



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVA SAVUNMA SİSTEMLERİNDE BULANIK MANTIK TABANLI TEHDİT DEĞERLENDİRMESİ VE DERECELENDİRMESİ

Muhittin COŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Temmuz 2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

..... tarafından hazırlanan "……." adlı tez çalışması …/…/… tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ……..... Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Doç. Dr. Murat CEYLAN	……..
Danışman Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR	……..
Üye Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait SEZGİN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Muhittin COŞKUN

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVA SAVUNMA SİSTEMLERİNDE BULANIK MANTIK TABANLI TEHDİT DEĞERLENDİRMESİ VE DERECELENDİRMESİ

Muhittin COŞKUN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR

2021, 68 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR
Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ
Doç. Dr. Murat CEYLAN

Bulanık mantık, gerçek yaşamda karşımıza çıkan sorunlara karşı klasik mantığın aksine daha doğru çözümler getirmemizi sağlayan bir yaklaşımdır. Çünkü günlük yaşantımızda siyah ve beyaz renklerin haricinde gri de vardır ve hayata, dolayısıyla da sorunlarımıza dâhildir. 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atıldıktan sonra mühendislik, inşaat, genetik, sağlık, savunma sanayi vb. birçok alanda kullanılmıştır. Hava savunma sistemleri, uçağın icadının hemen akabinde harp amaçlı kullanımı ile hayatımıza girmiş ve ulusların hava sahalarının egemenliğini sağlamaları için vazgeçilmez silah sistemlerdir. Son yıllarda gelişen silah teknolojisi ile hava savunma sistemlerinin de önemi artmış ve daha karmaşık ortamlarda operasyon yapmak durumunda kalmışlardır. Dolayısıyla bu karmaşık ortamlarda hava tehditlerini elimine etmeleri beklenmektedir. İşte bu ortamlarda doğru ve hızlı bir tehdit değerlendirmesi ve derecelendirmesi elde etmek hava savunma sistemleri için önemlidir.

Bu çalışmada, karaya konuşlu bir hava savunma sistemi için hava hedeflerini değerlendirmek ve tehdit seviyelerini belirlemek amacıyla bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım kullanılmıştır. Alanında uzmanlar yardımıyla her türlü senaryoyu test etmek için bir bulanık tabanlı modelleme oluşturulmuştur. Tasarlanan sistem için giriş parametreleri sırasıyla, hava hedeflerinin hız, mesafe, irtifa, radar kesit alanı, karıştırma sinyal seviyesi ve hedefin en yakın yaklaşma noktasına uzaklığı dilsel ifadeler ile bulanıklaştırılmıştır. MATLAB programı üzerinde oluşturulan yazılım ile tehdidin seviyesi ölçülmüştür.

Literatür taramaları sonuçları incelendiğinde, bulanık mantık kullanarak hava tehdidi değerlendirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle gemi hava savunmaları için yapılmış olup en önemli tehditler olan balistik füze ve seyir füzeleri ile uçaktan atılan füzeler göz ardı edilmiştir. Ayrıca radar kesit alanı parametresi de ilk defa bu tez çalışmasında kullanılmış ve böylece benzer diğer parametrelere sahip hava hedefleri arasında ayrım yapılarak hava hedeflerine ait en doğru tehdit seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışması sonucunda, alanında uzmanlar yardımı alınarak geliştirilen hava savunma sistemleri için bulanık kural tabanlı tehdit değerlendirme uygulaması geliştirilmiştir. Bu model ile çeşitli tipteki hava hedeflerinin tehdit seviyelerini doğru bir şekilde tespit edildiği görülmüştür. Alanında uzmanların belirlediği değerler ile bulanık uzman sistemden elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak kıyaslandığında, korelasyon değeri 0,99789 ile aralarında kuvvetli bir pozitif ilişki olduğu bulunmuştur. Tasarlanan Bulanık Uzman Sistemi ile geliştirilmekte olan milli hava savunma sistemlerinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Hava Savunma Sistemleri, Tehdit Değerlendirme.

ABSTRACT

MS THESIS

FUZZY LOGIC-BASED THREAT ASSESSMENT AND RATING IN AIR DEFENSE SYSTEMS

Muhittin COŞKUN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF DEFENCE TECHNOLOGIES

Advisor: Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR

2021, 68 Pages

Jury
Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR
Assoc. Prof. Süleyman NEŞELİ
Assoc. Prof. Murat CEYLAN

Fuzzy logic is an approach that enables us to bring more accurate solutions to the problems we encounter in real life, contrary to classical logic. Because in our daily life, besides black and white, there is also gray and it is included in our life and therefore our problems. After it was put forward by Zadeh in 1965, engineering, construction, genetics, health and so on. It has been used in many areas.

Air defense systems came into our lives just after the invention of the aircraft which used for warfare purposes immediately and are indispensable weapon systems for nations to ensure the sovereignty of their airspace. With the developing weapon technology in recent years, the importance of air defense systems has also increased and they have had to operate in more complex environments. Therefore, they are expected to eliminate air threats in these complex environments. In these environments, obtaining an accurate and fast threat assessment and rating is essential for air defense systems.

In this study, a fuzzy logic-based approach is used to evaluate air targets and determine threat levels for a land-based air defense system. A fuzzy-based modeling was created to test all kinds of scenarios by the help of experts in the field. Input parameters for the designed system, respectively, speed, distance, altitude, radar cross-section, jamming signal level and closest approach point of the air targets are fuzzied with linguistic expressions. The level of the threat was measured with the software created on the MATLAB program.

When the results of the literature review were examined, air threat assessment studies were carried out using fuzzy logic. These studies were generally carried out for ship air defenses, and the most important threats, ballistic missiles and cruise missiles, and missiles launched from aircraft were ignored. In addition, the radar cross-section parameter was used for the first time in this thesis, and thus, it was aimed to determine the most accurate threat levels of air targets by distinguishing between air targets with other similar parameters.

As a result of the thesis, a fuzzy rule-based threat assessment application was developed for air defense systems developed with the help of experts in the field. With this model, it was observed that the threat levels of various types of air targets were accurately detected. When the values determined by the experts in the field and the results obtained from the fuzzy expert system were compared statistically, it was found that there was a strong positive correlation with the correlation value of 0.99789. It has been evaluated that it can be used in national air defense systems that are being developed with the designed Fuzzy Expert System.

Keywords: Fuzzy Logic, Air Defence Systems, Threat Assesment.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde değerli zamanını ayırarak yardımlarını esirgemeyen ve uyarıları ile yol gösteren danışmanım Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR'e,

Yüksek Lisans eğitimi boyunca destek olan Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ'ye,

Ders ve tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen Dr. İlker Ali ÖZKAN'a

Hem iş hem özel hayatımda desteği ile bana huzur ve güven veren sevgili eşim Uzm. Dr. Zehra Nihan COŞKUN'a,

Her daim yanımda duran annem Nergül COŞKUN, babam Mansur COŞKUN, kardeşlerim Yağızhan ve Fatma Nur COŞKUN' a

Bilgileriyle tez çalışmasına katkıda bulunan hava savunma uzmanları Volga ULU, Gökhan TURHAN, Mehmet ÖZTÜRK ve Bilal ÇOLAK'a şükranlarımı sunarım.

Tez içinde belirtilen görüş ve düşünceler TSK görüş ve düşünceleri olmayıp tamamen şahsıma aittir.

Muhittin COŞKUN
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Hava Savunma Sistemleri 2
1.2. Hava Savunma Sistemi Tipleri ve Çeşitleri 4
1.2.2. FD-2000 (HQ-9) hava savunma sistemi 4
1.2.3. SAMP/T hava savunma sistemi 5
1.2.4. S-400 hava savunma sistemi 5
1.2.5. Arrow hava savunma sistemi 6
1.2.6. Aegis (BMD) hava savunma sistemi 6
1.3. Hava Tehdidi Unsurları ve Tehdit Değerlendirmesi 7
1.4. Bulanık Mantık 9
1.4.1. Bulanık küme 10
1.4.2. Üyelik fonksiyonu 12
1.4.3. Bulanık if-then kuralları 13
1.4.4. Bulanık kural tabanlı uzman sistemler 13

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **16**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **22**

3.1. Tehdit Değerlendirme Parametreleri 22
3.1.1. Hava hedefleri hız karakteristikleri 24
3.1.1.1. Balistik füze hız karakteristikleri 25
3.1.2. Hava hedefleri radar kesit alanı karakteristikleri 26
3.2. Hava Savunma Sistemlerinde Bulanık Kural Tabanlı Tehdit Değerlendirme ve Derecelendirme Modellemesi 26
3.2.1. Bulanıklaştırma işlemi 29
3.2.2. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması 31
3.2.3. Bulanık kuralların meydana getirilmesi 39
3.2.4. Çıkarım mekanizması ve durulaştırma işlemi 42

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA **45**

4.1. BUS Sonuçları 45
4.2. Sonuçların Yorumlanması 55

5. ÖNERİLER **64**

KAYNAKLAR 65

ÖZGEÇMİŞ 68

KISALTMALAR

RCS	: Radar Cross Section-Radar Kesit Alanı
JS	: Jamming Level-Karıştırma Sinyal Seviyesi
CPA	: Closest Point of Approach- En Yakın Yaklaşma Noktası
TS	: Tehdit Seviyesi
BM	: Bulanık Mantık
BUS	: Bulanık Uzman Sistem
BKT	: Bulanık Kural Tabanı
LORAD	: Uzun Menzilli Hava Savunma Sistemleri
MRAD	: Orta Menzilli Hava Savunma Sistemleri
SHORAD	: Kısa Menzilli Hava Savunma Sistemleri

1. GİRİŞ

Hava savunma sistemlerinin gelişimi, doğrudan düşman uçan araçlarının geliştirilmesiyle ilgilidir. I. ve II. Dünya Savaşları sırasında hava savunması, askerler veya deniz kuvvetleri için bir tür savaş desteği idi ve 1950'lerin ortalarına kadar esas olarak uçaklara yönelikti. 1950'lerin ortalarında, birçok eyaletteki silahlı kuvvetlerin nükleer silahlar, balistik ve kanatlı füzeler, jet uçakları ve radyoelektronik ekipmanlarla donatılmasının bir sonucu olarak hava savunmasının geliştirilmesinde yeni bir aşama başladı. Bu aşama gelişmiş ülkelerin silahlı kuvvetlerinin nükleer ve konvansiyonel silahlarla sürpriz hava ve füze saldırıları yapma yeteneklerini büyük ölçüde genişletti. Silahlı mücadelede hava savunmasının rolü keskin bir şekilde arttı ve ilerleyen zamana paralel olarak hava savunmasını organize etmek ve yürütmek için yeni araçlar, formlar ve yöntemler geliştirildi.

Günümüzde hava savunma sistemleri, gelişen silah teknolojisi ve dönüşen modern savaş anlayışı sebebiyle bir devletin hava sahası egemenliğini sağlamadaki en önemli aracı haline gelmiştir. Öyle ki, hava savunma kuvvetleri operasyonları yoluyla, modern harp ortamlarında, stratejik etkiler gerçekleştirilebilmekte ve silahlı çatışmaların sonuçları üzerinde belirleyici etkiye sahip olunabilmektedir. Ayrıca barış zamanında, söz konusu kuvvetler hava sahasından potansiyel asimetrik tehditlerin yönünü değiştirmede ve ortadan kaldırmada da ana faktör olarak kullanılabilmektedir.

Modern hava harp ortamında çok çeşitli tip ve sayıdaki hava hedeflerinin değerlendirilerek (analiz edilerek) tehdit derecelendirmesinin yapılması ve söz konusu tehditlerin uygun silah sistemlere tahsisinin sağlanarak tehdidin elimine edilmesi, hava savunma sistemleri için hayati bir meseledir. Düşman hava hedefleri için doğru bir tehdit değerlendirmesi elde etmek, farklı özelliklere sahip birden çok sensörden gelen büyük miktarda bilgiyi birleştirmeyi gerektirir. Bu çoklu algılayıcılar tarafından sağlanan bilgiler genellikle eksiktir veya doğası gereği belirsizdir ve aynı zamanda bulanıklıkla da karakterize edilir (Azimirad ve Haddadnia, 2015). Bundan dolayı söz konusu meseleye bulanık mantık kullanarak çözüm getirmeye çalışmak çok yerinde bir hareket olacaktır.

Hava hedefleri dinamik ve işbirliği içinde olmayan tehditler olduğundan dolayı bunların süratle değerlendirilerek uygun karşı hamlelerin devreye sokulması hem hava savunma sistemleri hem de savunulan bölge için hayati öneme sahiptir. Söz konusu tehdit değerlendirmesi için zaten doğal olarak bulanık bilgiler elde edildiğinden dolayı

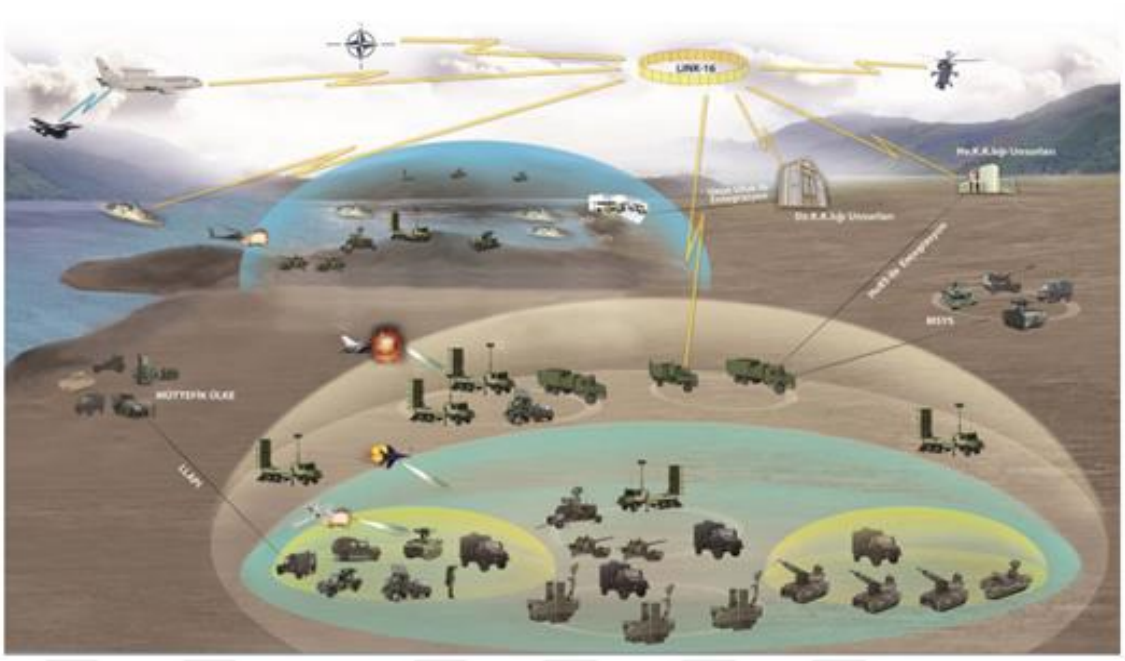
bulanık mantık tabanlı bir sistem kullanılması çok doğru bir yaklaşımdır. Buna yönelik olarak, bulanık mantık tabanlı tehdit değerlendirme modellemeleri son zamanlarda yapılmaya başlanmışsa da bunlar genel olarak gemilerin hava savunmasına yönelik olduğundan, en önemli tehditler olan seyir füzeleri ve balistik füzeleri hesaba katmadığından veya gerektiği kadar olmadığından yetersizdir. Dolayısıyla; yüksek öncelikli tehditleri de hesaba katan ve karaya konuşlu bir hava savunma sistemi için düşünülmüş bulanık mantık tabanlı tehdit değerlendirme ve derecelendirme çalışmasına ihtiyaç sürmektedir.

1.1. Hava Savunma Sistemleri

Hava savunma sistemlerinin özünü oluşturan ‘hava savunma’ kavramı çok eskilere dayanmaktadır. I. Dünya Savaşı öncesi daha yeni icat edilmiş olan uçakların, ilk defa savaş amaçlı Trablusgarp’ta Osmanlı Devleti’ ne karşı kullanılması ve söz konusu uçağın yine Osmanlı Devleti tarafından düşürülmesi hava savunma kavramının hava taarruzu ile aynı zamanlı tarih karşısına çıktığını göstermektedir (Legg, 2017).

Ayrıca, I. Dünya Savaşı'nda uçakların ve havadan atılan mühimmatların kullanımı, Alman V-1 seyir füzelerinin ve V-2 balistik füzelerinin II. Dünya Savaşı'nda Londra'da saldırısı, Mısır’ın füze taşıyan botu tarafından atılan seyir füzesi ile İsrail'ın savaş gemisini batırması, Falkland Savaşı sırasında ve İran-Irak Savaşı sırasında kullanılan Exocet füzeleri hava gücünün gelişimini ve hava tehdidini gösteren önemli olaylardır.

20. yüzyılın sonu ile 21. yüzyılın başında yaşanan silahlı çatışmaların tarihsel-karşılaştırmalı analizi, hava ve hava savunma operasyonlarının stratejik önemini tartışmasız bir şekilde göstermektedir. Modern uçak ve hava savunma sistemlerinde yaşanan teknolojik gelişme, savaşların amacına ulaşmasında belirleyici bir rol oynayacak seviyeye ulaştı (Petrović ve ark., 2015).



Şekil 1.1. Hava savunma sisteminin kullanıldığı örnek hava harp ortamı (Anonim, 2017)

Genel anlamda hava savunma sistemleri; komuta-kontrol sistemleri, sensörler, füze fırlatma sistemleri ve muhabere unsurlarından oluşur. Örnek bir entegre hava savunma sistemi Şekil 1.2.'de sunulmuştur.



Şekil 1.2. Entegre hava savunma sistemi (Anonim, 2017)

1.2. Hava Savunma Sistemi Tipleri ve Çeşitleri

Hava savunma sistemleri, aralarında keskin sınırlarla belirlenmiş ayrımlar olmasa da alçak irtifa (kısa menzil) hava savunma sistemleri (Short Range Air Defence Systems-Shorad), orta irtifa (orta menzil) hava savunma sistemleri (Middle Range Air Defence Systems-MRAD) ve yüksek irtifa (uzun menzil) hava savunma sistemleri (Longe Range Air Defence Systems-Lorad) olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada stratejik bir silah sistem olarak adlandırılabilecek hava savunma sistemleri, yüksek irtifa (uzun menzil) hava savunma sistemleridir. Söz konusu sistemlere örnek olarak Amerikan yapımı Patriot sistemi, Çin yapımı FD-2000 sistemi, Rus yapımı S-400 sistemi, Fransa-İtalya ortak yapımı SAMP/T sistemi, İsrail yapımı Arrow sistemi ve Amerikan yapımı Aegis (BMD) sistemi verilebilir.

1.2.1. Patriot hava savunma sistemi

Patriot; taktik balistik füzeler, seyir füzeleri ve gelişmiş uçaklara karşı koymak üzere geliştirilmiş uzun menzilli, tüm irtifalı, her türlü hava koşuluna uygun hava savunma sistemidir. Massachusetts'te Raytheon ve Florida'da Lockheed Martin Missiles ve Fire Control tarafından üretildi. Patriot ABD, Almanya, Yunanistan, İsrail, Japonya, Kuveyt, Hollanda, Suudi Arabistan, Kore, Polonya, İsveç, Katar, Birleşik Arap Emirlikleri, Romanya, İspanya ve Tayvan'da hizmet veriyor. ABD kuvvetleri, 2003 Irak ihtilafı sırasında Patriot füze sistemlerini konuşlandırdı. Sistemler Kuveyt'te konuşlandırıldı ve yeni PAC-3 ve güdümlü füzeleri kullanarak bir dizi düşmanca karadan karaya füzeyi imha etti. Sistemin füze menzili 160 km ve irtifası 25 km'dir (Werrell, 2005).

1.2.2. FD-2000 (HQ-9) hava savunma sistemi

HQ-9, Defence Company CPMIEC (China Precision Machinery Import & Export Corporation) tarafından Çin'de tasarlanan ve üretilen orta-uzun menzilli bir hava savunma füzesi sistemidir. HQ-9 sistemi, uçakları, seyir füzelerini, havadan karaya füzeleri ve taktik balistik füzeleri izlemek ve yok etmek için tasarlanmıştır. Sistem, Çin Halk Cumhuriyeti'nin kuruluşunun 60. yıldönümü nedeniyle düzenlenen askeri geçit töreni sırasında ilk kez halka tanıtıldı. HongQi 9 geliştirmesi, başlangıçta Çin'in

bilinmeyen bir üçüncü taraf ülke aracılığıyla elde ettiği ABD Patriot hava savunma füze sistemine dayalı olarak 1980'lerin başında başladı. FD-2000, HQ-9'un ihraç versiyonu olarak bilinmektedir. Sistemin füze menzili 200 km ve irtifası 30 km'dir (Anonim, 2020a).

1.2.3. SAMP/T hava savunma sistemi

SAMP / T, mevcut ve gelecekteki hava tehditlerine karşı nokta-bölge savunması için tasarlanmış, harekat alanı (theater level) düzeyinde bir hava savunma sistemidir. Balistik füzelere karşı koyabilen Avrupa tarafından üretilen birkaç sistemden biri olan SAMP / T, Eurosam (Fransa-İtalya ortaklığı) tarafından geliştirilmiştir. Sistem, İHA'lara, seyir füzelerine, 600 km'ye varan kısa menzilli balistik füzelere ve savaş uçaklarına karşı koruma sağlamak için İtalya ve Fransa tarafından kullanılmaktadır. SAMP / T, hem Fransa hem de İtalya'ya, NATO'nun füze savunma çerçevesine entegre olabilen, yerli üretim bir hava ve füze savunma sistemi sağlamıştır. Kısa menzilli balistik füzelere karşı koyma yeteneği, sistemi, yükselen bölgesel güçlerin sınırlı balistik füze yeteneklerine karşı savunma için ideal bir hale getirmiştir. Sistemin füze menzili 120 km ve irtifası 20 km'dir (Anonim, 2018).

1.2.4. S-400 hava savunma sistemi

S-400, S-300 serisi karadan havaya füze sistemlerinin bir üst serisi olarak geliştirildi. Sistem Nisan 2007'de hizmete girdi ve ilk S-400, Ağustos 2007'de harp durumu için konuşlandırıldı. Rusya, Moskova bölgesindeki ulusal hava sahasını, Kaliningrad'daki Baltık kazı alanını ve Doğu Askeri Bölgesi'ni savunan dört S-400 alayı kurdu. Güney Askeri Bölge hava savunma birimleri, 2012 yılı sonunda gelişmiş S-400 Triumph ile yeniden silahlandırıldı. Türkiye ayrıca, IDEF 2009 fuarı sırasında S-400 hava savunma sistemleri satın almakla ilgilendiğini belirtti. S-400 Triumph'un Türkiye'ye teslimine ilişkin sözleşme Nisan 2017'de imzalanmış ve ilk parti Temmuz 2019'da teslim edilmiştir. S-400 Triumph hava savunma sistemi, çok işlevli bir radar, otonom tespit ve hedefleme sistemleri, füze fırlatma sistemleri ve komuta ve kontrol merkezi ile füzeleri bünyesinde barındırmaktadır. Sistem, 400 km'lik bir menzil ve 30 km irtifada, uçak, insansız hava araçları (İHA) ve balistik ve seyir füzeleri dâhil olmak

üzere her türlü hava hedefini engelleyebilir. S-400, bir önceki Rus hava savunma sistemlerinden iki kat daha etkilidir (Anonim, 2020b).



Şekil 1.3. S-400 hava savunma sistemi ana unsurları (Anonim, 2020c)

1.2.5. Arrow hava savunma sistemi

Arrow Silah Sistemi (Arrow Weapon System), dünyanın ilk operasyonel, ulusal, bağımsız ATBM (Anti Tactical Ballistic Missiles) savunma sistemidir. Etkili Arrow 2 ve Arrow 3 önleme sistemlerine dayanan Arrow modüler hava savunma sistemi, bir dizi savaş başlığı taşıyan ve büyük bir alana zarar verebilecek TBM'leri (Tactical Ballistic Missiles) algılar, izler, durdurur ve yok eder, böylece stratejik varlıkları ve nüfus merkezlerini korur. Doğrudan balistik füzelere karşı İsrail tarafından Amerika Birleşik Devletleri ile işbirliği içinde geliştirilmiş olan Arrow sisteminin işk bataryası 2000 yılında aktif olmuştur. Sistem geliştirmeleri günümüzde halen devam etmektedir. Sistemin menzili 200 km'dir (Anonim, 2019).

1.2.6. Aegis (BMD) hava savunma sistemi

Aegis Balistik Füze Savunma (BMD) sistemi, ABD Donanması ile işbirliği içinde Füze Savunma Ajansı (MDA) tarafından geliştirilmiştir. ABD balistik füze savunmasının (BMD-Ballistic Missile Defence) deniz temelli unsurudur. Aegis BMD, savaş gemilerine kısa ve orta menzilli balistik füzeleri yakalama ve imha etme yeteneği sağlar. Aegis BMD, kıtalararası balistik füzeler (ICBM'ler) için uzun menzilli gözetim

ve izleme (LRS & T) yetenekleri sağlamak için ilk olarak 2004 yılında kuruldu. Sistem, 2005'te angajman kabiliyetini ve 2006'da terminal kabiliyetini elde etti. Aegis BMD, Şubat 2008'de Burnt Frost Operasyonu sırasında çalışmayan bir uyduyu başarıyla imha etti. Aegis BMD, Ocak 2002'de ilk durdurma testini başarıyla tamamladı ve bugüne kadar 28 denemeden 23 başarılı müdahale gerçekleştirdi. Sistem, SM-3 füzesini kullanarak 25 denemede 20 başarılı dış-atmosferik müdahale gösterdi. Bu ateşlemeler, Japonya Deniz Öz Savunma Kuvvetleri'nin (JMSDF) Aegis gemilerinin dört denemesinde üç başarılı müdahaleyi de içeriyordu. Sistem ayrıca SM-2 Blok IV füzesini kullanarak üç denemede üç başarılı endo-atmosferik müdahale gerçekleştirdi. Aegis hava savunma sistemi, doğrudan balistik füzelere karşı geliştirilmiş ve deniz üstü kullanımı ile balistik füze savunmasına yeni bir boyut kazandırmış bir hava savunma sistemidir. Sistemin menzili 500 km ve iritfası 150 km'dir (Anonim, 2020d).

1.3. Hava Tehdidi Unsurları ve Tehdit Değerlendirmesi

Genellikle hava savunmasında tehdit, dost hava ortamına saldırmaya veya nüfuz etmeye çalışan tüm düşman kuvvetlerini ifade eder. Başka bir deyişle, tehditler, savunulan varlıklara zarar verme veya zarar verme niyeti taşıyan veya şüpheli hareketler ve manevralar yapan unsurlardır. Bu unsurlar; elektronik harp uçakları, havadan erken ihbar ve kontrol uçakları, havadan keşif ve gözetleme uçakları, taarruz uçakları ve helikopterleri, stratejik bombalama uçakları, insansız hava araçları, seyir füzeleri ve balistik füzeler olabilir. Fakat bu saydıklarımız arasında en önemli ve en ölümcül olan tehditler, reaksiyon zamanının çok kısıtlı olması ve yıkıcılığının çok yüksek olması sebebiyle, seyir füzeleri ve balistik füzelerdir.

