

**HAVA TRAFİK YOL KONTROL SEKTÖRÜNDEKİ  
ÇATIŞMALARIN BİLGİ TABANLI KARAR  
DESTEK ARACIYLA ÇÖZÜMÜ**

Metin ÖZGÜR  
Yüksek Lisans Tezi

Sivil Havacılık Anabilim Dalı  
Haziran-2007

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

**Metin Özgür**'ün “**Hava Trafik Yol Kontrol Sektöründeki Çatışmaların Bilgi Tabanlı Karar Destek Aracıyla Çözümü**” başlıklı **Sivil Havacılık** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 04.06.2007 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	<b>Adı-Soyadı</b>	<b>İmza</b>
<b>Üye (Tez Danışmanı)</b>	<b>:Doç. Dr. AYDAN CAVCAR</b>	.....
<b>Üye</b>	<b>:Yard. Doç. Dr. NİHAL ERGİNEL.....</b>	
<b>Üye</b>	<b>:Yard. Doç. Dr. CEM ÇETEK</b>	.....

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

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### HAVA TRAFİK YOL KONTROL SEKTÖRÜNDEKİ ÇATIŞMALARIN BİLGİ TABANLI KARAR DESTEK ARACIYLA ÇÖZÜMÜ

Metin ÖZGÜR

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aydan CAVCAR

2007, 106 sayfa

Bu tezde hava trafik yol kontrol sektöründe tespit edilmiş olan ikili uçak çatışmalarının çözümü için tasarlanmış olan bilgi tabanlı bir karar destek aracı konu edilmiştir. Aracın çözüm yöntemi literatür araştırması ile elde edilen uzman hava trafik kontrolör bilgisine dayanmaktadır. Elde edilen bu bilgilerin gösterimi öncelikle kurallar biçiminde karar ağacında yapılmış, daha sonra Visual Basic programlama diline çevrilip programlanmıştır. Araç, kontrolörlerin çatışma çözümünü etkileyen faktörlerden 10 tanesini, ayırma stratejilerinden 8 tanesini kullanarak kontrolör bilgisini oluşturan birçok kurala göre çözümlerini üretmektedir. Bu çalışmada geliştirilen bilgi tabanlı aracın model tabanlı bir çatışma tespit ve çözüm sistemine entegre edilerek tam fonksiyonel olarak çalışması hedeflenmektedir. Elde aracı tam fonksiyonel kılacak böyle bir sistem olmadığı için aracın simülasyon değerlendirmeleri yapılamamıştır, fakat aracın muhtemel faydaları sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hava Trafik Kontrol, Karar Destek Sistemleri, Çatışma Çözümü, Kontrolör Bilgisi

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **THE RESOLUTION OF CONFLICTS IN AIR TRAFFIC EN ROUTE CONTROL SECTOR BY KNOWLEDGE BASED DECISION SUPPORT TOOL**

**Metin ÖZGÜR**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Civil Aviation Program**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aydan CAVCAR**

**2007, 106 pages**

The subject of this thesis is a knowledge based decision support tool that was designed for the resolution of dual conflicts detected in air traffic en route control sector. The resolution method of the tool is based on expert air traffic controller knowledge that was obtained from literature research. The representation of this knowledge was firstly made in the form of decision tree, then transformed into Visual Basic programming language and programmed. The tool produces its resolutions by using 10 types of factors affecting controller conflict resolution and 8 types of separation strategies according to several rules form the controller knowledge. The knowledge based tool developed in this study is expected to be fully functional after being integrated into a model based conflict detection and resolution system. Because of unavailability of such a system that can make the tool fully functional, simulation evaluations couldn't be done but expected benefits of the tool was presented.

**Keywords:** Air Traffic Control, Decision Support Systems, Conflict Resolution, Controller Knowledge

## TEŞEKKÜR

Tezim süresince beni yönlendiren, yardımlarını esirgemeyen ve duyduğu güvenle bana manevi destek veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Aydan CAVCAR'a, bilgi tabanlı karar destek aracının yazılımını hazırlamakta bana büyük yardımları dokunan hocam Sayın Nezir KARADAYI'ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her konuda bana güven duyan, desteği, sabrı ve anlayışı hiç tükenmeyen sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Metin ÖZGÜR

Haziran, 2007

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. BİLGİ SİSTEMLERİ</b>	<b>2</b>
2.1. Bilgi, Veri ve Sistem Kavramları .....	2
2.1.1. Bilgi ve veri .....	2
2.1.2. Sistem .....	3
2.2. Bilgi Sistemleri.....	4
2.2.1. Bilgi sistemi bileşenleri .....	4
2.2.2. Bilgi sistemi sınıfları .....	6
<b>3. KARAR DESTEK SİSTEMLERİ</b>	<b>8</b>
3.1. Karar Verme Süreci.....	8
3.1.1. Kararların yapısı .....	8
3.1.2. Karar vermeyi etkileyen faktörler.....	9
3.1.3. Karar verme safhaları .....	10
3.1.4. Kararların modellenmesi .....	11
3.2. Karar Destek Sistemleri.....	12
3.2.1 Karar destek sistemlerinin genel özellikleri .....	13
3.2.2. Karar destek sistemi sınıfları .....	14
3.2.3. Karar destek sistemi bileşenleri .....	15
3.2.3.1. Veri yönetimi alt sistemi .....	16

3.2.3.2. Model yönetimi alt sistemi.....	17
3.2.3.3. Kullanıcı arayüzü yönetimi.....	19
3.2.3.4. Bilgi (knowledge) tabanlı yönetimi.....	19
<b>4. HAVA TRAFİK KONTROLDE KARAR DESTEK SİSTEMLERİ</b>	<b>22</b>
4.1. Hava Trafik Sistemi.....	22
4.2. Hava Trafik Kontrolde Karar Verme .....	24
4.3. Hava Trafik Kontrolde Karar Destek Sistemlerine Duyulan İhtiyaç ...	26
4.4. Hava Trafik Kontrolde Karar Destek Sistemlerinin Sınıflandırılması.	29
4.4.1. Kullanıldığı hava trafik kontrol birimine göre sınıflandırma .....	29
4.4.2. Fonksiyonlarına göre sınıflandırma.....	30
4.4.3. Otomasyon seviyesine göre sınıflandırma.....	32
4.4.4. Planlama ufkuna göre sınıflandırma.....	33
4.4.5. Kurulum yerine göre sınıflandırma .....	34
4.4.6. Tasarım felsefesine göre sınıflandırma.....	35
4.5. İnsan Merkezli Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları.....	36
4.6. Hava Trafik Kontrolde Karar Destek Sistemlerinden Örnekler.....	38
4.6.1. Trafik karmaşa ve yoğunluk azaltma.....	39
4.6.1.1. Taktik Yük Azaltıcı (TLS).....	39
4.6.2. Çatışma tespit ve uyarı sistemleri.....	40
4.6.2.1. Kullanıcı Talebi Değerlendirme Aracı (URET).....	40
4.6.2.2. Orta Vadeli Çatışma Tespiti (MTCDD).....	43
4.6.2.3. Yol Hava Trafikini Düzenleyici (ERATO).....	46
4.6.3. Çatışma çözücü sistemler .....	47
4.6.3.1. Problem Analiz, Çözüm ve Derecelendirme (PARR).....	47
4.6.3.2. Çatışma Çözüm Yardımcısı (CORA).....	50
4.6.3.3. Merkez -TRACON Otomasyon Sistemi Araçları (CTAS).....	52
4.6.3.4. Yüksek Etkileşimli Problem Çözücü (HIPS).....	54
4.6.4. Sıralama ve mesafelendirme.....	55
4.6.4.1. Varış Yönetimi (AMAN).....	55
4.6.4.2. Kalkış Yönetimi (DMAN).....	56

4.6.4.3. Merkez -TRACON Otomasyon Sistemi	
Araçları (CTAS).....	57
4.6.4.4. Yüzey Yönetimi (SMAN).....	59
4.6.4.5. Yüzey Yönetim Sistemi (SMS).....	60
4.6.5. Çarpışma önleme .....	63
4.6.5.1. Kısa Vadeli Çatışma Uyarı Sistemi (STCA).....	63
4.6.5.2. Minimum Emniyetli İrtifa Uyarısı (MSAW).....	64
4.6.5.3. Saha Yakınlık Uyarısı (APW).....	64
4.6.6. Rota uyum izleme .....	64
4.6.6.1. İzleme Yardımcıları (MONA).....	65
4.6.6.2. Uçuş Yolu İzleme (FPM).....	65

## **5. BİLGİ TABANLI KARAR DESTEK ARACININ**

### **GELİŞTİRİLMESİ 67**

5.1. Uygulamanın Amacı.....	67
5.2. Genel Kabuller .....	68
5.3. Aracın Ürettiği Çatışma Çözüm Tavsiyeleri .....	69
5.4. Çatışma Çözümünde Dikkate Alınan Kurallar.....	71
5.5. Çatışma Çözümünü Etkileyen Faktörler .....	72
5.5.1. Genel faktörler .....	73
5.5.2. Uçak performans faktörleri.....	78
5.6. Çatışma Çözümünün Modellenmesi .....	78
5.7. Aracın Yapısı ve Kullanımı.....	82
5.7.1. Bilgi tabanı .....	82
5.7.2. Veri tabanı .....	83
5.7.3. Kullanıcı arayüzü.....	84
5.8. Aracın Diğer Karar Destek Sistemleriyle Entegrasyonu.....	91
5.9. Aracın Faydaları .....	93
5.10. Aracın Eksikleri ve Geliştirilmesi Önerilen Fonksiyonları.....	96

## **6. SONUÇ 98**



**KAYNAKLAR ..... 101**

**EKLER..... 106**

EK. Çatışma çözümü için karar ağacı ..... 106

## ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Sistem ve bileşenleri .....	3
2.2. Bilgi sistemi bileşenleri ve faaliyetleri.....	5
3.1. Karar verme safhaları.....	10
3.2. Karar destek sistemi bileşenleri .....	16
4.1. Hava trafik kontrolörü karar verme süreci .....	25
4.2. URET R ve D pozisyonları .....	42
4.3. Planlama Pozisyonu Ekranı.....	45
4.4. MTCDD kullanım konsepti .....	46
4.5. PARR çözümünün grafiksel olarak gösterildiği URET plan göstergesi... 49	
4.6. PARR geciktirme uygulaması.....	49
4.7. HIPS kavramı .....	54
4.8. SMS harita göstergesi .....	62
5.1. Tırmanma safhası .....	73
5.2. Alçalma safhası .....	73
5.3. Seyir safhası .....	74
5.4. Aynı yönlü trafikler.....	74
5.5. Karşılıklı trafikler.....	75
5.6. Kesişen trafikler .....	75
5.7. Aracın ara yüz görünümünden bir örnek .....	84
5.8. Aracın ilk açılıştan itibaren 3 adımdaki görünümü.....	86
5.9. Uçak tipi seçim penceresinin açılması .....	87
5.10. Uçak tipinin seçilmesi .....	87
5.11. Uçuş seviyesi penceresi ve anlık uçuş seviyesinin seçilmesi.....	88
5.12. Tırmanılan seviye penceresinin açılması .....	89
5.13. Tırmanabilme imkanı seçim penceresi.....	89
5.14. Çözüm önerisinin sunulması .....	90
5.15. Çatışma çözümü için bilgi tabanlı karar destek aracının diğer karar destek sistemleriyle entegrasyonu.....	92

## ÇİZELGELER DİZİNİ

5.1. Karar ağacında kullanılan simgeler ve anlamları .....	79
5.2. Karar ağacındaki çatışma çözüm önerileri ve kodları.....	79

## KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACAS	: Havada Çarpışmadan Kaçınma Sistemi Airborne Collision Avoidance System
ADS-B	: Otomatik Bağımlı Gözetim- Yayın Automatic Dependant Surveillance
AERA	: İleri Yol Hava Trafik Kontrol Advanced En Route ATC
aFAST	: Aktif FAST Active FAST
AIP	: Havacılık Bilgi Yayını Aeronautical Information Publication
AIRPAC	: Tahmin edilen Çatışmalar için Zeki Çözüm Tavsiyecisi Advisor for the Intelligent Resolution of Predicted Aircraft Conflicts
AMAN	: Varış Yönetim Aracı Arrival Management
APREQ	: Onay talebi Approval request
APW	: Saha Yakınlık Uyarısı Area Proximity Warning
ART	: Desteklenmiş Çözüm Aracı Assisted Resolution Tool
ARTCC	: Hava Yolu Trafik Kontrol Merkezi Air Route Traffic Control Center
ASA	: Hava Trafik Hizmetleri için Otomasyon Desteği Automated Support to Air Traffic Services
ASDE-X	: Havaalanı Yüzey Algılama Teçhizatı Model X Airport Surface Detection Equipment Model X
ASM	: Hava Sahası Yönetimi Airspace Management

ASTA	: ATM Stratejik ve Taktik Tavsiye Aracı ATM Strategical and Tactical Advisor
ATC	: Hava trafik kontrol Air Traffic Control
ATFM	: Hava Trafik Akış Yönetimi Air Traffic Flow Management
ATP	: Desteklenmiş Deneme Planlama Aracı Assisted Trial Planning
ATS	: Hava Trafik Hizmetleri Air Traffic Services
BADA	: Uçak Veri Tabanı Base of Aircraft Data
CAASD	: İleri Havacılık Sistemi Geliştirme Merkezi Center for Advanced Aviation System Development
CALM	: Bilgisayar Destekli Yaklaşma ve İniş Sistemi Computer-assisted Approach and Landing System
CAP	: Ortaklaşa Varış Planlama Aracı Collaborative Arrival Planning
CAPE	: Bilgisayar Destekli Planlama Deneyi The Computer Aided Planning Experiment
CCAT	: Konfigürasyon değişim tavsiye aracı Configuration Change Advisory Tool
CDM	: Ortaklaşa karar verme Collaborative decision making
CENA	: Fransız Hava Seyrüsefer Araştırma Merkezi Centre d'études de la navigation aérienne
CFMU	: Merkezi Akış Yönetim Birimi Central Flow Management Unit
CNS	: İletişim, Seyrüsefer, İzleme Communication, Navigation Surveillance

COMPASS	: Bilgisayar destekli mesafelendirme planlama ve tavsiye sistemi Computer Oriented Metering Planning and Advisory System
CORA	: Çatışma Çözüm Yardımcısı The Conflict Resolution Assistant
CPDLC	: Kontrolör Pilot Veri Hattı İletişimi Controller Pilot Data Link Communication
CT	: Kontrolör Araçları Controller Tools
CTAS	: Merkez Terminal Radar Yaklaşma Kontrol Otomasyon Sistemi Center Terminal Radar Approach Control Automation System
D2	: Direkt Rota Aracı Direct-To Tool
DMAN	: Kalkış Yönetimi Departure Management
EATCHIP	: Avrupa Hava Trafik Kontrol Harmonizasyon ve Entegrasyon Programı European Air Traffic Control Harmonization and Integration Programme
EATMP	: Avrupa Hava Trafik Yönetim Programı European Air Traffic Management Programme
ECAC	: Avrupa Sivil Havacılık Konferansı European Civil Aviation Conference
EDA	: Yol alçalma Tavsiyecisi En Route Descent Advisor
EDCT	: Beklenen kalkış müsaade zamanı Expected Departure Clearance Time
EDP	: Elektronik Veri İşleme Electronic Data Processing

EDP	: Hızlı Kalkış Yolu Expedite Departure Path
EDP	: Çevresel Veri İşleme ve Dağıtma Environmental Data Processing and Delivery
ERATO	: Yol Hava Trafik Düzenleyici En Route Air Traffic Organizer
ETMS	: Geliştirilmiş Trafik Yönetim Sistemi Enhanced Traffic Management System
EUROCONTROL	: Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Organizasyonu European Organisation for the Safety of Air Navigation
FAA	: Federal Havacılık İdaresi Federal Aviation Administration
FACES	: Serbest Uçuş Otonom Düzenli Girişimli Çözücü Free-Flight Autonomous Co-ordinated Embarked Solver
FAST	: Son Yaklaşma Mesafelendirme Aracı Final Approach Spacing Tool
FDP	: Uçuş Veri İşleme ve Dağıtma Flight Data Processing and Delivery
FDPS	: Uçuş Veri İşleme Sistemi Flight Data Processing System
FFP	: Serbest Uçuş Safhası Free Flight Phase
FIR	: Uçuş Bilgi Bölgesi Flight Information Region
FL	: Uçuş Seviyesi Flight Level
FPM	: Uçuş Yolu İzleme Flight Path Monitor
GPWS	: Yere Yakınlık Uyarı Sistemi Ground Proximity Warning System
HIPS	: Yüksek Etkileşimli Problem Çözücü Highly Interactive Problem Solver

HMI	: İnsan Makine Ara Yüzü Human Machine Interface
KDS	: Karar Destek Sistemi
MAESTRO	: Optimizasyon Araştırması ile Trafiğin Hızlandırılması ve Sıralandırılması için Yardım Aracı Means to Aid Expedition and sequencing of Traffic with Research of Optimisation
MCTMA	: Çok Merkezli Trafik Yönetim Tavsiye Aracı Multi Center Traffic Management Advisor
MFT	: Sabit noktaya varış zamanı kısıtı Meter Fix Time
MIT	: Takip mesafesi Miles In Trail
MONA	: İzleme Yardımcıları Monitoring Aids
MSA	: Çok Sektörlü Alan Multi Sector Area
MSAW	: Minimum Emniyetli İrtifa Uyarısı Minimum Safe Altitude Warning
MSP	: Çok Sektörlü Planlanlayıcı Multi Sector Planner
MTCD	: Orta Vadeli Çatışma Tespit Aracı Medium Term Conflict Detection
NAS	: Amerika Ulusal Hava Sahası Natioanal Airspace
NASA	: Amerika Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi National Aeronautics and Space Administration
NM	: Deniz Mili Nautical Mile
NWS	: Amerika Ulusal Hava Servisinden National Weather Service



OLAP	: Çevrim içi analitik işleme On-line analytical processing
OLDI	: Çevrimiçi Veri Değişimi On-line Data Interchange
OPS	: Giden trafik Zamanlama Sıralayıcısı Outbound Punctuality Sequencer
PARR	: Problem Analizi, Çözüm ve Derecelendirme Aracı Problem Analysis, Resolution and Ranking
pFAST	: Pasif FAST Passive FAST
PHARE	: Eurocontrol Harmonize Hava Trafik Yönetim Araştırması Programı Programme for Harmonised Air-Traffic Management Research in Eurocontrol
PPD	: Planlama Pozisyonu Ekranı Planning Position Display
PPD	: Potansiyel Problem Göstergesi Potential Problem Display
PS	: Problem Çözücü Problem Solver
RIA	: Pist İhlali Uyarısı Runway Incursion Alert
RUP	: Pist Kullanım Planlayıcısı Runway Usage Planner
SMAN	: Yüzey Yönetimi Surface Management
SMS	: Yüzey Yönetim Sistemi Surface Management System
STARS	: Standart Terminal Otomasyon Yenileme Sistemi Standard Terminal Automation Replacement System
STCA	: Kısa Vadeli Çatışma Uyarı Sistemi Short Term Conflict Alert

TCAS	: Trafik Uyarı ve Çarpışmadan Kaçınma Sistemi Traffic Alert and Collision Avoidance System
TFM	: Trafik Akış Yönetim Traffic Flow Management
TLS	: Taktik Yük Azaltıcı Tactical Load Smoother
TM	: Trafik Yönetim Traffic Management
TMA	: Trafik Yönetim Tavsiye Aracı Traffic Management Advisor
TMC	: Trafik Yönetim Koordinatörü Traffic Management Coordinator
TRACON	: Terminal Radar Yaklaşma Kontrol Terminal Radar Approach Control
UPR	: Kullanıcı Tercihli Yönlendirme User Preferred Routing
URET	: Kullanıcı Talebi Değerlendirme Aracı User Request Evaluation Tool
VAW	: Dikey Yardımcı Penceresi Vertical Aid Window
VERA	: Doğrulama ve Çözüm Tavsiyesi Verification and Resolution Advisory
WSAS	: Rüzgar Shearı Kaçınma Sistemi Wind Shear Avoidance System

## 1. GİRİŞ

Gelişmiş toplumlar artık endüstri çağını aşmış bilgi çağına girmiştir. Bilginin hızlı ve doğru şekilde elde edilip, işlenmesi her toplum, kurum ve bireyin ilerlemesinin anahtarı durumundadır. Havacılık sektöründe de artan nüfus, ilerleyen teknoloji, vb. sebeplerle trafik yoğunluğu hızla artmaktadır. Öyle ki 2025 yılında hava trafik yoğunluğunun şu anki yoğunluğun iki katı olması beklenmektedir. Kapasitesi zaten doyma noktasına ulaşmış olan hava trafik sisteminin bu artışı hiçbir önlem alınmadan kaldırması olanaksızdır. Bu sebeple hava trafiğinin yönetiminde hava sahasının yeniden düzenlenmesi, prosedürlerin iyileştirilmesi, personelin eğitimi, iletişim, seyrüsefer, izleme sistemlerinin geliştirilmesi ve bilgi sistemlerinin geliştirilip kullanıma sunulması gibi önlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. İnsan hayatının söz konusu olduğu, hızlı ve doğru kararlar gerektiren gerçek zamanlı bir görev olan hava trafik kontrolünün de bir bilgi sistemi olan karar destek sistemleriyle desteklenmesi artık hayati bir zorunluluk haline gelmiştir. Şu ana kadar tasarlanan sistemler özellikle Amerika Birleşik Devletlerinde, hem kontrolör iş yükünü azaltmada hem hava trafik sisteminin verimliliğini, kapasitesini ve emniyet seviyesini arttırmada oldukça fayda sağlamıştır. Fakat son yıllarda geliştirilmekte olanlar hariç, diğer sistemlerin çalışma prensibinin sadece matematiksel optimizasyona dayanması, gerçek hayatta kontrolörlerin kullanmayacakları riskli çözümlerin üretilmesine böylece kontrolörlerin bu sistemlere güveninin azalıp, kullanımının engellenmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden çözümlerinde mevcut tekniklerin yanında insan bilgi ve deneyimlerini de kullanan karar destek sistemleri üzerine gidilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada geliştirilmiş olan bilgi tabanlı çatışma çözüm aracı mevcut karar destek sistemlerinin bu eksikliğini kapatmak üzere tasarlanmıştır.

## **2. BİLGİ SİSTEMLERİ**

Bilgi sistemi kavramının anlaşılması için öncelikle bilgi ve veri arasındaki ilişkinin açıklanması, sistem kavramının tanımlanması ve sistem öğelerinin incelenmesi gerekmektedir.

### **2.1. Bilgi, Veri ve Sistem Kavramları**

Bilgi ve veri kavramları birbirine çok karıştırılan kavramlardandır. Bilgi sistemlerinin başlıca unsurları olan bilgi ve veri arasındaki ilişki ve farkın ortaya konulması oldukça önem taşımaktadır.

#### **2.1.1. Bilgi ve veri**

Veri (data); kaydedilen, sınıflandırılan ve depolanan fakat özel bir anlam oluşturacak şekilde düzenlenmemiş olan nesnelere, olaylar, faaliyetler ve işlemler hakkındaki öğelerdir. Veri öğeleri sayısal, alfa sayısal, şekil, ses ya da resim halinde olabilir [1].

Bilgi ya da bilişim (information); alıcıda bir anlam ifade edecek şekilde düzenlenmiş veridir [1].

Bilgi (knowledge); veri ve/veya bilginin (bilişim) anlayış, tecrübe, ilim ve uzmanlığı ifade edecek şekilde düzenlenmiş ve işlenmiş halidir [1].

Veri, toplama, sınıflandırma, yeniden düzenleme, özetleme, saklama, yeniden elde etme ve iletme gibi işlemlerin tamamı ya da bir kısmından geçerek bilgiye dönüşmektedir [2].

Bilginin değer taşıması yani iyi bilgi olarak değerlendirilmesi için; istenilen konuyla ilişkili olması, doğru olması, zamanında elde edilebilmesi, tam olması, kolay erişilebilir olması, doğru biçimde sunulması gereklidir [2].

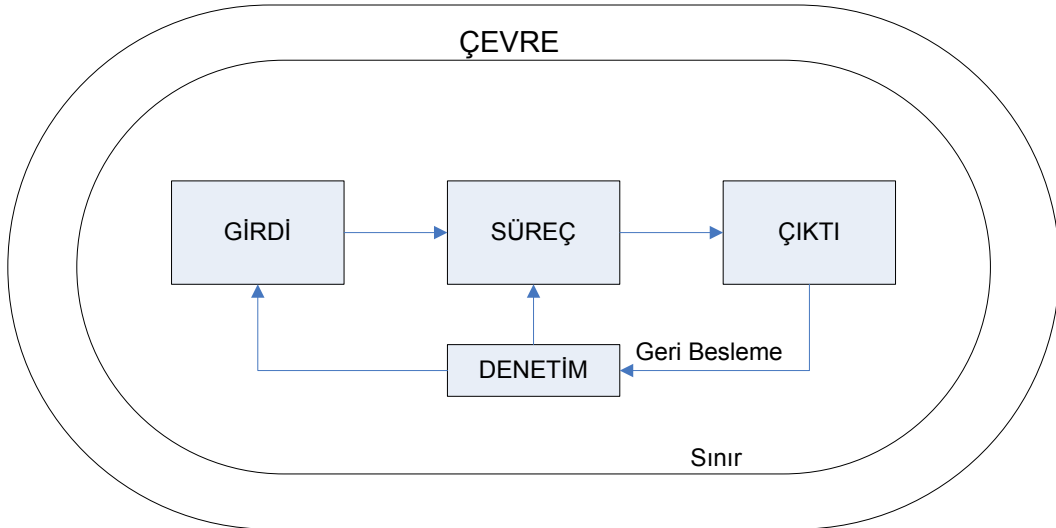
### 2.1.2. Sistem

Sistem, aralarında ilişkiler bulunan elemanların (insan, kaynak, prosedür, kavram, vb.) aynı amaca hizmet etmek üzere bir araya gelmesinden oluşan bütüne denir. Her sistem daha büyük olan başka bir sistemin içinde olduğu için sistemlerin hepsi alt sistemlerdir [1]. Sistemler çevrelerinden etkileniyorsa açık sistemler, eğer çevreyle etkileşimi kapalıysa kapalı sistemler olarak adlandırılır.

Sistemin girdi, işlem ve çıktı olmak üzere üç ana bileşeni mevcuttur. Ayrıca sistem, çevre ile etkileşim halinde olup, geri besleme ve denetim mekanizmasını da içermektedir. Denetimi yapan insan da sistemin bir parçası olarak düşünülebilir[2].

Şekil 2.1’de yer alan sistem bileşenlerini tek tek tanımlamak gerekirse [1]:

- Girdi: Sisteme giren elemanlara denir.
- İşlem/Süreç: Girdiyi çıktıya dönüştüren dönüşüm sürecine denir.
- Çıktı: Bitirilmiş ürün ya da sistemde yer almanın sonucudur.
- Geri besleme: Çıktı bileşeninden karar vericiye doğru olan sistem performansı ile ilgili bilgi akışıdır.



Şekil 2.1. Sistem ve bileşenleri

- Çevre: Sistem performansını ve dolayısıyla sistem hedefini etkileyen dış etkenlerdir.
- Sınır: Sistemi çevresinden, diğer sistemlerden ayıran fiziksel ya da sanal hattır.
- Denetim: Sistemin amaçları doğrultusunda işleyip işlemediğini belirlemek için geri beslemenin izlenmesini ve değerlendirilmesini kapsar.

Sistemler etkinlik ve verimlilik olmak üzere iki ana performans ölçütüne göre değerlendirilmektedir. Etkinlik, hedeflerin başarıma derecesidir. Bu nedenle ilgi alanı sistemin çıktısıdır (Örn; toplam satış ya da hisse başı kazanç). Verimlilik ise, çıktıları başarmak için girdilerin (kaynakların) kullanım ölçüsüdür (Örn; belli bir miktarda satışı gerçekleştirmek için ne kadar para harcandığı) [1].

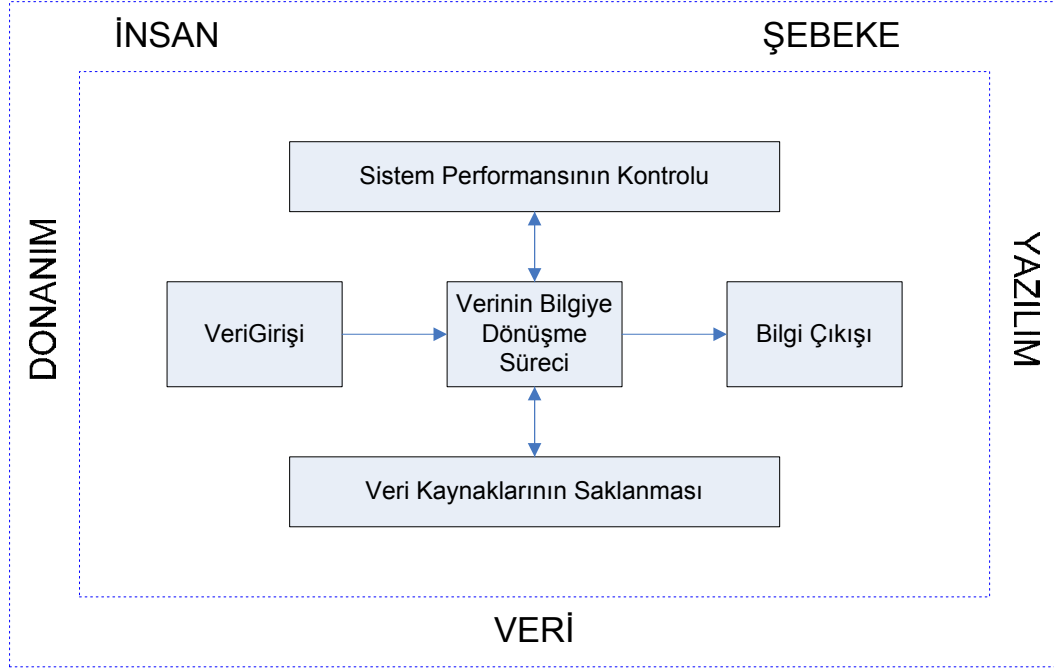
## **2.2. Bilgi Sistemleri**

Yukarıda bahsedilen bilgi ve sistem tanımları kullanılarak bilgi sistemi de kolaylıkla tanımlanabilmektedir.

Buna göre bilgi sistemi, veri kaynaklarını girdi olarak alıp işlemde geçiren ve sonuçta çıktı olarak bilgiyi üreten sistemdir (Şekil 2.2) [2]. Bilgi sistemleri yönetimi, denetimi ve karar vermeyi desteklemek gibi çeşitli amaçlar için bilgileri toplar, işler, depolar, analiz yapar ve dağıtır. Bilgi sistemleri modern organizasyonların vazgeçilmez unsurudur.

### **2.2.1. Bilgi sistemi bileşenleri**

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bilgi sisteminin ana faaliyetlerinin yanında donanım, yazılım, veri, şebeke ve insan gibi bilgi sistemi bileşenleri de verilmiştir.



Şekil 2.2. Bilgi sistemi bileşenleri ve faaliyetleri [2]

Donanım, bilgi sürecinde kullanılan tüm fiziksel araç ve malzemeleri kapsamaktadır. Bilgisayar sistemleri, klavye, hoparlör, yazıcı, diskler, iletişim ağları temel bilgi sistemi donanımlarındandır [2,3].

Yazılım, tüm bilgi işleme komutları kümesidir. Bilgisayar donanımını kontrol eden ve yönlendiren, işletim talimatları kümesinden oluşan programlar ve insanların ihtiyaç duyduğu bilgi işleme komutları kümesi yazılımı oluşturan unsurlardır [2,3].

Daha önce tanımlanan veri kavramı, bilgi sistemlerinde ham malzemeden daha fazla önem taşımaktadır. Veri, bilgi sistemlerinde genellikle alfa sayısal, metin, grafik ve resim olarak işlenmiş halde veritabanlarında saklı tutulmaktadır. İşletmelerin değerli bilgilerini içeren, organize edilmiş olan bu veriye erişim çok kolaydır [2,3].

Şebekeden (ağ) kasıt, internet, intranet ve extranet gibi iletişim ağlarıdır [2,3]. İnternet, bilgi paylaşımı amacıyla birbiriyle bağlantılı olan dünyaya yayılmış bilgisayarlardan oluşan ağıdır. İnternet ise yalnızca işletme içinde bilgi paylaşımı sağlanması amacıyla kurulan özel bilgisayar ağıdır. Extranet de işletme dışındaki yetkilendirilmiş kullanıcılara kadar genişletilmiş olan intranetlerdir [3].

Burada yer alan insan ise, sistemin son kullanıcısı ya da sistem uzmanıdır. Son kullanıcı bilgi sistemini ya da sistemin ürettiği bilgiyi kullanan insanlardır. Sistem uzmanları ise bilgi sistemlerini oluşturan, yürüten ve geliştiren sistem analistleri, programcılar ve bilgisayar operatörleri gibi kişilerdir [2].

### **2.2.2. Bilgi sistemi sınıfları**

İşletme yönetimlerinin çeşitli düzeylerde ihtiyaç duydukları bilgiyi üreten çeşitli bilgi sistemleri mevcuttur. Temel olarak en çok kullanılan şu altı grup mevcuttur [2]:

- Veri İşleme Sistemleri
- Ofis Otomasyon Sistemleri
- Bilgi Çalışanları Sistemleri
- Yönetim Bilgi Sistemleri
- Üst Yönetim Bilgi Sistemleri
- Karar Destek Sistemleri

Bu sistemlere ilaveten gelişmekte olan birçok yapay zekâ sistemleri gibi çok daha kapsamlı teknolojiler de kullanılmaktadır.

Aşağıda bu sistemlerin ne olduğu hakkında bilgiler kısaca verilmiştir [2].

Veri işleme sistemleri, işletmenin yürütmesi gereken günlük ve rutin işlemleri kaydeden, işleyen, güncelleştiren bilgisayarlı sistemlerdir. Genellikle çalışanlar tarafından verilerin girilmesi ve güncellenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Ofis otomasyon sistemleri, veri ve bilginin paylaşılmasını sağlayarak ofis çalışanlarının etkinliğini, hızını ve verimliliğini arttıran kelime işlemci, elektronik mektup, elektronik takvim, randevu, program ve planlama sistemi gibi unsurlardan oluşan sistemlerdir.

Bilgi çalışanları sistemleri, örgütte yeni bilginin yaratılması ve örgütün yeni bilgiyle bütünleşmesinde bilgi çalışanlarına destek sağlayan sistemlerdir. Bilgi çalışanları muhasebeci, mühendis, doktor, hukukçu vb. lisans, yüksek lisans mezunu meslek sahipleridir.



