



**GELİŞ TRAFİKLERİNİN SIRALANMASINDA
BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI**

Yüksek Lisans Tezi

Gülseren YEŞİL

Eskişehir 2023

**GELİŞ TRAFİKLERİNİN SIRALANMASINDA BULANIK MANTIK
YAKLAŞIMI**

Gülseren YEŞİL

Yüksek Lisans Tezi

Hava Trafik Kontrolü Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Özlem ŞAHİN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Gülseren YEŞİL'in GELİŞ TRAFİKLERİNİN SIRALANMASINDA BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI başlıklı çalışması 02/08/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Hava Trafik Kontrolü Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Doç. Dr. Özlem ŞAHİN

Üye

: Prof. Dr. Çerkez AGAYEVA

Üye

: Dr. Öğr. Üye Emre AYDOĞAN

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Gülseren YEşİL, GELİş TRAFİKLERİNİN SIRALANMASINDA BULANIK MANTIK YAKLAşIMI başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Doç. Dr. Özlem şAHİN

ÖZET

GELİŞ TRAFİKLERİNİN SIRALANMASINDA BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

Gülseren YEŞİL

Hava Trafik Kontrolü Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2023

Danışman: Doç. Dr. Özlem ŞAHİN

Günümüzde havayolu taşımacılığına olan talebin artış göstermesi, beraberinde hava trafiğinin de artışına neden olmaktadır. Bu durumda, daha fazla sayıda hava trafiğinin emniyetli, düzenli ve hızlı bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Yoğun trafikten dolayı özellikle havada yaşanacak beklemleri azaltmak için inişe gelen trafiklerinin doğru ve adil şekilde sıralanması önemlidir.

Bu çalışmada bulanık mantık yöntemi ile geliş trafiklerinin sıralanması amaçlanmıştır. Sıralama için hız, mesafe, irtifa parametreleri kullanılmıştır. Trafik verilerinin toplanmasında Eskişehir Teknik Üniversitesi Hava Trafik Kontrolü Bölümü'nde yer alan Hava Trafik Simülasyon Laboratuvarı'ndan faydalanılmıştır.

Terminal kontrol sahası içerisindeki geliş trafiklerinin simülatördeki mevcut sıralaması ve bulanık mantık yönteminden elde edilen sıralama sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki trafik sıralama sonuçlarının birbiri ile örtüştüğü sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, hava trafik kontrol alanında bulanık mantık yönteminin kullanılması ile literatüre katkı sağlayacaktır.

Anahtar Sözcükler: Uçak Sıralama, Bulanık Mantık, Gerçek Zamanlı Simülatör

ABSTRACT

ARRIVAL TRAFFIC SEQUENCING WITH FUZZY LOGIC METHOD

Gülseren YEŞİL

Department of Department of Air Traffic Control

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2023

Supervisor: Assoc. Prof. Özlem ŞAHİN

Today, the increase in the demand for air transport causes an increase in air traffic. In this case, more air traffic needs to be carried out safely, regularly and quickly. It is important to correctly and fairly order the landing traffic in order to reduce the delaying, especially in the air due to heavy traffic.

In this study, it is aimed to sort the arrival traffic with fuzzy logic method. Speed, distance, altitude parameters were used for sequencing. Air Traffic Simulation Laboratory in Eskişehir Technical University Air Traffic Control Department was used to collect traffic data.

The current sequencing of the arrivals traffic in the terminal control area in the simulator and the sequencing results obtained from the fuzzy logic method were compared. It was concluded that both traffic ranking results overlap with each other. This study will contribute to the literature by using the fuzzy logic method in the field of air traffic control.

Keywords: Aircraft Sequencing, Fuzzy Logic, Real Time Simulator.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve yardımlarını esirgemedi bana fikir veren, zamanını ayıran, beni motive eden çok değerli hocam Doç. Dr. Özlem ŞAHİN' e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimi boyunca Eskişehir Teknik Üniversitesinde bana katkıları olan tüm öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Çalışmam için ortam yaratan, her zaman beni destekleyen eşime ve kızlarıma teşekkür ederim.

Gülseren YEŞİL



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

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

Gülseren YEŞİL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı	3
1.2. Hava Trafik Yönetimi.....	4
2. KAYNAK TARAMASI.....	7
3. BULANIK MANTIK	16
3.1. Bulanık Küme.....	18
3.1.1. Bulanık kümelerde işlemler.....	20
3.2. Üyelik Fonksiyonu.....	20
3.2.1. Üçgen üyelik fonksiyonu	20
3.2.2. Yamuk üyelik fonksiyonu	21
3.2.3. Gauss üyelik fonksiyonu	22
3.3. Bulanıklaştırma	23
3.4. Bulanık Veri Tabanı ve Kural Tabanı	23
3.5. Çıkarım İşlemi.....	23
3.5.1. Mamdani çıkarım yöntemi	24

3.5.2. Sugeno çıkarım yöntemi	25
3.5.3. Tsukomato çıkarım yöntemi.....	26
3.6. Durulaştırma	27
3.6.1. Ağırlık merkezi yöntemi	28
3.6.2. En büyük üyelik (maksimum) yöntemi	28
3.6.3. Ağırlık ortalaması yöntemi.....	29
4. GELİŞ TRAFİKLERİNİN SIRALAMA MODELİ	30
4.1. Geliş Trafiklerinin Sıralama Modellemesi	30
4.2. Çalışmadaki Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi	36
4.2.1. Hız üyelik fonksiyonu.....	37
4.2.2. Mesafe üyelik fonksiyonu	38
4.2.3. İrtifa üyelik fonksiyonu.....	38
4.2.4. Çıkış üyelik fonksiyonu.....	39
4.3. Kuralların Belirlenmesi	40
4.4. Çalışmada Oluşturulan Senaryolar.....	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKÇA.....	52
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Eurocontrol 2050 Ana Raporu	1
Tablo 2.1. Sıralamada kullanılan model ve metotlar	7
Tablo 4.1. TMA rapor noktaları mesafeleri	31
Tablo 4.2. Kural matrisi	42
Tablo 4.3. Birinci senaryo	43
Tablo 4.4. İkinci senaryo	44
Tablo 4.5. Üçüncü senaryo	44
Tablo 4.6. Dördüncü senaryo	45
Tablo 4.7. Beşinci senaryo	46
Tablo 4.8. Altıncı senaryo	46
Tablo 4.9. Yedinci senaryo	47
Tablo 4.10. Sekizinci senaryo	48
Tablo 4.11. Dokuzuncu senaryo	48
Tablo 4.12. Onuncu senaryo	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. FCFS ve CPS Sıralaması örneği.....	9
Şekil 2.2. Zıt yönlerde ayrılmış sıralama ayakları.....	11
Şekil 2.3. Yıllara göre uçak sıralama araştırmaları ve bulanık mantık araştırmaları grafiği.....	13
Şekil 3.1. Bulanık mantık sisteminin ögeleri.....	17
Şekil 3.2. Bulanık küme	18
Şekil 3.3. Klasik küme.....	19
Şekil 3.4. Üçgen üyelik fonksiyonu.....	21
Şekil 3.5. Uçak hızı üçgen üyelik fonksiyonu	21
Şekil 3.6. Yamuk üyelik fonksiyonu	22
Şekil 3.7. Gauss üyelik fonksiyonu	22
Şekil 3.8. Mamdani çıkarım yöntemi.	25
Şekil 3.9. Takagi Sugeno çıkarım yöntemi.....	26
Şekil 3.10. Tsukamoto çıkarım yöntemi.....	27
Şekil 3.11. Ağırlık merkezi.....	28
Şekil 3.12. En büyük üyelik durulaştırma yöntemi	29
Şekil 3.13. Ağırlık ortalaması yöntemi.....	29
Şekil 4.1. Gerçek zamanlı simülatörde TMA rapor noktaları	31
Şekil 4.2. Gerçek zamanlı simülatör pilot ekranı	32
Şekil 4.3. MATLAB/FIS Bulanık mantık arayüzü editörü ekran görüntüsü.....	33
Şekil 4.4. MATLAB/FIS Hız üyelik fonksiyonu	33
Şekil 4.5. MATLAB/FIS Mesafe üyelik fonksiyonu	34
Şekil 4.6. MATLAB/FIS İrtifa üyelik fonksiyonu	34
Şekil 4.7. MATLAB/FIS Çıkış üyelik fonksiyonu.....	35
Şekil 4.8. MATLAB/FIS Kural ekranı	35
Şekil 4.9. MATLAB/GUI ekran görüntüsü	36
Şekil 4.10. Hız üyelik fonksiyonu	37
Şekil 4.11. Mesafe üyelik fonksiyonu	38
Şekil 4.12. İrtifa üyelik fonksiyonu	39
Şekil 4.13. Çıkış üyelik fonksiyonu.....	39
Şekil 4.14. Kural tablosu	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AMAN	: Arrival Manager (Geliş Yöneticisi)
CPS	: Constrained Position Shifting (Kısıtlı Konum Değiştirme)
CTAS	: Center Terminal Radar Approach Control Automation System (Merkezi Terminal Radar Yaklaşma Kontrol Otomasyon Sistemi)
DMAN	: Departure Manager (Kalkış Yöneticisi)
DME	: Distance Measuring Equipment (Mesafe Ölçme Cihazı)
EUROCONTROL	: European Organization for the Safety of Air Navigation (Avrupa Güvenli Hava Seyrüsefer Örgütü)
E-AMAN	: Extended-AMAN (Uzatılmış Geliş Yöneticisi)
FAA	: Federal Aviation Administration (Federal Havacılık İdaresi)
ft	: Feet
FIS	: Fuzzy Inference System (Bulanık Çıkarım Sistemi)
FMS	: Flight Management System (Uçuş Yönetim Sistemi)
GNSS	: Global Navigation Satellite System (Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi)
GUI	: Graphical User Interface (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü)
IFR	: Instrument Flight Rules (Aletli Uçuş Kuralları)
ILS	: Instrument Landing System (Aletli İniş Sistemi)
kt	: Nm/saat
MF	: Membership Functions (Üyelik Fonksiyonları)
MIP	: Mixed Integer Programming (Karma Tamsayılı Programlama)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı)
NDB	: Non-Directional Radio Beacon (Yönlendirilmemiş Radyo İstasyonu)
Nm	: Nautical Mile (Deniz Mili)

PAPI	: Precision Approach Path Indicator (Hassas Yaklaşma Hattı Göstergesi)
PBN	: Performance Based Navigation (Performansa Dayalı Seyrüsefer)
QF-EHEA	: Qualifications Framework for European Higher Education Area (Avrupa Yükseköğretim Alanı için Yeterlilikler Çerçevesi)
RNAV:	Area Navigation (Saha Seyrüseferi)
RNP	: Required Navigation Performance (Gerekli Seyrüsefer Performansı)
RMA-AC	: Ant Colony Based on Rank 2 Matrix Approximation (Derece 2 Matris Yaklaşımına Dayalı Karınca Kolonisi)
RTS	: Real Time Simulator (Gerçek Zamanlı Simülatör)
STAR	: Standart Instrument Arrival (Standart Aletli Geliş)
TMA	: Terminal Control Area (Terminal Kontrol Sahası)
TPLP-M	: Two-Phase with Landing Priority Method (İki Aşamalı İniş Önceliği Yöntemi)
VOR	: Very High Frequency Omni-Directional Radio Range (Çok Yüksek Frekanslı Çok Yönlü Verici)
WP	: Waypoint (Yol Noktası)

1. GİRİŞ

Hava taşımacılığına olan talep her geçen gün artmaktadır. Talebin artması Terminal Kontrol Sahası (TMA)'daki hava trafiğinin de yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Buna yönelik olarak Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı (EUROCONTROL-The European Organisation For The Safety of Air Navigation) kısa, orta ve uzun vadeli trafik tahminleri yapmaktadır. Tablo 1.1'de Avrupa hava sahası üzerinde (2019-2050) yılları arasında uçuş operasyonlarının üç senaryo üzerinden tahminleri gösterilmektedir. 2050 yılında yüksek senaryo dahilinde aletli uçuş kuralları (IFR-Instrument Flight Rules) uçuşların günlük 53.600, yıllık 19.6 milyon olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir (http-1).

Tablo 1.1. Eurocontrol 2050 Ana Raporu

ECAC senaryoları	Yıllara göre IFR uçuş tahminleri					
	2019		2050			2050/2019
	Toplam (Milyon)	Ortalama Günlük (Bin)	Toplam (Milyon)	Ortalama Günlük (Bin)	Ekstra Uçuşlar Günlük (Bin)	Toplam Artış
Yüksek Senaryo			19.6	53.6	23.2	+76%
Temel Senaryo	11.1	30.4	16.0	43.7	13.4	+44%
Düşük Senaryo			13.2	36.2	5.8	+19%

Yoğun hava trafiği sebebiyle uçuş operasyonlarında gecikmeler, çakışmalar veya aksaklıklar meydana gelebilmektedir. Bu sorunları gidermek amacıyla hava trafik kontrolörleri talimat ve tavsiyeler vermektedir, ayrıca hava trafik kontrol hizmetinin emniyetli, düzenli ve etkin bir şekilde gerçekleşmesinden sorumludurlar. TMA içinde hava trafik kontrol hizmeti radarlı ve radarsız olacak şekilde verilmektedir. Radarsız hava trafik kontrol hizmetinde, kontrolörün trafikleri herhangi bir ATS gözetim sisteminde

takip etmesi söz konusu değildir. Radarsız verilen hizmette mesafe ve zamana dayalı ayırma yöntemleri kullanılmaktadır. ATS gözetim sistemi kullanılarak verilen hizmet yani radarlı kontrol hizmetinde ise hava trafiğinin idaresinde standart geliş rotaları kullanılabileceği gibi vektör tekniği de kullanılmaktadır.

TMA'da verilen yaklaşma kontrol hizmetinin amacı; kalkan trafiklerin en kısa sürede rotalarına bağlanması ve geliş trafiklerinin havadaki beklemelerini en aza indirerek en kısa sürede, adil, doğru yaklaşma sıralaması yaparak inişlerini sağlamaktır. Havadaki beklemeelerin artması, TMA içerisindeki trafiğin tıkanmasına neden olabileceği gibi en önemli sorun ise tüketilen yakıt miktarının artmasıdır. Böylece emisyon ve gürültü kirliliği gibi olumsuz çevresel etkilere sebep olmaktadır. Havacılık Çevre Koruma Komitesi (CAEP) tarafından yakıt emisyonu ile ilgili yıllık raporlar sunulmaktadır. Bu sorunun çözümlerinden birisi fosil yakıtı daha çevreci ve daha yenilenebilir yakıtlarla karıştırarak kullanımını azaltmaktır. Son zamanlarda alkolü alternatif yakıt olarak kullanmak veya yakıtı karıştırmak yönündedir. Günümüzde alkol, benzin yakıtlarında oktan artırıcı olarak diğer tüm katkı maddelerinin yerini almaktadır (Wirawan vd., 2021)

Havacılıkta emisyon salınımına eşlik eden diğer sorun gürültü kirliliğidir ve bu sağlık, ekonomi, sosyal hayat gibi durumları etkilemektedir. İnsan sağlığını etkilediği rahatsızlıklar için örnek vermek gerekirse, kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon, psikolojik hastalıklar, çocuklarda bilişsel yeteneklerin azalması, sıkıntı ve uyku bozukluklarının şiddetlenmesi gibi sorunlar yer almaktadır (Omolo vd., 2021). Günümüz uçakları, kalkış ve iniş esnasında 60'lı yıllardaki ilk jetlere göre %75 oranında daha az gürültü oluşturmaktadır. Araştırmalar gürültünün 10 yıl içinde %30 ve 2020'ye kadar %50 daha az olması hedeflemektedir (<http-2>).

Karşılaşılan bu sorunların azaltılmasında TMA içerisinde doğru şekilde trafik sıralamasının önemi büyüktür. Bu çalışmada, radarsız hava trafik kontrol hizmeti verilen bir hava sahası içinde geliş trafiklerinin en adil ve en doğru şekilde sıralanması için bulanık mantık yöntemi ile yeni bir yaklaşım sunulmaktadır.

Çalışmada, TMA içindeki geliş trafiklerinin sıralanması için bulanık mantık yönteminin kullanılması amaçlanmaktadır. Bulanık mantık yöntemi kullanılarak, trafiklerin TMA ya giriş noktalarından son yaklaşma noktasına olan mesafesi, irtifası, hızı dikkate alınarak inişe gelen trafikler sıralanacaktır.

Çalışmada öncelikle, kaynak taraması yapılmış olup, uçak sıralama yöntemleri ve bulanık mantık yöntemiyle ilgili araştırmalar detaylı olarak incelenmiştir. İzleyen

bölümde, çalışmanın yöntemini oluşturan bulanık mantık kavramı ve sistem yapısı detaylarıyla anlatılmıştır. Üçüncü bölümde çalışma ortamı ve çalışmanın kabulleri verilmiş olup son bölümde ise elde edilen bulgulara yer verilmektedir.

1.1. Araştırmanın Amacı

Hava trafik kontrolörünün yoğun hava trafiği karşısında verdiği talimatlar, bazen hava trafik akışında uçuş sürelerinin uzamasına, havayolu taşımacılığı yapan şirketler için maliyete, planlanan uçuşların çakışmasına, kontrolör iş yüküne neden olabilmektedir. Sorunları giderebilmek veya kontrolör iş yükünü azaltabilmek için birçok sıralama yöntemi ya da karar destek sistemleri üzerine çalışma yapılmaktadır.

Mevcut çalışmaların önemli bir kısmı doğru şekilde kalkış ya da geliş sıralaması ile ilgilidir. Trafik karmaşı içerisinde inişe gelen trafikler için piste iniş sıralamasında trafiğin hangi öncelikte olacağı bilgisini vermektedir ve buna bağlı olarak hangi uçağa hangi ayırma yönteminin uygulanacağı, hangi seviyeye alçalacağı ya da tırmanacağı ya da ne kadar hız kısıtlaması yapılacağı konusunda öngörü oluşturmaktadır.

Sıralama ile ilgili yapılan araştırmalarda farklı yaklaşım prensipleri kullanılmaktadır, bunlardan birisi İlk Gelene İlk Hizmet (FCFS-First Come First Service) yaklaşımıdır. TMA içinde geliş ya da kalkış trafikleri arasında sıralama yapmak için kullanılan basit bir yöntemdir. Bu yöntem hava sahasına giren ilk trafiğin ilk hizmeti alacağını ifade eden bir yaklaşımdır. Bu ilk trafik bir kalkış trafiği olabilirken, bir geliş trafiği de olabilmektedir. Sıralamalar trafiklerin geliş sırasına göre olmaktadır. Trafikler arasındaki uçuş süresi farkının az olması olumsuz bir etki yaratmasına rağmen, birçok yaklaşım yöntemi buna dayanmaktadır. Örneğin Toplama Noktası Sistemi (PMS-Point Merge System), ilk trafiğe ilk hizmet vermeye dayalı bir sıralama yöntemidir. Geliş sırasına göre uçuşlar toplama noktasına yönlendirilirken, bunun yanında hız, seviye gibi faktörleri de göz önünde bulundurulur.

