

**HAVA TRAFİK AKIŞ YÖNETİMİ VE ESENBOĞA HAVALİMANI
UYGULAMASI**

Tuba USLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2012

ANKARA

**HAVA TRAFİK AKIŞ YÖNETİMİ VE ESENBOĞA HAVALİMANI
UYGULAMASI**

Tuba USLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2012

ANKARA

Tuba USLU tarafından hazırlanan “HAVA TRAFİK AKIŞ YÖNETİMİ VE ESENBOĞA HAVALİMANI UYGULAMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

.....

Tez Danışmanı, Endüstri Müh. Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet ATAK

.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Talip KELLEGÖZ

.....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 14/12/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Tuba USLU

**HAVA TRAFİK AKIŞ YÖNETİMİ VE ESENBOĞA HAVALİMANI
UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Tuba USLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2012**

ÖZET

Özellikle son yıllarda sivil havayolu sektörüne olan talep artışının bir sonucu olarak hava trafiğinde de artış olmuş ve hava trafik kontrol hizmeti dar bir kapsamda kalmıştır. Birçok Amerika ve Avrupa havalimanı ve hava sahasındaki tıkanıklık probleminde artış görülmüştür. Bu sebeple hava trafik yönetiminin oluşturulmasına ihtiyaç duyulmuştur. Hava trafik kontrolünü aşırı yüklenmelerden koruyabilmek için hava trafik akış yönetimi ortaya konulmuştur.

Hava trafik akış yönetimi, havalimanı-sektör kapasitelerinin aşılması önlemek ve mevcut kapasitenin verimli kullanılabilmesini sağlamak amacıyla yapılan hava trafik düzenlemeleridir. Bu uygulamadaki amaç, hava trafik kontrol kısıtlarını ve havayolu işletmelerinin maliyetlerini minimize etme isteklerini göz önünde bulundururken hava sahası kapasitesini arttırabilmektir.

Bu çalışmada hava trafik akış yönetiminin ve Esenboğa Havalimanı için uygulamalarının incelenmesi amaçlanmaktadır. Bunun için önce sivil havacılık sistemi ele alınmış, daha sonra bir alt sistem olarak hava trafik sisteminin bu sistemler içindeki konumu belirlenmiştir. Ardından, hava trafik yönetimi kavramı ve işlevleri anlatılmıştır. Son olarak, hava trafik akış yönetiminde kullanılan modeller ve bu modellerden Tek Havalimanlı Yerde Bekleme

Probleminin geliştirilmesiyle oluşturulan yeni modelin Esenboğa Havalimanı için uygulamasından bahsedilmiştir.

Bilim Kodu : 906.1.148

Anahtar Kelimeler : Hava trafik sistemleri, hava trafik akış yönetimi

Sayfa Adedi : 137

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

**AIR TRAFFIC FLOW MANAGEMENT AND AN APPLICATION FOR
ESENBOGA AIRPORT**

(M.Sc.Thesis)

Tuba USLU

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

December 2012

ABSTRACT

Especially in recent years as a result of the increase in the demand for civil airline sector there has been an increase in air traffic and air traffic control service has remained in a narrow context. Congestion problems have become increasingly acute in many European and American airports and air sectors. For this reason, the creation of air traffic management is needed. To protect air traffic control from overload a planning activity called air traffic flow management has suggested.

ATFM is the regulation of air traffic in order to avoid exceeding airport or flight sector capacity in handling traffic, and to ensure that available capacity is used efficiently. The aim of Air Traffic Flow Management (ATFM) is to enhance the capacity of the airspace while satisfying Air Traffic Control constraints and airlines requests to optimize their operating costs.

In this study air traffic flow management and its applications of Esenboğa Airport has been observed. For this purpose, civil aviation system is introduced and declared a sub-system air traffic system' s position is determined in these systems. And then, air traffic management concept and its functions are explained. Finally, the models used in air traffic flow management and the

application of the new model which was generated by developing the Single Airport Ground Holding Problem for Esenboğa Airport were discussed.

Science Code : 906.1.148

Key Words : Air traffic systems, Air traffic flow management

Page Number: 137

Adviser : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana her türlü yardımda bulunan ve kıymetli bilgi ve tecrübelerini aktaran, beni destekleyen, yönlendiren ve sabırla dinleyen Hocam Prof. Dr.Hadi GÖKÇEN' e, uygulama çalışmam boyunca bana her türlü desteği sağlayan Esenboğa Havalimanı hava trafik kontrol birimi D ekibi çalışanlarına, manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen arkadaşlarım A. Furkan ÖKSÜZ, Nesrin ÇELİK AY, Fikret TEKİN ve Emre TAŞKIRAN' a, iş yerimden gerekli izinleri alabilmemi sağlayan ve her türlü yardımı gösteren ekip şefim Ayten BÜTÜN' e, değerli tecrübe ve bilgilerini benimle paylaşan eğitmenim Yüksel CANBAŞA' ya, deneyimleriyle bana yön veren üniversite arkadaşlarım Onur UZUNLAR ve Gökhan ÖZÇELİK' e, yüksek lisans eğitimim boyunca maddi destek gösteren TÜBİTAK' a ve her zaman yanımda olup maddi-manevi desteklerini ve dualarını eksik etmeyen anneme, babama, kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. SİVİL HAVACILIK SİSTEMİ	3
2.1. Sivil Havacılık Faaliyetleri	4
3. HAVA TRAFİK SİSTEMİ	5
3.1. Hava Trafik Sisteminin Özellikleri	6
3.2. Hava Trafik Sistemin Girdileri	6
3.2.1. Hava sahası	6
3.2.2. Teknik donanım	12
3.2.3. Hava araçları	14
3.2.4. İnsan gücü	15
3.3. Hava Trafik Sistemi Süreci: Hava Trafik Hizmetleri	16
3.3.1. Hava trafik hizmetlerine duyulan ihtiyacın belirlenmesi	17
3.3.2. Hava trafik hizmet bölümleri	18
3.4. Hava Trafik Sisteminin Çıktısı	29
3.5. Hava Trafik Sisteminin Çevresi	29
3.6. Hava Trafik Hizmetlerinin Yönetimi	30

Sayfa

3.6.1. CNS/ATM kavramı	32
3.6.2. Hava trafik yönetiminin işlevleri	38
3.6.3. Hava trafik yönetiminin unsurları	47
4. HAVA TRAFİK AKIŞ YÖNETİMİ.....	51
4.1. Hava Trafik Akış Yönetiminin Doğuşu	54
4.2. Hava Trafik Akış Yönetiminin Amacı	55
4.3. Hava Trafik Akış Yönetiminde Alternatif Uygulamalar.....	56
4.3.1. Yolun yenilenmesi	56
4.3.2. Slot tahsisi	57
4.4. Hava Trafik Akış Yönetimi Faaliyetlerinin Safhaları	59
4.4.1. Stratejik safha.....	60
4.4.2. Ön taktik safha	61
4.4.3. Taktik safha.....	62
4.4.4. Analiz	62
4.5. İşbirlikçi Karar Verme (CDM).....	63
4.6. Hava Trafik Akış ve Kapasite Yönetimi (ATFCM).....	64
4.7. Merkezi Akış Yönetimi Birimi (CFMU).....	64
4.7.1. CFMU' nun görevleri.....	65
4.7.2. CFMU' nun organizasyon yapısı	65
4.8. Hava Trafik Yönetimi Problem Alanları.....	69
4.8.1. Sistem planlaması ile ilgili problemler	69
4.8.2. Sistem kontrolü-akış yönetimi ile ilgili problemler	70
4.9. Sistem Planlaması Problemleri Çözüm Yaklaşımları-Hava Sahası Yönetimi	71
4.10. Sistem Kontrolü - Akış Yönetimi Problemleri Çözüm Yaklaşımları.....	71

Sayfa

4.10.1. Bir karar problemi olarak akış yönetimi	72
4.11. Hava Trafik Akış Yönetimi İçin Akış Modelleri	79
4.12. Yerde Bekleme Problemleri	80
4.12.1. Tek havalimanlı yerde bekleme problemi	81
4.12.2. Çok havalimanlı yerde bekleme problemi	85
5. TEK HAVALİMANLI YERDE BEKLEME PROBLEMİ: ESENBOĞA HAVALİMANI UYGULAMASI.....	91
5.1. Problemin Tanımı.....	93
5.2. Varsayımlar	96
5.3. Önerilen Modelin Matematiksel Formülasyonu.....	97
5.4. Hesaplama Sonuçları.....	101
5.4.1. Zamanında iniş/kalkışlar için sonuçların değerlendirilmesi.....	102
5.4.2. Manuel atama ile elde edilen sonuçlar	108
5.4.3. İki dakika önce iniş/kalkışa izin veren modelden elde edilen sonuçlar	114
5.5. Sonuçların Karşılaştırılması	117
6. SONUÇ	120
KAYNAKLAR	122
EKLER.....	127
EK 1: 02 Temmuz tarihli veri setine ait bilgiler	128
EK 2: 06 Temmuz tarihli veri setine ait bilgiler	129
EK 3: 17 Temmuz tarihli veri setine ait bilgiler	130
EK 4: 10 Ağustos tarihli veri setine ait bilgiler	131
EK 5: 17 Ağustos tarihli veri setine ait bilgiler	132
EK 6: 27 Ağustos tarihli veri setine ait bilgiler	133
EK 7: 03 Eylül tarihli veri setine ait bilgiler	134
EK 8: 14 Eylül tarihli veri setine ait bilgiler	135
EK 9: 21 Eylül tarihli veri setine ait bilgiler	136
ÖZGEÇMİŞ	137

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Bir serimin olası bileşenleri	74
Çizelge 4.2. Tek havalimanlı yerde bekleme problemi literatür çalışması özeti	85
Çizelge 4.3. Çok havalimanlı yerde bekleme problemi ve hava trafik akış yönetimi problemlerine ilişkin literatür özeti.....	90
Çizelge 5.1. Yıllara göre Ekim ayı toplam uçak trafiği	93
Çizelge 5.2. Yıllara göre Ekim ayı toplam yolcu trafiği	93
Çizelge 5.3. Değişik veri setleri için elde edilen hesaplama sonuçları	102
Çizelge 5.4. Aylara göre geciken trafik sayıları ve gecikme zamanları.....	106
Çizelge 5.5. Her veri seti için dakika cinsinden gecikmeler	107
Çizelge 5.6. Elde edilen amaç fonksiyon değerleri.....	107
Çizelge 5.7. Değişik veri setleri için elde edilen hesaplama sonuçları	108
Çizelge 5.8. Aylara göre geciken trafik sayıları ve gecikme zamanları.....	112
Çizelge 5.9. Her veri seti için dakika cinsinden gecikmeler	113
Çizelge 5.10. Elde edilen amaç fonksiyon değerleri.....	113
Çizelge 5.11. Her veri seti için elde edilen sonuçlar.....	114
Çizelge 5.12. Aylara göre geliş trafiklerinin durumu	116
Çizelge 5.13. Aylara göre kalkış trafiklerinin durumu	116
Çizelge 5.14. Her veri seti için iyileştirme yüzdeleri.....	118

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sivil havacılık sistemi	3
Şekil 3.1. Hava trafik sisteminin işleyişi.....	5
Şekil 3.2. Hava sahası sınıflandırması	8
Şekil 3.3. Hava trafik hizmet bölümleri	18
Şekil 3.4. Taksi ve trafik paterni	26
Şekil 3.5. CNS/ATM kavramı.....	33
Şekil 3.6. Karmaşık örgütlerde yönetim işlevi.....	38
Şekil 3.7. Hava trafik yönetiminde planlama işlevi	39
Şekil 3.8. ICAO tarafından önerilen sivil havacılık örgüt yapısı.....	41
Şekil 3.9. ICAO tarafından önerilen hava trafik hizmetleri örgüt yapısı	41
Şekil 3.10. Hava trafik hizmet üniteleri arasındaki koordinasyon	44
Şekil 3.11. Hava trafik yönetiminde kontrol işlevi	46
Şekil 3.12. Hava trafik yönetimi	47
Şekil 4.1. CFMU Organizasyon Yapısı	66
Şekil 4.2. Karar verme işlemi.....	72
Şekil 4.3. Temel bir kuyruk sistemi	75
Şekil 5.1. Yıllara göre Ekim ayı toplam uçak trafiği	92
Şekil 5.2. Yıllara göre Ekim ayı toplam yolcu trafiği	92
Şekil 5.3. En az 45 ⁰ ile ayrılan rotaları izleyen kalkış uçakları arasındaki ayırma....	94
Şekil 5.4. Takip eden uçaklar için 2 dakikalık ayırma.....	95
Şekil 5.5. Kesişen rotadaki uçaklar için iki dakikalık kuyruk türbülansı ayırması....	95
Şekil 5.6. Aylara göre geciken iniş/kalkış trafiği sayıları	104
Şekil 5.7. Aylara göre toplam geciken trafik sayısı	104

Şekil	Sayfa
Şekil 5.8. Temmuz ayı geciken trafik sayıları.....	105
Şekil 5.9. Ağustos ayı geciken trafik sayıları.....	105
Şekil 5.10. Eylül ayı geciken trafik sayısı.....	106
Şekil 5.11. Aylara göre geciken iniş/kalkış trafikleri sayısı.....	110
Şekil 5.12. Aylara göre toplam geciken trafik sayıları.....	110
Şekil 5.13. Temmuz ayı geciken trafik sayısı	111
Şekil 5.14. Ağustos ayı geciken trafik sayısı	111
Şekil 5.15. Eylül ayı geciken trafik sayısı.....	112
Şekil 5.16. Aylara göre geliş trafiklerinin gerçekleşen varış zamanlarına göre durumu	115
Şekil 5.17. Aylara göre kalkış trafiklerinin gerçekleşen kalkış zamanlarına göre durumu.....	116

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
ADS	Automatic Depend Surveillance (Otomatiğe Bağımlı Gözetim)
AIP	Aeronatiucal Information Publication (Havacılık Bilgi Yayınları)
ASM	Airspace Management (Havasahası Yönetimi)
ANSP	Air Navigation Service Provider (Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı)
ATC	Air Traffic Controller (Hava Trafik Kontrolörü)
ATIS	Automatic Terminal Information Service (Otomatik Terminal Bilgi Sistemi)
ATFM	Air Traffic Flow Management (Hava Trafik Akış Yönetimi)
ATFCM	Air Traffic Flow&Capacity Management (Hava Trafik Akış ve Kapasite Yönetimi)
ATM	Air Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi)
ATS	Air Traffic Services (Hava Trafik Hizmetleri)
CAT	Category (Kategori)
CDM	Collobrative Decision Making (İşbirlikçi Karar Verme)
CFMU	Central Flow Management Unit (Merkezi Akış Yönetimi Birimi)
CNS	Communication, Navigation, Surveillance (Haberleşme, Seyrüsefer, Gözetim)
DHMI	Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DME	Distance Measuring Equipment (Mesafe Ölçme Cihazı)
ECAC	European Civil Aviation Conference (Avrupa Sivil Havacılık Konferansı)

Kısaltmalar	Açıklama
EUROCONTROL	The European Organisation for the Safety of Air Navigation (Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı)
FAA	Federal Aviation Administration (Amerikan Sivil Havacılık Kuruluşu)
FANS	Future Air Navigation System (Geleceğin Uyduya Dayalı Seyrüsefer Sistemleri)
FIR	Flight Information Region (Uçuş Bilgi Bölgesi)
FMP	Flow Management Position (Akış Yönetim Pozisyonu)
FMS	Flight Management System (Uçuş Yönetim Sistemi)
FUA	Flexible Use of Airspace (Havasahasının Esnek Kullanımı)
GBAS	The Ground-Based Augmentation System
GLS	GNSS Landing System (GNSS İniş Sistemi)
GNSS	Global Navigation Satellite Systems (Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi)
GP	Glide Path (Süzülüş Hattı)
GPS	Global Positioning System (Küresel Pozisyon Sistemi)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Uluslar arası Sivil Havacılık Örgütü)
IFR	Instrument Flight Rules (Aletli Uçuş Kuralları)
ILS	Instrument Landing System (Aletli İniş Sistemi)
IMC	Instrument Meteorological Conditions (Aletli Meteorolojik Şartlar)
INS	Inertial Navigation System
MLS	Microwave Landing System
NDB	Non-Directional Beacon
PSR	Primary Surveillance Radar (Birincil Gözetim Radarı)
RNAV	Area Navigation (Saha Seyrüseferi)
RVR	Runway Visual Range (Pist Görüş Mesafesi)
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SID	Standard Instrument Departure (Standart Aletli Kalkış)

Kısaltmalar	Açıklama
SSR	Secondary Surveillance Radar (İkincil Gözetim Radarı)
STAR	Standard Terminal Arrival Route (Standart Terminal Geliş Yolu)
TMA	Terminal Area (Terminal Sahası)
UHF	Ultra High Frequencies (Aşırı Yüksek Frekans)
VFR	Visual Flight Rules (Görerek Uçuş Şartları)
VMC	Visual Meteorological Conditions (Görerek Meteorolojik Şartlar)
VOR	VHF Omni Range

1. GİRİŞ

Havayolu ulaştırması insanlığa yeni olanaklar sağlamış, hızı arttırarak mesafeleri küçültmüş ve coğrafi engelleri ortadan kaldırarak insanları tekerleğin sınırlamalarından kurtarmıştır. Günümüzde bir sistem olarak değerlendirilen havayolu ulaştırması, özellikle turizm, ekonomi ve hizmet sektörlerinde kendini önemli ölçüde hissettirmektedir. Havayolu ulaştırması en çok gelişen, en çok ilgi gören ve modern teknolojiyi en çok kullanan ulaştırma sistemi olarak kabul edilmektedir.

Havayolu ulaştırmasındaki gelişmelerle birlikte çağdaş havacılık işletmeleri kurulmuş ve bunun sonucunda hava sahalarındaki uçak trafiği önemli ölçüde artmıştır. Hava trafiğinin artmasına paralel olarak da hava trafiğinin kontrol edilmesi gerekliliği ortaya çıkmış ve hava trafik kontrolü için organize edilmiş sistemlere gereksinim duyulmuştur. Böylece, havayolu ulaştırma sisteminin bir alt sistemi olarak hava trafik sistemi doğmuştur.

Hava trafik sistemi, belirli girdileri olan ve bu girdileri belirli bir süreçte işleyip çevresine belirli çıktıları sunan bir hizmet sistemidir. Bu sistemin süreç aşamasında hava trafik hizmetleri üretilmektedir.

Bütün teknolojik gelişmelere rağmen, hava trafiğindeki tıkanıklık problemi başlangıçta olduğu gibi günümüzde de hava trafik sisteminin ana problemi olmaya devam etmektedir. Böyle bir problemin çözümü ise, “yönetim bilimi” teknikleriyle mümkün olabilmektedir. Bu noktada hava trafik yönetimi kavramı gündeme gelmektedir. Nitekim, son yıllarda uluslararası havacılık çevrelerinde “hava trafik kontrol” terimi yerine “hava trafik yönetimi” terimi çok daha sık olarak kullanılmakta ve genellikle bu kavramın içine hava trafik kontrolü, hava trafik akış yönetimi ve hava sahası organizasyonu konuları dahil edilmektedir.

Altı bölümden oluşan bu çalışmanın ikinci bölümünde sivil havacılık sistemi ile ilgili genel açıklamalara yer verilmiş olup üçüncü bölümde sivil havacılık sistemi

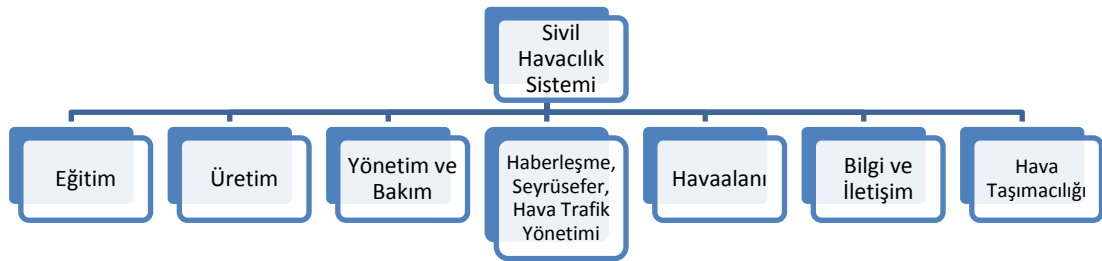
içerisinde yer alan hava trafik sistemine değinilmiş, sistemin girdi, süreç, çıktı ve işlevleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Hava trafik sisteminin yönetimine de bu bölümde yer verilmiştir. Hava trafik yönetiminin bileşenlerinden biri olan ve teze konu alınan hava trafik akış yönetiminden dördüncü bölümde bahsedilmiştir. Bu bölümde hava trafik akış yönetiminin doğuşu, amaçları, safhaları, uygulama alanları gibi ayrıntılı bilgilere yer verilmiş; daha sonra hava trafik akış yönetimindeki problem alanlarından bahsedilerek bu problemlerin çözümüne yönelik sunulan yaklaşımlara geçilmiş ve geliştirilen akış modellerine ve literatür araştırmalarına değinilmiştir. Beşinci bölümde ise hava trafik akış yönetimi modelleri arasında yer alan tek havalimanlı yerde bekleme problemine farklı bir bakış açısı kazandırılarak oluşturulan, iniş ve kalkış uçakları arasında kullanılan türbülans ayırmalarının dikkate alınmasıyla geliştirilen ve belirli zaman dilimi içerisinde bir meydana iniş-kalkış yapan trafiklerin yerde ve havadaki bekleme maliyetlerinin minimize edilmesini amaçlayan model ve bu modelin Esenboğa Havalimanı için uygulaması sunulmuştur. Altıncı bölümde modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiş ve değerlendirilmeler yapılmıştır.

2. SİVİL HAVACILIK SİSTEMİ

Havacılık sistemi, hem askeri hem de sivil havacılık faaliyetlerini içermektedir. Sivil havacılık sistemi, askeri havacılık kapsamı dışındaki tüm havacılık faaliyetlerini kapsamaktadır. Bununla birlikte iki sistem arasında teknoloji, ulusal ve uluslararası hava savunması, uygulamalardaki kurallar ve düzenlemeler gibi konularda koordinasyon ve etkileşim gerçekleşmektedir [Turhan, 2007].

Sivil havacılık sisteminin alt sistemleri de birbirinden farklı işlevlere sahiptir. Ancak bu işlevlerin yerine getirilmesindeki tüm süreçlerde diğer alt sistemlerle yoğun bir etkileşim bulunmaktadır. Bir alt sistemin olumlu ya da olumsuz performansı tüm sistemi etkilemektedir [Turhan, 2007].

Sivil havacılık sisteminde gerçekleştirilen hizmet ve ürün üretimi çevresindeki yapıdan, değişim ve gelişmelerden etkilenmektedir [Gerede, 2002]. Bu yüzden açık bir sistemdir. Açık sistemler çevreleri ile ilişki içindedirler. Herhangi bir olumsuzluk bağlı diğer sistemleri de etkilemektedir [Koçel, 2001]. Söz gelimi, bir hammadde kargosunun havadan ulaştırılmasında hava trafik yönetimi kaynaklı bir gecikme yaşanması ya da ulaştırılamaması, bağlantılı diğer ulaştırma faaliyetlerini ve üretimin tüm süreçlerini olumsuz etkileyebilecektir. Aşağıdaki Şekil 2.1’ de sivil havacılık sistemini oluşturan alt sistemler verilmektedir.



Şekil 2.1. Sivil havacılık sistemi

Sivil havacılık sistemini oluşturan alt sistemler şu şekilde sıralanabilir [Gerede, 2002]:

- ✓ Eğitim alt sistemi,
- ✓ Yönetim alt sistemi,
- ✓ Üretim ve bakım alt sistemi,
- ✓ Haberleşme, seyrüsefer ve hava trafik yönetimi alt sistemi,
- ✓ Havaalanı alt sistemi,
- ✓ Bilgi ve iletişim alt sistemi,
- ✓ Hava taşımacılığı alt sistemi.

2.1. Sivil Havacılık Faaliyetleri

Sivil havacılık sisteminde, alt sistemlerin içinde bulundukları ekonomik ve sosyopolitik çevrede ve birbirleri ile gerçekleştirdikleri faaliyetler sivil havacılık faaliyetleri olarak sınıflandırılmaktadır. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu ICAO, dokümanlarında şu sınıflandırmaya yer vermektedir [Saldıraner, 1992]:

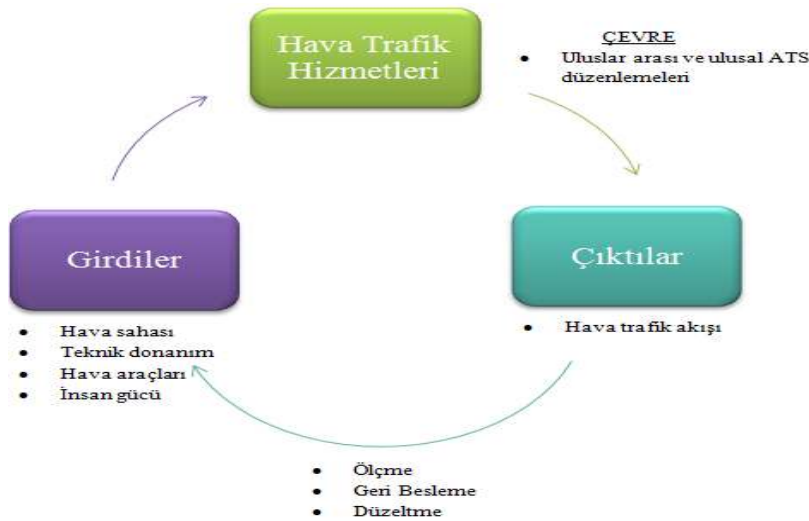
- ✓ Hava araçlarının üretimi, bakımı ve onarımı,
- ✓ Hava araçları ile işletmecilik,
- ✓ Havaalanı yapımı ve işletmeciliği,
- ✓ Haberleşme, seyrüsefer ve hava trafik yönetimi,
- ✓ Meteoroloji,
- ✓ Çevre koruma.

3. HAVA TRAFİK SİSTEMİ

Hava trafik sistemi, belirli girdileri alan ve bu girdileri belirli bir süreçte işleyip çevresine belirli çıktılar sunan bir hizmet üretim sistemidir. Hava trafik sistemi, havayolu ulaştırma sisteminin bir alt sistemidir [Uslu, 2007].

Hava trafik sisteminin girdileri hava sahası, hava araçları, teknik donanım ve insan gücüdür. Sistemin çıktısı hava trafik akışı, geri besleme mekanizması ise ATC izinlerinin pilot tarafından doğru alındığının kontrolü, trafik akışı-sektör kapasitesinin karşılaştırılması, çevresel faktörler ise ulusal ve uluslar arası ATC düzenlemeleridir [Cavcar, 1998]. Aynı zamanda bir hizmet üretim sistemi olan hava trafik sisteminin amacı hava araçlarının uçuşlarını emniyetli, verimli ve ekonomik şekilde gerçekleştirmelerini sağlamaktır [Özgür, 2007].

Hava trafik sistemi, yetersiz olması durumunda doğrudan havayolu ulaştırmasının gelişiminin yavaşlamasına neden olabilecek bir alt sistemdir ve Şekil 3.1' deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.1. Hava trafik sisteminin işleyişi [Cavcar,1998]

3.1. Hava Trafik Sisteminin Özellikleri

Hava trafik sistemi, hava trafik hizmetlerinin sağlanması ve hava trafik akışının düzenlenmesi amacıyla oluşturulmuş bir yapıdır. Bu nedenle, hava trafik sistemi, hizmet üreten sistemlerin özelliklerine sahiptir [Uslu,2007].

Hava trafik sistemleri bir nesne olmadığından stoklanamaz. Üretimi ve tüketimi eş zamanlıdır [Uslu,2007].

Hava trafik hizmetleri türdeş değildir. Bu hizmetler genellikle insanlar tarafından verildiği için hizmetin iki ayrı sunumu aynı değildir. Hizmeti sunan kontrolöre göre kalite değişebileceği gibi, aynı kontrolörün sunduğu hizmetin kalitesi de zaman içerisinde değişiklik gösterebilir. Bunun yanı sıra hizmetten yararlanan farklı kullanıcılara göre kalite algısı da değişebilir [Uslu,2007].

Kötü sunulmuş bir hava trafik hizmetinin telafisi yoktur. Hizmet hakkında oluşan olumsuz düşünceler hizmetin tekrarlanması ile değiştirilemez [Uslu,2007].

Mekanik problemler ya da kötü hava koşulları nedeniyle hava trafik hizmetinin önceden belirlenen şekilde sunumu her zaman mümkün olmayabilir [Uslu,2007].

3.2. Hava Trafik Sistemin Girdileri

Hava trafik sisteminin girdileri hava sahası, teknik donanım, hava araçları ve insan gücüdür.

3.2.1. Hava sahası

Hava trafik hizmetleri hava sahaları içinde belirli tip uçuşlara izin verilen, hava trafik hizmetleri ile operasyon usullerinin tanımlanan kurallarına göre sağlandığı boyutları belirlenmiş alfabetik olarak tanımlanan hava sahalarıdır [ICAO Annex11, 2001].

ATS hava sahaları aşağıda belirtildiği şekilde belirlenmektedir [ICAO Annex11, 2001]:

A Sınıfı Hava Sahası: Sadece IFR uçuşlara izin verilir, tüm uçuşlar birbirinden ayrılarak hava trafik kontrol hizmeti sağlanır. Uçaklara hız limiti uygulanmaz. Uçaklarla devamlı iki yönlü muhabere radyo haberleşmesi sağlanır. Hava araçları ATC izinlerine bağımlıdır.

B Sınıfı Hava Sahası: IFR ve VFR uçuşlara izin verilir, tüm uçuşlar birbirinden ayrılarak hava trafik kontrol hizmeti sağlanır. Uçaklara hız limiti uygulanmaz. Uçaklarla devamlı iki yönlü muhabere radyo haberleşmesi sağlanır. Tüm hava araçları ATC izinlerine bağımlıdır.

C Sınıfı Hava Sahası: Bu hava sahasında IFR uçaklara ve IFR uçaklardan ayrılacak VFR uçaklara hava trafik kontrol hizmeti verilir. IFR uçaklar arasında ve IFR uçaklarla VFR uçaklar arasında ayırma sağlanır. VFR uçaklar da IFR uçaklardan ayrılır ve VFR uçaklara diğer VFR uçaklar hakkında trafik bilgisi ve talep gelirse sakındırma hizmeti verilir. Hız limiti IFR uçaklara uygulanmaz, ancak VFR uçaklara uygulanır. Uçaklarla devamlı iki yönlü muhabere radyo haberleşmesi sağlanır. Tüm hava araçları ATC izinlerine bağımlıdır.

D Sınıfı Hava Sahası: IFR ve VFR uçuşlara izin verilir, tüm uçuşlara hava trafik kontrol hizmeti sağlanır. IFR uçuşlar diğer IFR uçuşlardan ayrılır, VFR uçuşlara nazaran trafik bilgisi sağlanır. VFR uçuşlara diğer tüm uçuşların trafik bilgisi sağlanır.

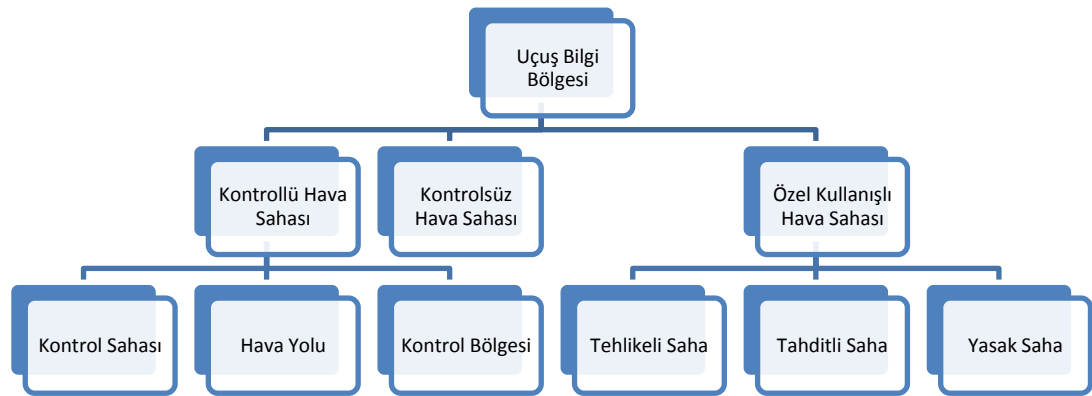
E Sınıfı Hava Sahası: IFR ve VFR uçuşlara izin verilir. IFR uçuşlara hava trafik kontrol hizmeti sağlanarak IFR uçuşlarla ayırma sağlanır. Tüm uçuşlara mümkün olduğunca trafik bilgisi verilir.

F Sınıfı Hava Sahası: IFR ve VFR uçuşlara izin verilir, hava sahasında uçan tüm IFR uçuşlara hava trafik tavsiye hizmeti verilir ve tüm uçuşlara istenildiğinde uçuş bilgi hizmeti sağlanır.

G Sınıfı Hava Sahası: IFR ve VFR uçuşlara izin verilerek istenildiğinde uçuş bilgi hizmeti sağlanır.

Devletler, kendi ihtiyaçları doğrultusunda uygun hava sahası sınıflamalarını seçmelidirler.

Diğer bir hava sahası sınıflandırması ise Şekil 3.2’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2. Hava sahası sınıflandırması

Uçuş Bilgi Bölgesi (FIR)

İçinde uçuş bilgi hizmeti ile ikaz hizmeti sağlanan boyutları belirlenmiş bir hava sahasıdır. Uçuş bilgi bölgeleri, o bölgede hizmete sunulan bütün hava yolu yapısını ve egemen devletin kara suları da dahil olmak üzere hükümler toprakları üzerindeki tüm hava sahasını kapsayacak şekilde tanımlanırlar. Bir uçuş bilgi bölgesi, üst uçuş bilgi bölgesi şeklinde sınırlandırma olmadığında bütün hava sahalarını yatay limitleri ile birlikte içerir [ICAO Annex2, 2005].

Kontrollü Hava Sahası

Hava sahası sınıflandırmasına uygun olarak hava trafik kontrol hizmetinin verildiği sınırları belirlenmiş sahadır. Kontrollü saha A,B,C,D ve E' den oluşan ATS hava sahası sınıflamalarını kapsayan genel bir terimdir [ICAO Annex11, 2001]. Bu kontrollü hava sahalarında haberleşme araçları veya radarla hava trafiği kontrol edilir. Kontrollü hava sahaları; kontrol sahası, kontrol bölgesi ve hava yolu olmak üzere üç kısımda incelenebilir.

Kontrol Sahası: Yeryüzünden belirli bir alt limitten başlayıp yukarıya doğru uzanan kontrollü sahadır. Hava koridorları ve terminal kontrol sahaları da dahil olmak üzere, kontrol sahaları, hava trafik kontrol hizmeti sağlanacak IFR uçuşların uçuş güzergahlarının tamamını ya da bir kısmını kapsayacak şekilde ve normal olarak o bölgede kullanılan seyrüsefer yardımcı cihazlarının kapasiteleri göz önünde bulundurularak tesis edilen sahalardır. Bir kontrol sahasının alt limitinin yüksekliği su veya yer seviyesinden 200 m / 700 ft' den az olmayacak şekilde tesis edilmelidir, ancak bu bir kontrol sahasının alt limitinin daimi olarak tek bir değer şeklinde belirlenmesi anlamı taşımamaktadır [ICAO Annex11, 2001].

Kontrol sahası, terminal kontrol sahasını da içine almaktadır. Terminal kontrol sahası, bir ya da daha fazla sayıda hava meydanının çevresinde ve hava yollarının kesiştiği bölgede tesis edilen kontrol sahasıdır. Uçakların kalkışta tırmanma manevraları ve iniş için alçalma ve yaklaşma manevraları bu alan içinde yapılır. Terminal kontrol sahasının sınırlarının belirlenmesindeki ana faktörler; sahadaki havaalanlarının ve pistlerin sayısı, trafiğin yoğunluğu ve bekleme paternlerinin yeri olmakla birlikte genelde 60 NM yarıçaplı daire şeklinde bir saha olarak belirlenir [ICAO Annex11, 2001].

Kontrol Bölgesi (Control Zone): Yer yüzeyinden başlayarak belirli bir üst sınıra kadar uzanan kontrollü hava sahasıdır. Uçakların havaalanı üzerindeki ve civarındaki hareketlerinin kontrolü için oluşturulur. Kontrol zone' ların yan limitleri, en azından IFR uçuşların aletli meteorolojik koşullarda bir meydana geliş ve kalkışlarında

kullanılan ve kontrol sahası içinde olmayan bölümlerini de kapsayacak şekilde bir meydanın veya ilgili meydanların merkezinden yaklaşmanın yapılacağı yönde en az 5 NM olacak şekilde belirlenmelidir. Bir kontrol zone birbirine yakın durunda olan iki veya daha fazla meydan içerebilir. Eğer bir kontrol zone bir kontrol sahasının yanal limitleri içinde tesis edilmiş ise bu kontrol zone' nun dikey limiti yer yüzeyinden kontrol sahasının alt limitine kadar uzatılır. Eğer bir kontrol zone kontrol sahasının yan limitleri dışında tesis edilmiş ise, bir üst limit tesis edilmelidir [ICAO Annex11, 2001].

Hava Yolu: Koridor şeklinde tesis edilmiş bir kontrol sahası veya bu sahanın bir parçası olarak tanımlanan hava yolları uçuştaki tüm uçaklarca kullanılan, hava trafik akışının sağlandığı hava sahaları olup terminal sahaları ve havalimanları arasında ulaşımın sağlanması amacıyla, hava trafik kontrol hizmeti sağlanan IFR uçuşların, uçuş güzergahlarının tamamını veya bir bölümünü kapsayacak şekilde ve normal olarak o bölgede kullanılan seyrüsefer yardımcı cihazlarının kapasiteleri ve yayınlarının uçaklarca alınmasını sağlayacak irtifa/seviyeler göz önüne alınarak belirlenmektedir. Verici ve alıcıların hata payları nedeniyle meydana gelen sapmaların göz önünde bulundurulması ile emniyeti sağlamak için yollar iki vericiyi birleştiren bir tek çizgi şeklinde değil belirli genişliklerde oluşturulurlar [ICAO Annex11, 2001].

Kontrollü hava yollarının yanında tavsiyeli hava yolları da oluşturulabilir. Tavsiyeli hava yolları içerisinde hava trafik tavsiye hizmetinin sağlandığı yollardır. Bu yollarda hava trafik kontrol hizmeti verilmez, hava trafik kontrol ünitelerinin bu yollarda çarpışmaları önlemek gibi sorumluluğu yoktur; ancak pilotlara tavsiyelerde bulunulabilir. Ayrıca, pilotların da verilen bu tavsiyelere uyma zorunluluğu yoktur [Uslu, 2007].

Kontrolsüz Hava Sahası

Hava sahası sınıflarından F ve G sınıfı hava sahalarıdır ve içerisindeki uçuşlara hava trafik kontrol hizmeti sağlanmaz. Bu tür hava sahalarında hava trafik kontrol

ünitelerinin trafik etme sorumluluğu yoktur. Pilotlar, uçuşlarından ve trafik güvenliğinden kendileri sorumludur. Kontrolsüz hava sahasında uçan pilotlara sadece uçuş bilgi hizmeti, hava trafik tavsiye hizmeti ve ikaz hizmeti verilir [Uslu, 2007].

Özel Kullanışlı Hava Sahası

İçinde uçak hareketi için muhtemel bir tehlikenin var olduğu bütün hava sahaları ve üzerinde sivil uçak hareketi, bir veya birkaç sebeple geçici veya sürekli olarak tahdit edilen bütün sahalardır [DHMI AIP Türkiye, 2009]. Bu tür sahalarda bir ülkenin milli hava sahaları içinde bulunabildiği gibi uluslararası hava sahalarında da bulunabilir. Türk Hava Sahası içinde bulunan özel kullanışlı hava sahalarının tanıtması LT harfleri ile başlar. Bu sahalarda ilgili ülkenin Havacılık Bilgi Yayınlarında (AIP) belirtilir. Özel kullanışlı hava sahaları tehlikeli, tahditli ve yasak sahalarda olmak üzere üçe ayrılır.

Tehlikeli Saha

İçinde uçakların uçuşu için belirli zamanlarda tehlikeli faaliyetlerin var olabileceği boyutları belirli bir hava sahasıdır. Bu terim ancak uçaklara muhtemel bir tehlikenin, tahditli veya yasaklanmış gibi gösterilen hava sahası şeklinde temsil edilmediği zaman kullanılır. Tehlikeli sahalarda tayini, işleticileri uyarmak veya pilotların uçak emniyeti için kendi sorumlulukları ile ilgili tehlikeyi tespit etmek için gereklidir [DHMI AIP Türkiye, 2009]. Bu tür sahalarda uçuş yasaklanmamıştır. Bu sahalardan geçiş için sahayı kontrol eden ilgili hava trafik kontrol ünitesinden izin alınmalıdır.

Yasak Saha

Bir devletin karasuları veya arazisi üzerinde, boyutları belirli, içinde uçakların uçuşu yasaklanmış hava sahasıdır. Bu tabir, sadece, belirli hava sahaları içinde sivil uçakların uçuşlarına hangi şartlarda olursa olsun hiçbir zaman müsaade edilmediği an kullanılır [DHMI AIP Türkiye, 2009].

