Karar vericilerin her iki formül için de farklı ağırlık verme durumlarda genel sonuçların nasıl değiştiğini görebilmek adına duyarlılık analizi yapılmıştır.

Çalışma, çok kriterli karar verme yöntemlerinin havaalanı hava tarafı iyileştirme projelerinde nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermesi açısından literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Ayrıca, insan değerlendirmelerini de dikkate alarak, karar süreçlerinin daha esnek ve gerçekçi bir şekilde yönetilmesini sağlamıştır. Bu yönüyle hem akademik hem de sektörel uygulamalara önemli bir yol haritası sunmaktadır.

Bu çalışmada, kapasite kısıtlı havaalanlarını hava tarafı perspektifinden değerlendirmek ve iyileştirme için yenilikçi bir metodoloji sunmak üzere yeni bir model geliştirilmiştir. ANP-BCR yöntemini kullanarak, havaalanı hava tarafının karmaşık yapısı sistematik olarak modellenmiş ve kategorize edilmiş, uzman yargıları Bulanık BWM yöntemi ile modele dahil edilmiştir. Önerilen kapasite iyileştirme çözümlerini etkili bir şekilde önceliklendirmek için hibrit Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi geliştirilmiştir. Önceliklendirme skorlarından ve iyileştirmelerin uygulanma süre olasılıklarından yararlanarak çalışma, kapasite iyileştirme planlaması için kapsamlı bir metodoloji sunmaktadır. Bu yaklaşımın uygulanabilirliği, Sabiha Gökçen Havalimanı'nın ayrıntılı bir vaka çalışmasıyla doğrulanmıştır. Yapılan araştırma, hava tarafı iyileştirme planlaması için tüm temel unsurları tek ve tutarlı bir modelde birleştirerek sistematik ve bütünlük bir yaklaşımı, karar vericiler üzerindeki bilişsel ve operasyonel yükü en aza

indirecek şekilde sunmaktadır. Ayrıca, esnek, maliyet açısından verimli, riski minimize eden ve zamandan tasarruf sağlayan bir karar verme çerçevesi ortaya koyulmuştur. Çalışmanın özgünlüğü, çok kriterli karar verme tekniklerinin havaalanı hava trafiği planlama süreçlerine entegre edilmesi, dilsel verilerin işlenmesinde bulanık mantığın kullanılması, simülasyon için havaalanı hava trafiği süreçlerinin istatistiksel analizinin yapılması ve çeşitli metodolojik araçların tek bir sisteme entegre edilmesinde yatmaktadır. Araştırmada geliştirilen model hava trafiği kapasitesi yetersiz durumda olan ve iyileştirme gereksinimi duyulan tüm havaalanları için uygulanabilir bir yapıdadır. Geliştirilen karar destek modeli, havaalanı hava trafiği kapasite artırımı çalışmaları için rasyonel karar almayı desteklemektedir.

Geliştirilen karar destek modelinin kapasite kısıtlı bir havaalanı üzerinde uygulanması ve modelin önermiş olduğu planlamanın orta ve uzun vadede ortaya koyduğu uygulanma sonuçları ile modelin performansı ortaya konabilir. Diğer yandan modelde kullanılan Çok Kriterli Karar Verme modelleri yerine literatürde geliştirilen modeller uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

Gelecekte, bu çalışmada önerilen model, bir yazılım haline getirilip faydalı model veya patente dönüştürülerek kapasite kısıtı olan veya olması muhtemel havaalanlarının kullanılabileceği bir araç olarak kullanılabilir. Bu araç, havaalanı kapasite planlama ve iyileştirme süreçlerini daha etkin bir şekilde destekleyerek sektörde yaygın bir kullanım potansiyeline sahiptir. Bu tür bir geliştirme hem sektörel uygulamalar hem de akademik çalışmalar için değerli bir katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- ACI. (2020). *Aligning Airspace and Airport Capacity: Best Practice Recommendations for Airport Operators*. Montreal. www.aci.aero/publications adresinden erişildi.
- ACI. (2023). *ACI World Airport Traffic Forecasts 2023–2052*. <https://store.aci.aero/wp-content/uploads/2024/02/WATF-Executive-Summary.pdf> adresinden erişildi.
- ACI. (2024). Airside Safety Training | Improving Operational Efficiency. 17 Kasım 2024 tarihinde <https://olc.aero/how-airside-safety-training-can-help-enhance-airport-operational-efficiency/> adresinden erişildi.
- AirNav RadarBox. (2024). AirNav RadarBox. 14 Ocak 2024 tarihinde <https://www.radarbox.com/statistics/airports/LTFJ> adresinden erişildi.
- Airport Information Systems. (2024). Apron Management with Advanced Airport Management Systems. 7 Kasım 2024 tarihinde <https://blog.airport-information-systems.com/enhancing-apron-management-with-advanced-airport-management-systems/> adresinden erişildi.
- Airport Research Center. (2024). CAST Simulation and Allocation Software. 10 Ekim 2024 tarihinde <https://arc.de/cast-simulation-software/> adresinden erişildi.
- Al-Ghzawi, M. ve El-Rayes, K. (2023). Optimizing the Planning of Airport Airside Expansion Projects to Minimize Air Traffic Disruptions and Construction Cost. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(4), 04023013. doi:10.1061/JCEMD4.COENG-12893
- Altıntaş, O. A. ve Uslu, S. (2024). Hava Trafik Kontrolörlerinin İnisiyatif Almadan Çalışmasının Trafiklerin Uçuş Süresine Etkisi ve Maliyeti. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(2), 617-628. doi:10.18037/AUSBD.1413136
- Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Ghahremanloo, M., Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K. ve Antucheviciene, J. (2020). A new fuzzy approach based on BWM and fuzzy preference programming for hospital performance evaluation: A case study. *Applied Soft Computing*, 92, 106279. doi:10.1016/J.ASOC.2020.106279
- Ashford, N. J., Mumayiz, S. ve Wright, P. H. (2011). *Airport engineering: planning, design, and development of 21st century airports*. John Wiley & Sons.
- Ataş, S., Koç, O., Çiftçi, M. E., Kiliç, M., Altın, D., Özdemir, B. G. ve Yeşilyurt, A. (2014). Yaklaşma iniş sistemlerinde ileri teknolojiler. *Journal of Aeronautics and Space Technologies (Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi)* 2014 7:2, 7(2), 1-12. doi:10.7603/S40690-014-0011-3
- Barnhart, C., Fearing, D., Odoni, A. ve Vaze, V. (2012). Demand and capacity management in air transportation. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 1(1-2), 135-155. doi:10.1007/S13676-012-0006-9/FIGURES/6

