

Uzak Kule Merkezi ile Kontrol Edilen Havalimanlarında Bulanık Mantık Tabanlı Uçak İniş Öncelik Sıralaması

Hatice DOĞAN¹ ORCID 0000-0002-4162-1319

Fatma YILDIRIM DALKIRAN^{*2} ORCID 0000-0001-8663-241X

¹Kapadokya Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, Nevşehir

²Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, Kayseri

Geliş tarihi: 12.09.2023

Kabul tarihi: 28.03.2024

Atıf şekli/ How to cite: DOĞAN, H., YILDIRIM DALKIRAN, F., (2024). Uzak Kule Merkezi İle Kontrol Edilen Havalimanlarında Bulanık Mantık Tabanlı Uçak İniş Öncelik Sıralaması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(1), 95-106.

Öz

Hava taşımacılığı, bilinen en güvenli ve emniyetli ulaşım şeklidir. Yapılan incelemeler sonucunda hava taşımacılığında meydana gelen kazaların büyük bir yüzdesinin yaklaşma safhasında meydana geldiği görülmüştür. İncelenen çalışmalarda hava trafik kontrolörlerinin iş yükünün ve stresinin arttığı gözlemlenmiştir. Trafik kontrolörlerinin iş yükünü azaltmak ve stresi dengelemek konuları araştırmacılara yeni çalışma sahaları açmıştır. Bu sahalardan biri olan uzak kule merkezi çalışmaları, kule çalışanlarının fazla iş yükü dahil hava trafiği kontrolü problemlerine çözüm olarak sunulmuştur. Günümüzde maliyet ve emniyet açısından da büyük avantajlar sağlayacağı düşünülen uzak kule merkezi üzerinde çalışmalar halen devam etmektedir. Bu çalışmada uzak kule merkezinden kontrol edilen havalimanlarına iniş için yaklaşmakta olan uçaklara iniş önceliği verilmesi için bulanık mantık tabanlı karar destek sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem için havalimanlarının ortalama günlük uçuş sayısı, havalimanı karar yüksekliği ve yaklaşma aşamasındaki uçağın hızı ve irtifası, girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. Oluşturulan bulanık mantık modellemesinde MATLAB/FIS arayüzü kullanılmıştır. Bu arayüz kullanılarak uzak kule merkezi tarafından kontrol edilen havalimanlarına yaklaşmakta olan uçaklar için iniş sıralaması belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, Uzak kule merkezi, İniş sıralaması, Hava trafik kontrolörü

Fuzzy Logic Based Aircraft Landing Priority at Airports Controlled by Remote Tower Center

Abstract

Air transportation is the safest and secure way of transportation. It has been seen as a result of the investigations that a large percentage of the accidents by air transport occur during the approach phase. In

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Fatma YILDIRIM DALKIRAN, fatmay@erciyes.edu.tr

the studies examined, it was observed that the workload and stress of air traffic controllers increased. Reducing the workload of traffic controllers and balancing stress has opened new fields of work for researchers. Remote tower center studies, one of these fields, are presented as a solution to air traffic control problems, including excessive workload of air traffic workers. Today, continuous studies on the remote tower center is thought to provide great advantages in terms of cost and safety. In this study, a fuzzy logic-based decision support system was developed to give landing priority to approach aircraft for landing at airports controlled by the remote tower center. For this system, the average number of daily flights of the airports, the airport decision altitude and the velocity and altitude of the aircraft in the approach phase are determined as input parameters. MATLAB/FIS interface was used in the developed fuzzy logic modeling. This distribution sequenced landings for aircraft approaching airports controlled by the remote tower center.

Keywords: Fuzzy logic, Remote tower center, Landing arrangement, Air traffic controller

1. GİRİŞ

Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı'na (International Civil Aviation Organization, ICAO) göre, havalimanlarının bir parçası olan hava trafik kontrol (Air Traffic Control, ATC) hizmetinin temel görevi, uçuşun herhangi bir safhasında uçakların birbirleri ile veya diğer engeller ile çarpışmasının önüne geçerek, hava trafiğinin emniyetli ve düzenli akışını sağlamaktır [1]. Bu işi gerçekleştiren hava trafik kontrol kuleleri bulunurken özellikle uçuş sayısı düşük olan havalimanlarının kapanmasını önlemek amaçlı uzak kule merkezleri oluşturulmaya başlanmıştır. Bu merkezler, bir ya da daha fazla havalimanında bulunan hava araçlarının düzenli akışını ve yönlendirmesini uzaktan sağlamaktadır [2].

Uçaklar belirli bir başlangıç noktasından varış noktasına giderken beş aşamadan oluşan uçuş sürecine sahiptir. Bunlar geliş, ilk yaklaşma, ara yaklaşma, son yaklaşma, pas geçmedir. 8 Ocak 2003 tarihinde Diyarbakır'da meydana gelen uçak kazasının ardından Boeing firması, 1959-2001 yılları arasında olan ticari uçak kazalarını inceleyen bir rapor hazırlamıştır. Bu rapora göre uçak kazalarının %54'ü son yaklaşma safhasında meydana gelmiştir [3]. 2017 yılında yapılan çalışmalarda Türk hava sahasında meydana gelen en ölümcül kazaların daha çok yaklaşma safhasında meydana geldiği görülmüştür [4,5]. 2020 yılında yapılan "havacılık kazası ve pilot hatası kavramı üzerine bir değerlendirme" isimli çalışmada uçak kazalarına ilişkin elde edilen istatistiki verilere göre iniş ve yaklaşma aşamalarında daha çok uçak kazası yaşandığı tespit edilmiştir [6]. Bu bağlamda

günümüzde hava trafiğinin yoğun olduğu düşünüldüğünde, uçaklar iniş aşamasında iken hava trafik kontrolörlerine daha büyük bir sorumluluk düştüğü söylenebilir.

Literatürde hava trafik hizmetlerinin daha verimli olabilmesi ve hava trafik kontrolörlerinin iş yükünün azaltılması için uçakların iniş sıralamasının yapılması hususunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri olan ve Kıyak tarafından yapılan bir çalışmada, havalimanlarına yaklaşmakta olan uçaklar için iniş sıralamasını sağlamak üzere oluşturulan, tavsiye niteliğinde olan karar destek uygulamasına yer verilmiştir [7]. Başka bir çalışmada şiddetli rüzgarlara ve sıkışmış kontrol yüzeyleri gibi arızalara maruz kalan hava araçları için iniş aşamasında hataya dayanıklı akıllı iniş sistemi sunulmuştur [8]. Ören ve Koçyiğit tarafından yapılan çalışmada ise MATLAB/FIS arayüzü kullanılarak, insansız hava araçlarının iniş sıralamasının belirlenmesi amaçlanmıştır [9].