Bu çalışmada TMA içindeki geliş trafiklerinin sıralanması için bulanık mantık yönteminin kullanılması amaçlanmaktadır. Bulanık mantık yöntemi kullanılarak, trafiklerin TMA ya giriş noktalarından son yaklaşım noktasına olan mesafesi, irtifası, hızı dikkate alınarak inişe gelen trafiklerin trafik sıralaması çıktı olarak elde edilmektedir. Bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılan sıralama, sadece iniş sıralaması vermekle kalmayıp aynı zamanda hangi uçağa hangi seviyeye alçalması ya da hangi uçağa hangi talimat verilmesi bakımından rehberlik edecektir. Bu amaç doğrultusunda gerçek zamanlı

simülasyon ortamındaki radarsız hava trafik hizmeti veren trafik senaryosu detaylı olarak incelenerek; bulanık mantık yönteminde kullanılmak üzere trafiklerin uçuş mesafesi, irtifa ve hız bilgileri elde edilmiştir, aynı trafik senaryosu için bulanık mantık yöntemiyle trafik sıralaması yapılmış olup, gerçek zamanlı simülasyon sonuçları ile sıralama açısından karşılaştırılmıştır.

1.2. Hava Trafik Yönetimi

Tüm taraflarla işbirliği içinde hava ve yer tabanlı faaliyetleri içeren tesislerin ve kesintisiz hizmetlerin sağlanması sayesinde emniyetli, ekonomik, verimli bir şekilde hava sahası yönetimi ve hava trafik akış yönetimi, hava trafik hizmetlerini içine alan hava sahası ve hava trafik yönetiminin birleşimidir. Hava trafik yönetimi diyagramı Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Hava trafik yönetimi diyagramı

Hava trafik kontrol hizmeti gözetim sistemlerine (radar) dayalı olarak ya da gözetim sistemi olmadan (radarsız) gerçekleşmektedir. Bir gözetim sistemi olmadan kontrol hizmetinin sağlandığı Saha Kontrol Merkezi (ACC) ya da Yaklaşma Kontrol Ünitesi (APP)’nin sorumlu olduğu trafikler arasında sıralamaya ve birbirlerinden ayırmaya yönelik mesafe, zaman esasına dayanan ayırma teknikleri kullanılmaktadır (http-3).

Bu tekniklerin yanında trafikler arasında sıralama yapmak ve belirli rotalardan trafiklerin gelişini sağlamak için STAR yolları belirlenmektedir. STAR yolları yol ile yaklaşma arasında bağlantılı olup, amaçlanan havaalanına varmak için, aletli uçuş

kurallarına (IFR) göre uçuş gerçekleştiren trafikler tarafından takip edilmesi gereken yayınlanmış ve hava aracını normal olarak ilk yaklaşma fiksine yönlendiren bir uçuş rotasıdır (Proud, 2020). STAR'lar belirli bir rotayı takip etmesinin yanında, noktadan noktaya uçuşların sağlanmasında da önemli bir yer tutmaktadır.

Noktadan noktaya seyrüsefer, herhangi bir sabit noktadan diğer herhangi bir sabit noktaya doğrudan uçmanızı sağlar. Noktadan noktaya direkt uçuş gerçekleştirmek için yer tabanlı geleneksel seyrüsefer sistemleri; Instrument Landing System (ILS), Çok Yüksek Frekanslı Çok Yönlü Verici (VOR), Non Directional Beacon (NDB), Mesafe Ölçme Cihazı (DME) ya da uyduya dayalı Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi (GNSS) gibi seyrüsefer amaçlı sistemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bunlarla birlikte, yer tabanlı seyrüsefer yardımcılarının kapsama alanı içinde ya da uçaktaki cihazların birlikte kullanımı sayesinde yapılabilen Performans Temelli Seyrüsefer PBN'de kullanılmaktadır (Nowak vd., 2022).

Hava trafiğinin kontrolünü sağlamak amacıyla hava trafik kontrolörleri saha kontrol, yaklaşma kontrol ve meydan kontrol hizmeti, ikaz hizmeti, hava trafik tavsiye hizmeti olmak üzere verilen hizmet hava trafik hizmeti olarak tanımlanmaktadır. Bu hizmetler trafiklerin emniyetli, düzenli ve hızlı bir şekilde idare edilmesi için talimat ve tavsiyeler verilir. Hava trafik yönetiminin alt bileşeni olan, hava trafik kontrol hizmetleri farklı pozisyon ve farklı sorumluluk alanlarında yürütülmektedir. Ayrıca sorumlulukları içindeki trafiklere verilen hizmetlerde uçuş aşamalarına göre farklılık göstermektedir. Bir uçuş beş aşamadan oluşmaktadır. Şekil 1.2'de uçuşun aşamaları gösterilmektedir.



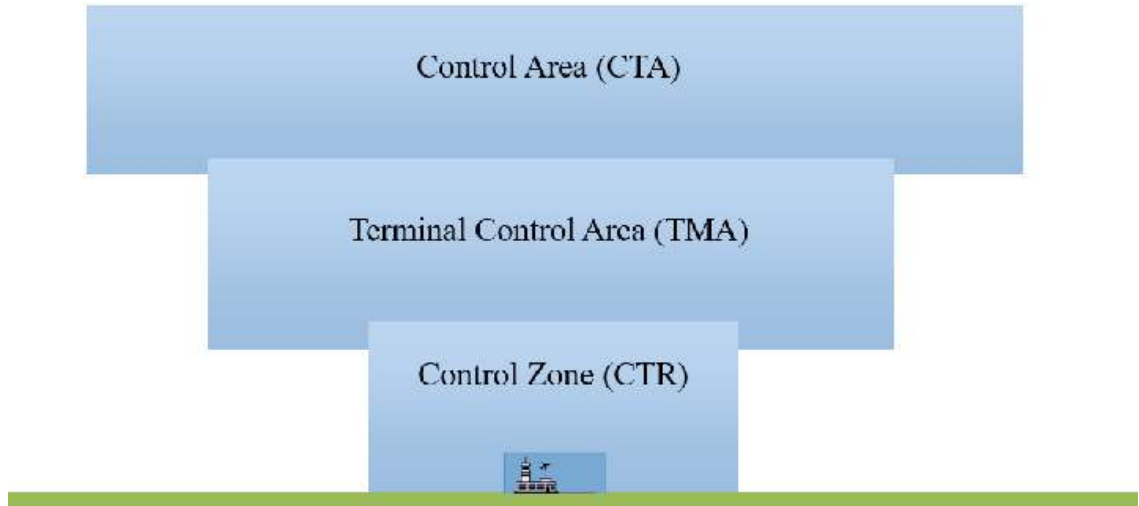
Şekil 1.2. Uçuş aşamaları

Motor çalıştırma, kalkış amaçlı taksi ve iniş, park yeri için taksi müsadresi gibi hava trafik kontrol hizmetleri meydan kontrol ünitesi yani kule tarafından verilmektedir. Meydan kontrol ünitesinin sorumluluk sahası, kontrol bölgesi (CTR-Control Zone) dir (Ören, Koçyiğit, 2016).

Kalkış trafiklerinin tırmandırılarak yol ile bağlantısının yapılması, iniş için gelen trafiklerin yaklaşma ve alçalma müsaadesinin verilmesi yaklaşma kontrol ünitesi tarafından yapılmaktadır. Yaklaşma kontrol ünitesi TMA içerisinde hizmet verir. Yaklaşma kontrol hizmeti; ayrı bir ünite tarafından verilmesi gerektiğinde yaklaşma kontrol ünitesi tarafından, eğer başka bir ünite ile birleştirilmesi gerek görüldüğünde meydan kontrol kulesi veya saha kontrol merkezi tarafından verilebilir (Proud, 2020).

Saha Kontrol Ünitesinin sorumluluk sahası, kontrollü saha (CTA-Control Area) olup, ülkemiz hava sahasını kullanan tüm transit/overflight uçuşlar ile birlikte kalkan ve iniş için gelen trafiklere hizmet vermektedir. Saha kontrol hizmeti; kontrollü saha içinde kontrollü uçuşlara verilen hizmettir. Bu hizmet saha kontrol merkezi veya herhangi bir saha kontrol merkezi tahsis edilmemişse yaklaşma kontrol hizmetinin sağlanmasına yönelik sınırları belirlenmiş bir sahada veya kontrol bölgesi içindeki yaklaşma kontrol ünitesi tarafından bu hizmet verilebilir.

Şekil 1.3'te hava trafik kontrol hizmetlerinin yürütülmesi için üç sorumluluk sahası gösterilmektedir.



Şekil1.3. Hava trafik kontrol hizmeti sunan ünitelerin sorumluluk sahaları

2. KAYNAK TARAMASI

Günümüzde teknoloji ve bilginin sürekli gelişmesi doğrultusunda, birçok alanda modelleme, insan makine arayüzü, karar destek sistemleri veya bulanık mantık gibi otomasyon sistemleri üzerinde çok fazla araştırma bulunmaktadır. Hava trafik kontrolörlerin karar vermelerine yardımcı olmak üzere çalışmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar inişin son yaklaşma veya kalkış safhasındaki uçakların sıralamasını sağlamak için olabilmektedir. Bazı karar destek sistemleri hava trafiğinde yaşanan gecikmeleri azaltmaya yönelik olurken, bazıları da çarpışmaları önlemeye yönelik matematiksel modelleme yöntemlerine dayanmaktadır.

Bu bölümde öncelikli olarak sıralama yöntemine ilişkin kaynak taraması yapılmıştır. Sonrasında ise bulanık mantık yöntemi kullanılarak yapılan trafik sıralamasına yönelik kaynak taraması verilmiştir.

Uçak sıralama ve çizelgeleme problemi, uçakların havaalanına geliş sıralanmasından ve çeşitli operasyonel kısıtlamaları dikkate alarak operasyon zamanlarının çizelgelenmesinden oluşmaktadır. Tablo 2.1’de uçak sıralama problemlerinin çözümü için kullanılan metot ve modeller özetlenmektedir. (Ören, 2020)

Tablo 2.1. *Sıralamada kullanılan model ve metotlar*

Model	Metot
Deterministik model	Genetik algoritma
Stokastik model	Tabu arama algoritması
Statik model	Tavlama benzetimi algoritması
Meta sezgisel model	Karınca kolonileri algoritması
Dinamik model	Parçacık sürü algoritması
	Yapay arı koloni algoritması
	Hibrit algoritmalar
	Çiçek tozlaşma algoritması

Literatürde uçak iniş sıralaması problemini çözmek için birçok metoda dayanan çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar tek piste iniş için gelen trafiklerin sıralamasına yönelik olabilmektedir (Moser, 2007; Brentnall ve Cheng, 2009; Çeçen vd., 2020).

Moser (2007) tek pistli uçak iniş problemini stokastik ve deterministik bileşenden oluşan bir algoritma geliştirmiştir. Yeni hibrit algoritmanın diğer yaklaşımlara göre daha

iyi sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Seçilen çevrenin uçak sayısı ile şaşırtıcı şekilde iyi ölçekte olduğu ve 24 adet uçak sayısına kadar gerçekçi sıradışı kaotik durumları çözdüğü ispatlanmıştır.

Brentnall ve Cheng (2009) tek iniş pisti olan bir havalimanının ayrık olay simülasyon modelinden yararlanarak birkaç algoritmayı karşılaştırmışlar. Sıralama algoritmasının, gecikme paylaşım stratejisinin, varış oranının ve türbülans kategorisi karışımının etkilerini test etmek için istatistiksel yöntemler kullanmışlardır.

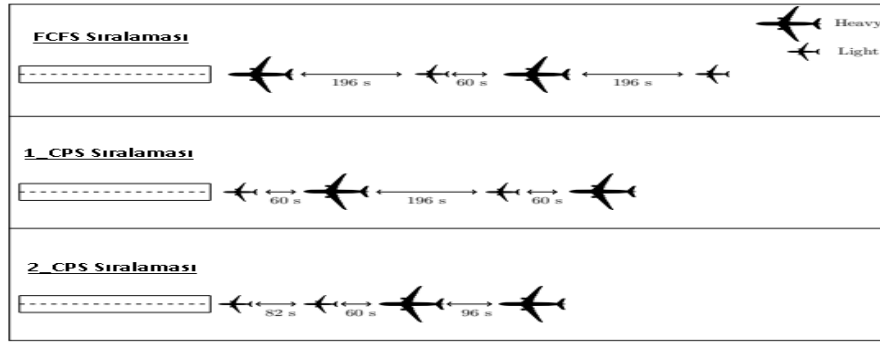
Çeçen vd. (2020) karma uçak operasyonlarında hizmet sağlayan bir pist için toplam uçak gecikmesini minimize etmek amacıyla stokastik model geliştirmişlerdir. Trafik senaryoları oluşturularak model test edilmiş olup, stokastik model deterministik modele göre toplam uçak gecikmesini önemli ölçüde azaltmıştır.

Dönmez (2022) çoklu terk ediş taksi yolu olan pistler için trafik planlamasını sağlamak amacıyla pisti terk ediş noktası ve pist meşguliyet süresi belirsizliklerine yönelik geliş, kalkış sıralaması için model oluşturmuştur. Stokastik modelin birden fazla çıkışı bulunan pistler için uygulanabileceği ve diğer modellere karşılaştırıldığında, kabul edilebilir süre sınırları içinde verimli ve sağlam çözümler sağladığı gözlenmiştir.

Dünyada en yaygın kullanılan sıralama stratejisi olarak İlk Gelen İlk Hizmet Alır (FCFS) yaklaşımıdır. FCFS'nin uygulanması kolaydır, ancak aşırı gecikmelere neden olabilmektedir ve yüksek yoğunluklu operasyonlar için uygun değildir. Uçuş halindeki iki ardışık uçak arasındaki minimum mesafe, uçak tiplerine ve ilgili konumlarına göre değişirken kısa iniş aralığı ile en uygun diziyi üretmek için FCFS dizisindeki uçakların konumunu değiştirmek gerekebilir. Bu optimizasyon sağlamak için Uçak Sıralama Problemi (ASP) Dear tarafından 1976 yılında ifade edilmiştir.

Liang (2018) , tek pistli veya çok pistli operasyonlar için teorik veya operasyonel bakış açılarından, statik veya dinamik yaklaşımlarda uzun süredir çalışılmaktadır. 90'ların sonunda, araştırmacılar APS'yi esas olarak statik bir yaklaşım kullanarak değerlendirdiler. Bu yöntem, hava aracı operasyonlarının belirsizliğini, hava aracı performansını veya kontrol tekniklerinin mevcudiyetini dikkate almaz; operasyonel açıdan gerçekçi değildir. Bu sebeple Dear tarafından uçak karışımının bileşiminin zaman içinde değişebileceğini düşünen Kısıtlı Konum Değiştirme (CPS) adlı bir karar metodolojisi önerildi.

Şekil 2.1'de FCFS ve CPS sıralamalarına örnek verilmektedir.



Şekil 2.1. FCFS ve CPS Sıralaması örneği

Ikli vd. (2021) FCFS sıralamasına göre son yaklaşımadaki dört uçağın toplam iniş süresi 452 saniyedir. Geliş sırasına göre sıralanmışlar ve kuyruk türbülans ayırmalarından etkilenmişlerdir. Önde gelen Heavy (Ağır) uçağın arkasından Light (Hafif) uçak gelmesi sebebiyle toplam iniş süresi uzamıştır. Birinci CPS sıralamasında ise dört uçağın toplam iniş süresi 316 saniyedir. İkinci CPS sıralaması ise dört uçağın toplam iniş süresi 238 saniyedir. Şekil 2.1’de kısıtlanmış konum değiştirme uçak wake türbülans kategorilerine göre yapılmış ve FCFS’ye nazaran sıralamada zaman kazancı sağlanmıştır.

Sıralamaya yönelik yapılan çalışmalar arasında karar destek araçlarının sıkça kullanıldığı görülmektedir.

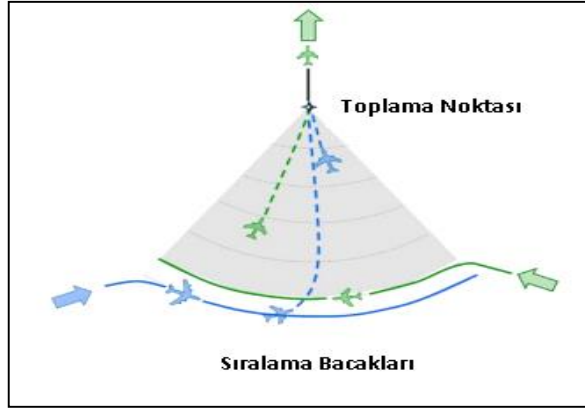
Bu araçlardan biri de Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı (NASA) ve Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından geliştirilen Merkezi Terminal Radar Yaklaşma Kontrol Otomasyon Sistemi (CTAS) dir. Bu sistem gelen uçaklar için pist tahsisi ve planlanmış iniş süreleri sağlayan, kontrolörlere hava taşıtlarını yönlendirmek için alçalma, hız ve rota önerisi sunan son yaklaşma sıralama aracıdır. Avrupa bölgesinde ise geliş uçakları için Geliş Yöneticisi (AMAN), kalkış uçakları için Kalkış Yöneticisi (DMAN) araçları bulunmaktadır. CTAS yoğun hava alanlarını yöneten kontrolörler üzerinde artan bir baskıyla sonuçlanabilecek çatışma tespiti ve çözüm stratejileri sunarken, AMAN bunları sağlamamaktadır (Erzberger, Davis ve Green, 1993).

AMAN için kapsama alanı 100-200 Nm arasındaki iken, Uzatılmış Geliş Yöneticisi (E_AMAN) kapsama alanı havaalanından 500 Nm.’a kadar uzatılmıştır. Bunun amacı yakındaki hava sahasındaki sıkışıklığı, gürültüyü ve yakıt emisyonunu azaltmak için sıralamaya çok daha erken başlamaktır. Avrupa Komisyonu 2024 yılına kadar 25 havalimanında E-AMAN uygulamasını zorunlu kılmaktadır ([https-4](https://4)).

Çalışmalar arasında uçuş gecikmelerini önlemek ve kapasiteyi arttırmak için yeni seyrüsefer yöntemleri de bulunmaktadır.

Hava trafiğindeki gecikmeleri azaltmak seyir seviyesinde ya da terminal sahasındaki uçuşlara kolaylık sağlamak amacıyla, yeni uçuş rotaları ya da yeni yöntemler geliştirilmektedir. Bunlardan birisi de RNAV yolları ve buna bağlı gerçekleştirilen seyrüseferdir. RNAV, modern aviyonik sistemlerle uçakları, yere dayalı seyrüsefer yardımcılarından bağımsız olmasını, noktadan noktaya uymasını sağlayan seyrüsefer yöntemidir. RNAV yöntemleri havacılıkta dünya genelinde kullanılmaktadır. RNAV aviyonikleri, Uçak Yönetim Sistemi (FMS)'ine daha önceden yüklenmiş yol noktaları (WP) arasındaki yol tiplerinde uymasını sağlayan bir sistemdir. Performansa Dayalı Seyrüsefer (PBN), Saha Seyrüseferi (RNAV) ve Gerekli Seyrüsefer Performansı (RNP) kavramlarından meydana gelmektedir (ICAO.Doc 9613 AN/937, Performance-based Navigation (PBN) Manual Third Edition, 2008).

