

**T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK ANABİLİM DALI**

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İNİŞ SIRALAMASININ
BULANIK MANTIK MODELLEMESİ**

Alper ÖREN

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Yücel KOÇYİĞİT**



MANİSA-2015

TEZ ONAYI

Alper ÖREN tarafından hazırlanan " İnsansız Hava Araçları İniş Sıralamasının Bulanık Mantık Modellemesi "adlı tez çalışması 07/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Yücel KOÇYİĞİT
Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Sezai TAŞKIN
Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Musa ALCI
Ege Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Anabilim Dalı'nda, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.


Alper ÖREN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
TABLO DİZİNİ	VI
TEŞEKKÜR	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	XI
1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ	1
1.1. İnsansız Hava Aracı	1
1.2. İnsansız Hava Aracının Tarihçesi	2
1.3. İnsansız Hava Aracı Kullanım Alanları	8
1.3.1. İnsansız Hava Araçlarının Askeri Kullanım Alanları	10
1.3.2. İnsansız Hava Araçlarının Sivil Kullanım Alanları	11
1.4. İnsansız Hava Aracı Sistemi	11
1.5. İnsansız Hava Aracı Sınıflandırması	14
1.6. Türkiye ve İnsansız Hava Aracı	20
1.7. Geleceğe Bakış	22
2. HAVA TRAFİK YÖNETİMİ VE KARAR VERME	25
2.1. Hava Trafik Yönetimi	25
2.2. Hava Trafik Kontrolörleri ve Hava Trafik Yönetimi	28
2.3. Hava Trafik Yönetiminde Karar Verme	29
3. PROBLEMİN ORTAYA ÇIKIŞI VE TANIMLANMASI	33
3.1. Problemin Ortaya Çıkışı	33
3.2. Literatür Taraması	39
3.3. Problemin Tanımlanması	42
4. BULANIK MANTIK	47
4.1. Giriş	47
4.2. Bulanık Mantık Kavramı	48
4.3. Temel (Evrensel) Küme	49
4.4. Alt Küme	50
4.5. Üyelik Fonksiyonları	50
4.6. Bulanık Küme İşlecileri	53
4.7. Bulanık Küme İşlemleri	55
5. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ İNİŞ SIRALAMA MODELLEMESİ ..	57
5.1. Model Kurma Süreci	57
5.2. Genel Kabul ve Varsayımlar	59
5.3. Bulanık Mantık Tabanlı Modelleme	60
5.3.1. Bulandırma Arayüzü	60
5.3.2. Bilgi Tabanı	61
5.3.2.1. Veritabanı	61
5.3.2.2. Kural Tabanı	62
5.3.3. Çıkarım Motoru	62
5.3.4. Durulama Arayüzü	64
5.4. İnsansız Hava Araçları İniş Sıralamasının Bulanık Mantık Modellemesi	65
5.4.1. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması	70
5.4.1.1. Görev Önceliği	71

5.4.1.2. İrtifa	72
5.4.1.3. Sürat	74
5.4.1.4. Mesafe	76
5.4.1.5. Alçalma Oranı	77
5.4.1.6. Havada Kalış Süresi	79
5.4.2. Kuralların Oluşturulması	80
5.5. Örnek Senaryo	84
5.6. Modelin Değerlendirilmesi	88
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CAA	Civil Aviation Authority (Sivil Havacılık Otoritesi)
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation (Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü)
EUROUVS	The European Association of Unmanned Vehicles Systems (Avrupa İnsansız Araç Sistemleri Birliği)
FAA	Federal Aviation Administration (Amerika Birleşik Devletleri Federal Havacılık Otoritesi)
FIS	Fuzzy Inference System (Bulanık Mantık Arayüzü)
fpm	feet per minute (Dakikada Feet)
GNSS	Global Navigation Satellite Systems (Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi)
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GUI	Graphical User Interface (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü)
HTK	Hava Trafik Kontrol
ICAO	Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization)
IFR	Instrument Flight Rules (Aletli Uçuş Kuralları)
İHA	İnsansız Hava Aracı
JSF	Joint Strike Fighter (Müşterek Saldırı Uçağı)
KBRN	Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer
LARYNX	Long Range Gun with Lynx Engine (Lynx Motorlu Uzun Menzilli Silah)
LOS	Line Of Sight (Görüş Hattı)
NATO	North Atlantic Treaty Organization (Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü)
NM	Nautical Mile (Deniz Mili)
PHP	Hypertext Preprocessor (Üstünyazı Önışlemcisi)
RCA	Radio Controlled Airplane (Radyo Kontrollü Uçak)
ROD	Rate of Descent – Alçalma Oranı
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems (Uzaktan Kontrollü Hava Aracı Sistemi)
RPV	Remotely Piloted Vehicle (Uzaktan Kontrollü Uçak)

SAR	Synthetic Aperture Radar (Yapay Açıklıklı Radar)
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SSM	Savunma Sanayii Müsteşarlığı
TCA	Terminal Control Area (Terminal Kontrol Sahası)
TMA	Terminal Manoeuvring Area (Terminal Kontrol Sahası)
TUSAŞ	Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş
UAV	Unmanned Air Vehicle
VFR	Visual Flight Rules (Görerek Uçuş Kuralları)
YKİ	Yer Kontrol İstasyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Tarentli Archytas Tarafından Tasarlanan ve Uçurulan Uçan Güvercin	3
Şekil 1.2. Leonardo Da Vinci Tarafından Tasarlanan Hava Tornavidası	3
Şekil 1.3. Kettering Hava Torpidosu.....	4
Şekil 1.4. LARYNX, Lynx Motorlu Uzun Menzilli Silah.....	5
Şekil 1.5. Ryan Havacılık Şirketi Tarafından Üretilen XQ-2	5
Şekil 1.6. Genaral Atomics Tarafından Üretilen GNAT	7
Şekil 1.7. Global Hawk.....	7
Şekil 1.8. MQ-9 Reaper.....	8
Şekil 1.9. YAMAHA Rmax.....	8
Şekil 1.10. İnsansız Hava Aracı Sistem Yapısı.....	13
Şekil 1.11. ANKA	21
Şekil 1.12. Çaldıran.....	21
Şekil 1.13. Dünya İHA Tahminleri	22
Şekil 2.1. Uçuşun Beş Aşaması.....	25
Şekil 2.2. Hava Trafik Kontrol Hizmetleri.....	28
Şekil 2.3. Hava Trafik Kontrol Temel Karar Verme Döngüsü	30
Şekil 2.4. Hokey Topu Modellemesi.....	31
Şekil 2.5. Ayırma Çeşitleri.....	32
Şekil 3.1. Hava Aracı Kazaları ve Uçuş Aşamaları.....	37
Şekil 3.2. Hava Aracı Kazalarının Yüzdesel Dağılımı.....	37
Şekil 4.1. Klasik Mantık Üyelik Fonksiyonu Gösterimi.....	50
Şekil 4.2. Bulanık Mantık Üçgen Üyelik Fonksiyonu Gösterimi	52
Şekil 4.3. Bulanık Mantık Yamuk Üyelik Fonksiyonu Gösterimi.....	53
Şekil 4.4. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonu Gösterimi.....	54
Şekil 5.1.Örnek Terminal Kontrol Sahası.....	57
Şekil 5.2. Son Yaklaşma Bölümü.....	58
Şekil 5.3. Bulanık Mantık Tabanlı Model Genel Yapısı.....	61
Şekil 5.4.Bulanık Mantık Çıkarım Motoru Mamdani Modellemesi	64
Şekil 5.5. Bulanık Mantık Arayüzü Editörü Ekran Görüntüsü	66
Şekil 5.6. Giriş Üyelik Fonksiyonları.....	69
Şekil 5.7. Çıkış Üyelik Fonksiyonu.....	69
Şekil 5.8. İnsansız Hava Araçları İniş Sıralaması Modellemesi Ara Yüzü	70
Şekil 5.9. Görev Önceliği Üyelik Fonksiyonu	72
Şekil 5.10. İrtifa Üyelik Fonksiyonu	74
Şekil 5.11. Sürat Üyelik Fonksiyonu.....	75
Şekil 5.12. Mesafe Üyelik Fonksiyonu	77
Şekil 5.13. Alçalma Oranı Üyelik Fonksiyonu	78
Şekil 5.14. Havada Kalış Süresi Üyelik Fonksiyonu	80
Şekil 5.15. Kurallar Tablosu	82
Şekil 5.16. Sonuç Çıktısına Ait Üyelik Fonksiyonları	83
Şekil 5.17. Örnek Senaryo İçin İnsansız Hava Araçları İniş Sıralaması Modellemesi Ara Yüzü.....	86

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. İHA NATO Sınıflandırması.....	15
Tablo 1.2. İHA NATO Sınıflandırması.....	17
Tablo 4.1. Temel T-Normlar.....	54
Tablo 4.1. Temel T-Conormlar	55
Tablo 5.1. Hava Araçları Seyir İrtifa Aralıkları.....	73
Tablo 5.2. Hava Aracı Kategorileri.....	75
Tablo 5.3. Hava Araçları Alçalma Oranı Aralıkları.....	79
Tablo 5.4. İniş Sıralaması Yapılacak İHA'lara Ait Parametreler.....	85
Tablo 5.5. İnsansız Hava Araçlarının İniş Önceliklerine Ait Rakamsal Değerler.....	87
Tablo 5.6.Örnek Senaryo İçin İnsansız Hava Araçlarının İniş Sıralaması.....	87
Tablo 5.7. Örnek Senaryo İçin Hava Trafik Kontrolörlerinin Sıralaması.....	88
Tablo 5.8. Hava Trafik Kontrolörlerinin İniş Sıralamasına Yönelik Giriş Seçimleri.....	89

TEŞEKKÜR

Bu çalışma konusunun belirlenmesi ile beraber başlayan süreçte; gerek araştırma aşamasında gerekse süreç içersinde bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında yardımcı olan ve beni aydınlatan, desteğini hiç eksik etmeyen danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Yücel KOÇYİĞİT'e; yüksek lisans eğitimim sırasında bana her türlü çalışma imkan ve ortamını sağlayan ve lisansüstü öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, zor günlerimin üstesinden gelmemi sağlayan ve hep yanımda olan biricik eşim Gülçin DİNLER ÖREN'e ve şimdilik biricik eşimin karnında olan ve hayatımıza yeni bir dönem açacak olan minik ve henüz doğmamış bebeğimize; benim bu günlere gelmemi sağlayan gerek meslek hayatımda gerekse kariyer planlamamda bana her türlü imkan ve fırsatı sağlayan saygıdeğer kurumum olan Hava Kuvvetleri Komutanlığı'na ve kahraman şehitlerimize teşekkürü bir borç bilirim.

Alper ÖREN
Manisa, 2015

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İnsansız Hava Araçları İniş Sıralamasının Bulanık Mantık Modellemesi

Alper ÖREN

**Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yücel KOÇYİĞİT

İnsansız Hava Aracı (İHA), hava aracını kontrol edecek olan pilotu fiziki olarak hava aracı içerisinde taşımayan, aerodinamik ve itki kuvvetlerini kullanarak uçan, önceden programlanarak ya da yerden verilen komut ile harici bir pilot tarafından uçurulan ya da otonom (bağımsız) uçuş kabiliyetine sahip, yani kendi kendine uçabilen faydalı yük veya silah taşıyabilen sistemdir. Teknolojinin hızlı gelişmesi, beraberinde özellikle havacılık sektöründe yıllar içerisinde çok büyük değişimleri beraberinde getirmiştir. Günümüz modern dünyasında halen içerisinde bir pilot tarafından kontrol edilen hava araçlarının yaygın olarak kullanılmasına rağmen içerisinde insan olmadan uçabilen sistemler yani İnsansız Hava Araçları (İHA) önemini ve popülerliğini günden güne arttırmaktadır.

Genel olarak İHA'lar insanlı sistemlere göre sıkıcı, kirli veya tehlikeli (Dull, Dirty, Dangerous) işleri yerine getirmek için kullanılmaktadır. Günümüzde, mikro-elektromekanik sistemlerdeki teknolojik gelişmeler ve gün geçtikçe azalan maliyetler sayesinde, İHA sistemleri insanlı sistemlere alternatif olarak tercih edilmektedir. İHA sistemleri sayesinde çok daha uzun sürelerde (24-48 saat) görev icra edilmesi ve yer kullanıcıları için ağırlık genişletilmesi imkânı doğmuştur. Bununla birlikte, özellikle havacılık sektöründe yer alan büyük firmalar sektörel yatırımlarını, vizyon ve misyonlarını insanlı sistemlerden insansız sistemlere doğru yöneltmişlerdir.

Bir hava aracının park yerinde motor çalıştırması ile başlayan ve tekrar park yerine dönerek motor susturmasına kadar olan süreç uçuş olarak tanımlanmaktadır. Bir uçuş ister insanlı isterse insansız hava araçları ile icra edilsin toplamda genel geçer beş temel aşamada gerçekleşmektedir.

Bir uçuşa ait beş aşama dikkate alındığında hava trafik yönetimi, uçuş öncesi planlama ve hazırlık safhasını da içine alan ve hava aracının motor çalıştırma ve kalkış rulesi aşamasından başlayarak kalkış yapması, tırmanması, seyir irtifasına ulaşması, alçalması ve inmesi ile park yerine geri dönerek motor susturmasına kadar geçen süre içerisindeki tüm faaliyetlerinin emniyetli, etkin ve süratli bir şekilde yürütüldüğü hizmetler bütünüdür.

Hava Trafik Hizmetleri faaliyetleri kapsamında tanımlanan görevlerin yapılması için çalışan ve kendi sorumluluk sahasında uçmakta olan tüm hava trafiğinden sorumlu kişi ise hava trafik kontrolörüdür.

Bir hava trafik kontrolörü, hava trafik yönetiminin emniyetli, etkin ve süratli bir şekilde sağlanmasından sorumludur. Hava trafik kontrolörlerinin en önemli görevlerinden biri emniyetli bir uçuş için hava araçları arasındaki mesafelendirmeyi diğer bir ifade ile ayırmayı doğru olarak sağlayabilmesidir. Hava trafik kontrolörleri uçuş emniyetini hava araçları arası minimum ayırma mesafesini koruyarak sağlarlar. Ayırma mesafesi birim ve sektörlere göre farklılıklar gösteren hız kontrolü, irtifa değişikliği, mesafe kontrolü, radar vektörü, bekleme paterni gibi farklı ayırma teknikleri kullanılarak elde edilir.

Emniyetin yanı sıra trafik akışının hız ve verimliliğini temin etmek de kontrolörün amacıdır. Hava trafik kontrolörünün amacına ulaşması birçok karmaşık uygulama, planlama, karar verme, iletişim ve koordinasyon faaliyetlerinin en iyi şekilde gerçekleştirmesine bağlıdır. Bu da hava trafik kontrolörlerin çalışma ortamını çok karmaşık ve dolayısıyla hatalara yatkın hale getirmektedir.

Hava trafik yönetim sisteminin birincil amacı her ne kadar emniyetli bir hava sahası yaratmak olsa da havacılığın başlangıcından itibaren havacılıkta kaza kavramı güncelliğini daima koruyan gelen bir konudur. Boeing firması tarafından ve 2004 – 2013 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen ölümcül hava aracı kazaları üzerinde yapılan araştırmada; kazaların %58'inin yaklaşma ve iniş safhasında meydana geldiği belirtilmiştir. Hava aracı sayısında meydana gelen artışla beraber hava trafik yönetiminde de karar verici olan hava trafik kontrolörlerinin kararlarına destek olması amacıyla karar destek sistemleri geliştirilmiştir.

Hava trafik kontrolörleri insansız hava araçlarından kendilerine dolaylı ya da direkt olarak farklı kanallardan gelen bilgileri birleştirerek karar verirler ve bu kararı gerekli yerlere aktarırlar. Ancak karar verme süreci ve modeli basit ve matematiksel olarak formüle dönüştüremeyecek ya da eşitliklerle açıklanamayacak kadar belirsizlik ve bulanıklık içermektedir. Bu sebeple bu çalışmada hava trafik kontrolörünün karar vermesini kolaylaştırmak amacıyla bulanık mantık tabanlı bir sistem kurulmuş ve insansız hava araçlarının iniş sıralamasının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, insansız hava araçları iniş sıralaması için önerilen bulanık mantık modellemesinin tasarım aşamasında MATLAB/FIS (Fuzzy Inference System – Bulanık Mantık Arayüzü) editörü kullanılmıştır. Bulanıklaştırma arayüzünde üyelik fonksiyonu seçim aşamasında, iniş sıralamasına etki eden altı adet parametreye ait sayısal değerlere ait üyelik fonksiyonları için üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Bunun yanı sıra belirlenen üyelik fonksiyonları normal, monoton ve simetrik. Çıkarım motorunda Min-Max ya da diğer bir ifade ile Mamdani Yöntemi, durulama arayüzünde ise Ağırlık Merkezi Yöntemi kullanılmıştır.

Bulanık mantık tabanlı modellemenin oluşturulmasından sonra hava trafik kontrolörlerinin insansız hava araçlarına ait verileri işleyerek daha hızlı ve kolay bir

şekilde sonuca ulaşmalarını sağlayacak altı adet insansız hava aracı bilgilerinin girilebildiği kullanıcı dostu bir arayüz MATLAB/GUI yardımıyla tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Bulanık Mantık, İniş Sıralaması, Hava Trafik Kontrolörü, Hava Sahası Yönetimi

2015, 100 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Unmanned Aerial Vehicles Landing Sequencing Modelling Using Fuzzy Logic

Alper ÖREN

**Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electrical and Electronic Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Yücel KOÇYİĞİT

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is a creating innovation with a gigantic potential to change military operations and to empower new civilian applications. The dramatically interest for unmanned systems is generally determined by applications that are dull, dirty and dangerous. UAVs are mainly utilized for intelligence, surveillance and reconnaissance (ISR) for military applications. On the other hand for civilian applications they are mostly used for environment and agriculture monitoring, remote sensing, aerial mapping, meteorology and so on. For today, air traffic management (ATM) is dynamic and integrated environment including both manned and unmanned aerial vehicle. But tendency for civil and military applications about future is substituting unmanned aerial vehicle for manned aerial vehicle.

At present, air traffic management (ATM) is dynamic, integrated management of air traffic and airspace including air traffic services, airspace management and air traffic flow management. The operational concept of global ATM is to create safely, economically and efficiently sky. Nowadays air traffic management system all around the world is expanding logically and the situation is anticipated to wind up considerably more complicated in close future. Today most military UAVs all around the world are restricted to airspace that is segregated. On the other hand, civilian trend for using UAV for several purposes is increasing day by day.

Today's essential issue for aviation is safety and the common objective is to decrease accident rate in the given limited accessible airspace. Normal flight consists of 5 different phases: taxi and take off – climb – cruise (enroute) – descent and landing. Most crucial part of flight is take-off and landing part.

Although there are numerous studies and paper about UAVs, there are some common subjects about UAV navigation. Generally in literature, researchers have focused on cruise phase of flight and have work on it. But for the safely sky landing part is vital part and cannot be omitted. For those reasons, our motivation is focusing on landing part of flight and creating safely and efficiency flow for decision makers.

Air Traffic Controllers are decision maker in dynamic and complex environment including numerous actors, consistent updating of pertinent data. They need to decide in a short time with incomplete information, under time pressure and high workload.

The basic method for sequencing and planning of arriving aircraft on a single runway is utilizing the First-Come-First-Served (FCFS) approach which allocates scheduled arriving time to each aircraft based upon the sequence implied by the earliest time that the aircraft can land. But unfortunately, it has been found that FCFS is rarely the best sequencing order in terms of maximum mission efficiency, minimum fuel consumption and delay reduction.

Basically for sequencing and separating the aerial vehicles there are some inputs like speed, altitude, distance, rate of descend, endurance etc. On the other hand universal rules for sequencing and separating cannot be omitted. But finally we have only one output: "Who will be the number one for landing?" In that point, we propose a new model via fuzzy logic.

The determination of conflicts between aircraft can be regarded as a very complex problem, yet air traffic controllers have the capacity to perform the undertaking with high rates of accomplishment under demanding circumstances. Much of the expertise of the air traffic controller appears to lie in the capacity to choose the suitable methodology for the issue.

Fuzzy logic is a superset of ordinary (Boolean) logic that has been reached out to handle the idea of partial truth - truth values between "completely true" and "completely false". The importance of fuzzy logic derives from the way that most modes of human thinking and particularly practical judgment skills thinking are inexact in nature.

In this paper, we present an analytic approach for UAV landing sequencing modelling with in the dynamic airspace including different mission types or applications for both military and civilian vehicles. For modelling, we utilize the MATLAB Fuzzy FIS (Fuzzy Inference System) with realistic data and create the user friendly interface with MATLAB/GUI. The simulation results show that the proposed model is a robust alternative for maximum mission efficiency, minimum fuel consumption and delay reduction.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Fuzzy Logic, Landing Sequencing, Air Traffic Controller, Airspace Management

2015, 100 pages

1. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

1.1. İnsansız Hava Aracı

Teknolojinin hızlı gelişmesi, beraberinde özellikle havacılık sektöründe yıllar içerisinde çok büyük değişimleri beraberinde getirmiştir. Günümüz modern dünyasında halen içerisinde bir pilot tarafından kontrol edilen hava araçlarının yaygın olarak kullanılmasına rağmen Leonardo Da Vinci'nin 1488 yılında ortaya attığı “Non il volo umano (İnsansız Uçuş)” konseptinin üzerinden asırlar geçmiş olsa da içinde insan olmadan uçabilen sistemler yani İnsansız Hava Araçları (İHA) hala o günkü önemini ve popülerliğini korumaktadır.

İnsansız Hava Aracı kavramının İngilizce literatür karşılığı Unmanned Aerial Vehicle (UAV)'dir. Ancak farklı kullanımlarda ve bazı dokümanlarda İHA ya da UAV ifadeleri yerine Uzaktan Kontrollü Uçak (Remotely Piloted Vehicle - RPV), Uzaktan Kontrollü Hava Aracı Sistemleri (RPAS – Remotely Piloted Aircraft Systems), Radyo Kontrollü Uçak (Radio Controlled Airplane - RCA) ve Dron ifadelerini de görmek mümkündür. Öte yandan “İnsansız-Unmanned” kavramı yerine “İkamet Edilmemiş-Uninhabited” ya da “Boş-Unoccupied” ifadeleri de kullanılmaktadır. Bu çalışmada gerek literatüre uygunluk gerekse tanımın genelliği açısından İnsansız Hava Aracı (Unmanned Air Vehicle) ifadesi kullanılacaktır [1].

İnsansız hava araçlarının kavramsal olarak tanımlanması ile ilgili olarak gerek askeri anlamda gerekse sivil anlamda kabul gören ve uluslararası alanda kabul görmüş genel geçer bir tanım henüz bulunmamaktadır. Bununla beraber halen kabul gören 4 temel tanımlamadan bahsetmek mümkündür. 1990lı yılların başında Amerika Birleşik Devletleri Federal Havacılık Otoritesi (FAA – Federal Aviation Administration) çalışma grubu tarafından yapılan tanımlamaya göre İnsansız Hava Aracı “Ufuk hattı ötesinde yerden kontrollü ya da otonom şekilde uçuş kapasitesine sahip hava aracıdır.”

2002 yılında İngiltere Sivil Havacılık Otoritesi (Civil Aviation Authority - CAA) tarafından yayımlanan tanıma göre İnsansız Hava Aracı “Kendi bünyesinde fiziki olarak bir pilot taşımayan, uzaktan kontrollü ya da otonom olarak uçmak için tasarlanmış ya da yeniden tasarlanmış edilmiş hava aracıdır [2]”

2005 yılında Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO – International Civil Aviation Organization) tarafından yapılan tanımda ise İnsansız Hava Aracı “İçerisinde hava aracını kontrol eden bir pilot olmayan, uzak bir istasyondan (yer istasyonu, başka bir hava aracı ya da uzay istasyonu) kontrol edilebilen ya da programlanarak tam otonom uçabilen hava aracıdır. ” olarak tanımlanmıştır [3].

Her ne kadar yukarıda belirtilen 3 tanım da amaca yönelik ve kabul edilir olsa da en geniş anlamda ve detaylandırılmış tanım, Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından 2003 yılında yayımlanan yol haritasında belirtilen tanımdır. Söz konusu dokümana göre İnsansız Hava Aracı “Hava aracını kontrol edecek olan pilotu fiziki olarak hava aracı içerisinde taşımayan, aerodinamik ve itki kuvvetlerini kullanarak uçan, önceden programlanarak ya da yerden verilen komut ile harici bir pilot tarafından uçurulan ya da otonom (bağımsız) uçuş kabiliyetine sahip, yani kendi kendine uçabilen faydalı yük veya silah taşıyabilen sistemdir.” Bu tanıma göre balistik ya da yarı balistik hava araçları, seyir füzeleri ve topla fırlatılan torpidolar İnsansız Hava Aracı olarak tanımlanmamaktadır [4].

1.2. İnsansız Hava Aracının Tarihçesi

İnsanoğlunun, kuşları gözlemlemeye başladığı ilk günlerden günümüze uzanan uzun yolculukta uçuş arzusunun her zaman içinde barındırılmış, medeniyetlerin başlangıcından beri karşı konulamaz bir istek olmuştur. Modern anlamda bilinen ilk uçaklı uçuş Wilbur ve Orville Wright kardeşlere aittir [5]. 17 Aralık 1903'te North Carolina'da Orville'in kontrolünde havalanan bu ilk uçağın ardından havacılık hızla gelişmeye devam etmektedir [6]. Genel anlamda havacılığa olan bu ilgi birçok medeniyette karşımıza çıkmaktadır. Yunan mitolojisinde Dedalus ve oğlu İkarus'un balmumundan yaptıkları kanatlarla uçuşu ve Çin yazmalarında tanrıların uçurtmaya benzer silahları düşmanlarına karşı kullandıklarının resmedilmesi verilebilecek örneklerden sadece bir kısmıdır.

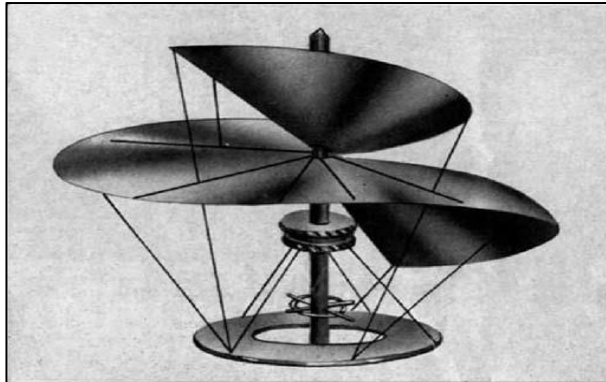
İnsansız hava aracı ile ilgili olarak bilinen ilk çalışmalar M.Ö. 4'ncü yüzyıla dayanmaktadır. Antik Yunan'da Tarentli Archytas tarafından tasarlanan ve uçurulan “Uçan Güvercin” adı verilen alet insansız uçan sistemlerin temelini oluşturmaktadır ve bilinen ilk insansız hava aracı olarak nitelendirilmektedir. Şekil 1.1'de yer alan Uçan Güvercin'in iç kısma yerleştirilmiş su ve su buharı hareketleri neticesinde uçabilen mekanizmanın yaklaşık olarak 200 metre uçuşu rivayet edilir [7].



Şekil 1.1. Tarentli Archytas Tarafından Tasarlanan ve Uçurulan Uçan Güvercin

Antik Yunanlı Archytas tarafından tasarlanan Uçan Güvercin'in havalanmasından yaklaşık 17 yüzyıl sonra 1483 yılında Leonardo Da Vinci, havada asılı kalma yeteneğine sahip ve felsefe olarak günümüz helikopterlerin atası olarak kabul edilen ve Şekil 1.2'de gösterilen "Hava Tornavidası" ya da başka bir deyişle "Hava Jiroskopu" tasarlamıştır [7].

1849 yılında Avusturyalılar tarafından patlayıcı maddelerle yüklü olarak havalandırılan balon İtalya'nın Venedik şehrini bombalamak üzere görevlendirilmişti. Her ne kadar görev tam anlamıyla başarılı olarak sonuçlanmasa da, bu deneme insansız bir balonun ilk kez askeri amaçlı kullanıldığı bir deneme olarak değerlendirilmektedir [8].



Şekil 1.2. Leonardo Da Vinci Tarafından Tasarlanan Hava Tornavidası

1861 yılında ise Amerikan Sivil Savaşı (Eyaletler Arası Savaş) esnasında Professor Thaddeus Lowe tarafından balona yerleştirilen kameralar sayesinde Konfederasyon güçleri hakkında istihbarati bilgi toplanmış ve bununla beraber Konfederasyon güçlerinin konumları hakkında bilgiler elde edilmiştir. Her ne kadar kameraların nasıl kontrol edildiği tam olarak bilinmese de yapılan bu girişim, tehlikeli alanlarda insanlı askeri gücün kullanımı yerine insansız sistemlerin kullanılması açısından öncü niteliktedir [8].

Bilinen ilk pilotsuz hava aracı ise Charles Kettering tarafından geliştirilen ve Şekil 1.3’de Kettering Hava Torpidosu isimlendirilen sistemdir. İlk uçuşu 1915 yılında gerçekleştiren torpidoda hedef, seyrüsefer ve kontrol sistemleri yer almakta ancak kalkış öncesi yerde ayarlanması gerekmekteydi [8]

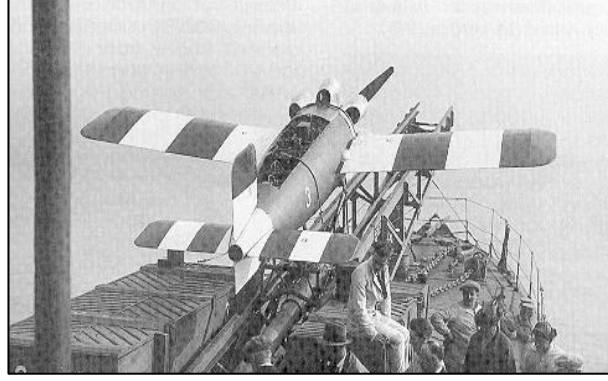


Şekil 1.3. Kettering Hava Torpidosu

Bilinen ilk uzaktan kontrollü hava aracının ise İngiliz Profesör Archibald Low tarafından tasarlanan Ruston Proctor AT olduğu kabul edilmektedir. Ruston Proctor AT, 1917 yılında bir kamyon kasasından sıkıştırılmış hava vasıtası ile fırlatılan bir yapıda tasarlanmıştı. İlk denemelerinde çok başarılı uçuşlar yapamasa da 1927 yılında Şekil 1.4’te yer alan LARYNX (Long Range Gun with Lynx Engine – Lynx Motorlu Uzun Menzilli Silah) modeli ile ilk güvenilir uzaktan kontrol edilebilen hava aracı unvanını almıştır.

İkinci Dünya Savaşı ile beraber insansız hava araçları insanlı sistemlerin birer alternatifi olarak düşünülse de tam olarak hak ettikleri yeri bulamamışlardır. Bununla

beraber, İkinci Dünya Savaşı'nın sonlarına doğru Almanlar, müttefik devletlerin özellikle deniz kuvvetlerine karşı, Dornier 217 tipi uçaklardan bırakılan radyo kontrollü bombalarla büyük başarılar elde etmişlerdir [9].