Karar destek sistemleri, ileri düzeydeki kolay tanımlanamayan yapısal ve yarı yapısal kararların alınmasında yöneticileri destekleyen sistemlerdir.

Yönetim bilgi sistemleri, örgütün güncel performans ve tarihsel kayıtlarına eşzamanlı olarak ulaşarak bazı örnekleri ve raporları yöneticilere sağlayarak orta düzey yönetime destek sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler, özellikle planlama, denetleme ve düzeltici yönetim faaliyetlerinde bulunabilmek için geliştirilmiş ve üretim, pazarlama, muhasebe, finans ve insan kaynakları gibi işletme işlevlerine ilişkin bilgileri çeşitli araçlar aracılığıyla yöneticilere sunan bir sistemdir.

Üst yönetim bilgi sistemleri, işletmenin vizyonu, misyonu, değerleri ve stratejileri gibi tamamıyla stratejik, karmaşık ve önceden programlanamayan kararların (yapılanmamış kararlar) alınmasında üst düzey yöneticilere destek sağlayan sistemlerdir.

Bu bölümde öncelikle “bilgi sistemi” isminde bulunan bilgi ve sistem kavramları incelenmiş daha sonra bilgi sisteminin tanımı, bileşenleri ve bilgi sistemi sınıfları verilmiştir. Bundan sonraki bölümde ise bilgi sistemlerinin bir türü (alt sınıfı) olan karar destek sistemleri ve karar destek sistemleri ile ilgili kavramlar incelenecektir.

### **3. KARAR DESTEK SİSTEMLERİ**

Karar destek sistemlerinin daha iyi anlaşılması için öncelikle karar verme kavramı ve karar vermeyle ilgili bazı bilgiler verilecektir.

#### **3.1. Karar Verme Süreci**

Karar verme, belirlenen hedeflere varmak için birden fazla eylem seçeneğinin olduğu durumda nasıl davranılacağına belirlenmesidir. Bir tane seçeneğin olduğu durumda karar problemi olmaz [1].

##### **3.1.1. Kararların yapısı**

Kararlar önceden programlanabiliyor olmasına göre yapılanmış, yarı-yapılanmış ve yapılanmamış kararlar olarak sınıflandırılır.

Yapılanmış kararlara programlanabilen kararlar da denir. Yapılanmış kararlar, konunun yapısına göre geliştirilmiş belirli bir kurallar dizisiyle (algoritma) kıvamlı seçeneğin bulunduğu kararlardır. Dolayısıyla, yapılanmış kararların bir adı da algoritmik kararlardır. Bu tür kararlarda, soruna belirli bir algoritma uygulanarak çözüme ulaşılır [3].

Birçok karar durumu, yarı yapılanmış karar özelliği taşır. Yarı yapılanmış karar durumlarında, sorunun bazı yönlerine belirli işlem dizileri (algoritma) uygulanabilir. Ancak, yalnızca bu kadarı karar için yeterli olmaz. Sorunun diğer bazı yönleri, tesadüfi nedenlere ve diğer ilişkilere bağlı olduğu için, devreye yöneticinin girmesi gerekir [3].

Yapılanmamış kararlara programlanamayan kararlar da denir. Karar alınacak duruma etki eden birçok rastlantıya dayalı etken ve ilişkiler nedeniyle, yapılanmamış kararlar, belirli işlem dizileri (algoritma) uygulanarak çözümlenemezler. Kararlar sezgisel, tecrübeye dayalı, deneme-yanılmaya, belirsiz nitel bilgiye dayalı olarak verilir [3].

Yapılanmamış kararlar için yazılım yapılamaması, bu tür kararların bilgi sistemlerinden yararlanamayacağı anlamına gelmez. Yönetici, bu tür kararları

alırken, kendi bilgi, görgü, deneyim ve sezgilerinin yanında, mevcut bilgi sistemlerinde de yararlanır [3].

### 3.1.2. Karar vermeyi etkileyen faktörler

Birçok çalışma kişilik ve karar verme arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Kişilik tipi hedef edinme, alternatifler seçme, risk alma ve stres altında davranış biçimlerini etkilemektedir. Kişilik ayrıca, işlenecek bilgi miktarını, zaman baskısının büyüklüğünü, iletişim yollarını da belirler.

“Gerçek renklere” göre yapılan kişilik sınıflandırmasına göre kırmızı, sarı, yeşil ve mavi olmak üzere 4 tip kişilik vardır ve hepsinin kendine özgü özellikleri vardır. Yeşil tip, direkt iletişimi ve insanlarla çalışmayı sever. Pazarlama uzmanları yeşil kişilik tipine girmektedir. Kırmızı tip, direkt iletişimi sever fakat sarı kişilik tipinde olduğu gibi ellerindeki göreve odaklı kalırlar. Bu tip kişiliğin grup lideri olma isteği baskındır. Sarı tip, dolaylı iletişimde daha rahattır ve detaylarla uğraşmayı sever. Onlar harika muhasebeci ve programcıdırlar. Mavi tip de dolaylı iletişimi sever. Ayrıca yenilikçi, yaratıcı, iç gözlem yeteneği gelişmiş bir tiptir fakat kolaylıkla dikkati dağılmaktadır yanında onu konsantre olmasını sağlayacak kişiler gereklidir. Mavi tip kişilik sahipleri harika birer araştırmacıdır. Yalnız onları sürekli projelerini devam ettirmeleri için uyaracak kişiler gereklidir[1].

Cinsiyet de az da olsa kararları etkileyen bir faktördür. Özellikle kararlarda ataklık, kalite, risk alma ölçüsü ve iletişim kalıpları iki cinste hafif farklılıklar gösterir. Başarı olasılığının bir ölçüsü olmamakla birlikte erkekler kadınlara göre risk almaya daha çok eğilimli gözükmektedir. Gerçekte kadınları ya da erkekleri daha iyi veya daha kötü karar vericiler diye bir sınıflandırma yapmak mantıksız görünmektedir [1].

Kişiler arası bilişsel farklılıklar da kararları etkileyen diğer bir faktördür. Biliş, bir kişinin gerçek çevresi ile beyninde oluşturduğu çevre arasındaki farklılıkları çözümüleme faaliyetleridir. Diğer bir ifadeyle biliş, bilgileri algılama ve anlama kabiliyetidir. Bilişsel modeller insan bilişsel sürecini açıklamak ya da anlamak için kullanılır. Herkesin bilişsel stili farklılıklar gösterir. Bilişsel stil

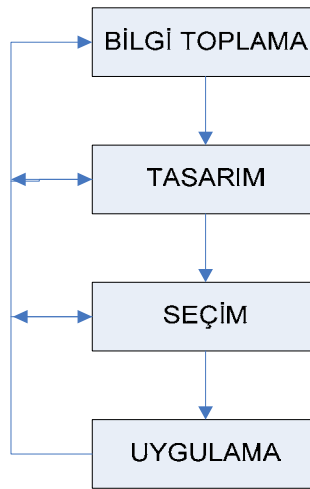
kişilerin karar verme sürecinde bilgileri algılama, düzenleme ve değiştirme yöntemini belirler. Yönetim stili olarak da adlandırılan bilişsel stil insan makine arayüzünün fayda ve verimliliğini belirleyen önemli bir faktördür. Bilgiler sıralı mı yoksa toplu şekilde mi veya çizelge halinde mi yoksa grafik halinde mi gösterilmelidir sorularının yanıtı sistem kullanıcısının bilişsel stilinde yatmaktadır[1].

### 3.1.3. Karar verme safhaları

Karar verme, bilgi toplama, tasarım, seçim, uygulama olmak üzere dört safhadan oluşmaktadır [1].

- Bilgi toplama (Intelligence), karar vermeyi gerektiren koşullarının araştırılmasıdır. Problem bu safhada belirlenir ve tanımlanır.
- Tasarım (Design), olası seçeneklerin bulunması, geliştirilmesi, analizini kapsar. Sistemi temsil eden model bu safhada oluşturulur.
- Seçim (Choice), modelin çözümü için en uygun alternatifin seçimidir.
- Uygulama (Implementation), kararın uygulanma safhasıdır.

Başarılı uygulama gerçek problemin çözülmesi ile sonuçlanır. Başarısız uygulamada ise önceki safhalara dönüş gerçekleştirilir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi gerçekte karar vermenin tüm safhalarında geri dönüş imkanı vardır.



Şekil 3.1. Karar verme safhaları [1]

### 3.1.4. Kararların modellenmesi

Model bir sistemin veya alt sistemin davranış gösterimidir. Karar verme sürecinde seçeneklerin türetilmesi veya var olan seçeneklerin değerlendirilmesi için problemin modellenmesi gerekir. Karar destek sistemlerinde en az bir model olmalıdır. Birçok farklı model sınıflaması olmakla beraber en genel olarak modeller, sistemleri ya da problemleri özetleme derecelerine göre üç başlıkta incelenir. Bunlar ikonik, analog ya da matematiksel modellerdir [4].

İkonik (uyuşum) model; gerçek sistemin fiziksel özelliklerini içerecek şekilde ölçekli biçimde küçültülerek yapılmış fiziksel modellere denir. Sistemle model arasında tamamen görsel bir uyum, aynılık vardır. Model, sistemin ölçekli olarak küçültülmüş veya büyütülmüş halidir. Örnek olarak gemi, uçak, bina maketleri, atom modeli, güneş sistemi maketi verilebilir [4].

Analog (benzeşim) modeli; gerçek sistemin davranışını temsil etmek amacıyla kurulan yarı görsel modeldir. Sistemle model arasında fiziki benzerlik yoktur ama model sistemin işleyişini görsel olarak temsil edecek biçimde kurulur. Örnek olarak grafikler, serim modelleri, elektrik devre şeması, şehir su şebekesi şeması vb. [4].

Matematiksel (simgesel) model; Gerçek sistemin matematiksel simgeler ve fonksiyonlarla ifade edildiği modeldir. Model ile sistem arasında hiçbir görsel benzerlik bulunmaz. Örnek olarak matematiksel denklemler, karar modelleri vb. verilebilir [4].

Matematiksel modeller açıklayıcı, kestirim, denklem ve karar modelleri olmak üzere 4 başlıkta incelenmektedir:

**1-** Açıklayıcı model: Aritmetik ortalama, korelasyon kat sayısı gibi grup verinin özet bilgilerle tasvir edilmesine olanak tanıyan, probleme ait açıklayıcılık kaygısı taşıyan bilgilerin türetildiği modeldir.

**2-** Kestirim modeli: Regresyon analizi, tahminleme vb. işlemlerde kullanılmak için bir grup veriden yararlanarak geleceğe dönük kestirimler yapmaya olanak tanıyan modeldir (Örneğin; talep tahmini modeli).

**3-** Denklem sistemleri: Eşitlik halindeki bir grup doğrusal veya doğrusal olmayan denklemden oluşan sistemdir.

4- Karar modeli: Bir karar problemindeki 4 bileşenin matematiksel fonksiyonlar halinde yazılması ile elde edilen modeldir. Karar modeli; amaç fonksiyonu, karar değişkenleri, kısıtlar ve parametrelerin yapısına bağlı olarak değişik isimlerle tanımlanır.

### 3.2. Karar Destek Sistemleri

İlk tanımlarda karar destek sistemi (KDS); yönetimdeki karar vericilere yardımcı yapılandırılmış karar durumlarında destek sağlayan bir sistem olarak ifade edilmiştir. KDS karar vericilere kendi kararlarını yenisi ile değiştirmelerine değil yeteneklerini geliştirmelerine yardımcı olur. KDS'lerin yargı gerektiren kararlarda ya da algoritmalar tarafından tamamen desteklenmeyen kararlarda kullanılması amaçlanmıştır. Tam olarak belirtilmemiştir fakat bilgisayar destekli, çevrim içinde etkileşimli olarak işletilebilen ve tercihen grafik çıktı alınabilme yeteneğine sahip olabileceği ima edilmiştir [1].

KDS için yapılmış olan tanımlardan bazıları şunlardır [1]:

- Yöneticinin karar vermesine yardımcı olmak için veri ve yargıları işlemeye yarayan modele dayalı prosedürler grubu,
- Geliştirilebilir, ad-hoc veri analizi ve karar modelleme desteğine sahip, geleceği planlamaya yönelik, düzensiz ve planlanmamış aralıklarla kullanılan sistemler,
- Etkileşim halindeki üç sistem olan dil sistemi, bilgi sistemi ve problem işleme sistemine sahip olan bilgisayara dayalı sistemler. Dil sistemi; kullanıcı ve KDS'nin diğer bileşenleri arasında iletişimi sağlayan mekanizmadır. Bilgi sistemi; KDS' de veri ya da prosedür halinde düzenlenmiş probleme dayalı bilgi havuzudur. Problem işleme sistemi; karar verme için gerekli olan bir ya da daha fazla genel problem işleme kabiliyetini içeren, diğer iki bileşen arasındaki bağlantıdır,
- Yalnızca öğrenme ve evrimin uyarlamalı süreçleri boyunca geliştirilebilen son sistemdir.

### 3.2.1. Karar destek sistemlerinin genel özellikleri

Henüz KDS'nin ne olduğu üzerine kesin bir fikir birliği olmadığından, KDS'nin karakteristiği ve kabiliyetleri üzerine de açıkça bir fikir birliği bulunmamaktadır. O nedenle aşağıdaki liste en ideal liste olarak meydana çıkmıştır. KDS'lerin birçoğu aşağıdaki özelliklere sahiptir [1]:

- KDS; bilgisayara geçirilmiş bilgileri ve insan yapısını bir araya getirerek, karar vericilere yarı-yapılandırılmış ve yapılandırılmamış olaylarda destek sağlar.
- Destek üst yönetimden alt yönetimlere doğru sıralanan çeşitli yönetim kademeleri için sağlanır.
- Destek hem bireyler hem de gruplara sağlanır. Birçok organizasyonla ilgili problem “grup karar destek sistemini” içerir. Daha az yapılandırılmış problemler farklı bölümlerden ve organizasyonla ilgili seviyelerden birkaç bireysel müdahaleye ihtiyaç duyar. KDS uygun olduğunda yönetimdeki bireyler arasında bütünleşmeye yardımcı olur.
- KDS; birkaç bağımsız ve/veya birbiri ardına gelebilen kararlar için destek sağlar.
- KDS; karar verme sürecinin tüm safhalarını (bilgi toplama, tasarım, seçim ve uygulama ) destekler.
- KDS; karar verme süreci ve değişkenlerini destekler. Bağımsız karar vericilerin nitelikleri ile KDS arasında uygunluk vardır.
- KDS; zamana uyumlu olmalıdır. Karar verici değişken şartlara adapte olabilmelidir. KDS kullanıcıların ekleme, çıkarma, birleştirme, iptal etme, değiştirme veya yeniden ayarlama yapabilmesi için esnek olmalıdır.
- KDS; karar vermenin hız ve verimliliğinden çok (kararın maliyeti, zaman, kalite) etkinliğini geliştirmeye yöneliktir.
- Karar verici, problem çözümündeki karar verme sürecinin tüm basamaklarını tamamlar. KDS özellikle karar vericiyi desteklemeyi amaçlar. Karar vericinin yerine geçme, yerini alma gibi bir işlevi yoktur.

Karar verici, sürecin herhangi bir safhasında yetkisini kullanarak bilgisayarın (ya da sistemin) tavsiyelerini geçersiz kılabilir.

### 3.2.2. Karar destek sistemi sınıfları

Geliştirilmesinin ilk yıllarında, karar destek sistemlerinin bütünleşik veri ağırlığı az, buna karşılık model ağırlığı fazlaydı. Zamanla bilgisayar ve veri tabanı teknolojisindeki ilerleme sayesinde çok miktarda veri açılımı yapılarak, yöneticinin karar almasını çok kolaylaştıran bir yapı oluşmuştur.

Karar destek sistemleri birçok bilim adamı tarafından değişik şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlardan biri sistem çıktısının içerdiği eylem derecesine göre olan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre bazı KDS'ler veri ağırlıklı, bazıları model ağırlıklı bazıları da karmadır [1].

Kimi bilim adamları sınıflandırma yaparken “ağırlıklı” kelimesini kullanmışlardır, kimileri bunun yerine “dayalı”, “tabanlı” veya “sürürlü” kelimelerini kullanmışlardır. Bütün bu terimler aynı sistemleri ifade etmek için kullanıldıklarından, bu terimler birbirinin yerine kullanılabilirler.

Daha sonra sistemler geliştikçe farklı sınıflandırmalar ortaya çıkmıştır. Bunlar [1]:

- Resmi (kurumsal) ve Ad-Hoc (özel) KDS
- Direkt ve dolaylı KDS
- Yazıya dayalı KDS
- Veri tabanına dayalı KDS
- Çözücüye dayalı KDS
- Hesap çizelgesine dayalı KDS
- Kurala dayalı KDS
- Bileşik KDS
- Bilgi (knowledge) tabanlı KDS (Zeki KDS)

Diğer KDS sınıflandırmaları ise [5]:

- Prosedürel/prosedürel olmayan sistemler
- Hipermetin sistemler

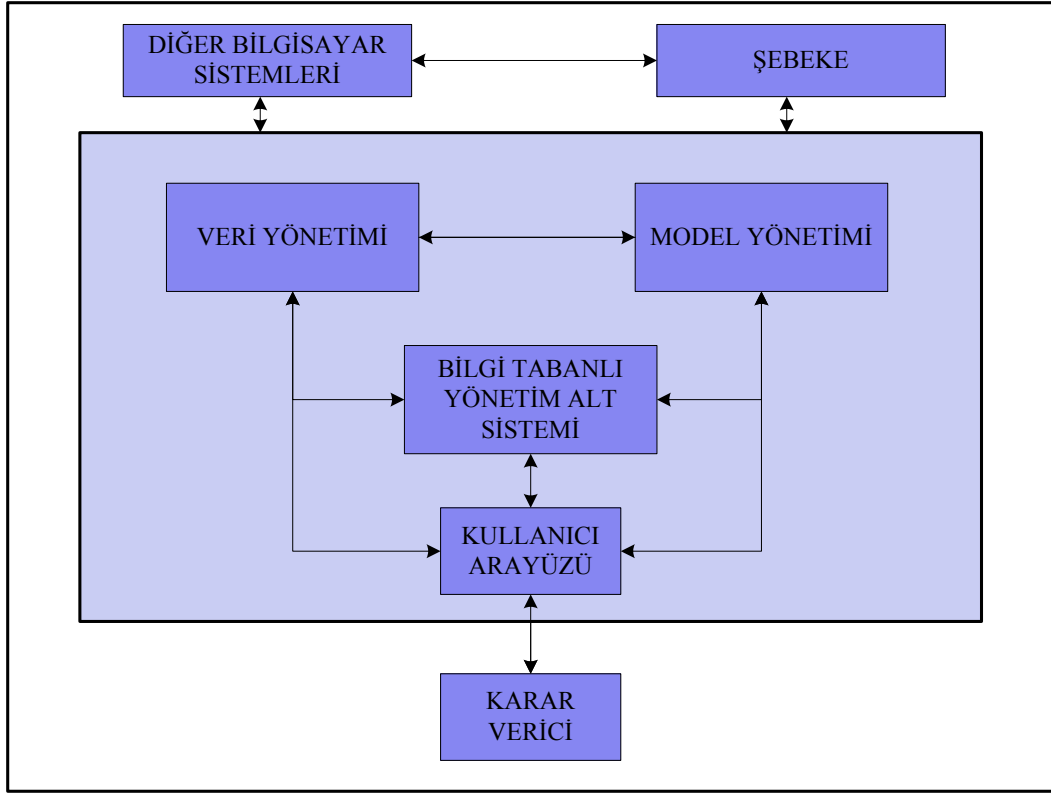


- Birey/Grup/Organizasyon destek sistemleri
- Hazır/Özel yapım sistemlerdir.

### 3.2.3. Karar destek sistemi bileşenleri

Karar destek sistemleri Şekil 3.1'den de takip edilebilecek olan aşağıdaki bileşenlerden oluşmuştur [1]:

- a) Veri yönetimi alt sistemi: Veri yönetimi alt sistemi olaylarla ilgili veri tabanını bulundurur ve veri tabanı yönetim sistemi diye adlandırılan bir yazılım ile yönetilir.
- b) Model yönetimi alt sistemi: Sisteme analitik yetenekler ve uygun yazılım yönetimi sağlayan finansal, istatistiksel, yönetim bilimleri veya diğer nicel modellerdir.
- c) Kullanıcı arayüzü alt sistemi: Kullanıcının iletişim kurabileceği ve KDS'ye kumanda edebileceği alt sistemdir.
- d) Bilgi (Knowledge) tabanlı yönetim alt sistemi: Bu alt sistem diğer üç alt sistemi destekler ya da bağımsız bileşen olarak görev alır. Her sistemde mevcut değildir. Bulduğu sistemler bilgi tabanlı karar destek sistemi sınıfına girer.
- e) Kullanıcı: Sistemi denetleyen, sistem ürününü alan kişidir. Kullanıcı veya yönetici, sistemin bir parçası olarak düşünülmektedir.



Şekil 3.2. Karar destek sistemi bileşenleri

### 3.2.3.1. Veri yönetimi alt sistemi

Veri yönetimi alt sistemi şu bileşenlerden oluşmaktadır [1]:

- KDS veri tabanı,
- Veri tabanı yönetim sistemi,
- Veri rehberi,
- Sorgu kolaylıkları.

Veri tabanı; birden fazla kişi tarafından birden fazla uygulama için kullanılacak organizasyonun yapısı ve isteklerine (ihtiyaçlarına) çeşitli yollarla cevap veren, organize edilmiş bilgi koleksiyonudur. Bilgi koleksiyonu, genelde uygulamanın bilgilerini içerir. Örneğin; çalışanların isimlerinin olduğu bir dosya veya müşteri listesi v.b. bazı dosyalar ise kapsamlı bilgiler içerir. Örneğin; adres, telefon veya her müşterinin özel bilgileri [1].

Veri tabanı yönetim sistemi; olarak adlandırılan yazılım programları ile veri tabanı oluşturulur, güncellenir ve kontrol edilir. Başlıca mikro veri tabanı yönetim sistemleri, DBASE IV, R Base 5000 ve ORACLE gibi sistemlerdir [1].

Veri rehberi; veri tabanındaki tüm verilerin bir katalogudur. Katalog özellikle karar vermenin bilgi toplama aşamasını, fırsatları veya problemi tanımlayarak destekler, veri maddelerini, kaynağını ve gerçek anlamının elde edilebilirliği hakkındaki soruları cevaplamak için veri tanımları ve asıl fonksiyonlarını içerir [1].

Sorgu kolaylıkları; veriye giriş temellerini içerir. Veriler için diğer KDS bileşenlerinden istek yapar, bu isteklerin nasıl yerine getirileceğini belirler, ayrıntılı istekleri formüle eder ve sonuçları isteği oluşturana cevap verir [1].

### **3.2.3.2. Model yönetim alt sistemi**

KDS'lerin model yönetim alt sistemi şu alt bileşenlerden oluşmaktadır [1]:

- Model tabanı,
- Model tabanı yönetim sistemi,
- Modelleme dili,
- Model rehberi,
- Model uygulama, bütünleştirme ve komut işlemcisi.

Model tabanı; çeşitli matematiksel karar modellerinin ve çeşitli sayısal açılım yöntemlerinin saklandığı dosyalar ve kütüphane bellekleridir. Örneğin; paket doğrusal programlama modeli, PERT ve CPM modeli, stok kontrol modeli gibi karar modelleri veri tabanlarında depolanır [3].

Model tabanı rutin ve istatistiksel, finans, optimizasyon, tahmin, amaç arama, eğer ne analizi, duyarlılık analizi ve KDS'de analiz yeteneği sağlayacak diğer sayısal modeller içerir. Model tabanındaki modeller dört ana kategoriye ayrılabilir: Stratejik modeller, Taktik modeller, Operasyonel modeller ve Analitik modeller [1].

Stratejik modeller, üst yönetimin stratejik planlama sorumluluğunu desteklemek için kullanılır. Potansiyel uygulamalar; tüm amaçların geliştirilmesi,

şirket birleşmeleri, üretim yeri seçimleri, çevresel etki analizleri ve rutin sermaye bütçelendirmelerini kapsar [1].

Taktik modeller, organizasyonun kaynaklarını kontrol ve tahsis için orta yönetime yardımcı olurlar. Satış, promosyon planlaması, çalışma gereksinimleri planlaması, fabrika binası belirlemeleri, rutin bütçe hesapları [1].

Operasyonel modeller, organizasyonların günlük çalışma aktivitelerini destekleme amaçlı kullanılırlar. Bankaların kişisel kredileri onaylaması, ürün planlaması(üretim planlaması), envanter kontrolü, bakım plan ve programlaması, kalite kontrol uygulamaları KDS için operasyonel modellere verilebilecek önemli örneklerdir [1].

Analitik modeller veri üzerinde analiz yapmak için kullanılır. İstatistiksel modeller, yönetim bilimleri modelleri, veri madenciliği algoritmaları, finansal modeller, vb. modelleri içerirler [1].

Modelleme dilleri; C++, Java gibi programlama dillerinin yanında çevrim içi analitik işleme (OLAP-On-Line Analytical Processing) gibi yazılımlarla da modeller oluşturulabilir [1].

Model tabanı yönetim sistemi; programlama dilleri, KDS araçları, vb. kullanarak model yaratmak, modelleri güncellemek ve değiştirmek için kullanılan yazılımdır [1].

Model rehberi; model tabanındaki modeller ve diğer yazılımların katalogudur. Model tanımlamalarını içerir ve ana görevi modellerin uygunluğu ve yeteneği sorularına yanıt vermektir [1].

Model uygulama; modelin gerçek çalışmasını kontrol etme işlemidir. Model birleştirme; birkaç modelin işlemlerini bir araya toplama ya da KDS'yi diğer uygulamalarla bütünleştirme işlemidir. Model komut işlemcisi ise kullanıcı arayüzü bileşeninden gelen model komutlarını kabul etmek, tercüme etmek ve onları model tabanı yönetim sistemine, model uygulama, birleştirme fonksiyonlarına yönlendirmektir [1].

### 3.2.3.3. Kullanıcı arayüzü alt sistemi

“Kullanıcı Arayüzü” kelimesi, kullanıcı ve KDS arasındaki tüm iletişim anlamına gelir. Kullanıcı arayüzü KDS bileşenleri içerisinde en önemlilerinden biridir. Arayüz bileşeni KDS’yi daha güçlü, esnek ve kullanım kolaylığına sahip hale getirmektedir [1].

Arayüz ile sağlanan diyalog süreci kendi içerisinde şu üç bölüme ayrılmıştır:

- Eylem dili
- Gösterim dili
- Bilgi tabanı

Eylem dili; kullanıcıların sistem ile etkileşimi için ne yapabileceğidir. Bilgi girişi (veri girişi) seçeneğini kapsar. Klavye kullanımı, fonksiyon düğmeleri, dokunmatik paneller (detay düğmeleri), fare, joystick kullanımı, sesli uyarı ve yazılı dokümanları için optik okuyucuları kapsar.

Gösterim veya sunum dili; kullanıcının gördükleri ve duyduklarıdır. Gösterim dili, gösteri ekranı, grafikler, plotterler ve ses vericilerini kapsar. Çalışmalar, sağlanan gösterimin, kararın kalitesini ve kullanıcının sistemi algılaması üzerindeki etkiyi göstermektedir. Desteklenen kararlar için ve sistemin kullanıcısı için uygunluğunu sağlamak son derece önemlidir.

Bilgi tabanı, kullanıcının sistemi kullanmak için bilmesi gerekenleri içerir. Bilgi tabanı, kullanıcının sistemi etkili bir biçimde kullanması ve oturumu açması için gerekli kullanıcı ihtiyaçlarını içerir. Kullanıcının kendi bilgisi, referans kartları veya talimat broşürleri, kullanıcı el kitabı veya “yardım” seçeneklerini kapsar [1].

### 3.2.3.4. Bilgi (knowledge) tabanlı yönetim alt sistemi

Birçok yapılandırılmamış ve yarı yapılandırılmış problem öyle karmaşıktır ki çözülmesi uzmanlık gerektirir. Uzman bir konu hakkında derin bilgiye sahip kişidir. Uzman bir problemin çözümünü bulabilmek için doğru soruları sorarak kafasında çözümü canlandırır. Karmaşık yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış problemlerin çözümünde ya uzmanlar ya da uzmanların bilgi birikimini kullanan

uzman sistemler/yapay zekâ sistemleri kullanılır. Bu nedenle ileri KDS'ler bilgi tabanlı yönetim alt sistemi adlı bileşene sahiptir. Bu bileşen problemin bazı yönlerinin çözümü için gerekli uzmanlığı ve diğer KDS bileşenlerinin işletimini geliştirecek bilgiyi temin eder. Böyle bir bileşene sahip olan karar destek sistemi zeki KDS, uzman destek sistemi, aktif KDS ya da bilgi tabanlı KDS olarak adlandırılır [1].

Bilgi tabanlı karar destek sistemlerinin özelliklerini genel olarak şöyle sıralayabiliriz [6]:

- Diğer karar destek sistemlerinde olduğu gibi bilgi tabanlı karar destek sistemleri de insanın (yöneticinin) yerine geçmez ona yardımcı olur.
- Sistem kurallar, ilişkiler ya da olasılıklar olarak depolanmış bilgiyi kullanmaktadır.
- İnsanlar bilgi tabanlı karar destek sistemini özel karar görevlerinde kullanırlar.
- Bilgi tabanlı karar destek sistemlerinin tavsiyeleri insan uzmanlardan elde edilen bilgiye dayalıdır ve çok sınırlı bir alandaki görevlere yardım eder.
- Bilgi tabanlı karar destek sistemleri görevle ilgili depolanmış bilgiyi işlerler ve düşünmezler.

Bilgi tabanlı karar destek sistemleri diğer geleneksel karar destek sistemlerinden bilginin sunulma ve işlenme yöntemi bakımından ayrılırlar.

- Model tabanlı KDS bir olaya cevap verirken önceden tanımlanmış sıralı talimatları takip ederken; uzman sistem teknolojisine dayalı olan bilgi tabanlı KDS ise bilgi tabanı ve problem çözümü için mantık kurallarını kullanarak olaya çözüm bulur.
- Geleneksel model tabanlı KDS'ler çözüm üretiminde matematiksel ve istatistiksel yöntemleri kullanırken; bilgi tabanlı KDS'ler çözüm tavsiyesi üretirken sezgisel ipuçlarını (heuristics) kullanırlar. Heuristic, sonuçlardaki çeşitli oranlarda olan belirsizlikleri tanımlayan tahmin yöntemidir.

- Model tabanlı KDS'ler yapısal veritabanı ve matematiksel modellere sahipken; bilgi tabanlı KDS'ler ise bilgi tabanı ve çıkarılma motoru modeline sahiptir.

Bilgi tabanlı sistemlerde kullanılan bilgi, tanıtan kural (declarative rule) ya da diğler adıyla bilgi kuralı ve çıkarım kuralı (inference rule) ya da diğler adıyla prosedürsel kural olarak iki farklı kural biçiminde yer alabilir. Tanıtan kurallar problemle ilgili tüm gerçekleri ve ilişkileri ortaya koyar. Çıkarım kuralları ise belli gerçekler bilinirken problemin nasıl çözüleceğı hakkında tavsiye verir. Tanıtan kurallar bilgi tabanında, çıkarım kuralları ise çıkarım motorunda yer alır[1].

Bilgi tabanlı bir KDS üretmek için uzmanlardan elde edilen bilgilerin gösterimi çok çeşitli şekilde yapılabilir. Bunlar; üretim kuralları şeklinde, çıkarım kuralları şeklinde, semantik ağlar şeklinde, çerçeveler (kareler) halinde, nesne tabanlı olarak, yüklem hesabı, karar çizelgeleri şeklinde ve karar ağacı şeklinde gösterimdir [1].

Bir uzman sistem ya da bilgi tabanlı KDS kullanmanın birçok faydası vardır[6]:

- Karar vermede tutarlılığı artırır,
- Kuralları, yönergeleri uygulatır,
- Uzmanlığı uzman olmayan personele dağıtır,
- Uzmanlar emekli olduklarında ya da istifa ettiklerinde çok değerli olan uzmanlıkları şirketin elinde tutulur.

Bu bölümde karar verme süreci ve karar verme ile ilgili konular incelenmiştir. Daha sonra karar destek sistemleri tanımı, KDS'lerin özellikleri, KDS sınıfları ve bileşenlerine yer verilmiştir. Genel olarak KDS'nin ne olduğu anlaşıldıktan sonra sıra hava trafik kontrolde karar destek sistemlerine gelmiştir. Bundan sonraki bölüm hava trafik kontrol, hava trafik kontrolde kullanılan karar destek sistemleri ve ilgili diğler konuları içermektedir.

## **4. HAVA TRAFİK KONTROLDE KARAR DESTEK SİSTEMLERİ**

Hava ulaşımına olan talebin artışı hava trafik sisteminin kapasitesini zorlamaktadır. Bu kapasite probleminin üstesinden gelmek için hava sahasının yeniden organizasyonu, prosedürlerin iyileştirilmesi yanında karar destek sistemlerinin kullanılması gibi yöntemlere başvurulmaktadır. Hava Trafik Yönetiminin (ATM- Air Traffic Management) bileşenleri olan hava sahası yönetimi ve hava trafik akış yönetiminde de kullanılan karar destek sistemleri olmasına rağmen bu tezin kapsamı sebebiyle sadece çevrim içi olarak (uçakların uçuşu esnasında) hizmet veren ATM'nin diğer bileşeni olan hava trafik kontrol hizmetinde kullanılan karar destek sistemlerine yer verilecektir. Bunun için öncelikle hava trafik yönetimi, hava trafik sistemi kavramlarının anlaşılması, hava trafik kontrolde karar verme sürecinin incelenmesi gerekmektedir. Ancak o zaman karar destek sistemlerine duyulan ihtiyaç ve mevcut sistemler de anlaşılabilir.

### **4.1. Hava Trafik Sistemi**

Genel olarak sistem ile ilgili tanımlar 2. bölümde verilmiştir. Bu tanımlarda olduğu gibi hava trafik sisteminin de girdi, işlem, çıktı ve çevresel etkenleri ile geri besleme mekanizması ve denetimi mevcuttur. 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 [7].

Aynı zamanda bir hizmet üretim sistemi olan hava trafik sisteminin amacı hava araçlarının uçuşlarını emniyetli, verimli ve ekonomik şekilde gerçekleştirmelerini sağlamaktır. Bu amaçların gerçekleştirilmesi ise hava trafik yönetimi ile sağlanmaktadır.