RNAV yaklaşama yöntemlerinden biri olan Toplama Noktası Sistemi (PMS) RNAV 1'e dayalı bir Standart Aletli Geliş Yolundan (STAR)'dır. EUROCONTROL Deney Merkezi, Ar-Ge faaliyetlerinin bir sonucu olarak 2006 yılında geliş operasyonlarının yaklaşmasını basitleştirmek ve geliştirmek için yenilikçi bir sıralama tekniği olarak toplama noktasını geliştirdi. Bu teknik, kontrolörlerin, yoğun trafik altında bile sürekli alçalmasına olanak sağlayan ve pist verimini arttıran, vektör tekniği olmaksızın gelişlerin sıralanmasına ve birleştirilmesine olanak tanıyan bir yöntemdir. Oslo (2011) ve Dublin'deki (2012) ilk uygulamalardan sonra, yeni yöntem sadece ECAC (European Civil Aviation Conference) bölgesi içinde değil, sınırlarının çok ötesine de yayıldı. Mayıs 2021 itibarıyla bu yöntem, örneğin İstanbul, Tokyo, Meksika, Seul, Moskova, Kuala Lumpur, Bogota ve London City dahil olmak üzere dört kıtada yaklaşık 30 havalimanındaki terminal alanlarında uygulandı. Şekil 2.2'de toplama noktası yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Zıt yönlerde ayrılmış sıralama ayakları

ASP veya Uçak İniş Problemi ALP'yi çözmek için seyrüsefer uygulamaları veya karar destek araçlarının aynı zamanda sezgisel yöntemlerle birlikte kullanıldığı görülmektedir (https-5).

Huo vd. (2023). E-AMAN konseptini önermiştir. Bu konsepte dayanarak, varış sırasında emniyet ve verimlilik elde etmek için uçuşlara kontrol kararları sağlamak üzere dinamik/on-line hava trafik kontrol problemini ele almışlardır. Dinamik özellik, uçak yörünge tahminleri için uçuş bilgilerinin periyodik olarak güncellenmesiyle gerçekleştirilir. Her bilgi güncellemesine karşılık gelen alt problemler oluşturulur. Bu problemin amacı, rota tıkanıklığının ağırlıklı toplamını ve yol safhasındaki çakışma sorununu çözme iş yükünü ve TMA'da ki çakışma sayısını en aza indirmektir. Bir uçak TMA'ya yaklaştıkça, TMA içindeki trafikler için dinamik bir ağırlık atama yaklaşımı uygulanmıştır. Paris Charles de Gaulle havaalanının varış trafiğine dayalı bir vaka çalışması, yuvarlanan ufuk yaklaşımıyla birleştirilmiş bir meta-sezgisel benzetilmiş tavlama algoritması kullanılarak incelenmiştir.

Pist meşguliyet sürelerini optimize etmek için Uçak Sıralama Problemi (ASP) ve Uçak İniş Problemi (ALP) ile ilgili yapılmış birçok çalışma vardır. Bu çalışmalar içinde tek pistli veya çok pistli havaalanları olmaktadır.

Zhang vd. (2020) ALP için birleştirilmiş sevk kuralından oluşan meta-sezgisel modelleme önermişlerdir. İki aşamadan oluşmaktadır; ilk aşama iniş sırasını, ikinci aşama ise iniş süresini belirlemektir. Çok pistli havaalanlarında varış zamanı belirsizliğini çözmek ve çok amaçlı ALP için yöntemin uygulanmasını önermişlerdir. Hesaplama sonuçlarında sezgisel algoritmanın kısa sürede iyi sonuç verdiğini, meta sezgisel algoritmanın ise uzun sürede optimum sonuç verdiğini göstermiştir.

Shi vd. (2019) çalışmalarında, sezgisel algoritma olarak, dört bileşenden oluşan bir yaklaşımla; maliyetlere dayalı bir parçalama kuralı, bir iniş dizisi oluşturma kuralı, bir yığın sezgisel iyileştirme ve bir bağlantı kuralı ile ALS problemine yönelik çözüm sunmuşlardır. Simülasyonlarda çok sayıda uçağa sahip statik örneklerde ALS için maliyete dayalı parçalama kuralının, zamana veya ağırlığa dayalı başka parçalama kurallarından daha iyi performans sağlanmıştır. ALS problemini istenilen şekilde 500 uçağa kadar çözebildiğini, dinamik durumlarda ise yüksek kaliteli çözümler sunulmuştur.

Liu vd. (2022) birleşik sıralama stratejisi altında kalkış ve geliş uçaklarının optimizasyonunu sağlamak, uçuş gecikme sürelerini azaltmak amacıyla tek pistli havaalanlarına, yaklaşma/kalkış çizelgelemesi için akan zaman penceresi algoritması ve çift yapıli kromozom genetik algoritmasını önermişlerdir.

Sun vd. (2021) birden fazla pist için geliş ve kalkış uçuşlarındaki gecikmeleri en aza indirmek ve pist ihlallerini dikkate alarak kuyruk teorine dayalı bir polinom algoritması önermişlerdir. Belirsizliği tanımlamak için bulanık pist ihlal sürelerinden faydalanılmıştır. Pist sayısının çokluğu, kalkış ve geliş trafiklerinde toplam gecikme süresindeki sapmaların aşamalı olarak azaldığı görülmektedir.

Salehipour (2020) tekli ve çoklu pistlerde erken ve geç inişlerin neden olduğu cezaları en aza indirmek amacıyla hedef iniş zamanına yakın bir zamanda uçakların inmesini amaçlayan sezgisel bir model oluşturmuştur. Hedef iniş zamanı, planlanan varış rotası, istenen seyir hızı ve standart temel alınarak hesaplanır. Basit çözüm kalitesi ve çalışma süresi açısından kullanılır bir modeldir.

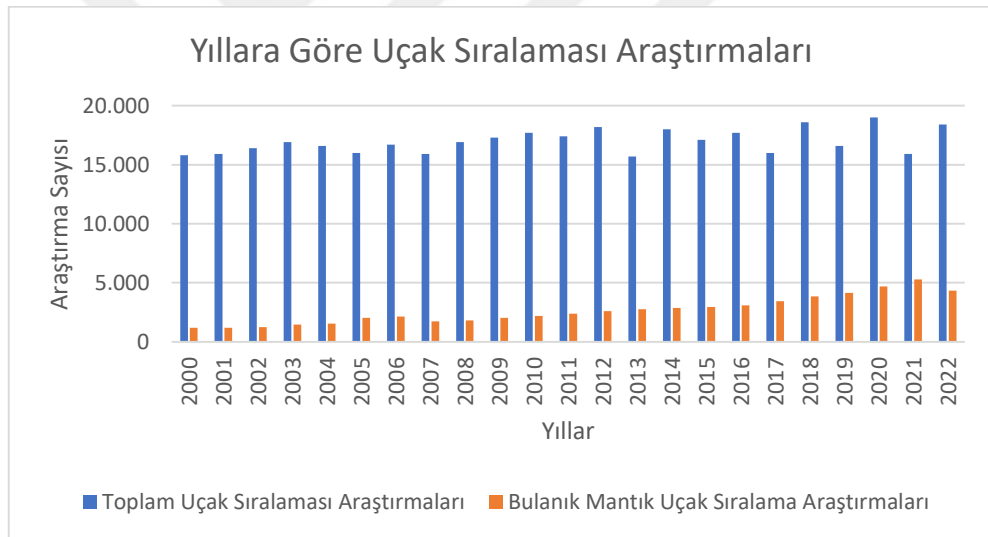
Xu vd. (2022) uçak geliş/kalkış probleminin çözümlenmesi ve havalimanı verimliliğinin iyileştirilmesini sağlamak için Karma Tamsayı Programlama (MIP) modeli oluşturuldu ve klasik İki Aşamalı İniş Öncelikli (TPLP-M) algoritması, Derece 2 Matris Yaklaşımına dayalı Karınca Kolonisi (RMA-AC) ve CPLEX olmak üzere üç yöntem kullanmışlardır. Uçak sayısı 120 veya daha az olduğunda, CPLEX'in pist verimliliğinde yaklaşık %4-11 ve uçak sayısı 120'den fazla olduğunda, RMA-AC'nin pist verimliliği yaklaşık %2-5 oranında iyileştirdiği, RMA-AC'nin TPLM'den daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Pratiwi, Sofwan, Setiawan (2021) akıllı uçak iniş karar sistemleri için bulanık mantığı önermektedir. Bu yöntemde uçak iniş kararlarını etkileyebilecek birçok faktörden rüzgar hızı, rüzgar yönü, görüş mesafesi ve pilot deneyimi ele alınmaktadır. Yapılan bazı kuralları temsil etmesi için AIRNAV Ahmad Yani Airport Semarang'dan alınan 25 adet

veri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır ve sonuçlar uygulanabilir iniş kararı, dikkatli ve mümkün olmayan iniş kararı olarak belirlenmiştir. Bulanık mantığın karar verme konusunda oldukça iyi olduğu belirtilmiştir.

Vijayan vd. (2009) serbest uçuş hava trafik yönetimi ve rota seçimlerinde karar vermeyi kokpit ortamında gerçekleştirmek için önerilmiştir. Çalışma birçok dinamik girdinin ele alınmasıyla yapılan rota optimizasyonuna dayanmaktadır. Sorun, trafik yoğunluğu, yakıt tüketimi, hava şartları, müşteri konforunu ve trafiği optimize etmek gibi birbiriyle çelişen birçok konudan oluşmaktadır. Tip-2 bulanık mantık ve hibrit karınca kolonisi optimizasyonu, problemi çözme ve yol planlamada etkili olmuştur.

Literatürde hava trafiğinin optimizasyonu, uçak performanslarını artırılması veya tavsiye vermeye yönelik bulanık çalışmaları da mevcuttur. Şekil 2.3'te bulanık mantık ve toplam uçak sıralaması yöntemlerine göre araştırmalar gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Yıllara göre uçak sıralama araştırmaları ve bulanık mantık araştırmaları grafiği

2000-2022 yılları arasındaki sıralama yöntemlerine ilişkin çalışmalar google akademik arama motorundan elde edilen yaklaşık değerler üzerinden gösterilmektedir.

Uçak sıralama problem ve uçak sıralama bulanık mantık olarak arama motorunda yıllara göre aranmıştır. Mavi renkli sütunlar uçak sıralaması araştırmalarında kullanılan yöntemleri gösterirken, kırmızı renkli sütunlar bulanık mantık yöntemiyle yapılan uçak sıralamasına yönelik araştırmaları belirtmektedir. 2000 yılında toplam uçak sıralamasına yönelik yapılan araştırmalar yaklaşık 15800 iken 2022 yılında 18400'e çıkmıştır,

araştırmalar 1.16 kat artmıştır. Bu araştırmalar içinde yer alan bulanık mantık uçak sıralaması çalışmaları 2000 yılında 1190 iken 2022 yılında 4330'a çıkmıştır. Grafikte gösterilen kırmızı renkli bulanık mantık uçak sıralaması araştırmalarının yaklaşık 3.6 katına çıktığı görülmektedir. Bulanık mantık yönteminin ilk ortaya çıktığı zamanlarda çok kullanılmamış, 1970'li yılların ikinci yarısından itibaren daha fazla ilgi görmüştür. Aynı şekilde 2000 yılından itibaren uçak sıralama problemi çalışmalarında da yıllar ilerledikçe araştırma sayısının arttığı görülmektedir.

Ursu ve Ursu (2003) kuru, ıslak, buzlu yol koşuluna göre kural tabanına dayanan iniş freni sırasında yaşanan g değişimleri üzerine çalışılmıştır. Tekerlek freninin kitlenmesinin önlenmesi ve sonuç olarak aracın yanal dengesinin korunmasını ve mümkün olduğunca durma mesafesini kısa tutmak için lastik ve yol arasındaki sürtünme katsayılarını güvenli aralıklar içinde bulundurmayı amaçlamışlardır.

Kelly ve Painter (2006) araştırmasında bulanık mantık yöntemiyle pilota tıpkı bir eğitmen pilotun bir ğrenci pilotu izleyip tavsiyede bulunabileceği gibi yardımcı olan yerleşik bilgisayar sistemlerini tasarlamayı amaçlamışlardır. Uçak avyonik sistemi içinde taksi, kalkış, tırmanış, seyir uçuşu, ilk yaklaşma, son yaklaşma ve inişi kapsayan uçuş aşamalarında pilota tavsiye vermesi sağlanmıştır.

Bickraj vd. (2006) alışmalarında insansız hava araçlarının uçağın bileşenlerinde herhangi bir probleme neden olan entegre sistemlerin geliştirilmesi için bulanık mantık yöntemini kullanmışlardır.

Ören ve Koçyiğit (2016) alışmalarında insansız hava araçlarının iniş sıralamasını belirlemek amacıyla bulanık mantık yönteminden yararlanmışlardır. Çalışma görev önceliği, mesafe, hız, irtifa, alçalma oranı, havada kalış süresi adlı parametrelerden oluşmaktadır. Başka araştırmaların aksine iniş için gelen hava araçlarının iniş önceliğini etkileyen organ nakli ve ya askeri keşif gibi koşullar göz önünde tutulmuş ve parametreler arasında yer almıştır. Yine bir etken parametre olarak havada kalış süresi göz önünde bulundurulmuştur.

Bakare (2008) hava trafik kontrolörlerinin trafiği yönlendirmek ve gerekli talimatları verirken kullandığı strip adı verilen şeritlerin st metin işlemci tabanlı bir model kullanmıştır. Hava trafik kontrol karar destek sistemi oluşturmak için hız, mesafe, rota, hava durumu, hava aracı türlerinden oluşan bulanık mantık yöntemi hava trafik kontrol sistemi geliştirmiştir. Amacı hava trafik kontrolörünün performansını arttırmak ve uçak kaza oranını azalmak amacıyla tasarlanmıştır.

Çelikkbilek (2018) uçak çizelgeleme problemi, uçakların sıralaması, planlı iniş süreleri, hedef iniş süreleri, uçağın planlı iniş zamanı ile hedef iniş zamanı, ceza maliyeti gibi faktörler ele alınarak, bulanık mantık ve genetik algoritma ile sonuçlar elde etmişlerdir. Literatürde yer alan diğer çalışmalarla rekabet edebilir değerde sonuçlar elde etmişlerdir.

Proud (2020) uçakların uçuş aşamalarındaki yer hızı, tırmanma hızı ve irtifasının bulanık mantık yöntemi ile kategorizasyonunda bulanık mantık yöntemi kullanmıştır. Pas geçme olaylarını otomatik olarak tespit etmek için yeni bir yöntem bulmuştur.

Nowak vd. (2022) özel bir test teçhizatı kullanılarak test edilen görüş sistemi ve otomatik iniş sisteminde algoritmalar uygulanmış ve testler sırasında, Hassas Yaklaşma Hattı Göstergesi (PAPI) ışıklarıyla desteklenen, geliştirilen kontrol algoritmaları ile kontrol edilen bir uçak, son yaklaşma, parlama aşaması ve piste konmayı başarıyla gerçekleştirmiştir. Çalışmada uzman bilgisi ve pilot davranışlarını taklit eden bulanık sistem kullanılmıştır.

Huang vd. (2017) mikro hava araçlarının iniş platformunu takip etmesi için alttaki kamerayı etkinleştirerek, iniş sırasında yaklaşma hattını hizalamak için çok seviyeli bulanık denetleyiciyle tasarlanmış görsel otomasyonu kullanmışlardır. Görsel otomasyon ile hareketli iniş sahasına yaklaşma ve inişi gerçekleştirmişlerdir.

Leelavathy ve Kowsalya (2019) bulanık sıralama problemi için yeni bulanık aritmetik işlem ve sıralama yöntemi kullanılarak, bulanık toplam geçen süreyi elde etmeye yönelik bir algoritma geliştirmişlerdir. Mevcut metodolojiden daha verimli sonuç elde etmişlerdir.

Ntakolia ve Lyridis (2022) Yörünge tabanlı operasyonlar gibi gelecekteki Hava Trafik Akış Yönetiminin (ATFM) yeni vizyonu ile uyumlu 4B yörüngelere ve serbest uçuşa dayalı karma tamsayılı doğrusal olmayan model önermektedir. Hava ve yerde ki beklemeden kaynaklı gecikmeleri, rota ve hız değişikliklerinin neden olduğu maliyetleri azaltmayı amaçlamaktadır.

3. BULANIK MANTIK

Bu çalışmada Bulanık Mantık yöntemi ile geliş trafiklerinin sıralanması amaçlanmıştır. Çalışmanın daha iyi anlaşılması bakımından öncelikle bulanık mantığın ne zaman, nasıl ve ne için ortaya çıktığının anlaşılmasında fayda vardır. Bu sebeple bulanık mantığa genel bir bakış açısıyla değinilmektedir.

Bulanık kümeler ile ilgili ilk fikir, 1965 yılında ortaya atılmıştır. Berkeley Üniversitesi öğretim üyesi Azerbaycanlı Prof. Dr. Lotfi A. Zadeh'in Information and Control dergisinde yayımlanan Bulanık Kümeler (Fuzzy Sets) makalesinde ilk defa yer almıştır. 1970'li yılların ikinci yarısında daha çok kullanılmaya başlanmış ve giderek kullanımı hızlanmıştır. Kullanım alanları içinde karar destek sistemlerinde, havacılık ve uzay araştırmalarında, teknolojik aletlerde, yapay zekâ yazılımlarında yaygın olarak yer almaktadır. 1980'li yıllarda çamaşır makinesi, metro, elektrik süpürgesi gibi cihazlarda/araçlarda kullanımı artmıştır.

Bulanık mantık insanların düşünce ve davranışlarını esas alan ve bunları matematiksel fonksiyonlara çevirerek işlem yapan bir yöntemdir. Günlük hayatımızda sorulara verilen cevaplar her zaman net değildir, örneğin bir sıcaklığı ifade etmek kişiden kişiye değişmektedir. 23 derece olan bir sıcaklık birisi için sıcak gelirken, başka birisi için soğuk, diğer birisi içinde ılık olabilmektedir. Aristo mantığında ise sıcaklık ya sıcaktır ya da soğuktur, bir öge ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Klasik küme içinde üyelik var-yok, 0-1 veya evet-hayır gibi net ifadeden oluşmaktadır. Matematiksel olarak ifade edildiğinde bir öge, küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanı olduğunda 1, kümenin elemanı olmadığı zaman 0 değerini almaktadır. Oysa bulanık mantık kesin ifadeler arasında sözel ifadelerin sayısal değerlerini bulmayı hedeflemektedir.

Bulanık mantığın kullanılmasında insan düşünce sistemine ve tarzına yakın olması yatmaktadır ve insanların kullandığı sözel ifadelere göre oluşturulmaktadır. Diğer modelleme yöntemlerine göre daha esnek ve klasik mantıkta ki gibi kesin olmayan bilgileri de içermektedir. Alanında uzman kişiler tarafından bir model oluşturulduğunda doğruluğa çok yakın sonuçların elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir (Kıyak, 2003). Bu yöntemin anlaşılması bakımından sistemsal işleyişin açıklanması gerekmektedir ve bulanık mantık sisteminin işleyişine ilişkin şema Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. *Bulanık mantık sisteminin ögeleri*

Bulanık Sistem; bulanık kontrol sistem modeli bilgi tabanı altında, veri ve kural tabanı, giriş, bulanıklaştırma, çıkarım, durulaştırma ve çıkış işleminden oluşmaktadır (Kıyak, 2003).

Makineler, ikili sistem 0 veya 1 gibi net verileri işleyebilir, oysa bulanık mantık sistemi yüksek, düşük gibi belirsiz dil değerlerini bulanık bileşenler ile birlikte işleyerek net verilere dönüştürebilir. Bu işlemin ilk adımı bulanıklaştırma işlemi ile başlamaktadır.

Bulanıklaştırma işleminden sonra, sistemin çıktı üretmesi için, Üyelik Fonksiyonları (MF) kural tabanından elde ettiği kurallarla birleşen bulanık çıkarım sistemi (FIS) başlar. FIS içinde kural oluşturma insana özgü çıkarım ve sezgilerine benzemektedir. Genellikle alanında uzman kişilerin bilgi ve deneyimlerinden görüş alınmaktadır. Çıkarım elde edebilmek için Tsukamoto ve Mamdani gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

Üçüncü adım olarak durulaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir, bu işlem elde edilen çıktının net sayısal bir değere dönüştürülmesi için gerçekleştirilir. Bu dönüştürme sırasında çoğunlukla maksimum ortalama veya ağırlık merkezi gibi yöntemler uygulanmaktadır.