Hava tehdidi unsurları değerlendirmeye alınırken, çeşitli faktörler söz konusu unsurların tehdit seviyelerinin değerlendirmesinde rol oynar. Bu faktörleri, tehdit unsurlarının niyeti, zarar verme kapasiteleri ve hedefin aciliyeti olarak özetleyebiliriz. Özellikle hava tehdit unsurlarının niyetinin anlaşılması çok zor olduğundan iyi bir tehdit değerlendirmesi hava savunma harekâtının bekası için mühimdir (Wang ve ark., 2016).

1.3.1. Hava savunmada tehdit değerlendirmesi

Hava savunma tehdit değerlendirme (Threat Evaluation-TE) süreci son derece karmaşık bir süreçtir ve ancak alanında deneyimli ve yetenekli uzmanlar tarafından yapılabilir. Hava savunma personeli genellikle zorlu görevlerde bulunur. Gözetim alanındaki tüm hava araçlarından sorumlu olmanın yanı sıra, mevcut kaynaklar hakkında farkındalık sağlamalı, sesli ve sözlü mesajları izlemeli ve durum raporları hazırlamalıdırlar. Bu ortamda, hava savunma ekip üyelerinin taktik durumu daha iyi anlamalarını sağlayabilecek önemli bilgileri fark etmeleri veya tanımlamaları zor olabilir (Liebhaber ve Feher, 2002).

Teknolojideki gelişmeyle birlikte zor görevler otonom sistemler tarafından kolaylıkla yerine getirilmektedir. Bilgi paylaşımı, işbirliği ve kuvvetlerin komuta ve kontrolü her zamankinden daha önemli hale gelmiş durumdadır. Bununla birlikte, tehdit değerlendirmesi gibi kritik süreçler dikkatle gerçekleştirilmelidir ve bunu yapmak için, otonom sistemlerin kesin ve özel verilere gereksinimi vardır. Hava savunmasında tehdit değerlendirmesinin amacı, gözlemlenen düşman uçaklarını bir dizi savunulan unsurlara ilişkin tehdit edici faaliyetlerine göre sıralamaktır. Teorik olarak, tehdit değerlendirmesi süreci, karar desteği sağlama ve operatörlerin operasyonel temposunu iyileştirmeye adanmıştır. Son yirmi yılda, tehdit değerlendirme ve niyet değerlendirme konuları yoğun bir şekilde incelenmiştir. Bununla birlikte, karmaşık savaş atmosferi ve önemli miktarda değişken, araştırmacıların kesin bir çözüm yöntemi elde etmesini zorlaştırmaktadır.

Aslında tehdit değerlendirmesi; kapasite değerlendirmesi ve niyet değerlendirmesini içerir. Kapasite, hedefin savunulan unsurlara zarar verme kapasitesini ifade eder. Hedef kapasitesinin değerlendirilmesinde dikkate alınan faktörler, ait olduğu herhangi bir hedef grubunun (oluşumunun) bileşimini ve boyutunu, ilgili savunulan unsurlara yakınlığını ve çeşitli saldırı teknikleriyle ilişkili silah sistemlerinin ve gözetim sistemlerinin özelliklerini içerir. Niyet, hedefin hasara neden olma kararlılığını veya isteğini ifade eder. Yeteneğin aksine (doğası nedeniyle değerlendirilmesi oldukça basittir), niyetin değerlendirilmesi genellikle daha zordur, çünkü bir hedefin niyet gösterip göstermediğine karar vermek genellikle çok özneldir (Nguyen, 2002).

Ayrıca, hava harekâtı için hedef tehdidi değerlendirmesi, askeri komuta ve kontrolde en önemli süreçlerden biridir. Çünkü sonucu komutanın karar vermesini ve alternatif askeri harekâtları seçmesini destekler. Düşman hava hedefleri için doğru bir

tehdit değerlendirmesi elde etmek, farklı riskler oluşturan farklı özellikler olarak birden çok sensörden gelen büyük miktarda bilgiyi birleştirmeyi gerektirir. Bu çoklu algılayıcılar tarafından sağlanan bilgiler genellikle eksiktir veya doğası gereği belirsizdir veya yalnızca rastgelelikle (randomness) değil aynı zamanda bulanıklıkla da karakterize edilir. Ek olarak, gerçek karmaşık savaşta zaman sınırlaması ve düşman hedefin karıştırması nedeniyle kesin tehdit derecesine ulaşmak oldukça zordur ve genellikle bulanık bir tehdit derecesi aralığı elde edilebilir (Deng ve ark., 2010).

Tehdit derecesi, bir hedefin korunan unsura yönelik oluşturduğu tehlike miktarı ile doğru orantılıdır. Daha yüksek tehdit derecesi, daha tehlikeli hedef anlamına gelir. Bu analiz, şüpheli hedeflere karşı silah tahsisinde önemli bir rol oynayacaktır. Birkaç potansiyel tehdidin bulunduğu bir durumda, dost unsurlar için temsil ettikleri tehdit derecesine göre öncelik sırasına koymak önemlidir, çünkü böyle bir derece tehditlerin hangi sırayla devreye alınması gerektiğini gösterir. Tehdit değeri olarak bilinen tehdit derecesi, yüksek tehdit değerlerine sahip hedeflere daha fazla sensör kaynağı tahsis ederek akıllı sensör yönetimini desteklemek için de kullanılabilir. Daha küçük bir tehdide daha büyük bir tehdit olarak öncelik verilmesi gibi hatalar yanlış hedefle sonuçlanabileceğinden, en yüksek tehlikeyi temsil eden birkaç tehditten hangisinin büyük önem taşıdığını belirlemek büyük önem taşır ve bu da genellikle ciddi sonuçlar doğurur (Roy ve ark., 2002).

Tehdit değerlendirmesi, yüksek seviyeli bir bilgi füzyon sürecidir. Zaman zaman, birden çok parametre ve işlemin varlığında tehdit değerlendirmesi zorlaşır. İlgili hedeflerin ve varlıkların niteliğine bağlı olarak bu parametrelerde bir miktar belirsizlik vardır. Bir çıktı olarak tehdit değerini oluşturmak için girdi olarak seçilen parametreleri kullanarak matematiksel modeli formüle etmek zordur. İşte bu noktada bulanık mantık sistemi, belirsiz koşullar altında dinamik hedeflerin tehdit değerlendirmesi için en etkili yöntemlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır (Kumar ve Dixit, 2012).

1.4. Bulanık Mantık

Bulanık Mantık (BM), temelini “doğru” ve “yanlış” değerlerin belirlendiği günlük kullandığımız ifadelerden alan Bulanık Küme Kuramı (Fuzzy Set Theory) oluşturur. BM klasik mantıktaki 0 ve 1 değerleriyle yetinmeyip bunların ara değerlerini de (0 ile 1 arasındaki değerler) kullanarak; bir uzaklığın yalnızca yakın ya da uzak olduğunu belirtmekle kalmayıp ne kadar yakın ya da ne kadar uzak olduğunu da söyler.

Bu tür hayattaki kesin olmayan yani kesin ifadelerinin arasında kalan “az soğuk” veya “soğuğa yakın” şeklindeki belirsizlikleri de matematiksel olarak ifade etmeye yönelik bir teoridir (Alcı ve Karatepe, 2002).

Bu teori ilk defa 1965 yılında Azeri asıllı ABD’li Lotfi Ali Asker-Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bulanık kümeler olarak bilinen makalesinde Zadeh, dil ve insan zekâsını ilişkilendirebileceğini göstermiş ve bunun için bulanık kümeler teorisini teklif etmiştir. Zadeh birçok kavramın dilsel olarak geleneksel matematiğe göre daha iyi belirlenebildiğini ve bulanık mantığın ve kümelerinin gerçek hayatı daha iyi modellediğini göstermiştir (Zadeh, 1965).

Bulanık mantık kullanılıncaya kadar, insan merkezli sistemlerin analizi için kullanılan yöntemler, genel olarak kabul edilmiş yasalar tarafından yönetilen mekanik ve fiziksel sistemlerle başa çıkmak için kullanılan tekniklerdi. Fiziksel sistemlerin makroskobik analizleri, tahmin, ekonomik planlama ve yönetim amacıyla bilgisayar tabanlı ekonometrik modellerin kullanımını moda haline getirmiştir. Rastgelelik ve belirsizlik arasındaki ayrım şu şekildedir: Belirsizlikte, bir nesne için üyelik ve üye olmama derecesi tanımlanabilir, diğer yandan bulanıklık kavramında üyeliksizlik ve tam üyelik arasında değişen üyelik dereceleri olabilir (Bellman ve Zadeh, 1970).

Basit olarak bulanık mantık, insanların nasıl düşündüğünü yansıtır ve insan sözcükleri ve karar verme anlayışını modellemeye çalışır. Doğru / yanlış, evet / hayır, yüksek / düşük ve büyük / küçük gibi geleneksel değerlendirmeler arasında ara değerlerin tanımlanmasına izin veren çok değerli bir mantık biçimidir.

Bulanık mantık teorisini ilk defa 1972 yılında İngiltere’de Ebrahim Mamdani, bir buhar makinesi için kontroller tasarlayarak kullandı. Günümüzde kullanımı ise oldukça yaygınlaşmıştır. Makineler, savunma sanayi, süreç kontrol uygulamaları, kanser araştırması, maliyet fayda analizi, örüntü tanıma ve sınıflandırma gibi biyolojik faaliyetlerde, yüz karakterleri tanıma, insan davranışı, suç işleme ve önleme nedenleri gibi psikolojik alanlarda dahi kullanılmaktadır (Singh ve ark., 2013).

1.4.1. Bulanık küme

Klasik küme, yalnızca bir öğenin bir gruba ait olduğu veya hiç olmadığı anlamına gelen 0 ve 1 değerlerini kabul eden iki değerli bir doğruluk işlevi tarafından tanımlanırken, bulanık küme, [0, 1] arasında gerçel değerler alan üyelik fonksiyonu

tarafından belirlenir. Üyelik derecesi veya üyelik fonksiyonu değerleri, bir öğenin bir bulanık kümeye, yani temsil ettiği kavrama ne ölçüde ait olduğunu belirtir.

G Elemanları x olan bir X evrensel (universal) küme düşünelim. Bu elemanların A⊂X alt kümesine aitliği, yani bu altkümelerin elemanı olup olmadığı X'in {0, 1}'de olan "karakteristik fonksiyonu" olarak belirlenir ve Denklem 1.1.'deki gibi gösterilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & eger \quad x \in A \\ 0, & eger \quad x \notin A \end{cases} \text{ dir.} \tag{1.1}$$

Karakteristik fonksiyon, X'in elemanlarını {0, 1} kümesine dönüştürür. Bu dönüşüm X'in her elemanı için bir sıralı ikili kümesiyle ifade edilebilir. "0" değeri kümeye ait olmamayı, "1" değeri ise kümeye aitliği gösterir.

$$\mu_A : X \to \{0,1\}, \qquad x \varepsilon A \tag{1.2}$$

şeklindeki bir önermenin doğruluğu (x, μA(x)) sıralı ikisiyle belirlenir. Eğer sıralı ikilinin ikinci elemanı 1 ise önerme doğru, eğer bu değer 0 ise önerme yanlıştır. İki değerli mantıkla iki mutlak sonucu "0" ve "1" olarak, BM'de sonuçları [0.0, 1.0] aralığında tanımlayabiliriz. Bu değerlere "üyelik derecesi" denir. "0" mutlak "yanlışlığı", "1" ise mutlak "doğruluğu" gösterir. Bu üyelik derecesi belirsizliği tanımlamaya çalışan bir fonksiyonla ölçülebilir. Bu fonksiyon bir A Bulunak kümesinin elamanlarını [0, 1] aralığındaki reel bir değere dönüştürür ve μA(x)∈ [0, 1] şeklinde gösterilir (Nguyen ve ark., 2002).

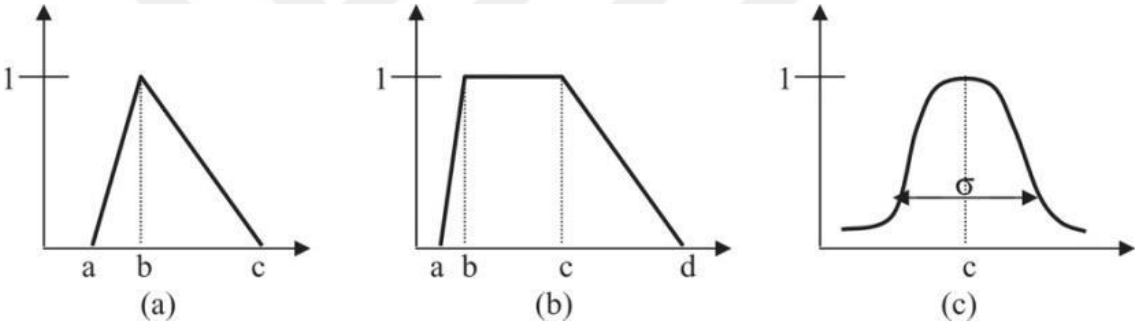
Bu teoride nesnelerin bir kümeye ne kadar ait olduğu derecelendirilmiştir. Kümeye ait üyelik dereceleri ile verilir. Elemanlar bulanık kümeye kısmi derecede aittir. Klasik kümelerdeki karakteristik fonksiyon, μA: E→{0,1}, bulanık kümelerde yerini, μA: E→[0,1] olarak gösterilen üyelik fonksiyonuna bırakır.

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu denir. X ekseni üyeleri gösterirken, y ekseni üyelik derecelerini gösterir. A bulanık küme, μA(x) de üyelik derecesi olmak üzere A={μA(x), x)} olarak yazılabilir. A bulanık kümesi sembolik olarak Denklem 1.3.'teki gibi gösterilir (Nguyen ve ark., 2002).

$$A = \{\mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \ldots\} = \{\sum \mu_A(x_i)/x_i\} \qquad i = (1,2,3,\ldots) \tag{1.3}$$

1.4.2. Üyelik fonksiyonu

Bulanık bir küme, bir üyelik işlevi kullanılarak tanımlanır. Her üyelik fonksiyonunu ifade etmek için matematiksel bir formül tanımlanmıştır (Jang vd., 1997). Genel olarak, Şekil 1.4' te gösterildiği gibi, Trapezoidal, Triangular ve Gauss gibi bulanıklaştırma işlemi için kullanılabilen farklı üyelik fonksiyonları vardır. Üyelik işlevinin türü bağlama dayalı olabilir ve genellikle kullanıcı deneyimine göre keyfi olarak seçilebilir (Mendel, 1995).

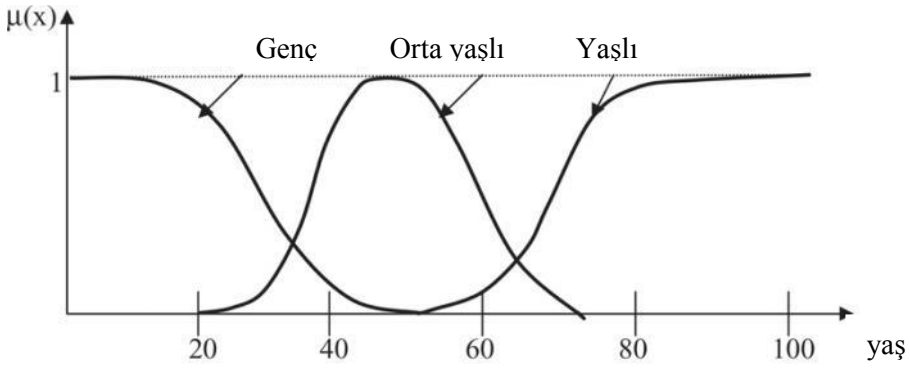


Şekil 1.4. (a) Triangular, (b) Trapezoidal ve (c) Gaussian

1.4.2.1. Dilsel değişken

Dil değişkenleri, doğal veya yapay dillerde kullanılan sayılar yerine kelimeler veya cümleler içerir (Zadeh, 1975). Bu değişkenler, bireylerin bilgilerini çeşitli ifadelere dayanarak anlatmaları açısından daha kullanışlıdır. Genelde insanlar günlük hayatta kelime ve cümleler kullanarak düşünür ve düşüncelerini açıklamaya ihtiyaç duyar. Yine de bilgiyi doğrudan vermek zordur. Her şeye rağmen, dil değişkenini kullanmak insan düşüncesini modellemek için etkileyici bir yoldur.

Bulanık kümesi [0,100] →[0,1] ve sözel ifadeleri A=(çok yaşlı, yaşlı, orta yaşlı, genç, çok genç) olan bir bulanık Gaussian üyelik fonksiyonu Şekil 1.5.'te gösterilmiştir (Kantardzic, 2011).



Şekil 1.5. Üyelik fonksiyonu

1.4.3. Bulanık if-then kuralları

Bulanık bir if-then kuralı (aynı zamanda bulanık kural, belirsiz ima veya koşullu ifade olarak da bilinir $if\ x\ A$ ise $then\ y\ B$'dir şeklinde verilsin. Burada A ve B; X ve Y evrenlerindeki bulanık kümeler tarafından tanımlanan dilsel değerlerdir. Genel olarak, "x A'dır" öncülü veya öncül olarak adlandırılır ve "y B'dir", sonuç veya sonuç olarak adlandırılır. Günlük yaşamda, insanlar genellikle aşağıdaki gibi bulanık if-then kurallarının örneklerini kullanırlar: "Zeytin siyahsa, olgunlaşmıştır" (Harrington, 1991).

1.4.4. Bulanık kural tabanlı uzman sistemler

Bulanık kural tabanlı uzman sistemler, bulanık mantığın en yaygın kullanım alanlarındandır. Karar verme, tüm sistemin önemli bir parçasıdır. Uzman sistem, uygun kuralları formüle eder ve kararın alındığı kuralları temel alır. Bu temelde bulanık küme teorisi, bulanık IF – THEN (Eğer- O halde) kuralları ve bulanık akıl yürütme kavramlarına dayanmaktadır. Sistem, "If. . . Then. . . " ifadeleri ve kural ifadesinde bulunan bağlayıcılar, gerekli karar kurallarını oluşturmak için" VEYA "veya" VE "dir. Temel bir bulanık çıkarım sistemi, belirsiz girdileri veya net girdileri alabilir, ancak ürettiği çıktılar neredeyse her zaman bulanık kümelerdir. Çıkarım sistemi bir kontrolör olarak kullanıldığında, net bir çıktıya sahip olmak gerekir. Bu nedenle, uzman ve/veya uzmanların bilgi ve tecrübesinden yararlanılarak zeki bir sistem oluşturulur (Sivanandam ve ark., 2007).

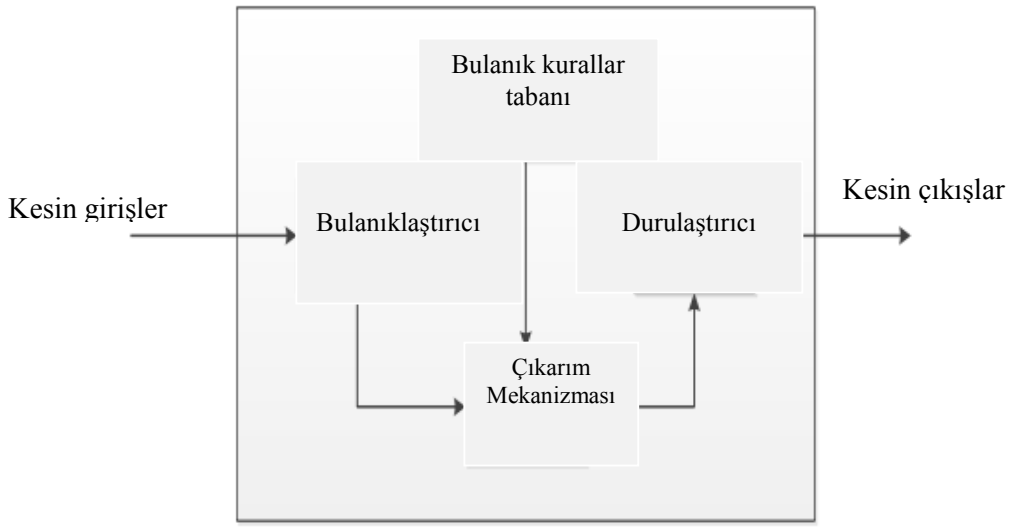
Bulanık kural tabanlı uzman sistemlerde çıkarım mekanizması veri tabanındaki verileri ve kurallar tabanında bulunan kuralları kontrol ederek bir nevi yorumlayarak

hangi kuralı işleyeceğine karar veren bir yönetim sistemidir. Kurallar tabanındaki kurallara ulaşma imkânı varken, çıkarım mekanizmasının kuralları gizlidir.

Literatürde mamdani ve sugeno olmak üzere en çok iki bulanık çıkarım mekanizmasından söz edilmektedir. Max-min operatörlerini kullanan mamdani yöntemi, hesaplamada sadeliği ve kolaylığından dolayı oldukça tercih edilmektedir. Mamdani yönteminin çıkışı bulanık olduğundan durulaştırma ihtiyacı bulunmaktadır. Sugeno yönteminde ise çıktı kesin olduğundan durulaştırma işlemine gerek yoktur (Baykal ve Beyan, 2004).

Bulanık çıkarım mekanizmasının çıkışı bulanık bir küme olduğundan dolayı durulaştırma işlemine ihtiyaç vardır. Ancak böylelikle sistemden kesin çıktı verileri alınabilir. Durulaştırma işlemi, bulanık çıktıları bulanık olmayan kesin çıktılara çevirme işlemi olarak adlandırılabilir. Birçok durulaştırma yöntemi vardır ve en iyi yöntem olarak birini seçmek doğru değildir. Oluşturulacak sisteme göre yöntemlerden bir tanesi tercih edilmelidir. Hesaplaması yoğun olsa da akla yatkınlığı sebebiyle en çok kullanılan durulaştırma yöntemlerinden bir tanesi ağırlık merkezli durulaştırma (centroid) yöntemidir (Baykal ve Beyan, 2004) (Taşdemir, 2010).

Bulanık kural tabanlı uzman sistemler (Bulanık Uzman Sistemler-BUS), bulanık kümeler teorisini kullanarak net bir girdiyi net bir çıktıya eşler. Genel olarak, bir bulanık kural tabanlı uzman sistem, bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım mekanizması ve durulaştırma aşamaları olmak üzere dört aşamadan oluşur (Şekil 1.6'te gösterilmiştir) (Jaiswal ve Sarode, 2015).



Şekil 1.6. Bulanık kural tabanlı uzman sistem şeması

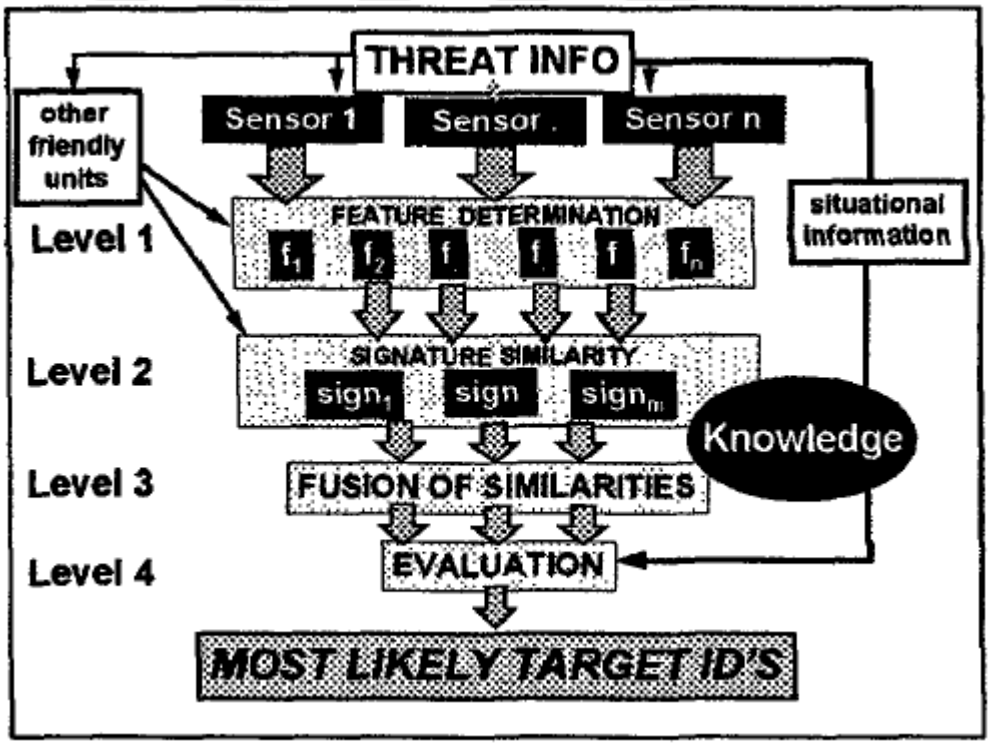
Bulanık kural tabanlı uzman sistemlerin elemanları (Bai ve Wang, 2006) Çizelge 1.1.'de açıklanmıştır.

Çizelge 1.1. Bulanık kural tabanlı uzman sistem elemanları (Taşdemir, 2010)

Bulanık Kural Tabanlı Uzman Sistem Yapısı					
Kesin Girişler	Bulanıklaştırıcı	Kurallar Tabanı	Çıkarım Mekanizması	Durulaştırıcı	Kesin Çıkışlar
Girişler işaretli veya işaretsiz sayısal ve bulanık olmayan değerlerdir.	Girilen kesin değerler, uzman ve/veya uzmanlar yardımıyla belirlenene üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanıklaştırılır..	Giriş değerlerini çıkış değerlerine bağlayan, uzman/uzmanlar yardımıyla hazırlanmış kurallardır.	Her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplar ve girdilerin nasıl sonuçlanacağını belirler.	Çıkarım mekanizmasından bulanık olarak çıkan değerleri kesin değerlere çevirir.	Bulanık kural tabanlı uzman sistem aracılığıyla elde edilen kesin değerli çıktılardır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sillevis Smitt ve Bruggeman (1996), Conference on human decision making and manual control konferansında sundukları 'Decision support Systems and modern maritime air defence Fuzzy identification of targets' isimli makalelerinde; hava hedeflerinin bulanık şekilde teşhis edilmesine dayalı, deniz kuvvetleri için bir hava savunma karar destek sistemi tasarlamışlardır. Tasarladıkları sistem ile sensörlerden gelen bilgiler eksik veya kesinlik içermeyen şekilde olsa dahi bulanık mantık ve doğru kriter seçimi sayesinde gemi hava savunmasını geliştirmiş ve karar vericilerin işlerini kolaylaştırmışlardır. Ayrıca sistemin eksikliği sayesinde çeşitli durumlara karşı da toleranslı yaklaşma imkânına kavuşmuşlardır. Şekil 2.1.'de gösterilen ve hava hedeflerini en iyi şekilde teşhis etmeyi amaçladıkları modelde, bulanık mantık tabanlı bir bilgi kütüphanesi oluşturarak sonuca varmaya çalışmışlardır.