Şekil 1.4. LARYNX, Lynx Motorlu Uzun Menzilli Silah

Uçan torpido hayali, Nazi Almanya'sında V1 olarak bilinen ve orijinal adı Vergeltungswaffen-1 olan seyir füzeleri ile yeniden canlandı. Bu füze jet itki sistemi olan ilk füzedir. Çok iyi bir güdüm sistemine sahip olmasa da uçuş kontrol sistemlerinin gelişimine büyük katkıda bulunmuştur [10].

İkinci Dünya Savaşı'nın sona ermesi ile beraber Amerikan Hava Kuvvetleri ve Ryan Havacılık Şirketi arasında imzalanan anlaşma sonrası 1948 yılında XQ-2 jet motorlu subsonik jet motorlu insansız hava aracı üretilerek kullanıma başlandı. Şekil 1.5'te görülen XQ-2 1950'li yıllarda ve 1960'lı yılların başlarında Kore ve Vietnam Savaşları'nda gözetleme ve keşif amaçlı kullanılmıştır [8].



Şekil 1.5. Ryan Havacılık Şirketi Tarafından Üretilen XQ-2

İnsansız hava aracı sisteminin muharebe alanında diğer unsurlar ile beraber etkin olarak kullanımına ise ilk örnek 1982 yılında İsrail'in Beka Vadisi'ndeki Suriye hava savunma sistemlerine yaptığı saldırıdır. Burada İHA sistemleri kesif-gözetleme, hedef tespit, elektronik aldatma-karıştırma ve saldırı sonrası hasar tespit amaçları ile etkin olarak kullanılmıştır [11]. Yakın geçmişte ise ABD Körfez Savaşında, Pioneer ve Pointer adlı iki değişik İHA sistemini denemiştir. ABD Kara, Deniz ve Deniz Piyade birlikleri bu harekâta, Pioneer'ın sağladığı gerçek zamanlı elde edilen bilgilerden oldukça istifade etmiştir. Ayrıca, Bosna-Hersek Krizi ve Kosova Harekatı'nda başta ABD olmak üzere, Almanya, Fransa ve İngiltere tarafından İHA'lar etkin bir şekilde kullanılmıştır. Geçtiğimiz on yılda İHA'lar enerji ve bilgi sistemlerinde görülen ilerlemelere paralel olarak oldukça gelişmişlerdir. Otonom konumlandırma ve takip alanlarında çok önemli başarılar elde edilmiştir. Bu gelişmeler temel olarak, modern uydu temelli konumlandırma teknolojilerine, dâhili seyrüsefer sistemlerine, iletişim ve kontrol teknolojilerine ve görüntü işlemeye dayanmaktadır [12].

Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ve uydular, İHA'ları bir anlamda özgürleştirdi. Bu sistemler sayesinde, başlangıçta kullanılan ve çok da düzenli bilgiler sağlamayan hava aracının bütünleşik seyrüsefer sistemlerine olan bağımlılığı azalmış, İHA'ların görüş hattında (LOS - line of sight) olmasa da uydu üzerinden kontrol edilebilirlikleri sağlamıştır. Böylece orta ve uzun mesafeli, yüksek dayanımlı insansız hava araçları geliştirilmeye başlandı. Şekil 1.6'da gösterilen Genaral Atomics'in GNAT aracı bu tip sistemlerin ilk örneğidir. Yüksek irtifada görev yapabilme özgürlüğü gelse de elektro optik ve kızılötesi kamera sistemlerinin bulut üzerinden görüntü çekilmesine imkân vermemesi nedeniyle İHA'ların alçalmaları gerekiyordu.



Şekil 1.6. Genaral Atomics Tarafından Üretilen GNAT

Yapay açıklıklı radar (SAR - Synthetic Aperture Radar) sistemlerinin kullanıma başlanması ile beraber keşif ve gözetleme konusunda yaşanan sıkıntılar da ortadan kalkacaktı. Ancak söz konusu olumlu gelişmenin yanında SAR yüklerinin ağırlığı İHA'ların boyutlarının daha büyük olmasını zorladı. Bu kapsamda, çeşitli algılayıcılarla donatılmış kıtalararası keşif /gözetleme görevleri yapabilen Şekil 1.7'de görülen Global Hawk güzel bir örnektir [13].

İHA'lar ile gerçekleştirilen keşif ve gözetleme faaliyetleri ile istihbarat bilgileri sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra görev esnasında karşılaşılan, özellikle bir durum karşısında tepki gösterilmesi gereken haller olabileceği düşüncesi ile düşman tehdidi oluşturan İHA'ların silahlandırılması da zaman içerisinde gündeme gelmiştir. Bu düşünceyle, Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından keşif/gözetleme amaçlı kullanılan Predator'ün silahlandırılmasıyla Predator B veya diğer adıyla Şekil 1.8'de görülen Reaper geliştirilmiştir [14].



Şekil 1.7. Global Hawk



Şekil 1.8. MQ-9 Reaper

İnsansız hava araçlarının gelişimine askeri kullanım alanları teknolojik gelişmelerin paralelinde sivil kullanıma yönelik gelişmeler de mevcuttur. En önemli gelişmelerden biri Japonya tarafından geliştirilen Yamaha firmasının R50 ve RMax insansız hava araçlarıdır. Şekil 1.9'da görülen RMax en gelişmiş ticari İHAlardan biri olarak kabul edilmektedir [13].



Şekil 1.9. YAMAHA Rmax

1.3. İnsansız Hava Aracı Kullanım Alanları

Günümüzde gerek askeri gerekse sivil alanlarda kurum, kuruluş ya da bireyleri insansız hava araçları geliştirmeye iten önemli sebepler var. Bu sebeplerden bazıları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Uzun keşif/gözetleme gibi görevlerde zaman içerisinde insan dikkatinin azalması, bunun karşısında İHA'ların üzerlerinde taşıdıkları kamera ve radarlar yardımıyla daha etkin ve ucuz çözümler sunabilmesi,

2. İnsanlar için hayati risk teşkil eden kimyasal ve nükleer maddelerle uğraşılması gereken durumlarda İHA'ların kolaylıkla görev yapabilmesi,

3. Özellikle taarruz ya da hava savunma gibi insan hayatını tehlikeye atabilecek görevlerde küçük ve görünmezlik özelliği bulunan İHA kullanımının başarılı sonuçlar vermesi,

4. Araştırma ve geliştirme çalışmaları kapsamında deneysel alanda gerçek uçaklar yerine insansız hava araçları kullanılarak projelerin daha ucuz ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi,

5. Çevreye duyarlı bir şekilde, daha az enerji harcayarak, düşük emisyon ve gürültü seviyeleriyle çevre dostu olmaları

6. Aynı görevi üstlenen insanlı uçaklarla karşılaştırıldığında İHA'ların ilk üretim, kullanım, bakım, yakıt, hangar masrafları daha düşük olmasıdır [15].

Kullanım alanı ve uygulaması ne olursa olsun, insansız sistemler için genel gereksinimler şu şekilde sıralanabilir:

- Dayanıklılık, düşük maliyet ve kolay görevlendirilebilme kabiliyeti,
- Tespit, konumlandırma, izleme, tanımlama ve hedefe otomatik olarak kilitleme,
- Çok çeşitli kanallardan gelen bilgileri işleme, toplama ve yayma,
- İnsanlı ya da insansız diğer sistemler ile beraber ortak çalışabilme kabiliyeti,
- Kendi kendine organize olabilen sensör ve platformlara sahip,
- Operatörleri üzerinde ciddi bir iş yükü ya da yük getirmemeleri olarak sıralanabilir [16].

Günümüzde, mikro-elektromekanik sistemlerdeki teknolojik gelişmeler ve gün geçtikçe azalan maliyetler sayesinde, İHA sistemleri insanlı sistemlere alternatif olarak tercih edilmektedir. İHA sistemleri sayesinde çok daha uzun sürelerde (24-48 saat) görev icra edilmesi ve yer kullanıcıları için ağırlık genişletilmesi imkânı doğmuştur [17].

İnsansız sistemler genel anlamda dayanıklılık, çok yönlülük ve süreklilik kabiliyetine sahiptirler. Öte yandan özellikle insan hayatını tehlikeye düşürebilecek görevlerde insanlı sistemlere nazaran tercih edilmektedirler [18].

Bu kapsamda insansız sistemler, insanlı uygulamalara göre sıkıcı, kirli veya tehlikeli (3D – Dull, Dirty, Dangerous) işleri yerine getirmek için kullanılmaktadır. Bu çerçevede;

- Sıkıcı görevler; bir nokta üzerinde uzun süre görüntü alınması, herhangi bir haberleşme için veri aktarımı veya haberleşmenin bozulması için aynı yer üzerinde sürekli uçuş yaparak bozucu frekans yaymak,
- Kirli görevler; kirlilik veya kimyasal/biyolojik sızıntı, atık toksinlerin ölçüm işi için veri toplanması,
- Tehlikeli görevler; elverişsiz hava şartlarında düşman hava sahası üzerinde keşif uçuşları yapılması olarak örneklenebilir [19].

1.3.1. İnsansız Hava Araçlarının Askeri Kullanım Alanları

İHA Sistemlerinin gelişiminde temel ihtiyacın askeri işletim koşullarında karşılanması muhtemel tehlikelerden kaçınılması olduğu düşünüldüğünde, sivil sistemler özellikler İHA konusunda askeri sistemlerdeki gelişmelerin paralelinde gelişim göstermektedir. Askeri amaçlı İHA Sistemleri, görevlerine göre öncelikle insan hayatını her türlü zarardan korumayı, ikincil olarak maddi kayıpları asgari seviyeye çekmeyi hedefleyen sistemlerdir [20].

Genel olarak insansız hava araçlarının aşağıda yer alan askeri görevleri icra etmesi öngörülmektedir [21]:

- Gözetleme ve keşif amaçlı, gerçek zamanlı görüntü istihbaratı elde etmek,
- Hasar tespiti yapmak, harekât esnasında yapılan operasyonların sonuçlarını araştırmak,
- Ateş desteği imkânlarını artırmak, silahların etkilerini belirlemek, uzun menzilli, güdümlü mermilerin etkinlikle kullanılması için gerçek zamanlı hedef bilgilerini aktarmak,
- Karada konuşlu veya yüksek irtifada görevli keşif ve gözetleme vasıtalarının kaplayamadığı alanları ve hedeflerin ayrıntılarını pozitif olarak tespit ve teşhis etmek,
- Elektronik Harp desteği sağlamak,
- Meteorolojik araştırma yapmak,
- KBRN (Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer) kontrolü sağlamak,

- Karasuları ve sınır güvenliği imkânlarını artırmak,
- Sabit ve hareketli hedefleri vurmak,
- Düşman hava savunmasını etkisiz hale getirmek ve
- İletişimde röle vazifesi görerek menzil arttırmaktır.

1.3.2 İnsansız Hava Araçlarının Sivil Kullanım Alanları

Askeri kullanımla birlikte gelişen İHA teknolojileri, sivil sistemlerde de günden güne uygulanmaktadır. Genel olarak bakıldığında özellikle kalabalıklaşan şehir hayatında, çevre olaylarının izlenmesi ve tehditlerin belirlenmesi çalışmalarında güvenliğin sağlanması amaçlı ya da yaşanan doğal afetlerde sivil savunma desteği kapsamında İHA teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır.

Genel olarak insansız hava araçlarının aşağıda yer alan sivil görevleri icra etmesi öngörülmektedir [22]:

- Sivil Taşımacılık
- Bilimsel/Arazi İzleme (Jeolojik Araştırmalar, Toprak Kayması Tahmini, Hava Durumu Tahmini, Atmosferik Araştırma, Okyanus Gözetlemeleri, Kasırga Oluşum İncelemesi, Volkanik Çalışmalar)
- Keşif/Gözetleme (Sel İzleme, Deniz Karakol, Kasırga İzleme, Volkanik İzleme, Orman Yangını Tespiti, Yağ Kaçağı Gözetleme, Deprem İzleme, Yasal İzlemeler, Sahil Gözetleme, Uluslararası Sınır Devriyesi, Uyuşturucu Trafiği Kontrolü, Çevresel Gözetleme, Nükleer ve Zehirli Gaz Radyasyonu İzleme, Ekin ve Harman İzleme, Yüksek Doğruluklu Arazi Haritalama, Boru Hattı İzleme)
- Uydu Görevlerini Bütünleyicilik (Haberleşme Desteği, Seyrüsefer Desteği, Röle Servisi)
- Acil Durumlar (Arama-Kurtarma, Yangınla Mücadele, Afet Durum Farkındalığı, Afet Operasyon Yönetimi)

1.4. İnsansız Hava Aracı Sistemi

İnsansız Hava Aracı sistemi en dar kapsamıyla Şekil 1.10'da belirtilen;

- Hava Aracı,
- Yer Kontrol İstasyonu,

- Hava aracının göreve yönelik olarak taşıdığı Faydalı Yükler (Kamera, Sensor vb.),
- Veri-Link Terminali ve karmaşık bir yazılım paketinden oluşmaktadır [23].

Bu sistemlerin en büyük özelliği hava aracı, taşıdığı yük sistemi ve haberleşme kanalları ile bir bütün olarak birçok teknolojiyi bilimler arası disiplini bir arada bulundurmasıdır.

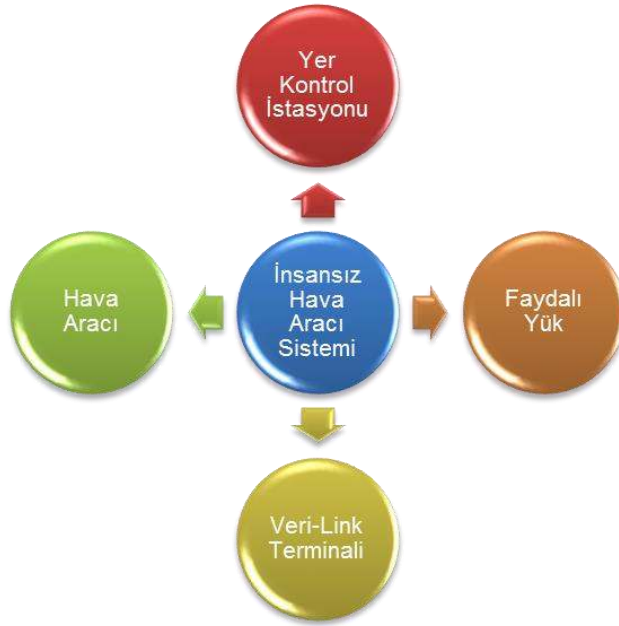
Hava Aracı : İnsansız Hava Aracı sistemlerinde kullanım amaçları ve görev gereksinimlerine göre değişik hava araçları kullanılmakta olup, konfigürasyonu belirleyen en önemli belirleyiciler; kalkış iniş mesafesi, faydalı yük kapasitesi, havada kalış süresi, azami uçuş yüksekliği, azami hız ve menzil gereksinimleridir.

Yer Kontrol İstasyonu: İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin kontrol merkezi olarak görev yapan Yer Kontrol İstasyonunun (YKİ) temel işlevleri;

- Hava aracının kalkış, uçuş ve inişinin kontrolü,
- Hava aracı ve üzerindeki faydalı yüklerden gelen video ve telemetri verilerinin alınması, işlenmesi ve görüntülenmesi, faydalı yüklerin çalışmasının kontrol edilmesi,
- İHA sistemi ile dış dünya arasındaki ara yüzün sağlanması,
- Görevin planlanması olarak sıralanabilir.

Burada sözü edilen istasyon İnsansız Hava Aracını görev anlamında kontrol eden istasyondur. İHA sistemlerinin kontrolü menzile ve kullanım gereksinimlerine bağlı olup, temelde “Man-in-the-Loop (Çevrimde İnsanın Dahil Olduğu)” ya da “Autonomy (Otonom - Çevrimde İnsanın Dahil Olmadığı)” olarak iki grupta toplanmaktadır. Bu çalışmada otonom olarak uçuş yapan İHA’lar temel alınarak modelleme yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde İnsansız Hava Araçlarının uçuşlarında otonomi ayrıntılı şekilde ele alınacak, beşinci bölümde ise yapılacak modelleme otonom tabanlı olacaktır.

Faydalı Yükler : Hava aracının güvenilir bir şekilde kalkışını, uçuşunu ve inişini sağlayan aviyonik, veri linki, yakıt ve ekipman dışında kalan ve doğrudan göreve yönelik olarak seçilen birimlerdir. İHA sisteminden beklenen görevi ve bu göreve özel çevre koşulları, mesafe, doğruluk, çözünürlük gibi gereksinimleri karşılayacak şekilde seçilmektedir.



Şekil 1.10. İnsansız Hava Aracı Sistem Yapısı

Veri-Link Terminali : İHA Sisteminin anahtar alt sistemlerinden olup, hava aracı ve faydalı yük için yaşamsal önem taşımaktadır. Veri-link, hava ve yer olmak üzere iki ana alt sisteme ayrılmaktadır. Hava Veri Terminali olarak adlandırılan hava aracı üzerindeki alt sistem ile Yer Veri Terminali olarak adlandırılan linkin yerde kalan alt sistemi, RF almalı ve gönderme, modem ve antenlerden oluşmaktadır. Linkin temel olarak ana bileşenleri,

- Hava aracının ve üzerindeki faydalı yüklerin kontrol edildiği, 10-100 kHz'lik bant genişliğine sahip yerden havaya link (up-link),
- Biri hava aracı ve faydalı yük durum bilgilerini içeren ve 10-100 kHz'lik bant genişliğine sahip, diğeri faydalı yük verilerinin aktarıldığı ve bant genişliği kullanılan faydalı yüke göre 100 kHz ile 10 MHz arasında değişebilen iki kanallı havadan-yere (down-link) link olarak sıralanabilir [24].

1.5. İnsansız Hava Aracı Sınıflandırması

Günümüz koşullarında gerek askeri gerekse sivil amaçlı olarak kullanılan İHA'ları birkaç değer ile sınırlandırarak sınıflandırmak zordur. Geniş bir yelpazede kullanılan İHA'lar ortak paydaya alınırken kullanım amaçları, görevleri, menzilleri gibi değerlere bağlı kalınarak sınıflandırılmıştır [25].

Bu bölümde, halen dünyada uluslararası ortamda gerek askeri gerekse sivil kullanımda kabul gören 2 adet sınıflandırma ele alınacaktır. Bunlardan ilki NATO (North Atlantic Treaty Organization- Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü) tarafından belirlenen sınıflandırmadır [26].

Bir diğeri ise NATO sınıflandırmasına çok benzemekle beraber ufak birkaç farklılığı olan EUROUVS (The European Association of Unmanned Vehicles Systems - Avrupa İnsansız Araç Sistemleri Birliği) tarafından oluşturulan sınıflandırmadır [27].

Özellikle asker kullanım söz konusu olduğu zamanlarda NATO sınıflandırması göz önüne alınırken ilerleyen sivil kullanım ile beraberinde gelen uçuşa elverişlilik, sertifikasyon vb. gibi konularda ise EUROUVS sınıflandırması daha genel anlamda kabul görmektedir. Bu iki sınıflandırma ile beraber farklı ülkelerde farklı sınıflandırmaları da görmek mümkündür [28].

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen modelleme ve bu modelleme esnasında oluşturulan üyelik fonksiyonlarına ait değerler aşağıda yer alan tablolara bağlı kalınarak oluşturulmuştur.

Tablo 1.1. İHA NATO Sınıflandırması

NATO SINIFLANDIRMASI					
Sınıflandırma	Kategori	Ağırlığı (kg)	Azami Uçuş Yüksekliği (İrtifa) (feet)	Harekat Kabiliyeti (Menzil) (km)	Örnek İHA
Class I <150 kg	Mikro	< 2	Yerden 200 feet'e kadar	5 (LOS) (Line of Sight- Görüş Mesafesi)	Luna, Hermes 90
	Mini	2-20	Yerden 3000 feet'e kadar	25 (LOS) (Line of Sight- Görüş Mesafesi)	Scan Eagle, Skylark, Raven, DH3
	Küçük	20-150	Yerden 5000 feet'e kadar	50 (LOS) (Line of Sight- Görüş Mesafesi)	Black Widow
Class II 150-600 kg	Taktik	150-600	Yerden 10000 feet'e kadar	200 (LOS) (Line of Sight- Görüş Mesafesi)	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, Aerostar, Watchkeep er

NATO SINIFLANDIRMASI					
Sınıflandırma	Kategori	Ağırlığı (kg)	Azami Uçuş Yüksekliği (İrtifa) (feet)	Harekat Kabiliyeti (Menzil) (km)	Örnek İHA
Class III >600 kg	MALE (Medium Altitude Long Endurance – Orta İrtifa Uzun Dayanıklılık)	> 600	Yerden 45000 feet'e kadar	Limitsiz (BLOS) (Beyond Line of Sight-Görüş Mesafesinin Ötesinde)	Predator A & B, Heron, Hermes 900
	HALE (High Altitude Long Endurance – Yüksek İrtifa Uzun Dayanıklılık)	> 600	Yerden 65000 feet'e kadar	Limitsiz (BLOS) (Beyond Line of Sight-Görüş Mesafesinin Ötesinde)	Global Hawk
	Taarruzi/Atak	> 600	Yerden 65000 feet'e kadar	Limitsiz (BLOS) (Beyond Line of Sight-Görüş Mesafesinin Ötesinde)	

Tablo 1.2. İHA EUROUVS Sınıflandırması

EUROUVS SINIFLANDIRMASI						
Sınıflandırma	Kategori	Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg)	Azami Uçuş Yüksekliği (m)	Havada Kalış Süresi (saat)	Veri Link Menzili (km)	Örnek İHA
Mikro/Mini	Mikro	0.10	250	1	< 10	Black Widow, MicroStar, Microbat, FanCopter, QuattroCopter, Mosquito, Hornet, Mite
	Mini	< 30	150-300	< 2	< 10	Mikado, Aladin, Tracker, DragonEye, Raven, Pointer II, Carolo C40/P50, Skorpio, R- Max and R-50, Robo- Copter, YH-300SL

EUROUVS SINIFLANDIRMASI						
Sınıflandırma	Kategori	Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg)	Azami Uçuş Yüksekliği (m)	Havada Kalış Süresi (saat)	Veri Link Menzili (km)	Örnek İHA
Taktiksel	Yakın Menzilli	150	3.000	2-4	10-30	Observer I, Phantom, Copter 4, Mikado, RoboCopter 300, Pointer, Camcopter, Aerial
	Kısa Menzilli	200	3.000	3-6	30-70	Scorpi 6/30, Luna, SilverFox, EyeView, Firebird, R- Max Agri/ Photo, Hornet, Raven, phantom, GoldenEye 100, Flyrt, Neptune
	Orta Menzilli	150-500	3.000- 5.000	6-10	70-200	Hunter B, Mücke, Aerostar, Sniper, Falco, Armor X7, Smart UAV, UCAR, Eagle Eye+, Alice,

						Extender, Shadow 200/400
	Uzun Menzilli	-	5.000	6-13	200- 500	Hunter, Vigilante 502
	Dayanıklı	500-1.500	5.000- 8.000	12-24	> 500	Aerosonde, Vulture II Exp, Shadow 600, Searcher II, Hermes 450S/450T/700
	MALE	1.000-1.500	5.000- 8.000	24-48	> 500	Skyforce, Hermes 1500, Heron TP, MQ-1 Predator, Predator-IT, Eagle- 1/2, Darkstar, E- Hunter, Dominator
Stratejik	HALE	2.500- 12.500	15.000- 20.000	24-48	> 2.000	Global Hawk, Raptor, Condor, Theseus, Helios, Predator B/C, Libellule, EuroHawk, Mercator, SensorCraft, Global Observer, Pathfinder Plus,

Özel Göreve Sahip Araçlar	Öldürücü	250	3.000-4.000	3-4	300	MALI, Harpy, Lark, Marula
	Aldatıcı	250	50-5.000	< 4	0-500	Flyrt, MALD, Nulka, ITALD, Chukar
	Stratosferik	-	20.000-30.000	> 48	> 2.000	Pegasus
	Eksosferik		> 30.000	-	-	MarsFlyer, MAC-1

1.6. Türkiye ve İnsansız Hava Aracı

Türkiye semalarında ilk uçan İHA 1993 yılında General Atomics Aeronautical Systems firmasından alınan GNAT modeli İHAlardır. Öncelikli olarak acil ihtiyaç sebebiyle alınan GNAT'lara takiben I-GNAT modeli de tedarik edilmiş olup, bunların beraberinde milli imkanlar çerçevesinde İHA geliştirme çabaları başlamıştır.

1990 yılında UAV X-1 adı ile başlayan ve TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş) tarafından yürütülen İHA projesi başladı ancak çeşitli sebeplerle proje tamamlanamadı. Bu projenin başarısızlıkla sonuçlanmasına rağmen TUSAŞ, İHA konusunda çalışmalarına devam ederek Turna ve Keklik projelerini tamamlayarak savunma sistemleri atış ve takip eğitimlerinde kullanılmak üzere geliştirmiştir. Turna/G, 2001 yılından bu yana aktif olarak kullanılmaktadır.

2004 yılından itibaren Türkiye, İHA sistemleri konusunda yolunu kesin çizgilerle çizmeye başlamıştır. Bu yılda Savunma Sanayii Müsteşarlığı (SSM) İHA alımı ve geliştirilmesi konusunda yetkili tek kuruluş olarak belirlenmiş ve SSM Türkiye'nin İHA sistemlerindeki gereksinimlerini ortaya koyarak çeşitli projeler başlatmıştır [15].

TUSAS tarafından özgün olarak tasarlanan ve alt sistemlerinde birçok yerli firmanın çalıştığı yerli İHA projesi olan, Şekil 1.11'de gösterilen TİHA ya da bilinen

adı ile ANKA uçağı 2010 tarihinde düzenlenen bir tören ile hangardan çıkartılmış ve deneme uçuşlarını başarı ile tamamlamıştır [29].



Şekil 1.11. ANKA

Öte yandan 2004 yılında yapılan planlamaya uygun olarak Kalekalıp-Baykar ortaklığı tarafından Çaldıran ve Vestel Savunma Sanayii tarafından Karayel geliştirildi. SSM tarafından Şekil 1.12’de gösterilen Çaldıran’ın alımına karar verildi.

Mini İHA sınıfında Baykar tarafından Bayraktar ve bir mini insansız helikopter sistemi olan Malazgirt geliştirildi. Vestel Savunma da Efe adındaki bir mini İHA’nın yanı sıra Arı adında bir mikro İHA geliştirdi.



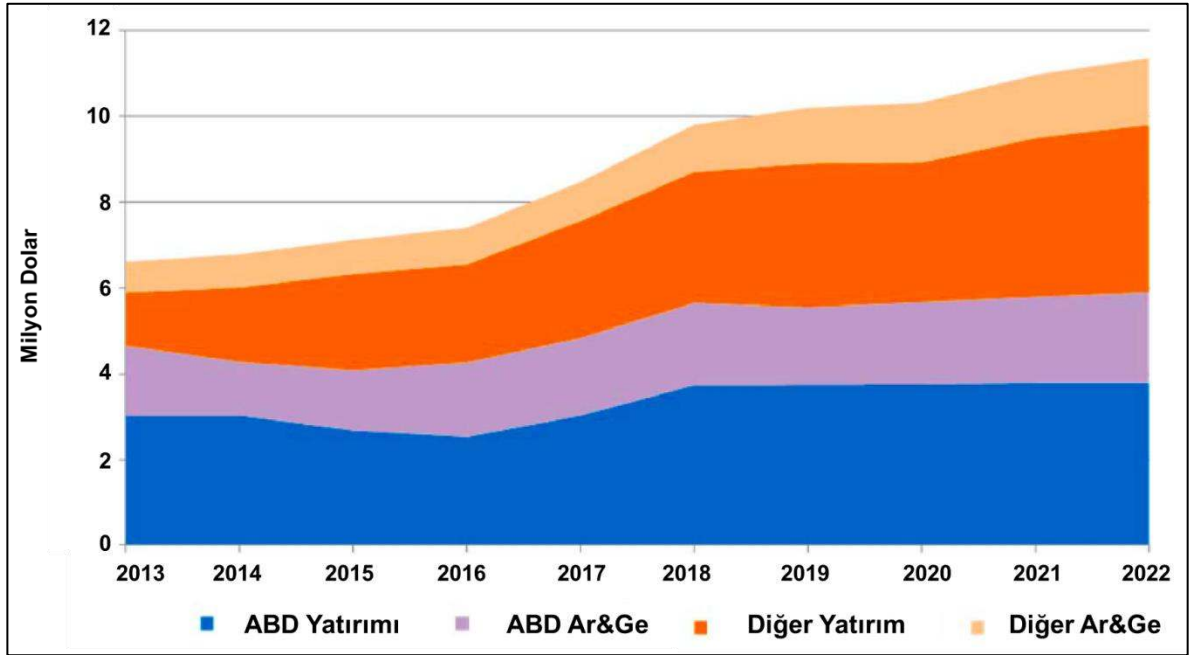
Şekil 1.12. Çaldıran

Bunların yanı sıra halen çeşitli üniversitelerde İHA konularında bilimsel çalışmalar yapılmakta ve prototip olarak İHA üretimleri gerçekleştirilmektedir.

Türkiye'nin İnsansız Hava Aracı sistemlerini de içine alan havacılık sanayi son dönemde hem platform, hem de alt sistem bazında ciddi ilerlemeler kaydetmiş bulunmaktadır. Hava aracı sistem tasarımı ve entegrasyonu, sensör geliştirilmesi gibi çok geniş bir yelpazede projeler halen devam etmektedir. Önümüzdeki yıllarda, projelerin ürünü olarak envantere dahil olacak sistemleri ile yerli sanayinin bir güç çarpanı oluşturacağı tahmin edilmektedir [30].

1.7. Geleceğe Bakış

Son on yılda, özellikle geçmişte yaşanan tecrübeler ve elde edinilen kazanımlarla beraber insansız hava araçlarına olan eğilim hem sivil hem de askeri alanda gittikçe artmaktadır. Boyut, maliyet, ekonomik kazanımlar, çevresel faktörler ve beraberinde en önemlisi de teknolojik gelişmeler ışığında insansız sistemler insanlı sistemlere bir rakip olarak çıkmıştır. Bununla beraber özellikle havacılık sektöründe yer alan büyük firmalar sektörel yatırımlarını, vizyon ve misyonlarını insanlı sistemlerden insansız sistemlere doğru yöneltmişlerdir. Başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere dünyanın geri kalan ülkelerinin İHA sistemlerine ait yatırımları ve Araştırma Geliştirme (Ar&Ge) faaliyetlerine ait bütçe öngörülleri Şekil 1.13'te gösterilmektedir.