Hava trafik yönetimi, operasyonlarının tüm safhalarında uçakların emniyetli, verimli ve ekonomik şekilde hareketini temin etmek için hava ve yere dayalı fonksiyonlarının (hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi, hava trafik akış yönetimi) tamamıdır [8]. Diğer bir deyişle hava trafik yönetimi, hava trafiğini



etkin şekilde kontrol etmek için mevcut tüm kaynakların optimum kullanılmasıdır[7].

ATM, hava trafiğinin kronolojik ve hiyerarşik yapısına göre (en uzun planlama ufkundan en kısaya doğru) sırasıyla önce hava sahası yönetimi (ASM-Airspace Management), daha sonra hava trafik akış yönetimi (ATFM-Air Traffic Flow Management), son olarak hava trafik hizmetlerinden (ATS-Air Traffic Services) oluşur. Hepsi kendi içinde alt bölümlere ayrılmaktadır.

Hava sahası yönetimi, yaklaşık birkaç hafta sonrası ile 20 yıl sonrası arasındaki zamanda yer alan faaliyetlerin planlandığı bir süreçtir. Bu süreçte talep ve kapasiteyi dengeleyecek şekilde yeni teknolojilerin geliştirilmesi, ulusal ve uluslararası politikaların yenilenmesinden kaynaklanan hava sahasının yeniden tasarlanması, düzenlenmesi gibi planlama ve uygulama faaliyetleri yer alır. Ayrıca yeni hava alanları, hava yolları, seyrüsefer yardımcılarının tesis edilmesi de bu safhada yer alır [7].

Kontrol döngüsündeki diğer safha hava trafik akış yönetimi faaliyetleridir. Hava trafik akış yönetimi, kapasitenin en iyi şekilde kullanıldığını ve trafik hacminin ilgili ATS otoriteleri tarafından ilan edilen kapasiteleri aşmadığını garantileyerek emniyetli, düzenli ve hızlı bir trafik akışına katkıda bulunmak amacıyla tesis edilmiş bir hizmettir [8]. Zaman ufku birkaç haftadan birkaç ay sonrasına kadar uzamaktadır. Avrupa'da ATFM stratejik, ön taktik ve taktik ATFM olmak üzere üç safhadan oluşur.

Stratejik ATFM'de uçuştan aylar önce rotalar ve trafik oryantasyonu trafik talep programı temeline oturtulur. Ön taktik ATFM'de ise uçuştan 1 veya 2 gün önce stratejik planlar yenilenir. Taktik ATFM'de uçuş planlarına göre trafik yoğunluğu belirlenir, buna göre slotlar tahsis edilir veya yeni yol önerileri sunulur. Taktiksel planlama aşamasında; trafik talebine göre sektörler açılır, sektör planlamacısı giriş uçuşlarını ayırır ve çıkış durumlarına karar verir. Sektör planlayıcısı verimli bir trafik planı yaratır ve planlama uçuş veri işleme sistemi (FDPS-Flight Data Processing System), çevrimiçi veri değişimi (OLDI-On-Line Data Interchange) ve prosedürler tarafından desteklenir [7].

ATM'in son safhası olan hava trafik hizmetleri; uçuş bilgi hizmeti, uyarı hizmeti, hava trafik tavsiye hizmeti ve hava trafik kontrol hizmetlerini ifade eden

genel bir terimdir [8]. Zaman ufkunun en sonunda olan hava trafik kontrolde gerçek zamanlı olarak trafik yönetimi söz konusudur.

Hava trafik kontrol hizmeti, uçakların birbiri ile ve manevra sahasındaki engellerle çarpışmalarını engellemek, aynı zamanda düzenli bir hava trafik akışını hızlandırmak ve muhafaza etmek amacıyla verilen bir hizmettir [8].

Hava trafik kontrol (ATC- Air Traffic Control) saha, yaklaşma ve meydan kontrol birimlerinden oluşmaktadır. Meydan kontrol birimi meydan manevra sahasında hareket eden tüm trafiklerin ve civarındaki (yaklaşık 5 deniz mili yarıçaplı kontrol bölgesindeki) hava araçlarının birbiriyle, manevra sahasındaki engellerle çarpışmalarını önlemek ve düzenli bir trafik akışını sürdürüp, hızlandırmak amacıyla hizmet vermektedir. Yaklaşma kontrol birimi, uçak çarpışmalarını engellemek, trafik akışını sürdürmek ve hızlandırmak suretiyle; bir veya birkaç hava alanından kalkan ve hava alanına inmek üzere yaklaşan kontrollü uçuşlara, kalkış trafiğini tırmandırarak yola bağlamak, iniş trafiğini ise alçaltarak inmek üzere meydan kontrol birimine devretmek üzere hizmet veren bir birimdir. Saha kontrol birimi (ya da yol kontrol) ise düzenli bir trafik akışını sürdürmek ve hızlandırmak amacıyla kontrollü uçaklara Uçuş Bilgi Bölgesi (FIR- Flight Information Region) içerisindeki hava yollarında hava trafik hizmeti vermek üzere tesis edilmiş bir birimdir.

#### **4.2. Hava Trafik Kontrolde Karar Verme**

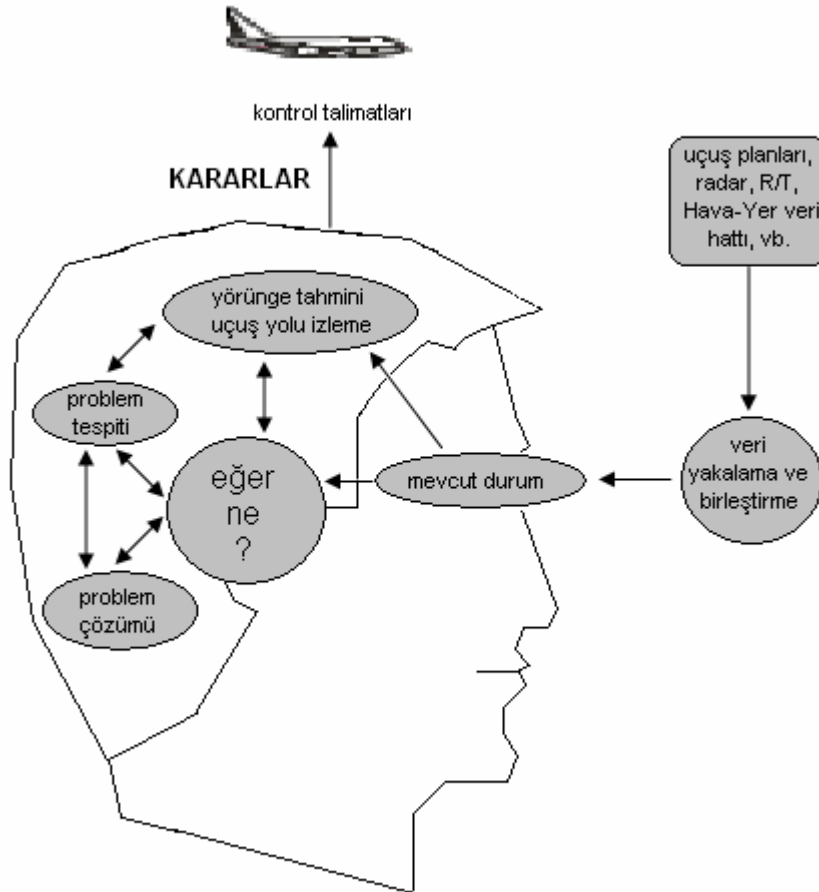
Hava trafik kontrolörleri hava trafik akışının emniyetinden, düzeninden ve hızından sorumludurlar. Kontrolörler emniyeti uçaklar arası minimum ayırma mesafesini koruyarak sağlarlar. Ayırma mesafesi birim ve sektörlere göre farklılıklar gösteren hız kontrolü, irtifa değişikliği, radar vektörü, bekleme paterni gibi farklı ayırma teknikleri kullanılarak elde edilir.

Emniyetin yanı sıra trafik akışının hız ve verimliliğini temin etmek de kontrolörün amacıdır. Bu çelişen amaçlara ulaşmak birçok karmaşık prosedür, plan, karar, iletişim ve koordinasyon faaliyetlerinin en iyi şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Bu da kontrolörlerin çalışma ortamını çok karmaşık ve dolayısıyla hatalara yatkın hale getirmektedir.

Hava trafik kontrolörleri çoğunlukla aşağıdaki gibi dolaylı yollardan elde edilen bilgilerle kararlarını verirler [9]:

- Uçuştan önce elde edilen bilgiler,
- Yere dayalı tesislerin algıladığı bilgiler,
- Uçak transponderlarından elde edilen bilgiler,
- Karşılaştırılmış veriden hesaplanan bilgiler,
- Radyo vasıtasıyla pilot tarafından iletilen bilgiler,
- Diğer kontrolörler tarafından telefonla iletilen bilgiler.

Bu bilgiler insan makine arayüzü ile kontrolörlere iletilir. Şekil 4.1’de orta vadeli gelecek tahminine dayalı olarak kontrolörün karar verme süreci resmedilmektedir. Buna göre kontrolör yukarıda da açıklanan verileri yakalar ve bunları zihninde bir anlam oluşturacak şekilde birleştirir. Mevcut durumu analiz edip kavrar. Bundan sonraki her aşamada eğer-ne sorgulamasını gerçekleştirir.



Şekil 4.1. Hava trafik kontrolörü karar verme süreci [9]

Yörünge tahmini ve uçuş yolu izleme görevi ile devam eden kontrolör karar verme süreci, problemin tespit edilmesi ve çözülmesi sonucunda verilen kararların kontrol talimatları olarak pilota iletilmesi ile sonlanır.

### **4.3. Hava Trafik Kontrolde Karar Destek Sistemlerine Duyulan İhtiyaç**

Mevcut hava trafik kontrol sisteminde uçuşların emniyetinden tamamen kontrolörler sorumludur. Fakat insan beyninin doğal yapısından dolayı kontrol döngüsünde kontrolör, kapasiteyi kısıtlayan bir faktördür. Kontrolör belli bir düzeyde bilgiyi işleyip doğru kararlar verir. İş yükü gittikçe artan hava trafik kontrolörlerinin emniyeti temin etmesi zorlaşmaktadır. Trafik yükünün büyük çoğunluğunu yüklenen taktik kontrolörün kapasitesi sınıra ulaştığında otomatik olarak sektör kapasitesi de sınıra gelmektedir. Bunun üstesinden gelmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin; hava sahası sektörlere ayrılarak kontrol görevi diğer kontrolörlere paylaştırılmakta, böylece kontrolör iş yükünde azalma sağlanmaktadır. Fakat günümüzde hava sahası özellikle merkezi yerlerde öyle bir doyum noktasına gelmiştir ki herhangi bir sektör ilavesi, meydana getirdiği ek koordinasyon gerekliliği dolayısıyla kontrolör iş yükünü azaltmak yerine arttırmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için yoğun saatlerde slot tahsisi gibi akış kontrol tedbirleri uygulanmaktadır. Fakat bu da hava trafik akışının yavaşlaması anlamına gelmektedir. Günümüzde bile yönetimi tıkanmalarla sonuçlanan hava trafiğinin, 2025 yılına kadar mevcut yoğunluğunun ortalama iki katına ulaşmasıyla birlikte; eğer gerekli önlemler alınmazsa tamamen kontrol dışı kalması kaçınılmazdır. Varılan bu noktada daha fazla uçağı kontrol edebilmek, artan talebi karşılamak ancak kontrolör ekibinin verimliliğini arttırmakla sağlanacaktır. Bunu başarmak için kontrolör adaylarının gördükleri eğitimlerin kalitesini arttırmanın yanında en hayati önlem kontrolör görevlerinin otomasyon oranının arttırılmasıdır.

Bunun için de genel olarak şu üç alanda otomasyon desteğı gerekmektedir[9]:

- İnsan- makine arayüzü,
- Koordinasyon,
- Karar verme.

### **A. İnsan makine arayüzü**

Otomasyon sistemlerinin emniyet ve etkinliği iyi bir insan makine arayüzüne bağlıdır. Çünkü bu arayüzler insan ile makinenin iletişimini ve verinin kavranmasını sağlar. Veri gösterimi ve girişi kâğıt striplerden sentetik radar ekranlarına kadar büyük bir gelişim göstermiştir [9].

### **B. Koordinasyon**

ATC görevinin karmaşık ve geniş yapısı dolayısıyla karar verme işleminin birçok kontrolöre dağıtılması gerekmektedir. Bu hava sahasının coğrafik olarak ayrılmış alt sistemlere ayrılması ile sağlanır. Karar verme işleminin bu şekilde dağıtılması kontrolörler arası bilgi ve faaliyetlerin paylaşılması için koordinasyonu gerekli kılar. Koordinasyon desteği kontrolörler arası telefon hatlarından sistemler arası veri hatlarına kadar büyük bir gelişim göstermiştir [9].

### **C. Karar verme**

Kontrolörün hava trafiğinin emniyet, hız ve düzenini temin etmesi trafiğin şu anki durumunu iyi kavrayıp, gelecekteki durumunu doğru tahmin edip oluşabilecek sorunları tespit ederek, çözüm için doğru kararlar vermesine bağlıdır. Uygun çözümlerin üretilmesi için karar vermede kontrolöre destek sağlayacak sistemler geliştirilmesi otomasyonun bir parçasıdır. Fakat burada bahsedilen otomasyon yarı otomasyondur. Geliştirilen sistemler kontrolörün yerine geçmek üzere değil onlara sadece yardımcı olmak üzere tasarlanmaktadır. Karmaşık bir görev olan hava trafik kontrolünün tamamen otomasyonunun sağlanması şimdilik çok uzak bir hedefdir. Bu yüzden karar destek sistemleri üstüne yoğunlaşmaktadır. Özellikle şu alanlarda kontrolöre karar desteği üzerinde ciddi çalışmalar yapılmaktadır:

- Yörünge tahmini: Uçakların olası çarpışma durumları, hava sahası ihlalleri gibi problemlerin erken tespiti için uçakların sonraki pozisyonlarının hesaplandığı yörünge tahmin işlemi tüm karar destek sistemleri için anahtar vazifesi görmektedir. Ayrıca trafik yoğunluğunun belirlenmesi için de yörünge tahminine gerek vardır. Yüksek işlemci gücü, uçak performans verisi, çevresel veri ve pilot niyet bilgisinin

olması yörünge tahmininin etkinliğini sağlayan faktörlerdir. Sistemlerin yörünge tahmin yeteneği ne kadar çok geliştirilirse o kadar faydalı olması sağlanacaktır.

- Çatışma tespiti: Problem olan trafikle olmayanı ayırt etmeye yarayan, olası çarpışma tehlikelerinin önceden tespit edilmesini sağlayan algoritmaların geliştirilmesi kontrolörün zihinsel iş yükünde oldukça rahatlama sağlayacaktır. Bu fonksiyona sahip karar destek sistemlerinin doğruluk derecesi yörünge tahmininin doğruluk derecesine göre değişmektedir.
- Çatışma çözümü: Deneme jeneratörü (eğer-ne) kullanarak ya da otomatik çözüm üreterek "sonraki en iyi müsaade"yi hesaplayan yazılımlar problemleri en aza indirecektir.
- Diğer: Geliş, kalkış ve yerdeki uçakları sıralayan bunlar arasında yasal ayırma mesafesi bırakılmasını sağlayan algoritmalar sayesinde terminal sahası kontrolörlerinin de işini kolaylaştıracak karar destek sistemleri tasarlanmaktadır. Ayrıca çok sektörlü sahalardaki trafik yükünü azaltacak çözümleri üretecek yazılımlar da geliştirilmektedir. Bunlar da hava trafik kontrol ile hava trafik akış yönetimini birbirine bağlayacak ara sistemler olarak tasarlanmaktadır.

Tüm bu önemli konularda ve bunların dışındaki diğer konularda yapılacak karar desteği sayesinde durumun karmaşıklığı azalarak kontrolörün durum farkındalığı güçlendirilmiş olacak, sağlanan karar desteği ile kontrolörün problem çözme yeteneği geliştirilerek, hızlandırılacak, kontrolör kapasitesi ve dolayısıyla sektör kapasitesi artmış olacak, hava trafik akışları daha hızlı, düzenli, verimli ve etkin hale gelecek, insan kaynaklı birçok hata azaltılarak emniyet seviyesi arttırılacak, hava sahasının daha verimli kullanılmasıyla mali ve çevresel faydalar elde edilecek, vb. birçok fayda sağlanacaktır.

#### **4.4. Hava Trafik Kontrolde Karar Destek Sistemlerinin Sınıflandırılması**

Yapılan literatür araştırmasında hava trafik kontrolde kullanılan karar destek sistemleriyle ilgili burada yer aldığı şekilde kapsamlı bir sınıflandırmaya rastlanmamıştır. Bu bölümde, farklı kaynaklarda adları geçen fakat bir araya getirilmemiş olan bu sınıflandırma çeşitlerine yer verilmiştir. Ayrıca Amerika ve Avrupa'da hava trafik kontrolü için geliştirilmiş karar destek sistemleri bizzat literatür taraması ile incelenip hangi sınıfa ait oldukları tespit edilmiş ve örnek olarak verilmiştir.

##### **4.4.1. Kullanıldığı hava trafik kontrol birimine göre sınıflandırma**

Bu sınıflandırma hava trafik kontrolde bulunan yol kontrol, meydan kontrol ve terminal sahasından sorumlu olan ve geliş ve kalkış olarak ikiye ayrılmış olarak verilen yaklaşma kontrol birimlerine göre yapılmıştır.

###### **A. Yol kontrol**

Örnek sistemler; Kullanıcı Talebi Değerlendirme Aracı (URET-User Request Evaluation Tool), Problem Analizi, Çözüm ve Derecelendirme Aracı (PARR-Problem Analysis, Resolution and Ranking), Orta Vadeli Çatışma Tespit Aracı (MTCD-Medium Term Conflict Detection), Çatışma Çözüm Yardımcısı (CORA-Conflict Resolution Assistant), Yol Hava Trafik Düzenleyici (ERATO-En Route Air Traffic Organizer), Merkez Terminal Radar Yaklaşma Kontrol Otomasyon Sistemi-Trafik Yönetim Tavsiye Aracı, Çok Merkezli Trafik Yönetim Tavsiye Aracı, Kullanıcı Tercihli Yönlendirme (CTAS TMA-Center Terminal Radar Approach Control Automation System Traffic Management Advisor, CTAS McTMA-Multi Center Traffic Management Advisor, CTAS UPR-User Preferred Routing).

###### **B. Terminal geliş**

Örnek sistemler; Varış Yönetim Aracı (AMAN-Arrival Management), CTAS Son Yaklaşma Mesafelendirme Aracı (FAST-Final Approach Spacing

Tool), CTAS TMA, Optimizasyon Araştırması ile Trafiğin Hızlandırılması ve Sıralandırılması için Yardım Aracı (MAESTRO- Means to Aid Expedition and sequencing of Traffic with Research of Optimisation), Bilgisayar Destekli Yaklaşma ve İniş Sistemi (CALM- Computer-assisted Approach and Landing System), Bilgisayar Destekli Mesafelendirme Planlama ve Tavsiye Sistemi (COMPAS- Computer Oriented Metering Planning and Advisory System).

### **C. Terminal kalkış**

Örnek sistemler; CTAS Hızlı Kalkış Yolu (EDP-Expedite Departure Path).

### **D. Meydan kontrol**

Örnek sistemler; Yüzey Yönetimi (SMAN-Surface Management), CTAS Ortaklaşa Varış Planlama Aracı (CAP-Collaborative Arrival Planning), Kalkış Yönetimi (DMAN-Departure Management).

## **4.4.2. Fonksiyonlarına göre sınıflandırma**

Uçakların gelecekteki pozisyonlarını hesaplayan yörünge tahmin aracı (sistemi/fonksiyonu) KDS'lerin neredeyse tamamında bulunmaktadır ve bağımsız olarak kullanılmamaktadır. Bu sebeple yörünge tahmin fonksiyonu ayrı bir sınıfta verilmemiştir. Aşağıdaki sınıflar başlangıçta ayrı ayrı sistemler olarak tasarlanmaktaydı fakat artık yeni nesil karar destek sistemlerinde bunlardan bir kaçını tek bir sistemin fonksiyonları şeklinde bulunabilmektedir.

### **A. Trafik karmaşa ve yoğunluk azaltma**

Bu sınıfta yer alan sistemler hava trafik akışının karmaşa ve yoğunluğunu önceden tahmin edip bunları azaltmak için gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olmak suretiyle hava trafik akış yönetiminin fonksiyonlarını kısmen hava trafik kontrolörlerine indirgemıştır. Örnek olarak Taktik Yük Azaltıcı (TLS-Tactical Load Smoother) verilebilir.



## **B. Çatışma tespit ve uyarı**

Bu sistemlerin amacı uçak-uçak, uçak-hava sahası, uçak-yer, uçak-hava koşulları arası yasal ayırma mesafenin kaybı anlamına gelen “çatışma” durumunu önceden tespit edip kazaları önlemeye yardımcı olmaktır. Bu sistemler çatışmaları tespit etmekte çözümü ise kontrolöre bırakmaktadır. Örnek sistemler; URET, MTCDD, ERATO.

## **C. Çatışma çözüm**

Bu sistemler önceden tespit edilen çatışmaların engellenmesi için uçaklara yaptırılacak ayırma manevralarından oluşan çözüm önerilerini üretip bunları kontrolöre sunmaktadır. Örnek sistemler; PARR, CORA, CTAS UPR, CTAS Yol alçalma Tavsiyecisi (EDA-En Route Descent Advisor), CTAS Direkt Rota Aracı (D2-Direct-To Tool), Doğrulama ve Çözüm Tavsiyesi (VERA-Verification and Resolution Advisory), İleri Yol Hava Trafik Kontrol (AERA-Advanced En Route ATC), Yüksek Etkileşimli Problem Çözücü (HIPS-Highly Interactive Problem Solver).

## **D. Sıralama ve mesafelendirme**

Bu sınıfta yer alan sistemlerin amacı uçakların kalkış, iniş veya yer hareketlerinde sıralanmasını sağlamak ve bunu yaparken uçaklar arasındaki ayırma mesafesini korumaktır. Örnek sistemler; AMAN, DMAN, CTAS TMA, CTAS McTMA, CTAS EDA, CTAS FAST, CTAS EDP, CTAS CAP.

## **E. Çarpışma önleme**

Bu sınıfa ait sistemler, çatışmayı çözmeye değil ancak çarpışmayı önlemeye yetecek kadar süre önceden olası çarpışma tehlikeleri için kontrolörü uyarmakta olan emniyet ağlarıdır. Örnek olarak; Kısa Vadeli Çatışma Uyarı Sistemi (STCA-Short Term Conflict Alert), Saha Yakınlık Uyarısı (APW-Area Proximity Warning), Minimum Emniyetli İrtifa Uyarısı (MSAW-Minimum Safe Altitude Warning), Trafik Uyarı ve Çarpışmadan Kaçınma Sistemi (TCAS-Traffic Alert and Collision Avoidance System), Yere Yakınlık Uyarı Sistemi (GPWS-Ground Proximity Warning System) gibi emniyet ağları verilebilir.

## **F. Diğer**

Yukarıda verilmiş olan başlıca sınıfların dışında farklı fonksiyonlara sahip karar destek sistemleri de bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Rota uyum izleme ve uyarı; Bu sistemler uçakların uçuş planlarında belirtilen rotalarına ya da kontrolör tarafından verilmiş olan rotalara uyup uymadıkları kontrol edip sapma olduğunda kontrolörü uyarılmaktadır. Böylece gerekli önlemler alınıp düzeltmeler yapılmaktadır. Örnek sistemler; URET, İzleme Yardımcıları (MONA-Monitoring Aids), Uçuş Yolu İzleme (FPM- Flight Path Monitor).
- Müzakere yönetimi; Yer sistemleri ile kokpit sistemlerinin çatışma çözümü için ortaklaşa hareket etmelerini sağlayan sistemlerdir. Örnek sistemler; URET, Müzakere Yöneticisi (Negotiation Manager).

### **4.4.3. Otomasyon seviyesine göre sınıflandırma**

Her teknolojik cihazı bir otomasyon olarak gören eğilimden, sadece otomatik olarak karar verme yeteneğine sahip zeki uzman sistemleri otomasyon olarak kabul eden eğilimlere kadar birçok farklı otomasyon tanımı çıkmıştır. Bu iki uç eğilimin ortasında yer alan ve daha rasyonel olarak kabul edilebilecek bir tanım olarak; otomasyon, daha önce bir insan tarafından yapılan işin kısmen ya da tamamen bir cihaz ya da sistem tarafından yapılmasıdır.

Burada verilen otomasyon seviyeleri genel otomasyon seviyelerinin bir kısmını oluşturmaktadır. Bunun sebebi mevcut diğer seviyelerin KDS'lerin otomasyon seviyelerine hitap etmemelerinin yanı sıra amacı insanın yerine geçmek olmayıp insana karar vermede yardım etmek olan karar destek sistemlerinin tanımına ve karakteristiğine uymamalarıdır.

- Otomatik problem tespiti ve bildirim: Problemi sistem belirler, çözümü kontrolör bulup uygular. Örnek olarak MTCD verilebilir.
- Otomatik problem tespiti, çözüm deneme fonksiyonu: Problemi sistem tespit eder, kontrolör ise sistem üzerinden kendi çözümlerinin

sonuçlarını değerlendirir ve bunları uygular. Örnek olarak URET, PARR, CTAS UPR, CTAS D2 gibi sistemler verilebilir.

- Otomatik problem tespit, bildirim ve çözüm tavsiyesi: İlâveten çözümü de sistem hesaplar, kontrolöre bunu sunar ve uygulamayı ise kontrolör yapar. Örnek olarak, PARR, CORA, CTAS sistemleri verilebilir.

Otomasyon seviyeleri hakkında Billings, Wickens, Nijhuis'in [10-12] yapmış oldukları daha detaylı incelemelerden yararlanılabilir.

#### **4.4.4. Planlama ufkuna göre sınıflandırma**

Burada karar destek sistemleri problemleri ne kadar süre önceden tespit ettiklerine göre değerlendirilmektedir. Bu sınıflandırma Kauppinen'in "Conflict Detection and Resolution" [13] çalışmasına dayanmaktadır.

##### **A. Uzun vadeli KDS (30-60 dakika)**

Orta vadeli planlama ufkundan (yaklaşık 30 dakika önceden) başlayıp, günümüz uygulanabilir yörünge tahmin sınırına kadar uzanmaktadır. Bu sınır da 60 dakika kadardır [13].

Uzun vadeli planlama desteğinden Merkezi Akış Yönetim Birimi (CFMU-Central Flow Management Unit) planlayıcıları, hava yolu işletmecileri, ATC planlayıcıları ve pilotlar yararlanmaktadır.

Bu sistemlerin sahip olduğu fonksiyonlar genellikle; karmaşıklık algılama, trafik yükünü pürüzsüzleştirme (dağıtma), yörünge müzakeredir.

Planlama stratejileri bireysel uçak çatışmalarını çözme yerine öncelikle trafik akışının karmaşıklığını ölçmeye dayanmaktadır. Yinede bireysel uçak yörüngeleri üzerinde değişiklik yapılmaktadır (yeni rota tahsisi, seviye değişikliği, vb.) [13].

Yoğun sektörlerin trafiği diğer sektörlerle paylaştırılarak trafik yükü hafifletilir. Çatışma sayısını azaltarak, planlanmamış faaliyetlere gereken ihtiyacı azaltarak, faaliyetleri kolaylaştırarak karmaşıklığı azaltır [13].

Genellikle belirsizlikler çok büyüktür ve tahmin edilmesi zordur.

Bu sistemlere TLS örnek olarak verilebilir.

### **B. Orta vadeli KDS (5-30 dakika)**

Kısa vadeli planlama ufkundan (yaklaşık 5 dk) başlayıp uzun vadeli planlama ufkuna kadar (yaklaşık 30 dk) uzanmaktadır [13].

Yararlanıcıları; ATC planlayıcıları, hava yolu işleticileri ve pilotlardır. Orta vadeli KDS'ler orta vadeli çatışma saptama, çatışma çözümü ve yörünge müzakere fonksiyonlarını içerir [13]. Planlama faaliyetleri uçakların görelî (olası) pozisyonlarına dayanır. Belirsizlikler tahmin edilebilir seviyededir.

Orta vadeli sistemlere MTCO, URET, PARR, CORA, ERATO, CTAS gibi sistemler örnek verilebilir.

### **C. Kısa vadeli KDS (0-5 dakika)**

Kısa sürede meydana gelecek olan ayırma kaybı için taktik hava trafik kontrol faaliyetleri ile yer ve kokpit bazlı emniyet ağları kısa vadeli KDS'lerini oluşturur [13].

Zaman ufku 5 dakikadır (en fazla 8 dakikaya kadar çıkabilir).

Kullanıcıları taktik hava trafik kontrolörleri ile pilotlardır. Taktik çatışma tespiti, taktik çatışma çözümü, yörünge izleme, yörünge müzakere ve emniyet ağlarını içerir. Planlama faaliyetleri taktik yörüngelere ya da küçük belirsizlikleri olan planlanmış yörüngelerin bir kısmına dayalıdır.

Bu sistemlere örnek olarak STCA, APW, MSAW, Pist İhlali Uyarısı (RIA-Runway Incursion Alert), TCAS, GPWS gibi emniyet ağları verilebilir.

#### **4.4.5. Kurulum yerine göre sınıflandırma**

Bu sınıflandırma KDS'lerin yerde, kokpitte veya her ikisinde de tesis edilmesine göre hazırlanmıştır.

#### **A. Yere dayalı KDS**

Hava trafik kontrol birimlerinde kullanılan sistemlerdir. Aşağıda verilmiş olan birkaç sistem haricinde sistemlerin tamamı yere dayalıdır.

### **B. Kokpите dayalı KDS**

Bu sınıfa ait sistemler uçak üzerinde tesis edilmiş sistemlerdir. Örnek sistemler; TCAS, GPWS, Havada Çarpışmadan Kaçınma Sistemi (ACAS-Airborne Collision Avoidance System), Serbest Uçuş Otonom Düzenli Girişimli Çözücü (FACES-Free Flight Autonomous Co-ordinated Embarked Solver), Rüzgar Shearı Kaçınma Sistemi (WSAS-Wind Shear Avoidance System).

### **C. Karma KDS**

Bu tür sistem yaklaşımı yerdeki sistemlerle kokpitteki sistemlerin ortaklaşa otomatik çözüm üretmeleri üzerine dayanmaktadır. Örnek olarak prototip olan CINTIA yörünge tahmin aracı verilebilir.

#### **4.4.6. Tasarım felsefesine göre sınıflandırma**

Bu sınıflandırma teknoloji ve insan merkezli olmak üzere mevcut olan iki çeşit KDS tasarım felsefesine göre yapılmıştır [10-12, 14].

#### **A. Teknoloji merkezli KDS**

Bu sınıftaki sistemler çözümleri matematiksel optimizasyona dayalı olarak, sıralı algoritmalar şeklinde gerçekleştirirler. Aşağıdaki sistemler dışında kalan geleneksel sistemlerin çoğu bu sınıfa girmektedir.

#### **B. İnsan merkezli KDS (Bilişsel/Kural tabanlı/Uzman/Bilgi tabanlı KDS)**

İnsan merkezli sistemlere bilişsel, uzman, kural tabanlı, bilgi tabanlı olmak üzere farklı farklı isimler verilmiştir. Fakat bunların genel prensibi insan tecrübesine dayalı bilginin kurallar şeklinde modellenip, sistemin bu kurallara göre çalışması, çözümler üretmesine dayanmaktadır.

İnsan merkezli sistemler hava trafik kontrolde kendi içinde iki alt bölüme ayrılabilir [14]:

1. Kontrolöre dayalı KDS,
2. Kontrolör bilgilendirmeli (controller informed) KDS.

Kontrolöre dayalı KDS'ler; kontrolör ile aynı kural ve sezgisel ipuçlarını kullanan, aynı girdi ve çıktıya sahip olan fakat daha hızlı ve güvenilir çözümler üreten uzman sistemlerdir [14].

Kontrolör bilgilendirmeli sistemler ise; çözüm üretiminde matematiksel optimizasyon modellerini kullanırlar, fakat kontrolöre sunulacak olan çözümlerin seçiminde ise kontrolörlerin karar verirken kullandıkları kural ve sezgisel ipuçlarını kullanarak diğer çözümler arasından kontrolör için en uygun olanları seçer [14].

Kontrolöre dayalı sistemlere şu örnekler verilebilir: Tahmin edilen Uçak Çatışmaları için Zeki Çözüm Tavsiyecisi (AIRPAC-Advisor for the Intelligent Resolution of Predicted Aircraft Conflicts), ATM Stratejik ve Taktik Tavsiye Aracı (ASTA-ATM Strategical and Tactical Advisor), Bilgisayar Destekli Planlama Deneyi (CAPE-The Computer Aided Planning Experiment).

Kontrolör bilgilendirmeli sistemlere ise PARR, CORA, CTAS, ERATO gibi modern sistemler örnek olarak verilebilir.

#### **4.5. İnsan Merkezli Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları**

Hava trafik kontrolde insan merkezli (ya da bilgi tabanlı) karar destek sistemleri son dönemlerde yoğun şekilde tartışılmaktadır. Bu sistemlerin olumlu ya da olumsuz yanları konusunda çok farklı görüşler olmakla birlikte bu çalışmada üzerinde durulan sistem, her iki tarafın olumsuzluklarının en aza inmesini sağlayan, insan merkezli bir sistem olmakla birlikte matematiksel optimizasyon tekniklerini de kullanan (karma da denilebilecek) insan bilgilendirmeli sistemlerdir. Aşağıda verilmiş olan insan merkezli sistemin avantaj ve dezavantajları daha çok Bölüm 4.4.6'da bahsedilen kontrolöre dayalı KDS'lere uymaktadır.