- Berster, P., Gelhausen, M. C. ve Wilken, D. (2015). Is increasing aircraft size common practice of airlines at congested airports? *Journal of Air Transport Management*, 46, 40-48. doi:10.1016/J.JAIRTRAMAN.2015.03.012
- Berster, P., Gelhausen, M. C. ve Wilken, D. (2019). Options to mitigate negative effects of airport capacity constraints-A discussion of potential mitigation effects. *The 23rd ATRS World Conference* içinde . Amsterdam. https://elib.dlr.de/132779/1/136_Wilken.pdf adresinden erişildi.
- Boeing. (2015). *Boeing Global Airport Congestion Study*.
- Bubalo, B. ve Daduna, J. R. (2012). Airport capacity and demand calculations by simulation—the case of Berlin-Brandenburg International Airport. *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking* 2012 12:3, 12(3), 161-181. doi:10.1007/S11066-011-9065-6
- Burghouwt, G., Boonekamp, T., Suau-Sanchez, P., Volta, N., Pagliari, R. ve Mason, K. (2017). *The impact of airport capacity constraints on air fares* . Amsterdam. https://www.seo.nl/wp-content/uploads/2020/04/2017-04_The_impact_of_airport_capacity_constraints_on_air_fares.pdf adresinden erişildi.
- Caves, R. E. ve Gosling, G. David. (1999). *Strategic Airport Planning* (1.). Pergamon.
- Chen, X., Li, J. H. ve Gao, Q. (2015). A simple process simulation model for strategic planning on the airside of an airport: A case study. *Journal of Simulation*, 9(1), 64-72. doi:10.1057/jos.2014.20
- China State Council. (2022). China unveils 5-year plan to advance civil aviation development. 15 Ekim 2024 tarihinde https://english.www.gov.cn/statecouncil/ministries/202201/07/content_WS61d8386ac6d09c94e48a34f4.html adresinden erişildi.
- Coniglio, S., Sirvent, M. ve Weibelzahl, M. (2021). Airport capacity extension, fleet investment, and optimal aircraft scheduling in a multilevel market model: quantifying the costs of imperfect markets. *OR Spectrum*, 43(2), 367-408.
- Corrigan, S., Mårtensson, L., Kay, A., Okwir, S., Ulfvengren, P. ve McDonald, N. (2015). Preparing for Airport Collaborative Decision Making (A-CDM) implementation: an evaluation and recommendations. *Cognition, Technology and Work*, 17(2), 207-218. doi:10.1007/S10111-014-0295-X/TABLES/1
- Dağdeviren, M. ve Yüksel, I. (2010). A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectoral competition level (SCL). *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1005-1014. doi:10.1016/J.ESWA.2009.05.074
- Daniel, J. I. (2011). Congestion pricing of Canadian airports. *Canadian Journal of Economics*, 44(1), 290-324. doi:10.1111/j.1540-5982.2010.01633.x

- Dell’Olmo, P. ve Lulli, G. (2003). A dynamic programming approach for the airport capacity allocation problem. *IMA Journal of Management Mathematics*, 14(3), 235-249.
- Department for Transport. (2018). *Airports National Policy Statement*. Department of Transport. <https://www.gov.uk/government/publications/airports-national-policy-statement> adresinden erişildi.
- Dray, L. (2020). An empirical analysis of airport capacity expansion. *Journal of Air Transport Management*, 87, 101850. doi:10.1016/J.JAIRTRAMAN.2020.101850
- EBAA. (2024). Dublin Airport’s controversial ban on Business aviation sparks joint advocacy efforts from sector’s associations - EBAA - European Business Aviation Association. 13 Kasım 2024 tarihinde <https://www.ebaa.org/industry-updates/dublin-airports-controversial-ban-on-business-aviation-sparks-joint-advocacy-efforts-from-sectors-associations/> adresinden erişildi.
- EESC. (2015). Airport capacity in the EU. 15 Ekim 2024 tarihinde <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/airport-capacity-eu#downloads> adresinden erişildi.
- Erdoğan, Ş., Kapanoglu, M. ve Koç, E. (2005). Evaluating high-tech alternatives by using analytic network process with BOCR and multiactors. *Evaluation and Program Planning*, 28(4), 391-399. doi:10.1016/J.EVALPROGPLAN.2005.07.003
- EUROCONTROL. (2016). *A-CDM Impact Assessment*. https://www.eurocontrol.int/archive_download/all/node/10374 adresinden erişildi.
- EUROCONTROL. (2022a). *EUROCONTROL Aviation Outlook 2050*. <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-aviation-outlook-2050> adresinden erişildi.
- EUROCONTROL. (2022b). Performance indicator and analysis tool for airports (PIATA Neo) | EUROCONTROL. 18 Mayıs 2022 tarihinde <https://www.eurocontrol.int/tool/performance-indicator-and-analysis-tool-airports> adresinden erişildi.
- EUROCONTROL. (2023). *Performance Review Report*. <https://www.eurocontrol.int/publication/performance-review-report-prr-2023> adresinden erişildi.
- EUROCONTROL. (2024a). Controller-pilot datalink communications at our Maastricht UAC (CPDLC@MUAC) | EUROCONTROL. 17 Kasım 2024 tarihinde <https://www.eurocontrol.int/service/controller-pilot-datalink-communications-our-maastricht-uac> adresinden erişildi.
- EUROCONTROL. (2024b, Kasım). Airport collaborative decision-making (A-CDM) | EUROCONTROL. 17 Kasım 2024 tarihinde <https://www.eurocontrol.int/concept/airport-collaborative-decision-making> adresinden erişildi.