Tahditli Saha

Bir devletin karasuları veya arazisi üzerinde, içinde uçakların uçuşuna, belirlenmiş bazı şartlara göre tahdit konulmuş boyutları belirli bir hava sahasıdır. Bu tabir her ne zaman olursa olsun belirli hava sahası içindeki sivil uçakların uçuşlarına tamamen yasaklanmasına rağmen sadece kabul edilen belirli şartlar nedeniyle kullanılır. Böylece uçuşun yasaklandığı hava sahası, tespit edilen zamanlar hariç, belirli meteorolojik şartlar dışında yasaklanmış gibi “Tahditli Saha” şeklinde gösterilir. Bunun gibi uçuş yasağı, özel müsaade alınmış olmadıkça bir tahditli saha tanıtması ile gösterilir. Ancak, hava kaideleri tatbikatının bir neticesi veya hava trafik servis pratik veya usulleri gibi tesir eden uçuş şartları, tahditli bir saha şeklinde gösterilen şartlar çerçevesinde tayin edilmez [DHMI AIP Türkiye, 2009].

3.2.2. Teknik donanım

Hava sahasında gerek yolların oluşumunu temin etmek gerekse de uçak işletmesine olanak sağlamak amacıyla radyo seyrüsefer yardımcıları adı verilen cihazlar kullanılır. Hava yollarının büyük kısmı bu radyo seyrüsefer yardımcıları ile oluşturulur [Uslu, 2007]. Radyo seyrüsefer yardımcı cihazları hava trafiğinin düzenlenmesi (aynı doğrultulu uçakların irtifalarının ayarlanması), uçulan bölgenin engebe durumunun belirlenmesi, havada görüş sıfır bile olsa radyo piste iniş yapılabilmesi ve yön bilgisi alınabilmesi amacıyla kullanılırlar.

Günümüzde kullanılan konum ve uzaklık bilgisi sağlayıcı radyo seyrüsefer yardımcı cihazlarından en yaygın olanları VOR, ILS, DME ve NDB’ dir [Cavcar, 1998].

VOR, uçakların yön bulmak amacıyla kullandıkları bir radyo seyrüsefer sistemidir. Bu istasyonlar kendi etrafında birer derece aralıklarla 360 adet radyal adı verilen doğrusal hat üretir. VHF bandında her yönde yayın yapan verici, kullanıcıya manyetik kuzeye göre yönünü, seçilen radyale göre pozisyonunu bildirir [Paşaoğlu, 2010].

DME, pilota yer istasyonu ile uçak arasındaki uzaklığı veren ve UHF bandında yayın yapan bir sistemdir. Genelde VOR ile birlikte kullanılır. Böylece pilot aynı anda hem yön hem de uzaklık bilgisini elde etmiş olur. Bu tür bir sistemde pilotun VOR frekansını seçmesi otomatik olarak ona bağlı DME frekansını da seçmesini sağlar [Paşaoğlu, 2010].

NDB, uçakların yayın yapan yer istasyonlarına bağlı olarak yön bulması imkanını sağlayan bir seyrüsefer yardımcısıdır. NDB' ler genel olarak yaklaşma amaçlı düşünülmüşler ve uzun menzilli algılama için yeterli güce sahip değildirler [Paşaoğlu, 2010].

ILS, bulut tavanının alçak, görüş faktörlerinin kötü olduğu durumlarda uçağın piste elektronik cihazlarla emniyetli olarak iniş yapmasını sağlayan bir sistemdir. Üç ana yer tesisi şunlardır:

- ✓ Elektronik merkez pist hattını göstermek için ufki düzlem meydana getiren Localizer,
- ✓ İniş noktasına, doğru bir açıyla (3°) yaklaşması için dikey düzlem meydana getiren Glide Path (GP/ alçalış-süzülüş açısı),
- ✓ Yaklaşma hattı boyunca dizilen ve dikey yayın yapan Marker' lar.

Bu üç yer tesisi daha çok fayda sağlamak ve emniyet için, yüksek şiddetli yaklaşma ışıkları ve DME ile beraber kullanılırlar [Paşaoğlu, 2010].

Radyo seyrüsefer yardımcı cihazlarının yanı sıra önemli bir teknik donanım da radarlardır. Radar; cisimlerin mesafe, istikamet ve/veya yükseklikleri hakkında bilgi sağlayan hedef bulma cihazıdır. Günümüzde radar terimi iki tip cihaz için kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, sadece yer cihazları yardımıyla çalışan birincil gözetleme radarı PSR' dır. İkincisi ise; hava ve yer cihazlarına ihtiyaç duyan ikincil gözetleme radarı SSR' dir [Soyertem, 2010].

Bütün radar sistemlerinin temel çalışma prensibi cisimlerin radar istasyonuna olan mesafesini ve konumunu radyo sinyallerinin cisme çarpıp geri dönmesiyle hesaplanarak bulunmasıdır. Antenin o andaki yönü ise uçağın istikametinin belirlenmesine yardımcı olur [Soyertem, 2010]. Günümüzde çok gelişmiş ve farklı amaçlara hizmet eden çok çeşitli radar sistemleri mevcuttur [Oktal, 1996].

3.2.3. Hava araçları

Bir hava sahası içerisindeki hava yollarında, değişik uçuş ve işletme koşullarındaki farklı performanslara sahip yani farklı hızlardaki hava araçları seyahat etmektedir [Uslu, 2007].

Aynı hava sahasını kullanan farklı uçakların arasında emniyetli ayırmanın sağlanabilmesi için hava araçları arasında sınıflandırmaların yapılması gerekmektedir. Uçak kategorilerini belirleyen ana faktör uçakların son yaklaşma hızıdır. Kategori farklılıkları ise uçağın manevra yapacağı sahanın ölçülerine etki etmektedir [DHMI AIP Türkiye, 2009].

Aşağıdaki uçak kategorileri iniş safhasında maksimum iniş ağırlığı göz önüne alınarak, stoll süratinin 1.3 ile çarpılmasıyla tespit edilmiştir. Bu kategoriler aletli yaklaşma kuralları ile ilgili olarak temsil ettikleri harflerle ifade edilirler [DHMI AIP Türkiye, 2009].

- Kategori A : IAS 91 kt' den az
- Kategori B : IAS 91 kt ve fazla, 121 kt' den az
- Kategori C : IAS 121 kt ve fazla, 141 kt' den az
- Kategori D : IAS 141 kt ve fazla, 166 kt' den az
- Kategori E : IAS 166 kt ve fazla, 211 kt' den az

Uçakların ayırma standartlarının belirlenebilmesi için kuyruk türbülansına göre de kategorilendirme yapılmaktadır. Bu sınıflamada önemli olan ise uçakların maksimum kalkış ağırlıklarıdır. Ayırma standartları, ağırlık kategorisine göre uçakları hafif, orta,

ağır şeklinde sınıflandırarak belirlenmektedir. Örneğin; ICAO' nun ayırma kurallarına göre, ağır bir uçağın kalkışından sonraki 2 dakika içinde orta bir uçak ve 3 dakika içinde de hafif bir uçak kaldırılamaz. ICAO tarafından yapılan bu sınıflandırma şöyledir [Cavcar, 1998]:

- Hafif : Max. kalkış ağırlığı 7000 kg' den az olan uçaklar
- Orta : Max. kalkış ağırlığı 7000 kg ve 136000 kg arasında olan uçaklar
- Ağır : Max. kalkış ağırlığı 136000 kg' den fazla olan uçaklar

3.2.4. İnsan gücü

Hava trafik sisteminde insan faktörleri havacılık dizaynı, belgeleme, eğitim, operasyonlar ve bakım uygulamalarında insan performansının göz önünde bulundurulması ve insanla sistem elemanları arasındaki uyumu sağlayan emniyet prensipleri bütünüdür [MEB, Uçak Bakım İnsan ve Çevre, 2012].

Havacılık sisteminde sağlanmaya çalışılan en önemli amaç şüphesiz ki emniyettir. Başarılı olmanın değişmez ölçüsü olan emniyetin sağlanması aynı zamanda sistem içerisinde yer alan bütün çalışanların birincil sorumluluğudur [Yılmaz, 2003].

Hava trafik sistemi içerisindeki insan unsurları; uçuşu gerçekleştiren uçuş mürettebatı, uçakların kontrolü ile doğrudan sorumlu olan hava trafik kontrolörleri, havacılık bilgi hizmeti sorumluları, meteoroloji uzmanları, radyo seyrüsefer cihazlarının bakım-onarımından sorumlu teknik personel, havaalanlarında yer hizmetlerinden sorumlu yer personeli, sistem planlayıcıları ve idari personel olarak sıralanabilir [Uslu, 2007].

Hava trafik sisteminde insan bileşenini oluşturan hava trafik kontrolörlerinin görevi uçakların birbirleri ile veya diğer araç ve mânialarla çarpışmalarını önlemek ve hava trafik akışını emniyetli ve verimli bir şekilde hızlandırmak ve düzenlemektir. Hava trafik kontrolörleri uçakların birbirinden emniyet mesafesi kadar uzak kalmalarını sağlayarak uçak hareketlerini düzenler. Hava trafik kontrolörünün temel amacı uçuş

emniyetini sağlamaktır. Fakat aynı zamanda bu emniyeti sağlamaktan dolayı oluşan uçuş gecikmelerini de en aza indirmeye çalışırlar. Uçaklar motor çalıştırmalarından kalkışlarına, kalkışlarından hava yoluna girişine ve daha sonra da alçalmasından inişine kadar hava trafik kontrolörlerinin sorumluluğundadır.

Sivil havacılık sisteminin yönetilmesi, hava araçlarının tasarlanması, üretilmesi ve işletilmesi ile ilgili her türlü süreçte görev alan insan havacılık emniyetini en çok etkileyen sistem unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. İlk bakışta havacılık emniyetinin sağlanmasında pilotlar sistem içerisindeki tek önemli insan unsuruymuş gibi görünse de sivil havacılık sisteminin herhangi bir yerinde çalışan her insanın azımsanmayacak bir önemi vardır. Bu nedenle, insanın havacılık sistemi içerisinde incelenmesi oldukça önemlidir [Şekerli, 2008].

3.3. Hava Trafik Sistemi Süreci: Hava Trafik Hizmetleri

Bir meydanın manevra sahasında hareket eden uçaklarla, uçuştaki uçakların tamamına hava trafiği denilmektedir [ICAO Annex2, 2005]. Gerek bir havaalanı üzerinde, gerek bir havaalanına inişe gelen gerekse de havayollarında sürekli hareket halinde olan hava araçları tek bir merkezden aynı kurallara bağlı kalmak kaydı ile hava trafik hizmetleri alırlar. Bu hava trafiğine verilen, hava trafik kontrol hizmetleri, uçuş bilgi hizmetleri, uyarı hizmetleri, hava trafik tavsiye hizmetleri Hava Trafik Hizmetlerini oluştururlar [Cavcar, 1998].

Hava trafik hizmetleri ilgili devletin sorumlu kıldığı bir otorite tarafından sağlanır. Bu hizmetlerin tesis edilmesinden ve sağlanmasından sorumlu otorite bir devlet veya uygun bir kuruluş olabilir [ICAO Annex11, 2001]. Türkiye’ de bu hizmetlerden sorumlu otorite Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü’ dür.

Hava trafik hizmetlerinin amaçları [ICAO Annex11, 2001];

1. Uçaklarla uçaklar arasında çarpışmaların önlenmesi,
2. Manevra sahasında uçaklarla manialar arasında çarpışmaların önlenmesi,

3. Düzenli ve akıcı bir trafik akışı sağlanması,
4. Hava trafik akışının etkin ve emniyetli bir şekilde yapılması için faydalı tavsiye ve bilgilerin yayınlanması,
5. Bir uçağın arama kurtarma hizmetine ihtiyaç duyması durumunda ilgili kuruluşların uyarılması ve gerekirse bu kuruluşlara yardımcı olunmasıdır.

3.3.1. Hava trafik hizmetlerine duyulan ihtiyacın belirlenmesi

Hava trafik hizmetlerine duyulan ihtiyaç aşağıdaki durumlar göz önünde bulundurularak belirlenecektir [ICAO Annex2, 2005]:

- Mevcut hava trafiğinin tipi
- Hava trafiğinin yoğunluğu
- Meteorolojik şartlar
- İlgili olabilecek diğer faktörler

Birçok faktörün etkili olmasından dolayı belirli bir saha veya meydana hava trafik hizmetlerinin sağlanması için duyulan ihtiyacın belirlenmesine ilişkin olarak kesin ölçütler geliştirilmesi mümkün olmamıştır. Örneğin;

- ✓ Değişen hızlardaki hava araçlarının oluşturduğu farklı tipteki trafiklerin bir arada olması hava trafik hizmetlerinin sağlanmasını gerektireceği halde, mukayeseli olarak trafik yoğunluğunun daha fazla olmasına karşın tek tip operasyonların uygulandığı yerlerde bu hizmeti sağlamak gerekmez.
- ✓ Sürekli trafik akışının bulunduğu meydan ve sahalarda meteorolojik koşullar önemli olabileceği halde, hava trafiğinin durdurulabileceği meydanlarda (lokal VFR uçuşlar) aynı ya da daha kötü meteorolojik koşullar mukayeseli olarak daha az önemli görülebilir.
- ✓ Trafik sayısının çok az olmasına karşın açık sular, dağlık araziler, yerleşim yerleri dışı ve çöllerde hava trafik hizmetlerinin sağlanması gerekebilir.

3.3.2. Hava trafik hizmet bölümleri

Hava Trafik Hizmetleri aşağıda belirtilen üç ana hizmeti kapsar [ICAO Annex11, 2001]:

1. *Hava Trafik Kontrol Hizmeti*: 1, 2 ve 3. maddede yer alan amaçları gerçekleştirmek üzere bölümlenmiş üç ana hizmeti kapsar;

a-Saha Kontrol Hizmeti: 1 ve 3. maddede yer alan amaçları gerçekleştirmek üzere kontrollü uçuşlara sağlanan hava trafik kontrol hizmetini

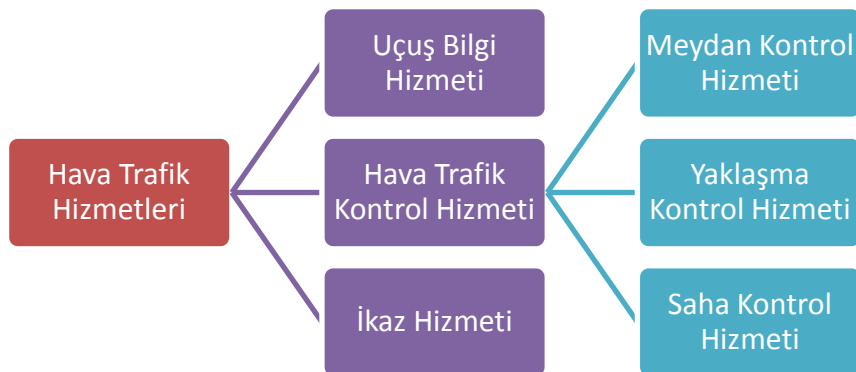
b-Yaklaşma Kontrol Hizmeti: 1 ve 3. maddede yer alan amaçları gerçekleştirmek üzere kontrollü uçuşlara iniş / kalkış la ilgili kısımlarında sağlanan hava trafik kontrol hizmetini

c-Meydan Kontrol Hizmeti: 1, 2 ve 3. maddede yer alan amaçları gerçekleştirmek üzere meydan trafiğine sağlanan hava trafik kontrol hizmetini tanımlar.

2. *Uçuş Bilgi Hizmeti*: 4. maddede yer alan amacı gerçekleştirmek üzere sağlanan hizmettir.

3. *İkaz Hizmeti*: 5. maddede yer alan amacı gerçekleştirmek üzere sağlanan hizmeti tanımlar.

Hava trafik hizmetleri ve unsurları Şekil 3.3' teki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.3. Hava trafik hizmet bölümleri

Uçuş bilgi hizmeti

Etkin ve emniyetli bir uçuş için öneri ve bilgi sağlamak üzere oluşturulmuş hizmettir [ICAO Annex2, 2005]. Uçuş Bilgi Hizmeti bu bilgilerden faydalanabilecek bütün uçaklara ve,

1. Hava trafik kontrol hizmeti verilen veya
2. Hava trafik kontrol hizmeti verilmeyen ancak ilgili hava trafik hizmet ünitelerince bilinen uçaklara sağlanacaktır [ICAO Annex11, 2001].

Uçuş Bilgi Hizmetinin Kapsamı:

Uçuş bilgi hizmeti sağlarken aşağıda belirtilen uygun bilgiler sağlanır [ICAO Annex11, 2001]:

1. SIGMET ve AIRMET bilgileri
2. Püskürme öncesi volkanik aktiviteler, volkanik patlamalar ile volkanik kül bulutlarıyla ilgili bilgiler
3. Atmosfere yayılan toksik kimyasallar ve radyo aktif maddelere ilişkin bilgiler
4. Hava seyrüsefer yardımcı cihazlarının çalışma durumlarına ilişkin bilgiler
5. Kar, buz ya da fazla miktarda suyun etkilediği meydan manevra sahalarının durumları dahil olmak üzere meydan ve meydan kolaylıklarının durumlarındaki değişiklik bilgileri
6. İnsansız serbest balonlara ilişkin bilgileri ve emniyeti etkileyebilecek diğer bilgiler

Uçuşlara sağlanan uçuş bilgi hizmeti yukarıda belirtilenlere ek olarak;

1. 1-Kalkış, gidiş ve yedek meydanlarda mevcut ya da tahmin edilen hava koşullarına ait bilgileri
2. 2- C, D, E, F ve G sınıfı hava sahasında uçan uçakların çarpışma tehlikesine ait bilgiler

3. Deniz üzerindeki uçuşlarda, pilot tarafından talep edildiğinde ve mümkün olduğunda, o bölgede yer alan gemilerin çağrı adları, pozisyonları, rotaları ve hızlarına ilişkin bilgileri de kapsar.

İkaz (uyarı) hizmeti

Arama kurtarmaya ihtiyaç duyan hava araçların bilgisini fiili olarak bu işlemi gerçekleştirecek kuruluşlara iletmek ve gerektiğinde yardımcı olmak amacıyla sağlanan hizmettir [ICAO Annex2, 2005].

İkaz hizmeti [ICAO Annex2, 2005]:

1. Hava trafik kontrol hizmeti sağlanan tüm uçaklara,
2. Uygulanabildiği kadar uçuş planı doldurmuş olan ya da hava trafik hizmet birimlerince bilinen diğer tüm trafıklere,
3. Kanunsuz girişime uğramış olduğu bilinen ya da kanunsuz girişime uğramış olduğuna inanılan her uçağa sağlanacaktır.

Uçuş bilgi merkezleri veya saha kontrol merkezleri, uçuş bilgi bölgesi ya da kontrol sahası içinde uçan bir uçağın acil durumuyla ilgili tüm bilgileri toplayan ve bu bilgileri uygun arama kurtarma merkezine aktaran üniteler olarak hizmet vereceklerdir.

Yaklaşma kontrol ünitesi veya meydan kontrol kulesinin kontrolü altındaki bir uçak acil durumla karşılaştığında, bu üniteler vakit geçirmeksizin sorumlu uçuş bilgi merkezi ya da saha kontrol merkezini ikaz edecek, bu merkezler de kurtarma koordinasyon merkezine durumu bildireceklerdir. Ancak acil durumun şartları ikaz yapılmasını gerektirmediğinde; uçuş bilgi merkezi, saha kontrol merkezi veya kurtarma koordinasyon merkezi ikaz edilmeyecektir. Bununla birlikte, acil durum gerektirirse, yaklaşma kontrol ünitesi veya meydan kontrol kulesi gerekli acil yardım sağlayacak mahalli acil durum ve kurtarma birimlerini harekete geçirmek için bu birlikleri ikaz ederek gerekli önlemleri alacaktır [ICAO Annex11, 2001].

Bir uçağın acil durumda olduğunun kabul edilmesini gerektiren şartlar şunlardır [ICAO Annex11, 2001]:

1. *Şüphe hali*: Uçakla son muhaberenin yapılmasından sonraki 30 dakika içinde hiçbir muhabere bağlantısı kurulmadığında veya 30 dakika geçmiş olmasına rağmen muhabere bağlantısı kurmak için yapılan girişimler başarısız kaldığında ve bir uçak son bildirdiği veya hava trafik hizmet ünitelerince hesaplanan muhtemel varış zamanına göre 30 dakika geçmiş olmasına rağmen iniş yapmadığı zaman şüphe hali ilan edilir. Ancak, uçak ve uçağın içinde bulunan kişilerin emniyetiyle ilgili herhangi bir kaygı mevcut değilse bu işleme gerek yoktur.

2. *Alarm hali*; Şüphe hali safhasından sonra, uçakla muhabere bağlantısı kurmak için yapılan girişimler veya diğer kaynaklardan yapılan araştırmalar sonuçsuz kalıp uçakla ilgili herhangi bir haber alınamadığında, iniş müsaadesi verilmiş bir uçak, tahmini iniş zamanından sonraki 5 dakika içinde iniş yapmayıp muhabere bağlantısı yeniden kurulamadığı zaman veya uçağın mecburi iniş yapmasını gerektirmeyecek şekilde normal çalıştığının aksadığına ait bir bilgi alınmış ise ve uçağın kanunsuz girişime uğradığı biliniyorsa alarm hali ilan edilir.

3. *Tehlike hali*; Alarm hali safhasından sonra, uçakla muhabere bağlantısı kurmak için yapılan daha sonraki girişimler ve daha geniş araştırmalar sonuçsuz kalıp uçağın tehlike içinde olduğu ihtimali kuvvetlendiği zaman, uçağın yakıtının bittiği veya herhangi bir meydana inmek için yetersiz olduğu düşünüldüğü zaman, uçağın zorunlu inmesini gerektiren bir aksaklık olduğu bilgisi alındığında ve uçağın zorunlu iniş yaptığı veya yapmak üzere olduğuna ait bir bilgi alındığı zaman tehlike hali ilan edilir.

Hava trafik kontrol hizmeti

Hava trafik kontrol hizmeti, uçaklar arasındaki çarpışmaları engellemek ve düzenli trafik akışını sürdürerek trafiği hızlandırmak amacı ile verilen hizmettir. Uçuş emniyeti, uçakların hareketlerini sürekli izleyen ve emniyetli ayırmaları sağlayan

hava trafik kontrolörlerince sağlanır. Hava trafik akışı ise hem hava trafik akış yöneticileri hem de hava trafik kontrolörlerinin birlikte çalışması ile gerçekleştirilir. Trafik akışı yoğun havaalanlarında ve bunun etrafındaki hava sahasında trafik akışının optimize edilmesi ile yapılır [Cavcar, 1998].

Hava trafik kontrol hizmetinin sunulmasında iki faktör etkili olmaktadır. Bu faktörler, uçuş şartları ve hava sahası sınıfıdır. Uçuş durumları, doğrudan uçağın uçuğu meteorolojik koşullara bağlıdır [Uslu, 2007]. Buna göre iki tip uçuş tipi vardır:

Görerek Meteorolojik Şartlar (Visual Meteorological Conditions, VMC): Görüş, bulutlardan mesafe ve bulut tavanı olarak ifade edilen değerlere eşit ya da bu değerlerin üzerinde meteorolojik koşulların var olması durumudur [ICAO Annex2, 2005].

Aletli Meteorolojik Koşullar (Instrument meteorological conditions, IMC): Görerek meteorolojik koşullar için belirtilen en düşük değerlerden daha az olan görüş, buluttan uzaklık ve tavan terimleriyle açıklanan meteorolojik koşullardır [ICAO Annex2, 2005].

Görerek meteorolojik koşullarda görerek uçuş kurallarına göre gerçekleştirilen uçuş VFR' dir ve pilot uçuşunu görerek sürdürür. Aletli meteorolojik koşullarda ise uçuşlar seyrüsefer yardımcı cihazlarının yardımıyla aletli uçuş kurallarına göre gerçekleştirilir ki bu uçuşlar IFR' dir.

Hava trafik kontrol hizmetinin sunulmasında etkili olan diğer faktör ise hava sınıfıdır. Farklı sınıftaki hava sahalarında farklı şekillerde hava trafik kontrol hizmeti verilir [Uslu, 2007]. Hava sahası sınıflandırmasına ilişkin bilgiler önceki bölümlerde hava trafik sistemlerinin elemanlarında açıklanmıştı.

Hava trafik kontrol hizmeti [ICAO Annex11, 2001];

- 1- A, B, C, D ve E sınıfı hava sahalarında tüm IFR uçuşlara,
- 2- B, C ve D sınıfı hava sahasındaki tüm VFR uçuşlara,
- 3- Tüm özel VFR uçuşlara,
- 4- Kontrollü meydanlardaki tüm meydan trafiğine sağlanacaktır.

Ülkemiz hava sahasında hava trafik kontrol hizmeti [DHMI AIP Türkiye, 2009];

- a) Kontrollü hava sahası içindeki tüm IFR uçuşlara,
- b) Kontrollü meydanlardaki tüm meydan trafiğine sağlanmaktadır.

Hava Trafik Kontrol Hizmetinin Yerine Getirilmesi:

Hava trafik kontrol hizmetini sağlamak amacıyla bir hava trafik kontrol birimi [ICAO Annex11, 2001];

- 1- Her bir uçağın planlanmış hareketleri veya bunlardaki değişiklikler hakkındaki bilgiler ile her uçağın o anki pozisyonu hakkındaki en son bilgileri sağlamış olacaktır.
- 2- Alınan bilgiler ile uçakların birbirlerine göre olan pozisyonlarını değerlendirecektir.
- 3- Kontrolü altındaki uçakların birbirleriyle çarpışmalarını önlemek, trafik akışını hızlandırmak ve devam ettirmek amacıyla müsaade ve bilgiler verecektir
- 4- Gerektiğinde verilen müsaadeleri diğer birimlerle koordine edecektir.
 - ✓ Bir uçağın kontrolünü diğer bir birime devretmeden önce,
 - ✓ Diğer bir kontrol biriminin kontrolü altındaki uçaklara problem yaratacağı durumlarda verilen müsaadeleri diğer birimler ile koordine edilecektir.

Uçak hareketlerine ait bilgiler ile o uçağa verilen hava trafik kontrol müsaade kayıtları, uçaklar arasında yeterli ayırma sağlayarak hava trafiğinin etkin akışını sürdürmek amacıyla faydalanmaya hazır tutulacaktır.

Hava trafik hizmetlerinin verilmesi hava trafik kontrol izinleriyle olur [Cavcar,1998]. Bu müsaadeler kontrollü bir uçuş veya uçuşun kontrollü kısmı başlamadan hemen önce sağlanmalıdır [ICAO Annex2, 2005].

Kontrol müsaadeleri, uçak operasyonlarının emniyetini etkileyen, bilinen trafik ortamına dayalı olarak yalnızca hava trafiğini hızlandırmak ve hava araçlarını birbirlerinden ayırmak amacıyla yayınlanırlar. Hava trafik kontrol müsaadesi, bir uçağa uçması için ATC birimlerince verilen yetki olup, yalnızca hava trafik kontrol hizmeti sağlama gerekliliklerine dayanmalıdır. Hava trafik kontrol müsaadeleri aşağıdaki bilgileri içerecektir [ICAO Annex2, 2005]:

1. Uçuş planında belirtilen uçak çağrı adı
2. Müsaade hududu (iniş meydanı, uygun bir rapor noktası, kontrollü hava sahası sınırı),
3. Uçuş yolu,
4. Yol boyunca ya da yolların belirlenen bölümleri için seviye / seviyeler eğer istenmiş ise seviye değişiklikleri,
5. Yaklaşma ve kalkış manevraları, muhabere gereklilikleri ve müsaadenin bitiş zamanı gibi gerekli talimat ve bilgiler.

Meydan kontrol hizmeti

Meydan trafiği için sağlanan hava trafik kontrol hizmetidir. Meydan kontrol kuleleri, meydan ve civarındaki hava trafiğinin emniyetli, düzenli ve hızlı akışını sağlamak amacıyla kontrolleri altındaki uçaklara bilgi ve müsaadeler vererek,

- ✓ Meydan trafik paternleri dâhil olmak üzere belirlenmiş sorumluluk sahasında uçan uçakların birbirleriyle,
- ✓ Manevra sahasında hareket etmekte olan uçakların birbirleriyle,
- ✓ İniş ve kalkış yapan uçakların birbirleriyle,
- ✓ Manevra sahasında hareket eden uçakların araçlarla,

- ✓ Manevra sahasındaki uçakların mânialarla, çarpışmalarını önlemekle sorumludur [ICAO Doc. 4444, 2009].

Meydan kontrol ünitesinde görevli hava trafik kontrolörleri, meydan ve civarındaki tüm uçuş faaliyetlerinin yanı sıra manevra sahasındaki araç ve personeli devamlı olarak gözlemlemekle sorumludur. Bu gözlem faaliyeti gözle izleyerek veya düşük görüş şartlarında mevcutsa yer gözlem radarıyla sağlanabilir [ICAO Doc. 4444, 2009].

Meydan kontrol hizmetinde farklı kontrol ya da çalışma pozisyonları

Meydan kontrol hizmetinin verildiği farklı çalışma pozisyonları aşağıda açıklanmıştır:

Meydan Kontrolörü: Pist üzerindeki operasyonlardan ve meydan kontrol kulesinin sorumlu olduğu sahada uçan uçaklardan sorumludur.

Yer Kontrolörü: Pist hariç manevra sahasındaki trafiklerden sorumludur.

Müsaade verme pozisyonu: Motor çalıştırma ve IFR trafiklere ATC müsaadesi vermekten sorumludur.

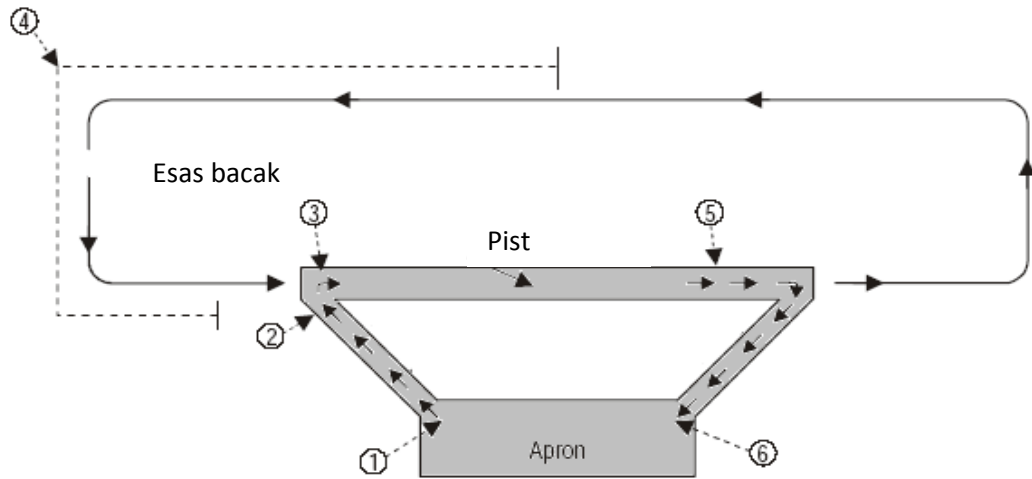
Meydan trafiğinin kontrolünde başlıca iki patern dikkate alınır. Bunlar; meydan taksi paterni ve meydan trafik paternidir. Kalkış yapacak uçaklar ve inişi tamamlamış yani piste tekerlek koymuş uçaklar meydan taksi paterninde bulunurlar. İniş için meydana yaklaşan uçaklar ve kalkışını tamamlamış olan uçaklar yani pistten tekerlek kesmiş ve pist sonunu kat etmiş uçaklar ise meydan trafik paterninde bulunurlar. Daha kısa bir ifadeyle, yerdeki uçaklar taksi paterninde, havadaki uçaklar ise trafik paternindedirler [Uslu, 2007].

Aşağıdaki trafik ve taksi paternindeki pozisyonlar, uçağın normal olarak meydan kontrol ünitesi tarafından verilen müsaade ve talimatları aldığı pozisyonlardır. Uygun

müsaadelerin verilebilmesi için uçaklar dikkatle izlenmeli ve bu pozisyonlara yaklaşırken müsaadeler gecikmeden ve mümkün oldukça uçağın talep etmesi beklenilmeden verilmelidir [ICAO Doc. 4444, 2009].

- Pozisyon 1.* Uçağın kalkış için, motor çalıştırma ve taksi müsaadesi istediği yerdir. Kullanılan pist ve taksi müsaadesi bu noktada verilir.
- Pozisyon 2.* Eğer ilgili trafiği varsa, uçak bu pozisyonunda bekletilir. Motorların en yüksek güçte çalıştırılması gerekiyorsa normal olarak bu pozisyonunda gerçekleştirilecektir.
- Pozisyon 3.* 2 no' lu pozisyonunda verilmemişse kalkış müsaadesi bu pozisyonunda verilir.
- Pozisyon 4.* Mümkünse, iniş müsaadesi burada verilir.
- Pozisyon 5.* Aprona taksi müsaadesi verilir.
- Pozisyon 6.* Gerekiyorsa park yeri bilgisi burada verilir.

Açıklanan bu pozisyonlar Şekil 3.4' te görselleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Taksi ve trafik paterni

Kalkış İçin Taksiye Başlamadan Önce Uçağa Verilmesi Gereken Bilgiler

Uçak kalkış için taksiye başlamadan önce, ATIS veya başka kanalla alındığının pilot tarafından teyit edilmesi hariç, aşağıdaki bilgiler belirtilen sıraya uygun olarak verilmelidir [ICAO Annex11, 2001]:

- ✓ Kullanılan pist,
- ✓ Yer rüzgârının yönü ve şiddeti,
- ✓ QNH değeri veya pilot talep ettiğinde QFE değeri,
- ✓ Hava sıcaklığı,
- ✓ Kalkış ve tırmanma yönündeki görüş değeri veya RVR değerleri,
- ✓ Doğru zaman.

İnişten Önce Uçağa Verilmesi Gereken Bilgiler

Önceden almış olduğunun bilindiği durumlar hariç, uçak trafik paternine girmeden önce veya son yaklaşma safhasına girmeden aşağıdaki bilgiler sırasıyla verilir[ICAO Annex11, 2001];

- ✓ Kullanılan pist,
- ✓ Yer rüzgârı, yönü ve şiddeti,
- ✓ QNH basınç değeri veya pilot talep ettiğinde QFE basınç değeri,
- ✓ İniş hattında oluşmuş veya oluşması beklenen meteorolojik olaylar,
- ✓ Görüş veya ölçülmüşse RVR değerleri ve frenleme değerleri.

Yaklaşma kontrol hizmeti

İniş/kalkış yapan kontrollü trafıklere sağlanan hava trafik kontrol hizmetidir. Yaklaşma kontrol hizmetinin fonksiyonları, meydan kontrol hizmeti veya saha kontrol hizmetinin fonksiyonları ile tek bir birimin sorumluluğunda bileştirmek gerektiğinde ya da arzu edildiğinde meydan kontrol kulesi ya da saha kontrol merkezi tarafından ya da ayrı bir birimin tesis edilmesi gerektiğinde veya uygun

görüldüğünde yaklaşma kontrol ünitesi tarafından yerine getirilir [ICAO Annex11, 2001].

Yaklaşma kontrol ofisi, saha kontrol merkezinden aldığı uçakları meydan kontrol kulesine ve meydan kontrol kulesinden aldığı uçakları da saha kontrol merkezine en uygun şekilde sıralayarak devretmekle sorumludur. Yaklaşma kontrol merkezi uçakları sıralarken, belirli kurallara bağlı kalarak uçaklar arasında gerekli ayırmaları sağlamakla sorumludur. Yaklaşma kontrolörü, gelen ve giden uçakları idare etmek, görevi devraldığında gelen ve kontrol sahasından geçen uçaklara izinler ve tavsiyeler hazırlayıp vermek, kalkıp tırmanan uçaklar arasında, tırmanan ve alçalan uçaklar arasında ve yoldaki uçaklarla tırmanıp yola girecek uçaklar arasında standart ayırmaları sağlamak için gerekli talimatları ve izinleri vermekle yükümlüdür [Hava Savunma Okul Komutanlığı, 1995].

Terminal sahasında verilen yaklaşma kontrol hizmeti radarlı ya da radarsız olabilir. Radarlı yaklaşma kontrol hizmetinde uçakların hareketleri radar ekranı üzerinde radar kontrolörü tarafından izlenir ve buna göre pilotlara talimatlar verilir. Radarsız yaklaşma kontrol ünitesinde ise uçaklar strip adı verilen özel etiketler üzerinden takip edilir. Kontrol altındaki her bir uçak için ayrı bir strip tutulur ve uçakların pozisyonları pilot pozisyon raporlarına göre değerlendirilir.

Saha kontrol hizmeti

Kontrol sahası içerisindeki kontrollü uçuşlara verilen hava trafik kontrol hizmetidir. Saha kontrol hizmeti bir saha kontrol merkezi tarafından veya bir kontrol zone içinde tesis edilmiş ya da esas olarak yaklaşma kontrol hizmeti sağlamak üzere tesis edilmiş, saha kontrol merkezi tesis edilmemiş kontrol sahalarının bir bölümünde yaklaşma kontrol hizmeti sağlayan ünite tarafından verilebilir [ICAO Annex 11, 2001].

Saha kontrolün sorumluluk alanında tıpkı yaklaşımda olduğu gibi, alçalan, tırmanan ve düz uçuş yapan uçaklar ile birlikte, ülkemiz üzerinden transit geçen uçaklara da

hizmet verilir. Alçalma yapacak uçakları, güvenli bir şekilde alçaltarak yaklaşma kontrole devreder. Aynı şekilde yaklaşmanın bize devrettiği uçakları seviyesine tırmandırarak, güvenli bir şekilde uçmalarını sağlar. Yaklaşma ve saha kontrolde birçok kesişen rotalar olduğu için, çok dikkatli bir şekilde sorumluluk sahasındaki bütün uçaklar takip edilmelidir.

Saha kontrol merkezinin sorumluluk alanı, başka bir ifadeyle uçaklara hava trafik kontrol hizmeti verdiği alan uçuş bilgi bölgesidir. Türk hava sahasında iki tane uçuş bilgi bölgesi vardır. Bunlar Ankara uçuş bilgi bölgesi ve İstanbul uçuş bilgi bölgesidir.

3.4. Hava Trafik Sisteminin Çıktısı

Hava trafik sisteminin çıktısı hava trafik akışıdır. Süreç aşamasında hava trafik işlemleri yürütülerek hava trafik hizmetleri üretilir. Hava trafik hizmetleri hava trafiğinin akışını sağlamak amacıyla yürütülür. Üretilen hava trafik hizmetleri aynı zamanda hava trafik sisteminin çıktısı olmakla birlikte temel çıktı değeri düzenlenmiş hava trafik akışıdır. Hava trafik akışının emniyetli, verimli ve ekonomik olması hem hava trafik sisteminin kendisi hem de hizmetten yararlanan kullanıcılar açısından oldukça önemlidir. Hava trafik sisteminin süreç aşamasında emniyetli, verimli ve ekonomik bir hava trafik akışı sağlamak için çaba gösterilir [Uslu, 2007].

3.5. Hava Trafik Sisteminin Çevresi

Hava trafik sisteminin çevresi, hava trafik hizmetleri ile ilgili düzenlemelerden oluşur. Bu düzenlemeler ulusal düzeyde olabileceği gibi uluslar arası seviyede de olabilir. Uluslar arası ve ulusal trafik düzenlemeleri büyük ölçüde birbirleriyle uyumluluk gösterirler. Bu düzenlemeler can ve mal emniyeti nedeniyle yapılır. Devletler kendi hava trafik sistemleri için düzenlemeler yapmak ve bu düzenlemeleri uygulamak amacıyla değişik yapılarda sivil havacılık otoriteleri oluşturmuşlardır. Türkiye’ de Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, ABD’ de FAA bu otoritelere örnektir.

Hava trafik sistemlerine yönelik düzenlemeler ve denetimler son derece düzenli ve yaptırımlıdır [Uslu, 2007].

3.6. Hava Trafik Hizmetlerinin Yönetimi

Geniş anlamıyla yönetim, değişen çevrede sınırlı kaynakları verimli biçimde kullanarak örgütün amaçlarına etkin bir şekilde ulaşmak için başkalarıyla işbirliği yapmaktır [Özalp, 1995].

Sistem kavramı, yönetim sürecini gerekli kılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, her sistemin yönetilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, günümüzde hava trafik sistemleri pek çok çevre tarafından yönetim bilimi çerçevesinde ele alınmaktadır ve yeni bir kavram olarak “Hava Trafik Yönetimi” ortaya çıkmıştır [Uslu, 2007].

Hava trafik kontrol yapısında ve faaliyetlerinde, tarihsel olarak havacılıkta yaşanan gelişmelere paralel bir gelişme gözlenmektedir. Hava trafik kontrolün 1930’ lu yılların başında yapılan tanımı ile günümüzde yapılan tanımı arasındaki fark, hem öneminin ne kadar arttığını hem de yapısının daha karmaşık hale geldiğini göstermektedir. Bu ilk tanıma göre hava trafik kontrol, uçuşun aleyhinde olan şartlarda bile hava trafiğindeki uçakların hareketlerinin emniyeti için zorunlu tüm teknik prosedürleri ve cihazları kapsar denmektedir [Walter ve Schewenk, 1998]. Bu tanımda maliyetten, etkinlikten ya da kapasiteyi çağrıştıran konulardan bahsedilmemektedir. Emniyetin önemine dikkat çekilmektedir.

