

# İnsansız Hava Araçları İniş Sıralamasının Bulanık Mantık Modellemesi

Alper Ören<sup>1\*</sup>, Yücel Koçyiğit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hava Teknik Okullar Komutanlığı Hava Astsubay Meslek Yüksek Okulu Hava Trafik Kontrol Programı, 35415 Gaziemir/İzmir, alperoren@tekok.edu.tr

<sup>2</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, yucel.kocyiğit@cbu.edu.tr

\*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Received: 6 Temmuz (July) 2015

Kabul / Accepted: 15 Nisan (April) 2016

DOI: <http://dx.doi.org/10.18466/cbujos.88435>

## Özet

Bir hava trafik kontrolörü, hava trafik yönetiminin emniyetli, etkin ve süratli bir şekilde sağlanmasından sorumludur. Hava trafik kontrolörlerinin en önemli görevlerinden biri emniyetli bir uçuş için hava araçları arasındaki mesafelendirmeyi diğer bir ifade ile ayırmayı doğru olarak sağlayabilmesidir. Emniyetin yanı sıra trafik akışının hız ve verimliliğini temin etmek de kontrolörün amacıdır. Hava trafik kontrolörünün amacına ulaşması birçok karmaşık uygulama, planlama, karar verme, iletişim ve koordinasyon faaliyetlerinin en iyi şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Bu da hava trafik kontrolörlerinin çalışma ortamını çok karmaşık ve dolayısıyla hatalara yatkın hale getirmektedir. Bu çalışmada, insansız hava araçları iniş sıralaması için önerilen bulanık mantık modellemesinin tasarım aşamasında MATLAB/FIS (Fuzzy Inference System – Bulanık Mantık Arayüzü) editörü kullanılmıştır. Bulanıklaştırma arayüzünün üyelik fonksiyonları olarak, iniş sıralamasına etki eden altı adet parametrenin sayısal değerlerine karşılık gelen üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Bunun yanı sıra belirlenen üyelik fonksiyonları normal, monoton ve simetriktr. Çıkarım motorunda Min-Max Metodu ile Mamdani Yöntemi, durulama arayüzünde ise Ağırlık Merkezi Yöntemi kullanılmıştır. Bulanık mantık tabanlı modellemenin oluşturulmasından sonra hava trafik kontrolörlerinin insansız hava araçlarına ait verileri işleyerek daha hızlı ve kolay bir şekilde sonuca ulaşmalarını sağlayacak altı adet insansız hava aracı bilgilerinin girilebildiği kullanıcı arayüzü MATLAB/GUI yardımıyla tasarlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler** - Bulanık mantık, hava trafik kontrolörü, hava trafik yönetimi, iniş sıralaması, insansız hava aracı

## Unmanned Aerial Vehicles Landing Sequencing Modelling Via Fuzzy Logic

### Abstract

Air Traffic Controllers are decision maker in dynamic and complex environment including numerous actors, consistent updating of pertinent data. They need to decide in a short time with incomplete information, under time pressure and high workload. Basically for sequencing and separating the aerial vehicles there are some inputs like speed, altitude, distance, rate of descend, endurance etc. On the other hand universal rules for sequencing and separating cannot be omitted. But finally we have only one output: "Who will be the number one for landing?" In that point, we propose a new model via fuzzy logic. The determination of conflicts between aircraft can be regarded as a very complex problem, yet air traffic controllers have the capacity to perform the undertaking with high rates of

accomplishment under demanding circumstances. Much of the expertise of the air traffic controller appears to lie in the capacity to choose the suitable methodology for the issue. In this paper, we present an analytic approach for UAV landing sequencing modelling with in the dynamic airspace including different mission types or applications for both military and civilian vehicles. For modelling, we utilize the MATLAB Fuzzy FIS (Fuzzy Inference System) with realistic data and create the user friendly interface with MATLAB/GUI. The simulation results show that the proposed model is a robust alternative for maximum mission efficiency, minimum fuel consumption and delay reduction.

**Keywords** - Air traffic controller, air traffic management, fuzzy logic, landing sequencing, unmanned aerial vehicle

## 1 Giriş

İnsansız Hava Aracı (İHA), hava aracını kontrol edecek olan pilotu fiziki olarak hava aracı içerisinde taşımayan, aerodinamik ve itki kuvvetlerini kullanarak uçan, önceden programlanarak ya da yerden verilen komut ile harici bir pilot tarafından uçurulan ya da otonom (bağımsız) uçuş kabiliyetine sahip, yani kendi kendine uçabilen faydalı yük veya silah taşıyabilen sistemdir [1].

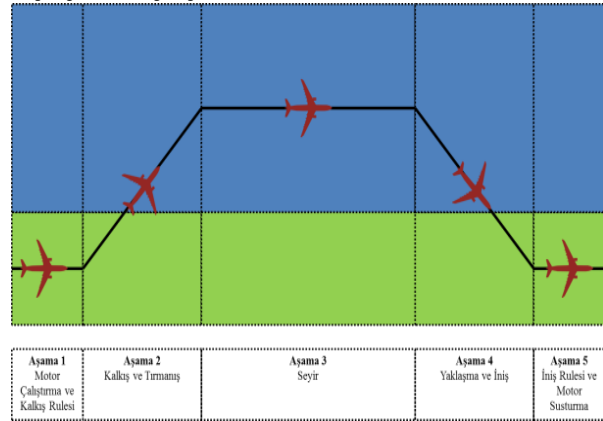
Günümüzde, mikro-elektromekanik sistemlerdeki teknolojik gelişmeler ve gün geçtikçe azalan maliyetler sayesinde, İHA sistemleri insanlı sistemlere alternatif olarak tercih edilmektedir. İHA sistemleri sayesinde çok daha uzun sürelerde (24-48 saat) görev icra edilmesi ve yer kullanıcıları için ağır genişletilmesi imkânı doğmuştur [2].

İnsansız sistemler genel anlamda dayanıklılık, çok yönlülük ve süreklilik kabiliyetine sahiptirler. Öte yandan özellikle insan hayatını tehlikeye düşürebilecek görevlerde insanlı sistemlere nazaran tercih edilmektedirler [3].