- FAA. (1976). *Planning and Design Considerations for Terminal Building Development* (C. 150/5360-7). Washington: Advisory Circular AC.
- FAA. (2020). *Cost of Delay Estimates*. https://www.faa.gov/data_research/aviation_data_statistics/media/cost_delay_estimates.pdf adresinden erişildi.
- FAA. (2022a). runwaySimulator Airport Capacity Model – Airports. 17 Mayıs 2022 tarihinde https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/runwaysimulator/ adresinden erişildi.
- FAA. (2022b). *Simmod Manual How Simmod Works*. https://www.tc.faa.gov/acb300/how_simmod_works.pdf adresinden erişildi.
- FAA. (2022c). *National Plan of Integrated Airport Systems (NPIAS) 2023-2027*. <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/npias-2023-2027-narrative.pdf> adresinden erişildi.
- FAA. (2024). *FAA Aerospace Forecast Fiscal Years 2024–2044*. <https://www.faa.gov/dataresearch/aviation/aerospaceforecasts/faa-aerospace-forecast-fy-2024-2044> adresinden erişildi.
- Fageda, X. ve Flores-Fillol, R. (2016). How do airlines react to airport congestion? The role of networks. *Regional Science and Urban Economics*, 56, 73-81. doi:10.1016/J.REGSCIURBECO.2015.11.002
- flightradar24. (2024). flightradar24. 14 Ocak 2024 tarihinde <https://www.flightradar24.com/2023-08-04/22:25/20x/40.90,29.31/16> adresinden erişildi.
- flyreagan.com. (2024). 13 Kasım 2024 tarihinde <https://www.flyreagan.com/about-airport/aircraft-noise-information/dca-reagan-national-slot-perimeter-rules> adresinden erişildi.
- Foroozesh, F., Monavari, S. M., Salmanmahiny, A., Robati, M. ve Rahimi, R. (2022). Assessment of sustainable urban development based on a hybrid decision-making approach: Group fuzzy BWM, AHP, and TOPSIS–GIS. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103402. doi:10.1016/J.SCS.2021.103402
- Geister, R. (2011). Segmented steep precision approaches based on GLS. *CEAS Aeronautical Journal*, 2(1-4), 139-146. doi:10.1007/S13272-011-0016-6/FIGURES/6
- Gelhausen, M. C., Berster, P. ve Wilken, D. (2013). Do airport capacity constraints have a serious impact on the future development of air traffic? *Journal of Air Transport Management*, 28, 3-13. doi:10.1016/J.JAIRTRAMAN.2012.12.004
- Gelhausen, M. C., Wilken, D. ve Berster, P. (2019). *Airport Capacity Constraints and Strategies for Mitigation: A Global Perspective*. Airport Capacity Constraints and Strategies for Mitigation: A Global Perspective. Academic Press. doi:10.1016/C2016-0-01894-6

- Gillen, D. ve Starkie, D. (2016). EU Slot Policy at Congested Hubs, and Incentives to Add Capacity. *Journal of Transport Economics and Policy*, 50(2), 151-163. <https://www.jstor.org/stable/jtranseconpoli.50.2.0151> adresinden erişildi.
- Grebenšek, A. ve Kosel, T. (2014). Effect Of Taxiway Extension On Runway Capacity At Ljubljana – Jože Pučnik Airport. *International Journal For Traffic And Transport Engineering*, 4(2), 171-182. doi:10.7708/IJTTE.2014.4(2).04
- Guo, S. ve Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, 121, 23-31. doi:10.1016/J.KNOSYS.2017.01.010
- Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., Liao, H. ve Herrera, F. (2020). Interval MULTIMOORA Method Integrating Interval Borda Rule and Interval Best-Worst-Method-Based Weighting Model: Case Study on Hybrid Vehicle Engine Selection. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 50(3), 1157-1169. doi:10.1109/TCYB.2018.2889730
- Horonjeff, R., Mckelvey, F. X., Sproule, W. J., Young, S. B., York, N., San, C., ... Juan, S. (2010). *Planning and Design of Airports. Planning and Design of Airports* (C. 5.). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071446419> adresinden erişildi.
- Hu, R., Chen, L. ve Zheng, L. (2018). Congestion pricing and environmental cost at Guangzhou Baiyun International Airport. *Journal of Air Transport Management*, 70, 126-132. doi:10.1016/J.JAIRTRAMAN.2018.04.016
- Hu, R., Feng, H., Witlox, F., Zhang, J. ve Connor, K. O. (2022). Airport capacity constraints and air traffic demand in China. *Journal of Air Transport Management*, 103, 102251. doi:10.1016/J.JAIRTRAMAN.2022.102251
- Hubbard, S., Voyles, R., Souders, D., Yang, H. ve Hart, J. (2020). *Advanced Ground Vehicle Technologies for Airside Operations*.
- Hussein, A. H. (2018). Wildlife Hazard Management. Khartoum: ICAO. <https://www.icao.int/MID/Documents/2018/WHMC-December/2-4%20Wildlife%20Hazards%20Management.pdf> adresinden erişildi.
- IATA. (2014). *Airport Development Reference Manual* (10. Editio.). Montreal, Canada.
- IATA. (2017). *Simplifying the Business*.
- IATA. (2024). *Global Outlook for Air Transport* . <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/global-outlook-for-air-transport-june-2024-report/> adresinden erişildi.
- ICAO. (1987). *Airport Planning Manual Part 1 Master Planning*.
- ICAO. (2018). *Annex II - Air Traffic Services* (15. bs.). Montreal.

- ICAO. (2019). Air Traffic Flow Management (ATFM) / Collaborative Decision Making (CDM). 6 Ağustos 2024 tarihinde <https://www.icao.int/APAC/APAC-RSO/Pages/ATFM-CDM.aspx> adresinden erişildi.
- Ison, S. ve Budd, L. (2021). Demand Management and Capacity Planning of Airports. *International Encyclopedia of Transportation: Volume 1-7, 1*, 227-230. doi:10.1016/B978-0-08-102671-7.10041-7
- Jacquillat, A. ve Odoni, A. R. (2018). A roadmap toward airport demand and capacity management. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 114, 168-185.
- Jeong, M. S., Bae, J., Jun, H. S. ve Lee, Y. J. (2016). Flight test evaluation of ILS and GBAS performance at Gimpo International Airport. *GPS Solutions*, 20(3), 473-483. doi:10.1007/S10291-015-0457-1/TABLES/2
- Jeppesen. (2011). *Air Law*. Jeppesen Sanderson Inc.
- Jeppesen. (2022). Total Airspace and Airport Modeler - Jeppesen. 18 Mayıs 2022 tarihinde <https://ww2.jeppesen.com/airspace-solutions/total-airspace-and-airport-modeler/> adresinden erişildi.
- Jiang, C. ve Zhang, A. (2014). Effects of high-speed rail and airline cooperation under hub airport capacity constraint. *Transportation Research Part B: Methodological*, 60, 33-49. doi:10.1016/J.TRB.2013.12.002
- Jorge-Calderón, D. (2016). *Aviation Investment : Economic Appraisal for Airports, Air Traffic Management, Airlines and Aeronautics*. *Aviation Investment* (1. bs.). Routledge. doi:10.4324/9781315568546
- Katsigiannis, F. A. ve Zografos, K. G. (2021). Optimising airport slot allocation considering flight-scheduling flexibility and total airport capacity constraints. *Transportation Research Part B: Methodological*, 146, 50-87. doi:10.1016/J.TRB.2021.02.002
- Kazda, A., Novák Sedláčková, A. ve Bračić, M. (2023). Airport planning: approaches to determining the planning horizon. *Transport*, 38(3), 139-151-139-151. doi:10.3846/TRANSPORT.2023.19797
- Kingman, J. F. C. (1961). The single server queue in heavy traffic. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 57(4), 902-904. doi:10.1017/S0305004100036094
- Krstić Simić, T. ve Babić, O. (2020). Influence of airport airside area layouts and air traffic management tactics on flight cost efficiency. *Transportation Planning and Technology*, 43(2), 208-222. doi:10.1080/03081060.2020.1717142
- Lee, A. H. I., Kang, H. Y. ve Chang, C. C. (2012). An Integrated Interpretive Structural Modeling–Fuzzy Analytic Network Process–Benefits, Opportunities, Costs And Risks Model For Selecting Technologies. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 10(5), 843-871. doi:10.1142/S0219622011004592