Bulanık mantık birçok alanda kullanılmasının yanı sıra havacılık alanında da kullanılmakta ve kullanılmaya devam etmektedir [10-13]. Bunlardan biri olan ve Kıyak ve Kahvecioğlu'nun yaptığı çalışmada bulanık mantık yöntemi, bir hava aracının son yaklaşma ve iniş aşamasındaki uygun kontrol kuvvetinin bulunması için kullanılmıştır [10]. Sergaki ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ise bir ticari hava aracının uçuş kontrol sistemi için bulanık mantık uygulamasını kullanmışlardır [11]. Bu uygulama sayesinde uçakta bulunan iki sensörden herhangi birinin arızalanması durumunda hangisinin arızalandığını tespit etmek mümkün olmuştur. 2002 yılında Federal Aviation

Administration'in (FAA) yaptığı çalışmada ise tecrübelerine göre pilotlar arasında gruplar oluşturulmuş ve kalkıştan inişe kadar 3 boyutlu bir uçuş rotası üzerinde uçuş yapmalarını sağlamak üzere simülasyonlar oluşturulmuştur [12]. Bu uygulamada bulanık mantık, performans kriteri aşamasında kullanılmıştır. Başka bir çalışmada da pilota helikopterin hangi manevrayı yapması gerektiğini gösteren bir kontrol sistemi tanıtılmıştır [13]. Pilotun eylemlerini gerçekleştirmek için, geleneksel helikopter kontrollerinin her biri için birer tane olmak üzere iki ayrı bulanık kontrolör geliştirilmiştir. Bir diğer çalışmada savaş, hava durumu ve afet izleme, görüntüleme spektrometresi ve keşif için özel ve/veya gizli operasyonlar yürütebilen, tamamen bağımsız İHA'ların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Hava aracının herhangi bir bileşeninde sorun olduğunda ve hava aracının işlevselliğini azaltan bir durumla karşılaşıldığında sistemin geliştirilmesi için bulanık mantığın kullanılması önerilmiştir [14]. Saray ve Kıyak'ın yaptıkları çalışmada ise uçuş esnasında kabin basıncının sabit tutulmasına yönelik bir öneri sunulmuştur [15]. Çalışmada, uçak irtifası ve ölçülen kabin içi basınç, giriş verileri olarak, çıkış olarak ise hedef kabin basıncı değeri seçilmiş ve Mamdani çıkarım yöntemi kullanılmıştır [15]. Başka bir çalışmada ise hava aracı pitot-statik sistemde çıkabilecek arıza durumunda alternatif bir sistemin oluşturulması amaçlanmıştır [16]. Bu alternatif yöntem ile iki giriş-bir çıkışlı bulanık mantık yöntemi kullanılarak irtifa tahmini yapılmıştır. Jian ve ekibi tarafından yapılan çalışmada ise, bulanık mantık kullanılarak Boeing 737-800 uçağının kabin sıcaklık kontrol sistemi tasarlanmıştır [17]. Başka bir çalışmada da hava taşımacılığının büyümesi göz önünde bulundurularak, uçuş trafiğinde güvenli bir yönetim için bulanık mantığa dayalı teknolojik sistemlerin kullanılması önerilmiştir [18]. Konar'ın yaptığı çalışmada da insansız hava aracı kanat tasarımında ANFIS bulanık çıkarım sistemi ile diferansiyel arama algoritmasına dayalı yeni bir yöntem sunulmuştur [19]. Bir diğer çalışmada ise uçuş sırasında pilot ve uçuş kontrol sistemlerinin kritik durumlarda karar verme kabiliyetini artırmak amaçlı, hız ve yakıt parametrelerinin eş zamanlı hesaplanması için bulanık tabanlı bir model tasarlanmıştır [20].

Literatürde uzak kule merkezi tarafından kontrol edilen havalimanlarında hava trafiğinin daha kontrollü olmasını sağlamaya yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada bulanık mantık kullanılarak, uzak kule merkezinden kontrol edilen havalimanlarında, iniş için yaklaşmakta olan uçaklara iniş önceliği verilmesine yönelik karar destek sisteminin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu bağlamda bulanık mantık tabanlı bir model oluşturulmuştur.

2. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık, klasik mantık sistemlerinden farklı olarak, insanın belirsizlik ve kesin olmayan bir ortamda rasyonel kararlar verme konusundaki yeteneğini modellemeyi amaçlar [21]. Mantıkçılar, bulanık mantığın ilk kavramını 1920'lerde ortaya atarak, her şeyin bir derece meselesi olduğunu savunmuşlardır. Bulanık mantık, mühendislerin ne kadar hızlı çalışması gerektiğine veya bir ayardan diğerine geçmeleri gerektiğine karar veren iklimler, çamaşır makineleri ve diğer cihazları yapmalarına yardımcı olmaktadır.

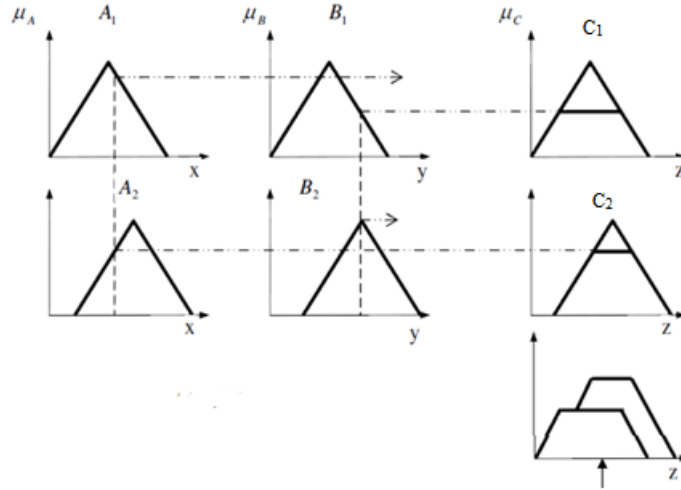
Matematikçiler, bir sistemin girdilere nasıl yanıt vermesi gerektiğini ifade eden belirli algoritmalara sahip olmadığında, bulanık mantık, belirsiz niceliklere atıfta bulunarak, "sağduyu" kurallarını kullanarak sistemi kontrol edebilir veya tanımlayabilir.