1960’ ların ikinci yarısından itibaren sivil havacılık sektöründe jet motorlu yolcu uçaklarının piyasaya çıkmasıyla beraber havayolu şirketleri daha kısa zamanlarda, daha çok yolcuyu, daha uzağa taşımaya başlamış, bunun sonucunda dünyada sivil havacılık sektörünün en büyük adımlarından biri atılmıştır [Ruwantissa ve Abeyratne, 2000]. Bunun yanında 1970’ li yılların sonunda yaşanan petrol krizi de uçuşların ekonomikliği konusunu gündeme getirmiştir. Böylece diğer amaçlara ekonomik uçuş amacı da eklenmiştir [Uslu, 2007]. Oluşan yeni tanıma göre ATM sisteminin amacı, yer temelli ve havayla bağlantılı sistemleri ile karmaşık bir ağ

olarak, uçuşlarının tüm safhalarında, hava trafiğinin akışının ekonomik, hızlı, düzenli ve emniyetli bir şekilde gerçekleştirilmesi olmuştur [Design Concept and Philosophies, 2000]. Ancak hava trafik hizmetinin sunulması sırasında bu amaçlar sürekli bir çelişki ve çatışma içerisindedir. Bu çelişen unsurlar arasındaki uzlaşma da ancak hava trafik yönetimi tarafından sağlanabilmektedir. Hava trafik yönetiminin temelinde “emniyet, kaza olmaması demektir” düşüncesi yer almaktadır. Emniyet birinci derecede önemli olmak üzere; trafik akışının düzenlenmesi, sıralanması ve hava sahasının en iyi şekilde kullanımı hava trafik yönetiminin temel görevidir [Cavcar, 1998].

“Tıkanıklık” ve “Gecikme” hava taşımacılığının bugünkü durumunu en iyi tanımlayan kelimelerdir. Bu problemler, dünyanın hemen her yerinde hem ticari hava taşıyıcılarının hem de hava trafik kontrol otoritelerinin karşı karşıya kaldığı problemleri daha da arttırmaktadır. Bu nedenle mevcut hava sahası problemlerini çözmek ve öngörülen talebi karşılamak üzere acil önlemlere gerek duyulmaktadır [Frost ve Sullivan, 2001].

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı ICAO’ nun 1980’ li yıllarda yaptığı çalışmalar, gelecek 25 yıl için tüm dünyada yılda yaklaşık olarak %5 oranında artacağı tahmin edilen hava trafiği karşısında mevcut sistemlerin kapasite, verim ve emniyet açısından yetersizliklerini ortaya koymuştur. Halen kullanılmakta olan hava trafik yönetim sistemleri; yer esaslı seyrüsefer yardımcıları, radar ve sesli haberleşme sistemleridir [İnternet “Operator Benefits of Future Air Navigation System”, 2012].

Bu amaçla dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılan araştırmalarda, mevcut sistemlerin kullanım yetenekleri, özellikleri analiz edilmiş ve ayrıntılı bir şekilde değerlendirilerek şu yetersizlikler belirlenmiştir:

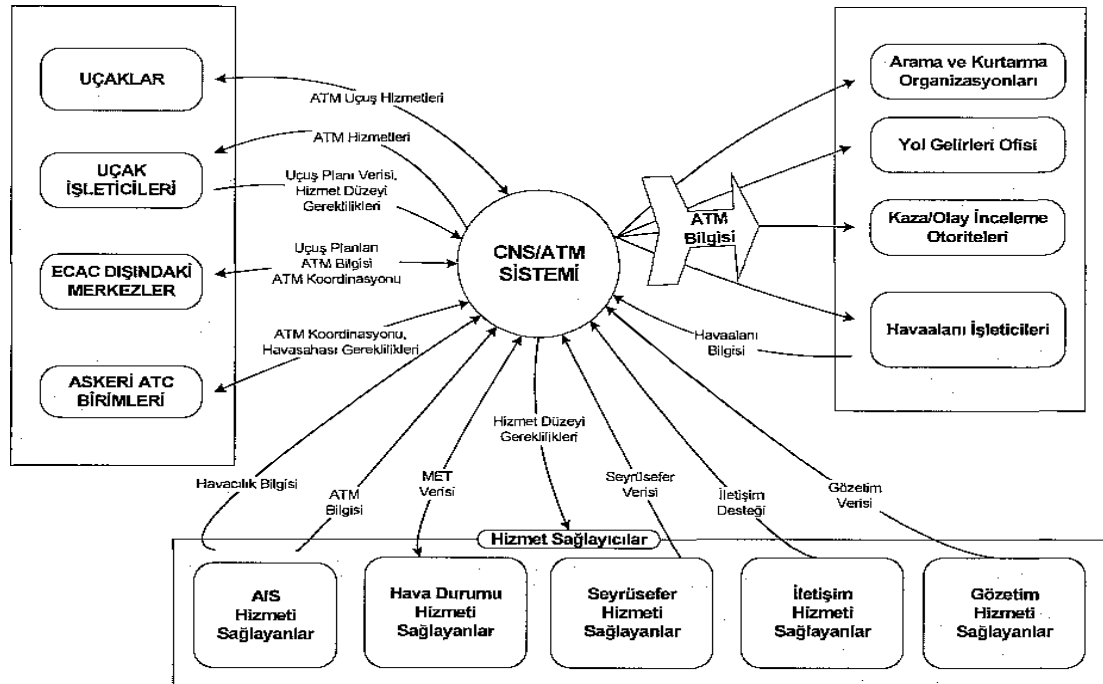
- ✓ Özellikle yaklaşma ve inişte kullanılan yer seyrüsefer sistemlerinin mesafe, doğruluk, güvenilirlik anlamında sınırlı kalmaları,
- ✓ Mevcut haberleşme, seyrüsefer ve izleme sistemlerinin dünyanın her yerinde hizmet verebilecek kapsama alanına sahip olmamaları,

- ✓ Sesli haberleşmenin sınırlamaları,
- ✓ Uçakta ve yerde otomasyonu desteklemek için sayısal hava-yer veri iletim sistemlerinin eksikliği

Mevcut hava trafik düzenlemeleri, tüm dünyada hızla artış gösteren hava trafiği karşısında gün geçtikçe yetersiz kalmaktadır. Bu amaçla 21. Yüzyılın haberleşme, seyrüsefer, izleme ve hava trafik yönetimi ihtiyaçlarını karşılayacak uydu teknolojisi esasına dayanan yeni bir kavram geliştirilmiş ve 'Future Air Navigation System' yani CNS/ATM olarak adlandırılmıştır. Başlangıçta FANS olarak bilinen bu kavram günümüzde CNS/ATM adıyla gelişim göstermektedir [Boeing Commercial Airplane Group, 1997]. CNS/ATM' in var olan sistemlerden en önemli iki avantajı, uyduya dayalı sistemlerin ve sayısal veri haberleşmesinin kullanılmasıdır [Woodbridge, 1999]. CNS/ATM' in genel hedefleri, hava trafiğinin emniyetli bir şekilde yönetimi sürdürülürken hava sahası kapasitesini yükseltmek ve işletim verimliliğini arttırmaktır. Bu hedefler, daha iyi sesli haberleşme teknolojileri, veri haberleşmesi, uydu esaslı seyrüseferin kullanılması ve yeni hava trafik kontrol prosedürlerinin gelişimiyle gerçekleştirilmiş olacaktır [Airbus Industry, 2003].

3.6.1. CNS/ATM kavramı

ICAO tarafından tanımlanmış olan CNS/ATM kavramı Şekil 3.5' te görülebilir. Bu sistemler, evrensel hava trafik yönetiminin desteklenmesi için çeşitli seviyelerde otomasyonla birlikte uydu sistemlerini de içine alan sayısal teknolojileri kullanan haberleşme, seyrüsefer ve izleme sistemleridir [CANSO CNS/ATM Working Group, 1999].



Şekil 3.5. CNS/ATM kavramı

CNS, ATM tarafından hava trafiğinin tanımlanması, konumlandırılması ve bilginin ulaştırılması için kullanılan altyapı formudur. CNS/ATM birimlerinin görev kapsamları şu şekilde özetlenebilir:

İletişim (C: Communication) sistemleri

Hem yer hem de hava temelli sistem elemanlarına ses ve veri bilgisinin ulaştırılmasını kapsamaktadır. Aynı zamanda CNS/ATM kapsamı dışındaki kullanıcı ve hizmet sağlayıcılara da bağlantı sağlamaktadır. Günümüzde kullanılan iletişim hizmetleri sistem elemanları arasındaki bağlantı sağlamaya yönelik olarak işlevlerini yerine getirmektedir. Yapısal bakış açısıyla, sistemler arasındaki ağ hizmetlerinin sağlanmasıdır. İletim yerel ve uzaktaki tüm sistem elemanları arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Hizmet kalitesinin geliştirilmesi için seyrüsefer ve gözetim sistemleri ile olan koordinasyonun ve bağlantının çok iyi sağlanması gerekmektedir [Turhan, 2007].

Günümüzde yer ve hava arasındaki sesli haberleşmenin büyük bir bölümü kısa menzilli haberleşmede VHF, uzun menzilli haberleşmede HF radyo frekansları

üzerinden gerçekleştirilmektedir [Vincent ve Galotti, 1997]. Ancak yapılan bilimsel çalışmalar, hem teknik, hem de insan faktörleri yönünden sesli haberleşmenin yetersizliklerini ortaya koymaktadır.

Haberleşme için CNS/ATM kavramının esası, kontrolör ve pilot arasındaki sesli haberleşmenin veri hatları ile desteklenmesidir [Clinch, 2000]. Veri hattı sistemi, pilot ve kontrolör arasında sayısal bilginin otomatik olarak transfer edilmesi ile geleneksel sesli haberleşmenin yerini almak üzere tasarlanmıştır [Wickens ve ark., 1997]. Dünya yörüngesi üzerine oturtulmuş yeni haberleşme uyduları sayesinde gerek hava trafik hizmetleri gerekse havayolu işletme ve yolcu haberleşme hizmetleri gerçek zamanlı ses ve bilgi hizmeti şeklinde kullanıcılara ulaşabilmektedir [Woodbridge, 1999].

Seyrüsefer (N: Navigation) sistemleri

Uçakların seyrüseferinde yer ve uydu temelli sistemlerden gelen verilerle dört boyutlu bilgiler elde edilmektedir. Uçakların kolaylıkla yön ve pozisyon bilgilerine ulaşarak seyrüsefer yapmalarına yardımcı olunmaktadır. Uydu temelli sistemlerin gelişmesi ile uçakların seyrüseferleri hakkındaki veriler oldukça hassas olarak elde edilmektedir. Böylece uçakların uçuşlarındaki hassasiyetin artmasıyla hava sahası kapasitesi artırılabilir [Turhan, 2007].

CNS/ATM sisteminin öncelikli hedefleri arasında dünya yörüngesine yerleştirilmiş uydular vasıtasıyla seyrüseferin yüksek doğrulukta ve emniyetle gerçekleştirilmesi yer almaktadır [Vincent ve Galotti, 1997]. Günümüzde NDB, VOR, DME ve ILS gibi yer esaslı seyrüsefer yardımcıları ile INS/IRS sistemi kullanılmaktadır. VOR/DME istasyonları ve INS/IRS sistemlerinden aldığı bilgilerle uçağın yüksek doğrulukta pozisyonunu hesaplayan FMS ekipmanlı modern uçaklar, yer esaslı seyrüsefer yardımcılarına bağlı pozisyonundan bağımsız bir rotada seyrüseferi gerçekleştirme yeteneğine sahiptir. Bu yetenek RNAV olarak adlandırılmaktadır [Schewenk, 1998].

ECAC tarafından, 2005 yılı sonrası için belirlenmiş seyrüsefer yardımcı cihazları kullanım stratejisi şu şekilde belirtilmiştir [Paşaoğlu, 2010]:

a) En-route ve TMA uygulamalarında

2008-2015: Tamamen RNAV uygulamalarına geçilebilmesi için mevcut DME cihaz kaverajının artırılması gerekmektedir. Bu amaçla ilave DME yatırımı yapılması zorunluluk arz etmektedir. Pek çok hava yolu şirketinin uçak filosu DME tabanlı RNAV sistemleriyle donatılmıştır. GNSS tabanlı RNAV sistemlerinin En route ve TMA uygulamalarında yeterli/emniyetli desteği sağlaması, 2015 yılından önce mümkün görülmemektedir.

Konvansiyonel yol ve usullerin azaltılmasıyla birlikte NDB ve VOR cihaz sayılarının da kısmen azaltılacağı, anılan bu cihazların sadece SID, STAR, NPA ve pas geçiş usullerinde RNAV usullere alternatif olarak hizmet vermeye bir süre daha devam edeceği öngörülmektedir.

2015-2020: Tamamen RNAV uygulamalarına geçilmesi, düşük irtifalarda yeterli DME kaverajının sağlanamadığı düşük irtifalı dağlık bölgelerde GNSS kullanımını gerektirmektedir. Dolayısıyla hava yolu şirket filo uçaklarında hem DME/DME hem de GNSS tabanlı RNAV sistemlerinin bir arada bulunması zorunluluk arz etmektedir.

2015 – 2020 yılları arasında GALILEO ve modernize edilmiş GPS sistemlerinin bir arada hizmette olacağı öngörülmektedir. Ancak ATC iş yükü ve uçuş emniyeti bakımından VOR cihazlarının bir bölümünün de bu zaman dilimi arasında hizmette kalması, gerekli görülmektedir.

2020 sonrası: Bu dönemde GNSS sinyal performansının yeterli düzeyde sağlanmış olacağı ve buna bağlı olarak ANSP' lerin fayda maliyet analizi yaparak VOR ve NDB' leri hizmetten alabileceği değerlendirilmektedir.

b) Yaklaşma ve iniş

2008-2015: Bu dönemde ILS cihazlarının CAT I,II ve III statüsünde hassas yaklaşma hizmeti sağlayan başlıca seyrüsefer yardımcı cihazı olacağı, sadece CAT I statüsünde GLS (GBAS/GPS)' in hizmete girebileceği, NPA' ların aşamalı olarak azaltılacağı ve bu usullere alternatif olarak APV' lerin SBAS veya Baro-VNAV olarak hizmete gireceği, ILS' e alternatif olarak MLS' lerin hizmete sokulabileceği planlanmaktadır.

2015-2020: ILS' in bu dönemde de hizmete devam edeceği, CAT II/III statüsünde GLS (GBAS)' in hizmete gireceği, RNP APCH/LPV usullerinin yaygınlaşmasının doğal bir sonucu olarak konvansiyonel NPA usullerinin ve VOR/NDB' lerin hizmetten alınabileceği öngörülmektedir.

2020 sonrası: ILS' in hizmet vermeye devam edeceği, MLS, Cat I GLS ile GBAS usul (CAT I/II/III) uygulamalarının yaygınlaşabileceği, ILS kullanılmayan hava alanlarında RNP-APCH/LPV/GBAS yaklaşımlarının tasarlanabileceği planlanmaktadır.

Gözetim (S: Surveillance) sistemleri

Gözetim, teknolojik sistemler yardımı ile uçakların hava sahasındaki uçuşunda tanımlanabilmesi ve pozisyon bilgilerinin doğrulanabilmesi için gerçekleştirilmektedir. Söz gelimi radar sisteminde kontrolör tarafından uçakların izlenmesi ve kontrolü, gözetim hizmetleri sayesinde gerçekleştirilmektedir [Scope and Context of the CNS/ATM, 2005].

Hızlı ve verimli hava trafik kontrolü, haberleşme ve izleme yeteneklerinin kullanılabilirliğine bağlıdır. Belli bir menzil dahilinde çalışan sistemlerin kısıtlamaları nedeniyle radar kapsamı dışında kalan uçuş operasyonları, menzil içerisinde bulunan VHF veya HF radyo kanalları üzerinden sesli pozisyon raporlarıyla güncellenmiş uçuş planlarına göre kontrol edilmektedir [Oktal ve Yaman, 2004].

CNS/ATM için izleme alanındaki en önemli gelişme Otomatik Bağımlı İzleme sistemi olan ADS' tir. ADS yayını sayesinde uçak dünyanın neresinde olursa olsun pozisyon, hız, irtifa, baş açısı ve yapmak istediği manevrası ile ilgili bilgiler otomatik olarak uydu veya diğer haberleşme veri hatları vasıtasıyla hava trafik yönetim birimine, tüm ADS-B ekipmanlı uçaklara ve yerdeki araçlara iletir [Vincent ve Galotti, 1997].

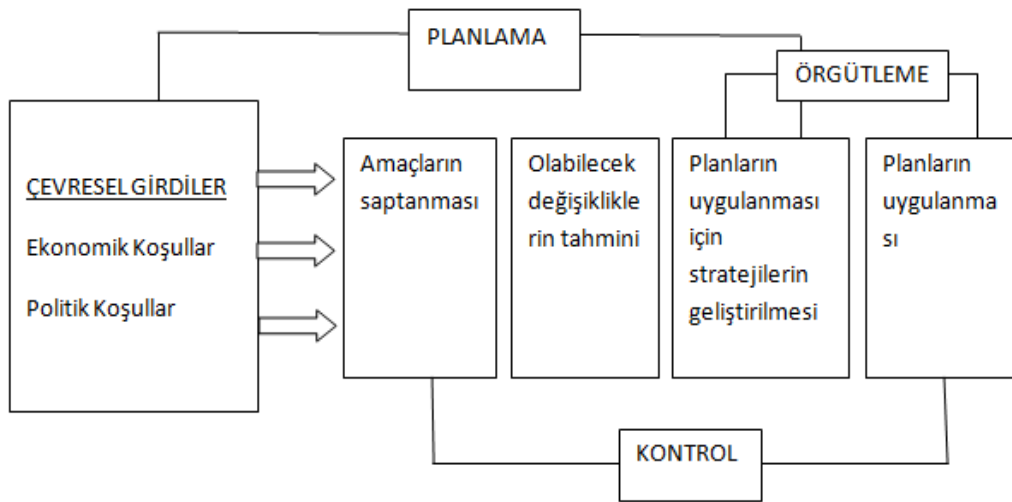
Hava taşımacılığındaki hızlı gelişim hava trafik kontrolünün de önemini arttırmıştır. Hava trafik kontrolörleri tarafından verilen hizmetler daha karmaşık bir hale gelmiştir. Bunun sonucu olarak yeni hizmetler, yeni tanımlar ve yeni bir terminoloji yaratılmıştır [Clinch, 2000].

Çok sayıda hava aracına en emniyetli, en verimli ve en ekonomik biçimde hizmet verilmesi hava trafik hizmetinin amacı olduğuna göre bu unsurlar arasındaki uzlaştırıcı çözümü Hava Trafik Yönetimi sağlar. Buna göre hava trafik yönetimi, uçakların uçuşu sırasında maliyet ve gecikmeleri en aza indirirken emniyeti de temin eden kolaylıkların bütünüdür [Cavcar, 1998]. Gerçekte Hava Trafik Yönetimi ile Hava Trafik Hizmetleri, Hava Trafik Akış Yönetimi, Hava Sahası Yönetimi ve Uçuş Operasyonlarını içeren geniş çapta bir yönetimden söz edilmektedir [Vincent ve Galotti, 1997]. Yeni hava trafik yönetim kavramının uygulanması ile pilot ve kontrolörlerin sorumluluklarında temel bir takım değişiklikler olacaktır. Bu kavram ile planlama sürecinin hızlandırılması ve kapasite artırımı hedeflenmektedir [Jonge, 1999].

Otomasyon kullanımının arttırılması yanında haberleşme, seyrüsefer ve izleme alanında yeni teknolojilerin kullanılması, hava trafik yönetiminin gelişiminde önemli rol oynayacaktır. Otomasyonun sadece hava trafik kontrol kapasitesi artışını sağlaması değil, aynı zamanda emniyet ve verimi arttırarak personel, bakım maliyetleri ve kontrolör iş yükünü azaltması beklenmektedir [Vincent ve Galotti, 1997].

3.6.2. Hava trafik yönetiminin işlevleri

Yönetim; planlama, örgütleme (uygulama), yöneltme, koordinasyon ve kontrol işlevleri kullanılarak yerine getirilir. Yönetimsel işlevler bütün örgütler için aynı olmakla birlikte, üretim, mühendislik, muhasebe, pazarlama, personel gibi faaliyetler işlevler örgütlerin yapılarına ve amaçlarına göre değişiklik gösterebilir. Şekil 3.6’ da karmaşık örgütlerdeki evrensel yönetim işlevleri gösterilmektedir [Uslu, 2007].



Şekil 3.6. Karmaşık örgütlerde yönetim işlevi

Planlama, örgütleme, yöneltme, koordinasyon ve kontrol işlevleri “yönetimin beş temel işlevi” olarak ya da “yönetim işlevini oluşturan alt işlevler” olarak isimlendirilmektedir [Cemalcılar, 1985]. Otomobil imali, sağlık hizmeti, eğitim, hava trafik hizmeti gibi hangi ortak amaç için bir araya gelinirse gelinsin, yönetim için bu beş işlevin yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, yönetimin işlevleri aşağıda hava trafik yönetimi açısından incelenecektir.

Hava trafik yönetiminde planlama işlevi

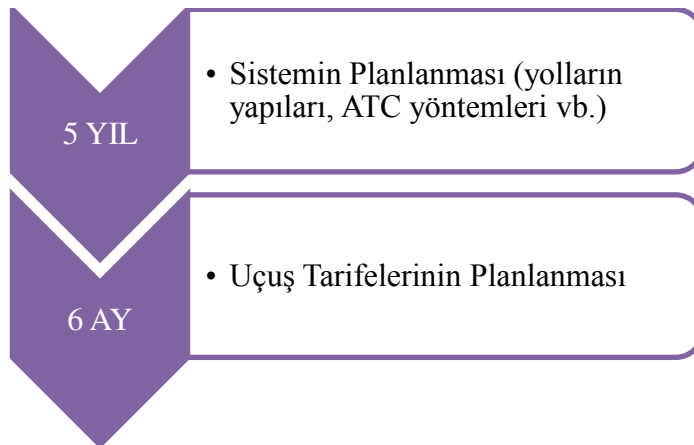
Planlama, belirli amaçlara ulaşmak için bilinçli bir şekilde hareket tarzının kararlaştırılmasıdır. Planlama, ileriye düşünmek ve ileride meydana gelebilecekleri mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın tahmin etmektir [Özalp, 1995].

Hava trafik yönetiminde planlama faaliyetinin temel amacı, hava trafik sisteminin veriminin ve emniyet standartlarının artırılması ve toplam maliyetlerin düşürülmesidir.

Tüm planlama faaliyetlerinde olduğu gibi hava trafik yönetiminde de planlama işlevi kapsadığı dönemler itibariyle kısa, orta ve uzun dönemli olarak ele alınmaktadır. Hava trafik yönetiminde planlama faaliyetleri iki kısımda düşünülebilir. Bunlar [Bianco ve Bielli, 1992];

1. Sistemin planlanması (hava sahası yapısının ve hava trafik kontrol yöntemlerinin planlanması gibi) ve
2. Uçuş tarifelerinin planlanmasıdır.

Şekil 3.7, hava trafik yönetiminde planlama işlevini göstermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi sistem planlaması uzun dönemli (genellikle 5 yıl) bir planlama faaliyeti, uçuş tarifelerinin planlanması ise orta-uzun dönemli bir planlama faaliyetidir.



Şekil 3.7. Hava trafik yönetiminde planlama işlevi

Hava trafik yönetiminde bazı faktörler, planlama işlevi için uzun dönemli doğru tahminlerin yapılabilmesini zorlaştırmaktadır. Her biri birbirinden bağımsız olan bu faktörler şunlardır [Bianco ve Bielli, 1992]:

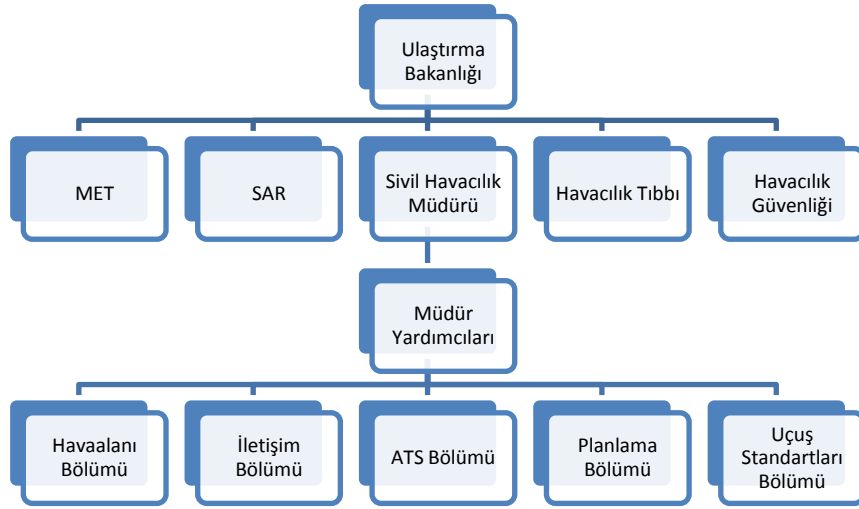
1. Sistemde karar vermede birbirinden bağımsız çok sayıda insanın (pilot, hava trafik kontrolörü vb.) varlığı,
2. Çok sayıda değişken ve kısıtlayıcının varlığı,
3. Çok sayıda alt sistemin varlığı ve bunlar arasındaki güçlü etkileşim.
4. Birbiriyle çelişen çok sayıda kontrol amacı,
5. Uçakların hareketinin ve trafik gelişiminin tahmininde kullanılan modellerin karmaşıklığı ve kısıtlılığı,
6. Hızlı, dinamik ve gerçek zamanlı müdahaleler.

Hava trafik yönetiminde örgütlenme (uygulama) işlevi

Örgütlenme (uygulama), bir grup insanla belirli amaçları gerçekleştirebilmek için görevlerin ve faaliyetlerin tanımlanması sürecidir. Örgütlenme, ortak bir amaca ulaşabilmek için neler yapılacağına ve bunları kimlerin yapacağına karar verilmesidir [Hannagan, 1995].

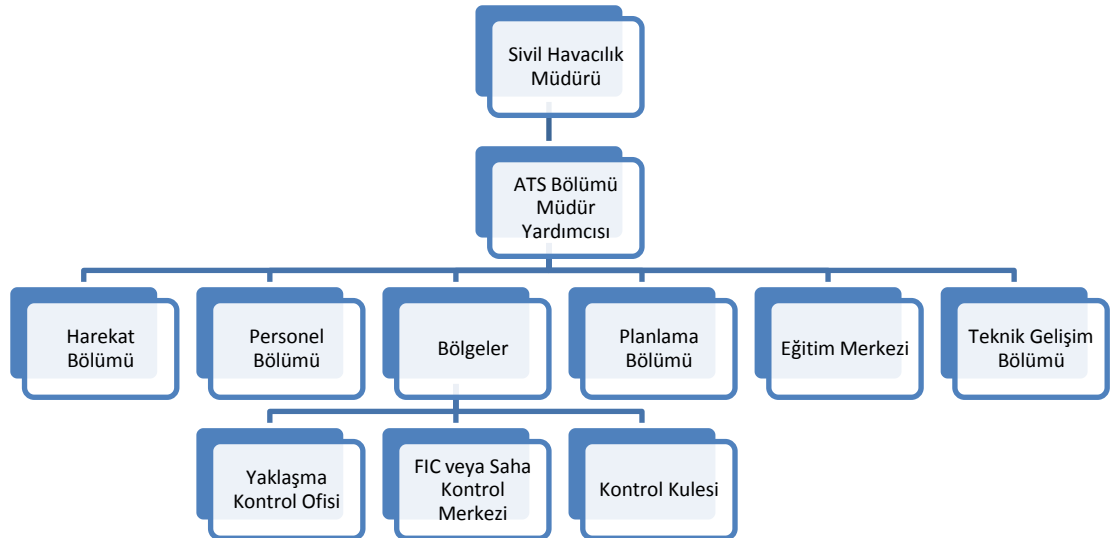
Hava trafik yönetiminde de bir uçağa uçuş bilgi, meydan kontrol, yaklaşma kontrol ve saha kontrol safhalarında verilmesi gereken hava trafik hizmetleri birbiriyle yakından ilgili olmakla birlikte bunlar birbirinden farklı özelliklere sahiptirler. Bu farklı hizmetlerin tamamında amaç aynıdır ve amaca ulaşma bu hizmetleri gerçekleştiren sistemin örgütlenmesi ile sağlanabilir [Cavcar, 1998]

Hava trafik yönetiminde karar verici bazı örgütler vardır. Ülkeler sivil havacılık örgütlerini çok değişik şekillerde yapılandırmışlardır. Bu değişik yapılar içinde hava trafik hizmetleri de değişik şekillerde konumlandırılmıştır. Ancak, ICAO' nun bu konuda önerdiği örgüt yapısı Şekil 3.8' deki gibidir [ICAO Doc. 9426, 1984].



Şekil 3.8. ICAO tarafından önerilen sivil havacılık örgüt yapısı

ICAO’ nun önerdiği sivil havacılık örgüt yapısında, hava trafik bölümü sivil havacılık müdür yardımcılarının birini oluşturmaktadır ve dolayısıyla oldukça ön planda konumlandırılmıştır. Böyle bir örgüt yapısı içinde ATS bölümü ülkenin sivil havacılık politikaları üzerinde etkili olabilecektir. Şekil 3.9 ise yine ICAO tarafından önerilen hava trafik hizmetleri örgüt yapısını göstermektedir [ICAO Doc. 9426, 1984]:



Şekil 3.9. ICAO tarafından önerilen hava trafik hizmetleri örgüt yapısı

ICAO' nun önerdiği hava trafik hizmetleri örgüt yapısında tüm ayrıntılar gösterilmekte ve hangi işlerden kimlerin veya hangi bölümlerin sorumlu olduğu açık bir şekilde görülebilmektedir.

Türkiye' de hava trafik hizmetleri DHMİ tarafından yürütülmektedir. Ancak, DHMİ bunun dışında birbirinden farklı birçok alanda da faaliyetlerde bulunmaktadır. Dolayısıyla DHMİ' nin ve DHMİ' nin bağlı olduğu SHGM' nin örgüt yapıları incelendiğinde, hava trafik hizmetleri bölümünün ayrıntılı bir şekilde bu yapılarda yer almadığı görülmektedir. Dolayısıyla bir görev ve sorumluluk karmaşası ortaya çıkmaktadır [Saldıraner, 1992].

Hava trafik yönetiminde yöneltme işlevi

Yönetimde planlama ve örgütlemekten sonra, kurulan düzenin çalıştırılmasına, yani örgütün harekete geçirilmesine sıra gelir. Bu işi yerine getirecek yönetim işlevi yöneltmedir [Cemalcılar, 1985].

Yöneltme, planlara göre bir örgütü yürüten yönetsel faaliyettir. Bir örgütte, planlanan konuların uygulamaya konabilmesi için, örgütü oluşturan kişilere görev ve yetki verilerek yöneltme işlevi yerine getirilir [Özalp, 1995].

Yöneltme işlevi hava trafik yönetiminde de oldukça önemlidir. Çünkü hava trafik sistemi oldukça karmaşık bir insan-makine sistemidir. Bu sistemin performansı sadece kullanılan ekipmanın teknik yeterlilik düzeyiyle ilgili değildir, sistemin en önemli bileşeni insan faktörüdür. Hava trafik hizmetinin sunumunda, hava trafik kontrolörleri oldukça yoğun bir şekilde makine kullanımıyla karşı karşıyadırlar. Örneğin, radar sistemiyle uçakların kontrolünde yoğun bir makine kullanımı söz konusudur. Bu makine sisteminin kullanımındaki pratiklik, sistemin verimliliğine olumlu yönde etki etmektedir [Uslu, 2007].

Hava trafik yönetiminde yöneltme işlevi sistemdeki sektör sayısına, sektör karmaşıklığına, hizmet verilen hava sahasının büyüklüğüne, ilgili hava sahasındaki

trafik yoğunluğuna, trafik tipine, işletme türüne, sistemde kullanılan makinelerin fiziksel yeteneğine, sistemin yönetim ve örgütlenmesine ve sistemde görev alacak personel sayısına ve bunların yeteneklerine bağlı olarak yerine getirilmektedir [Cavcar, 1998].

Hava trafik yönetiminde koordinasyon işlevi

Genel anlamda koordinasyon, genel bir amaca ulaşmak için bireysel faaliyetler arasında uyum sağlanması ve birimlerin gösterdikleri çabaların birleştirilmesidir [Hannagan, 1995]. Koordinasyon planlamanın devamıdır. Koordinasyon olmadan planların uygulanması imkansızdır ve koordinasyon olmadan bir örgüt çatışma ortamına dönebilir [Özalp, 1995].

Hava trafik sisteminde de yönetim açısından hava trafik akışının en iyi şekilde yürütülebilmesi, hava trafik hizmet ünitelerinin sürekli koordinasyon içinde olması ve ortaklaşa çalışmaları ile mümkündür. Hava trafik yönetiminde koordinasyon, hava trafik hizmet üniteleriyle aşağıda sayılanlar arasında gerçekleşir:

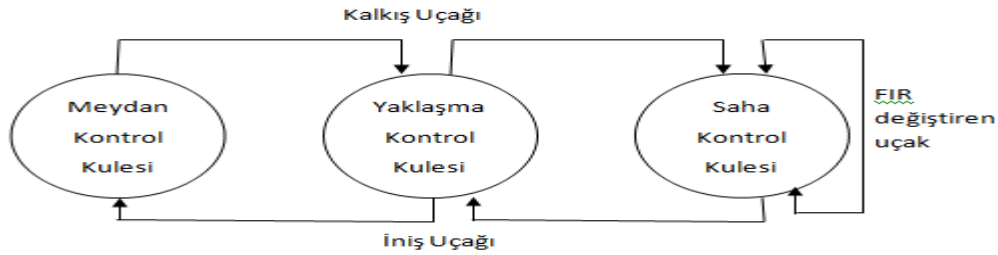
- Pilotlar,
- İlgili diğer komşu hava trafik hizmet üniteleri,
- Askeri hava trafik üniteleri.

Hava trafik kontrolörünün verdiği izin ve talimatlar doğrultusunda hava aracını yönlendirme işi pilotlar tarafından gerçekleştirilir. Dolayısıyla hava trafiğinin emniyetli, verimli ve ekonomik akışı için hava trafik kontrolörleri ve pilotlar arasında sürekli bir koordinasyona ihtiyaç vardır. Pilotun, yapacağı uçuşla ilgili olarak uçuş planını doldurması, bunu hava trafik hizmet ünitelerine teslim etmesi ve yerde yapılan brifinglerle birlikte hava trafik hizmet üniteleri ile pilotlar arasındaki koordinasyon başlamış olur. Uçuş sırasında da pilotun verdiği pozisyon raporları ya da önemli meteorolojik olayların pilot tarafından kontrolöre bildirilmesi gibi raporlar ve kontrolöründe pilottan ya da radar ekranından aldığı bilgilere dayanarak verdiği izin ve talimatlarla uçağın seyrüseferi boyunca bu koordinasyon devam eder. Hava

trafik hizmet ünitelerinin pilotlarla olan koordinasyon bozuklukları direkt olarak uçuş emniyetini etkiler. Dolayısıyla hava trafik akışının emniyeti için kontrolörlerle pilotlar arasında koordinasyon kaçınılmazdır [Uslu, 2007].

İlgili diğer komşu hava trafik hizmet üniteleriyle koordinasyon sağlanarak bir uçağın sorumluluğu gideceği sektöre ya da merkeze devredilir. Böylece uçağın kontrolü de ilgili üniteler arasında el değiştirmiş olur. Bir uçağın seyrüseferinin devamlılığı açısından hava trafik hizmet üniteleri arasında sürekli bir koordinasyon gerekmektedir. Bu koordinasyon, uçağın kontrolünün ve seyrüseferle ilgili tüm bilgilerinin hava trafik hizmet üniteleri arasında karşılıklı olarak aktarılması şeklinde sürekli devam eder [ICAO Doc.4444, 2009].

Hava trafik üniteleri arasındaki koordinasyon Şekil 3.10' da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Hava trafik hizmet üniteleri arasındaki koordinasyon

Hava trafik hizmet üniteleri arasındaki koordinasyon eksiklikleri, hava trafik sistemlerinin emniyetini direkt olarak etkiler. Koordinasyon eksikliği durumunda, uçakların emniyetli ve verimli bir hava trafik hizmeti almaları ve uçuşlarını ekonomik bir şekilde devam ettirmeleri söz konusu olmaz.

Sivil-asker hava trafik hizmet koordinasyonunun temel amacı sivil ve askeri uçakların birbirlerine tehlike oluşturmayacak ve birbirlerinin normal operasyonlarına olan etkilerini en aza indirecek düzenlemelerin yapılmasıdır. Sivil hava trafik hizmet üniteleri, sivil uçakların uçuşunu etkileyebilecek faaliyetlerden sorumlu askeri otorite ve ünitelerle sürekli bilgi alışverişinde bulunmak durumundadırlar. Bunun için, çoğu zaman sivil hava trafik hizmet üniteleri ve uygun askeri otoriteler arasında, sivil

uçakların uçuşlarının emniyetli, verimli ve ekonomik bir şekilde sürdürülebilmesine ilişkin bilgilerin hızla değiştirilmesine olanak tanıyacak düzenlemeler yapılır [ICAO Annex11, 2001].

Hava trafik yönetiminde kontrol işlevi

Kontrol, arzulanan amaçlara hangi ölçüde ulaşıldığını araştırmak, gerekirse düzeltici tedbirleri almaktır. Bir başka tanıma göre kontrol, her şeyin verilen emirlere ve konulmuş kurallara uygun yapılıp yapılmadığının gözetimidir. Kontrol, planın gerekleri doğrultusunda faaliyetlerin düzenlenmesidir. Kontrolün gerçekleştirilmesi için önceden belirlenmiş bir amacın, bir planın varlığı gereklidir [Özalp, 1995].

Hava trafik yönetiminde planlama işlevini daima kontrol işlevi izler. Ancak, planlama ve kontrol işlevi genellikle iç içe girmiş durumdadır. Başka bir ifadeyle, çoğu zaman planlamanın hemen arkasından kontrol işlevi gerçekleştirilirken, çoğu zamanda trafiğin kontrolü için planlama yapılır.

Hava trafik yönetiminde temel olarak iki tip kontrol işleminden söz edilebilir [Bianco ve Bielli, 1992];

- ✓ Çevrim dışı kontrol,
- ✓ Çevrim içi kontrol.

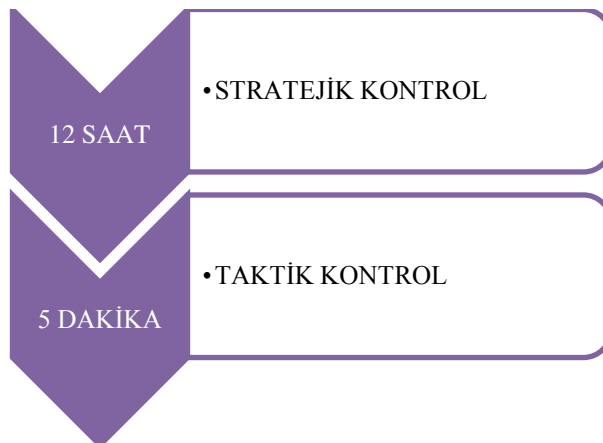
Bunun yanında diğer bir ayırım ise;

- ✓ Stratejik kontrol,
- ✓ Taktik kontrol şeklindedir.

Çevrim dışı kontrol, yalnızca trafik tahminine dayalı ve ilgili sisteme uçakların girişinden önce planlanan kontrol işlemidir. Uçakların tahmini olarak sisteme giriş zamanları, sistemde kalış süreleri, sistem içerisindeki hareketleri ve bu hareketlerin tahmini zamanları göz önünde bulundurularak trafiğin kontrolü için planlama yapılır.

Çevrim içi kontrol ise, çevrim dışı kontrolün karşısı olarak, sistemin mevcut durumunun gözlenmesine dayalı olarak kontrol işleminin planlanmasıdır. Çevrim içi kontrolde uçaklar ilgili sisteme girmiştir ve hava trafik kontrolörü, trafik durumunu genellikle radar sistemi ile gözleyerek uçakların kontrolü için planlama yapar [Bianco, 1990].

Stratejik kontrol, hava yollarındaki trafik akışının çevrim dışı, orta ve uzun dönemli olarak kontrolüdür (Şekil 3.11). Stratejik kontrolün başlıca amacı, ekonomiklik ve emniyet içerisinde hava sahasının yönetimidir. Hava sahası boyunca, uçağın tipine ve performansına bağlı olarak, uçakların en az yakıtı tüketerek ve istedikleri uçuş seviyelerini kullanarak uçuşlarını gerçekleştirebilmesi ve sonuç olarak gecikmelerin azaltılması, yakıt tüketiminin azaltılması, insan iş yükünün azaltılması, sistem kapasitesinin ve emniyetin artırılması en önemli hedeflerdir [Bianco, 1990].



Şekil 3.11. Hava trafik yönetiminde kontrol işlevi

Taktik kontrol ise stratejik kontrolün tersine, kısa dönemli çevrim içi kontrol işlemidir (Şekil 3.11). Taktik kontrolde, acil durumların çözümlenebilmesi için veya kısa dönemli kontrol için, gerçek zamanlı olarak yani trafiğin akışı sırasında kontrol işlemi gerçekleştirilir. Kontrolörler, uçaklardan pozisyon bilgisi alarak ya da radarla uçakların konumlarını saptayarak, birbirleriyle çarpışma tehlikesi bulunanlar arasında gerekli ayrılmaları sağlamak için uçuş başı, hız tahdidi veya irtifa değişikliği gibi yöntemleri kullanarak uçuş emniyetini sağlarlar. Bu işlemler kısa bir planlamadan sonra gerçekleştirilir. Hava trafik kontrolörü sürekli trafiğin gelişimini

tahmin etmeye çalışır, olası çarpışma tehlikelerini saptar ve bunun için çözüm geliştirir, uygulanacak çözüme karar vererek bunu pilota aktarır [Benoit ve ark., 1993]. Günümüzde çoğu hava trafik sistemi, taktik kontrol faaliyetleri üzerine kuruludur.