Sistemin avantajları şunlardır [14]:

- Bu sistemler kontrolörler gibi davranıp, akla uygun sonuçlar üretecekleri için kontrolör güvenini kazanma şansları daha yüksektir. Kontrolörler sistemin hangi kriterlere göre çözüme ulaştığını bildiği için sistemin eksiklerini kapatarak onu etkin bir şekilde, güvenle kullanabilecektir. Fakat matematiksel optimizasyona dayalı sistem çözümlerinde bu alışılmadık, çözüm süreci bilinmeyen tavsiyeler sunulabilmektedir. Yani üretilen çözümler kontrolörlerin hiç kullanmadıkları riskli uçak manevralarını gerekli kılmakta ve kontrolör bu çözümlerin hangi kriterlere göre, hangi işlemler sonucunda üretildiğini ve nasıl böyle bir tavsiye oluşturulduğunu anlayamayıp, bunlara güvenmemektedir.
- Dinamik bir görev olan hava trafik kontrolünde çatışma çözümünde üretilen doğru çözümle birlikte diğer faktörde bu çözümün hızlı üretilmesi ve uygulanmasıdır. Çözüm mantığı kontrolörle aynı olan sistemin ürettiği çözümlerin hangi kriterlere göre üretildiği kontrolörler tarafından kolaylıkla anlaşılacağından çözümlerin kontrolörler tarafından değerlendirilme süreci kısılacak, böylece uygulama hızlı bir şekilde gerçekleşecektir.
- Sistemin ürettiği çözümler daha önceden kontrolörler tarafından zaten kullanılmakta olduğu için güvenilirliği kanıtlanmıştır.
- Sistem sorunla karşılaştığında sorumluluğu devralma imkânı yüksektir. Çünkü sistemin çalışma prensipleri kontrolör tarafından bilinmekte, sorunun nereden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.
- Bir diğer unsur da pilotların geleneksel kontrolör çözümlerine alışık olmasıdır.
- Önemli bir diğer husus ta, çatışma çözümleri ve trafik akışının dengeli olmasıdır. Kontrolör yöntemlerini kullanan bu sistemler özellikle çoklu çatışmalarda diğer sistemlerin üretmiş olduğu optimal olmayan çözümlerin üretilmesini engelleyebilir.

Sistemin dezavantajları ise şunlardır [14]:

- İnsan merkezli sistemlerin dezavantajı olarak ortaya atılan ilk görüş bu sistemlerin kontrolörden daha iyi olamayacakları ve böylece hiçbir avantajları bulunmadığıdır. Fakat matematiksel modellere dayalı sistemlerin insan performansını aşan kapasiteye sahip oldukları bir gerçektir.
- Olumsuz olan diğer bir görüş ise; kontrolörlerin sorunları ele alma ve çözme yöntemlerinin kişiden kişiye değişmesidir. Bu yüzden böyle bir sistemin tüm kontrolörlerin güvenini kazanma şansı azdır.
- Uzmanların sorunları çözerken dikkate aldıkları faktörler ve çözüm yöntemleri, dışarıdan tespit edilemeyen, hatta uzmanların dahi açıklamakta zorlandıkları ayrıntılara sahiptir. Bu yüzden kontrolörlerin çözüm tekniklerinin (uzmanlıklarının) tüm yönleriyle ve doğru bir şekilde modellenmesi çok zordur.
- Eğer bir sistem insan gibi düşünüp, davranacaksa, insanların yapmış olduğu aynı hataları yapması da beklenebilir. Ve sisteme duyulan aşırı güven sayesinde de bu hataların denetimi yapılmayıp emniyet faktörü riske atılabilir.
- Uzman sistemlerin çözümlerinin kanıtlanması zordur. Bunların tam olarak kanıtlanması ve geçerliliğinin onaylanması ancak olası tüm senaryoların (ki bunlar gerçek hayatta neredeyse sonsuzdur) denenmesi ile mümkündür.

#### **4.6. Hava Trafik Kontrolde Karar Destek Sistemlerinden Örnekler**

Bu bölümde Amerika ve Avrupa'da güncel kullanımda olan ya da kullanıma geçmesi planlanan yere dayalı karar destek sistemlerinden örnekler verilmiştir. Bölüm 4.4.2'de verilen fonksiyonlarına göre sınıflandırmada yer alan trafik karmaşa ve yoğunluk azaltma, çatışma tespit ve uyarı, çatışma çözüm, sıralama ve mesafelendirme, çarpışma önleme, rota uyum ve izleme fonksiyonlarına sahip



sistemlerden her sınıf için detaylı olarak incelenmiş birkaç modern sisteme yer verilmiştir.

#### **4.6.1. Trafik karmaşa ve yoğunluk azaltma**

Bu bölümde Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Organizasyonu'nun (EUROCONTROL-European Organisation for the Safety of Air Navigation) Eurocontrol Harmonize Hava Trafik Yönetim Araştırması Programı (PHARE-Programme for Harmonised Air-Traffic Management Research in Eurocontrol) kapsamında geliştirmiş olduğu Taktik Yük Azaltıcısı (TLS-Tactical Load Smoother) sistemi incelenmiştir.

##### **4.6.1.1. Taktik Yük Azaltıcı (TLS)**

EUROCONTROL'un PHARE programı, 4 boyutlu yörüngede uçan uçaklara dayalı tabakalı planlama kavramını tanıtmıştır. Planlamanın ilk tabakası, bir Çok Sektörlü Alan'daki (MSA- Multi Sector Area) sektörlerin trafik yükünü değerlendiren Çok Sektörlü Planlayıcı (MSP-Multi Sector Planner) kontrolörüdür. MSP'nin görevi, MSA'da yer alan sektörlerdeki planlama kontrolörlerinin görevini kolaylaştırmaktır. MSP'nin bunu başarması için ise sektörlerdeki trafik yoğunluğunun nasıl olacağını önceden bilmesi gereklidir. EUROCONTROL PHARE programı çerçevesinde geliştirilmiş olan TLS MSP'ye bu bilgileri sunar. MSA'daki sektörlerin yoğunluğunu 40 dakika öncesinden tahmin etmektedir [15].

Aracın yoğunluk göstergesi;

- Uçak sayısı,
- Çatışma sayısı,
- Karmaşa yüküdür (verilecek vektör sayısı).

Her bir yoğunluk göstergeleri grafikler halinde ayrı ayrı sunulmaktadır. Ayrıca "sıcak noktalar" olarak isimlendirilen sektör içinde belli bir yoğunluk sınırını geçen bölgeler bir harita üzerinde gösterilir.

MSP hangi uçakların yoğunluk eşik değerini geçtiğini de tespit edebilmektedir. Böylece ister tek bir uçağın yörüngesini değiştirmekte, isterse trafik akışını değiştirebilmektedir. Bu çözüm işlemi ise Problem Çözücü (PS-Problem Solver) vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

1990'lar boyunca yürütülen PHARE programı bazı teknik nedenlerden dolayı durdurulmuştur.

#### **4.6.2. Çatışma tespit ve uyarı sistemleri**

Bu bölümde Amerika menşeli Kullanıcı Talebi Değerlendirme Aracı (URET-User Request Evaluation Tool), EUROCONTROL menşeli Orta Vadeli Çatışma Tespit Aracı (MTCD-Medium Term Conflict Detection) ve Fransız Yol Hava Trafik Düzenleyici (ERATO-En Route Air Traffic Organizer) sistemleri incelenmiştir.

##### **4.6.2.1. Kullanıcı Talebi Değerlendirme Aracı (URET)**

Amerikan ulusal hava sahası hizmetlerine karşı yükselen taleplere cevap verebilmek için Federal Havacılık İdaresi (FAA-Federal Aviation Administration) ve MITRE İleri Havacılık Sistemi Geliştirme Merkezi (CAASD-Center for Advanced Aviation System Development) tarafından eski İleri Yol Hava Trafik Kontrol (AERA-Advanced En Route ATC) programı kapsamında yol kontrol karar destek kabiliyeti geliştirmişlerdir. Bu kabiliyetler URET adında bir prototip üzerinde şekillenip bir araya getirilmiştir [16]. Araç şu anda Amerika'da 15 Hava Yolu Trafik Kontrol Merkezi'nde (ARTCC-Air Route Traffic Control Center) kullanılmakta, geri kalan 5 ARTCC'ye ise 2006 yılı sonuna kadar kullanıma sunulması planlanmaktadır [17].

URET problemlerin zamanında tespit edilmesi ve çözülmesine yardımcı olmak, iş yükü yönetimine ve stratejik planlamaya yardım etmek amacıyla kullanılan orta vadeli çatışma tespit aracıdır.

Araç başlıca bileşenleri; stratejik çatışmaları kontrol eden uçuş planına dayalı çatışma sondası, müsaadeyi pilota iletmeden önce çözümleri

değerlendirmeye yarayan deneme planlama fonksiyonu ve sektör uçuş bilgilerinin etkin şekilde yönetilmesini sağlayan elektronik uçuş veri göstergesidir [18].

URET gerçek zamanlı uçuş planı ve rota verisini NAS Host bilgisayarından elde etmektedir. Pozisyon uyumu, uçak performans özellikleri, sıcaklık ve rüzgârı içeren bu veri sayesinde uçağın 4 boyutlu yörüngesi oluşturulmaktadır. URET 20 dakika sonra gerçekleşmesi beklenen problemleri tespit etmek ve uyarı vermek için bu yörüngeleri kullanmaktadır [17].

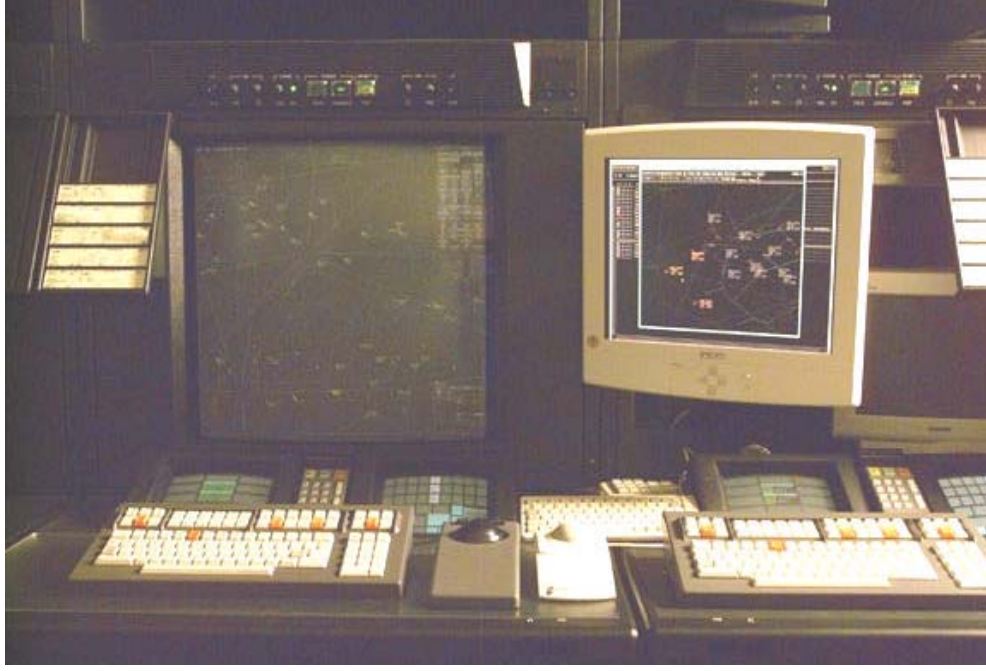
Kontrolör “eğer-ne” deneme jeneratörünü kullanarak, problemi çözmek için yapacağı yörünge değişikliğinin başka uçaklarla bir problem oluşturup oluşturmayacağını önceden görebilmektedir.

Araç fonksiyonları şunlardır [18]:

- Yörünge modelleme,
- Uçak-uçak arası (olasılıklı bildiri mantığıyla), uçak hava sahası arası çatışmaların tespit edilmesi,
- Uçak rota uyum izleme (conformance monitoring),
- Deneme planlama,
- Otomatik koordinasyon (striplerin değiştirilmesi),
- Metinsel ve grafiksel gösterim,
- İşaretleme ve tıklamalı arayüz.

Eğer 20 dakika içinde uçakların uyum sınırları birbirine 5 NM'dan (Nautical Mile-Deniz Mili) fazla yaklaşırsa bu uçaklar arası çatışma söz konusudur. Hava sahası ihlalleri ise; uçak yörüngeleri 40 dakika içerisinde Özel Kullanımlı Hava sahalarına 3 NM'dan daha fazla yaklaşmaları durumudur.

URET, D-tarafındaki kontrolör (yardımcı kontrolör) için stratejik destek aracı olarak tasarlanmıştır. Bu aracı kullanarak D-tarafındaki kontrolör R- tarafındaki kontrolörün (radar kontrolörü) aktif kontrolü altında olmayan potansiyel çatışmaları, kontrolörün verdiği müsaadelerde çatışma varsa bunları kontrol ederek R- tarafındaki kontrolörün bunları çözmesine yardım eder. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi soldaki radar ekranında R pozisyonu, sağdaki bilgisayar monitöründe de D pozisyonu yer almaktadır.



Şekil 4.2. URET R ve D pozisyonları [19]

Radar yardımcı kontrolörü (D- tarafı) R-tarafındaki kontrole yardımcı olur. Görevleri uçakların strip yönetimi, diğer kontrolörle koordinasyon R-tarafındaki kontrolörün aktif kontrolü altında olmayan potansiyel çatışmalara işaret etmek. D-tarafındaki kontrolör lisanslı bir kontrolördür.

Radar kontrolörü (R-tarafı) radar ekranındaki bilgileri kullanarak kontrolü altındaki uçakların birbirleri arasındaki ayırmalarını sağlarlar. Radar kontrolörü lisanslı bir kontrolördür ve uçakla olan bütün iletişimi yürütür.

Aracın faydaları genel olarak şunlardır [19]:

- Kullanıcı tercihli uçuş profillerini arttırmakta,
- Kullanıcı esnekliğini arttırmakta,
- Emniyet seviyesini artırırken sistem kapasitesini de arttırmaktadır,
- Uçuş maliyetlerini azaltmaktadır.

Indianapolis ve Memphis ARTCC hava sahasında yapılan incelemeler sonucunda aracın uçak başına yarım millik bir tasarruf sağladığı bu da aylık toplam 1,5 milyon dolara karşılık geldiği hesaplanmıştır [19].

Serbest Uçuş Safha 1 (FFP- Free Flight Phase) kapsamında birçok birimde kullanıma sunulan araca FFP2 kapsamında Amerika Ulusal Hava Sahası (NAS-

Natioanal Airspace) performansını arttırmak için yeni fonksiyonlar ilave edilmek üzere çalışmalar devam etmektedir. Bunlar; ciddi hava koşullarını gösterme ve uyarma, trafik akış yönetiminin bazı fonksiyonları ile dijital kontrolör pilot veri hattı iletişiminin (CPDLC-Controller Pilot Data Link Communication) araca entegre edilmesidir ve bu konuda oldukça ilerleme kaydedilmiştir. Bu konuda daha detaylı açıklamalar ilgili kaynaklarda bulunabilir [17, 20]. Bu yeni fonksiyonlar sayesinde tehlikeli hava koşulları araç üzerinden gözlenip, kontrolöre uyarılar vererek uçaklara kaçındırma sağlanabilecek olup; trafik akış yönetiminin Takip Mesafesi (MIT-Miles In Trail) fonksiyonunun ilave edilmesiyle, MIT kısıtlarına uymayan uçaklar gözlenip uyarı alınabilecektir. Böylece daha stratejik çözümlerle daha emniyetli bir trafik yönetimi sağlanacaktır. CPDLC'nin URET'e entegre edilmesiyle de radyo frekans yoğunluğu azalacak, daha doğru uçuş verileri elde edilmesi ile emniyet seviyesi artacak, otomasyon seviyesi yükselecek, kullanıcı tercihli rotaların oluşturulması kolaylaşacak, pilot niyet bilgisi araç tarafından kullanılıp daha doğru yörünge tahmini yapılacak böylece sistem etkinliği artacak, yanlış uyarılar azalacaktır.

URET çatışmaları tespit edip uyarı vermekte fakat çözümü kontrolöre bırakmaktadır. Kontrolöre ve URET'e bu konuda destek sağlamak için ise PARR aracı geliştirilmiştir. URET ve PARR birbirini tamamlamak üzere birlikte kullanılacaktır [21].

#### **4.6.2.2. Orta Vadeli Çatışma Tespiti (MTCD)**

Avrupa Hava Trafik Kontrolör Harmonizasyon ve Entegrasyon Programının (EATCHIP-European Air Traffic Control Harmonization and Integration Programme) 3. aşaması bağlamında hava trafik kontrolörlerinin karar verme işlemlerine yardımcı olacak birçok araç geliştirilmiştir. Bunlardan biri de MTCD aracıdır.

MTCD kontrolörlerin çarpışma tehlikesi olan durumları tespit etmelerine yardımcı olan, tehlikenin büyüklüğünü değerlendirmek için gereken zamanı temin eden ve çarpışma çözümü üretilmesine yardımcı olan bir planlama aracıdır.

MTCD üç tip çarpışma tehlikesini tespit etmektedir. Bunlar [22];

- Uçaklar arası çarpışma tehlikesi,
- Hava sahası ihlali,
- Kullanılabilir en alçak seviyenin altına olan alçalmalardır (yere yakınlık).

Tespit için zaman ufku genellikle uçaklar arası çarpışma tehlikelerinde 20 dakika, hava sahası ihlali ve yere yakınlık tespiti için 60 dakikadır. Araç, opsiyonel olarak 60 dakika sonrasına kadar olası rota çatışmalarını tespit edebilmektedir.

MTCD yörünge bilgilerini gerçek zamanlı Uçuş Veri İşleme ve Dağıtma (FDP- Flight Data Processing and Delivery) fonksiyonundan elde etmektedir. Yörüngeler sistem yörüngeleri ya da deneysel yörüngeler olabilir. Yörüngeler FDP tarafından mevcut uçuş plan verisi ve kontrolör girişleri kullanılarak üretilir.

MTCD hava sahası yapısı, ayırma kriterleri, özel kullanımlı hava sahaları ve kullanılabilir en alçak uçuş seviyeleri gibi çevresel veriye de ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaç ise Çevresel Veri İşleme ve Dağıtma (EDP- Environmental Data Processing and Delivery) fonksiyonu tarafından temin edilmektedir.

Araç çatışmaları uçaklar etrafındaki belirsizlik alanlarına göre değerlendirir. Uçakların belirsizlik alanları birbirine aynı anda yatayda 5 NM, dikeyde de 700 Feetden çok yaklaşırsa ayırma kaybı ilan edilir.

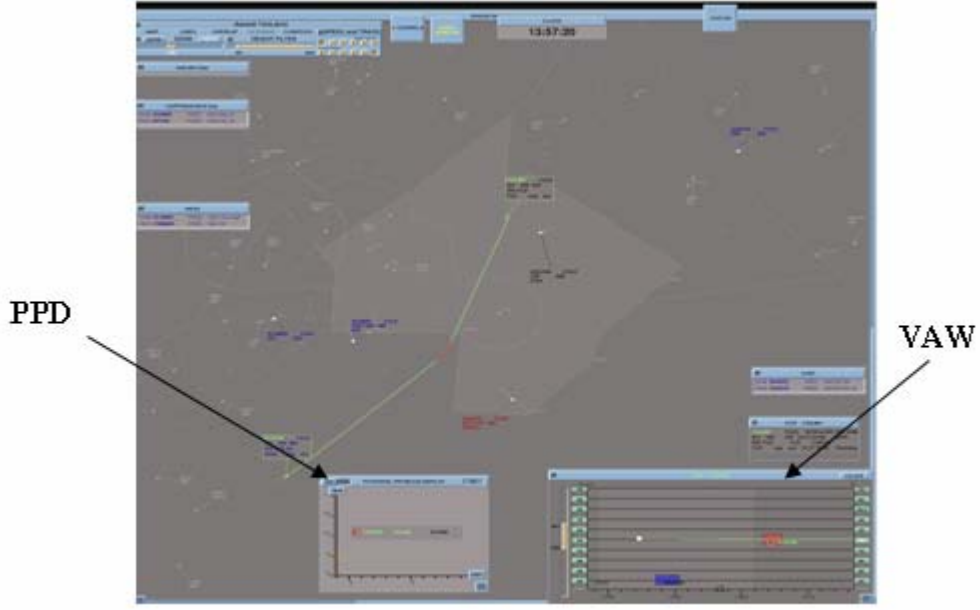
MTCD'nin kullanımıyla yetkili kontrolörün yerini taktik kontrolör, koordinatör kontrolörün yerini planlayıcı kontrolör almıştır. Planlama kontrolörü stratejik planlama ve çözümler üretirken, taktik kontrolör ise taktik çözümler üretir.

Planlama kontrolörü;

- Sektöre yaklaşan trafiği Planlama Pozisyonu Ekranı (PPD-Planning Position Display) üzerinden izler ve planlar,
- Olası çatışmaları tespit eder,
- Çatışmaların çözümünü bulup uygular (seviye, hız ve rota değişimi),
- Çözemediği çatışmaları taktik kontrolöre bırakır.

Taktik kontrolör ise;

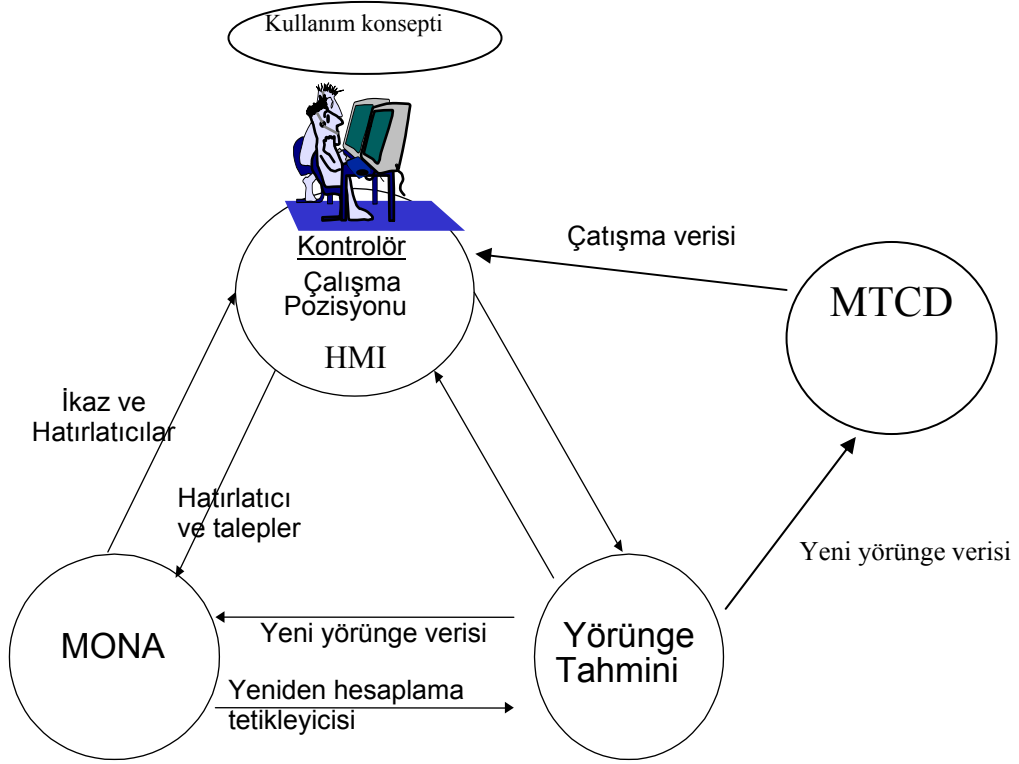
- Sektöre yaklaşan ve sektör içindeki trafikleri radar ekranından takip eder,
- Planlama kontrolörünün çözemediği problemleri çözer.



Şekil 4.3. Planlama Pozisyonu Ekranı: Potansiyel Problem Göstergesi (PPD- Potential Problem Display), Dikey Yardımcı Penceresi (VAW-Vertical Aid Window) [22]

Şekil 4.3’de MTCD göstergelerinin yer aldığı Planlama Pozisyon Ekranı verilmiştir. PPD çatışma olasılığı olan uçakların yatayda birbirine göre pozisyonunu gösterir. VAW ise çatışma olasılığı olan uçakların dikey pozisyonunu gösterir. Ayrıca ana radar ekranında da PPD ve VAW göstergelerinden elde edilen bilgilere göre çatışma riski bulunan uçak rotaları gösterilir.

Şekil 4.4’de gösterildiği gibi kontrolör, insan makine arayüzü (HMI- Human Machine Interface) sayesinde MTCD ve diğer araçlarla iletişim kurar. Uçuş planı, uçak performansı EUROCONTROL uçak veri tabanı (BADA-Base of Aircraft Data) ve ATC kısıtlarına göre hesaplanan planlanmış yörünge verisi MTCD’ye iletilir. MTCD bu veriye göre çatışma olup olmadığını kontrol eder ve olası çatışmaları HMI vasıtasıyla kontrolöre sunar. Kontrolör çatışma çözümü için uçağa yeni müsaade verir ya da sadece çözüm denemesini yapar. Buna göre yörünge tahmini güncellenir ve MTCD’ye tekrar iletilir. Ayrıca MONA uçak rotalarını takip edip, tahmin edilmiş yörünge ile uçağın gerçek rotasıyla uyumunu kontrol eder ve yörüngeden sapma varsa uyarı verir. Kontrolör bu uyarıya göre uçağa yeni müsaade verir. Yörünge tahmini MONA tarafından da yeniden güncellenir [23]. Çatışma tespiti için geometrik algoritma kullanılır.



Şekil 4.4. MTCD kullanım konsepti [23]

MTCD gözden kaçabilecek çatışmaları tespit ederek emniyet seviyesini yükseltir. Erken çatışma tespiti temin etmesi sayesinde stratejik ve daha iyi çözümlere destek verir, taktik kontrolörünün iş yükünü azaltır. Hava sahası kullanıcılarına daha iyi hizmet sağlar. Sektör verimliliğini artırır.

#### 4.6.2.3. Yol Hava Trafik Düzenleyici (ERATO)

ERATO yol kontrolörlerine görevlerinde yardımcı olması amacıyla Fransız Hava Seyrüsefer Araştırma Merkezi (CENA-Centre d'études de la navigation aérienne) tarafından geliştirilmiş olan bir karar destek sistemidir. Sistem yol kontrolörlerine mevcut olan farklı bilgileri düzenleyerek ve sunarak yardım etmektedir.

ERATO'nun diğer sistemlere göre önemli bir farklılığı vardır. Sistem kontrolör görevlerinin otomasyonuna değil, kontrolör bilişsel modeline dayalıdır.



Bu model, kontrolörlerin trafiği kontrol etmelerinde kullandıkları tüm teknikleri ve görevleri içinde bulundurmaktadır [24].

ERATO'nun amacı kontrolör görevlerini otomatik olarak yapmak değil, sadece gerekli bilgileri sıralamak ve kontrolöre kolayca kullanabileceği şekilde göstermektir [24].

Araç filtreleme tekniğini kullanarak ekran üzerindeki gereksiz bilgileri temizlemekte, "gündem" adındaki fonksiyonu kullanarak mevcut problemleri (örneğin çatışma tehlikesi) ciddiyetine göre sıralamaktadır. Bu özellikleri sayesinde kontrolör gereksiz bilgilerle uğraşmamakta, daha önemli sorunları fark edip önceliği onlara verebilmekte, önemi düşük sorunlarda vakit kaybetmemekte, yapılacak olan işlerin unutulmasını engellemekte böylece hem emniyet ve kapasiteyi arttırmakta hem de kontrolör iş yükünü azaltmaktadır [24].

#### **4.6.3. Çatışma çözücü sistemler**

Bu bölümde çatışma çözümünde kullanılan Amerika menşeli Problem Analizi, Çözüm ve Derecelendirme Aracı (PARR-Problem Analysis, Resolution and Ranking), onun benzeri Avrupa menşeli Çatışma Çözüm Yardımcısı (CORA-Conflict Resolution Assistant), yine Amerika menşeli Merkez Terminal Radar Kontrol Otomasyon Sistemi'nin (CTAS-Center Terminal Radar Control Automation System) Yol alçalma Tavsiyecisi (EDA-En Route Descent Advisor), Kullanıcı Tercihli Yönlendirme Aracı (UPR- User Preferred Routing) ve Direkt Rota Aracı (D2-Direct-To Tool) ile son olarak Avrupa menşeli HIPS karar destek sistemleri incelenmiştir.

##### **4.6.3.1. Problem Analiz, Çözüm ve Derecelendirme (PARR)**

AERA'nın devamı niteliğinde olan PARR, URET'i tamamlayıcı olarak FFP2 kapsamında FAA ve MITRE CAASD işbirliği ile geliştirilen bir çatışma çözüm aracıdır. Araç yol kontrolörlerine, uçaklar arası, uçakla hava sahası arası otomatik çatışma çözümü ile denemeye dayalı çözüm ve gecikme noktası/zamanı problemlerini çözüm fonksiyonlarını sunmaktadır [25].

Araç iki bileşene sahiptir. URET'in yörünge tahmin yeteneğini kullanmasının yanı sıra kendisine ait olan Desteklenmiş Deneme Planlama aracı (ATP-Assisted Trial Planning) sayesinde kontrolör kendi çözümlerini üretip deneyebilmektedir. Diğer bileşeni olan Desteklenmiş Çözüm Aracı (ART-Assisted Resolution Tool) sayesinde de araç kontrolöre otomatik çözüm tavsiyeleri üretmektedir [14,21].

PARR çözüm algoritması şu şekildedir [24]:

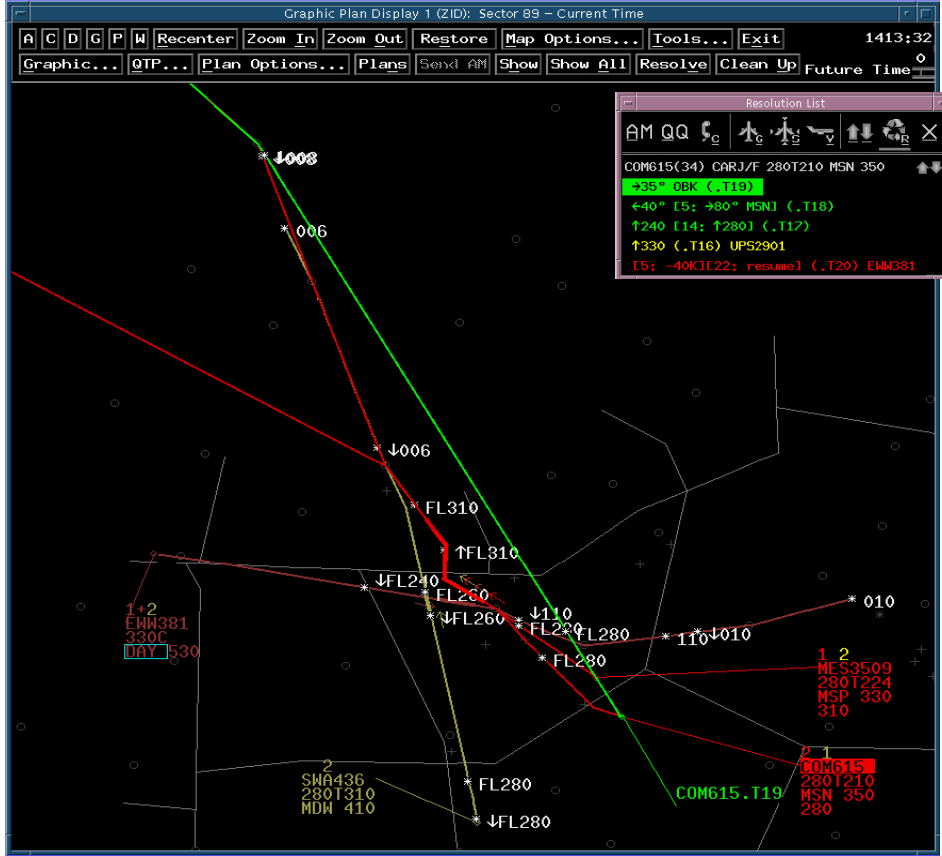
- Her bir çatışma çözümüne tek uçağa manevra yaptırılır,
- Eğer kontrolör tarafından uçaklardan biri seçilirse araç sadece o uçak için manevra üretir,
- Hiçbir uçak seçilmezse araç her iki uçak için derecelendirilmiş çatışma çözümleri üretir.

Sistem çatışmadan bağımsız dikey, yatay, uzunlamasına(hız) manevra tavsiyeleri oluşturur [24].

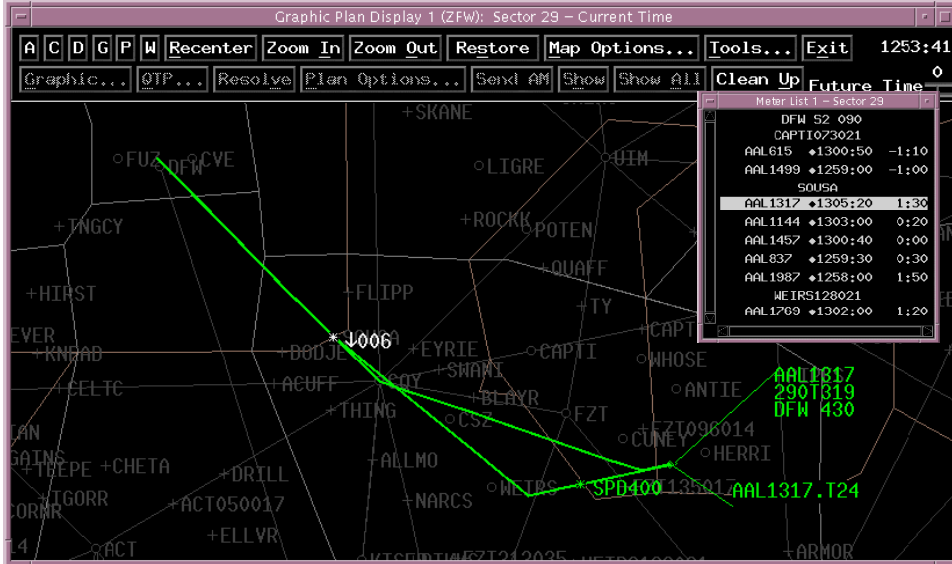
Araç çözüm derecelendirme faktörleri şunlardır: Manevra tipi (direkt rotalar tercih edilir), varış zamanındaki değişim (min. gecikme tercih edilir), irtifa değişikliği (seyir halindeki uçak için tırmandırma tercih edilir), hız değişikliği (en az tercih edilir). Araç çözüm derecelendirmesinde daha önce AERA programıyla oluşan kontrolör bilgisine dayalı birikimden yararlanmaktadır. Üretilen çözümlerden kontrolörlerin yöntemlerine uyanlar ayıklanır ve bunlar en uygun olandan en az uygun olana doğru derecelendirilmiş olarak kontrolöre sunulur.

Aracın kullanım amacı; çatışma çözümü sağlayarak kontrolör iş yükünü azaltmak, taktik manevralardan kaçındırarak ve durum farkındalığını arttırarak emniyeti arttırmak ve gelişmiş görselleştirme sağlayarak kontrolör iş yükünü azaltmaktır. Aracın kendine ait ayrı bir ekranı olmayıp URET ekranlarını kullanarak bilgileri kontrolöre sunar [25].