Şekil 1.13. Dünya İHA Tahminleri

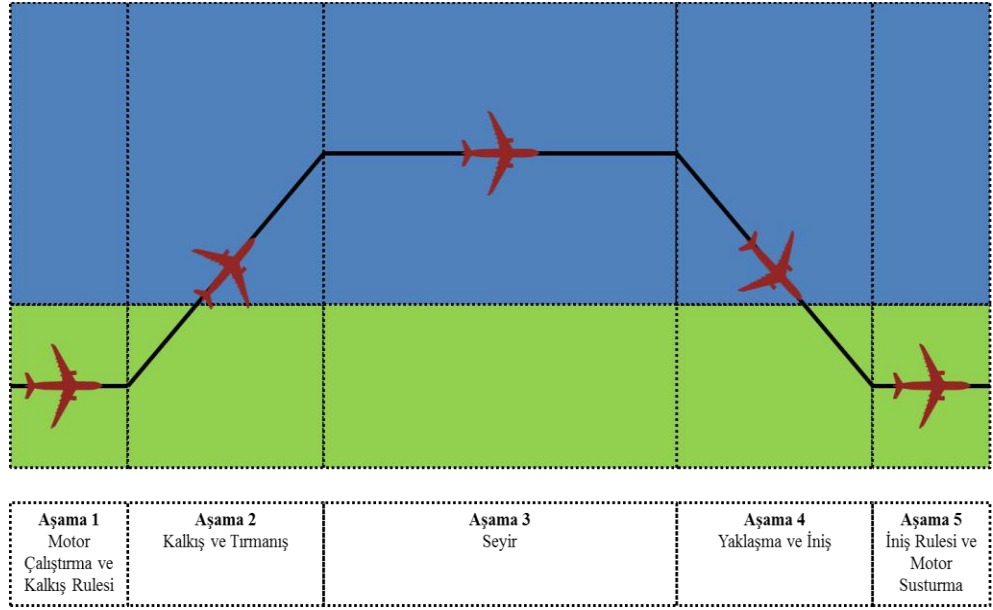
Şekil 1.13'e göre 2016 yılı içerisinde öngörülen yatırım maliyeti yaklaşık 7 milyon dolar iken bu rakamın 2 kat artarak 2022 yılında yaklaşık olarak 11 milyon dolar olması öngörülmektedir. Bu durum, İHA teknolojilerine olan yatırım eğilimlerini göstermesi açısından son derece önemlidir.

BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR.

2. HAVA TRAFİK YÖNETİMİ VE KARAR VERME

2.1. Hava Trafik Yönetimi

Bir hava aracının park yerinde motor çalıştırması ile başlayan ve tekrar park yerine dönerek motor susturmasına kadar olan süreç uçuş olarak tanımlanmaktadır. Bir uçuş ister insanlı isterse insansız hava aracı ile icra edilsin toplamda genel geçer 5 temel aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar kendi içerisinde de alt bölümlere ayrılmakta olup uçuşun Şekil 2.1’de yer alan temel 5 aşaması şu şekilde sıralanabilir:



Şekil 2.1. Uçuşun Beş Aşaması

Aşama 1 - Motor Çalıştırma ve Kalkış Rulesi: Hava aracı, bu aşamada motor çalıştırma ve kontrol işlemlerini gerçekleştirir. Bununla beraber kalkışını yapmak için meydan manevra sahasında rule yaparak kullanılacak pist için yerine alır.

Aşama 2 - Kalkış ve Tırmanış: Hava aracı bu aşamada öncelikle kalkışını gerçekleştirir ve yapacağı göreve bağlı olarak kendisine tahsis edilen uçuş seviyesini almak için tırmanır.

Aşama 3 - Seyir: Hava aracı bu aşamada görev için kendisine tahsis edilen seviyede uçuşunu gerçekleştirir.

Aşama 4 - Yaklaşma ve İniş: Hava aracı bu aşamada görev için kendisine tahsis edilen seviyeyi terk ederek iniş için gerekli hazırlıkları yaparak alçalır ve iniş için uygun olan piste inişini gerçekleştirir.

Aşama 5 - İniş Rulesi ve Motor Susturma: Hava aracı bu aşamada inişini tamamladıktan sonra kendisi için tahsis edilen park yerine geri dönmek amacıyla iniş rulesi yapar ve park yerinde uygun pozisyonunu aldıktan sonra motor susturur.

Bir uçuşa ait yukarıda belirtilen 5 aşama dikkate alındığında hava trafik yönetimi, uçuş öncesi planlama ve hazırlık safhasını da içine alan ve hava aracının motor çalıştırma ve kalkış rulesi aşamasından başlayarak kalkış yapması, tırmanması, seyir irtifasına ulaşması, alçalması ve inmesi ile park yerine geri dönerek motor susturmasına kadar geçen süre içerisindeki tüm faaliyetlerinin emniyetli, etkin ve süratli bir şekilde yürütüldüğü hizmetler bütünüdür [31].

Hava Trafik Kontrol (HTK) hizmeti, uçuşta ve yerde uçakların birbirlerine, meydan manevra sahasında uçakların mâniyalara çarpmasına engel olmak, düzenli bir hava trafik akışı sağlamak ve bu akışı hızlandırmak üzere sunulan hizmetlerdir [32]. Burada sözü edilen meydan manevra sahası bir hava alanının hava araçları tarafından park yerleri hariç kalkış, iniş ve yerde hareket etmek için kullanılan bölümünü belirtmektedir.

Hava Trafik Kontrol (HTK) Hizmetlerinin amacı; havada ve yerde uçakların çarpışmasına engel olmak, yerde/manevra sahasında uçakların araç ve mâniyalarla çarpışmasını önlemek, hava trafiğinin emniyet ve süratle akışını sağlamak, uçuşların emniyet ve süratle yapılması için gerek duyulan veya faydalı olabilecek bilgileri temin etmek, ilgililere ulaştırmak ve/veya tavsiyede bulunmak, olay vukuunda arama - kurtarma birimlerini uyarmak ve görevlendirildiğinde bu birimlerin oluşturduğu her türlü organizasyona yardımda bulunmaktır.

HTK hizmetlerinin yürütülmesi, hava trafik yönetim yoğunluğunun paylaşılması ve verilen hizmetlerin gösterdiği değişikliklere göre Şekil 2.2’de yer alan üç ayrı sorumluluk sahasından oluşmaktadır. Bunlar; Saha Kontrol Hizmetleri, Yaklaşma Kontrol Hizmetleri ve Meydan Kontrol Hizmetleridir.

Saha Kontrol Hizmetleri, Terminal Kontrol Sahaları ve anlaşma mektupları ile belirlenmiş özel eğitim sahaları dışında kalan, RADAR kaplama alanı içindeki tüm hava sahalarında ve genel olarak hava yolu koridorunda uçan hava trafiklerine sağlanan HTK hizmetidir.

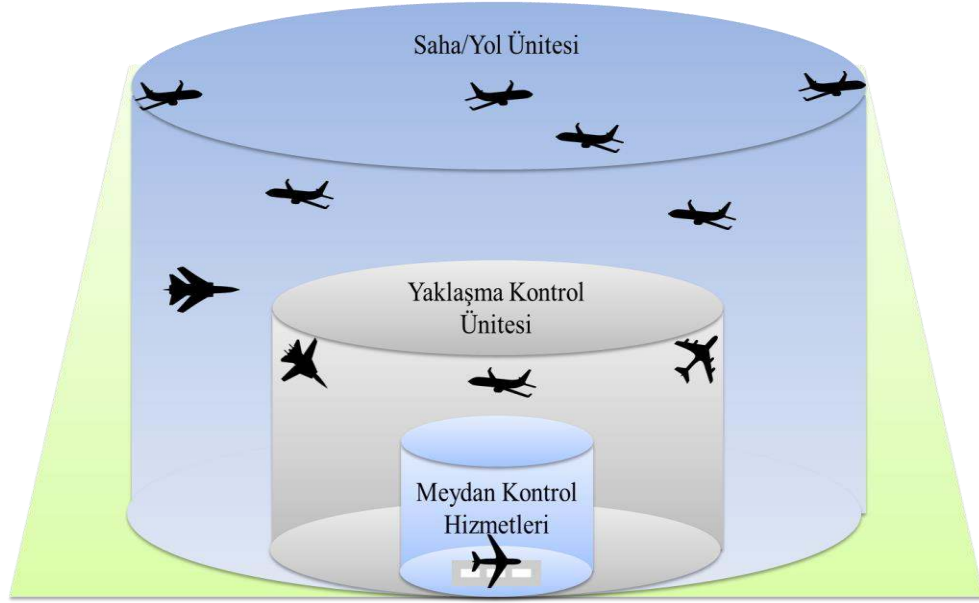
Yaklaşma Kontrol Hizmetleri, içerisinde diğerleri ile ilişkilendirilmiş hava yolları bulunan, IFR (Instrument Flight Rules – Aletli Uçuş Kuralları) uçuşlar için uçuş yolları oluşturulabilmesine veya gerekli hava trafik hizmetinin uygulanabilmesine olanak sağlayan, yeterli hava sahasına ve bu hizmetin yürütülebilmesi için seyrüsefer yardımcılara sahip terminal kontrol sahalarında sağlanan HTK hizmetidir.

Meydan Kontrol Hizmetleri ise havaalanı merkez olmak üzere 5 NM (9.3 Km) yarı çapında ve genelde yerden 3000 feet yüksekliğe kadar uzanan “Kontrol Zon” olarak adlandırılan saha içerisinde, VFR (Visual Flight Rules – Görerek Uçuş Kuralları) , IFR (Instrument Flight Rules – Aletli Uçuş Kuralları) ve Özel VFR (Special VFR) ile uçan hava trafiğinin, meydan trafik paternlerinin, yerde meydan manevra sahası içindeki uçak, vasıta ve personelin kontrolünü kapsayan ve Meydan Kontrol Kulesi tarafından yürütülen HTK hizmetidir.

Saha Kontrol Hizmeti, bir saha kontrol merkezi tarafından veya bir kontrol zone içinde tesis edilmiş ya da esas olarak yaklaşma kontrol hizmeti sağlamak üzere tesis edilmiş, saha kontrol merkezi tesis edilmemiş kontrol sahalarının bir bölümünde yaklaşma kontrol hizmeti sağlayan ve Şekil 2.2’de belirtilen ünite tarafından sağlanmaktadır.

Yaklaşma Kontrol Hizmeti, meydan kontrol hizmeti veya saha kontrol hizmetinin fonksiyonları ile tek bir birimin sorumluluğunda bileştirmek gerektiğinde ya da arzu edildiğinde meydan kontrol kulesi ya da saha kontrol merkezi tarafından ya da ayrı bir birimin tesis edilmesi gerektiğinde ve uygun görüldüğünde Şekil 2.2’te belirtilen yaklaşma kontrol ünitesi tarafından sağlanmaktadır.

Meydan Kontrol Hizmetleri ise Şekil 2.2’te belirtilen Meydan Kontrol kulesi tarafından sağlanmaktadır. Öte yandan meydan manevra sahasındaki belirli hizmetlerin sağlanması görevi meydan kontrol kulesi veya ayrı bir birime verilebilir.



Şekil 2.2. Hava Trafik Kontrol Hizmetleri

2.2. Hava Trafik Kontrolörleri ve Hava Trafik Yönetimi

Hava Trafik Hizmetleri faaliyetleri kapsamında tanımlanan görevlerin yapılması için çalışan ve kendi sorumluluk sahasında uçmakta olan tüm hava trafiğinden sorumlu kişiye hava trafik kontrolörü denilmektedir [33]. Bir hava trafik kontrolörü, hava trafik yönetiminin emniyetli, etkin ve süratli bir şekilde sağlanmasından sorumludur. Hava trafik kontrolörlerinin en önemli görevlerinden biri emniyetli bir uçuş için hava araçları arasındaki mesafelendirmeyi diğer bir ifade ile ayırmayı doğru olarak sağlayabilmesidir. Hava trafik kontrolörleri uçuş emniyetini hava araçları arası minimum ayırma mesafesini koruyarak sağlarlar. Ayırma mesafesi birim ve sektörlere göre farklılıklar gösteren hız kontrolü, irtifa değişikliği, mesafe kontrolü, radar vektörü, bekleme paterni gibi farklı ayırma teknikleri kullanılarak elde edilir.

Emniyetin yanı sıra trafik akışının hız ve verimliliğini temin etmek de kontrolörün temel amaçlarından bir tanesidir. Hava trafik kontrolörünün amacına ulaşması birçok karmaşık uygulama, planlama, karar verme, iletişim ve koordinasyon faaliyetlerinin en iyi şekilde gerçekleştirmesine bağlıdır. Bu da hava trafik kontrolörlerin çalışma ortamını çok karmaşık ve dolayısıyla hatalara yatkın hale getirmektedir [34].

Günümüzde hava trafik kontrol hizmetleri giderek artan sivil hava taşımacılığı ve sportif uçuculuk ile yüksek performanslı uçakların da envantere girerek yoğunlaştırdığı askeri uçuş etkinliklerinin icra edildiği yüksek yoğunluklu ve dinamik bir ortamda icra edilmektedir. Bu kapsamda, halen İHA'lar askeri amaçlı olarak etkin olarak kullanılıyor olsa da sivil hava taşımacılığı gelecek 20 yıl içerisinde insansız hava araçlarına doğru bir eğilim içerisine gireceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, hava trafik kontrol sistemlerinin oldukça önemli bir rol üstleneceği öngörülmektedir.

Hava trafik kontrol sisteminde kullanılan cihaz ve teçhizatlar, son yıllarda büyük bir modernizasyona tabi tutulmuştur. Böylelikle kullanılan mevcut sistemler ileri teknoloji ürünleri ile ikame edilmiştir. Hava trafik kontrol sisteminde meydana gelen bu teknolojik gelişimin ve değişimin başlıca sebepleri; uçakların uçuş yeteneklerindeki gelişmeler, hava trafik hizmeti taleplerindeki ve trafik sayılarındaki artış, seyrüsefer imkânlarının teknolojiye paralel olarak gelişmesi, sistemlerde kullanılan bilgisayarlardaki ve diğer muhabere cihazlarındaki teknolojik ilerlemelerdir. Öte yandan, hava araçlarında meydana gelen bu teknolojik ilerlemelerin; öğrenme, anlama, hatırlama, yeni metotlar geliştirme, uyum, bilgi işleme, karar verme, problem çözme ve tahmin gibi konularda da sağlanması, emniyetli bir hava trafik kontrol yönetimi açısından çok büyük bir önem taşımaktadır. Zira, hava trafik yönetiminin güvenli ve verimli bir şekilde sağlanması cihaz olanaklarına olduğu kadar; kontrolörlerin bilgisine, yeteneklerine ve hava trafik kurallarını uygulama usullerine bağlıdır [35].

2.3. Hava Trafik Yönetiminde Karar Verme

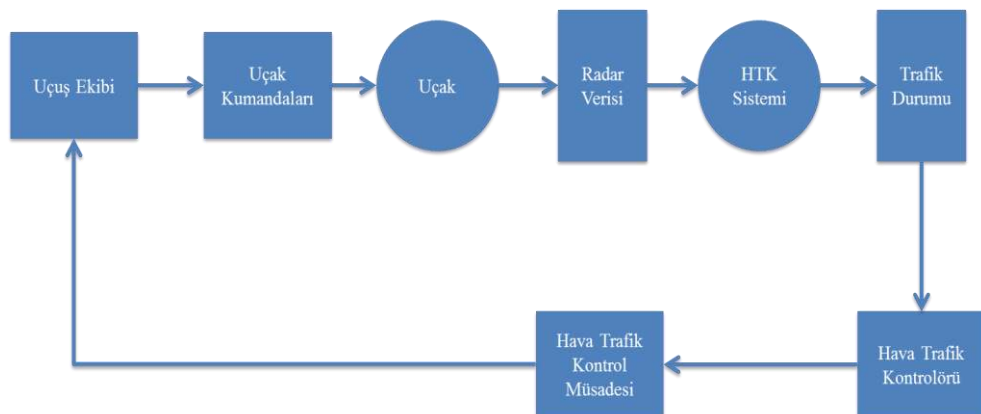
Günümüzde hava trafik yönetimi, yüksek yoğunluklu ve dinamik bir hava sahası ortamında icra edilmektedir. Hava trafik yönetimi sürecinde hava trafik

kontrolörleri, hava sahası kullanıcılarından bilgileri elde ederek, işleyerek, güncelleyerek ve sonucunda bir karar vererek tekrar hava sahası kullanıcılarına dağıtımını yapmaktadır. Hava sahası kullanıcıları tarafından zamanında gelmeyen ya da eksik gelen bilgiler hava trafik kontrolörünün karar vermesini zorlaştırmaktadır. Özellikle zaman baskısının çok yoğun olduğu hava trafik kontrol hizmetlerinde eksik bir bilgi zincirleme etki yaratarak tahmin edilemeyen sonuçlara yol açabilir [36].

Hava trafik kontrolörleri kendilerine dolaylı ya da direkt olarak farklı kanallardan gelen bilgileri birleştirerek sonuçta bir karar verirler ve bu kararı gerekli yerlere aktarırlar. Hava trafik kontrolörlerinin elde ettiği bilgiler göz önüne alındığında;

- Uçuştan önce elde edilen bilgiler,
- Yere dayalı sistemlerin elde ederek aktardığı bilgiler,
- Uçak tanıma sistemlerinden elde edilen bilgiler,
- Telsiz aracılığı ile pilot tarafından iletilen bilgiler,
- Diğer kontrolörler tarafından telefonla iletilen bilgiler olarak beş farklı bilgi sınıfı elde edilebilir [37].

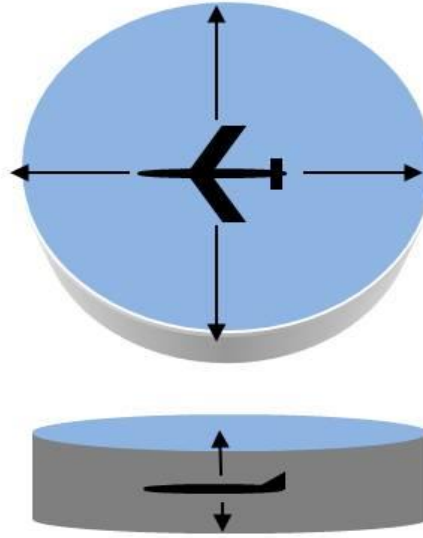
Hava trafik yönetimindeki önemli aktörlerin pilotlar ve hava trafik kontrolörleri olduğu göz önüne alınırsa temel hava trafik yönetimi karar verme döngüsü Şekil 2.3'te gösterildiği gibidir [38] :



Şekil 2.3. Hava Trafik Kontrol Temel Karar Verme Döngüsü

Şekil 2.3'te belirtildiği gibi hava trafik kontrolörü sistem içerisinde uçuş ekibinde çeşitli vasıtalarla kendisine aktarılan bilgileri girdi olarak kabul etmekte ve bu bilgileri çeşitli zihinsel süzgeç ve katmanlardan geçirerek tekrar uçuş ekibine bir hava trafik kontrol müsaadesi olarak geri göndermektedir.

Hava trafik kontrolörü karar alma aşmasında uçakların çevresinde güvenli bir alan yaratma amacı içerisinde. Hokey Topu modellemesi olarak kabul edilen ve Şekil 2.4.'te gösterilen bu güvenlik alanı uçakların emniyetli bir şekilde uçmaları için gerekli olan mesafelendirme ya da bir başka deyişle ayırma olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.4. Hokey Topu Modellemesi

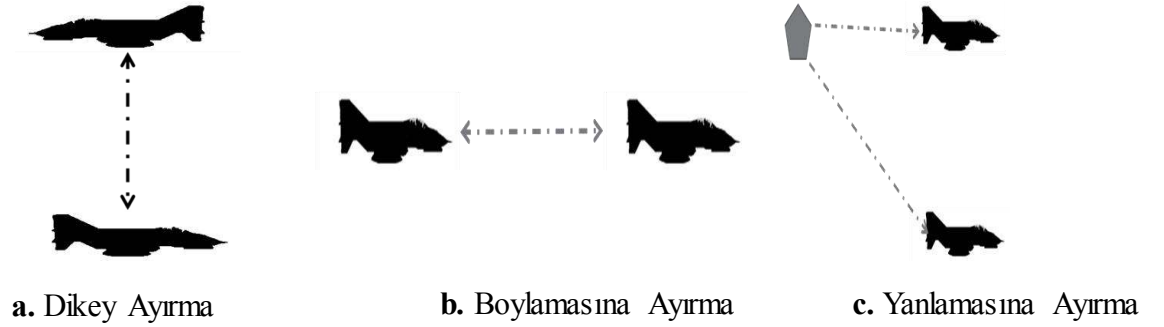
Hava trafik yönetiminde temel olarak üç ana ayırma türü mevcuttur:

1. Dikey Ayırma : Şekil 2.5.a'da görüldüğü gibi hava araçlarına değişik irtifalar verilmesi ve böylece emniyetle birbirlerini kat etmeleri prensibine dayanır.

2. Yatay Ayırma :

a. Boylamasına ayırma : Özellikle aynı rotayı takip eden, aynı nokta üzerinde rotaları çakışacak olan iki hava aracını birbirinden ayırmak amacıyla gerek zaman gerek mesafe olarak Şekil 2.5.b'de gösterildiği şekilde boylamasına yapılan ayırma şeklidir.

b. Yanlamasına Ayırma ise Şekil 2.5.c’de gösterildiği gibi gerek VFR gerek seyrüsefer kolaylıklarını kullanarak iki ayrı rota veya coğrafik iki ayrı noktada olan hava araçlarına uygulanır.



Şekil 2.5. Ayırma Çeşitleri

Şekil 2.5’te belirtilen ayırmalara ait minimum değerler, hava aracının tabi olduğu uçuş kurallarına göre değişiklikler göstermektedir. Bu uçuş kuralları; Görerek Uçuş Kuralları ve Aletli Uçuş Kuralları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Örneğin dikey ayırma minimum değeri VFR uçuşlar için 500 feet iken IFR uçuşlar için 1000 feettir.

Ayrırma minimumlarının ve kurallarının sabit kaldığı hava sahasında en önemli sorunlardan biri hava sahası kullanıcı sayısının sürekli artmasıdır. 1960ların ikinci yarısından itibaren sivil havacılık sektöründe jet motorlu yolcu uçaklarının piyasaya çıkmasıyla beraber havayolu şirketleri daha kısa zamanlarda, daha çok yolcuyu, daha uzağa taşımaya başlamış, bunun sonucunda dünyada sivil havacılık sektörünün en büyük adımlarından biri atılmıştır. Bununla beraber sürekli gelişen havacılık sektöründe kurallar sabit kalırken kullanıcı sayısı ve talep sürekli artmaktadır.

Günümüzde hava trafik kontrol sisteminde hava araçlarının emniyetli, etkin ve süratli bir şekilde uçuşlarını gerçekleştirmelerinden hava trafik kontrolörleri sorumludur. Hava trafik kontrolörü belli bir düzeyde bilgiyi işleyip doğru kararlar verir. İş yükü gittikçe artan hava trafik kontrolörlerinin emniyeti temin etmesi zorlaşmaktadır. Hava trafik yönetiminde sorumluluğun büyük çoğunluğunu üzerine alan hava trafik kontrolörün kapasitesi sınıra ulaştığında otomatik olarak hava sahası kapasitesi de sınıra gelecektir. Bu noktada, bu sorunu aşabilmek için hava trafik

kontrolörünün karar vermesine yardımcı olacak ya da karar verme sürecini hızlandıracak sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR.

3. PROBLEMİN ORTAYA ÇIKIŞI VE TANIMLANMASI

3.1. Problemin Ortaya Çıkışı

Günümüzde hava sahası yönetiminin en önemli unsurlarından biri olan hava trafik kontrol hizmetleri, hızlı bir şekilde artış gösteren sivil hava taşımacılığı, yüksek performanslı askeri uçakların yoğunlaştırdığı askeri uçuşlar ve beraberinde sportif amaçlı icra edilen uçuşların da içerisinde yer aldığı yüksek yoğunluklu ve dinamik bir ortamda icra edilmektedir.

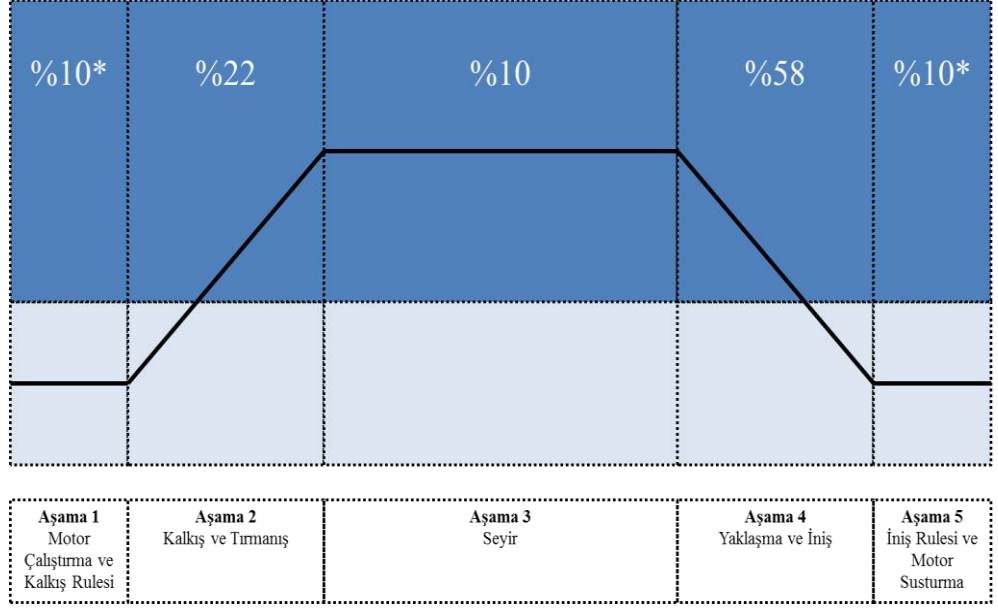
Halen sivil hava taşımacılığı ve askeri uçuş görevlerinin içerisinde bir pilot bulunan hava araçları ile icra edilmesine karşılık havacılık sektöründe eğilim, genel olarak gerek sivil gerekse askeri alanda insansız hava araçlarına doğru yumuşak bir geçiş göstermektedir [18]. Özellikle sivil havacılık sektörünün önde gelen firmalarının yürüttüğü çalışmalar 2030'lı yıllardan itibaren kargo taşımacılığının, 2035 sonrası yıllarda da insan taşımacılığının insansız kargo ve yolcu uçakları ile yapılacağı öngörüsü ile şekillenmektedir [39]. Öte yandan askeri alanda var olan çalışmalar ve tasarımlar da hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Halen proje olarak yürütülen ve 5'inci nesil savaş uçağı olarak nitelendirilen Lockheed Martin firması tarafından üretilen JSF(Joint Strike Fighter- Müşterek Saldırı Uçağı) F-35 Lightning II hava aracı uçağının son insanlı savaş uçağı olarak açıklanması ile insanlı savaş uçaklarının yerini insansız savaş uçaklarına bırakacağı beklenmektedir [40].

Hava araçlarında meydana gelen bu değişimin yanı sıra hava trafik kontrol sisteminde de gelişmeler yaşanmış ve mevcut sistemler içerisinde en yüksek teknolojiyi yakalamıştır. Hava trafik kontrol sisteminde meydana gelen bu teknolojik gelişimin ve değişimin başlıca sebepleri; uçakların uçuş yeteneklerindeki gelişmeler, hava trafik hizmeti taleplerindeki ve trafik sayılarındaki artış, seyrüsefer imkânlarının teknolojiye paralel olarak ilerlemesidir [41].

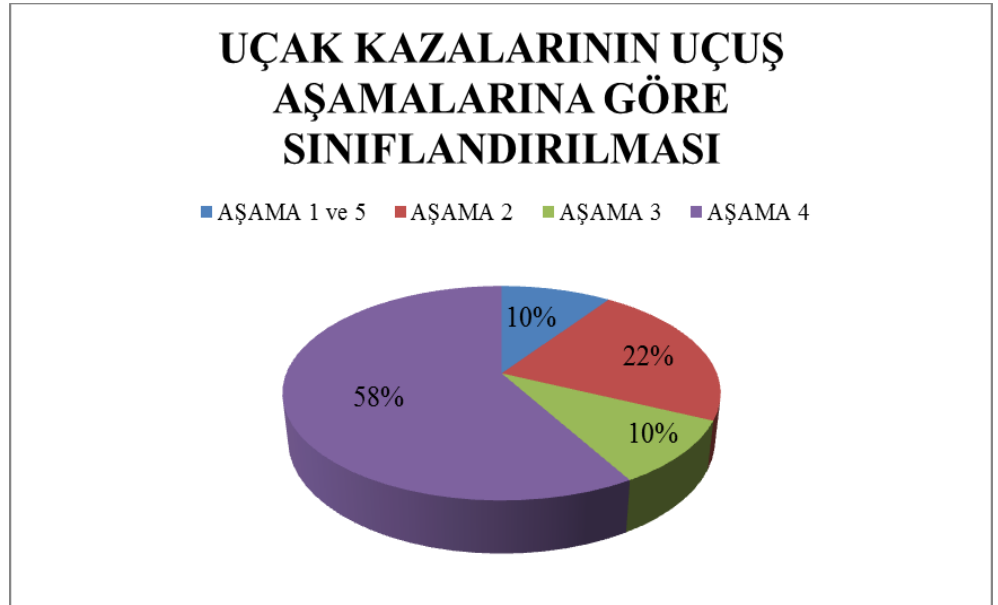
Hava aracı ve hava trafik kontrol sisteminde meydana gelen ve halen de devam eden değişimler göz önünde bulundurulduğunda emniyetli, etkin ve süratli hava trafik yönetimi; teknolojik cihazlara olduğu kadar hava trafik kontrolörünün bilgisine, yeteneklerine, karar verme süreci hızına ve hava trafik kurallarını uygulama usullerine de bağlıdır.