- Levine, M. E. (2007). Congestion Pricing at New York Airports. <https://www.policyarchive.org/handle/10207/5797> adresinden erişildi.
- Lin, M. H. ve Zhang, Y. (2017). Hub-airport congestion pricing and capacity investment. *Transportation Research Part B: Methodological*, 101, 89-106. doi:10.1016/J.TRB.2017.03.009
- Liu, P. C. Y., Lo, H. W. ve Liou, J. J. H. (2020). A Combination of DEMATEL and BWM-Based ANP Methods for Exploring the Green Building Rating System in Taiwan. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 3216, 12(8), 3216. doi:10.3390/SU12083216
- López-Lago, M., Serna, J., Casado, R. ve Bermúdez, A. (2020). Present and Future of Air Navigation: PBN Operations and Supporting Technologies. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 21(2), 451-468. doi:10.1007/S42405-019-00216-Y/FIGURES/6
- Matthews, L. (1995). Forecasting peak passenger flows at airports. *Transportation*, 22(1), 55-72. doi:10.1007/BF01151618
- Metz, I. C., Ellerbroek, J., Mühlhausen, T., Kügler, D. ve Hoekstra, J. M. (2021). Analysis of Risk-Based Operational Bird Strike Prevention. *Aerospace* 2021, Vol. 8, Page 32, 8(2), 32. doi:10.3390/AEROSPACE8020032
- Metz, I. C., Ellerbroek, J., Mühlhausen, T., Kügler, D., Kern, S. ve Hoekstra, J. M. (2021). The Efficacy of Operational Bird Strike Prevention. *Aerospace* 2021, Vol. 8, Page 17, 8(1), 17. doi:10.3390/AEROSPACE8010017
- Mirkovic, B. ve Tomic, V. (2014). Airport apron capacity: estimation, representation, and flexibility. *Journal of Advanced Transportation*, 48(2), 97-118. doi:10.1002/ATR.1250
- Mirković, B. ve Tošić, V. (2017). The difference between hub and non-hub airports – An airside capacity perspective. *Journal of Air Transport Management*, 62, 121-128. doi:10.1016/J.JAIRTRAMAN.2017.03.013
- Moon, D. J. ve Park, C. H. (2002). Congestion pricing of multi-modal transportation systems. *Annals of Regional Science*, 36(3), 455-481. doi:10.1007/S001680200087/METRICS
- National Academies of Sciences, Engineering, and M. (2013). *Developing and Maintaining Support for Your Airport Capacity Project* (C. 85). Washington, DC: The National Academies Press. doi:https://doi.org/10.17226/22536.
- Neufville, R. de, Odoni, A. R., Belobaba, P. P. ve Reynolds, T. G. (2013). *Airport systems: Planning, design, and management*. McGraw-Hill Education.
- O'Flynn, S. (2016). *Airport Capacity Assessment Methodology Manual*. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/nom-apt-acap-acamman-v1-1.pdf> adresinden erişildi.

- Onder, E. (2015). Analitik Ağ Süreci. B. F. Yıldırım ve E. Önder (Ed.), *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri* içinde (2. bs., ss. 75-116). Bursa: Dora.
- Özdemir, A., Özkan, A., Günkaya, Z. ve Banar, M. (2020). Decision-making for the selection of different leachate treatment/management methods: the ANP and PROMETHEE approaches. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 19798-19809. doi:10.1007/S11356-020-08524-7/TABLES/8
- Özdemir, M., Çetek, C. ve Usanmaz, Ö. (2018). Airside Capacity Analysis and Evaluation of Istanbul Ataturk Airport Using Fast-Time Simulations. *Anadolu University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 19(1), 153-164. doi:10.18038/AUBTDA.309624
- Öztayşi, B., Uğurlu, S. ve Kahraman, C. (2013). Assessment of green energy alternatives using fuzzy anp. *Green Energy and Technology*, 129, 55-77. doi:10.1007/978-1-4471-5143-2_3/COVER
- Öztürk, A. (2016). *Yöneylem Araştırması* (Genişletilmiş 16.). Bursa: Ekin Yayınevi.
- Pazzini, M., Corticelli, R., Lantieri, C. ve Mazzoli, C. (2023). Multi-Criteria Analysis and Decision-Making Approach for the Urban Regeneration: The Application to the Rimini Canal Port (Italy). *Sustainability (Switzerland)*, 15(1), 772. doi:10.3390/su15010772
- Pegasus Havayolları. (2024, Ocak). pegasus yatırımcı veriler. 13 Ocak 2024 tarihinde <https://www.pegasusyatirimciiliskileri.com/tr/operasyonel-ve-finansal-veriler/trafik-bilgileri> adresinden erişildi.
- Peker, I., Baki, B., Tanyas, M. ve Murat Ar, I. (2016). Logistics center site selection by ANP/BOCR analysis: A case study of Turkey. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 30(4), 2383-2396. doi:10.3233/IFS-152007
- Rahimi, S., Hafezalkotob, A., Monavari, S. M., Hafezalkotob, A. ve Rahimi, R. (2020). Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group BWM-MULTIMOORA-GIS. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119186. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2019.119186
- Razavi Toosi, S. L. ve Samani, J. M. V. (2012). Evaluating water transfer projects using analytic network process (ANP). *Water Resources Management*, 26(7), 1999-2014. doi:10.1007/S11269-012-9995-2/TABLES/9
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
- Rodríguez-Sanz, Á. ve Rubio-Andrada, L. (2022). A preliminary framework for managing airport capacity and demand from an economic perspective. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology, ahead-of-print*(ahead-of-print). doi:10.1108/AEAT-01-2022-0019
- Saaty, T. L. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process* (RWS Publications.). Pittsburgh.