1980'de Kopenhag'daki F.L. Smidth müteahhitlik firması, çimento firmı sisteminin işleyişini denetlemek için bulanık sistemi kullanan ilk kullanıcıdır. 1988'de Hitachi, Japonya'nın Sendai kentindeki bir metronun kontrolünü bulanık bir sisteme devretmiştir. Bu tarihten beri de Japon şirketleri, yüzlerce ev aletini ve elektronik ürünü yönetmek için bulanık mantık kullanmışlardır. Uluslararası Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, 1992'de Japonya'nın yaklaşık 2 milyar dolar değerinde bulanık mantık ürünü ürettiğini tahmin etmektedir [22].

Bilimsel çalışmalarda tercih edilen iki tip bulanık çıkarım sistemi bulunmaktadır. Bunlar, Mamdani tip ve Takagi-Sugeno tip olarak adlandırılmaktadır. Mamdani tipi bulanık çıkarım sisteminin

oluşturulması basit olup, diğer bulanık mantık modellerinin temelini oluşturmaktadır. Uzmanlığı daha sezgisel tanımlamaktadır. Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi ise hesaplama açısından daha verimlidir ve optimize edilebilir

tekniklerle çalışmaya uyumludur. Bu da onu özellikle dinamik doğrusal olmayan sistemler için olan kontrol problemlerinde kullanılmasını sağlar [23].



Şekil 1. Bulanık VE ve VEYA işlemleri için sırasıyla minimizasyon ve maksimizasyon operatörlerini kullanan Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi [24]

Bu çalışmada Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi ve ağırlık merkezi durulaştırma metodu kullanılmıştır. Ağırlık merkezi metodunda işlenen kurallar ile elde edilen bütün çıkışa ait bulanık kümeler hesaplamaya katılır. Dolayısıyla aktif olan pek çok kural karşılama dereceleriyle ortalamaya girer. Daha hassas bir sonuç elde edilir ve bu sebepten bu çalışmada ağırlık merkezi durulaştırma metodu kullanılmıştır. Bu bulanık modellemede girdi ve çıktı karar değişkenleri kapalı formdaki üyelik fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Şekil 1’de görüldüğü üzere x ve y gibi iki değişkeni içeren iki kurallı bir Mamdani tipi bulanık mantık modelinde z çıkış değerinin C_i bulanık küme fonksiyonlarından nasıl hesaplandığı gösterilmektedir.

Kural 1: Eğer $x \in A_1$ ve $y \in B_1$ ise $z \in C_1$

Kural 2: Eğer $x \in A_2$ ve $y \in B_2$ ise $z \in C_2$

Bulanık mantık uygulamalarında sistem performansı artar ve aynı zamanda uygulama basitleşerek, mali giderler de azalır. Bulanık mantık sayesinde gerçek sisteme yönelik kural tabloları

oluşturularak, sistem performansının daha iyi olması sağlanabilmektedir [24].

Bulanık mantığın bilgisayar alanında, yapay zeka çalışmalarındaki olumlu etkileri büyük önem taşımaktadır. Ayrıca birçok endüstriyel alanda, jeodezik problemlerin çözümü gibi pek çok mühendislik alanlarında kullanılabilmektedir [25].

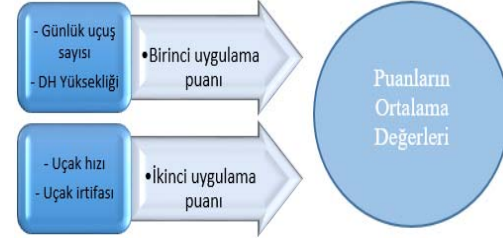
3. UZAK KULE MERKEZİ

Hava trafiği gün geçtikçe tüm dünyada yaygınlaşmaktadır. Yolcu sayısının artışı ile uçuş trafiği de sürekli artış göstermektedir. Uçuşların artmasına bağlı olarak hava seyrüsefer hizmeti sağlayıcılarının (Air Navigation Service Provider, ANSP) üzerindeki iş yükü de artmaktadır. Hava trafik yönetimi (Air Traffic Management, ATM), işleyişinin sürekliliği ve bakımı için sabit bir maliyet oluşturmaktadır. Havalimanlarında bu maliyet ise uçuş ve yolcu sayısına bağlı olarak değişmektedir. Günlük uçuş sayısı çok olan büyük havalimanları tarafından maliyet, kolaylıkla

karşılabilirken, uçuş sayısı az olan küçük ya da orta ölçekli havalimanları tarafından zor karşılanmaktadır. Uçuş sayısı az olan küçük havalimanlarının kapanmasının önüne geçilmesi ve havalimanından elde edilen kârın artması amacıyla, en az iki havalimanının kontrolünün ve trafiğinin yönlendirmesini uzaktan sağlayan merkezlere “uzak kule merkezi” denir [26]. Uzak kule merkezi kurulumunda pencere dışı görünümün (Out of The Window View, OTW) yerini kameralar almıştır ve bu sayede havalimanının görünümü elektronik olarak izlenmektedir. Uzak kule merkezi kavramında, yerel havalimanındaki ekipmanlardan alınan havalimanına ait görüntülerin, meteorolojik sensörler, seyrüsefer yardımcıları, VHF radyo sistemleri gibi ekipmanlardan alınan verilerin uzak kule merkezine iletimi için geniş alan ağı (Wide Area Network, WAN) kullanılmaktadır. Uzaktan kule merkezi ile bir havalimanı kontrol edilebileceği gibi, uçuş sayısı az olan, birden fazla küçük havalimanlarının kontrolü de mümkündür. Birden fazla kulenin hizmet ve bakım maliyetleri, uzak kule merkezi sayesinde azaltılarak, verimlilik artırılmış olacaktır [2].