Hava trafik yönetim sisteminin birincil amacı her ne kadar emniyetli bir hava sahası yaratmak olsa da havacılığın başlangıcından itibaren havacılıkta kaza kavramı güncelliğini daima koruyan gelen bir konudur. Ülkemizin 05 Haziran 1945 ve 4749 sayılı yasa ile taraf olduğu ve Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'nün (ICAO - International Civil Aviation Organization) kuruluşu olarak kabul edilen Uluslararası Sivil Havacılık Anlaşması'nın 13'üncü eki olan Hava Aracı Kazalarının İncelenmesi konulu belgede ve ülkemizde sivil havacılık ile ilgili olarak yetkili makam olan Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından çıkarılan 10.11.1985 tarihli Sivil Hava - Araç Kazaları Soruşturma Yönetmeliği'nde "Hava Aracı Kazası" kavramı ; *"Uçuş hareketi esnasında, kişilerin tali nedenlerle ve veya kendi kendini veya birbirlerini yaralamaları veya uçuş ekibi ve yolcular için ayrılan yerler dışında saklanarak kaçak seyahat edenlerin yaralanmaları hariç olmak üzere, hava aracı içinde veya hava aracından kopan parçalarda dahil olmak üzere hava aracının herhangi bir parçasının çarpmasıyla veya hava basıncına maruz kalmak suretiyle çok ağır veya derecede yaralanması, motor ve aksesuarlarda meydana gelen arıza ve hafif hasarlar hariç olmak üzere hava aracının fiziksel yapısının veya performansının ve uçuş karakteristiğinin menfi yönde etkilendiği ve bunların değiştirilmesi veya tamirini gerektirecek derecede hasar ve arızalanması, hava aracının kaybolması veya enkaza ulaşamayacak bir yere düşmesi ile sonuçlanan olaylar"* olarak tanımlanmaktadır [42,43]

Boeing firması tarafından ve 2004 – 2013 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen ölümcül hava aracı kazaları üzerinde yapılan araştırmada; kazaların %58'inin yaklaşma ve iniş safhasında meydana geldiği belirtilmiştir. 2004 – 2013 yılları arasında meydana gelen kazalar ve uçuşun aşamalarına ait yüzdelik oranlar Şekil 3.1'de, grafiksel gösterimi ise Şekil 3.2'de belirtilmiştir. Bu oranlar oluştururken Aşama 1 (Motor Çalıştırma ve Kalkış Rulesi) ve Aşama 5 (İniş Rulesi ve Motor Susturma) süreci birlikte hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. Hava Aracı Kazaları ve Uçuş Aşamaları



Şekil 3.2. Hava Aracı Kazalarının Yüzdesel Dağılımı

Havacılık tarihinde meydana gelen hava aracı kazalarının sebepleri incelendiğinde, alt sebeplerden biri de hava trafik yönetiminde yapılan yanlış uygulamalardır. Bu çerçevede hava trafik yönetimine bağlı olarak meydana gelen kazaların % 90'ında insan faktörünün etkili olduğu ortaya çıkmıştır [44]. Bir mühendislik yaklaşımı olarak insan faktörü çalışmaları kapsamında insan hatalarının

özümünde “otomasyon” sisteminin geliştirilmesinin etkin olacağı öngörülmektedir [45]. Hava trafik yönetiminde kullanılan insan - makine sistemleri açısından ise otomasyon için verilebilecek en açıklayıcı tanım; “ daha önceden kısmen yada tamamen insan tarafından yerine getirilen bir fonksiyonun kısmen yada tamamen bir sistem ya da bir araç tarafından yerine getirilmesi” şeklindedir[46]. Bu sebeple insan hayatının söz konusu olduğu; hızlı, doğru, etkili ve anlık hava trafik kontrol sistemi içerisinde de karar destek sistemlerinin yer alması gerekliliğı giderek önem kazanmaktadır [34].

Hava aracı sayısında meydana gelen artışla beraber, hava trafik yönetiminde karar verici olan hava trafik kontrolörlerinin kararlarına destek olması amacıyla karar destek sistemleri geliştirilmiştir. Ancak hava trafik yönetimine katkıda bulunmak ve hava trafik kontrolörünün iş yükünü azaltmak amacıyla tasarlanan sistemler tam olarak ihtiyaca cevap vermemektedir [47]. Bunun sebebi ise, geliştirilen karar destek sistemlerinin çalışma prensibinin sadece matematiksel optimizasyona dayandırılması ve bunun beraberinde gerçek hayatta hava trafik kontrolörünün kullanması mümkün olmayan riskli çözümler üretmesidir. Bunun sonucunda, hava trafik kontrolörlerinin tasarlanan karar destek sistemine olan güveni azalmakta ve zaman içerisinde sistemler kullanılmayarak atıl hale gelmektedir. Bu sebeple yeni tasarlanan karar destek sistemlerinde matematiksel modellemelerin yanı sıra konusunda uzman kişilerin bilgi ve tecrübeleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Hava aracı kazaları incelendiğinde, beş aşamalı olarak nitelendirilen uçuşun en kritik aşaması Aşama 4: Yaklaşma ve İniş Aşaması’dır. Bu aşamada, bir hava trafik kontrolörü inişe gelen hava araçları için sıralama yaparken “İlk Gelene İlk Hizmet” temel prensibi ile karar verir. Mevcut sistemde geliştirilen karar destek sistemlerin de “İlk Gelene İlk Hizmet” ilkesine dayanan matematiksel optimizasyonlar ile kesin çözüm modelleri üretilmeye çalışılmıştır. Ancak icra edilen farklı görev yapıları ve farklı karakteristiklere sahip hava araçları için standart bir modelleme yerine dinamik bir modelleme yapılması daha gerçekçi sonuçlar ortaya çıkabileceğı öngörülmektedir.

Bu sebeple bu çalışmada; gelecek 20 yılda insanlı hava araçlarının yerini alacak olan, farklı uçuş karakteristiklerinde ve farklı görevler icra etmesi planlanan

insansız hava araçlarının, uçuşun en kritik aşaması olarak nitelendirilen Yaklaşma ve İniş Aşamasında iniş sıralaması ve hava trafik kontrolörüne karar desteği oluşturmaya amacıyla günlük hayatta olduğu gibi belirsiz, zamanla değişen, karmaşık, iyi tanımlanmamış sistemlere basit çözümler getiren Bulanık Mantık tabanlı bir model önerilmiştir.

3.2. Literatür Taraması

Uçuşun yaklaşma ve iniş aşamasını içine alan akademik çalışmalar genel olarak uçak çizelgeleme problemi ve karar destek sistemi olarak ele alınmıştır. Çizelgeleme problemi ve karar destek sistemi ile ilgili genel olarak çalışılan yöntem matematiksel optimizasyon yöntemidir. Bu noktada yapılan çalışmalarda hava araçları arası herhangi bir etkileşim bulunmamaktadır. Ancak insansız hava araçlarının hava sahasını kullanmaya başlamasıyla beraber otonom uçuş kavramı da beraberinde çalışmalarda yerini almıştır. Bu kapsamda hava araçlarının otonom şekilde uçmaları için diğer hava araçlarına ait bilgilere de sahip olmaları gerekmektedir.

Öte yandan akademik çalışmalarda günlük hayatta olduğu gibi belirsiz, zamanla değişen, karmaşık, iyi tanımlanmamış sistemler için basit çözümler getiren Bulanık Mantık Yöntemi kullanımı ön plana çıkmaktadır. Ancak geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen çizelgeleme ve karar destek sistemi modellerine çok sık rastlanmamaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar insanlı hava araçlarına ait kısıtlı uçuş karakteristiklerini ele alarak modellenmiştir. Literatürde insansız hava aracı ve bulanık mantık kavramlarının beraber kullanıldığı çalışmalar genel olarak insansız hava aracının uçuş esnasında üç boyutlu fiziksel kontrolü, görev planlaması ya da rota takibine yöneliktir. Bununla beraber insansız sistemlerin karada ve denizde de kullanılmasından dolayı özellikle bu araçlarında görev planlaması ve rota takibi ile ilgili olarak kullanılan bulanık mantık tabanlı çalışmalar da literatür taramasına dâhil edilmiştir.

Vachtsevanos (1997) insansız hava aracının fiziksel kontrolü üzerine yaptığı çalışmada, otonom uçan insansız hava aracının görev planlamasından uçuşlarına kadar olan süreç için bulanık mantık tabanlı bir yazılım ve beraberinde donanım geliştirmişlerdir[48].

Ju ve ark. (2002) su altında giden insansız deniz araçlarının otonom seyrüseferi için üç katmanlı bir bulanık mantık tabanlı modellemesi önermişlerdir[49].

Doitsidis ve ark. (2004) insansız hava araçlarının seyrüseferi ve kontrolü üzerine yaptıkları çalışmada, insansız hava aracının üç boyutlu ortamda belirlenmiş rota üzerinde uçarken meydana pozisyon değişimlerinin düzeltilmesi üzerine bulanık mantık temelli bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde irtifa değişimi ve hız temel alınmıştır [50].

Dong ve ark.(2005) insansız hava aracına ait mesafe, hız ve uçuş başı açısı değişkenlerini kullanarak oluşturdukları bulanık mantık temelli çalışmada, daha önceden planlanmış rota üzerinde var olan ya da ani bir şekilde çıkan engelleri de dikkate alarak rota takip sistemi modellemişlerdir [51].

Tsourveloudis ve ark. (2005) insansız araçlarının (kara, hava ve sualtı) otonom seyrüseferi için bulanık mantık tabanlı model geliştirmişlerdir. Çalışmada insansız araçların daha önceden belirlenmiş rotaları üzerinde görevlerini icra ederken, karşlarına çıkan engeller ya da diğer araçlarla çarpışmasını önlemek amaçlı algılama-tanıma ve düzeltici önlem döngüsünden oluşan bir model önermişlerdir. Söz konusu modelde insansız hava araçları için yükseklik ve mesafe değişkenleri temel alınmıştır [52]

Meyer ve ark. (2008) artan hava trafik yoğunluğu ile beraber emniyetli hava sahası yönetiminin kritik noktasının; hava araçları, hava trafik kontrolörleri ve havaalanları arasında anında ve kesintisiz bilgi transferi olduğunu belirterek karar verme sürecinde teknolojik altyapıların bulanık mantık tabanlı olmasını önermişlerdir [53].

Bakare (2008) etkili, emniyetli ve süratli bir hava trafik akışı sağlanması amacıyla hava trafik kontrolörleri tarafından kullanılan uçuş striplerini PHP (Hypertext Preprocessor – Üstünyazı Önışlemcisi) tabanlı bir modele aktarmıştır. Bu striplerde yer alan ve hava trafik kontrolörlerinin karar verme aşamasında kullandıkları rota, hız, hava durumu, mesafe ve hava aracı türü gibi bilgileri

bulanıklaştırarak bulanık mantık tabanlı hava trafik kontrol sistemi için model geliştirmiştir[54].

Lehmann ve ark. (2009) geliştirdikleri senaryo tabanlı modellemede, karmaşık bir ortamda hava trafik kontrolörlerinin karar verme süreçlerini be beraberinde hava araçlarının birbirleri ile çarpışmasını önleyici süreçte karar alma süreçlerini analiz etmişlerdir[55].

Run-tu ve ark. (2009) hava trafik yönetiminin emniyeti için geliştirdikleri bulanık mantık tabanlı karar verme modellemesinde, performans değerlendirmesi yaparak modelin etkinliğini ölçmüşlerdir [56].

Lovato ve ark. (2010) hava trafik kontrolörlerinin iş yükünü azaltmak amacıyla uçuşun seyir ve yaklaşma/iniş aşaması için oluşturdukları çalışmada seviye değişimlerine ait ayarlamaları bulanık mantık modeli ile ortaya koymuşlardır[57].

Kıyak (2010) tarafından yapılan çalışmada, yaklaşma sahasına giren uçaklar için hava trafik kontrolüne tavsiye veren bir karar destek uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uçağın hızı, irtifası ve piste olan mesafesi girdi olarak kabul edilmiş ve bu bilgiler bulanık mantık tabanlı oluşturulan modelleme ile değerlendirilerek uçakların iniş sırası gerçekleştirilmektedir [58].

Çetin ve ark. (2010) insansız hava araçlarının otonom uçuşu ve inişi esnasında uçağı üç boyutlu ekseninde fiziksel olarak kontrol eden denetleyicilere ek olarak üç adet daha denetleyici sisteme ilave etmişlerdir. Bu kapsamda geliştirilen modelleme ile TACAN alçalması yapan bir uçağı üç boyutlu ekseninde ve ilave denetleyiciler ile beraber yatay ve dikey konumları ile süzülüş açısını da bulanıklaştırarak bulanık mantık tabanlı yaklaşma ve iniş modellemesi önermişlerdir [59].

Peng ve ark. (2011) dinamik bir uçuş ortamında insansız hava araçlarının teknoloji ile beraber otonom uçuşlarının artacağını değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda anlık rota planlamasının otonom bir uçuşta dinamik çok amaçlı optimizasyon problemi olduğunu belirtmişlerdir. İnsansız hava araçlarının otonom

uçuşu için, dinamik çok amaçlı evrimsel algoritma, Bayesian Algoritma ve bulanık mantığı içeren bir model geliştirmişlerdir[60].

Hromatka ve ark. (2012) insansız hava araçlarının havada çarpışmasını önlemek amacıyla bulanık mantık tabanlı bir model önermişlerdir. Bu kapsamda insansız hava araçlarının çarpışma riskinin ortaya çıkması ile beraber alınması gereken önlemler; mesafe, uçuş başı ve yön kavramlarının bulanıklaştırılması ile elde edilen bulanık mantık tabanlı modelleme sonucu tespit etmektedirler [61].

3.3. Problemin Tanımlanması

İnsansız hava araçları, teknolojik ve görevsel kabiliyetlerinin sürekli arttığı bir ortamda gelişimini hızlı bir şekilde sürdürmektedir. Günümüzde farklı aerodinamik değerlerle, farklı yapısal özelliklerde ve boyutlarda tasarlanan ve üretilen insansız hava araçları sivil ve askeri kullanıcılar tarafından ihtiyaçlar doğrultusunda aktif bir şekilde kullanılmaktadır.

Mevcut durumda özellikle insanlı ve insansız hava araçlarının bir arada hava sahasında yerini almaya başlaması ile beraber havacılık otoriteleri özellikle insansız hava araçları için ayrılmış hava sahaları tasarlayarak insansız hava araçlarının uçuşlarını belirlenen hava sahalarında yapmalarını zorunlu kılmaktadır. Her ne kadar insansız hava araçları özel olarak tasarlanmış hava sahalarında görevlerini icra etseler de hava trafik kontrolörleri tüm hava sahasında bulunan hava araçlarına hizmet vererek hava sahasının hem insanlı hem de insansız hava araçları tarafından ortak bir şekilde emniyetli kullanılmasını sağlamak mecburiyetindedirler. Bu noktada insansız hava araçlarının insanlı hava araçlarının yerini almaya başlaması ile beraber bir gelecek öngörüsü olarak hava trafik kontrolörleri, gelecekte insansız hava araçlarının emniyetli, etkin ve süratli olarak uçuşlarını gerçekleştirmelerinden sorumlu olacaklardır.

Halen insansız hava araçları özel olarak ayrılmış hava sahalarında uçuşlarını gerçekleştirirken gelecekte yolcu taşımacılığı dâhil her türlü görevin insansız hava araçları ile gerçekleştirileceği ön görülmektedir. Bu çerçevede, uçuşun her aşamasında hava trafik kontrolörleri insansız hava araçlarını farklı aerodinamik

değerlerini, yapısal özelliklerini, boyutlarını ve görev yapılarını hızlı bir şekilde karar verme sürecinden geçirerek en etkili kararı vermekten sorumlu olacaklardır.

Bölüm 3.2’de sunulduğu üzere, yapılan literatür taramasında, insansız hava araçlarının uçuşlarına yönelik olarak yapılan çalışmalar genel olarak uçuş planlama, rota takibi ve çarpışmayı önleyici tedbirler konularındadır. Ancak bu çalışmalarda insansız hava aracı uçuşunun iniş ve kalkış aşamaları genel olarak göz ardı edilerek ayrılmış olan hava sahalarında yapılan uçuşların emniyet ve etkinliğinin artırılması amaçlanmıştır. Ancak özellikle uçuşun en kritik aşaması olan ve havacılık kazalarının en yoğun yaşandığı aşama olan alçalma ve iniş safhası, hava trafik kontrolörünün en dikkatli olması ve sağlıklı karar vermesi gereken aşamasıdır.

Ayrılmış hava sahalarında uçuşun otonom yapılmasına yönelik geliştirilen modellerde kullanılan yöntem genel olarak matematiksel optimizasyon modelidir. Burada insansız hava araçlarına ait temel değerler (mesafe, irtifa ve sürat gibi) girdi olarak kullanılmıştır. Ayrılmış bir hava sahasında emniyetli bir uçuş için mesafe, irtifa ve sürat gibi değerler yeterlidir.

Her ne kadar hava trafik kontrolörleri öncelikli olarak “İlk Gelene İlk Hizmet” prensibine göre uçakların iniş sıralamalarını planlasalar da insansız hava araçlarının icra ettikleri ya da indikten sonra tekrar kalkarak icra edecekleri görevler de hava trafik kontrolörleri için önemli bir etmendir. Ancak yapılan literatür taramasında insansız hava araçlarının görevlerine yönelik herhangi bir sınıflandırma bulunamamıştır. Genel olarak sınıflandırma sivil ya da askeri olarak yapılmıştır. Ancak aynı anda keşif görevini icra ederek inişe gelen askeri bir insansız hava aracı ile kargo dağıtım görevini icra ederek inişe gelen sivil bir insansız hava aracı aynı önceliğe sahip olmamalıdır. Benzer şekilde organ nakli amaçlı inişe gelen sivil bir insansız hava aracı ile aynı anda günlük eğitim uçuşu görevini tamamlayarak inişe askeri bir insansız hava aracı aynı önceliğe sahip değildir. Literatürde insansız hava araçlarının sivil ve askeri kullanımına yönelik bir sınıflandırma yapılırken, görev önceliğine yönelik bir sınıflandırma bulunmamaktadır. Bu çalışmada sivil ya da askeri insansız hava araçları icra ettikleri görevler bakımından üç farklı kategoriye ayrılmıştır. Bu kapsamda icra edilen görevler; “düşük öncelikli, orta öncelikli ve yüksek öncelikli” olarak sınıflandırılmış ve 1 – 10 arası numaralandırılmıştır. Burada

1 düşük öncelikli bir görevi ifade ederken 10 ise yüksek öncelikli görevi ifade etmektedir.

Öte yandan iniş için yaklaşan bir insansız hava aracı için hava trafik kontrolörünün göz önünde bulundurması gereken bir diğer etmen ise insansız hava aracının havada kalabileceği süredir. Bu noktada kendisine verilen görevini icra ederek inişe gelen insansız hava aracının maksimum havada kalabileceği süre de hava trafik kontrolörünün karar verebilmesi için önemli bir belirleyicidir. Görev önceliği ne olursa olsun havada kalış süresi çok kısa olan bir uçak (örneğin 5 dakika) öncelikli olarak indirilmesi gerekirken, havada kalış süresi daha uzun (örneğin 45 dakika) bir uçak için sıralama yapılırken diğer belirleyiciler de göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak literatürde yer alan çalışmalarda insansız hava araçlarının, kendilerine verilen görevi yapmaları için yeterli miktarda yakıtlarının olduğu varsayılmıştır. Ancak insansız hava araçlarının havada kalabilecekleri ve iniş sıralaması süre yakıt durumlarına göre değişmektedir. Bu çalışmada iniş için gelen insansız hava araçlarının havada kalış süreleri 1 - 60 dakika arasında “çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun” olmak üzere beş farklı kategoriye ayrılarak sınıflandırma yapılmıştır.

Öte yandan iniş gelen uçakların sıralaması için diğer girişler mesafe, irtifa sürat ve alçalma oranı olarak belirlenerek altı girişli bir iniş sıralama modeli tasarlanmıştır. Bu noktada;

- Görev Önceliği, 0 – 10 arasında “düşük öncelikli, orta öncelikli ve yüksek öncelikli” olarak üç farklı kategoriye,
- İrtifa, 0 – 50000 feet arasında “çok alçak, alçak, orta, yüksek ve çok yüksek” olarak beş farklı kategoriye
- Sürat, 0 – 220 knot arasında “çok yavaş, yavaş, normal, hızlı ve çok hızlı” olarak beş farklı kategoriye
- Mesafe, 0 – 40 NM (Nautical Mile – Deniz Mili) arasında “çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun” olarak beş farklı kategoriye,
- Alçalma oranı (ROD – Rate of Descent) , 0 – 5000 feet arasında “çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek” olarak beş farklı kategoriye ve

- Havada Kalış Süresi 0 – 60 dakika arasında “çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun” olarak beş farklı kategoriye ayrılmıştır.

İnsansız hava araçlarının iniş sıralamasına yönelik yapılan bu çalışmanın tasarımı aşamasında, hava trafik kontrolörlerinin karar süreçlerinde kullandıkları ve yukarıda yer alan altı girişe ait sayısal değerler sözel ifadelerle dönüştürülmüştür (Örneğin çok yüksek, çok kısa vb. gibi). Bu kapsamda girdiler keskin ve net değildir ve gerçek dünyada yer aldığı gibi esnek niteleyiciler ile yumuşatılmıştır. Bu sebeple modelleme temelde insan düşünme tarzını örnek alan bir yapıya sahip olması sebebiyle bulanık mantık tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık anlaşılması kolay temellere sahiptir. Bununla beraber günlük hayatta olduğu gibi belirsiz, zamanla değişen, karmaşık, sistemlerin denetimine uzman görüşlerine ve tecrübelerine dayandırılmış modeller ile basit çözümler getirmektedir[62].

Çalışmada yer alan irtifa, sürat, mesafe ve alçalma oranı girişleri, hava trafik yönetimi konusunda otoriteler tarafından yayımlanmış ve halen hava trafik yönetiminde kullanılan gerçek değer aralıkları ve sayısal değerlerdir. Bununla beraber girişlere ait alt kategorilerin oluşturulması aşamasında uzman görüşlerine ve tecrübelerine başvurulmuştur.

Öte yandan çalışmada yer alan görev önceliği ve havada kalış süresi ise literatürde ilk kez kullanılan girişlerdir. Bu kapsamda yine belirtilen bu iki girişe ait alt kategorilerin oluşturulması aşamasında uzman görüşlerine ve tecrübelerine başvurulmuştur.

BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR.

4. BULANIK MANTIK

4.1. Giriş

Bir uçuş ister insanlı isterse insansız hava araçları ile icra edilsin toplamda genel geçer beş temel aşamada gerçekleşmektedir. Özetle bu aşamalar Motor Çalıştırma ve Kalkış Rulesi, Kalkış ve Tırmanış, Seyir, Yaklaşma ve İniş ile beraber İniş Rulesi ve Motor Susturmadır. Bu aşamalar kendi içerisinde de alt bölümlere ayrılmaktadır. İncelenen uçak kazalarında meydana gelen ölümcül kazaların yaklaşık olarak %58'inin alçalışın son kısmında ve iniş safhasında olduğu görülmektedir. Bu nedenle özellikle alçalma ve iniş safhası uçuşun en kritik safhaları olarak adlandırılabilir.

Alçalma ve iniş safhasında hava araçları daha önceden belirlenmiş bir rapor noktasına doğru hareket ederler. Bu rapor noktası coğrafi olarak bilinen ve uçakların üç boyutlu düzlemde (enlem, boylam ve yükseklik) konumlanması gereken bir noktadır. Uçakların bu noktaya gelmelerini etkileyecek faktörler incelendiğinde o anki mevcut konumunun rapor noktasına göre göreceli konumu, uçağın yapısal konfigürasyonuna bağlı olarak değişiklik gösteren sayısal değerleri belirleyici rol oynamaktadır. Bu belirleyiciler şu şekilde sıralanabilir :

- Hava aracının yatay ekseninde alması (ya da kaybetmesi) gereken mesafe
- Hava aracının dikey ekseninde alması (ya da kaybetmesi) gereken mesafe
- Hava aracının havadaki sürati
- Hava aracının tırmanma (ya da alçalma) oranı
- Hava aracının tırmanma (ya da alçalma) sürati vb.
- Bununla beraber hava aracının o anki uçuş görevi ya da ortaya çıkan acil bir durum ve mevcut yakıt miktarı da iniş sıralaması için önemli bir belirleyicidir.

Yukarıda yer alan belirleyiciler birer veri olarak tanımlanabilir. Veri en genel anlamı ile işlenmemiş ve ham bir olguyu temsil eder ve gerçek yaşam ya da gerçekliğin modelleri hakkında olgu, bağıntı, özelliklerin ifadesi olarak

tanımlanabilir. Bilgi kavramı ise verilerin işlenip, anlam içerecek şekle sokulması olarak açıklanabilir. Bilgi verilerin işlenmesi ile elde edilir ve karar verme sürecinde önem taşır.

Gerçek bir olayın olduğu şekilde kavranılması insan bilgisinin yetersizliği sonucunda tam anlamı ile mümkün olamadığından insan, düşünce sisteminde ve zihninde bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorum ve çıkarımlarda bulunur. Bilgisayarlardan farklı olarak insan, yaklaşık düşünme ve oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneğine sahiptir.

Hava trafik yönetiminde karar verme süreci hangi şartlarda olursa olsun, hava trafik kontrolörü bu sürecin içerisinde ve belirsizlik ortamında karar vermek zorundadır. Hava trafik kontrolörünün verdiği kararlara temel teşkil eden belirleyiciler rakamsal olarak ifade edilmektedir. Bütün bir hava trafik yönetim süreci ele alındığında hava trafik kontrolörü kendisine veri olarak aktarılan ya da elde ettiği rakamları kullanarak kararlarını vermektedir.

Örneğin A Uçağı 20 NM mesafeden, 65 knot sürat ile 6500 feet irtifadan iniş için yaklaşmaktadır. Öte yandan aynı zamanda B Uçağı ise 30 NM mesafede 100 knot sürat ile 5000 feet irtifadan iniş için yaklaşmaktadır. Burada hava trafik kontrolörünün hangi uçağı öncelik vereceğı, daha net bir ifade ile ilk olarak hizmet vereceğı bir karardır. Burada hava trafik kontrolörünün karar vermesi için ise uçağın mesafesi, sürati ve yüksekliğı birer belirleyicidir.

4.2. Bulanık Mantık Kavramı

1965 yılında Lütü Aliasker Zade tarafından ortaya konulan mantık yapısı Aristo Mantığı'nda yer alan mutlak 0 ve mutlak 1 kavramlarına farklı bakış açısı getirmektedir. Bulanık mantığın temeli bulanık küme ve alt kümelere dayanır. Klasik yaklaşımda bir öge ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde öge küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda "1", kümenin elemanı olmadığı zaman "0" değerini alır. Bulanık mantık klasik küme gösteriminin genişletilmesidir [63]. Bulanık öge kümesinde her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Ögelerin üyelik derecesi, (0, 1) aralığında herhangi bir değer olabilmektedir. Bulanık mantık modelleri rakamsal olarak ifade edilemeyen "az,

çok, yakın, uzak, yüksek, alçak vb”gibi sözel ifadelerin uygun şekilde kullanılarak rakamsallaştırılmasına imkân vermektedir [64].

Aristo mantığında bir öge ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde bir öge, küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda "1", kümenin elemanı olmadığı zaman "0" değerini alır. Örneğin 89 knot ile uçan bir uçağın sürati “Çok Yavaş” olarak nitelendirilirken 90 knot ile uçan uçağın sürati ise “Yavaş” olarak nitelendirilmektedir. Çünkü “Çok Yavaş” tanımı 0-89 knot arasını kapsamakta iken “Yavaş” kavramı 90-120 knot arasını kapsamaktadır.

Bulanık kümelerde üyelik ilişkileri arası geçiş sürekli ve daha yumuşak bir şekilde olurken klasik kümelerde geçişler keskindir. Klasik kümelerde öğeler kümeye ya üyedir ya da değildir ancak bulanık kümelerde kısmi derecede üyedir. Bulanık mantıkta ise 0-90 knot arası çok “Çok Yavaş” olarak nitelendirilirken 60-110 knot aralığı “Yavaş” olarak nitelendirilebilmektedir.

Klasik kümelerdeki karakteristik fonksiyon Eşitlik 4.1’deki gibi ifade edilirken, bulanık kümelerde bu fonksiyon yerini Eşitlik 4.2’ye bırakmaktadır [65]

$$\mu_A : E \rightarrow \{0,1\} \text{ (4.1)}$$

$$\mu_A : E \rightarrow [0,1] \text{ (4.2)}$$

4.3. Temel (Evrensel) Küme

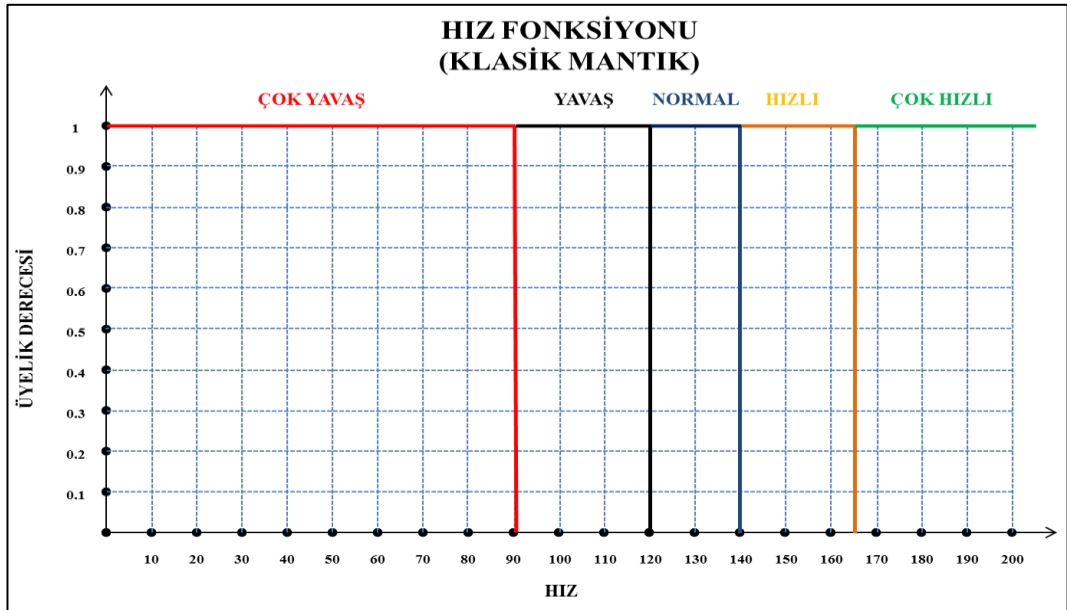
Temel (Evrensel) küme, bir bulanık kümenin tüm üyelerinin içinde bulunduğu kümedir. Bu küme, karar vericiler için mümkün olan her türlü alt kümeyi bünyesinde barındırmaktadır [62]. Temel (Evrensel) küme, problemle ilgili olası tüm değerleri barındırmaktadır. Öte yandan problemle ilgili olmayan değerleri bünyesinde barındırmadığından dolayı muhtemel karışıklıkları ya da yanlış değer atamalarının önüne de geçmektedir. Her problem için kullanılan Temel (Evrensel) küme farklı olduğundan bir nevi özel bir yaklaşım olarak da görülebilir [66]

4.4. Alt Küme

Bulanık bir küme değişik düşünce ya da öneriler kapsamında kendi içerisinde parçalanabilir ve birçok parça meydana getirebilir. Örneğin uçak hızı kümesi bir temel kümeyi oluştururken; “çok yavaş”, “yavaş”, “normal”, “hızlı” ve “çok hızlı” değişkenleri kendi içerisinde ayrı ancak toplamda temel kümeyi oluşturan bölümlerdir. Bulanık mantık yapısında alt küme olarak isimlendirilen bu bölümler, temel küme içerisinde ve en fazla temel küme büyüklüğünde olan kümelerdir [62].