- Sadono, M., Putra, D. Y. ve Harahap, S. A. (2021). Development of Aircraft Movement Simulation in Airport Airside Area. *AVIA*, 2(1), 9-19. doi:10.47355/AVIA.V2I1.13
- Saldiraner, Y. (2013). Airport master planning in Turkey; planning and development problems and proposals. *Journal of Air Transport Management*, 32, 71-77. doi:10.1016/J.JAIRTRAMAN.2013.07.003
- Santos, B. F., Wormer, M. M. E. C., Achola, T. A. O. ve Curran, R. (2017). Airline delay management problem with airport capacity constraints and priority decisions. *Journal of Air Transport Management*, 63, 34-44.
- Scala, P., Mota, M. M., Wu, C. L. ve Delahaye, D. (2021). An optimization–simulation closed-loop feedback framework for modeling the airport capacity management problem under uncertainty. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 124, 102937. doi:10.1016/J.TRC.2020.102937
- Schmidt, M. (2017). A review of aircraft turnaround operations and simulations. *Progress in Aerospace Sciences*, 92, 25-38. doi:10.1016/J.PAEROSCI.2017.05.002
- Stewart, J. A. ve Shortreed, J. H. (1993). Risk and Capacity Impacts of ATC Separation Rules. *Journal of Transportation Engineering*, 119(5), 705-722. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(1993)119:5(705)
- Takebayashi, M. (2012). Managing the multiple airport system by coordinating short/long-haul flights. *Journal of Air Transport Management*, 22, 16-20. doi:10.1016/J.JAIRTRAMAN.2012.01.004
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2019). 2053 Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/20221025-2053-ulasirma-ve-lojistik-ana-plani-tr.pdf> adresinden erişildi.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2023). 2024-2028 STRATEJİK PLANI. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/stratejik-yonetim/uab-2024-2028-nihai-stratejik-plani-5-1-2024.pdf> adresinden erişildi.
- Trani A., A. ve Hojong, B. (2018). *Analysis of Air Transportation Systems Descriptions of Airport and Airspace Simulation Models*.
- Urbatzka, E. ve Wilken, D. (1997). Estimating runway capacities of German airports. *Transportation Planning and Technology*, 20(2), 103-129. doi:10.1080/03081069708717584
- Urbatzka, E. ve Wilken, D. (2007). Estimating runway capacities of German airports. <http://dx.doi.org/10.1080/03081069708717584>, 20(2), 103-129. doi:10.1080/03081069708717584
- Wang, P. T. ve Pitfield, D. E. (1999). The derivation and analysis of the passenger peak hour: an empirical application to Brazil. *Journal of Air Transport Management*, 5(3), 135-141. doi:10.1016/S0969-6997(99)00007-1

- Wang, Y., Wang, M., Xu, W. ve Hansen, M. (2023). Secondary trading of airport slots: Issues and challenges. *Chinese Journal of Aeronautics*, 36(12), 1-12. doi:10.1016/J.CJA.2023.07.004
- Wilken, D., Berster, P. ve Gelhausen, M. C. (2011). New empirical evidence on airport capacity utilisation: Relationships between hourly and annual air traffic volumes. *Research in Transportation Business and Management*, 1(1), 118-127. doi:10.1016/J.RTBM.2011.06.008
- Wu, C. L. (2008). Monitoring Aircraft Turnaround Operations – Framework Development, Application and Implications for Airline Operations. *Transportation Planning and Technology*, 31(2), 215-228. doi:10.1080/03081060801948233
- Xia, W. ve Zhang, A. (2017). Air and high-speed rail transport integration on profits and welfare: Effects of air-rail connecting time. *Journal of Air Transport Management*, 65, 181-190. doi:10.1016/J.JAIRTRAMAN.2017.06.008
- Xiao, Y., Fu, X. ve Zhang, A. (2013). Demand uncertainty and airport capacity choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 57, 91-104.
- Young, S. B. ve Wells, A. T. (2011). *Airport Planning and Management, Sixth Edition*. McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071750240> adresinden erişildi.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X
- Zografos, K. G. ve Madas, M. A. (2007). Advanced modeling capabilities for airport performance assessment and capacity management. *Transportation research record*, 2007(1), 60-69.
- Zografos, K. G., Madas, M. A. ve Salouras, Y. (2013). A decision support system for total airport operations management and planning. *Journal of advanced transportation*, 47(2), 170-189.
- Zurich Airport. (2024). Aircraft docking guidance system – Flughafen Zuerich. 7 Kasım 2024 tarihinde <https://www.flughafen-zuerich.ch/en/business/airlines-and-handling/flight-operations/aircraft-docking-guidance-system> adresinden erişildi.

EK-1 ARAŞTIRMA GÖRÜŞME FORMU

Değerli Katılımcı;

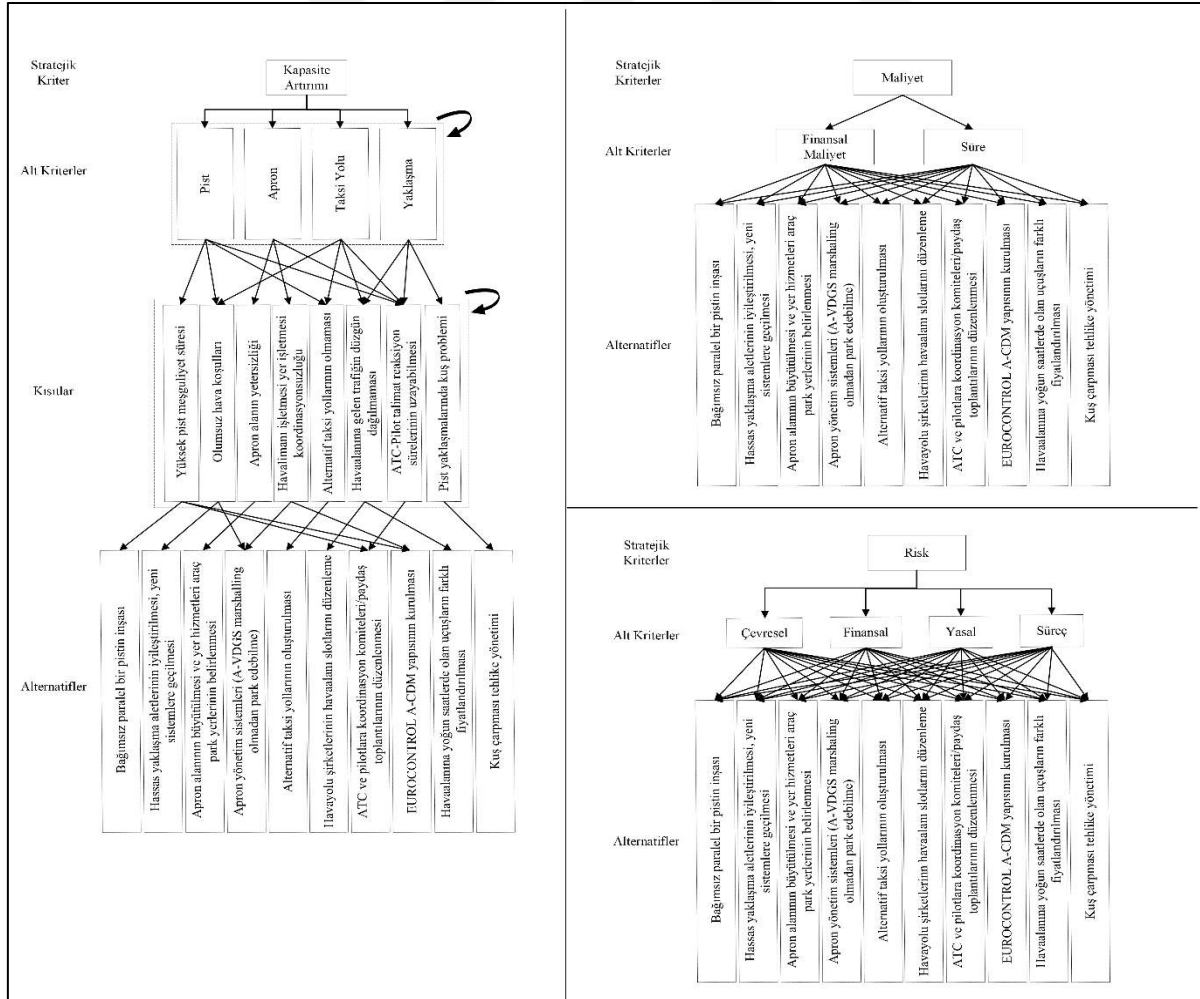
Bu görüşme formunu doldurmak için zaman ayırdığınız için teşekkür ederiz. Görüşme formu; Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı Doktora Programında yürütülen bir araştırma için hazırlanmıştır. Araştırma Sabiha Gökçen Havaalanı hava tarafı için belirlenen kapasite kısıtlarının ve iyileştirme önerilerinin kapasite artırımı, maliyeti ve risk açısından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu görüşme formu ile sağlanan bilgiler yalnızca akademik araştırma için kullanılacak, verilen cevaplar ile cevaplayanların kimliği gizli tutulacaktır. Bireysel düzeyde hiçbir bilgi kullanılmayacak, veriler toplu bir şekilde değerlendirilecektir. Görüşme yaklaşık olarak 30 dakika sürmektedir. Görüşme verilerinin değerlendirmeye alınabilmesi için tüm soruların eksiksiz olarak doldurulması gerekmektedir.