İlk girdi ve son çıktı mutlaka net değişkenler olmalıdır; ancak geçiş aşaması, çıktıları türetmek için dilsel değişkenlerin kullanıldığı bulanık bir çıkarım sürecidir. Kesin veya keskin bir değişkeni bulanık bir değişkene dönüştürme gereği, bulanık sistem sürecinden yararlanarak, insan çıkarım ve sezgisiyle, kesin olmayan değerlerin netliğini sağlamaktır. Bulanık sistem modellemesi, gerçek çalışan bir sistemde sonuçlar elde etmek için kullanılan net-bulanık-net dönüşüm zincirinden oluşmaktadır (Tiryaki, Kazan, 2007; Kambalimath ve Deka, 2020).

Literatürde genellikle insansız hava araçlarının sıralaması veya rotalar üzerindeki engellerle, hava araçlarıyla çarpışmalarını önlemeye yönelik bulanık modelleme yöntemleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bulanık mantıkta kullanılan üyelik fonksiyonları, çıkarım yöntemi ve durulaştırma işlemleri MATLAB programı ile modelleme çalışılmıştır.

3.1. Bulanık Küme

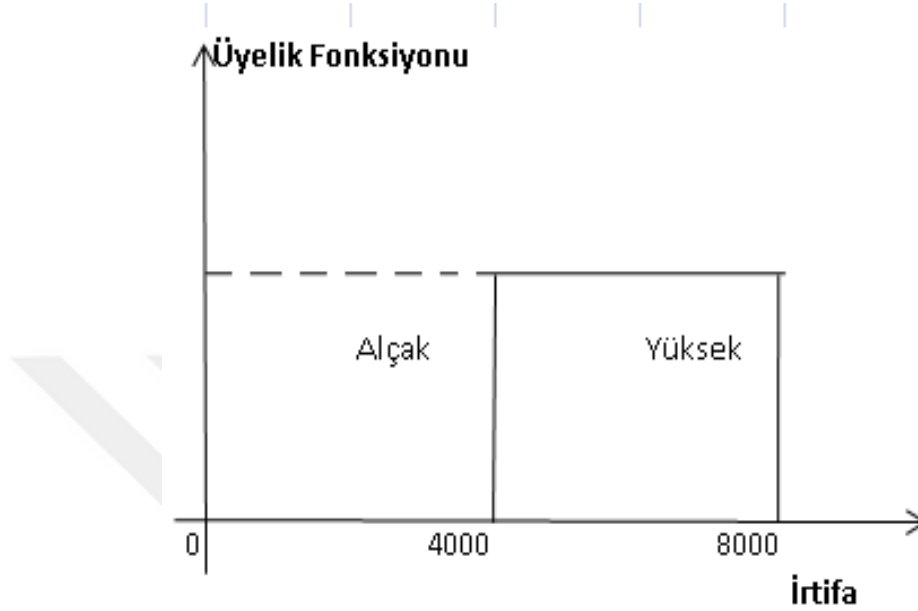
Bir bulanık küme, üyeliğin sürekli olduğu bir matematiksel nesneler sınıfıdır. Klasik küme teorisinin aksine, üyelik sonlu negatif olmayan bir aralıktaki değişen üyelik derecesine bir öge atayan üyelik fonksiyonu ile temsil edilir. Geleneksel biçimsel mantıkta, bir önerme doğru ya da yanlıştır ve ikisinin arası yoktur. Bu kesinlik, modelin modellemeyi amaçladığı gerçek sistemi tam olarak temsil edebileceğini varsayarak, modelin kesin olduğunu ifade eder. Ancak gerçek dünya, bu varsayımların tamamen doğru olamadığıyla ilgili kanıtlar sunmaktadır (Kim, 2019).

Bulanık küme belirli düşüncelerden oluşan çoklu yapıyı ifade eden alt kümelerden oluşmaktadır. Örneğin uçağın bulunduğu irtifa kümesi için çok yüksek, yüksek, orta, alçak, çok alçak gibi ifadeler irtifa kümesi için alt kümeleri oluşturmaktadır. Oysa klasik kümede uçağın bulunduğu irtifa ya yüksektir ya da alçaktır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de bulanık küme ve klasik küme gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Bulanık küme

Şekil 3.2’de bulanık küme içinde 0-4000 ft arası çok alçak, 3000-5000 ft arası alçak, 4000-6000 ft arası orta, 5000-7000 ft arası yüksek, 6000-8000 ft arası çok yüksek irtifa olarak belirtilmekte ve geçişli olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Klasik küme

Şekil 3.3’te klasik küme içinde 4000 ft ve altı alçak, 4000 ft’in üstü yüksek olarak belirtilmekte ve sınırları keskin ayrımlı olarak gösterilmektedir. .

Bulanık mantıkta; küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren grafiğe üyelik fonksiyonu adı verilmektedir. Bu grafiğin x ekseni üye değerlerini, y ekseni ise üyelik derecelerini belirtmektedir.

X elemanının A bulanık kümesine üyeliği

$$\mu_A(x) \in [0,1] \quad (3.1)$$

A bulanık kümesi ayrık X uzayının sonlu sayıda x elemanından ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) oluşuyor ise $\frac{\mu_A(x_1)}{x_1}$; A kümesi eşitlik 3.2’de ki gibi gösterilir.

$$A = \{\mu_A(x)/x\} = \{\mu_A(x_1)/x_1\} + \{\mu_A(x_2)/x_2\} + \dots + \{\mu_A(x_n)/x_n\} \quad (3.2)$$

A bulanık kümesi sürekli X uzayının sonsuz sayıda x elemanından oluşuyor ise denklem 3.3’deki gibi gösterilebilir.

$$A = \int \{\mu_A(x_i)/x_i\} \quad (3.3)$$

3.1.1. Bulanık kümelerde işlemler

Bulanık kümeler teorisinde sık kullanılan temel üç işlem aşağıda sıralanmıştır.

Birleşim işlemi:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (3.4)$$

Kesişim işlemi:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (3.5)$$

Tümleyici işlem:

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.6)$$

(Tiryaki ve Kazan, 2007).

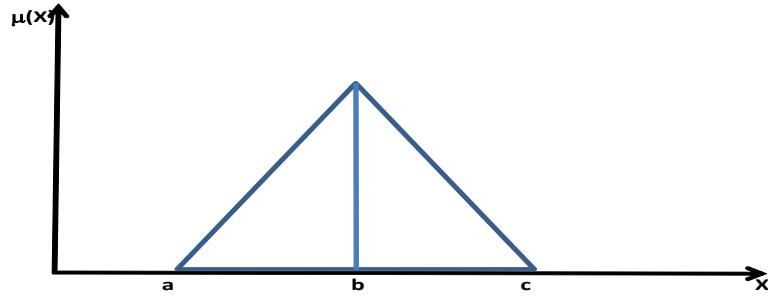
3.2. Üyelik Fonksiyonu

Bulanık mantıkta kümeler üyelik fonksiyonları ile gösterilmektedir. Bu üyelik fonksiyonları her parametrenin bir kümedeki ağırlık derecesini vermektedir. Bu ağırlık derecesi 1'den 0'a kadar olan aralıkta, tam üye olma veya üye olmama arasında değişmektedir. Üyelik dereceleri 1'e eşit olan öğelerin toplandığı alt küme, o alt kümenin çekirdeği denir. Burada $\mu(x)=1$ 'dir. Bunun dışında bir kümenin tüm öğelerini içeren aralığa o kümenin dayanağı denmektedir. Dayanakta bulunan her öğenin (0 ile 1 arasında) üyelik dereceleri vardır. Bunun matematiksel ifadesi $0 < \mu(x) < 1$ şeklindedir. Üyelik dereceleri 1'e veya 0'a eşit olmayan öğelerin oluşturduğu kısımlara üyelik fonksiyonunun sınırları olarak ifade edilir (Ross, 2004).

En sık kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, genelleştirilmiş çan eğrisi ve Gauss'tur. Bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

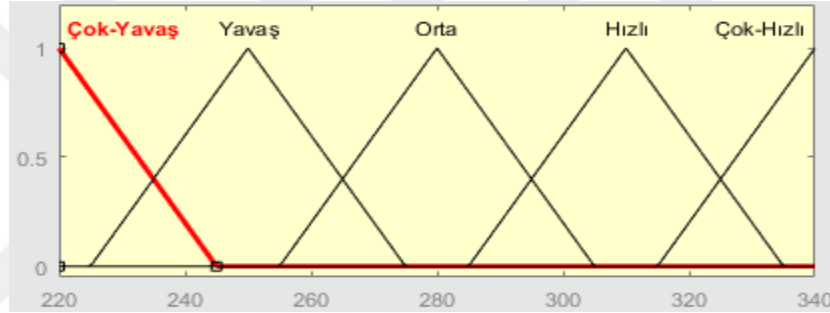
3.2.1. Üçgen üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu üç parametre ile açıklanabilir, a sol yan nokta, b merkez nokta, c sağ yan nokta, üçgen üyelik fonksiyonuna ait grafik şekil 3.4 ve denklem 3.7'de gösterilmektedir. Şekil 3.4'te çalışmaya ilişkin üçgen üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Üçgen üyelik fonksiyonu

$$\mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \text{ veya } x < a \end{cases} \quad (3.7)$$

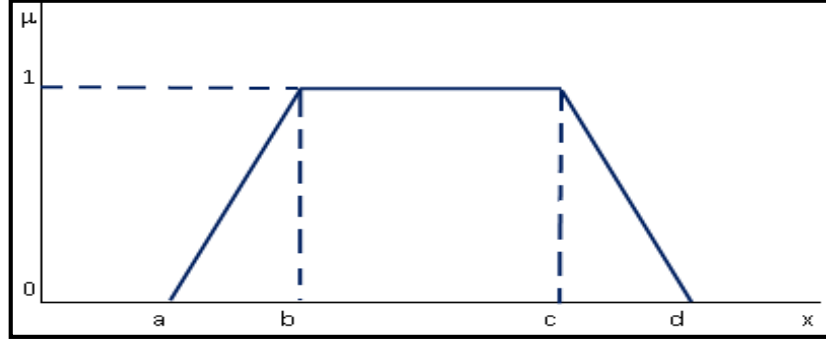


Şekil 3.5. Uçak hızı üçgen üyelik fonksiyonu

Şekil 3.5’te uçak hızına ilişkin x ekseninde 220 kt ile 340 kt arasındaki hız parametreleri, y ekseninde ise 0-1 arasındaki üyelik derecesi yer almaktadır. Hızlar 220-245 kt çok yavaş, 225-275 kt yavaş, 255-305 kt orta, 285-335 kt hızlı, 315-340 kt arası çok hızlı olarak gösterilmektedir.

3.2.2. Yamuk üyelik fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu dört parametre a, b, c ve d ile tanımlanmaktadır, b ile c arasındaki mesafe, ögenin alabileceği en yüksek üyelik değerini temsil eder. Ve eğer x, (a, b) veya (c, d) arasındaysa, o zaman 0 ile 1 arasında bir üyelik değerine sahip olacaktır. Şekil 3.6’da yamuk üyelik fonksiyonu ve bu üyelik fonksiyonuna ait denklem 3.8 ve 3.9’da gösterilmektedir.



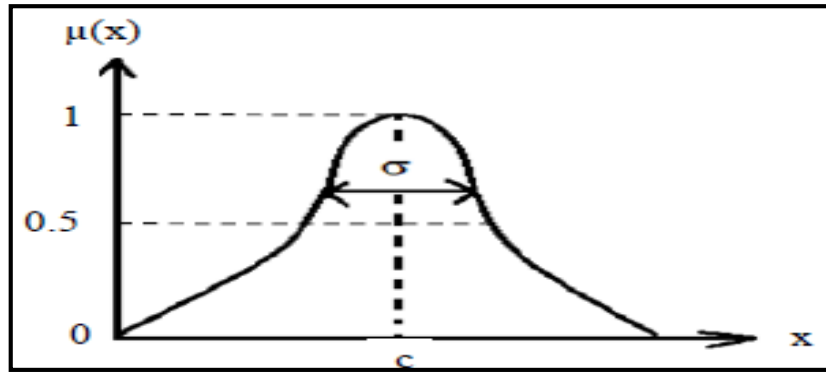
Şekil 3.6. Yamuk üyelik fonksiyonu

$$\text{Yamuk } \mu(x) = (x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ x - a / b - a & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ d - x / d - c & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\mu(x) = \text{Max}(\min(x - a / b - a, 1, d - x / d - c), 0) \quad (3.9)$$

3.2.3. Gauss üyelik fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonu, σ iki parametreden oluşmaktadır, fonksiyon Şekil 3.7 ve denklem 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Gauss üyelik fonksiyonu

$$\text{Gauss } \mu(x) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.10)$$

Bu fonksiyonda c, gauss eğrisinin ortalamasını, merkezini ve σ , eğrinin dağılımını temsil etmektedir. Bu, veri dağılımını temsil etmek için doğal bir yoldur, fakat

matematiksel olarak karmaşıklığı sebebiyle bulanıklaştırma yöntemleri içinde çoğunlukla kullanılmamaktadır.

3.3. Bulanıklaştırma

Dış dünyadan bilgisayara ölçüm yoluyla alınan ve kesin bir nümerik (sayısal) değere sahip olan veri girişi, bilgi tabanındaki üyelik fonksiyonları tarafından sözel ifadeler ve giriş verisinin bu ifadeyi ne oranda desteklediğini gösteren üyelik derecelerine dönüştürme aşamasına bulanıklaştırma adı verilir. Bulanıklaştırma sonunda elde edilen sözel ifadeler, insanların karar verme sürecinde olduğu gibi, kural tabanındaki önermelerle karşılaştırılır ve yine sözel yargı sonuçlarına varılır, bu sonuçların hangi oranda geçerli olduğunu yine girişteki üyelik dereceleri belirlemektedir (Kim,2019).

Bulanıklaştırma işlemleri gerçekleştirilirken veri tabanındaki nitelikler kullanılarak, üyelik fonksiyonlarının bu nitelikler ile tanımlanması gerekmektedir. Şekil 3.5'te belirtilen çok yavaş, yavaş, orta, hızlı, çok hızlı gibi nitelikler bulanıklaştırma işleminde kullanılan sözel ifadelerdir.

3.4. Bulanık Veri Tabanı ve Kural Tabanı

Veri tabanı bulanık sisteme ait üyelik fonksiyonlarının bulunduğu yerdir. Buradan elde edilen girişleri, çıkış değişkenlerine dönüştüren, eğer-ise-o halde türünde yazılabilen kuralların tümü bilgi tabanı içinde yer almaktadır. Böylece her bir kural girdi uzayının bir parçasını, çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamaların tümü kural tabanını oluşturur.

Örneğin yaklaşma için gelen bir uçağın hız, mesafe ve irtifasına göre kural tabanı aşağıdaki gibi oluşturulabilmektedir;

Eğer uçak hızlı ve mesafe orta ve irtifa çok alçak ise puanı çok çok yüksektir.

Eğer uçak hızı yavaş ve mesafe çok yakın ve irtifa yüksek ise puanı yüksektir.

Eğer uçak hızı hızlı ve mesafe çok uzak ve irtifa çok alçak ise puanı ortadır.

Kural tabanı oluşturulduktan sonra çıkarım işlemi uygulanmaktadır.

3.5. Çıkarım İşlemi

Bir bulanık mantık modelinin oluşturulmasında ilk olarak girdi parametreleri için üyelik fonksiyonları belirlenerek bulanıklaştırma işlemi yapılmaktadır. Daha sonra

probleme uygun kural tabanı oluşturulduktan sonra, seçilen çıkarım yöntemi kullanılarak bulanık sonuçlar elde edilir.

Bu çıkarım yöntemlerinden en çok Mamdani ve Sugeno çıkarım yöntemleri kullanılmaktadır. 1975 yılında Mamdani tarafından geliştirilen Mamdani çıkarım yöntemi, insan algısına uygun, modellenmesi ve yorumlanması kolaydır. 1985 yılında Takagi ve Sugeno tarafından geliştirilen Sugeno çıkarım sistemi ise özellikle matematiksel analiz ve hesaplamalarda daha uygun sayısal sonuçlar vermektedir (Ross, 2004).

Mamdani bulanık çıkarım yöntemi kolay bir şekilde oluşturulmakta ve insan davranışlarına daha yakın olması sebebiyle literatürde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada araştırmacının aktif çalışma koşullarında hava trafik kontrolörü olarak çalışmasından dolayı, bilgi ve tecrübesine dayanarak bulanık mantık modellemesi oluşturulmuş ve bu modellemede mamdani çıkarım yöntemi uygulanmıştır.

3.5.1. Mamdani çıkarım yöntemi

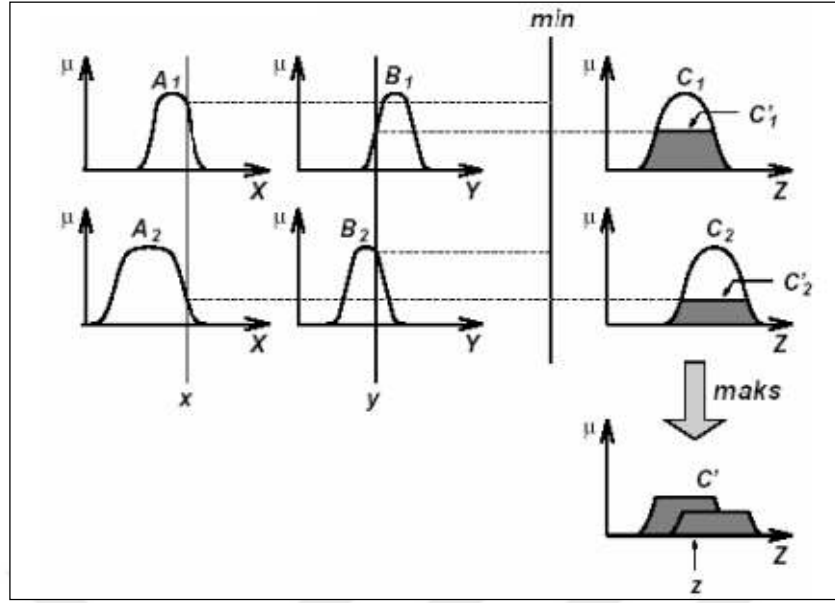
İnsan sezgisi ve davranışlarını modellemeye uygun olmasından dolayı, Mamdani çıkarım modelinin oluşturulması kolay ve kullanım alanları oldukça yaygındır.

Şekil 3.6'da x ve y gibi sayısal iki değişkeni içeren iki kurallı bir Mamdani tipi bulanık modelde z çıkış değerinin c_i bulanık küme fonksiyonlarından nasıl hesaplandığı gösterilmektedir (Ünsal ve Alışkan, 2016; Karataş, 2020).

Dilsel değişkenler (x , y ve z) arasındaki bağlantı genelleştirilmiş bulanık bağlantıya bağlı olarak max ve min operatörlerinden yararlanarak tanımlanmaktadır. Kuralların şart (If) bölümünde min operatörü kullanılarak, iki kurallı bir araya getirmeye yönelik max operatörü kullanılmaktadır. Şekil 3.8'da Mamdani çıkarım yöntemi gösterilmektedir.