Şekil 2.1. Smitt ve Bruggeman tarafından oluşturulan bulanık mantık tabanlı hedef değerlendirme modeli

Gelev ve ark. (2007), 5rd IFAC WS on Automatic System for Building the Infrastructure in Developing Countries konferansında sundukları 'Fuzzy logic in fire control systems for air defence' isimli makalelerinde; hava hedefinin yaklaşma hızı ve hedefe ateşlenecek füzenin hedefe yaklaşma hızı ile füzenin ateşleneceği lançerin ilk

açısı bulanıklaştırılarak bulanık mantık tabanlı bir atış kontrol sistemi (fire control system) tasarlamışlardır. Gelev ve ark. söz konusu çalışmalarında, kullandıkları bulanıklaştırma yöntemi sayesinde füzeye minimum sayıda ölçüm kullanarak kaliteli bir güdüm sağlamışlar ve hali hazırda kullanılan atış kontrol yöntemlerini modifikasyona yönelmişlerdir.

Liang (2007), Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery konferansında sunduğu 'An Approximate Reasoning Model for Situation and Threat Assesment' isimli makalesinde; gemi hava savunmasında tehdit değerlendirmesi için bulanık mantık tabanlı bir sistem geliştirmiş ve hız, irtifa, mesafe ve en yakın geçiş noktası (Closest point of approach) parametrelerini kullanarak tehdit değerlendirmesi ve derecelendirmesinde bulunmuştur. Bunun sonucunda, sadece 4 parametre kullanmasına rağmen bulanık mantık tabanlı çıkarım sisteminin çok düzgün çalıştığını ve istenen sonucu elde ettiğini bildirmiştir. Her ne kadar yukarıdaki parametreleri de içine alan 18 parametrenin tehdit değerlendirmesinde etkili olduğunu belirtse de söz konusu 4 parametrenin bulanık mantık sayesinde doğru sonuca ulaşmada yeterli olduğunu bildirmiştir. Sistemini tasarlarken öncelikle giriş ve çıkış değişkenlerini tanımlamış, her bir değişken için üyelik fonksiyonlarını şekillendirmiş, bulanık kuralları oluşturmuş ve bulanık çıkarım mekanizmasını kullanarak 4 adımlı bir metot izlemek suretiyle sonuçları elde etmiştir.

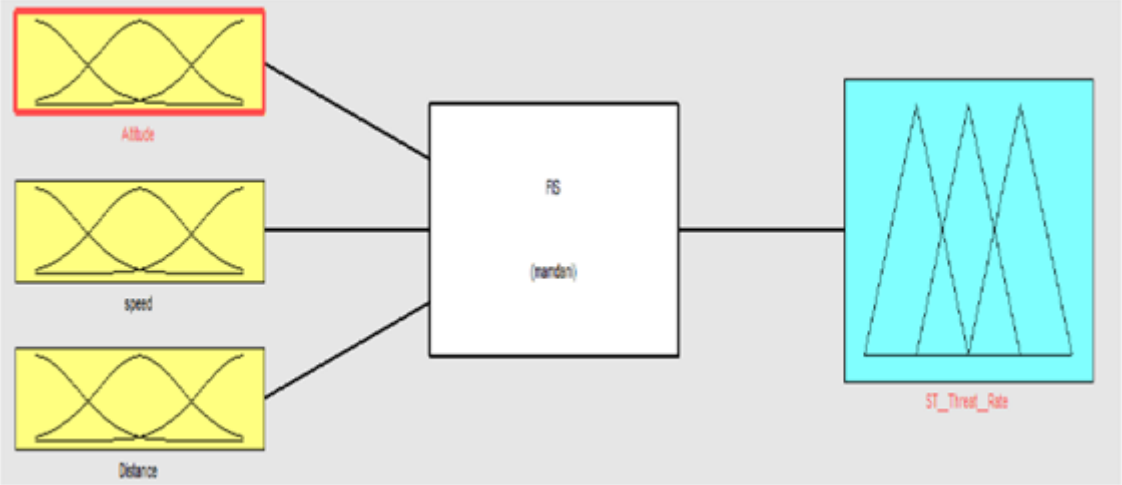
Johansson ve Falkman (2008), Modeling Decisions for Artificial Intelligence konferansında sundukları 'A Comparison between Two Approaches to Threat Evaluation in an Air Defense Scenario' isimli makalelerinde; hava savunma sistemleri için tehdit değerlendirme işlemini bayes ağları ve bulanık mantık tabanlı çıkarım sistemi olmak üzere iki farklı yöntem ile yaparak bunları karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonunda, her ne kadar tehdit seviyeleri birbirine yakın olsa da tehdit değerleri arasındaki geçişlerin bulanık mantık tabanlı oluşturdukları tehdit değerlendirme sisteminde daha pürüzsüz olduğunu gözlemlemişlerdir. Aslında bu durumu Bayes ağları için de gerçekleştirmenin mümkün olduğunu fakat bunun çok daha fazla iş yükü ve zaman kaybı anlamına geleceğini ifade etmişlerdir.

Kabak (2011), Savunma Bilimleri Dergisi'nde yayınlanan 'Birlik hava savunma önceliklerinin tespitine bulanık bir yaklaşım' isimli makalesinde; bir birliğin kritiklik, hassasiyet, onarım kabiliyeti ve taarruza maruz kalma derecesi faktörlerini bulanıklaştırarak hava savunma desteği ya da birliği bulunup bulunmaması gerektiğini açıklamıştır. Çalışmanın sonucunda, bulduğu değerler dar bir aralıkta toplanmıştır.

Bundan dolayı karar vericilerin bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemini kullanmasının birlik hava savunma önceliklerinin tespitinde daha verimli ve hızlı sonuçlara ulaşabileceğini ifade etmiştir. Bunun sebebi önerdiği yöntemin kolay uygulanabilir olması ve dilsel değerlerin rahatlıkla kullanılabilmesi avantajıdır.

Yun ve ark. (2012), The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems konferansında sundukları ‘A dynamic neuro fuzzy knowledge based system in threat evaluation’ isimli makalelerinde; tehdit değerlendirmesini göreceli önemi ve zaman kavramını ön plana çıkaran dinamik bir nöro bulanık tabanlı bilgi tabanlı çıkarım sistemi kullanarak yapmışlardır. Sistemlerinde adaptif öğrenme kabiliyeti ve detaylı çıkarım yeteneği ön plana çıkmaktadır. Sistemde kullanılan bulanık üyelik fonksiyonları öğrenmeden önce ele alınıyorsa da söz konusu fonksiyonlar eğitilmiş verilerle modifikasyon edilmiş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sayede sistemin esnek işlem kapasitesi artmış ve savaş alanında elde edilen muğlak bilgilerin işlenmesi kolaylaşmıştır.

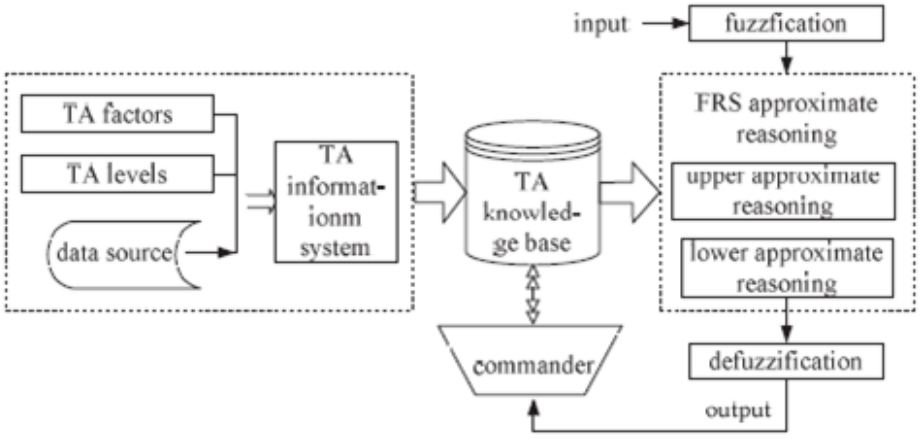
Rizwan ve ark. (2014), 17th IEEE International Multi Topic Conference konferansında sundukları "Threat evaluation of suspicious target for cognitive radar’ isimli makalelerinde; belirsiz bir hava hedefine tehdit değeri atamak için hedefin hız, mesafe ve irtifa değerlerini bulanıklaştırma yoluna gitmişlerdir. Ayrıca 27 bulanık if-then kuralını içeren bir bulanık mantık kontrolörü (fuzzy logic contoller) tasarlamışlardır. Söz konusu kontrolör şeması Şekil 2.2.’de sunulmuştur. Bulanık mantığın sağladığı eksik veya muğlak verilerle başarıyla çalışabilme gibi büyük avantajlar sayesinde, bilişsel bir radar için şüpheli bir hava hedefine tehdit değeri atamak gibi karmaşık bir probleme optimal çözüm sunduklarını belirtmişlerdir.



Şekil 2.2. Rizwan vd. tarafından tasarlanan bulanık mantık kontrolörü

Azimirad ve Haddadnia (2015), International Journal of Advances in Intelligent Informatics dergisinde yayınladıkları 'Target threat assessment using fuzzy sets theory' isimli makalelerinde; bir savaş gemisine taarruz eden hava hedeflerinin savaş gemisine yönelik tehdit seviyelerini ölçmek amacıyla bulanık mantık tabanlı ve 331 if-then kuralının oluşturduğu bir sistem tasarlamışlardır. Öncelikle hedef hakkında öğrenilen bilgileri giriş ve tehdit değerini çıkış değeri olarak belirlemişlerdir. Daha sonra her bir giriş değeri için üyelik fonksiyonlarını tanımlamışlar ve son olarak da bulanık kuralları şekillendirmişlerdir. MATLAB programı üzerinden senaryolarını şekillendirmişler ve hedeflere tehdit değeri atamışlardır. Bulanık mantık tabanlı olarak kurdukları söz konusu sistemin kara vericilerin işini oldukça kolaylaştırdığını bildirmişlerdir.

Lu ve ark. (2015), The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC) konferansında sundukları 'Air targets threat assessment based on fuzzy rough reasoning' isimli makalelerinde; hava hedeflerinin ana faktörlerini analiz ederek, Şekil 2.3.'te sunulan bulanık mantık tabanlı bir tehdit değerlendirme modeli oluşturmuşlardır. Söz konusu sistemde, geleneksel bulanık mantık yöntemlerinin yanında bulanık yaklaşımlı kümeleri de (fuzzy rough sets) kullanmışlar ve komutana sonuç olarak tek bir değer vermek yerine iki bulanık yaklaşımdan sınırları bulunan bir aralık değeri vermeyi tercih etmişlerdir. Böylelikle gerçek hava savunma operasyonlarında hataya yer bırakmayacaklarını ve komutanın tecrübesinin hızlı bir şekilde harekâta aktarılabileceğini ifade etmişlerdir.



Şekil 2.3. Lu ve ark. tarafından oluşturulan bulanık mantık tabanlı tehdit değerlendirme modeli

Kun ve ark. (2018), Journal of Systems Engineering and Electronics dergisinde yayınladıkları "Assessment and sequencing of air target threat based on intuitionistic fuzzy entropy and dynamic VIKOR," isimli makalelerinde; aynı anda birden çok hava hedefinin oluşturduğu tehlikeyi gidermek amacıyla hedeflerin bulanık mantık tabanlı bir modelle değerlendirmesini ve ardından sıralamasını yaparak, karmaşık hava harp ortamlarında sağ kalımı (self-survival probability) artırmayı hedeflemişlerdir. Bulanık mantık kullanarak meydana getirdikleri sistemde tek bir zamana bağlı kalmamışlar, hava hedeflerini farklı zaman aralıklarında değerlendirerek karmaşık hava harp ortamının yansıttığı dinamizme ayak uydurmuşlardır. Böylelikle gerçek hava harp ortamındaki gerçek hava hedefi değerlendirme sürecini en iyi şekilde simüle ettiklerini bildirmişlerdir.

Beser ve ark. (2018), Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi'nde yayınladıkları 'Bulanık Mantık Kullanarak Hava Savunma Karar Destek Sistemi Tasarımı' isimli makalelerinde; hız, irtifa, mesafe ve tırmanma oranı parametrelerini kullanarak, savaş gemilerine saldırıda bulunan hava hedeflerinin tehdit seviyesini ölçmek için bulanık mantık tabanlı bir karar destek sistemi tasarlamışlardır. Şekillendirdikleri sistemde atıştan sonra yörüngelerinin belli bir profil çizdiğini belirttikleri balistik füzeleri ve seyir füzelerini çalışma dışında bırakmışlardır. Bunun yerine, hava hedeflerinin yukarıda belirtilen 4 adet parametresini bulanıklaştırarak hedeflere tehdit değerleri atamışlardır.

Gao ve ark. (2020), Engineering Applications of Artificial Intelligence dergisinde yayınladıkları 'A novel target threat assessment method based on three-way decisions under intuitionistic fuzzy multi-attribute decision making environment' isimli makalelerinde; 3 yönlü karar verme sistemi ve bulanık mantık tabanlı bir hava tehdidi

değerlendirme modeli oluşturarak, sadece tehdidin derecesini ölçmekle kalmamış, ayrıca tehdit derecesine göre bir karar vermek zorunda olan komutanın işini kolaylaştırmak adına tehdit derecesi çok yüksek ya da çok düşük olmayan hedefleri de sınıflandırmışlardır. Gerçek hava harp ortamının karmaşıklığı ve dinamizmi göz önüne alındığında, oluşturdukları metodun hava savunma sistemleri için daha doğru bir tehdit değerlendirmesi işlemi yürüttüğünü ifade etmişlerdir.

Literatürdeki bulanık mantığa dayalı hava savunma sistemi çalışmaları incelendiğinde, çalışmaların genel olarak belli başlı önemli parametreleri kullandıkları görülmüştür. Bu tez çalışmasında söz konusu önemli parametrelere ilave olarak radar kesit alanı (RCS) gibi daha önce bulanık mantığa dayalı tehdit değerlendirme çalışmalarında kullanılmayan fakat hava savunma sistemleri için yüksek öneme haiz parametrelere yer almaktadır. Böylelikle en doğru tehdit değerlendirmesi elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, literatürdeki bulunan çalışmalarda denizde görev icra eden sistemler için bir hava savunma yöntemi geniş yer kaplamıştır. Fakat tez çalışmamızda ülkemizin jeostratejik konumu dikkate alınarak karaya konuşlu hava savunma sistemleri esas alınmıştır. Bunlara ilave olarak günümüzde hava savunma sistemleri için en büyük tehditler olan seyir füzeleri ve balistik füzeler ile uçaktan atılan füzeler bulanık mantık tabanlı hava savunma çalışmalarında kendine yer bulamamıştır. Bu çalışmada, söz konusu yüksek tehditler de uzmanlar yardımıyla hesaba katılarak hava savunma sistemleri için bulanık mantık tabanlı bir uzman sistem oluşturularak tehdit değerlendirmesi ve derecelendirilmesi bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Hava savunma operasyonu, bilgi füzyonunun bir dizi otomasyon / yarı otomasyon adımını ve son angajman adımını içeren zaman açısından kritik bir süreçtir. Bilgi füzyonu süreci, hedef takibi, hedef tanıma, durum farkındalığı, tehdit değerlendirmesi ve silah atamasına kadar değişebilir.

Hava savunma bilgi füzyon sürecinde yer alan temel sorun, belirsizlikle (uncertainty) başa çıkma ihtiyacıdır (Mei, 2013). Söz konusu belirsizlik bulanıklık (fuzziness) ile de tanımlanabilir.

Hava hedefleri dinamik ve işbirliği içinde olmayan tehditler olduğundan dolayı bunların süratle değerlendirilerek uygun karşı hamlelerin devreye sokulması hem hava savunma sistemleri hem de savunulan bölge için hayati öneme sahiptir. Söz konusu tehdit değerlendirmesi için zaten doğal olarak belirsizlik içeren bilgiler elde edildiğinden dolayı bulanık mantık tabanlı bir sistem kullanılması çok doğru bir yaklaşımdır.

3.1. Tehdit Değerlendirme Parametreleri

Hava savunma sistemleri için tehdit değerlendirmesi amacıyla hedefler ve korunan varlıklar arasındaki korelasyonu gösteren çeşitli parametrelere ihtiyaç vardır. Çeşitli çalışmalarda farklı parametreler önerilmiştir ve bunlar genel anlamda yakınlık (proximity), kapasite ve niyet (intent) parametreleri olarak ayrılmıştır (Johansson, 2010).

Hava hedeflerine tehdit değerleri atamak için önemli bir parametre sınıfı, yakınlık parametreleridir, yani bir anlamda hedefin savunulan varlığa ve/veya hava savunma sistemine olan yakınlığını ölçen parametrelerdir. Pek çok tehdit değerlendirme tekniğinde kullanılan temel bir parametre, savunulan varlıktan en yakın yaklaşma noktasına (Closest point of approach-CPA) olan mesafedir (Allouche, 2005). Yani hedefin güncel pozisyonuna göre bir zaman sonra savunulan varlığın yanından geçtiği en yakın noktayı ifade eder. Bunun yanında hedef ve savunulan varlık arasındaki mesafe ve söz konusu mesafenin varyantı da bu sınıf parametreye örnek verilebilir.

Kapasite parametreleri, bir hava hedefin savunulan bir varlığa zarar verme yeteneğini yansıtır. Buradaki merkezi parametre, hedef tipidir. Hedef türü genellikle kesin olarak bilinmez, ancak hedefin tahmini hızı, radar kesit alanı (Radar Cross

Section-RCS), IFF sorgulamasına cevabı vb. ne tür bir hedefin tespit edildiğine dair makul bir gösterge verebilir. Hedef türü net olarak bilinemediğinden yukarıdaki verilen parametreler kritik öneme sahiptir (Okello ve Thoms, 2003).

Niyet parametreleri sınıfı, hedefin savunulan varlığa zarar verme niyetiyle ilgili bir şeyler ortaya çıkarabilecek parametreleri içeren geniş bir kategoridir. Bunun bir örneği, hedefin kinematiğidir. İrtifası ile birlikte hedefin hızı (yani hızı ve yönü), hedefin savunulan bir varlığa saldırma niyetinin iyi bir göstergesi olabilir. Kullanılabilecek kinematik verilere dayalı bir başka parametre de son manevraların sayısıdır. Burada, çok fazla manevra yapan bir hedefin, manevra yapmayan bir hedeften daha tehdit edici bir davranışa sahip olduğu varsayılmaktadır. Ticari uçaklar için tipik davranış, sabit hızda, sabit bir yükseklikte ve düz bir çizgide uçmaktır. Dahası, yerleşik hava yollarını kullanma ve özel radyo frekanslarında sözlü sorulara yanıt verme eğilimindedirler. Diğer bir deyişle, bu tür davranışlardan sapan uçaklar, niyetin muhtemelen düşmanca olduğunun bir göstergesi olabilir. Düşman niyetinin açık göstergelerini sağlayabilecek diğer parametreler, radar karıştırmanın ve diğer elektronik harp türlerinin kullanılmasıdır (Benavoli ve ark., 2009).

Yukarıda verilen parametreler incelendiğinde ve hava savunma sistemlerinin doğasında olan hedefin tespit edildiği andan itibaren kısa reaksiyon süresi göz önüne alındığında kritik öneme sahip parametreler hedefe ait hız, mesafe, irtifa, radar kesit alanı, radar karıştırma sinyal seviyesi ve hedefin en yakın yaklaşma noktasına olan uzaklığıdır (Liang, 2007) (Liebhaber ve Feher, 2002). Bundan dolayı çalışmamızda hava hedeflerinin tehdit seviyeleri hakkında en iyi şekilde bilgi alabileceğimiz söz konusu parametreler kullanılmıştır. Literatürde tez konusu ile alakalı çalışmalarda daha önce kullanılmayan radar kesit alanı parametresi teze dâhil edilerek hem farklı parametrelere sahip hava hedefleri arasında ayrım yapabilme kabiliyetini artırmak hem de literatürdeki açığı kapatmak hedeflenmiştir.

Bahse konu parametrelerin tez çalışmasında kullanılması amacıyla, açık kaynaklardan aşağıda belirtilen hedef karakteristikleri edinilerek bulanık kural tabanlı uzman sisteme dâhil edilmiştir.

Belirtilen parametrelerden irtifa, mesafe, hedefin en yakın yaklaşma noktasına uzaklığı ve radar karıştırma sinyal seviyesi hedeflerin karakteristik özelliği olmadığından yani durumlara göre değişebildiğinden dolayı tarafımızdan uzmanlar yardımıyla gerçekçi bir şekilde simüle edilmiştir. Dolayısıyla literatür ve açık

kaynaklardan farklı hedef tiplerine ait hız ve radar kesit alanına ait karakteristikler elde edilmiştir.

3.1.1. Hava hedefleri hız karakteristikleri

Av-önleme uçakları (fighter aircraft) olarak F-16, F-18, Mig-25, Su-35 vb. uçaklar örnek gösterilebilir. Söz konusu uçakların hızları 1850 km/s (1000 knots) hızı (Anonim, 2013) geçebiliyor olsa da operasyon halinde bulunan bir av önleme uçağının hızı, savaş durumundan dolayı keskin manevra ihtiyacı olacağından veya yüklü bulunacağından dolayı 500 km/h ila 1500 km/h arasında kabul edilebilir.

Yolcu uçakları ve kargo uçakları gibi ticari amaçlı kullanılan hava araçlarının seyrüsefer hızları 450 km/h ile 950 km/sa arasında değişmektedir (Anonim, 2021a). Bu hız limitleri içerisine savaş uçaklarına yakıt sağlayan tanker uçakları ve havadan erken ihbar kontrol uçakları gibi stratejik uçaklar da dâhil edilebilir.

Amerikan yapımı B-2 tipi gibi ağır bombardıman uçaklarının seyir hızları 600 km/h ila 900 km/h arasında değişmektedir (Britt ve ark., 2000). Ağır bombardıman uçakları, yüksek ağırlıklı bomba vb. teçhizat taşıdıklarından dolayı çok yüksek hızlara çıkamazlar.

Milli savaş helikopterimiz olan T-129 Atak, Amerikan yapımı Kobra vb. tipteki saldırı helikopterlerinin hızları 0-300 km/h arasında değişmektedir (Anonim, 2021b).

İnsansız hava araçları (İHA-UAV), günümüzde pek çok alanda ve pek çok tipte olacak şekilde kullanılmaktadır. Hava savuma sistemlerinin konusuna girecek insansız hava araçları, istihbarat amacıyla keşif yapanlar veya belli bir faydalı yük taşıma kapasitesi sayesinde silahlı olanlardır. Söz konusu insansız hava araçlarının hızları 150 km/sh ila 600 km/sa arasında değişmektedir.

Seyir füzeleri (cruise missiles) ise kendi navigasyon sistemlerini kullanarak hava yer yüzeyindeki engebelerden faydalanmak suretiyle hava savunma sistemleri tarafından tespit edilmeden çok yakınlarına kadar geldiğinden, hava savunma sistemleri için çok önemli bir tehdit durumundadırlar. Son yıllarda sesten hızlı versiyonları üretilmiş olsa da genel olarak 500-850 km/h hız ile uçuşlarını yapmaktadırlar (Ekütekin, 2007).

3.1.1.1. Balistik füze hız karakteristikleri

Balistik füzeler, hava savunma sistemlerine karşı en büyük tehdit konumunda bulunduğundan ayrı bir başlık açılarak kısaca açıklanmak istenmiştir.

Balistik füzeler, bir hedefe ölümcül bir yükü hızlı ve doğru bir şekilde ulaştırmak için kullanılan araçlardır. Ölümcül yük, geleneksel patlayıcıları, biyolojik, kimyasal veya nükleer savaş başlığını içerebilir. Balistik füzeler çok ucuzdur, bu da onların çoğalmasını daha olası hale getirir ve gelecekte sayılarının artmasını sağlar. Yakıtı tükendikten sonra, balistik füze, kesinlikle tükenmişlikteki hız / uçuş açısı ve Dünya'nın yerçekimi kombinasyonuyla tanımlanan, Dünya'nın merkezi çevresinde eliptik bir yörüngeyi takip eder. Balistik füzeler katı veya sıvı tahrikli olabilir. Sıvı yakıtlar nispeten daha ucuzdur, ancak daha az kararlıdırlar (ve depolanmaları daha zordur) ve daha toksiktirler. Katı yakıtlar daha pahalıdır, ancak bakımı daha kolay ve daha kararlıdır. Hibrit yakıtlar, katı ve sıvı tahrikli balistik füzelerin faydalarını birleştiren geliştirme aşamasındadır. Fırlatıldıktan sonra, hedefine gitmek için merkez ile bir haberleşmeye ihtiyaç duymadıklarından ve Dünya yerküresine doğru harekete geçtikten sonra elde ettikleri yüksek hızdan dolayı hava savunma sistemleri tarafından tespit edilmeleri güçleşmektedir. Çizelge 3.1.'de balistik füze tipleri, menzilleri ve hızları gösterilmiştir (Lewis ve Postol, 1997).

Çizelge 3.1. Balistik füze hız tablosu

Balsitik Füze Tipi	Mesafe (km)	Hız (km/s)
Kısa Menzilli Balistik Füze (SRBM)	150-300	1-2
Taktik Balistik Füze (TBM)	300-1000	2-4
Orta Menzilli Balistik Füze (MRBM)	1000-3000	4-5
Uzun Menzilli Balistik Füze (LRBM)	3000-5500	5-6
Kıtalar Arası Balistik Füze (ICBM)	>5500	>6

3.1.2. Hava hedefleri radar kesit alanı karakteristikleri

Radar kesit alanı birimi metrekaredir; ancak, radar kesiti hedefin alanıyla aynı değildir. Bir hedefte tipik olarak karşılaşılan geniş aralıktaki genlikler nedeniyle, RCS sıklıkla dBm veya bir metrekareye göre desibel cinsinden ifade edilir. RCS, dalga boyuna göre daha büyük olan ve nesnenin yerine geçmesi durumunda aynı gücü radara geri saçacak olan metal bir kürenin öngörülen alanıdır. Kullanılacak 'stealth' teknolojisi ile RCS değerini düşürmek mümkündür. Buna örnek olarak eski tip bir av-önleme uçağı olan F-4 savaş uçağının radar kesit alanı 6 m² iken, yüzey alanı F-4 uçağından çok daha büyük olan B-2 ağır bombardıman uçağının RCS değeri 0.75 m²'dir (Knott ve ark., 1993).