3.6.3. Hava trafik yönetiminin unsurları

Hava trafik yönetimi, bazı unsurların bir araya gelmesi sonucunda ortaya çıkmış oldukça kapsamlı bir kavramdır. Başka bir ifadeyle, hava trafik yönetimi bir bütünü temsil etmektedir ve bu bütünün alt bölümleri bulunmaktadır [Uslu, 2007]. Hava trafik yönetimini oluşturan unsurlar şunlardır:

1. Hava trafik hizmetleri (ATS: Air Traffic Services)
2. Hava trafik akış yönetimi (ATFM: Air Traffic Flow Management)
3. Hava sahası yönetimi (ASM: Airspace Management)

Daha önce de anlatıldığı gibi hava trafik hizmetlerinin işlevi, hava sahası içindeki uçaklar arasında her zaman güvenli ayırmalar sağlamaktır. Hava trafik akış yönetiminin işlevi, akış paternindeki uçakların düzenli ve hızlı hareket etmelerini sağlayabilmek için gerekli düzenlemeleri yapmaktır. Hava sahası yönetiminin işlevi ise hava sahası yapısının planlanmasıdır [Sridhar ve ark., 1998].

Hava trafik yönetimi ve unsurları Şekil 3.12’ deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.12. Hava trafik yönetimi

Hava Sahası Yönetimi (ASM)

Hava sahasının etkin kullanılması amacıyla (tasarımı/yol yapıları-sektörizasyon) ve hava sahasının değişik kullanıcı (sivil-asker) talepleri doğrultusunda paylaşım, koordine ve kontrolünün sağlanmasıdır [İnternet: “Hava Sahası Yönetimi”, 2012]. Genel anlamıyla, sistemin planlaması ile ilgili problemleri çözümlmek amacıyla oluşturulmuş hava trafik yönetiminin bir alt bölümüdür. Kısaca, hava sahası yapısının tasarlanması ve sektörlleme işlemini içerir [Uslu, 2007].

Sektörlleme, genel olarak iş yükünün paylaştırılması amacı ile belirli bir hava sahasının bölümlere ayrılması işlemidir. Temel amaç iş yükü paylaşımı olmakla birlikte, hava sahasının boyuna sektörllenmesinde olduğu gibi transit uçuşlar ve yerel uçuşların kullanıldığı uçuş yolları esas alınarak da sektörllemeye gidilebilir. Böylece, sektörlleme işlemiyle ekonomiklik ve emniyet faktörleri ve dolayısıyla sistemin toplam verimliliği artırılır [Cavcar, 1998].

Hava Sahasının Esnek Kullanımı (Flexible Use of Airspace, FUA)

Avrupa’ da Hava Trafik Yönetimine (ATM) katkıda bulunmak amacıyla ICAO tarafından tavsiye edilen ve EUROCONTROL tarafından geliştirilen FUA kavramı, hava sahasının tüm kullanıcılar tarafından etkin ve emniyetli olarak kullanımının sağlanması için hava sahası planlaması ve yönetimi konularında ortak kurallar ve standartların geliştirilmesini hedeflemektedir [İnternet: “Hava Sahasının Esnek Kullanımı”, 2012].

Hava sahasının esnek kullanımı, özellikle geçici tahsis ve yararlanmaya uygun olarak, yeni ve adapte edilebilir hava sahası yapıları kavramına dayanmakta olup [Arcak, 2010];

- ✓ Hava sahalarının tümüyle sivil ya da askeri sahalar olarak dizayn edilmesi yerine, daha çok kullanıcı ihtiyaçlarına göre tahsis edilmiş bir bütün olarak algılanması

- ✓ Hava sahasının herhangi bir nedenle bölünmesi gereği geçici olmalı, belirli bir zaman süresince gerçek kullanıma dayanması
- ✓ Bitişik/komşu hava sahalarının ulusal sınırlarla sınırlandırılmaması temeline dayanmaktadır.

Esnek Hava Sahası Yapıları

Koşullu Yollar (Conditional Routes, CDR' s): Daimi olmayan ATS Koridorları veya belirli koşullar altında planlanan ve kullanılan yol bölümleridir. Koşullu yollar ATS yol ağını tamamlamak için potansiyel ayırım sahaları boyunca tesis edilirler. Koşullu yollar 3 kategoride tahsis edilirler [Arcak, 2010]:

Kategori I CDR: Daimi olarak planlanan koşullu yollardır.

Kategori II CDR: Daimi olmayan, planlanabilir koşullu yollardır.

Kategori III CDR: Planlanamaz koşullu yollardır, sadece anlık kısa süreli kullanımlar için tahsis edilirler. CDR' lar ya belirli düzenli zamanlar için ulusal AIP' ler yoluyla veya günlük olarak koşullu yol temin mesajları ile içersinde derlenmiş ulusal hava sahası kullanım planları yoluyla uygun hale getirebilirler.

Geçici olarak tahsis edilmiş sahalar (Temporary Segregated Areas, TSA): Özel kullanıcıların ayrıcalıklı kullanımı amacıyla geçici olarak rezerve edilmiş sahalar.

Karşı sınır Sahaları (Cross-Border Areas, CBA): Uluslar arası sınırlar üzerinde geçici olarak tesis edilmiş sınırın her iki tarafında da yürütülecek operasyonel uçuşlara imkan vermek amacıyla devletler tarafından tesis edilmiş sahalar.

Azaltılmış Koordinasyon Hava Sahası (Reduced Coordination Airspace, RCA): Operasyonel hava trafiğinin azaldığında ya da sona erdiğinde sivil-asker koordinasyonuna gerek kalmaksızın genel hava trafiğinin ATS yol yapısının dışında uçuşmasını sağlamak amacıyla tesis edilmiş sahalar.

Fonksiyonel Hava Sahası Blokları (Functional Airspace Blocks, FAB): Mevcut hava sahası sınırlarına bakılmaksızın daha fazla bütünleştirilmiş hava sahası yönetimi sağlamaya yönelik, ihtiyaç duyulan operasyonel gereklilikleri temel alan bloke edilmiş hava sahası olarak tanımlanmaktadır.

4. HAVA TRAFİK AKIŞ YÖNETİMİ

Hava trafik akış yönetimi; hava trafik kontrol, hava sahası yönetimi ile birlikte hava trafik yönetiminin üç bileşeninden biridir. Hava trafik kontrolünün işlevi, hava sahası içindeki uçaklar arasında her zaman güvenli ayırmalar sağlamaktır. Hava trafik akış yönetiminin işlevleri kısaca, akış paternindeki uçakların düzenli, hızlı ve verimli hareket etmelerini sağlayabilmek için gerekli düzenlemeleri yapmaktır [Sridhar ve ark., 1998].

Hava trafik akış yönetimi, hava trafiğinin kontrolündeki problemlerin çözümü için oluşturulan, hava trafik yönetiminin bir alt parçasıdır. Hava trafik sisteminin aşırı yüklenmeden korunması ve sistemin aşırı yüklemesiyle ortaya çıkan trafik tıkanıklığı problemlerine ve tıkanıklığın neden olduğu bekleme ve gecikmelere çözüm bulmak amacıyla ortaya çıkmış bir kavramdır. Hava trafik akış yönetimi, trafik talebini tahmin edip bunu mevcut hava trafik sisteminin kapasitesiyle karşılaştırarak, ortaya çıkabilecek problemleri önleme işidir [Matos, 1997]. Bu noktada, hava trafik sisteminde talep ve kapasite kavramları ön plana çıkmaktadır.

Hava trafik sisteminin ürünü, sunulan hizmetlerdir. Üretilen hizmetler "hava trafik hizmetleri" olarak adlandırılır. Bu açıdan hava trafik sistemi bir hizmet üretim sistemidir denilebilir. Hizmet üreten sistemlerde kapasite ve talep yönetiminin önemini artıran en önemli etken hizmetlerin stoklanamamasıdır. Yani hizmet üreten sistemler, talebin düşük olduğu dönemde ürünlerini stoklayarak talep arttığı zaman kullanamazlar [Öztürk, 1998]. Bu açıdan hava trafik sisteminde de talep ve kapasite yönetimi oldukça önemlidir. Bu görev hava trafik akış yönetimi tarafından yerine getirilir.

Hava trafik sisteminde talep havayolu işletmeleri tarafından ortaya konur ve belirli bir zaman diliminde belirli bir hava sahasını kullanmak isteyen ya da bir hava alanına iniş, kalkış yapmak isteyen hava aracı sayısını ifade eder. Hava trafik talebi sadece zamana bağlı bir değişken olmayıp, aynı zamanda uçağın tipi, tırmanma ve alçalma yeteneği gibi performans özellikleri, hızı, seyahat irtifası gibi işletim özellikleriyle de

ilgilidir. Hava trafik talebi belirli dönemlerde belirli hava sahaları ve hava alanları için artış ya da azalış gösterebilir. Örneğin, özellikle yaz aylarında bazı bölgelere yolcu talebinin artmasıyla birlikte trafik talebi de önemli bir artış gösterir. Sabah ve akşam saatlerinde de yine yolcu talebine bağlı olarak hava trafik talebi de artar. Hava trafik akış yönetiminde, trafik talebini tahmin etmek için kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Kullanılan çoğu tahmin yönteminde temel veri uçuş planlarıdır.

Emniyetli, hızlı, düzenli ve ekonomik bir hizmet sunumu için, yoğun trafik talebi karşısında hava trafik sisteminin kapasitesi önem kazanmaktadır. Genel anlamda kapasite, bir üretim oranı ya da belirli bir zaman içindeki üretim miktarı olarak tanımlanır [Kobu, 1999]. Hava trafik sisteminde de havayolu işletmeleri ve dolayısıyla hava araçları için hava trafik hizmeti üretilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, hava trafik sisteminde kapasite, belirli bir zaman diliminde belirli bir hava sahasında veya hava alanında hava trafik hizmeti verilebilen hava aracı sayısı olarak tanımlanabilir.

Hava trafik sisteminde verimli bir hizmet sunumu için talep kapasite dengesinin sağlanması gerekmektedir. Hava trafik akış yönetimi de temel olarak bu konu üzerine odaklanmaktadır. Hava trafik hizmeti verilen bir hava sahasında, trafik sayısının yani yoğunluğun artmasıyla birlikte problemler ortaya çıkmaktadır. Talebin kapasiteyi aştığı zamanlarda sistemin aşırı yüklenmesi nedeniyle uçaklar arasında güvenli ayırmaları sağlamak zorlaşmakta ve uçakların çarpışma riski artmaktadır [Haralddottir ve ark., 1998]. Bu durum, “birbirini izleyen cisimler arasındaki mesafe 10 cm. olması gerekiyorsa, 1 m. içine 11 cisim sığdırılmaz.” şeklinde basit bir matematiksel örnekle açıklanabilir [Özkul ve Cavcar,1998]. Dünyanın birçok bölgesinde, havayolu taşımacılığı ve endüstrisindeki büyük gelişmeler nedeniyle artan talep karşısında hava trafik sistemlerinin kapasiteleri yetersiz kalmaya başlamıştır.

Hava trafik sistemlerinde kapasite probleminin ortaya çıkmasındaki ana nedenler şunlardır [ICAO Doc.9426, 1984]:

- Toplumun tatil ve seyahat alışkanlıkları nedeniyle yılın belirli dönemlerinde, haftanın belirli günlerinde ve günün belirli saatlerinde trafikte yığılmaların meydana gelmesi,
- Değişik hava trafik sistemlerinin kapasitelerinin farklı olması ya da bu hava trafik sistemlerinin bazı bölümlerinin trafik yığılmalarından farklı şekilde etkilenmesi,
- Olası trafik talepleriyle ve sistemin belirli noktalarındaki, belirli alanlarındaki ve/veya belirli zamanlardaki aşırı yığılmalarla ilgili olarak yetersiz bilgi toplanması,
- Kritik durumlarda, trafik talebi ve mevcut sistem kapasitesi arasında denge sağlayacak ve hem işletim hem de ekonomik açıdan havayolu işletmelerince de kabul edilebilir uygun tekniklerin ve yöntemlerin yetersiz olması.

Bir hava trafik sisteminde talebin kapasiteye eşitlendiğinin, başka bir ifadeyle sistemin doyma noktasına geldiğinin göstergesi, trafik yoğunluğuyla birlikte ortaya çıkan sürekli ve gittikçe sıklaşan gecikmeler, beklemler ya da hizmet aksaklıklarıdır. Kapasite yetersizliği veya tıkanıklık sonucunda ortaya çıkan problemler ise şunlardır [ICAO Doc.9426, 1984]:

- Uçuştan önce kalkışta gecikmeler,
- Uçuşta beklemler (bekleme paterninde),
- Ekonomik olmayan uçuş seviyelerinin kullanımı,
- Uçuş yolu değişiklikleri ve uçuş yolundan sapmalar,
- Uçuş tarifelerindeki ve filo planlamasındaki aksamalar,
- Havayolu işletmeleri için fazla yakıt kullanımı ve maliyet artışları,
- Hava alanlarında ya da terminal binalarında yığılma ve tıkanıklıklar,
- Yolcu hoşnutsuzlukları.

Bir hava trafik sistemindeki tıkanıklık tahminleri doğru olarak yapılırsa, tıkanıklığın olduğu hava sahalarına belirli sayıda uçağın girmesi sağlanarak veya talebin bir

kısmı başka hava sahaları veya hava alanlarına yönlendirilerek tıkanıklık problemi çözülebilir. Bu tip çözümler yine hava trafik akış yönetimi tarafından geliştirilmektedir [Uslu, 2007].

Hava trafik akış yönetimi, trafik akışının en iyi şekilde sağlanabilmesi için ilgili hava trafik kontrol üniteleri ve havayolu işletmeleri ile devamlı koordinasyon sağlayarak trafik talebi ve hava trafik sisteminin kapasitesi arasında bir denge oluşturmali ve ilgili hava trafik kontrol ünitelerinin trafik talebini karşılayabilmelerini sağlamalıdır. Bu hizmet sağlanırken, havayolu işletmelerinin isteklerinin de en iyi şekilde tatmin edilmesi için çaba harcanmalıdır [Uslu, 2007].

Hava trafik akış yönetimi, en fazla sayıda uçağa emniyetli, hızlı, düzenli ve ekonomik bir hizmet sunulabilmesi için mevcut sistem kapasitesini en iyi şekilde kullanabilme yöntemlerini araştırıp geliştirir ve bunun için çeşitli düzenlemeler yapar. Bunlardan en önemlisi hava trafik talebinin düzenlenmesidir. Talebi düzenlemek için alınan önlemler çeşitli şekillerde olabilir. Uzun yıllardan bu yana uygulanan en basit yöntem, uçakların komşu hava trafik kontrol merkezlerinden örneğin 10 dakika gibi belirli zaman aralıklarıyla devralınmasıdır. Ancak, bu yöntem sadece uçuş emniyetini artırıcı yönde katkı sağlamaktadır. Uçuş ekonomisi bakımından ise olumsuzdur, yani maliyetleri arttırmaktadır. Otomasyon derecesi yüksek hava trafik sistemlerinde talep daha iyi düzenlenebilmektedir [Cavcar, 1998]. Örneğin, radar ile çalışan hava trafik kontrol merkezleri arasında, trafik talebi düzenlemesi daha verimli olmaktadır.

4.1. Hava Trafik Akış Yönetiminin Doğuşu

Hava trafik akış yönetimi, hava trafik kontrolünü bütünleyici bir hizmettir. Bu hizmetin amacı; trafik talebinin eldeki hava trafik kontrol kapasitesini aştığı bölgelerde iyi bir hava trafik akışını sağlamak ve hava trafiği için tehlikeli bir durum olan hava trafik kontrolünün fazla yüklenmesini önlemektir.

1970' lerin sonlarında akış yönetiminin Avrupa sahası içindeki kapasite üstü yüklenmeyi önleyici bir yardımcı olduğu ortaya çıkmıştır. 1979 yılında yapılan ECAC toplantısında tüm Avrupa hava trafik hizmetlerinden sorumlu genel müdürler bir hava trafik akış yönetimi oluşturulmasına karar verdiler. 1980' nin ilk yarısında Eurocontrol Bilgi Bankası (Data Bank Eurocontrol, DBE) geliştirilerek Avrupa' da hava trafik akış yönetiminin bir parçası olarak hizmete girmiştir. DBE' nin ana amacı tüm uçuş bilgilerinin toplanması, arşivlenmesi ve istenildiği anda dağıtımındır. DBE hali hazırda hava trafik akış yönetiminin uzun dönem stratejik planlamasında tek öge olarak kullanılan hava trafik talep bilgilerini sağlamaktadır [Eurocontrol, 1998].

4.2. Hava Trafik Akış Yönetiminin Amacı

Hava trafik akış yönetimi, ECAC hava sahasında hava trafik kontrolörüne yardımcı olan bir hizmettir. Hizmetin amacı; trafik talebinin hava trafik kontrol kapasitesini aştığı bölgelerde hava trafiğinin en iyi şekilde akıtılmasını sağlamaktır. Hava trafiğinin iyi bir şekilde akıtılması, ilgili hava trafik kontrol kapasitesi arasında bir denge oluşturmak ve söz konusu hava trafik kontrol biriminin talebi karşılamasını sağlamaktır [Çınar, 2003].

Hava trafik akış yönetimi hizmeti çalışmaları uçak işleticilerinin kararlarına elden geldiğince sadık kalarak aşağıdaki gibi yürütülmektedir [Eurocontrol, 1998]:

- Eldeki hava trafik kontrol kapasitesini tam olarak işlemek
- Trafik akışı yönetiminde azami esnekliği temin etmek ve
- Trafik akışında düzeni sağlamak

Hava trafik akış yönetiminin Avrupa bölgesi içinde bir sonu varmış gibi düşünülmez, fakat hava trafik kontrol kapasitesinin yoğun olduğu, trafik talebini karşılayamadığı durumlarda uygulanacak bir araç olarak uygulanır. Trafik talebinin karşılanmasında hemen hava trafik akış yönetimi hizmetinin uygulanması yerine hava trafik kontrol sistem kapasitesinin trafik talebini karşılayacak duruma gelmesine çaba harcanmaktadır.

4.3. Hava Trafik Akış Yönetiminde Alternatif Uygulamalar

Hava trafik talebinin yoğun olduğu ve hava trafik sistem kapasitesinin bu talebi karşılayamadığı durumlarda hava trafik akış yönetimi çözümleri uygulanır. Bununla birlikte, trafik talebinin karşılanamaması durumunda öncelikli olarak hava trafik akış yönetimi çözümlerinin uygulanması yerine, hava trafik sistem kapasitesinin yoğun trafik talebini karşılayabilecek duruma getirilmesi için çalışılır. Ancak, kısa dönemde sistem kapasitesinin artırılması olası görünmüyorsa, hava trafik akış yönetimi çözümleri uygulamaya konur. Hava trafik akış yönetimi çözümleri sadece trafik talebinin sistem kapasitesini aştığı hava sahalarında ve kapasite yetersizliğinin devam ettiği süreç içerisinde uygulanır.

Hava trafik akış yönetimi çözümleri sadece hava trafik talebinin hava trafik kontrol kapasitesini aştığı sahalarda ve kapasite yetersizliğinin devam ettiği süreç içerisinde uygulanmaktadır. Hava trafik akış yönetiminin uygulanan iki ana çözümünden ilki, uçuş planında belirlenen yolun dışında başka uygun bir yol verilmesi, yani tekrar yönlendirilme (re-routing), ikincisi ise slot tahsisidir [Eurocontrol CFMU Handbook, 1994].

4.3.1. Yolun yenilenmesi

Uçuş yolunun yenilenmesi, uçağa uçuş planında belirttiği yolun dışında başka uygun bir yolun verilmesidir. Yolun yenilenmesi, gecikmeleri ortadan kaldırmak ya da azaltmak amacıyla uygulanan bir hava trafik akış yönetimi çözümüdür.

Tekrar yönlendirilme için teklif merkezi akış yönetimi birimi tarafından yapılır. Yeni yol teklifi belirli bir uçak grubu ya da seçilen bir tek uçak için olabilir. Teklifleri kabul eden uçak işleticileri hali hazırdaki uçuş planlarını iptal edip yeni yol için yeni bir plan doldururlar. Yeni yol teklifleri havayolu işletmeleri ile koordine edilerek yapılır. Bunun için gecikmeye maruz kalacak uçaklar mümkün olduğu kadar kısa sürede tespit edilir ve yeni yol teklifleri buna göre planlanıp koordine edilir.

Yeni yol için havayolu işletmesinin onayı alındıktan sonra ayrıca bir anlaşma yapılmaz. Bununla birlikte, havayolu işletmesinin kendisine teklif edilen yeni yolu kabul etmesi, yeni bir uçuş planı doldurmasını gerektirir [Eurocontrol CFMU Handbook, 1994].

Tekrar yönlendirilme de iki tiptir.

- Ön Taktik safhada tekrar yönlendirilme
- Taktik safhada tekrar yönlendirilme

Ön Taktik Safhada Tekrar Yönlendirilme

CFMU tekrar yönlendirilmeyi, hava trafik kontrol kapasitesindeki sıkışmayı önceden tahmin ederek gecikmeleri minimuma indirmek için ön taktik safhada yapar. Tekrar yönlendirilme tek bir uçuşa yapıldığı gibi, bir grup uçuşa da yapılabilir. Tekrar yönlendirilme yapılmadan önce CFMU uçak işleticilerine bunu bildirir. Bu durumdaki uçak işleticileri ya uçuşlarına yeni bir yol bularak uçuş planlarını yenilerler ya da uçuşlarını iptal ederler [Çınar, 2003].

Taktik Safhada Tekrar Yönlendirilme

CFMU tekrar yönlendirilmeyi taktik safhada planlıyor ise, gecikme durumu oluşmuş ve çözümü de tekrar yönlendirilme şeklinde olacaktır. Bu duruma düşmüş uçuşa veya uçuşlara alternatif bir yol seçilir ve uçak işleticisine ya da işleticilerine bu yol teklif olarak sunulur. Eğer yeni yol kabul ediliyorsa, uçak işleticisi tarafından uçuş planı CFMU'ya yolu yenilenmiş olarak gönderilir. Uçak işleticisi tarafından tekrar yönlendirilme kabul edilmediği durumda slot tahsisine gidilir ve ilgili uçuşa o havaalanı için en son slot tahsis edilir [Çınar, 2003].

4.3.2. Slot tahsisi

Belirli bir hava sahası için mevcut trafik talebi hava trafik sistemi kapasitesini aştığında, yolun yenilenmesi çözümünü uygulamak mümkün olmuyorsa ya da

havayolu işletmesi kendisine yapılan yeni yol teklifini kabul etmiyorsa, diğer bir hava trafik akış yönetimi çözümü olan slot tahsisi uygulanır [Uslu, 2007].

Slot tahsisi, belirli bir hava sahası ya da havaalanı için kullanıcılar tarafından ortaya konulan yoğun trafik talebini sistem kapasitesine indirerek düzgün bir hava trafik akışı sağlamak ve sistem kapasitesinin tamamının kullanımını sağlamak amacıyla başvurulmuş bir çözümdür [Uslu, 2007].

Slot tahsisi, havayolu işletmeleri açısından uçuşlara ve dolayısıyla uçuş planlamalarına konulan sınırlamaları ifade etmektedir. Slot, uçuşu planlanmış bir uçağa, belirli bir hava sahasını belirli bir zaman diliminde geçmesi ve dolayısıyla iniş kalkış için belirli hava alanlarını belirli zaman dilimlerinde kullanabilmesi şeklinde konulan bir sınırlamadır. Böylece, bu zaman dilimlerinde ilgili hava sahasındaki ve hava alanlarındaki trafik sayısı istenilen düzeyde tutulabilmektedir. Diğer bir ifadeyle, bir hava sahası ya da hava alanı için mevcut olan talep geniş bir zamana yayılarak kapasitenin düzeyine indirilmekte ve tıkanıklık problemi çözülmektedir [Uslu, 2007].

Hava trafik akış yönetimi çözüm uygulamalarından muaf tutulan uçuşlar hariç, tüm uçuşlar slot tahsisine tabi tutulabilirler. Slot tahsisi, genellikle ileriye dönük saatler için uygulanan bir çözümdür. Başka bir ifadeyle, slot tahsisi genellikle havadaki uçaklar için değil, uçuşuna başlamamış uçaklar için uygulanır.

Havadaki uçakların uçuş yolları üzerindeki hava sahalarında slot tahdidine ihtiyaç duyulduğunda, geriye dönük bir slot tahsisi yapılmaz. Bu nedenle, slot tahsisleri, ileriye dönük uçuşlarla ilgili olarak yapılan planlamalar sonucunda belirlenir.

Gecikmeler şeklinde uygulanacak bir hava trafik akış yönetimi çözümü normal olarak havadaki uçaklara değil, yerdeki uçaklara uygulanır. Ancak, havadaki bir uçağa hava trafik akış yönetimi çözümünün uygulanması kaçınılmaz olduğunda, mümkün olan en kısa sürede ilgili uçağa bu durum bildirilir. Havadaki bir uçağı

geciktirmek amacıyla yolda bekletmek zorunlu ise, uçak tıkanıklığın yaşandığı ilgili hava sahasının girişine yakın bir yerde bekletilir.

Bir hava sahasını belirli bir zaman diliminde geçmek zorunda olan bir uçağın kalkış saati de bu sınırlamadan etkilenir. Bir uçak, bir hava sahasını belirli bir zaman diliminde geçebilmesi için, kalkışını da belirli bir zaman diliminde gerçekleştirmek durumundadır; eğer kalkışı için belirlenmiş zaman diliminden daha erken bir saatte kalkarsa, bu uçak havada belirli noktalarda beklemeye alınarak geciktirilir. Uçağın kalkış için geç kalması durumunda ise, verilen slotu kaybetmesi ve yeni bir slot tahsisi söz konusu olur ki bu da kalkışın daha ileri bir saate alınmasına ve dolayısıyla uçuşun gecikmesine neden olur. Ancak, hava trafik kontrolünden kaynaklanan kalkış saatindeki küçük gecikmeler nedeniyle slot kaybı söz konusu olmaz [Eurocontrol CFMU Handbook, 1994].

4.4. Hava Trafik Akış Yönetimi Faaliyetlerinin Safhaları

Hava trafik akış yönetimi faaliyetleri dört aşamada yürütülür [Eurocontrol ATFCM Users Manuel, 2012]:

Stratejik Safha, uçağın hareket gününe yedi gün kalana kadar devam eder ve stratejik faaliyetler araştırılır, planlanır, koordine hareketleri yürütülür.

Ön Taktik Safha, hareket gününe yedi gün kaldığında başlar ve ön taktik faaliyetler planlanır, koordine hareketleri yürütülür.

Taktik Safha, uçağın hareket gününde başlar hava trafik akış yönetimi faaliyetleri olan taktik faaliyetler yürütülür.

Analiz, hareket gününü izleyen günlerde uygulanır.

4.4.1. Stratejik safha

Uçuşun birkaç gün öncesine kadar yürütülen aktivitelerdir. Bu aşamada, beklenen hava trafiği talebi ile ATC kapasitesi karşılaştırılır. Her bir ATC ünitesinin gerekli kapasiteyi sağlayabilmesi için gerekli hedefler belirlenir ve bu hedefler her ay düzenli olarak gözden geçirilir. Buna paralel olarak, uçak işleticilerinin planladığı uçuşların sayısı ve rotalarının değerlendirilmesi CFMU' nun bir rota planı oluşturmasını sağlar. Bu da hava sahasının maksimum kullanımı ile gecikmelerin minimuma indirilmesi için hava trafik akışını dengeleyen zorunlu Avrupa Hava Rotaları yapısını belirler.

Stratejik planlama için kullanılan yöntemler şunlardır:

- Gerekli yer ve zamanda yeterli kapasitenin sağlanması için ATC otoritesi ile ayarlamaların yapılması,
- Bazı trafik akışlarının rotalarının değiştirilmesi,
- Uçuşların uygun şekilde programlanması veya programların düzenlenmesi,
- Gerekli taktik ATFM tedbirlerinin belirlenmesi.

Stratejik planlama safhasında ulusal ve uluslararası seviyelerde hava trafik kontrol planlaması yapan otoriteler tarafından tavsiye ve bilgilerin kullanılması sağlanmaktadır ve iki şekilde de hava sahası organizasyonu, hava trafik kontrol yöntemleri ile personel düzenlemelerindeki değişiklikler desteklenmekte ve ayarlanmaktadır.

Stratejik planlamadaki amaç eldeki kapasitenin etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve gerektiği takdirde ek kapasiteyi temin etmektir. Stratejik hava trafik akış yönetimi önlemleri, alternatif hava trafik kontrol çözümleri imkanları varken kullanılmaz. Örneğin bir havaalanındaki yığılma SID (Standart Instrument Departure, Standart Aletli Kalkış) ve STAR' lar (Standart Instrument Arrival, Standart Aletli Geliş) ile çözümlenebilecek durumda ise slot ve yeniden rotalama uygulamalarına başvurulmamaktadır.

Hava gösterileri, ticari tanıtımlar, askeri tatbikatlar gibi özel durumlar stratejik planlama safhasında değerlendirilmektedir. Hava sahasını etkileyecek bu tip ekstra durumlarda mümkün ise ya ilave talep oluşturulmakta ya da geçici kapasite indirimlerine gidilmektedir. Hava trafik kontrol otoritesi aktiviteleri düzenleyenlerle koordine ederek sırası ile [Çınar, 2003]:

- Aksamanın boyutunu ve ihtiyaç duyulan hava trafik akış yönetimi çözümünü tespit edilmeli,
- Aktivitenin zamanları yoğun saatlere veya günlere denk geliyor ise zamanları değiştirilmeye çalışılmalı veya hava sahası rezervasyonunda belirli bir limitlemeye gidilmelidir.

4.4.2. Ön taktik safha

Operasyon gününden birkaç gün önce yapılan faaliyetlerdir. Trafik tahmini, Avrupa’daki her bir ATC Ünitesindeki FMP’lerden alınan bilgiler ve CFMU istatistik verilerine dayanarak bir sonraki gün için ATFM Bildiri Mesajı (ANM - ATFM Notification Message) hazırlanır. ANM, bir sonraki operasyon gününe ait taktik planı içerir; uçak işleticileri ve ATC ünitelerini ertesi gün Avrupa hava sahasında yürürlükte olacak olan ATFM tahditleri hakkında bilgilendirir. Bu tahditlerin amacı trafiğin akışını kısıtlamak değil, gecikmeleri en aza indirip, hava sahasının tümünün kullanımını en üst düzeye çıkaracak şekilde trafik akışını idare etmektir.

Taktik öncesi planlama, stratejik planlamanın güncellenmiş talep verileri doğrultusunda ayarlanmasını gerektirir. Bu aşamada:

- Bazı trafik akışlarının rotası değiştirilebilir,
- Fazla yüklenmiş rotalar koordine edilebilir,
- Taktik tahditler kararlaştırılır,
- Ertesi güne ait ATFM planı yayınlanarak, ilgililere duyurulur.

4.4.3. Taktik safha

Operasyon gününde yapılan çalışmadır. Bu çalışmaları şöyle özetleyebiliriz:

- Talebin kapasiteyi aşması beklenen durumlarda azaltılmış ve düzenli bir trafik akışı sağlamak amacıyla önceden belirlenmiş taktik tahditlerin uygulanması;
- Hava trafik durumunun seyrini takip ederek, uygulanan ATFM tahditlerinin istenen etkiyi sağlayıp sağlayamadığını görmek ve uzun gecikmeler rapor edildiğinde trafiklerin rotalarının değiştirilmesi ve uçuş seviyesi tahsisi de dahil olmak üzere var olan ATC kapasitesini en yüksek düzeyde kullanmak için gerekli önlemleri almak veya başlatmak.

Başka bir deyişle taktiksel hava trafik akış yönetimi aktiviteleri aşağıdakileri içermektedir:

- Karar verilmiş taktik önlemlerin uygulanması,
- Kapasite talep problemlerinin yeterli önlemlerle yerinde çözülmesinin sağlanması,
- Küçük değişikliklerle çözüm önerileri getirilerek, gereksiz yasaklamalar ve tahditlerin kaldırılması,
- Kaçınılamayacak gecikmelerin imkan ölçüsünde uzun süreye yayılarak kısaltılması

Taktik safha esnasında da hiçbir şekilde uygulanan kısıtlamalar ve gecikmelerde esnekliğe gidilmemektedir [Eurocontrol ATFM General Procedures, 1995].

4.4.4. Analiz

Hareket günü sonrasında gerçekleştirilen safhadır. Operasyon günü ve önceki üç safhanın değerlendirilmesinin yapıldığı geri bildirim aşamasıdır.

4.5. İşbirlikçi Karar Verme (CDM)

İşbirlikçi karar verme, bir süreçte alınacak olan kararların en kapsamlı, en güncel, en doğru bilgiye dayandırılabilmesi için gerekli olan kişi ve kurumları bir araya getirme çabasıdır. İşbirlikçi karar verme (CDM) havacılık topluluğu paydaşları arasında artan bilgi alışverişi ile hava trafik akış yönetimi iyileştirme amaçlı hükümet-endüstri ortak girişimi olarak da tanımlanabilir. CDM ile yapılacak olan uçuş hakkında mevcut en güncel bilgileri elde edip yakın veya gerçek zamanlı olayları yansıtabilmek için, alınacak dinamik kararların elde edilebilmesi amaçlanır. İşbirlikçi karar verme süreci, uçuşun tüm aşamalarında sürekli diyalogu desteklemeye çalışan taraflar ile ilgili tüm bilgilerin paylaşımını sağlayan ATFCM arasında kilit bir araçtır. CDM sürecinde hükümet temsilcileri, genel havacılık çalışanları, havayolu şirketleri, özel şirket yetkilileri ve hava trafik akış yönetiminde (ATFM) karşılaşılan sorunları çözmek, teknolojik ve prosedürel çözümler oluşturmak için çalışan akademisyenler yer alır. CDM ile stratejik seviyeden gerçek zamanlı olaylara kadar olan her aşamadaki ve çeşitli organizasyonlar tarafından bilinebilen veriler karşılıklı olarak güncellenebilir. Verimli olabilmek ve hedeflenen amaçlara ulaşabilmek için CDM mutlaka [Eurocontrol CFMU Handbook, 1994];

- Kapsamlı
- Şeffaf
- Ortaklar arasında güvenin esas olduğu

bir sürece dayanmalıdır.

Ülkemizde İstanbul Atatürk Havalimanının kapasitesinin arttırılması amacı ile Mayıs 2011 tarihinde DHMİ, TAV ve THY arasında mutabakat metni imzalanmıştır. Bu projeye, İstanbul Atatürk Havalimanı'nda gün geçtikçe artan hava trafiği talebinin karşılanabilmesi için sektörün tüm kaynaklarının en verimli şekilde kullanılabilmesi, operasyonların tahmin edilebilirliğinin arttırılması, süre ve insan gücü kaybının engellenerek kapasitenin geliştirilmesi hedeflenmiştir. CDM sistemi ise apron ve hava trafik kontrolünü bünyesinde barındıran DHMİ ile koordineli olarak operasyon

yürütmek durumunda olan havayolları, terminal işletmecisi, yer hizmetleri şirketleri ve tüm havacılık sektörü paydaşlarının havalimanındaki operasyonel durumu aynı zamanda, aynı verilerle görmesini ve yorumlamasını sağlayacak bir sistem olarak tanımlanmıştır [İnternet “Birlikte Karar Alma Projesi”, 2012].

4.6. Hava Trafik Akış ve Kapasite Yönetimi (ATFCM)

ATFCM; ATFM’ in, trafik paternlerinin optimizasyonu ve kapasite yönetimi konularında genişletilmiş halidir. Kapasite ve talep dengesini düzenleme yoluyla ATFCM’ in amacı, işbirliği ile karar verme yöntemiyle şebeke kapasitesinin optimizasyonu ile mevcut kaynaklara göre uçuş dakikliğini ve verimliliğini sağlamaktır [Eurocontrol ATFCM Users Manuel, 2012]. Burada ‘kapasite’, operasyonel olarak kabul edilebilir hacimdeki hava trafiği anlamındadır. ATFM kavramı 2007 yılında genişletilerek literatüre ATFCM olarak geçmiştir; ancak günümüzde ATFM şeklinde ifade daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da ATFCM ifadesi yerine ATFM kullanımı tercih edilmiştir.

4.7. Merkezi Akış Yönetimi Birimi (CFMU)

CFMU, EUROCONTROL kuruluşu içinde bir müdürlüktür ve ICAO’ nun bir parçası olarak geliştirilmiştir. Avrupa’ da merkezi hava trafik akış yönetimi hizmetini yerine getirmek amacıyla oluşturulmuştur.

CFMU’ nun oluşturulması kararı Ekim 1988’ de Avrupa Sivil Havacılık Konferansına üye ülkelerin ulaştırma bakanları tarafından alınmıştır.

ECAC’ a bağlı ülkeler CFMU’ nun oluşturulması ve çalıştırılması işini EUROCONTROL’ den istemişler ve tüm Avrupa hava sahası boyunca hava trafik akış yönetimi hizmetinin de EUROCONTROL’ ce sağlanmasını öngörmüşlerdir [Eurocontrol CFMU Handbook, 1994].

4.7.1. CFMU' nun görevleri

CFMU' nun ana amacı hava trafik birimleri ve uçak işleticileri adına hava trafik akış yönetimi hizmeti sağlamaktır. Birim bu amacı gerçekleştirirken aşağıdaki diğer görevleri de yapmaktadır [Çınar, 2003]:

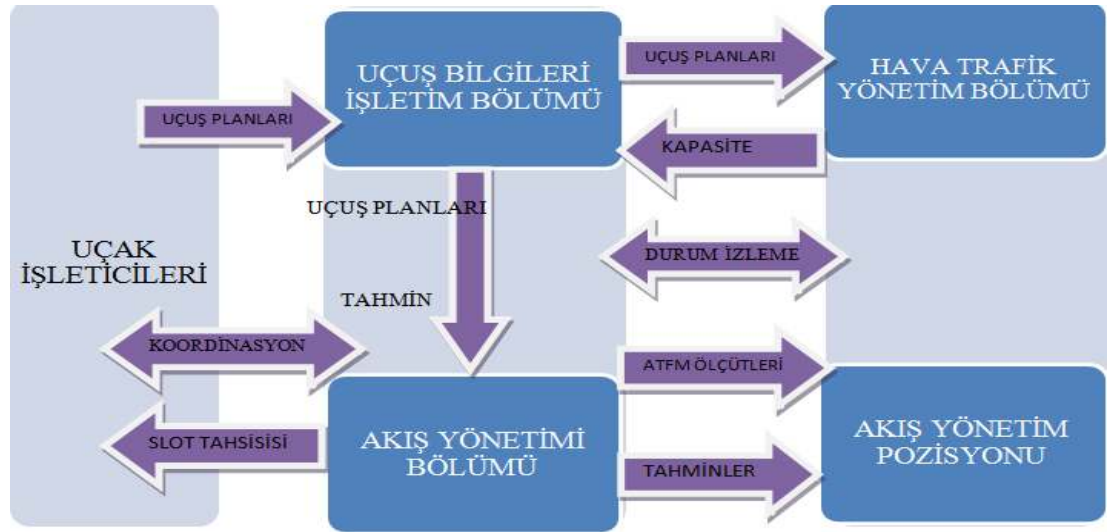
- Hava trafik akış yönetiminde hava trafik birimleri ve uçak işleticileri adına yüksek bir kalite sağlamak ve bu kaliteyi geliştirmek,
- Uçuş planı bilgilerine dayanarak mevcut trafik kapasitesinden en iyi şekilde yararlanmak ve sorunsuz bir trafik akışı sağlayarak aşırı yüklenmelere karşı tedbirler almak,
- Uçak işleticilerine hava trafiğindeki tıkanıklıkları en aza indirmek için uçuş planlamasında tavsiyeler vermektedir.

Yukarıdaki amaçlara ek olarak CFMU, hava trafik akış yönetimi hizmetini almayı kabul eden ülkelere hızlı ve verimli bir hava trafik akışı sağlamakla yükümlüdür. Bunlarla beraber CFMU, aşağıdaki politika ve kuralları da kabul etmiştir:

- Maliyetleri düşürmek için hava trafik akış yönetimi operasyonlarındaki otomasyonu en üst düzeyde tutmak ve geliştirmek,
- Prosedür ve sistemlerini bağlı kalarak yenilemek ve düzenlemek,
- Hava trafik servisleri ve uçak işleticilerinin isteklerine bağlı kalarak sorumluluklarını en üst düzeyde tutmak ve sistemlerini devamlı yenilemekle yükümlüdür.

4.7.2. CFMU' nun organizasyon yapısı

CFMU' nun yönetimi, özel işletim bölümleri ve bunlarla birleşik sistemlerin birbirleriyle eş güdümlü şekilde çalışmasıyla oluşur. Bu birlikte çalışmadan hava trafik akış yönetimi ve uçuş planlama hizmeti ortaya çıkar (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. CFMU Organizasyon Yapısı

CFMU aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

- Akış Yönetimi Bölümü (The Flow Management Division, FMD),
- Uçuş Bilgileri İşletimi Bölümü (The Flight Data Operations Divisions, FDOD),
- Geliştirme Bölümü (The Development Division, DEVD),
- Mühendislik Bölümü (The Engineering Division, ENGD),
- Kullanıcı İlişkileri Bürosu (The Users Relations Bureau, URB),
- Yönetim Destek Bürosu (The Management Support Bureau, MSB)

CFMU' nun ana sistemleri şunlardır [Eurocontrol ATFM General Procedures, 1995]:

- Hava Trafik Servisleri Çevre Sistemi (The ATS Environment System, ENV),
- Tekrarlanan Uçuş Planı Sistemi (The Repetative Flight Plan System, RPL),
- Birleştirilmiş İlk Uçuş Plan İşleme Sistemi (The Integrated Initial Flight Processing System, IFPS)
- Taktik Sistem (The TACTICAL System, TACT/CASA).
- Arşiv Sistemi (The Archive System, ARC),
- Birleştirilmiş İlk Uçuş Plan Onaylama Sistemi (The IFPS Validation System, IFPUV),
- Ön Taktik Sistem (The Pre-Tactic System, PRJEDICT)

CFMU Bölümleri

CFMU bölümleri aşağıda sıralanmıştır:

Akış Yönetimi Bölümü

Akış Yönetimi Bölümü stratejik hava trafik akış yönetimi safhasındaki planlama, koordinasyon ve uygulamadan sorumludur. Ön taktik ve taktik hava trafik akış yönetimi safhalarında da CFMU' nun sorumluluk sahasında planlama, koordinasyon ve uygulamadan Akış Yönetimi Bölümü sorumludur.