Bu çalışmada uzak kule merkezinden kontrol edilen havalimanlarında uçuş safhalarının en kritik aşaması olan yaklaşma safhasında olan uçakların uygun bir şekilde indirilmesi amaçlanarak, bulanık mantık tabanlı bir model oluşturulmuştur. Bu model ile hava trafik kontrolörlerinin iş yükünün azaltılması ve emniyetin artırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda havalimanlarına yaklaşmakta olan uçakların hızı, irtifası, uzaktan kontrol edilen havalimanlarının ortalama günlük uçuş sayısı, karar yüksekliği (Decision Height, DH), iniş önceliği sıralamasında önemli parametreler olarak belirlenmiş olup, giriş olarak seçilmiştir. Bu parametrelerden DH ve günlük uçuş sayıları ile uçağın hızı ve irtifası, 2 giriş-1 çıkış olacak şekilde ayrı ayrı ele alınmıştır. Günlük uçuş sayısı ve karar yüksekliği (DH), havalimanına ait parametreler; uçak hızı ve irtifası ise uçağa ait parametreler olmasından dolayı ve daha hassas sonuç alınması amacıyla 2 giriş-1 çıkış şeklinde ayrı ayrı kural tablosu oluşturulması, durulaştırma aşamasında daha fazla hassasiyet sağlayacaktır. Çalışmada çözümün daha basit ve hızlı olması açısından üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Daha karmaşık

üyelik fonksiyonları kullanılabilir fakat karmaşıklık artar ve daha fazla hesaplama gücü gerekir [27]. Verilerin giriş-çıkış şematiği Şekil 2’de yer almaktadır. Sonuçta da çıkıştan elde edilen puanlar değerlendirilmiştir.

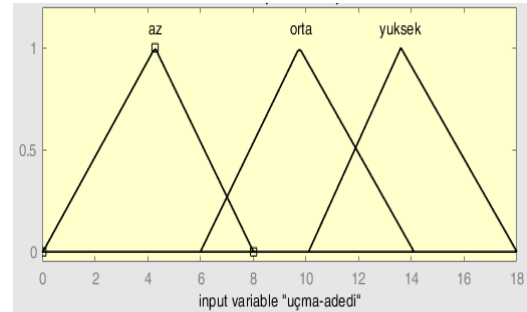


Şekil 2: Verilerin giriş-çıkış şematiği

4. MODELLEME VE SONUÇLARI

4.1. Havalimanı Günlük Uçuş Sayısı

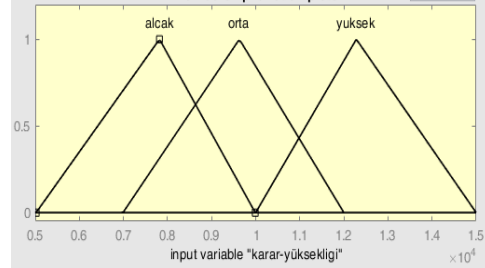
Havalimanlarının uçuş yoğunluğu, iniş sıralamasında önemli bir faktördür. Uçuş yoğunluğu fazla olan havalimanlarına iniş ve kalkış aşamalarındaki öncelik durumları, bazı özel durumlara göre farklılık arz edebilmektedir. Bu çalışmada uçuş yoğunluğu yani uçuş sayısı az olan ve birbirlerine yakın olan Kars Harakani, Ağrı Ahmed-i Hani ve Iğdır Şehit Bülent Aydın Havalimanları'nın uzak kule merkezi uygulaması ele alınmıştır. Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin (DHMI) 2023 Ocak ayı verilerinden yararlanılarak bu havalimanlarının ortalama günlük uçuş sayıları sırasıyla Kars 11, Ağrı 5, Iğdır 10 olarak hesaplanmıştır [28]. Bu hesaplamalardan yola çıkarak uçuş sayısına ait üyelik fonksiyonları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Uçuş sayısı üyelik fonksiyonu

4.2. Havalimanı Karar Yüksekliği

Bir havalimanında yaklaşma safhasında ortaya çıkabilecek durumlardan dolayı pas geçme usulünün başlayacağı irtifa veya yükseklik değeri hesaplanarak, karar yüksekliği (Decision Height, DH) belirlenir. Havalimanlarının etrafında bulunan engebeler veya yapılar, değişiklik gösterdiğinden, havalimanlarının karar yüksekliği de değişmektedir. Uçakların pas geçme yüksekliğinin değeri, iniş sıralamasında öncelik açısından önemli bir kriterdir. Yüksekliğin fazla olması, hata toleransını da artırmaktadır. Havacılık Enformasyon Yayını'ndan (Aeronautical Information Publication, AIP) elde edilen verilere göre Kars Harakani, Ağrı Ahmed-i Hani ve Iğdır Şehit Bülent Aydın Havalimanları'nın karar yükseklikleri sırasıyla 10000 ft, 9900 ft ve 14000 ft olup, üyelik fonksiyonları, Şekil 4'te verilmiştir [29].



Şekil 4. DH üyelik fonksiyonu (ft)

4.3. Uçağın Hızı

Havalimanlarında iniş sıralaması yapılırken piste yaklaşmakta olan uçakların hızı da sıralamayı belirleyen bir diğer kriter olarak kabul edilmiştir. Çalışmada yakın tarihte gerçekleşen seferlerde İstanbul-Kars, İstanbul-Ağrı, İstanbul-Iğdır rotaları Flight radar uygulamasının web sitesinden alınarak, uçuşların yaklaşma safhasındaki hız ve irtifa değerleri hesaba katılmıştır. Şekil 5'te de yaklaşma safhasındaki bahsi geçen uçakların hızı ve irtifası bulunmaktadır.

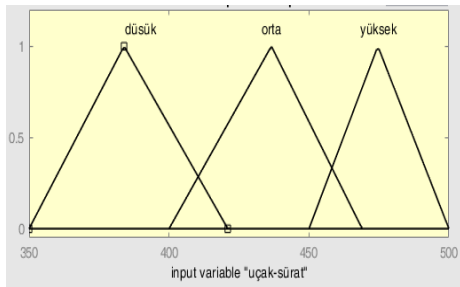


Şekil 5. Yaklaşma safhasındaki uçaklara ait hız ve irtifa bilgisi [30]

Havalimanlarına yaklaşmakta olan uçakların hızları, Çizelge 1’de [30], uçakların hızına ait üyelik fonksiyonu, Şekil 6’da verilmiştir.

Çizelge 1. Havalimanlarına yaklaşmakta olan uçaklara ait hız bilgileri [30].