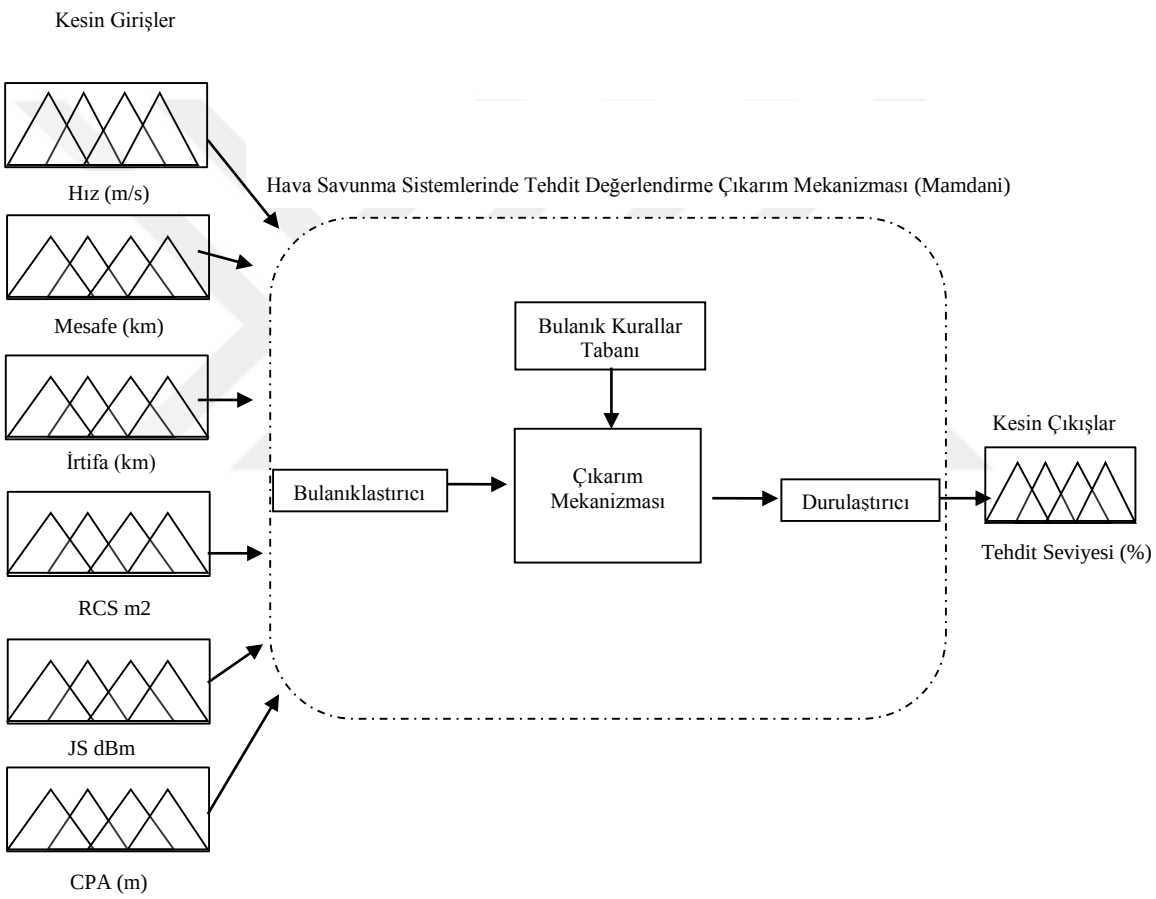
RCS değeri küçüldükçe, radar sinyallerinin dolayısıyla da hava savunma sistemlerine ait radarların hava hedeflerini tespit etmesi güçleşeceği için küçük RCS değerine sahip hava hedeflerinin hava savunma sistemleri için daha büyük bir tehdit olduğu düşünülmelidir.

Her ne kadar farklı tipteki hava hedefleri çeşitli teknolojiler ile RCS değerini düşürme kapasitesine sahip ise de genel anlamda bir av- önleme uçağının RCS değeri 2-4 m²; ağır bombardıman uçağı, tanker ve havadan erken ihbar uçağı gibi hava hedeflerinin RCS değeri 6-10 m²; savaş helikopterleri, insansız hava araçları vb. gibi hava hedeflerinin RCS değeri <1 m², seyir füzelerinin RCS değeri <0,1 m² ve balistik füzelerin RCS değeri <0,5 m² olarak değerlendirilebilir (Knott ve ark., 1993).

3.2. Hava Savunma Sistemlerinde Bulanık Kural Tabanlı Tehdit Değerlendirme ve Derecelendirme Modellemesi

Hava savunma sistemlerinde bulanık kural tabanlı tehdit değerlendirmesi yapabilmek amacıyla halen Hava Kuvvetleri Komutanlığı'nda hava savunma subayı olarak çalışan uzmanlar yardımıyla modelimiz tasarlanmıştır. Model gemi hava savunması için değil, karaya konuşlu bir hava savunma sistemi için tasarlanmıştır. Bulanık kural tabanlı bu sistem, Bulanık Uzman Sistem (BUS) olarak tanımlanmaktadır. BUS, MATLAB programı aracılığıyla oluşturulmuştur. Söz konusu sistem için yukarıda belirtilen hava hedeflerine ait hız, mesafe, radar kesit alanı (RCS-Radar Cross Section) karıştırma sinyal seviyesi (Jamming Seviyesi-JS) ve en yakın yaklaşma noktasına uzaklık (CPA-Closest Point of Approach) parametreleri giriş ve

tehdit seviyesi ise çıkış değeri olarak belirlenmiştir. BUS, 6 girişli ve tek çıkışlı 7 parametreden oluşmaktadır. Giriş parametreleri, yukarıda belirtilen hava hedeflerini simüle edecek şekilde uzmanlar yardımıyla oluşturulmuş ve dilsel ifadelerle bulanık kümelere çevrilmiştir. Daha sonra yine uzmanların yardımıyla bulanık kurallar (bulanık kurallar tabanı) oluşturulmuş ve mamdani yöntemi kullanılarak kurallar çıkarım mekanizmasında çalıştırılmıştır. Sonuçta, bulanık çıktılar durulaştırılarak kesin tehdit seviyeleri elde edilmiştir. Meydana getirilen BUS genel yapısı Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Hava savunma sistemlerinde tehdit değerlendirmesi için geliştirilen BUS genel yapısı

Modellemenin oluşturulabilmesi amacına yönelik olarak, alanında uzmanların yardımı ile yukarıda belirtilen hava hedefleri özelliklerine dayanan hava tehditleri oluşturulmuştur (Çizelge 3.2.'de görüldüğü gibi). Söz konusu hedeflere ait parametreler, alanında uzmanların tavsiyeleri ile hedef karakteristikleri dikkate alınarak gerçek durumları simüle etmek amacıyla meydana getirilmiştir. Tez dâhilinde oluşturulan modelleme, çizelgede verilen değerlerle sınırlı olmayıp ara değerlerde de çalışmaktadır.

Çizelgede sunulan parametre değerleri, meydana getirilen BUS'u test etmek amacıyla alanında uzmanlar tarafından belirlenmiştir. Söz konusu çizelgede, modellemenin verilen örnek senaryolar dışında da çalıştığını göstermek için aynı hedef tipleri bir veya birkaç parametreleri değiştirilerek 10. Satırdan itibaren sunulmuş ve test edilmiştir. Çizelge 3.2.'de belirtilen tehdit seviyeleri, çizelgede sunulan parametrelere sahip hava hedefleri için 4 alanında uzman kişinin 100 (yüz) üzerinden verdiği puanların ortalamalarıdır.

Çizelge 3.2. Modelleme için kullanılacak hava hedefleri parametreleri

S/N	Hedef Tipi	Hız (km/h)	Mesafe (km)	İrtifa (km)	RCS (m^2)	JS (dBm)	CPA (m)	Tehdit Seviyesi (Uzman) (%)
1	Helikopter	300	75	2	0,9	0	40	43,75
2	Yolcu Uçağı	800	90	10	9	0	250	8,75
3	Karıştırma (Jamming) Uçağı	700	120	7	4	7	0	71,25
4	Av-Önleme	800	60	2,5	3	0	5	72,5
5	Ağır Bombardıman	750	130	11	13	0	0	52,5
6	İnsansız Hava Aracı	600	80	4,5	0,6	0	25	65
7	Uçaktan Ayrılan Füze	1100	65	5	0,08	0	10	85
8	Seyir Füzesi	650	40	0,5	0,1	0	15	91,25
9	Balistik Füze	3000	55	28	0,15	0	20	95
10	Av-Önleme 2	700	120	4	4	0	10	60
11	Helikopter 2	300	25	2	0,9	0	40	57,5
12	Yolcu Uçağı 2	800	60	10	9	0	120	15
13	Karıştırma (Jamming) Uçağı 2	700	120	7	4	4	0	55
14	Ağır Bombardıman 2	600	130	11	13	0	90	50
15	İnsansız Hava Aracı 2	600	150	4,5	1,5	0	25	50

S/N	Hedef Tipi	Hız (km/h)	Mesafe (km)	İrtifa (km)	RCS (m^2)	JS (dBm)	CPA (m)	Tehdit Seviyesi (Uzman) (%)
16	Uçaktan Ayrılan Füze 2	1100	90	5	0,08	0	80	65
17	Seyir Füzesi 2	650	75	1	1	0	15	80
18	Balistik Füze 2	1500	55	6	0,15	0	20	85

3.2.1. Bulanıklaştırma işlemi

Giriş ve çıkış parametreleri Çizelge 3.3.'te görüldüğü gibi alnında uzmanların yardımıyla dilsel ifadelere dönüştürülmüştür. Giriş ve çıkış parametrelerinin alacağı kesin değerler 3.1-3.7 denklemleriyle ifade edilmiştir. Yapılan bulanıklaştırma işlemi sayesinde sayısal değerler, 0 ile 1 arasında üyelik derecesine sahip bulanık kümelere ve günlük yaşamda kullanılan dilsel ifadelere çevrilmiştir. Sistem için üçgen üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir. Bulanık kuralların oluşturulmasında yukarıda bahsedilen dilsel ifadeler kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 Giriş ve çıkış parametrelerinin dilsel ifadeleri

HIZ (km/h)		**Mesafe (km)**		**İrtifa (km)**		**RCS (m^2)**		**JS (dBm)**		**CPA (m)**		**Tehdit Seviyesi (%)**	
Dilsel İfade	**Kısaltma**	**Dilsel İfade**	**Kısaltma**	**Dilsel İfade**	**Kısaltma**	**Dilsel İfade**	**Kısaltma**	**Dilsel İfade**	**Kısaltma**	**Dilsel İfade**	**Kısaltma**	**Dilsel İfade**	**Kısaltma**
Çok çok hızlı	ÇÇH	Çok Uzak	ÇU	Çok Yüksek	ÇY	Çok Büyük	ÇB	Çok Fazla	ÇF	Çok Uzak	ÇU	Çok çok Yüksek	ÇÇY
Çok Hızlı	ÇH	Uzak	U	Yüksek	Y	Büyük	B	Fazla	F	Uzak	U	Çok Yüksek	ÇY
Hızlı	H	Yakın	Y	Normal	N	Normal	N	Az	A	Yakın	Y	Yüksek	Y
Yavaş	Y			Alçak	A	Çok Küçük	ÇK			Çok Yakın	ÇY	Normal	N
Çok Yavaş	ÇY											Düşük	D
												Çok Düşük	ÇD

3.2.2. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

Giriş ve çıkış değişkenlerini sınırlayan denklemler aşağıda verilmiştir.

Giriş değişkenleri;

$$Hız(x) = \begin{cases} x; & 0 \leq x \leq 3000 \\ 0; & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (3.1)$$

$$Mesafe(y) = \begin{cases} y, & 0 \leq y \leq 30 \\ 0, & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (3.2)$$

$$İrtifa(z) = \begin{cases} z, & 0 \leq z \leq 30 \\ 0, & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (3.3)$$

$$RCS(t) = \begin{cases} t, & 0 \leq t \leq 20 \\ 0, & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (3.4)$$

$$JS(u) = \begin{cases} u, & 0 \leq u \leq 10 \\ 0, & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (3.5)$$

$$CPA(v) = \begin{cases} v, & 0 \leq v \leq 500 \\ 0, & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (3.6)$$

Çıkış değişkeni;

$$TS(k) = \begin{cases} k, & 0 \leq k \leq 100 \\ 0, & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (3.7)$$

3.1 ifadesinden alanında uzmanların yardımıyla belirlenen Hız(x) giriş değişkeninin dilsel ifadeleri Çizelge 3.3.'te verilmiş ve söz konusu dilsel ifadelere ait üyelik fonksiyonları 3.8-3.12 ifadelerinde sunulmuştur. Burada μHız(x) Hız'ın bulanık

küme üyelik derecesi ve x de Hız bulanık kümesinin elemanıdır. Hız için bulanık kümeler grafiği Şekil 3.2.'de verilmiştir.

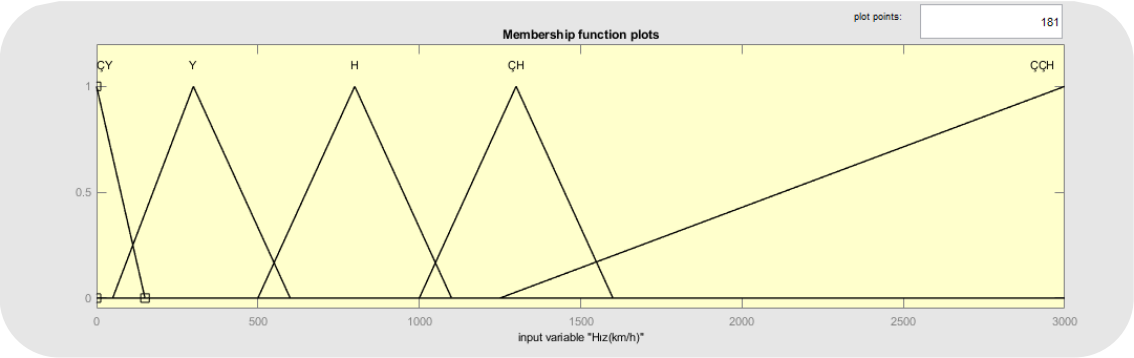
$$\mu ÇY(x) = (x;\ 0{,}150) = \begin{cases} \frac{150-x}{150}, & 0 \le x < 150 \\ 0, & x \ge 150 \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\mu Y(x) = (x;\ 50{,}300{,}600) = \begin{cases} 0, & x \le 50 \\ \frac{x-50}{300-50}, & 50 < x \le 300 \\ \frac{600-x}{600-300}, & 300 < x < 600 \\ 0, & x \ge 600 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$\mu H(x) = (x;\ 500{,}800{,}1100) = \begin{cases} 0, & x \le 500 \\ \frac{x-500}{800-500}, & 500 < x \le 800 \\ \frac{1100-x}{1100-800}, & 800 < x < 1100 \\ 0, & x \ge 1100 \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\mu ÇH(x) = (x;\ 1000{,}1300{,}1600) = \begin{cases} 0, & x \le 1000 \\ \frac{x-1000}{1300-1000}, & 1000 < x \le 1300 \\ \frac{1600-x}{1600-1300}, & 1300 < x < 1600 \\ 0, & x \ge 1600 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\mu ÇÇH(x) = (x;\ 1250{,}3000) = \begin{cases} 0, & x \le 1250 \\ \frac{x-1250}{3000-1250}, & 1250 < x \le 3000 \\ 0, & x > 3000 \end{cases} \quad (3.12)$$



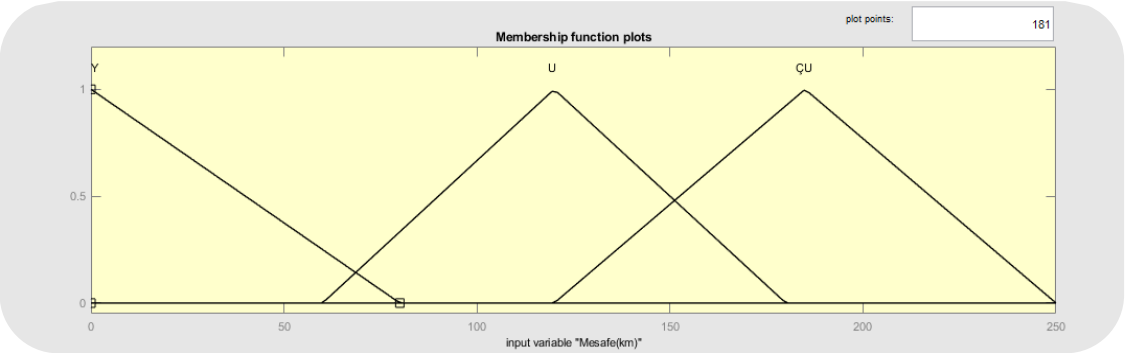
Şekil 3.2. Hız giriş değişkeni için bulanık kümeler grafiği

3.2 ifadesinden alanında uzmanların yardımıyla belirlenen Mesafe(y) giriş değişkeninin dilsel ifadeleri Çizelge 3.3.'te verilmiş ve söz konusu dilsel ifadelere ait üyelik fonksiyonları 3.13-3.15 ifadelerinde sunulmuştur. Burada μMesafe(y) Mesafe'nin bulanık küme üyelik derecesi ve y de Mesafe bulanık kümesinin elemanıdır. Mesafe için bulanık kümeler grafiği Şekil 3.3.'de verilmiştir.

$$\mu Y(y) = (y;\ 0{,}80) = \begin{cases} \frac{80-y}{80}, & 0 \le y < 80 \\ 0, & y \ge 80 \end{cases} \tag{3.13}$$

$$\mu U(y) = (y;\ 60{,}120{,}180) = \begin{cases} 0, & y \le 60 \\ \frac{y-60}{120-60}, & 60 < y \le 120 \\ \frac{180-y}{180-120}, & 120 < y < 180 \\ 0, & y \ge 180 \end{cases} \tag{3.14}$$

$$\mu ÇU(y) = (y; 120{,}185{,}250) = \begin{cases} 0, & y \le 120 \\ \frac{y-120}{185-120}, & 120 < y \le 185 \\ \frac{250-y}{250-185}, & 185 < y < 250 \\ 0, & y > 250 \end{cases} \tag{3.15}$$



Şekil 3.3. Mesafe giriş değişkeni için bulanık kümeler grafiği

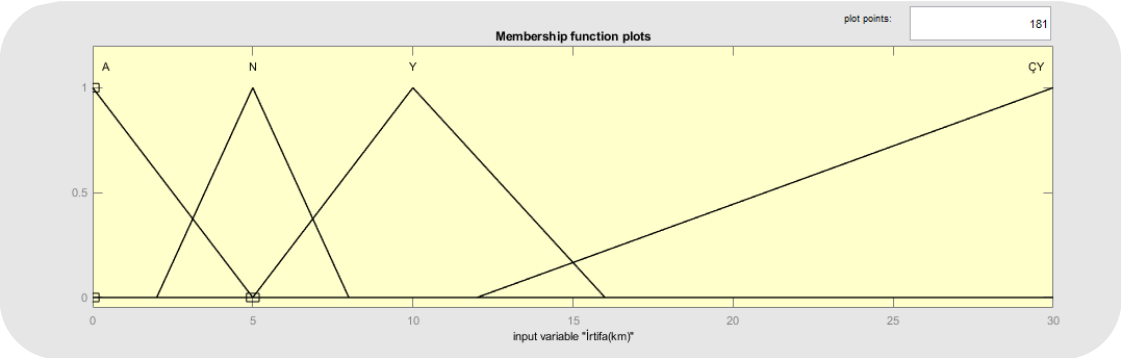
3.3 ifadesinden alanında uzmanların yardımıyla belirlenen İrtifa(z) giriş değişkeninin dilsel ifadeleri Çizelge 3.3.'te verilmiş ve söz konusu dilsel ifadelere ait üyelik fonksiyonları 3.16-3.19 ifadelerinde sunulmuştur. Burada μİrtifa(z) İrtifa'nın bulanık küme üyelik derecesi ve z de İrtifa bulanık kümesinin elemanıdır. İrtifa için bulanık kümeler grafiği Şekil 3.4.'de verilmiştir.

$$\mu A(z) = (z;\ 0{,}5) = \begin{cases} \frac{5-z}{5}, & 0 \le z < 5 \\ 0, & z \ge 5 \end{cases} \tag{3.16}$$

$$\mu N(z) = (z;\ 2{,}5{,}8) = \begin{cases} 0, & z \le 2 \\ \frac{z-2}{5-2}, & 2 < z \le 5 \\ \frac{8-z}{8-5}, & 5 < z < 8 \\ 0, & z \ge 8 \end{cases} \tag{3.17}$$

$$\mu Y(z) = (z;\ 5{,}10{,}16) = \begin{cases} 0, & z \le 5 \\ \frac{z-5}{10-5}, & 5 < z \le 10 \\ \frac{16-z}{16-10}, & 10 < z < 16 \\ 0, & z \ge 16 \end{cases} \tag{3.18}$$

$$\mu ÇY(z) = (z; 12{,}30) = \begin{cases} 0, & z \le 12 \\ \frac{z-12}{30-12}, & 12 < z \le 30 \\ 0, & z > 30 \end{cases} \tag{3.19}$$



Şekil 3.4. İrtifa giriş değişkeni için bulanık kümeler grafiği

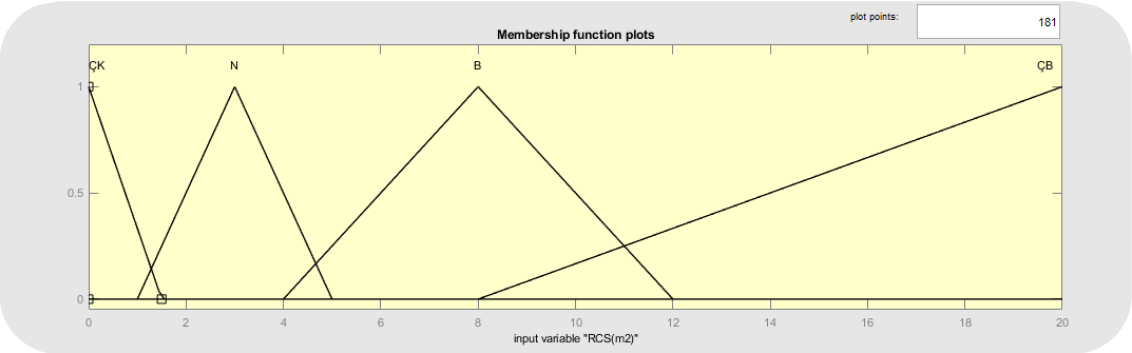
3.4 ifadesinden alanında uzmanların yardımıyla belirlenen RCS(t) giriş değişkeninin dilsel ifadeleri Çizelge 3.3.'te verilmiş ve söz konusu dilsel ifadelere ait üyelik fonksiyonları 3.20-3.23 ifadelerinde sunulmuştur. Burada μRCS(t) RCS'in bulanık küme üyelik derecesi ve t de RCS bulanık kümesinin elemanıdır. RCS için bulanık kümeler grafiği Şekil 3.5.'te verilmiştir.

$$\mu ÇK(t) = (t;\ 0{,}1.5) = \begin{cases} \frac{1.5-t}{1}, & 0 \le t < 1.5 \\ 0, & t \ge 1.5 \end{cases} \tag{3.20}$$

$$\mu N(t) = (t;\ 1{,}3{,}5) = \begin{cases} 0, & t \le 1 \\ \frac{t-1}{3-1}, & 1 < t \le 3 \\ \frac{5-t}{5-3}, & 3 < t < 5 \\ 0, & t \ge 5 \end{cases} \tag{3.21}$$

$$\mu B(t) = (t;\ 4{,}8{,}12) = \begin{cases} 0, & t \le 4 \\ \frac{t-4}{8-4}, & 4 < t \le 8 \\ \frac{12-t}{12-8}, & 8 < t < 12 \\ 0, & t \ge 12 \end{cases} \tag{3.22}$$

$$\mu ÇB(t) = (t; 8{,}20) = \begin{cases} 0, & t \le 8 \\ \frac{z-8}{20-8}, & 8 < t \le 20 \\ 0, & t > 20 \end{cases} \tag{3.23}$$



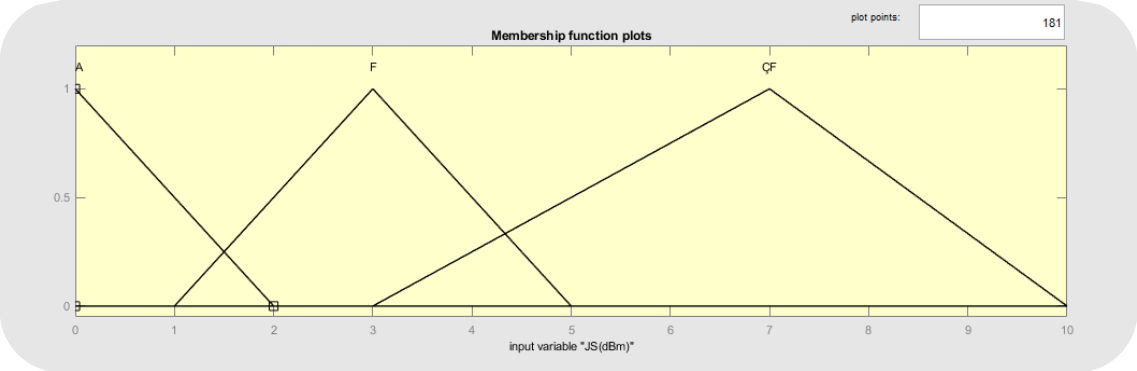
Şekil 3.5. RCS giriş değişkeni için bulanık kümeler grafiği

3.5 ifadesinden alanında uzmanların yardımıyla belirlenen JS(u) giriş değişkeninin dilsel ifadeleri Çizelge 3.3.'te verilmiş ve söz konusu dilsel ifadelere ait üyelik fonksiyonları 3.24-3.26 ifadelerinde sunulmuştur. Burada μJS(u) JS'nin bulanık küme üyelik derecesi ve u da JS bulanık kümesinin elemanıdır. JS için bulanık kümeler grafiği Şekil 3.6.'da verilmiştir.

$$\mu A(u) = (u;\ 0{,}2) = \begin{cases} \frac{2-u}{2}, & 0 \le u < 2 \\ 0, & u \ge 2 \end{cases} \tag{3.24}$$

$$\mu F(u) = (u;\ 1{,}3{,}5) = \begin{cases} 0, & u \le 1 \\ \frac{u-1}{3-1}, & 1 < u \le 3 \\ \frac{5-u}{5-3}, & 3 < u < 5 \\ 0, & u \ge 5 \end{cases} \tag{3.25}$$

$$\mu ÇF(u) = (u;\ 3{,}7{,}10) = \begin{cases} 0, & u \le 3 \\ \frac{u-3}{7-3}, & 3 < u \le 7 \\ \frac{10-u}{10-7}, & 7 < u < 10 \\ 0, & u \ge 10 \end{cases} \tag{3.26}$$