Şekil 4.5'de PARR çözüm önerisi grafiksel olarak grafik plan göstergesinde, metinsel olarak (derecelendirilmiş olarak) çözüm listesinde gözükmektedir. Kırmızı renkli çizgiler uçakların tahmini yörüngeleri olup, çatışma durumunu ifade eder. Yeşil çizgi ise çatışma çözümü getiren PARR'ın yeni rota tavsiyesidir. Şekil 4.6'da ise uçakların sabit bir noktaya (geciktirme



Şekil 4.5. PARR çözümünün grafiksel olarak gösterildiği URET plan göstergesi [26]



Şekil 4.6. PARR geciktirme uygulaması [26]

noktası) olan varış zamanlarını düzenlemeye yarayan tavsiyeleri gösteren grafik plan göstergesi ile geciktirme listesi yer almaktadır.

Aracın faydaları şunlardır; kontrolörlere kullanıcı taleplerini değerlendirmek için daha fazla zaman temin eder, tahditlerde azalma sağlar, daha fazla trafiğin yönetilmesini sağlar, verimliliği artırır, çözümleri optimize eder. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 20 yıl kullanımı halinde getireceği tahmini kar 2,5 milyar dolardır [14].

Avrupa'daki CORA sisteminin benzeri olan araç özellikle çözümlerin gösterimi ve kontrolöre seçim imkanı vermesi bakımından, çalışmaların daha önde olması bakımından çok daha üstündür. Ayrıca yeni geliştirilmekte olan fonksiyonları da PARR'a büyük bir üstünlük sağlamaktadır [14].

Gelecekte eklenmesi düşünülen ve geliştirilen fonksiyonları ise hava durumu bilgisi sunma, kötü hava koşullarından kaçındırma tavsiyeleri, trafik akış farkındalığı sağlama, akış problemleri (miles in trail, meter fix time) çözümü, veri hattının kullanılması, URET/PARR olarak birarada kullanımını sağlamak, veri hattı ile çözümlerin pilota iletilmesi, son olarak iki aracı tek karar destek sisteminin (Sektör Takımı KDS) ortak bileşenleri olarak bir araya getirmek[21,14].

#### **4.6.3.2. Çatışma Çözüm Yardımcısı (CORA)**

CORA yol kontrolörlerine çatışma çözümünde yardımcı olması amacıyla EUROCONTROL'un Hava Trafik Hizmetleri için Otomasyon Desteği (ASA-Automated Support to Air Traffic Services) programı çerçevesinde geliştirilen bir karar destek sistemidir. Çatışma tespiti yapan MTCD'nin üstüne tamamlayıcı olarak inşa edilen araç, en az manevra uygulatma prensibine dayanır [13].

CORA daha detaylı olarak kontrolöre şu görevlerinde yardımcı olmaktadır[13]:

- Planlama,
- Çözüm uygulama,
- Çatışma izleme ve değerlendirme,
- Çatışma durumunun gözden geçirilmesi.

CORA'nın geliştirilmesi 3 seviyede ele alınmaktadır. Her bir seviye, kontrolör ile sistemin rolünü ve karar destek sisteminin temin ettiği hizmet seviyesini tanımlamaktadır.

İlk seviye CORA'da [13];

- Detaylı ve filtre edilmiş çatışma verisi,
- Deneme sondası (what-if),
- Sistem yörüngesini esas alan çözüm girdileri sunulmaktadır.

CORA 2'de;

- Temel yeteneklere ilaveten filtrelenmiş çözüm tavsiyeleri üretilmekte.

CORA 3'te;

- En uygun çözümler için yörünge müzakere yeteneği(yer-yer ve hava-yer arası),
- Çözümlerin uygulanması fonksiyonları ilave edilecektir.

CORA 2 ve 1'de kontrolör hala bir karar vericidir. CORA 1'de kontrolör tespit edilmiş ve filtrelenmiş çatışmalar için çözümleri aktif olarak planlamaktadır. CORA 2'de çatışma çözümlerini de sistem üretmekte ve bu çözümleri derecelendirip kontrolöre liste halinde sunmaktadır. Kontrolör de bu çözümlerden birini ya da kendi çözümünü uygulamaktadır. CORA 3'te ise artık çözümler sistem tarafından otomatik olarak uygulanacak, yer-yer ve hava-yer arası yörünge müzakere işlemi gerçekleştirilecektir [13].

CORA tüm bu işlemlerinde dikkate aldığı ve alması gerektiği birçok kısıt vardır. Bunlar; ayırma standartları, akış kısıtları, uçuş planı, uçuş yörüngesi, CORA manevra gereksinimi ve manevra limitleri, belirsizlikler, uçak performansı, kontrolör niyeti, hava koşullarıdır. Ayrıca en önemlisi de kontrolör çatışma çözüm yöntemleridir. CORA kontrolörlerin çatışma çözümlerini hangi kriterlere göre nasıl gerçekleştirdiği üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen bilgileri ve matematiksel optimizasyon tekniklerini birlikte kullanmak üzere geliştirilmekte olan ABD menşeli PARR'ın benzeri bir sistemdir.

#### 4.6.3.3. Merkez -TRACON Otomasyon Sistemi Araçları (CTAS)

CTAS hava alanı kapasitesini arttırmak ve kontrolör iş yükünü kabul edilebilir seviyede tutarken gecikmeleri azaltmak için geliştirilen karar destek araçları takımındır. Araç Amerika Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA-National Aeronautics and Space Administration) ve FAA ortaklığıyla 1968'den beri geliştirilmektedir.

CTAS başlıca üç karar destek aracından oluşur. Bunlar; Trafik Yönetim Tavsiye Aracı (TMA), Son Yaklaşma Mesafelendirme Aracı (FAST), Alçalma Tavsiye Aracıdır (EDA)[27]. Ayrıca ilerleyen yıllarda CTAS'a bazı araçlar daha eklenmiştir. Bunlar; Çok Merkezli Trafik Yönetim Tavsiye Aracı (McTMA), Kullanıcı Tercihli Yönlendirme Aracı (UPR), Direkt Rota Aracı (D2), Hızlı Kalkış Yolu (EDP), Ortaklaşa Varış Planlama Aracıdır (CAP) [28].

Bu araçların genel olarak amacı kontrolörlerin uzatılmış terminal sahasındaki trafikleri yönetmelerine ve kontrol etmelerine yardımcı olmaktır. Her bir araç birbirinden bağımsız bir otomasyon seviyesi ve yeteneğe sahip şekilde çalışabilmekte fakat bir arada çalıştığında daha yüksek performans sunabilmektedir. Tüm araçların çekirdek bileşeni CTAS'ın 4 boyutlu yörünge sentez algoritmasıdır [29,30]. CTAS ARTCC Host'dan (ana sunucudan) aldığı radar izi ve uçuş planları, Ulusal Hava Servisinden (NWS- National Weather Service) aldığı atmosferik veri ve uçak performans modellerine dayalı olarak 4 boyutlu yörünge tahmini yapmaktadır.

Bu bölümde CTAS'ın çatışma çözümü gerçekleştiren EDA, UPR, D2 araçları incelenecektir. Diğer araçlar ise fonksiyonlarına göre diğer bölümlerde incelenecektir.

##### a) Yol alçalma Tavsiyecisi (EDA)

EDA yol safhasından varış safhasına geçişte yakıt verimliliği olan, çatışmadan bağımsız müsaade tavsiyeleri üreterek yol kontrolörlerine yardımcı olmaktadır [29,31].

Araç trafik yönetim kısıtlarına uyarak aynı anda çatışma tespiti ve çözüm imkanı veren tavsiyeler üretir. Bu tavsiyeler yakıt-verimli alçalmanın en üst

noktası (Top of Descent TOD) ile hız profili (alçalma ve yükselme), seyir irtifası ve vektörlerdir [32].

Yapılan mühendislik analizleri sonucunda, sahip olduğu yörünge tahmin tekniği sayesinde çatışma probu yanlış alarm oranını ve kaçırılmış ikazları %20 oranında azaltma ve geçiş hava sahasındaki operasyonların verimliliğini arttırma (Amerikada yıllık 291 milyon \$'lık tasarruf) potansiyeline sahip olduğu görülmüştür[31].

### **b) Kullanıcı Tercihli Yönlendirme (UPR)**

Araç yol kontrolörleri tarafından kullanılmak üzere çatışma tespiti ve çözümü sunmaktadır. 20 dakika önceden çatışmaları tespit eder ve çözüm tavsiyesi üretir. Deterministik yörünge tahmini ile stokastik çatışma analizini birlikte kullanmaktadır. Çatışma sondasına çatışma olasılık teori ve algoritmaları dahil edilmiştir. Kullanılan algoritmalar 10 saniye içinde 800'ün üzerinde uçağı işleme imkanı vermektedir [33].

### **c) Direkt Rota Aracı (D2)**

Araç yol kontrolörlerine uçakların zaman ve yakıt tasarrufu sağlaması için direkt rota tavsiyeleri ve potansiyel çatışmalar hakkında bilgi üretir. Bu rotalar ayırma kriterlerini karşılayan çatışmalardan bağımsız rotalardır. Araç çatışma bilgisi çözüm tavsiyesini uçak veri blokunda ve trafik ekranındaki çatışma listesinde göstermektedir [34].

Kontrolörün gözlerini ekrandan ayırmadan ve işaretleme ve tıklama hareketi ile aracı kullanabilmesi bakımından çok pratik bir arayüze sahiptir. Kontrolör veri blokuna bir tıklama ile deneme planlama fonksiyonunu çalıştırır, böylece deneme rotası, tehditler ve uçuş zamanı ekranda gözüktür [34].

Ft. Worth Center hava sahasında yapılan deneylerde yaklaşık günde 1800 dakika ya da uçak başına 2,5 dakikalık bir uçuş zamanı tasarrufu sağladığı görülmüştür [35].

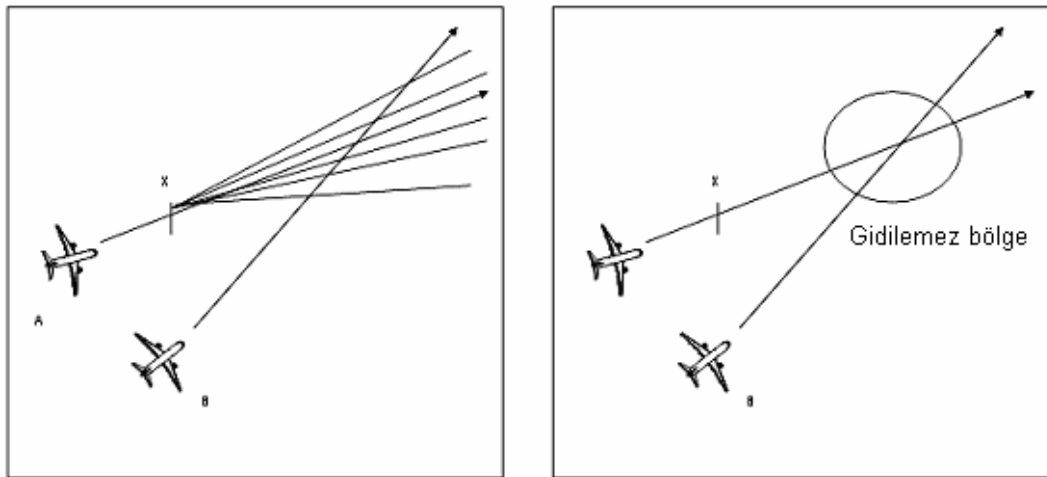
#### 4.6.3.4. Yüksek Etkileşimli Problem Çözücü (HIPS)

HIPS EUROCONTROL tarafından geliştirilmiş olan yol kontrolörleri için grafiksel planlama aracıdır. PHARE programı kapsamında geliştirilmiştir. Okyanus kontrolde kullanılabilirliği denenmek üzere bir prototipi hazırlanmış ve denenmiştir.

HIPS hava sahasında trafiğin olmadığı, kullanılabilir bölgeleri göstermek için 4 boyutlu geometrik yörünge gösterim ve dönüşümlerini kullanmaktadır. Araç yatay, dikey ve hız bilgilerini grafiksel olarak göstermektedir [36].

Çalışma prensibi “gidilemez bölgeleri (no-go zone)” göstermeye dayalıdır. Araç kontrolöre “yasak bölgeleri” göstermekte, bu sayede kontrolör çatışma çözümünü uygulamak için uçaklara uygulatacağı manevraların bu bölgelerin içinden geçmemesi gerektiğini anlamaktadır [36].

Şekil 4.7’de de görüldüğü gibi A ve B olarak isimlendirilmiş iki uçak rotaları çatışmakta, uçakların çarpışma tehlikesi bulunmaktadır. Araç bunu saptamakta ve yasak bölgeyi göstermektedir. Kontrolör bu gösterim sayesinde uçakların çarpışmaması için uçaklardan herhangi birinin uçuş yörüngesini bu bölgeye girmeyecek şekilde değiştirmelidir [36].



- : Planlanan yol,
- : Alternatif yol
- x : Dönüş başlama noktası

Şekil 4.7. HIPS kavramı [36]



Bu yöntemin avantajı kontrolöre ne şekilde bir ayırma uygulayabileceği hakkında görsel bir sunum sağlamasıdır. Fakat bu yöntem bazı problemlere de sebep olmaktadır. Örneğin, uçağın dönüş başlama noktasını kontrolör önceden seçmelidir. “Gidilmeyen bölge” bir tek yörünge bölümüne göre hesaplanmaktadır. Bu da sınırlayıcı bir faktördür çünkü herhangi bir hız, yön veya irtifa değişikliği olduğu anda yasak bölge tekrar hesaplanmalıdır. Ayrıca araç sadece 4 boyutlu yörünge bilgisi sağlayan uçuş yönetim sistemleri ile donatılmış olan uçaklar için kullanılmaktadır [24,36]. Geometrik çatışma tespiti uçak davranışındaki belirsizlikleri yönetmede etkisiz olduğu için bu yöntemi kullanan araç da yetersizlikler göstermektedir. Bunun çözümü için bazı bilim adamları gelişmiş bir yöntem olan olasılıklı çatışma tespit yöntemini HIPS’te kullanmayı denemişlerdir. Olasılıklı çatışma tespit yönteminde Reich çatışma risk formülü kullanılmış ve gayet iyi sonuçlar elde edilmiştir [37].

#### **4.6.4. Sıralama ve mesafelendirme**

Sıralama ve mesafelendirme sistemlerinden AMAN, DMAN, CTAS’ın TMA, EDA, FAST, EDP, MCTMA, CAP içerisinde CTAS EDA daha önce çatışma çözücü araçlar içerisinde detaylı olarak verildiği için tekrar ele alınmayacaktır. Diğerlerinden bu bölümde bahsedilecektir.

##### **4.6.4.1. Varış Yönetimi (AMAN)**

AMAN EUROCONTROL tarafından ASA programı çerçevesinde geliştirilen, uçakların varış zamanlarını hesaplayıp, sıralama yaparak yaklaşma kontrolörlerine yardımcı olan bir karar destek sistemidir. Sıralamayı toplam gecikmeyi en aza indirecek şekilde yapar. Yani tüm uçakların belirlenmiş olan yaklaşma noktasına (Orta nokta) ne zaman varacağı hesaplandıktan sonra, bu noktaya en yakın zamanda varacak olan uçaklara öncelik verir ve diğer uçakları da ayırma kriterlerine göre ne kadar geciktirileceğini hesaplar. Sistem, kuyruk türbülans kategorileri, minimum toplam gecikme, hava sahasının en iyi şekilde

kullanılması, pist kapasitesi, en uygun pist seçimi, gürültü önlenmesi ve yakıt tasarrufu gibi kriterleri dikkate alarak bunları optimize eder [38].

AMAN'ın başlıca üç bileşeni mevcuttur:

1. Sıralayıcı: Gelen uçaklar arasında optimum sıralamayı tesis etmektedir.
2. Arayüz yöneticisi: İlgili çarpışma ve AMAN Yörünge bilgisini göstermektedir.
3. Tavsiye Yaratıcısı: Kontrolör için tavsiye bilgisi üretir.

Araç, kontrolör rolünde özelleşme getiren bir değişiklik sunar. Bu değişiklik "sıralama yöneticisi" pozisyonudur. Kontrolör bu pozisyonda aracın yapmış olduğu sıralamaları kontrol eder ve gerekiyorsa değişiklik yapar, faaliyetlerin koordinasyonunu sağlar.

#### **4.6.4.2. Kalkış Yönetimi (DMAN)**

DMAN EUROCONTROL tarafından ASA programı çerçevesinde geliştirilen, apron ve meydan kontrolörlerinin uçakların kalkış zamanlarını sıralamalarına destek veren taktik planlama aracıdır. Araç, kapasite ve verimlilik gibi farklı değerlendirme işlevlerini hesaba katarak planlanmış kalkış zamanlarını optimize etmektedir. Şu anda araç birbirinin operasyonlarını etkileyen pistlerden üç tanesini değerlendirebilecek durumdadır. Araç, geriye itme ve motor çalıştırma zamanları için de tavsiyeler temin etmektedir [39].

DMAN tüm kalkış prosedürlerinin işleyişine uyarlanabilmektedir. Kontrolör farklı herhangi bir müsaade verdiğinde sistem yeniden planlamayı tetikler. Eğer bir müsaade kaçırılırsa zamanlayıcı işlevinin yardımıyla en erken olası kalkış zamanı tekrar hesaplanır [39].

Araç izleme sistemleri ile entegre edildiğinde durum farkındalığı daha da artacaktır.

DMAN'ın faydaları; taksi gecikmelerini azaltmasıyla toplam verimliliği arttırmakta, çevresel kirliliği azaltmakta ve uyumlu bir trafik akışı sağlamaktadır. DMAN sadece tarifelerin tahmin edilebilirliği ve güvenilirliğini arttırmakla kalmayıp ortaklaşa karar verme (CDM-Collaborative Decision Making) ve

kontrolör-pilot veri hattı iletişimi gibi ileri ATM kavramlarını da desteklemektedir[39].

CDM'e uyumluluğu hava alanlarındaki tıkanıklıkların önlenmesi, kapasitenin artırılması, farklı kullanıcı (hava yolu işleticileri) tercihleri ve kısıtlarını da hesaba katıp verimliliği artırması bakımından çok büyük önem taşır. DMAN'da CDM'i kullanabilmek için Giden trafik Zamanlama Sıralayıcısı (OPS-Outbound Punctuality Sequencer) adında bir araç geliştirilmektedir. Aracın DMAN'a entegre edilmesiyle hava alanlarında hava trafik kontrol birimleri ile hava yolu işleticileri arasında bir koordinasyon sağlanıp, tam optimize bir planlama yapılabilecektir. Böylece tüm sistem verimliliği artacaktır [40].

#### **4.6.4.3. Merkez -TRACON Otomasyon Sistemi Araçları (CTAS)**

Bu bölümde CTAS'ın sıralama ve mesafelendirme fonksiyonlarına sahip TMA, FAST, McTMA, EDP ve CAP araçları incelenecektir.

##### **a) Trafik Yönetim Tavsiye Aracı (TMA)**

TMA Trafik Yönetim Koordinatörlerine (TMC-Traffic Management Coordinator) ve yol kontrolörlerine talep-kapasite sorunu olan hava alanlarının kapasitelerini optimize etmelerinde yardımcı olan bir zamana dayalı stratejik planlama aracıdır. Yörünge tahmini, varış trafiğinin akışını görselleştirme, uçak ayırması ile akış oranı kısıtlarına dayalı stratejik planlama (bu kısıtlara dayalı pist tariflendirmesi) ve kontrolör ile diğer CTAS araçlarına (EDA, FAST) varış sıralaması, varış zamanı, geciktirme tavsiyeleri sunma gibi fonksiyonlara sahiptir.

Araç varış trafikleri daha yol kontrolörünün sorumluluğundayken hatta CTAS'a uçak bilgisi ulaşmışsa ondan da önce diğer sektör yol kontrolöründeyken varış sıralaması ve tariflendirmesini yapmaktadır. Bu tariflendirmeyi yaparken Terminal Radar Yaklaşma Kontrol (TRACON-Terminal Radar Approach Control) fiiks kabul oranı, takip mesafesi kısıtı (belli bir sabit noktada uçaklar arası olması gereken en az mesafe) (MIT- Miles In Trail) ve sabit noktaya (fixe) varış zamanı kısıtı (MFT-Meter Fix Time), pist kabul oranı, kapı kabul oranı, kuyruk türbülans ayırması gibi kısıtlara dayalı olarak gerçekleştirir [41].

Araç tavsiyeleri sayesinde yol kontrol ve TRACON arasında etkin bir şekilde paylaştırılan gecikmeler en aza indirilmektedir. Dünyanın en yoğun 2. hava alanında (Dallas/Ft. Worth Hava alanı) yapılan değerlendirmede; gecikmelerde uçak başına 70 saniyelik azalma ve hava alanı kapasitesinde %5 oranında artış gözlemlenmiştir. Araç ayrıca kontrolör iş yükünü azaltmakta ve trafik yönetim koordinatörlerinin varış trafiği durum farkındalığını arttırmaktadır[41].

#### **b) Son Yaklaşma Mesafelendirme Aracı (FAST)**

FAST terminal radar kontrolörüne terminal sahasındaki varış trafiğini etkin şekilde yönetmesine yardımcı olan iniş sıralaması, mesafelendirmesi ve iniş pisti tayinini gerçekleştirmektedir [42]. Başlangıçta pasif FAST (pFAST- Passive FAST) olarak tasarlanmış ve sadece sıralama ile pist tahsisi yapan araç, son versiyonunda aktif FAST (aFAST-Active FAST ) olarak geliştirilmiş ve hız ve uçuş başı tavsiyeleri üretme fonksiyonlarına sahip olmuştur [43].

Dallas/Ft. Worth hava alanında yapılan değerlendirmede kontrolör iş yükünde büyük bir artışa neden olmadan, hava alanı çıktısında %13 oranında bir artış sağladığı gözlemlenmiştir [42].

#### **c) Çok Merkezli Trafik Yönetim Tavsiye Aracı (MCTMA)**

MCTMA aracı TMA'nın tek bir sektörle sınırlı olan görevini birçok sektöre genişleten zamana dayalı mesafelendirme aracıdır. Araç TMC'lere çoklu sektörlerle olan gelecekteki talepleri tahmin etmelerinde ve TRACON içindeki trafik akışını düzenlemelerinde yardımcı olmaktadır. Araç hem yol TMC'ler, hem yol radar kontrolörleri hem de terminal sahası TMC'leri tarafından kullanılmaktadır. FAA tarafından FFP2 kapsamında kullanıma sunulması planlanmaktadır [44].

#### **d) Hızlı Kalkış Yolu (EDP)**

Kalkış problemlerini çözmek için tasarlanan otomatik tavsiye araçları genel olarak Hızlı Kalkış Yolu araçları olarak isimlendirilir. EDP CTAS'ın uçak performans modeline dayalı yörünge tahmin yeteneğini kullanarak kontrolörlere

şu konularda yardımcı olmaktadır: kalkış trafiği için yük yönetimi, kalkış trafiğini yol trafik akışına katmak üzere sıralama ve mesafelendirme. Aracın muhtemel faydaları tırmanma zamanı, yakıt tüketimi ve uçak gürültüsünü azaltmasıdır [45].

EDP öncelikle terminal sahası kalkış kontrolörleri ve trafik yönetim uzmanlarınca kullanılmakta, bunun yanı sıra yol kontrol, meydan kontrol ve hava yolları operasyonel kontrol birimlerinde de kullanılabilir [46].

#### **e) Ortaklaşa Varış Planlama Aracı (CAP)**

Araç zamanlama hatalarını önlemek ve hava yolu şirketlerinin verimliliğini arttırmak için uçakların hava alanına varış ve iniş zamanlarını hava yolu şirketlerine bildirmektedir. Araç bu bilgileri CTAS TMA'dan elde etmektedir ve kullanıcılara kendi ekranı vasıtasıyla sunmaktadır.

Hava trafik hizmet sağlayıcılarına yardım etmesi amacıyla tasarlanmış olan CTAS'ı tamamlayıcı olarak geliştirilen CAP, NAS kullanıcılarına (hava taşıyıcı dispatcher) ve ramp kontrolörlerine yardımcı olmaktadır.

İlk defa varış trafiğinin kontrol edilmesi için kullanılan hava trafik yönetim bilgilerinin hava taşıyıcıları ile gerçek zamanlı olarak paylaşıldığı araç; kullanıcı tercihli sıralama ve tarifelendirme imkanını arttırmış ve CTAS algoritmalarını daha da geliştirmiştir. TMA'dan alınan gerçek varış zamanları sayesinde hava taşıyıcılarının ve ramp kontrolörlerinin durum farkındalığını arttırmıştır [47].

#### **4.6.4.4. Yüzey Yönetimi (SMAN)**

SMAN yer hareketleri için planlama ve izlenecek yolu gösteren Avrupa menşeli bir araçtır. Amacı, uçakların veya yer araçlarının izleyeceği yolu belirlemek ve programlamaktır.

Ayrıca SMAN AMAN ve DMAN e bir tamamlayıcı olarak düşünülebilir.

SMAN in kullanımı ile aşağıda verilen hizmetler sağlanacaktır:

- Her bir uçak için en uygun ve sorunsuz taksi yolu belirlenebilir,
- Anahtar olaylar için tahmini zaman bilgisi elde edilebilir,
- Otomatik olarak yörünge bilgisini güncelleyerek kontrolöre SMAN uyarı bilgisi sağlar,

- Tahsis edilmiş yoldan sapmalar gözlenebilir.

SMAN in yararları ise; uçağın zamanında dağıtımını destekleyerek ve taksi zamanını azaltarak yer hareketlerinin verimliliğini geliştirmesi beklenir. DMAN in kapasitesini artıracaktır. Ayrıca gürültü/kirlenme ve yakıt kullanımını azaltmasıyla bir çevre yararı sağlanması da beklenmektedir. İş yükünü azaltıp emniyet seviyesini arttırmaktadır.

#### 4.6.4.5. Yüzey Yönetim Sistemi (SMS)

SMS FAA kontrolörleri ve trafik yöneticilerinin yanı sıra NAS kullanıcılarına yoğun hava alanlarında, yerdeki ve terminal sahasındaki uçak hareketlerini ortaklaşa yönetmelerine yardım etmek için bilgi ve tavsiye hizmeti sağlayan bir karar destek sistemidir. Araç FAA ve NASA Ames Araştırma merkezi ortaklığıyla FFP2 kapsamında ABD’de geliştirilmektedir [48, 49].

SMS’in başlıca şu üç kabiliyeti mevcuttur [49]:

- 1) Hava alanı yüzeyindeki uçak hareketlerini tahmin etmek,
- 2) Bu tahmin motorunu kullanarak yüzey operasyonlarını planlamaya yardımcı olmak,
- 3) Bu bilgileri çeşitli kullanıcılara dağıtmak ve uygun tavsiyeler temin etmek.

SMS çeşitli kullanıcılara destek vermektedir. Bunlar;

- Kule, TRACON ve Merkez trafik yönetim koordinatörleri,
- Kule kontrolörleri ile supervisorlar,
- Ramp kontrolörleri ve supervisorları,
- Hava taşıyıcılarıdır.

Araç şu üç ana bileşenden oluşur: Stratejik hava alanı planlamasını destekleyen Trafik Yönetim (TM- Traffic Management) bileşeni, meydan ve ramp kontrolörlerinin tarafından taktik uçak kontrolüne destek sağlayan Kontrolör Araçları (CT- Controller Tools) bileşeni ve bilgilerin NAS sistemi çapında dağıtılmasını sağlayan Trafik Akış Yönetim ya da NAS bilgi aracı (TFM-Traffic Flow Management) bileşeni [48, 49].

SMS sahip olduğu diğer araçlar sayesinde de FAA ve NAS kullanıcılarının taktik ve stratejik kararlarına destek olmaktadır. Bu araçlar Pist Kullanım Planlayıcısı (RUP-Runway Usage Planner), Konfigürasyon değişim tavsiye aracı (CCAT-Configuration Change Advisory Tool), What-if (eğer-ne deneme) aracı ve APREQ koordinasyon aracıdır [49].

SMS'in faydaları şunlardır; RUP ile en etkin pist konfigürasyon planlamasını yapar, CCAT ile kontrolörlerin konfigürasyon değişikliğini denemelerine, değişikliğin etkisini görmelerine yardımcı olur, What-if aracı ile MIT gibi trafik yönetim insiyatiflerinin etkilerini önceden görmeyi ve gecikmeleri en aza indirmek üzere geliş ile kalkış trafiği için kaynakların etkin şekilde tahsis edilmesini sağlar, kalkış pisti tahsisi ve sıralama tavsiyeleri sağlayarak etkinliği artırır, Onay talebi (APREQ-Approval request) koordinasyon aracı ile tahditli uçuşların kalkış serbest bırakma (release) zamanı tayini için gerekli olan iletişim ihtiyacını azaltır, uçuşun ne zaman hızlandırılacağını ve geciktirileceğini tahmin ederek beklenen kalkış müsaade zamanı (EDCT-Expected Departure Clearance Time) ve MIT tahditlerine olan uyumu artırır [49].

SMS bilgilerini harita göstergesi, zaman hattı, yük grafikleri ve tablolar olmak üzere 4 tip göstergeyle kullanıcılarına sunmaktadır. Bunlardan harita göstergesi aşağıda Şekil 4.8'de görülmektedir.

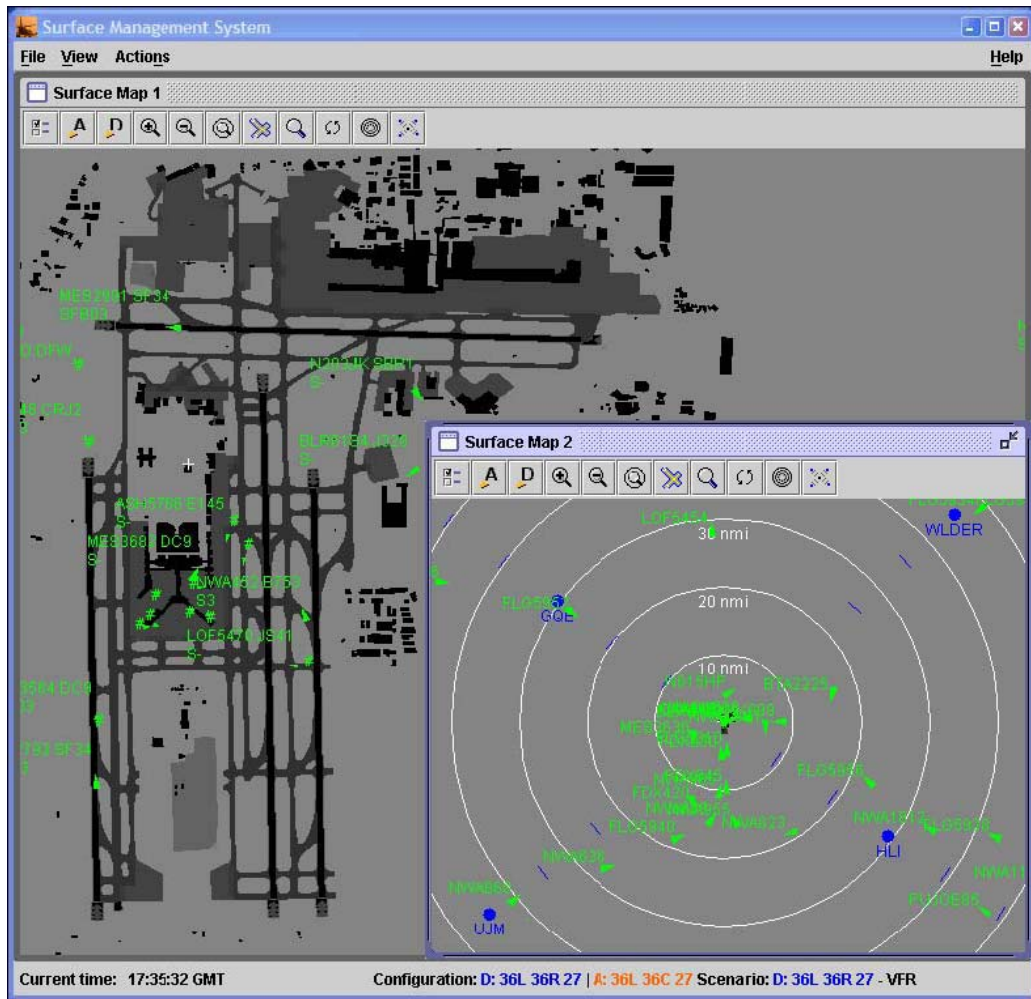
Geliştirilmeye 2000 yılında başlanan aracın kullanımı günümüzde yaygınlaşmamış, çok sınırlı sayıda birimde kullanılmaktadır. Hava alanının daha etkin şekilde kullanılması sayesinde aracın, kapasite artışı getireceği, iş yükünü azaltacağı ve uçak işletme maliyetlerinde çok büyük bir düşüş sağlayacağı öngörülmektedir [49].

Mevcut izleme sistemleri SMS için yeterli doğruluğu verememektedir. Yeni geliştirilen Havaalanı Yüzey Algılama Teçhizatı Model X'in (ASDE-X-Airport Surface Detection Equipment Model X) kullanıma geçmesiyle araç daha etkin şekilde kullanılabilir, şu anda tepkisel olarak çalışan meydan kontrolörleri stratejik planlamalar yapan trafik yöneticilerine dönüşecektir [43].

İzleme sistemlerinin yanı sıra Standart Terminal Otomasyon Yenileme Sistemi (STARS-Standard Terminal Automation Replacement System) ve TMA

gibi diğer otomasyon sistemleriyle entegre edilmesi halinde SMS performansı daha da artacaktır [49].

NASA ileri SMS araştırmalarına devam etmektedir. Araç Geliştirilmiş Trafik Yönetim Sistemine (ETMS-Enhanced Traffic Management System) bağlanıp bilgilerini TFM'in kullanımına sunabilir. Hava durumu ve çevresel verilerin de araca dahil edilmesi araç kullanışlılığını arttıracaktır. Ayrıca birbirine bağımlı hava alanlarında kullanılmasıyla sağlanacak koordinasyon sayesinde kalkış tahditleri azalacaktır [49].



şekil 4.8. SMS harita göstergesi [49]



#### 4.6.5. Çarpışma önleme

Uçaklar belirlenmiş olan minimum ayırma standartlarının altında kaldığında kontrolörü uyararak çarpışmalarının kontrolör tarafından önlediği emniyet ağıları yer almaktadır. Yaklaşık 2 dk. önceden kontrolöre uyarı verirler. Yere dayalı dört tane emniyet ağı vardır:

- Kısa dönem çatışma uyarısı (STCA),
- Minimum emniyetli irtifa uyarısı (MSAW),
- Saha yakınlık uyarısı (APW),
- Pist ihlali uyarısı (RIA).

Ayrıca kokpite dayalı emniyet ağıları da mevcuttur. Bunlar:

- Trafik Uyarı ve Çarpışma Önleme Sistemi (TCAS),
- Yere Yakınlık Uyarı Sistemi (GPWS),
- Vb.