Havalimanı	Yaklaşmakta olan uçağın hızı
Kars Harakani	455 km/h
Ağrı Ahmed-i Hani	451 km/h
Iğdır Şehit Bülent Aydın	444 km/h



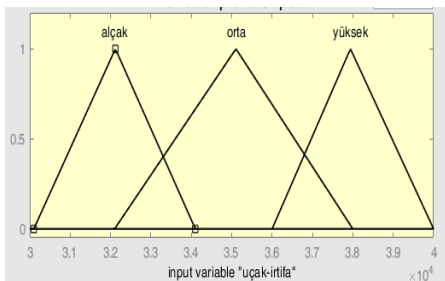
Şekil 6. Hız üyelik fonksiyonları (km/sa)

4.4. Uçağın İrtifası

Havalimanlarında iniş sıralaması belirlenirken dikkat edilecek bir kriter de yaklaşma safhasındaki uçakların irtifalarıdır. Uçaklara ait irtifa değerleri, Çizelge 2’de yer alırken [30], irtifalara ait üyelik fonksiyonları Şekil 7’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Havalimanlarına yaklaşmakta olan uçaklara ait irtifa bilgileri [30]

Havalimanı	Yaklaşmakta olan uçağın irtifası
Kars Harakani	32625 ft
Ağrı Ahmed-i Hani	33000 ft
Iğdır Şehit Bülent Aydın	36600 ft



Şekil 7. İrtifaya ait üyelik fonksiyonları (ft)

4.5. Gerçekleştirilen Modelleme

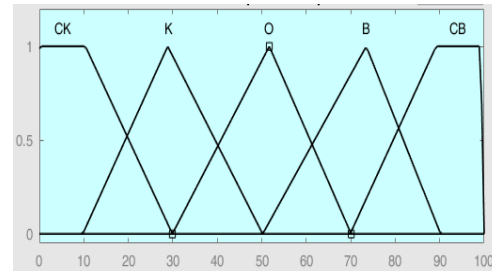
Modellemede iniş sıralamasını oluşturmak üzere puanlandırma yapılabilmesi için günlük uçuş sayısı ve karar yüksekliği girişleri ile oluşturulan ilk kural tablosu, Çizelge 3’te verilmiştir. Giriş olarak uçağın hızı ve irtifası olarak verilen 2. modellemenin kural tablosu ise Çizelge 4’te yer almaktadır. Bu tablolarda ÇK-Çok Küçük, K-Küçük, O-Orta, B-Büyük, ÇB-Çok Büyük anlamına gelmektedir. Bulanık denetleyicide oluşturulan puanlandırma üyelik fonksiyonu da Şekil 8’de verilmiştir.

Çizelge 3. Uçuş sayısı-karar yüksekliği kural tablosu

		Günlük uçuş sayısı		
		Az	Orta	Çok
Karar yüksekliği	Alçak	B	B	ÇB
	Orta	K	O	B
	Yüksek	ÇK	K	B

Çizelge 4. Uçağa ait hız-irtifa kural tablosu

		Uçağın hızı		
		Az	Orta	Çok
Uçağın irtifası	Alçak	B	B	ÇB
	Orta	K	O	B
	Yüksek	ÇK	K	B



Şekil 8. Puanlandırma üyelik fonksiyonu

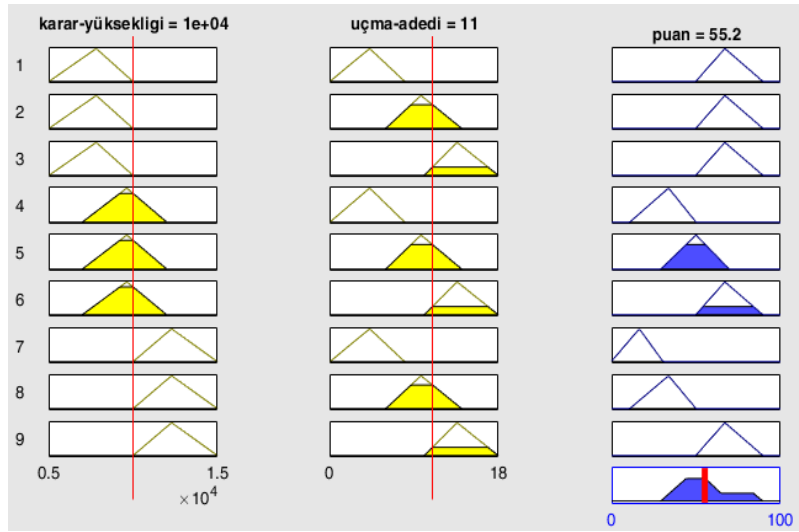
Uygulamada uçuş sayısı, havalimanı karar yüksekliği, uçak hızı ve irtifası giriş olarak kabul edilmiştir. Toplamda 18 adet kural oluşturulmuş ve çıkış puan tablosuna göre havalimanı iniş sıralaması belirlenmiştir. Uygulamada parametreler, 2 giriş-1 çıkış şeklinde değerlendirildiği için sonuçta iki farklı puan elde edilmiştir. Havalimanına ait karar yüksekliği ve uçağın irtifası birbirini etkileyen parametreler olması sebebiyle de iki farklı sonucun

ortalaması alınmıştır [31]. Değerlendirilen tüm parametrelerin eşit değere sahip olduğu kabul edilerek, puanların ortalaması alınmış ve bulanık kümesine durulama uygulandığında çıkış, tek bir sayısal değer olarak belirlenmiştir.

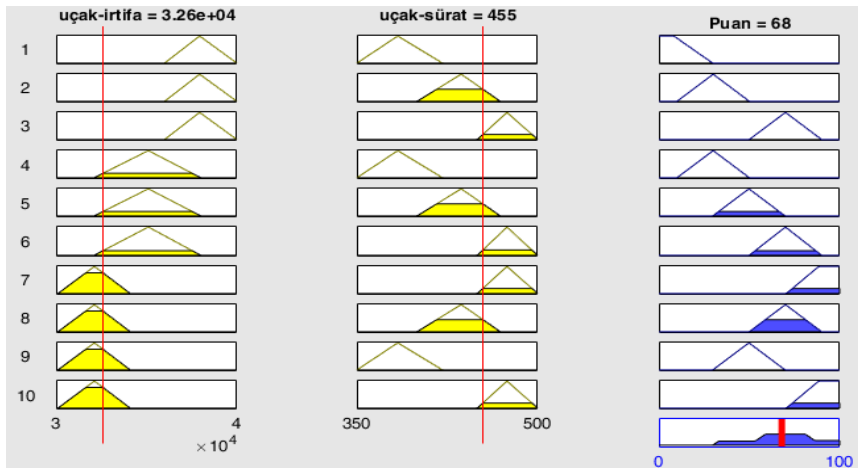
Oluşturulan kural tablosuna göre havalimanına yaklaşmakta olan en yüksek puan değerine sahip uçağın iniş önceliği olmaktadır. Havalimanlarına

yaklaşmakta olan uçakların iniş sıralaması, puanları ile doğru orantılıdır.