Şekil 3.6. JS giriş değişkeni için bulanık kümeler grafiği

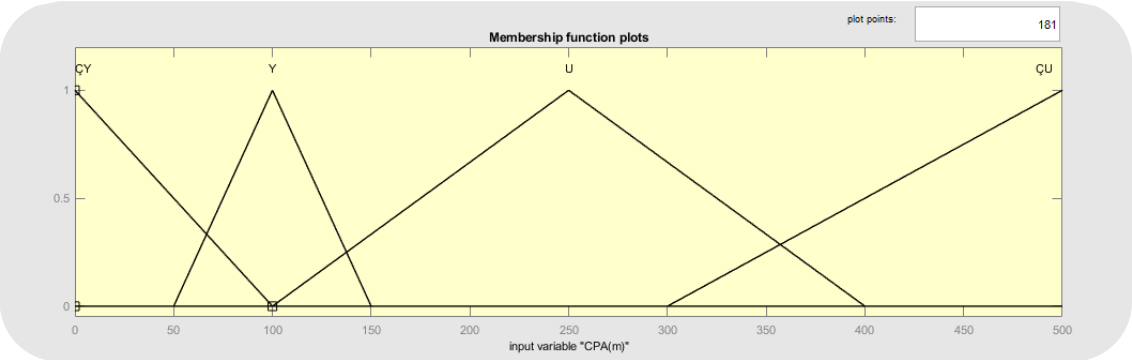
3.6 ifadesinden alanında uzmanların yardımıyla belirlenen CPA(v) giriş değişkeninin dilsel ifadeleri Çizelge 3.3.'te verilmiş ve söz konusu dilsel ifadelere ait üyelik fonksiyonları 3.27-3.30 ifadelerinde sunulmuştur. Burada μCPA(v) CPA'nın bulanık küme üyelik derecesi ve v de CPA bulanık kümesinin elemanıdır. CPA için bulanık kümeler grafiği Şekil 3.7.'de verilmiştir.

$$\mu\text{Ç}Y(v) = (v;\ 0{,}100) = \begin{cases} \frac{100-v}{100}, & 0 \le v < 100 \\ 0, & v \ge 100 \end{cases} \tag{3.27}$$

$$\mu Y(v) = (v;\ 50{,}100{,}150) = \begin{cases} 0, & v \le 50 \\ \frac{v-50}{100-50}, & 50 < v \le 100 \\ \frac{150-v}{150-100}, & 100 < v < 150 \\ 0, & v \ge 150 \end{cases} \tag{3.28}$$

$$\mu U(v) = (v;\ 100{,}250{,}400) = \begin{cases} 0, & v \le 100 \\ \frac{v-100}{250-100}, & 100 < v \le 250 \\ \frac{400-v}{400-250}, & 250 < v < 400 \\ 0, & v \ge 400 \end{cases} \tag{3.29}$$

$$\mu\text{Ç}U(v) = (v; 300{,}500) = \begin{cases} 0, & v \le 300 \\ \frac{v-300}{500-300}, & 300 < u \le 500 \\ 0, & u > 500 \end{cases} \tag{3.30}$$



Şekil 3.7. CPA giriş değişkeni için bulanık kümeler grafiği

3.7 ifadesinden alanında uzmanların yardımıyla belirlenen TS(k) çıkış değişkeninin dilsel ifadeleri Çizelge 3.3.'te verilmiş ve söz konusu dilsel ifadelere ait üyelik fonksiyonları 3.31-3.36 ifadelerinde sunulmuştur. Burada μTS(k) TS'nin bulanık küme üyelik derecesi ve k de TS bulanık kümesinin elemanıdır. TS için bulanık kümeler grafiği Şekil 3.8.'de verilmiştir

$$\mu\text{Ç}D(k) = (k;\ 0{,}20) = \begin{cases} \frac{20-v}{20}, & 0 \le k < 20 \\ 0, & k \ge 20 \end{cases} \tag{3.31}$$

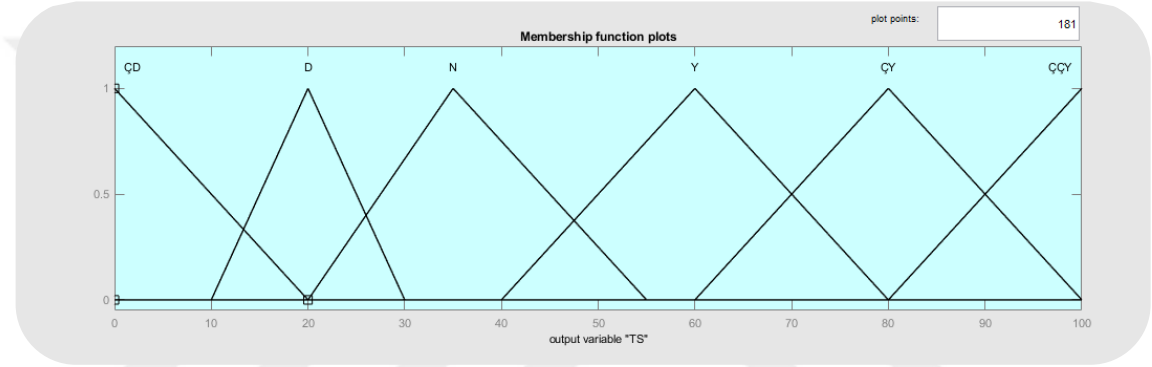
$$\mu D(k) = (k;\ 10{,}20{,}30) = \begin{cases} 0, & k \le 10 \\ \frac{k-10}{20-10}, & 10 < k \le 20 \\ \frac{30-k}{30-20}, & 20 < k < 30 \\ 0, & k \ge 30 \end{cases} \tag{3.32}$$

$$\mu N(k) = (k;\ 20{,}35{,}55) = \begin{cases} 0, & k \le 20 \\ \frac{k-20}{35-20}, & 20 < k \le 35 \\ \frac{55-k}{55-35}, & 35 < k < 55 \\ 0, & k \ge 50 \end{cases} \tag{3.33}$$

$$\mu Y(k) = (k;\ 40{,}60{,}80) = \begin{cases} 0, & k \le 40 \\ \frac{k-40}{60-40}, & 40 < k \le 60 \\ \frac{80-k}{80-60}, & 60 < k < 80 \\ 0, & k \ge 80 \end{cases} \tag{3.34}$$

$$\mu ÇY(k) = (k;\ 60{,}80{,}100) = \begin{cases} 0, & k \leq 60 \\ \frac{k-60}{80-60}, & 60 < k \leq 80 \\ \frac{100-k}{100-80}, & 80 < k < 100 \\ 0, & k \geq 100 \end{cases} \quad (3.35)$$

$$\mu ÇÇY(k) = (k; 80{,}100) = \begin{cases} 0, & k \leq 80 \\ \frac{k-80}{100-80}, & 80 < k \leq 100 \\ 0, & k > 100 \end{cases} \quad (3.36)$$



Şekil 3.8. TS çıkış değişkeni için bulanık kümeler grafiği

3.2.3. Bulanık kuralların meydana getirilmesi

Dilsel ifadelerden faydalanılmak suretiyle alanında uzmanların yardımıyla oluşturulan bulanık kurallar Çizelge 3.4.'te sunulmuştur.

Çizelgede sunulan kurallardan örneğin 6. Kural için; 'Hız Çok Hızlı (ÇH) ve Mesafe Yakın (Y) ve İrtifa (ÇY) ve RCS Çok Küçük (ÇK) ve JS Az (A) ve CPA Çok Yakın (ÇY) ise O Halde Tehdit Seviyesi Yüksek (Y)'tir.' Olacak şekilde değerlendirilir. Diğer kurallarda aynı şekilde değerlendirilir.

Çizelge 3.4. Kurallar Tablosu

No	Eğer	Hız	ve	Mesafe	ve	İrtifa	ve	RCS	ve	JS	ve	CPA	O Halde	TS
1		ÇÇH		Y		ÇY		ÇK		A		ÇY		ÇÇY
2		ÇH		Y		N		ÇK		A		ÇY		ÇÇY
3		ÇH		U		N		ÇK		A		ÇY		ÇY
4		ÇH		ÇU		N		ÇK		A		ÇY		Y
5		ÇH		Y		Y		ÇK		A		ÇY		ÇY
6		ÇH		Y		ÇY		ÇK		A		ÇY		Y
7		ÇH		Y		N		ÇK		A		Y		ÇY
8		ÇH		Y		N		ÇK		A		U		Y
9		ÇH		Y		N		ÇK		A		ÇU		N
10		ÇH		U		N		ÇK		A		Y		Y
11		ÇH		U		N		ÇK		A		U		N
12		ÇH		U		N		ÇK		A		ÇU		D
13		ÇH		ÇU		N		ÇK		A		Y		N
14		ÇH		ÇU		N		ÇK		A		U		D
15		ÇH		ÇU		N		ÇK		A		ÇU		ÇD
16		ÇH		Y		Y		ÇK		A		Y		Y
17		ÇH		Y		Y		ÇK		A		U		N
18		ÇH		Y		Y		ÇK		A		ÇU		D
19		ÇH		Y		ÇY		ÇK		A		Y		N
20		ÇH		Y		ÇY		ÇK		A		U		D
21		ÇH		Y		ÇY		ÇK		A		ÇU		ÇD
22		H		Y		A		ÇK		A		ÇY		ÇÇY
23		H		U		A		ÇK		A		ÇY		ÇY
24		H		ÇU		A		ÇK		A		ÇY		Y
25		H		Y		N		ÇK		A		ÇY		ÇY
26		H		Y		Y		ÇK		A		ÇY		Y
27		H		U		N		ÇK		A		ÇY		Y
28		H		U		Y		ÇK		A		ÇY		N
29		H		ÇU		N		ÇK		A		ÇY		N
30		H		ÇU		Y		ÇK		A		ÇY		D
31		H		Y		A		ÇK		A		Y		ÇY
32		H		Y		A		ÇK		A		U		Y
33		H		Y		A		ÇK		A		ÇU		N
34		H		U		A		ÇK		A		Y		Y
35		H		U		A		ÇK		A		U		N
36		H		U		A		ÇK		A		ÇU		D
37		H		ÇU		A		ÇK		A		Y		N
38		H		ÇU		A		ÇK		A		U		D
39		H		ÇU		A		ÇK		A		ÇU		ÇD
40		H		Y		N		ÇK		A		Y		Y
41		H		Y		N		ÇK		A		U		N
42		H		Y		N		ÇK		A		ÇU		D
43		H		Y		Y		ÇK		A		Y		N
44		H		Y		Y		ÇK		A		U		D
45		H		Y		Y		ÇK		A		ÇU		ÇD
46		H		Y		A		N		A		ÇY		ÇY
47		H		U		A		N		A		ÇY		Y
48		H		ÇU		A		N		A		ÇY		N
49		H		Y		N		N		A		ÇY		Y
50		H		Y		Y		N		A		ÇY		N
51		H		Y		A		N		A		Y		Y
52		H		Y		A		N		A		U		N
53		H		Y		A		N		A		ÇU		D
54		H		U		A		N		A		Y		N
55		H		U		A		N		A		U		D
56		H		U		A		N		A		ÇU		ÇD
57		H		ÇU		A		N		A		Y		D
58		H		ÇU		A		N		A		U		ÇD
59		H		ÇU		A		N		A		ÇU		ÇD
60		H		Y		N		N		A		Y		N

No	Eğer	Hız	ve	Mesafe	ve	İrtifa	ve	RCS	ve	JS	ve	CPA	O Halde	TS
61		H		Y		N		N		A		U		D
62		H		Y		N		N		A		ÇU		ÇD
63		H		Y		Y		N		A		Y		D
64		H		Y		Y		N		A		U		ÇD
65		H		Y		Y		N		A		ÇU		ÇD
66		H		Y		N		N		ÇF		ÇY		ÇÇY
67		H		U		N		N		ÇF		ÇY		ÇY
68		H		ÇU		N		N		ÇF		ÇY		Y
69		H		Y		N		N		F		ÇY		ÇY
70		H		U		N		N		F		ÇY		Y
71		H		ÇU		N		N		F		ÇY		N
72		H		Y		Y		N		ÇF		ÇY		ÇY
73		H		U		Y		N		ÇF		ÇY		Y
74		H		ÇU		Y		N		ÇF		ÇY		N
75		H		Y		Y		N		F		ÇY		Y
76		H		U		Y		N		F		ÇY		N
77		H		ÇU		Y		N		F		ÇY		D
78		H		Y		N		B		ÇF		ÇY		ÇY
79		H		U		N		B		ÇF		ÇY		Y
80		H		ÇU		N		B		ÇF		ÇY		N
81		H		Y		Y		B		ÇF		ÇY		Y
82		H		U		Y		B		ÇF		ÇY		N
83		H		ÇU		Y		B		ÇF		ÇY		D
84		H		Y		N		B		F		ÇY		Y
85		H		U		N		B		F		ÇY		N
86		H		ÇU		N		B		F		ÇY		D
87		H		Y		Y		B		F		ÇY		N
88		H		U		Y		B		F		ÇY		D
89		H		ÇU		Y		B		F		ÇY		ÇD
90		H		U		Y		B		A		ÇY		ÇY
91		H		ÇU		Y		B		A		ÇY		Y
92		H		U		Y		ÇB		A		ÇY		Y
93		H		ÇU		Y		ÇB		A		ÇY		N
94		H		Y		Y		B		A		U		D
95		H		Y		Y		B		A		ÇU		ÇD
96		H		U		Y		B		A		U		ÇD
97		H		U		Y		B		A		ÇU		ÇD
98		H		Y		Y		ÇB		A		U		ÇD
99		H		Y		Y		ÇB		A		ÇU		ÇD
100		Y		Y		A		ÇK		A		ÇY		Y
101		Y		U		A		ÇK		A		ÇY		N
102		Y		ÇU		A		ÇK		A		ÇY		D
103		Y		Y		N		ÇK		A		ÇY		N
104		Y		U		N		ÇK		A		ÇY		D
105		Y		ÇU		N		ÇK		A		ÇY		ÇD
106		Y		Y		A		ÇK		A		Y		N
107		Y		Y		A		ÇK		A		U		D
108		Y		Y		A		ÇK		A		ÇU		ÇD
109		Y		U		A		ÇK		A		Y		D
110		Y		U		A		ÇK		A		U		ÇD
111		Y		U		A		ÇK		A		ÇU		ÇD
112		Y		ÇU		A		ÇK		A		Y		ÇD
113		Y		ÇU		A		ÇK		A		U		ÇD
114		Y		ÇU		A		ÇK		A		ÇU		ÇD
115		Y		Y		N		ÇK		A		Y		D
116		Y		Y		N		ÇK		A		U		ÇD
117		Y		Y		N		ÇK		A		ÇU		ÇD
118		ÇY		Y		A		ÇK		A		ÇY		N
119		ÇY		U		A		ÇK		A		ÇY		D
120		ÇY		Y		N		ÇK		A		ÇY		D
121		ÇY		U		N		ÇK		A		ÇY		ÇD
122		ÇY		Y		A		ÇK		A		Y		D

No	Eğer	Hız	ve	Mesafe	ve	İrtifa	ve	RCS	ve	JS	ve	CPA	O Halde	TS
123		ÇY		U		A		ÇK		A		Y		ÇD
124		ÇY		U		N		ÇK		A		Y		ÇD
125		ÇY		Y		N		ÇK		A		Y		ÇD
126		ÇY		-		-		-		-		U		ÇD
127		ÇY		-		-		-		-		ÇU		ÇD
128		ÇH		Y		N		-		A		ÇY		ÇÇY
129		ÇH		U		N		-		A		ÇY		ÇY
130		H		Y		A		-		A		ÇY		ÇÇY
131		H		U		A		-		A		ÇY		ÇY
132		H		Y		N		-		A		ÇY		ÇY
133		ÇÇH		-		-		ÇK		-		ÇY		ÇÇY

3.2.4. Çıkarım mekanizması ve durulaştırma işlemi

Çıkarım mekanizması, oluşturulan her bir kuralı kontrol ederek bulanık girdilere göre hangi kuralın çalıştırılacağını seçer. Bulanık çıkarım mekanizması olarak sadeliğinden ve hesaplama kolaylığından dolayı Mamdani max-min yöntemi seçilerek sistem başlatıldığında, doğruluk dereceleri (α) aşağıdaki gibi şekillenecektir:

Kural 1- α_1 = min(μÇÇH(x), μY(y), μÇY(z), μÇK(t), μA(u), μÇY(v))

Kural 2- α_2 = min(μÇH(x), μY(y), μN(z), μÇK(t), μA(u), μÇY(v))

Kural 3- α_3 = min(μÇH(x), μU(y), μN(z), μÇK(t), μA(u), μÇY(v))

Kural 4- α_4 = min(μÇH(x), μÇU(y), μN(z), μÇK(t), μA(u), μÇY(v))

Kural 5- α_5 = min(μÇH(x), μY(y), μY(z), μÇK(t), μA(u), μÇY(v))

Kural 6- α_6 = min(μÇH(x), μY(y), μÇY(z), μÇK(t), μA(u), μÇY(v))

Kural 7- α_7 = min(μÇH(x), μY(y), μN(z), μÇK(t), μA(u), μY(v))

Kural 8- α_8 = min(μÇH(x), μY(y), μN(z), μÇK(t), μA(u), μU(v))

Kural 9- α_9 = min(μÇH(x), μY(y), μN(z), μÇK(t), μA(u), μÇU(v))

…….

…….

…….

Kural 130- α_{130} = min(μH(x), μY(y), μA(z), μA(u), μÇY(v))

Kural 131- α_{131} = min(μH(x), μU(y), μA(z), μA(u), μÇY(v))

Kural 132- α_{132} = min(μH(x), μY(y), μN(z), μA(u), μÇY(v))

Kural 133- α_{133} = min(μÇÇH(x), μÇK(t), μÇY(v))

Kurallar çalıştırıldığı zaman öncelikle minimum değerleri alınır. Fakat eğer birden fala kural çalıştırılırsa her bir kuralın doğruluk derecesinin maksimumu alınarak sonuç;

$\alpha_{1,2,\ldots,n} = \max(\alpha_1, \alpha_2, \ldots . \alpha_n)$ olacak şekilde hesaplanır.

Örnek olarak; Hız=700 km/h, Mesafe=20 km, İrtifa=4 km, RCS=4 m2, JS=7 dBm ve CPA=o m olan bir hedef parametreleri girildiğinde 67. ve 73. Kural çalışacaktır. Bu durumda doğruluk derecesi için;

$\alpha_{6\ 7}$ = min(μH(x), μU(y), μN(z), μN(t), μÇF(u), μÇY(v))

$\alpha_{6\ 7}$ = min(0.67, 1, 0.33, 0.5, 1, 1)

$\alpha_{6\ 7}$ = min(0.33)

$\alpha_{7\ 3}$ = min(μH(x), μU(y), μY(z), μN(t), μÇF(u), μÇY(v))

$\alpha_{7\ 3}$ = min(0.67, 1, 0.4, 0.5, 1, 1)

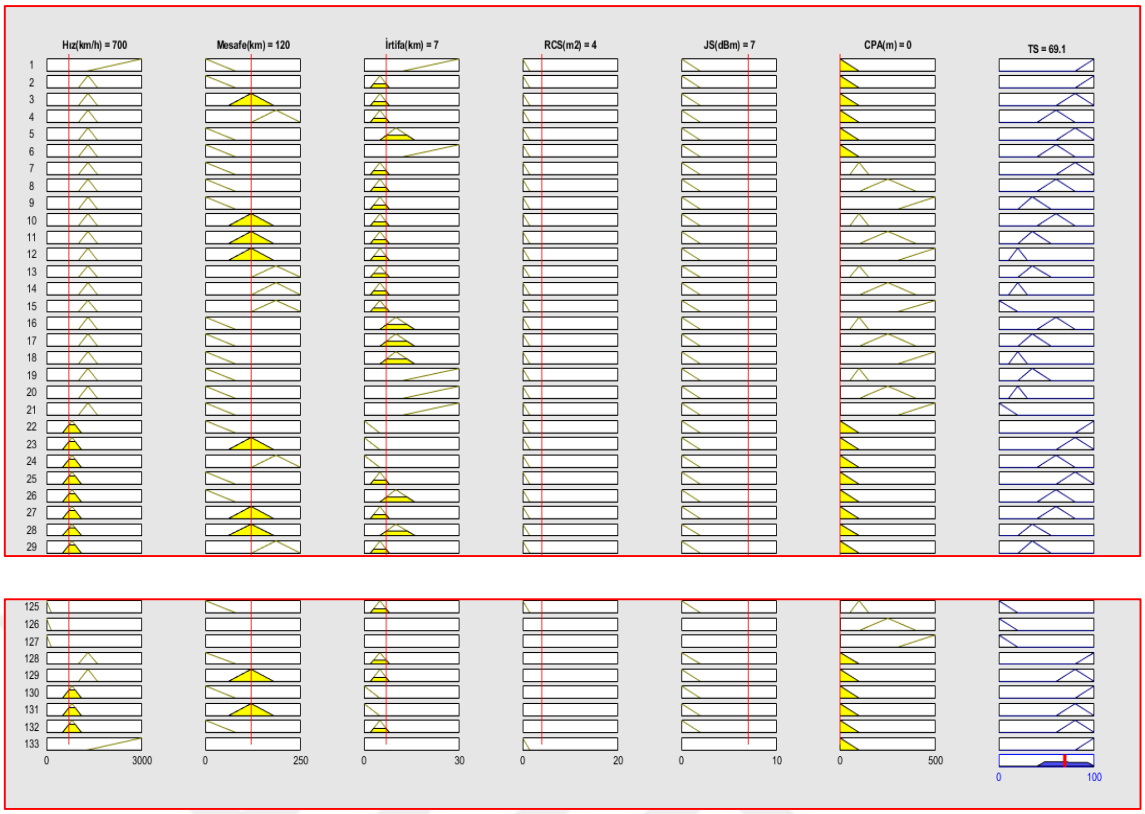
$\alpha_{7\ 3}$ = min(0.4)

$\alpha_{67,73}$ =max (0.33, 0.4)

$\alpha_{67,73}$ =0.4 sonucu bulunur.

Bulanık çıkarım mekanizmasından bulanık bir çıkış elde edilir. Bu çıkışın bulanık olmayan kesin bir çıktıya çevrilmesi işlemi durulaştırmadır. Kullanılan her kural için üyelik değerlerinde oluşan bulanık bir çıkış kümesi elde edilir. Söz konusu bulanık çıkış kümesinin mantıksal birleşim kümesi üzerinde durulama yöntemlerinden birisi kullanılarak kesin bir çıktı alınmasıyla beraber durulaştırma işlemi yapılmış olur. Yukarıdaki örnekte doğruluk derecesi ise 0.4'tür. Durulaştırma işleminde ise bulunan doğruluk derecesine göre Denklem 3.37'de verilen ağırlık merkezi durulaştırıcı (centroid) yöntemi kullanılmıştır Bu ifadeden kesin sonuç MATLAB programında TS=69.1 bulunarak Şekil 3.9.'da sunulmuştur.

$$x^* = \int \frac{\mu_A(x)dx}{\mu_A(x)dx} \qquad (3.37)$$



Şekil 3.9. Durulaştırma işlemi sonrasında örnek sonucu

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

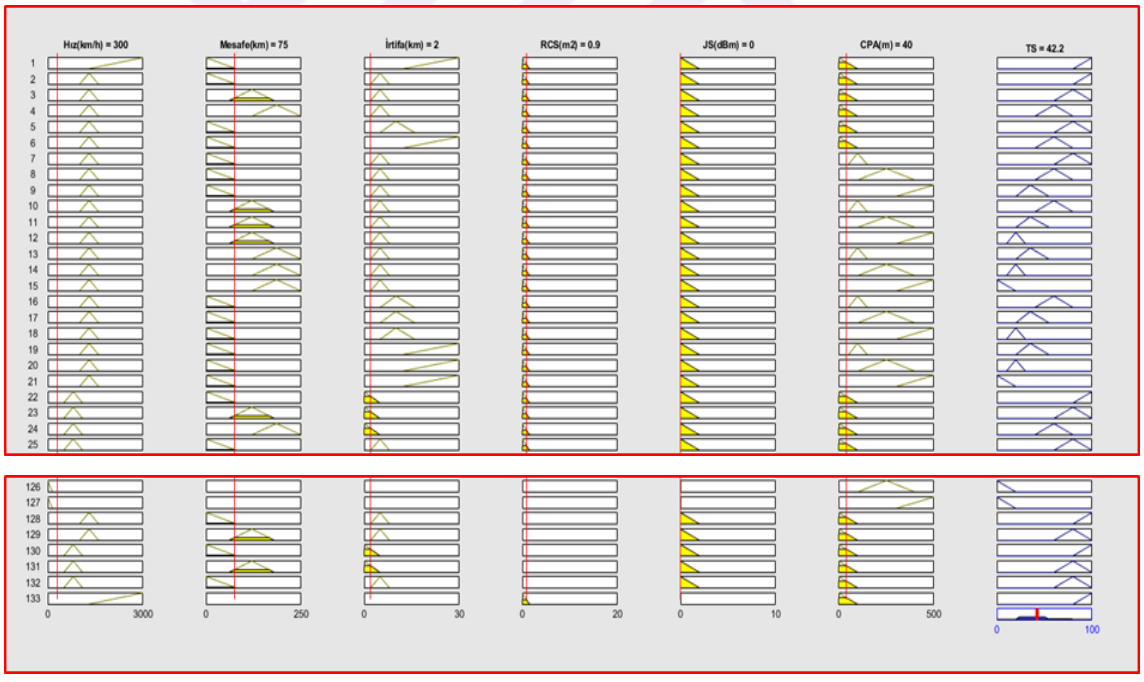
4.1. BUS Sonuçları

Alanında uzmanların yardımıyla hazırlanan ve Çizelge 3.2.'de verilen hava hedefleri parametreleri, MATLAB programı aracılığıyla yapılmış olan BUS'a sokularak Tehdit Seviyeleri belirlenmiştir. Söz konusu Tehdit Seviyelerinin MATLAB görüntüleri Şekil 4.1.-4.18.'de verilmiştir. Ayrıca BUS ile saptanan Tehdit Seviyelerinin yekûnu Çizelge 4.1.'de sunulmuştur.

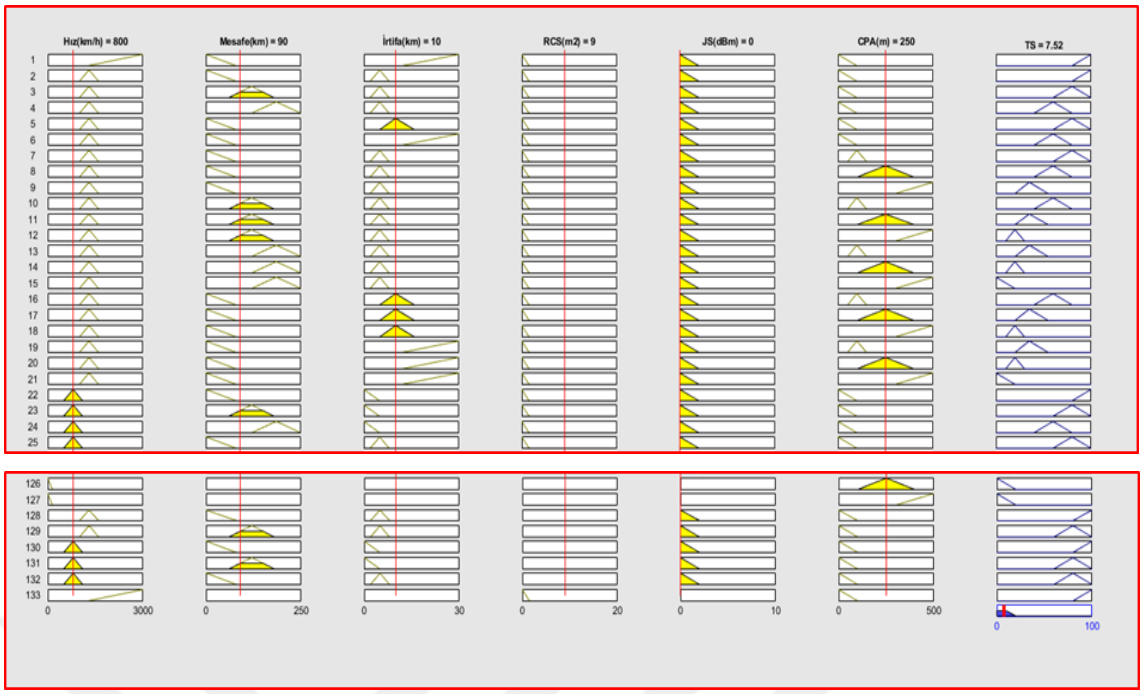
Çizelge 4.1. BUS ile saptanan Tehdit Seviyeleri

S/N	Hedef Tipi	Hız (km/h)	Mesafe (km)	İrtifa (km)	RCS (m^2)	JS (dBm)	CPA (m)	Tehdit Seviyesi (BUS) (%)
1	Helikopter	300	75	2	0,9	0	40	**42,2**
2	Yolcu Uçağı	800	90	10	9	0	250	**7,52**
3	Karıştırma (Jamming) Uçağı	700	120	7	4	7	0	**69,1**
4	Av-Önleme	850	60	2,5	3	0	5	**72,3**
5	Ağır Bombardıman	750	130	11	13	0	0	**54,5**
6	İnsansız Hava Aracı	600	80	4,5	0,6	0	25	**64,4**
7	Uçaktan Ayrılan Füze	1100	65	5	0,08	0	10	**84,6**
8	Seyir Füzesi	650	40	0,5	0,1	0	15	**92,5**
9	Balistik Füze	3000	55	28	0,15	0	20	**93,4**
10	Av-Önleme 2	700	120	4	4	0	10	**61,6**
11	Helikopter 2	300	25	2	0,9	0	40	**60**
12	Yolcu Uçağı 2	800	60	10	9	0	120	**15,9**
13	Karıştırma (Jamming) Uçağı 2	700	120	7	4	4	0	**56,5**

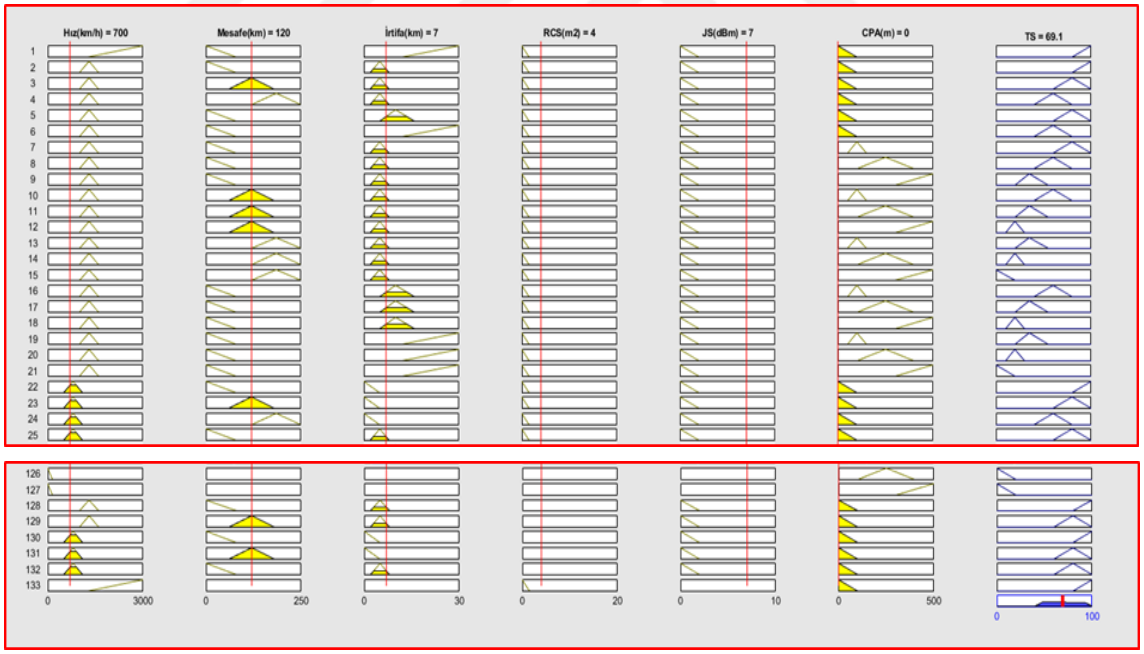
S/N	Hedef Tipi	Hız (km/h)	Mesafe (km)	İrtifa (km)	RCS (m^2)	JS (dBm)	CPA (m)	Tehdit Seviyesi (BUS) (%)
14	Ağır Bombardıman 2	600	130	11	13	0	90	**48,9**
15	İnsansız Hava Aracı 2	600	150	4,5	1,5	0	25	**51,2**
16	Uçaktan Ayrılan Füze 2	1100	90	5	0,08	0	80	**67,4**
17	Seyir Füzesi 2	650	75	1	1	0	15	**80,2**
18	Balistik Füze 2	1500	55	6	0,15	0	20	**83,4**



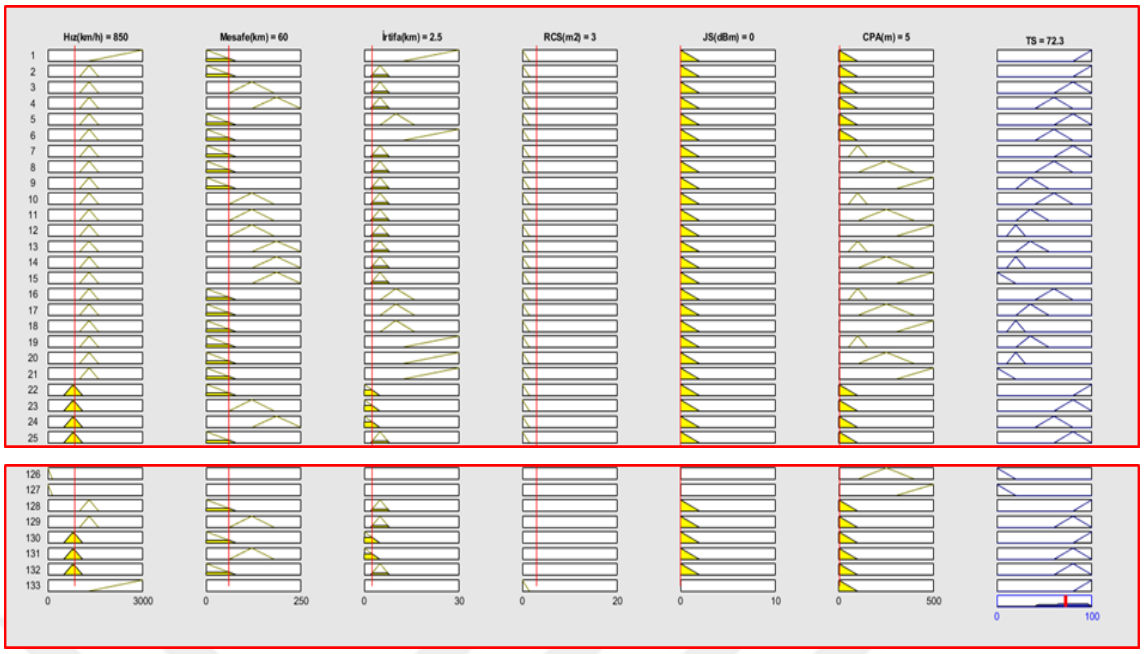
Şekil 4.1. 1 numaralı (helikopter) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



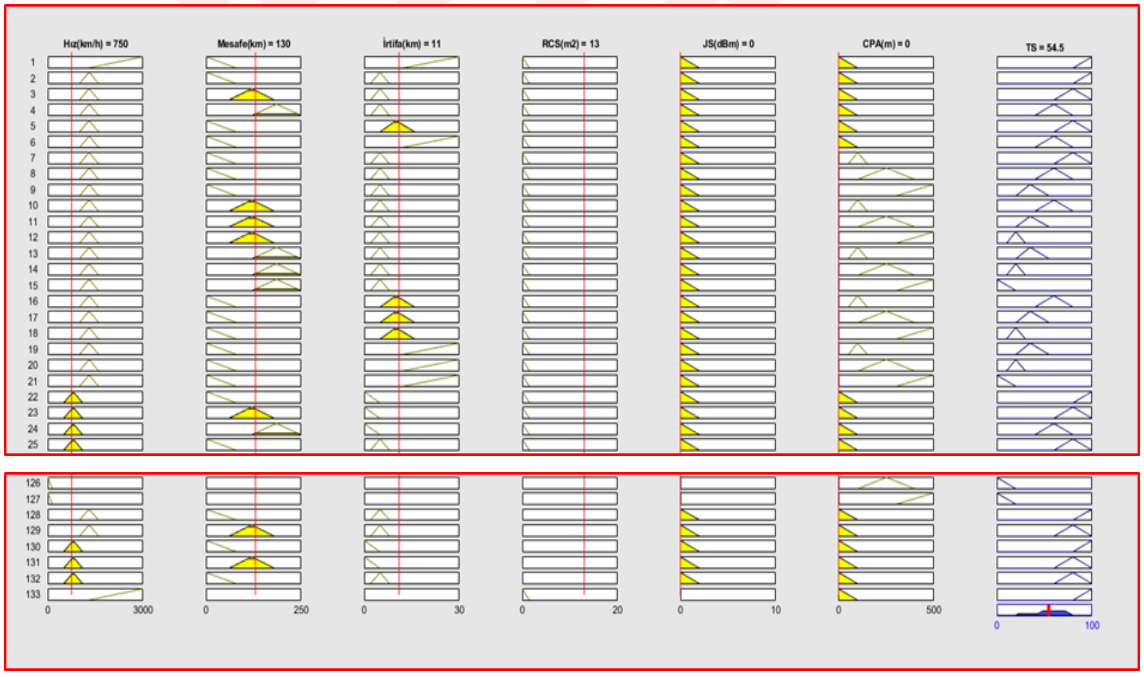
Şekil 4.2. 2 numaralı (yolcu uçağı) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



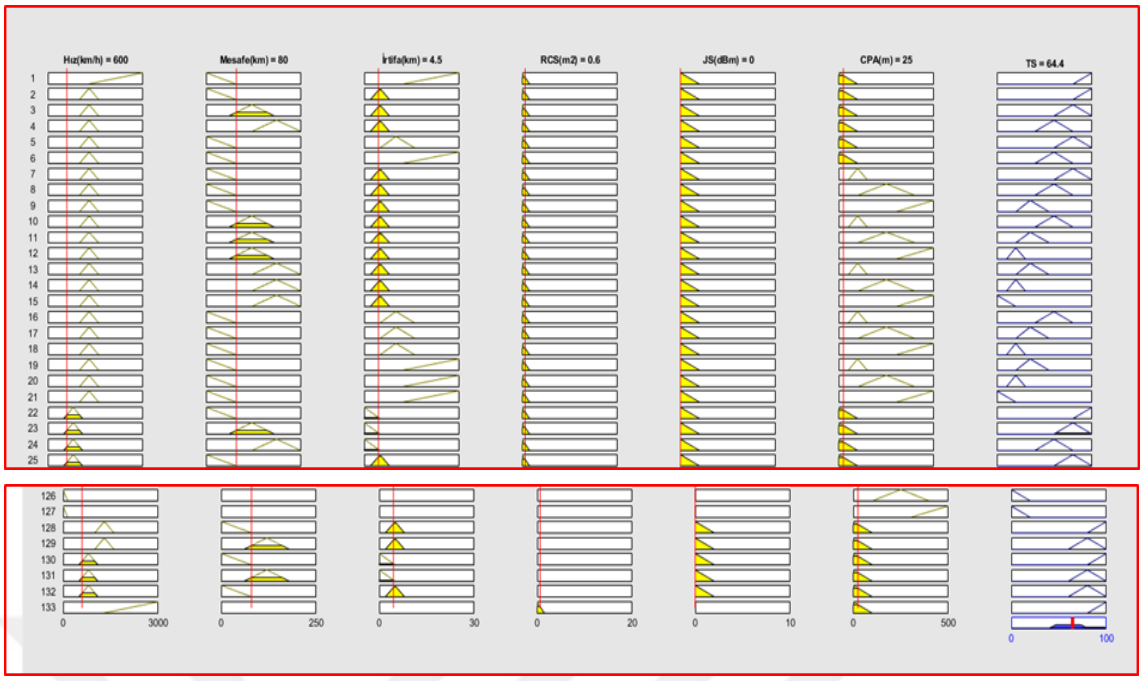
Şekil 4.3. 3 numaralı (karıştırma uçağı) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



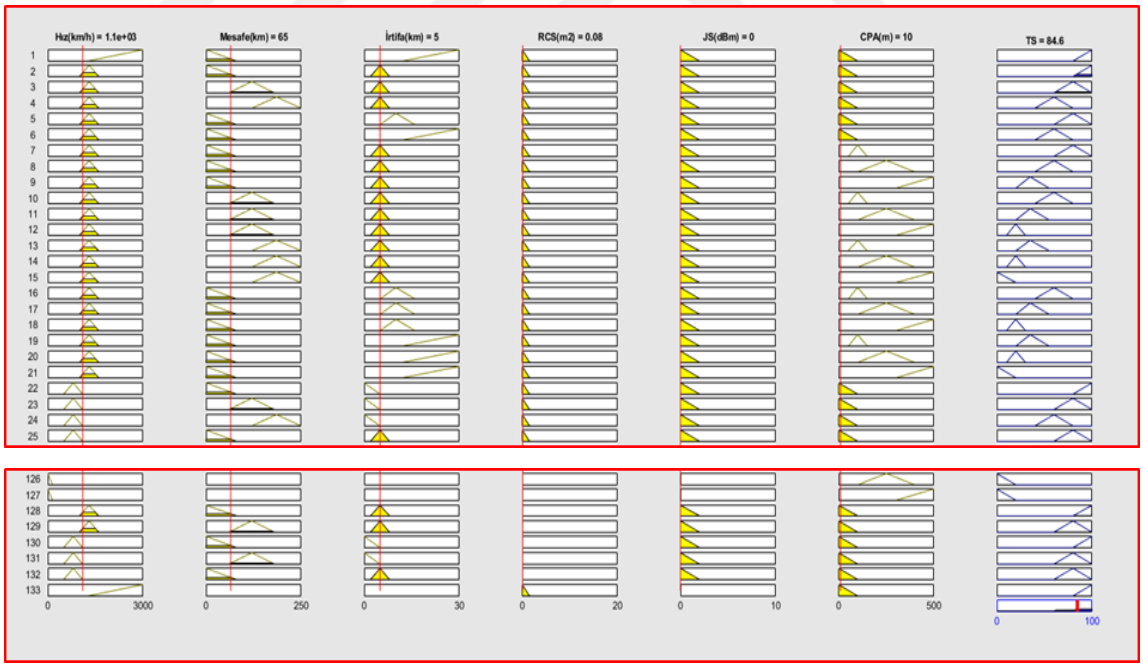
Şekil 4.4. 4 numaralı (av-önleme) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



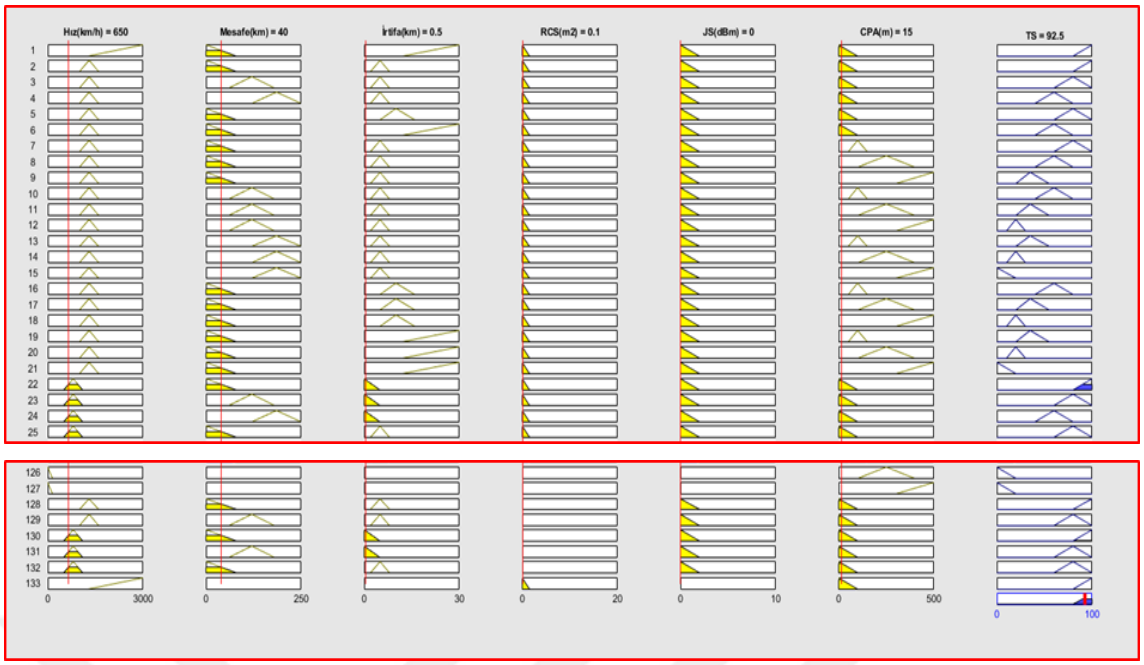
Şekil 4.5. 5 numaralı (ağır bombardıman) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



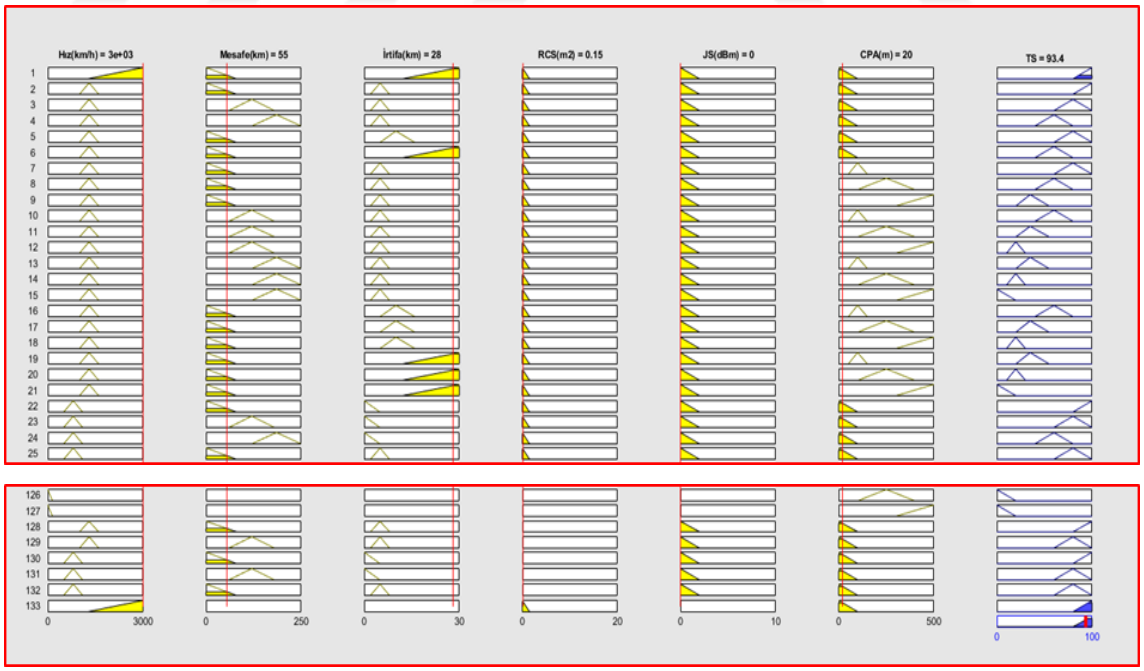
Şekil 4.6. 6 numaralı (İHA) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



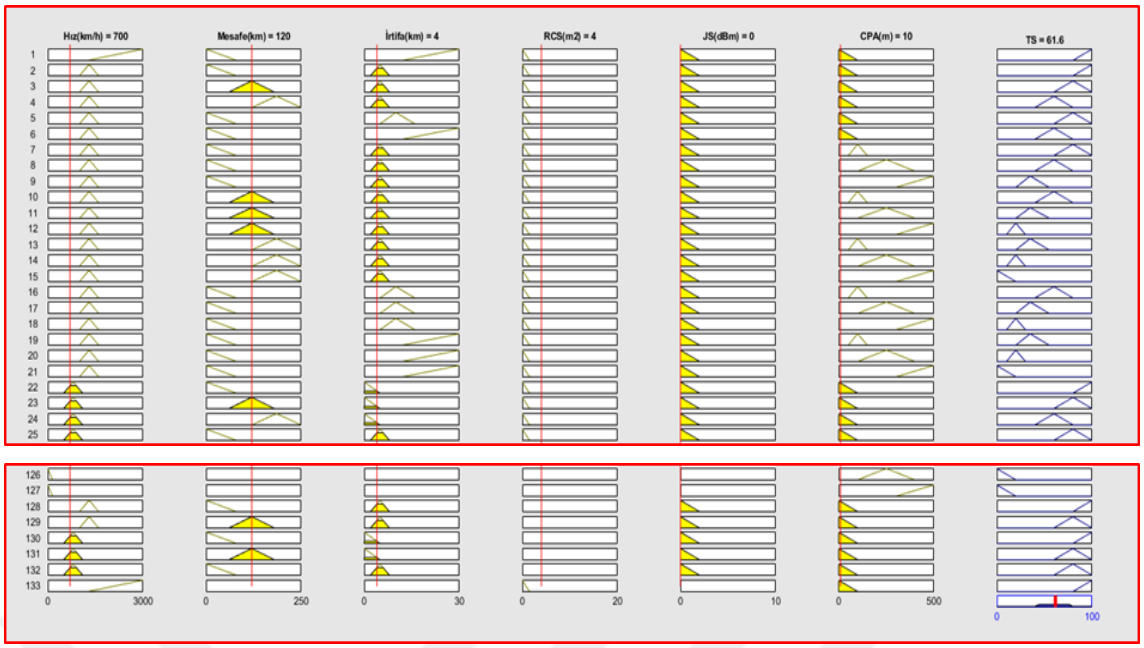
Şekil 4.7. 7 numaralı (uçaktan ayrılan füze) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



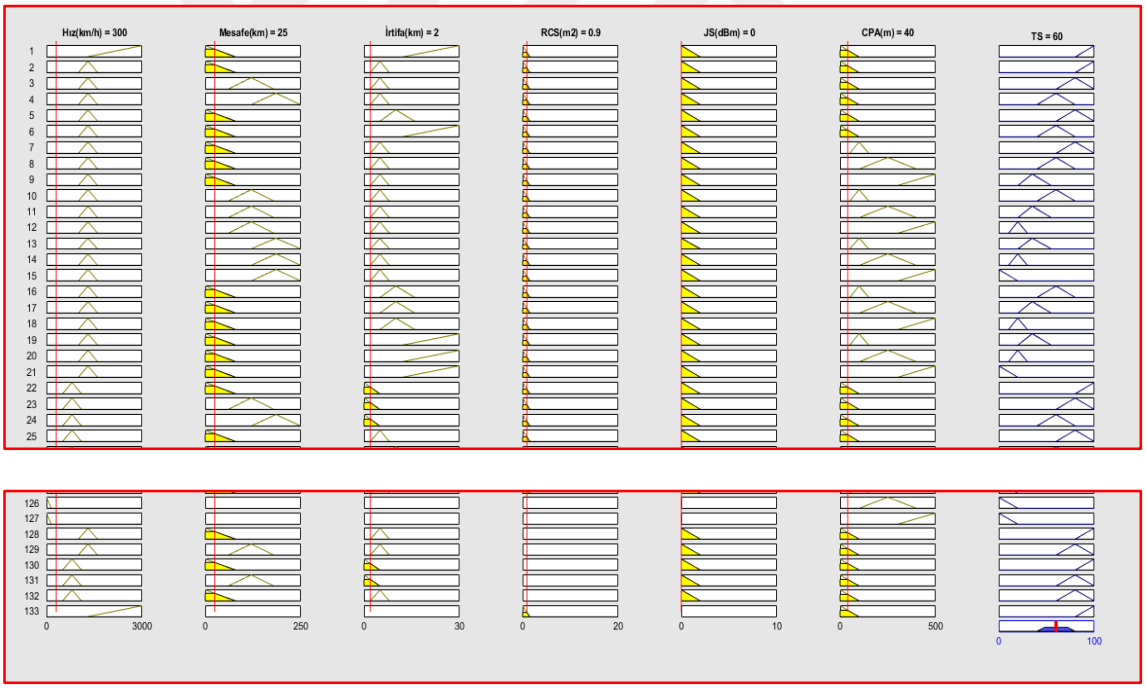
Şekil 4.8. 8 numaralı (seyir füzesi) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



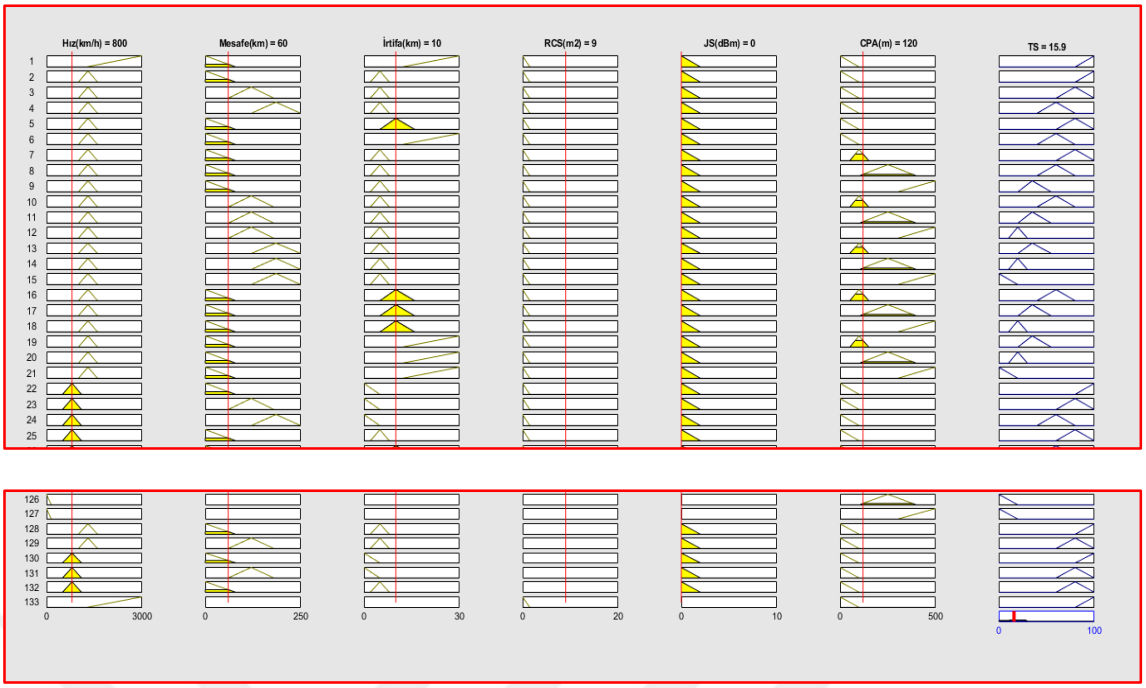
Şekil 4.9. 9 numaralı (balistik füze) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



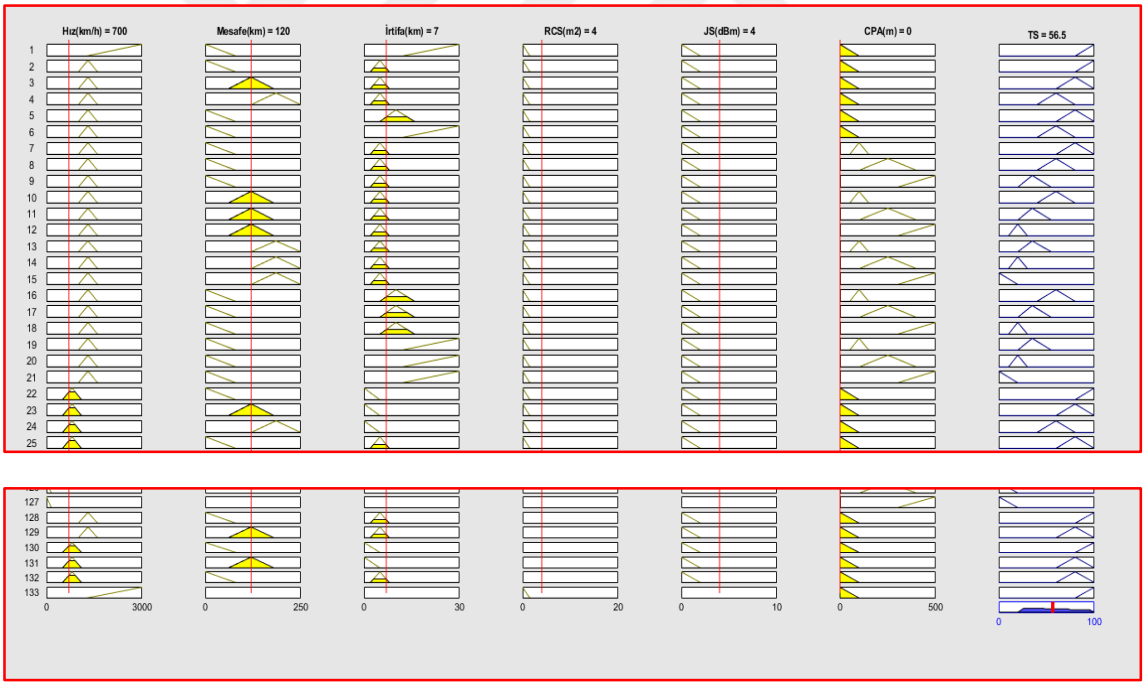
Şekil 4.10. 10 numaralı (av-önleme 2) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



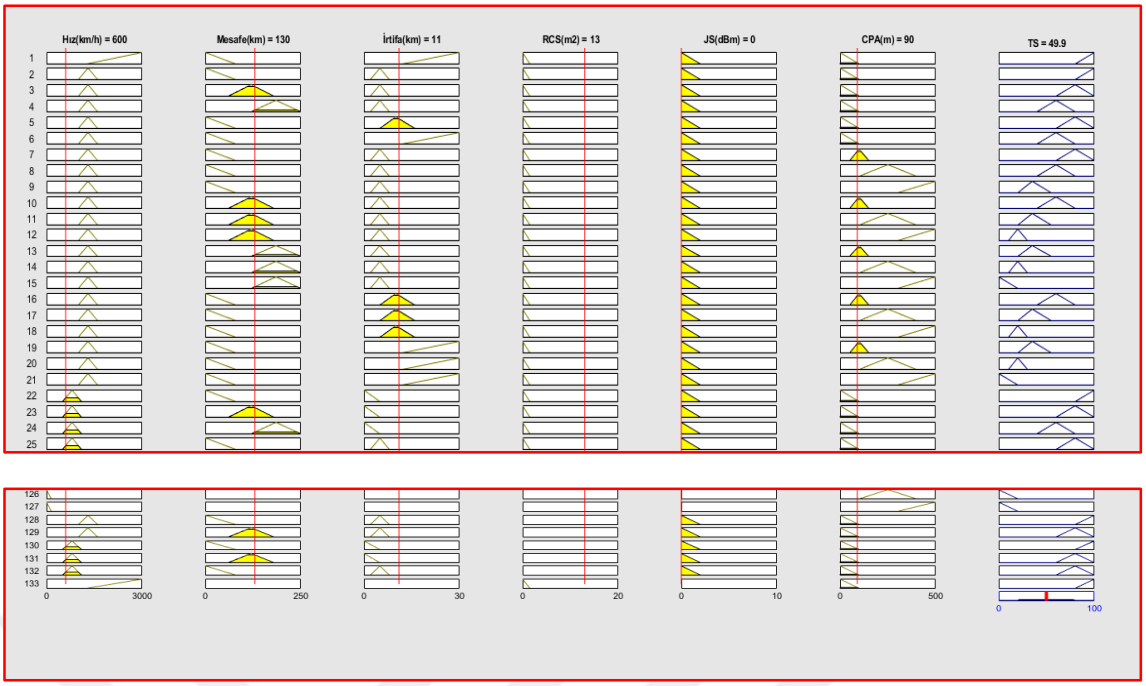
Şekil 4.11. 11 numaralı (helikopter 2) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



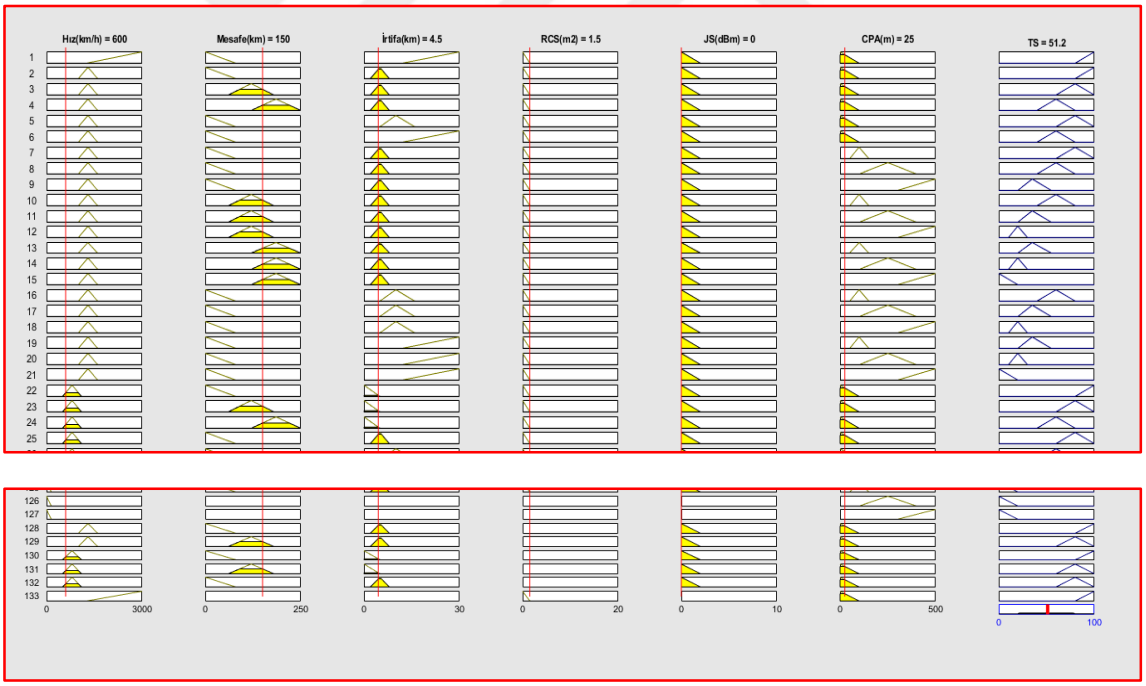
Şekil 4.12. 12 numaralı (yolcu uçağı 2) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



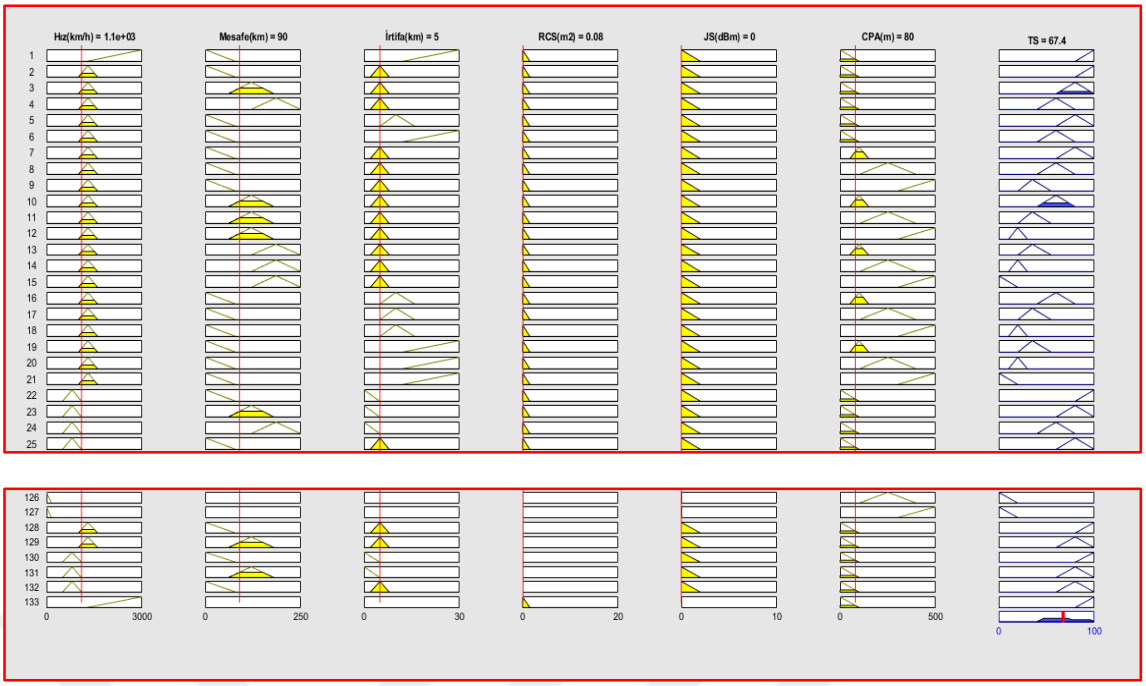
Şekil 4.13. 13 numaralı (karıştırma uçağı 2) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



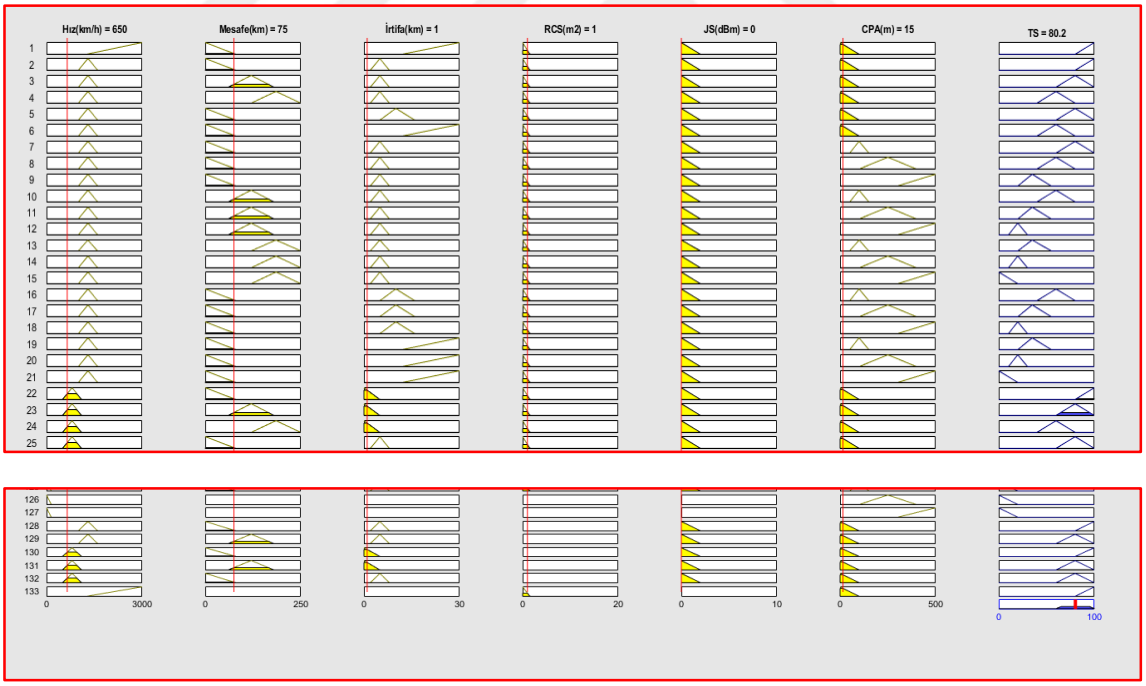
Şekil 4.14. 14 numaralı (ağır bombardıman 2) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



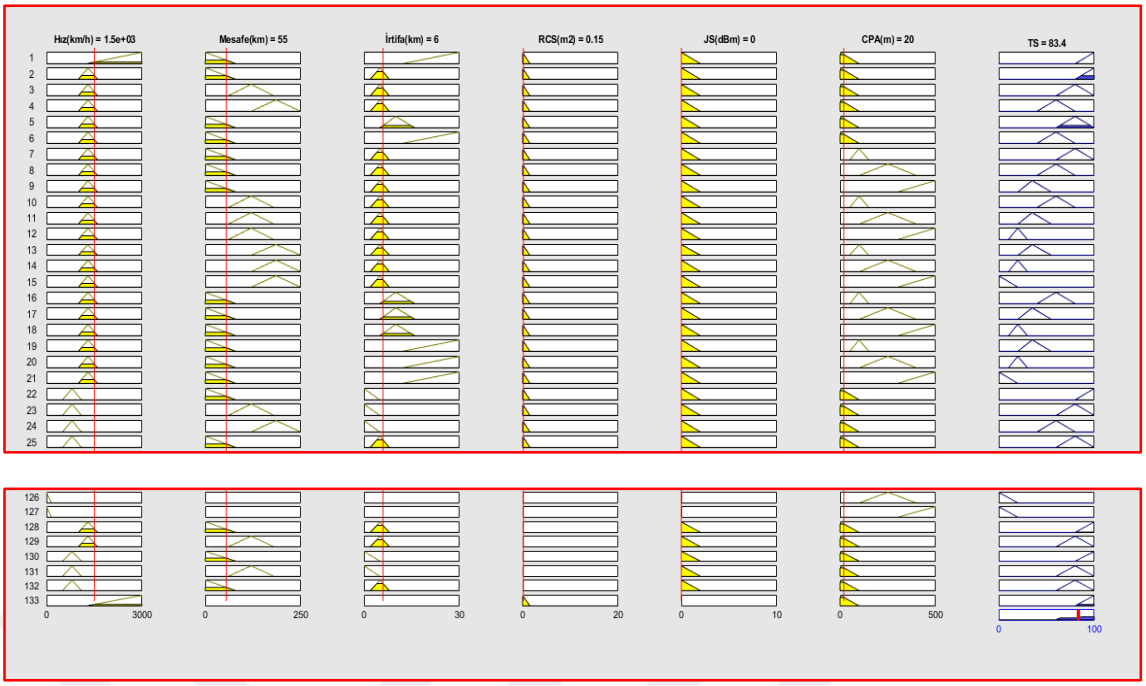
Şekil 4.15. 15 numaralı (insansız hava aracı 2) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



Şekil 4.16. 16 numaralı (uçaktan ayrılan füze 2) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



Şekil 4.17. 17 numaralı (seyir füzesi 2) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu



Şekil 4.18. 18 numaralı (balistik füze 2) hava hedefine ait tehdit seviyesi sonucu

Şekiller incelendiğinde BUS'dan alınan sonuçların uzmanların değerlendirmeleri ile uyumlu olduğu görülebilmektedir.

4.2. Sonuçların Yorumlanması

Hava savunma sistemleri için hayati bir süreç olan tehdit değerlendirme işlemi için uzman yardımı ile geliştirilen Hava savunma sistemlerinde bulanık mantık tabanlı tehdit değerlendirme modellemesine ait sonuçlar yukarıda verilmiştir. Söz konusu modelde; hız, mesafe, irtifa, RCS, jamming seviyesi (JS) ve CPA olmak üzere 6 giriş ve 1 çıkış (tehdit seviyesi) parametresi kullanılmıştır.

Alanında uzman 4 kişinin '100' üzerinden yaptığı puanlamaların ortalaması alınarak ortaya çıkan Tehdit Seviyeleri ile oluşturulan bulanık model sonucu ölçülen Tehdit Seviyelerinin karşılaştırmalı gösterimi Çizelge 4.2.'de ve Microsoft Excel ile gerçekleştirilen korelasyon katsayısı Çizelge 4.3.'te sunulmuştur. Ortaya çıkan sonuçlara göre; tez çalışması dâhilinde oluşturulan bulanık model ile elde edilen tehdit seviyeleri ile hava hedeflerine alanında uzmanlar tarafından atanan tehdit seviyeleri arasındaki basit korelasyon katsayısı denklem 4.1. ifadesinden r=0,99789 olarak tespit edilmiştir (Şıklar, 2000). Oluşturulan bulanık model ile elde edilen tehdit seviyeleri ve alanında uzmanların değerlendirmeleri arasında pozitif ve güçlü bir ilişki mevcuttur.

Söz konusu pozitif ve güçlü benzerlik Şekil 4.19.'da verilen basit korelasyon saçılım grafiğinden de görülmektedir. 18 hava hedefinin uzman ve BUS sonuçlarını kıyaslamak üzere hazırlanan grafik de Şekil 4.20.'de sunulmuştur.

Bu sonuç, meydana getirilen modelin başarısını ortaya koymaktadır. Hava savunma sistemleri için zaman kavramının hayati öneme sahip olduğu değerlendirildiğinde ve oluşturulan BUS'u test etmek için hazırlanan senaryo hedeflerin gerçek bir durumda taarruz ettiği düşünüldüğünde, her bir hedefi uzmanlara danışarak fikir almak mümkün olmayacaktır. Dolayısıyla alanında uzmanlar yardımıyla ortaya çıkardığımız bulanık model, hava savunma sistemlerinin bekalarını sağlamak için başarılı bir seçenek olarak kendini göstermektedir.

Geliştirilen bulanık model kullanılarak tehdit seviyeleri belirlenen hava hedeflerinin, Çizelge 4.4.'te verildiği şekilde derecelendirilmesiyle sorumlu komutan veya birimlere aktarılmasıyla karmaşık hava harp ortamlarında hava savunma sistemlerinin bekaları artırılabilecektir. Bu sayede sorumlu komutan veya birimlerin karmaşık hava harp ortamlarında karar verme süreçleri kısalabilecek ve hava savunma sistemleri için hayati öneme sahip olan zaman faktörü lehte kullanılabilecektir.

İnsanın duhulü olan her sistemde hata payı mevcuttur. Tez çalışmasında oluşturulan bulanık modelin hava savunma sistemlerinde kullanılmasıyla insan hatası azalabilecek ve hava savunma istemleri karmaşık harp ortamlarında dahi hayatta kalımlarını artırabilecektir.

$$r = \frac{\sum(xy) - (\sum x)(\sum y)/n}{\sqrt{(\sum x^2 - (\sum x)^2/n)\,(\sum y^2 - (\sum y)^2/n)}}$$

x = Uzman sonucu
y = BUS sonucu (4.1.)
n = Toplam hedef sayısı
r = Basit korelasyon katsayısı

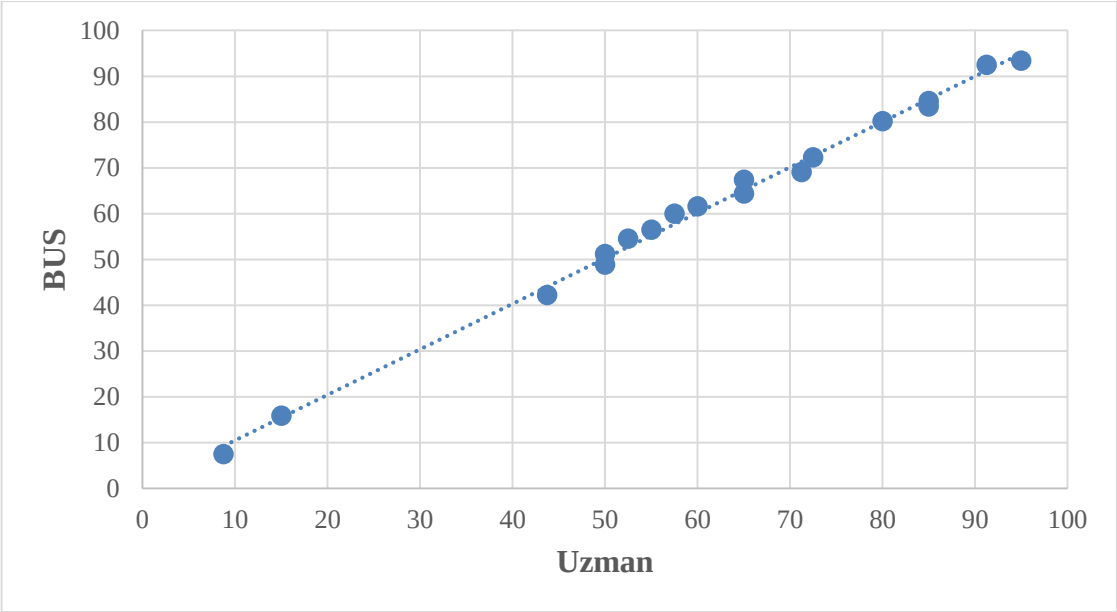
Çizelge 4.2. Karşılaştırmalı tehdit seviyeleri

S/N	Hedef Tipi	Hız (km/h)	Mesafe (km)	İrtifa (km)	RCS (m^2)	JS (dBm)	CPA (m)	Tehdit Seviyesi (Uzman) (%)	Tehdit Seviyesi (BUS) (%)
1	Helikopter	300	75	2	0,9	0	40	**43,75**	**42,2**
2	Yolcu Uçağı	800	90	10	9	0	250	**8,75**	**7,52**
3	Karıştırma	700	120	7	4	7	0	**71,25**	**69,1**

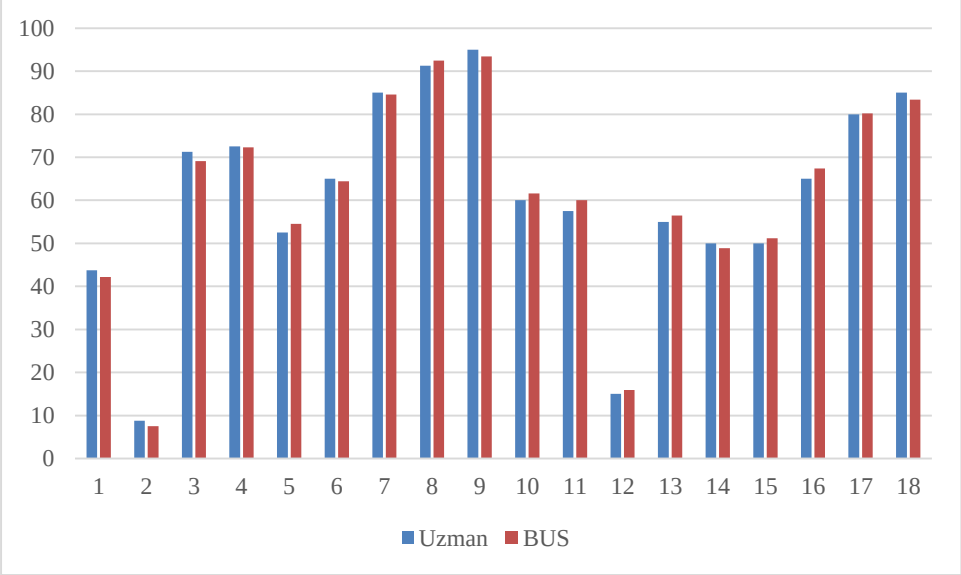
S/N	Hedef Tipi	Hız (km/h)	Mesafe (km)	İrtifa (km)	RCS (m^2)	JS (dBm)	CPA (m)	Tehdit Seviyesi (Uzman) (%)	Tehdit Seviyesi (BUS) (%)
	(Jamming) Uçağı								
4	Av-Önleme	850	60	2,5	3	0	5	**72,5**	**72,3**
5	Ağır Bombardıman	750	130	11	13	0	0	**52,5**	**54,5**
6	İnsansız Hava Aracı	600	80	4,5	0,6	0	25	**65**	**64,4**
7	Uçaktan Ayrılan Füze	1100	65	5	0,08	0	10	**85**	**84,6**
8	Seyir Füzesi	650	40	0,5	0,1	0	15	**91,25**	**92,5**
9	Balistik Füze	3000	55	28	0,15	0	20	**95**	**93,4**
10	Av-Önleme 2	700	120	4	4	0	10	**60**	**61,6**
11	Helikopter 2	300	25	2	0,9	0	40	**57,5**	**60**
12	Yolcu Uçağı 2	800	60	10	9	0	120	**15**	**15,9**
13	Karıştırma (Jamming) Uçağı 2	700	120	7	4	4	0	**55**	**56,5**
14	Ağır Bombardıman 2	600	130	11	13	0	90	**50**	**48,9**
15	İnsansız Hava Aracı 2	600	150	4,5	1,5	0	25	**50**	**51,2**
16	Uçaktan Ayrılan Füze 2	1100	90	5	0,08	0	80	**65**	**67,4**
17	Seyir Füzesi 2	650	75	1	1	0	15	**80**	**80,2**
18	Balistik Füze 2	1500	55	6	0,15	0	20	**85**	**83,4**

Çizelge 4.3. Korelasyon analizi

	Uzman	BUS
Uzman	1	
BUS	**0,99789**	1



Şekil 4.19. Basit korelasyon saçılım grafiği



Şekil 4.20. Uzman ve BUS sonuçları grafiği

Çizelge 4.4. Hava tehdidi derecelendirmesi

Hedef Önem Derecesi	Hedef Tipi	Tehdit Seviyesi (BUS) (%)
1	Balistik Füze	93,4
2	Seyir Füzesi	92,5
3	Uçaktan Ayrılan Füze	84,6
4	Balistik Füze 2	83,4
5	Seyir Füzesi 2	80,2

Hedef Önem Derecesi	Hedef Tipi	Tehdit Seviyesi (BUS) (%)
6	Av-Önleme	72,3
7	Karıştırma (Jamming) Uçağı	69,1
8	Uçaktan Ayrılan Füze 2	67,4
9	İnsansız Hava Aracı	64,4
10	Av-Önleme 2	61,6
11	Helikopter 2	60
12	Karıştırma (Jamming) Uçağı 2	56,5
13	Ağır Bombardıman	54,5
14	İnsansız Hava Aracı 2	51,2
15	Ağır Bombardıman 2	48,9
16	Helikopter	42,2
17	Yolcu Uçağı 2	15,9
18	Yolcu Uçağı	7,52

Çizelge 4.2.'nin 4. satırında bulunan hava hedefine bakıldığında, tehdit seviyesinin füze hedeflerinden sonraki en yüksek hava hedefi olarak tespit edildiği anlaşılmaktadır. Bunun sebebi olarak, av-önleme uçağı olarak senaryoda kullanılan söz konusu hava hedefinin hava savunma sistemine yakın bir mesafe ve irtifada bulunması ve bulanık model tarafından RCS ve hız değerleri dolayısıyla hava savunma sistemine tehdit oluşturabilecek manevra kabiliyeti yüksek bir av-önleme uçağı olarak tespit edilmesi gösterilebilir.