Boyut, maliyet, ekonomik kazanımlar, çevresel faktörler ve beraberinde en önemlisi de teknolojik gelişmeler ışığında insansız sistemler insanlı sistemlere bir rakip olarak çıkmıştır. Bununla beraber özellikle havacılık sektöründe yer alan büyük firmalar sektörel yatırımlarını, vizyon ve misyonlarını insanlı sistemlerden insansız sistemlere doğru yöneltmişlerdir.

Bir hava aracının park yerinde motor çalıştırması ile başlayan ve tekrar park yerine dönerek motor susturmasına kadar olan süreç, uçuş olarak tanımlanmaktadır. Bir uçuş, ister insanlı isterse insansız hava aracı ile icra edilsin toplamda genel geçer beş temel aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar kendi içerisinde de alt bölümlere

ayrılmakta olup uçuşun Şekil 1’de yer alan temel beş aşaması şu şekilde sıralanabilir:



Şekil 1. Uçuşun beş aşaması

Hava trafik yönetimi, uçuş öncesi planlama ve hazırlık safhasını da içine alan ve hava aracının motor çalıştırma ve kalkış rulisi aşamasından başlayarak kalkış yapması, tırmanması, seyir irtifasına ulaşması, alçalması ve inmesi ile park yerine geri dönerek motor susturmasına kadar geçen süre içerisindeki tüm faaliyetlerinin emniyetli, etkin ve süratli bir şekilde yürütüldüğü hizmetler bütünüdür [4].

Hava Trafik Hizmetleri faaliyetleri kapsamında tanımlanan görevlerin yapılması için çalışan ve kendi sorumluluk sahasında uçmakta olan tüm hava trafiğinden sorumlu kişiye hava trafik kontrolörü denilmektedir [5]. Bir hava trafik kontrolörü, hava sahasının emniyetli, etkin ve süratli bir şekilde yönetilmesinden sorumludur.

Hava trafik kontrolörünün amacına ulaşması birçok karmaşık uygulama, planlama, karar verme, iletişim ve koordinasyon faaliyetlerinin en iyi şekilde gerçekleştirmesine bağlıdır. Bu da hava trafik kontrolörlerinin çalışma ortamını çok karmaşık

ve dolayısıyla hatalara yatkın hale getirmektedir [6].

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

Hava trafik yönetimi sürecinde hava trafik kontrolörleri, hava sahası kullanıcılarından bilgileri elde ederek, işleyerek, güncelleyerek ve sonucunda bir karar vererek tekrar hava sahası kullanıcılarına dağıtımını yapmaktadır. Hava sahası kullanıcıları tarafından zamanında gelmeyen ya da eksik gelen bilgiler hava trafik kontrolörünün karar vermesini zorlaştırmaktadır. Özellikle zaman baskısının çok yoğun olduğu hava trafik kontrol hizmetlerinde eksik bir bilgi zincirleme etki yaratarak tahmin edilemeyen sonuçlara yol açabilir [7].

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

- Uçuştan önce elde edilen bilgiler,
- Yere dayalı sistemlerin elde ederek aktardığı bilgiler,
- Uçak tanıtma sistemlerinden elde edilen bilgiler,
- Telsiz aracılığı ile pilot tarafından iletilen bilgiler,
- Diğer kontrolörler tarafından telefonla iletilen bilgiler olarak beş farklı bilgi sınıfı elde edilebilir [8].

Hava trafik yönetiminde sorumluluğun büyük çoğunluğunu üzerine alan hava trafik kontrolörün kapasitesi sınıra ulaştığında otomatik olarak hava sahası kapasitesi de sınıra gelecektir. Bu noktada,

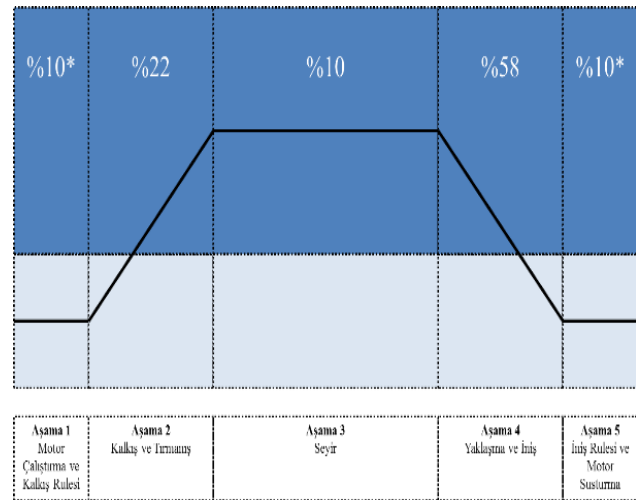
bu sorunu aşabilmek için hava trafik kontrolörünün karar vermesine yardımcı olacak ya da karar verme sürecini hızlandıracak sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Hava trafik yönetim sisteminin birincil amacı her ne kadar emniyetli bir hava sahası yaratmak olsa da havacılığın başlangıcından itibaren havacılıkta kaza kavramı güncelliğini daima koruyan gelen bir konudur.

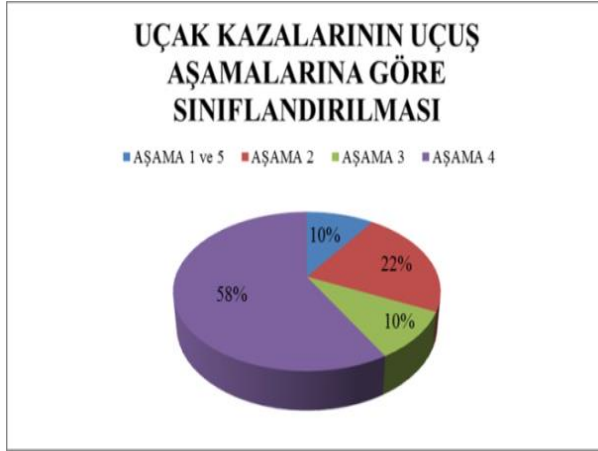
Boeing firması tarafından ve 2004 – 2013 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen ölümcül hava aracı kazaları üzerinde yapılan araştırmada; kazaların %58'inin yaklaşma ve iniş safhasında meydana geldiği belirtilmiştir.

2004 – 2013 yılları arasında meydana gelen kazalar ve uçuşun aşamalarına ait yüzdelik oranlar Şekil 2'de, grafiksel gösterimi ise Şekil 3'te belirtilmiştir. Bu oranlar oluştururken Aşama 1 (Motor Çalıştırma ve Kalkış Rulesi) ve Aşama 5 (İniş Rulesi ve Motor Susturma) süreci birlikte hesaplanmıştır.