Akış Yönetimi Pozisyonları

ICAO, CFMU' nun sorumluluk sahası içindeki tüm saha kontrol merkezlerine Akış Yönetimi Pozisyonları (Flow Managemet Position, FMP) oluşturmuştur.

Akış yönetimi pozisyonları saha kontrol merkezleri, havaalanları ve akış yönetimi bölümü arasında bir ara birim oluşturmakta, akış yönetimi bölümü ve saha kontrol merkezleri arasında uzmanlık ve destek sağlamaktadır. FMP' ler saha kontrol merkezlerindeki personelin hava trafik akış yönetimi kurallarına uygun olarak geliştirilmesi ile de ilgilenir. Başka bir deyişle; her bir ACC' de oluşturulan, yerel ATFCM ortakları (ATC, uçak işleticileri ve hava alanları) ile CFMU arasında, hava trafik akış ve kapasite yönetimi konularındaki bağlantıyı sağlayan bir çalışma pozisyonudur. Görevi ise, CFMU ile ortaklık içinde, hem ATC hem de uçak işleticilerinin ihtiyaçlarını dikkate alarak en etkili ATFM hizmetini sağlayacak şekilde etkinlik göstermektir.

FMP' ler saha kontrol merkezleri ile hava trafik akış yönetimi sorunları için koordinasyon sağlar. CFMU' nun sağladığı ve talep ettiği bilgilerin doğruluğunu hava trafik akış yönetiminin tüm safhalarında garanti eder ve kullanılacak kapasitenin hava trafik akış yönetimi planı dahilinde en etkili şekilde kullanılmasını gerçekleştirir.

CFMU sahasındaki tüm FMP' ler, Taktik Sistemin sağladığı bilgileri kullanma hakkına sahiptir.

Uçuş Bilgileri Yönetimi Bölümü

Uçuş Bilgileri Yönetimi Bölümü, CFMU için uçuş operasyonları ile ilgili bilgileri toplamak, biriktirmek ve yenilemekten sorumludur. Bu görevlerin yanında hava seyrüseferinde ülkelerin hava trafik kontrol sistemleri için alt yapı çalışmaları yapmak ve CFMU' nun sistemlerinde hava trafik akış yönetimi operasyonlarına katılmak diğer görevleri arasındadır [Çınar, 2003].

Geliştirme Bölümü

Bu bölümün CFMU yönetim içerisindeki görevi araştırma geliştirme ve bakımdır. Geliştirme Bölümü, Mühendislik Bölümü ile beraber çalışmaktadır [Çınar, 2003].

Mühendislik Bölümü

Mühendislik Bölümü CFMU yönetimi içinde teknik bölümlere ve hava trafik akış yönetimi hizmeti sağlayan birimlere tedarik ve destek sağlamaktadır. Sağlanan hizmetlerin tümü CFMU' nun işletim sistemlerine ve ilgili iletişim birimlerine Mühendislik Bölümü tarafından verilmektedir. Aynı zamanda bu bölüm tarafından teknik altyapı da sağlanmaktadır [Çınar, 2003].

Kullanıcı İlişkileri Bürosu

Kullanıcıların isteklerini tanımlamak ve operasyonel özelliklerini belirlemek, çalışmaları, simülasyonları ve denemeleri yönetmek ve/veya yardımcı olmak, operasyonel sistemlerdeki anormal raporların düzeltilmesini başlatmak, hava trafik akış yönetimi ve CFMU' nun operasyonlarının performansını izlemek, istatistikler ve analizler yapmak amacıyla kurulmuş bölümdür [Çınar, 2003].

Yönetim Destek Bürosu

Yönetim Destek Bürosu' nun CFMU içerisindeki görevi yönetimdir. CFMU yönetimi içerisindeki merkezi destek hizmetleri arasında CFMU' ya bağlı kalarak koordinasyon sağlamakla sorumludur. Yönetim Destek Bürosu' nun yaptığı tüm işleri yönetim kurulu denetler.

4.8. Hava Trafik Yönetimi Problem Alanları

Yeni bir çalışma alanı olan hava trafik yönetimi için, global olarak saptanmış problemler iki ana grup altında incelenebilir. Ana gruplar sistem planlaması ve akış yönetimi olarak tanımlanabilir. Aslında bu problemler iç içe geçmiş problemler olup birbirlerini sürekli olarak etkilerler [Cavcar, 1998].

4.8.1. Sistem planlaması ile ilgili problemler

Planlama ile ilgili problemler şu alt bölümlerde incelenebilir [Cavcar, 1998]:

1. Yeni havaalanlarının ve seyrüsefer kolaylıklarının etkisi
2. Pist ve taksi yollarının tasarımı
3. Yeni pist eklenmesi
4. Uçak park yeri kapasitesi belirlenmesi
5. Terminal sahası yaklaşma-kalkış usulleri, kuyruk stratejileri
6. Yeni hava yollarının oluşturulması
7. Yeni sektörlerin oluşturulması
8. Hava seyrüsefer ve radar kolaylıkları
9. Hava trafik kontrol usulleri, kontrolör taktikleri
10. Gürültü önleme usulleri
11. Hava araçlarının performansları ve kontrol sistemlerinin gelişmişlik düzeyinin etkisi
12. Hava trafik kontrolörü, pilot iş yükü ve fizyolojisinin belirlenmesi

On iki farklı grup altında toplanan hava trafik yönetimi planlama problemlerinin hepsi birer başlı başına kapasite problemidir. Sistem planlama ile ilgili bu tip

problemlerin çözümü genellikle uzun dönemli (5 yıl) planlama fonksiyonu yardımı ile yapılır [Cavcar, 1998].

4.8.2. Sistem kontrolü-akış yönetimi ile ilgili problemler

Akış yönetimi problemleri mevcut sistem ile trafik talebinin karşılaştırılması esasına dayanır. Amaç eldeki sektör yeteneklerinin en iyi şekilde değerlendirilerek trafik akışının emniyetli ve ekonomik olmasını sağlamaktır.

1. En fazla akış problemi- En az gecikmeli akış
2. Ekonomik akış problemi
3. Ayırma usullerinin iyileştirilmesi problemi

Bir hava sahasında veya hava alanında trafik akışının en fazla olmasının sağlanması yani uçaklara kendi istedikleri zaman içerisinde hareketlerini gerçekleştirmeleri en genel anlamıyla bir sıralama problemidir; çünkü aynı hava sahasını veya aynı havaalanını kullanmak isteyen birçok hava yolu işleticisi veya bireysel uçak kullanıcısı vardır. Bunlara hizmet vermek önceliğinin belirlenmesi ise ancak belirli bir sıralama disiplini ile gerçekte gerçekleştirilebilir. O halde sistem yeteneği ve talep karşılaştırılması belirli zaman dönemlerinde yapılmalı tıkanıklık durumlarındaki beklemler belirlenmelidir [Cavcar, 1998].

Ekonomik akış problemi ise tıkanıklık sonucu ortaya çıkan yeni alternatif yolların kullanılması problemidir; yani uçağın bekleme maliyeti ve alternatif yol maliyetleri karşılaştırılmalıdır [Cavcar, 1998].

Ayırma usulleri yani uçaklar arasında olması gereken mesafeler ICAO tarafından belirlenmiştir; fakat gelişen teknoloji ile uçakların farklı teçhizatlarıyla donatılmış olması ayırma standartlarının iyileştirilmesi konusunu da gündeme getirmiştir [Cavcar, 1998].

4.9. Sistem Planlaması Problemleri Çözüm Yaklaşımları-Hava Sahası Yönetimi

Hava ulaşımı talebindeki artış, hava trafik kontrolörlerinin iş yükündeki artışı beraberinde getirmiştir. Bu yük artışının karşılanabilmesi amacıyla yeni arayışlara başlanılmıştır. Bu amaçla yapılacak işlerden biri ise hava sahasının yeniden planlanması veya eldeki hava sahasının yeniden sektörlenmesidir. Hava trafik sistemi içinde uçuş faaliyetlerinin gerçekleştiği ortam hava sahası olduğuna göre, hava sahası yönetimi hava trafik yönetiminin önemli bir kısmını oluşturur. En iyi hava sahası, içerisinde seyahat eden uçakların yer gecikmeleri ve havadaki beklemelerinin en az olduğu, seyahati sırasında en az yakıt sarf edeceği uçuş seviyesini kullandığı, diğer uçaklarla çarpışma tehlikesinin en az olduğu, mevcut ve uzun vadeli trafik talebine yeterli olan ve kontrolünde çalışan hava trafik kontrolörünün iş yükünün en az olduğu hava sahasıdır. Görüldüğü gibi hava trafik yönetiminin fonksiyonlarını oluşturan organizasyon, planlama, kontrol ve adamlama fonksiyonları birbiriyle iç içe geçmiş fonksiyonlardır. Hava trafik sisteminde emniyeti, verimliliği, ekonomikliği, kapasite optimizasyonu ile istenilmeyen olayları ortadan kaldırmaya çalışılır. Hava sahası yönetimi sistemin planlanması ile ilgili problemleri çözmek amacıyla oluşturulmuş hava trafik yönetiminin bir alt kesimidir [Cavcar, 1998].

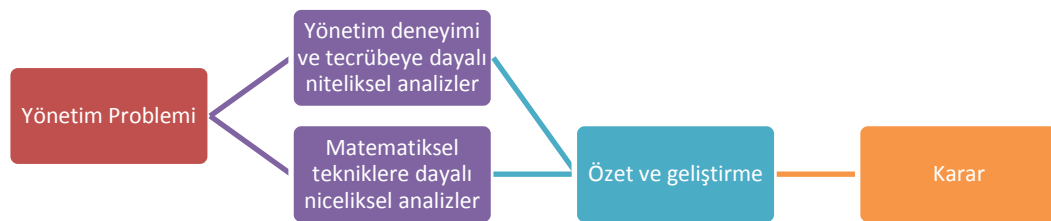
4.10. Sistem Kontrolü - Akış Yönetimi Problemleri Çözüm Yaklaşımları

Akış yönetimi kontrol problemlerinin çözümü için kurulmuş hava trafik yönetiminin bir alt kesimidir. Akış yönetimi tıkanıklığın yol açtığı istenilmeyen olaylardan, uçuştaki ve yerdeki beklemelere çözüm getirmek için bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır ve hava trafik sistemi içinde başlı başına bir alt kesimdir. Hava trafik akış yönetimi hizmetinin amacı, trafik talebinin kimi zamanlarda mevcut ATC sisteminin kapasitesini aştığı alanlara yoğunlaşmak veya bu alanlardaki en iyi trafik akışını sınamaktır. Akış yönetim hizmetinin etkin olması için, ilgili ATC birimleri arasında sürekli bir işbirliği ve koordinasyon olmalıdır [Cavcar, 1998].

4.10.1. Bir karar problemi olarak akış yönetimi

Günümüz hava trafik kontrol sistemleri, uluslararası kurallar ve usullere bağlı olarak uçuşların emniyetini sağlamaktadırlar. Sistem kısa dönemli müdahaleler ile doğrudan, kontrolörlerin yani insanların performansı tarafından taktik tabanlı olarak işletilmektedir. Aslında gerçek trafik koşullarında, hava araçları çoğu zaman arttırılmış emniyet standartlarında uçuşlarını gerçekleştirmektedirler. Bu durum hava sahası içindeki trafiğin dinamik gelişiminin önceden tahmininin zorluğu; hava durumu, pistteki tıkanıklık, hatalar veya kazalar gibi şansa bağlı olayların varlığı sebebiyle olmaktadır. Bugün bu yönetim anlayışı, artan trafik talebine sistemin yetersiz kalışından dolayı geçerliliğini yitirmek üzeredir. Bu yüzden geleceğin sistemleri; emniyet düzeyinin uygun seviyede tutulması için otomasyon usullerinin gerçekleşmesini olduğu kadar sistem verimliliğinin ve sistem kapasitesinin artırılması için planlama fonksiyonlarının da tanımlanmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda son yıllarda, hava trafik yönetiminin iyileştirilmesi için bazı optimizasyon modelleri ve çözüm algoritmaları geliştirilmiştir [Cavcar, 1998].

Genel anlamda hava trafik problemleri karar problemleri ile benzerlikler gösterirler. Bir yönetim problemi olarak hava trafik yönetimi problemleri de bir organizasyonun mümkün olduğu kadar geniş bir kısmı için en iyi sonucu verecek kararlar bulmaya çalışır. Amaç çok boyutlu olduğuna göre konu sistemin analizidir. Karar verme süreci Şekil 4.2’ de olduğu gibi gösterilebilir.



Şekil 4.2. Karar verme işlemi

Hava trafik kontrol problemlerine çözüm yaklaşımları diğer üretim sistemleri problemlerine çözüm yaklaşımlarından farklı değildir. Bunlar içerisinde niceliksel

yaklaşanlardan yöneylem araştırması ve yöneylem araştırması teknikleri önemli yer tutar [Cavcar, 1998].

Yöneylem araştırması teknikleri

Günümüzde havacılık işletimleri için ayrıntılı gereksinimler çok fazla karmaşıklaşmıştır. Sonuçta hava trafiğinin kontrolü ve yönetimi çok amaçlı sisteme sahip modern kontrol teorileriyle açıklanır hale gelmiştir. Bu sistemde kapasitenin en iyi kullanımı ekonomiklik amacı ile birlikte düşünülürken, emniyet temel kısıtlayıcı olarak kalmaktadır. Bu durum hava trafik yönetiminin planlama aşamasına yansımaktadır.

Toplumların yanıt bekleyen sorularının ve çözüm gerektiren problemlerinin özellikle savaş dönemlerinde görece bir artış gösterdiği gerçektir. Uzun süreli savaş anları birey ya da grupları soruların yanıtı ve problemlerin çözümü için daha fazla olanak yaratmaya zorlamış ve sonuçta onları önemli teknolojik bulgularla beslenmiş bilgi birikimine ulaştırmıştır. Yöneylem araştırmasının doğuşunda da böyle bir gelişme gözlenmektedir. Hiçbir bilimsel disiplin belirli bir günde doğmamıştır. Ancak ilk yöneylem araştırması çalışmasının İkinci Dünya Savaşı sırasında İngiltere’ nin ulusal savunma sorunlarına çözüm arayan ve farklı disiplinlerden oluşan bir ekip tarafından yapıldığı görüşü tüm yöneylem araştırmacılarınca benimsenmektedir. Hava akınları karşısında en iyi savunma şeklini belirlemek amacıyla, radarların en etkin biçimde kullanılmasını sağlamak için bir araya gelen farklı disiplinlerden bilim adamları, kendi dallarındaki bilgi birikimlerini ekip çalışmasına yansıtmışlar ve böylece en iyi savunma şeklini bulmuşlardır. Bu çalışma ile bir araya gelen bilim adamlarına “radarlardan en etkin bir biçimde yararlanma” şeklinde verilen problemin, aslında İngiltere’ nin ulusal savunmaya ilişkin diğer öğelerle, en azından haberleşme ile birlikte ele alınması gerçeği ortaya çıkmıştır [Kara, 1985].

Hava trafik yönetimi ile ilgilenen araştırmacılar, hava trafik yönetimi problemlerinin çözümünde özellikle serim, kuyruk ve benzetim tekniklerinden faydalanmaktadırlar.

Bunlara ilaveten üretim planlaması ve kontrolünde kullanılan çizelgeleme tekniği de akışın planlanması konusunda kullanılabilecek en uygun yöntemdir [Cavcar, 1998].

ATFM problemlerinde serim modeli yaklaşımları

Bir, serim düğümler ve bunları birbirine bağlayan ayrıtlardan oluşmuş üzerinde akış olan bir çeşit grafiktir. Çizelge 4.1’ de fiziksel ortamda rastlanabilecek serimle gösterilebilen örnekler verilmiştir [Cavcar, 1998].

Çizelge 4.1. Bir serimin olası bileşenleri

<i>Düğüm</i>	<i>Ayrıtlar</i>	<i>Akış</i>
Kavşaklar	Yollar	Araç
Havaalanları	Hava yolları	Uçak
Anahtar noktalar	Teller, kanallar	Mesaj
Pompa istasyonları	Borular	Akışkan
İş merkezleri	Malzeme yolları	İş

Çizelge 4.1’ de görüldüğü gibi hava yolu ulaşımı veya hava trafik yönetimi problemlerinde, en genel olarak düğüm noktası havaalanlarıdır, havaalanlarını birbirine bağlayan hava yolları ise birer ayrıttır.

Bir hava sahası düğüm ve ayrıtlardan oluşmuş serimdir. Düğümlerin tipleri ise şöyle sınıflandırılabilir [Cavcar, 1998]:

- Kaynak düğümleri(source nodes), akışların üretildiği terminal kontrol sahaları, uçak park yerleri, pistler, havaalanları veya hava sahasının sınır noktalarıdır.
- Orta düğümler(intermediate nodes), yolların kesişim noktaları veya yol kontrol noktaları, havaalanı üzerindeki ölçüm noktalarıdır.
- Kuyu düğümleri(sink nodes), uçak trafiğinin kontrol sahasını terk ettiği terminal kontrol sahaları, havaalanları veya kontrol alanı sınırlarıdır.

Ayrıtlar ise düğüm çiftlerim birbirine bağlayan yol parçalarıdır. Yol boyunun ait olduğu uçuş seviyelerinin her biri farklı ayrıtlarla gösterilir. Uçuşların takip edecekleri hava yolları belirli ayrıt gruplarıyla oluşturulur. Bir kontrol bölgesi farklı türde trafikten (geliş, gidiş, transit) ve farklı performanslardaki uçaklar tarafından etkilenen farklı elemanlardan oluşur. Genel olarak trafik tıkanıklığı problemi, serim üzerinde zamana bağlı olarak oluşan bir akışı gerektirir [Cavcar, 1998].

ATFM problemlerinde kuyruk teorisi yaklaşımları

Kuyruk teorisi, yöneylem araştırması yönteminin bir uygulama alanı olup bekleme hattının ya da kuyrukların matematiksel olarak çalışmasını kapsar.



Şekil 4.3. Temel bir kuyruk sistemi

Hizmet birimine gelecek olan elemanlar giriş kaynağı tarafından belirli bir zaman boyunca üretilir. Bu elemanlar kuyruk sistemine girerek kuyruğa dahil olurlar. Belirli zaman noktalarında kuyruğun elemanları, servis disiplini olarak bilinen kurallara göre seçilerek hizmet alırlar. Bu durum, Şekil 4.3’ te gösterilmiştir.

Hava trafik sisteminde kuyruk teorisinin uygulanması konusunda hizmet alacak elemanlar uçaklardır. Hizmet birimleri ise ele alınan probleme göre farklılıklar gösterir [Cavcar, 1998]:

1. Hava trafik sistemi uygulama alanı olarak, eğer hava sahalarında uçakların hizmet almaları söz konusu ise, hava sahalarını oluşturan serim yapısına bağlı olarak uçaklar her bir ayrıt üzerinde hizmet almaktadırlar. Eğer terminal kontrol sahalarında hizmet söz konusu ise, terminal sahalarında iniş için bekleme noktaları ve son yaklaşıma kadar izledikleri yörünge boyunca hizmet almaları söz konusudur.

2. Eğer yalnızca havaalanları üzerindeki hizmetler söz konusu ise kullanılan pistler dışında, taksi yolları, körükler, apron park yerlerinde hizmet verilmelidir.
3. Havaalanı da ile ilgili olarak yolcu terminal salonları, bagaj bantları, gümrük işlemleri, pasaport işlemleri yine hizmet alanlarıdır.
4. Hava yolu şirketlerinin hat bakım istasyonlarında, uçaklara yapılması gereken bakım işlemlerinin de planlanması da kuyruk teorisinin uygulama alanlarındandır.

Kuyruk sisteminin temel karakteristikleri

Kuyruk sisteminin temel karakteristikleri şunlardır:

- Müşteriler,
- Servis mekanizması,
- Geliş ve servis zamanları,
- Kuyruk disiplini (servis sırası)

Bu karakteristikler hava trafik sisteminde şu şekildedir [Cavcar, 1998]:

Hava trafik sistemi için uçaklar müşteriler karakteristiğini meydana getirir.

Hava trafik sistemi içinde her bir incelenen trafik hizmeti için servis mekanizması farklılık gösterir. Eğer terminal kontrol alanı kuyruğundan tek bir piste iniş veya kalkış söz konusu ise çok kanallı çok fazlı servis sistemi söz konusu olur. Kuyruk sayısının miktarı ve kapasiteleri meydanın karakteristiklerine bağlı olarak önceden belirlidir. Bir hava sahası sektöründe ise hizmet mekanizması, çok kanallı çok fazlı mekanizma şeklindedir, çünkü uçakların izleyecekleri yollar önceden belirlidir. Sistemin sıkışıklıktan dolayı bekleme söz konusu olacaksa uçağa istediği uçuş seviyesinden farklı bir seviyede uçuş izni verilebilir, fakat bu durumda farklı uçuş seviyesinin, yani farklı hizmet uygulanacak olmasının getireceği bir ek maliyet oluşacaktır.

Hava trafik sisteminde her bir uçak, sisteme önündeki uçakla emniyetli bir mesafe bırakacak şekilde gelmelidir. Bu da doğrudan uçağın ortalama hızına bağlıdır. Eğer bu mesafe küçük kalıyorsa uçak bekleme noktalarında bekletilir ya da yavaşlatılır. Aynı durum bir piste iniş yapan uçak için de söz konusudur. Bir uçak inişini tamamlayıp pisti terk etmeden diğer iniş isteyen uçak bekleme noktasından alınamaz. O halde geliş debisi ayırma mesafesi ile belirlidir. Hava trafik sisteminde servis süresi, diğer kuyruk sistemlerinden farklı olarak, uçakların hız performanslarına bağlıdır. Bu arada sistemin teknik özelliklerindeki yetersizliklerin getirdiği servis süresi gecikmeleri dikkate alınmaz.

Hava sahasında hareket eden uçaklar için kullanılan kuyruk disiplini, halen kullanılan disiplin FIFO' dur. FIFO disiplini düğüme yaklaşan her bir uçak düğüme geliş kuyruğunun sonuna katılır. Uçağın kuyruktan ayrılma zamanı ise, önündeki uçakla arasında emniyetli bir ayırma mesafesi olduğu zamandır.

Kuyruk teorisi gelen ve giden uçakların en iyi sıralamasının bulunmasını sağlayacaktır. Geliştirilecek algoritmalar ile yapılan sıralama sayesinde uçaklar arasında ayırmalar en küçük tutularak emniyetin ve hizmetin iyileştirilmesi sağlanacaktır. Uçakların geliş sıralamaları belli olacağına göre giriş sıralamasını yapan kontrolöre yardımcı olmak amacı ile karar destek sisteminin bir aşaması olarak da bu yöntem kullanılabilecektir. Aynı zamanda belirli bir zaman dilimi için sektör meşguliyet sürelerini bulmak mümkündür. Bu yöntem yardımıyla bekleme süreleri dolayısıyla ortaya çıkacak maliyetler ve yol kullanılması getireceği maliyetlerin de karşılaştırılması mümkündür. Böylece ortalama meşguliyet sürelerinin bulunması ile ileriye dönük yapılacak olan sektörlendirme işlemleri kolaylaşacaktır [Cavcar, 1998].

Benzetim modeli yaklaşımları

Karar modellerinde benzetim, sistem modeli üzerinde yapılan deneylerle eylem seçeneklerinden hangisinin seçilmesi gerektiğini bulmak için kullanılır [Cavcar, 1998].

Benzetim temel olarak sistemi tanımlayan matematik modelin bir çeşit yapısını kapsar. Matematiksel analizler birçok gerçek sistem için değildir; çünkü analitik yaklaşım çok karmaşık ve maliyetli olmasına rağmen pratik değildir. Uzun yıllardan beri mühendislik problemlerinde benzetim metotları kullanılmaktadır. Uçak tasarımı için uçak modellerinin hava tünellerinde gerçeğe yakın atmosfer koşullarında benzetilmiş uçuşlarının yapılması, makinelerin ölçekli modellerinin ve çalışma ortamının benzetimi buna örnek olarak verilebilir [Cavcar, 1998].

ATFM problemleri de dinamik yapıda olduğundan birbirinden bağımsız değişkenlerinin çokluğundan ve hava trafiği insan faktörü yoğun bir sistem olduğundan, çözümleri için birçok benzetim modeli geliştirilmiştir [Cavcar, 1998].

ATM problemlerinin çözümü için kullanılan çeşitli benzetim yazılımları bulunmaktadır. Bu yazılımların amacı ise,

- Gelecekteki trafik gelişiminin tahmini
- Var olan ATC performanslarının iyileştirilmesidir.

Çizelgeleme Yöntemi

Çizelgeleme yöntemi, genel olarak serim yönteminin bir konusudur. Amaç, teçhizat ve işin iyi kullanılabilirliğinin temin edilmesi için sistemde malzeme veya müşterilerin akış oranının düzeltilmesidir. Bu tip sistemler ise sık sık akış sistemlerine karşılık gelirler. Çizelgeleme özel işlemlerin zamanlamasını kapsar [Cavcar, 1998].

Bu çizelgeleme her parça için tahsis edilmiş zaman ve zaman dizisi veya parçanın tamamlanması için gereken işlem dizisine dayalı bir plan olarak tanımlanır. Bu tanıma çizelgeleme denildiğinde, bir seri sıralanmış işlem adımları veya rota konusunun da düşünülmesi gerekmektedir. Detaylı bir plan veya tarifelerin geliştirilmesindeki girdiler işlem dizisinin tamamı, gerekli ardışık sınırlamalar, her işlem için zaman tahminleri ve gereken kaynak kapasiteleridir [Cavcar, 1998].

Çizelgelemeye bir işlem olarak da bakılabilir. Bu işlem bir son ürünün ne zaman tamamlanacağı veya ilgili iş merkezinde, belirlenmiş bir zaman içinde hangi işlerin tamamlanabileceğini belirlemek için tarife hazırlanmasıdır. Bu tanım da çizelgeleme işleminin önemini vurgular. Program hazırlanır, gerçek performans gözlemlenir ve bilinmeyen olaylar açığa kavuştuğunda yeniden çizelgeleme yapılır [Cavcar, 1998].

4.11. Hava Trafik Akış Yönetimi İçin Akış Modelleri

Avrupa ve Amerika’ daki havaalanları ve hava sahalarındaki tıkanıklık problemi her geçen gün hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Hava trafik kontrol kapasitesinin planlanabilmesi, aşırı yüklenme ve gecikmelerin önceden tahmin edilerek önlenbilmesi hava trafik akış yönetimi olarak tanımlanabilir. Trafik sayısı, bir havaalanının iniş trafik kapasitesi ya da hava sahası kapasitesinden fazla olduğunda gecikmeler yaşanır. Bu konudaki ilk çalışmalar USA’ da yalnızca havaalanında yaşanan tıkanıklığa yönelik yapılmıştır. Literatürde bu konudaki optimizasyon modelleri: 1) Tek Havaalanı Yerde Bekleme Problemleri; gidiş meydanındaki optimal planlamaya karar verebilecek problemlerin çözümünü amaçlayan modellerin en basitidir. 2) Çok Havaalanlı Yerde Bekleme Problemleri; birbirleriyle bağlantılı havaalanları arasındaki tıkanıklıklara yönelik daha geniş çaplı problemlerdir. 3) Hava Trafik Akış Yönetimi Problemleri; daha önceki problemlerde kullanılan metodolojiden daha karmaşık, hava sahası kapasitesinin de dikkate alındığı gerçek durum sorunlarını çözmeye çalışan modellerdir. 4) Hava Trafik Akış Yönetimi Yeniden Rotalama Problemleri; uçuşların alternatif rotalara kaydırılabildiği daha gerçekçi modellerdir. 5) Belirsizlik Altındaki Hava Trafik Akış Yönetimi Yeniden Rotalama Problemleri; hava trafik akış problemleri özellikle kapasitedeki değişikliklere karşı çok hassastır. Önceki modellere, parametrelerde meydana gelebilecek öngörülemeyen değişikliklerin eklenmesiyle stokastik metodolojiler geliştirilmiştir. Bu problemler diğerlerine göre daha zor çözülebilen ancak daha gerçekçi olanlardır [Agustin ve ark., 2009].

Bu çalışmada da yalnızca Esenboğa Havalimanı ele alınacaktır. Adı geçen havalimanı için tek havalimanlı yerde bekleme problemine yönelik model

geliştirilmeye çalışılacaktır. Bu sebeple yukarıda sınıflandırılması yapılan optimizasyon modellerinden yalnızca yerde bekleme problemlerine yönelik ayrıntılı açıklama yapılacaktır.

4.12. Yerde Bekleme Problemleri

Havacılık endüstrisinin hızlı gelişimi ve hava taşımacılığındaki sürekli artış, hava trafik tıkanıklığı ve gecikme problemlerini de beraberinde getirmektedir. Hava trafik akış yönetimi problemi, belirli bir zaman aralığında havaalanı ve/veya hava trafik kontrol bölgelerinin kapasitelerinin aşıldığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Hava trafik akış yönetimi problemi gün içindeki hava ve yer trafiğinin yoğunlaştığı saatlerde, senelik yoğun seyahat dönemlerinde ve ani kapasite düşmelerine neden olan kötü hava koşullarının olduğu zamanlarda daha kritik bir yapıya sahip olmaktadır [Edis ve ark., 2011]. Yeni pist inşası gibi uzun dönemli planlamaların yapılmadığı durumlarda trafik akış yönetimi gecikme maliyetlerinin azaltılmasında önemli bir araçtır. Akış yönetiminde yerde bekleme/bekletme de kullanılan önemli bir yöntemdir [Satılmış, 2011].

Eğer bir geciktirme yapılacaksa, bunun en tipik örneği uçağı havalimanına yakın bir noktada havada beklemeye almaktır; ancak yerde bekleme yapmanın yakıt tasarrufuna da katkı yapacağı fark edildiğinden beri yerde bekleme akış yönetiminde popüler bir uygulama haline gelmiştir [Satılmış, 2011].

Yerde bekleme, uçuşun planlanan kalkış zamanının ertelenmesidir. Bu uygulama genellikle kalabalık hava sahasına ya da havalimanına uçan uçaklara uygulanır. Bu uygulamada uzun bir gecikme kaçınılmaz olabileceği halde, uçağın kalkıştan önce yerde beklemesi daha az maliyetli ve daha güvenlidir [Satılmış, 2011].

4.12.1. Tek havalimanlı yerde bekleme problemi

Bu tür yaklaşımlarda belli bir zaman dilimi içerisinde bir havalimanına gerçekleştirilecek olan iniş ve kalkış sayıları dikkate alınarak optimal plan sonuçlarına ulaşılmaya çalışılır.

Havalimanı operasyonlarını yönetmek için geliştirilmiş optimizasyon modellerinin çoğunda, geliş ve gidişler bağımsız değişkenler olarak kabul edilir, yani kalkış yapacak uçak sayısı aynı dönemdeki gelen sayısına bağlı değildir. Aslında bu, geliş ve gidişler arasında birçok etkileşim gerçekleşecek kalabalık havaalanları için güçlü bir varsayımdır. Daha ucuz ve güvenli olduğu için birçok model yerdeki bekleme maliyetlerini minimize edebilmek için geliştirilmiştir, ancak yine de havadaki beklemelerin de devam edeceği bir gerçektir [Agustin ve ark., 2009].

Temel tek havaalanlı yerde bekleme problem modelinde [Agustin ve ark., 2009];

- Belirli bir havalimanı kapasitesi zamanın deterministik bir fonksiyonu olup önceden belirlenmiş bir k değeri ile gösterilmektedir.
- Hava sektörlerine, önceki kalkış ve varılacak iniş meydanlarına ait kapasiteler sınırsız kabul edilir.
- Alternatif rotalar ve uçuş hızı dikkate alınmaz.
- Devam eden (bağlantılı uçuşlar) dikkate alınmaz.
- Uçuşların iniş ve kalkışları çizelgelenirken hava yolu şirketlerine herhangi bir tercih ya da öncelik verilmez.
- Belirli bir zaman periyodunda havalimanına inişler ve havalimanından kalkışlar birbirinden bağımsızdır.
- Belirli bir zaman aralığında uçak park alanı (apron), uçak bekleme alanı kapasitesinin yeterli olduğu varsayılmaktadır.

Matematiksel Formülasyon

Kümeler

F : uçuşlar kümesi

T : periyot $\{1, \dots, T\}$; $T^+ = T \in \{T + 1\}$.

Parametreler

r_f : k havaalanına uçuşun planlanan varış zamanı $f, f \in F$

c_{df} : uçuşun yerde bekleme gecikmesi için birim zaman maliyeti $f, f \in F$

R_t : t zamanında k havaalanı için geliş trafik kapasitesi, $t \in T$

Karar değişkenleri

x_{ft} : 0-1 değişken, t zamanı için uçuş havaalanına ulaşmışsa 1, aksi halde 0; $\forall f \in F, t \in T^+$

Amaç fonksiyonu

$$\min \sum_{f \in F} \sum_{t \in T^+ | r_f \leq t} c_{df} x_{ft} \quad (4.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{t \in T^+ | r_f \leq t} x_{ft} = 1 \quad \forall f \in F \quad (4.2)$$

$$\sum_{f \in F} x_{ft} \leq R_t \quad \forall t \in T \quad (4.3)$$

$$x_{ft} \in \{0,1\} \quad \forall f \in F, t \in T^+ | r_f \leq t \quad (4.4)$$

Yukarıda verilmiş olan model Agustin ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş olan genel bir atama problemidir.

0-1 modelinde amaç fonksiyonu Eş. 4.1 ile gösterilmiş olup k havaalanında planlanan gelişler için yerde bekleme maliyeti toplamını en küçükleme.

Birinci kısıt Eş. 4.2' dir ve belirlenen zaman periyodu boyunca ele alınan uçuşun gerçekleşmesini garanti eder. İkinci kısıt olan Eş. 4.3 ile belirli t zamanında yapılacak olan uçuş sayısının meydan kapasitesini geçmemesi sağlanır. Son kısıt Eş. 4.4 ile karar değişkenlerinin tanımı yapılır.

Tek havalimanlı yerde bekleme problemlerine ilişkin çalışmaların bir kısmı bazı İtalyan havalimanları için uygulanmıştır. 1987 ve 1995 yılında Bianco liderliğinde çalışmalar yapılmıştır. Uygulamalar, Boston Logan Havalimanında Andreatta ve Romain-Jacur ile 1987 yılında, Odoni ve Richetta tarafından 1993 yılında, Richetta tarafından 1994 yılında gerçekleştirilmiştir. Frankfurt Havalimanı için ise 1994 yılında Platz ve Brokof tarafından uygulama yapılmıştır. Diğer uygulamalar Uçuş Rehberlik Enstitüsü tarafından Almanya' da gerçekleştirilmiştir ve bu uygulamanın sonuçlarını 1995 yılında Völkers ve Bohme değerlendirmiştir. Statik durumlar için geliş sıralama ve zamanlamasının modellenmesi 1997 yılında Bianco tarafından yapılmıştır. Bu konunun deterministik formülasyonları ise ABD hava sahası için Hoffman ve Ball tarafından 2000 yılında kullanılmıştır. Ayrıca bu konu üzerindeki bazı çalışmalar 1993 ve 1994 yılında yapılan Richetta ve Odoni; 1993 yılında yayınlanan Terrab ve Odoni; 1999 yılında gerçekleştirilen Ball' ın çalışmalarında görülebilir.

1997 yılında Milan, farklı kalkış havalimanlarına, yalnızca bir iniş meydanına ve bunları birbirine bağlayan yollara sahip fazla yüklenmiş hava trafik şebekesi için iniş trafiklerine öncelik atama yolu ile toplam gecikme maliyetini minimize etmeye çalışmıştır. Bunun için farklı servis ve öncelik disiplinlerini dikkate almıştır.

Havacılık operasyonları üzerine geliştirilen çoğu optimizasyon modelinde iniş ve kalkış trafikleri için tanımlanan değişkenler birbirinden bağımsızdır; yani birim zaman içerisindeki kalkış trafiği sayısı, aynı zaman içerisindeki iniş trafiği sayısını etkilemez. Ancak bu, iniş ve kalkış trafikleri arasında etkileşimlerin olduğu ve

tıkanıkların yaşandığı büyük havalimanları için güçlü bir varsayımdır. 2003 yılında Dell’ Olmo ve Lulli tek havalimanlı yerde bekleme problemlerinde gecikme maliyetini azaltabilmek için havalimanı kapasitesinin daha gerçekçi sunumuyla geliş ve kalkış trafikleri arasındaki optimum dağılımı bulmaya çalışmıştır.

Yerde gerçekleştirilen gecikmeler daha güvenli ve daha az maliyetli olduğu için birçok model yer beklemelerini optimal şekilde dağıtabilmeye çalışır; fakat havadaki gecikmelerin tamamen önlemeyeceği de inkar edilemez bir gerçektir. Ma, Cui ve Cheng 2004 yılında, havalimanı kapasitesinde ani değişikliklerin olduğu durumlarda yerdeki ve havadaki bekleme maliyetlerinin minimize edilmeye çalışıldığı, kısa dönemli hava trafik yönetimi için dinamik şebeke akış modellemesi yapmışlardır.

2005 yılında Wang ve Zhang farklı gecikme maliyetlerini dikkate alan yeni bir özyineleme güdümlü model (recursion event-driven model) ortaya koymuşlardır. Bu modeldeki farklı maliyetler uçak tiplerindeki farklılıktan kaynaklanır ve uçak sayısı arttıkça gerçek zamanlı sonuçlar elde edebilmek zorlaşır.

Mukherjee ve Hansen ise 2007 yılında, dinamik stokastik optimizasyon temelli yaklaşımda, hava şartlarını göz önünde bulundurarak değişen koşullarda farklı karar basamaklarında uçuşlar için gecikmeleri belirlemeye çalışmışlardır.

Mukherjee, Hansen ve Liu 2008 yılında Ball’ ın 1999 yılında ortaya koyduğu statik modelin ve 2007 yılında Mukherjee ve Hansen tarafından geliştirilen dinamik modelin gerçek dünyaya uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmaları modellerin gerçek dünya havalimanları için uygulanabileceğini göstermiştir.

Yapılan bu çalışmaların özü Çizelge 4.2’ deki gibi gösterilebilir.

Çizelge 4.2. Tek havalimanlı yerde bekleme problemi literatür çalışması özeti
[Satılmış, 2011]

YAZAR	YIL	PROBLEMİN TANIMI	AMAÇ	ÇÖZÜM YAKLAŞIMI
Richetta&Odoni	1993	Statik Yerde Bekleme Problemi	Toplam Gecikme Maliyetini Enküçükmek	Stokastik Doğrusal Programlama
Milan	1997	Tek Havalimanlı Yerde Bekleme Problemi	Toplam Gecikme Maliyetini Enküçükmek	Deterministik Kuyruk Sistemi
Wang&Zhang	2005	Tek Havalimanlı Yerde Bekleme Problemi	Bekleme Maliyetini Enküçükmek	Kesikli Özyinelemeli Model
Mukherjee&Hansen	2007	Tek Havalimanlı Yerde Bekleme Problemi	Beklenen Toplam Gecikme Maliyetini Enküçükmek	Dinamik Stokastik Tamsayılı Programlama Modeli
Mukherjee	2008	Stokastik Tek Havalimanlı Yerde Bekleme Problemi	Toplam Gecikme Maliyetini Enküçükmek	Statik&Dinamik Optimizasyon

4.12.2. Çok havalimanlı yerde bekleme problemi

Çok havalimanlı yerde bekleme problemleri için geliştirilmiş olan modeller, havalimanı kapasitesinin yanı sıra hava sahası kapasitesini de dikkate alır. Bu metodolojide çalışma alanı genişlemiş ve birbirleri arasında ilişki bulunan farklı havalimanları dikkate alınmıştır. Amaç, her havalimanı için oluşturulmuş olan ve kapasiteyi dikkate alan bir planlama oluşturmaktır [Bertsimas ve ark., 1998].

Hava sahası, kontrol edilecek alanın büyüklüğüne, hava trafiğinin yoğunluğuna, radar operasyon hizmetlerinin lojistik olarak imkanlarına bağlı olarak yapılandırılır. Bazı ülkelerde tek bir hava sahası kontrolü varken, bazılarında iki veya daha fazla ana bölge ve/veya sektör bazında çeşitli parçalara ayrılmış olabilirler. Hava trafik kontrolörlerinin iş yükünün azaltılarak daha emniyetli uçuşun sağlanabilmesi amacı ile, bir uçağın uçuşu boyunca izlediği yataydaki rotası ve irtifasına bağlı olarak oluşturulmuş bu parçalar sektör olarak tanımlanabilir. Bu sektörler içerisinde uçan uçakların sayısı da belirli zaman aralıkları kısıtlanmış olabilir. Bu sayı kontrolörün belirli zaman içerisindeki yoğunluğu, coğrafik koşullar ve hava şartlarına bağlıdır.

Eğer bir uçağın geçeceği sektördeki kapasiteleri de dikkate alarak uçuş için optimal kalkış zamanı hesaplanabilirse, havadaki beklemelemlerden kaynaklanan maliyetler de azaltılabilir.

Çok havalimanlı yerde bekleme problemi için geliştirilen modelde; belirli bir havalimanı kapasitesi zamanın deterministik bir fonksiyonu olup önceden belirlenmiş bir k değeri ile gösterilmektedir [Andreatta ve ark., 1997]. Alternatif rotalar ve uçuş hızı dikkate alınmaz. Yerdeki ve havadaki beklemelemlerin üst limiti sınırsız olarak alınır ve bunun da uçuş iptallerine yol açtığı düşünülebilir. Eğer bir uçuş bağlantılı ise devam edecek uçuş da ele alınan zaman içerisinde gerçekleşir. devam edecek olan uçuş için slack zaman tanımlanır ve geliş uçağı eğer varış meydanına en fazla bu belirlenen slack kadar geç kalırsa, bağlantılı olarak kalkacak olan kalkış uçağı bundan etkilenmez. Aksi takdirde devam edecek uçuşun yerdeki gecikmesi, toplam gecikme eksi slack zaman kadar olur [Agustin ve ark., 2009].

Matematiksel Formülasyon

Girdiler Kümesi

K: Havalimanları kümesi, $K = K^d \cup K^a$, K^d : kalkış meydanı, K^a : varış meydanı

Parametreler

$d_f \in T$, f uçuşu için planlanan kalkış zamanı, $\forall f \in F$

$r_f \in T$, f uçuşu için planlanan varış zamanı, $\forall f \in F$

c_{af} : f uçuşu için havada birim zaman gecikme maliyeti, $\forall f \in F$

c_{gf} : f uçuşu için yerde birim zaman gecikme maliyeti, $\forall f \in F$

k_{df} : f uçuşunun kalkış meydanı, $\forall f \in F$

k_{af} : f uçuşunun varış meydanı, $\forall f \in F$

G_f : f uçuşu için maksimum yerde bekleme zamanı, $\forall f \in F$

A_f : f uçuşu için maksimum havada bekleme zamanı, $\forall f \in F$, f uçuşu için havada geçirilebilecek maksimum süre $r_f - d_f + A_f$ olarak hesaplanır.

S_f : f uçuşundan sonraki uçak için kullanılabilecek slack zaman, $\forall f \in F$

D_{kt} : t zamanında k havalimanının kalkış kapasitesi, $\forall k \in K, \forall t \in T$

R_{kt} : t zamanında k havalimanının iniş kapasitesi, $\forall k \in K, \forall t \in T$

İşlemden önce hesaplanacak değerler

T_{df} : f kalkış uçuşu için mümkün zaman periyotları kümesi

$\{t \in T \mid d_f \leq t \leq \min \{d_f + G_f, T\}\}, \forall f \in F$

T_{af} : f iniş uçuşu için mümkün zaman periyotları kümesi

$\{t \in T \mid r_f \leq t \leq \min \{r_f + G_f + A_f, T\}\}, \forall f \in F$

Değişkenler

u_{ft} : 0-1 karar değişkeni; eğer havalimanından kalkış zamanı k_{df} t zaman periyodu ise

1, aksi halde 0; $\forall f \in F, \forall t \in T$

v_{ft} : 0-1 karar değişkeni; eğer havalimanına iniş zamanı k_{af} t zaman periyodu ise 1,

aksi halde 0; $\forall f \in F, \forall t \in T$

g_f : f uçuşu için yerde bekleme zamanını gösteren karar değişkeni, $\forall f \in F$

a_f : f uçuşu için havada bekleme zamanını gösteren karar değişkeni, $\forall f \in F$

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum (c_{gf} u_f + c_{af} v_f) \quad (4.5)$$

Kısıtlar

$$\sum_{f \in F \mid k_{df}=k, t \in T_{df}} u_{ft} \leq D_{kt} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (4.6)$$

$$\sum_{f \in F \mid k_{af}=k, t \in T_{af}} v_{ft} \leq R_{kt} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (4.7)$$

$$\sum_{t \in T_{df}} u_{ft} = 1 \quad \forall f \in F \quad (4.8)$$

$$\sum_{t \in T_{af}} v_{ft} = 1 \quad \forall f \in F \quad (4.9)$$

$$g_f = \sum_{t \in T_{df}} t u_{ft} - d_f \quad \forall f \in F \quad (4.10)$$

$$a_f = \sum_{t \in T_{af}} t v_{ft} - r_f - g_f \geq 0 \quad \forall f \in F \quad (4.11)$$

$$g_{f'} + a_{f'} - s_{f'} \leq g_g \quad \forall (f, f') \in F \quad (4.12)$$

$$u_{ft}, v_{ft} \in \{0,1\} \quad \forall f \in F, t \in T \quad (4.13)$$

Amaç fonksiyonu Eş. 4.5, uçuşların yerdeki ve havadaki bekleme maliyetlerinin minimizasyonudur. Eş. 4.6 ve Eş. 4.7 numaralı kısıtlar, havalimanlarının geliş ve kalkış kapasitelerini dikkate alır. Eş. 4.8 ve Eş. 4.9 numaralı kısıtlar, her uçuş için ele alınan periyot boyunca geliş ya da kalkışın gerçekleşmesi gerektiğini vurgular. Eş. 4.10 ve Eş. 4.11 numaralı kısıtlar havadaki ve yerdeki beklemeleri tanımlar. Eş. 4.12 numaralı kısıt bağlantılı uçuşlar içindir. Bağlantılı bir uçuş için f' uçuşu, gerçekleşecek olan f uçuşu için öncül ise ve f' uçuşu varış meydanına $g_f + a_f$ kadar gecikmişse, bu gecikme f' uçuşu için belirlenen slack değerinden büyük olduğunda devam edecek uçuşun yerdeki beklemesi en az $g_f + a_f - s_f$ kadar olur. Eş. 4.13 numaralı kısıt ise karar değişkenlerinin tanımındır.

Çok havalimanlı yerde bekleme problemine ilişkin metodolojide çalışma alanı farklı havalimanlarını içerecek şekilde genişlemiştir. Amaç, her havaalanında mevcut altyapıların belirlediği kapasite sınırlamalarına uyarlanmış bir planlama bulmaktır. 1991 yılında Wang tarafından birçok havalimanını ve uçuşlar arasındaki bağlantıları dikkate alan bir dinamik optimizasyon tekniği sunulmuştur. Bu konuda farklı çalışmalar sunulmuştur. 1994 yılında Brunetta ve Guastalla tarafından, 1996 yılında Brunetta, Guastalla ve Navazio tarafından yapılan uygulamalar FAA verilerine dayandırılmıştır. Boston Havalimanı için 1994 yılında Vranas, Bertsimas ve Odoni tarafından yapılan uygulamada statik durumlar ve dinamik durumlar için ayrı ayrı incelenmiştir.

1993 yılında Gilbo, havalimanlarında iniş ve kalkış kapasiteleri arasındaki bağımlılığı da dikkate alan bir metodoloji sunmuştur.

1998 yılında Andreatta ve Brunetta, yukarıda bahsedilen modellerin performanslarını yedi test örneği için araştırmışlardır. Literatürde yer alan çok havalimanlı yerde bekleme problemleri için geliştirilmiş 3 algoritma karşılaştırılmıştır.

1998 yılında Bertsimas ve Patterson havalimanlarının kapasitelerini olduğu kadar Ulusal Havacılık Sisteminin kapasitesini de dikkate alan bir model geliştirmiştir. Yine 1998 yılında Navazio ve Jacur tarafından uçuşlar arasındaki bağlantıları dikkate alan yeni bir trafik sistemi sunulmuştur. Bu metodolojide uçuşlar öncül uçuş kümeleri gibi sınıflara ayrılmıştır. Öncül uçuşlar gerçekleşmeden o uçuşa bağlı olan takip eden uçuşlar gerçekleştirilemeyecektir. Amaç ise, havalimanı kapasitesini, zamanı ve bağlantıları dikkate alarak toplam gecikme maliyetini minimize etmektir. 1998 yılında, Brunette, Guastalla ve Navazio, yetersiz havalimanı kapasitesine sahip meydanlar için 32 durumu içeren bir kütüphane oluşturulmuştur ve buradan örnekler kullanılarak öncelik kurallarına dayalı 2 sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

2000 yılında Alonso, Escudero ve Ortuna hava koşullarından dolayı belirsiz iniş, kalkış kapasitesine sahip havalimanları ve hava sahası kapasitesini ele alan hava trafik akış problemleri için model geliştirmiş ve robust algoritma temelini oluşturmuşlardır.

2001 yılında Rossi ve Smriglio yerde bekleme problemleri için uçuş iptallerinin de dikkate alındığı bir dal sınır algoritması geliştirmişlerdir.

2003 yılında Dell' Olmo ve Lulli hava trafik akış problemleri için iki aşamalı sezgisel bir model önermişlerdir. Birinci aşamada havayolu şebekeleri oluşturulur ve akış arklar üzerinde sağlanır. Bu aşama tek bir havayolunu ve onun üzerindeki akışı gösteren ikinci aşama ile bağlantılıdır. İkinci aşamaki model optimal havayolu atamasını gerçekleştirir.

2008 yılında, Bertsimas, Lulli ve Odoni tarafından hava trafik akış yönetiminde yeniden rotalamanın yapıldığı bir model geliştirilmiştir.

Yapılan çalışmaların özü aşağıdaki Çizelge 4.3' te görülebilir:

Çizelge 4.3. Çok havalimanlı yerde bekleme problemi ve hava trafik akış yönetimi problemlerine ilişkin literatür özeti [Satılmış, 2011]

YAZAR	YIL	PROBLEMİN TANIMI	AMAÇ	ÇÖZÜM YAKLAŞIMI
Vranas, Bertsimas& Odoni	1994	Statik Çok Havalimanlı Yerde Bekleme Problemi	Toplam gecikme maliyetini minimize etmek	0-1 Tamsayılı Programlama
Bertsimas& Patterson	1998	Deterministik Çok Havalimanlı Yerde Bekleme Problemi	Toplam gecikme maliyetini minimize etmek	0-1 Tamsayılı Programlama
Navazio& Jacur	1998	Statik Çok Havalimanlı Yerde Bekleme Problemi	Toplam gecikme maliyetini minimize etmek	Tamsayılı Doğrusal Programlama
Brunetta ve ark.	1998	Statik Yerde Bekleme Problemi	Toplam gecikme maliyetini minimize etmek	Sezgisel Algoritma & 0-1 Tamsayılı Doğrusal Programlama
Rossi& Smriglio	2001	Yerde Bekleme Problemi	İptal ve gecikme maliyetlerini minimize etmek	Dal- Sınır Algoritması
Dell' Olmo& Lulli	2003	Trafik Akış Yönetimi Problemi	Uçak kümelerinin toplam gecikme maliyetlerini minimize etmek	Sezgisel Algoritma
Bertsimas, Lulli& Odoni	2008	Hava Trafik Akış Yönetimi Problemi	Toplam gecikme maliyetini minimize etmek	Tamsayılı Programlama

5. TEK HAVALİMANLI YERDE BEKLEME PROBLEMİ: ESENBOĞA HAVALİMANI UYGULAMASI

Esenboğa Havalimanı, 1955 yılında Çubuk Ovası'nda kurulmuştur. Ankara ili Çubuk ilçesi sınırları içinde olan Esenboğa Uluslararası Havalimanı Ankara şehir merkezine 28 km uzaklıktadır. 1947 yılında J.C. White ve Westinghouse Electric International Corporation ile Türk Hükümeti arasında yapılan anlaşma kapsamında Bayındırlık Bakanlığına bağlı olarak 1951 yılında Esenboğa Havalimanının inşaatına Westinghouse Electric International Company tarafından başlanılarak 1955 yılında ülkenin ikinci tam teçhizatlı uluslararası havalimanı olarak sivil hava ulaşımına açılmıştır. Zaman içerisinde gelişen ve değişen ihtiyaçlara cevap vermek üzere apron, taksi yolları ve diğer binalarda genişletme ve eklenti çalışmaları yapılmıştır.

Esenboğa Havalimanının yeni terminal binası Yap-İşlet-Devret Modeli ile yapılarak 13 Ekim 2006 tarihinde hizmete verilmiştir.

10.000.000 Yolcu/Yıl Kapasiteli Esenboğa İç-Dış Hatlar Terminal Binasında;

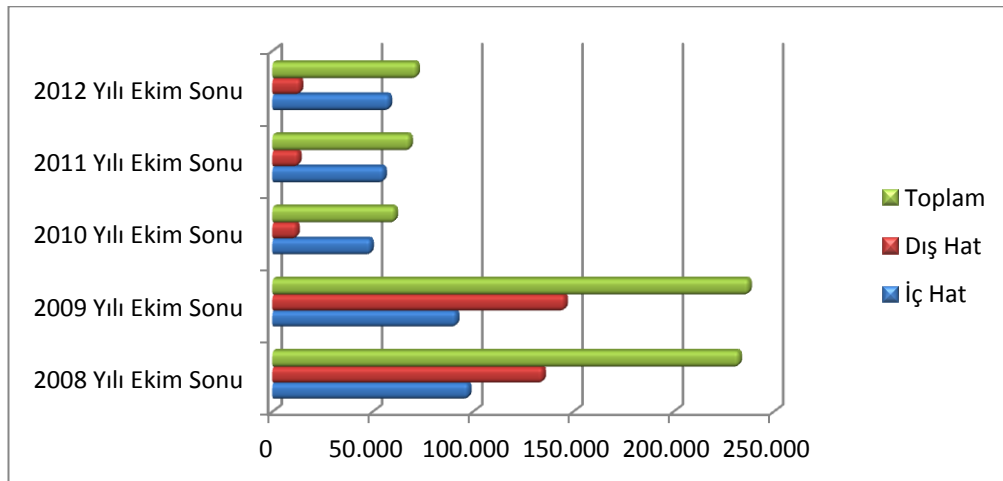
- ✓ 18 Yolcu Köprüsü
- ✓ 4069 araçlık kapalı otopark
- ✓ 12,200 m² lik açık otopark
- ✓ 130 adet check-in kontuarı,
- ✓ 36 adet pasaport kontrol bankosu,
- ✓ 5 iç, 4 dış olmak üzere toplam 9 adet bagaj alım konveyörü,
- ✓ 6 adet gümrük muayene bankosu,
- ✓ 4 adet CIP salonu,
- ✓ 1 adet VIP salonu mevcuttur.

3752*60 m. ve 3750*45 m. boyutlarında kategori 2 (CAT II) sınıfında hizmet veren iki adet paralel pisti, 4 adet apronu ve muhtelif uçak tiplerine uygun 18 adedi yolcu köprülülü olmak üzere toplam 50 adet uçak park yeri bulunmaktadır.

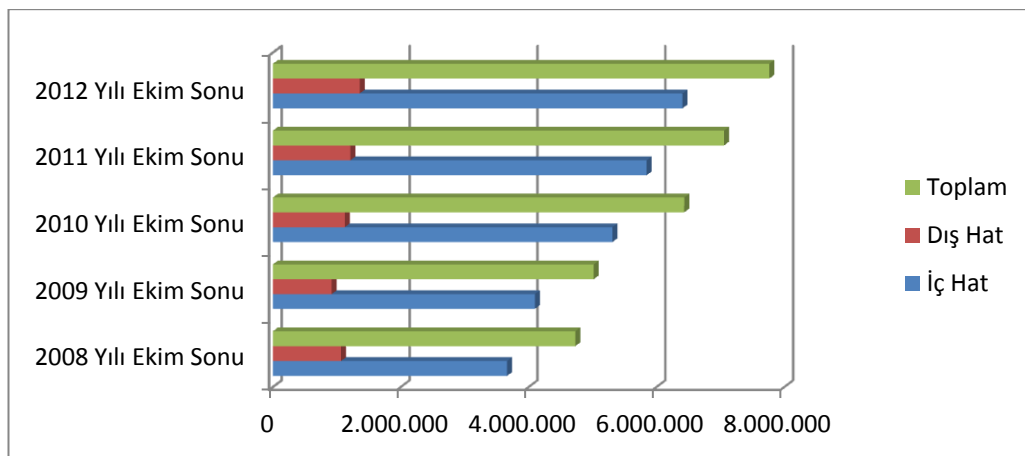
Özel Havacılık İşletmelerinin faaliyet gösterdiği uçak hangarları bölgesinde hangar ve bakım üssü için 83*130 m ebadında 12 adet uçak park yeri ile 60*100 m ebadında 1 adet helikopter park yeri bulunmaktadır.

Ayrıca limanda Devlet Büyüklerini ve yabancı ricalin misafir edildiği Yabancı Konuklar Köşkü ise Dış İşleri Bakanlığı' nca işletilmektedir.

2008, 2009, 2010, 2011 ve 2012 yıllarının Ekim ayı sonunda alınan verilere göre havalimanında gerçekleşen toplam uçak trafiği ve yolcu sayısı Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2' de gösterilmiş, bu veriler Şekil 5.1 ve Şekil 5.2' de görselleştirilmiştir.



Şekil 5.1. Yıllara göre Ekim ayı toplam uçak trafiği



Şekil 5.2. Yıllara göre Ekim ayı toplam yolcu trafiği

Çizelge 5.1. Yıllara göre Ekim ayı toplam uçak trafiği

YIL	İç Hat	Dış Hat	Toplam
2008 Yılı Ekim Sonu	97 742	134 842	232 584
2009 Yılı Ekim Sonu	91 677	145 814	237 491
2010 Yılı Ekim Sonu	49 014	12 052	61 066
2011 Yılı Ekim Sonu	55 504	12 982	68 486
2012 Yılı Ekim Sonu	58 173	13 842	72 015

Çizelge 5.2. Yıllara göre Ekim ayı toplam yolcu trafiği

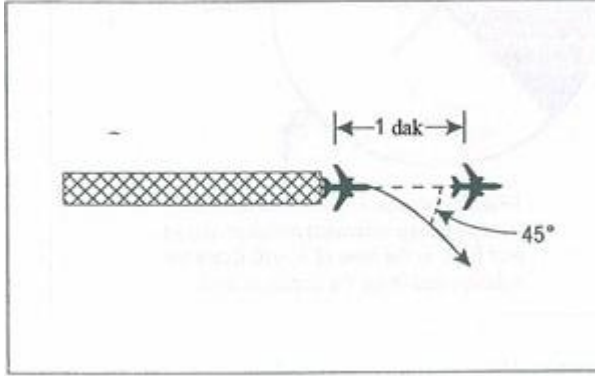
YIL	İç Hat	Dış Hat	Toplam
2008 Yılı Ekim Sonu	3 663 744	1 066 497	4 730 241
2009 Yılı Ekim Sonu	4 098 050	919 478	5 017 528
2010 Yılı Ekim Sonu	5 309 747	1 124 568	6 434 315
2011 Yılı Ekim Sonu	5 846 722	1 210 326	7 057 048
2012 Yılı Ekim Sonu	6 407 494	1 358 319	7 765 813

5.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada amaç planlanan varış zamanları belirlenmiş olan geliş trafikleri için havada bekleme maliyetlerini ve planlanan kalkış zamanları belirlenmiş olan kalkış trafikleri için yerde bekleme maliyetlerini dikkate alarak toplam maliyeti minimize etmeye çalışan bir model oluşturmak ve bu modeli gerçek veriler kullanarak Esenboğa Havalimanı için uygulayabilmektir.

Hava trafik kontrol hizmetindeki temel amaç, emniyetin sağlanmasıdır. Bu nedenle uçuşun her aşamasında belli ayırma kurallarına riayet edilir. Oluşturulan modelde de meydan kontrol hizmeti verilirken kullanılması gereken iniş ve kalkış trafikleri arasındaki ayırma minimumları dikkate alınmıştır.

Yanlamasına ayırmanın sağlanması amacıyla, uçaklar, kalktıktan hemen sonra en az 45 derecelik açıyla ayrılan farklı rotalar üzerinde uçacaklarsa bir dakikalık ayırma gerekmektedir. Bu durum Şekil 5.3' teki gibi gösterilebilir. Bu minimum, uçaklar paralel pistler ya da birbirlerini kesmeyen pistlerin kullanılması durumunda, ilgili ATS otoritesi tarafından onaylanmış prosedürü kapsayan talimatlarla kalkıştan hemen sonra yanlamasına ayırma sağlanıyorsa azaltılabilir [ICAO Doc.4444, 2009].



Şekil 5.3. En az 45° ile ayrılan rotaları izleyen kalkış uçakları arasındaki ayırma

Kuyruk türbülansı ayırma minimaları uçakların sertifikalandırılmış maksimum kalkış ağırlıklarına göre üç kategoriye ayrılır:

- ✓ *HEAVY (H)*: Maksimum kalkış ağırlığı 136 000 kg veya daha fazla olan bütün uçak tipleri,
- ✓ *MEDIUM (M)*: Maksimum kalkış ağırlığı 136 000 kg' dan az, 7 000 kg ve üzerinde olan uçak tipleri,
- ✓ *LIGHT (L)*: Maksimum kalkış ağırlıkları 7 000 kg' dan az olan uçak tipleridir [ICAO Doc.4444, 2009].

İnişe gelen uçaklar arasında;

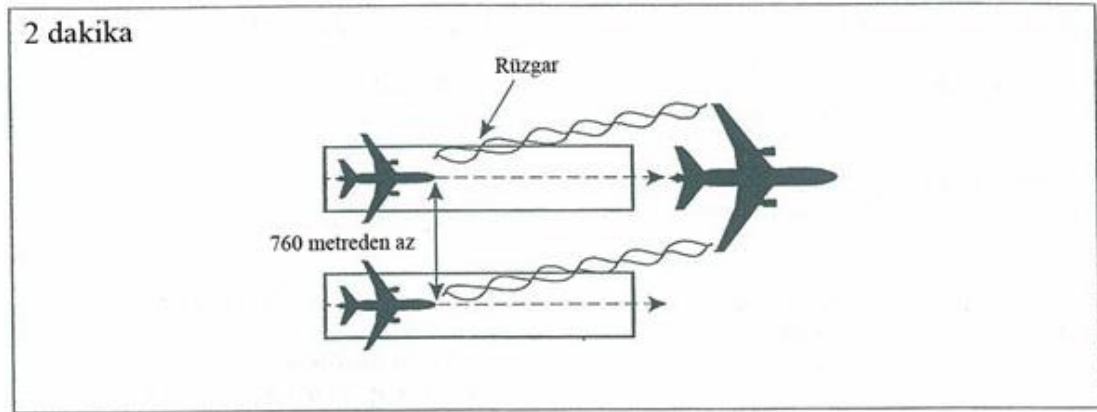
- Heavy uçağın arkasından Medium uçak inecekse 2 dakikalık
- Heavy veya Medium uçağın arkasından Light uçak inecek ise 3 dakikalık kuyruk türbülansı ayırması uygulanır.

Kalkan uçaklar arasında;

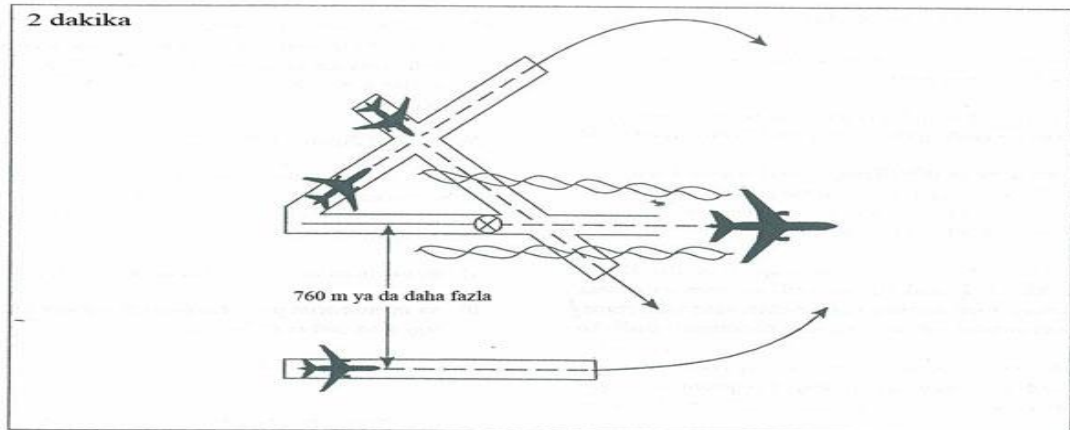
- Heavy uçağın arkasından Medium veya Light,

- Medium uçağın arkasından Light uçak kalkarsa;
 - ✓ Uçaklar aynı pisti kullanıyorlarsa,
 - ✓ Kesişen pistlerde arkadan kalkan uçak öndeki uçağın kalkış hattını aynı seviyede veya 1000ft (300m) altından kat edecekse,
 - ✓ Merkez hatları 760m (2500ft) ya da daha fazla olan paralel pistler kullanılıyorsa arkadan kalkan uçak öndeki uçağın kalkış hattını aynı seviyede veya 1000ft (300m) altından kat edecekse 2 dakikalık kuyruk türbülansı ayırması uygulanır[ICAO Doc.4444, 2009].

Açıklanan bu kurallar Şekil 5.4 ve Şekil 5.5' te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Takip eden uçaklar için 2 dakikalık ayırma



Şekil 5.5. Kesişen rotadaki uçaklar için iki dakikalık kuyruk türbülansı ayırması

Önerilen modelde yukarıda anlatılan kurallar dikkate alınmış, uçak tiplerinden kaynaklanan kuyruk türbülanslarına göre ayırmalar sağlanmıştır. Meydanın saatlik kapasitesi belli olduğunda, havadaki uçaklara ait gecikme maliyetleri ile kalkış trafikleri için yerdeki bekleme maliyetleri toplamını minimize etmeyi amaçlayan model oluşturulmaya çalışılmıştır. Normal şartlar altında iniş ve kalkışların ortalama bir dakika içinde gerçekleştiği düşünülmüştür. Veriler; Esenboğa Havalimanı için trafiğin en yoğun olduğu Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları ve bu ayların cuma, pazartesi ve salı günleri için toplanmıştır. Ayrıca iniş ve kalkış sayısının en fazla olduğu 08:00-09:00 saat dilimleri dikkate alınmıştır. Turizm sezonun başlamış olması, Ankara' nın memur yoğun bir şehir olması gibi sebeplerle trafiğin bu aylarda yoğunlaştığı düşünülebilir. Her ay için seçilen üç veri seti için kullanılan uçak çağrı isimleri, kuyruk türbülansı kategorileri ve planlanan iniş/kalkış saatlerine ilişkin bilgiler Ek 1, Ek 2, Ek 3, Ek 4, Ek 5, Ek 6, Ek 7, Ek 8 ve Ek 9' da sunulmuştur.

5.2. Varsayımlar

Model oluşturulurken bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Bu varsayımlar şu şekilde sıralanabilir:

- Hava sektörlerine, önceki kalkış ve varılacak iniş meydanlarına ait kapasiteler sınırsız kabul edilmiştir.
- Alternatif rotalar ve uçuş hızı dikkate alınmamıştır.
- Devam eden (bağlantılı uçuşlar) dikkate alınmamıştır.
- Uçuşların iniş ve kalkışları çizelgelenirken hava yolu şirketlerine herhangi bir tercih ya da öncelik verilmemiştir.
- Belirli bir zaman periyodunda havalimanına inişler ve havalimanından kalkışlar birbirinden bağımsız düşünülmüştür.
- Havalimanının iniş ve kalkışlar için belirlenen kapasitesi sabittir ve modelde saatlik 21 olarak alınmıştır.
- Hava sahasının kapasitesi sınırsız kabul edilmiştir.
- Havalimanına ait apron ve bekleme pozisyonları ele alınan zaman dilimi için yeterli kabul edilmiştir.

- Uçaklar için yerde ve havada bekleme maliyetleri uçak tipinden bağımsız olarak, bekleme sırasında yakılan yakıt miktarına göre belirlenmiş ve oran olarak kullanılmıştır. Yerde bekleme maliyeti 1 birim, havada bekleme maliyeti ise 2.02 birim olarak alınmıştır.

5.3. Önerilen Modelin Matematiksel Formülasyonu

Tek havalimanlı yerde bekleme problemleri için Agustin ve arkadaşları tarafından geliştirilen model genel bir atama problemi olarak verilmişti ve yalnızca ele alınan periyot boyunca tüm uçuşların gerçekleşmesini sağlayan bir kısıt ve meydan trafik kapasitesi göz önünde bulundurulmuştu. Ayrıca, planlanan kalkış zamanları dikkate alınmamış, trafiğin toplam yerde bekleme zamanına göre maliyetin minimize edilmesi amaçlanmıştı. Çok havalimanlı yerde bekleme problemleri için ise birbirleri ile bağlantılı olan havalimanları arasında sefer gerçekleştirecek trafikler için seyrüsefer boyunca havadaki ve yerdeki gecikmeleri dikkate alarak toplam gecikme maliyetini en küçüklemeyi amaçlayan modellerin geliştirildiği ve bu problemler için farklı çözüm yaklaşımlarının bulunduğu anlatılmıştı. Tek havalimanlı yerde bekleme problemleri için yapılan literatür araştırmasında, iniş ve kalkış trafikleri arasında ayırmanın sağlanarak emniyetli uçuşun sağlanabilmesi için kullanılması gerekli olan kuralların modele dahil edilmesiyle elde edilmiş herhangi bir yaklaşıma rastlanamamıştır. Önerilen modelde ise bu konu göz önünde bulundurulmuş ve meydan kontrol ünitesi tarafından iniş ve kalkış trafikleri için kullanılan ayırma minimumlarının da kısıt olarak kullanılması gereğine karar verilmiştir. Ayrıca çok havalimanlı yerde bekleme problemlerinin genel modelinde de yer alan, planlanan iniş ve kalkış zamanlarına göre gecikmelerin hesaplanmasını sağlayan kısıt da Agustin' in önerdiği temel modele ilave edilmiştir.

Oluşturulan modelin matematiksel formülasyonu ve modele ilişkin parametreler, değişkenler aşağıda verilmiştir:

Kümeler

F : Uçuşlar kümesi ($A \cup D$)

A : Geliş uçuşları kümesi

D : Kalkış uçuşları kümesi

İndisler

f, f' : Uçuş indisi, $f, f' = 1, \dots, n$

t : Zaman indisi, $t = 1, \dots, T$

Parametreler

$k_{ff'}$: f uçuşu ile f' uçuşu arasındaki uçak tipinden kaynaklanan iniş süresi farkı
(Eğer f ve f' heavy ise 0, medium ise 0, light ise 0; f heavy f' medium ise 2; f heavy f' light ise 3, f medium f' light ise 3 değerini alır. Diğer tüm durumlarda 0 olur.)

$l_{ff'}$: f uçuşu ile f' uçuşu arasındaki uçak tipinden kaynaklanan kalkış süresi farkı
(Eğer f ve f' heavy ise 0, medium ise 0, light ise 0; f heavy f' medium ise 2; f heavy f' light ise 2, f medium f' light ise 2 değerini alır. Diğer tüm durumlarda 0 olur.)

r_f : f uçuşu için planlanan iniş/kalkış zamanı

c_f / d_f : f uçuşu için birim zaman havadaki/yerdeki gecikme maliyeti

C : meydana ait geliş uçakları kapasitesi

K : meydana ait kalkış uçakları kapasitesi

Karar değişkenleri

u_{ft} : 0-1 değişken, t zaman periyodu içerisinde iniş uçağı inişi gerçekleştirirse 1; aksi halde 0

v_{ft} : 0-1 değişken, t zaman periyodu içerisinde kalkış uçağı kalkışını tamamlarsa 1; aksi halde 0

g_f : f . iniş/ kalkış uçağının gecikme zamanı

Amaç Fonksiyonu

$$\min (\sum_{f \in A} c_f g_f + \sum_{f \in D} d_f g_f) \quad (5.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{t=1}^{T+1} t u_{ft} - r_f \leq g_f \quad \forall f \in A \quad (5.2)$$

$$\sum_{t=1}^{T+1} t v_{ft} - r_f \leq g_f \quad \forall f \in D \quad (5.3)$$

$$\sum_{t=r_f-2}^{T+1} u_{ft} = 1 \quad \forall f \in A \quad (5.4)$$

$$\sum_{t=r_f-2}^{T+1} v_{ft} = 1 \quad \forall f \in D \quad (5.5)$$

$$\sum_{f \in A} u_{ft} + \sum_{f' \in D} v_{f't} \leq 1 \quad t = 1, \dots, T + 1 \quad (5.6)$$

$$\sum_{t=1}^{T+1} \sum_{f \in A} u_{ft} \leq C \quad (5.7)$$

$$\sum_{t=1}^{T+1} \sum_{f \in D} v_{ft} \leq K \quad (5.8)$$

$$u_{ft} + \sum_{t'=t+1}^{t+k_{ff'}-1} u_{f't'} \leq 1 \quad \forall f \in A, f' \in A | f \neq f' \text{ ve } k_{ff'} \geq 2 \quad t = 1, \dots, T \quad (5.9)$$

$$v_{ft} + \sum_{t'=t+1}^{t+l_{ff'}-1} v_{f't'} \leq 1 \quad \forall f \in D, f' \in D | f \neq f' \text{ ve } l_{ff'} \geq 2 \quad t = 1, \dots, T \quad (5.10)$$

$$g_f \geq 0 \quad \forall f \in F \quad (5.11)$$

$$u_{ft} \in \{0,1\} \quad \forall f \in F, t = 1, \dots, T, T + 1 \quad (5.12)$$

$$v_{ft} \in \{0,1\} \quad \forall f \in F, t = 1, \dots, T, T + 1 \quad (5.13)$$

Amaç fonksiyonunda Eş. 5.1 ile iniş ve kalkış uçaklarından kaynaklanan gecikme maliyetlerinin minimize edilmesi gereği dikkate alındı.

Eş. 5.2. ve Eş. 5.3. numaralı kısıtta uçuşların iniş ve kalkış zamanlarında meydana gelen gecikmeler hesaplandı.

Eş. 5.4. ve Eş. 5.5. numaralı kısıtta iniş ve kalkış uçaklarının planlanan iniş/kalkış zamanlarından en fazla 2 dakika (2 periyot) önce iniş/kalkışlarını gerçekleştirebilecekleri, varış ve kalkış uçuşlarının, tanımlanan çizelgeleme periyodu boyunca, planlanan varış/kalkış zamanları ve sonrasındaki herhangi bir zaman aralığına mutlaka atanması gerektiğini vurgulamaktadır. Belirlenen periyot boyunca atanamayan uçuşlar için sonsuz kapasiteye sahip T+1 (dummy) zamanı belirlenmiştir ve bu zaman uçuşlar T. periyoda kadar atanamadığında kullanılacaktır.

Eş. 5.6. numaralı kısıt herhangi bir zaman aralığında kalkış ve varış uçuşlarından en fazla birisinin gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.

Eş. 5.7. ve Eş. 5.8. numaralı kısıt iniş ve kalkış uçakları için ele alınan zaman diliminde ayrılan (sabit ve bilinen) kapasiteyi göstermektedir.

- “Gelen uçaklar arasında Heavy ya da Medium bir uçağın arkasından iniş yapan uçaklar arasında aşağıda belirtilen minimumlar uygulanacaktır:

- a) Heavy bir uçağın arkasından inen Medium uçaklar arasında – 2 dakika;
- b) Heavy ya da Medium bir uçağın arkasından inen Light uçaklar arasında – 3 dakika

- Heavy bir uçağın arkasından kalkan Medium ya da Light bir uçak ya da Medium bir uçağın arkasından kalkan Light bir uçak arasında, 2 dakikalık bir minimum ayırma uygulanacaktır.”

Eş. 5.9. ve Eş. 5.10. numaralı kısıtla yukarıda anlatılan kurallar sağlanmıştır.

Eş. 5.11., Eş. 5.12., Eş. 5.13. numaralı diğer kısıt kümeleri ise karar değişkenlerinin alabileceği değerler kümesini tanımlamaktadır.

Yukarıda geliştirilen modelde iniş ve kalkışlar için planlanan zamandan 2 dakika öncesine kadar inişe ve kalkışa izin verilmiştir. Eş. 5.4. ve Eş. 5.5. numaralı kısıtın;

$$\sum_{t=r_f}^{T+1} u_{ft} = 1 \quad \forall f \in A \quad (5.14)$$

$$\sum_{t=r_f}^{T+1} v_{ft} = 1 \quad \forall f \in D \quad (5.15)$$

Eş. 5.14. ve Eş. 5.15. numaralı kısıt ile değiştirilmesiyle yalnızca zamanında veya planlanan zamanın sonrasındaki bir periyotta kalkış ve inişe izin verilmiştir.

Gerçek yaşamda hava trafik kontrolörleri “İlk Gelene İlk Hizmet” prensibine göre iniş ve kalkış sıralamalarını yapmaktadırlar. Bu prensip uygulama açısından basitlik sağlasa da özellikle trafik yoğunluğunun fazla olduğu zaman dilimlerinde önemli gecikmelere ve kapasite kullanım oranlarında düşüklüğe neden olabilmektedir [Kılıç ve Kaylan, 2005]. Yukarıda geliştirilen karar destek sistemi olarak kullanılabilecek modelin performansının değerlendirilebilmesi için ilk gelene ilk hizmetin verildiği gerçek hayat sıralaması ile manuel atama gerçekleştirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir.

5.4. Hesaplama Sonuçları

Bu kısımda yukarıda anlatılan modelin öncelikle erken kalkışa izin vermeyen hali için sonuçlar değerlendirilmiş, çizelge ve şekillerle anlatımı yapılmış, ardından aynı veri seti için planlanan kalkış ve iniş zamanlarına göre manuel atama ile çizelgeleme yapıldığında elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Son olarak ise planlanan iniş/kalkış zamanından 2 dakika öncesine kadar inişe ve kalkışa izin veren model için elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir; yani model toplanan veri setleri için iki farklı şekilde çalıştırılmıştır. İlkinde, iniş ve kalkışların erken kalkışına izin verilmemiş, zamanında kalkışlara nazaran bulunan bekleme maliyetleri minimize

edilmiştir. İkincisinde ise daha esnek bir model oluşturulabilmesi amacı ile iniş ve kalkışların en fazla iki dakika önce iniş ve kalkışına izin veren planlamaya ulaşılmaya çalışılmıştır. Veri setleri Opl Cplex 12.3 kullanılarak çözülmüştür. Her bir veri seti için sonuçlar 2 saniyenin altında bir sürede elde edilmiştir.

5.4.1. Zamanında iniş/kalkışlar için sonuçların değerlendirilmesi

Yalnızca zamanında iniş kalkışa izin verecek şekilde oluşturulmuş kısıt kümeli modelden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

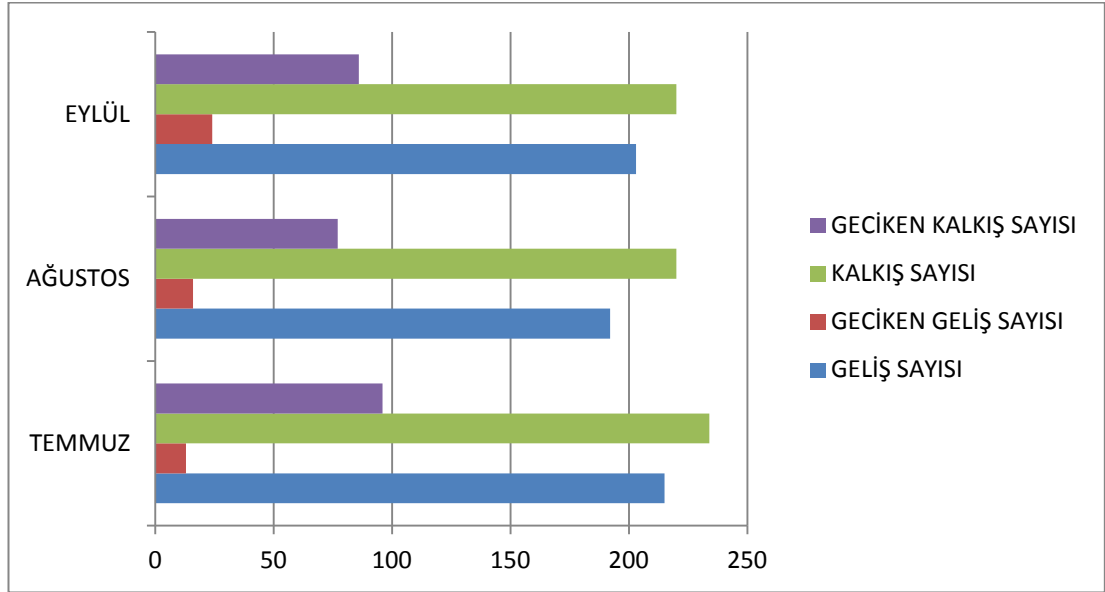
Çizelge 5.3. Değişik veri setleri için elde edilen hesaplama sonuçları

AY	VERİ SETİ	TOPLAM TRAFİK SAYISI	GELİŞ SAYISI	GECİKEN GELİŞ SAYISI	TOPLAM GECİKEN GELİŞ(%)	KALKIŞ SAYISI	GECİKEN KALKIŞ SAYISI	TOPLAM GECİKEN KALKIŞ(%)	TOPLAM GECİKEN TRAFİK	TOPLAM GECİKME(%)
TEMMUZ	1	38	18	2	11,11	20	12	60	14	36,84
	2	35	18	2	11,11	17	7	41,18	9	25,71
	3	38	17	2	11,76	21	10	47,62	12	31,58
	4	34	16	0	0	18	4	22,22	4	11,76
	5	36	17	3	17,65	19	10	52,63	13	36,11
	6	34	16	0	0	18	4	22,22	4	11,76
	7	36	19	1	5,26	17	10	58,82	11	30,56
	8	35	17	1	5,88	18	7	38,89	8	22,86
	9	35	17	0	0	18	11	61,11	11	31,43
	10	33	16	0	0	17	4	23,53	4	12,12
	11	34	17	0	0	17	7	41,18	7	20,58
	12	33	16	2	12,5	17	4	23,53	6	18,18
	13	28	11	0	0	17	6	35,29	6	21,43

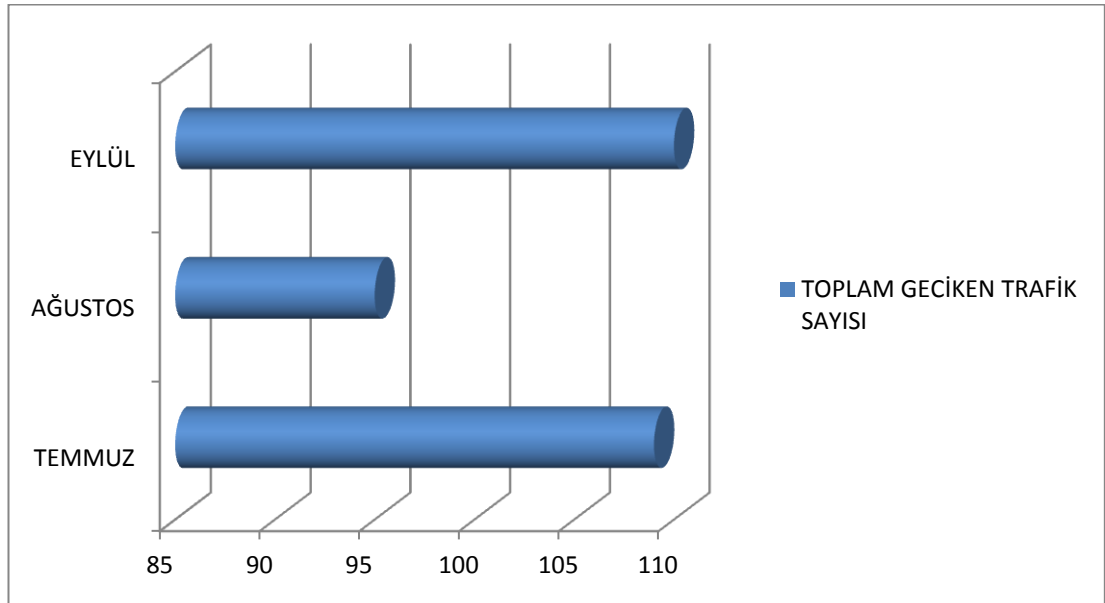
Çizelge 5.3. (Devam) Değişik veri setleri için elde edilen hesaplama sonuçları

AY	VERİ SETİ	TOPLAM TRAFİK SAYISI	GELİŞ SAYISI	GECİKEN GELİŞ SAYISI	TOPLAM GECİKEN GELİŞ(%)	KALKIŞ SAYISI	GECİKEN KALKIŞ SAYISI	TOPLAM GECİKEN KALKIŞ(%)	TOPLAM GECİKEN TRAFİK	TOPLAM GECİKME(%)
AĞUSTOS	1	29	12	1	8,33	17	5	29,41	6	20,69
	2	30	15	1	6,67	15	0	0	1	3,33
	3	29	14	1	7,14	15	4	26,67	5	17,24
	4	32	15	2	13,33	17	4	23,53	6	18,75
	5	31	15	1	6,67	16	7	43,75	8	25,81
	6	29	12	0	0	17	6	35,29	6	20,69
	7	33	16	2	12,5	17	12	70,59	14	42,42
	8	30	13	2	15,38	17	3	17,65	5	16,67
	9	34	18	0	0	16	8	50	8	23,53
	10	35	18	1	5,56	17	9	52,94	10	28,57
	11	36	16	4	25	20	8	40	12	33,33
	12	32	13	0	0	19	7	36,84	7	21,87
	13	32	15	1	6,67	17	6	35,29	7	21,87
EYLÜL	1	37	17	1	5,88	20	8	40	9	24,32
	2	35	18	3	16,67	17	4	23,53	7	20
	3	36	18	3	16,67	18	6	33,33	9	25
	4	35	16	1	6,25	19	5	26,31	6	17,14
	5	36	18	1	5,56	18	10	55,56	11	30,56
	6	40	19	3	15,79	21	10	47,62	13	32,5
	7	35	18	2	11,11	17	7	41,18	9	25,71
	8	35	17	2	11,76	18	8	44,44	10	28,57
	9	35	15	2	13,33	20	7	35	9	25,71
	10	35	17	1	5,88	18	9	50	10	28,57
	11	31	14	4	28,57	17	5	29,41	9	29,03
	12	33	16	1	6,25	17	7	41,18	8	24,24

Çizelge 5.3' te modelde kullanılan farklı aylara ait değişik veri setleri ile elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Bu çizelgeden elde edilen sonuçlar ise Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10' da grafiklerle görselleştirilmiştir.

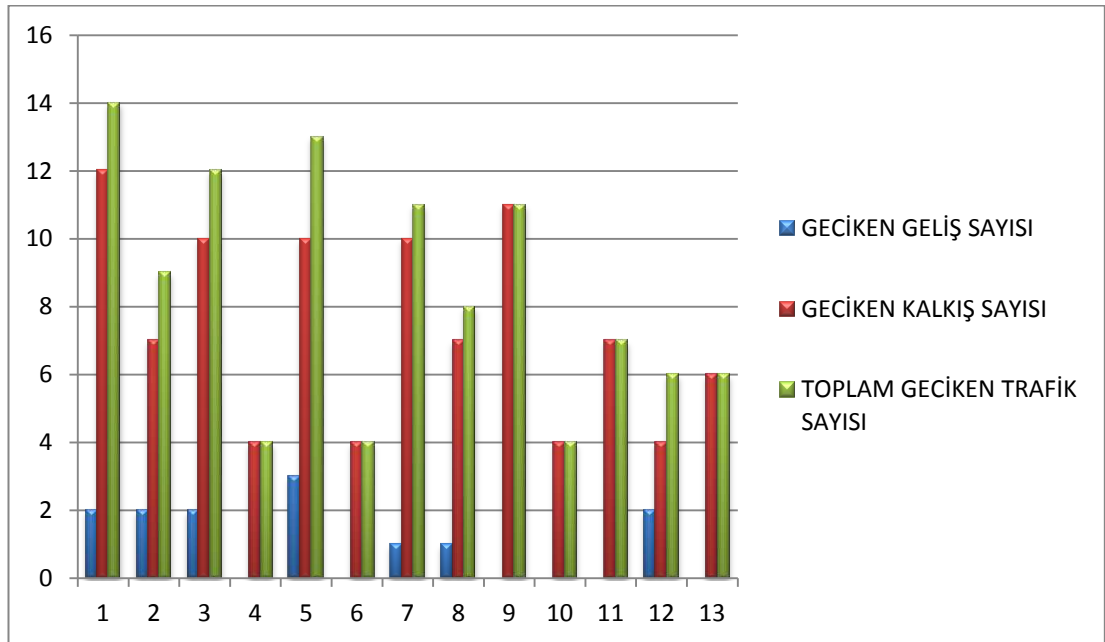


Şekil 5.6. Aylara göre geciken iniş/kalkış trafiği sayıları

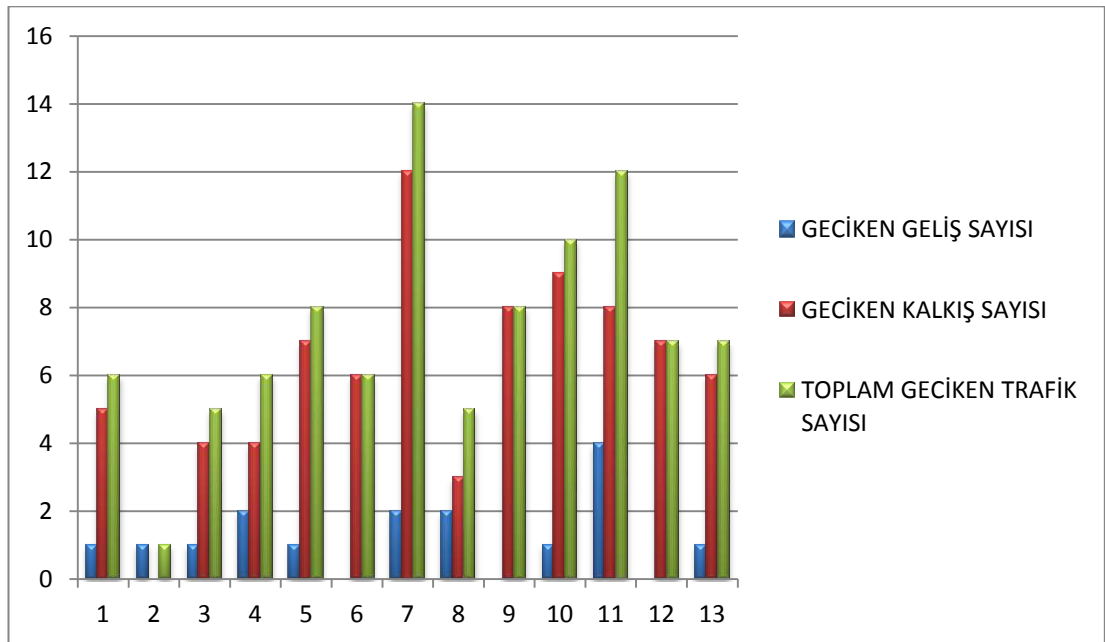


Şekil 5.7. Aylara göre toplam geciken trafik sayısı

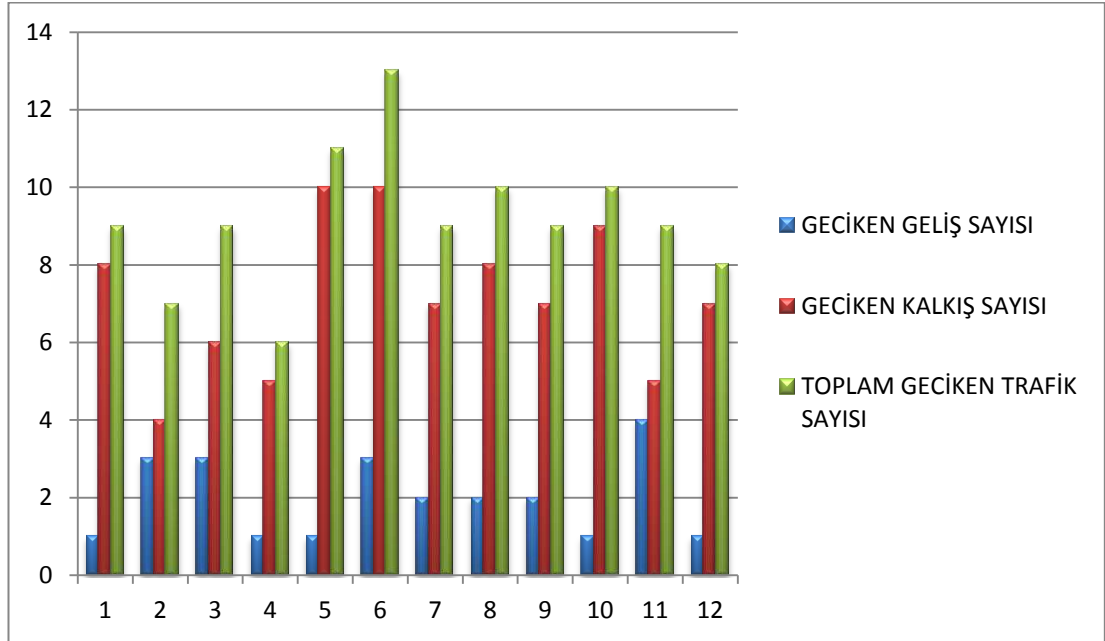
Şekilden de görüldüğü gibi toplam geciken trafik sayısının en fazla olduğu ay Eylül'dür.



Şekil 5.8. Temmuz ayı geciken trafik sayıları



Şekil 5.9. Ağustos ayı geciken trafik sayıları



Şekil 5.10. Eylül ayı geciken trafik sayısı

Çizelge 5.4. Aylara göre geciken trafik sayıları ve gecikme zamanları

AY	GELİŞ SAYISI	GECİKEN GELİŞ SAYISI	TOPLAM GELİŞ GECİKMESİ	TOPLAM GECİKEN GELİŞ(%)
TEMMUZ	215	13	19 dakika	6,05
AĞUSTOS	192	16	17 dakika	8,33
EYLÜL	203	24	27 dakika	11,82
AY	KALKIŞ SAYISI	GECİKEN KALKIŞ SAYISI	TOPLAM KALKIŞ GECİKMESİ	TOPLAM GECİKEN KALKIŞ(%)
TEMMUZ	234	96	123 dakika	41,03
AĞUSTOS	220	77	95 dakika	35
EYLÜL	220	86	134 dakika	39,09
AY	TOPLAM TRAFİK SAYISI	TOPLAM GECİKEN TRAFİK SAYISI	TOPLAM GECİKME ZAMANI	TOPLAM GECİKEN TRAFİK SAYISI(%)
TEMMUZ	449	109	142 dakika	24,28
AĞUSTOS	412	93	112 dakika	22,57
EYLÜL	423	110	161 dakika	26,01

Çizelge 5.4’ te de görüldüğü gibi toplam geciken trafik sayısı Eylül ayında en fazladır. İncelenen üç ayda da beklenildiği gibi, geciken kalkış sayısı geciken geliş sayısından daha fazladır.

Çizelge 5.5. Her veri seti için dakika cinsinden gecikmeler

AY	VERİ SETİ	TOPLAM GELİŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM KALKIŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM GECİKME ZAMANI(DK.)	AY	VERİ SETİ	TOPLAM GELİŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM KALKIŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM GECİKME ZAMANI(DK.)	AY	VERİ SETİ	TOPLAM GELİŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM KALKIŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM GECİKME ZAMANI(DK.)
TEMMUZ	1	2	22	24	AĞUSTOS	1	1	6	7	EYLÜL	1	1	18	19
	2	3	11	14		2	2	0	2		2	3	4	7
	3	7	12	19		3	1	7	8		3	5	12	17
	4	0	4	4		4	2	5	7		4	1	5	6
	5	3	12	15		5	1	9	10		5	1	18	19
	6	0	4	4		6	0	7	7		6	3	12	15
	7	1	11	12		7	2	16	18		7	3	7	10
	8	1	8	9		8	2	3	5		8	2	15	17
	9	0	14	14		9	0	9	9		9	2	7	9
	10	0	4	4		10	1	9	10		10	1	14	15
	11	0	10	10		11	4	11	15		11	4	7	11
	12	2	4	6		12	0	7	7		12	1	15	16
	13	0	7	7		13	1	6	7					

Çizelge 5.6. Elde edilen amaç fonksiyon değerleri

AY	VERİ SETİ	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	AY	VERİ SETİ	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	AY	VERİ SETİ	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ
TEMMUZ	1	26,04	AĞUSTOS	1	8,02	EYLÜL	1	20,02
	2	17,06		2	4,04		2	10,06
	3	26,14		3	9,02		3	22,1
	4	4		4	9,02		4	7,02
	5	18,06		5	11,02		5	20,02
	6	4		6	7		6	18,06
	7	13,02		7	20,04		7	13,06
	8	10,02		8	7,04		8	19,04
	9	14		9	9		9	11,04
	10	4		10	11,02		10	16,02
	11	10		11	19,08		11	15,08
	12	8,04		12	7		12	17,02
	13	7		13	8,02			

Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’ te iniş ve kalkış trafiklerinin gecikmelerine ilişkin sonuçlar özetlenmiş, Çizelge 5.6’ da ise değişik veri setleri için elde edilen amaç fonksiyon değerleri gösterilmiştir.

5.4.2. Manuel atama ile elde edilen sonuçlar

Gerçek hayatta ilk gelene ilk hizmet prensibine göre yalnızca planlanan iniş ve kalkış zamanlarının göz önüne alınmasıyla yapılan sıralı atamada elde edilen sonuçlar bu başlık altında incelenmiştir ve sonuçlar çizelge ve grafikler yardımıyla özetlenmiştir.

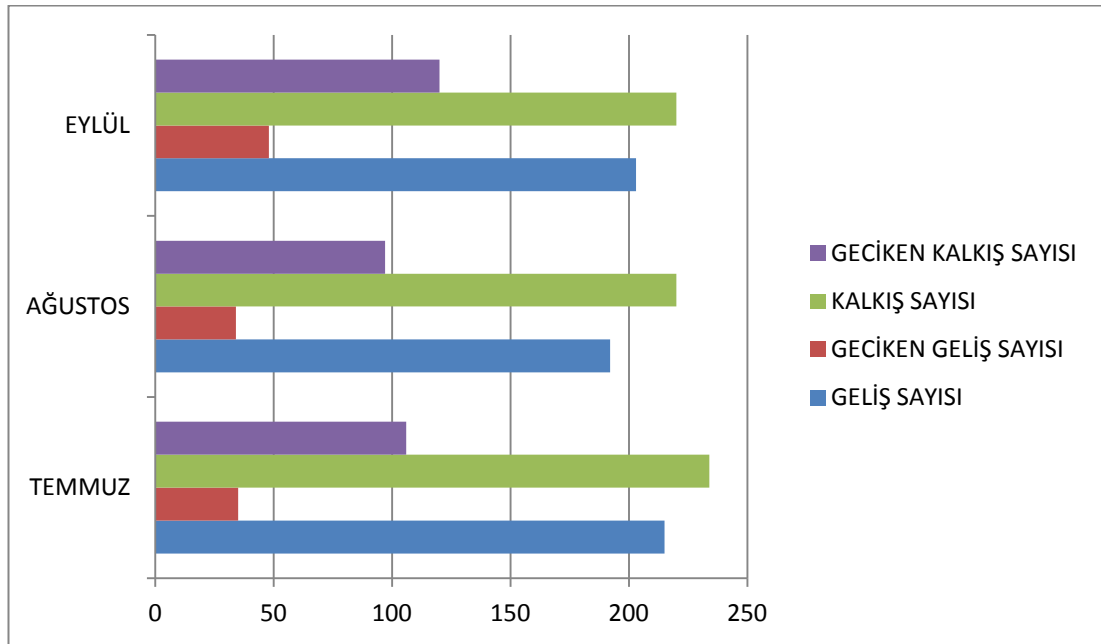
Çizelge 5.7. Değişik veri setleri için elde edilen hesaplama sonuçları

AY	VERİ SETİ	TOPLAM TRAFİK SAYISI	GELİŞ SAYISI	GEÇİKEN GELİŞ SAYISI	TOPLAM GEÇİKEN GELİŞ (%)	KALKIŞ SAYISI	GEÇİKEN KALKIŞ SAYISI	TOPLAM GEÇİKEN KALKIŞ (%)	TOPLAM GEÇİKEN TRAFİK	TOPLAM GEÇİKME(%)
TEMMUZ	1	38	18	7	38,89	20	13	65	20	52,63
	2	35	18	7	38,89	17	11	64,70	18	51,43
	3	38	17	4	23,53	21	10	47,62	14	36,84
	4	34	16	0	0	18	4	22,22	4	11,76
	5	36	17	4	23,53	19	13	68,42	17	47,22
	6	34	16	0	0	18	4	22,22	4	11,76
	7	36	19	4	21,05	17	10	58,82	14	38,89
	8	35	17	1	5,88	18	8	44,44	9	25,71
	9	35	17	3	17,65	18	10	55,56	13	37,14
	10	33	16	1	6,25	17	4	23,53	5	15,15
	11	34	17	1	5,88	17	9	52,94	10	29,41
	12	33	16	2	12,5	17	4	23,53	6	18,18
	13	28	11	1	9,09	17	6	35,29	7	25

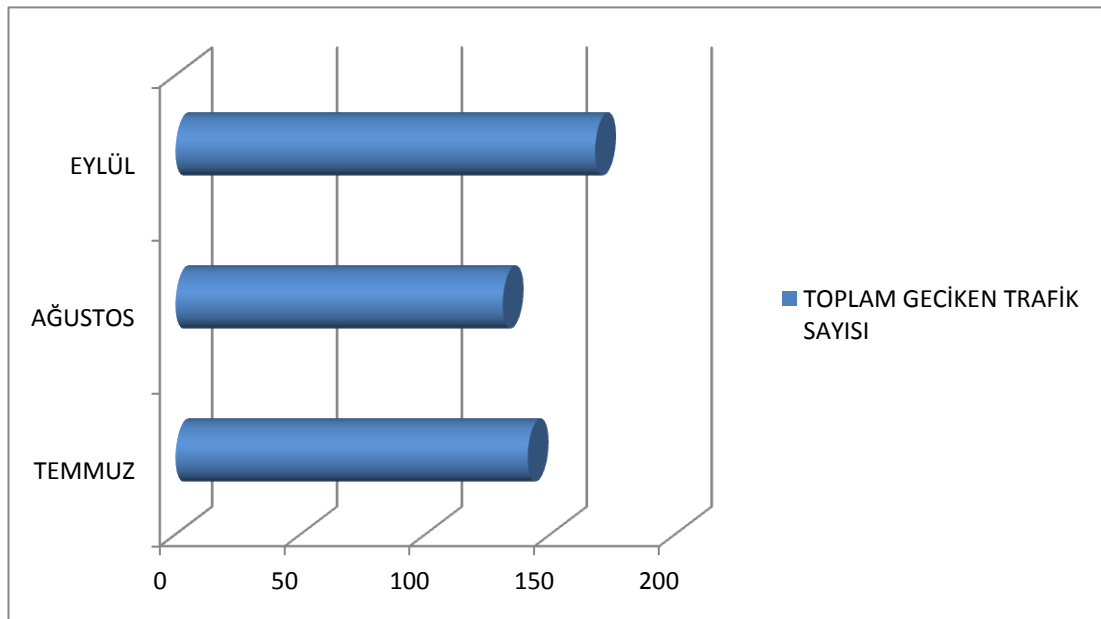
Çizelge 5.7. (Devam) Değişik veri setleri için elde edilen hesaplama sonuçları

AY	VERİ SETİ	TOPLAM TRAFİK SAYISI	GELİŞ SAYISI	GEÇİKEN GELİŞ SAYISI	TOPLAM GEÇİKEN GELİŞ (%)	KALKIŞ SAYISI	GEÇİKEN KALKIŞ SAYISI	TOPLAM GEÇİKEN KALKIŞ (%)	TOPLAM GEÇİKEN TRAFİK	TOPLAM GEÇİKME(%)
AĞUSTOS	1	29	12	2	16,67	17	5	29,41	7	24,14
	2	30	15	2	13,33	15	1	6,67	3	10
	3	29	14	3	21,43	15	5	33,33	8	27,59
	4	32	15	2	13,33	17	5	29,41	7	21,87
	5	31	15	3	20	16	7	43,75	10	32,26
	6	29	12	0	0	17	7	41,18	7	24,14
	7	33	16	5	31,25	17	12	70,59	17	51,51
	8	30	13	3	23,08	17	6	35,29	9	30
	9	34	18	2	11,11	16	10	62,5	12	35,29
	10	35	18	2	11,11	17	9	52,94	11	31,43
	11	36	16	8	50	20	14	70	22	61,11
	12	32	13	0	0	19	7	36,84	7	21,87
	13	32	15	2	13,33	17	9	52,94	11	34,37
EYLÜL	1	37	17	4	23,53	20	9	45	13	35,13
	2	35	18	4	22,22	17	11	64,70	15	42,86
	3	36	18	6	33,33	18	9	50	15	41,67
	4	35	16	2	12,5	19	7	36,84	9	25,71
	5	36	18	5	27,78	18	11	61,11	16	44,44
	6	40	19	5	26,31	21	16	76,19	21	52,5
	7	35	18	2	11,11	17	7	41,18	9	25,71
	8	35	17	6	35,29	18	9	50	15	42,86
	9	35	15	3	20	20	7	35	10	28,57
	10	35	17	1	5,88	18	12	66,67	13	37,14
	11	31	14	6	42,86	17	11	64,70	17	54,84
	12	33	16	4	25	17	11	64,70	15	45,45

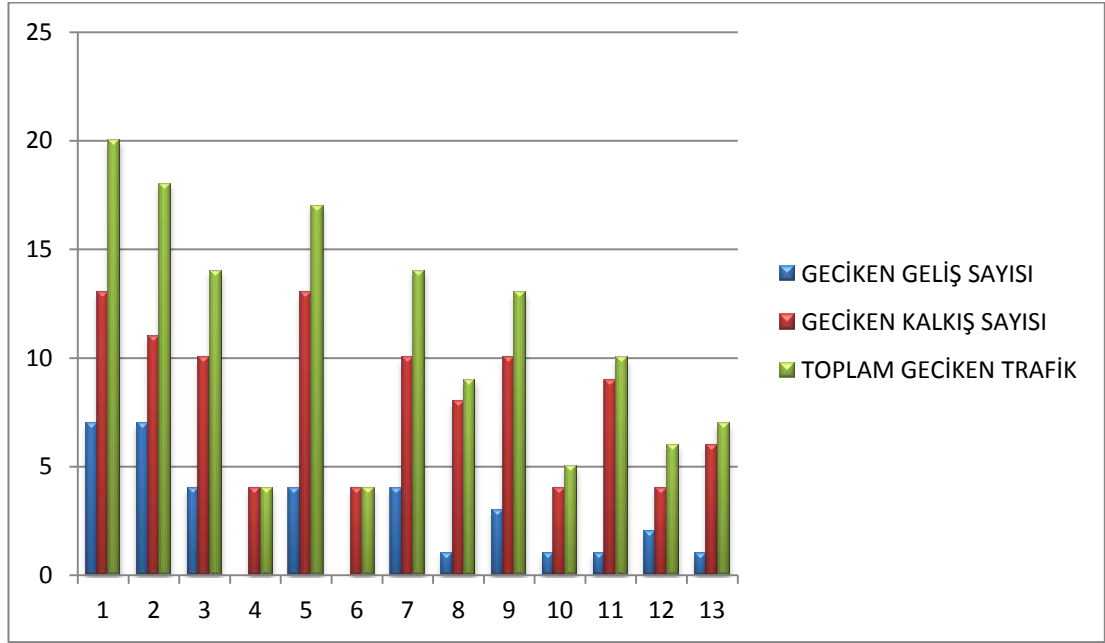
Çizelge 5.7' de değişik veri setleri için elde edilen tüm sonuçlar gösterilmiş ve bu sonuçlar Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15' te görselleştirilmiştir.



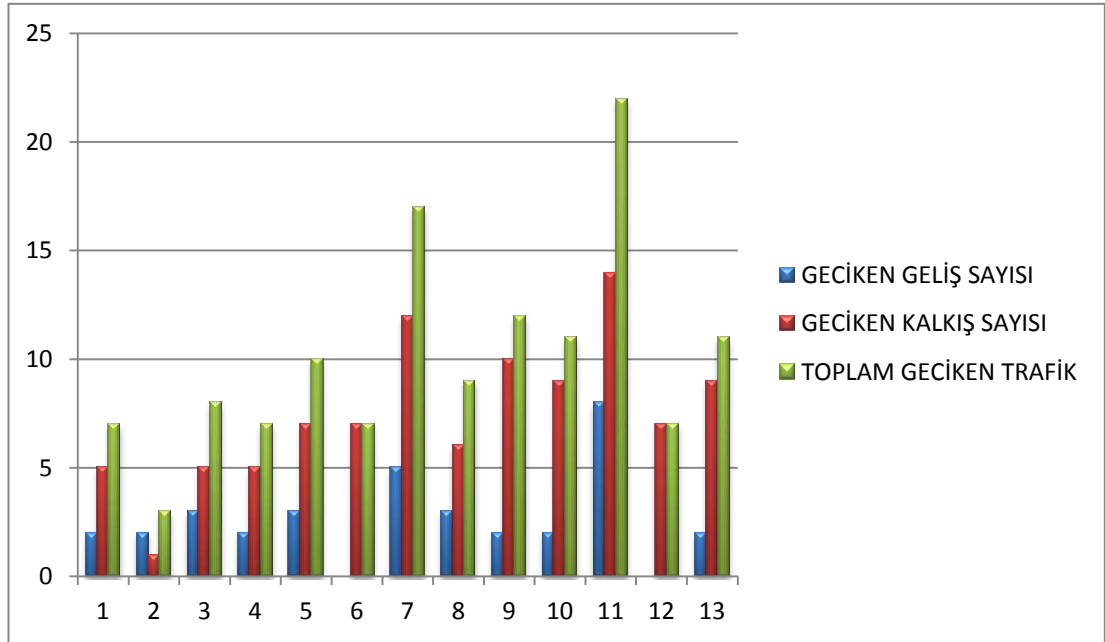
Şekil 5.11. Aylara göre geciken iniş/kalkış trafikleri sayısı



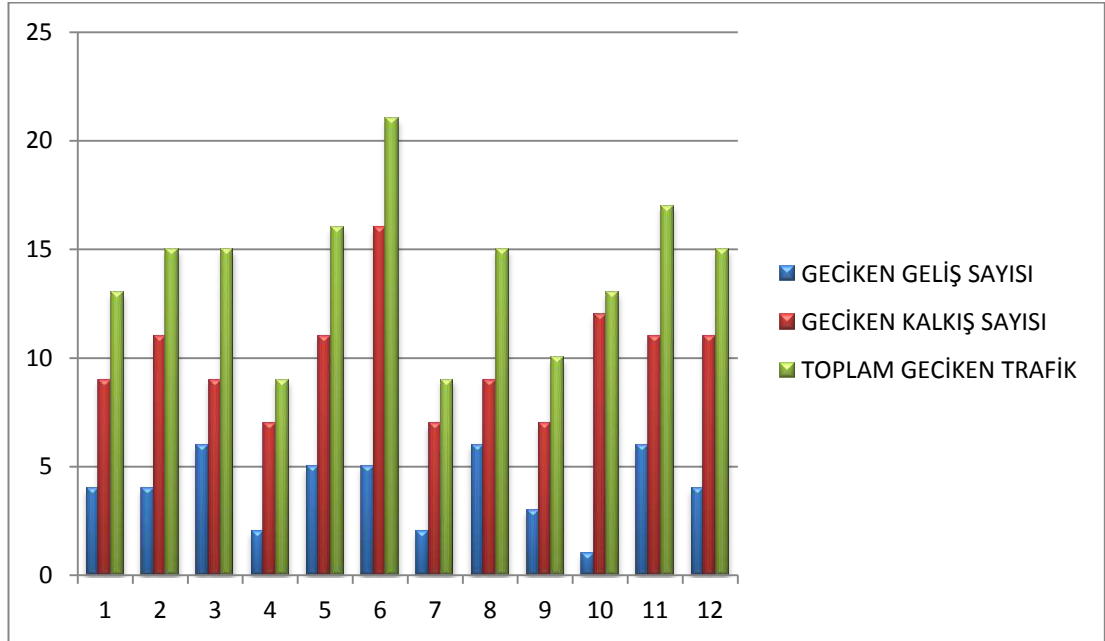
Şekil 5.12. Aylara göre toplam geciken trafik sayıları



Şekil 5.13. Temmuz ayı geciken trafik sayısı



Şekil 5.14. Ağustos ayı geciken trafik sayısı



Şekil 5.15. Eylül ayı geciken trafik sayısı

Çizelge 5.8. Aylara göre geciken trafik sayıları ve gecikme zamanları

AY	GELİŞ SAYISI	GECİKEN GELİŞ SAYISI	TOPLAM GELİŞ GECİKMESİ	TOPLAM GECİKEN GELİŞ(%)
TEMMUZ	215	35	46 dakika	16,28
AĞUSTOS	192	34	40 dakika	17,71
EYLÜL	203	48	54 dakika	23,64
AY	KALKIŞ SAYISI	GECİKEN KALKIŞ SAYISI	TOPLAM KALKIŞ GECİKMESİ	TOPLAM GECİKEN KALKIŞ(%)
TEMMUZ	234	106	121 dakika	45,30
AĞUSTOS	220	97	120 dakika	44,09
EYLÜL	220	120	144 dakika	54,54
AY	TOPLAM TRAFİK SAYISI	TOPLAM GECİKEN TRAFİK SAYISI	TOPLAM GECİKME ZAMANI	TOPLAM GECİKEN TRAFİK SAYISI(%)
TEMMUZ	449	141	167 dakika	31,40
AĞUSTOS	412	131	160 dakika	31,80
EYLÜL	423	168	198 dakika	39,72

Çizelge 5.8' den de anlaşılabileceği gibi manuel atama yapıldığında da en fazla gecikme Eylül ayındadır ve kalkış trafiklerindeki gecikme geliş trafiklerinden daha fazladır. Çizelge 5.9' da her veri seti sonuçlarına ait bilgiler toplu halde gösterilmiş, Çizelge 5.10' da ise amaç fonksiyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.9. Her veri seti için dakika cinsinden gecikmeler

AY	VERİ SETİ	TOPLAM GELİŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM KALKIŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM GECİKME ZAMANI(DK.)	AY	VERİ SETİ	TOPLAM GELİŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM KALKIŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM GECİKME ZAMANI(DK.)	AY	VERİ SETİ	TOPLAM GELİŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM KALKIŞ GECİKMESİ(DK.)	TOPLAM GECİKME ZAMANI(DK.)
TEMMUZ	1	7	15	22	AĞUSTOS	1	2	5	7	EYLÜL	1	5	14	19
	2	10	17	27		2	3	2	5		2	5	13	18
	3	7	12	19		3	3	5	8		3	7	10	17
	4	0	4	4		4	2	5	7		4	2	9	11
	5	7	13	20		5	3	7	10		5	6	13	19
	6	0	4	4		6	0	8	8		6	5	21	26
	7	5	16	21		7	8	19	27		7	3	7	10
	8	1	8	9		8	3	10	13		8	6	11	17
	9	4	11	15		9	2	12	14		9	3	8	11
	10	1	4	5		10	2	10	12		10	1	14	15
	11	1	9	10		11	10	21	31		11	7	12	19
	12	2	4	6		12	0	7	7		12	4	12	16
	13	1	6	7		13	2	9	11					

Çizelge 5.10. Elde edilen amaç fonksiyon değerleri

AY	VERİ SETİ	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	AY	VERİ SETİ	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	AY	VERİ SETİ	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ
TEMMUZ	1	29,14	AĞUSTOS	1	9,04	EYLÜL	1	24,1
	2	37,2		2	8,06		2	23,1
	3	26,14		3	11,06		3	24,14
	4	4		4	9,04		4	13,04
	5	27,14		5	13,06		5	25,12
	6	4		6	8		6	31,1
	7	27,1		7	35,16		7	13,06
	8	10,02		8	16,06		8	23,12
	9	19,08		9	16,04		9	14,06
	10	6,02		10	14,04		10	16,02
	11	11,02		11	43		11	26,14
	12	8,04		12	7		12	20,08
	13	8,02		13	13,04			

5.4.3. İki dakika önce iniş/kalkışa izin veren modelden elde edilen sonuçlar

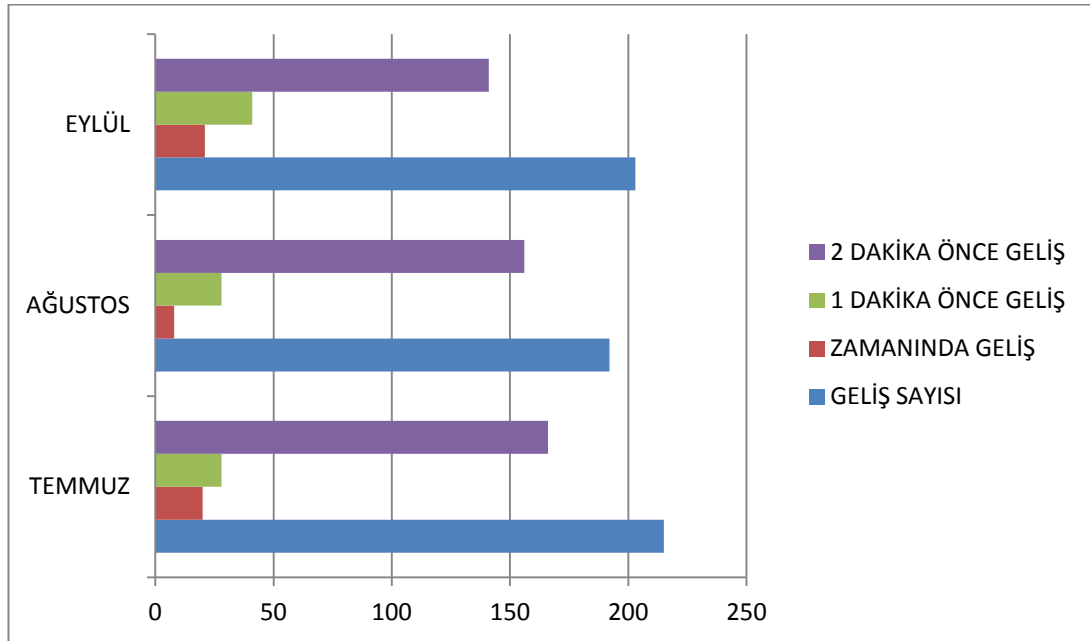
Çalışmanın bu bölümünde trafiklerin planlanan kalkış ve iniş zamanlarından 2 dakika öncesine kadar inişine/kalkışına izin verilen durum için çalıştırılan modelden elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Çizelge 5.11. Her veri seti için elde edilen sonuçlar

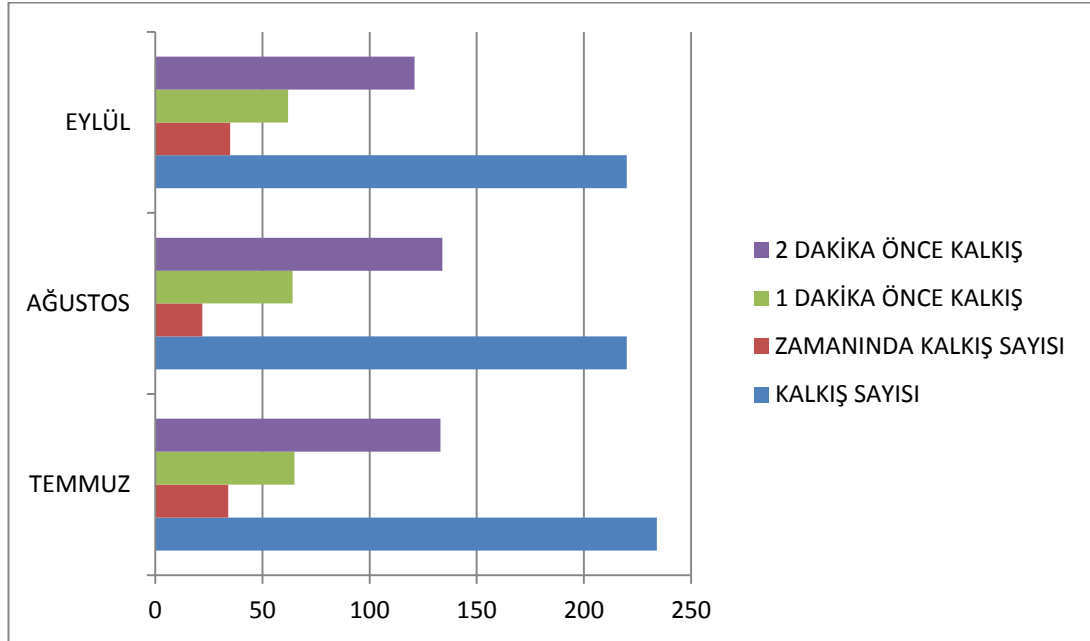
AY	VERİ SETİ	TOPLAM TRAFİK SAYISI	GELİŞ SAYISI	ZAMANINDA GELİŞ SAYISI	1 DAKİKA ÖNCE GELİŞ	2 DAKİKA ÖNCE GELİŞ	KALKIŞ SAYISI	ZAMANINDA KALKIŞ SAYISI	1 DAKİKA ÖNCE KALKIŞ	2 DAKİKA ÖNCE KALKIŞ
TEMmuz	1	38	18	4	6	8	20	9	4	7
	2	35	18	2	1	15	17	2	6	9
	3	38	17	5	2	9	21	9	7	3
	4	34	16	0	0	16	18	0	4	14
	5	36	17	2	3	12	19	3	9	7
	6	34	16	0	0	16	18	0	4	14
	7	36	19	2	5	12	17	4	6	7
	8	35	17	2	5	10	18	1	1	16
	9	35	17	0	1	16	18	3	8	7
	10	33	16	0	0	16	17	0	4	13
	11	34	17	3	2	12	17	1	3	13
	12	33	16	0	3	13	17	1	4	12
	13	28	11	0	0	11	17	1	5	11
AĞUSTOS	1	29	12	0	1	11	17	1	5	11
	2	30	15	2	0	13	15	0	0	15
	3	29	14	1	5	8	15	0	2	13
	4	32	15	0	2	13	17	3	3	11
	5	31	15	1	1	13	16	2	5	9
	6	29	12	1	0	11	17	1	6	10
	7	33	16	0	5	11	17	6	7	4
	8	30	13	0	2	11	17	1	3	13
	9	34	18	1	4	13	16	2	8	6
	10	35	18	1	2	15	17	1	7	9
	11	36	16	1	6	9	20	3	4	13
	12	32	13	0	0	13	19	0	7	12
	13	32	15	0	0	15	17	2	7	8

Çizelge 5.11. (Devam) Her veri seti için elde edilen sonuçlar

AY	VERİ SETİ	TOPLAM TRAFİK SAYISI	GELİŞ SAYISI	ZAMANINDA GELİŞ SAYISI	1 DAKİKA ÖNCE GELİŞ	2 DAKİKA ÖNCE GELİŞ	KALKIŞ SAYISI	ZAMANINDA KALKIŞ SAYISI	1 DAKİKA ÖNCE KALKIŞ	2 DAKİKA ÖNCE KALKIŞ
EYLÜL	1	37	17	3	3	11	20	2	4	12
	2	35	18	1	4	13	17	3	4	10
	3	36	18	4	4	10	18	4	4	10
	4	35	16	1	3	12	19	1	5	13
	5	36	18	1	3	14	18	6	3	9
	6	40	19	1	5	13	21	5	6	10
	7	35	18	1	2	15	17	0	7	10
	8	35	17	4	5	8	18	2	4	12
	9	35	15	0	3	12	20	4	4	12
	10	35	17	2	2	13	18	5	7	6
	11	31	14	1	4	9	17	2	5	10
	12	33	16	2	3	11	17	1	9	7



Şekil 5.16. Aylara göre geliş trafiklerinin gerçekleşen varış zamanlarına göre durumu



Şekil 5.17. Aylara göre kalkış trafiklerinin gerçekleşen kalkış zamanlarına göre durumu

Çizelge 5.12. Aylara göre geliş trafiklerinin durumu

AY	GELİŞ SAYISI	ZAMANINDA GELİŞ SAYISI	1 DAKİKA ÖNCE GELİŞ	2 DAKİKA ÖNCE GELİŞ	ERKEN İNİŞ YÜZDESİ
TEMMUZ	215	20	28	166	90,3
AĞUSTOS	192	8	28	156	95,9
EYLÜL	203	21	41	141	89,7

Çizelge 5.13. Aylara göre kalkış trafiklerinin durumu

AY	KALKIŞ SAYISI	ZAMANINDA KALKIŞ SAYISI	1 DAKİKA ÖNCE KALKIŞ	2 DAKİKA ÖNCE KALKIŞ	ERKEN KALKIŞ YÜZDESİ
TEMMUZ	234	34	65	133	84,7
AĞUSTOS	220	22	64	134	90
EYLÜL	220	35	62	121	83,2

Her veri seti için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.11’ de gösterilmiş ve bu sonuçlar Şekil 5.16, Şekil 5.17 yardımı ile görselleştirilmiştir. Geliş ve kalkış trafiklerinin erken iniş/kalkış yüzdeleri ise Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13’ te verilmiştir. Modelde iki dakika önce inişe ve kalkışa izin veren kısıtın kullanılmasıyla temmuz ayı içerisinde 1 geliş 2 dk. ve 2 kalkış toplamda 2 dk. gecikmiştir. Elde edilen amaç fonksiyon değeri 6,04 olmuştur. Eylül ayı içerisinde ise 2 kalkış toplamda 2 dk. gecikmiştir ve amaç fonksiyonunun değeri 2 olmuştur.