Niyazi Cem GÜRSOY

Prof. Dr. Hakan OKTAL

Görüşme Formuna Yönelik Açıklama

Bu görüşme formunun ilk bölümünde Sabiha Gökçen Havaalanı hava tarafı kısıtlayıcıları ve önerilen kapasite iyileştirme önerileri verilmiştir. Sabiha Gökçen Havaalanının kapasite kısıtlamaları 1.12.2022-30.11.2023 tarihleri arasında gerçekleşen uçuşlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Kısıtlar ve iyileştirme önerileri uzman görüşleri, literatür çıkarımları ve simülasyon çıktıları dikkate alınarak tanımlanmıştır. Aşağıdaki model temel alınarak görüşme soruları hazırlanmıştır.



Kriter Karşılaştırma Örneği

Araştırmada yer alan havaalanı kapasite iyileştirme önerileri, kapasiteye olan etkisi, maliyeti ve oluşabilecek riskler açısından ikili olarak karşılaştırılacağı için karşılaştırmaların nasıl yapılacağı farklı bir alandan örnekle aşağıda açıklanmıştır.

Tüketicilerin ev satın alırken dikkat ettikleri 4 farklı kriter **fiyat**, **konut yaşı**, **konum** ve **şehir** olarak verilmiştir. Bu kriterler içerisinde öncelikle en önemli ve en önemsiz kriterler belirlenmelidir. Bu durumda en önemli kriter olarak fiyat ve en önemsiz kriter olarak şehir kriterini seçmiş olalım. Bu adımdan sonra en önemli kriter diğer kriterlere göre **5’li ölçek** kullanılarak karşılaştırılır. Kullanılan **5’li ölçek** bir kriterin diğerinden kaç kat önemli olduğunun göstergesidir.

En önemli kriter	Fiyat	Konut Yaşı	Konum	Şehir
Fiyat	1	3	2	5

Yukarıdaki tabloda en önemli kriter fiyat olarak seçildiği için “fiyat” ve “fiyat” kriterlerinin kesiştiği hücre “1” değerini almıştır. Ardından, fiyat konut yaşından 3 kat daha önemli olarak görülmüş ve konut yaşı ile kesişen hücre “3” değerini almıştır. Aynı şekilde sırasıyla fiyat konumdan 2 kat ve evin bulunduğu şehirden 5 kat daha önemli görülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken tüm değerlendirmelerin en önemli kritere göre yapılmış olmasıdır.

Bu adımdan sonra en önemsiz kriter diğer kriterlere göre **5’li ölçek** kullanılarak karşılaştırılır. Kullanılan **5’li ölçek** bu sefer bir kriterin diğerinden kaç kat önemsiz olduğunun göstergesidir.

En önemsiz kriter	Fiyat	Konut Yaşı	Konum	Şehir
Şehir	5	2	4	1

Yukarıdaki tabloda en önemsiz kriter şehir olarak seçildiği için şehir kriterinin yine şehir kriteri ile kesiştiği hücre “1” değerini almıştır. Ardından, şehir fiyattan 5 kat daha önemsiz olarak görülmüş ve fiyat “5” değerini almıştır. Aynı şekilde sırasıyla şehir konut yaşından 2 kat ve konumdan 4 kat daha önemsiz görülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken tüm değerlendirmelerin en önemsiz kritere göre yapılmış olmasıdır. Yapılan değerlendirme aynı zamanda fiyatın evin bulunduğu şehre göre 5 kat daha önemli, konut yaşının evin bulunduğu şehre göre 2 kat daha önemli, konumun evin bulunduğu şehre göre 4 kat daha önemli olduğu anlamına da gelmektedir.

Not: Kriterlerin ikili karşılaştırmalarında tutarsızlığı önleme adına en önemli ve en önemsiz kriterlerin ikili karşılaştırma değerleri 1 değerini almamalıdır. Fakat diğer kriterler ile ikili karşılaştırma yaparken en önemli/önemsiz kriter diğerlerinden aynı derecede önemli/önemsiz olabilir.

1. Aşama

Kriter Değerlendirme Aşaması

Mesleğiniz nedir?	
Havacılık alanında kaç yıldır çalışıyorsunuz?	

Bu aşama havaalanı hava tarafı kapasitesini iyileştirmek için belirlenen öneri alternatiflerinin karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Sizlere yukarıda verilmiş olan örneği inceleyerek aynı mantık ile uygulama kriterlerinin önem düzeylerini belirleyiniz. Tabloların boş satırlarına belirlediğiniz **en önemli/önemsiz kriterin diğer kriterlere göre önem düzeylerini belirten rakamları 1 ile 5 arasında olacak şekilde yazınız.**

1. **Pist kapasite artışına** etki edecek en etkili ve en etkisiz kısıtı 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En önemli kısıt	Yüksek pist meşguliyet süresi	Olumsuz hava koşulları	Alternatif taksi yollarının olmaması	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi

En önemsiz kısıt	Yüksek pist meşguliyet süresi	Olumsuz hava koşulları	Alternatif taksi yollarının olmaması	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi

2. **Apron kapasite artışına** etki edecek en etkili ve en etkisiz kısıtı 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En önemli kısıt	Apron alanının yetersizliği	Havalimanı işletmesi yer işletmesi koordinasyonsuzluğu	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi

En önemsiz kısıt	Apron alanının yetersizliği	Havalimanı işletmesi yer işletmesi koordinasyonsuzluğu	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi

3. Taksi yolu kapasite artışına etki edecek en etkili ve en etkisiz kısıtı 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En <u>önemli</u> kısıt	Olumsuz hava koşulları	Alternatif taksi yollarının olmaması	Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi

En <u>önemsiz</u> kısıt	Olumsuz hava koşulları	Alternatif taksi yollarının olmaması	Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi

4. Yaklaşma kapasite artışına etki edecek en etkili ve en etkisiz kısıtı 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En <u>önemli</u> kısıt	Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi	Pist yaklaşmalarında kuş problemi

En <u>önemsiz</u> kısıt	Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi	Pist yaklaşmalarında kuş problemi

5. Yüksek pist meşguliyet süresi problemine etki edecek en önemli ve en önemsiz kısıtı 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En <u>önemli</u> kısıt	Olumsuz hava koşulları	Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi

En <u>önemsiz</u> kısıt	Olumsuz hava koşulları	Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi

6. **Apron yetersizliği problemine** etki edecek en önemli ve en önemsiz kısıtı 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En önemli kısıt	Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması	HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi

7. **HTK-Pilot talimat reaksiyon sürelerinin uzayabilmesi** etki edecek en önemli ve en önemsiz kısıtı 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En önemli kısıt	Yüksek pist meşguliyet süresi	Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması

8. **Yüksek pist meşguliyet süresi problemine** etki edecek en önemli ve en önemsiz alternatif kapasite iyileştirme çözümünü 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En önemli alternatif çözüm	Bağımsız paralel bir pistin inşası	HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi	EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması

En önemsiz alternatif çözüm	Bağımsız paralel bir pistin inşası	HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi	EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması

9. **Olumsuz hava koşulu problemine** etki edecek en önemli ve en önemsiz alternatif kapasite iyileştirme çözümünü 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En önemli alternatif çözüm	Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi	Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)

10. **Havalimanı işletmesi yer işletmesi koordinasyonsuzluğu problemine** etki edecek en önemli ve en önemsiz alternatif kapasite iyileştirme çözümünü 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En önemli alternatif çözüm	Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)	EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması

11. Havaalanına gelen trafiğin düzgün dağılmaması problemine etki edecek en önemli ve en önemsiz alternatif kapasite iyileştirme çözümünü 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En önemli alternatif çözüm	Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme	Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması

12. Önerilen kapasite iyileştirme uygulamalarının pist kapasitesine olan etkileri düşünüldüğünde kapasiteyi en çok artıracak öneri 5, en az artıracak öneri 1 değerini alacak şekilde 1 – 5 değerleri kullanılarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz. (Eğer hiç etkisi olmazsa 0 değerini veriniz)

Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme (Pist kapasitesi)	0	1	2	3	4	5
Bağımsız paralel bir pistin inşası						
Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi						
Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi						
Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)						
Alternatif taksit yollarının oluşturulması						
Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme						
HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi						
EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması						
Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması						
Kuş çarpması tehlike yönetimi						

13. Önerilen kapasite iyileştirme uygulamalarının apron kapasitesine olan etkileri düşünüldüğünde kapasiteyi en çok artıracak öneri 5, en az artıracak öneri 1 değerini alacak şekilde 1 – 5 değerleri kullanılarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz. (Eğer hiç etkisi olmazsa 0 değerini veriniz)

Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme (Apron kapasitesi)	0	1	2	3	4	5
Bağımsız paralel bir pistin inşası						
Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi						
Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi						
Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)						
Alternatif taksit yollarının oluşturulması						
Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme						
HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi						
EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması						
Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması						
Kuş çarpması tehlike yönetimi						

14. Önerilen kapasite iyileştirme uygulamalarının **taksi yolu kapasitesine** olan etkileri düşünüldüğünde kapasiteyi en çok artıracak öneri 5, en az artıracak öneri 1 değerini alacak şekilde 1 – 5 değerleri kullanılarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz. (Eğer hiç etkisi olmazsa 0 değerini veriniz)

Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme (Taksi yolu kapasitesi)	0	1	2	3	4	5
Bağımsız paralel bir pistin inşası						
Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi						
Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi						
Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)						
Alternatif taksi yollarının oluşturulması						
Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme						
HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi						
EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması						
Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması						
Kuş çarpması tehlike yönetimi						

15. Önerilen kapasite iyileştirme uygulamalarının **yaklaşma kapasitesine** olan etkileri düşünüldüğünde kapasiteyi en çok artıracak öneri 5, en az artıracak öneri 1 değerini alacak şekilde 1 – 5 değerleri kullanılarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz. (Eğer hiç etkisi olmazsa 0 değerini veriniz)

Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme (Yaklaşma kapasitesi)	0	1	2	3	4	5
Bağımsız paralel bir pistin inşası						
Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi						
Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi						
Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)						
Alternatif taksi yollarının oluşturulması						
Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme						
HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi						
EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması						
Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması						
Kuş çarpması tehlike yönetimi						

16. Kapasite kısıtlı havaalanlarında kapasite iyileştirme uygulamalarının maliyet ve süre kıyaslamalarını 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En <u>önemlisi</u>	Maliyet	Süre

2. Aşama

Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Önerilerinin Risk Değerlendirmesi

17. Kapasite kısıtlı havaalanlarında kapasite iyileştirme uygulamalarında ortaya çıkabilecek riskleri en önemli ve en önemsiz risk sınıflandırmalarını 1 ile 5 arasında olacak şekilde karşılaştırmasını yapınız.