Hava aracı sayısında meydana gelen artışla beraber, hava trafik yönetiminde karar verici olan hava trafik kontrolörlerinin kararlarına destek olması amacıyla karar destek sistemleri geliştirilmiştir. Ancak hava trafik yönetimine katkıda bulunmak ve hava trafik kontrolörünün iş yükünü azaltmak amacıyla tasarlanan sistemler tam olarak ihtiyaca cevap vermemektedir [9].



Şekil 2. Hava aracı kazaları ve uçuş aşamaları



Şekil 3. Hava aracı kazalarının yüzdesel dağılımı

Bunun sebebi ise, geliştirilen karar destek sistemlerinin çalışma prensibinin sadece matematiksel optimizasyona dayandırılması ve bunun beraberinde gerçek hayatta hava trafik kontrolörünün kullanması mümkün olmayan riskli çözümler üretmesidir. Bunun sonucunda, hava trafik kontrolörlerinin tasarlanan karar destek sistemine olan güveni azalmakta ve zaman içerisinde sistemler kullanılmayarak atıl hale gelmektedir. Bu sebeple yeni tasarlanan karar destek sistemlerinde matematiksel modellemelerin yanı sıra konusunda uzman kişilerin bilgi ve tecrübeleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu sebeple bu çalışmada; gelecek 20 yılda insanlı hava araçlarının yerini alması öngörülen, farklı uçuş karakteristiklerinde ve farklı görevler icra edecek olan insansız hava araçlarının, uçuşun en kritik aşaması olarak nitelendirilen yaklaşma ve iniş aşamasında iniş sıralamasına basit çözümler getiren Bulanık Mantık tabanlı bir model önerilmiştir.

Uçuşun yaklaşma ve iniş aşamasını içine alan akademik çalışmalar genel olarak uçak çizelgeleme problemi ve karar destek sistemi olarak ele alınmıştır. Çizelgeleme problemi ve karar destek sistemi ile ilgili genel olarak çalışılan yöntem matematiksel optimizasyon yöntemidir. Bu noktada yapılan çalışmalarda hava araçları arası herhangi bir etkileşim bulunmamaktadır. Ancak insansız hava araçlarının hava sahasını kullanmaya başlamasıyla beraber otonom uçuş

kavramı da beraberinde çalışmalarda yerini almıştır. Bu kapsamda hava araçlarının otonom şekilde uçmaları için diğer hava araçlarına ait bilgilere de sahip olmaları gerekmektedir.

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

Vachtsevanos, insansız hava aracının fiziksel kontrolü üzerine yaptığı çalışmada, otonom uçan insansız hava aracının görev planlamasından uçuşlarına kadar olan süreç için bulanık mantık tabanlı bir yazılım ve beraberinde donanım geliştirmiştir[10].

Doitsidis ve ark., insansız hava araçlarının seyrüseferi ve kontrolü üzerine yaptıkları çalışmada, insansız hava aracının üç boyutlu ortamda belirlenmiş rota üzerinde uçarken meydana pozisyon değişimlerinin düzeltilmesi üzerine bulanık mantık temelli bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde irtifa değişimi ve hız temel alınmıştır [11].

Tsourveloudis ve ark. insansız araçlarının (kara, hava ve sualtı) otonom seyrüseferi için bulanık mantık tabanlı model geliştirmişlerdir. Çalışmada insansız araçların daha önceden belirlenmiş rotaları üzerinde görevlerini icra ederken, karşılına çıkan engeller ya da diğer araçlarla çarpışmasını önlemek amaçlı algılama-tanuma ve düzeltici önlem döngüsünden oluşan bir model önermişlerdir. Söz konusu modelde insansız hava araçları için yükseklik ve mesafe değişkenleri temel alınmıştır [12].

Bakare, etkili, emniyetli ve süratli bir hava trafik akışı sağlanması amacıyla hava trafik kontrolörleri tarafından kullanılan uçuş striplerini PHP

(Hypertext Preprocessor – Üstünyazı Önişlemcisi) tabanlı bir modele aktarmıştır. Bu striplerde yer alan ve hava trafik kontrolörlerinin karar verme aşamasında kullandıkları rota, hız, hava durumu, mesafe ve hava aracı türü gibi bilgileri bulanıklaştırarak bulanık mantık tabanlı hava trafik kontrol sistemi için model geliştirmiştir[13]. Kıyak tarafından yapılan çalışmada, yaklaşma sahasına giren uçaklar için hava trafik kontrolüne tavsiye veren bir karar destek uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uçağın hızı, irtifası ve piste olan mesafesi girdi olarak kabul edilmiş ve bu bilgiler bulanık mantık tabanlı oluşturulan modelleme ile değerlendirilerek uçakların iniş sırası gerçekleştirilmektedir [14].

Çetin ve ark., insansız hava araçlarının otonom uçuşu ve inişi esnasında uçağı üç boyutlu eksende fiziksel olarak kontrol eden denetleyicilere ek olarak üç adet daha denetleyici sisteme ilave etmişlerdir. Bu kapsamda geliştirilen modelleme ile TACAN alçalması yapan bir uçağı üç boyutlu eksende ve ilave denetleyiciler ile beraber yatay ve dikey konumları ile süzülüş açısını da bulanıklaştırarak bulanık mantık tabanlı yaklaşma ve iniş modellemesi önermişlerdir [15].

## 2 Modelleme

### 2.1 Model Kurma Süreci

Alçalma ve iniş safhasında insansız hava araçları, sınırları belirli olan Terminal Kontrol Sahasına (TMA- Terminal Manoeuvring Area veya TCA- Terminal Control Area) sabit giriş-çıkış noktalarından ya da görev yapısına göre belirlenen bir noktadan giriş yaptıktan sonra yaklaşma kontrol hizmeti veren hava trafik kontrolörü tarafından kontrol altına alınırlar. Hava trafik kontrolörlerinin öncelikli amacı, insansız hava araçlarının iniş sıralamasını belirlemek ve daha sonra iniş için rapor etmeleri gereken ve kullanılan piste yaklaşık 10 NM'lik mesafe bulunan rapor noktasına doğru yönlendirilmelerini sağlamaktır. İnsansız hava araçlarının bir rapor noktasına ulaşmalarını etkileyecek faktörler incelendiğinde o anki mevcut konumunun rapor noktasına göre görece konumu, uçağın yapısal donanımına bağlı olarak değişiklik gösteren çeşitli sayısal değerleri belirleyici rol oynamaktadır. Bu belirleyiciler şu şekilde sıralanabilir:

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

Bulanık mantık tabanlı modeller, karar verme sürecinde bulunan bireyin bu sürecini taklit ederek matematiksel olarak formüle edilmiş herhangi bir model kullanmadan istenilen sonuca ulaşma prensibine dayanmaktadır. Bu noktadan hareketle, matematiksel olarak formüle edilmiş süreçlere bağımlı olmayan ve uzman kişilerin deneyimleri doğrultusunda şekillendirilebilen bulanık mantık tabanlı modeller; kesin kurallara bağlı olmayan, belirsizlik ve değişkenlik üzerine kurulmuş matematiksel bir disiplindir [16]

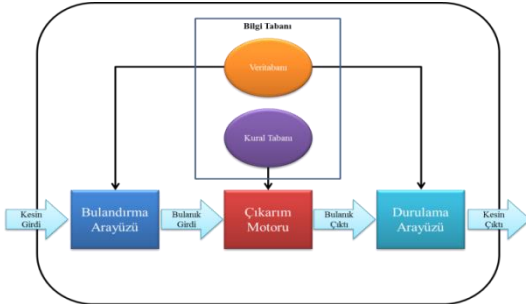
Hava trafik kontrolörleri insansız hava araçlarından kendilerine dolaylı ya da direkt olarak farklı kanallardan gelen bilgileri birleştirerek karar verirler ve bu kararı gerekli yerlere aktarırlar. Ancak karar verme süreci ve modeli basit ve matematiksel olarak formüle dönüştüremeyecek ya da eşitliklerle açıklanamayacak kadar belirsizlik ve bulanıklık içermektedir. Belli matematiksel değerler içeren kümeler ve bunun yanı sıra bulanık mantık beraber kullanıldığında, basit ve matematiksel olarak formüle dönüştürülemez sistemler için alternatif bir matematiksel modelleme imkânı sunmaktadır. Bu tarz durumlar için güven aralığı ve bulanık üyelik fonksiyonları yaklaşık değer ölçümüne olanak tanımaktadır[17]. Bu sebeple bu çalışmada hava trafik kontrolörünün karar vermesini kolaylaştırmak amacıyla bulanık mantık tabanlı bir sistem kurulmuş ve insansız hava araçlarının iniş sıralamasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bulanık mantık tabanlı modelleme sürecinde “doğrudan yaklaşım” süreci tercih edilmiş olup öncül bilgi olarak uzmanlardan elde edilen bilgiler bulanık uzman sistemi haline getirilmiştir.

Bulanık mantık tabanlı bir model Şekil 4'te görüldüğü gibi bulandırma ara yüzü, çıkarım motoru, durulama ara yüzü, kural tabanı ve veri

tabanı olarak beş ana bloktan meydana gelmektedir.

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

Bulanıklaştırma arayüzünde üyelik fonksiyonu seçim aşamasında, iniş sıralamasına etki eden **altı adet** parametreye ait sayısal değerlere ait üyelik fonksiyonları için **üçgen** ve **yamuk üyelik fonksiyonları** kullanılmıştır. Bunun yanı sıra belirlenen üyelik fonksiyonları **normal**, **monoton** ve **simetrik**dir.



Şekil 4. Bulanık mantık tabanlı model genel yapısı

Çıkarım motorunda **Min-Max Metodu** ile **Mamdani Yöntemi**, durulama arayüzünde ise **Ağırlık Merkezi Yöntemi** kullanılmıştır. Bulanık mantık tabanlı modellemenin oluşturulmasından sonra hava trafik kontrolörlerinin insansız hava araçlarına ait verileri işleyerek daha hızlı ve kolay bir şekilde sonuca ulaşmalarını sağlayacak altı adet insansız hava aracı bilgilerinin girilebildiği kullanıcı dostu bir arayüz MATLAB/GUI (Graphical User Interface - Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) yardımıyla tasarlanmıştır.

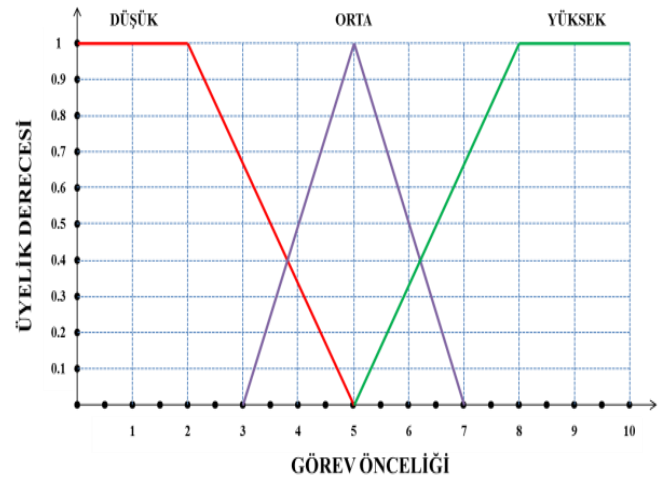
İnsansız hava araçları iniş sıralaması için önerilen bulanık mantık modellemesi için altı farklı parametreye ait **yirmi sekiz farklı üyelik fonksiyonu** belirlenmiştir.

### 2.1.1 Görev Önceliği

Görev önceliği, bir insansız hava aracının inişi için kendine bir önem kazandırabilecek ve bu sayede "İlk Gelene İlk Hizmet" kavramının dışına çıkılarak diğerlerine nazaran bir ayrıcalık

kazandıracak bir parametredir. Aynı anda keşif görevini icra ederek inişe gelen askeri bir insansız hava aracı ile kargo dağıtım görevini icra ederek inişe gelen sivil bir için insansız hava aracı aynı önceliğe sahip olmamalıdır. Benzer şekilde organ nakli amaçlı inişe gelen sivil bir insansız hava aracı ile aynı anda günlük eğitim uçuşu görevini tamamlayarak inişe askeri bir insansız hava aracı aynı önceliğe sahip değildir.