4.5. Üyelik Fonksiyonları

Klasik Aristo mantığında üyelik fonksiyonları kesin sınırlar ile ayrılmıştır. Bu durumda her bir öge temel kümenin bir alt kümesinin üyesidir. Bir başka ifade ile bir öge ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Örneğin Şekil 4.1’de klasik mantık kapsamında hazırlanmış uçak hızları üyelik fonksiyonları gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Klasik Mantık Üyelik Fonksiyonu Gösterimi

Ancak bulanık mantık üyelik fonksiyonları oluşturulurken sınırlar kesin bir şekilde çizilmemiş bunun yerine geçişli olarak belirlenmiştir. Burada bir başka nokta ise her varlığın üyelik fonksiyonunda üyelik derecesi bulunmaktadır.

Genel anlamda bulanık mantık kavramında küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren grafiğe üyelik fonksiyonu adı verilmektedir. Bu grafiğin x eksen üyeleri, y eksen ise üyelik derecelerini belirtmektedir.

“A” bulanık kümeyi, “ μ_A ” A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonunu ve “ $\mu_A(x)$ ” A bulanık kümesindeki üyelerin üyelik derecesini belirtmek üzere;

$$A = \{(\mu_A(x), x)\} \quad (4.3)$$

olarak ifade edilebilir.

Bu durumda Eşitlik 4.2’de yer alan E kümesinde bulunan bulanık küme Eşitlik 4.3’te bulunan “A” olmak üzere

$$A = \{\mu_A(x)/x\} = \{\mu_A(x_1)/x_1\} + \{\mu_A(x_2)/x_2\} + \dots + \{\mu_A(x_n)/x_n\} \quad (4.4)$$

olarak ifade edilebilir. Eşitlik 4.3 ve Eşitlik 4.4’te yer alan ifadeler genelleştirilirse temel kümenin “Ayrık” olduğu durumlar için Eşitlik 4.5, “Sürekli” olduğu durumlar için Eşitlik 4.6 elde edilir.

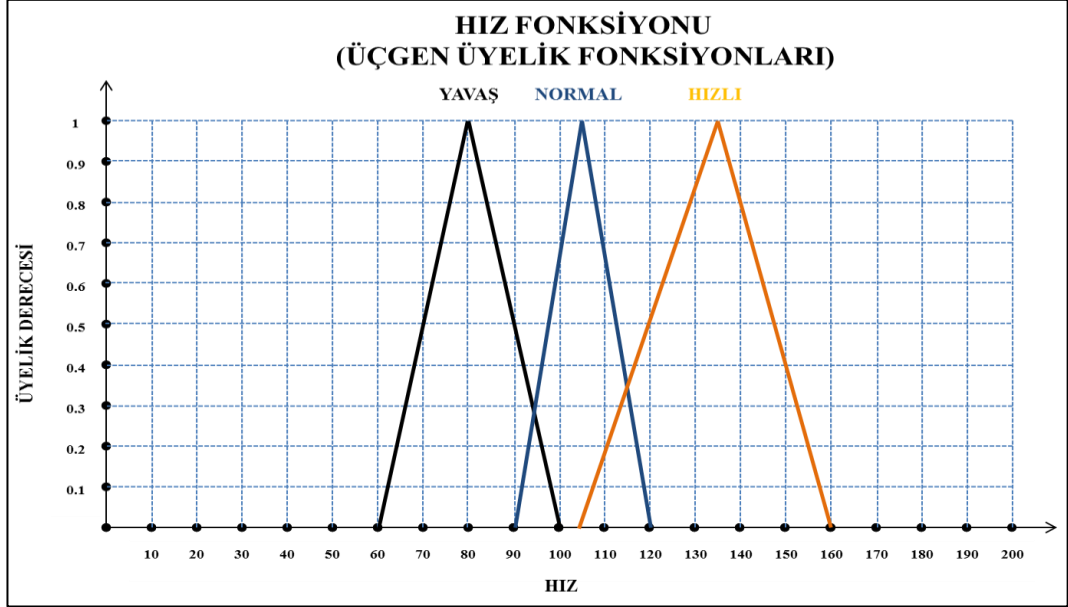
$$A = \sum \{\mu_A(x_i)/x_i\} \quad (4.5)$$

$$A = \int \{\mu_A(x_i)/x_i\} \quad (4.6)$$

Bulanık mantık üyelikleri için farklı türlerde üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Literatürde en çok kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, Gaussian, çan eğrisi, sigmoidaldir. Bu çalışmada genel olarak üçgen ve yamuk tipi üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

Üçgen tipi üyelik fonksiyonu için a_1 , a_2 ve a_3 değerleri üyelik derecelerini ifade eden değerler olduğu varsayıldığında, Eşitlik 4.7 ve Şekil 4.2’de yer alan grafik elde edilir.

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise } (a_3 - x)/(a_3 - a_2) \\ x > a_3 \text{ veya } x < a_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (4.7)$$

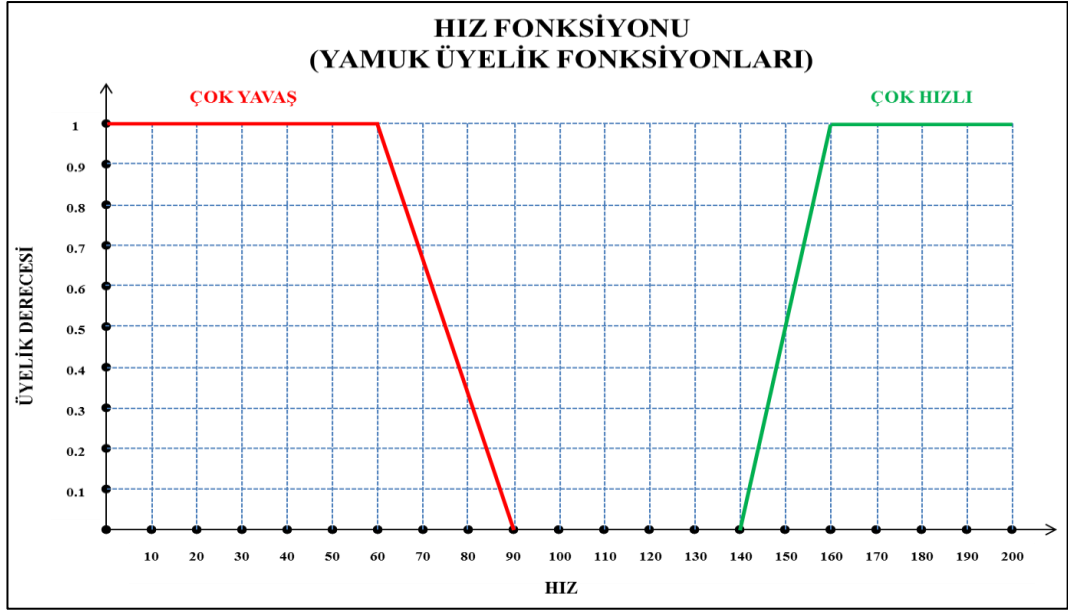


Şekil 4.2. Bulanık Mantık Üçgen Üyelik Fonksiyonu Gösterimi

Yamuk tipi üyelik fonksiyonu için ise a_1 , a_2 , a_3 ve a_4 değerleri üyelik derecelerini ifade eden değerler olduğu varsayıldığında, Eşitlik 4.8 ve Şekil 4.3'te yer alan grafik elde edilir.

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise } 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4 \text{ ise } (a_4 - x)/(a_4 - a_3) \\ x > a_4 \text{ veya } x < a_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (4.8)$$

Eşitlik 4.7'de gösterilen üçgen tipi üyelik fonksiyonu ve Eşitlik 4.8'de gösterilen yamuk tipi üyelik fonksiyonunu hız fonksiyonu ile gösterilecek olursa Şekil 4.3'de yer alan grafik elde edilir.



Şekil 4.3. Bulanık Mantık Yamuk Üyelik Fonksiyonu Gösterimi

Üçgen ve yamuk biçiminde çizilen üyelik fonksiyonları göz önünde bulundurulduğunda, bir bulanık ifadeye ait üç temel özellik vardır:

a) Bir bulanık mantık kümesinde bulunan verilerden en az bir tanesinin üyelik derecesinin 1'e eşit olması gerekmektedir. Bu durumda bulanık küme **“normal”** olarak adlandırılır.

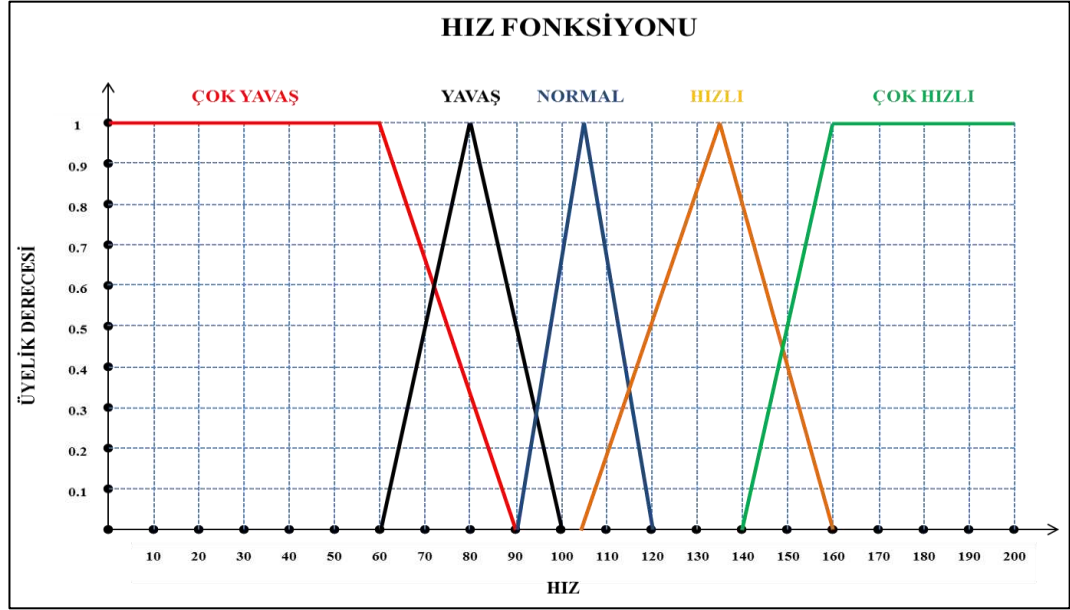
b) Üyelik derecesinin en yüksek olduğu 1 değerine sahip olan veriye yakın, sağdaki ve soldaki verilerin de üyelik derecelerinin 1'e yakın olması beklenir. Bu durum bulanık kümenin **“monoton”** olması olarak adlandırılır.

c) Üyelik derecesinin en yüksek olduğu 1 değerine sahip veriden, sağdan ve soldan eşit olarak uzaklaşıldığında üyelik derecelerinin de birbirine eşit olması beklenir. . Bu durum bulanık kümenin **“simetrik”** olması olarak adlandırılır[67].

4.6. Bulanık Küme İşlecileri

Bulanık kümelerde genel olarak iki tip işlemci bulunmaktadır. Bu işlemciler **t-norm** ve **t-conorm (s-norm)** olarak isimlendirilir. Genel anlamda t-norm klasik mantıkta yer alan tümel evetleme ya da bir başka ifade ile VE işleminin, t-conorm ise klasik mantıkta yer alan tikel evetleme ya da bir başka ifade ile VEYA işleminin karşılığıdır. Literatürde değişik şekilde tanımlanan birçok t-norm ve t-conorm

işlemcileri bulunmaktadır. Tablo 4.1’de ‘‘Temel t-normlar’’, Tablo 4.2’de ise ‘‘Temel t-conormlar’’ gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonu Gösterimi

Tablo 4.1 - Temel T-Normlar

İŞLEM	TANIM
En Küçük	$EK(a,b) = EK\{a,b\}$
Lukasiewicz	$L_{ve}(a,b) = EB(a+b-1,0)$
Olasılıkçı	$P_{ve}(a,b) = a.b$
Zayıf	$EB\{a,b\}=1$ ise $EK\{a,b\}$ $ZAYIF(a,b) =$ Diğer durumlarda 0
Hamcher	$H_{ve}\gamma(a,b) = ab/(\gamma+(1-\gamma)(a+b-a.b))$, $\gamma \geq 0$
Yager	$Y_{vep}(a,b) = 1 - EK\{1, [(1-a)^p + (1-b)^p]^{1/p}\}$, $p > 0$

Konuşma dili ile ifade edilen ve insan algısına dayanan bilgilerin bulanık kümeler ile modelleyebilmek ve modellenen bilgiler için mantıksal çıkarımlar kullanabilmek için sözel değişkenlere ve bulanık işlem kurallarına ihtiyaç vardır. Gerek t-norm gerekse t-conorm bulanık kümelerde modelleme amacı ile kullanılmaktadır.

Tablo 4.2 - Temel T-Conormlar

İŞLEM	TANIM
En Büyük	$EB(a,b) = EB\{a,b\}$
Lukasiewicz	$L_{veya}(a,b) = EK(a+b,1)$
Olasılıkçı	$P_{veya}(a,b) = a+b-a.b$
Güçlü	$EK\{a,b\}=0$ ise $EB\{a,b\}$ $GÜÇLÜ(a,b) =$ Diğer durumlarda 1
Hamcher	$H_{veya}\gamma(a,b) = a/(b-(2-\gamma)ab)/(1-(\gamma)ab), \gamma \geq 0$
Yager	$Y_{veyaP}(a,b) = EK\{1, [a^p + b^p]^{1/p}\}, p > 0$

4.7. Bulanık Küme İşlemleri

Bulanık küme ve alt kümelerde, temel T-Norm ve temel T-Conorm işlemciler ile yapılacak işlemler için matematikte yer alan toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemcileri gibi bazı kurallara gereksinim vardır.

A ve B temel kümenin iki alt kümesi olmak üzere, A ve B kümelerinin birleşimi Eşitlik 4.9’da yer alan birleşme fonksiyon olarak tanımlanabilir;

$$U: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1] \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.9’da yer alan U fonksiyonu A ve B bulanık kümelerinin her ikisinde de yer alan x elemanının bulunma derecesini belirler.

A ve B bulanık alt kümelerin birleşimi hesaplanırken, her iki kümeye ait öğenin elemanı oldukları alt kümelerdeki üyelik fonksiyonu derecelerinin en büyüğü

alınır. Bu durumda, Eşitlik 4.9'da yer alan birleşme fonksiyonu Eşitlik 4.10'da belirtildiği şekilde gösterilir ve Eşitlik 4.11'de belirtildiği gibi hesaplanır:

$$\mu_{A \cup B}(x) = U[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (4.10)$$

$$U[\mu_A(x), \mu_B(x)] = EB[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (4.11)$$

Benzer şekilde A ve B temel kümenin iki alt kümesi olmak üzere, A ve B kümelerinin kesişimi Eşitlik 4.12'de yer alan I kesişim fonksiyon olarak tanımlanabilir;

$$I: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1] \quad (4.12)$$

A ve B bulanık alt kümelerin kesişimi hesaplanırken, her iki kümeye ait ögenin elemanı oldukları alt kümelerdeki üyelik fonksiyonu derecelerinin en küçüğü alınır. Bu durumda, Eşitlik 4.12'de yer alan birleşme fonksiyonu Eşitlik 4.13'te belirtildiği şekilde gösterilir ve Eşitlik 4.14'de belirtildiği gibi hesaplanır:

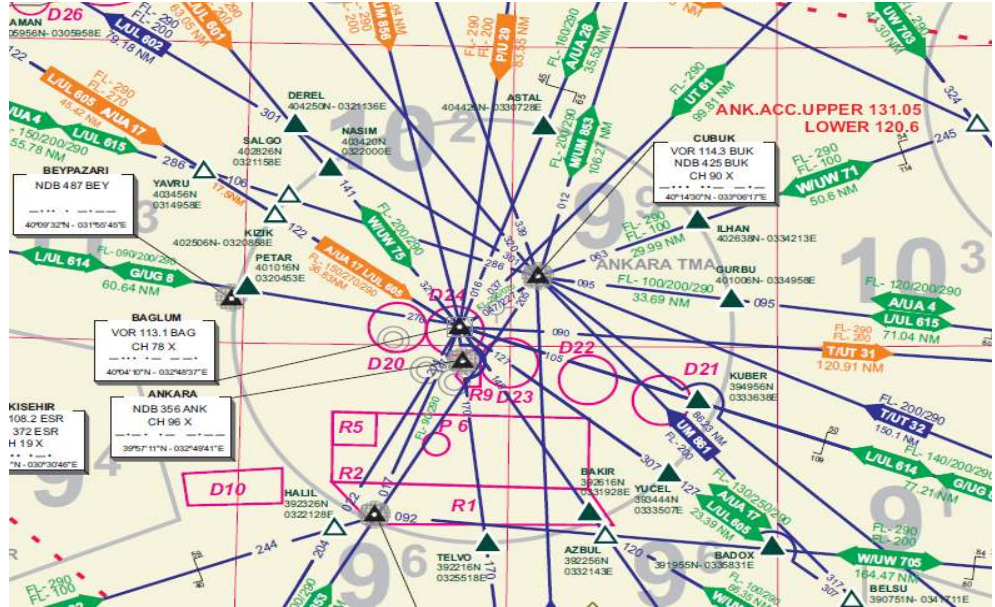
$$\mu_{A \cap B}(x) = I[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (4.13)$$

$$I[\mu_A(x), \mu_B(x)] = EK[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (4.14)$$

5. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ İNİŞ SIRALAMA MODELLEMESİ

5.1. Model Kurma Süreci

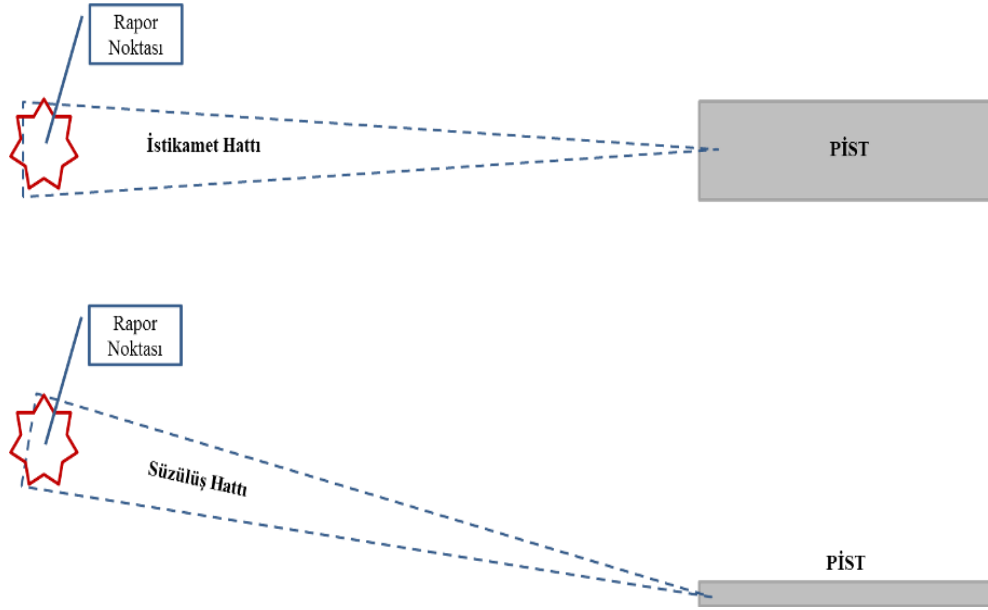
Alçalma ve iniş safhasında insansız hava araçları, sınırları belirli olan Terminal Kontrol Sahasına (TMA- Terminal Manoeuvring Area veya TCA- Terminal Control Area) belirlenmiş olan giriş-çıkış noktalarından ya da herhangi bir noktadan giriş yaptıktan sonra yaklaşma kontrol hizmeti veren hava trafik kontrolörü tarafından kontrol altına alınırlar. Şekil 5.1’de yer alan bir Terminal Kontrol Sahası’na aynı anda farklı noktalardan giriş yapan insansız hava araçlarının iniş sıralamasının oluşturulması ve bu sıralamaya uygun bir şekilde talimat verilmesi hava trafik kontrolörünün en önemli görevlerinden birisidir.



Şekil 5.1. Örnek Terminal Kontrol Sahası

Hava trafik kontrolörlerinin öncelikli amacı, insansız hava araçlarının iniş sıralamasını belirlemek ve daha sonra iniş için rapor etmeleri gereken ve kullanılan piste yaklaşık 10 NM'lik mesafe bulunan rapor noktasına doğru yönlendirilmelerini sağlamaktır. Bu rapor noktası coğrafi olarak bilinen ve insansız hava araçlarının 3 boyutlu düzlemde (enlem, boylam ve yükseklik) konumlanması gereken bir noktadır. İnsansız hava araçları, hava trafik kontrolörleri tarafından kullanılan pist yönüne uygun olarak ve daha önceden belirlenmiş bir rapor noktasını kullanarak iniş için son

yaklaşma hattını kullanırlar. Şekil 5.2’de gösterilen son yaklaşma bölümü üç boyutlu geometrik bir yolu tanımlamaktadır. İnsansız hava araçları alçalmanın son yaklaşmada bölümünde irtifa kaybederek belli bir hat üzerinden belli bir açı ile alçalarak piste inişlerini tamamlarlar. Son yaklaşma hattı ise yaklaşma yapan bir insansız hava aracının pisti karşılamasını sağlayan hattır [68].



Şekil 5.2. Son Yaklaşma Bölümü

İnsansız hava araçlarının Şekil 5.2’de gösterilen örnek bir rapor noktasına ulaşmalarını etkileyecek faktörler incelendiğinde o anki mevcut konumunun rapor noktasına göre göreceli konumu, uçağın yapısal konfigürasyonuna bağlı olarak değişiklik gösteren çeşitli sayısal değerleri belirleyici rol oynamaktadır.

Bu belirleyiciler Bölüm 3’te belirtildiği gibi şu şekilde sıralanabilir:

- İnsansız hava aracının görev önceliği
- İnsansız hava aracının dikey ekseninde alması (ya da kaybetmesi) gereken irtifa
- İnsansız hava aracının havadaki sürati
- İnsansız hava aracının yatay ekseninde kat etmesi gereken mesafe
- İnsansız hava aracının tırmanma (ya da alçalma) oranı
- İnsansız hava aracının havada kalış süresi

5.2. Genel Kabul ve Varsayımlar

Bu çalışma kapsamında oluşturulan bulanık mantık tabanlı modellemede genel kabul ve varsayımlar aşağıda yer aldığı şekildedir:

- Terminal kontrol sahasına giriş yapan insansız hava araçlarının hepsinin iniş için belirlenmiş rapor noktasına eşit ya da rapor noktası üzerinde bir irtifada yer aldığı ve bütün insansız hava araçlarının alçalacağı,
- İnsansız hava araçlarının terminal kontrol sahasında uçacakları rota boyunca herhangi bir uçuşa yasak bölgenin olmadığı,
- İnsansız hava araçlarının terminal kontrol sahası içerisinde uçuşlarına engel teşkil edecek herhangi bir meteorolojik oluşumun var olmadığı,
- İnsansız hava araçlarının terminal kontrol sahası içerisinde uçuşları esnasında rüzgâr etkisinin olmadığı,
- Terminal kontrol sahasına iniş amacıyla giriş yapan her insansız hava aracının, belirlenen rapor noktasına gelmek için havada seyri esnasında hızlarının sabit olduğu,
- Terminal kontrol sahasına iniş amacıyla giriş yapan her insansız hava aracının belirlenen rapor noktasına gelmek için en kısa yolu kullanacağı,
- Terminal kontrol sahasına iniş amacıyla giriş yapan her insansız hava aracının belirlenen rapor noktasına gelmek için sabit bir alçalma oranı ile alçalacağı,
- Terminal kontrol sahasına iniş amacıyla giriş yapan her insansız hava aracının belirlenen rapor noktasına gelerek son yaklaşma hattından alçalarak iniş yapacağı (dikey iniş olmadığı düşünülmüştür)
- İnsansız hava araçlarının her birinin GNSS (Global Navigation Satellite Systems - Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi) sistemine sahip olduğu ve hassas konum bilgilerine sahip olduğu,
- İnsansız hava araçlarının her birinde birbirlerine konum verisi aktarımı için gerekli bir yazılımın ve beraberinde donanımın olduğu, bu sayede gerektiğinde otonom olarak da yaklaşma ve iniş aşamasını tamamlayabilecekleri,

5.3. Bulanık Mantık Tabanlı Modelleme

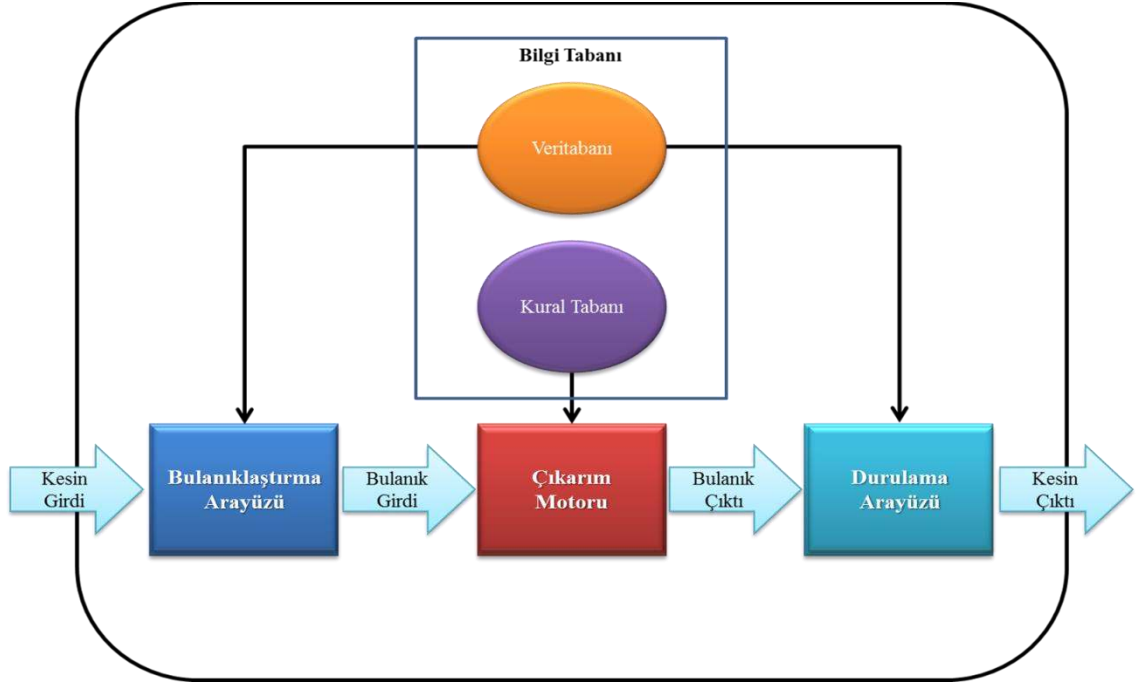
Bulanık mantık tabanlı modeller, karar verme sürecinde bulunan bireyin bu sürecinin taklit ederek matematiksel olarak formüle edilmiş herhangi bir model kullanmadan istenilen sonuca ulaşma prensibine dayanmaktadır. Bu noktadan hareketle, matematiksel olarak formüle edilmiş süreçlere bağımlı olmayan ve uzman kişilerin deneyimleri doğrultusunda şekillendirilebilen bulanık mantık tabanlı modeller; kesin kurallara bağlı olmayan, belirsizlik ve değişkenlik üzerine kurulmuş matematiksel bir disiplindir [69]

Hava trafik kontrolörleri insansız hava araçlarından kendilerine dolaylı ya da direkt olarak farklı kanallardan gelen bilgileri birleştirerek karar verirler ve bu kararı gerekli yerlere aktarırlar. Ancak karar verme süreci ve modeli basit ve matematiksel olarak formüle dönüştüremeyecek ya da eşitliklerle açıklanamayacak kadar belirsizlik ve bulanıklık içermektedir. Bu sebeple bu çalışmada hava trafik kontrolörünün karar vermesini kolaylaştırmak amacıyla bulanık mantık tabanlı bir sistem kurulmuş ve insansız hava araçlarının iniş sıralamasının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bulanık mantık tabanlı bir model Şekil 5.3'te görüldüğü gibi bulanıklaştırma ara yüzü, çıkarım motoru, durulama ara yüzü, kural tabanı ve veri tabanı olarak 5 ana bloktan meydana gelmektedir. Söz konusu bloklar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir :

5.3.1. Bulanıklaştırma Arayüzü

Bulanıklaştırma arayüzü, insansız hava araçlarının iniş sıralamasına etki edecek olan girişlerin sayısal ifadelerden sözel ifadelerle dönüştürüldüğü arayüzdür. Bu arayüzde kesin girdi değerleri bulanık değerlere çevrilir. Bulanıklaştırma arayüzü bulanık mantık tabanlı modellemenin giriş katmanıdır. Bu arayüze giriş, Şekil 5.3'te belirtildiği gibi kesin iken çıkış ise bulanıktır.



Şekil 5.3. Bulanık Mantık Tabanlı Model Genel Yapısı

Bu arayüzden çıkan bulanık değerler çıkarım motoru için girdi değerinde olup bu sebeple bulanık girdi olarak isimlendirilmektedir. Bu çalışmanın bulanıklaştırma arayüzünde insansız hava araçlarının iniş sıralamasına etki edecek olan giriş değerlerinin bulanıklaştırma sürecinde üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

5.3.2. Bilgi Tabanı

Bilgi tabanı, insansız hava araçlarının iniş sıralamasının oluşturulması amacıyla yönelik olan bilgileri içermektedir. Bilgi tabanı, modelleme için gerekli olan sözel değişkenlerin bulunduğu veri tabanı ve kontrol için kullanılacak olan kuralları bulduğu kural tabanından oluşmaktadır.

5.3.2.1. Veritabanı

Veri tabanının işlevi, insansız hava araçlarının iniş sıralamasına yönelik olarak, bilgi tabanı haricinde kalan kısımların doğru çalışması için gerekli bilgileri sağlamaktır. Bu bilgiler giriş ve çıkış üyeliklerinin üyelik fonksiyonlarının sözel değerlerinin anlamları, ölçeklendirme, normalizasyon ve denormalizasyon faktörleri,

bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının tipleri gibi bilgilerdir. Çıkarım motoru, veritabanında bulunan üyelik işlevlerini kullanarak sonuca ulaşır [66].

5.3.2.2. Kural Tabanı

Kural tabanı, bilgi tabanı ünitesinin bir diğer bileşenidir. Kural tabanı giriş ile çıkış arasındaki ilişkiyi belirleyen kurallardan oluşmaktadır. Kural tabanının en temel kullanım amacı uzman bilgilerin sebep-sonuç ilişkisi içerisinde gösterebilmektir. Bulanık mantık tabanlı modellemede bulanık sisteme gelen veriler öncelikle işlenmeye hazır hale gelirler. Daha sonra bulanık mantık kural tabanında yer alan ve Eşitlik 5.1’de gösterilen, “eğer-o halde” şeklindeki kurallara göre, çıkarım motoru tarafından işlenir.