En <u>önemli</u> risk	Çevresel	Finansal	Yasal	Süreç

En <u>önemsiz</u> risk	Çevresel	Finansal	Yasal	Süreç

18. Önerilen kapasite iyileştirme uygulamalarında ortaya çıkabilecek **çevresel** riskleri düşük riskli ve yüksek riskli olacak şekilde 1 – 5 değerleri kullanılarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Çevresel Risk	1	2	3	4	5
Bağımsız paralel bir pistin inşası					
Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi					
Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi					
Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)					
Alternatif taksi yollarının oluşturulması					
Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme					
HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi					
EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması					
Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması					
Kuş çarpması tehlike yönetimi					

19. Önerilen kapasite iyileştirme uygulamalarında ortaya çıkabilecek **finansal** riskleri düşük riskli ve yüksek riskli olacak şekilde 1 – 5 değerleri kullanılarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Finansal Risk	1	2	3	4	5
Bağımsız paralel bir pistin inşası					
Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi					
Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi					
Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)					
Alternatif taksi yollarının oluşturulması					
Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme					
HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi					
EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması					
Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması					
Kuş çarpması tehlike yönetimi					

20. Önerilen kapasite iyileştirme uygulamalarında ortaya çıkabilecek **yasal** riskleri düşük riskli ve yüksek riskli olacak şekilde 1 – 5 değerleri kullanılarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Yasal Risk	1	2	3	4	5
Bağımsız paralel bir pistin inşası					
Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi					
Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi					
Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)					
Alternatif taksi yollarının oluşturulması					
Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme					
HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi					
EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması					
Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması					
Kuş çarpması tehlike yönetimi					

21. Önerilen kapasite iyileştirme uygulamalarında ortaya çıkabilecek **süreç** riskleri düşük riskli ve yüksek riskli olacak şekilde 1 – 5 değerleri kullanılarak aşağıdaki tabloyu doldurunuz.

Havaalanı Hava Tarafı Kapasite İyileştirme Süreç Risk	1	2	3	4	5
Bağımsız paralel bir pistin inşası					
Hassas yaklaşma aletlerinin iyileştirilmesi, yeni sistemlere geçilmesi					
Apron alanının büyütülmesi ve yer hizmetleri araç park yerlerinin belirlenmesi					
Apron yönetim sistemleri (A-VDGS marshalling olmadan park edebilme)					
Alternatif taksi yollarının oluşturulması					
Havayolu şirketlerinin havaalanı slotlarını düzenleme					
HTK ve pilotlara koordinasyon komiteleri/paydaş toplantılarının düzenlenmesi					
EUROCONTROL A-CDM yapısının kurulması					
Havaalanına yoğun saatlerde olan uçuşların farklı fiyatlandırılması					
Kuş çarpması tehlike yönetimi					

EK-2 ETİK KURUL ONAYI

Eskişehir Teknik Üni. Evrak Tarih ve Sayısı: 29.04.2024 - 19771



T.C.
ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Hukuk Müşavirliği



Sayı : E-87914409-050.04-19771
Konu : 24.04.2023 Tarih ve 35/35 Sayılı Sosyal
Bilimler Etik Kurul Kararı

29.04.2024

Sayın Prof. Dr. Hakan OKTAL

Prof. Dr. Hakan OKTAL' ın danışmanlığını yaptığı ve yazarlığını Niyazi Cem GÜRSOY'un yaptığı "**Havaalanı Hava Tarafı Kapasite Planlama Modeli Geliştirme ve Bir Uygulama**" başlıklı Sosyal Bilimler alanında Doktora Tez çalışmasının etik kurul başvurusu Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği kurulu tarafından incelenmiş olup etik açıdan uygun bulunmuştur.

Bilgilerinizi ve uygulama dosyasının hazırlanmasında, ilgili kurumun bulunması halinde Etik Kurulu yönergelerinin dikkate alınması hususunda gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Yunus ÖZDEMİR
Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel
Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Başkanı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : BSULZM4M5K

Belge Takip Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/eskisehir-teknik-universitesi-ebys>

Adres: İki Eylül Kampüsü Tepebaşı/Eskişehir
Telefon: 90 222 213 77 77 Faks: 90 222 335 36 16
e-Posta: gensek@eskisehir.edu.tr Web: gensek.eskisehir.edu.tr
Kep Adresi: eskisehirkurulteknikuniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi için: Fatma DEMİR
Unvanı: Büro Personeli



Bu belge, Güvenli Elektronik İmza ile imzalanmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Niyazi Cem GÜRSOY
Yabancı Dil : İngilizce
ORCID : 0000-0003-2743-5314

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2022 - Halen Öğretim Görevlisi, Pilotaj Bölümü, Hava Ulaştırma Fakültesi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara
- 2019-2022 Araştırma Görevlisi, Pilotaj Bölümü, Hava Ulaştırma Fakültesi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara
- 2017-2020 Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sayısal Yöntemler Yüksek Lisans, İşletme Anabilim Dalı, Eskişehir
- 2018 Hava Tarafı Sürücü Ehliyeti ve Apron Araç Plaka Tahsis Uzman Yardımcısı, İGA, Hava Tarafı SMS Müdürlüğü, İstanbul
- 2014-2018 Türk Hava Kurumu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Lojistik Yönetimi Lisans, Ankara
- 2012-2017 Türk Hava Kurumu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Havacılık Yönetimi Lisans, Ankara

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- GÜRSOY, N. C. (2020). *Havayolu fazladan yakıt taşıma (Tankering) stratejisinin doğrusal olmayan programlama ile modellenmesi ve bir uygulama* (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- GÜRSOY, N. C., & AKINET, M. (2020). Performans Stratejilerinin Havacılık Sektöründeki Önemi: Qantas Havayolları Örneği. *Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi*, 1(1), 93-113.
- KARAMAN, F., AKINET, M., & GÜRSOY, N. C. (2020) Pilotaj Bölümü Eğitim Gereksinimlerinin Kano Modeli ile Analizi. *Anadolu University Journal of Education Faculty*, 4(3), 216-231.
- GÜRSOY, N. C. & AKINET, M. (2021) Sadece Kargo Havayolu İşletmelerinde Kurumsal Stratejik Eş Biçimlilik: Misyon İfadeleri Üzerine Bir Çalışma, Uluslararası İşletmecilik Kongresi, 793-807

- GÜRSOY, N. C., & ATEŞ, S. S (2021). Use Of Check-In Self Service Technologies Before And During The Covid-19 Pandemic: Example Of Esenboga Airport LM-SCM 2021 XIX. INTERNATIONAL LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN CONGRESS.
- GÜRSOY, N. C., & SAVAŞ, ATEŞ. (2022) Airport terminal flow simulation: impact analysis of self-service check-in technologies usage past and during the Covid-19 pandemic. *Journal of Turkish Operations Management*, 6(2), 1184-1195.
- GÜRSOY, N. C., KARAMAN F., & AKINET, M. (2022), Evaluation of the Airline Business Strategic Marketing Performance: The Asia-Pacific Region Case. *Journal of Aviation*. doi: 10.30518/JAV.1063368.
- GÜRSOY, N. C., & ALPTEKİN, N. (2023). Modelling Strategy of Airline Tankering with Nonlinear Programming. *Verimlilik Dergisi*, 57(2), 365-392.