Uçuş sayısı-DH girişlerinin kural tablosunda değerlendirilmesi sonucunda Kars Harakani Havalimanı için elde edilen puan değeri 55.2 olup, Şekil 9'da verilmiştir. Bu havalimanı için uçağın hızı ve irtifası girişleri değerlendirilerek, 68 puan değeri elde edilmiştir ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Kars Harakani Havalimanı için uçuş sayısının ve DH'nin kullanıldığı birinci çıkış puan tablosu



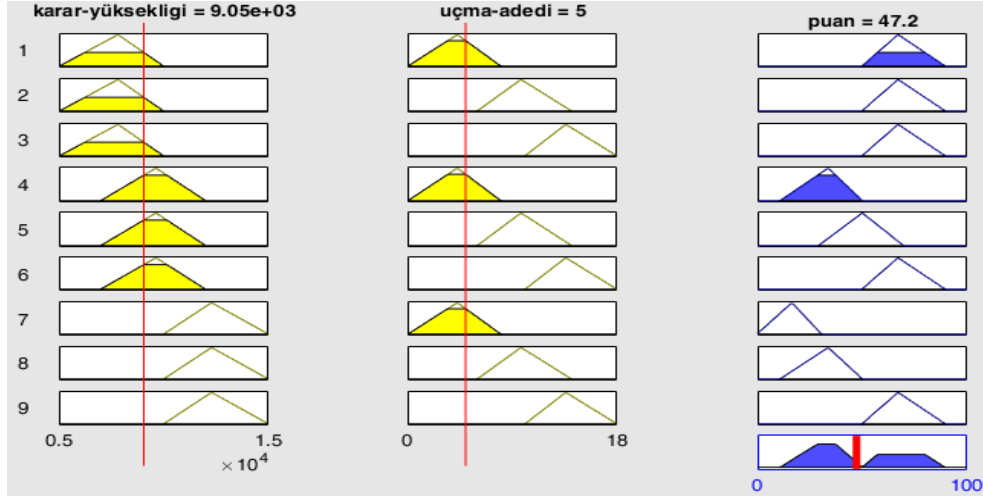
Şekil 10. Kars Harakani Havalimanı için uçağın hızının ve irtifasının kullanıldığı ikinci çıkış puan tablosu

Şekil 11'de yer alan uçuş sayısı- DH girişlerinin kural tablosunda değerlendirilmesi sonucu Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı için elde edilen puan

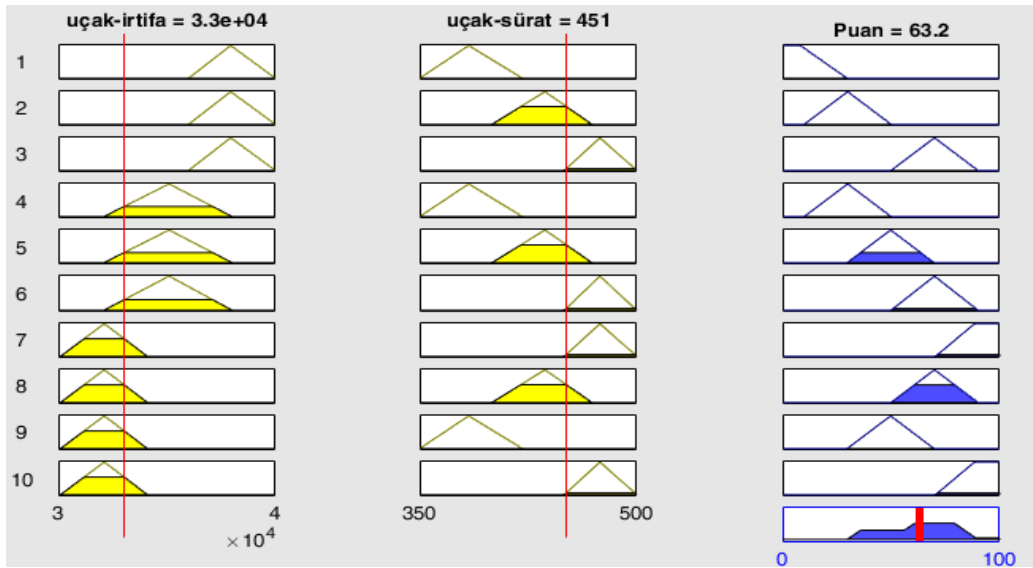
değeri 47.2'dir. Uçağın hızı ve irtifasına göre yapılan 2. değerlendirmede ise 63.2 puan elde edilmiş olup, Şekil 12'de verilmiştir.

Iğdır Şehit Bülent Aydın Havalimanı için uçuş sayısı- DH girişlerinden 30.9 puan değeri elde edilmiş olup, Şekil 13’de verilmiştir. Uçağın hızı ve

irtifası girdilerinin kural tablosunda değerlendirilmesinin sonucunda ise 41.8 puan değeri elde edilmiş olup, Şekil 14’de gösterilmiştir.