5.5. Sonuçların Karşılaştırılması

Aynı veri setleri kullanılarak yalnızca zamanında iniş kalkışa izin veren ve planlanan iniş kalkış zamanından 2 dakika öncesine kadar iniş kalkışa müsaade eden model için elde edilen amaç fonksiyon değerleri ile manuel atama sonucu elde edilen amaç fonksiyon değerlerinin karşılaştırılması bu kısımda yapılmıştır.

Planan iniş ve kalkış zamanından iki dakika öncesine kadar uçaklara iniş/kalkış izni veren kısıtın kullanıldığı programlama modelinden en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Değişik aylara ait olan 38 farklı veri setinin kullanılmasıyla çözülen modelde, yalnızca 2 veri setinden elde edilen amaç fonksiyonunda değer, sıfırdan farklı çıkmıştır. Temmuz ayına ait olan bir veri seti için sonuç 6,04 iken Eylül ayına ait bir veri setinden elde edilen sonuç 2 olmuştur.

Planlanan iniş ve kalkış zamanlarına göre önceliklerin belirlendiği ve uçakların buna göre sıralandığı manuel atama ile planlanan zamanda veya sonrasında iniş ve kalkışa izin veren modelden edilen edilen amaç fonksiyonu değerleri Çizelge 5.14’ te gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.14. Her veri seti için iyileştirme yüzdeleri

AY	VERİ SETİ	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	MANUEL ATAMA AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	İYİLEŞTİRME (%)	AY	VERİ SETİ	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	MANUEL ATAMA AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	İYİLEŞTİRME (%)	AY	VERİ SETİ	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	MANUEL ATAMA AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ	İYİLEŞTİRME (%)
TEMMUZ	1	26,04	29,14	10,64	AĞUSTOS	1	8,02	9,04	11,29	EYLÜL	1	20,02	24,1	16,93
	2	17,06	37,2	54,14		2	4,04	8,06	49,88		2	10,06	23,1	56,46
	3	26,14	26,14	0		3	9,02	11,06	18,45		3	22,1	24,14	8,46
	4	4	4	0		4	9,02	9,04	0,23		4	7,02	13,04	46,17
	5	18,06	27,14	33,46		5	11,02	13,06	15,63		5	20,02	25,12	20,31
	6	4	4	0		6	7	8	12,5		6	18,06	31,1	41,93
	7	13,02	27,1	51,96		7	20,04	35,16	43,01		7	13,06	13,06	0
	8	10,02	10,02	0		8	7,04	16,06	56,17		8	19,04	23,12	17,65
	9	14	19,08	26,63		9	9	16,04	43,9		9	11,04	14,06	21,48
	10	4	6,02	33,56		10	11,02	14,04	21,51		10	16,02	16,02	0
	11	10	11,02	9,26		11	19,08	43	55,63		11	15,08	26,14	42,32
	12	8,04	8,04	0		12	7	7	0		12	17,02	20,08	15,24
	13	7	8,02	12,72		13	8,02	13,04	38,5					

Çizelge 5.14’ teki sonuçlara göre geliştirilen model ile Temmuz ayında ortalama %17,9, Ağustos ayında ortalama %28,2, Eylül ayında ise ortalama %23,9 iyileştirme sağlanmıştır. Ele alınan girdi sayısının az olması ve dikkate alınan zaman aralığının darlığı sebebi ile bazı veri setlerinin sonucu her iki yöntem ile de aynı çıkmıştır; ancak daha geniş zaman aralığı için planlama yapılıyor olsaydı girdi sayısının artması sonucu problemin manuel olarak çözümü zorlaşacak böylece tamsayı programlama modelinin kullanımı ile daha efektif sonuçlar elde ediliyor olacaktı.

Planlanan iniş ve kalkış zamanından iki dk. öncesine kadar iniş/kalkışa izin verilmesiyle modele esneklik kazandırılmıştır. Böylece kullanılan 38 veri setinden yalnızca 2 tanesinde maliyet sıfırdan farklı olmuştur. Veri seti oluşturulurken 1 saatlik zaman diliminin dikkate alınmış olması sebebi ile trafiklere yalnızca ikişer dakikalık erken iniş ve kalkış izni verilmiştir. Ancak, büyük boyutlu gerçek hayat

modellemesi yapılırken bu kısıttaki esneklik, ilgili devlet otoritesi tarafından yayınlanan havacılık bilgi yayınlarında belirlenmiş olan motor çalıştırma zaman usullerine ve slot uygulamalarında belirtilen hesaplanan kalkış zamanlarına uygun olarak değiştirilebilir.

Veriler toplanırken, Esenboğa Havalimanı için trafiğin en yoğun olduğu Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının cuma, pazartesi ve salı günleri dikkate alınmıştır. Böylelikle, Temmuz ve Ağustos ayı için 13, Eylül ayı için ise 12 gün için veri seti oluşturulmuştur. Bu aylar içerisinde ise gecikmelerin ve gecikme maliyetlerinin en fazla olduğu ay Eylül ayı olarak belirlenmiştir. Beklendiği gibi kalkış trafiklerindeki gecikmeler, geliş trafiklerindeki gecikmelerden daha fazla olmuştur. Bunun sebebi ise, havadaki beklemlerin yerdeki beklemlere oranla daha yüksek maliyetli olmasıdır.

Tamsayılı programlama modelinin 2 farklı kısıtı ile koşturum yapılmış, ya tam zamanında veya sonrasında iniş/kalkışa izin verilmiş ya da planlanan iniş/kalkış zamanına nazaran 2 dakika öncesine kadar iniş/kalkışa müsaade edilmiştir. Ancak model, bu iki kısıtın birleştirilmesi ile hedef programlama modeli haline getirilebilir, böylece öncelikli amaç olarak trafiklerin zamanında kalkması veya inmesi istenebilir, bunun mümkün olmadığı durumlar için erken iniş/kalkışa izin verilebilir. Ayrıca modelde havalimanının sahip olduğu fiziki özelliklerin yeterli sayıda olduğu varsayılmıştır. Uçakların taksi hareketlerine başlamaları için gerekli olan push-back aracı sayısı ya da park yeri sayısı gibi kısıtların da hesaba katılması ile model genişletilebilir. İhtiyaca yönelik kısıtlar ve farklı amaç fonksiyonları için model kolay bir şekilde modifiye edilebilir, böylece geliştirilmiş olan tamsayılı programlama modeli gerçek hayatta karar verme süreci içerisinde bir karar destek sistemi olarak kullanılabilir.

6. SONUÇ

Hava trafik tıkanıklığı günümüz ve yakın geleceğin hava trafik yönetiminin ana problemidir. Hava trafiği talebinin, kapasiteyi aştığı yerde tıkanıklık problemi ortaya çıkmaktadır. Trafik akış yönetimi hava trafik sistemi için talep ve kapasite dengelenmesinin yapılması sürecidir. Bu süreçte talep-kapasite dengesine ulaşmak için kısa, orta ve uzun vadeli planlama ve kontrol fonksiyonları gerçekleştirilir [Cavcar ve Özkul, 1998]. Özellikle 1970 ve 1980' li yıllardan sonra hava sahasının günden güne kalabalıklaşması karşısında hava trafik kontrolörleri daha fazla uçak ve buna bağlı olarak daha fazla problemle karşı karşıya kalmışlardır. Tıkanıklıklar, yerde ve havada beklemelere, yolcu memnuniyetsizliklerine ve hava şirketleri açısından büyük mali kayıplara yol açmıştır. Bu açıdan bakıldığında, hava trafik kontrolörlerinin işlerini kolaylaştıran teknolojilerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bu zorunluluktan dolayı son yıllarda tıkanıklıkların azaltılabilmesi için bazı matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden bazıları hava sahaları için dengeleme yaparken bazıları da havalimanları için akış yönetimine yönelik olmuştur. Tek havalimanlı yerde bekleme problemleri olarak anılan modelde de belli bir zaman dilimi içerisinde bir havalimanına gerçekleştirilecek olan iniş ve kalkış sayıları dikkate alınarak optimal çizelgeleme sonuçlarına ulaşılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada amaç, Ankara Esenboğa Havalimanı için bir programlama modeli geliştirmek ve bu programlama modelini gerçek veriler kullanarak çözebilmek olmuştur. Bunun için havalimanına, belli tarih ve zaman aralıklarında gelecek ve havalimanından kalkış gerçekleştirecek olan trafik sayıları ve zamanlarına ait veriler toplanmış ve geliştirilen tamsayılı programlama modeli ile uygulaması yapılmıştır. Veriler toplanırken trafiğin en yoğun olduğu Temmuz, Ağustos, Eylül ayı; bu ayların belli günleri ve belirli zaman aralığı dikkate alınmıştır.

Geliştirilen tamsayılı programlama modelinin iniş ve kalkış zamanlarına ilişkin kısıtının, erken iniş/kalkışa izin veren ve vermeyen iki farklı hali için koşturum yapılmış; elde edilen sonuçlar, model kullanılmadan manuel olarak atama yapılması halinde bulunacak değerler ile karşılaştırılmıştır. Amaç fonksiyonu, iniş yapacak

trafikler için havada bekleme maliyeti ile kalkış trafiklerinin yerde bekleme maliyetlerinin toplamının en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar Opl Cplex 12.3 kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise hesaplama sonuçları başlığı altında verilmiştir.

Agustin ve arkadaşlarının geliştirdiği tek havalimanlı yerde bekleme problemine çözüm için önerilen modele uçaklar arasında emniyetli uçuşun sağlanabilmesi için hem kuyruk türbülansı ayırmalarının eklenmesiyle hem de hem iniş ve kalkış trafikleri için gecikmelerin birlikte dikkate alınmasıyla yeni bir model önerisinde bulunulmuştur. Geliştirilen bu model ile Temmuz ayında ortalama %17,9, Ağustos ayında ortalama %28,2, Eylül ayında ise ortalama %23,9 iyileştirme sağlanmıştır. Tek Havalimanlı Yerde Bekleme Problemleri için literatürde yapılmış olan farklı çalışmalar bulunsa da, incelenemediği kadarı ile ayırma minimumlarının sağlanabilmesi için kuyruk türbülanslarının da dikkate alındığı bir model bulunamamıştır. Dolayısıyla yapılan çalışmanın literatüre bu bağlamda katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Agustin, A., Alonso A., Escudero, L.F., Pizarro, C., “Mathematical Optimization Models For Air Traffic Flow Management: A Review”, *Studia Informatica Universalis*, 141-184 (2009).

Andreatta, G., Brunetta, L., Guastalla, G., “Multi Airport Ground Holding Problem: A Heuristic Approach Based on Priority Rules”, *Modeling and Simulation in Air Traffic Management*, 71-87 (1997).

Arcak, M., “Hava Trafik Hizmetleri”, *DHMI*, 1-55 (2010).

Benoit, A., Pomeret, J.M., Swierstra S., “Decision Making Aids in On-Line ATC Systems”, *Machine-Intelligence in Air Traffic Management, Guidance and Control Panel Symposium*, 14/1-14/11 (1993).

Bertsimas, D., Patterson, S. S., “The Air Traffic Flow Management Problem with En-Route Capacities”, *Operations Research*, 46 (3): 406–422 (1998).

Bertsimas, D., Odoni, A., Lulli, G., “The Air Traffic Flow Management Problem: An Integer Optimization Approach” *LNCS 5035, Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg, 34-46 (2008).

Bianco L., “Multilevel Approach to ATC Problems: On-Line Strategic Control of Flights,” *International Journal of Systems Science*, 21 (8): 1515-1527, (1990).

Bianco L., Bielli M., “ATM: Optimization Models and Algorithms,” *Journal of Advanced Transportation*, 26 (2): 131-166, (1992).

Boeing Commercial Airplane Group, “The Economic Evaluation of CNS/ATM”, *Digital Avionics Systems Conference*, 2: 28-36 (1997).

Brunetta, L., Guastalla, G., Navazio, L., “Solving The Multi-Airport Ground Holding Problem”, *Annals of Operations Research*, 81: 271-287 (1998).

CANSO CNS/ATM Working Group, “*Demystifying CNS/ATM*”, 16 (1999).

Cavcar A., Özkul A.E., "Hava Trafik Akış Planlaması İçin Karar Destek Sistemi ve Türkiye İçin Öneriler", *4. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı 1*, Denizli, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 157-160 (1998).

Cavcar, A., “Temel Hava Trafik Yönetimi”, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir, 79-128 (1998).

Cemalcılar, İ., Bayar, D., Aşkun, İ.C., Özalp, Ş., “İşletmelik Bilgisi”, *Eskişehir İştme Özürlü Çocuklar Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları*, 3 (1985).

Clinch, P., "Existing Systems Provide Essential Communications While Development of Data Link Carries On", *ICAO Journal*, 55(7): 16-17 (2000).

Çınar, E., "Hava Trafik Akış Yönetimi ve İstanbul Atatürk Havalimanındaki Taksit Sürelerinin Kalkış Slotu Tahsisine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı*, Eskişehir, 19-43 (2003).

Dell' Olmo, P., Lulli, G., A New Hierarchical Architecture for Air Traffic Management: Optimization of Airway Capacity in A Free Flight Scenario", *European Journal of Operations Research*, 144 (1): 179-193 (2003).

Design Concept and Philosophies, *Human Factors Integration in Future ATM Systems*, HRP/HSP- 003-REP-01, 7 (2000)

DHMI, "AIP Türkiye", *Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü*, 1.2-3/1.3-8/1.4-5/1.6-7/1.9-11 (2009).

Edis, E.B., Satılmış, A., Tunçel, G., "Hava Trafik Akış Yönetimi Problemi: İzmir Adnan Menderes Havalimanında Bir Uygulama", *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 31. Ulusal Kongresi*, 142 (2011).

Eurocontrol, "ATFCM Users Manuel", *Eurocontrol*, 3-1/8-1 (2012).

Eurocontrol, "ATFM General Procedures", *Eurocontrol, Belgium*, 5/6-9 (1995).

Eurocontrol, "ATFM Studies Remaning Overdeliveries", *Eurocontrol, Belgium*, 1-2 (1998).

Eurocontrol, "ATFM Users Manuel", *Eurocontrol, Belgium*, 3/1 (2001).

Eurocontrol, "CFMU Handbook", *Eurocontrol, Belgium*, 1/1-2 (1994).

Frost&Sullivan, "ATC: Problems to be Solved", *The Journal of Global Airspace Avionics Magazine*, 34-36 (2001).

Gerede, E., "Hava Taşımacılığında Küreselleşme ve Havayolu İşbirlikleri-THY AO'da Bir Uygulama", Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Anadolu Üni. SBE*, 86-100 (2002).

Hannagan, T., "Management: Concepts&Practices", *London Pitman Publishing*, 808 (1995).

Haralbsdottir, A., Robert, W., Alcabin, M.S., "Air Traffic Management Capacity-Driven Operation Concept Trought 2015," *II. USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar*, Orlando, 9-25 (1998).

Hava Savunma Okul Komutanlığı, “Hava Trafik Kontrol ve GCA Operatörü Temel Eğitimi- Yaklaşma Kontrol(Radarsız)”, *İzmir, Hv. Tek. Ok. K.lığı Basımevi* (1995).

ICAO, “Doc. 9426: Air Traffic Services Planning Manual”, Birinci basım, Montreal, **ICAO Publication** (1984).

ICAO, Annex11, “Hava Trafik Hizmetleri: Annex 11”, *ICAO*, 30. Basım, 1-1/5-1 (2001).

ICAO, Annex2, “Hava Trafik Kuralları: Annex 2”, *ICAO*, 30. Basım, 1-1/5-1 (2005).

ICAO, DOC 4444, “Hava Trafik Yönetimi”, *ICAO*, 50. Basım, 1-1/9-1 (2009).

Jonge, H.D., “ATM/CNS: The Response to Current and Future Needs”, *Air & Space Europe*, 1 (4): 15-23 (1999).

Kara, İ., “Yöneylem Araştırmasının Yöntembilimi”, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir, 1-117 (1985).

Kılıç, S., Kaylan, A.R., “Uçak Çizelgeleme Probleminin Karınca Kolonileri Optimizasyonu ile Çözümü”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 2 (1): 87-95 (2005).

Kobu, B., “Üretim Yönetimi”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Araştırma ve Yardım Vakfı Yayınları*, Onuncu Basım, 633 (1999).

Koçel, T., “İşletme Yöneticiliği”, *İstanbul: Beta Basım*, Sekizinci Basım, 729 (2001).

Matos, P., “ATFM: Optimization Approaches,” *Air Traffic Management Symposium*, Paris: AGARD Conference Proceeding, 825 (1997).

Milan, J., “The Flow Management Problem in Air Traffic Control: A Model of Assigning Priorities for Landings at a Congested Airport”, *Transportation Planning and Technology*, 20 (2): 131 – 162 (1997).

Mukherjee, A., Hansen, M., “A Dynamic Stochastic Model for the Single Airport Ground Holding Problem”, *Transportation Science*, 41(4): 454-456 (2007).

Mukherjee, A., Hansen, M., Liu, P., “Scenario-Based Air Traffic Flow Management: From Theory to Practice”, *Transportation Research*, 42: 685–702 (2008).

Navazio, L., Jacur, G.R., “The Multiple Connections Multi-Airport Ground Holding Problem: Models and Algorithms”, *Transportation Science*, 32 (3): 268-276 (1998).

Odoni, A., Richetta, O., “Solving Optimally The Static Ground-Holding Policy Problem in Air Traffic Control”, *Transportation Science*, 27 (3): 228-238 (1993).

Odoni, A., “The Flow Management Problem in Air Traffic Control: Flow Control of Congested Networks”, *Springer Verlag*, New York, 355 (1987).

Oktal, H., Yaman, K., “Haberleşme, Seyrüsefer, İzleme ve Hava Trafik Yönetimi Teknolojisi (CNS/ATM) ve Bu Sistemin Türk Hava Sahasına Uygulanması”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1 (3): 39-47, (2004).

Özalp, İ., “Yönetim ve Organizasyon”, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir, 365 (1995).

Özgür, M., “Hava Trafik Yol Kontrol Sektöründeki Çatışmaların Bilgi Tabanlı Karar Destek Aracıyla Çözümü”, Yüksek Lisans Tezi, *Sivil Havacılık Anabilim Dalı*, Eskişehir, 106 (2007).

Öztürk, S., “Hizmet Pazarlaması”, *Eskişehir A.Ü. İşletme Fak. Yayınları*, 3: 116 (1998).

Paşaoğlu, C., “Hava Seyrüsefer Yardımcı Cihazları”, *DHMI*, 1-55 (2010).

Rossi, F., Smriglio, S., “A Set Packing Model For The Ground-Holding Problem in Congested Networks”, *European Journal of Operational Research*, 131: 400-416 (2001).

Ruwantissa, I.R., Abeyratne, “Journal of Air Transport Management 2000-6”, *Pergamon, U.S.A*, 30, (2000).

Saldıraner, Y., “Sivil Havacılık Faaliyetleri ve Türk Sivil Havacılık Otoritesi için Organizasyon Yapısı Önerisi”, *Eskişehir Anadolu Üniv. Yayınları*, 559: 4 (1992).

Satılmış, A., “Single Airport Ground Holding Problem: An Application in Adnan Menderes Airport”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1-49(2011).

Schewenk, W., “Aspect of International Cooperation in ATM”, *Netherlands*, 309 (1998).

Soyertem, H., “ATS Gözetim Sistemleri ve Hizmetleri”, *DHMI*, 1-43 (2010).

Sridhar, B., Kapil, S., Grabbe, S., “Airspace Complexity and Its Application in Air Traffic Management”, *2. USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar*, Orlando, 1-8 (1998).

Şekerli, E. B., “Havacılık Emniyetinin Sağlanmasında İnsan Faktörleri Disiplini ve Hata Yönetimi”, *VII. Kayseri Havacılık Sempozyumu*, 114-119 (2008).

T.C Millî Eğitim Bakanlığı, “Uçak Bakım İnsan ve Çevre”, **850ck0002, MEB**, Ankara, 1-14 (2012).

The Single Airbus Industry, “Future Air Navigation System”, **Airbus Interoperable Modular**, 12-34 (2003).

Turhan, U., “Hava Trafik Kontrolörü Adaylarının Seçimi ve Türkiye’deki Uygulama”, Doktora Tezi, **Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sivil Havacılık Yönetimi Anabilim Dalı**, Eskişehir, 1-8 (2007).

Uslu, S., “Hava Trafik Sistemi Değerlendirme Ölçütleri”, **Anadolu Üniversitesi Yayınları**, 1746: 25-95 (2007).

Vincent, P., Galotti, Jr., “Future Air Navigation System (CNS/ATM)”, **Ashgate, England**, 362 (1997).

Vranas, P.B., Bertsimas, D.J., Odoni, A.R., “Dynamic Ground-Holding Policies for a Network of Airports”, **Transportation Science**, 28, 275–291 (1994).

Vranas, P.B., Bertsimas, D.J., Odoni, A.R., “The Multi-Airport Ground Holding Problem in Air Traffic Control”, **Operations Research**, 42 (2): 249–261 (1994).

Walter, Schewenk, R., “Aspects of International Co-operation in Air Traffic Management”, **Hague: Boston: Martin Nyhoff**, 1-7 (1998).

Wickens, D.C., Maver, A.S., Mcgee P.J. “Flight to the Future”, **National Academy Press**, U.S.A., 368 (1997).

Woodbridge, K., “New Satellite Communications Technologies For ATM”, **Air & Space Europe**, 1 (4): 73-80 (1999).

Zhang, Z., Wang, L., “A Recursion Event-Driven Model to Solve The Single Airport Ground-Holding Problem”, **Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, 5: 500-506 (2005).

İnternet: Boeing “Operator Benefits of Future Air Navigation System”
http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_02/textonly/fo02txt.html
(2012).

İnternet: DHMİ “Birlikte Karar Alma Projesi”
<http://dhmi.gov.tr/haberler.aspx?HaberID=595> (2012).

İnternet: DHMİ “Hava Sahasının Esnek Kullanımı”
<http://www.ssd.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=3&dosyaID=59> (2012).

İnternet: DHMİ “Hava Sahası Yönetimi”
<http://www.ssd.dhmi.gov.tr/sayfa.aspx?mn=80> (2012).

EKLER

EK 1: 02 Temmuz tarihli veri setine ait bilgiler

Uçuş İndisi	Geliş/Kalkış	Uçuş Çağrı İsmi	Uçak Tipi	Planlanan Varış/Kalkış Zamanı
1	1	IRA715	HEAVY	07:45
2	1	PGT2841	HEAVY	07:55
3	1	THY93H	HEAVY	08:06
4	1	THY7001	HEAVY	08:24
5	1	THY45L	MEDIUM	07:50
6	1	THY34P	MEDIUM	07:52
7	1	THY87P	MEDIUM	07:59
8	1	THY42C	MEDIUM	08:02
9	1	THY56G	MEDIUM	08:03
10	1	THY24V	MEDIUM	08:08
11	1	THY52Y	MEDIUM	08:11
12	1	PGT4526	MEDIUM	08:15
13	1	BRJ319	MEDIUM	08:19
14	1	PGT2130	MEDIUM	08:22
15	1	THY8FM	MEDIUM	08:26
16	1	BRJ496	MEDIUM	08:29
17	1	THY37Y	LIGHT	07:57
18	1	THY54J	LIGHT	08:17
19	2	THY2ZE	HEAVY	07:58
20	2	THY43A	HEAVY	08:05
21	2	THY59C	HEAVY	08:14
22	2	THY89U	HEAVY	08:25
23	2	IRA714	HEAVY	08:39
24	2	PGT2131	MEDIUM	07:40
25	2	THY53M	MEDIUM	07:52
26	2	BRJ490	MEDIUM	07:54
27	2	BRJ411	MEDIUM	07:56
28	2	BRJ312	MEDIUM	07:59
29	2	SXS015	MEDIUM	08:02
30	2	PGT101	MEDIUM	08:03
31	2	THY82F	MEDIUM	08:09
32	2	THY59N	MEDIUM	08:15
33	2	THY6CT	MEDIUM	08:22
34	2	THY78F	MEDIUM	08:23
35	2	THY62V	MEDIUM	08:29
36	2	THY23Y	MEDIUM	08:35
37	2	THY5020	LIGHT	08:17
38	2	THY7114	LIGHT	08:31

EK 2: 06 Temmuz tarihli veri setine ait bilgiler

Uçuş İndisi	Geliş/Kalkış	Uçuş Çağrı İsmi	Uçak Tipi	Planlanan Varış/Kalkış Zamanı
1	1	THY37Y	HEAVY	07:47
2	1	THY1790	HEAVY	07:50
3	1	THY8FM	HEAVY	08:01
4	1	THY45L	HEAVY	08:20
5	1	THY34P	MEDIUM	07:40
6	1	PGT2841	MEDIUM	07:46
7	1	THY87P	MEDIUM	07:54
8	1	THY93H	MEDIUM	07:55
9	1	THY7001	MEDIUM	07:56
10	1	PGT2130	MEDIUM	08:07
11	1	THY52Y	MEDIUM	08:10
12	1	THY56G	MEDIUM	08:17
13	1	BRJ496	MEDIUM	08:19
14	1	BRJ319	MEDIUM	08:28
15	1	THY24V	LIGHT	07:55
16	1	THY42C	LIGHT	07:57
17	1	THY54J	LIGHT	08:15
18	2	THY2ZE	HEAVY	07:52
19	2	THY43A	HEAVY	08:02
20	2	THY89U	HEAVY	08:10
21	2	THY53M	HEAVY	08:18
22	2	THY62W	MEDIUM	07:41
23	2	TCGVS	MEDIUM	07:46
24	2	BRJ411	MEDIUM	07:48
25	2	BRJ490	MEDIUM	07:57
26	2	THY59N	MEDIUM	08:00
27	2	THY59C	MEDIUM	08:05
28	2	THY78F	MEDIUM	08:08
29	2	THY1933	MEDIUM	08:14
30	2	THY62V	MEDIUM	08:16
31	2	PGT101	MEDIUM	08:20
32	2	THY23Y	MEDIUM	08:22
33	2	PGT329	MEDIUM	08:24
34	2	THY6851	MEDIUM	08:30
35	2	THY36E	MEDIUM	08:35
36	2	TCKJA	LIGHT	07:56
37	2	TCLAA	LIGHT	08:07
38	2	TCSNK	LIGHT	08:33

EK 3: 17 Temmuz tarihli veri setine ait bilgiler

Uçuş İndisi	Geliş/Kalkış	Uçuş Çağrı İsmi	Uçak Tipi	Planlanan Varış/Kalkış Zamanı
1	1	THY42C	HEAVY	07:54
2	1	THY93H	HEAVY	08:07
3	1	THY52Y	HEAVY	08:09
4	1	BRJ319	HEAVY	08:22
5	1	THY34P	MEDIUM	07:40
6	1	THY37Y	MEDIUM	07:49
7	1	THY8FM	MEDIUM	07:51
8	1	THY45L	MEDIUM	07:58
9	1	THY87P	MEDIUM	08:01
10	1	THY24V	MEDIUM	08:02
11	1	PGT2130	MEDIUM	08:03
12	1	THY54J	MEDIUM	08:17
13	1	THY64R	MEDIUM	08:19
14	1	BRJ496	MEDIUM	08:31
15	1	THY49M	MEDIUM	08:39
16	1	THY56G	LIGHT	08:14
17	1	PGT100	LIGHT	08:25
18	2	THY53M	HEAVY	07:50
19	2	THY82F	HEAVY	08:02
20	2	THY6CT	HEAVY	08:11
21	2	THY43A	MEDIUM	07:54
22	2	THY2ZE	MEDIUM	07:55
23	2	THY59C	MEDIUM	07:57
24	2	BRJ411	MEDIUM	07:59
25	2	THY89U	MEDIUM	08:06
26	2	THY62V	MEDIUM	08:07
27	2	PGT101	MEDIUM	08:09
28	2	THY23Y	MEDIUM	08:13
29	2	THY78F	MEDIUM	08:15
30	2	BRJ440	MEDIUM	08:17
31	2	PGT048	MEDIUM	08:20
32	2	CROOK30	LIGHT	07:46
33	2	THY62W	LIGHT	07:52
34	2	THY59N	LIGHT	08:04
35	2	THY96J	LIGHT	08:22

EK 4: 10 Ağustos tarihli veri setine ait bilgiler

Uçuş İndisi	Geliş/Kalkış	Uçuş Çağrı İsmi	Uçak Tipi	Planlanan Varış/Kalkış Zamanı
1	1	THY34P	HEAVY	07:48
2	1	THY56G	HEAVY	07:52
3	1	THY8FM	HEAVY	08:10
4	1	THY42C	MEDIUM	07:41
5	1	THY45L	MEDIUM	07:44
6	1	PGT2841	MEDIUM	07:53
7	1	PGT2130	MEDIUM	07:55
8	1	THY87P	MEDIUM	08:06
9	1	THY64R	MEDIUM	08:08
10	1	BRJ496	MEDIUM	08:29
11	1	PGT100	MEDIUM	08:36
12	1	THY37Y	LIGHT	07:59
13	1	THY24V	LIGHT	08:03
14	1	TCIST	LIGHT	08:14
15	1	CGMCP	LIGHT	08:22
16	2	THY1933	HEAVY	07:54
17	2	THY59C	HEAVY	08:01
18	2	THY62V	HEAVY	08:11
19	2	THY23Y	HEAVY	08:20
20	2	THY36E	HEAVY	08:38
21	2	THY43A	MEDIUM	07:45
22	2	BRJ490	MEDIUM	07:56
23	2	BRJ411	MEDIUM	07:58
24	2	THY59N	MEDIUM	08:03
25	2	PGT101	MEDIUM	08:05
26	2	THY78F	MEDIUM	08:07
27	2	THY82F	MEDIUM	08:13
28	2	BRJ312	MEDIUM	08:15
29	2	PGT329	MEDIUM	08:26
30	2	TCTSH	LIGHT	08:09
31	2	THY89U	LIGHT	08:22
32	2	CGMCP	LIGHT	08:23

EK 5: 17 Ağustos tarihli veri setine ait bilgiler

Uçuş İndisi	Geliş/Kalkış	Uçuş Çağrı İsmi	Uçak Tipi	Planlanan Varış/Kalkış Zamanı
1	1	THY37Y	HEAVY	07:48
2	1	THY42C	HEAVY	07:51
3	1	THY56G	HEAVY	08:07
4	1	THY34P	MEDIUM	07:41
5	1	THY45L	MEDIUM	07:45
6	1	PGT2841	MEDIUM	07:57
7	1	PGT2130	MEDIUM	08:02
8	1	THY64R	MEDIUM	08:04
9	1	THY87P	MEDIUM	08:13
10	1	THY52Y	MEDIUM	08:18
11	1	BRJ496	MEDIUM	08:25
12	1	PGT100	MEDIUM	08:29
13	1	THY8FM	LIGHT	07:54
14	1	THY93H	LIGHT	07:59
15	1	THY24V	LIGHT	08:15
16	1	TCMDG	LIGHT	08:21
17	2	THY2ZE	HEAVY	07:41
18	2	THY62W	HEAVY	07:43
19	2	THY78F	HEAVY	07:57
20	2	THY82F	HEAVY	08:06
21	2	THY59N	HEAVY	08:06
22	2	THY23Y	HEAVY	08:21
23	2	THY36E	HEAVY	08:27
24	2	THY43A	MEDIUM	07:53
25	2	BRJ411	MEDIUM	07:54
26	2	BRJ490	MEDIUM	07:57
27	2	THY62V	MEDIUM	08:03
28	2	BRJ312	MEDIUM	08:09
29	2	THY89U	MEDIUM	08:16
30	2	PGT101	MEDIUM	08:23
31	2	THY59C	LIGHT	07:59
32	2	THY1933	LIGHT	08:02
33	2	THY96J	LIGHT	08:36

EK 6: 27 Ağustos tarihli veri setine ait bilgiler

Uçuş İndisi	Geliş/Kalkış	Uçuş Çağrı İsmi	Uçak Tipi	Planlanan Varış/Kalkış Zamanı
1	1	THY45L	HEAVY	07:48
2	1	THY52Y	HEAVY	07:58
3	1	THY93H	HEAVY	08:08
4	1	THY87P	HEAVY	08:16
5	1	THY34P	MEDIUM	07:43
6	1	THY37Y	MEDIUM	07:52
7	1	THY42C	MEDIUM	07:56
8	1	PGT2841	MEDIUM	08:01
9	1	PGT2130	MEDIUM	08:05
10	1	THY64R	MEDIUM	08:09
11	1	THY54J	MEDIUM	08:12
12	1	THY24V	MEDIUM	08:14
13	1	BRJ496	MEDIUM	08:21
14	1	PGT100	MEDIUM	08:34
15	1	THY56G	LIGHT	08:03
16	1	THY8FM	LIGHT	08:18
17	2	THY43A	HEAVY	07:55
18	2	BRJ312	HEAVY	08:02
19	2	THY82F	HEAVY	08:05
20	2	THY2ZE	HEAVY	08:13
21	2	THY96J	HEAVY	08:25
22	2	BRJ490	MEDIUM	07:45
23	2	BRJ411	MEDIUM	07:48
24	2	THY78F	MEDIUM	07:59
25	2	THY59C	MEDIUM	08:01
26	2	THY59N	MEDIUM	08:07
27	2	THY53M	MEDIUM	08:09
28	2	THY89U	MEDIUM	08:13
29	2	PGT101	MEDIUM	08:19
30	2	THY23Y	MEDIUM	08:22
31	2	THY7114	MEDIUM	08:27
32	2	THY36E	MEDIUM	08:30
33	2	TCANG	LIGHT	07:46
34	2	THY6CT	LIGHT	08:11
35	2	THY62V	LIGHT	08:15
36	2	TCDK	LIGHT	08:16

EK 7: 03 Eylül tarihli veri setine ait bilgiler

Uçuş İndisi	Geliş/Kalkış	Uçuş Çağrı İsmi	Uçak Tipi	Planlanan Varış/Kalkış Zamanı
1	1	THY37Y	HEAVY	07:49
2	1	THY42C	HEAVY	07:57
3	1	THY52Y	HEAVY	08:12
4	1	THY87P	HEAVY	08:20
5	1	THY86N	MEDIUM	07:42
6	1	PGT2841	MEDIUM	07:52
7	1	THY34P	MEDIUM	07:55
8	1	THY45L	MEDIUM	08:06
9	1	THY54J	MEDIUM	08:09
10	1	THY24V	MEDIUM	08:17
11	1	PGT2130	MEDIUM	08:23
12	1	BRJ496	MEDIUM	08:30
13	1	PGT100	MEDIUM	08:38
14	1	THY56G	LIGHT	08:01
15	1	THY93H	LIGHT	08:04
16	1	THY8FM	LIGHT	08:15
17	1	THY64R	LIGHT	08:25
18	2	THY43A	HEAVY	07:50
19	2	THY2ZE	HEAVY	07:51
20	2	THY59N	HEAVY	08:02
21	2	THY6CT	HEAVY	08:13
22	2	THY23Y	HEAVY	08:17
23	2	THY53M	MEDIUM	07:42
24	2	BRJ440	MEDIUM	07:43
25	2	PGT2131	MEDIUM	07:46
26	2	THY78F	MEDIUM	07:58
27	2	BRJ490	MEDIUM	07:59
28	2	BRJ411	MEDIUM	08:03
29	2	PGT101	MEDIUM	08:07
30	2	THY39W	MEDIUM	08:15
31	2	THY89U	MEDIUM	08:15
32	2	THY96J	MEDIUM	08:22
33	2	THY7114	MEDIUM	08:24
34	2	THY82F	MEDIUM	08:27
35	2	THY59C	LIGHT	07:56
36	2	THY62V	LIGHT	08:15
37	2	THY36E	LIGHT	08:26

EK 8: 14 Eylül tarihli veri setine ait bilgiler

Uçuş İndisi	Geliş/Kalkış	Uçuş Çağrı İsmi	Uçak Tipi	Planlanan Varış/Kalkış Zamanı
1	1	THY42C	HEAVY	07:45
2	1	THY86N	HEAVY	07:47
3	1	THY56G	HEAVY	08:13
4	1	THY45L	HEAVY	08:16
5	1	THY49M	HEAVY	08:39
6	1	THY34P	MEDIUM	07:41
7	1	PGT2841	MEDIUM	07:50
8	1	THY8FM	MEDIUM	07:54
9	1	THY87P	MEDIUM	08:02
10	1	PGT2130	MEDIUM	08:08
11	1	THY54J	MEDIUM	08:11
12	1	THY24V	MEDIUM	08:18
13	1	BRJ496	MEDIUM	08:21
14	1	THY52Y	MEDIUM	08:23
15	1	PGT100	MEDIUM	08:33
16	1	PGT348	MEDIUM	08:36
17	1	THY37Y	LIGHT	07:59
18	1	THY64R	LIGHT	08:04
19	1	TCGVS	LIGHT	08:31
20	2	THY53M	HEAVY	07:50
21	2	THY78F	HEAVY	07:54
22	2	THY1933	HEAVY	08:04
23	2	THY62V	HEAVY	08:12
24	2	THY82F	HEAVY	08:18
25	2	PGT329	HEAVY	08:23
26	2	THY62W	MEDIUM	07:41
27	2	BRJ490	MEDIUM	07:51
28	2	BRJ411	MEDIUM	07:59
29	2	THY43A	MEDIUM	08:02
30	2	THY59N	MEDIUM	08:08
31	2	THY39W	MEDIUM	08:12
32	2	PGT101	MEDIUM	08:16
33	2	THY89U	MEDIUM	08:20
34	2	THY23Y	MEDIUM	08:21
35	2	THY36E	MEDIUM	08:28
36	2	THY96J	MEDIUM	08:30
37	2	THY59C	LIGHT	07:57
38	2	TCATC	LIGHT	08:05
39	2	THY7310	LIGHT	08:07
40	2	MMACH	LIGHT	08:10

EK 9: 21 Eylül tarihli veri setine ait bilgiler

Uçuş İndisi	Geliş/Kalkış	Uçuş Çağrı İsmi	Uçak Tipi	Planlanan Varış/Kalkış Zamanı
1	1	THY42C	HEAVY	07:47
2	1	THY34P	HEAVY	07:49
3	1	THY45L	HEAVY	08:03
4	1	THY54J	HEAVY	08:09
5	1	PGT2841	MEDIUM	07:42
6	1	THY8FM	MEDIUM	07:44
7	1	THY37Y	MEDIUM	07:50
8	1	PGT2130	MEDIUM	07:54
9	1	THY56G	MEDIUM	08:01
10	1	THY87P	MEDIUM	08:05
11	1	BRJ496	MEDIUM	08:11
12	1	THY52Y	MEDIUM	08:16
13	1	PGT100	MEDIUM	08:30
14	1	THY64R	LIGHT	07:56
15	1	THY93H	LIGHT	07:59
16	2	THY2ZE	HEAVY	07:43
17	2	THY59C	HEAVY	07:50
18	2	THY78F	HEAVY	08:02
19	2	THY53M	HEAVY	08:14
20	2	THY1933	HEAVY	08:17
21	2	THY96J	HEAVY	08:28
22	2	BRJ490	MEDIUM	07:45
23	2	BRJ411	MEDIUM	07:47
24	2	BRJ440	MEDIUM	07:58
25	2	THY82F	MEDIUM	08:03
26	2	THY62V	MEDIUM	08:09
27	2	THY59N	MEDIUM	08:11
28	2	TCATC	MEDIUM	08:12
29	2	THY89U	MEDIUM	08:20
30	2	PGT101	MEDIUM	08:24
31	2	PGT329	MEDIUM	08:26
32	2	THY43A	LIGHT	07:56
33	2	THY39W	LIGHT	08:07
34	2	THY23Y	LIGHT	08:18
35	2	THY36E	LIGHT	08:28

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : Uslu, Tuba
 Uyruğu : T.C
 Doğum tarihi ve yeri : 19.10.1986, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 332 15 85
 e-mail : tubauslu05@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Endüstri Müh.	2012
Lisans	Gazi Üniversitesi/Endüstri Müh.	2009
Lise	Fethiye Kemal Mumcu And.Lis.	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-	Devlet Hava Meydanları İşletmesi	Hava Trafik Kontrolörü

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Sinema, Okumak, Pastacılık