Bu modellemede insansız hava araçlarına ait görev öncelikleri 0 ile 10 arasında rakamsal olarak ifade edilmektedir. Burada 0 "Düşük Öncelik" seviyesini belirtirken, 10 "Yüksek Öncelik" seviyesini belirtmektedir. Görev önceliğine ait üyelik fonksiyonları Şekil 5'te gösterildiği biçimde 0 – 10 arasında "düşük öncelikli, orta öncelikli ve yüksek öncelikli" olarak üçgen ve yamuk fonksiyonlar olarak oluşturulmuştur.



Şekil 5. Görev önceliği parametresi üyelik fonksiyonu

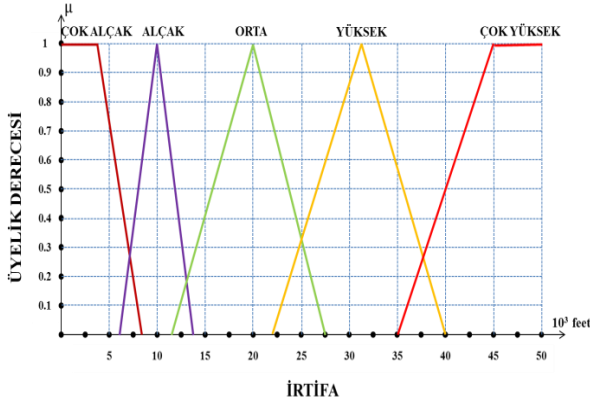
### 2.1.2 İrtifa

Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması sürecinde ICAO(Uluslararası Sivil Havaacılık Örgütü - International Civil Aviation Organization) tarafından yayımlanmış olan Doc 7754 European Region Air Navigation Plan (Avrupa Bölgesi Hava Seyrüsefer Planı) dokümanı kapsamında yer alan uçak sınıflandırmasına ait parametreler kullanılmıştır [18]. Böylelikle önerilen modelin gerçek hayatta kullanılan değerlerle mümkün olduğunda paralellik göstermesi hedeflenmiştir.

İnsansız hava araçlarına ait irtifa değişkeni, Şekil 6'da gösterildiği biçimde 0 – 50000 feet arasında



“çok alçak, alçak, orta, yüksek ve çok yüksek” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.

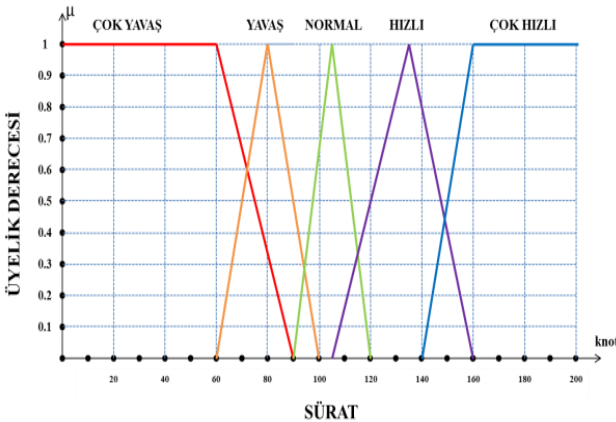


Şekil 6. İrtifa parametresi üyelik fonksiyonu

### 2.1.3 Sürat

Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması sürecinde gerçek hava trafik yönetimi için kullanılan ve ICAO tarafından yayımlanmış olan Doc 8168 Aircraft Operations Volume I – Flight Procedures (Hava Araçları Operasyonları Birinci Cilt – Uçuş Yöntemleri) dokümanı kapsamında yer alan uçak sınıflandırmasına ait parametreler kullanılmıştır [19]. Böylelikle önerilen modelin gerçek hayatta kullanılan değerlerle mümkün olduğunda paralellik göstermesi hedeflenmiştir.

İnsansız hava araçlarına ait sürat değişkeni, Şekil 7’de gösterildiği biçimde 0 – 210 knot arasında “çok yavaş, yavaş, normal, hızlı ve çok hızlı” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.

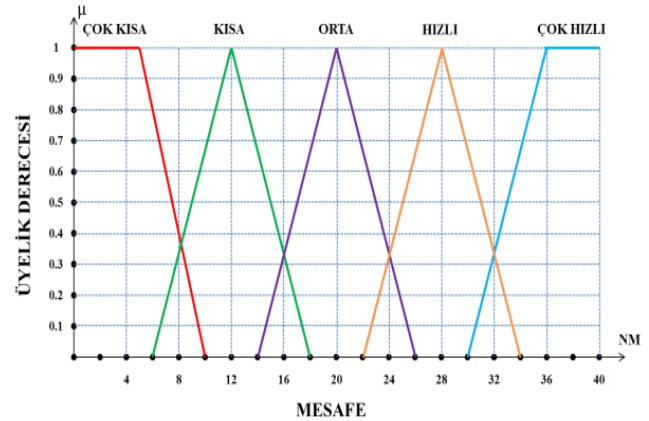


Şekil 7. Sürat parametresi üyelik fonksiyonu

### 2.1.4 Mesafe

Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması sürecinde insansız hava araçlarının uçuşlarını gerçekleştirebileceği, sağlıklı veri iletiminin gerçekleştiği ve gerçek hava trafik yönetimi için önemli bir sınıflandırma olan EUROUVS (The European Association of Unmanned Vehicles Systems - Avrupa İnsansız Araç Sistemleri Birliği) insansız hava aracı sınıflandırması kullanılmıştır. Bu sınıflandırmada yer alan veri link menzili parametreleri öncelikli olarak mesafe üyelik fonksiyonuna temel teşkil etmiştir. Böylelikle önerilen modelin gerçek hayatta kullanılan değerlerle mümkün olduğunda paralellik göstermesi hedeflenmiştir.

İnsansız hava araçlarına ait mesafe değişkeni, Şekil 8’de gösterildiği biçimde 0 – 40 NM arasında “çok kısa, kısa, orta, hızlı ve çok hızlı” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.

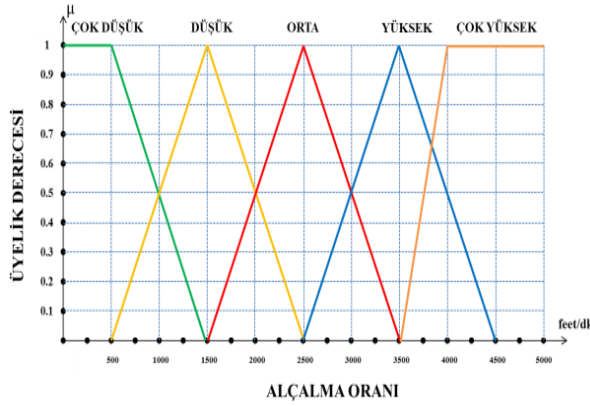


Şekil 8. Mesafe parametresi üyelik fonksiyonu

### 2.1.5 Alçalma Oranı

Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması sürecinde gerçek hava trafik yönetimi için kullanılan ve ICAO tarafından yayımlanmış olan Doc 7754 European Region Air Navigation Plan (Avrupa Bölgesi Hava Seyrüsefer Planı) dokümanı kapsamında yer alan uçak sınıflandırmasına ait parametreler kullanılmıştır [18]. Böylelikle önerilen modelin gerçek hayatta kullanılan değerlerle mümkün olduğunda paralellik göstermesi hedeflenmiştir.

İnsansız hava araçlarına ait alçalma oranı değişkeni, Şekil 9’da gösterildiği biçimde 0 – 5000 feet arasında “çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek” olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



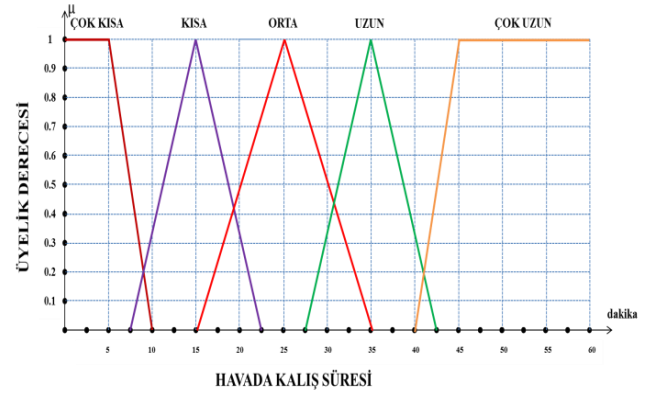
Şekil 9. Alçalma Oranı Parametresi Üyelik Fonksiyonu

### 2.1.6 Havada Kalış Süresi

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

Kendisine verilen görevi icra ederek inişe gelen insansız hava aracının maksimum havada kalabileceği süre de hava trafik kontrolörünün iniş sıralaması yapabilmesi için için önemli bir parametredir. Görev önceliği ne olursa olsun havada kalış süresi çok kısa olan bir uçak (örneğin 5 dakika) öncelikli olarak indirilmesi gerekirken, havada kalış süresi daha uzun (örneğin 45 dakika) bir uçak için sıralama yapılırken diğer parametreler de göz önünde bulundurulmalıdır.

İnsansız hava araçlarının iniş aşamasında havada kalabileceği süreye ait zaman değişkeni, Şekil 10'da gösterildiği biçimde 0 – 60 dakika arasında "çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun" olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



Şekil 10. Havada Kalış Süresi Üyelik Fonksiyonu

Ancak emniyet unsuru ile beraber trafik akışının düzenli ve hızlı olarak temin edilmesi de hava trafik kontrolörünün sorumluluğundadır. Ancak hem emniyetli hem de hızlı bir hava trafik yönetim amacı karmaşık bir kurallar dizisi gerektirmektedir. Çünkü her hava aracı tek başına bir hava sahası kullanıcısı iken aynı zamanda hava sahasındaki tüm unsurlarla etkileşim içerisinde ve hizmet alma sürecinde olduğu için, hava trafik kontrolörünün süreci en iyi şekilde yönetmesi iyi bir plan ve karar verme yeteneğine bağlıdır. Bu da hava trafik kontrolörlerinin dinamik ve anlık değişimler gösteren hava sahası yönetiminde çalışma ortamını karmaşıklaştırmakta ve beraberinde hatalara yatkınlık oranında da artım meydana getirmektedir.

Bu çalışma kapsamında insansız hava araçlarının iniş sıralaması oluşturma sürecinde hava trafik kontrolörlerinin karar verme süreçleri incelenmiştir. Karar verme süreci, insansız hava aracına ait bilgiyi elde etme, zihinsel süreçte işleme, diğer unsurları göz önünde bulundurma ve sonuçta en ergonomik kararı verme aşamalarından oluşmaktadır. Bu süreç özellikle algısal olarak planlama yapan hava trafik kontrolörleri için karmaşık bir süreçtir ve dinamik bir yapı olduğundan bir hava trafik kontrolöründen diğerine bazı noktalarda farklılık gösterebilmektedir. Bu modelleme çalışmasına konusunda uzman olan ve tecrübeli hava trafik kontrolörlerinin de karar verme süreçleri incelenerek toplam 487 kuraldan oluşan ve Şekil 11'de yer alan kural tablosu oluşturulmuştur.

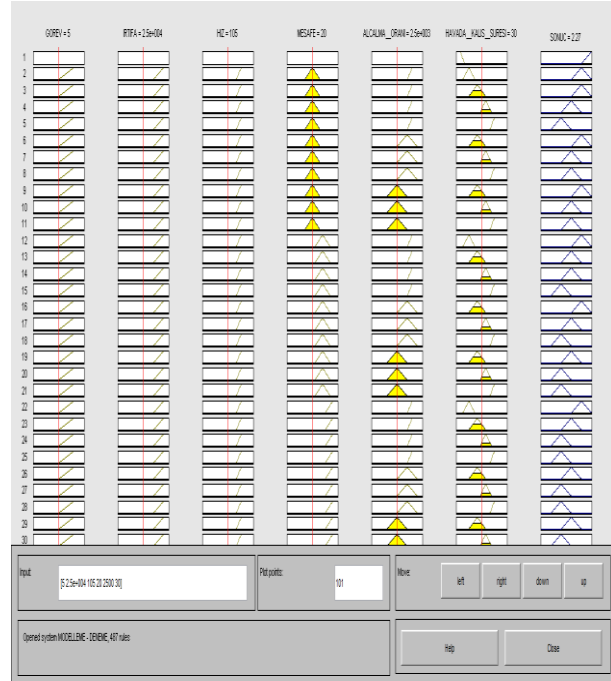


Kuralları oluşturma sürecinde, her kural satırında üyelik fonksiyonlarına ait Ağırlık Katsayısı 1 olarak kabul edilmiştir. Ancak insansız hava aracının iniş sıralamasına etki edecek parametreler göz önüne alındığında bu parametreler de kendi içlerinde bir önem sırasına göre listelenmiş ve kurallar da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

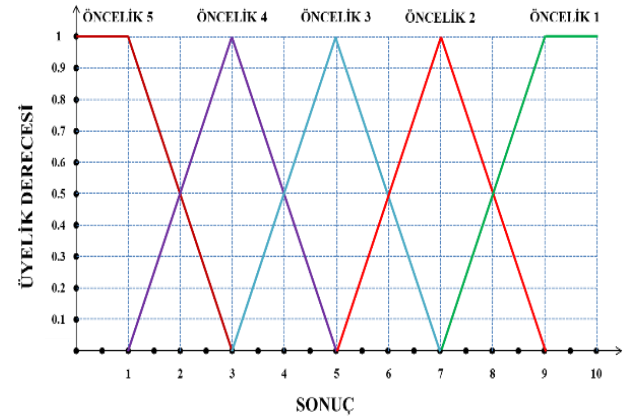
Altı adet farklı parametreye ait girdilerin bulanıklaştırılması sonrası oluşturulan kurallar dizisi ile beraber parametrelere ait değerlerin işlenmesi sonucu durulama arayüzünde bir SONUÇ fonksiyonu oluşturulmuştur.

Toplam çıkış bulanık kümesine durulama uygulandığında çıkış tek bir sayısal değer olacaktır. Burada insansız hava aracının iniş sıralamasına yönelik olarak temel teşkil edecek ve 0-10 arasında numaralandırılmış sayısal değerler elde edilmektedir. Burada 0 (Sıfır), diğer insansız hava araçlarına göre daha sonra indirilebilecek olan ve iniş önceliği "ÖNCELİK 5" olan hava aracını temsil ederken, 10 (on) diğer insansız hava araçlarına göre önceliğe sahip olup ilk önce inmesi gereken ve iniş önceliği "ÖNCELİK 1" olan hava aracını temsil etmektedir.

İnsansız hava araçlarının iniş sıralamasına ait SONUÇ üyelik fonksiyonu durulaştırma yöntemi olarak en yaygın kullanılan yöntem olan ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Bu çerçevede SONUÇ çıkış fonksiyonu Şekil 12'de gösterildiği biçimde 0 – 1 arasında "Öncelik 5, Öncelik 4, Öncelik 3, Öncelik 2, Öncelik 1" olarak beş farklı üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir.



Şekil 11. Kurallar tablosu



Şekil 12. Sonuç çıktısına ait üyelik fonksiyonu

## 2.2 Örnek Senaryo

Parametre değerleri Tablo 3.1'de yer alan altı adet insansız hava aracı iniş müsaadesi için hava trafik kontrolöründen talimat ve sıralama numaralarını beklemektedirler.

Bu çalışma kapsamında yapılan modelleme yardımı ile insansız hava araçlarına ait parametre değerleri MATLAB/GUI ile oluşturulan ara yüze işlenmiştir. İnsansız hava araçlarına ait değerler girildikten sonra "HESAPLA" tuşuna basılarak otuz altı farklı parametre karar verme süreci çok kısa sürede tamamlanmıştır. İnsansız Hava

Araçları İniş Sıralaması Modellemesi Ara Yüzüne ait ekran görüntüsü Şekil 13'te, insansız hava araçlarının iniş önceliklerine ait rakamsal değerler Tablo 1'de yer almaktadır.

Örnek senaryo kapsamında altı adet insansız hava aracına ait otuz altı farklı parametre MATLAB/GUI ortamında yapılan ara yüze işlenmiştir. Bununla beraber ara yüzün arkasında MATLAB/FIS yardımıyla gerçekleştirilen bulanık mantık tabanlı modelleme çalışmaktadır. Bulanık mantık tabanlı modelleme ile beraber ara yüz çalıştırıldığında Tablo 2'de verilen SONUÇ değerleri elde edilmektedir. Burada sonuç iniş önceliğini belirtmekte olup değeri yüksek olan önceliğe sahip olacaktır. Bu modelleme kapsamda altı adet insansız hava aracının iniş sıralamasının Tablo 3'de yer aldığı şekilde olması beklenmektedir:

**Tablo 1.** İniş Sıralaması Yapılacak İHA'lara Ait Parametreler

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



**Şekil 13.** Örnek senaryo için insansız hava araçları iniş sıralaması modellemesi ara yüzü

**Tablo 2.** İnsansız Hava Araçlarının İniş Önceliklerine Ait Rakamsal Değerler

İnsansız Hava Aracı	Sonuç
İHA 1	3,7
İHA 2	6,8
İHA 3	4,1
İHA 4	1,7
İHA 5	7
İHA 6	4

**Tablo 3.** Örnek Senaryo İçin İnsansız Hava Araçlarının İniş Sıralaması

İniş Sırası	İHA Numarası	Sonuç
1	İHA 5	7
2	İHA 2	6,8
3	İHA 3	4,1
4	İHA 6	4
5	İHA 1	3,7
6	İHA 4	1,7

### 3 Sonuç ve Öneriler

Gelişen havacılık sektörü içerisinde hava araçları teknoloji ile beraber hızlı bir şekilde yapısal ve limitsel dönüşüme tabi olurlarken, bunun bir sonucu olarak da yüksek performanslı ve görev odaklı hava araçları da insanlı hava araçlarından insansız hava araçlarına dönüşmektedirler. Bu dönüşüm ilk olarak askeri kullanımda gözlenmiştir. Halen kullanılmakta olan ve

içerisinde pilotun aktif olarak görev aldığı hava araçlarının yıllar içerisinde kullanımdan kalkarak yerini büyük insansız hava araçlarına bırakacağı gerek devletler gerekse üreticiler tarafından öngörülmektedir.

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

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

Bu çalışmada insanlı hava aracından insansız hava aracına geçiş sürecinin yaşandığı havacılık sektöründe, gelecek öngörüsü kapsamında insansız hava araçlarının iniş sıralaması altı farklı parametre ile değerlendirilerek hava trafik kontrolörünün karar verme sürecine yardımcı olmak amacıyla bulanık mantık tabanlı bir model geliştirilmiştir. Bu modelde yer alan parametrelerden irtifa, sürat, mesafe ve alçalma oranı üyelik fonksiyonları ICAO, EUROCONTROL, NATO ve EUROUVS gibi havacılık sektörüne yön veren ve konusunda söz sahibi olan kurumların yayımladığı ve gerçek hava sahası yönetiminde kullanılan dokümanlarda bulunan verilerin uzman görüşleri yardımıyla bulanıklaştırılması sonucu elde edilmiştir. Böylelikle modelin gerçek hayatta kullanılan uçuş parametreleri ile örtüşmesi sağlanmıştır.

Öte yandan modelde yer alan **görev önceliği** ve **havada kalış süresi** parametreleri literatürde ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır. Hava trafik kontrolörleri "İlk Gelene İlk Hizmet – First Come First Serve" prensibine göre karar süreçlerini şekillendirirken, geniş bir yelpazede kullanımı artan insansız hava araçları sivil ve askeri alanda çok farklı kullanım amaçlarına sahip olmaktadır. Bu sebeple insansız hava araçlarının yaptığı ya da yapacağı görevler iniş sıralamasında önemli bir parametre olarak değerlendirilmiş ve çalışmaya dâhil edilmiştir.

İlk Gelene İlk Hizmet yaklaşımında, insansız hava araçlarının terminal kontrol sahasına giriş zamanları dikkate alınarak iniş sıralaması oluşturulur. Ancak bu yaklaşım her zaman en optimum sıralamayı vermemektedir. İnsansız hava araçlarının terminal kontrol sahasına girişleri ile beraber iniş için izleyecekleri rota, çakışmaların önlenmesi, iniş sıralamasının oluşturulması gibi süreçler insansız hava araçlarının diğer parametrelerine de bağlıdır. Bu kapsamda çalışmada ortaya konan modelleme, ilk gelene ilk hizmet modeli ile karşılaştırıldığında;

- Görev etkinliği,
- Maliyetler,
- Yaşanan gecikmeler,
- Enerji tüketimi,
- Çevreye duyarlılık,

gibi özellikle evrensel alanda çözüm aranan konularda bu çalışmada yer alan bulanık mantık tabanlı modellemenin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

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

Bu sebeple çalışma, insansız hava araçlarına yüklenecek bir yazılım ve yapılarına dahil edilecek bir donanım ile beraber gerçek hayata

geçirildiğinde sağlıklı veri akışı ile beraber hava trafik kontrolörlerinin anlık karar vermelerini kolaylaştıracaktır. Ayrıca otonom uçuşa geçiş ile beraber insansız hava araçları kendi parametrelerini diğer insansız hava araçları ile de paylaşacağı için iniş sıralaması otomatik olarak ortaya çıkacak ve dinamik bir yapı da olsa sürekli güncellenecektir.

#### 4 Kaynaklar

- [1] Bone,E.; Bolkcom ,C. Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress, Congressional Research Service The Library of Congress, USA, 2003; 52 pp.
- [2] Clapper,J.; Young,J.; Cartwright,J.; Grimes,J.. Unmanned Systems Roadmap 2007-2032 Technical Report, DoD Publications, USA, 2007; 188 pp.
- [3] Winnedfeld,Jr.J.A; Kendall,F. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013-2038, DoD Publications, USA, 2014; 168 pp.
- [4] International Civil Aviation Organization Doc 4444 ATM/501 Procedures for Air Navigation Services Air Traffic Management, 15th Edition, Montreal, 2007; 180 pp.
- [5] International Civil Aviation Organization Annex 1 to the Convention on International Civil Aviation, Personnel Licensing, 11th Edition, Montreal, 2011; 136 pp.
- [6] Özgür, M. Hava Trafik Yol Kontrol Sektöründeki Çatışmaların Bilgi Tabanlı Karar Destek Aracıyla Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Anabilim Dalı, Eskişehir, 2007; 124 pp.
- [7] D'Arcy, J.F.; Rocco, P.S.D. Air Traffic Control Specialist Decision Making and Strategic Planning – A Field Survey, U.S. Department of Transportation Technical Note, USA, 2001; 106 pp.
- [8] Benoit, A.; Pomeret J.M.; Swierstra, S. Decision Making Aids in On-Line ATC Systems, Proceedings of AGARD GCP Symposium on Machine Intelligence in ATM, Paris, 1-14, 1993.
- [9] Kılıç, S.; Sarı, T.; Çakır, V. İnsansız Hava Muharebe Aracı Filo Rotalama Problemi, IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, İstanbul, Eylül 12-14, 2012.

- [10] Vachtsevanos, G.; Kim, W.; Al-Hasan, S.; Rufus, F.; Simon, M.; Shrage, D.; Prasad, J.V.R. Autonomous Vehicles: From Flight Control To Mission Planning Using Fuzzy Logic Techniques, 13th International Conference on Digital Signal Processing Proceedings, Greece, 977-981, 1997.
- [11] Doitsidis, L.; Valavanis, K.P.; Tsourveloudis, N.C.; Kontitsis, M. A Framework For Fuzzy Logic Based UAV Navigation And Control, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation 4041-4046, 2004.
- [12] Tsourveloudis N. C; Doitsidis L.; Valavanis, K. P. Autonomous Navigation of Unmanned Vehicles: A Fuzzy Logic Perspective, Cutting Edge Robotics; InTech Europe Pub. Croatia, 2005; 784 pp.
- [13] Bakare, K.A. Design and Implementation Of A Fuzzy Logic Model For Air Traffic Control System, Master Thesis, Ahmadu Bello University, Department of mathematics, Faculty of Sciences, Nigeria, 2008; 120 pp.
- [14] Kıyak, E., Bulanık Mantıkla Uçak İniş Sıralamasının Yapıtılması, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi 2010; 4, 51-55.
- [15] Çetin, Ö.;Kurnaz, S.; Kaynak, O. Fuzzy Logic Based Approach to Design of Autonomous Landing System for Unmanned Aerial Vehicles, Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2011; 61, 239-250.
- [16] Akyüz, S. Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracı (Quadrotor)'nın Pd Ve Bulanık Kontrolcü Tasarımı Ve Benzetim Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2013; 102 pp.
- [17] Baykal N.; Beyan, T. Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, Ankara, 2004; 509 pp.
- [18] International Civil Aviation Organization Doc 7754 European Region Air Navigation Plan Volume I Basic Air Navigation Plan, 2nd Edition, Montreal, 2010; 244 pp.
- [19] International Civil Aviation Organization Doc 8168 Aircraft Operations Volume I – Flight Procedures, 5th Edition, Montreal, 2006; 279 pp.