Kural 1: Eğer $x = A1$ ve $y = B1$ İse $z = C1$

Kural 2: Eğer $x = A2$ ve $y = B2$ İse $z = C2$



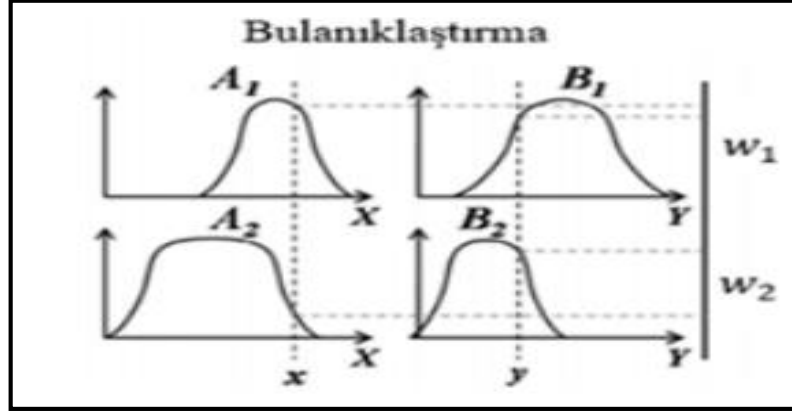
Şekil 3.8. Mamdani çıkarım yöntemi.

Sonuç kümesi bulanık kümelerde birleşim işlemi esasına göre oluşturulmaktadır. Geliş trafıklarının sıralanmasına yönelik yapılan bulanık mantık çalışmasında Mamdani çıkarım yöntemi kural içinde geçen olgular ‘ve’ ile bağlı olduğu için min operatörüyle çalışılmıştır. Eğer kural içinde geçen olgular ‘veya’ ile bağlı olsaydı max operatörüyle işlem yapılacaktı (Yılmaz ve Arslan, 2005).

3.5.2. Sugeno çıkarım yöntemi

Sugeno çıkarımı genellikle kontrol amaçlı problemlerde oldukça istenilen çıkarım yöntemidir.

Sugeno ve Mamdani arasındaki ayrılık; Mamdani çıkarımından elde edilen değerler bulanık olurken, Sugeno çıkarımından elde edilen çıkış değeri bir fonksiyon şeklinde olmaktadır. Bu yüzden Sugeno çıkarımında durulaştırma işlemleri, genellikle ortalama hesaplamak kadar basit işlemlerdir. Doğrusal olmayan sistemlerin kontrol altına alınmasında lineer yöntemler kullanılabilir. Şekil 3.9’da Sugeno çıkarım yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Takagi Sugeno çıkarım yöntemi

Kural 1: Eğer x , A_1 ve y , B_1 , ise z , $f_1(x,y) = a_1x+b_1y+c_1$

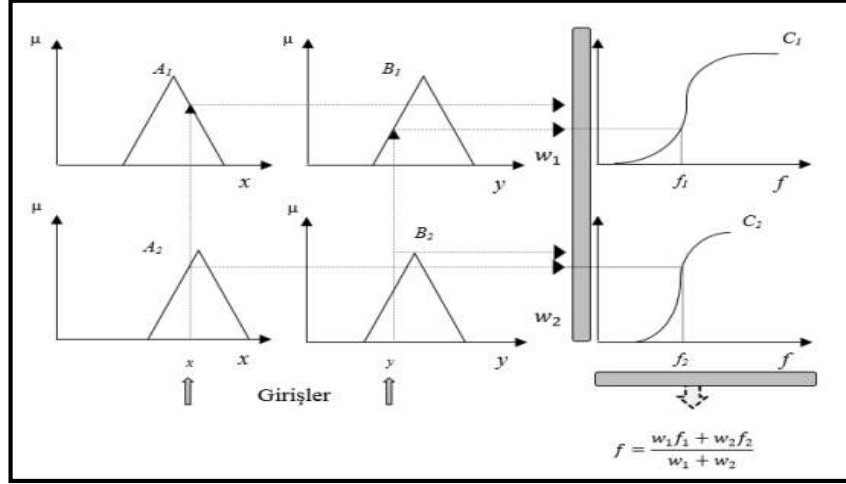
Kural 2: Eğer x , A_2 ve y , B_2 , ise z , $f_2(x,y) = a_2x+b_2y+c_2$

$$f = \frac{w_1f_1 + w_2f_2}{w_1 + w_2} \quad (3.11)$$

Şekil 3.9’da ve kurallarda belirtilen x ve y girdi değerlerini, A ve B ise x ve y girdileri için bulanık kümeleri ifade etmektedir. f kurallar, a , b ve c katsayı (en küçük kareler metodu ile elde edilebilir) ve w ise üyelik derecesini ifade etmektedir. Durulaştırma aşamasında genellikle ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılarak sonuç elde edilmektedir (Arslan, 2019; Yıldırım vd., 2021).

3.5.3. Tsukomato çıkarım yöntemi

Tsukomato çıkarım yönteminde sonuç, üyelik fonksiyonunda tek yönlü artan bir fonksiyon olarak seçilir. Bu çıkarım yöntemi, biraz Takagi-sugeno-kang çıkarım yöntemine benzemektedir. Elde edilen çıktı, her kuralın sonucuna ağırlık ortalaması işlemi uygulanarak bulunmaktadır. Şekil 3.10’da Tsukomato çıkarım yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Tsukomato çıkarım yöntemi

Monoton fonksiyon

$\forall x_1, x_2 \in A$ için;

$x_1 < x_2$ için $f(x_1) < f(x_2)$ Artan fonksiyon

$x_1 < x_2$ için $f(x_1) \leq f(x_2)$ Azalmayan fonksiyon

$x_1 < x_2$ için $f(x_1) > f(x_2)$ Azalan fonksiyon

$x_1 < x_2$ için $f(x_1) \geq f(x_2)$

Artmayan fonksiyon şartlarından herhangi birini yerine getiren fonksiyona denilir (Çelik, 2012; Arslan, 2019).

3.6. Durulaştırma

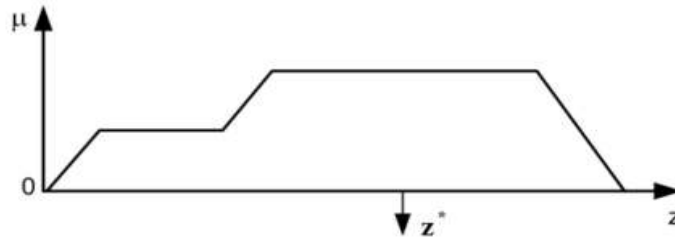
Çıkarım süreci sonucunda elde edilen sonuçlar dilsel ifadeler içeren bulanık bir kümedir. Bu küme sisteminin gereken sayısal verilere dönüştürülmesi için durulaştırma işlemine gerek duyulmaktadır (Yıldırım vd., 2021).

Durulaştırma için Ağırlık merkezi (sentroid) yöntemi, En büyük üyelik (maksimum) yöntemi, Ağırlık ortalaması yöntemi, Mean-Max üyelik yöntemi, En büyüklerin en küçüğü yöntemi, En büyüklerin en büyüğü yöntemi en çok kullanılan yöntemler arasındadır.

Bu çalışmada mamdani çıkarım yöntemi ve durulaştırma işleminde yaygın olarak kullanılan ağırlık merkezi yöntemi uygulanmıştır.

3.6.1. Ağırlık merkezi yöntemi

Bu yöntemde çıkarım işleminin sonucunda elde edilen alanların ağırlık merkezi bulunur ve durulaştırma işlemi ile kesin bir değer olarak hesaplanır. Ağırlık merkezi yönteminde, bulanık sayıların klasik sayılara dönüştürülmesinde integral işlemi uygulanmaktadır. Eşitlik 3.8’de ağırlık merkezi yönteminin formülasyonu gösterilmektedir ve şekil 3.11’da alanın ağırlık merkezi yöntemi için verilen grafik görülmektedir.



Şekil 3.11. Ağırlık merkezi

$$z^* = \frac{\int \mu_z z dz}{\int \mu_z dz} \quad (3.8)$$

(Karasakal, 2012).

Bu bölümde çalışmada kullanılan bulanık mantık yöntemlerine değinilmiştir, bundan sonraki bölümde ise çalışmada alınan kabuller ve bu doğrultuda yapılan modellemelerden bahsedilecektir.

3.6.2. En büyük üyelik (maksimum) yöntemi

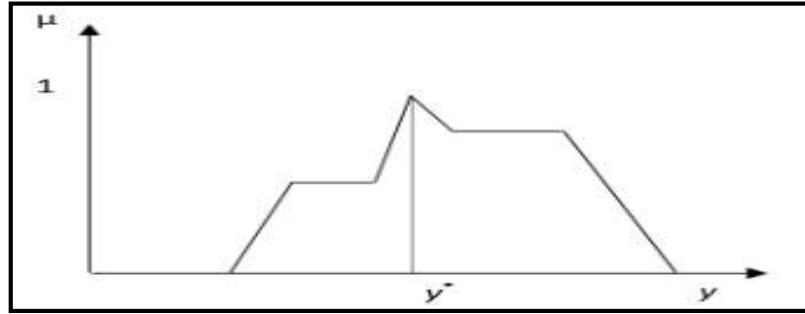
Bu yöntemin diğer adı yükseklik yöntemidir. Üyelik derecelerinin içindeki en büyük değerdir. Yöntem kullanılmak istenirse çıkarım biriminde oluşturulan bulanık kümenin tepe noktası olması gerekir. Yöntemin gösterimi şekil 3.12 ve eşitliği denklem 3.9’da verilmiştir.

$$\mu_B(y^*) \geq \mu_B(y_i) \quad \forall y \in B \quad (3.9)$$

B: Larsen ve Mamdani çıkarım yöntemlerinin bulanık birleşim kümesidir.

y^* : küme içerisinde en büyük değere sahip eleman ve aynı zamanda durulaştırılmış değerdir.

y_i : bulanık birleşim kümesinin ikinci elemanıdır.

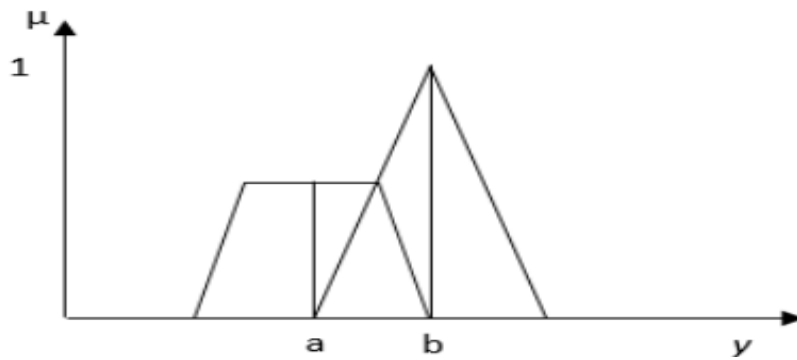


Şekil 3.12. En büyük üyelik durulaştırma yöntemi

3.6.3. Ağırlık ortalaması yöntemi

Ağırlık ortalaması yönteminde giriş değerlerinden hesaplanan tüm bulanık değerler ile üyelik değeri kullanılarak durulaştırma işlemi yapılmaktadır. Bu yöntem simetrik bir üyelik işleviyle ifade edildiği durumlarda kullanılmaktadır. Denklem 3.10.'da formülü ve Şekil 3.13.'de görüntüsü verilmiştir (Yalçın, 2014; Yaman, 2014).

$$y^* = \frac{a \cdot \mu(a) + b \cdot \mu(b)}{\mu(a) + \mu(b)} \quad (3.10)$$



Şekil 3.13. Ağırlık ortalaması yöntemi

4. GELİŞ TRAFİKLERİNİN SIRALAMA MODELİ

Çalışmada, bulanık mantık modellemesinde yapılan kabuller aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- TMA'ya giriş yapan hava araçlarının hepsi mevcut geliş rotalarını takip ederek, noktadan noktaya seyrüseferi gerçekleştirmektedir.
- Meteorolojik şartlar (rüzgâr vb.) göz önüne alınmamıştır.
- Trafikler arasında uzunlamasına ayırma kullanılmamıştır.
- Hız kısıtlaması uygulanmamıştır.
- Trafiklerin sıralanmasında herhangi bir gecikme yöntemi (bekleme, vektör vb.) kullanılmamıştır.
- Modelde yer hızı (ground speed) kullanılmıştır.
- Trafiklerin TMA'da ki irtifa aralığı 4000 ft-10000ft tir.
- TMA'ya giren trafikler son yaklaşma rotası 23 Nm mesafedeki İmren rapor noktasına istinaden iniş sıralamasını tamamlayacaktır ve belirlenen iniş sırasına göre ineceği kabul edilmiştir.

4.1. Geliş Trafiklerinin Sıralama Modellemesi

Hava trafiğinin artması sebebiyle TMA içerisinde iniş için gelen trafiklerin kontrol kulesine devri ve kalkış yapan trafiklerin yol safhasına geçişine kadar olan sürede, TMA'da hava trafiğinin kontrolünden sorumlu hava trafik kontrolörlerinin iş yükü artmaktadır. TMA içinde yer alan trafiklerin sıralaması veya birbirleriyle çarpışma risklerini ve kontrolör iş yükünü azaltmaya yönelik birçok modelleme çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada da geliş trafiklerinin sıralamasını yapma konusunda hava trafik kontrolörlerine referans olması açısından bulanık mantık yaklaşımı ile bir model geliştirilmiştir. Trafiklerin TMA'ya girişinden itibaren son yaklaşma 23 Nm mesafeye kadar olan aralıkta hız, mesafe ve irtifa parametreleri temel alınarak, bulanık mantık yöntemiyle sıralama modellemesi oluşturulmuştur. Şekil 4.1'de çalışmada kullanılan TMA, TMA içerisindeki rapor noktaları ve rapor noktaları arasındaki mesafeler verilmektedir.



Şekil 4.1. Gerçek zamanlı simülâtörde TMA rapor noktaları

Tablo 4.1. TMA rapor noktaları mesafeleri

Rapor Noktaları	Mesafe	Rapor Noktaları	Mesafe
YAA-SADIK	24 Nm	BIG-DENİZ	44 Nm
SADIK-IMREN	20 Nm	EKI-DENİZ	30,3 Nm
ADELİ-IST	31 Nm	DENİZ-IMREN	16 Nm
IST-IMREN	23 Nm	IMREN-RWY	20 Nm

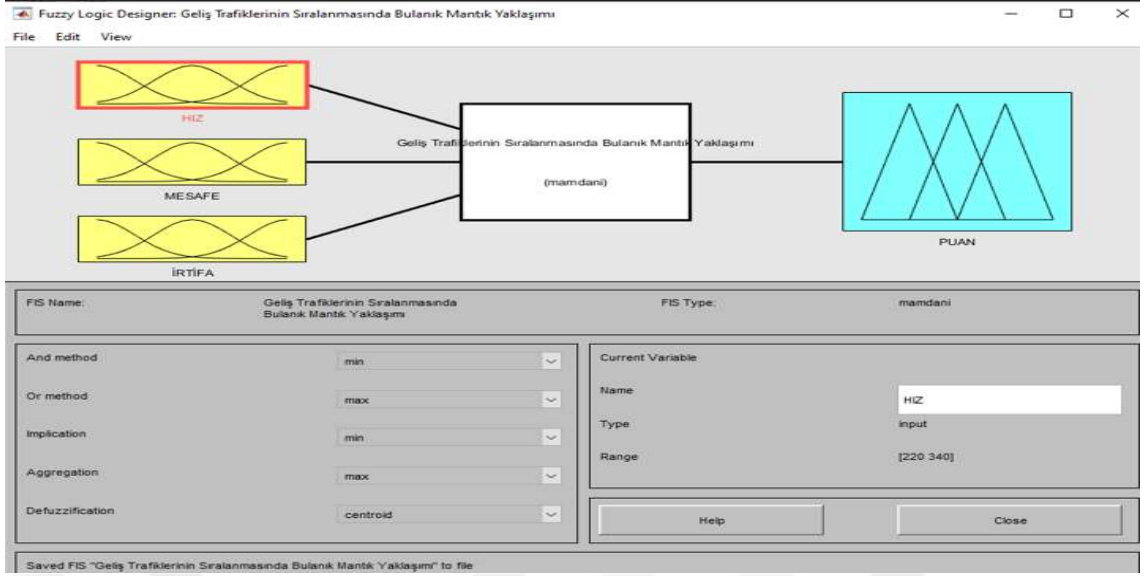
Geliştirilen bulanık mantık modeli, Gerçek Zamanlı Simülâtör (RTS)’de daha önceden çalışılan senaryo ile sıralama açısından karşılaştırılacaktır. Şekil 4.2’de RTS pilot pozisyonundaki geliş uçaklarının görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.2. Gerçek zamanlı simülasyon pilot ekranı

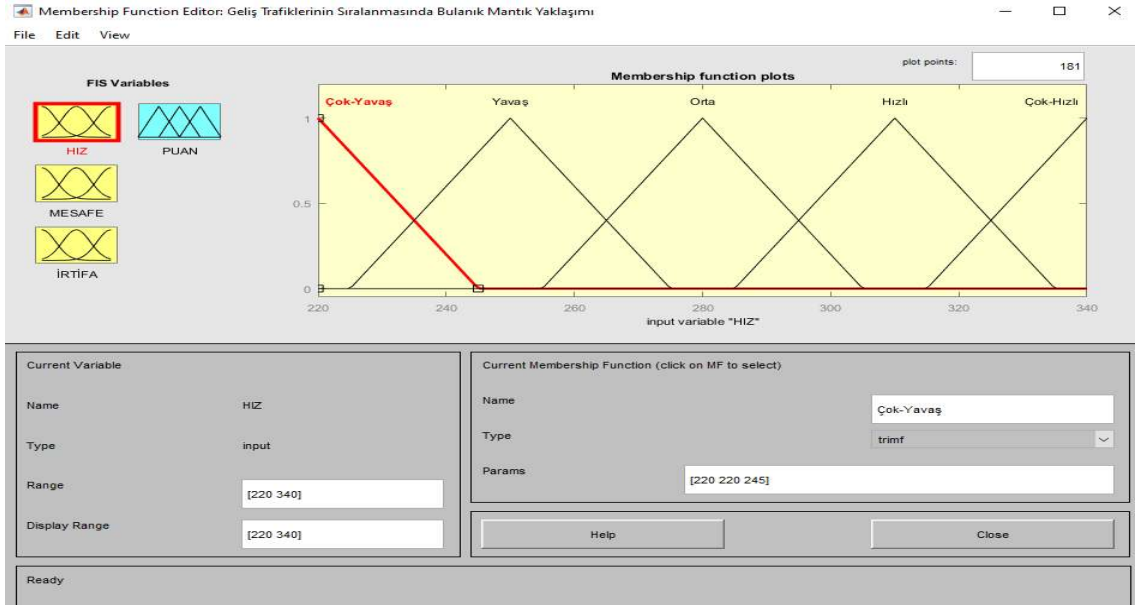
Bulanık mantık yöntemi, MATLAB programı FIS (Bulanık Çıkarım Sistemi) arayüzü üzerinden uygulanmıştır. Uçaklara ait veri girişinin araç çubuklarına girişi yapılarak, daha hızlı sonuç almasını sağlayan MATLAB/GUI arayüzü kullanılmıştır. Grafikselsel Kullanıcı Arayüzü (GUI) kullanıcıya etkileşim sağlamakla birlikte bir işin veya bir programın çalışmasına olanak tanıyan grafikselsel bir program arayüzüdür.

Bulanıklaştırma arayüzünde üyelik fonksiyonu seçiminde uçuş profilini etkileyen üç giriş ve bir çıkış ve de bunlara ait sayısal değerler, üçgen üyelik fonksiyonları için kullanılmıştır. Çıkarım motorunda Mamdani yöntemi seçilmiş ve durulaştırma işlemi ise Ağırlık Merkezi Yöntemi kullanılmıştır. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de MATLAB ekran görüntüleri gösterilmektedir.