Çizelge 4.2'nin 3. satırında bulunan hava hedefi incelendiğinde, RCS, mesafe ve hız parametreleri olarak 10. satırda bulunan av-önleme 2 uçağına benzerlik gösterdiği görülmektedir. Fakat ondan farklı olarak 3. Satırda bulunan hava hedefinde karıştırma (jamming) senaryosu denenmiştir. Her ne kadar parametreleri yukarıda belirtilen av-önleme uçağı ile benzerlik gösterse de karıştırma uygulamasından dolayı tehdit seviyesi ondan yüksek olarak tespit edilmiştir. Fakat mesafe olarak 4. satırda bulunan av-önleme uçağından çok daha uzakta bulunmasından ve hızının daha yavaş olmasından dolayı da 4. satırda bulunan hava hedefinden daha düşük bir tehdit olarak gözlemlenmiştir.

Kaynak araştırması bölümünde belirtilen konumuzla alakalı literatür çalışmalarından farklı olarak, uzman yardımıyla oluşturulan modellemede bir adet balistik füze senaryosu da test edilmiş ve Çizelge 4.2.' nin 9. satırında belirtilmiştir. Balistik füzeler, doğası gereği çok yüksek hızlarda ve yüksek irtifalarda seyrettiklerinden ve RCS değerleri çok küçük olduğundan dolayı hava savunma

sistemleri tarafından tespit edilmeleri zorlaşmaktadır. Tespit edildiklerinde ise reaksiyon göstermek için çok az bir süre kalmaktadır ve yıkıcılıkları çok büyüktür. Dolayısıyla hava savunma sistemlerine karşı oluşturdukları tehdit diğer hava hedefleri ile kıyaslandığında çok yüksektir. Test edilen balistik füze hedefine bakıldığında da geliştirmiş olduğumuz model sonucunda tehdit seviyesinin diğer tüm hedeflere kıyasla daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Yine kaynak araştırması bölümünde belirtilen konumuzla alakalı literatür çalışmalarından farklı olarak bir adet seyir füzesi senaryosu test edilmiş ve Çizelge 4.2.' in 8. satırında belirtilmiştir. Seyir füzeleri, yer yüzeyinin engebelerinden faydalanarak çok alçak irtifalarda seyrettiklerinden ve küçük RCS değerlerinden dolayı hava savunma sistemleri için yüksek tehdit oluşturmaktadırlar. Hava savunma sistemleri tarafından tespit edildiklerinde mesafe olarak çok yaklaşmış bir pozisyonda bulunurlar. Bunun sonucu olarak da derhal müdahale gerektiren bir konum işgal ederler. Uzman yardımıyla geliştirilen modelleme sonucunda da seyir füzesine ait tehdit seviyesinin balistik füze hedefinden sonra en yüksek seviye olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2.'in 7. satırında belirtilen hedef ise uçaktan ayrılan yani bir savaş uçağı tarafından hava savunma sistemine fırlatılan bir füzeyi simüle etmektedir. Söz konusu hedefin parametrelerine bakıldığında, av-önleme uçaklarına kıyasla daha küçük bir RCS değerine sahip olduğu ve daha yüksek hız değerinin olduğu görülmektedir. Hava savunma sisteminin bekası açısından bakıldığında hemen müdahale gerektiren bir hava hedefi olarak bulunmaktadır. Modelleme sonucundaki tehdit seviyesi incelendiğinde balistik füze ve seyir füzesinden sonra en yüksek öncelikli hava hedefi konumunda bulunmaktadır. RCS değeri olarak seyir füzesinden daha küçük ve hız olarak daha yüksek bir hıza sahip olmasına rağmen bir uçaktan atıldığından dolayı seyir füzesine kıyasla çok daha yüksek bir irtifada bulunmakta ve bu da söz konusu hedefin hava savunma sistemi tarafından gözlemlenmesine kolaylık sağlamaktadır. Tezin kaynak araştırması bölümünde belirtilen literatür çalışmalarından farklı olarak düzenlenmiş uçaktan ayrılan füze senaryosunun tehdit seviyesi; av-önleme uçaklarından yüksek, balistik füze ve seyir füzesinden daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2.'in 5. satırı incelendiğinde bir ağır bombardıman uçağı senaryosunun test edildiği görülmektedir. Bahse konu hava hedefi, irtifa olarak çok yüksek bir pozisyonda olduğundan, RCS değerinin diğer hava hedeflerine büyük

olmasından ve mesafe olarak daha uzak bir mesafede tespit edildiğinden dolayı büyük miktarda mühimmat taşıma kapasitesine rağmen tehdit seviyesi füze hedeflerinden ve av-önleme uçakları ile İHA hedefinden daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2.'in 6. satırında bir insansız hava aracı (İHA) senaryosu test edilmiştir. Her ne kadar hızı av-önleme uçaklarından düşük olsa da tehdit seviyesi hava savunma sistemine daha yakın bir konumda bulunan 4. Satırdaki av-önleme uçağına yakın bir düzeyde tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak RCS değerinin küçüklüğü gösterilebilir. RCS değeri küçük olduğundan dolayı, hava savunma sisteminin takibini zorlaştırmaktadır.

Çizelge 4.2.'in 1. Satırında helikopter hedefi bulunmaktadır. Söz konusu hava hedefi, hız olarak diğer hava hedeflerinden çok daha düşük bir değere sahip olduğundan dolayı tehdit seviyesi düşmektedir. Tehdit seviyesi sonucu incelediğinde, RCS değeri uçak hedeflerine kıyasla küçük olmasına rağmen hızı çok düşük olduğundan dolayı onlardan daha düşük bir tehdit seviyesine sahip olmuştur.

Yolcu uçağı senaryosu ise Çizelge 4.2.'in 2. satırında belirtilmiştir. Hava savunma sistemine karşı daha düşük bir tehdit oluşturduğu diğer hava hedeflerine kıyasla CPA parametresinin uzak olmasından anlaşılabilir. Kendi rotasında uçtuğundan dolayı hava savunma sistemine karşı herhangi bir manevrası bulunmamakta ve CPA parametresi uzak bir pozisyonda bulunmaktadır. Ayrıca RCS değeri büyük ve irtifası yüksek olduğundan dolayı hava savunma sistemi tarafından kaybedilmeden sürekli takip altında bulundurulabilir.

Çizelge 4.2.'de bulunan 4. ve 10. satırlardaki hava hedeflerine bakıldığında ikisinin de av-önleme uçağı olduğu görülmektedir. Fakat tehdit seviyeleri farklı olarak gözlemlenmektedir. Bunun nedeni hedeflerin, hava savunma sistemine göre bulundukları mesafe, irtifa ve hızlarının farklı olması dolayısıyla da hava savunma sistemine karşı farklı tehdit seviyeleri oluşturmalarıdır. Hava savunma sistemine daha yakın ve daha yüksek hızla daha alçak irtifadan seyreden 4. satırda bulunan av-önleme uçağının tehdit seviyesi daha yüksek olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2.'nin 1. ve 11. satırları incelendiğinde, iki senaryonun da helikopter hava hedefine ait olduğu görülmektedir. Fakat 11. Satırda bulunan hava hedefi 1. Satırda bulunan hava hedefine göre hava savunma sistemine daha yakın bir mesafede bulunduğundan dolayı tehdit seviyesi bulanık model tarafından daha yüksek olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2.'nin 2. ve 12. satırları göz önüne alındığında iki hava hedefinin de yolcu uçağı olduğu görülmektedir. 2. Satırda bulunan yolcu uçağı 2. Satırda bulunan yolcu uçağına göre hava savunma sistemine daha yakın bir mesafede bulunduğundan ve CPA parametresi daha düşük olduğundan (hava savunma sistemine doğru yönelmesi daha fazla) dolayı tehdit seviyesi bulanık model tarafından daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2.'nin 3. ve 13. satırında bulunan hava hedeflerine bakıldığında, ikisi de karıştırma uçağı olmasına rağmen 13. satırda bulunan hava hedefinin tehdit seviyesi görece daha düşük olarak tespit edilmiştir. Bunun sebebi, karıştırma sinyal seviyesi parametresinin, 3. satırda bulunan hava hedefine göre daha düşük olmasıdır.

Çizelge 4.2.'nin 5. ve 14. satırı incelendiğinde iki hava hedefinin de ağır bombardıman uçağı olarak senaryoya dâhil olduğu görülmektedir. Fakat 14. satırda bulunan hava hedefinin hız parametresi diğerine göre daha düşük ve CPA parametresi de daha yüksek (hava savunma sistemine yönelmesi daha az) olduğundan dolayı tehdit seviyesi bulanık model tarafından daha düşük olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.2.'nin 6. ve 15. satırında bulunan hava hedefleri incelendiğinde iki hava hedefi de insansı hava aracı olmasına rağmen 15. satırda bulunan hava hedefine ait tehdit seviyesinin görece daha düşük olduğu görülmektedir. Çünkü 15. satırda bulunan hava hedefi diğerine göre hava savunma sistemine daha uzak mesafede ve RCS değeri daha yüksektir (Hava savunma sistemi tarafından tespit edilmesi daha kolay).

Çizelge 4.2.'nin 7. ve 16. satırında bulunan hava hedeflerine bakıldığında 16. satırda bulunan hava hedefine ait tehdit eviyesi değerinin daha düşük olduğu görülmektedir. İki hava hedefi de uçaktan ayrılan füze olarak senaryo edilmesine rağmen 1. satırda bulunan hava hedefi, hava savunma sisteminden daha uzakta ve CPA değeri daha yüksek (hava savunma sistemine yönelmesi daha az) olduğundan dolayı bu şekilde bir sonuç ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.2.'nin 8. ve 17. satırındaki hava hedefleri incelendiğinde, 17. satırda bulunan hava hedefinin irtifası daha yüksek olmasına rağmen (hava savunma sistemi tarafından tespit edilmesi daha kolay) RCS değeri ve mesafesi 8. satırda bulunan hava hedefinden daha fazla olduğu için tehdit seviyesi bulanık model tarafından daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2.'nin 9. ve 18. satırında bulunan hava hedefleri incelendiğinde, iki hava hedefinin de balistik füze olarak senaryoya dâhil edildiği görülmektedir. Fakat

18. satırda bulunan hava hedefinin hızı diğerine göre daha düşük olduğundan dolayı tehdit seviyesi bulanık model tarafından daha düşük olarak belirlenmiştir.

Bunlara ek olarak, alanında uzmanların yardımıyla ve 133 kuralla tasarlanmış olan BUS, Çizelge 4.2.'de belirtilmiş olan hava hedefleri parametreleri dışında kalan ara değerlerde de sonuç vermekte ve bu sayede hava savunma sistemine yönelecek her türlü hava hedefi tehdidine karşı reaksiyon gösterebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, hava savunma sistemleri için tehdit değerlendirmesi yapmak amacına yönelik olarak alanında uzmanlar yardımıyla MATLAB programı kullanılarak Bulanık Uzman Sistem (BUS) tasarlanmış ve çeşitli hava hedefleri senaryoları belirlenerek sistem test edilmiştir.

Sistem sonuçları incelendiğinde, geliştirilmiş olan BUS'un hava savunma sistemleri için tehdit değerlendirme konusunda gayet başarılı olduğu ve hava savunma sistemine yönelen çeşitli tipteki hava hedeflerinin tehdit önceliklerini belirlemede mantıklı ve akla uygun sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Tez çalışmasında, literatürde daha önce kullanılmamış olan RCS parametresi hesaba katılarak; yaklaşık hız, mesafe ve irtifada bulunan çeşitli hava hedeflerinin ayrımı yapılabilmiştir. Yaklaşık hız, mesafe ve irtifada bulunan av-önleme uçakları, yolcu uçakları, uçaktan atılan füzeler veya seyir füzeleri hava savunma sistemleri için aynı tehdidi oluşturmamaktadır. Kullanılan RCS parametresi ile söz konusu hava hedeflerinin ayrımı yapılmış ve farklı tehdit seviyeleri tespit edilerek Çizelge 4.2.'de sunulmuştur. Böylece literatürde bulunan bu eksiklik kapatılmıştır.

Ayrıca literatürde bulunan tez konusu ile alakalı çalışmalarda balistik füze, seyir füzesi ve uçaktan atılan füzeleri kapsayan bir inceleme görülmemiş ve hava savunma sistemleri için büyük bir tehdit oluşturan bahse konu hava hedefleri tez çalışmasına dâhil edilerek hava savunma sistemlerinde tehdit değerlendirmesi için uzmanlar yardımıyla geliştirilen BUS'un en doğru sonuçları vermesi sağlanmıştır.

Tez çalışmasında daha önce kullanılmayan parametre ve hedef tiplerinin kullanılmasından dolayı literatürdeki eksiklikler kapatılmış ve ileride tez konusu ile araştırma yapacak bilim insanlarının makale, konferans vb. bilimsel çalışmalarında faydalanabileceği bir çalışma ortaya koyulmuştur.

5. ÖNERİLER

Hava savunma sistemleri, günümüzde bağımsız bir devletin hava sahası egemenliğini sağlaması ve sürdürmesi için çok önemli silah sistemler olarak stratejik bir konumda bulunmaktadırlar. İdame ve maliyet olarak hava sahası güvenliğin sağlamanın diğer yöntemlerine (uçaklarla vb.) kıyasla daha sürdürülebilir olması ve caydırıcılığının yüksek olması sebebiyle modern devletin silahlı kuvvetlerinin ayrılmaz bir parçası olarak nitelendirilebilir.

Tez çalışmasının, Türkiye'de son dönemde büyük bir mesafe almış olan savunma sanayisine ekonomik ve stratejik başta olmak üzere önemli katkılarda bulunacağı değerlendirilmektedir. Her hava savunma sistemi gibi milli hava savunma sistemlerimizin de çözmesi gereken en önemli problemlerden biri çalışmamızın da konusu olan tehdit değerlendirme konusudur. Türkiye'nin stratejik coğrafi konumu göz önüne alındığında, üretilecek olan milli hava savunma sistemlerimizin her türlü hava hedefini doğru ve hızlı bir şekilde değerlendirmek zorundadır. Tez çalışmamızın, söz konusu milli hava savunma sistemlerinin tehdit değerlendirme kullanılabileceği ve bu noktada çalışmamızın milli savunma sanayimize ve bundan dolayı da milli sermayemize önemli katkıları olacağı değerlendirilmektedir.

Tez çalışması, milli savunma sanayimiz bünyesindeki hava savunma sistemi projelerinde benzer şekilde kullanılabileceği gibi parametre sayısı artırılarak sonçlar değerlendirilebilecektir. Farklı yapay zekâ teknikleri veya hibrit teknikler ile de bu modelleme kullanılabilir. Ayrıca tez çalışması kapsamında geliştirilen bulanık model farklı askeri alanlara da uygulanabilir hale getirilebilir.

KAYNAKLAR

Alcı, M. ve Karatepe, E., 2002, Bulanık mantık ve matlab uygulamaları, *Ege Üniversitesi Yayınları*.

Allouche, M. K., 2005, Real-time use of Kohonen's self-organizing maps for threat stabilization, *Information Fusion*, 6 (2), 153-163.

Anonim, 2013, Fighter Aircraft, https://www.britannica.com/technology/fighter-aircraft: [22 Ocak].

Anonim, 2017, Entere Hava Savunma Kontrol Sistemi, https://www.aselsan.com.tr/Entegre_Hava_Savunma_Komuta_Kontrol_Sistemi_4813.pdf: [04 Aralık].

Anonim, 2018, SAMP/T Air Defence System, https://missiledefenseadvocacy.org/defense-systems/sampt-air-defense-system/#_edn1: [15 Kasım].

Anonim, 2019, Arrow 3 Interceptor, https://www.iai.co.il/p/arrow-3: [20 Ocak].

Anonim, 2020a, FD 2000 Long Range Missile System, https://www.armyrecognition.com/china_chinese_army_missile_systems_vehicles/hq-9_ground-to-air_medium_range_air_defense_missile_technical_data_sheet_specifications_pictures.html [16 Kasım].

Anonim, 2020b, S-400 Triumph, http://roe.ru/eng/catalog/air-defence-systems/air-defense-systems-and-mounts/s-400-triumf: [1 Aralık].

Anonim, 2020c, S-400 Triumph Air Defence System https://www.army-technology.com/projects/s-400-triumph-air-defence-missile-system/: [1 Aralık].

Anonim, 2020d, Aegis the Shield of the Fleet https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/aegis-combat-system.html [22 Ocak].

Anonim, 2021a, How Fast Do Commercial Airplanes Fly https://www.flightdeckfriend.com/ask-a-pilot/how-fast-do-commercial-aeroplanes-fly: [23 Ocak].

Anonim, 2021b, T-129 Atak, https://www.tusas.com/urunler/helikopter/ortak-gelistirme/t129-atak: [23 Ocak].

Azimirad, E. ve Haddadnia, J., 2015, Target threat assessment using fuzzy sets theory, *International Journal of Advances in Intelligent Informatics*, 1 (2), 57-74.

Bai, Y. ve Wang, D., 2006, Fundamentals of fuzzy logic control—fuzzy sets, fuzzy rules and defuzzifications, In: Advanced fuzzy logic technologies in industrial applications, Eds: Springer, p. 17-36.

Baykal, N. ve Beyan, T., 2004, Bulanık mantık ilke ve temelleri, Bıçaklar Kitabevi, p.

Bellman, R. E. ve Zadeh, L. A., 1970, Decision-making in a fuzzy environment, *Management science*, 17 (4), B-141-B-164.

Benavoli, A., Ristic, B., Farina, A., Oxenham, M. ve Chisci, L., 2009, An application of evidential networks to threat assessment, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 45 (2), 620-639.

Beser, F., Adıgüzel, D., Yıldırım, Ö. ve Yıldırım, T., 2018, Bulanık Mantık Kullanarak Hava Savunma Karar Destek Sistemi Tasarımı Air Defence Decision Support System Design Using Fuzzy Logic.

Britt, R., Volk, J., Dreim, D. ve Applewhite, K., 2000, Aeroservoelastic characteristics of the B-2 bomber and implications for future large aircraft, *NORTHROP GRUMMAN CORP PICO RIVERA CA MILITARY AIRCRAFT SYSTEMS DIV*.

Deng, Y., Su, X., Wang, D. ve Li, Q., 2010, Target recognition based on fuzzy Dempster data fusion method, *Defence Science Journal*, 60 (5).

Ekütekin, V., 2007, Navigation and control studies on cruise missiles.

Gao, Y., Li, D.-s. ve Zhong, H., 2020, A novel target threat assessment method based on three-way decisions under intuitionistic fuzzy multi-attribute decision making environment, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103276.

Gelev, S., Gacovski, Z., Jiea-he, X., Yuan-wei, J. ve Deskovski, S., 2007, Fuzzy logic in fire control systems for air defence.

Harrington, P. B., 1991, Fuzzy multivariate rule- building expert systems: minimal neural networks, *Journal of Chemometrics*, 5 (5), 467-486.

Jaiswal, R. ve Sarode, M., 2015, An overview on fuzzy logic and fuzzy elements, *Int. Res. J. Comp. Sci*, 3 (2), 29.

Johansson, F. ve Falkman, G., 2008, A comparison between two approaches to threat evaluation in an air defense scenario, *International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence*, 110-121.

Johansson, F., 2010, Evaluating the performance of TEWA systems, *Örebro universitet*.

Kabak, M., 2011, Birlik hava savunma önceliklerinin tespitine bulanık bir yaklaşım, *Savunma Bilimleri Dergisi*, 10 (2), 1-17.

Kantardzic, M., 2011, Data mining: concepts, models, methods, and algorithms, John Wiley & Sons, p.

Knott, E., Shaeffer, J. ve Tuley, M., 1993, Radar Cross Section, 2 Rev, *Edition, Artech House, Norwood*.

Kumar, S. ve Dixit, A. M., 2012, Threat evaluation modelling for dynamic targets using fuzzy logic approach, *International Conference on Computer Science and Engineering*, 143-149.

Kun, Z., Weiren, K., Peipei, L., Jiao, S., Yu, L. ve Jie, Z., 2018, Assessment and sequencing of air target threat based on intuitionistic fuzzy entropy and dynamic VIKOR, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 29 (2), 305-310.

Legg, D., 2017, Aircraft survivability – the early years (pre-world war to world war), JASP Online, http://s3.eu-central-1.amazonaws.com/teyitlink/9dcc9846-e36b-4d53-a2d9-a920c537352b/index.html: [10 Aralık].

Lewis, G. N. ve Postol, T. A., 1997, Future challenges to ballistic missile defense, *IEEE spectrum*, 34 (9), 60-68.

Liang, Y., 2007, An approximate reasoning model for situation and threat assessment, *Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD 2007)*, 246-250.

Liebhaber, M. J. ve Feher, B., 2002, Air threat assessment: Research, model, and display guidelines, *SPACE AND NAVAL WARFARE SYSTEMS COMMAND SAN DIEGO CA*.

Lu, Y., Wang, Y., Lei, Y. ve Wang, Y., 2015, Air targets threat assessment based on fuzzy rough reasoning, *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*, 885-890.

Mei, W., 2013, Air Defense Threat Evaluation using Fuzzy Bayesian Classifier, *IJCCI*, 227-232.

Mendel, J. M., 1995, Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial, *Proceedings of the IEEE*, 83 (3), 345-377.

Nguyen, H. T., Prasad, N. R., Walker, C. L. ve Walker, E. A., 2002, A first course in fuzzy and neural control, CRC press, p.

Nguyen, X. T., 2002, Threat assessment in tactical airborne environments, *Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion. FUSION 2002.(IEEE Cat. No. 02EX5997)*, 1300-1307.

Okello, N. ve Thoms, G., 2003, Threat assessment using Bayesian networks, *Proceedings of the 6th International Conference on Information fusion*, 1102-1109.

Petrović, I., Kankaraš, M. ve Cvetković, K., 2015, Significance and prospects of the development of air defence system, *Vojno delo*, 67 (6), 86-98.

Rizwan, H., Tayyaba, S., Ashraf, M. W., Rasheed, H., Ahmed, Z. ve Ali, B., 2014, Threat evaluation of suspicious target for cognitive radar, *17th IEEE International Multi Topic Conference 2014*, 456-461.

Roy, J., Paradis, S. ve Allouche, M., 2002, Threat evaluation for impact assessment in situation analysis systems, *Signal processing, sensor fusion, and target recognition XI*, 329-341.

Sillevis Smitt, W. ve Bruggeman, B., 1996, Decision support systems and modern maritime air defence fuzzy identification of targets.

Singh, H., Gupta, M. M., Meitzler, T., Hou, Z.-G., Garg, K. K., Solo, A. M. ve Zadeh, L. A., 2013, Real-life applications of fuzzy logic, Hindawi.

Sivanandam, S., Sumathi, S. ve Deepa, S., 2007, Introduction to fuzzy logic using MATLAB, Springer, 113-127

Şıklar, E., 2000, Regresyon analizine giriş, Anadolu Üniversitesi, 75-99

Taşdemir, Ş., 2010, Dijital görüntü analiz yöntemi ile siyah alaca ineklerde vücut ölçülerinin belirlenmesi ve canlı ağırlığının tahmin edilmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Wang, L., Liu, Z.-G. ve Wang, W., 2016, Aerial targets threat evaluation method, *2nd Annual International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Information Science (EEEIS 2016)*, 578-586.

Werrell, K. P., 2005, Archie to SAM: A Short Operational History of Ground-Based Air Defense, *AIR UNIV PRESS MAXWELL AFB AL*.

Yun, J., Hong, S.-S. ve Han, M.-M., 2012, A dynamic neuro fuzzy knowledge based system in threat evaluation, *The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems*, 1601-1605.

Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy sets, Information and Control, vol. 8, *Google Scholar Google Scholar Digital Library Digital Library*, 338-353.

Zadeh, L. A., 1975, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I, *Information sciences*, 8 (3), 199-249.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhittin COŞKUN
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi :
Telefon :
Faks :
e-mail :

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Işıklar Askeri Hava Lisesi ,Yıldırım, Bursa	2010
Üniversite	:	Hava Harp Okulu	2014
Yüksek Lisans	:	-	-
Doktora	:	-	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2014-	Hava Kuvvetleri Komutanlığı	Subay

UZMANLIK ALANI Hava Savunma

YABANCI DİLLER İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Coşkun, M., Taşdemir Ş., A Fuzzy Logic System for Air Defence Systems, *International Marmara Sciences Congress, (Spring 2021)*, 21-22 May 2021 Kocaeli, pp. 29.