Emniyet ağlarının temel girdileri radar gözlem verileridir. Diğer girdiler ise meteorolojik, uçak tanımlama, hava sahası ve parametrik verilerdir.

##### 4.6.5.1. Kısa Vadeli Çatışma Uyarı Sistemi (STCA)

STCA'nın amacı, içinde en az bir kontrollü trafiğin yer aldığı çatışmaları kontrolöre ikaz etmektir.

Araç ayırma ihlalini korumaya yetecek sürede değil, ancak çarpışmayı engellemeye yetecek süre içinde uyarı vermektedir. Bu da yaklaşık 2 dakikadır. Aracın çalışma prensibi kokpite dayalı bir emniyet ağı olan TCAS'ın yaklaşma zamanı yerine; üç boyutlu geometrik yaklaşım ve uçaklar arasındaki mesafeye dayanır. Girdilerini radar veri işleme bilgisayar sisteminden almaktadır. Uçak pozisyon ve hızları bu girdiler kullanılarak doğrusal tahmin yöntemiyle hesaplanır[24].

Sistemin emniyet seviyesi düşünülürken diğer sistemlerden bağımsız düşünülmemelidir, çünkü araç erken safhalarında MTCD'nin yer aldığı katmanlı çatışma tespitinin parçasıdır. Genellikle beklenmedik, acil olaylarda, kontrolörün gözünden kaçan çatışmaları tespit etmede devreye girer ve bir sigorta işlevi görür.

#### **4.6.5.2. Minimum Emniyetli İrtifa Uyarısı (MSAW)**

MSAW'in amacı, bir uçak rotasının minimum emniyet irtifasının altında olduğunda veya altında olacağı tahmin edildiğinde kontrolörü uyarmaktır. Aracın çalışma prensibi, uçağın irtifası ile arazi veri tabanına yüklenen yerin irtifasının karşılaştırılmasıdır.

Araca terminal sahalarında kalkış ve inişlerde ihtiyaç duyulur. Uçak son yaklaşımda minimum emniyet irtifasının 100 ft ( 30 m) altına düştüğünde sesli olarak kontrolörü uyarır.

#### **4.6.5.3. Saha Yakınlık Uyarısı (APW)**

APW kontrollü uçaklar tehlikeli, tahditli ya da yasak hava sahasına girdiğinde veya gireceği tahmin edildiğinde kontrolöre uyarı verir. Uçak bu sahaya girmeden 2 dk önce uyarı vermeye başlar, bu sahadan çıkana kadar da devam eder. Tahditli sahada giriş yasağı kaldırılırsa araç uyarı vermez.

Araçta tahditli sahalar tanımlanmalıdır. Sahalar süpervizör girişi veya zaman programlamasıyla aktif veya pasif edilebilir. Sahalar statik olabilir veya süpervizör tarafından dinamik olarak tanımlanabilir.

#### **4.6.6. Rota uyum izleme**

İzleme Yardımcıları (MONA- Monitoring Aids), Uçuş Yolu İzleme Aracı (FPM- Flight Path Monitor), URET gibi rota uyum izleme fonksiyonuna sahip sistemlerden MONA ve FPM'e bu bölümde yer verilmiş, URET çatışma tespit bölümünde detaylı olarak verildiğinden burada tekrar bahsedilmemiştir.

#### **4.6.6.1. İzleme Yardımcıları (MONA)**

Aracın amacı tahmin edilen yörüngeden sapmaları kontrolöre ikaz etmek, planlanmış rutin uçuş hareketlerini, vereceği müsaadeleri kontrolöre hatırlatmaktır.

MONA eğer uçağın uçuş planındaki ya da kontrolör tarafından izin verilen yörüngesinden herhangi bir yatay veya dikey sapması gözlenirse otomatik olarak uyarı verir ve yörüngenin tekrar hesaplanmasını tetikler.

Avrupa Hava Trafik Yönetim Programı (EATMP- European Air Traffic Management Programme) yörünge tahmini ve MONA yörünge tahmini verilerini Uçuş Veri İşleme Sisteminden (FDPS- Flight Data Processing System) gelen sistem uçuş planlarından alır. Bu veriler yan adaptasyon ve uçak performanslarıyla birleştirilir ve daha sonra tüm uçuşlar için yörünge oluşturmakta kullanılır.

Radar tarafından sağlanan uçağın gerçek pozisyon değeri ile tahmin edilen pozisyonu karşılaştırılarak MONA sapma ve hatırlatma bilgisi sağlar. Örneğin, uçak normal seviyesinden +/-200 feeti geçen bir sapma yapmışsa MONA sapma bilgisi verir. Uçağın normal rotasından ayrıldığı gözlenmişse bu uyarı bilgisi uçuş ekibinin hatasından veya kontrolörün verdiği talimatları işleme dahil etmemesinden kaynaklanabilir. Araç bu uyarıyı kontrolörün verdiği direkt rotayı işleyerek veya uçağı rotasına sokarak kaldıracaktır.

#### **4.6.6.2. Uçuş Yolu İzleme Aracı (FPM)**

FPM kontrolöre görevinde yardımcı olmak üzere tasarlanmış yere dayalı bir karar destek sistemidir. Araç şu dört işlevi yerine getirmektedir [50]:

- Uçakların planlanmış yörüngelerinden sapmalarını tespit etmek,
- 4B teçhizatı olmayan uçaklara seyrüsefer tavsiyeleri temin etmek,
- Önemli noktalardan geçilirken sinyal vermek,
- Uçakların, planlanmış yörüngeleri boyunca ilerleme raporlarını vermek.

Uçağın gerçek pozisyonu ile planlanmış pozisyonu arasındaki fark (enlemsine, uzunlamasına ve dikey olarak) , uçağın kullandığı yolun(pozisyon raporu) ilgili sistem planı ile karşılaştırılması sonucunda tespit edilir.

Mevcut olan tüm rota ve sistem planı çifti için şunlar hesaplanır [50]:

- Sapmanın büyüklüğü (metre cinsinden, uzunlamasına, yanlamasına ve dikey),
- Sapmanın izafi büyüklüğü (önemsiz, orta ve büyük),
- Sapma eğilimi (artan, sabit ve azalan).

Sapmanın izafi büyüklüğü yörünge tahmin aracı tarafından, anlaşma tüneli (contract tube) ve büyük sapma tünelinin büyüklüğüne göre belirlenir. Anlaşma tüneli, uçağın uçması için araç ve uçak FMS'inin kararlaştırdığı yörüngeyi etrafında yer alan ölçüleri belirli bir hava sahasıdır. Büyük sapma tüneli ise, anlaşma tüneline çevreleyen, “telafi edilebilir hata” sınırlarını tanımlayan, ölçüleri belirli bir hava sahasıdır.

Eğer uçak anlaşma tüneli ya da büyük sapma tünelinin dışına çıkarsa ya da beklenen meteorolojik koşullarda önemli değişiklikler olursa uçağa araç tarafından seyrüsefer tavsiyesi iletilir.

Bu bölümde özetle hava trafik kontrol, hava trafik kontrolde karar verme, hava trafik kontrolde kullanılan karar destek sistemi sınıfları, örnekleri ve ilgili diğer konulardan bahsedilmiştir. Bundan sonraki bölüm tezin uygulama kısmını oluşturmaktadır. Bu çalışmada geliştirilmiş olan bilgi tabanlı karar destek aracı ve bu araçla ilgili detaylar bundan sonraki bölümde verilmiştir.

## 5. BİLGİ TABANLI KARAR DESTEK ARACININ GELİŞTİRİLMESİ

Kontrolörün ana görevi uçakları birbirinden ayırarak çarpışmalarını (hatta çatışmalarını) engellemektir. Aynı zamanda trafik akışını hızlandırmak ve verimliliği arttırmak da kontrolörün görevlerindedir. Bu amaçların genellikle birbiriyle çeliştiği bilinmektedir. Öyle ki; sadece emniyet düşünüldüğünde uçaklar arasındaki ayırma mesafesini mümkün olduğunca arttırmak yeterli olacaktır, fakat böyle bir ayırma trafik akışını yavaşlatacak, uçakların yollarını uzatmalarına ve gecikmelerine neden olacaktır. Yani emniyet dışındaki hız ve verimlilik unsurları tamamen ihlal edilecektir. Aynı şekilde sadece trafik akış hızı arttırılmaya çalışılırsa, olası tehlikeli uçak yaklaşmaları sebebiyle kaza riski doğacak ve emniyet ihlal edilmiş olacaktır. Bu nedenle kontrolör tüm bu amaçlara ulaşabilmek için dengeli bir kontrol stratejisi kullanmalıdır.

Kontrolörler uçakları ayırmak için dikey, yatay ve uzunlamasına ayırma stratejilerini kullanırlar. Uçakların hangi durumda çatışma durumunda olacakları bilgisi ICAO [8] ve her ülkenin Havacılık Bilgi Yayınında (AIP-Aeronautical Information Publication) mevcuttur. Geliştirilen bu bilgi tabanlı karar destek aracı, bir yol kontrol sahasında çatışma durumunda olduğu bilinen iki uçak için, Bölüm 5.4 ve 5.5'te bahsedilmekte olan kontrolör bilgi ve tecrübesine dayalı kural ve faktörlere göre;

- dikey, yanlamasına ve uzunlamasına ayırma tekniklerinden hangisinin tercih edilmesi gerektiğini ve kısmen nasıl uygulanacağını,
- ve bu ayırmanın hangi uçağa/uçaklara uygulanacağını belirleyip, bunu yazılı olarak sunmaktadır.

### 5.1. Uygulamanın Amacı

Uygulamanın amacı matematiksel optimizasyona dayalı çatışma algılayıcı ya da çözücü sistemlere entegre edilerek, bu sistemlerin bazı eksiklerini kapatacak olan, hava trafik yol kontrolörlerine çatışma çözüm önerisi sunan, bilgi tabanlı bir karar destek aracı geliştirmektir. Yalnız başına kullanılmayacağı, ancak diğer

sistemlerle entegre edildiğinde kullanılabilir olacağı için “sistem” yerine “araç” olarak isimlendirilmesi daha uygun görülmüştür.

Bunun için Amerika ve Avrupa’da (AERA, PARR, CORA) yapılmış bazı çalışmalar mevcuttur. Amerika’daki hava ulaşım sistemi yapısı Avrupa’ya göre farklılıklar gösterdiği için bu uygulamada Eurocontrol [51] tarafından yapılmış olan araştırmadan elde edilmiş kontrolör bilgisi baz alınmıştır.

Kontrolör çatışma çözüm yöntemlerini modellemek üzere hazırlanan karar ağacı tasarımında ise daha önce Flicker ve Fricke’nin de [52] kurmuş olduğu modelden esinlenilmiş fakat farklı olarak;

- Çözümü etkileyen faktörlerden beş adet faktör daha algoritmaya ilave edilmiştir. Bunlar; uçakların izafi uçuş hızları, uçakların çatışma noktasına olan izafi uzaklıkları, tırmanma ve alçalma performansları, uçuş tavanıdır.
- Daha fazla sayıda ve daha detaylı çözüm önerileri oluşturulmuştur. Eklenen çözüm önerileri uzunlamasına ayırma tavsiyelerinden olan “uçuş hızını arttırma” ve “uçuş hızını azaltma” tavsiyeleri ile “tırmanmayı durdurma” tavsiyeleridir. Ayrıca tüm tavsiyeler aracın çözüm önerisi metin kutusunda daha detaylı olarak verilmektedir.
- Eldeki kontrolör bilgisine ait veriler; ilave faktör ve çözüm önerilerinin de etkisiyle farklı yorumlanıp farklı modellenmiştir.
- Kontrolör bilgisi gösterimi tek bir karar ağacında yapılmıştır.
- Etkileyen faktörlerin, çözüm önerilerinin, dikkate alınan kuralların çokluğu karar ağacın büyüklüğünü arttırmıştır.

## 5.2. Genel Kabuller

Araç geliştirilirken aşağıda verilmiş olan kabullere dayanılmıştır:

- Askeri sahaların bulunmadığı,
- Askeri ve genel havacılık faaliyetlerinin olmadığı,
- Hava sahasının yapısı, sınırlarının hava trafik kontrolüne bir etkisinin olmadığı,
- Olağan üstü haller ve acil durumların ihmal edildiği,

- CNS altyapısının yeterli olduğu,
- Aracın bir çatışma algılayıcı sistem ve/veya çatışma çözücü sistem ile birlikte kullanıldığı ya da kullanılacağı böylece bilgi tabanlı bu karar destek aracına gerekli tüm veri girişlerinin bu sistem tarafından otomatik olarak yapılacağı,
- Varış hava alanı mesafesi yakın ve uzak şeklinde değerlendirecek algoritmanın çatışma algılayıcı ya da çözücü sistemde mevcut olduğu,
- Aynı anda sadece iki uçağın çatışma durumunda olduğu,
- Yol kontrol biriminin sorumluluğundaki 5.500 metre (18.000 feet) üzerindeki çatışmalar için kullanıldığı.

### 5.3. Aracın Ürettiği Çatışma Çözüm Tavsiyeleri

Aracın ürettiği tavsiyeler (öneriler), kontrolörlerin ayırma stratejilerinden en çok kullandıklarını içermektedir. Bu ayrımlar genel olarak yanlamasına ayırma, dikey ayırma ve uzunlamasına ayırma olmak üzere üç kategoride yer almaktadır. Toplam 8 adet olarak verilen çözüm tavsiyeleri şunlardır:

A. Yanlamasına ayırma tavsiyesi: Bu tavsiye uçaklara vektör (dönüş) verilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Eğer çatışma halindeki uçaklardan birine yanlamasına ayırma tavsiyesi yani vektör verilmişse bunun iki farklı anlamı vardır; “öncelikle seçilen uçağa vektör ver” ve eğer gerekirse “diğer uçağa da vektör ver” ama öncelikle seçilen uçağa vektör verilmesi önemlidir. Çoğunlukla da yeterlidir. Fakat vektör vererek uçaklardan biri çok fazla yön değiştirecek, yolu çok fazla uzayacaksa, paylaştırılmak üzere her ikisine de verilebilir. Bu ayrımı burada belirtildiği için bilgi tabanlı bu karar destek aracının çözüm önerilerinde yazılı olarak ayrıca belirtilmemektedir.

B. Dikey ayırmada şu tavsiyeler verilmektedir:

- Alçalma tavsiyesi: Uçağın uçuş seviyesinin daha alçak seviyeye düşürülmesi gerektiği anlamına gelen bu tavsiye, genellikle varış hava alanı yakın olan uçaklar için tercih edilmektedir. Tırmanma safhasındaki bir uçağı çatışmayı çözmek adına alçaltma verilmesi neredeyse hiç tercih edilmeyen bir durumdur. Eğer varış hava alanı yakın değilse seyir

safhasındaki uçak için de alçalma tavsiyesi zor durumda kalınmadığı takdirde en son tercih edilecek çözümlerden biridir. Çünkü bu durum uçağın aşırı yakıt harcamasına sebep olabilir.

- Tırmanma tavsiyesi: Eğer uçak zaten tırmanıyor ve ona tırmandır diye bir tavsiye verilmişse buradan anlaşılması gereken; tırmandığı seviyenin üstünde olan başka uygun seviyeye tırmandırmaktır. Bu ve benzeri bazı detayları karar ağacı için açıklama gereği vardır çünkü karar ağacında çözümler kodlanmış ve daha sade bırakılmıştır fakat çatışma çözüm aracında çözüm tavsiyeleri çok daha detaylıdır.
- Alçalmayı durdurma tavsiyesi: Alçalmayı durdurma ve tırmanmayı durdurma tavsiyeleri bazı durumlarda “geçici” olarak verilmektedir ve bu durum araçta ifade edilmektedir. Aslında bu “geçici” ifadesi bir sonraki müsaadenin de aynı tavsiyede verildiği anlamına gelmektedir. Yani uçağın tırmanışının geçici olarak durdurulması bir müddet sonra tırmanışına devam ettirilebileceği yani 2. tavsiyenin de verildiği anlamına gelmekte ve zorunlu olmamakla birlikte bu, araç tavsiyesinde açıkça ifade edilmektedir.
- Tırmanmayı durdurma tavsiyesi
- Tırmanma oranını arttırma tavsiyesi: Kontrolörler tarafından da fazla kullanılmamakla birlikte tırmanma oranını arttırma tavsiyesi alternatif çözüm olarak birkaç senaryo da sunulmaktadır. Ayrıca buna tırmanma oranının azaltılması, ya da alçalma oranının arttırılması ve azaltılması tavsiyeleri de eklenebilirdi fakat çok az tercih edildikleri ve yerine kullanılacak daha basit çözüm önerileri olduğu için bu çalışmada bu tavsiyelere yer verilmemiştir.

C. Uzunlamasına ayırmada ise ayrı ayrı veya vektörle birlikte kullanımı kontrolöre bırakılmak üzere şu tavsiyeler verilmektedir;

- Hızını arttırma tavsiyesi,
- Hızını azaltma tavsiyesi.

Yol kontrolde uzunlamasına ayırma çok az kullanılmaktadır [52]. Bu yüzden geliştirilmiş olan toplam 57 farklı senaryonun sadece 3’ü için uzunlamasına ayırma çözüm tavsiyesi sunulmuştur.



Tüm bu tavsiyelerin nicel olarak ne miktarda gerçekleştirileceği kontrolöre bırakılmaktadır. Örneğin kontrolöre yanlamasına ayırma tavsiyesi verildiğinde; uçağa kaç derecelik dönüş yaptırılacağını kontrolör kendisi hesaplayacaktır. Eğer bu araç geleneksel bir model tabanlı çatışma çözücü sisteme entegre edilirse bunların ne oranda ya da hangi miktarda yapılacağı bu sisteme hesaplatılabilir.

Çözüm önerileri karar ağacında kodlanmış ve sadeleşmiş şekilde bulunmakta, geliştirilmiş olan çatışma çözüm aracında ise ayrıntılı olarak verilmektedir.

#### **5.4. Çatışma Çözümünde Dikkate Alınan Kurallar**

Çatışma çözümünde iki tür kural vardır. Bunlar, resmi (yani yazılı olarak bulunan) kurallar ve özel (yazılı olmayan, gayri resmi) kurallardır [51].

##### **A. Resmi kurallar:**

- Anlaşma Mektupları,
- FIR kısıtları,
- Askeri hava sahasından ayırma,
- Hız düzenlemeleri,
- Hava kuralları (pilot kuralları), vs.

Bu kurallar çalışmanın kapsamı dışında kalmaktadır, bu nedenle fazla ayrıntıya inilmemiştir.

##### **B. Özel kurallar (prensipler):**

Çalışmanın asıl kaynağını bu resmi olmayan kurallar ya da prensipler diyebileceğimiz kısım oluşturmaktadır. Bunlar yazılı olmayan, tecrübeyle kazanılmış kurallardır. Çalışmada dikkate alınan bazı kurallar şunlardır [45]:

- Yavaş olanın arkaya atılması,
- Hızlı olan uçağa direkt rota verilmesi böylelikle sektörü erken terk etmesi,

- Uçak rotalarının değiştirilmemesi,
- Önce vektörün tercih edilmesi,
- Her iki uçağa da vektör verilmesi,
- Öncelikle emniyet,
- Seyir halindeki uçakların rahatsız edilmemesi,
- Ayırma uygulatılacağı zaman değişikliğe ihtiyacı olan uçağın tercih edilmesi (yani çatışmaya girecek olan uçaklardan biri o anda ya da kısa bir süre sonra alçalma, tırmanma ya da dönüş, vb. manevraya zaten başlayacaksa tercihen bu uçağa ayırma manevrası yaptırılmalıdır),
- En az sayıda uçağın rahatsız edilmesi,
- Uçak seviyelerinin gereksiz yere değiştirilmemesi,
- Karmaşık durumlarda dikey ayırmanın tercih edilmesi,
- Mümkünse hız kontrol tekniklerinin uygulanması,
- Alçalma ve tırmanma profillerinin kesintisiz sürdürülmesi,
- Transit uçuşlara müdahale edilmemesi,
- Çatışmaların ikişerli çözülmesi.

Tüm özel kurallar, ülkeye, duruma, senaryoya göre çeşitlilik göstermektedir. Kuralları sadece yukarıda verilenlerle sınırlamak imkansızdır. Eurocontrol tarafından yapılan “Investigating Air Traffic Controllers Conflict Resolution Strategies” [51] isimli çalışmadan diğer kurallar bulunabilir. Fakat kontrolörlerin zihninde saklı kalmış daha birçok kural vardır ve kontrolörün çatışma çözme yöntemlerinin gerçeğe daha yakın şekilde modellenmesi için bunların incelenmesi gerekir. Bu inceleme ise başka bir araştırma konusudur.

### **5.5. Çatışma Çözümünü Etkileyen Faktörler**

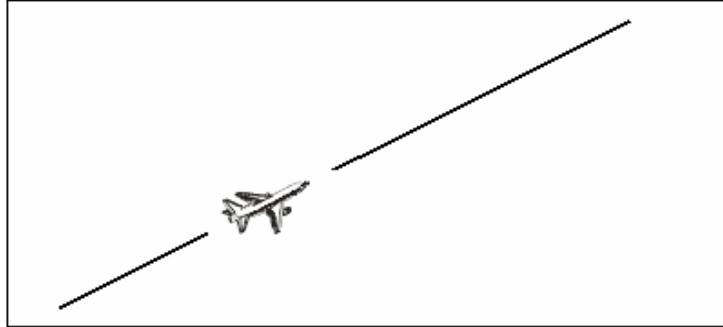
Kontrolörün çatışmaları nasıl çözeceğine karar vermesinde birçok faktör etkilidir. Bu faktörlerden 10 tanesi burada verilmiştir ve bunlar aynı zamanda geliştirilmiş olan bilgi tabanlı karar destek aracının algoritmasının temel yapıtaşlarıdır. Bu faktörler ve bulunabilecekleri farklı durumlar genel faktörler ve uçak performans faktörleri olmak üzere iki bölüm altında incelenmiştir. Etkileyen

diğer faktörler hakkında daha detaylı bilgiler [14] ve [51] numaralı kaynaklardan bulunabilir.

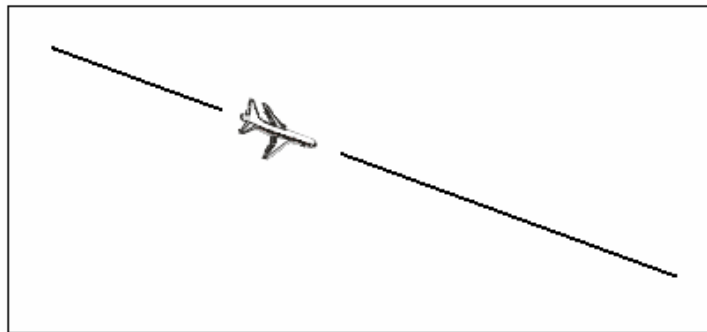
### 5.5.1. Genel faktörler

#### a) Uçuş safhası (tırmanma, seyir, alçalma):

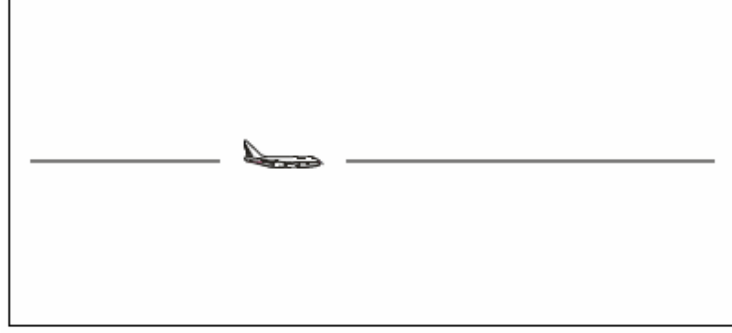
Uçakların uçuş safhaları çatışma çözümü yapabilmek için bilinmesi zorunlu olan bir faktördür. Bunu bilmeden bir çözüme gitmek düşünülemez. Yol kontrolde tırmanma, alçalma ya da seyir (düz uçuş ya da transit uçuş) olmak üzere 3 uçuş safhasıyla ilgilenilmektedir. Aşağıda Şekil 5.1’de tırmanma safhasındaki uçak, Şekil 5.2’de alçalma safhasındaki uçak ve Şekil 5.3’te seyir safhasındaki uçaklar gösterilmektedir. Yukarıda verilmiş olan prensiplere göre seyir halindeki uçakların tırmanan ve alçalan uçaklara karşı bir önceliği mevcuttur. Ayırma yapılacağı zaman seyir halindeki uçak mümkün olduğunca rahatsız edilmez.



Şekil 5.1. Tırmanma safhası



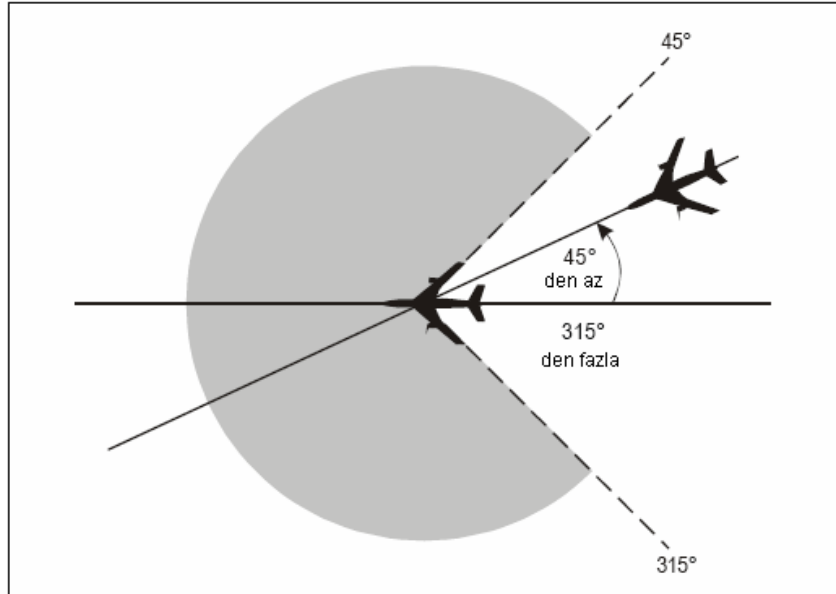
Şekil 5.2. Alçalma safhası



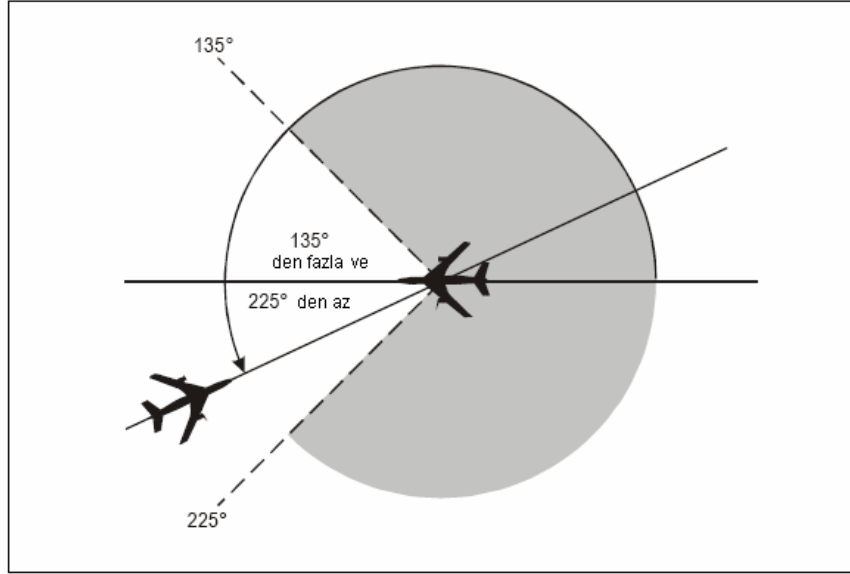
Şekil 5.3. Seyir safhası

b) Çatışma tipi (aynı yönlü, kesişen, karşılıklı):

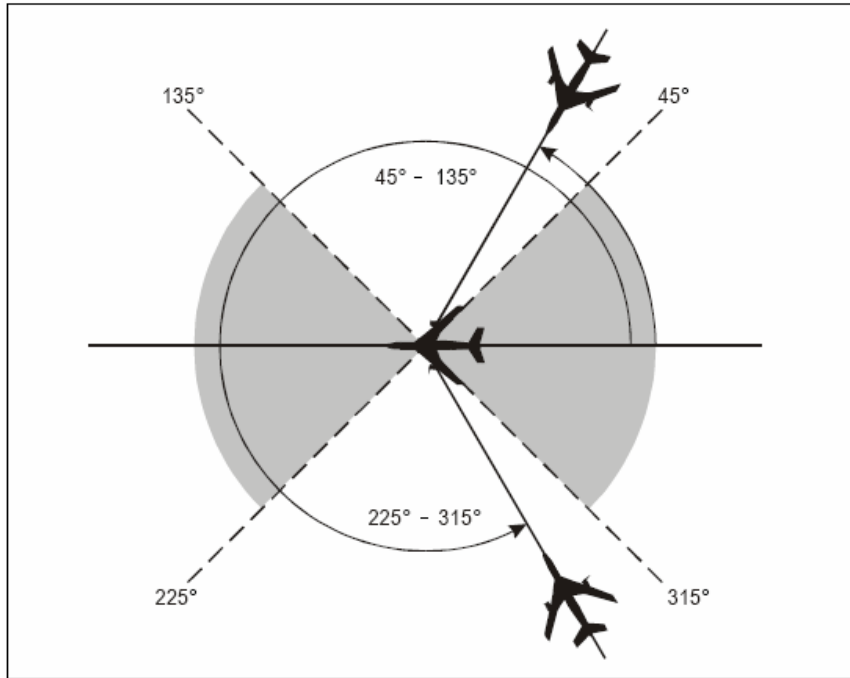
Uçakların uçuş rotalarının yönü bize çatışma tipini vermektedir. Kesişen, karşılıklı ve aynı yönlü olmak üzere 3 çatışma tipi vardır. Karar ağacında çatışma tipi olarak bu 3 çatışma tipi karşılıklı ve kesişen rotaların birleştirilmesi suretiyle aynı yönlü ve farklı yönlü olmak üzere ikiye indirgenmiştir. İncelenen faktörlere göre, bunların ayrıştırılmasına gerek yoktur. Bulunan çözümler her iki çatışma tipine de uymaktadır. Aşağıda Şekil 5.4'te aynı yönlü uçaklar, Şekil 5.5'te karşılıklı uçaklar ve Şekil 5.6'da kesişen uçaklar gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Aynı yönlü trafikler [8]



Şekil 5.5. Karşılıklı trafikler [8]



Şekil 5.6. Kesişen trafikler [8]

c) Variş hava alanı uzaklığı (yakın-uzak)

Uçakların iniş yapmak üzere gittikleri hava alanıdır. Variş hava alanı uzaklığı faktörü seyir safhasındaki uçakları tırmandırma ya da alçaltma kararı verebilmek için kullanılmaktadır. Örneğin farklı yönlü seyir halindeki uçaklardan birinin hava alanı yakın diğerinin uzaksa, variş hava alanı yakında olan uçak zaten bir müddet sonra alçalma izni isteyecektir onun için, ya uçağa sormadan yanlamasına ayırılır ya da alçaltılır. Burada bahsedilen variş hava alanı uzaklığı kontrolörün değerlendirmesine bağlı bir değişkendir, sadece yakın ve uzak şeklinde değerlendirilmektedir, mesafe değerleri sorgulanıp, yakınlık-uzaklık ölçütleri belirlenmemiştir. Alçalma safhasındaki uçakların, genellikle iniş hava alanı yakındır, bu yüzden alçalan uçaklar için hava alanı mesafesi sorgulanmaz. Meteorolojik koşullar vb. özel koşullar gerektirmedikçe pilotlar seyir seviyelerini değiştirmek (özellikle alçak seviyeye) istemezler, bu uçakların daha fazla yakıt tüketmesine sebep olur. Aynı şekilde kontrolörler de başka çözüm yolu kalmadıkça ya da uçağın hava alanına yaklaşmakta olduğunu görmeden uçuş irtifasını düşürmezler. Tırmanan uçaklar için de variş hava alanı uzaklığı sorgulanmaz, uzak kabul edilir.

d) İzafi variş hava alanı uzaklığı (daha uzak-daha yakın)

Buradaki variş hava alanı uzaklığı değerlendirmesi iki uçağın variş hava alanlarının hangisinin daha uzak olduğunun bulunması içindir. Programda mesafe değer girişine gerek duyulmamıştır. Sadece hangisinin daha uzak olduğu seçimi yapılmaktadır. Tırmanma ve alçalma safhasındaki uçaklar için bu faktöre ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin; farklı yönlü tırmanma safhasındaki uçaklar çatışma durumundayken hangisinin variş hava alanı daha uzaksa öncelik ona ait olur ve yakına giden uçağa öncelikle yanlamasına ayırma tavsiyesi ve alternatif olarak tırmanışı durdurma tavsiyesi verilir. Variş hava alanı uzakta olan tırmanma safhasındaki uçak aynı safhadaki diğer uçağa göre daha avantajlıdır. Alçalma safhasındaki uçaklar için ise yakın olan avantajlıdır.

e) Tırmanabilme imkanı(evet-hayır)

Uçaklara tırmandırma tavsiyesi verilmesi düşünüldüğü zaman sorgulanan bir faktördür. Programda tırmanan uçaklar için seviye (o anda kat edilen uçuş seviyesi ve tırmanılan seviye) seçim girişleri mevcuttur, herhangi bir uçağın tırmandığı seviye performans veritabanına göre o uçağın uçabileceği maksimum seviye ise program otomatik olarak daha yüksek seviyeye tırmanabilme imkanı hayır olarak değerlendirir. Seyir safhasında uçaklar için ise sadece evet veya hayır şeklinde seçenekler sunulmakta ve bunlardan biri seçtirilmektedir. Burada manuel olarak kontrolör tarafından değerlendirmeye tabi tutulan fakat modele dayalı çatışma çözücü sistem tarafından aşağıda listelenmiş olan sorgulamaların gerçekleştirilmesi sonucunda tırmanabilme imkanı evet veya hayır olarak seçilecektir:

- Uçak performansının uygun olması (programda kullanılmaktadır),
- Meteorolojik şartların elverişliliği,
- Trafik durumunun tırmanışa müsaade etmesi,
- Pilot niyeti.

f) İzafi uçuş hızları (daha hızlı-daha yavaş)

Uçak hızlarının buradaki kullanılışı seyir safhasındaki uçaklara uzunlamasına ayırma yaptırmak içindir. Bazı durumlarda çatışma halindeki uçaklardan hangisi daha hızlıysa o uçağın hızı daha çok arttırılarak ve/veya vektör yardımıyla öne alınır. Diğer uçak ise hızı azaltılarak ve/veya vektörle arkaya atılır.

g) Çatışma noktasına olan izafi uzaklıkları (daha uzak-daha yakın)

Uçakların çatışma halinde olacağı tahmin edilen noktaya olan uzaklıkları çatışma çözümünü etkileyebilmektedir. Seyir halindeki uçakların hızları yaklaşık eşit olduğunda öne alınacak uçağı belirlemek için son olarak sorgulanan faktördür. Çatışma noktasına daha yakın olan uçağın hızı arttırılarak ve/veya vektör yardımıyla öne alınır, diğeri ise arkaya atılır.