5.3.3. Çıkarım Motoru

Çıkarım motoru, hava trafik kontrolörleri tarafından insansız hava araçlarının iniş sıralamasına yönelik karar verme sürecinin modellendiği kısımdır. Çıkarım motorunda, bulanıklaştırılmış giriş değişkenleri ile çıkış değişkenleri arasındaki ilişkinin sağlandığı bulanık kurallar bulunmaktadır. Bu sebeple bilgi tabanı ile çıkarım motoru sürekli etkileşim halindedir. Bulanıklaştırılan giriş değerleri kural tabanında yerine konularak önce aktif kurallar tespit edilmekte, daha sonra kurallar karar yöntemlerinden birisi ile birleştirilmektedir. Bu çalışmada yer alan modellemede, literatürde ve bulanık mantık tabanlı modellemelerde yaygın olarak kullanılan Min-Max Yöntemi kullanılmıştır.

Min-Max yönteminde bulanık koşul işlemcisi En Küçük Operatörü (Min-VE), bileşke işlemcisi olarak da En Büyük Operatörü (Max-VEYA) kullanılmaktadır. Bulanık kural örneği Eşitlik 5.1’de verildiği şekilde olsun.

$$R_i: \text{Eğer } x = A_i \text{ ve } y = B_i \text{ ise o halde } z \text{ } C_i \text{ dir. (5.1)}$$

$$i = 1, 2, \dots, n \text{ olmak üzere; } x \in U, A_i \subset U; y \in V, B_i \subset V; x \in U, C_i \subset W \text{ (5.2)}$$

Girdi verisinin $x = x_0$ ve $y = y_0$ olduğu durumlarda girdi verisi bulandırılmaz ve A_i ve B_i eşleşme derecesi sırasıyla $\mu_{A_i}(X_0)$ ve $\mu_{B_i}(Y_0)$ olur. Bundan dolayı R_i kuralının eşleşme derecesi ;

$$\alpha_i = \mu_{A_i}(X_0) \wedge \mu_{B_i}(Y_0) \quad (5.3)$$

C'_i , R_i kuralının sonucu olduğu için;

$$\mu_{C_i}(z) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(z) \quad (5.4)$$

Toplam sonuç C' ifadesinin denetim kuralından türer ve;

$$\mu_{C^i}(z) = \bigvee_{i=1}^n [\alpha_i \wedge \mu_{C_i}(z)] \quad (5.5)$$

$$C' = \bigcup_{i=1}^n C'_i \quad (5.6)$$

Ancak girdi verilerinin A' ve B' bulanık kümeleri olduğu durumda $i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere ;

$$\alpha_i = \text{Min} [\text{Max}(\mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{A_i}(x)), \text{Max}(\mu_{B_i}(y) \wedge \mu_{B_i}(y))] \quad (5.7)$$

$$\mu_{C'_i}(z) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(z) \quad (5.8)$$

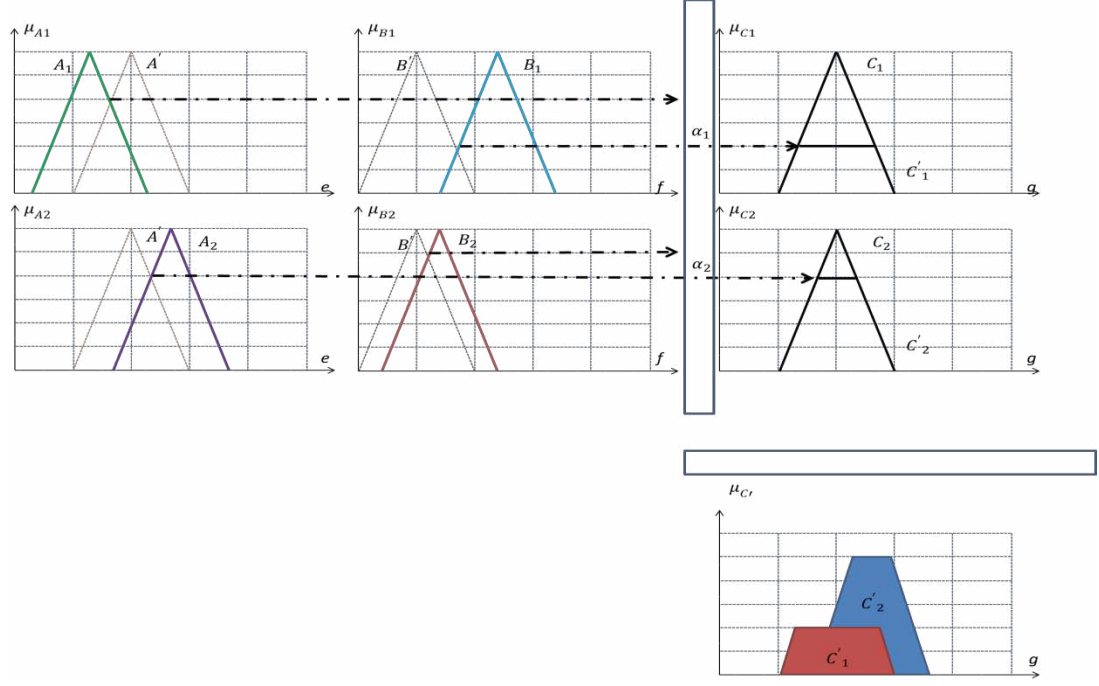
Toplam C' sonucu ise;

$$\mu_{C'}(z) = \bigvee_{i=1}^n [\alpha_i \wedge \mu_{C_i}(z)] \quad (5.9)$$

$$C' = \bigcup_{i=1}^n C'_i \quad (5.10)$$

olarak belirlenir.

Şekil 5.4'te " R_i : Eğer $x = A_i$ ve $y = B_i$ ise o halde $z \in C_i$ dir." kuralı kapsamında $x = A'$ ve $y = B'$ olup $z = C'$ dür. Burada iki farklı kural söz konusu olup ilk kuralda A' 'nin A_1 ve B' 'nin B_1 'i kestiği yer belirlenerek Min operatörü ile C_1 sonucu bulunur. Benzer şekilde ikinci kuralda A' 'nin A_2 ve B' 'nin B_2 'i kestiği yer belirlenerek Min operatörü ile C_2 sonucu bulunur. Takiben C_1 ve C_2 sonuçları Max operatörüne tabi tutularak sonuç elde edilir.



Şekil 5.4. Bulanık Mantık Çıkarım Motoru Min-Max Modellemesi

5.3.4. Durulama Arayüzü

Bulanıklaştırma arayüzünde oluşturulan bulanık kümelerle çıkarım motorunda elde edilen kontrol bulanık kümelerinin kesin kümeye çevrilmesi işlemi durulama arayüzünde yapılmaktadır. Ancak çıkarım motorundan çıkan sonuçlar halen sayısal değerlere dönüşmemiştir. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline yani sayısal değerlere dönüştürülmesi için durulaştırma işlemi bu arayüzde yapılmaktadır. Bu çalışmada yer alan modellemelerde, literatürde ve bulanık mantık tabanlı modellemelerde yaygın olarak kullanılan Ağırlık Merkezi Yöntemi kullanılmıştır.

Ağırlık merkezi yönteminde C kümesinin olasılık dağılımının ağırlık merkezi elde edilir. Çıktının niceleme sayısı n olduğunda, $C_1(z)$ çıkış boyutunda tanımlanan bir bulanık kümedir. Eşitlik 5.11’de ağırlık merkezi hesaplama yöntemi gösterilmiştir;

$$z^* = \int \frac{\mu_C(z)zdz}{\mu_C(z)dz} \quad (5.11)$$

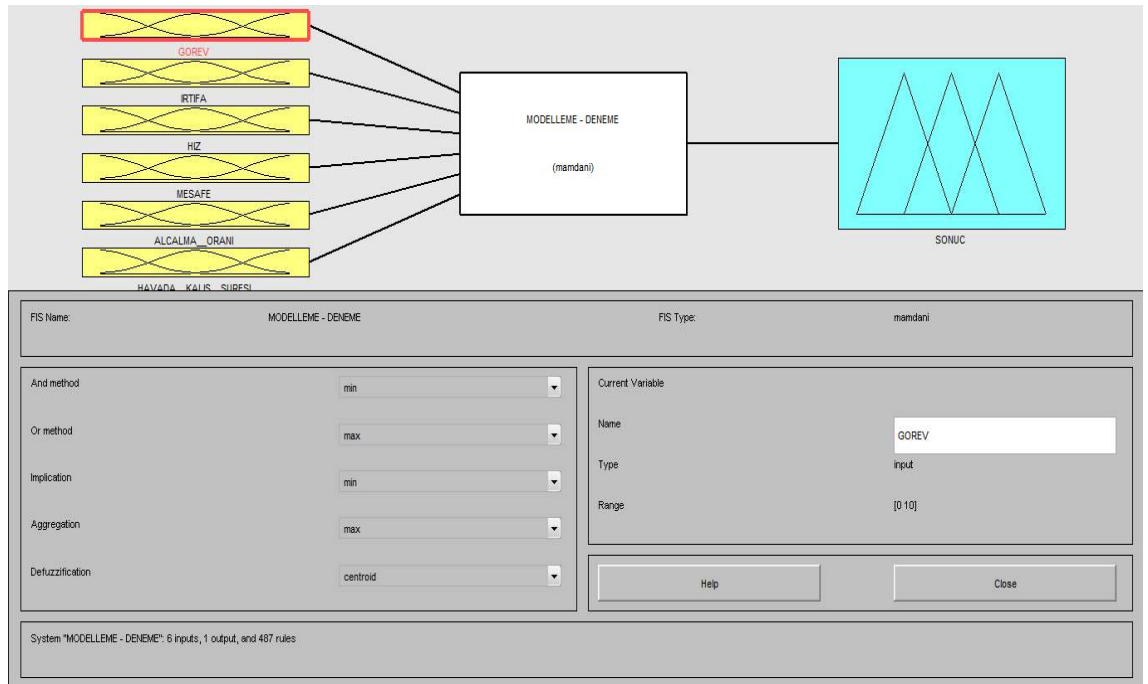
5.4. İnsansız Hava Araçları İniş Sıralamasının Bulanık Mantık Modellemesi

Bu çalışmada, insansız hava araçları iniş sıralaması için önerilen bulanık mantık modellemesinin tasarım aşamasında MATLAB/FIS (Fuzzy Inference System – Bulanık Mantık Arayüzü) editörü kullanılmıştır.

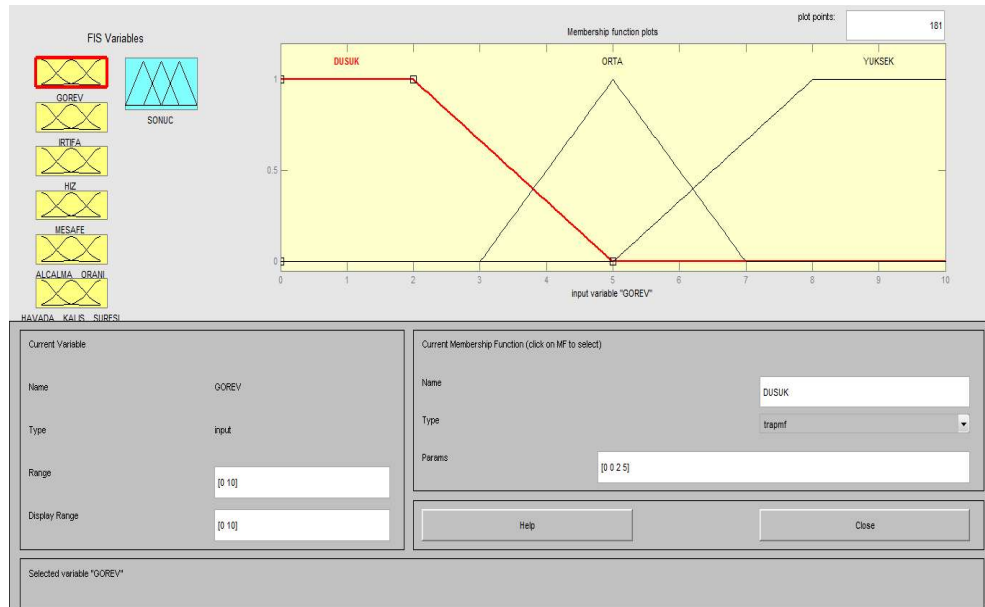
Bulanıklaştırma arayüzünde üyelik fonksiyonu seçim aşamasında, iniş sıralamasına etki eden **altı adet** girişe ait sayısal değerlere ait üyelik fonksiyonları için **üçgen** ve **yamuk üyelik fonksiyonları** kullanılmıştır. Bunun yanı sıra belirlenen üyelik fonksiyonları **normal**, **monoton** ve **simetrik**tir. Çıkarım motorunda **Min-Max Yöntemi**, durulama arayüzünde ise **Ağırlık Merkezi Yöntemi** kullanılmıştır.

Bulanık mantık tabanlı modellemenin oluşturulmasından sonra hava trafik kontrolörlerinin insansız hava araçlarına ait verileri işleyerek daha hızlı ve kolay bir şekilde sonuca ulaşmalarını sağlayacak altı adet insansız hava aracı bilgilerinin girilebildiği kullanıcı dostu bir arayüz MATLAB/GUI (Graphical User Interface - Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) yardımıyla tasarlanmıştır.

MATLAB/FIS (Fuzzy Inference System – Bulanık Mantık Arayüzü) editörüne ait ekran görüntüsü Şekil 5.5’de, giriş üyelik fonksiyonları Şekil 5.6’da, çıkış üyelik fonksiyonu ise Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



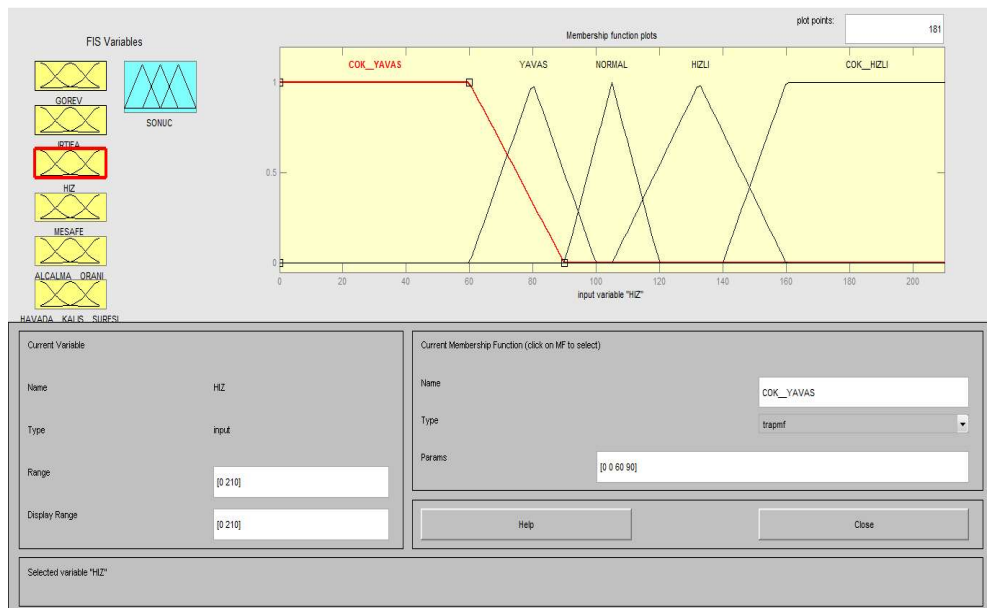
Şekil 5.5. MATLAB/FIS (Fuzzy Inference System – Bulanık Mantık Arayüzü) Editörü Ekran Görüntüsü



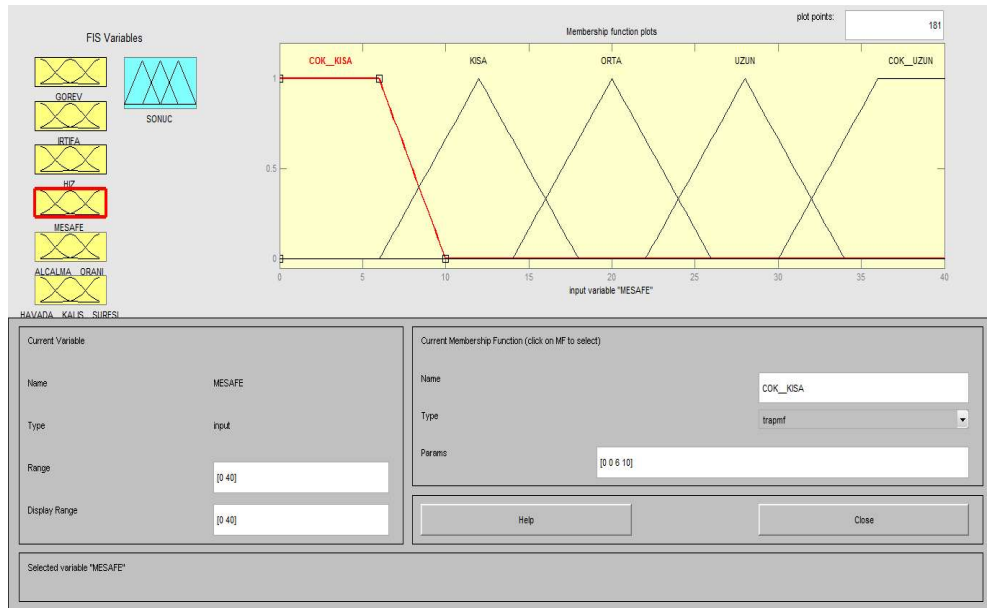
(a)



(b)



(c)



(d)



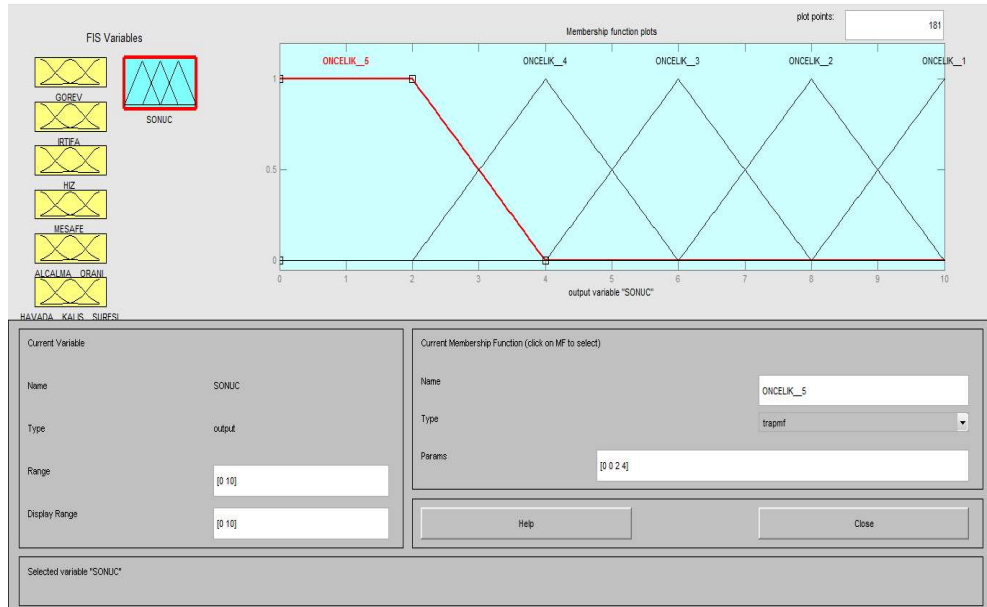
(e)



(f)

Şekil 5.6. Giriş Üyelik Fonksiyonları

- (a) Görev Önceliği (b) İrtifa (c) (Sürat)
- (d) Mesafe (e) Alçalma Oranı (f) Havada Kalış Süresi



Şekil 5.7. Çıkış Üyelik Fonksiyonu

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İNİŞ SIRALAMASI MODELLEMESİ						
İNSANSIZ HAVA ARACINA AİT PARAMETRELER						
	İHA 1	İHA 2	İHA 3	İHA 4	İHA 5	İHA 6
Görev Önceliği	0	0	0	0	0	0
İrtifa (Feet)	0	0	0	0	0	0
Sürat (Knot)	0	0	0	0	0	0
Mesafe (NM)	0	0	0	0	0	0
Alçalma Oranı (fpm)	0	0	0	0	0	0
Havada Kalış (Dakika)	0	0	0	0	0	0
AĞIRLIK	0	0	0	0	0	0

SIRALAMA: 0

HESAPLA

Şekil 5.8. İnsansız Hava Araçları İnış Sıralaması Modellemesi Ara Yüzü

5.4.1. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması

İnsansız hava araçları iniş sıralaması için önerilen bulanık mantık modellemesi için altı farklı girişe ait **yirmi sekiz farklı üyelik fonksiyonu** belirlenmiştir. Bu üyelik fonksiyonları için üçgen ve yamuk fonksiyonlar kullanılmış olup üyelik fonksiyonlarına ait sınıflandırma şu şekildedir :

- **Görev Önceliği**, 0 – 10 arasında “düşük öncelikli, orta öncelikli ve yüksek öncelikli” olarak üç farklı üyelik fonksiyonuna,
- **İrtifa**, 0 – 50000 feet arasında “çok alçak, alçak, orta, yüksek ve çok yüksek” olarak beş farklı üyelik fonksiyonuna,
- **Sürat**, 0 – 220 knot arasında “çok yavaş, yavaş, normal, hızlı ve çok hızlı” olarak beş farklı üyelik fonksiyonuna,
- **Mesafe**, 0 – 40 NM (Nautical Mile – Deniz Mili) arasında “çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun” olarak beş farklı üyelik fonksiyonuna,
- **Alçalma oranı (ROD – Rate of Descent)**, 0 – 5000 feet arasında “çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek” olarak beş farklı üyelik fonksiyonuna ve

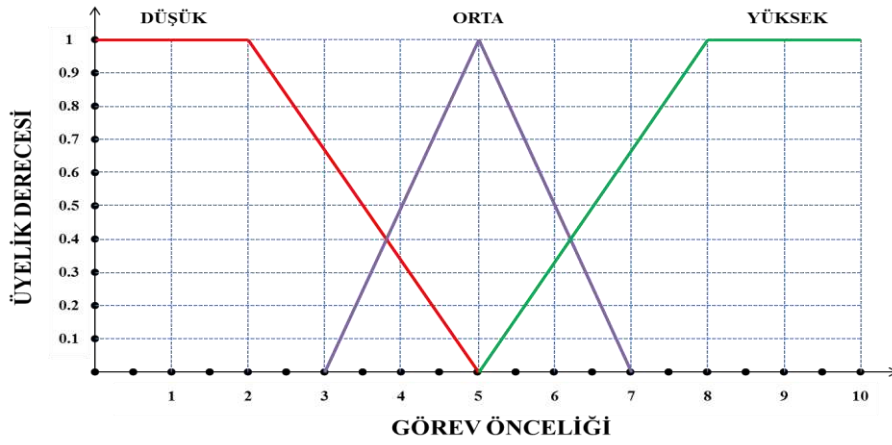
- **Havada Kalış Süresi,** 0 – 60 dakika arasında “çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun” olarak beş farklı üyelik fonksiyonuna ayrılmıştır.

5.4.1.1. Görev Önceliği

Hava trafik kontrol hizmetlerinde öncelik sırası genel anlamda “İlk Gelene İlk Hizmet – First Come First Serve” esasına göre yürütülür. Ancak günümüzde hava trafik kontrolörleri tarafından verilen hizmet aynı olsa da hizmet alan hava araçlarının görev çeşitliliği her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda özellikle literatürde ya da ulusal ve uluslararası mevzuatta insansız hava araçları kullanım amaçlarına göre sivil ve askeri olarak ikiye ayrılrsa da hava trafik kontrolörleri için kullanım amacından ziyade görev önceliği önem arz etmektedir.

Görev önceliği, bir insansız hava aracının inişi için kendine bir önem kazandırabilecek ve bu sayede “İlk Gelene İlk Hizmet” kavramının dışına çıkılarak diğerlerine nazaran bir ayrıcalık kazandıracak bir giriştir. Aynı anda keşif görevini icra ederek inişe gelen askeri bir insansız hava aracı ile kargo dağıtım görevini icra ederek inişe gelen sivil bir için insansız hava aracı aynı önceliğe sahip olmamalıdır. Benzer şekilde organ nakli amaçlı inişe gelen sivil bir insansız hava aracı ile aynı anda günlük eğitim uçuşu görevini tamamlayarak inişe askeri bir insansız hava aracı aynı önceliğe sahip değildir.

Bu modellemede insansız hava araçlarına ait görev öncelikleri 0 ile 10 arasında rakamsal olarak ifade edilmektedir. Burada 0 “Düşük Öncelik” seviyesini belirtirken, 10 “Yüksek Öncelik” seviyesini belirtmektedir. Görev önceliğine ait üyelik fonksiyonları Şekil 5.7’de gösterildiği biçimde 0 – 10 arasında “düşük öncelikli, orta öncelikli ve yüksek öncelikli” olarak üçgen ve yamuk fonksiyonlar olarak oluşturulmuştur.



Şekil 5.9. Görev Önceliği Üyelik Fonksiyonu

5.4.1.2. İrtifa

Bu modellemede terminal kontrol sahasına giriş yapan insansız hava araçlarının hepsinin iniş için belirlenmiş rapor noktasına eşit ya da rapor noktasının üzerinde bir irtifada yer aldığı ve bütün insansız hava araçlarının alçalacağı, bununla beraber GNSS (Global Navigation Satellite Systems - Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi) sistemine ve sayede hassas konum bilgilerine sahip olduğu kabul edilmiştir. Bu kapsamda bu modellemede kullanılan irtifa girişi insansız hava aracının terminal kontrol sahasına giriş yaptığı irtifa ile belirlenmiş rapor noktasını üzerinde olması istenilen irtifanın matematiksel farkıdır.

Örneğin terminal kontrol sahasına 10000 feet irtifada giriş yapan bir insansız hava aracı belirlenmiş rapor noktasını üzerinde 6000 feet irtifada olacak ise insansız hava aracının kaybetmesi gereken irtifa 4000 feettir. Söz konusu insansız hava aracı için bu modellemede irtifa girişi 4000 feet olacaktır.

Literatürde yapılan çalışmalarda irtifa üyelik fonksiyonuna ait aralıklar belirlenirken sezgisel yöntemler kullanıldığı belirtilmiştir. Örneğin Bakare (2008) çalışmasında “İrtifa Üyelik Fonksiyonu” için 0-10 aralığında çok alçak-alçak-orta-yüksek-çok yüksek üyeliklerini kullanırken, Kıyak (2009) çalışmasında için 32000-50000 feet aralığında düşük-orta- yüksek üyeliklerini kullanmıştır.

Bu çalışmada ise sezgisel yöntem yerine gerçek hava trafik yönetimi için kullanılan ve ICAO tarafından yayımlanmış olan Doc 7754 European Region Air Navigation Plan (Avrupa Bölgesi Hava Seyrüsefer Planı) dokümanı kapsamında yer alan uçak sınıflandırmasına ait girişler kullanılmıştır [70]. Böylelikle önerilen modelin gerçek hayatta kullanılan değerlerle mümkün olduğunda paralellik göstermesi hedeflenmiştir.

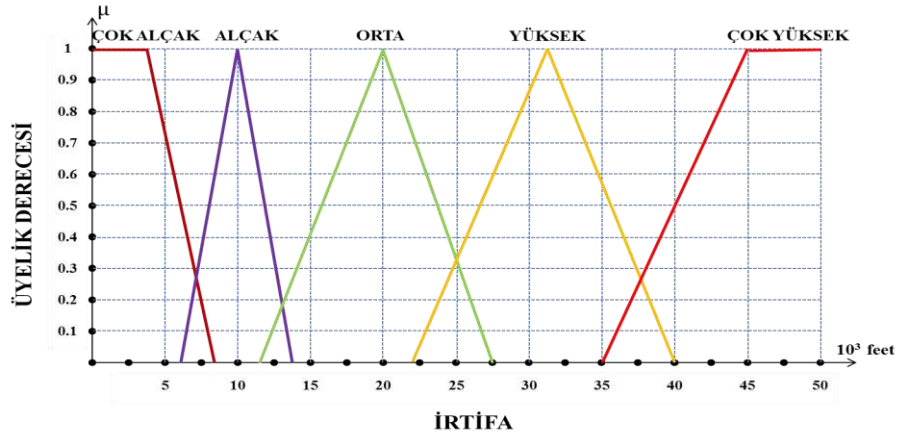
Belirtilen dokümanda hava araçları turbo jet motorlu, turboprop motorlu, piston motorlu, helikopter olarak dört ana kategoriye ayrılmıştır [70]. Bu dört ana kategoriye ait yapısal limitler de göz önünde bulundurularak seyir irtifası aralıkları Tablo 5.1’de yer aldığı şekilde belirlenmiştir. İnsansız hava araçlarının da yapıları incelendiğinde söz konusu sınıflandırma aynı şekilde insansız hava araçları için de yapılabilmektedir.

Tablo 5.1.Hava Araçları Seyir İrtifa Aralıkları

Hava Aracı Kategorisi	Seyir İrtifa Aralığı (feet)
Turbo Jet Motorlu	27000 - 45000
Turboprop Motorlu	17000 - 27000
Piston Motorlu	20000 feete kadar
Helikopter	10000 feete kadar

Öte yandan gerek NATO gerekse EUROUVS tarafından belirlenen insansız hava aracı sınıflandırması da göz önüne alındığında insansız hava araçlarının arzu edilen seyir seviyelerinin 10000 feet ile 45000-65000 feet arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Gerek ICAO gerekse NATO ve EUROUVS sınıflandırmaları göz önünde bulundurularak bu modellemede insansız hava araçlarına ait irtifa değişkeni, Şekil 5.8’de gösterildiği biçimde 0 – 50000 feet arasında “çok alçak, alçak, orta, yüksek ve çok yüksek” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



Şekil 5.10. İrtifa Üyelik Fonksiyonu

5.4.1.3. Sürat

Bu modellemelerde terminal kontrol sahasına iniş amacıyla giriş yapan her insansız hava aracının, belirlenen rapor noktasına gelmek için havada seyri esnasında hızlarının sabit olduğu kabul edilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalarda sürat üyelik fonksiyonuna ait aralıklar belirlenirken sezgisel yöntemlerin ve uzman görüşlerinin yanı sıra belirli bir uçak tipine yönelik minimum ya da maksimum değerlerin sınır olarak kabul edildiği ya da kullanıldığı da gözlemlenmiştir. Örneğin Lovato ve ark.nın (2006) yaptığı çalışmada bir hava aracının sürat kontrolünün bulanık mantık karar modellemesi için üzerinde çalışılan hava aracının minimum ve maksimum sürati ele alınmıştır.

Bu çalışmada ise gerçek hava trafik yönetimi için kullanılan ve ICAO tarafından yayımlanmış olan Doc 8168 Aircraft Operations Volume I – Flight Procedures (Hava Araçları Operasyonları Birinci Cilt – Uçuş Yöntemleri) dokümanı kapsamında yer alan uçak sınıflandırmasına ait girişler kullanılmıştır [71]. Böylelikle önerilen modelin gerçek hayatta kullanılan değerlerle mümkün olduğunda paralellik göstermesi hedeflenmiştir.