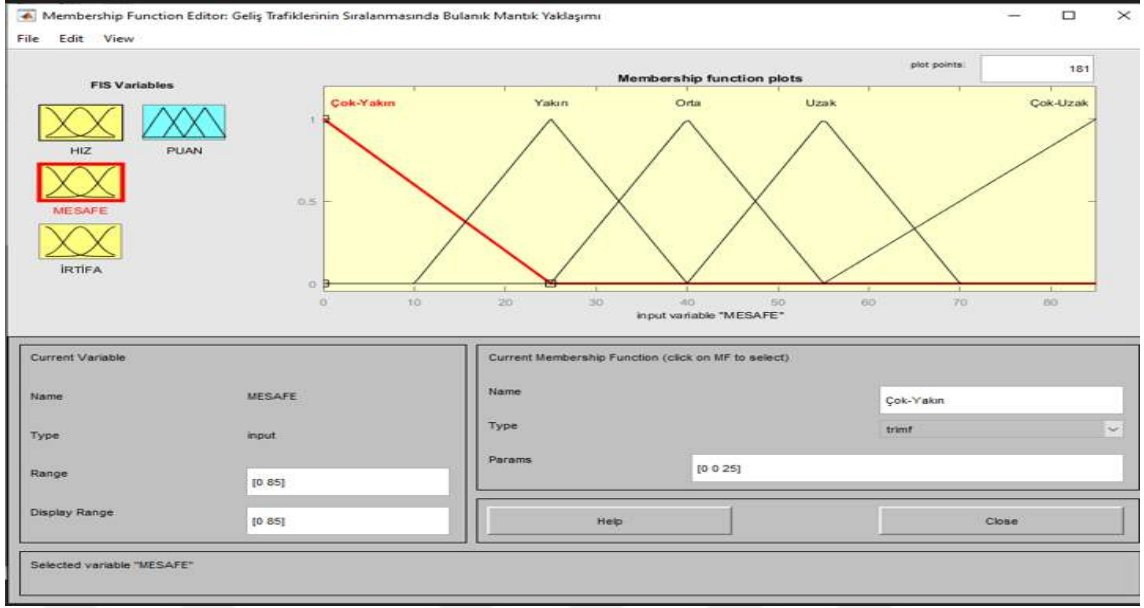
Şekil 4.3. MATLAB/FIS Bulanık mantık arayüzü editörü ekran görüntüsü

Şekil 4.3'te MATLAB/FIS hız, mesafe, irtifa olarak üyelik girişleri, Mamdani çıkarım yöntemi ve durulaştırma sonucunda elde edilen puan çıktısı olan giriş sayfası gösterilmektedir.



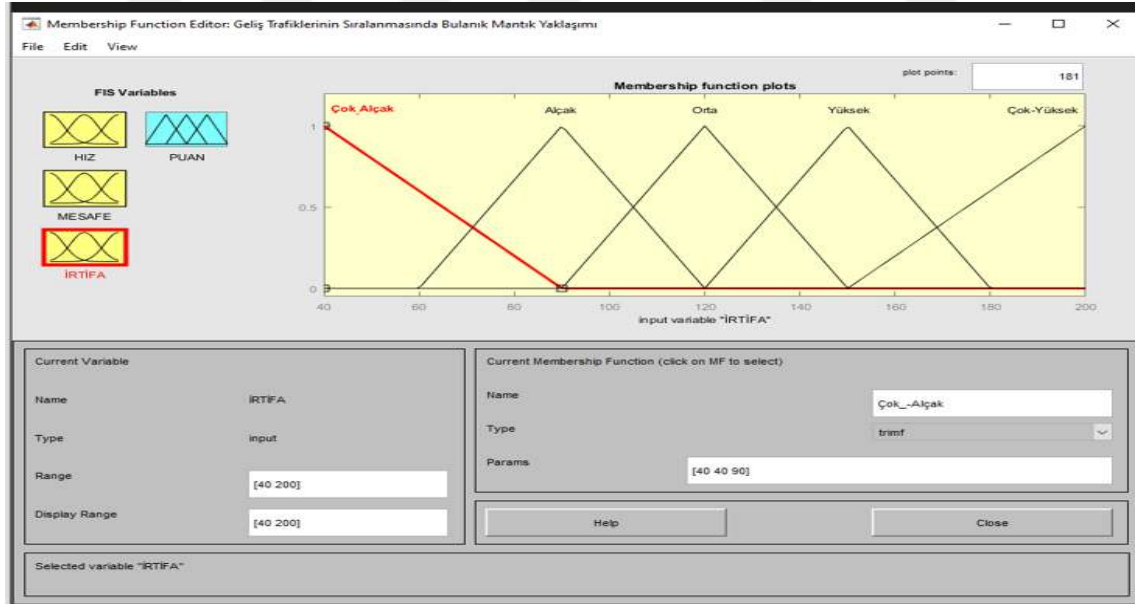
Şekil 4.4. MATLAB/FIS Hız üyelik fonksiyonu

Şekil 4.4'te MATLAB/FIS üyelik fonksiyonu editörü ekranında, belirlenen sözel ifadeler karşılık gelen hız aralıkları gösterilmektedir



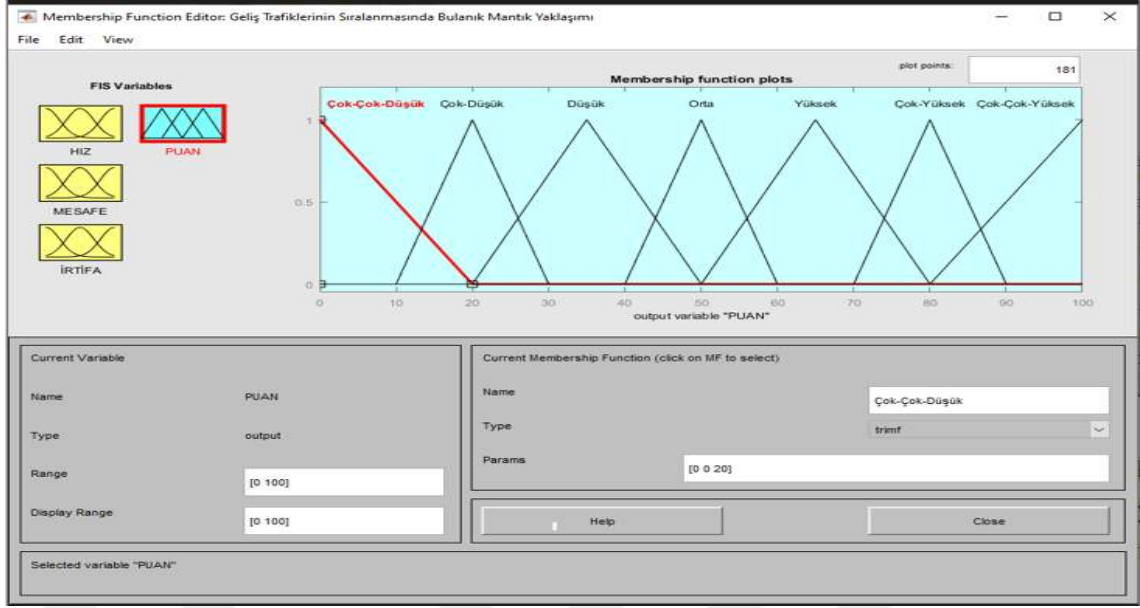
Şekil 4.5. MATLAB/FIS Mesafe üyelik fonksiyonu

Şekil 4.5'te beş değişkenden oluşan (çok yakın, yakın, orta, uzak, çok uzak) mesafe üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.



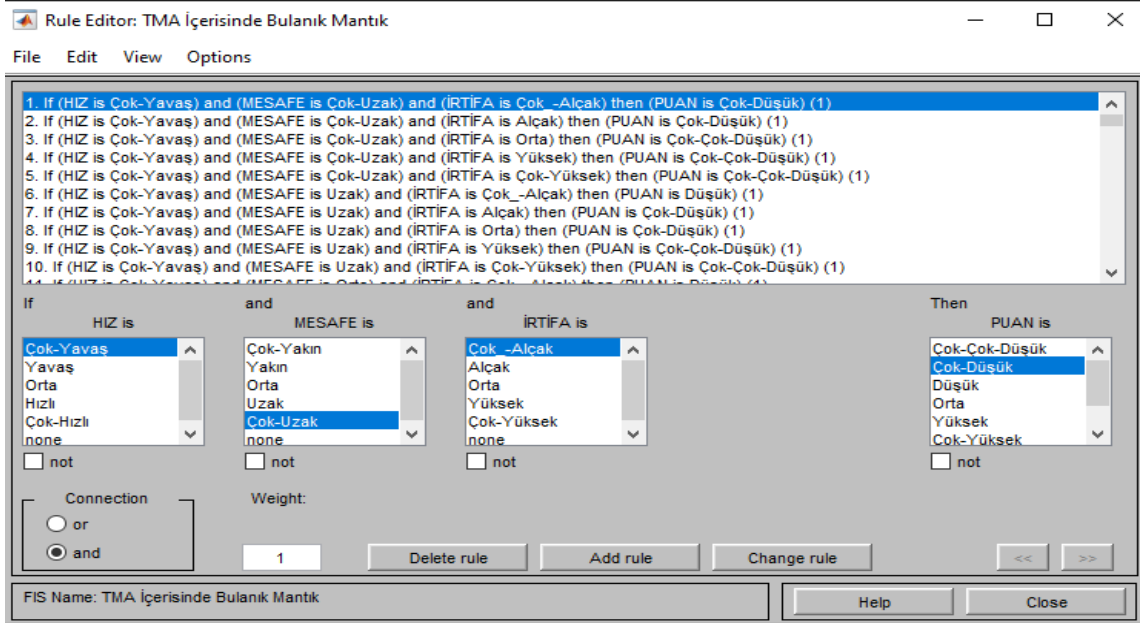
Şekil 4.6. MATLAB/FIS İrtifa üyelik fonksiyonu

Şekil 4.6' da beş değişkenden oluşan (çok alçak, alçak, orta, yüksek, çok yüksek) irtifa üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 4.7. MATLAB/FIS Çıkış üyelik fonksiyonu

Şekil 4.7’de yedi değişken den oluşan (çok düşük, çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek, çok yüksek) puan çıkış üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 4.8. MATLAB/FIS Kural ekranı

Şekil 4.8’de önceden girilen üyelik fonksiyonlarındaki sözel ifadeler seçilerek kuralların oluşturulduğu ekran görüntüsü gösterilmektedir.

BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE UÇAK SIRALAMASI

UÇAK ÇAĞRI ADI	HIZ	MESAFE	İRTİFA	PUAN		LISTE
B1	262	22	60	70.9571		B1 70.9571
B2	292	50	90	47.5839		B3 53.0301
B3	293	47	80	53.0301		B4 49.0026
B4	293	54	80	49.0026	HESAPLAMA	B2 47.5839
B5	292	60	90	46.5434		B5 46.5434
B6	288	65	70	45.1538		B6 45.1538

Şekil 4.9. MATLAB/GUI ekran görüntüsü

Şekil 4.9’da ki MATLAB/GUI arayüzünde uçak çağrı adı, hız, mesafe, irtifa değerleri her uçak için ekran üzerinden girilir ve tüm uçaklar için aynı anda hesaplama butonuna basılarak, tüm uçakların puanları liste bölümünün altında puan sırasına göre yukarıdan aşağıya doğru sıralanır. Puanı en yüksek uçak birinci ve daha düşük olanlar sırasıyla daha aşağı sırada olmaktadır. En düşük puana sahip uçak ise sıralamada en son olacaktır.

4.2. Çalışmadaki Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Bu çalışmadaki bulanık mantık modellemesinde üç giriş ve bunlara ait yirmi beş adet üyelik fonksiyonu ve çıkışa ait yedi üyelik fonksiyonu ve de yüz yirmi beş adet kural oluşturulmuştur. Aşağıda üyelik fonksiyonlarına ait parametreler verilmektedir;

Hız: Hız 220-340 kt arasında çok yavaş, yavaş, orta, hızlı, çok hızlı olmak üzere beş üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır.

Mesafe: 0-65 Nm arasında çok yakın, yakın, orta, uzak ve çok uzak olmak üzere beş üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır.

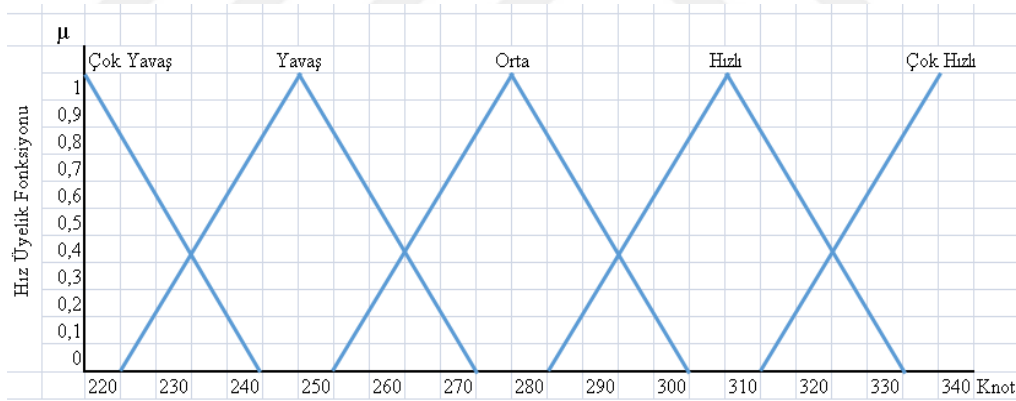
İrtifa: 4000-16000 ft arasında çok alçak, alçak, orta, yüksek, çok yüksek olmak üzere beş üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır.

Çıkış: Puan adı altında 0-100 puan arasında çok çok düşük, çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek, çok çok yüksek olmak üzere yedi üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır.

Kural tabanında yüz yirmi beş adet kural oluşturulmuştur.

4.2.1. Hız üyelik fonksiyonu

Hız parametreleri, RTS ortamında çalıştırılan senaryoların içinde yer alan hava araçlarının hız değerlerine göre yapılmıştır. Hız değerleri yer hızı cinsinden verilmektedir. Senaryoda bulunan her uçağın TMA'ya giriş anında gözlemlenen hız değerlerine göre alt ve üst sınırlar ile bunlara bağlı aralıklar belirlenmiştir. Simülasyon ortamında kullanılan senaryolardan hız değerlerinin alınmasının sebebi, senaryodaki trafik sıralamaları ile bulanık mantık ile elde edilen sıralama değerlerinin karşılaştırması amacıyla. Şekil 4.9'da bu çalışmada kullanılan hız aralıkları ve bunlara karşılık gelen dilsel ifadeler gösterilmektedir.



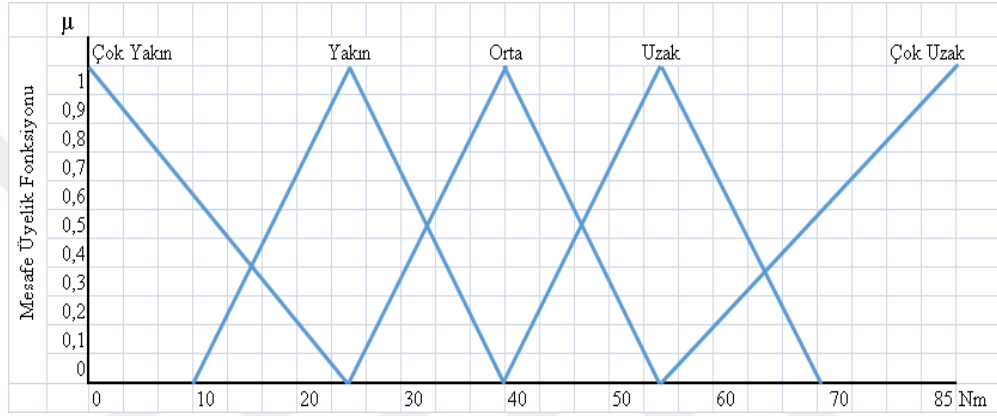
Şekil 4.10. Hız üyelik fonksiyonu

Şekil 4.9'da gösterilen hız üyelik fonksiyonuna ilişkin verilen sözsel ifadelere karşılık gelen hız aralıkları aşağıda şu şekilde;

- 220-245 kt çok yavaş,
- 225-275 kt yavaş,
- 255-305 kt orta,
- 285-335 kt hızlı,
- 315-340 kt çok hızlı olarak belirlenmiştir.

4.2.2. Mesafe üyelik fonksiyonu

Geliş trafiklerinin sıralanmasında mesafe üyelik fonksiyonu, TMA içinde uçan trafiklerin belirlenmiş rotalar üzerinde uçacağı kabul edilmiş olup mesafe 0-65 Nm arasında belirlenmiştir. Çalışma eski Atatürk Havalimanının bulunduğu İstanbul Terminal sahasında oluşturulan senaryolar ile karşılaştırma yapılacağından dolayı, son yaklaşma rotasına girmeden önce 23 Nm mesafede bulunan İmren rapor ve bekleme noktasının bulunduğu bölgeyi içeren mesafe temel alınmıştır.



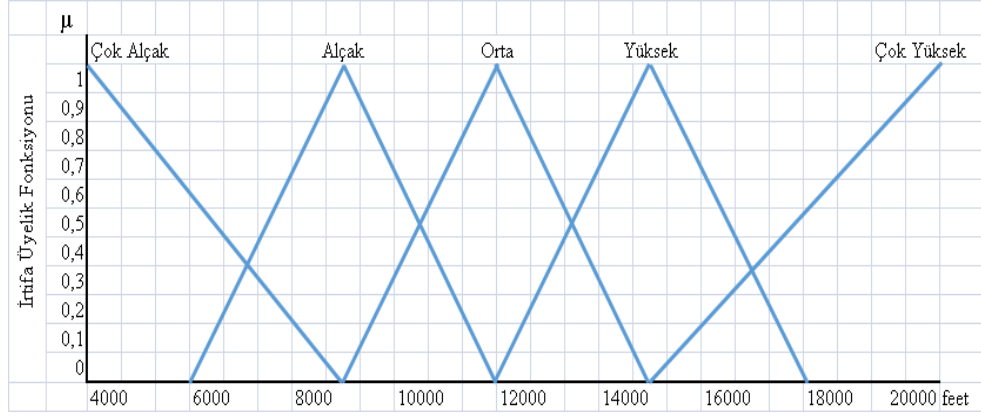
Şekil 4.11. Mesafe üyelik fonksiyonu

Şekil 4.10'da gösterilen mesafe üyelik fonksiyonuna ilişkin verilen sözsöz ifadelerle karşılık gelen hız aralıkları aşağıda şu şekilde;

- 0-25 Nm arası çok yakın,
- 10-40 Nm arası yakın,
- 25-55 Nm arası orta,
- 40-70 Nm arası uzak,
- 55-85 Nm arası çok uzak olarak ifade edilmektedir.

4.2.3. İrtifa üyelik fonksiyonu

İrtifa üyelik fonksiyonu İmren rapor noktası üzerinde olacağı minimum irtifa olan 4000 ft-16000 ft ve üzerindeki irtifa değerleri arasında ki değerlere göre belirlenmiştir. Şekil 4.11'de irtifa üyelik fonksiyonu gösterilmektedir.