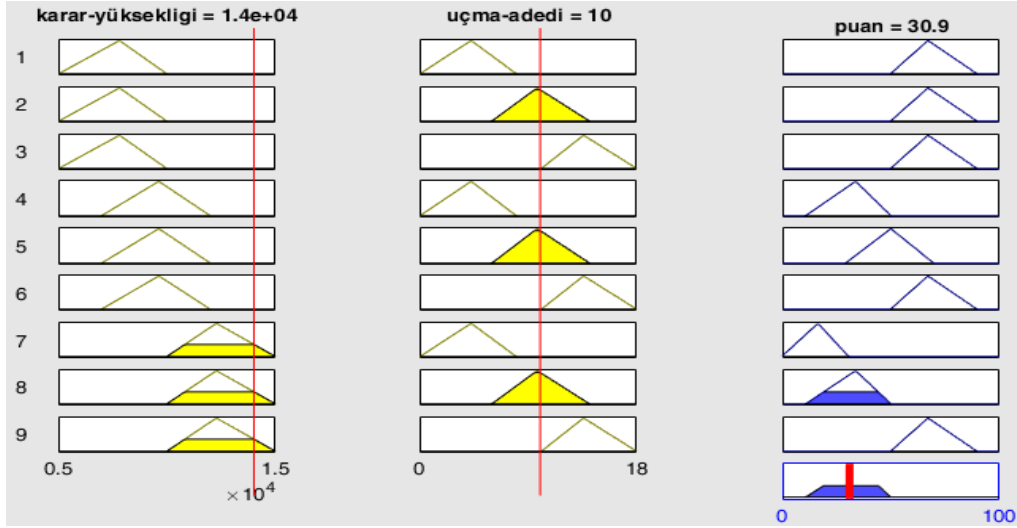
Şekil 11. Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı için uçuş sayısının ve DH'nin kullanıldığı birinci çıkış puan tablosu



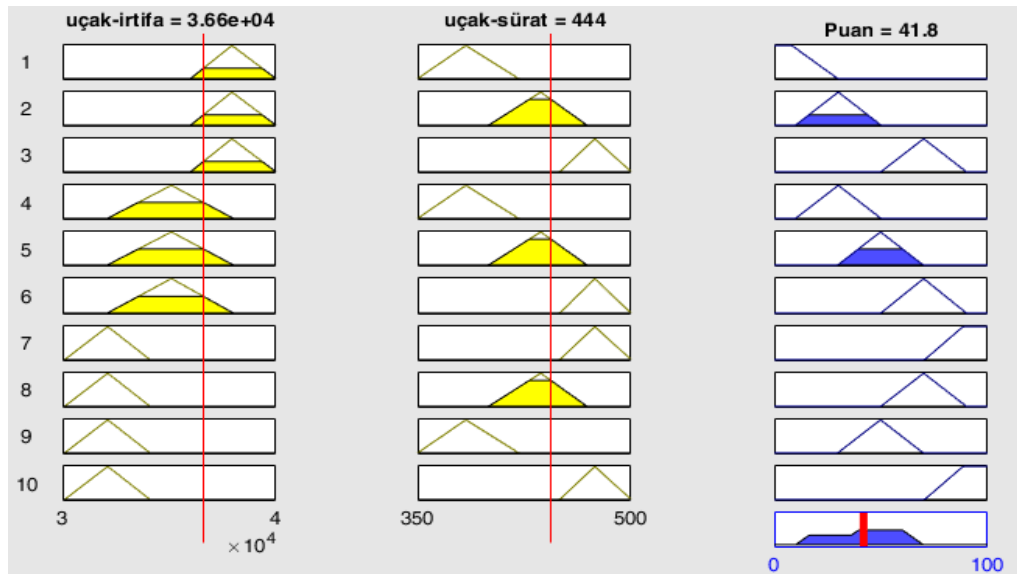
Şekil 12. Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı için uçağın hızının ve irtifasının kullanıldığı ikinci çıkış puan tablosu

Kars, Ağrı ve Iğdır’da bulunan havalimanlarına yapılan uçuş sayısı-karar yüksekliği ve uçağın hızı-irtifası parametreleri ayrı ayrı FIS’ de değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar, toplu olarak Çizelge 5’de verilmiştir.

Tüm parametreler, eşit değere sahip olduğundan puanların ortalaması alınmış ve toplam çıkış, tek bir sayısal değer olarak elde edilmiştir.



Şekil 13. İğdir Şehit Bülent Aydın Havalimanı için uçuş sayısının ve DH'nin kullanıldığı birinci çıkış puan tablosu



Şekil 14. İğdir Şehit Bülent Aydın Havalimanı için uçağın hızının ve irtifasının kullanıldığı ikinci çıkış puan tablosu

Çizelge 5. Havalimanı puan tablosu

	Kars	Ağrı	İğdir
Uçuş sayısı-DH	55.2	47.2	30.9
İrtifa-Hız	68	63.2	41.8
Ortalama	61.6	55.2	36.35

5. SONUÇLAR

Hava taşımacılığındaki yoğunluğun artmasına bağlı olarak hava trafik kontrolörlerinin de iş yükü artmaktadır. Hava trafik kontrolörlerinin ana görevi, emniyetli ve düzenli bir uçuş trafiği sağlamaktır. Uzak kule merkezi uygulaması ile

hava trafik kontrolörleri, eş zamanlı birden fazla havalimanının kontrolünü sağlamakla sorumlu hale gelmişlerdir. Uzak kule merkezinde havalimanlarına yaklaşmakta olan uçakların bir karar destek sistemi yardımıyla iniş sıralaması oluşturması halinde hava trafik kontrolörlerinin iş yükünün azalması ve yanlış kararların alınmasının önüne geçilmesi planlanmaktadır.

Bu çalışmada bulanık mantık tabanlı bir model oluşturulmuştur. Girişler, DHMİ, AIP ve flight radar verilerinden yararlanılarak havalimanı günlük uçuş sayısı, havalimanı karar yüksekliği (DH), uçak hızı ve uçağın irtifası olarak belirlenerek üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Havalimanı günlük uçuş sayısı-DH parametreleri ile bir puan elde edilirken; uçak hızı-irtifası parametreleri ile de ayrı bir puan değeri elde edilmiştir. Uçuş sayısı-DH parametrelerinden oluşan birinci uygulama sonucunda Kars'taki havalimanı 55.2, Ağrı'daki 47.2 ve Iğdır'daki 30.9 puan almışlardır. Uçağın hızı ve irtifası parametrelerinden oluşan ikinci uygulama sonucunda ise Kars Harakani Havalimanı 68 puan, Ağrı Ahmed-i Hani Havalimanı 63.2 puan ve Iğdır Şehit Bülent Aydın Havalimanı 41.8 puan almışlardır. Ele alınan bu parametreler eşit önceliğe sahip olup, ortalamaları hesaplanmıştır ve Çizelge 5'te de görüldüğü gibi Kars'daki, Ağrı'daki ve Iğdır'daki havalimanları sırasıyla 61.6, 55.2 ve 36.35 puan elde etmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda uzak kule merkezi tarafından kontrol edilen havalimanlarında eş zamanlı bir yaklaşma olması halinde iniş öncelik sıralaması Kars, Ağrı ve Iğdır şeklinde olacaktır.