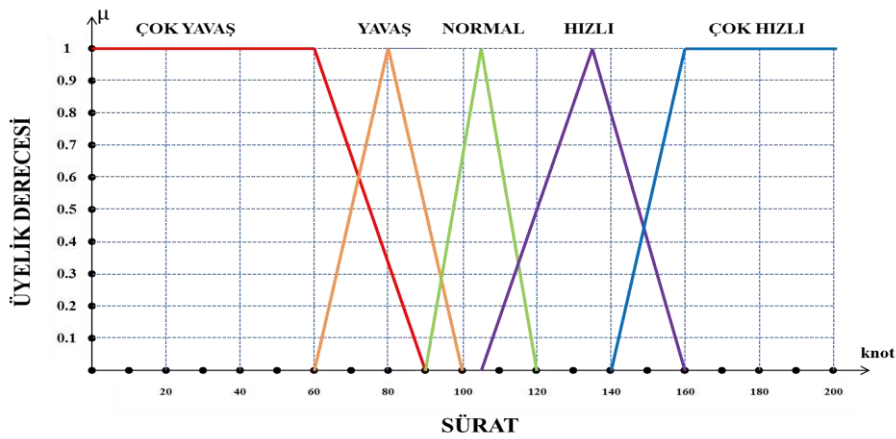
Belirtilen dokümanda hava araçları A,B,C,D ve E kategorisi olarak beş ana kategoriye ayrılmıştır. Hava aracı kategorileri, iniş aşamasında hava aracının maksimum iniş ağırlığı göz önüne alınarak, perdövites süratinin 1.3 ile çarpılmasıyla

tespit edilmektedir[Doc 8168]. Hava aracına ait kategori farklılıkları, hava aracının manevra yapacağı sahanın ölçülerine tesir eder. İnsansız hava araçlarının da yapıları incelendiğinde söz konusu sınıflandırma aynı şekilde insansız hava araçları için de geçerli olmaktadır. Tablo 5.2’de ICAO tarafından yayımlanan sürat değerleri ve hava aracı kategorileri yer almaktadır. Tabloda yer alan değerler hava aracının hız göstergesinde okunan değerlerdir. Bu değere “İşari Hava Sürati - Indicated Air Speed (IAS)” adı verilmektedir.

Tablo 5.2.Hava Aracı Kategorileri

A	91 Knot IAS’ den az
B	91 – 121 Knot IAS
C	121 – 141 Knot IAS
D	141 – 166 Knot IAS
E	166 – 211 Knot IAS

ICAO sınıflandırması göz önünde bulundurularak bu modellemede insansız hava araçlarına ait sürat değişkeni, Şekil 5.9’da gösterildiği biçimde 0 – 210 knot arasında “çok yavaş, yavaş, normal, hızlı ve çok hızlı” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



Şekil 5.11. Sürat Üyelik Fonksiyonu

5.4.1.4. Mesafe

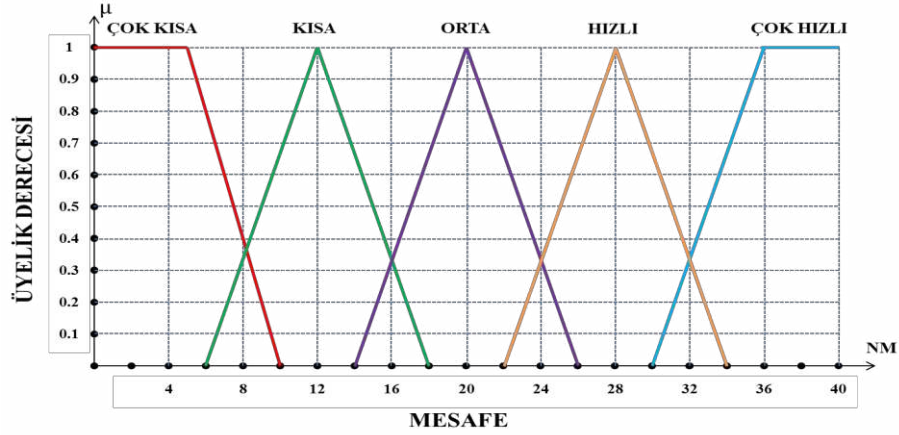
Bu modellemede, insansız hava araçlarının terminal kontrol sahasında uçacakları rota boyunca herhangi bir uçuşa yasak bölgenin olmadığı, ve terminal kontrol sahasına iniş amacıyla giriş yapan her insansız hava aracının belirlenen rapor noktasına gelmek için en kısa yolu kullanacağı kabul edilmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalarda mesafe üyelik fonksiyonuna ait aralıklar belirlenirken sezgisel yöntemlerin ve uzman görüşlerinin yanı sıra simülör ortamında uçak limitleri dikkate alınarak elde edilen sonuçların kullanıldığı gözlemlenmiştir. Örneğin Hromatka (2013) akıllı insansız hava araçlarının havada çarpışmasını önleyici bulanık mantık tabanlı modelleme çalışmasında simülör ortamında elde ettiği değerleri kullanmıştır. Belirtilen çalışmada havada insansız hava araçlarının çevresinde yer alan güvenlik bölgesi metre cinsinden ifade edilmiştir.

Bu çalışmada ise sezgisel yöntem ya da simülör değerleri yerine insansız hava araçlarının uçuşlarını gerçekleştirebileceği, sağlıklı veri iletiminin gerçekleştiği ve gerçek hava trafik yönetimi için önemli bir sınıflandırma olan EUROUVS insansız hava aracı sınıflandırması kullanılmıştır. Bu sınıflandırmada yer alan veri link menzili değerleri öncelikli olarak mesafe üyelik fonksiyonuna temel teşkil etmiştir. Böylelikle önerilen modelin gerçek hayatta kullanılan değerlerle mümkün olduğunda paralellik göstermesi hedeflenmiştir.

Ancak bununla beraber bu modellemede, hava trafik kontrolünün hizmet sağladığı terminal kontrol sahasının boyutları da önemlidir. Bir terminal kontrol sahasının ICAO ve EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of Air Navigation - Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü) tarafından tavsiye edilen yarıçap değeri 40-60 NM'dir. Öte yandan her ne kadar bir terminal kontrol sahasının tam daire olması arzu edilse de hava sahasının yapısına bağlı olarak daire, dikdörtgen ya da herhangi bir bölümünden kesilmiş daire olabilmektedir. Bu çalışmanın örnek senaryo bölümünde yer alan kontrol sahasının yarıçapı 40 NM olarak tasarlanmış ve bununla beraber kuzeyinde 17 NM'de kesilmiştir.

Bu bilgiler göz önünde bulundurularak bu modellemede insansız hava araçlarına ait mesafe değişkeni, Şekil 5.10'da gösterildiği biçimde 0 – 40 NM arasında “çok kısa, kısa, orta, hızlı ve çok hızlı” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



Şekil 5.12. Mesafe Üyelik Fonksiyonu

5.4.1.5. Alçalma Oranı

Bu modellemede, terminal kontrol sahasına iniş amacıyla giriş yapan her insansız hava aracının belirlenen rapor noktasına gelmek için sabit bir alçalma oranı ile alçalacağı kabul edilmiştir.

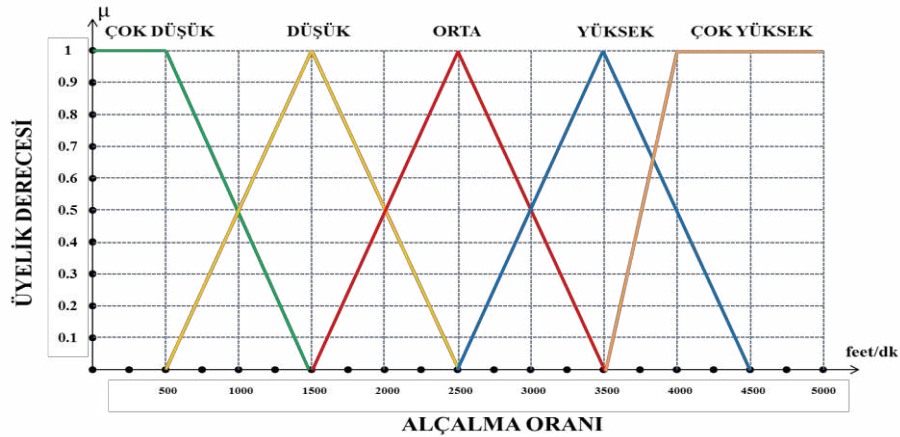
Literatürde yapılan çalışmalarda alçalma oranı üyelik fonksiyonuna ait aralıklar belirlenirken sezgisel yöntemlerin ve uzman görüşlerinin yanı sıra simülasyon ortamında uçak limitleri ya da insansız hava aracı ile ilgili olarak akademik çalışmalarda kullanılan Aerosonde hava aracının yapısal limitlerinin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Örneğin Kurnaz ve ark.nın (2010) insansız hava araçlarının otonom seyrüseferinin bulanık mantık tabanlı modellemesi çalışmasında Aerosonde hava aracı ve bununla beraber bu insansız hava aracının yapısal değerlerini kullanmıştır.

Bu çalışmada ise sezgisel yöntem ya da belirli bir insansız hava aracı modeli yerine gerçek hava trafik yönetimi için kullanılan ve ICAO tarafından yayımlanmış olan Doc 7754 European Region Air Navigation Plan (Avrupa Bölgesi Hava Seyrüsefer Planı) dokümanı kapsamında yer alan uçak sınıflandırmasına ait değerler

kullanılmıştır [70]. Böylelikle önerilen modelin gerçek hayatta kullanılan değerlerle mümkün olduğunda paralellik göstermesi hedeflenmiştir.

Belirtilen dokümanda, Bölüm 5.4.1.2.'de belirtildiği gibi hava araçları turbo jet motorlu, turboprop motorlu, piston motorlu, helikopter olarak dört ana kategoriye ayrılmıştır [70]. Bu dört ana kategoriye ait yapısal limitler de göz önünde bulundurularak alçalma oranı aralıkları Tablo 5.3'te yer aldığı şekilde belirlenmiştir. İnsansız hava araçlarının da yapıları incelendiğinde söz konusu sınıflandırma aynı şekilde insansız hava araçları için de yapılabilmektedir.

Bu bilgiler göz önünde bulundurularak bu modellemeye insansız hava araçlarına ait alçalma oranı değişkeni, Şekil 5.11'de gösterildiği biçimde 0 – 5000 feet arasında “çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



Şekil 5.13. Alçalma Oranı Üyelik Fonksiyonu

Tablo 5.3.Hava Araçları Alçalma Oranı Aralıkları

Hava Aracı Kategorisi	Alçalma Oranı Aralığı (feet/dk)
Turbo Jet Motorlu	2000-5000
Turboprop Motorlu	1500-3000
Piston Motorlu	500-2000
Helikopter	1500 feet/dk'ya kadar

5.4.1.6. Havada Kalış Süresi

Günümüz hava trafik yönetiminde, hava sahası yoğunluğu ya da aynı anda birden fazla uçağa ait bilginin hava trafik kontrolörüne ulaşması sebebiyle hava araçları uçuşlarının yaklaşma ve iniş aşamalarında gecikmeler yaşanmaktadır. Bu gecikmeler sonucunda hava araçlarına hava trafik düzenlemesi kapsamında kısa veya uzun süreli beklemler yaptırılmakta ve bununla beraber yakıt sorunları yaşanabilmektedir.

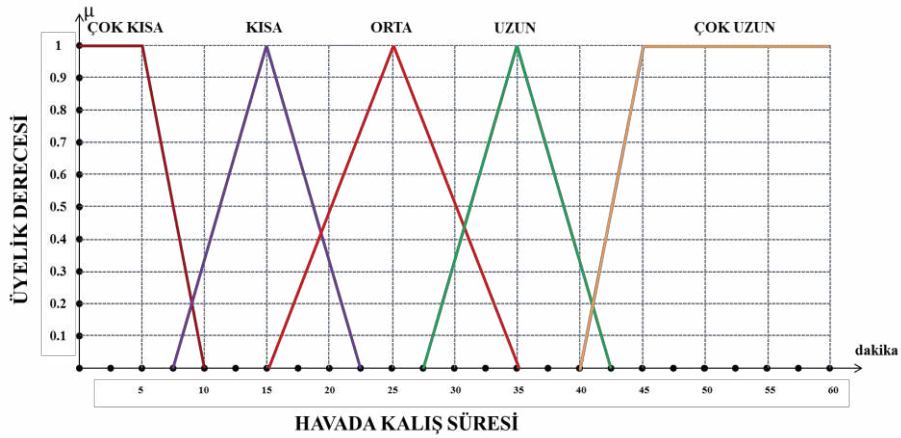
İnsansız hava araçları, mevcut teknolojik şartlarda aldıkları yakıtla ya da sistemlerinde var olan güç kaynakları yardımı ile uçuşlarını gerçekleştirmektedirler. Öncelikli olarak insansız hava araçlarının esas amacının kendilerine verilen görevi icra etmek olduğu düşünülürse uçuşun iniş aşamasına gelene kadar yakıtlarının ya da güç kaynaklarının büyük bölümünü kullanmış olacaklardır.

Bununla beraber gerekse EUROUVS tarafından yapılan sınıflandırmada insansız hava araçlarının yapılarına ve güç kaynaklarına bağlı olarak havada kalış süreleri 1-48 saat aralığında değişim göstermektedir. Ancak söz konusu aralık bir insansız hava aracının uçuşu için ayrılan toplam süredir. Burada kritik olan nokta insansız hava aracının terminal kontrol sahasına girişi ile beraber ne kadar daha havada kalabileceğidir.

Bu noktada kendisine verilen görevi icra ederek inişe gelen insansız hava aracının maksimum havada kalabileceği süre de hava trafik kontrolörünün iniş sıralaması yapabilmesi için için önemli bir giriştir. Görev önceliği ne olursa olsun havada kalış süresi çok kısa olan bir uçak (örneğin 5 dakika) öncelikli olarak

indirilmesi gerekirken, havada kalış süresi daha uzun (örneğin 45 dakika) bir uçak için sıralama yapılırken diğer girişler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu modellemede insansız hava araçlarının iniş aşamasında havada kalabileceği süreye ait zaman değişkeni, Şekil 5.12’de gösterildiği biçimde 0 – 60 dakika arasında “çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



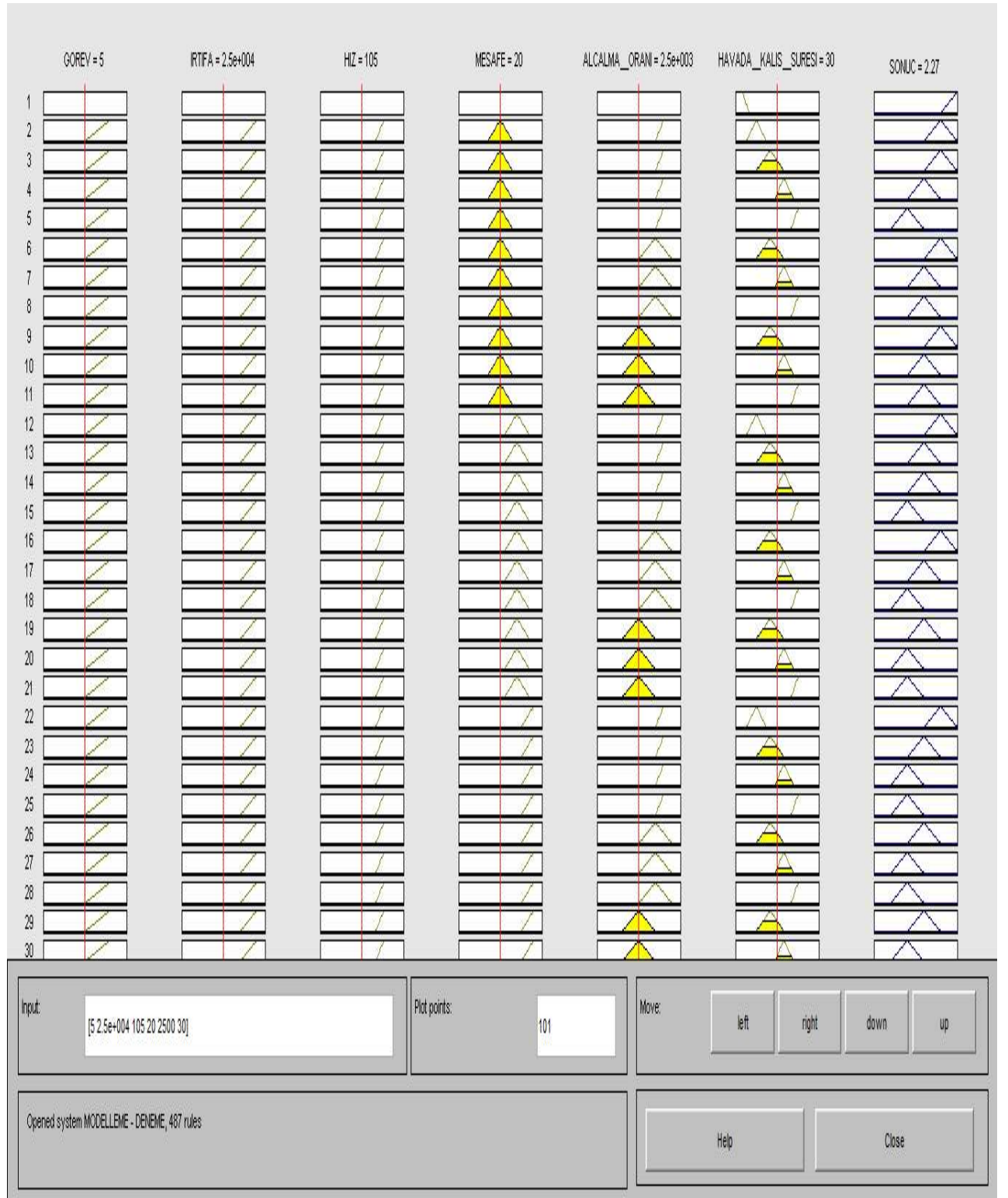
Şekil 5.14. Havada Kalış Süresi Üyelik Fonksiyonu

5.4.2. Kuralların Oluşturulması

Hava trafik kontrolörleri; emniyetli, düzenli ve hızlı bir şekilde hava sahası yönetimi ve akışından sorumludurlar. Böylelikle, hava trafik kontrolörleri, hava araçları arasındaki minimum ayırma mesafesini ya da bir başka deyişle tampon bölgeyi oluşturarak emniyet unsurunu sağlamış olurlar. Ancak emniyet unsuru ile beraber trafik akışının düzenli ve hızlı olarak temin edilmesi de hava trafik kontrolörünün sorumluluğundadır. Ancak hem emniyetli hem de hızlı bir hava trafik yönetim amacı karmaşık bir kurallar dizisi gerektirmektedir. Çünkü her hava aracı tek başına bir hava sahası kullanıcısı iken aynı zamanda hava sahasındaki tüm unsurlarla etkileşim içerisinde ve hizmet alma sürecinde olduğu için, hava trafik kontrolörünün süreci en iyi şekilde yönetmesi iyi bir plan ve karar verme yeteneğine bağlıdır. Bu da hava trafik kontrolörlerinin dinamik ve anlık değişimler gösteren hava sahası yönetiminde çalışma ortamını karmaşıklaştırmakta ve beraberinde hatalara yatkınlık oranında da artım meydana getirmektedir.

Bu çalışma kapsamında insansız hava araçlarının iniş sıralaması oluşturma sürecinde hava trafik kontrolörlerinin karar verme süreçleri incelenmiştir. Karar verme süreci, insansız hava aracına ait bilgiyi elde etme, zihinsel süreçte işleme, diğer unsurları göz önünde bulundurma ve sonuçta en ergonomik kararı verme aşamalarından oluşmaktadır. Bu süreç özellikle algısal olarak planlama yapan hava trafik kontrolörleri için karmaşık bir süreçtir ve dinamik bir yapı olduğundan bir hava trafik kontrolöründen diğerine bazı noktalarda farklılık gösterebilmektedir. Bu modelleme çalışmasına konusunda uzman olan ve tecrübeli hava trafik kontrolörlerinin de karar verme süreçleri incelenerek toplam 487 kuraldan oluşan ve Şekil 5.13’de yer alan kural tablosu oluşturulmuştur.

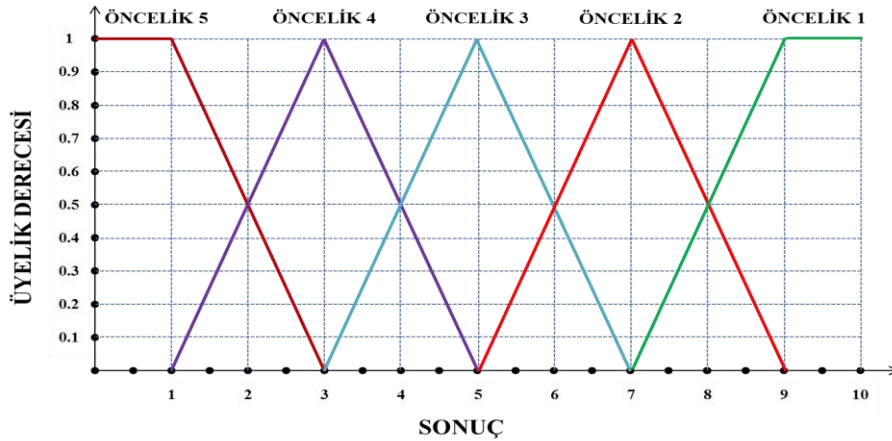
Kuralları oluşturma sürecinde, her kural satırında üyelik fonksiyonlarına ait Ağırlık Katsayısı 1 olarak kabul edilmiştir. Ancak insansız hava aracının iniş sıralamasına etki edecek girişler göz önüne alındığında bu girişler de kendi içlerinde bir önem sırasına göre listelenmiş ve kurallar da bu çerçevede oluşmuştur. Bu çerçevede kural dizininde en önemli giriş olarak “Havada Kalış Süresi”nin “Çok Kısa” üyelik fonksiyonu kabul edilmiştir. Eğer bir insansız hava aracının havada kalış süresi çok kısa ise bu durumda diğer girişlere bakılmaksızın ilk iniş yapacak olan insansız hava aracı bu olacaktır. Bununla beraber her insansız hava aracının “Görev Önceliği”nin farklı olmasından dolayı iniş sıralamasında da görev önceliği önemli bir giriş olacaktır.



Şekil 5.15. Kurallar Tablosu

Altı adet farklı girişin bulanıklaştırılması sonrası oluşturulan kurallar dizisi ile beraber girişlere ait değerlerin işlenmesi sonucu durulama arayüzünde bir SONUÇ fonksiyonu oluşturulmuştur. Toplam çıkış bulanık kümesine durulama uygulandığında çıkış tek bir sayısal değer olacaktır. Burada insansız hava aracının iniş sıralamasına yönelik olarak temel teşkil edecek ve 0-10 arasında numaralandırılmış sayısal değerler elde edilmektedir. Burada 0 (Sıfır), diğer insansız hava araçlarına göre daha sonra indirilebilecek olan ve iniş önceliği “ÖNCELİK 5” olan hava aracını temsil ederken, 10 (on) diğer insansız hava araçlarına göre önceliğe sahip olup ilk önce inmesi gereken ve iniş önceliği “ÖNCELİK 1” olan hava aracını temsil etmektedir.

Bu modellemeye, insansız hava araçlarının iniş sıralamasına ait SONUÇ üyelik fonksiyonu durulaştırma yöntemi olarak en yaygın kullanılan yöntem olan ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Bu çerçevede SONUÇ çıkış fonksiyonu Şekil 5.14’te gösterildiği biçimde 0 – 1 arasında “Öncelik 5, Öncelik 4, Öncelik 3, Öncelik 2, Öncelik 1” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



Şekil 5.16. Sonuç Çıktısı Üyelik Fonksiyonları

5.5. Örnek Senaryo

Farklı görev öncelikleri ve farklı yapısal özelliklere sahip altı adet insansız hava aracı görevlerini tamamlayarak iniş için yaklaşmaktadırlar. Uçuşun seyir aşamasını tamamlayarak yaklaşma aşamasına geçen altı insansız hava aracının üç adedi askeri görevler, diğer üç adedi ise sivil görevler icra etmişlerdir.

Birbirine yakın zamanlarda söz konusu altı insansız hava aracı yaklaşma ve iniş müsaadesi için yaklaşma kontrol ünitesi ile temas kurarak iniş talimatı almak istemektedirler.

Hava trafik kontrolörü kendisinden iniş talimatı alan uçağa ait bilgileri zihinsel sürecinde işleyerek ve beraberinde RADAR yardımı ile de resmederek bir sıralama yapmak zorundadır. Ancak bir ve iki uçak için iniş sıralaması kolay bir şekilde yapılabilirken, insansız hava araçları sayısı ve bu araçlara ait girişlerin sayısı arttıkça hava trafik kontrolörü için karar verme süreci zorlaşmaktadır.

Hava trafik kontrolöründen iniş için ilk talimatı isteyen uçak sivil kullanım amacıyla kargo taşımacılığı yapan ve Görev Önceliği “Orta (6)” olan bir insansız hava aracıdır. Bu insansız hava aracının (İHA 1) bulunduğu irtifa ile belirlenen rapor noktasında bulunması gereken irtifa farkı 26000 feettir. İnsansız hava aracına rapor noktasına 22 NM mesafede ve 100 knot süratle uçmaktadır. İnsansız hava aracının dakikada alçalma oranı 2700 fpm ve havada kalış süresi 30 dakikadır.

Hava trafik kontrolörü bu girişleri zihninde canlandırıp bir değerlendirme yaparken hemen arkasından askeri kullanımda bir insansız hava aracı (İHA 2), hava trafik kontrolöründen ilk talimatı istemektedir. İHA 2 Yüksek (8) Görev Önceliğine sahip olup, bulunduğu irtifa ile belirlenen rapor noktasında bulunması gereken irtifa farkı 30000 feettir. İnsansız hava aracına rapor noktasına 30 NM mesafede ve 155 knot süratle uçmaktadır. İnsansız hava aracının dakikada alçalma oranı 3800 fpm ve havada kalış süresi 15 dakikadır.

Giriş sayısı arttıkça hava trafik kontrolörünün karar verme süreci de yavaşlamaktadır. Bununla beraber İHA 1 ve İHA 2’nin hemen arkasından ve giriş değerleri Tablo 5.4’te yer alan İHA 3, İHA 4, İHA 4 ve İHA 6’da iniş müsaadesi için hava trafik kontrolöründen talimat ve sıralama numaralarını beklemektedirler.

Tablo 5.4. İniş Sıralaması Yapılacak İHA'lara Ait Değerler

	İHA 1	İHA 2	İHA 3	İHA 4	İHA 5	İHA 6
Görev Önceliği	6	8	3	4	9	5
İrtifa (feet)	26000	30000	7000	5000	10000	6000
Sürat (knot)	100	155	85	150	130	70
Mesafe (NM)	22	30	15	35	16	18
Alçalma Oranı (fpm)	2700	3800	2000	1800	1500	1000
Havada Kalış Süresi (dakika)	30	15	25	40	28	32

Hava trafik kontrolörleri çok kısa sürede doğru kararı vererek tekrar hava sahasını kullanıcılarına bu kararları geri bildirmek zorundadırlar. Ancak söz konusu örnek senaryo için altı farklı insansız hava aracı TMA'nın farklı giriş noktalarından giriş yaparak emniyetli bir şekilde inişlerini tamamlamak istemektedirler.

Bu çalışma kapsamında yapılan modelleme yardımı ile insansız hava araçlarına ait giriş değerleri MATLAB/GUI ile oluşturulan ara yüze işlenmiştir.

İnsansız hava araçlarına ait değerler girildikten sonra ‘HESAPLA’ tuşuna basılarak otuz altı farklı giriş karar verme süreci çok kısa sürede tamamlanmıştır. İnsansız Hava Araçları İniş Sıralaması Modellemesi Ara Yüzüne ait ekran görüntüsü Şekil 5.16’da, insansız hava araçlarının iniş önceliklerine ait rakamsal değerler Tablo 5.5’te yer almaktadır.

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İNİŞ SIRALAMASI MODELLEMESİ						
İNSANSIZ HAVA ARACINA AİT PARAMETRELER						
	İHA 1	İHA 2	İHA 3	İHA 4	İHA 5	İHA 6
Görev Önceliği	6	8	3	4	9	5
İrtifa (Feet)	26000	30000	7000	5000	10000	6000
Sürat (Knot)	100	155	85	150	130	70
Mesafe (NM)	22	30	15	35	16	18
Alçalma Oranı (fpm)	2700	3800	2000	1800	1500	1000
Havada Kalış (Dakika)	30	15	25	40	28	32
AĞIRLIK	3.70541	6.87179	4.16504	1.73662	7	4

SIRALAMA

5
2
3
6
1
4

HESAPLA

Şekil 5. 17. Örnek Senaryo İçin İnsansız Hava Araçları İniş Sıralaması Modellemesi Ara Yüzü

Tablo 5.5. İnsansız Hava Araçlarının İniş Önceliklerine Ait Rakamsal Değerler

İnsansız Hava Aracı	Sonuç
İHA 1	3.71
İHA 2	6.87
İHA 3	4.17
İHA 4	1.73
İHA 5	7
İHA 6	4

Örnek senaryo kapsamında altı adet insansız hava aracına ait otuz altı farklı giriş MATLAB/GUI ortamında yapılan ara yüze işlenmiştir. Bununla beraber ara yüzün arkasında MATLAB/FIS yardımıyla gerçekleştirilen bulanık mantık tabanlı modelleme çalışmaktadır. Bulanık mantık tabanlı modelleme ile beraber ara yüz çalıştırıldığında Tablo 5.5’ te verilen SONUÇ değerleri elde edilmektedir. Burada sonuç iniş önceliğini belirtmekte olup değeri yüksek olan önceliğe sahip olacaktır. Bu modelleme kapsamda altı adet insansız hava aracının iniş sıralamasının Tablo 5.6’da yer aldığı şekilde olması beklenmektedir:

Tablo 5.6. Örnek Senaryo İçin İnsansız Hava Araçlarının İniş Sıralaması

İniş Sırası	İHA Numarası	Sonuç
1	İHA 5	7
2	İHA 2	6.87
3	İHA 3	4.17
4	İHA 6	4
5	İHA 1	3.71
6	İHA 4	1.74

5.6. Modelin Değerlendirilmesi

Yukarıda yer alan modelin gerçek hayata uygunluğunun ve gerçek hayatta uygulanabilirliğinin gözlemlenmesi amacıyla yukarıda yer alan senaryo ve İHA'lara ait rakamsal değerler on adet hava trafik kontrolörüne verilmiştir. Farklı cinsiyet, yaş kategorileri ve çalışma geçmişine sahip hava trafik kontrolörlerinden örnek senaryoda belirtilen bir durumla karşılaştıklarında İHA'ları hangi sıra ile indireceklerini belirtmeleri istenmiştir. Bu kapsamda hava trafik kontrolörlerinin sıralamalarını gösteren durum Tablo 5.7'de belirtildiği gibidir:

Tablo 5.7. Örnek Senaryo İçin Hava Trafik Kontrolörlerinin Sıralaması

İNİŞ SIRASI	İHA NO	SONUÇ	1 Nu.lı Kont.	2 Nu.lı Kont.	3 Nu.lı Kont.	4 Nu.lı Kont.	5 Nu.lı Kont.	6 Nu.lı Kont.	7 Nu.lı Kont.	8 Nu.lı Kont.	9 Nu.lı Kont.	10 Nu.lı Kont.
1	İHA 5	7	İHA 5	İHA 5	İHA 5	İHA 5	İHA 5	İHA 5	İHA 5	İHA 5	İHA 5	İHA 5
2	İHA 2	6.87	İHA 2	İHA 2	İHA 2	İHA 2	İHA 2	İHA 2	İHA 3	İHA 6	İHA 2	İHA 2
3	İHA 3	4.17	İHA 6	İHA 3	İHA 3	İHA 3	İHA 3	İHA 3	İHA 2	İHA 3	İHA 6	İHA 3
4	İHA 6	4	İHA 3	İHA 1	İHA 6	İHA 6	İHA 6	İHA 6	İHA 6	İHA 2	İHA 3	İHA 6
5	İHA 1	3.71	İHA 1	İHA 6	İHA 1	İHA 1	İHA 1	İHA 1	İHA 1	İHA 4	İHA 1	İHA 1
6	İHA 4	1.74	İHA 4	İHA 4	İHA 4	İHA 4	İHA 4	İHA 4	İHA 4	İHA 1	İHA 4	İHA 4
			%66	%66	%100	%100	%100	%100	%66	%33	%66	%100

Örnek senaryo kapsamında, bulanık mantıklı modelleme sonuçları ve hava trafik kontrolörlerinin verdikleri sonuçlar karşılaştırıldığında hava trafik kontrolörlerinin;

- %50'sinin modelleme ile aynı sıralamayı yaptığı,
- %40'ının sadece iki İHA'ya ait sıralamayı modellemeden farklı yaptığı,
- %10'unun ise dört İHA'ya ait sıralamayı modellemeden farklı yaptığı gözlemlenmiştir.

Hava trafik kontrolörlerinden gelen sıralama sonuçları değerlendirildiğinde;

- Beş adet kontrolörün (3, 4, 5, 6 ve 10 Nu.lı) sıralamasının bulanık mantık modellemesi ile %100 örtüştüğü,

b. Dört adet kontrolörün (1, 2, 7 ve 9 Nu.lı) sıralamasının bulanık mantık modellemesi ile %66 örtüştüğü,

c. Bir adet kontrolörün(8 Nu.lı) sıralamasının ise bulanık mantık modellemesi ile %33 örtüştüğü görülmüştür.

Sıralamaya ait değişikliklerin görüldüğü 1, 2, 7 ve 9 Nu.lı hava trafik kontrolörlerin sıralaması incelendiğinde bulanık mantık tabanlı modellemeye ait “SONUÇ” değerlerinin birbirine yakın olduğu (4,17 – 4 ve 3,71 gibi) İHA’lara ait sıra değişikliklerinin yapıldığı gözlemlenmiştir.

Öte yandan hava trafik kontrolörlerinin örnek senaryo kapsamında, İHA’ların iniş sıralamasına etki eden giriş fonksiyonlarından hangi üç adedinin (kendi aralarında herhangi bir önem sıralaması yapmadan) diğerlerine göre daha önemli olduğunu belirtmeleri istenmiş ve bu çerçevede Tablo 5.8’deki elde edilmiştir:

Tablo 5.8. Hava Trafik Kontrolörlerinin İniş Sıralamasına Yönelik Giriş Seçimleri

1 Nu.lı Kont.	2 Nu.lı Kont.	3 Nu.lı Kont.	4 Nu.lı Kont.	5 Nu.lı Kont.	6 Nu.lı Kont.	7 Nu.lı Kont.	8 Nu.lı Kont.	9 Nu.lı Kont.	10 Nu.lı Kont.
GÖREV	İRTİFA	HAVADA KALIŞ	İRTİFA	İRTİFA	HAVADA KALIŞ	GÖREV	GÖREV	MESAFE	HAVADA KALIŞ
İRTİFA	GÖREV	İRTİFA	GÖREV	HAVADA KALIŞ	GÖREV	İRTİFA	İRTİFA	GÖREV	MESAFE
HAVADA KALIŞ	MESAFE	GÖREV	MESAFE	GÖREV	MESAFE	HAVADA KALIŞ	ALÇALMA ORANI	İRTİFA	GÖREV

Bu kapsamda, hava trafik kontrolörlerinin İHA’lara ait iniş sıralamasını belirlerken diğerlerine göre nispeten hangi girişlerin daha önemli olduğunu belirttikleri tablo incelenmiştir. Bu kapsamda hava trafik kontrolörlerinin;

- a. %100’ü GÖREV girişinin,
- b. %80’i İRTİFA girişinin,
- c. %60’ı HAVADA KALIŞ girişinin,

- d. %50'si MESAFE girişinin,
- e. %10'u ALÇALMA ORANI girişinin diğerlerine göre daha öncelikli olduğunu belirtmişlerdir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gelişen havacılık sektörü içerisinde hava araçları teknoloji ile beraber hızlı bir şekilde yapısal ve limitsel dönüşüme tabi olurlarken, bunun bir sonucu olarak da yüksek performanslı ve görev odaklı hava araçları da insanlı hava araçlarından insansız hava araçlarına dönüşmektedirler. Bu dönüşüm ilk olarak askeri kullanımda gözlenmiştir. Halen kullanılmakta olan ve içerisinde pilotun aktif olarak görev aldığı hava araçlarının yıllar içerisinde kullanımdan kalkarak yerini büyük insansız hava araçlarına bırakacağı gerek devletler gerekse üreticiler tarafından öngörülmektedir.

Buna mukabil, hava sahası kullanıcılarındaki değişim ile beraber hava trafik kontrolörlerinin rol ve görevleri aynı kalmaktadır. Hava sahasını kullanan ister insanlı ister insansız hava araçları olsun hava trafik kontrolörleri hava sahasını emniyetli, düzenli ve hızlı yönetmekten sorumludurlar. Bir hava sahası içerisinde hava trafik hizmeti almakta olan gerek sivil gerekse askeri hava araçları kendilerine verilen görevleri tamamladıktan sonra emniyetli ve en hızlı şekilde inişlerini tamamlamak isterler. Yapılan araştırmalarda uçuşun en kritik aşamasını yaklaşma ve iniş safhası olduğu, yaşanan kazaların özellikle bu aşamada yoğunlaştığı saptanmıştır.

Bu noktada hava trafik kontrolörlerinin kendilerine verilen görev ve sorumlulukları tam ve eksiksiz olarak yerine getirmeleri hava sahasını kullanan tüm hava araçları için hayati bir etmendir. Hava trafik kontrolörlerinin etkin ve verimli bir şekilde karar vermeleri hem insan güvenliğini yüksek seviyeye çıkaracak ve uçuş emniyetine katkı sağlayacak, hem de gecikmeleri minimum seviyeye indirerek yüksek maliyet ve zaman tasarrufu sağlayacaktır.

Ancak hava trafik kontrolörlerinin karar verme süreçlerine temel teşkil eden değerlerin zamanında ve eksiksiz olarak hava trafik kontrolörüne ulaşması karar verme sürecinde önemli bir faktördür. Karar sürecinde etkili olacak değerlerin eksik, hatalı ya da geç gelmesi, hava trafik kontrolörün de kararını etkileyecektir.

Bu çalışmada insanlı hava aracından insansız hava aracına geçiş sürecinin yaşandığı havacılık sektöründe, gelecek öngörüsü kapsamında insansız hava araçlarının iniş sıralaması altı farklı giriş ile değerlendirilerek hava trafik

kontrolörünün karar verme sürecine yardımcı olmak amacıyla bulanık mantık tabanlı bir model geliştirilmiştir. Bu modelde yer alan girişlerden irtifa, sürat, mesafe ve alçalma oranı üyelik fonksiyonları ICAO, EUROCONTROL, NATO ve EUROUVS gibi havacılık sektörüne yön veren ve konusunda söz sahibi olan kurumların yayımladığı ve gerçek hava sahası yönetiminde kullanılan dokümanlarda bulunan verilerin uzman görüşleri yardımıyla bulanıklaştırılması sonucu elde edilmiştir. Böylelikle modelin gerçek hayatta kullanılan uçuş değerleri ile örtüşmesi sağlanmıştır.

Öte yandan modelde yer alan **görev önceliği** ve **havada kalış süresi** girişleri literatürde daha önceden çalışılmamış ve çalışmaya özgünlük sağlayan girişlerdir. Hava trafik kontrolörleri “İlk Gelene İlk Hizmet – First Come First Serve” prensibine göre karar süreçlerini şekillendirirken, geniş bir yelpazede kullanımı artan insansız hava araçları sivil ve askeri alanda çok farklı kullanım amaçlarına sahip olmaktadır. Bu sebeple insansız hava araçlarının yaptığı ya da yapacağı görevler iniş sıralamasında önemli bir giriş olarak değerlendirilmiş ve çalışmaya dâhil edilmiştir.

Bununla beraber insansız hava araçları da insanlı hava araçları gibi belirli bir havada kalış süresine sahiptir. Bu süre hava aracının kullandığı yakıt ya da güç kaynağının kapasitesine bağlıdır. Hava aracının görevini başarılı olarak tamamlaması emniyetli bir şekilde inişini tamamlamasına bağlıdır. Ancak havacılıkta meydana gelen kazalar incelendiğinde yakıt problemi nedeniyle meydana gelen kazaların ölümcül olduğu gözlemlenmiştir.

Örneğin 25 Ocak 1990 tarihinde New York’un JFK Havaalanında Avianca firmasına ait hava aracı çeşitli sebeplerle 3 değişik bekleme noktasında toplam 1 saat 17 dakika hava trafik kontrolörü tarafından bekletilmiş, takiben iniş için yaklaşırken son yaklaşma sırasında çevredeki kötü hava şartları sebebiyle inişini tamamlayamayarak pas geçmek zorunda kalmıştır. Takiben kokpit ekibi hava trafik kontrolörüne kritik yakıtta olduğunu açıklayamamış ve iniş sıralamasında öncelik alamadığından hava alanına yaklaşık 16 NM mesafede düşmüştür. Bu ve buna benzer olayların yaşanmaması için iniş sıralamasında havada kalış süresi de dikkate alınması gereken bir giriş olarak değerlendirilmiş ve çalışmaya dâhil edilmiştir.

Girişlerin belirlenmesi ile beraber MATLAB/FIS editörü kullanılmıştır. Bulanıklaştırma arayüzünde üyelik fonksiyonu seçim aşamasında, iniş sıralamasına etki eden altı girişe ait sayısal değerlere ait üyelik fonksiyonları için üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Çıkarım motorunda Min-Max Yöntemi, durulama arayüzünde ise Ağırlık Merkezi Yöntemi kullanılmıştır.

Bulanık mantık tabanlı modellemenin oluşturulmasından sonra hava trafik kontrolörlerinin insansız hava araçlarına ait verileri işleyerek daha hızlı ve kolay bir şekilde sonuca ulaşmalarını sağlayacak altı adet insansız hava aracı bilgilerinin girilebildiği kullanıcı dostu bir arayüz MATLAB/GUI yardımıyla tasarlanmıştır.

Modelleme kapsamında örnek bir terminal kontrol sahası dizayn edilmiştir. Bu sahada statik ve dinamik durum içeren bir senaryo üretilerek altı adet insansız hava aracının iniş sıralaması gerçekleştirilmiştir. Öte yandan geliştirilen senaryo farklı cinsiyet, yaş kategorileri ve çalışma geçmişine sahip on adet hava trafik kontrolörüne de gönderilmiş ve modelin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. On adet hava trafik kontrolörüne sadece İHA'lara ait giriş değerleri verilmiş ve kendilerinden İHA'lara ait iniş sıralamasını belirtmeleri istenmiştir. Çalışmada önerilen modelleme ile hava trafik kontrolörlerinin sonuçları incelendiğinde on adet hava trafik kontrolöründen beş adedinin sıralamasının bulanık mantık modellemesi ile %100 örtüştüğü, dört adedinin sıralamasının bulanık mantık modellemesi ile %66 örtüştüğü ve bir adedinin sıralamasının ise bulanık mantık modellemesi ile %33 örtüştüğü görülmüştür. Sıralamaya ait değişikliklerin görüldüğü hava trafik kontrolörlerin sıralaması incelendiğinde bulanık mantık tabanlı modellemeye ait "SONUÇ" değerlerinin birbirine yakın olduğu (4,17 – 4 ve 3,71 gibi) İHA'lara ait sıra değişikliklerinin meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Öte yandan hava trafik kontrolörlerinin İHA'lara ait iniş sıralamasını belirlerken diğerlerine göre nispeten hangi girişlerin daha önemli olduğunu belirtmeleri istendiğinde **%100'ü GÖREV** ve **%60'ı ise HAVADA KALIŞ** girişlerinin daha fazla dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu noktada literatürde daha önce çalışılmamış ve bu çalışmaya özgünlük sağlayan görev önceliği ve havada kalış süresi girişlerinin hava trafik kontrolörleri açısından da önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında önerilen model sonuçları daha sonrasında hava trafik kontrolörleri ile paylaşıldığında, modellemenin gerçekçi ve kullanılabilir olduğu geri dönüşü alınmıştır. Bununla beraber aynı anda birden fazla İHA'nın iniş yapacağı öngörüldüğünde seçilen girişlerin gerçek hava sahası yönetimi unsurlarını karşıladığı ve aynı zamanda modelin otonom uçuş için de düşünülebileceği düşünceleri hava trafik kontrolörleri tarafından aktarılmıştır. Elde edilen geri dönüşlerin tamamı değerlendirildiğinde önerilen modellemenin gelecek hava sahası yönetiminde, özellikle hava aracı sayısının arttığı durumlarda bir karar destek sistemi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Mevcut durumda hava trafik kontrolörleri tarafından hava sahasının yönetimi gerçekleştirilirken geleceğe yön veren yapay zekâ çalışmalarında teknolojik gelişmelerin çerçevesinde otonom bir hava sahasının olabilirliği tartışılmaktadır. Yukarıda belirtilen insansız hava araçlarının her birinde birbirlerine konum verisi aktarımı için gerekli bir yazılımın ve beraberinde donanımın olduğu varsayımı ile beraber insansız hava araçlarının bu sayede gerektiğinde otonom olarak da yaklaşma ve iniş aşamasını tamamlayabilecekleri düşünülmektedir.

Bu sebeple çalışma, insansız hava araçlarına yüklenecek bir yazılım ve yapılarına dahil edilecek bir donanım ile beraber gerçek hayata geçirildiğinde sağlıklı veri akışı ile beraber hava trafik kontrolörlerinin anlık karar vermelerini kolaylaştıracaktır. Ayrıca otonom uçuşa geçiş ile beraber insansız hava araçları kendi değerlerini diğer insansız hava araçları ile de paylaşacağı için iniş sıralaması otomatik olarak ortaya çıkacak ve dinamik bir yapı da olsa sürekli güncellenecektir.

İnsansız hava araçlarının hava sahasına entegrasyon çalışmalar hızlı bir şekilde ilerlerken Türkiye'de bu noktada ülke olarak hızlı adımlar atmaktadır. Bu noktada Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanmış “İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Ayrılmış Hava Sahalarındaki Operasyonlarının Usul ve Esaslarına İlişkin Talimat (SHT-İHA)” Türk hava sahasında insansız hava aracı uçuşlarına ilişkin tek yasal mevzuattır. Ancak talimatın yedinci madde dokuzuncu fıkrasında yer alan “Türk Hava Sahası'nda sivil İHA uçuşları sürekli bir pilot kontrolünde olacak şekilde gerçekleştirilecektir. Pilot müdahalesi gerektirmeyen,

sadece otonom operasyon kabiliyetine sahip İHA sistemleri sivil maksatlarla kullanılamaz” ifadesinin de gelecek yıllar içerisinde değiştirilmesi gerekebilecektir.

Sonuç olarak hava sahası yönetiminin en önemli unsurlarından biri olan hava trafik kontrol hizmetleri, hızlı bir şekilde artış gösteren sivil hava taşımacılığı, yüksek performanslı askeri uçakların yoğunlaştırdığı askeri uçuşlar ve beraberinde sportif amaçlı icra edilen uçuşların da içerisinde yer aldığı yüksek yoğunluklu ve dinamik bir ortamda icra edilmektedir. Bununla beraber insanlı hava araçlarından insansız hava aracına hızlı bir şekilde geçişin ve gelecek planlamaların yapıldığı günümüzde çok farklı yapıda ve limitlere sahip hava araçları hava sahasındaki yerini yıllar içerisinde almaktadır. Farklı yapısal özelliklere ve görevlere sahip insansız hava araçlarından oluşan hava sahasının kontrolünü sağlayacak hava trafik kontrolörlerinin karar verme sürecini kolaylaştırabilecek bu çalışma emniyet unsurunun yanında düzen ve hız unsurlarını da karşılamaktadır. Bununla beraber bu çalışmada yer alan model, insansız hava araçlarının otonom uçuşları için de gerekli teknolojik altyapı oluşturulduğunda gerçek hayata geçirebilir bir model olarak da görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] DeGarmo, M., Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace, Center for Advanced Aviation System Development McLean, Virginia, 2004, 98 s.
- [2] Civil Aviation Authority, Unmanned Aerial Vehicle Operations in U.K. Airspace – Guidance, CAP 722, Directorate of Airspace Policy , 2002, 110 s.
- [3] ICAO Doc 9854, The Global Air Traffic Management Operational Concept, 2005, 82 s.
- [4] Bone,E., Bolkcom,C. Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress, Report for Congress, 2005, 52 s.
- [5] Erdemli,M.G., General Use Of UAS In EW Environment -EW Concepts And Tactics For Single Or Multiple UAS Over The Net-Centric Battlefield, Naval Postgraduate School Yüksek Lisans Tezi, Monterey, 2009,103 s.
- [6] Havacılık Çağını Açan Wright Kardeşler”, Havacılık Yıllığı, İstanbul, 1956
- [7] Valavanis, Kimon P. (Ed.), Advances in Unmanned Aerial Vehicles State of the Art and the Road to Autonomy, Springer Netherlands, 2007, 544s.
- [8] Finn A., Scheduling S., Developments and Challenges for Autonomous Unmanned Vehicles, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 230
- [9] Ören, A., Gelişen Havacılık ve Savunma Sanayiine Bağlı Olarak Günümüzde İnsansız Hava Araçlarının Kuvvet Kapsamında Görev Alanları ve Hava Sahası Yönetimi Açısından Kontrolü, Hava Sınıf Okulları ve Teknik Eğitim Merkezi Komutanlığı Araştırma Raporu, İzmir, 2005
- [10] Demirkıran, Z.K., Uçan Torpidodan Günümüze İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi, TÜBİTAK Yayınları Bilim ve Teknik Dergisi Aralık 2010
- [11] Gülen, M, İnsansız Hava Aracı Kazalarının Önlenmesinde Örnek Bir Risk Yönetimi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006
- [12] Özge, İ., İç Güvenlikte Kullanılacak İnsansız Hava Aracı Seçiminde Analitik Hiyerarşi Metodunun Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009
- [13] Demirkıran, Z.K., Uçan Torpidodan Günümüze İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi, TÜBİTAK Yayınları Bilim ve Teknik Dergisi Aralık 2010
- [14] Austin, R., Unmanned Aircraft Systems Design and Developments, Wiley Publications, 2010, 372 s.
- [15] Altunok T., Türkiye’nin İHA Serüveni, TÜBİTAK Yayınları Bilim ve Teknik Dergisi Aralık 2010
- [16] Unmanned Aerial Vehicle Master Plan, DoD Publications, 1994, 131 s.
- [17] Clapper J., Young J., Cartwright J., Grimes J., Unmanned Systems Roadmap 2007-2032, Technical Report, DoD Publications, 2007
- [18] Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013-2038, DoD Publications, 201, 168 s.
- [19] Gupta, S.G., Ghonge M.M., Jawandhiya P.M., Review of Unmanned Aircraft System (UAS), International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume 2, Issue 4, April 2013
- [20] Hasel, B., Bu İnsansız Hava Aracı’ndan Daha Önce Yapmamış Mıydık?, TÜBİTAK Yayınları Bilim ve Teknik Dergisi Aralık 2010
- [21] Dalamagkidis K., Valavanis K., Piegł L.A., On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System, Springer Netherlands, 2009, 308 s.

- [22] Bekmezci,İ., Şahingöz,Ö.K., Temel,Ş., Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey, Ad Hoc Networks, Volume 11, Issue 3, Mayıs 2013, 1254-1270 s.
- [23] Krogmann, U.K., Fundamental UAV Concepts and Technological Issues, İtalya, 2002
- [24] Uninhabited Air Vehicles: Enabling Science for Military Systems, National Research Council, The National Academies Press Washington DC, 2000
- [25] Jeffrey, M.M., Kelly, J.H., Daniel, M.K., Jason M.U., Terry, M.A., Perspectives on Unmanned Aircraft Classification for Civil Airworthiness Standards, NASA Scientific and Technical Information, Virginia, 2013, 55 s.
- [26] Joint Doctrine Note 3/10 Unmanned Aircraft Systems: Terminology, Definitions and Classification, Ministry of Defence, 2010, 21 s.
- [27] Bento, M.F. Unmanned Aerial Vehicles An Overview, InsideGNSS January/February 2008, 54-61 s.
- [28] Sarris, Z., Survey of UAV Applications in Civil Markets, STN ATLAS-3 Sigma AE ve Technical University of Crete DPEM, Haziran 2001.
- [29] Kök,T., İnsansız Hava Araçlarının Güvenli Kullanımı İçin Spektrum İhtiyaçlarının Belirlenmesi İle İlgili Öneriler, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Teknik Uzmanlık Tezi, İstanbul, Kasım 2012, 129 s.
- [30] Akyürek, S., Yılmaz M.A., Taşkıran M., İnsansız Hava Araçları Muharebe Alanında Ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm, Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi Rapor No: 53, İstanbul, 2012, 65 s.
- [31] ICAO Doc 4444, Air Traffic Management, 2007, 180 s.
- [32] ICAO Annex 2, Rules of the Air, 2005, 74 s.
- [33] ICAO Annex 1, Personnel Licensing, 2011, 136
- [34] Özgür, M., Hava Trafik Yol Kontrol Sektöründeki Çatışmaların Bilgi Tabanlı Karar Destek Aracıyla Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Anabilim Dalı, Ankara, 2007
- [35] Mallı, G., Hava Trafik Kontrol Yönetiminde İnsan Faktörü, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2005
- [36] D'Arcy, J.F., Rocco, P.S.D., Air Traffic Control Specialist Decision Making and Strategic Planning – A Field Survey, U.S. Department of Transportation Technical Note, 2001
- [37] Benoit, A., Pomeret J.M., Swierstra, S., Decision Making Aids in On-Line ATC Systems, AGARD GCP Symposium on Machine Intelligence in ATM, Berlin, 2003
- [38] Cavcar, A. Özkul, A.E, Hava Trafik Akış Planlaması İçin Karar Destek Sistemi ve Türkiye İçin Öneriler, 4. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı 1, Denizli, 1998, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, pp.157-167.
- [39] Şahin Ö.,Akgül, A.S., Özarlan, T., Gözütok, T., Akça, B., Geleceğin Hava Taşımacılığı: İnsanoğlu, İnsansız Hava Taşımacılığına Hazır mı? I. Ulusal Havacılık Teknolojisi ve Uygulamaları Kongresi, İzmir, 2012
- [40] Sapmaz, C., Akıncı, V., Türkiye’de İnsansız Hava Aracı (İHA) Uygulamaları, II. Ulusal Havacılık Ve Uzay Konferansı, İstanbul, 2008
- [41] Axelsson, A., Proceeding Of The Third Eurocontrol Human Factors Workshop Integrating Human Factors Into The Life Cycle Of Atm System Technical Notes Eurocontrol Publication, Brussel, 1999.
- [42] ICAO Annex 13, Aircraft Accident and Incident Investigation, 2010, 72 s.
- [43] Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Sivil Hava - Araç Kazaları Soruşturma Yönetmeliği SHY 13

- [44] Kinney, G.C., Amato, R.A., The Human Element in Air Traffic Control: Observations and Analyses of the Performans of Controllers and Supervisors in Providing ATC Seperation Services , METRIEK Division of the MITRE Corporation, MTR – 7655, Washington, 1977
- [45] Isaac, A., Shorrock, S.T., Kennedy, R., Kırwan, B., Andersen, H., Bove, T., Tecnical Review of Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in ATM (HERA), Edition number 1.0, Eurocontrol Publication, Brussel, 2002
- [46] Kelly, C., Boardman,M., Goillau, P., Jeannot, E., Guidelines For Trust In Future Atmsystems: A Literature Review, Eurocontrol Publication, BRUSSEL, 2003
- [47] Kılıç, S., Sarı, T., Çakır, V., İnsansız Hava Muharebe Aracı Filo Rotalama Problemi, IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı (UHUK 2012), 12-14 Eylül, Hava Harp Okulu, İstanbul, 2012
- [48] Vachtsevanos, G.; Kim, W.; Al-Hasan, S.; Rufus, F.; Simon, M.; Shrage, D.; Prasad, J.V.R., "Autonomous vehicles: from flight control to mission planning using fuzzy logic techniques," Digital Signal Processing Proceedings, 1997. DSP 97., 1997 13th International Conference on , vol.2, no., pp.977,981 vol.2, 2-4 Jul 1997
- [49] Ju Dai; Xiaoguang Zhao; Tan Min, "Fuzzy logic control in autonomous ROV navigation," TENCON '02. Proceedings. 2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering , vol.3, no., pp.1566,1569 vol.3, 28-31 Oct. 2002
- [50] Doitsidis, L.; Valavanis, K.P.; Tsourveloudis, N.C.; Kontitsis, M., "A framework for fuzzy logic based UAV navigation and control," Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on , vol.4, no., pp.4041,4046 Vol.4, April 26-May 1, 2004
- [51] Tao Dong; Liao, X.H.; Zhang, R.; Sun, Z.; Song, Y.D., "Path Tracking and Obstacles Avoidance of UAVs - Fuzzy Logic Approach," Fuzzy Systems, 2005. FUZZ '05. The 14th IEEE International Conference on, vol., no., pp.43,48, 25-25 May 2005
- [52] N. C. Tsourveloudis and L. Doitsidis and K. P. Valavanis, Autonomous Navigation of Unmanned Vehicles: A Fuzzy Logic Perspective,” in Cutting Edge Robotics, Pro Literatur Verlag, 2005, s.291-310
- [53] Dóra Meyer, D., Sághi, B., Tarna, G., Safety Management of Traffic Growth in Air Transportation, Transportation Engineering 2008, s.69–72
- [54] BAKARE, K.A., Design And Implementation Of A Fuzzy Logic Model For Air Traffic Control System, MSc Thesis, Ahmadu Bello University, Faculty Of Sciences, Department Of Mathematics, 2008, Nijerya
- [55] Lehmann, S., Bolland S., Evaluation of a Model of Expert Decision Making in Air Traffic Control, ASCS09: Proceedings of the 9th Conference of the Australasian Society for Cognitive Science 2009, Avustralya, 204-209 s.
- [56] Nie Run-tu; Zhao Yong; Dai Jie-hui, "Evaluation on Safety Performance of Air Traffic Management Based on Fuzzy Theory," Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2009. ICMTMA '09. International Conference on , vol.2, no., pp.554,557, 11-12 April 2009
- [57] Lovato, A.V.; Oliveira, J.C.M., "Airplane level changes using fuzzy control," Fuzzy Systems (FUZZ), 2010 IEEE International Conference on , vol., no., pp.1,6, 18-23 July 2010
- [58] Kıyak, E., Bulanık Mantıkla Uçak İniş Sıralamasının Yapıtırılması, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi Temmuz 2010 Cilt 4 Sayı 4 s.51-55

- [59] Çetin, Ö., Kurnaz, S., Kaynak, O., Fuzzy Logic Based Approach to Design of Autonomous Landing System for Unmanned Aerial Vehicles, Journal of Intelligent & Robotic Systems January 2011, Volume 61, Issue 1-4, pp 239-250
- [60] Xingguang Peng, Demin Xu, Weisheng Yan, Intelligent Flight for UAV via Integration of Dynamic MOEA, Bayesian Network and Fuzzy Logic, Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC), 2011 50th IEEE Conference, 2011 s. 3870-3875
- [61] Hromotka, M., A Fuzzy Logic Approach to Collision Avoidance in Smart UAVs, College of Saint Benedict and Saint John's University Department of Computer Science Honors Theses, 2013, 77 s.
- [62] Şen, Z., Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme (Mühendislik ve Sosyal Bilimler), Su Vakfı Yayınları, 2009, İstanbul,
- [63] Zadeh, L.A., Fuzzy Sets, Information and Control, 1965, s 338-353
- [64] Dimitrov, V., Korotkich, V. Studies in Fuzziness and Soft Computing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 2002, 397 s.
- [65] Baykal N., Beyan, T., Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, Ankara, 2004, 509 s.
- [66] Gül, G., Dinamik Sistemler İçin Gerçek Zamanda Bulanık Mantıkla Kontrolör Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2012
- [67] Kıyak, E., Kahvecioğlu, A., Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi Temmuz 2003 Cilt 1 Sayı 2 s.63-72
- [68] Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Terimleri Sözlüğü, T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Yayınları – 16, 2011, 408s.
- [69] Akyüz, S., Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı (Quadrotor)'nın Pd Ve Bulanık Kontrolcü Tasarımı Ve Benzetim Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2013
- [70] ICAO Doc 7754 European Region Air Navigation Plan Volume I Basic Air Navigation Plan, 2010, 244s.
- [71] ICAO Doc 8168 Aircraft Operations Volume I – Flight Procedures, 2006, 279s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Alper ÖREN

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1982

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce, Fransızca

E-posta : alperoren@tekok.edu.tr ; alperoren@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Maltepe Askeri Lisesi, 2000

Lisans : Hava Harp Okulu, Elektronik Bölümü, 2004

Yayınları

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

- [1] Ören, A., Hava Trafik Yönetiminde Etkili İletişim Problemleri, I. Ulusal Havacılık Teknolojisi ve Uygulamaları Kongresi, İzmir, 2012
- [2] Ören, A., Temel, Ş., İnsansız Hava Araçları Ağlarında (FANET) Ortalama Ağ Gecikmesi ve Operatör Kapasitesine Etkisi, 22. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Trabzon, 2014

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

- [3] Ören, A., Mor, Z.S., New Approach to Navigation: From Conventional Systems To Satellite Systems, 7th Ankara International Aerospace Conference, Ankara, 2013
- [4] Ören, A., Hava Trafik Eğitiminde Bir Karar Verme Mekanizması Hava Trafik Kontrol Simülatörü, 2nd International Aviation Management Conference, Ankara, 2014
- [5]Ören, A., Temel, Ş. Prospected Airspace Management With Integration Of Unmanned Systems, 2nd International Aviation Management Conference, Ankara, 2014
- [6]Ören, A., Koçyiğit,Y., Landing Sequencing Modelling Using Fuzzy Logic: An Analytic Approach For Unmanned Aerial Vehicles, 8th Ankara International Aerospace Conference, Ankara, 2015 (accepted)