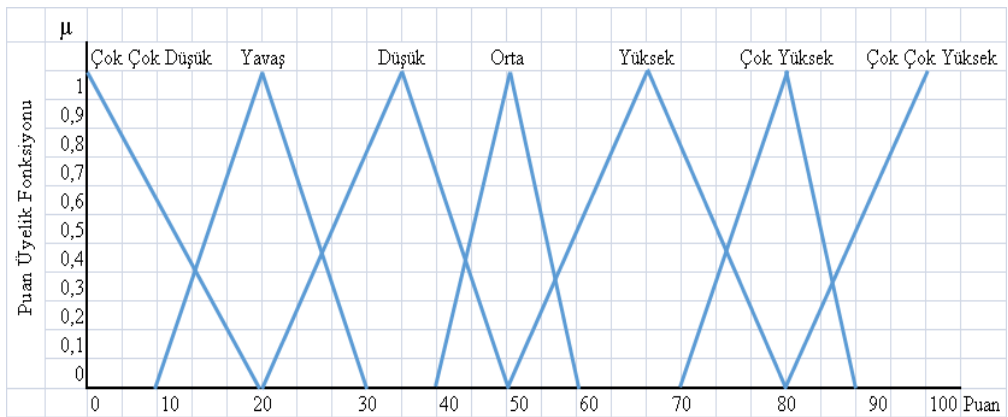


Şekil 4.12. İrtifa üyelik fonksiyonu

4000-9000 ft arası çok alçak,
 6000-12000 ft arası alçak,
 9000-15000 ft arası orta,
 12000-18000 ft arası yüksek,
 15000-20000 ft arası çok yüksek olarak belirlenmiştir.

4.2.4. Çıkış üyelik fonksiyonu

Hız, mesafe, irtifa üyelik fonksiyonlarının kural tabanına dayanarak çıkış üyelik fonksiyonu için 0-100 puan arasındaki değerler sözsel ifadelerle Şekil 4.12’de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Çıkış üyelik fonksiyonu

0-20 puan arası çok çok düşük,

10-30 puan arası çok düşük,
20-50 puan arası düşük,
40-60 puan arası orta,
50-80 puan arası yüksek,
70-90 puan arası çok yüksek,
80-100 puan arası çok yüksek olarak belirlenmiştir.

4.3. Kuralların Belirlenmesi

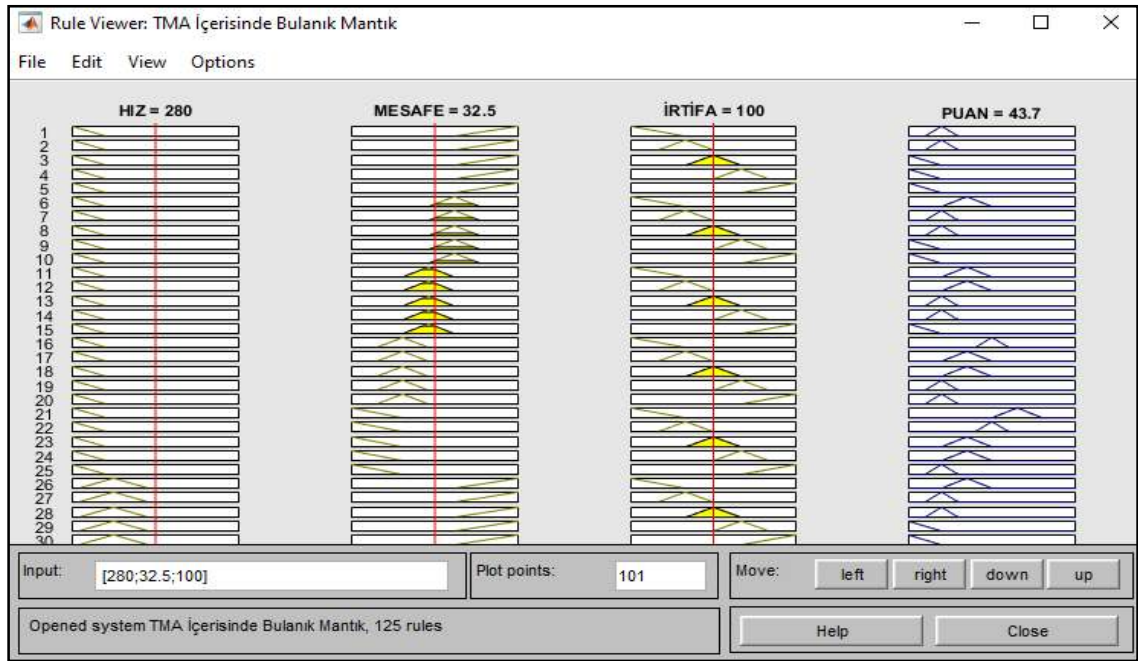
Hava trafiğinin emniyetli, düzenli ve etkin bir şekilde idare edilmesinde en önemli unsurlardan olan hava trafik kontrolörlerinin, plan yapma ve anlık karar verme kabiliyetleri doğrultusunda trafik akışı ve idaresi gerçekleşmektedir. Kontrolden sorumlu saha içerisindeki her bir trafiğin diğer trafiklere nazaran pozisyonu, alçalması, hızı, yaklaşma sıralaması, kötü hava koşulları gibi durumlarda problemlerin oluşmasını veya oluşan bir problemi çözmeye yönelik hava trafik kontrolörleri sık sık karar vermek ve talimat yayınlamak durumundadırlar. Hava trafik kontrolörlerinin hava trafiğini idare etme süreci dinamik bir yapıya sahiptir, farklı koşullarda ayrı ayırma teknikleri ve buna bağlı olarak farklı talimatlar verilebilmektedir. Bu süreç her bir kontrolörün kendi yeteneği doğrultusunda farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple hava trafik alanında sıralamanın yapılabilmesi için, iş yükünün azaltılması amacıyla karar destek sistemleri, kapasite artırma, emniyet gibi konular üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada TMA içindeki geliş trafiklerinin sıralanması amacıyla, hava trafik kontrolörlerine sıralama yapma konusunda karar vermelerine yardımcı olacak bulanık mantık yaklaşımı üzerine çalışılmıştır.

RTS ortamında kullanılan radarsız yaklaşma senaryoları ve bulanık mantık yaklaşımı ile elde edilen sıralamalar karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık ile yapılan sıralama içinde hiçbir ayırma kuralı, hız kısıtlaması, geciktirme teknikleri bulunmamaktadır. RTS ortamında uygulanan radarsız yaklaşma senaryolarında ise mesafe ve zaman esasına dayanan ayırma kuralları uygulanmakta olup geliş sıralamaları değerlendirilmiştir.

Bulanık mantık yaklaşımı ile üç giriş üyelik ve bir çıkış üyeliği mevcut olup, yüz yirmi beş adet kural oluşturulmuştur. Kurallar 0-100 puan arasında değerler almaktadır. Hız, mesafe, irtifa değerleri girilmiş ve kural tabanı doğrultusunda geliş sıralaması puan yüksekliğine göre gerçekleşmektedir. Örneğin puanı 50, 65, 70 olan üç uçaktan 70 puan

olan birinci, 65 olan ikinci ve 50 olan üçüncü olarak kabul edilmektedir. Şekil 4.13'te kural tablosu, Tablo 4.2'de kural matrisi gösterilmektedir. 125 adet kural EK-1'de verilmektedir.

Matlab kural editörü, üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinden sonra kuralların belirlendiği bölümdür. Şekil 4.13'de hız, mesafe, irtifa ve and bağlantısı ile puanı oluşturan sözel ifadeler yer almaktadır.



Şekil 4.14. Kural tablosu

Şekil 4.13'te input girişine sırasıyla hız 280kt, mesafe 32,5 Nm, irtifa 10000 ft değerleri girildiğinde elde edilen puanın 43,7 olduğu gösterilmektedir. Burada GUI arayüzü kullanılmadan her uçak için ayrı ayrı puanlar hesaplanmaktadır.

Tablo 4.2 de kural matrisi gösterilmektedir. ÇYav.: Çok Yavaş, Yav.: Yavaş, O: Orta, H: Hızlı, ÇH: Çok Hızlı, ÇU: Çok Uzak, U: Uzak, Yak.: Yakın, ÇYak.: Çok Yakın, ÇA: Çok Alçak, A: Alçak, Yük.: Yüksek, ÇYük.: Çok Yüksek, ÇÇD: Çok Çok Düşük, ÇD: Çok Düşük, D: Düşük, ÇÇYük.: Çok Çok Yüksek olarak ifade edilmiştir ve Tablo 4.2' de bu şekilde verilmiştir.

Tablo 4.2. *Kural matrisi*

HIZ	MESAFE	İRTİFA				
		Ç A	A	O	Yük.	Ç Yük.
Ç Yav.	Ç U	Ç D	Ç D	Ç Ç D	Ç Ç D	Ç Ç D
Ç Yav.	U	D	Ç D	Ç D	Ç Ç D	Ç Ç D
Ç Yav.	O	D	D	Ç D	Ç D	Ç Ç D
Ç Yav.	Yak	O	D	D	Ç D	Ç D
Ç Yav.	Ç Yak	Yük.	O	D	D	Ç D
Yav.	Ç U	D	Ç D	Ç D	Ç Ç D	Ç Ç D
Yav.	U	D	D	Ç D	Ç D	Ç Ç D
Yav.	O	O	D	D	Ç D	Ç D
Yav.	Yak	Yük.	O	D	D	Ç D
Yav.	Ç Yak	Ç Yük.	Ç Yük.	Yük.	Yük.	O
O	Ç U	D	D	Ç D	Ç D	Ç Ç D
O	U	O	D	D	D	Ç D
O	O	Yük.	Yük.	O	O	D
O	Yak	Ç Yük.	Ç Yük.	Yük.	Yük.	O
O	Ç Yak	Ç Ç Yük.	Ç Yük.	Ç Yük.	Yük.	Yük.
H	Ç U	O	D	Ç D	Ç D	Ç D
H	U	Yük.	Yük.	Yük.	Yük.	D
H	O	Ç Yük.	Yük.	Yük.	Yük.	O
H	Yak	Ç Ç Yük.	Ç Yük.	Ç Yük.	Yük.	Yük.
H	Ç Yak	Ç Ç Yük.	Ç Ç Yük.	Ç Yük.	Ç Yük.	Yük.
Ç H	Ç U	Ç Yük.	Yük.	Yük.	O	D
Ç H	U	Ç Yük.	Ç Yük.	Yük.	Yük.	O
Ç H	O	Ç Ç Yük.	Ç Yük.	Ç Yük.	Yük.	Yük.
Ç H	Yak	Ç Ç Yük.	Ç Ç Yük.	Ç Yük.	Ç Yük.	Yük.
Ç H	Ç Yak	Ç Ç Yük.	Ç Ç Yük.	Ç Ç Yük.	Ç Yük.	Ç Yük.

4.4. Çalışmada Oluşturulan Senaryolar

RTS ortamında oluşturulan senaryolara ait uçak kodu, hız, mesafe, seviye, İmren noktasına gelecek uçağın tahmini varış zamanı, RTS sıralaması, bulanık mantık çalışmasıyla elde edilen puanlar ve son olarak bulanık mantığa göre uçak sıralaması verilmektedir. Senaryoların başlangıç saati 00:00 olarak kabul edilmiş olup, tahmini varış zamanı bu saatin üzerine ilave edilen, dakika cinsinden süreyi ifade etmektedir. Trafik sıralaması İmren rapor noktası temel alınarak tasarlanmıştır. 10 adet senaryo oluşturulmuştur. Birinci senaryoda oluşturulan trafıklere ait veriler Tablo 4.3. gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Birinci senaryo

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralaması	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
A1	293	61	8000	13	6	47,79	5
A2	262	51	6000	13	5	46,50	6
A3	292	66	7000	12	4	48,15	4
A4	292	53	7000	11	3	48,66	3
A5	260	17	5000	5	1	72,9	1
A6	292	44	9000	10	2	53,73	2

RTS'den alınan trafik senaryolarındaki İmren noktasına olan tahmini varış zamanlarına bakıldığında trafik sıralamasında ilk uçak A5 olup, diğer trafikler sırasıyla A6, A4, A3'tür. A1 ve A2 trafiklerinin aynı tahmini varış zamanına sahip olduğu gözlenmiştir. Trafiklerin iniş için sıralanmasında kontrolör bakış açısıyla değerlendirildiğinde düşük irtifadakinin öne alınarak inişe önce gelmesi sağlanabilir. Dolayısıyla bu örnekte; A2, 5. Sırada, A1 ise son sırada iniş gerçekleştirecektir. Geliştirilen bulanık mantık yönteminden elde edilen puanlamaya göre trafikler

sıralandığında ise, en yüksek puana sahip A5'in birinci sırada yer aldığı görülmektedir. Bulanık mantık yöntemine göre trafik sıralaması ise A6, A4, A3, A1 ve A2 şeklindedir. Geliştirilen simülatör senaryo sonucu ve bulanık mantık yöntemi ile yapılan trafik sıralamaları karşılaştırıldığında sıralamanın benzerlik gösterdiği sonucuna varılmıştır. Simülatör ortamında gerçekleşen senaryoda A1 ve A2 uçakları için tahmini varış zamanının aynı olması nedeniyle sıralama aynı olurken, bulanık mantık yöntemiyle elde edilen puan tahmini sıralamayı değiştirmiştir. İkinci senaryo verileri Tablo 4.4'te verilmektedir.

Tablo 4.4. *İkinci senaryo*

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralaması	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
B1	262	22	6000	5	1	70,95	1
B2	292	50	9000	10	4	47,58	4
B3	293	47	8000	9	2	53,03	2
B4	293	54	8000	10	3	49,00	3
B5	292	60	9000	12	5	46,54	5
B6	288	65	7000	13	6	45,15	6

İkinci senaryoda tahmini varış zamanına göre sırasıyla ve bulanık mantık sıralaması B1, B3, B4, B2, B5, B6 uçakları gelmektedir. B2 ve B4 trafiklerinin RTS tahmini varış zamanları aynıdır, bu sebeple kontrolörün daha düşük irtifada olan B4 trafiğini sıralamada öne alması beklenmektedir. Üçüncü senaryo verileri Tablo 4.5'te sunulmaktadır.

Tablo 4.5. *Üçüncü senaryo*

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralaması	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
-----------	----------	-------------	-------------	---------------------------	----------------	---------------	---------------------------

Tablo 4.5. (Devam) Üçüncü senaryo

C1	282	31	7000	6	2	70,47	2
C2	260	20	6000	5	1	71,33	1
C3	291	48	9000	10	4	49,33	4
C4	292	40	8000	9	3	67,88	3
C5	285	60	8000	11	5	37,54	5
C6	280	55	9000	12	6	35	6

Üçüncü senaryoda tahmini varış zamanı ve bulanık mantık yöntemine göre uçakların geliş sıralaması sırasıyla C2, C1, C4, C3, C5, C6 olarak gerçekleşmiştir. Bir önceki senaryoda olduğu gibi elde edilen sonuçlar RTS ve bulanık mantık yönteminin örtüşüğünü göstermektedir. Tablo 4.6’da dördüncü senaryo verilmektedir.

Tablo 4.6. Dördüncü senaryo

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralaması	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
D1	283	55	7000	11	6	41,03	6
D2	260	20	5000	5	1	71,33	1
D3	260	27	5000	6	2	65,82	2
D4	288	43	8000	9	4	57,83	4
D5	287	50	9000	10	5	46,53	5
D6	260	37	6000	8	3	60	3

Dördüncü senaryoda tahmini varış zamanı ve bulanık mantık yöntemine göre D2, D3, D6, D4, D5, D1 olarak gerçekleşmiş ve geliş sıralaması aynı olmuştur. Tablo 4.7’de beşinci senaryo verilmektedir.

Tablo 4.7. *Beşinci senaryo*

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralaması	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
E1	293	66	7000	13	6	48,31	6
E2	293	61	7000	12	5	49,78	5
E3	260	20	5000	5	1	71,33	1
E4	298	47	8000	8	3	56,32	3
E5	262	30	6000	7	2	64,45	2
E6	297	54	9000	11	4	52,27	4

Beşinci senaryoda tahmini varış zamanı ve bulanık mantık yöntemine göre uçakların geliş sıralaması aynıdır ve sırasıyla E3, E5, E4, E6, E1 olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4.8’de altıncı senaryoya ait veriler verilmektedir.

Tablo 4.8. *Altıncı senaryo.*

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralama	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
F1	260	21	6000	5	1	70,66	1
F2	262	31	6000	6	2	63,82	2

Tablo 4.8. (Devam) Altıncı senaryo

F3	298	54	8000	11	5	54,38	5
F4	298	47	8000	8	3	56,32	3
F5	297	60	9000	12	6	52,27	6
F6	293	50	7000	10	4	55,02	4

Tablo 4.8'deki verilere göre uçakların tahmini varış zamanı ve bulanık mantık yöntemine göre geliş sıralaması aynıdır ve sırasıyla F1, F2, F4, F6, F3, F5 olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4.9'da yedinci senaryo verileri gösterilmektedir.

Tablo 4.9. Yedinci senaryo

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralaması	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
G1	292	54	9000	10	5	46,54	5
G2	293	50	8000	9	4	51,44	4
G3	298	44	8000	9	3	56,60	3
G4	262	34	6000	9	2	62,73	2
G5	262	16	6000	4	1	73,56	1
G6	292	60	9000	12	6	46,54	6

Yedinci senaryoda tahmini varış zamanına göre uçak geliş sıralaması G5 birinci sırada, G2, G3, G4 aynı tahmini süreye sahiptirler. Daha sonra G1 ve G6 gelmektedir. Bulanık mantık yöntemine göre G5, G4, G3, G2 gelmektedir, G1 ve G6'nın puanları aynı değerdedir, mesafesi daha az olan G1 sıralamada önce gelmektedir. Tablo 4.10'da sekizinci senaryo yer almaktadır.

Tablo 4.10. *Sekizinci senaryo*

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralaması	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
H1	260	20	5000	5	1	71,33	1
H2	262	30	6000	7	2	64,45	2
H3	293	50	8000	10	4	51,44	4
H4	292	60	9000	12	6	46,54	6
H5	293	57	8000	10	5	47,79	5
H6	288	45	7000	8	3	52,93	3

Sekizinci senaryoda tahmini varış zamanına göre H1, H2, H6 olmaktadır, H3 ve H5 aynı sürede tahmini varış zamanına sahiptirler. Bulanık mantık yöntemine göre H1, H2, H6, H3, H5, H4 sıralaması elde edilmiştir. Bulanık yöntemine göre H3'ün mesafesinin yakın olması puanlamada önde gelmesine sebep olmuştur. Tablo 4.11'de dokuzuncu senaryoya ait veriler verilmektedir.

Tablo 4.11. *Dokuzuncu senaryo*

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralaması	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
I1	293	60	8000	12	5	47,79	5
I2	292	60	9000	12	6	46,54	6
I3	293	50	8000	11	4	51,44	4
I4	288	45	7000	8	3	52,93	3
I5	262	35	6000	7	1	62,53	2
I6	288	35	7000	7	2	72,17	1

Dokuzuncu senaryoda RTS'deki tahmini varış zamanına göre ilk sırayı I5 ve I6 sonrasında I4, I3 daha sonra ise I1 ve I2 aynı süre ile gelmektedir. Bulanık mantık yöntemine göre sırasıyla I6, I5, I4, I3, I1, I2 olmuştur. Bulanık mantık yönteminde I6'nın puanının yüksek olmasında irtifasının yüksek olmasına rağmen, hızının I5'e göre daha fazla olması etken olmuştur. Yine I1'in I2'den daha yüksek puan almasında, daha düşük irtifa etken olmuştur. Tablo 4.12'de onuncu senaryoya ait veriler yer almaktadır.