### 5.5.2. Uçak performans faktörleri

Bu faktörler diğerlerinden farklı olarak programın içinde gizlidir. Kullanıcı tarafından seçilmemekte, sadece kullanıcının uçak tipini ve uçuş seviyesini seçmesiyle uçak performans faktörleri programın kendisi tarafından otomatik olarak değerlendirilmektedir.

Kullanılan uçak performans faktörleri şunlardır:

a) Tırmanma oranı, uçakların birim zamanda (feet/dakika) tırmandıkları irtifadır. Her uçağın tırmanma oranı farklıdır. Ve uçakların tırmanma oranları da uçtukları seviyeye göre değişmektedir.

b) Alçalma oranı, uçakların birim zamanda (feet/dakika) ne kadar alçaldıklarının bilgisidir. Her uçağın alçalma oranı farklıdır. Ve uçakların alçalma oranları da uçtukları seviyeye göre değişmektedir.

c) Uçuş seviyeleri/uçuş tavanı, uçakların hangi seviyelerde uçabildikleri sayesinde uçakların hangi seviyenin üstüne çıkamayacakları anlaşılır ve uçtuğu ya da tırmandığı seviyenin daha üstüne tırmandırılıp tırmandırılmayacağı öğrenilir.

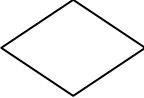
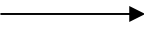
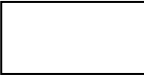
### 5.6. Çatışma Çözümünün Modellenmesi

Kontrolör bilgisinden elde edilen sonuçlara göre çatışma çözümünün kontrolörler tarafından nasıl gerçekleştirildiğini modellemek üzere karar ağacı tercih edilmiştir. Bölüm 5.3, 5.4 ve 5.5'te verilmiş olan tüm faktörler, kurallar çözümler tek bir karar ağacında bir araya getirilmiştir. Daha sonra bu karar ağacı, uygun bir programlama diliyle çatışma çözüm aracını oluşturmak üzere kullanılmıştır.

Aşağıda Çizelge 5.1'de görüldüğü üzere, karar ağacında yer alan her bir eşkenar dörtgen simgesi karar durumları olarak da değerlendirilen çatışma çözümünü etkileyen genel faktörleri temsil etmekte, dikdörtgen simgeleri çatışma çözüm önerilerini, ok simgeleri ise karar seçeneklerini (verilen karar) temsil etmektedir.



Çizelge 5.1. Karar ağacında kullanılan simgeler ve anlamları

Simge	Simgenin anlamı
	Bir karar verme işlemini/hangi konuda karar verileceğini temsil eder (Çatışma çözümünü etkileyen genel faktörler)
	Karar seçenekleri/Verilen karar
	İşlem (Çatışma Çözüm Önerisi)

Çizelge 5.2. Karar ağacındaki çatışma çözüm önerileri ve kodları

Yazım Sırası		Kod	Kodun Anlamı	
1	Çözüm Önerisi No	1	Öncelikli Çözüm Önerisi	
		2	Alternatif Çözüm Önerisi	
2	Uçak	A	Uçak	
		B	Uçak	
3	Ayırma Sınıfı	Y	Yanlamasına	
		U	Uzunlamasına	
		D	Dikey	
4	Ayırma Yöntemi	Y için	Vektör ver (Öncelikle seçilen uçağa ya da her ikisinde)	
		U için	1	Hızını Arttır
			2	Hızını Azalt
		D için	1	Tırmandır
			2	Tırmanışı Durdur
			3	Alçalt
			4	Alçalışı Durdur
			5	Tırmanma Oranını Arttır

Çatışma çözüm önerisini temsil eden dikdörtgen simgesinin içinde çözümler harf ve simgelerle kodlanmıştır ve her birinin anlamı yukarıda yer alan Çizelge 5.2'de verilmiştir. Dikdörtgen içinde yazım sırası öncelikle eğer iki çözüm

sunulmuşsa bunlar 1 ve 2 diye numaralandırılmıştır. İlki “öncelikli çözüm önerisini”, ikincisi ise “alternatif çözüm önerisini” ifade etmektedir. Eğer tek çözüm sunulmuşsa numara verilmemiştir. Daha sonra sırasıyla “uçak kodu”, “ayırma sınıfı kodu”, “ayırma yöntemi numarası” verilmektedir. Ayrıca iki tane daha simge kullanılmıştır. Bunlar, “ve” anlamında “ $\wedge$ ” simgesi ile “veya” anlamında “V” simgesidir.

Şekil EK.1’den de görülebileceği gibi karar ağacı öncelikle çözüm kararını etkileyen en genel ve vazgeçilmez faktörler olan uçuş safhaları ve çatışma tipi ile başlamaktadır. Uçuş safhaları aynı olmayan uçak çiftleri için bu iki faktör kolaylıkla çözüme gitmeye yeterli olmaktadır. Tırmanma safhasındaki bir uçak ile seyir safhasındaki bir uçak çatışma halindeyse “seyir (transit) halindeki uçaklara müdahale edilmemesi” ve “Manevraya ihtiyaç duyan bir uçağa müdahale edilmesi” gibi prensiplere istinaden tırmanma safhasındaki uçağa ayırma manevrasının uygulanacağı anlaşılmaktadır. Hangi ayırmanın uygulanacağına gelince bunu da “Alçalma ve tırmanma profillerinin kesintisiz sürdürülmesi” prensibine dayanarak tırmanışın durdurulması yerine öncelikli olarak “Yanlamasına” ayırma önerilmektedir. Bu hem daha etkin hem daha ekonomik bir yöntemdir.

Kontrolöre sunulan ikinci çözüm önerisi olan “Tırmanışın Durdurulması” tavsiyesi ise eğer trafik çok yoğun ise ve iş yükü ağırlaşmışsa, emniyetin muhafaza edilmesi bakımından daha uygun görülebilir. Çünkü uçağın yanlamasına ayrılması daha fazla dikkat, takip ve iletişim gerektirmekte ve iş yükünü arttırmakta böylece emniyeti azaltmaktadır. Bu durumda her ne kadar ilk öneri daha çok tercih edilir olsa da, kontrolörün maruz kaldığı iş yükü veya başka herhangi bir sebeple ikinci öneriyi de seçme imkanı vardır. Burada, karar ağacında çözüm önerileri daha öz şekilde kodlandığı için görülmeyen fakat programda yer alan çok daha ince bir detay daha vardır. Biri tırmanma safhasında diğeri de seyir safhasında olan uçakların “uçuş safhaları” yanında ayrıca “çatışma tipi” de sonuç için değerlendirilmektedir. Ve çatışma tipinin “aynı yönlü” veya “farklı yönlü” olmasına göre 2. çözüm önerilerinde şu fark vardır; eğer uçaklar “aynı yönlüye” tırmanma uçağının tırmanışı seyir uçağının altındaki uygun bir seviyede kalıcı olarak durdurulurken, “farklı yönlü” uçaklarda “geçici” olarak

durdurulabilmektedir. Çünkü uçaklar çatışma noktasını geçtikten sonra farklı rotalarda uçuşlarına devam edeceklerdir böylece tırmanma safhasındaki uçağın tırmanışını engellemenin anlamı kalmamaktadır. Eğer uçakların ikisi de tırmanıyorsa ve farklı yönlüyse; uçağa tırmanışı geçici olarak durdur tavsiyesi verilmesinin yanı sıra bu tırmanışı durdurduktan sonra ne yapması gerektiği de araç tarafından sunulmaktadır. O da; uçağın diğer uçak yükseldikçe onun terk ettiği seviyeye tırmandırılması tavsiyesidir. Bu tavsiye aracın çözüm önerisi kutusunda şu şekilde belirtilmektedir. “ Tırmanışı geçici olarak durdur ve diğer uçağın terk ettiği seviyeye tırmandır”

Uçakların uçuş safhaları olsun çatışma tipi olsun herhangi parametreleri eşit oldukça uçaklar arasında öncelik belirlemek ve en uygun ayırmaya karar vermek daha da zorlaşmaktadır. Bu durumda senaryo hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin; her iki uçak ta “seyir” safhasındaysa (karar ağacından takip edilebilir), çatışma tipine bakılır o da “aynı yönlü” ise diğer bir faktör olan “varış hava alanı uzaklığına” bakmak gerekir, eğer her iki uçağın da varış hava alanı “uzak” mesafedeyse hala iki uçaktan hangisine ayırma uygulanacağına dair bir öncelik belirlenmemektedir ama tırmandırma çözümü olasılığını değerlendirmek için uçakların “tırmanabilme imkanı” sorgulanır, eğer uçakların her ikisinin de “tırmanma imkanı yoksa” bu çözümden vazgeçilir ve uygun uçağı ve ayırmayı belirlemek üzere sorgulamaya uçaklardan “hangisinin daha hızlı” olduğuyula devam edilir. Eğer uçakların hızları da eşit ise, son olarak uçakların “çatışma noktasına olan mesafelerine” bakılır. Karar ağacında 6 farklı faktörün sorgulandığı böylece en fazla dallanmanın olduğu bu çatışma senaryosunda eğer uçakların çatışma noktası mesafeleri de eşit ise bu uçaklardan herhangi birine öncelik vermek mümkün değildir. Fakat geriye kalan en uygun çözüm bulunmuştur. Bu durumda uçaklardan herhangi birine (değerlendirilen ölçütlere göre hangisinin olacağı artık fark etmez) seviyesini alçaltma talimatı verilebilmektedir.

Gerçekte kontrolör istediği takdirde yukarıdaki senaryoda tırmanabilme imkânlarının olmadığı kararına vardığında, bu sorgulamayı fazla uzatmayıp herhangi bir uçağa alçalma talimatı verebilir. Kontrolörler çok yoğun trafik zamanlarında verdikleri emniyet ağırlıklı hızlı çözüm kararlarıyla, az yoğun trafik

zamanlarında verdikleri yakıt verimli, trafik akışını hızlandırıcı yavaş kararlarıyla zihinsel öz kaynaklarını dengeli bir şekilde kullanmaya çalışmaktadırlar. Bu diğer sorunları çözüp zaman kazanmak, tek bir çatışmaya odaklanıp diğer sorunları gözden kaçırmamak ve böylece de emniyeti tehlikeye atmamak için iyi bir karar olabilir. Ama belki daha verimli ve ekonomik olan başka bir çözüm vardır ve bu durumda bu çözüm ne uygulanmış ne de düşünülmüştür. Eğer kontrolörün çatışma çözüm görevini karar destek sistemi gibi bir otomasyon sistemi yapacak veya kontrolöre bu konuda yardımcı olacaksa insanın dezavantajı olan dikkat kaybı, zaman kısıtı gibi sorunlar ya azalacak ya da tamamen sona erecektir. Çünkü sistem bu hesaplamaları çok hızlı ve doğru bir şekilde yapacaktır. Burada sistem yazılımının sorgulamayı yarıda kesmesine gerek yoktur.

Buraya kadar sadece 3 farklı senaryo anlatılmıştır. Geriye aynı titizlikle oluşturulmuş tam 54 adet daha senaryo ve bunların çözüm(ler)i mevcuttur. Gerek buraya kadar anlatılan senaryolardan gerekse önceki bölümlerdeki açıklamalardan (prensiplere, faktörler, vs.) ve ekte verilmiş olan karar ağacı incelenerek program algoritması kolayca anlaşılabilir.

## **5.7. Aracın Yapısı ve Kullanımı**

Aracın yazılımı nesne tabanlı bir programlama dili olan Visual Basic ile hazırlanmıştır. Araç bütünleşik halde bulunan üç bileşene sahiptir. Bunlar;

- 1) Karar ağacından elde edilen kontrolör bilgisinden oluşan bilgi tabanı,
- 2) Uçak performans verisinin bulunduğu veri tabanı,
- 3) Kullanıcının aracı kullanmasını sağlayan insan makine arayüzüdür.

### **5.7.1. Bilgi tabanı**

Aracın hem ürettiği çözümler hem de arayüzünün değişken görünümü bilgi tabanını oluşturan karar ağacına göre belirlenmiştir. Program komutları, programın işleyişi tamamen kontrolör bilgisine göre tasarlanmıştır. Başlangıçta karar ağacı şeklinde sunulan kontrolör bilgisi daha sonra Visual Basic programlama dili ile yazılmasının gereği olarak Bölüm 3.2.3.4'te bahsedilmiş olan

bilgi gösterim yöntemlerinden olan üretim kuralları (koşul-eylem) şekline dönüştürülmüştür. Buradaki kurallar Bölüm 3.2.3.4'te açıklanan bilgi kuralları (knowledge rules) ya da diğer adıyla tanıtıcı kurallardan (declarative rules) oluşmaktadır.

### 5.7.2. Veri tabanı

Araç, uçak tipleri ve bu uçak tiplerine ait değişik seviyelerdeki tırmanma ve alçalma performans verisini Access programı ile oluşturulan veritabanından elde etmektedir.

Aracın uçak performans veri tabanında kullanılmak üzere Avrupa Sivil Havacılık Konferansı (ECAC- European Civil Aviation Conference) hava sahasında en çok uçuş yapan A320, B737-800, B747-400 ve A340-300 tipinde 4 uçak seçilmiştir [53]. Kuyruk türbülans kategorilerine göre ikisi ağır, ikisi orta ağırlıkta olmak üzere dengeli bir seçim yapılmıştır.

Daha sonra Eurocontrol BADA veritabanından [54] bu uçakların ilgili performans verisi (uçuş yapabildikleri seviyeler, bu seviyelere göre tırmanma, alçalma oranları) alınmış ve Access programı ile uçak performans veritabanı oluşturulmuştur. İstenildiği takdirde veri tabanına gerekli performans verileri girilerek uçak tipi sayısı istenilen miktarda artırılabilir. Program ilave edilen uçakları otomatik olarak algılayıp, kullanabilme olanağına sahiptir.

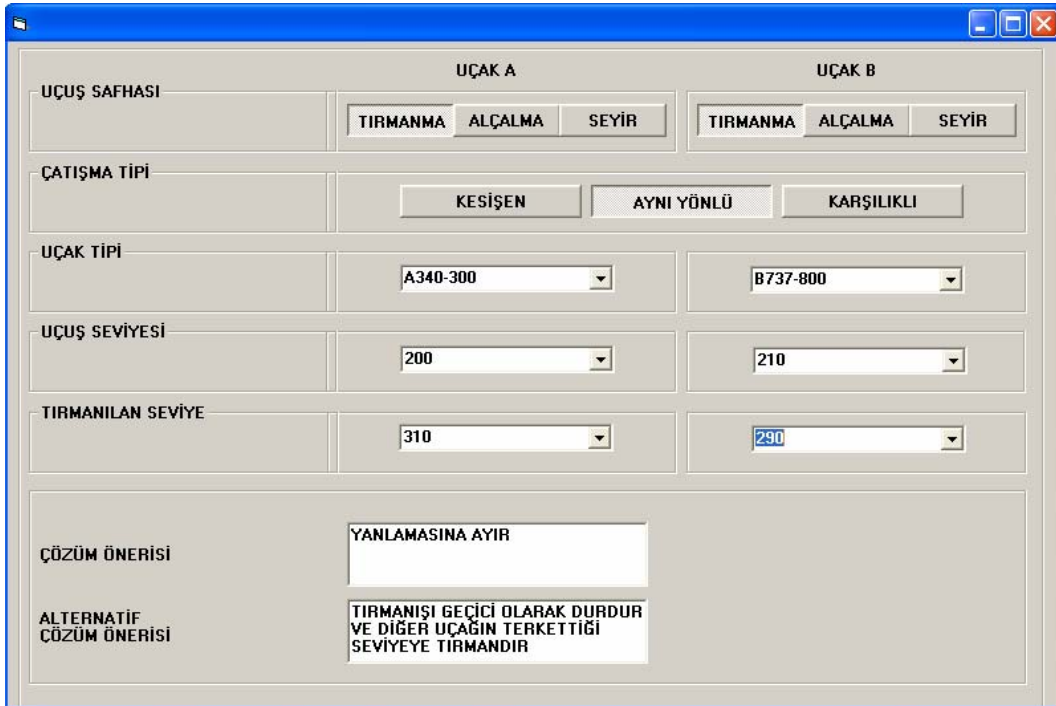
Program veritabanını alçalma ve tırmanan trafikler için kullanmaktadır. Tırmanan trafiklerin uçuş tavanları belirlenmekte böylece tırmandırma çözümünün uygulanabilirliği program tarafından otomatik olarak incelenmektedir. Ayrıca tırmanma oranları karşılaştırılarak hangi uçağa tırmanmada öncelik verileceğine de otomatik olarak program tarafından karar verilmektedir. Alçalma trafiklerin de alçalma oranları karşılaştırılarak, hangisine alçalmada öncelik verileceğinin otomatik olarak hesaplandığı durumlar vardır.

Bu kısım da diğerleri gibi 2 seçeneği olarak hazırlanabilirdi (hangisinin performansı daha yüksek diye sorgulama butonu konup iki uçaktan biri kullanıcı tarafından seçilebilirdi) ya da tam tersi olarak; diğer birçok faktör (Örn; hava alanı uzaklığı, çatışma noktası mesafesi, uçak hızları, çatışma tipi) birimsel olarak

kullanıcıya giriş yaptırılıp programa hesaplatılabilir ve program bunları kendisi karşılaştırılabilir. Fakat program zaten yalnız başına kullanılmayacağı, başka sistemlerle entegre edilmek üzere tasarlandığı için buna gerek kalmamaktadır. Diğer sistemlerde bu tür hesaplamalar zaten kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu çalışmanın amacı dışına çıkmaktadır.

### 5.7.3. Kullanıcı arayüzü

Aracın insan makine arayüzü, karar ağacında da izlenen algoritmaya göre sadece gerekli durumlarda gerekli pencerelerin açıldığı ve bu pencerelerde seçenek tuşlarının, giriş kutularının ve metin kutularının yer aldığı tıklamalı kullanımı olan bir yapıdadır (Şekil 5.7). Senaryoya göre aracın arayüz görünümü değişmektedir. Aracın kullanımı bu arayüz ile sağlanır.



	UÇAK A	UÇAK B
UÇUŞ SAFHASI	TIRMANMA ALÇALMA SEYİR	TIRMANMA ALÇALMA SEYİR
ÇATIŞMA TİPİ	KESİŞEN AYNI YÖNLÜ KARŞILIKLI	
UÇAK TİPİ	A340-300	B737-800
UÇUŞ SEVİYESİ	200	210
TIRMANILAN SEVİYE	310	290
ÇÖZÜM ÖNERİSİ	YANLAMASINA AYIR	
ALTERNATİF ÇÖZÜM ÖNERİSİ	TIRMANIŞI GEÇİCİ OLARAK DURDUR VE DİĞER UÇAĞIN TERKETTİĞİ SEVİYEYE TIRMANDIR	

Şekil 5.7. Aracın arayüz görünümünden bir örnek

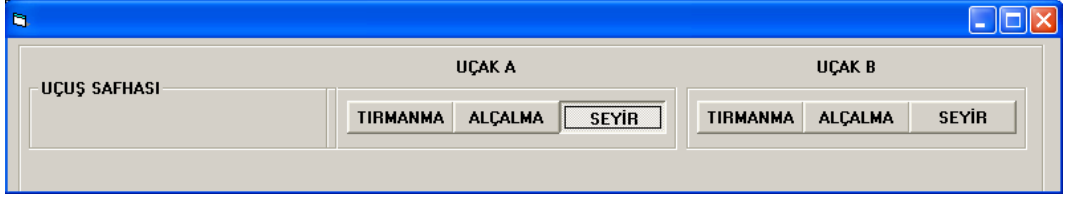
Kullanıcı tarafından, seçenek tuşlarına basılması ve giriş kutularından gerekli seçimin yapılması suretiyle sisteme çatışma senaryosunu tanımlayan veri girişi yapılmaktadır. Program algoritmasına göre çatışma çözümü için yeterli

miktarda veri elde edildiğinde program otomatik olarak sonuç penceresini açmakta ve çözüm önerilerini sunmaktadır.

Açılan pencereler daha önceki konuda da verilmiş olan “çözümü etkileyen faktörleri” temsil etmekte ve Şekilde 5.7’de görüldüğü gibi pencerenin solunda ismi yazmaktadır. İstisna olarak “Uçak Tipi”, “Uçuş Seviyesi”, “Tırmanılan Seviye” gibi sorgulama pencereleri ise gizli olan (açılır penceresi yok, veritabanından otomatik elde ediliyor) uçak performans faktörlerini kullanabilmek amacıyla yer almaktadır. Kısaca; uçak tipini bilmeden, uçağın uçtuğu seviyeyi bilmeden onların tırmanma ve alçalma oranları bilinemez. Ayrıca o anki seviyeleri ile birlikte tırmandıkları seviyeyi de bilmeden uçakların daha üst seviyeye tırmanıp tırmanamayacağı bilinemez. Tüm bu veriler mevcut olmalıdır ki program, veri tabanından o uçakla ilgili performans verisini bulup gerekli karşılaştırmayı yapabilsin.

Program arayüzünün diğer öğeleriyle devam edilecek olursa; “Uçak A” ve “Uçak B” olarak ayrılmış iki sütun halinde her iki uçağın altında kendisiyle ilgili seçenek tuşları ayrı ayrı veya ortak pencerelerde açılmaktadır. Seçimler yapıldıkça yeni pencere açılmakta ve daha önce basılmış olan tuşlar ile yapılmış olan seçimlerin gösterimi eski seçim değiştirilmediği sürece sabit kalmaktadır. Eğer eski seçimden herhangi biri değiştirilirse alt pencerelerin tamamı kapanmakta ve o seçimle ilgili diğer sorgulama (seçenek) penceresi açılmaktadır. Genel form (program arayüz görünümü) büyüklüğü açılan pencereleri kapsayacak ebatlarda olmak üzere otomatik olarak değişmektedir.

Programın ilk açılışında sadece uçuş safhası seçim penceresi görünmektedir (Şekil 5.8a) . Her iki uçağın da uçuş safhası seçildiğinde çatışma tipi ortak seçim penceresi açılmaktadır (Şekil 5.8b). Açılacak olan 3. pencerenin hangisi olacağı buraya kadar yapılmış olan seçimlere, diğer pencerelerin de sırayla açılması ise bundan sonra yapılacak olan her seçime göre değişim göstermektedir. Şekil 5.7 ile Şekil 5.8c’yi karşılaştırabilirsiniz, görüldüğü gibi açılan 3. pencere farklıdır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.8. Aracın ilk açılıştan itibaren 3 adımdaki görünümü. (a) ilk açılıştaki görünüm (uçuş safhası penceresi), (b) uçuş safhaları seçimi yapıldıktan sonra açılan çatışma tipi penceresi ile değişen görünüm, (c) uçuş safhaları “seyir” ve çatışma tipi “karşılıklı” olarak seçildikten sonra açılan “varış hava alanı uzaklığı” penceresi ile değişen arayüz görünümü.

Yeterli veri girişi yapıldıktan sonra hangi uçağa hangi ayırmanın uygulanması gerektiği ilgili uçak sütununun en altında metin kutusunda yazılı olarak sunulmaktadır (Şekil 5.7). Eğer metin kutusu iki uçağın arasında yer alıyorsa bu, ayırmanın iki uçaktan herhangi birine uygulanılabileceği, hiçbir uçağın öncelik taşımadığı anlamına gelir. İlki en çok tercih edilen çözüm, ikincisi ise alternatif çözüm olmak üzere tek bir uçağa veya her iki uçağa en fazla ikişer çözüm önerisi sunulmaktadır. Karar ağacından farklı olarak burada çözümler daha detaylı olarak sunulmaktadır.



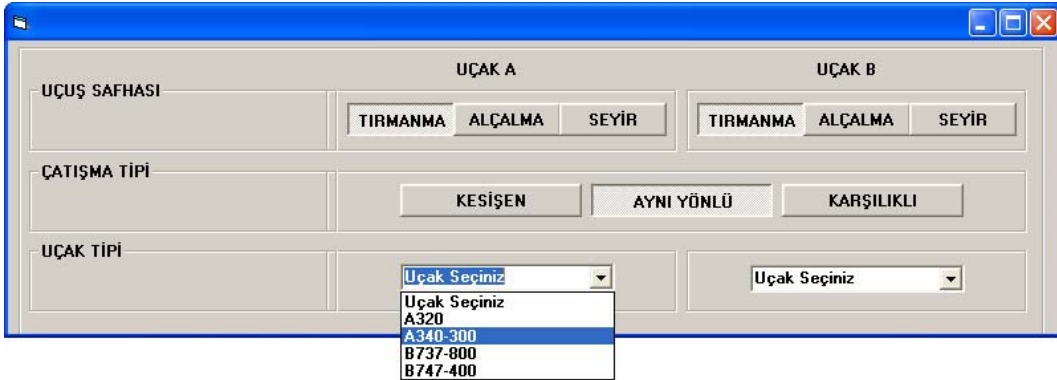
Programın hem veritabanı ile ilişkisini ortaya koymak bakımından hem de program algoritmasının ve arayüzünün biraz daha iyi anlaşılması için bir senaryonun daha girişi, adım adım resimlerle gösterilmiştir.

Senaryoya aynı yönlü, tırmanan iki uçağın olduğu varsayılarak başlanılsın. Bu seçenekler girildikten sonra program arayüzü Şekil 5.9'daki gibi olacaktır. Açılan uçak tipi seçim penceresinde her iki uçak için "Uçak Seçiniz" yazan uçak seçim giriş kutusu bulunmaktadır.



Şekil 5.9. Uçak tipi seçim penceresinin açılması

Kutunun sağında görülen aşağı yönlü ok başı simgesine tıklandığında, daha önce veri tabanına yüklenmiş olan 4 uçak tipinin (A320, A340-300, B737-800, B747-400) yer aldığı liste açılmaktadır (Şekil 5.10). Buradan Uçak A olarak 4 motorlu ağır bir uçak olan A340-300'ü seçilsin. Daha sonra Uçak B olarak bu sefer çift motorlu, orta ağırlıktaki B737-800 aynı şekilde seçilsin.



Şekil 5.10. Uçak tipinin seçilmesi

Bu sefer açılan pencere “Uçuş Seviyesi” penceresidir. Burada tırmanan bu uçakların o anda kat ettikleri seviyeleri seçilir (Şekil 5.11). Uçuş seviyeleri 100 ile çarpıldığı takdirde feet cinsinden irtifaları bulunabilir. Seviye seçmek için seviye seçiniz yazan kutunun sağındaki ok simgesine tıklandığında, veri tabanından yüklenen, o uçağın uçabildiği Uçuş Seviyesi (FL- Flight Level) 180’in (18.000 feet) üzerindeki tüm seviyeler liste halinde çıkar. Seviyelerin tamamı aynı anda görülmemekte, onun yerine kaydırma çubuğu ile hareket ettirerek tamamı görülebilmektedir. Şekilde en yüksek seviye olarak 400 görülmektedir. Aslında A340-300’ün uçuş tavanı FL410’dur fakat uçak tırmanan uçak olduğu için o andaki seviyesi 400’den fazla olamaz, bu yüzden program uçuş tavanının bir altındaki seviyeye kadar olan tüm seviyeleri listelemiştir.

Şekil 5.11. Uçuş seviyesi penceresi ve kat edilen anlık uçuş seviyesinin seçilmesi

Uçak A’nın seviyesi 330 olarak seçildikten sonra Uçak B için de aynı yöntemle, aynı seviye seçilsin. Bu sefer kullanıcının karşısına “tırmanılan seviyenin” sorgulandığı pencere ve giriş kutuları açılır (Şekil 5.12).

Aynı yöntemle her iki uçağın tırmandığı seviye 370 olarak seçilsin. Bu sefer kullanıcının karşısına “Tırmanabilme İmkânı” penceresi açılacaktır (Şekil 5.13). Bu ifadeden kasıt, uçakların tırmandıkları seviyenin daha yüksek bir seviye ile değiştirilip değiştirilemeyeceğidir. Her iki uçağın da daha yüksek seviyeye tırmanamayacağı kabul edilirse, her ikisi için de hayır seçeneğine tıklanacaktır.

	UÇAK A	UÇAK B
UÇUŞ SAFHASI	TIRMANMA ALÇALMA SEYİR	TIRMANMA ALÇALMA SEYİR
ÇATIŞMA TIPI	KESİŞEN AYNI YÖNLÜ KARŞILIKLI	
UÇAK TIPI	A340-300	B737-800
UÇUŞ SEVİYESİ	330	330
TIRMANILAN SEVİYE	Seviye Seçiniz	Seviye Seçiniz

Şekil 5.12. Tırmanılan seviye penceresinin açılması

	UÇAK A	UÇAK B
UÇUŞ SAFHASI	TIRMANMA ALÇALMA SEYİR	TIRMANMA ALÇALMA SEYİR
ÇATIŞMA TIPI	KESİŞEN AYNI YÖNLÜ KARŞILIKLI	
UÇAK TIPI	A340-300	B737-800
UÇUŞ SEVİYESİ	330	330
TIRMANILAN SEVİYE	370	370
TIRMANABİLME İMKANI	EVET HAYIR	EVET HAYIR

Şekil 5.13. Tırmanabilme imkanı seçim penceresi

Her iki uçağın da daha yüksek seviyeye tırmanamayacağı kabul edilsin, her ikisi için de hayır seçeneğine tıklanırsa bu durumda artık sona gelinmiştir ve sonuç penceresi açılır (Şekil 5.14).

	UÇAK A	UÇAK B
UÇUŞ SAFHASI	TIRMANMA ALÇALMA SEYİR	TIRMANMA ALÇALMA SEYİR
ÇATIŞMA TIPI	KESİŞEN	AYNI YÖNLÜ KARŞILIKLI
UÇAK TİPİ	A340-300	B737-800
UÇUŞ SEVİYESİ	330	330
TIRMANILAN SEVİYE	370	370
TIRMANABİLME İMKANI	EVET HAYIR	EVET HAYIR
ÇÖZÜM ÖNERİSİ	TIRMANIŞI GEÇİCİ OLARAK DURDUR VE DİĞER UÇAĞIN TERKETTİĞİ SEVİYEYE TIRMANDIR	
ALTERNATİF ÇÖZÜM ÖNERİSİ	TIRMANIŞI GEÇİCİ OLARAK DURDUR VE DİĞER UÇAĞIN TERKETTİĞİ SEVİYEYE TIRMANDIR	TIRMANMA ORANINI ARTTIR

Şekil 5.14. Çözüm önerisinin sunulması

Çıkan sonuca göre öncelikli çözüm önerisi olarak; Uçak A'nın tırmanışı geçici olarak durdurulmalı ve diğer uçağın terk ettiği seviyeye (kademeli yükseltme ile emniyetli şekilde her iki uçak ta aynı anda yükseltilir) tırmandırılmalıdır. Ayrıca alternatif çözüm önerisi olarak Uçak A'ya aynı çözüm sunulmasına ilaveten, Uçak B'nin tırmanma oranının artırılması tavsiye edilir. Çatışma Çözüm tavsiyelerinin neden böyle verildiğine gelince; öncelikle Uçak A'nın tırmanışının durdurulma sebebi açıklanmalıdır. Görüldüğü gibi her iki uçak ta aynı seviyededir (bu durumda birleşen rotalarda oldukları anlaşılmaktadır, aksi halde aynı rotada olmaları o anda çatışma durumunda olduklarını hatta çarpıştıklarını gösterirdi) ve aynı seviyeye tırmanmaktadır. Bu uçaklar tırmanırken de tırmanışlarının sonunda da çatışmaya gireceklerdir. Bu yüzden ikisinden birinin tırmandığı seviyenin değiştirilmesi düşünülmüş fakat daha yükseğe tırmanamayacakları anlaşılmıştır. Bu durumda uçaklardan biri istediği seviyeye tırmandırılacak, diğerinin tırmanışı durdurulacak ve kademeli olarak üsttekinin terk ettiği seviyeye tırmandırılarak, tırmanışı üstteki uçağın altında

kalan uygun seviyede sonlandırılacaktır. Bu uçaklardan hangisinin önceliği olup istediği seviyeye tırmandırılacağına gelince; performans verisi kullanımı devreye girmektedir. Uçaklardan hangisinin tırmanma performansı daha iyiyse o uçak istediği seviyeye tırmandırılır. Diğer de performansı düşük olduğu için kademeli olarak alt seviyeye izinli kılınır. Alternatif çözümde ise Uçak A'ya aynı çözüm uygulanıp Uçak B'ye tırmanma oranı daha çok arttırılır ki, alttaki uçakta en azından kesintisiz ve hızlı bir şekilde tırmanışını sürdürebilsin. Aracın çözüm penceresi bile görüldüğü gibi çok açık değildir, kabul edilmelidir ki oraya bir paragraflık çözüm tavsiyesi yazılsa hiç kullanışlı olmaz. Ama bu tavsiyelerin ne şekilde kısaltıldığı anlaşıldığında, çözüm kısaca da sunulsa ifade edilmeye çalışılan konu anlaşılacaktır.

## **5.8. Aracın Diğer Karar Destek Sistemleriyle Entegrasyonu**

Yol kontrol sektöründeki çatışmaların çözümü için geliştirilmiş olan bilgi tabanlı çatışma aracının pratikte kullanılabilmesi için birkaç sistemle entegre edilmesi gereklidir. Bu sistemler aracın çözüm üretmesi için ihtiyaç duyduğu veriyi temin edecek olan karar destek sistemleridir. Aracın entegre olacağı araç/sistem ya da sistem bileşenleri/fonksiyonları şunlardır:

- Yörünge tahmin aracı (sistemi ya da fonksiyonu),
- Çatışma tespit aracı (sistemi ya da fonksiyonu),
- Çatışma çözüm aracı (sistemi).

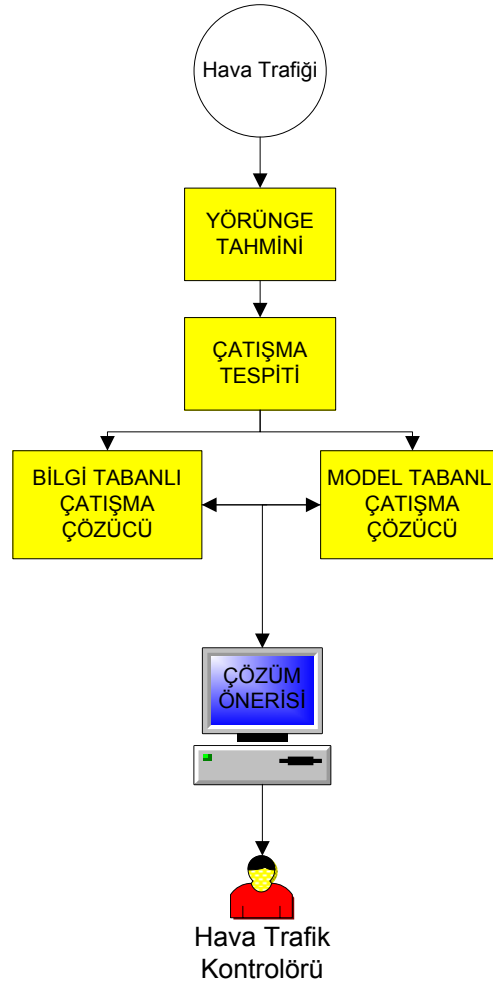
Bu sistemler ayrı ayrı olabileceği gibi tek bir sistemin fonksiyonları şeklinde de bulunabilir fakat burada fonksiyonel olarak ya da sistemler olarak ayrıştırılmıştır.

Oluşturulan yeni entegre sistemin işleyişi Şekil 5.15'dan da takip edilebilir. Toplam sistemde gerçekte daha fazla giridi ve ara bağlantı vardır fakat amaç bilgi tabanlı aracın diğer karar destek sistemleriyle olan bağlantısını göstermek olduğu için diğerleri üzerinde durulmamıştır. Örneğin burada yörünge tahmini yapan aracın gerekli trafik verisini nereden aldığı gösterilmemiştir. Bu veriyi radar veri işleme sisteminden alabileceği gibi Mode-S veya Otomatik Bağımlı Gözetim-

Yayın (ADS-B-Automatic Dependant Surveillance Broadcast) gibi sistemler vasıtasıyla uçaktan da alabilir.

Geliştirilen sistemin amacı çatışma çözümü üretmek olduğu için öncelikle hava trafiğinin şu anki durumu bilinmeli ve gelecekteki durumu hesaplanıp tahmin edilmelidir. Uçakların gelecekteki pozisyonlarını hesaplayan sistem yörünge tahmin aracıdır.

Daha sonra bu tahmini uçak yörüngelerinin bir çatışma olacak şekilde üst üste geldiği veya birbirine yaklaştığı durumları tespit eden çatışma tespit aracı devreye girer.



Şekil 5.15. Çatışma çözümü için bilgi tabanlı karar destek aracının diğer karar destek sistemleriyle entegrasyonu

Çatışma tespiti yapıldıktan sonra da çatışma ile ilgili veri, diğer gözlem sistemlerinden elde edilen veri (yer veya kokpit bazlı) bilgi tabanlı çatışma çözücü sisteme ve model tabanlı (matematiksel optimizasyon modellerine dayalı) diğer çatışma çözücü sisteme aktarılır. Bilgi tabanlı çatışma çözücü sistem yalnız kullanılabilmesi gibi diğer çözücü sistemlerle birlikte de kullanılabilir. Uygun yazılımlarla ikisi birlikte birbirlerini tamamlayacak şekilde koordineli şekilde çalışabilir. Bilgi tabanlı sistem gerekli çözümleri niteliksel olarak bulup, matematiksel optimizasyona dayalı olan diğer çözücü sistem bunlara nicel değerler atayabilir. Veya matematiksel optimizasyona dayalı çözümler, bilgi tabanlı çözüm kriterlerine göre filtrelenerek sadece kontrolöre uyan çözümler (bilgi tabanlı KDS kontrolör çözüm yöntemlerini kullandığı için) görüntülenebilir. Örneğin bilgi tabanlı sistem, “uçacağı tırmandır” tavsiyesi ürettiğinde, bu uçağın kaç feet tırmandırılacağını diğer sistem hesaplayabilir. Veya bilgi tabanlı sistem A uçağını “yanlamasına ayır” diye bir tavsiye ürettiğinde, diğer çözücü sistem “derece” cinsinden ne kadar dönüş yapacağını belirleyebilir. Diğer bir yöntem de; çatışma çözücü sistem matematiksel optimizasyona dayalı çözümler üretir ve bilgi tabanlı çatışma aracında yüklü olan kurallara göre aralarından uygunsuz olanlar elenir.

İki sistemin koordinasyonu ile uygun çözümler üretildikten sonra bu çözümler insan makine arayüzüyle kontrolöre sunulur. Filtre edilmiş ve önem sırasına göre derecelendirilmiş çözümler hem grafiksel olarak hem yazılı olarak sunulabilir. Hava trafik kontrolörü de sunulan çözümlerden uygun gördüğünü seçer ve bunu uygular.

## **5.9. Aracın Faydaları**

Bilgi tabanlı sistemler, insan uzmanların görevlerini belirli ve dar bir çerçevede yerine getirmek üzere tasarlanmaktadır. Onların uzmanlığı, tecrübeleri bu sistemlere yüklenmektedir ve bu sistemler uzmanlar tarafından kullanılmak zorunda değildir. Böyle bir sistemin tasarlanıp kullanılması sayesinde; yıllarca bu uzmanların tecrübeleri kullanılabilir, bu tecrübeler diğer kullanıcılara aktarılmak üzere ve sistemi geliştirmek üzere dijital ortamda

saklanabilir. Bilgi tabanlı karar destek sistemlerinin bu gibi ve bunun benzeri birçok fayda ve avantajı geliştirilmiş olan bu bilgi tabanlı karar destek aracı için de geçerlidir. Aracın hava trafik kontrolörleri ve hava trafik sistemi için muhtemel faydaları şunlardır:

- Program arayüzü şu anda sadece elle girişlere müsaade etmesine rağmen uygun bir algoritma ile geleneksel bir çatışma tespit ve çözüm sistemine entegre edilirse, tam otomatik olarak çalışabilir. Entegre edilen sistemden temin edilen veri sayesinde kontrolör araca hiç müdahale etmeden çözüm tavsiyeleri üretilip kontrolörün kullanımına sunulabilir.
- Diğer karar destek sistemlerine entegre olmasıyla, bu sistemlerin kullanılabilirliği ve toplam performansı artacaktır.
- Çatışmaların çözümü için verdiği karar desteği ile kontrolör performansını ve kapasitesini arttıracak, iş yükünü azaltacaktır.
- Kontrolör performansının artmasıyla zincirleme bir etkiyle sektörde kapasite artışı, hava trafik sisteminde kapasite, etkinlik ve verimlilik artışı sağlayacaktır.
- Kontrolör çatışma çözüm işleminin böyle bir otomasyon sistemi ile desteklenmesi sonucunda insan kaynaklı hataların azalması ve böylece emniyet seviyesinin yükselmesi sağlanacaktır.
- Aracın kullandığı uzman bilgisine dayalı çatışma çözüm algoritması, geliştirilmek üzere bir bilgi bankası şeklinde saklanıp yıllarca korunacaktır.
- Sunulan ikili çözüm tavsiyesi sayesinde kontrolör, öncelikli çözüm önerisini uygulamayı düşünecek, eğer burada hesaba katılmayan başka faktörler bu çözümün uygulanmasını engellerse, alternatif çözüm önerisini uygulayacaktır. Kontrolöre alternatif sunularak kontrolöre rahatlık ve çözüm esnekliği sağlanmış olacaktır.
- Ayırmanın hangi uçağa öncelikle uygulatılması gerektiği faydalı bir bilgidir. Çatışma tespiti yapıp ayırma uygulanmaya karar verileceği zaman hangi ayırmanın yapılacağı yanında hangi uçağa uygulatılacağı da başlı başına zor bir iştir. Bu sistem, çatışma halinde olan uçaklardan



ayırmayı uygulamak için en uygun olanı hangisiyse bulup kontrolöre bu bilgiyi sunmaktadır. Önceliği olan uçağa ise dokundurtmamaktadır.

- Araç çözüm üretirken sadece çözüme götüren ilgili pencereleri açtığı için gereksiz detaylarla uğraşılmamaktadır. Ayrıca gereksiz pencerelerin açılmamasının yanında, açılan pencerelerin tekrar kapanmaması sayesinde de çözüme nasıl ulaşıldığının incelenmesi/anlaşılması daha hızlı ve kolay gerçekleşmekte, kullanıcının zaman kaybetmesi engellenmiş olmaktadır.
- Salt matematiksel modellere dayanan sistemlerin en önemli sorunu üretilen çözümlerin kontrolörler tarafından benimsenmeyip kullanılmamasıdır. Kullanılmayan sistemin ise pratikte bir faydası yoktur. Bilgi tabanlı karar destek sistemlerinde üretilen çözümler zaten uzmanların kendi yöntemlerine dayandığı için ve çözüm kriterleri gösterildiği için, kullanıcının sisteme güven duyması, kabulü ve kullanımı rahatlıkla temin edilmektedir. Geliştirilmiş olan bu araç da kontrolör bilgisine dayandığı ve çözümde dikkate alınan faktörleri temsil eden pencerelerin açık bırakıldığı bir arayüze sahip olduğu için; kontrolör sunulan çözümlerin hangi kriterlere göre oluşturulduğunu anlayacak, böylece sistemin kontrolör tarafından kabulü ve kullanımı sağlanmış olacaktır.
- Bir uzmanın çözüme giderken yaptığı gibi bu araç da doğru soruları sorarak, cevaplar arasındaki ilişkilere göre adım adım çözüme ulaşır. Bu uzman çözüm algoritmasının bir karar destek sisteminde kullanılması sayesinde deneyimsiz kontrolörlerin deneyimli kontrolörlerin problem çözme yöntemlerini anlamasını ve onları kullanmasını sağlayacaktır.
- Araç, mevcut uçak tipi sayısı ile sınırlı kalmayı engelleyecek esneklikte tasarlanmıştır. Yani burada kullanılan uçak sayısı sadece 4 adet olmasına rağmen, istenildiği takdirde, ayrı bir dosya olarak bulunan performans veri tabanına başka uçak tipleri de gerekli performans verisi ile birlikte yüklenebilmektedir. Araç otomatik olarak bunları algılamakta ve kullanabilmektedir.

## 5.10. Aracın Eksikleri ve Geliştirilmesi Önerilen Fonksiyonları

- Sistem oluşturulurken kullanılan uzman bilgisinin doğrudan hava trafik kontrolörlerinden elde edilmesi çok fazla zaman, bütçe ve disiplinler arası bir ekip çalışması gerektirmektedir. Bu yüzden bu bilgi ikinci kaynaklardan elde edilmiştir.
- Tasarlanan sistemin etkinliğini, verimliliğini, kullanılabilirliğini ölçecek testler yapılamamıştır. Sistem prototip aşamasında kalmış, karar destek sistemi geliştirmenin diğer safhaları olan simülasyon değerlendirme ve alan geliştirme safhalarına geçilememiştir. Çünkü sistem diğer sistemlere entegre edilerek çalışan bir destek aracı şeklinde tasarlanmıştır ve sistemin denenmesi için uçak yörünge tahmini gerçekleştirme, çatışma tespiti yapma ve çatışma çözme gibi fonksiyonlara sahip başka karar destek sistemlerinin mevcut olması gerekir.
- Aracın ürettiği çözümler sayısal değildir fakat bu sistemin bir eksiği sayılmaz.
  - Dikey ayırmanın kaç Feet olacağı,
  - Kaç derecelik dönüş yapılacağı,
  - Hızını ne kadar Knot arttıracacağı/azaltacağı,
  - Tırmanma/alçalma oranının kaç Feet/Dakika olacağı vb. gibi bilgiler aracın entegre edilmesi düşünülen sistemlerin (çatışma çözücü sistemler) temin edebileceği bilgilerdir. Burada tasarlanan sistem bir ara sistemdir.
- Bilgi tabanlı sistemlerin genel bir özelliği olan çok dar bir çerçevedeki sorunların çözümünü ele alması aynı şekilde bu sistemin de bir eksiğidir. Bu tür sistemlerde bir uzmanın gerçek hayatta uzmanlık alanıyla ilgili tüm problemleri ele almasını her yönüyle ortaya çıkarmak ve bunu modellemek çok karmaşık bir işlemdir ve şu ana kadar başarılı bir şey değildir. Aynı şekilde kontrolörün en önemli görevlerinden biri olan çatışma çözümü de çok karmaşık bir süreç olduğu için tüm yönlerinin ortaya konulması ve modellenmesi çok zor bir işlemdir. Doğal olarak,

bu çalışmada her senaryo, her faktör, her çözüm yöntemi değerlendirilip modellenememiştir.

- Zaman içinde yapılacak kapsamlı çalışmalarla bu tür bir sistemin çözüm üretirken meteoroloji, iş yükü, hava sahası yapısı (sektör sınırları, askeri sahalara) gibi diğer faktörleri de değerlendirmesi sağlanabilir.
- Acil durum trafiği, genel havacılık uçuşları, askeri trafikler gibi farklı trafiklerin de uygun algoritmalarla ilave edilmesiyle aracın kullanılabilirliği artırılabilir.
- Yanlamasına ayırma tavsiyesi daha çok geliştirilip hangi yöne (sağ veya sol) dönüş verilmesi gerektiğini de hesaplayabilir.
- Varış hava alanı mesafesi yakın ve uzak şeklinde kontrolörün izafi değerlendirmesine tabidir. Fakat bu soyut ve izafi kavram uygun matematiksel fonksiyonlarla somut ve hesaplanabilir hale getirilebilir.
- Aracın ürettiği çözümler aynı anda iki uçağın çatıştığı durumlar için tasarlanmıştır, algoritma geliştirilerek çoklu çatışma durumları için de çözüm üretecek duruma getirilebilir.

Bu bölümde çalışmanın uygulama kısmı anlatılmıştır. Uygulamanın amacı, geliştirilen bilgi tabanlı karar destek aracının yapısı, kullanımı ve işleyişi ile aracın muhtemel faydaları, eksik ve geliştirilmesi önerilen yönleri açıklanmıştır.

## 6. SONUÇ

Günümüzde hava alanları, hava yolları ve sektör kapasiteleri merkezi yerlerde doyum noktasına ulaşmıştır. 2025 yılında trafik yoğunluğu ortalama günümüz trafiğinin iki katına çıkması beklenmektedir. Hava trafik sistem kapasitesinin zaten doyuma ulaşmış olması sebebiyle eğer gerekli önlemler alınmazsa gelecekte hava trafiğinin yönetimi imkânsız hale gelebilir. Hızla artan bu trafik talebine cevap verebilmek için bilgi çağının özgün ürünü olan bilgi sistemlerinden yararlanma gereği kaçınılmazdır.

Karar destek sistemleri son yıllarda hava trafiğini yönetmede ve kontrol etmede en çok başvurulan bilgi sistemi türüdür. Birçok farklı karar destek sistemi sınıflaması vardır. Meydan, yaklaşma ve yol kontrol olmak üzere her hava trafik kontrol biriminde kullanılmak üzere, her birimin ihtiyacına göre farklı fonksiyonlarla donatılmış farklı karar destek sistemleri mevcuttur. Hava trafik kontrolde kullanılan karar destek sistemlerinin en önemli fonksiyonları; yörünge tahmin, çatışma tespit, çatışma uyarı, çatışma çözüm gibi fonksiyonlardır. Ayrıca özellikle yaklaşma kontrol biriminin kullanımı için tasarlanmış olan sıralama ve mesafelendirme araçları, vb. araçlar mevcuttur. Sistemler problemleri, oluşmalarından ne kadar süre önce tespit edildiğine ve çözüldüğüne göre de uzun, orta ve kısa vadeli olarak ta değerlendirilmektedir. Uzun vadeli sistemler hava trafik akış yöneticileri ile hava trafik kontrolörleri arası boşluğu doldurmak üzere planlayıcı kontrolörlerin kullanımına sunulmaktadır. Sistemlerin çoğu yarım saate kadar olan orta vadeli planlama ufkuna sahiptir. Kısa vadeli sistemler ise diğer sistemlerin çözemediği, son anda oluşan çatışmaların çözümüne yönelik kullanılan emniyet ağlarıdır.

Prototip halinde geliştirilen birkaç karma karar destek sistemi dışında sistemlerin birkaçı kokpitte geriye kalanların tamamı ise yerde tesis edilmiştir.

Çalışmanın konusuna göre en önemli sınıflandırma ise KDS'lerin tasarım felsefesine göre yapılan sınıflamadır. İlk geliştirilen sistemler ağırlıklı olarak teknoloji merkezli sistemlerdir. Bunlar çözümlerini matematiksel optimizasyona dayalı olarak üretirler. Bu sınıflandırmanın diğer elemanı insan merkezli sistemlerdir. Bunlar çözümlerini tamamen uzman kontrolör tecrübesinden elde

edilen bilgilere göre üretirler. Her iki sistemin kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Örneğin teknoloji merkezli sistemler kontrolörler tarafından kabul edilmesi zor, çözüm süreci anlaşılmayan çözümler önerebilmektedir. Fakat insan merkezli sistemler ise zaten kontrolörler tarafından sürekli kullanılmakta olan alışılmış çözümler sunması sayesinde daha güvenilir ve kullanımı tercih edilir çözümler sunabilmektedir. Fakat teknoloji merkezli sistemler zaten sistem kapasitesini arttırmak olan karar destek sistemlerinin amacına uygun olarak kontrolör zihinsel sınırlarını aşan, özellikle yoğun trafikte kullanım ihtiyacına cevap verecek çözümler üretme yeteneğine sahipken, insan merkezli sistemlerin ise ancak senaryoların ve kuralların sisteme girilmesi ile sorunların çözülebileceğinden dolayı insanı geçmesi değil insana yetişmesi bile zor görünmektedir. Fakat son yıllardaki eğilime paralel olarak bu çalışmada da amaç her iki yöntemi de barındıran insan (kontrolör) bilgilendirmeli sistemler tasarlayarak, her iki tür sistemin birbirinin eksiklerini kapatmaları ve dezavantajlarını azaltmaları suretiyle daha etkin ve verimli karar destek sistemleri geliştirmektir.

Model tabanlı bir sisteme bilgi tabanını entegre etmek suretiyle geliştirilecek insan bilgilendirmeli sistemin bilgi tabanını bu çalışmada geliştirilen bilgi tabanlı karar destek aracı oluşturacaktır. Tasarlanan bu araç kontrolöre çatışma çözüm önerileri sunarak görevinde destek sağlayacaktır. Araç çözümlerinde kontrolör çatışma çözüm stratejilerini kullanmaktadır. Şu anda tıklamalı bir arayüze sahip olan araç model tabanlı çatışma çözüm sistemi ile entegre edildiğinde kontrolör müdahalesi olmadan tam otomatik olarak çözüm üreten bir sisteme dönüşecektir. Ürettiği ikili çözüm sayesinde kontrolör ilk çözümü uygulayamazsa ikinci çözümü uygulama esnekliğine sahip olacaktır. Çatışma halindeki uçaklardan hangisine manevra uygulanacağına karar veren araç, kontrolörün en uygun uçağa manevra uygulatmasını sağlayarak, bu görevinde de yardımcı olacaktır. Model tabanlı sistemin ürettiği çözümler bilgi tabanlı bu aracın ürettiği çözümlere göre filtre edilerek en uygun çözümler kontrolöre birimsel olarak sunulabilecektir. Sağlanan karar desteği ile kontrolör iş yükü azalacak ve performansı artacaktır. Böylece hava trafik sistemin etkinliği, verimliliği, kapasitesi ve emniyet seviyesi artacaktır.

Aracın muhtemel faydalarının yanında eksik yönleri ve dolayısıyla geliştirilmesi önerilen yönleri bulunmaktadır. Örneğin, araç gerçek çalışma koşullarında çatışma çözümünü etkileyen hava sahası yapısı, askeri sahalar, askeri trafikler, acil durum trafikleri, iş yükü ve meteorolojik şartlar gibi birçok faktörün etkisini ihmal etmektedir. Aracın diğer bir eksiği ise ikili çatışma durumlarını çözebilmesidir. Yani ikiden fazla uçağın aynı anda çatışmaya girmesi durumlarını çözecek algoritmaya sahip olmamasıdır. Aslında bu tür eksikler bilgi tabanlı sistemlerin genel eksiğidir. Çünkü uzman çözüm yöntemlerini etkileyen gerçek koşulların tamamen keşfedilmesi özellikle gerçek zamanlı, dinamik bir görev olan hava trafik kontrolde neredeyse imkânsız bir iştir. Çoklu trafik çatışmalarının çözümü ve diğer faktörlerin de çözümler üzerine etkisinin modellenmesi suretiyle algoritmanın geliştirilmesi için kontrolör bilgisini elde etmek üzere çok kapsamlı araştırmalara ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

- [1] Turban, E., Aranson, J.E., Liang, T.P., *Decision Support Systems and Intelligent Systems 7<sup>th</sup> Edition*, Pearson/Prentice Hall, USA, 2005.
- [2] Hoşcan, Y., *Yönetim Bilgi Sistemi*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 2006.
- [3] Şahin, M., *Yönetim Bilgi Sistemi*, A.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Eskişehir, 2003.
- [4] Kara, İ., *Yöneylem Araştırmasının Yöntembilimi*, Anadolu Üniversitesi Yayınları No: 96, Eskişehir, 1985.
- [5] Marakas, G.M., *Decision support systems in the 21st century 2nd ed.*, Prentice Hall, USA, 2003.
- [6] Power, D.J., *Decision support systems: concepts and resources for managers*, Quorum Books, Westport, 2002.
- [7] Cavcar, A., *Temel Hava Trafik Yönetimi*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, Türkiye, 1998.
- [8] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Prosedures for Air Navigation Services: Air Traffic Management*, Doc. 4444 ATM/501, Montreal, Canada, 2001.
- [9] Benoit, A., *Decision Making Aids in On-Line ATC Systems*, AGARD GCP Symposium on Machine Intelligence in ATM, Berlin, 2003.
- [10] Billings, C.E., *Toward a human-centered aircraft automation philosophy*, International Journal of Aviation Psychology, **1(4)**, 261-270, 1991.
- [11] Wickens, C.D., Mavor, A.S., McGee, J.P., *Flight to the Future, Human Factors in Air Traffic Control*, National Academy Press, Washington, DC 1997.
- [12] Nijhuis, H., *Role of the Human in the Evolution of ATM (RHEA)*, Final Report., NLR, Amsterdam, 2000.
- [13] Kauppinen, S., *Conflict Detection and Resolution*, Automated Support To ATS Programme, FAA/Eurocontrol TIM 6, Memphis, 1999.

- [14] Eurocontrol, *Towards a controller-based conflict resolution tool - a literature review*, CORA 2 Project, ASA.01.CORA.2.DEL04-A.LIT, 1, Brussels, Belgium, 2002.
- [15] Whiteley, M.J., *PHARE Advanced Tools Tactical Load Smoother*, Eurocontrol Experimental Center, Eurocontrol, Final Report PHARE/EEC/PAT-6.9.4/FR; 1.0, Brussels, Belgium, 1999.
- [16] Brudnicki, D.J., Mcfarland, A.L., *User Request Evaluation Tool (URET) Conflict Probe Performance and Benefits Assessment*, 1<sup>st</sup> USA/EUROPE Air Traffic Management R&D Seminar, Saclay, France, 1997.
- [17] Kirk, D.B, Heagy, W.S., Description of URET enhancements to support severe weather avoidance, 2005.
- [18] Arthur, W., McLaoghlin, M.P., *User Request Evaluation Tool (URET) Interfacility Conflict Probe Performance Assessment*, 2<sup>nd</sup> USA/EUROPE Air Traffic Management R&D Seminar, Orlando, Florida, USA (1998).
- [19] [http://www.mitrecaasd.org/work/project\\_details.cfm?item\\_id=156](http://www.mitrecaasd.org/work/project_details.cfm?item_id=156)
- [20] Kirk, D., Bolczak, R., *Initial Evaluation of URET Enhancements to Support TFM Flow Initiatives*, Severe Weather Avoidance and CPDLC, 5<sup>th</sup> USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Budapest, Hungary, 2003.
- [21] Kirk, D.B, Bowen, K.C., Heagy, W.S., *Problem Analysis, Resolution and Ranking (PARR) Development and Assessment*, 4th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Santa Fe, New Mexico, USA, 2001.
- [22] Harvey, A., Costello, C., *EATCHIP III Evaluation and Demonstration PHASE 3 Project Experiment 3Abis: MTCD Final Report*, Eurocontrol Experimental Center, Eurocontrol, EEC Report No. 355, Brussels, Belgium, 2000.
- [23] Kauppinen, S., *European Medium-Term Conflict Detection Field Trials*, NEXTOR Conference, USA, 2003.
- [24] Ach, S., Nuic, A., Shaw, C., Bleeker, O., Serre, P., Thomas, E., Starr, A., Grace, I., *INTENT WP3 Implementation Roadmap D3-1*, European



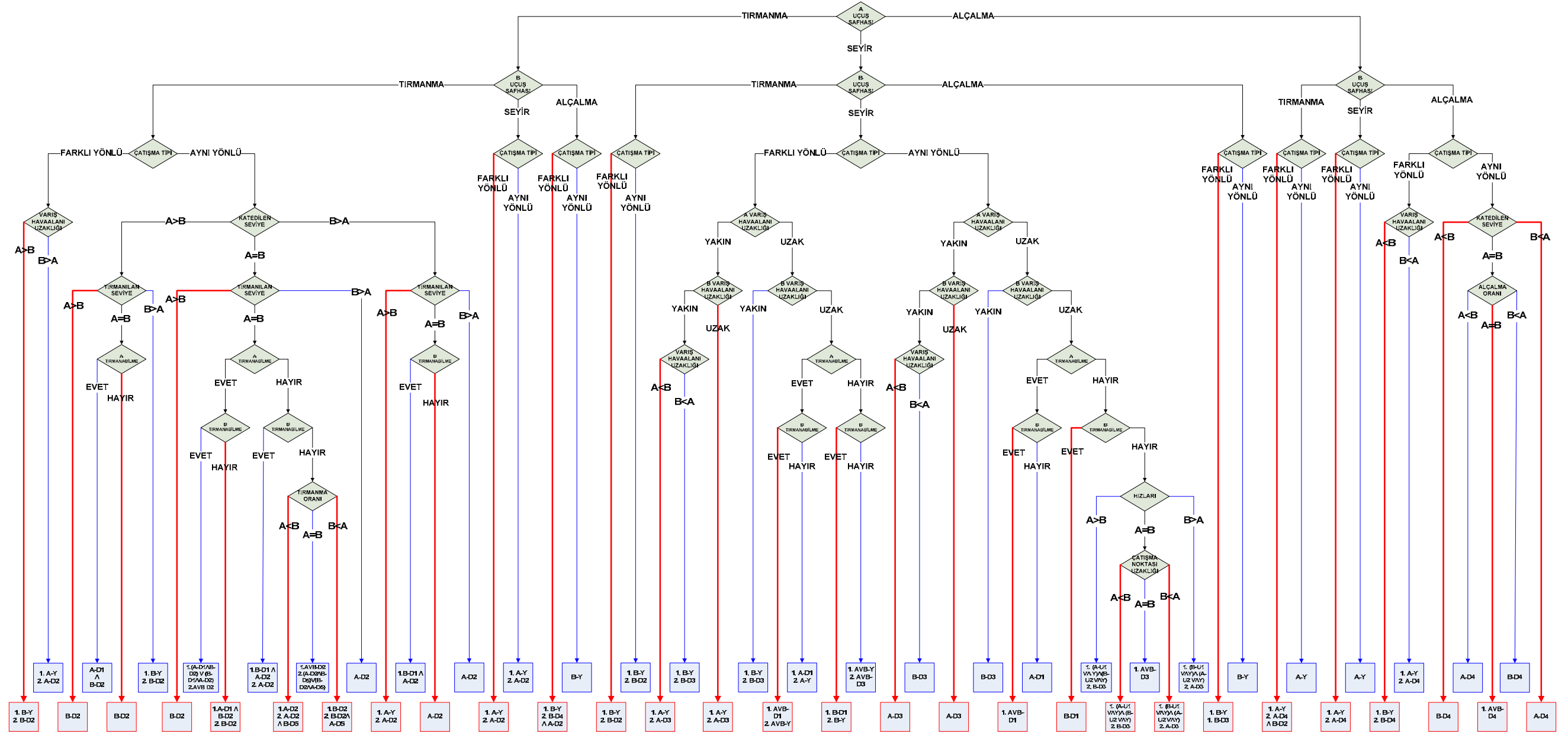
- Community Competitive and Sustainable Growth Programme, Amsterdam, Netherlands, 2003.
- [25] Kirk, D.B., Heagy, W.S., Yablonski, M.J., *Problem Resolution Support for Free Flight Operations*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, **2(2)**, 2001.
- [26] Kirk, D.B., Heagy, W.S., McFarland, A.L., Yablonski, M.J., *Preliminary Observations About Providing Problem Resolution Advisories to Air Traffic Controllers*, 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Napoli, 2000.
- [27] Erzberger, H., *Design Principles and Algorithms for Automated Air Traffic Management*, AGARD Lecture Series 200, California, USA, 1995.
- [28] [http://www.ctas.arc.nasa.gov/project\\_description/index.html](http://www.ctas.arc.nasa.gov/project_description/index.html)
- [29] Erzberger, H., Tobias, L., *A Time-Based Concept for Terminal Area Traffic Management*, Proceedings of the 1986 AGARD Conference, No. 410 on Efficient Conduct of Individual Flights and Air Traffic, Brussels, Belgium, 1986.
- [30] Slattery, R., Zhao, Y., *En-Route Descent Trajectory Synthesis for Air Traffic Control Automation*, American Control Conference, Seattle, WA, 1995.
- [31] Green, S. M., Vivona, R.A., *En route Descent Advisor Concept for Arrival Metering*, AIAA 2001-4114, Guidance, Navigation, and Control Conference, Montreal, Canada, 2001.
- [32] Sanford, B.D., Lee, K.K., Green, S.E. (in progress). *Decision-aiding Automation for the Enroute Controller: A Human Factors Field Evaluation*, Submitted to the Tenth International Symposium in Aviation Psychology, Columbus, OH, 1999.
- [33] Erzberger, H., Paielli, R.A., Isaacson, D.R., Eshow, M.M., *Conflict Detection and Resolution In the Presence of Prediction Error*, 1st USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Saclay, France, 1997.

- [34] McNally, D., Engelland, S., Bach, R., Chan, W., Brasil, C., Gong, C., Frey, J., Vincent, D., *Operational Evaluation of the Direct-To Controller Tool*, 4th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Santa Fe, New Mexico, USA, 2001.
- [35] [http://www.ctas.arc.nasa.gov/project\\_description/direct-to.html](http://www.ctas.arc.nasa.gov/project_description/direct-to.html)
- [36] Price, A., Mackiff, C., *HIPS and its Application to Oceanic Control*, 1st USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Saclay, France, 1997.
- [37] Doorn, B., Bakker, B., Meckiff, C., *Evaluation of Advanced Conflict Modelling in the Highly Interactive Problem Solver*, 4th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Santa Fe, 2001.
- [38] Drew, A., Martin, P., *Summary Report on the EVP AMAN Rome Real-Time Simulation*, Eurocontrol Experimental Center, Eurocontrol, EEC Note No. 17/05, Brussels, Belgium, 2005.
- [39] Böhme, D., *Tactical Departure Management with the Eurocontrol/DLR DMAN*, RTS1 Demo Day im Gate-to-Gate Projekt, Malmö, Schweden, 2005.
- [40] Jonge, H., Tuinstra, E., Seljée, R., *Outbound Punctuality Sequencing by Collaborative Departure Planning*, 6th USA/Europe ATM 2005 Seminar, Baltimore, U.S.A., 2005.
- [41] [http://www.ctas.arc.nasa.gov/project\\_description/tma.html](http://www.ctas.arc.nasa.gov/project_description/tma.html)
- [42] Davis, T. J., Krzeczowski, K. J., Bergh, C., *The Final Approach Spacing Tool*, Proceedings of the 13th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, Palo Alto, CA, 1994.
- [43] [http://www.ctas.arc.nasa.gov/project\\_description/fast.html](http://www.ctas.arc.nasa.gov/project_description/fast.html)
- [44] [http://www.ctas.arc.nasa.gov/project\\_description/mctma.html](http://www.ctas.arc.nasa.gov/project_description/mctma.html)
- [45] Jung, Y.C., Isaacson, D.R., *Development of Conflict-Free, Unrestricted Climbs for a Terminal Area Departure Tool*, AIAA's 3rd Annual Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Tech, Denver, Colorado, 2003.
- [46] [http://www.ctas.arc.nasa.gov/project\\_description/edp.html](http://www.ctas.arc.nasa.gov/project_description/edp.html)
- [47] [http://www.ctas.arc.nasa.gov/project\\_description/cap.html](http://www.ctas.arc.nasa.gov/project_description/cap.html)

- [48] Atkins, S., Brinton, C., Walton, D., *Functionalities, Displays, and Concept of Use for the Surface Management System*, 21<sup>st</sup> Digital Avionics Systems Conference, Irvine, CA, 2002.
- [49] Atkins, S., Jung, Y., Brinton, C., Stell, L., Rogowski, S., *Surface Management System Field Trial Results*, AIAA 4th Aviation Technology, Integration and Operations (ATIO) Forum, Chicago, Illinois, 2004.
- [50] Jansen, R.B.H.J., Kremer, H.J., Vertegaal, W.C., *PHARE Advanced Tools Flight Path Monitor Final Report*, Eurocontrol, PHARE/NLR/PAT-6.3.4/FR; 1.0, Brussels, Belgium, 1999.
- [51] Eurocontrol, *Investigating Air Traffic Controllers Conflict Resolution Strategies*, Edition 1, Eurocontrol, Brüksel, 2002.
- [52] Flicker, R., Fricke, M., *Improvement on the Acceptance of a Conflict Resolution System by Air Traffic Controllers*, 6th USA/Europe ATM 2005 Seminar, Baltimore, U.S.A., 2005.
- [53] Sheehan, C., *Coverage of 2004 European Air Traffic for The Base of Aircraft Data (BADA) Revision 3.6*, Eurocontrol Experimental Center, EEC Note No. 13/04 Project ACE-C-E2, Bretigny-sur-Orge CEDEX, France, 2004.
- [54] Nuic, A., *User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA) Revision 3.5*, Eurocontrol Experimental Center, EEC Note No. 11/03, Bretigny-sur-Orge CEDEX, France, 2003.

# EKLER

## EK: Çatışma çözümü için karar ağacı



Şekil EK.1 Çatışma çözümü için karar ağacı