Daha önce Almanya Hava Uzay Merkezi ve FAA gibi kuruluşlar uzak kule merkezi uygulaması hakkında birçok çalışma yapmış olmasına rağmen literatürde uzaktan kontrol edilen havalimanlarına incek uçakların iniş sıralamasına yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışma sayesinde hava trafik kontrolörleri üzerindeki stres azaltılarak, hava taşımacılığı daha güvenli ve emniyetli bir hal alacaktır. Öte yandan modelde yer alan günlük uçuş sayısı ve DH parametreleri literatürde daha önce kullanılmamış olup, ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

İlerleyen çalışmalarda havalimanlarındaki meteorolojik değişimler, havalimanlarına iniş/kalkış yapan uçak tipleri de giriş parametresi olarak kabul edilerek, daha hassas çözümler gerçekleştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. ICAO, 1984. 9426-AN/924 Air Traffic Services Planning Manual. International Civil Aviation Organization, 411.
2. Frequentis, 2016. Whitepaper: Introduction to Remote Virtual Tower. Air Traffic Management. Frequentis, 24.
3. Cavcar, M., Cavcar, A., 2003. Türkiye Hava Sahası Ticari Hava Taşımacılığı Kazalarına Genel Bakış: 1950-2003. Mühendis ve Makine, 44(518), 21-29.
4. Dönmez, K., 2017. Türk Hava Sahasında Meydana Gelen Ölümcül Uçak Kazalarına İnsan Faktörleri Analiz Ve Sınıflandırma Sisteminin (Hfacs) Uygulanması. The Journal of Academic Social Science Studies, 6(59), 229-253.
5. Yanaz, E., 2017. Ekip Kaynak Yönetimi ve SHELL Model Anlayışının Havayolu İşletmelerinde Uçuş Emniyeti ve Zamanında Kalkış Performansına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, 143.
6. Meltem, A., 2020. Havacılık Kazası ve Pilot Hatası Kavramı Üzerine Bir Değerlendirme. The Journal of Social Science, 4(7), 251-264.
7. Kıyak, E., 2010. Bulanık Mantıkla Uçak İniş Sıralamasının Yapıtırılması. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 4(4), 51-55.
8. Xu, K., Zhang, G., 2011. Dynamic Neuro-Fuzzy Control Design for Civil Aviation Aircraft In Intelligent Landing System. IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2359-2363, 07-10 August 2011, Beijing, China.
9. Ören, A., Koçyiğit, Y., 2016. İnsansız Hava Araçları İniş Sıralamasının Bulanık Mantık Modellemesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 12(1), 55-66.
10. Kıyak, E., Kahvecioğlu, A., 2003. Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 1(2), 63-72.

11. Sergaki, A., Kalaitzakis, K., 2002. A Fuzzy Knowledge Based Method for Maintenance Planning in A Power System. *Reliability Engineering & System Safety*, 77(1), 19-30.
12. Beringer, D.B., 1999. Performance-Controlled Systems, Fuzzy Logic, and Fly-By-Wire Controls to General Aviation. *Proceedings of The Human Factors and Ergonomics Society 43rd Annual Meeting*, 43(1), 61-65.
13. Iakovou, D., 2002. Fuzzy Control for Helicopter Aviation. University of Twente, Enschede, Hollanda, 77.
14. Bickraj, K., Pamphile, T., Yenilmez, A., Li, M., Tansel, I., 2006. Fuzzy Logic Based Integrated Controller for Unmanned Aerial Vehicles. *Florida Conference on Recent Advances in Robotics*, 25-26 May 2006, Florida.
15. Saray, U., Kıyak, E., 2018. Bulanık Mantık Tabanlı Kabin Basıncı Kontrolü Tasarımı. II. International Scientific and Vocational Studies Congress (BILMES 2018), 1435-1441.
16. Demiryürek, S., Yıldırım, M.T., 2019. Uçuş Veri Kaydedicisi Verilerinden Bulanık Mantık Yöntemi ile İrtifa Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı*, 171-176.
17. Jian, Z., Guihe, H., Jing, Z., 2013. Cabin Temperature Control System Simulation of Transportation Aircraft. 2013 Third International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control, 1689-1692, 21-23 September 2013, Shenyang, China.
18. Meyer, D., Sági, B., Tarnai, G., 2008. Safety Management of Traffic Growth in Air Transportation. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 36, 69-72.
19. Konar, M., 2019. Redesign of Morphing UAV's Winglet Using DS Algorithm Based ANFIS Model. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 91(9), 1214-1222.
20. Bagis, A., Konar, M., 2018. ABC and DE Algorithms Based Fuzzy Modeling of Flight Data for Speed and Fuel Computation. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 11(1), 790-802.
21. Zadeh, L., 2023. *A Fuzzy Logic. Granular, Fuzzy and Soft Computing*. Springer, New York, U.S, 19-49.
22. Kosko, B., Isaka, S., 1993. Fuzzy Logic. *Scientific American*, 269(1), 76-81.
23. Kaur, A., Kaur, A., 2012. Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, 2(2), 323-325.
24. Taşkırđı, Ö., Ünver, H.M., 2020. Yüksek Başarım için Bulanık Mantık Tabanlı Kişiyel Özel Sınav Üretme Sistemi Tasarımı. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2), 745-752.
25. Yılmaz, M., Arslan, E., 2005. Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması. 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 512-522, 23-25 Kasım 2005, İTÜ, İstanbul.
26. Jonsson, R., Daniel T., 2017. Remote Tower Center-Planning Tool. Degree Project, Linnaeus University, Växjö, İsveç, 70.
27. Konar, M., 2010. Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Uçuş Kontrol Sistemlerine Ait Bazı Parametrelerin Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 80.
28. DHMİ, <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Ististikler.aspx>, Erişim tarihi: 01.12.2023.
29. DHMİ-AIP, <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/aipturkey.aspx>, Erişim tarihi: 01.12.2023.
30. Flightradar, <https://www.flightradar24.com/39.74,40.83/7>, Erişim tarihi: 18.06.2023.
31. Havaalanı Emniyet Standartları Talimatı, <https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/taslaklar/SHT-HES.pdf>, Erişim tarihi: 01.12.2023.