Tablo 4.12. Onuncu senaryo

Uçak Kodu	Hız (kt)	Mesafe (Nm)	Seviye (ft)	Tahmini Varış Zamanı (dk)	RTS Sıralaması	Bulanık Puanı	Bulanık Mantık Sıralaması
J1	293	55	8000	11	6	47,79	6
J2	288	48	7000	10	4	52,80	4
J3	262	40	6000	9	2	57,53	2
J4	262	35	6000	9	1	62,53	1
J5	288	45	7000	9	3	52,93	3
J6	293	49	8000	11	5	52,18	5

Onuncu senaryoda RTS tahmini varış zamanına göre geliş sıralaması J3, J4, J5 aynı tahmini zamana sahipken, sonrasında J2, daha sonra ise J1 ve J6 aynı tahmin ile gelmektedir. Bulanık mantık yöntemine göre geliş sıralaması J4, J3, J5, J2, J6, J1 olmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hava trafik yönetiminde hava trafiğinin emniyetli, hızlı ve düzenli bir şekilde idare edilmesi için karar verme çok önemli bir yer tutmaktadır. Karar vermenin zamanında ve en doğru şekilde yapılması gerekmektedir. Kontrolörler belirli bir zaman içinde hareket eden çoklu trafikler arasında yeterli mesafe, seviye veya hız parametrelerini göz önünde bulundurarak gerekli ayırma yöntemlerini uygulamaktadırlar. Yine bu ayırma yöntemlerini uygularken hangi trafiğin hangi sırada yer alacağını da göz önünde bulundurmaktadırlar.

Karar vermeyi etkileyen bir başka faktörlerden birisi ise istenmeyen hava koşullarıdır. Örneğin Kümülonimbus bulutları içinde dikey hava akımlarının, şimşek, gök gürültüsü, dolu gibi uçakların uçuşunu olumsuz yönde etkileyen olayların olduğu bulutlardır. Uçaklar böyle bulutlardan kaçınmak için rota değişikliği veya seviye değişikliği gibi taleplerde bulunmaktadır. Bu sebeple trafiğin yoğun olduğu terminal sahalar içinde uçuşların kontrolünde karar verme koşulları zorlaşmakta ve bununla birlikte gecikme veya yedek meydana yönlendirme söz konusu olmaktadır. Buna bağlı olarak hava trafik planlamasında istenen sıralamaların dışına çıkılmaktadır.

Normal durumlarda dahi kontrolörlerin karar vermesinde çok önemli olan trafik sıralaması problemi, dünyada artan trafik yoğunluğu nedeniyle araştırmaların her geçen gün artmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada da karar vermeye yardımcı olması açısından geliş trafiklerinin sıralamasını belirlemeye yönelik bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasındaki amaç matematiksel modellemelere kıyasla insan davranışını daha iyi sergilemesi, uzman kişilerin tecrübe ve fikirlerinden yararlanarak gerçeğe daha yakın bir yaklaşımın sağlanmasıdır.

Hava taşımacılığına olan talebin artmasıyla birlikte hava trafiğinin de artması beraberinde birçok sorunda getirmiştir. Hava trafiğin idaresinde önemli bir rol oynayan hava trafik kontrolörlerinin iş yükünün azalması, karar vermede kolaylık, verimliliğin artmasına yönelik araştırmalar yapılmakta ve gelecekte yapılmaya devam edecektir.

Geliş trafiklerinin sırlanmasına yönelik olarak bulanık mantık yöntemi yaklaşımı çalışılmıştır. Bu çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi Hava Trafik Kontrol Bölümü gerçek zamanlı simülatör ortamında oluşturulan egzersizlerle, bulanık mantık yöntemine dayanan araştırmadan elde edilen verilerin kıyaslanmasına dayanmaktadır. Toplam 10 adet egzersiz ve her egzersizde 6 adet uçaktan oluşan toplam 60 adet uçak bulunmaktadır.

Uçaklar aynı anda egzersizlerde verilen mesafe, hız, irtifa değerlerinde simülatör

pilot ekranında görülmektedir. Uçak seviyeleri 4000 feet ve 10000 feet aralığında bulunmaktadır. Uçak tipi B738'dir ve hızlar simülatörde gözlemlenen hız değerleridir. Mesafeler geliş uçakları için belirlenen bekleme noktasına olan mesafelerdir.

Çalışmanın sunduğu sonuçlar arasında gerçek zamanlı simülatörde tahmini varış zamanına göre yapılan geliş sıralaması, aynı zamanı veya sırayı gösterebilmektedir. Oysa bulanık mantık yöntemine göre yapılan geliş sıralaması daha hassas bir sıralama verebilmektedir. Özellikle mesafe, hız veya irtifa gibi parametrelerin değerlerinde yakınlık veya aynılık olması durumunda bulanık mantık yönteminin daha doğru bilgi verdiği görülmektedir.

Gerçek zamanlı simülatör ortamında gerçekleştirilen egzersizlerde aynı tahmini varış zamanı alan uçak sayısı 14 ve toplam trafiğin % 23,3'ünü oluşturmaktayken, bulanık mantık yöntemi ile aynı puana sahip uçak sayısı 2 olup toplam trafiğin % 3,3'ü nü oluşturmaktadır.

Yine aynı tahmini varış zamanına sahip uçaklar ile bulanık mantık yöntemine göre geliş sıralama puanı arasında çelişki gözlenmemiştir. Aynı tahminiye sahip uçaklar bulanık mantık puanlaması ile geliş sıralaması yapıldığında birbirlerinin arkasından geldikleri gözlenmiştir. Bu sebeple de simülatör ortamında elde edilen veriler ile bulanık mantık yöntemi arasında paralellik gözlenmiştir.

Trafik sıralamasının doğru olarak elde edilmesi, trafik yoğunluğunun arttığı durumlarda kontrolörlerinin hava trafik talimatlarını hızlı bir şekilde karar vermesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Çalışma tüm verilerin önceden bilinmesi ve sonradan değişikliğe sebep olacak durumların olmaması bakımından statik bir modeldir. İlerleyen çalışmalarda dinamik özellikte model oluşturularak terminal hava sahası optimizasyonu, uçak sıralama ve uçak iniş problemleri için kara destek sistemlerinin geliştirilmesinde bu çalışmanın faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Arslan, M. (2019). *Öğretmen performanslarının bulanık mantık yöntemi ile değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Van: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Bakare, K.A. (2008). *Design and Implementation Of A Fuzzy Logic Model For Air Traffic Control System*. Master Thesis. Nigeria: Ahmadu Bello University, Faculty of Sciences.
- Bickraj, K., Pamphile, T., Yenilmez, A., Li, M., Tansel, I. N. (2006). Fuzzy Logic Based Integrated Controller for Unmanned Aerial Vehicles. In *Florida Conference on Recent Advances in Robotics* (pp. 1-6).
- Brentnall, A. R., Cheng, R. C. (2009). Some effects of aircraft arrival sequence algorithms. *Journal of the Operational Research Society*, 60, 962-972.
- Çelikbilek, Y. (2018). A fuzzy cluster based genetic algorithm approach for the aircraft landing scheduling problem. *Istanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(1), 127-148.
- Çeçen, R. K., Cetek, C., ve Kaya, O. (2020). Aircraft sequencing and scheduling in TMAs under wind direction uncertainties. *The Aeronautical Journal*, 124(1282), 1896-1912.
- Dönmez, K. (2022). A stochastic sequence planning model for the runways with multiple exits. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 89-101.
- Erzberger, H., Davis, T. J., Green, S. (1993). Design of center-TRACON automation system. *AGARD, Machine Intelligence in Air Traffic Management*.
- Huo, Y., Delahaye, D., Sbihi, M. (2023). A dynamic control method for extended arrival management using enroute speed adjustment and route change strategy. *Transportation research part C: emerging technologies*, 149, 104064.
- Huang, C. M., Chiang, M. L., & Hung, T. S. (2017). Visual servoing of a micro quadrotor landing on a ground platform. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 15(6), 2810-2818.
- Ikli, S., Mancel, C., Mongeau, M., Olive, X., Rachelson, E. (2021). The aircraft runway scheduling problem: A survey. *Computers and Operations Research*, 132, 105336.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2008). *Doc 9613 AN/937, Performance-based Navigation (PBN) (Manual Third Edition)*. Canada
- International Civil Aviation Organization. (2016) *Doc 4444 ATM/501 Procedures for Air Navigation Services Air Traffic Management. (16th Edition)*. Canada.
- Kambalimath, S., Deka, P. C. (2020). A basic review of fuzzy logic applications in hydrology and water resources. *Applied Water Science*, 10(8), 1-14.
- Karasakal, O. (2012). *Bulanık pid kontrolörleri için çevrim içi kural ağırlıklandırma yöntemleri*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Karataş, F., Koyuncu, İ., Tuna, M., Alçın, M. (2020). Bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının fpga üzerinde gerçekleştirilmesi. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 1-9.
- Kelly, W. E., Painter, J. H. (2006). Flight segment identification as a basis for pilot advisory systems. *Journal of aircraft*, 43(6), 1628-1635.
- Kıyak, E. (2003). *Bulanık Mantık Yöntemiyle Uçuş Kontrol Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kim, J. Y. (2019). Introduction to Fuzzy Set Theory and The Hyperplane Separation Theorem of Fuzzy Convex Sets https://sites.math.washington.edu/~morrow /336 _19/papers19/Jon.pdf
- Konar, M. (2010). *Bulanık mantık ve yapay sinir ağları kullanılarak uçuş kontrol sistemlerine ait bazı parametrelerin hesaplanması*. Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Leelavathy, T., Kowsalya, M. (2019). Fuzzysequencing problemwith uncertain processing time. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1377, No. 1, p. 012045). IOP Publishing.
- Liang, M. (2018). *Aircraft route network optimization in terminal maneuvering area* (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier (Toulouse 3)).
- Liu, J., Cheng, Q., Wang, Y., Yang, C., Zhou, R., Zhu, X., Yang, S. (2022). An improved genetic algorithm-based traffic scheduling model for airport terminal areas. *Journal of Sensors*, 2022.
- Moser, I. (2007). Scheduling Aircraft Landings Dynamically Using Stochastic and Deterministic Elements. *International Journal of Information Technology and Intelligent Computing*, 2(1), 1-21.
- Mehran, K. (2008). Takagi-sugeno fuzzy modeling for process control. *Industrial Automation, Robotics and Artificial Intelligence (EEE8005)*, 262, 1-31.
- Nowak, D., Kopecki, G., Kordos, D., Rogalski, T. (2022). The papi lights-based vision system for aircraft automatic control during approach and landing. *Aerospace*, 9(6), 285.
- Ntakolia, C., Lyridis, D. V. (2022). A n- D ant colony optimization with fuzzy logic for air traffic flow management. *Operational Research*, 22(5), 5035-5053.
- Omolo, A., Angiro, C., Wagaye, W. A., Olomo, E., Okino, J., Omara, T. (2021). Aviation Noise and Air Pollution: Results of a Study at Entebbe International Airport, Uganda. *Open Access Library Journal*, 8(5), 1-13.
- Ören, A., Koçyiğit, Y. (2016). Unmanned Aerial Vehicles Landing Sequencing Modelling Via Fuzzy Logic/İnsansız Hava Araçları İniş Sıralamasının Bulanık Mantık Modellemesi. *Celal Bayar University Journal of Science*, 12(1).
- Ören, A. (2020). Çoklu geliş rotasına dayalı toplama noktası model önerisi ve uçuş verimlilik analizi. Eskişehir: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

- Pratiwi, W., Sofwan, A., Setiawan, I. (2021). Implementation of fuzzy logic method for automation of decision making of Boeing aircraft landing. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 10(3), 545.
- Proud, S. R. (2020). Go-around detection using crowd-sourced ADS-B position data. *Aerospace*, 7(2), 16.
- Raj, K. D. S., Tattikota, G. (2013). Design of fuzzy logic controller for auto landing applications. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(5),
- Ross, T. J. (2004). *Fuzzy logic with engineering applications*. (Second Edition). England: John Wiley and Sons
- Salehipour, A. (2020). An algorithm for single-and multiple-runway aircraft landing problem. *Mathematics and Computers in Simulation*, 175, 179-191.
- Shi, W., Jiang, S., Liang, X., Zhou, N. (2019). A heuristic algorithm for solving the aircraft landing scheduling problem with a landing sequence division. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, 102(8), 966-973.
- Sun, B., Wei, M., ve Jing, B. (2021). Optimal model for the aircraft arrival and departure scheduling problem with fuzzy runway incursion time. *Mathematical biosciences and engineering*, 18(5), 6724-6738.
- Tiryaki, A. E., Kazan, R. (2007). Bulaşık makinesinin bulanık mantık ile modellenmesi. *Mühendis ve Makine*, 48(565), 3-8.
- Ursu, I., Ursu, F. (2003). An intelligent ABS control based on fuzzy logic. Aircraft application. In *Proceedings of the International Conference on Theory and Applications of Mathematics and Informatics–ICTAMI* (pp. 355-368).
- Ünal, G., Topçu, M. (2018). Uydu Teknolojileri Ve Uyduya Dayalı Seyrüsefer İle Türkiye Pbn Uygulama Planı. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 35-41.
- Ünsal, S., Alışkan, İ. (2016). Mamdani ve Takagi-Sugeno Çıkarım Yöntemlerine Sahip Bulanık Mantık Denetleyicilerin Özgün Yazılım ve Araç Kutusu Performans Analizi. *Erişim Tarihi*, 27, 2019.
- Vijayan, V. P., John, D., Thomas, M., Maliackal, N. V., Vargheese, S. S. (2009). Multi agent path planning approach to dynamic free flight environment. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(1), 41.
- Wang, X., Brownlee, A. E. I., Weiszer, M., Woodward, J. R., Mahfouf, M., & Chen, J. (2022). An Interval Type-2 Fuzzy Logic-Based Map Matching Algorithm for Airport Ground Movements. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 31(2), 582-595.
- Wirawan, T. S., Putra, A. E. E., Aziz, N. (2021). Gasoline Engine Performance, Emissions, Vibration And Noise With Methanol-Gasoline Fuel Blends. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 927, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.

- Xu, B., Ma, W., Ke, H., Yang, W., Zhang, H. (2022). An Efficient Ant Colony Algorithm based on rank 2 matrix approximation method for aircraft arrival/departure scheduling problem. *Processes*, 10(9), 1825.
- Yalçın, H. (2014). *Hayvansal üretime ait zaman serilerinde bulanık mantık modellemesinin kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yaman, S. (2014). *Echo state network ile sistemlerin modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldırım, E., Avcı, E., Yılmaz, B. (2021). Serbest Basınç Dayanımının Tahmininde Sugeno Bulanık Mantık Yaklaşımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(1), 97-108.
- Yılmaz, A. (2015). *Sinirsel bulanık mantık modeliyle kanser risk analizi*. Doktora Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yılmaz, A. (2021). *Yapay Zeka*. (11. Baskı: 2022). Bağcılar/ İstanbul: Kodlab Yayıncılık.
- Yılmaz, M., ve Arslan, E. (2005). Bulanık mantığın jeodezik problemlerin çözümünde kullanılması. *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu*, 2, 23-25.
- Zhang, J., Zhao, P., Yang, C., Hu, R. (2020). A New Meta Heuristic Approach for Aircraft Landing Problem. *Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 37(02), 197-208.
- http-1:**<https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-aviation-outlook-2050> (Erişim tarihi:02.03.2023).
- http-2:**<https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/hadt11.pdf>. (Erişim tarihi: 03.03.2023)
- http-3:**<https://skybrary.aero/articles/air-traffic-management-atm> (Erişim tarihi: 04.03.2023)
- http-4:**<https://www.sesarju.eu/sesar-solutions/e-aman-common-service>. (Erişim tarihi: 1.04.2023).
- http-5:**<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-05/eurocontrol-point-merge-guide-v1-4.pdf>. (Erişim tarihi: 4.03.2023)

EKLER

EK-1

1.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

2.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

3.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

4.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

5.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

6.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

7.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

8.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

9.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

10.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

11.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

12.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

13.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

14.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

15.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

16.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Orta) (1)

17.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

18.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Düşük) (1)

19.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

20.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

21.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Yüksek) (1)

22.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Orta) (1)

23.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Düşük) (1)

24.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Düşük) (1)

25.If (HIZ is Çok Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

26.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

27.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

28.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

29.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

30.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

31.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

32.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

33.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

34.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

35.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

36.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Orta) (1)

37.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

38.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Düşük) (1)

39.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

40.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

41.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Yüksek) (1)

42.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Orta) (1)

43.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Düşük) (1)

44.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Düşük) (1)

45.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

46.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

47.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

48.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Yüksek) (1)

49.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

50.If (HIZ is Yavaş) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Orta) (1)

51.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

52.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

53.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

54.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

55.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Çok Düşük) (1)

56.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Orta) (1)

57.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

58.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Düşük) (1)

59.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Düşük) (1)

60.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

61.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Yüksek) (1)

62.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Yüksek) (1)

63.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Orta) (1)

64.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Orta) (1)

65.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Düşük) (1)

66.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

67.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

68.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Yüksek) (1)

69.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

70.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Orta) (1)

71.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

72.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

73.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

74.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

75.If (HIZ is Orta) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

76.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Orta) (1)

77.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Düşük) (1)

78.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

79.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

80.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Düşük) (1)

81.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Yüksek) (1)

82.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Yüksek) (1)

83.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Yüksek) (1)

84.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

85.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Düşük) (1)

86.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

87.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Yüksek) (1)

88.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Yüksek) (1)

89.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

90.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Orta) (1)

91.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

92.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

93.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

94.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

95.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

96.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

97.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

98.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

99.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

100.If (HIZ is Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

101.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

102.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Yüksek) (1)

103.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Yüksek) (1)

104.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Orta) (1)

105.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Düşük) (1)

106.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

107.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

108.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Yüksek) (1)

109.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

110.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Uzak) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Orta) (1)

111.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

112.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

113.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

114.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

115.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Orta) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

116.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

117.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

118.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

119.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

120.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Yüksek) (1)

121.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Alçak) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

122.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Alçak) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

123.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Orta) than (PUAN is Çok Çok Yüksek) (1)

124.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Yüksek) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

125.If (HIZ is Çok Hızlı) and (MESAFE is Çok Yakın) and (İRTİFA is Çok Yüksek) than (PUAN is Çok Yüksek) (1)

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0009-0003-3943-7170

Ad Soyad : Gülseren YEŞİL

Yabancı Dil : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı :

E-Posta :

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2019 Nişantaşı Üniversitesi Hava Trafik Kontrol Bölümü
- 2008 - 2016 Hava Trafik Kontrol Bölümü Eğitim, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksek Okulu
- 2006 - 2008 Hava Trafik Kontrolörü, Radar Yaklaşma Ofisi, Antalya Havalimanı
- 2003 - 2006 Hava Trafik Kontrolörü, Antalya Kule, Antalya Havalimanı
- 2000 - 2003 Hava Trafik Kontrolörü, Anadolu Üniversitesi Anadolu Havaalanı Kule
- 1994 - 2000 Anadolu Üniversitesi, SivilHavacılık Yüksek Okulu, Hava Trafik Kontrol Bölümü

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Meydan Kontrol Simülatöründe Canlı Yayın Öğrenme Sistemi. (1504F167)
Tarih: 2015- 2016
- Yeşil, G. ve Uslu, S. (2014). Azaltılmış Pist Ayırma Minimaları Kullanılarak Pist Kapasitesinin Arttırılması. III. Ulusal Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı