
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

HAVA HEDEFLERİ İÇİN BULANIK MANTIK İLE TEHDİT ALGILAMA VE SİLAH ATAMA ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ

Taylan Özgür ÜLTEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Taylan Özgür ÜLTEN

19/07/2022

HAVA HEDEFLERİ İÇİN BULANIK MANTIK İLE TEHDİT ALGILAMA VE SİLAH ATAMA ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Taylan Özgür ÜLTEN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2022

ÖZET

Muharebe alanında çok karmaşık yapıda, çeşitte ve sayıda tehdit unsurları yer almaktadır. Aynı zamanda bu tehdit unsurlarına karşı kullanılabilecek kısıtlı sayıda kaynak bulunmaktadır. Kısıtlı sayıda kaynağın etkili ve verimli kullanılabilmesi ve uygulanabilecek prosedürlerin belirlenebilmesi için bir dizi karar süreçleri gerekmektedir. Savaş ortamında yoğun stres altında karar verebilmek için güçlü bir muhâkeme yeteneği ve uzun yıllar sonucunda elde edilmiş tecrübe gerektirmektedir. Günümüzün gelişmiş tehdit unsurlarını tespit edebilmek ve silah yeteneklerinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için sadece operatör deneyim ve yetenekleri yeterli olmamaktadır. Bu sebeple operatör deneyimlerinin yanı sıra ilave karar destek sistemlerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama (TDSA) sistemi hava hedeflerinin tehdit derecesinin belirlenmesinde ve tespit edilen hava hedeflerine karşı uygun kaynakların tahsis edilmesinde operatöre katkı sunan bir karar destek sistemidir. Bu çalışmada operatörlere karar verme süreçlerinde katkı sağlamayı hedefleyen bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Karar destek sistemi için Microsoft Visual Studio kullanılarak C# programlama dili yardımıyla tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü tasarlanmıştır. Tasarlanan arayüzde hesaplamalar, bulanık mantık yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Arayüzde öncelikle tehdit olarak sınıflandırılan hava hedeflerine ait hız, irtifa, mesafe ve manevra parametreleri kullanılarak, bulanık mantık yardımıyla iki adet senaryo çerçevesinde hedeflere ait tehdit derecesi hesaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise hesaplanan tehdit derecesi dikkate alınarak ve hedefe ait parametreler kullanılarak, katmanlı hava savunma sistemi oluşturacak şekilde envanterde bulunan üç adet silah sisteminden uygun olanı; bulanık mantık yöntemi ile hesaplanarak, operatöre önerilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tehdit derecesi hesaplamalarının ve silah atama önerilerinin kişisel tecrübeleri ve yeteneği kapsamında çok sayıda ve belirsiz özellikteki veri ile gerçek zamanlı ve hızlı kararlar vermek zorunda olan operatöre katkı sunduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca, daha önceki çalışmalarda olduğu gibi tehdit değerlendirme ve silah atama süreçlerinde doğası gereği eksik ve belirsiz olarak nitelendirilen verilerle karar vermek için bulanık mantık yönteminin kullanımının uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 90509
Anahtar Kelimeler : Tehdit Değerlendirme, Silah Atama, TEWA, Bulanık Mantık
Sayfa Adedi : 63
Danışman : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

DEVELOPMENT OF A THREAT DETECTION AND WEAPON ASSIGNMENT ALGORITHM WITH FUZZY LOGIC FOR AIR TARGETS

(M. Sc. Thesis)

Taylan Özgür ÜLTEN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2022

ABSTRACT

In the war area, there are very complex and various number of threat elements. At the same time, there is a limited number of resources that can be used against these threats. A series of decision processes are required in order to use the limited number of resources effectively and efficiently and to determine the procedures that can be applied. In order to be able to make decisions under intense stress in a war area, it requires a strong reasoning ability and experience gained as a result of many years. Operator experience and skills alone are not enough to detect today's advanced threat elements and to use weapon capabilities effectively. For this reason, additional decision support systems are needed as well as operator experiences. Threat Evaluation and Weapon Assignment (TEWA) system is a decision support system that contributes to the operator in determining the threat level of air targets and allocating appropriate resources against detected air targets. In this study, a decision support system is designed to contribute to the decision making processes of the operators. A threat assessment and weapon assignment interface was designed with the help of C# programming language using Microsoft Visual Studio for the decision support system. Calculations in the designed interface are carried out with Fuzzy Logic method. Using the speed, altitude, distance and maneuver parameters of the air targets classified as threats in the interface, the threat level of the targets was calculated within the framework of two scenarios with the help of Fuzzy Logic. Then, using the calculated threat level and the parameters of the target, the appropriate one of the three weapon systems in the inventory to form a layered air defense system; it was calculated by Fuzzy Logic method and suggested to the operator. It has been evaluated that the threat degree calculations and weapon assignment suggestions made within the scope of the study contribute to the operator, who has to make real-time and fast decisions with a large number of uncertain data within the scope of his personal experience and ability. In addition, as in previous studies, it has been observed that the use of Fuzzy Logic method is appropriate for making decisions with data that is inherently incomplete and uncertain in threat assessment and weapon assignment processes.

Science Code : 90509

Key Words : Threat Evaluation, Weapon Assignment, TEWA, Fuzzy Logic

Page Number : 63

Supervisor : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi boyunca, her an kıymetli tecrübeleri ve destekleri ile beni yönlendiren ve hiçbir konuda yardımını esirgemeyen Değerli Hocam Prof. Dr. Ömer Faruk BAY'a, hayatımın her anında varlığıyla bana kuvvet veren Annem Hacer ÜLTEN'e, Amcam Vedat ÜLTEN'e, Dedem ve Babaannem Ali ve Ayşe ÜLTEN'e ve adını buraya sığdıramayacağım tüm ailem ve dostlarıma sonsuz minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

RESİMLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ 7

3. TEHDİT DEĞERLENDİRME VE SİLAH ATAMA 11

3.1. Tehdit Değerlendirme 15

3.1.1. Tehdit değerlendirme parametreleri 15

3.2. Silah Atama 18

3.3. Hava Savunma Sistemlerinde Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama Sistemleri 20

3.3.1. Sensör/radar sistemleri 21

3.3.2. Silah sistemleri 22

4. BULANIK MANTIK 25

4.1. Bulanık Mantık Genel Özellikleri 26

4.2. Bulanık Mantık Sistemlerinin Gelişimi ve Uygulama Alanları 26

4.3. Bulanık Küme 27

4.4. Üyelik Fonksiyonları 29

4.5. Bulanık Mantık Sistem Yapısı 31

5. TEHDİT DEĞERLENDİRME VE SİLAH ATAMA ARAYÜZÜ 37

5.1. Tehdit Karakteristikleri ve Kullanılan Parametreler 38

Sayfa

5.2. Bulanık Mantık ile Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama 40

5.3. Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama Arayüzünde Gerçekleştirilen Hesaplamalar 46

5.3.1. Arayüzde üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi 46

5.3.2. Senaryo 1 kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar 52

5.3.3. Senaryo 2 kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar 54

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 57

KAYNAKLAR 59

ÖZGEÇMİŞ 63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Tehdit değerlendirme parametreleri 18

Çizelge 3.2. 2D radar sistemleri özellikleri 21

Çizelge 4.1. Bulanık kontrolün tarihsel gelişimi 26

Çizelge 4.2. Bulanık mantığın kullanıldığı endüstriyel sistemler..... 27

Çizelge 5.1. Dilsel ifadeler..... 42

Çizelge 5.2. Silah sistemleri ve özellikleri..... 51

Çizelge 5.3. Senaryo-1 arayüz hesaplama sonuçları..... 53

Çizelge 5.4. Senaryo-2 arayüz hesaplama sonuçları..... 55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Hava savunma sistemi 2

Şekil 1.2. Katmanlı hava savunma sistemi 2

Şekil 3.1. OODA döngüsü 12

Şekil 3.2. Tehdit değerlendirme ve silah atama döngüsü 14

Şekil 3.3. En yakın yaklaşma noktası 16

Şekil 3.4. Hava savunma sistemi bileşenleri 20

Şekil 4.1. Keskin küme örneği 28

Şekil 4.2. Bulanık küme örneği 29

Şekil 4.3. Üçgen üyelik fonksiyonu 30

Şekil 4.4. Yamuk üyelik fonksiyonu 30

Şekil 4.5. Gauss üyelik fonksiyonu 30

Şekil 4.6. Bulanık mantık denetleyicisi blok diyagramı 31

Şekil 4.7. Bulanık mantık denetleyicisinde çıkarım işlemi 32

Şekil 4.8. Mamdani tipi bulanık çıkarım mekanizması 33

Şekil 4.9. Ağırlık merkezi yöntemi 34

Şekil 4.10. Ağırlık ortalaması yöntemi 35

Şekil 4.11. Maksimum üyelik yöntemi 35

Şekil 5.1. Önerilen karar destek sistemi blok diyagramı 38

Şekil 5.2. Tehdit değerlendirme ve silah atama bulanık mantık sistemi 41

Şekil 5.3. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü hız değişkeni değer giriş ekranı 42

Şekil 5.4. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü irtifa değişkeni değer giriş ekranı 43

Şekil 5.5. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü mesafe değişkeni değer giriş ekranı 43

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.6. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü manevra değişkeni değer giriş ekranı 44

Şekil 5.7. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü üyelik dereceleri hesaplama ekranı 44

Şekil 5.8. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü tehdit derecesi hesaplama ekranı 45

Şekil 5.9. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü tehdit seviyesi değişkeni bulanık kümeleri 50

Şekil 5.10. Hava savunma katmanları 51

Şekil 5.11. Savaş ortamında senaryo-1 52

Şekil 5.12. Senaryo-1 tehdit derecesi değişimi 53

Şekil 5.13. Savaş ortamında senaryo-2 55

Şekil 5.14. Senaryo-2 tehdit derecesi değişimi 56

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Hava savunma sistemlerinde radar örnekleri..... 22

Resim 3.2. Alçak irtifa-menzil hava savunma sistemi rapier 23

Resim 3.3. Orta irtifa-menzil hava savunma silah sistemleri örnekleri..... 24

Resim 3.4. Yüksek irtifa-menzil hava savunma silah sistemleri örnekleri..... 24

SİMGELER VE KISALTMALAR

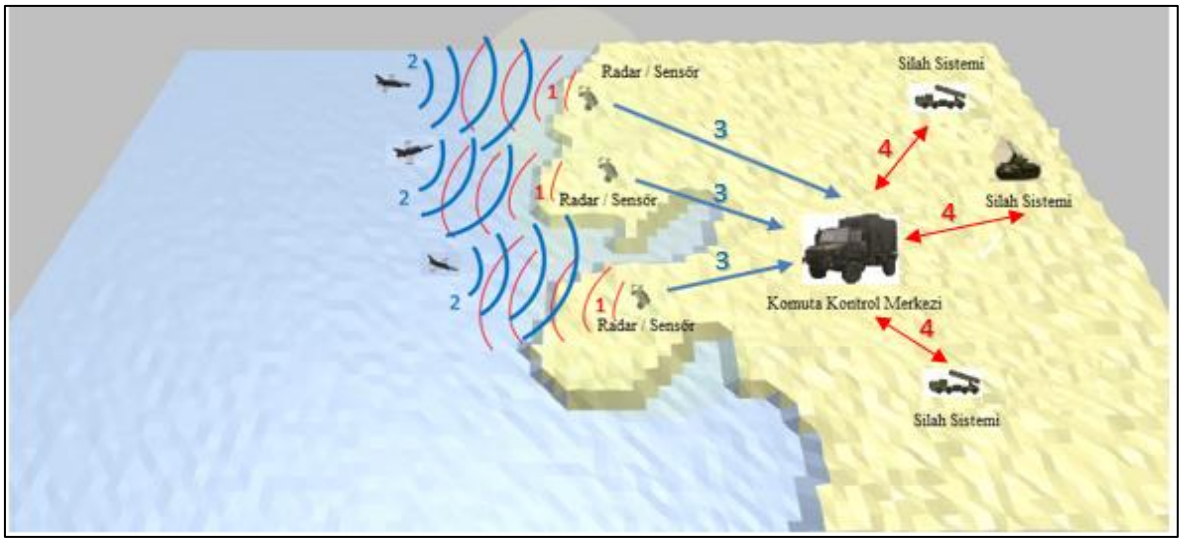
Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CPA	Closest Point of Approach (En Yakın Geçiş Noktası)
IFF	Identification Friend or Foe (Dost Düşman Tespiti)
İHA	İnsansız Hava Aracı
K2	Komuta Kontrol
NATO	North Atlantic Treaty Organization (Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü)
OODA	Observe-Orient-Decide- Act (Gözlemle- Uyumlandır- Karar Ver- Uygula)
SA	Silah Atama (Weapon Allocation – WA)
SHT	Silah Hedef Atama (Weapon Target Allocation- WTA)
SS	Silah Sistemi
TD	Tehdit Değerlendirme
TDSA	Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama
TEWA	Threat Evaluation and Weapon Assignment

1. GİRİŞ

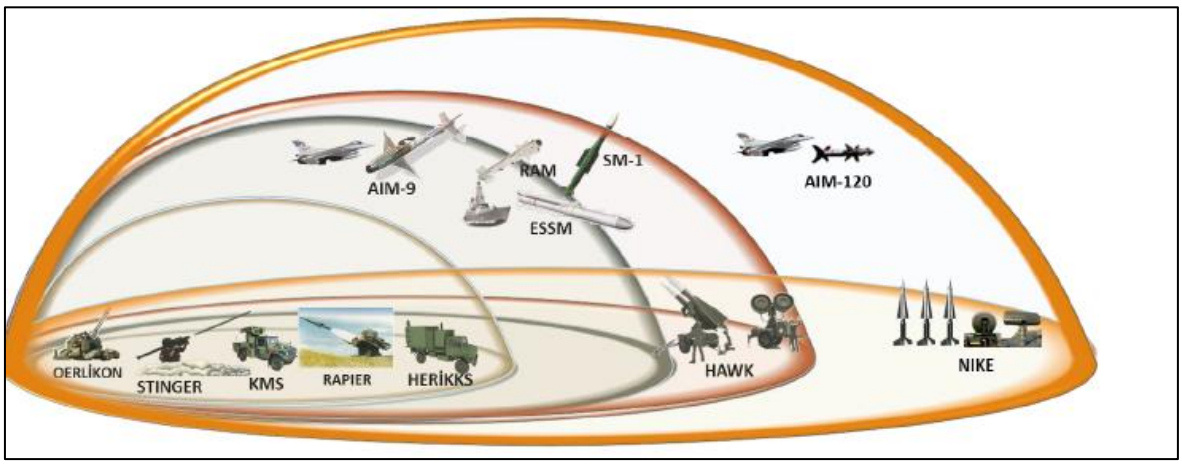
Günümüzde her ülke güvenlik ve savunma alanında çeşitli amaçlara sahiptir. Bu amaçlar arasındaki temel hedef, ülke için kritik öneme haiz bölgelere karşı tehdit olarak değerlendirilebilecek hedefleri ivedilikle tespit etmek ve gerektiğinde bu tehditleri yok etmektir [1]. Bu amaç doğrultusunda, askeri operasyonlarda hedeflerin tespit edilmesi ve yok edilmesi amacıyla hava savunma sistemleri kullanılmaktadır. Hava savunma sistemlerinin görevi; ülke için kritik öneme haiz bölgelerin düşman uçakları veya füzeleri gibi tehditler tarafından yok edilmesinden korumaktır. North Atlantic Treaty Organization (NATO) Glossary of Terms and Definitions, AAP-6 dokümanında Hava Savunma; "Düşman hava harekatının etkinliğini ortadan kaldırmak veya azaltmak için tasarlanmış tüm önlemler" olarak tanımlanmıştır [2].

Hava savunma kavramı yeni bir kavram değildir. Tarihte uçağın bir savaş aracı olarak kullanıldığı ilk savaş olan Trablusgarp Savaşı'nda, Osmanlı Devleti'nin İtalya'ya ait uçağı düşürmesiyle hava savunma kavramı ortaya çıkmıştır. Bunun yanında, I. Dünya Savaşında uçaklar ve havadan mühimmatlar saldırı amacıyla kullanılmış, II. Dünya Savaşında sırasında Almanlar tarafından V-1 ve V-2 balistik füzeleri Londra'ya saldırmak üzere kullanılmış, Mısır'a ait seyir füzesiyle İsrail gemisi batırılmış, Falkland ve İran-Irak Savaşı sırasında Exocet füzeleri saldırı amacıyla kullanılmıştır. Tüm bu olaylar hava gücünün gelişimini ve hava tehdidini gösteren önemli olaylardır [3]. Teknolojinin savaş alanında kullanımının artmasıyla birlikte hava araçları ve hava savunma sistemleri de önemli ölçüde gelişme kat etmiştir. Günümüzde taaruz amacıyla sabit ve döner kanatlı uçaklar, insansız hava araçları ve füzeler kullanılmakta iken, hava savunmasında ise roket ve top gibi birçok silah çeşidi kullanılmaktadır. Temel olarak bir hava savunma sistemi, hava hedefinin tespit edilmesini sağlayan radarlar/sensörler, hava hedefinin yok edilmesi amacıyla envanterde bulunan kullanıma uygun savunma silahları ve kararların verildiği komuta-kontrol merkezinden meydana gelir [4].



Şekil 1.1. Hava savunma sistemi

Hava savunma sistemleri farklı menzil ve irtifalarda kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Bu amaçla hava savunma sistemleri farklı menzil ve irtifalarda önleme yapabilmekte ve bu kabiliyetlerine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar kısa menzil/alçak irtifa, orta menzil/orta irtifa, uzun menzil/yüksek irtifa vb. sınıflarıdır. Bu sınıflandırma sonucunda hava savunma sistemleri kabiliyetleri doğrultusunda bazı tehdit unsurlarına karşı etkili önleme yapabilirken bazı tehdit unsurlarına karşı ise etkinlik gösterememektedir. Bu sebeple hava savunmasında, birden fazla hava savunma sistemi bir arada kullanılmaktadır. Bu tip hava savunma sistemlerine Katmanlı/Kademeli Hava Savunma sistemleri adı verilmektedir. Katmanlı hava savunma sistemleri, kısa, orta ve uzun menzilli tehdit unsurlarına karşı önleme yapabilecek hava savunma sistemlerinden meydana gelmektedir [5].



Şekil 1.2. Katmanlı hava savunma sistemi [5]

Hava savunma sistemlerinde, ilk aşamada radarlar veya sensörler vasıtasıyla gözlemler gerçekleştirilir. Şekil 1.1.'de gösterilen 1 ve 2 numaralı süreçler bu aşamayı adreslemektedir. Bu aşamada, radarlar veya sensörler vasıtasıyla hedeflerin tipi, konumu, kabiliyetleri, kinematik verileri vb. pek çok veri elde edilebilmektedir. Elde edilen veriler Şekil 1.1.'de gösterilen 3 numaralı süreçte komuta kontrol merkezine gönderilerek, operatörler tarafından değerlendirilmektedir. Bu süreç operatör tarafından işletilen bir dizi karar sürecinden meydana gelmektedir. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte radarlar veya sensörler vasıtasıyla, hedefe ait pek çok veri elde edilebilmektedir. Radar veya sensörlerin kullanımıyla birlikte hedefe ait veri sağlanmaya başladığında, operatör çok sayıda veri ile karşı karşıya kalabilir [6]. Bu aşamada operatör, kişisel tecrübeleri ve yeteneği kapsamında çok sayıda ve belirsiz özellikteki veri ışığında, gerçek zamanlı ve hızlı kararlar vermek zorundadır.

3 Temmuz 1988 tarihinde İran Havayollarına ait Airbus A300B2 tipi yolcu uçağı Dubai seferini gerçekleştirmek amacıyla 274 yolcu ve 16 mürettebatı ile İran'dan kalkış yapmıştı. Kalkışın ardından kısa bir süre sonra kulenin uçakla irtibatı kesilmiş ve yolcu uçağının düştüğü tespit edilmiştir. Yapılan incelemenin ardından, güvenliği sağlamak amacıyla bölgede bulunan ABD'ye ait Vincennes kruvazörü tarafından, yolcu uçağının saldırı hazırlığında olan bir F-14 savaş uçağı olarak algılanması ve tüm uyarılara rağmen alçalmaya devam etmesi sonucunda kruvazörden ateşlenen iki adet SM-2 füzesi sonucunda vurulduğu ve uçaktakilerin tamamının hayatını kaybettiği bildirilmiştir. 22 Mart 2003 tarihinde ABD'ye ait Patriot hava savunma füzeleri tarafından, İngiltere Hava Kuvvetleri'ne ait Tornado GR4 uçağı düşman tehdit olarak algıladığı için düşürülmüştür. Örneklerde de belirtildiği üzere bu aşamada gerçekleştirilebilecek hatalar, telafisi zor, ciddi sonuçlara yol açabilmektedir [7]. Bu sebeple, tespit edilen hava aracının tehdit derecesinin doğru olarak hesaplanması ve hesaplanan tehdit derecesine göre envanterde bulunan kullanıma uygun savunma silahlarının atanması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, operatörün bilişsel kabiliyetini arttırmak ve alınan kararların hızlı bir şekilde uygulanabilmesi için bilgisayar karar destek sistemleri karar verme sürecinde operatörlere önemli derecede destek olmaktadır.

Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama (TDSA), tespit edilen bir hedefin korunan bölgeye göre tehdit derecesinin belirlendiği (Tehdit Değerlendirme) ve bu hedefe, hedefe ait parametreler ve tehdit derecesi de dikkate alınarak envanterde bulunan kullanıma uygun

savunma silahlarının ya da angajmanların önerildiği (Silah Atama) bilgisayarlı hava savunma karar destek sistemidir. Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama hava aracının tehdit değerinin belirlenmesi ve tehdit derecesine uygun olarak envanterde bulunan savunma silahının önerilmesi olarak iki aşamada gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, tespit edilen hedefin öncelikle tehdit derecesi hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan tehdit derecesine uygun olarak envanterde bulunan savunma silahlarının tespit edilen tehdide atanması amacıyla bir karar destek uygulaması tasarlanmıştır. Tehdit derecesinin hesaplanmasında ve silah atama öneri işleminde bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda bulanık mantık yöntemi ile tehdit derecesinin hesaplanmasında MATLAB programı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada tehdit derecesinin hesaplanması ve silah atanması amacıyla C# dili kullanılarak bir karar destek arayüzü oluşturulmuş ve hesaplamalar bulanık mantık yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Silah atama aşamasında ise, katmanlı hava savunma sistemi oluşturacak şekilde üç adet hava savunma silah sistemi arasından tehdidi yok etmek amacıyla en uygun kabiliyette olan silah sistemi, bulanık mantık yöntemi ile hesaplanmış ve operatöre önerilmiştir.

Çalışma altı bölümden meydana gelmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde, çalışmanın amacı, hava savunma sistemlerinin yapısı, önemi ve görevleri hakkında genel bilgilendirme ve tehdit değerlendirme ve silah atama sisteminin tanımı ve görevleri ele alınmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, literatürde yer alan tehdit değerlendirme ve silah atama algoritmaları ve hesaplamalarını konu alan farklı çalışmalar incelenmiştir. Bölümün sonunda, gerçekleştirilen tez çalışmasının literatürdeki çalışmalara olan benzerlikleri ve farklılıkları ele alınmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, komuta kontrol süreçleri ve Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama hesaplamalarında kullanılan parametreler hakkında bilgiler verilmiştir. Hava savunma sistemlerinde işletilen Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama süreçleri ve kullanılan sistemler incelenmiş ve detayları sunulmuştur.

Çalışmanın dördüncü bölümünde bulanık mantık sistemi genel özellikleri, kullanım alanları, üyelik fonksiyonları ve bulanık mantık sistem yapısı hakkında bilgiler sunulmuştur.

Çalışmanın beşinci bölümünde, tez çalışması kapsamında tasarlanan tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü ele alınmıştır. Karar destek sisteminde kullanılan parametreler ve üyelik fonksiyonları hakkında bilgi sunulmuştur. Arayüzde bulanık mantık yardımıyla ve iki adet savaş senaryosu çerçevesinde hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar incelenmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde ise, tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar hakkında bilgi sunulmuştur.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama uygulamalarıyla ilgili literatürde farklı çalışmalar yer almaktadır. Problemin sadece tehdit değerlendirme ya da sadece silah atama aşamalarına odaklanan çalışmalar olduğu gibi Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama probleminin bir bütün olarak da değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur. TDSA uygulamalarında tehdit derecesinin hesaplanmasında iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar matematiksel yönteme dayalı hesaplamalar ve yapay zeka uygulamalarına dayalı hesaplamalardır. Matematiksel yönteme dayalı hesaplamalarda bir algoritma yardımıyla hesaplamalar gerçekleştirilir. Yapay zeka uygulamalarına dayalı hesaplama yönteminde ise Bulanık Mantık, Bayes Ağları ve Yapay Sinir Ağları gibi uygulamalar gerçekleştirilmektedir [8].

Naseem ve diğerleri tarafından [9], Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama problemi ile ilgili 1975-2016 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmaları inceleyen bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, konu ile alakalı 156 adet çalışma tespit edilmiştir. Çalışmalar, stratejik yönetim (Strategic Management), hava savunma (Air Defense), kritik karar verme (Critical Decision Making) ve karar destek sistemleri (Decision Support System) olmak üzere dört bölüme ayrılarak incelenmiştir.

Kalcı "Gemi Savunma Sistemlerinde Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama" uygulamaları isimli yüksek lisans tez çalışmasında [10], gemi savunma sistemlerinin bir parçası olarak tehdit değerlendirme ve silah atama sistemini incelemiştir. İlk aşamada, tehdidin tespit edilmesinden sonra tehdit (öldürücülük) derecesi hesaplanmış daha sonrasında ise ilk bölümde hesaplanan tehdit derecesine uygun olarak gemi savunma sistemlerinde yer alan silahların hangi sırayla kullanılması gerektiği bildirilmiştir. Tehdit derecesinin hesaplanmasında Bayes Ağları, Dempster-Shafer Teorisi ve Transfer Edilebilir İnanış Modeli olmak üzere üç farklı algoritma kullanılmıştır. Sonuçlar etkinlik ve maliyet açısından incelenerek karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Turan "Algorithms for the Weapon-Target Allocation Problem" isimli yüksek lisans tez çalışmasında [4], silahların hedefe tahsisi problemini incelemiştir. Çalışmada silah atamasına yönelik arama algoritmaları, evrimsel algoritmalar vb. incelenmiştir. Algoritmaları karşılaştırmak amacıyla bir test ortamı tasarlanmıştır. Test ortamında incelenen algoritmalar karşılaştırılmış ve iyi sonuç veren algoritmalar kullanılarak yeni bir algoritma önerilmiştir

Kumar ve Tripathi “Modelling of Threat Evaluation for Dynamic Targets Using Bayesian Network Approach” isimli makalelerinde [11], tehdit derecesi hesaplama işleminin belirsizlikler sebebiyle zor bir işlem olduğunu ve bu sebeple Bayes Ağları yönteminin kullanılmasının uygun olacağını bildirmişlerdir. Tehdit derecesi hesaplanmasını hedefin; hedef tipi, hızı, uzaklığı gibi verilerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bayes Ağları yönteminin karmaşıklığı ve düğüm sayılarının sınırlılığı sebebiyle tehdit derecesinin kısıtlı bir şekilde analiz edilebileceğini bildirmişlerdir. Ancak yine de dinamik hedefler için Bayes ağları yönteminin iyi çalıştığı tespit edilmiştir.

Liang “An Approximate Reasoning Model for Situation and Threat Assesment” isimli makalesinde [12], gemi savunma sistemlerinde hava hedeflerine ait tehdit derecesinin hesaplanması işlemini gerçekleştirmiştir. Tehdit derecesi, hava hedefine ait hız, irtifa, en yakın geçiş noktası (Closest Point of Approach) ve mesafe parametrelerini kullanılarak bulanık mantık yardımı ve MATLAB programı ile hesaplanmıştır. Bulanık mantık tabanlı hesaplama yöntemi dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak giriş ve çıkış değişkenleri tanımlanmış, tanımlanan her değişken için üyelik fonksiyonları oluşturulmuş, kurallar tanımlanmış ve son olarak ise bulanık mantık yöntemi ile tehdit derecesi hesaplanmıştır. Çalışmada tehdit derecesinin hesaplanması için hava unsurlarına ait 18 adet parametre bildirilse de, çalışmada kullanılan dört parametrenin tehdit derecesinin hesaplanmasında yeterli olduğu bildirilmiştir.

Rizwan ve arkadaşları "Threat Evaluation of Suspicious Target for Cognitive Radar” isimli çalışmalarında [13], hedefe ait irtifa, hız ve mesafe özelliklerini kullanarak tehdit derecesinin hesaplanması işlemini gerçekleştirmiştir. Tehdit derecesinin hesaplanmasında MATLAB tabanlı bir bulanık mantık kontrol sistemi kulllanılmıştır. Tehdit derecesinin hesaplanmasında kullandıkları bulanık mantık tabanlı sistemin hesaplamaları sonucunda ilgili probleme optimal bir çözüm buldukları bildirilmiştir.

Lu ve arkadaşları “Air Targets Threat Assessment Based on Fuzzy Rough Reasoning” isimli çalışmalarında [14], hedefe ait tip, hız, karıştırma yapabilme yeteneği ve irtifa gibi temel parametreleri kullanarak bulanık mantık tabanlı bir tehdit derecesi hesaplama uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bulanık yaklaşımlı kümeler (fuzzy rough sets) kullanılmış ve tehdit derecesi hesaplanmıştır.

Johansson ve Falkman “Bayesian Network Approach to Threat Evaluation with Application to An Air Defense Scenario” isimli çalışmalarında [15], tehdit derecesinin hesaplanmasında dikkate alınan parametreleri kabiliyet ve niyet olarak sınıflandırmışlar ve Bayes Ağları yöntemi ile tehdit derecesini hesaplamışlardır. Çalışmada gerçekleştirilen dinamik senaryoda; iki adet Boeing 737, bir adet F-16 ve bir adet B-2 uçağı tehdit olarak kullanılmış ve zamana bağlı olarak değişen tehdit derecesi değerleri hesaplanmış ve incelenmiştir. Sonuç olarak, dinamik senaryoda tehdit derecesinin hesaplanmasında Bayes Ağları yönteminin iyi çalıştığı belirtilmiştir.

Johansson ve Falkman “A Comparison between Two Approaches to Threat Evaluation in an Air Defense Scenario” isimli çalışmalarında [16], tehdit derecesinin hesaplanmasında kullanılan Bayes ağları ve bulanık mantık yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Bayes ağları ile hesaplama yaparken, tehdit derecesinin hesaplanmasında dikkate alınan parametreleri kabiliyet ve niyet olarak sınıflandırmışlardır. Bulanık mantık yöntemi ile hesaplama gerçekleştirirken ise, hedefe ait hız, mesafe ve TBH (time before hit) parametrelerini kullanarak MATLAB programı vasıtasıyla hesaplamaları gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada oluşturulan senaryo çerçevesinde sonuçlar incelenmiştir. Sonuç olarak her iki yöntemin de artıları ve eksileri olduğunu belirtmişlerdir. Ancak bulanık mantık yönteminin kolay oluşturulabilmesi ve daha pürüzsüz sonuçlar vermesinin avantajlı olduğu bildirilmiştir.

Dongfeng ve diğerleri “Threat Assessment for Air Defense Operations Based on Intuitionistic Fuzzy Logic” isimli makalelerinde [17], tehdit derecesinin hesaplanmasında sezgisel bulanık mantık (Intuitionistic Fuzzy Logic- IFL) yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada, üç farklı hedefe ait mesafe, hız, irtifa, hedef tipi, en yakın geçiş noktası (Closest Point of Aproach-CPA) ve karıştırma kabiliyeti parametreleri dikkate alınarak sezgisel bulanık mantık yardımıyla tehdit dereceleri hesaplanmıştır. Tehdit derecesinin hesaplanması aşamasında çok büyük, karmaşık ve çok fazla belirsiz verinin olması sebebiyle sezgisel bulanık mantık kullanmanın avantajlı olacağı bildirilmiştir.

Beser ve diğerleri “Bulanık Mantık Kullanarak Hava Savunma Karar Destek Sistemi Tasarımı” isimli çalışmalarında [18], savaş gemileri için hava hedeflerinin tehdit derecesinin belirlenmesinin gösterilecek reaksiyonun seçilmesi açısından büyük önem arz ettiğini belirtmişlerdir. Bu amaçla hava hedefine ait hız, irtifa, mesafe ve tırmanma oranı parametrelerini kullanan bulanık mantık tabanlı bir karar destek sistemi tasarlamışlardır. Beliritilen giriş değerleri ve seçilen senaryolar kapsamında tehdit dereceleri hesaplanmıştır.

Azimirad ve Haddadnia “Target Threat Assessment Using Fuzzy Sets Theory” başlıklı çalışmalarında [19], savaş gemileri için algılanan bir hava hedefinin tehdit derecesini hesaplamayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında tehdit derecesinin hesaplanması için bulanık mantık tabanlı bir karar destek sistemini MATLAB programı vasıtasıyla tasarlamışlardır. Bulanık mantık tabanlı karar destek sisteminde giriş olarak hedefe ait hız, mesafe, irtifa, dost düşman tespiti (identification friend or foe-IFF), mühimmat zarfı gibi parameterlerini kullanmışlardır. Giriş parametrelerinin yanında 331 adet kural yardımıyla bulanık mantık ile hesaplama işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada dört adet dinamik senaryo oluşturulmuş ve sonuçlar incelenmiştir. Hesaplamalar sonucunda, ilgili parametreler kullanılarak bulanık mantık tabanlı tehdit derecesi hesaplanmasının operatöre karar verme sürecinde destek olduğu bildirilmiştir.

Coşkun “Hava Savunma Sistemlerinde Bulanık Mantık Tabanlı Tehdit Değerlendirmesi ve Derecelendirilmesi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında [3], karaya konuşlu bir hava savunma sistemi tarafından tespit edilen hava hedeflerine ait tehdit derecesini bulanık mantıklı tabanlı bir model yardımıyla hesaplamayı amaçlamıştır. MATLAB programında oluşturulan bulanık mantık tabanlı modelin giriş değerleri için, hedefe ait hız, mesafe, irtifa, radar kesit alanı, karıştırma sinyal seviyesi ve hedefin en yakın yaklaşma noktası parametreleri kullanılmıştır. Bulanık mantık vasıtasıyla gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, elde edilen sonuçlar uzmanlar tarafından bildirilen sonuçlar ile istatistiksel olarak kıyaslanmıştır. Bulanık mantık ile hesaplanan sonuçlar ile uzmanlar tarafından bildirilen sonuçların arasında kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında, literatürdeki çalışmalara benzer olarak tehdit değerlendirme ve silah atama süreçlerindeki hesaplamalar bulanık mantık yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Ancak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bulanık mantık yöntemi kullanılan çalışmalarda hesaplamaların yapılması amacıyla MATLAB programı kullanılmıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak tehdit değerlendirme ve silah atama süreçlerindeki hesaplamaların yapılması amacıyla bir karar destek sistemi önerilmiştir. Önerilen karar destek sisteminde bulanık mantık hesaplamalarının gerçekleştirilmesi amacıyla ise bir arayüz tasarlanmış ve bu arayüz yardımıyla sonuçlar incelenmiştir.

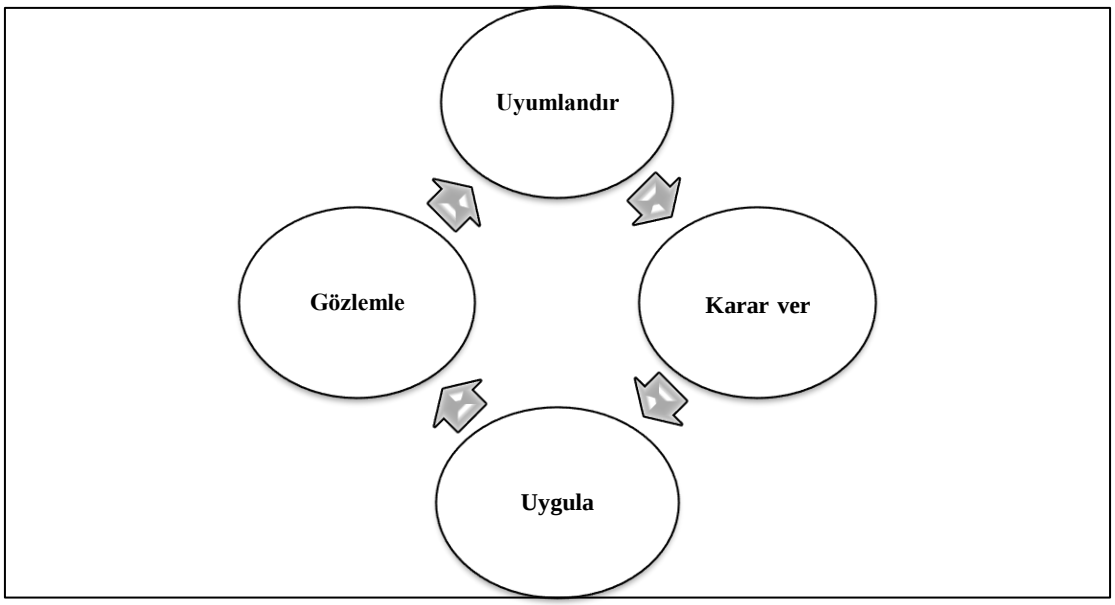
3. TEHDİT DEĞERLENDİRME VE SİLAH ATAMA

Muharebe alanında çok karmaşık yapıda, çeşitte ve sayıda tehdit unsurları yer almaktadır. Aynı zamanda bu tehdit unsurlarına karşı kullanılabilecek kısıtlı sayıda kaynak bulunmaktadır. Kısıtlı sayıda kaynağın etkili ve verimli kullanılabilmesi ve uygulanabilecek prosedürlerin belirlenebilmesi için bir dizi karar süreçleri gerekmektedir. Hava savunma konseptinde bu karar süreçleri komuta kontrol merkezleri vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

ABD Hava Kuvvetleri'ne ait Komuta Kontrol Doktrini dokümanında, komuta kontrol; "askeri bir görevin icra edilmesi amacıyla atanmış bir operatör/komutan tarafından bizzat ya da sorumluluğunda bulunan kuvvetler vasıtasıyla yürütülen bir dizi yetki, yönlendirme ve karar süreci" olarak tanımlanmıştır. Komuta ve kontrol (K2) faaliyetleri, operatör tarafından sorumluluğunda bulunan destek kuvvetleri ve operasyonları;

- Planlama,
- Koordine etme
- Kontrol etme gibi süreçleri kapsamaktadır [20].

Komuta kontrol süreçlerinde karar döngüsü, temel olarak kabul gören yaygın bir kullanımı olan eski bir savaş pilotu John Boyd tarafından önerilen OODA döngüsü (Observe- Orient- Decide- Act) (Gözlemle- Uyumlandır- Karar ver- Uygula) olarak anılan model vasıtasıyla gerçekleştirilir. OODA döngüsünün ilk aşaması olan gözlemleme aşamasında doğru kararlar alınabilmesi için çevrenin doğru bir şekilde gözlemlemlenmesi gerekmektedir. Bu gözlemleme tipik bir sensör ya da radar gibi sistemler vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Uyumlandırma aşamasında ise bir önceki aşama olan gözleme aşamasında elde edilen veriler tecrübe, eğitim, talimat ve analiz yeteneğine göre filtrelenir. Bu işlem sonucunda elde edilen bilgi karar aşamasında girdi olarak kullanılır. Gözlemleme ve uyumlandırma aşamalarının sonucunda bir ya da daha çok sayıda seçenek elde edilebilir. Karar verme aşamasında bu seçenekler seçilmekte ya da seçilmemektedir. Uygula aşaması ise seçilen bir eylem ya da planının yürütülmesini temsil etmektedir. Bu eylemler taaruz emri, talimatların iletilmesi ya da daha iyi bir gözlem için yeniden sensörlere odaklanılması olabilmektedir. [21].



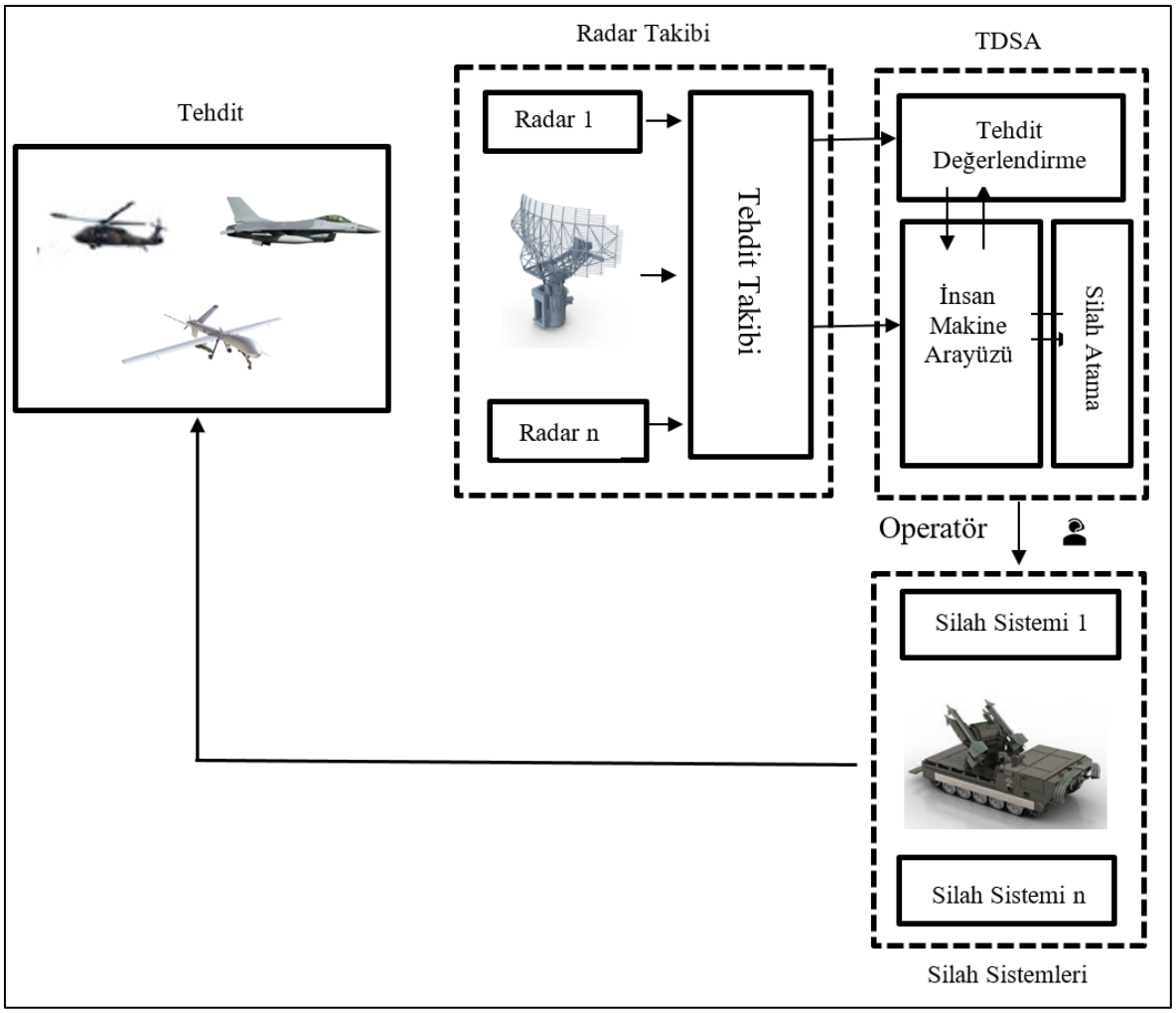
Şekil 3.1. OODA döngüsü [22]

Muharebe ortamında komuta kontrol süreçlerinin ana amacı; kritik önem arz eden bölgelere ya da alanlara karşı tehdit oluşturulabilecek unsurları tespit etmek ve gerekli müdahaleleri zamanında gerçekleştirmektir. Bu alanlar binalar, köprüler, askeri teçhizatlar, askeri gemiler vb. olabilmektedir. Böyle bir durumda, tehdit unsurlarını tespit etmek ve gerekli müdahaleleri gerçekleştirmek bir dizi karar süreçlerini beraberinde getirmektedir. Savaş ortamında yoğun stres altında karar verebilmek için güçlü bir muhâkeme yeteneği ve uzun yıllar sonucunda elde edilmiş tecrübe gerektirmektedir. Karmaşık savaş ortamında operatör, tüm hedefler hakkında gerçek zamanlı olarak farkında olmak ve hedefleri takip etmek zorundadır. Tüm bunların yanı sıra aynı zamanda operatör mevcut kaynaklar hakkında da farkındalık sahibi olmak zorundadır [1]. Bu süreçte, operatörün çok sayıda farklı görevi aynı anda icra etmesi ve çok hızlı karar vermek zorunda olması gibi sebeplerden dolayı hedef hakkındaki durumu belirlemede kullanılabilecek önemli bilgileri tespit etmesi ve tanımlaması zorlaşabilir [23]. Gelişen teknoloji ile birlikte savaş ortamında kullanılan silahların ve tehdit unsurlarının kabiliyetleri artmış ve bu sebeple de karar verme süreçleri daha da zorlaşmıştır. Hava savunma konseptinde günümüzün gelişmiş tehdit unsurlarını tespit edebilmek ve silah yeteneklerinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için sadece operatör deneyimleri yeterli olmamaktadır. Bu sebeple operatör deneyimlerinin yanı sıra ilave karar destek sistemleri de kullanılmaktadır.

Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama sistemi hava hedeflerinin tehdit derecesinin belirlenmesinde ve tespit edilen hava hedeflerine karşı uygun kaynakların (silah ya da prosedürler) tahsis edilmesinde operatöre katkı sunan bir karar destek sistemidir. TDSA sisteminde öncelikle hava hedeflerinin her birine, savunulan varlık için oluşturdukları tehlike derecesine göre bir tehdit derecesi atanır. Daha sonra ise hesaplanan tehdit derecesine göre hava tehditlerinin hayatta kalma olasılığını en aza indirecek şekilde silah sistemlerinin tehditlere tahsisini optimize etmeye çalışır. Bu silah tahsisleri son kararın verilmesi ve uygulamaların gerçekleştirilmesi amacıyla makine insan arayüzü (Human Machine Interface HMI) aracılığıyla operatöre iletilir. Bu aşamada, TDSA sistemi tarafından önerilen silah tahsis işlemleri operatöre sadece destek sunmakta ve son karar operatör tarafından verilmektedir. Halihazırda dünya çapında pek çok TDSA sistemi kullanılmasına rağmen bu sistemlerin gizlilik dereceleri dolayısıyla bu sistemlerin çalışmasına dair açık kaynaklarda ayrıntılı açıklamalar mevcut değildir [24].

K2 sistemlerinde TDSA süreçleri;

- Hava tehididinin tespit edilmesi,
- Hava tehdidinin takip edilmesi,
- Tehdinin tanımlanması ve sınıflandırılması,
- Tehdit derecesinin hesaplanması ve,
- Silah atama önerilerinin sunulması aşamalarından meydana gelmektedir. Bu süreçler Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Tehdit değerlendirme ve silah atama döngüsü

Saldırı sırasında TDSA sistemleri birçok işlemi yerine getirmek zorundadır. Öncelikle sürecin erken aşamalarında tehdidin tespit edilmesi ve tanımlanması işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada tehdidin tanımlanması ve sınıflandırılması genellikle operatörlerin tecrübeleri ve istihbari bilgiler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Ayrıca bir hava aracının kimliğinin doğrulanması için Dost-Düşman Sınıflandırması (Identification Friend or Foe – IFF) da kullanılabilmektedir. Hava araçlarının tanımlanması işleminin bitmesine müteakiben, bu hava araçları dost, düşman ya da nötr olarak sınıflandırılabilir. Hava aracının düşman ya da nötr olarak sınıflandırılması halinde, Tehdit Değerlendirme (TD) süreci işletilir. Zamanla radar ve sensör sistemlerine yaklaşan hava tehditlerine yönelik öznitelik çıkarımları gerçekleştirilir ve tehdit dereceleri belirlenir. Tehdit derecelerinin belirlenmesinden sonra ise envanterde bulunan kullanıma uygun savunma silahlarının ya da kaynaklarının tespit edilen hedeflere yönlendirildiği Silah Atama (SA) işlemleri

gerçekleştirilir. Operatör, tespit edilen tehditlere karşı koymak için mevcut zaman içerisinde en uygun şekilde savunma silahlarının tahsisine karar verir [24].

3.1. Tehdit Değerlendirme

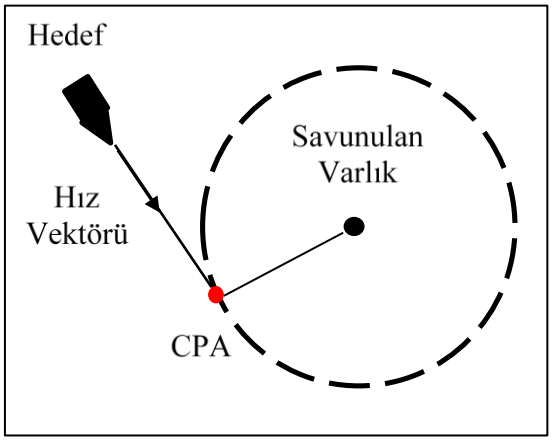
Tehdit, zarar verme ya da yok etme niyetinin bir ifadesi olarak tanımlanmıştır. Tehdit değerlendirmesi ise bir tehdit unsurunun ülkenin savunma güçlerine ya da çıkarlarına karşı zarar verme ya da yok etme niyetinde olup olmadığını belirleme sürecidir [25]. Çok sayıda tehdit unsurunun bulunduğu savaş ortamında savunulan varlıklara göre hava hedeflerinin tehdit derecesinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi önemlidir. Tehdit değeri olarak bilinen tehdit derecesi 0 (en az derecede tehdit) ve 1 (en yüksek derecede tehdit) olmak üzere 0-1 arasında bir değer alır. Daha yüksek dereceli tehdit daha tehlikeli hedef anlamına gelmektedir. Bu sebeple birden fazla tehdidin yer aldığı savaş ortamında, tehditleri derecelerine göre sıralamak da önemli bir görev olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek tehdit derecesi hesaplanan hedefe daha çok radar tahsis edilerek daha doğru tehdit derecesi hesaplanması gerçekleştirilebilir [15] ya da yüksek tehdit derecesine sahip hedefe en etkili silah tahsisi gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda, tehdit değerlendirme aynı zamanda silah tahsis işleminin de bir girdisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu aşamada daha küçük tehdit dereceli hedefe daha büyük bir tehdit dereceli hedef olarak öncelik vermek ciddi sonuçlara yol açabilir [26]. Özellikle askeri uygulamalarda tehdit değerlendirme ve hedef sınıflandırmasında yapılacak küçük hatalar büyük can ve mal kayıplarına neden olabilir [19]. Bu sebeple tehdit değerlendirme süreci zorlu ve karmaşık bir süreçtir. Operatör büyük miktarda karmaşık ve belirsiz veriyi işlemek zorunda kalır.

3.1.1. Tehdit değerlendirme parametreleri

Operatör, radarlar ya da sensörlerden elde edilen hedefe ait çeşitli parametreleri kullanarak tehdit derecesinin hesaplamasını gerçekleştirir. Daha doğru bir tehdit derecesinin hesaplanması için hedefe ait düzgün seçilmiş ve doğruluk oranı yüksek parametreler kullanılmalıdır. Literatür incelendiğinde tehdit derecesinin hesaplanmasında çeşitli parametreler kullanılmış olmasına rağmen bu parametreler genellikle yakınlık (proximity), kabiliyet (capability) ve niyet (intent) başlıkları altında toplanmıştır [7].

Yakınlık parametreleri

Yakınlık parametreleri hedefin, savunulan varlığa olan yakınlığını ölçen parametrelerdir. Yakınlık parametreleri arasında en önemlilerinden bir tanesi en yakın yaklaşma noktasıdır. (Closest Point of Approach-CPA) CPA, hedefin vektörel hız yönü ile savunulan varlık arasındaki mesafenin en kısa olacağı noktadır. CPA uzaklığı ne kadar büyük olursa tehdit derecesi o kadar küçük olur.



Şekil 3.3. En yakın yaklaşma noktası (CPA)

Diğer bir yakınlık parametresi ise CPA'ya ulaşma zamanıdır. (Time to CPA- TCPA) TCPA, CPA uzaklığının hedefin hız değerine (V) bölünmesiyle elde edilir. CPA uzaklığının kat edilmesi için gereken süre ne kadar uzun olursa tehdit derecesi o kadar düşük olur.

$$TCPA = \frac{CPA}{V} \tag{3.1}$$

CPAIUOT (CPA in Units of Time) ise hedefin CPA noktasına ulaşmasından sonra savunulan varlığa ulaşması için gereken süre olarak ifade edilmektedir.

$$CPAIUOT = \frac{dCPA}{V} \tag{3.2}$$

Burada dCPA değeri, hedefin CPA noktasına ulaştıktan sonra savunulan varlığa olan mesafesini temsil etmektedir. CPAIUOT değeri ne kadar büyük olursa tehdit derecesi o kadar düşük olmaktadır.

Vurma zamanı (Time Before Hit- TBH), hedefin savunulan varlığı vurması için gereken süre olarak ifade edilmektedir. TBH değerinin düşük olması hedefin tehdit derecesinin büyük olması anlamına gelmektedir.

$$TBH = TCPA + CPAIOUT \tag{3.3}$$

$$TBH = \frac{CPA + dCPA}{V} \tag{3.4}$$

Yakınlık parametrelerinden bir diğeri ise mesafe parametresidir. Mesafe, hedef ile savunulan varlık arasındaki uzaklıktır. Hedef savunulan alandan ne kadar uzakta ise tehdit derecesi o kadar düşük olarak hesaplanmaktadır. Hedef savunulan varlığı yaklaştıkça tehdit derecesi de kademeli olarak artmaya başlar.

Kabiliyet parametreleri

Kabiliyet parametreleri, tespit edilen bir hedefin savunulan alana zarar verme ya da yok etme yeteneğini ifade etmektedir. Hedefin zarar verme yeteneğini hesaplamak için hedefin belirli özelliklerini bilmek gerekir. Bu parametreler arasından ana parametre hedef türüdür. Hedef türü, IFF sorgulamasına cevap, elektronik destek önlemleri ve hız gibi parametreler yardımıyla hedefin kimliği hakkında bilgi vermektedir.

Hedef türü belirlendikten sonra hedefin, savunulan varlıklara angajmanı sırasında hangi silahları kullanılabileceği hedefin türü yardımıyla belirlenebilir.

Yine başka bir kabiliyet parametresi ise yakıt kapasitesidir. Hedefin türü belirlenerek, hedefin yakıt kapasitesi tespit edilebilir. Hedefin yakıt kapasitesi ne kadar düşükse tehdit derecesi de o oranda düşük hesaplanmaktadır [4].

Niyet parametreleri

Niyet parametreleri, hedefin savunulan varlığa karşı zarar verme amacının tespit edilmesinde kullanılan parametrelerdir. Niyet, bir hedefe öncelik vermek ve hedefe angaje olmak için uygun taktikleri ve uygun silahları seçmek için, bir hedefin tahmin edilen faaliyetlerine

odaklandığından, bir hedefin niyetini bilmek bir operatör için çok önemlidir [1]. Ancak niyet parametrelerinin değerlendirilmesi yakınlık ve kabiliyet parametrelerine göre daha zordur. [4]. Hedefe ait kinematik veriler niyet parametrelerine örnek olarak gösterilebilir. Hedefin irtifası, hızı ve baş açısı (istikameti) birlikte değerlendirildiğinde hedefin savunulan varlığa saldırı gerçekleştirme niyetinin önemli bir göstergesi olabilir [27]. Hedef niyetinin önemli göstergelerinden bir tanesi de son manevralarının sayısıdır [23]. Tespit edilen bir hedefin normalden fazla manevra yapması, manevra yapmayan bir hedefe göre daha fazla tehdit olarak algılanmasına sebep olur. Örnek olarak ticari hava araçları tipik olarak sabit hızda, sabit irtifada ve sabit bir çizgide ilerlemektedir. Ayrıca bu tip hava araçları, belirlenmiş hava yollarını kullanma ve sözlü ikazlara yanıt verme eğilimindedirler. Uçakların, bu tür beklenen davranışlardan sapan eylemlerde bulunması niyetinin düşmanca olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir [7].

Tehdit değerlendirilmesi işlemi sonucunda tehdit derecesinin hesaplanması için hedefe ait parametrelerin tespit edilebilmesi önemli bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu süreçte, tehdidin yakınlık, kabiliyet ve niyet gibi ana parametreleri kullanılarak tehdit derecesi hesaplanmaktadır. Tehdit derecesi hesaplanırken kullanılan bu parametrelerden bazıları Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Tehdit değerlendirme parametreleri

Parametre Adı	Tanımı
Hız	Hedefin yaklaşık olarak tespit edilen hızı
İrtifa	Hedefin yerden km ya da feet cinsinden yerden yüksekliği
Mesafe	Hedefin savunulan varlığa olan uzaklığı
IFF	Bir uçağın dost ya da düşman olarak tanımlanması
CPA	Hedefin vektörel hız yönü ile savunulan varlık arasındaki mesafenin en kısa olacağı noktadır.
Manevra	Hedefin gerçekleştirmiş olduğu son manevra sayıları
Mühimmat Bırakma Zarfı	Hedefin taşıdığı mühimmatların etkili olduğu mühimmat zarfı içerisinde olup olmadığı
ESM	Electronic Support Measures. Hedefin elektronik destek sistemlerini kullanıp kullanmadığı
Kanat	Hedefin kanat profilinde mühimmat taşıyıp taşımadığı
İstikamet (Heading)	Hedefin savunulan varlığa doğru mu yoksa aksi yönde mi uçtuğu bilgisi

3.2. Silah Atama

Silah atama (Weapon Allocation-SA) mevcut silahlarla tespit edilen tehditlerin uyumlu çiftler halinde eşleştirilmesi anlamına gelmektedir. Paradis ve arkadaşları gerçekleştirdikleri

çalışmada silah atamayı;" Tespit edilen tehditlere müdahale etmek veya karşı koymak için silah sistemlerinin tehditlere karşı reaktif olarak atanması" olarak tanımlamıştır [25]. Literatürde silah atama problemi, Silah Atama (Weapon Allocation-WA/SA) ya da Silah-Hedef Tahsisi (Weapon-Target Allocation-WTA/SHT) olarak karşımıza çıkmaktadır. Kısaca SA; m tane silah ve n tane tehdidin birbirleriyle eşleştirildiği bir optimizasyon sürecidir. Bu süreçte SA, gerçek zamanlı ve angajman kurallarına uygun olarak yerine getirilir.

SA sürecinde;

- Tüm angajman işlemleri gerçekleştirildikten sonra hedefin beklenen hayatta kalma değerini minimuma indirmek,
- Savunulan varlıklara verilebilecek hasarı minimuma indirmek ya da
- Savunulan varlıkların hayatta kalma oranını maksimum değerde tutmak için silah atama işlemleri gerçekleştirilir [4].

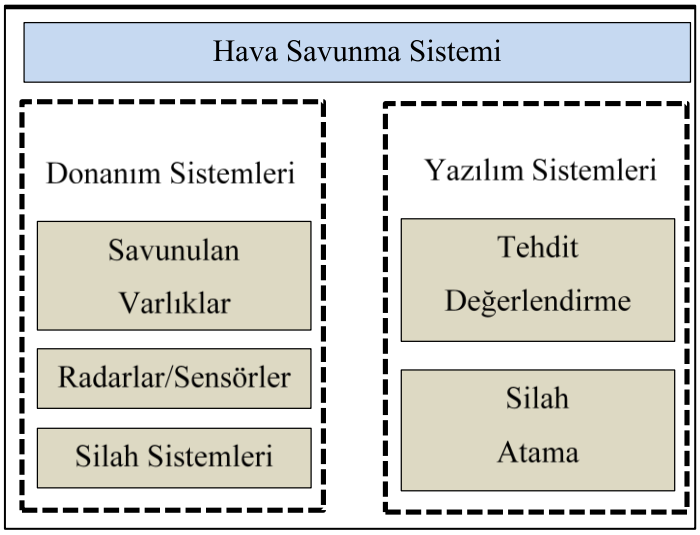
Silah Atama problemi birçok yaklaşım açısından ele alınabilmektedir. Tekli platform anlayışında, hedeflere karşı en uygun silahın atama işleminin tek bir platformdan gerçekleştirildiği belirtilir. Kuvvetlerin koordinasyonu anlayışında ise, bir tehdide müdahale etmek veya karşı koymak için en uygun silahın belirlenmesiyle ilgili atamanın yapıldığı bir komuta ve kontrol platformu ifade edilir. Bir diğer yaklaşım ise tekli hedef yaklaşımıdır. Tekli hedef yaklaşımında en iyi silah sisteminin en yüksek öncelikten en düşük önceliğe doğru sırayla her bir tehdide atanmasını sağlayacak şekilde silah sistemlerinin sıralı olarak atanmasını ifade eder. Çoklu hedef yaklaşımında ise silah sistemlerinin mevcut tehdit gruplara ataması eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir.

SA problemi statik ve dinamik olmak üzere iki versiyonda formülize edilebilir [28]. Statik versiyonda, belirli bir zamanda silahların ve hedeflerin sayısı, yerleşimleri, silahların hedefleri yok etme olasılıklarıyla birlikte kesin olarak biliniyorsa tek seferde silah atama işlemi gerçekleştirilebilmektedir [29]. Dinamik versiyon ise statik versiyona göre daha karmaşık bir süreçtir ve sorunu çözmek için daha fazla zaman ve kaynak gerekmektedir [1]. SA probleminin dinamik versiyonunda, problem birçok aşamada değerlendirilir. Her aşamadan sonra sonuçlar yeniden değerlendirilir. Yeni aşamada gerçekleştirilecek silah atama işlemleri bir önceki aşamadaki kayıp ve kazançlar değerlendirilerek gerçekleştirilir. Bu sürece "ateş et-bak-ateş et stratejisi" adı verilir [30].

3.3. Hava Savunma Sistemlerinde Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama Sistemleri

Hava savunma sistemleri bir veya birden fazla kritik öneme haiz varlık ya da bölgeyi savunmak amacıyla görev yapan sistemlerdir. Tipik bir hava savunma sistemi Şekil 1.1.'de gösterilen sistemlerden meydana gelmektedir. Bir hava savunma sistemi içerisinde savunulan varlığı düşman tehditlerine karşı savunmaya yardımcı olabilecek bir dizi sensör ya da radarlarla birlikte silah sistemleri de yer almaktadır. Sensörler ya da radarlar hava sahasına giren hedefleri tespit etmek için kullanılırken silah sistemleri ise savunulan varlıklara karşı tehdit olarak değerlendirilen hedeflere karşı kullanıma uygun silah sistemlerini ifade etmektedir.

Hava savunma sistemlerinde ilk aşamada sensörler/radarlar vasıtasıyla hedefler tespit edilir. Hedefin tespit edilmesine müteakiben hedefin tanımlanması ve sınıflandırılması işlemleri gerçekleştirilir. Hedefin tanımlanması ve sınıflandırılmasından sonra, savunulan varlıklara göre tehdit oluşturabileceği değerlendirilen hedeflere karşı Tehdit Değerlendirme süreçleri işletilir. Tehdit değerlendirme süreçlerinin sonucunda ise tehdit oluşturabilecek hedeflere yönelik olarak hava savunma sistemlerinde bulunan kullanıma uygun silahların tahsis edildiği silah atama işlemleri gerçekleştirilir. İlgili tehdit değerlendirme ve silah atama çıktılarının birleştirilmesi sonucunda hava savunma operatörüne karar desteği sağlayan TDSA sistemi hava savunma sisteminde işletilmiş olur. Hava savunma sistemlerinde yer alan sistemler donanım ve yazılım sistemleri olarak iki'ye ayrılabilir [31].



Şekil 3.4. Hava savunma sistemi bileşenleri

3.3.1. Sensör/radar sistemleri

Savaş ortamında hava hedeflerinin savunulan varlıklara göre tehdit derecelerinin belirlenebilmesi için öncelikle o hedeflerin tespit edilmeleri gerekmektedir. Hedeflerin tespit edilmesinden sonra ise o hedeflere ait çeşitli bilgilerin elde edilmesi tehdit değerlendirme süreçleri açısından önem arz etmektedir. Tespit edilen hedefe ait bilgilerin nitelik ve nicelik yönünden kalitesi ve doğruluğu hava savunma süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Hava hedeflerinin tespiti ve hedefe ait çeşitli bilgiler hava savunma sisteminde bulunan sensör/radar sistemleri vasıtasıyla elde edilir.

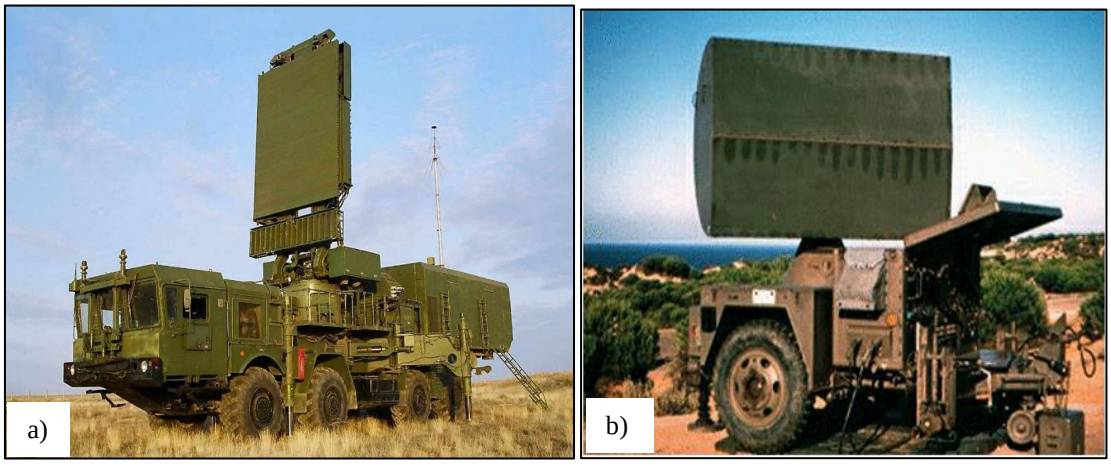
Askeri alanda hava hedeflerinin savunulan varlıklara göre tehdit derecelerinin belirlenebilmesi için hava savunma sistemlerinde pek çok sayıda ve çeşitte (termal, optik, elektromanyetik vb.) radar/sensör sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, tehditleri tespit etmek için hava savunma sisteminin gözü olarak görev yapmaktadır. Bu sistemler vasıtasıyla hedefe ait irtifa, hız ve yön gibi çeşitli bilgiler elde edilebilmektedir [31]. Hava savunma sistemlerinde genel anlamda 2 boyutlu (2D) ve 3 boyutlu (3D) radar sistemleri görev yapmaktadır. 2D hava savunma radarları hedefe ait menzil ve azimut açısı bilgilerini tespit etme yeteneğine sahip iken 3D hava savunma radarları ise bu bilgilerin yanında hedefe ait irtifa bilgilerini de tespit edebilir.

Çizelge 3.2. 2D radar sistemleri özellikleri [7]

Radar Tipi	Güncelleme Oranı (Update Rate)	Mesafe (Range)	Mesafe Doğruluğu (Range Accuracy)
Kısa Menzil	≤ 1 saniye	0-50 km	5-20 m
Orta Menzil	2-4 saniye	50-200 km	20-100 m
Uzun Menzil	10 saniye	200 km ≥	100-500 m

Çizelge 3.2.'de 2D radar sistemlerine ait tipik özellikler gösterilmiştir. Çizelge 3.2.'den de görülebileceği üzere uzun menzilli radar sistemleri düşük güncelleme oranına ve daha uzaktaki hedefleri tespit edebilme kabiliyetlerine sahiptir. Bu özellikler sebebiyle olası hedeflerin erken tespit edilmesi için uzun menzilli radar sistemleri hava savunma sistemlerinde görev yapmaktadır. Tespitin bu aşamasında, tespit edilen hava araçlarıyla ilgili pek çok özellik yüksek bir doğruluk oranında tespit edilemeyebilir. Bu nedenle hedefe ait daha yüksek doğrulukta özelliklerin tespit edilmesi için hava savunma sistemlerinde kısa ve orta menzil radar sistemleri kullanılmaktadır. Tehdit kısa ve orta menzil radar sistemlerine

yaklaştıkça, tehdit değerlendirme aşamasında kullanılabilecek tehdide ait yüksek doğrulukta veriler elde edilebilir.



Resim 3.1. Hava savunma sistemlerinde radar örnekleri a) S-400 Sistemi 96L6 hava savunma radarı b) HAWK sistemi AN/MPQ 55 hava savunma radarı

3.3.2. Silah sistemleri

Hava savunma sistemlerinde tehditlerle mücadele etmek için silah sistemleri kullanılmaktadır. Operatör, tespit edilen bir tehdit unsurunu ortadan kaldırmak ya da tehdit unsuruna karşı caydırıcı işlemleri gerçekleştirmek amacıyla hava savunma sisteminde bulunan uygun silah sistemlerinin kullanımına karar vermektedir. Genel anlamda savunma sistemlerinde kullanılan silah sistemleri savunma amaçlı (soft kill) silahlar ve öldürücü (hard kill) silahlar olarak sınıflandırılabilir. Hava savunma sistemlerinde ise genel anlamda top silahları, füze sistemleri ve lazer sistemleri kullanılmaktadır. Bu silah sistemlerinin amaçları tespit edilen tehdidi yok etmek olduğu için hard kill silahlardır. Aynı zamanda hava savunma sistemlerinde soft kill silahlar da kullanılabilmektedir.

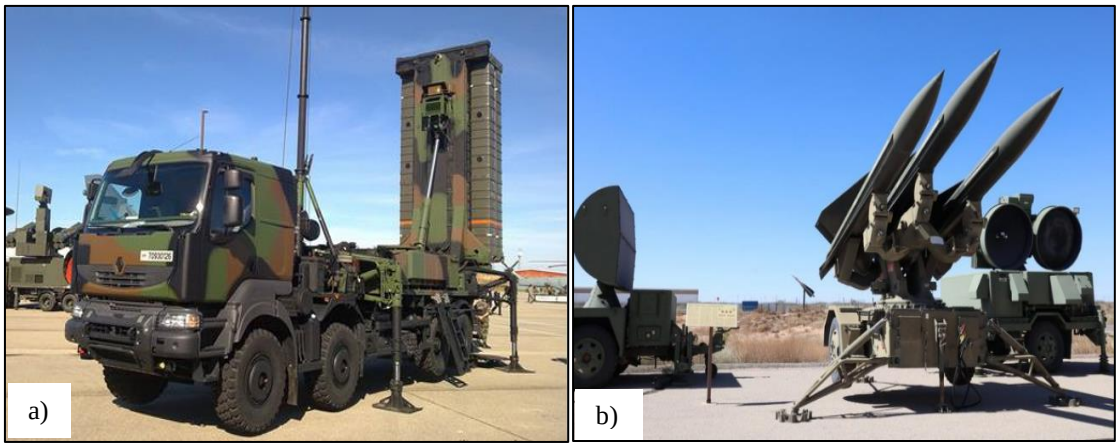
Hava savunma sisteminde silah sistemlerinin konuşlandırılması ve kabiliyetleri düşünüldüğünde katmanlı hava savunma sistemi kavramı ortaya çıkmaktadır. Katmanlı hava savunma sistemi savunulan hava sahasının, envanterde bulunan hava savunma sistemlerinin yeteneklerine bağlı olarak çeşitli kademelere bölünmesiyle açığa çıkan hava savunma sistemidir. Bu kademeler alçak irtifa katmanı, orta irtifa katmanı ve yüksek irtifa katmanı olarak sınıflandırılabilir.

Alçak irtifa katmanında hava savunma sisteminin hedefinde uçaklar, helikopterler, güdümlü füzeler vb. bulunmaktadır. Alçak irtifa katmanı çok alçak irtifa hava savunma sistemleri (Very Short Range Air Defense Systems- VSHORAD) ve alçak irtifa hava savunma sistemlerinden (Short Range Air Defense Systems- SHORAD) meydana gelmektedir. Alçak irtifa sisteminde tehdidin savunulan varlığa zarar vermesi çok kısa sürelerde gerçekleşebilir. Bu yüzden, tehditlere karşı kısa sürede tepki verebilen ve yüksek tahrip/isabet oranına sahip VSHORAD ve SHORAD hava savunma sistemlerine sahip olmak önemlidir. Türkiye'nin Alçak irtifa katmanında bulunan envanterdeki Stinger, Rapier ve KMS gibi bazı hava savunma silah sistemleri Şekil 1.2.'de gösterilmiştir [5].



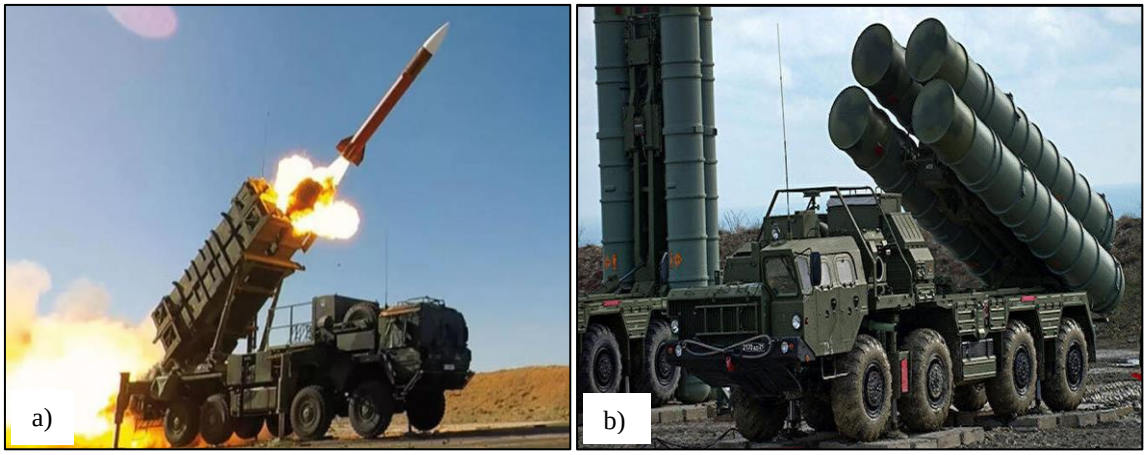
Resim 3.2. Alçak irtifa-menzil hava savunma sistemi rapier

Orta irtifa katmanında katmanında hava savunma sisteminin hedefinde orta irtifada yer alan uçaklar, helikopterler, güdümlü füzeler vb. bulunmaktadır. Orta irtifa hava savunma silah sistemlerine EUROSAM tarafından üretilen SAMP/T orta menzil hava savunma sistemi örnek olarak gösterilebilir. SAMP/T orta menzil hava savunma sistemi, tehditlere karşı 120 km'ye kadar etkinlik gösterebilmektedir [32]. Türkiye'nin orta irtifa katmanında bulunan envanterdeki tek hava savunma silah sistemi olan HAWK Şekil 1.2'de gösterilmiştir [5].



Resim 3.3. Orta irtifa-menzil hava savunma silah sistemleri örnekleri a) SAMP/T orta irtifa-menzil hava savunma sistemi b) HAWK orta irtifa-menzil hava savunma silah sistemi

Yüksek irtifa katmanında katmanında hava savunma sisteminin hedefinde yüksek irtifada yer alan uçaklar, insansız hava araçları, balistik füzeler vb. bulunmaktadır. Yüksek irtifa hava savunma sistemlerine örnek olarak Amerikan Raytheon friması tarafından geliştirilen Patriot ve Rusya tarafından geliştirilen S-400 hava savunma sistemleri örnek olarak gösterilebilir. Türkiye'nin envanterinde yüksek irtifa katmanında katmanında görev yapmak üzere sonuncusu 1964 yılında teslim edilmiş olan NIKE Hercules hava savunma sistemi yer almaktadır. Ancak NIKE Hercules hava savunma sisteminin modernizasyon yapılamayacak kadar eski olması sebebiyle pasif bir şekilde envanterde yer almaktadır. S-400 hava savunma sisteminin Türkiye envanterine katılmasıyla birlikte, sistemde yer alan alçak, ortak ve yüksek irtifa-menzil silah sistemleri kabiliyetleri doğrultusunda hava savunma katmanları kapsanmaktadır [5].



Resim 3.4. Yüksek irtifa-menzil hava savunma silah sistemleri örnekleri a) Patriot yüksek irtifa-menzil hava savunma sistemi b) S-400 yüksek irtifa-menzil hava savunma silah sistemi

4. BULANIK MANTIK

Aristo tarafından M.Ö 4. yüzyılda ortaya atılan ve klasik mantık olarak adlandırılan sisteme göre bir şey ya 0 ya da 1 değerini alır, ya vardır ya da yoktur. Klasik mantıkta başka olasılıklar yer almaz. Klasik mantığa göre bir sistemin yapısı ve çeşitli özellikleri bilinirse o sisteme ait matematiksel modellemeler gerçekleştirilebilir. Ancak matematiksel modelleme yapılabilmesi için sistem özellikleri ve değişkenleri hakkında yeterli bilgiye sahip olunması gerekmektedir. Değişkenler hakkında yeterli bilgiye sahip olunamaması ya da değişkenlerin karmaşık bir yapıda olması gibi durumlarla karşılaşıldığında sisteme ait matematiksel modeller gerçekleştirilemeyebilir. Bu durumda uzman bir kişinin bilgi ve deneyimlerine başvurulur. Uzman kişi az, çok az, çok fazla gibi dilsel ifadeler yardımıyla sistem üzerindeki işlemleri ifade eder. Dilsel ifadelerin doğru bir şekilde bilgisayara aktarıldığı durumda, hem uzman kişilere ihtiyaç kalmamakta hem de uzmandan uzmana meydana gelebilecek farklılıkların önüne geçilebilmektedir. İnsanlara ait özel verilerin işlenebilmesi ve onlara ait deneyimlerin sembolik ifadeler yardımıyla makinelere aktarılmasını sağlayan matematiksel temele dayanan sisteme Bulanık Kümeler Kuramı ya da Bulanık Mantık adı verilmektedir. Bulanık mantık geleneksel sistem tasarımını mühendislik uzmanlığıyla geliştiren yenilikçi bir teknolojidir. Geleneksel teknikler kullanılarak gerçekleştirilen her sistem bulanık mantık yöntemiyle gerçekleştirilebilir [33]. Bulanık mantık, klasik mantık gibi 0 ve 1 olmak üzere iki seviyeli değildir. Bulanık mantığa göre sonuç 0 ile 1 arasındaki herhangi bir değeri alabilir ve çok seviyeli işlemleri ifade etmektedir [34]. Matematiksel modellemenin gerçekleştirilemediği, klasik mantık yöntemleriyle analizlerin yapılamadığı, bilgilerin belirsiz, karmaşık veya kesin olmadığı durumlarda bulanık mantık esnek çözümler üretebilen bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bulanık Mantık kavramından ilk defa, Lotfi Ali Asker Zadeh tarafından 1965 yılında yayımlanan makalede bahsedilmiştir. Bu sebeple Lotfi Ali Asker Zadeh Bulanık Mantık düşüncesinin atası olarak kabul edilmektedir. Zadeh, 0 ve 1 den oluşan klasik mantığın aksine insan düşüncesinin büyük bir kısmının belirsiz (bulanık) olduğunu ve klasik mantığın insan düşüncesini yeterli bir şekilde ifade edemediğini ortaya koymuştur. İnsanların, kesin olmayan dilsel ifadelerin yardımıyla, matematiksel modelle çalışan makinelere göre daha etkili kararlar alabildiğini savunmuştur [35].

4.1. Bulanık Mantık Genel Özellikleri

Zadeh Bulanık Mantık genel özelliklerini aşağıdaki şekilde ifade etmiştir;

- Bulanık Mantıkta kesin değerlere dayalı düşünme sistemi yer almaz. Bunun yerine yaklaşık düşünme sistemi kullanılır.
- Bulanık Mantıkta tüm sonuçlar [0,1] aralığındaki belirli bir derece ile temsil edilir.
- Bulanık Mantıkta büyük, küçük, çok büyük, çok fazla, az gibi dilsel ifadeler vasıtasıyla tanımlamalar yapılır.
- Dilsel ifadeler kullanılarak tanımlanmış kurallardan oluşan kural tabanı yardımıyla bulanık çıkarım işlemleri gerçekleştirilir.
- Mantıksal her sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Matematiksel modeli elde edilemeyen ya da çok zor elde edilebilen sistemler için Bulanık Mantık kullanımının uygun bir yaklaşım olduğu ifade edilmiştir [34, 35].

4.2. Bulanık Mantık Sistemlerinin Gelişimi ve Uygulama Alanları

Bulanık Mantığın ilk uygulaması Mamdani tarafından 1974 yılında geliştirilen ve buhar makinesinin bulanık mantık yardımıyla denetiminin gerçekleştirildiği uygulamadır [36]. 1980 yılında ise çimento fırınlarının denetiminde Bulanık Mantık kullanılmıştır. 1987 yılında ise Hitachi tarafından tasarlanan Japon Sendai metrosunda Bulanık Mantık denetleyicisi çalışmaya başlamıştır. Bu bulanık mantık denetleyicisi sayesinde metroda daha düzgün hızlanma ve yavaşlama değerleri elde edilmiştir [34].

Çizelge 4.1. Bulanık kontrolün tarihsel gelişimi [37]

Yıl	Uygulayan	Uygulama Alanı
1972	Zadeh	Bulanık Kontrolün öne sürülmesi
1973	Zadeh	Dilsel yaklaşım
1974	Mamdani ve Assilian	Buhar motoru kontrolü
1976	Rutherford	Kontrol algoritmalarının analizi
1977	Ostergaard	Isı değiştirici ve fırın kontrolü
1977	Willaeys	Optimal bulanık kontrol
1979	Komolov	Sonlu otomasyon
1980	Tong	Atık suyun değerlendirilmesi
1980	F. Mizumoto ve Tanaka	Bulanık koşul çıkarımı
1983	Hirota ve pedrycz	Olasılıklı bulanık kümeler
1983	Takagi ve sugeno	Bulanık Kontrolün türetilmesi
1983	Yasunubo ve miyamato	Tahmini Bulanık Kontrol
1984	Sageno ve murakabi	Bir arabanın park etme kontrolü

Çizelge 4.1. (devam) Bulanık kontrolün tarihsel gelişimi [37]

Yıl	Uygulayan	Uygulama Alanı
1985	Kiszka ve gupta	Bulanık sistemin kararlılığı
1985	Togai ve Watanabe	Bulanık yonga
1986	Yamakawa	Bulanık Kontrolör sistemi
1987	Yamakawa	Sendai metrosunda uygulama
1988	Dubois ve parade	Yaklaşık muhakeme

Bulanık Mantık denetleyiciler genel anlamda sistem hakkında daha eksik bilgilerin olduğu durumlarda uygulanabilmesi, daha az kuralla oluşturulabilmesi ve sonuç olarak daha yüksek bir performans sağlaması sebebiyle günümüzde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu alanlardan bazıları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Bulanık mantığın kullanıldığı endüstriyel sistemler [34]

Ürün	Marka
Çamaşır Makinesi	AEG, Sharp, Goldstar
Pirinç Fırını	Goldstar
Fırın/Kızartıcı	Tefal
Mikrodalga fırın	Sharp
Elektrikli tıraş makinesi	Sharp
Buzdolabı	Whirlpool
Batarya şarj cihazı	Bosch
Elektrikli süpürge	Philips, Siemens
Camcoder	Canon, Sanyo, JVC
Klima denetimi	Ford
Isı denetimi	NASA inspace shuttle

4.3. Bulanık Küme

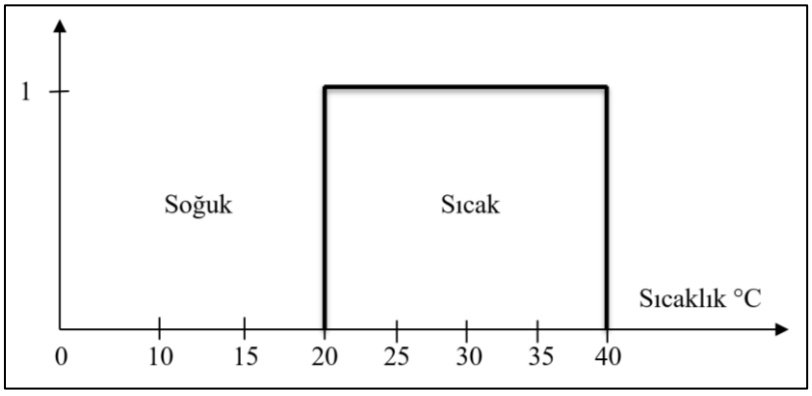
Klasik mantığı temel alan klasik kümelere göre bir eleman o kümeye aittir ya da ait değildir. Eleman kümeye ait olduğu durumda 1 değerini alırken ait olmadığı durumda ise 0 değerini alır. Bu şekilde bir elemanın ilgili kümeye ait olma ve olmama durumunun kesin olarak belirlendiği kümelere keskin kümeler adı verilir. U evrensel kümesi içerisinde bir alt küme olarak yer alan A keskin kümesi ($A \subset U$) düşünüldüğünde, A keskin kümesine ait 0 ve 1 üyelik fonksiyonu belirlenir ve $\mu A(x)$ şeklinde ifade edilir;

$$\mu A(x) = \begin{cases} 1, & \text{eğer} \quad x \in A \\ 0, & \text{eğer} \quad x \notin A \end{cases} \tag{4.1}$$

Bu fonksiyon sayesinde x değerleri {0,1} değerlerini alır ve bu fonksiyon ayrım fonksiyonu olarak adlandırılır.

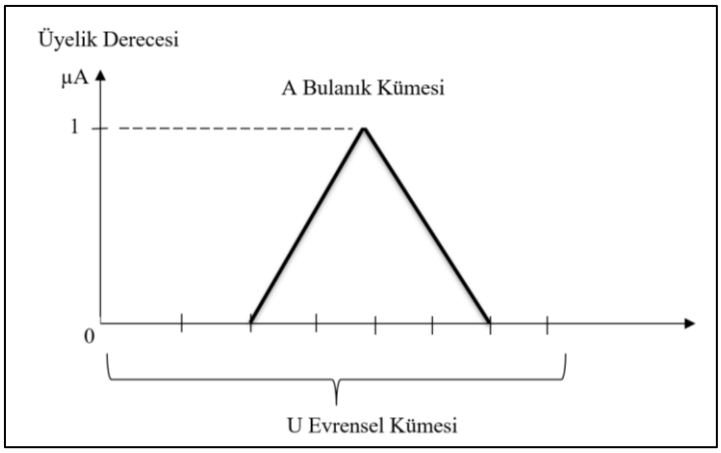
$$\mu A: \mathrm{x} \rightarrow 0,1 \qquad (4.2)$$

Keskin kümelerde sınırlar keskin bir şekilde belirlenmiş ve küme kesin bir şekilde tanımlanmıştır. Örneğin. Şekil 4.1'de gösterilen keskin küme örneğine göre; 20 °C altındaki her sıcaklık değeri soğuk olarak kabul edilmektedir. Sonuç olarak, 19 °C soğuk olarak 1 değerini alırken 21 °C sıcak olarak 1 değerini alır. Ancak gerçek hayatta sınırlar, bu şekilde olduğu gibi kesin bir şekilde ifade edilemeyebilir.



Şekil 4.1. Keskin küme örneği

Örnek olarak 19 °C sıcaklık hem sıcak hem de soğuk kümesine belli derecelerde üye olabilir. Bu sebeple keskin kümelerdeki bu sınırlamaların üstesinden gelebilmek için Bulanık Kümeler kullanılır [38]. Bulanık kümelerde, bir eleman o kümeye kısmi olarak üye olabilmektedir. Keskin kümelerde bir elemanın üyeliği ait olma ya da olmama durumlarına göre yalnızca 0 ya da 1 değerlerini alırken bulanık kümelerde ise [0,1] aralığındaki değerleri alabilir. Bu değer büyüdükçe ilgili elemanın kümeye aitlik derecesi de artmaktadır. Elemanın ilgili kümeye ait olma derecesini temsil eden bu değere üyelik derecesi denir. U evrensel kümesi içerisinde yer alan A bulanık kümesi μA(x) şeklinde ifade edilir;



Şekil 4.2. Bulanık küme örneği

U evrensel kümesinde yer alan bir A bulanık kümesi;

$$\mu A: U \rightarrow [0,1] \tag{4.3}$$

üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. U evrensel kümesi içerisinde yer alan A bulanık kümesindeki x elemanlarına ait üyelik dereceleri μA(x) şeklinde sıralı çiftlerden oluşan bir kümeyi ifade etmektedir. Bu küme;

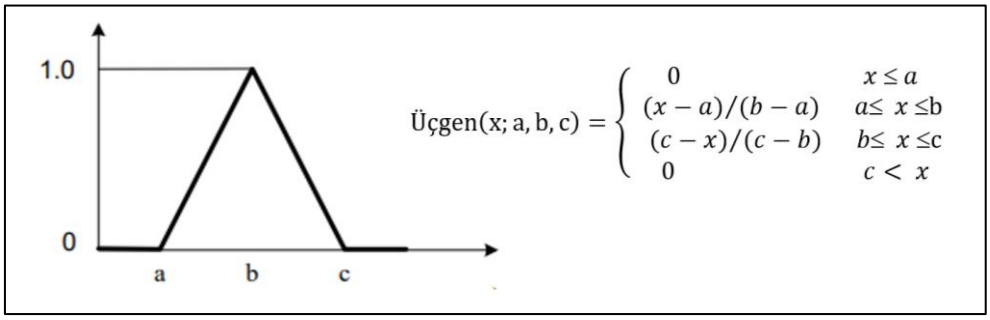
$$A= \{(x,\ \mu A(x) \mid x \in A \} \tag{4.4}$$

şeklinde ifade edilir.

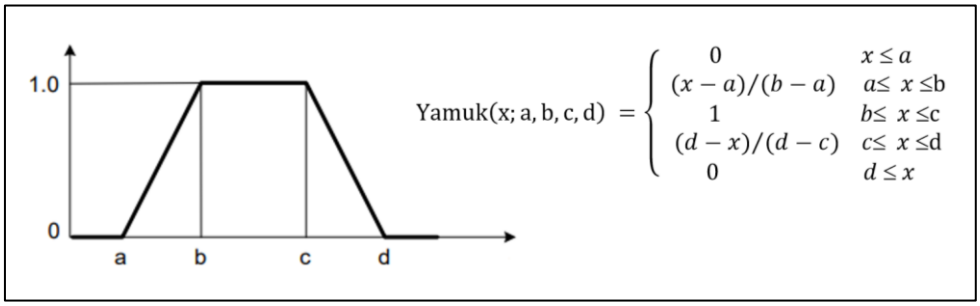
4.4. Üyelik Fonksiyonları

U evrensel kümesi içerisinde yer alan herhangi bir x elemanı A bulanık kümesinde μA(x) fonksiyonu ile ifade edilir. Herhangi bir x elemanın kesin olarak A bulanık kümesine üye olmadığı durumda μA(x)=0 değerini alır. Fakat x elemanı kesin olarak A bulanık kümesine üye olduğu durumda μA(x)=1 değerini alır. Diğer kesin olmayan durumlarda ise x elemanı A bulanık kümesine belli bir derecede üyedir. Bu durumda, üyelik derecesi $0 < \mu A(x) < 1$ arasındaki herhangi bir değeri alabilir. Bu değeri hesaplayabilmek amacıyla üyelik fonksiyonları kullanılır. Üyelik fonksiyonlarını tanımlamanın en kısa ve öz yolu, üyelik fonksiyonunun matematiksel olarak formülize edilmesidir. Bu amaçla genellikle üçgen, yamuk ve gauss vb. üyelik fonksiyonları kullanılır [39]. Problemin çözümünde hangi üyelik

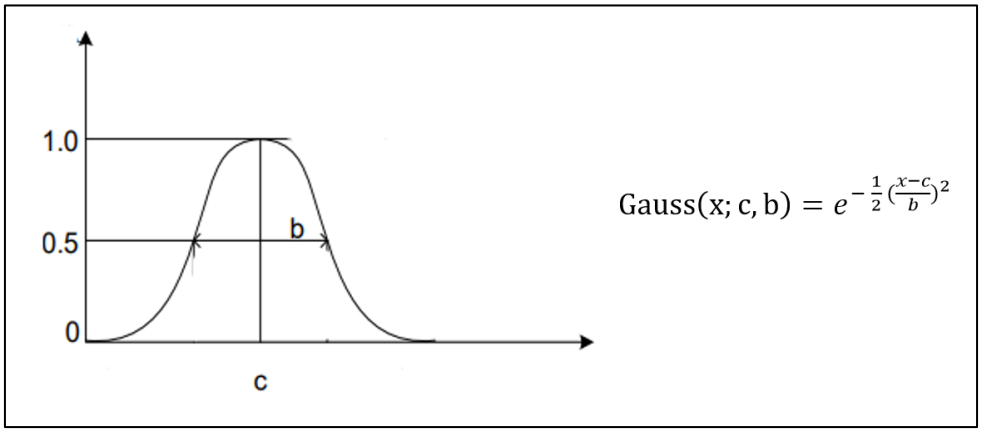
fonksiyonun kullanılması gerektiğine, genellikle kullanıcı tecrübeleri ve problemin tipi göz önünde bulundurularak karar verilir.



Şekil 4.3. Üçgen üyelik fonksiyonu



Şekil 4.4. Yamuk üyelik fonksiyonu

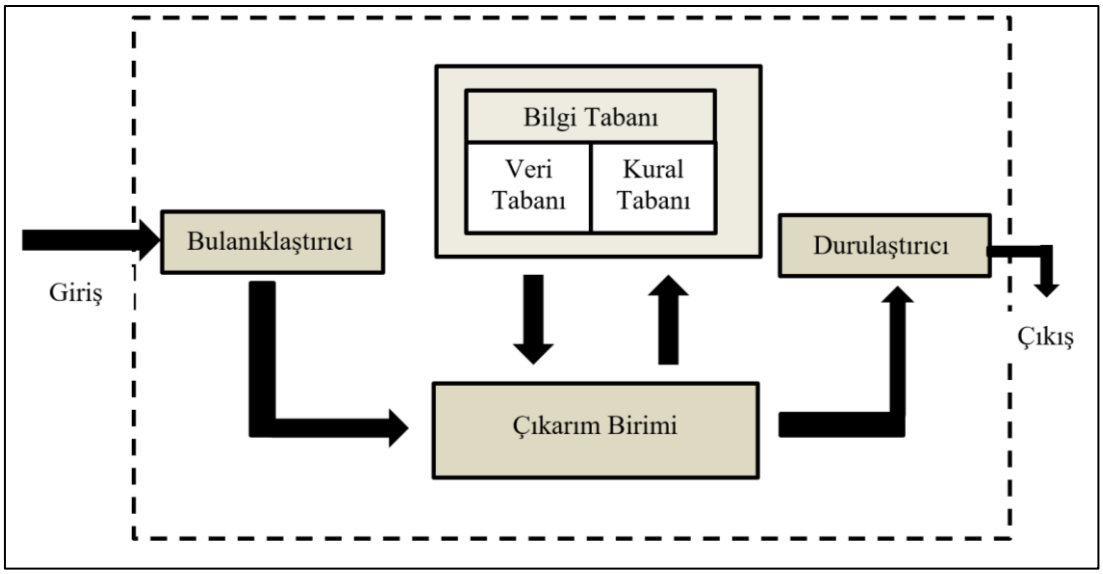


Şekil 4.5. Gauss üyelik fonksiyonu

Burada, c üyelik fonksiyonunun merkezini, b ise genişliğini ifade etmektedir.

4.5. Bulanık Mantık Sistem Yapısı

Genel olarak, bir bulanık mantık sistemi Şekil 4.6.'da belirtilen blok diyagramı ile gösterilir [40].



Şekil 4.6. Bulanık mantık denetleyicisi blok diyagramı

Bulanıklaştırıcı

Bulanık mantık denetleyicisinde öncelikle giriş ve çıkış değişkenleri ve bu değişkenlere ait aralıklar belirlenir. Sonrasında bulanıklaştırıcı yardımıyla bulanıklandırma işlemi gerçekleştirilir. Bulanıklaştırıcı, keskin girişlere sahip olan giriş değişkenlerinin değerlerini üçgen, yamuk ve gauss vb. üyelik fonksiyonlarını kullanarak bulanık değerlere dönüştürür. Kısacası bu aşamada keskin girişlere sahip giriş değişkenlerinin üyelik dereceleri hesaplanır.

Kural tabanı

Bulanık mantık denetleyici sisteminde; giriş değişkenlerinin çıkış değişkenlerine bağlanarak sonuç elde edilmesinde uzman kişiler tarafından oluşturulan kurallardan meydana gelen kural tabanı kullanılmaktadır. Bulanık mantık denetleyicilerinde kurallar sayısal değerlerden çok dilsel terimler kullanılarak ifade edilmektedir. Bu değişkenlerin dilsel ifadelerinin seçilmesinde uzman bilgisinin ve deneyiminin önemi büyüktür. Bulanık mantık denetleyicilerinde kural tabanı; EĞER – O HALDE (IF – THEN) şeklinde oluşturulmuş

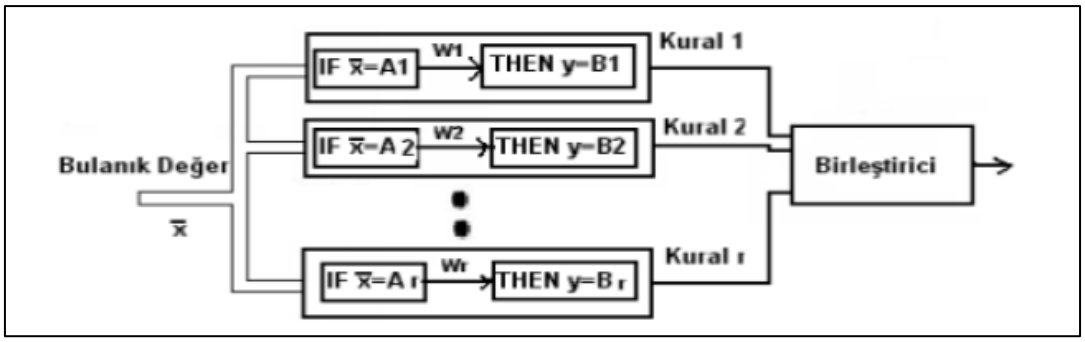
kurallardan meydana gelir. Örnek olarak, x ve y giriş değişkenleri ve z çıkış değişkeni olmak üzere;

“ R : EĞER x=A ve y=B ise O HALDE z=C’dir ” kuralı tanımlanabilir. Burada, x, y ve z dilsel olarak tanımlanmış değişkenleri ifade ederken; A, B ve C ise bu değişkenlere ait bulanık kümeleri dilsel olarak ifade eder.

Kurallar oluşturulurken “ve” ve “veya” ifadeleri kullanılmaktadır. Çıkış için, giriş değişkenlerinin hepsinin aynı anda sağlanması gerektiğinde “ve”, giriş değişkenlerinden herhangi birisinin sağlanmasının yeterli olduğu durumlarda ise “veya” operatörü kullanılır. Bu durumda bulanık mantık denetleyicilerinde OR ve AND operatörleri kullanılmaktadır. OR operatörü kullanıldığında sayılardan en büyüğü max {μA(x), μB(x)} tercih edilir. AND operatörü kullanıldığında ise sayılardan en küçüğü min {μA(x), μB(x)} tercih edilir [41].

Çıkarım birimi

Çıkarım biriminde, insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneği göz önünde bulundurularak benzer bir biçimde bulanık değerler işlenir ve çıkarımlar gerçekleştirilir.
Çıkarım motoru (Fuzzy Engine) olarak da adlandırılan çıkarım birimi yardımıyla bulanıklaştırıcı tarafından elde edilen sonuçlar kural tabanında yer alan kurallarla ilişkilendirilir. Bu aşamada ilk olarak bulanıklaştırıcı biriminden gelen değerler, kural tabanında yer alan kurallara göre işlenir. Sonrasında ise tüm bu ilişkilendirme sonuçları, genellikle Mamdani yöntemi ile birleştirilerek bulanık çıkış kümesi elde edilir.

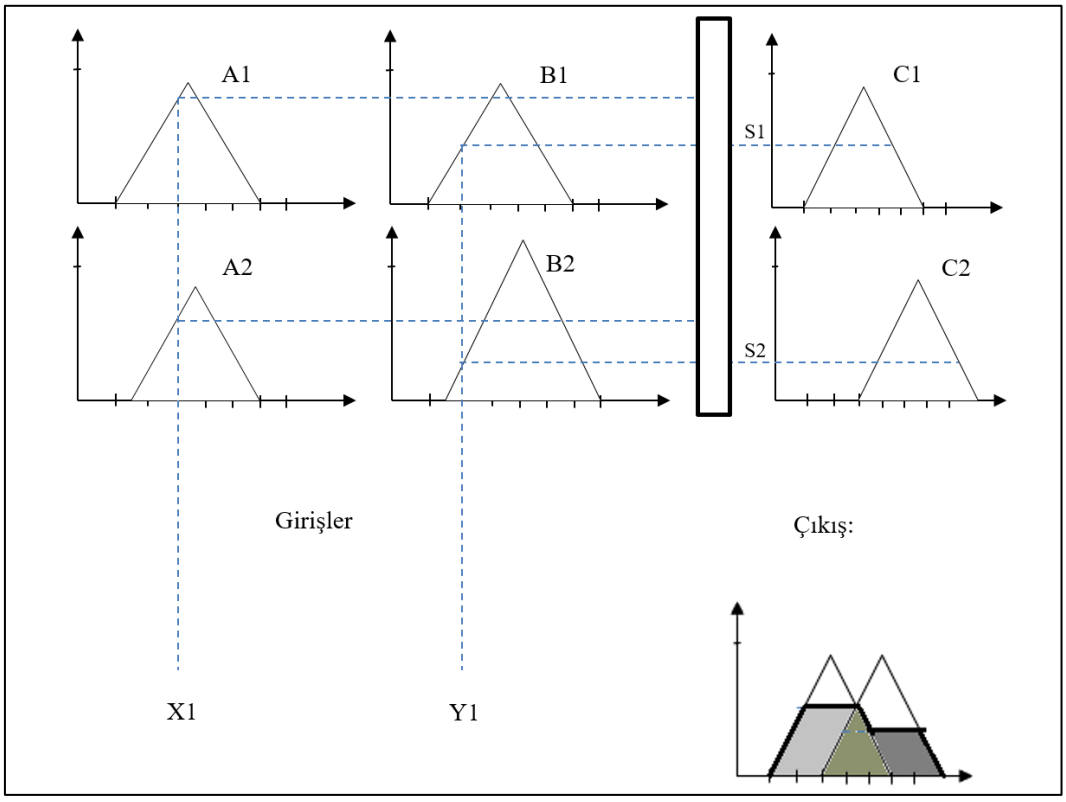


Şekil 4.7. Bulanık mantık denetleyicisinde çıkarım işlemi

Mamdani yöntemi, ilk kez 1975 yılında Profesör Mamdani tarafından buhar motorunu kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. Mamdani yöntemi, günümüzde en sık kullanılan bulanık çıkarım tekniğidir. Mamdani yönteminde işlemler dört adımda gerçekleştirilir;

- Tanımlanan giriş değişkenlerinin bulanıklaştırılması,
- Bulanık kuralların değerlendirilmesi,
- Kural sonuçlarının bir araya getirilmesi,
- Kesin sonuçların tespit edilebilmesi için durulaştırma.

Mamdani tipi bulanık çıkarım mekanizmasında, öncelikle her bir giriş değişkeni için üyelik dereceleri hesaplanır. Hesaplanan üyelik derecelerine göre bulanık mantık denetleyicisinde yer alan bazı kurallar aktif hale gelir. Aktif hale gelen kurallarda bulanık mantık operatörleri yardımıyla her bir kural için ilgili kümede ait derecesini bildiren (Si) değeri hesaplanır. Daha sonrasında ise çıkışta belirlenen üyelik fonksiyonlarına göre kırpma işlemi gerçekleştirilir. Son olarak ise daha önce kırpılmış olan tüm kural sonuçlarının üyelik fonksiyonları toplanarak tek bir bulanık küme haline getirilir.

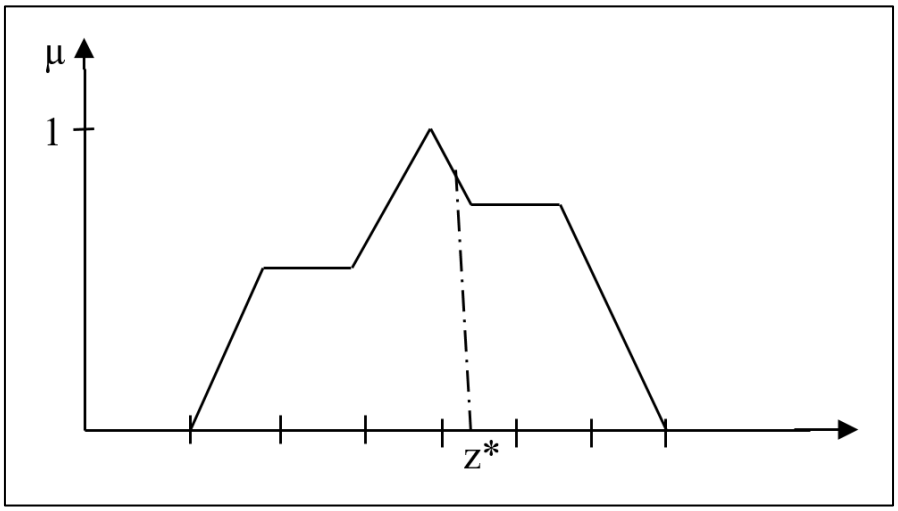


Şekil 4.8. Mamdani tipi bulanık çıkarım mekanizması

Durulaştırıcı

Çıkarım biriminden elde edilen çıkış değeri bulanık bir kümedir. Bu sebeple bulanık değerin keskin değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bulanık mantık denetleyicilerinde, bulanık değerlerin keskin değerlere dönüştürülmesi işleminde durulama ve bu işlemin gerçekleştirildiği birime ise durulaştırıcı denir. Durulama işleminde değişik durulama yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanları;

- Maksimum üyelik yöntemi,
- Ağırlık merkezi yöntemi,
- Ağırlık ortalaması yöntemi, en yaygın kullanılan durulama yöntemleridir.

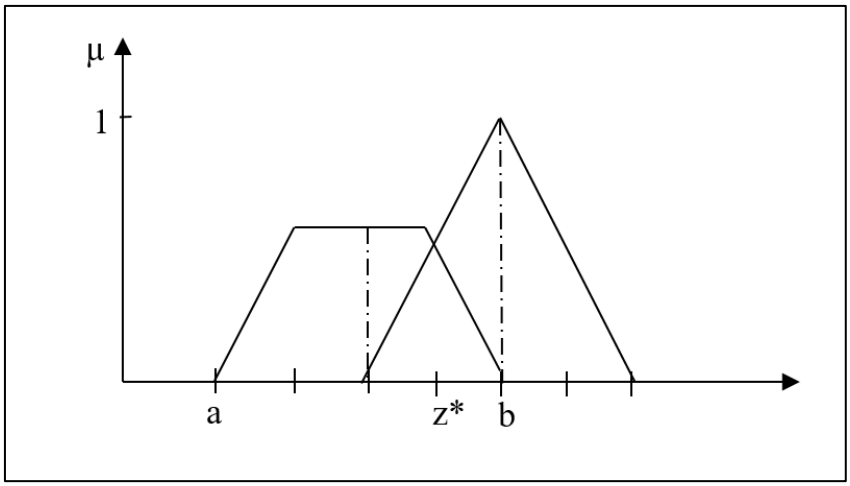


Şekil 4.9. Ağırlık merkezi yöntemi

$$z^* = \frac{\int \mu c(z).z.dz}{\int \mu c(z)dz} \qquad (4.5)$$

denklemi ile keskin değer hesaplanır.

Ağırlık ortalaması yönteminde bütün bulanık değerler ve üyelik dereceleri kullanılarak durulaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

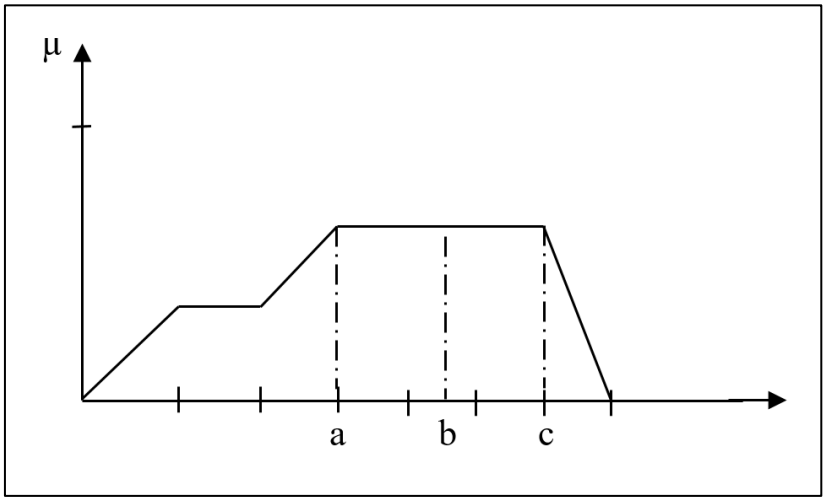


Şekil 4.10. Ağırlık ortalaması yöntemi

$$z^* = \frac{\sum \mu c(z).z}{\sum \mu c(z)} \tag{4.6}$$

denklemi ile keskin değer hesaplanır.

Maksimum üyelik yönteminde hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için öncelikle kırpılmış ve birleştirilmiş üyelik fonksiyonu için en yüksek üyelik derecesinin elde edildiği aralık belirlenir. Daha sonra ise belirlenen aralıktaki ilk değer, son değer ya da orta değer durulaştırılmış keskin değer olarak elde edilir.



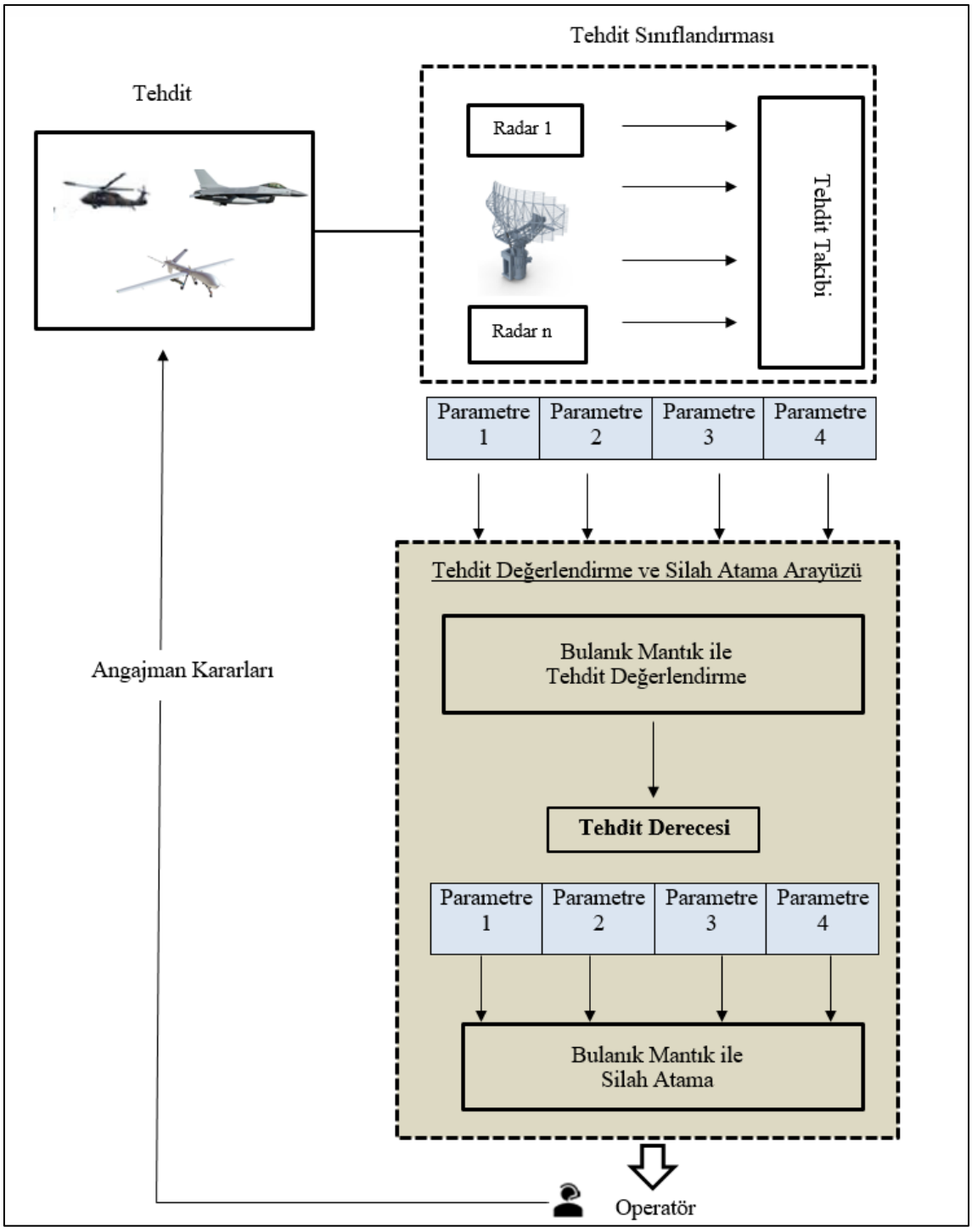
Şekil 4.11. Maksimum üyelik yöntemi

5. TEHDİT DEĞERLENDİRME VE SİLAH ATAMA ARAYÜZÜ

Hava savunma operasyonlarında bir dizi süreçler işletilerek, hedeflerin savunulan bölgelere karşı düşmanca etkinliklerini azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak amaçlanmaktadır. Ancak teknolojinin gelişmesiyle birlikte, hava savunma çerçevesinde yer alan tehditlerin kabiliyetleri gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte karmaşık harekât ortamında, zaman açısından kritik koşullar altında işlenmesi gereken çok sayıda veri ve büyük hacimdeki bilgiler sebebiyle operatörler tarafından işletilen karar süreçleri daha da zorlaşmaktadır. Ayrıca sensör/radar sistemlerinden gelen ve doğası gereği eksik ve belirsiz olarak nitelendirilen verilerle karar vermek operatör için yüksek risk ve stres faktörlerinden bir tanesidir.

Problemlerin karmaşıklığı ve içerdiği risk faktörleri nedeniyle, operatörlerin duruma ilişkin farkındalıklarını artırarak daha iyi ve daha bilinçli kararlar vermelerini sağlamak için kullanılabilecek karar destek sistemlerine ihtiyaç vardır. Karar destek sistemleri, büyük miktarda veriyi toplamak ve analiz etmek, ayrıca veriler yardımıyla sonuçlar sunmak ve eylem veya karar önerileri oluşturmak için kullanılabilir [42]. Tehdit Değerlendirme Silah Atama sistemi, karar verme ve eylem yürütme zamanının çok önemli olduğu karmaşık ve dinamik senaryolarda, operatörlerin karar verme süreçlerine katkı sağlayan bir karar destek sistemidir [43].

Bu çalışmada operatörlere karar verme süreçlerinde katkı sağlamayı hedefleyen bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Karar destek sisteminde hesaplamalar bulanık mantık yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bulanık mantık hesaplamalarının gerçekleştirildiği ve Microsoft Visual Studio kullanılarak C# programlama dili yardımıyla tasarlanmış bir tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü oluşturulmuştur. Arayüzde öncelikle tehdit olarak sınıflandırılan hava hedeflerine ait dört adet parametre kullanılarak, bulanık mantık yardımıyla ilgili senaryolar çerçevesinde hedeflere ait tehdit derecesi hesaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise hesaplanan tehdit derecesi ve hedefe ait parametreler kullanılarak, katmanlı hava savunma sistemi oluşturacak şekilde envanterde bulunan üç adet silah sisteminden uygun olanı; bulanık mantık yöntemi ile hesaplanarak, operatöre önerilmiştir.



Şekil 5.1. Önerilen karar destek sistemi blok diyagramı

5.1. Tehdit Karakteristikleri ve Kullanılan Parametreler

Savunulan bir varlığa karşı zarar verme potansiyeli olan her hava aracı tehdit olarak değerlendirilebilir. Günümüzde savaş alanında pek çok çeşitte tehdit unsuru kullanılmaktadır. Avcı-önleme uçakları (fighter aircraft), ağır bombardıman uçakları,

helikopterler, insansız hava araçları (İHA) ve füzeler vb. tehdit unsurlarına örnek olarak verilebilir. Bir hava aracının tehdit derecesi hesaplanırken, uygun tehdit değerlendirme parametrelerini doğru yerde kullanmak önemlidir. Literatürdeki birçok çalışmada, tehdit derecesinin hesaplanması için farklı parametreler tercih edilmiştir. Ancak bu çalışmada tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzünde kullanılmak üzere kabiliyet ve niyet parametrelerini içeren ve tehdit derecesinin hesaplanmasında en gerçekçi sonucu vereceği değerlendirilen parametreler tercih edilmiştir. Bu amaçla, tehdit olarak sınıflandırılan bir hava aracına ait hız, irtifa, mesafe ve manevra parametreleri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Hız

Hız tehdidin savunulan varlığa zarar verme niyetini gösteren parametrelerden bir tanesidir. Tehdit değerlendirme aşamasında, daha yüksek hızlar daha büyük tehdit derecesini ifade etmektedir [44]. Savaş ortamında kullanılan hava araçları düşünüldüğünde, F-16, F-18, F-22, SU-35 gibi avcı-önleme uçaklarının hızları 1000 knot (1850 km/h) mertebelerine ulaşabilir. Ancak savaş ortamında manevra ihtiyacı ve yük durumları göz önünde bulundurulduğunda avcı-önleme uçaklarının hızları genellikle 500-1500 km/h arasında kabul edilebilir [3]. Yolcu uçakları ve kargo uçakları, avcı-önleme uçaklarına göre daha düşük seyrüsefer hızlarına sahiptir. Saldırı helikopteri ise 300 km/h seyrüsefer hızlarına ulaşabilmektedir. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte istihbarat amacıyla keşif yapan ve silah taşıyabilen İHA'ların savaş ortamında kullanımı artmıştır. Söz konusu İHA'ların hızları ise 150-600 km/h arasında değişmektedir [3].

İrtifa

Tehdidin savunulan varlığa zarar verme niyetini gösteren parametrelerden bir diğeri ise irtifadır. Tehdit değerlendirme aşamasında, daha düşük irtifa daha büyük tehdit derecesini ifade etmektedir [44].

Mesafe

Yakınlık parametrelerinden bir tanesi olan mesafe hedefin, savunulan varlığa olan uzaklığını ifade etmektedir. Tehdit değerlendirme aşamasında, hedef savunulan varlığa yaklaştıkça tehdit derecesi de büyümektedir.

Manevra

Manevra, tehdit değerlendirme aşamasında kullanılabilen, hedefe ait kinematik parametrelerden bir tanesidir. Hava araçları keskin ve çok sayıda manevra yapabilme yeteneğine sahiptir. Ancak sabit bir hızda, sabit irtifada ve sabit rotayı takip bir hava aracı manevra hareketini sık sık yapmak zorunda değildir. Çok fazla sayıda manevra yapan bir hava aracı daha az sayıda manevra yapan hava aracına göre daha yüksek tehdit derecesine sahiptir. Bu nedenle, hava araçlarının manevralarının gözlemlenmesi tehdit değerlendirme sürecine katkı sağlayabilir. Manevra parametresinin değerini ölçmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden bir tanesi, hedefin belirli bir zaman aralığında gerçekleştirdiği manevra sayılarını belirlemektir [45].

5.2. Bulanık Mantık ile Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama

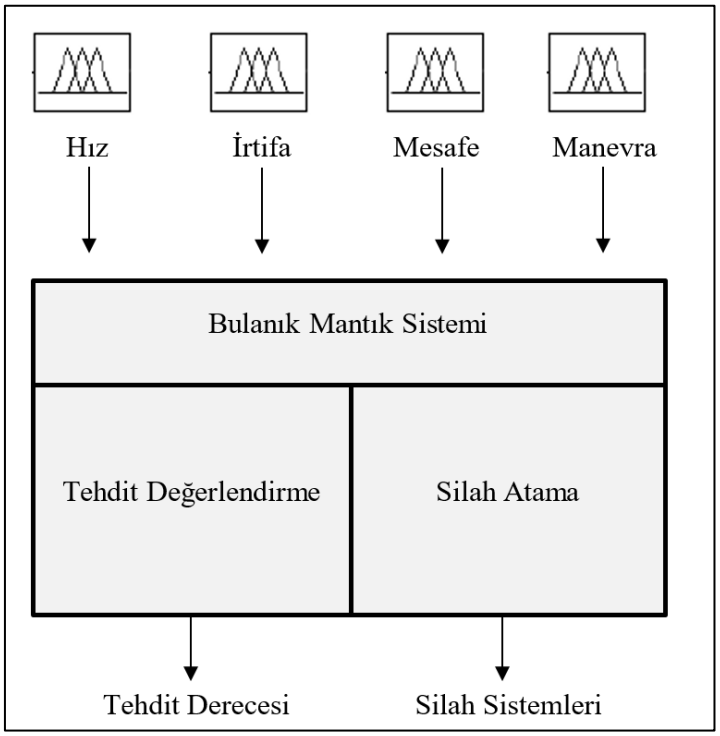
Bu çalışmada, bulanık mantık ile tehdit değerlendirme ve silah atama hesaplamalarının gerçekleştirildiği bir arayüz oluşturulmuştur. Arayüz, giriş ve çıkış değişkenlerine ait değerlerin operatör tarafından girildiği bölüm ve hesaplamaların gerçekleştiği bölüm olmak üzere temelde üç bölümden meydana gelmektedir. Arayüzde işlemler dört aşamada gerçekleştirilir;

1- Öncelikle operatör tarafından giriş ve çıkış değişkenlerine ait değerler girilir.
2- Daha sonra, arayüz tarafından gerçekleştirilecek hesaplamalara esas olan parametre değerleri operatör tarafından girilir.
3- Tehdit derecesi hesaplaması, arayüz tarafından gerçekleştirilir.
4- Son olarak ise, operatör tarafından gerekli görülmesi halinde arayüz tarafından envanterde bulunan savunma sistemlerinden uygun olanı operatöre önerilir.

Gerçekleştirilen arayüzde, tehdit derecesinin hesaplanmasında ve envanterde bulunan savunma sistemlerinden uygun olanının operatöre önerilmesinde bulanık mantık tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Genel olarak bulanık mantık tabanlı bir sistem tasarımı için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir;

- Sisteme ait giriş ve çıkış değişkenleri belirlenir.
- Sonrasında bulanık mantık sisteminde girişler bulanıklaştırılır. Bulanıklaştırma işlemi sonucunda, bulanık alt kümelerin her bir değişkeni için belirli bir aralık tanımlanır ve her bir değişkene dilsel ifade atanır.
- Kural tabanı oluşturulur.
- Kural tabanı ve bulanıklaştırılan değişkenler kullanılarak bulanık çıkarım işlemleri gerçekleştirilir.
- Çıkarım işlemi sonrasında elde edilen bulanık değer durulaştırılarak keskin çıkış değeri elde edilir.

Tehdit değerlendirme ve silah atama hesaplamalarının gerçekleştirilmesi amacıyla arayüzde Şekil 5.2.'de gösterilen bulanık mantık sistemi oluşturulmuştur.



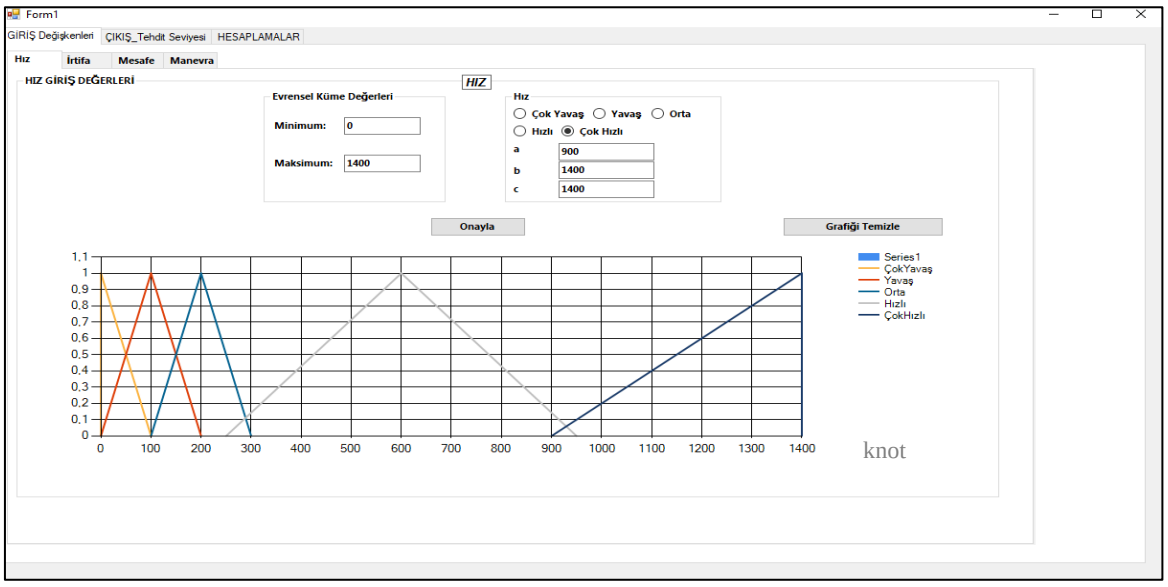
Şekil 5.2. Tehdit değerlendirme ve silah atama bulanık mantık sistemi

Arayüzde tehdit değerlendirilmesi aşamasında oluşturulan bulanık sistemde;

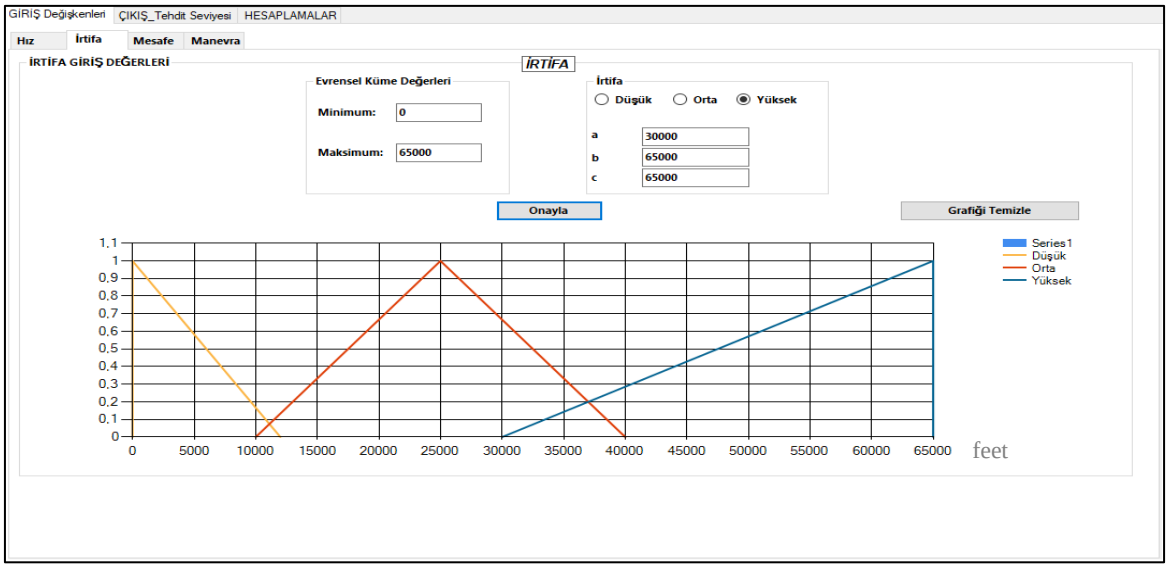
- Sisteme ait giriş değişkenleri; hız, irtifa, mesafe ve manevra olarak çıkış değişkeni ise tehdit seviyesi olarak belirlenmiştir.
- Her bir değişkene Çizelge 5.1'deki dilsel ifadeler atanmıştır. Daha sonra ise bulanık alt kümelerin her bir değişkeni için aralıklar operatör tarafından arayüzde tanımlanmaktadır. Değişkenlere ait üyelik fonksiyonu üçgen üyelik fonksiyonu olarak seçilmiştir.
- Konusunda uzman kişilerin deneyimleri ışığında 225 adet kuraldan oluşan kural tabanı oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1. Dilsel ifadeler

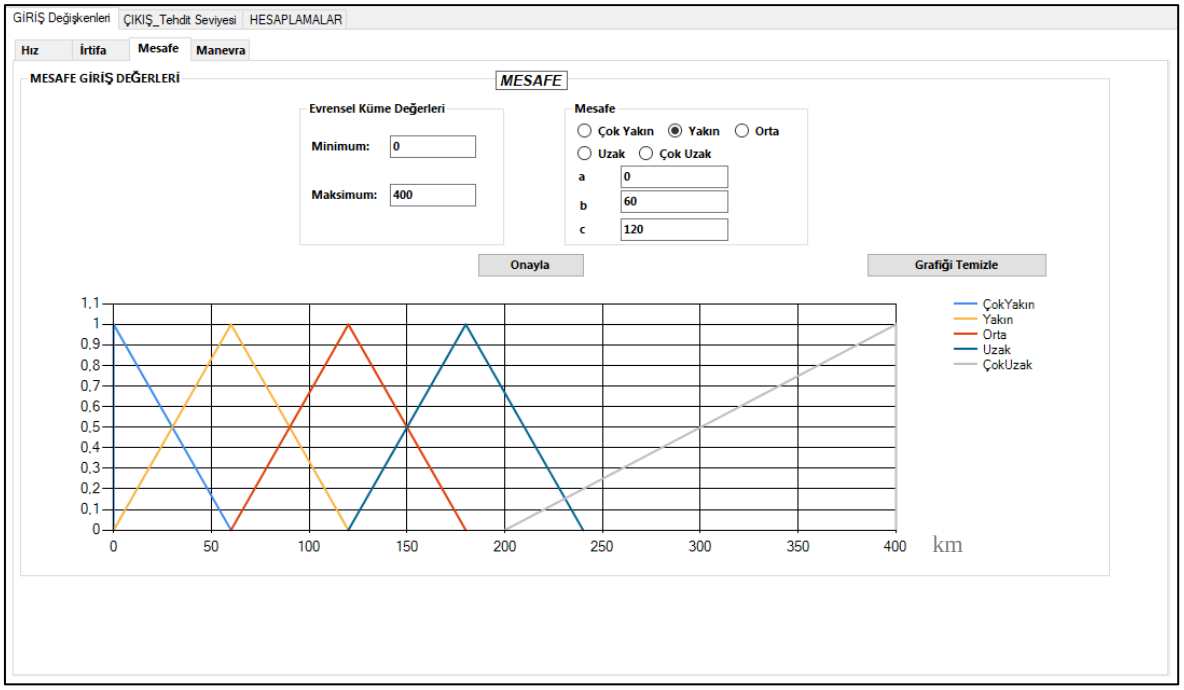
GİRİŞ DEĞİŞKENLERİ				ÇIKIŞ DEĞİŞKENİ
Hız	İrtifa	Mesafe	Manevra	Tehdit Seviyesi
Çok Yavaş	Düşük	Çok Yakın	Az	Düşük
Yavaş	Orta	Yakın	Orta	Orta
Orta	Yüksek	Orta	Çok	Yüksek
Hızlı		Uzak		
Çok Hızlı		Çok Uzak		



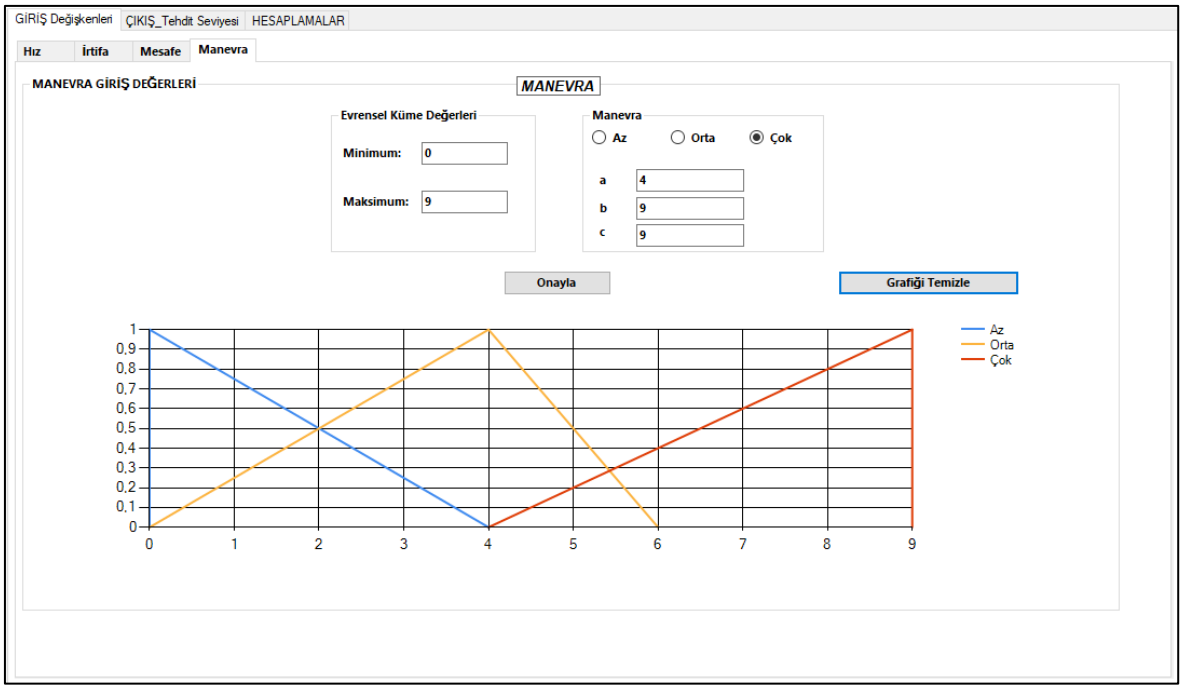
Şekil 5.3. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü hız değişkeni değer giriş ekranı



Şekil 5.4. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü irtifa değişkeni değer giriş ekranı

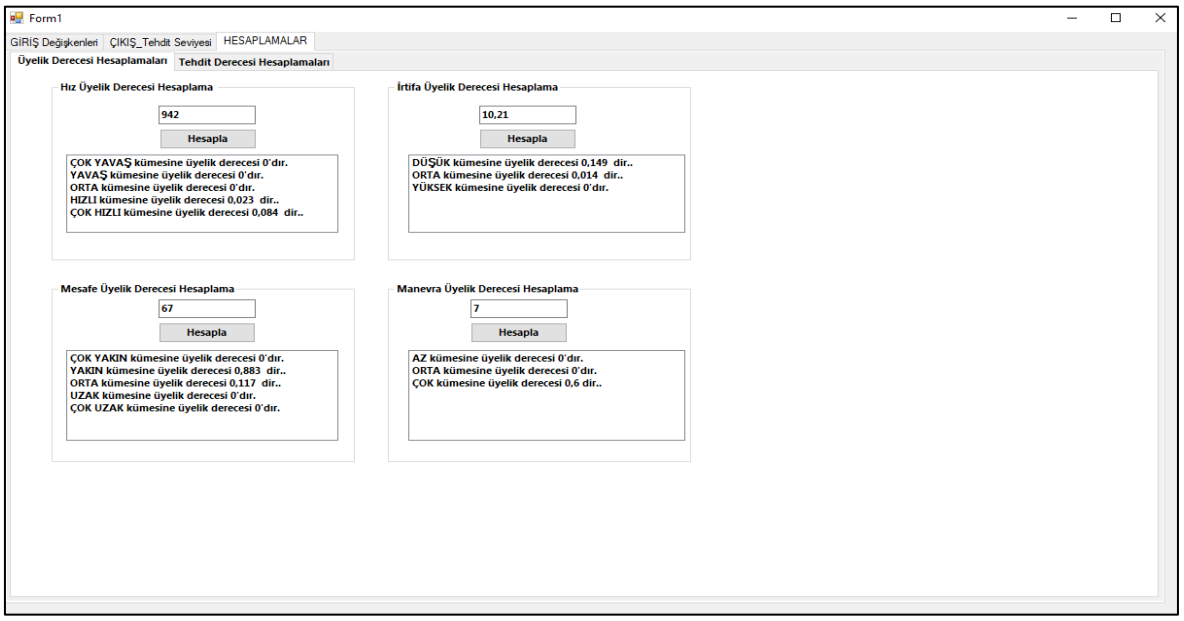


Şekil 5.5. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü mesafe değişkeni değer giriş ekranı



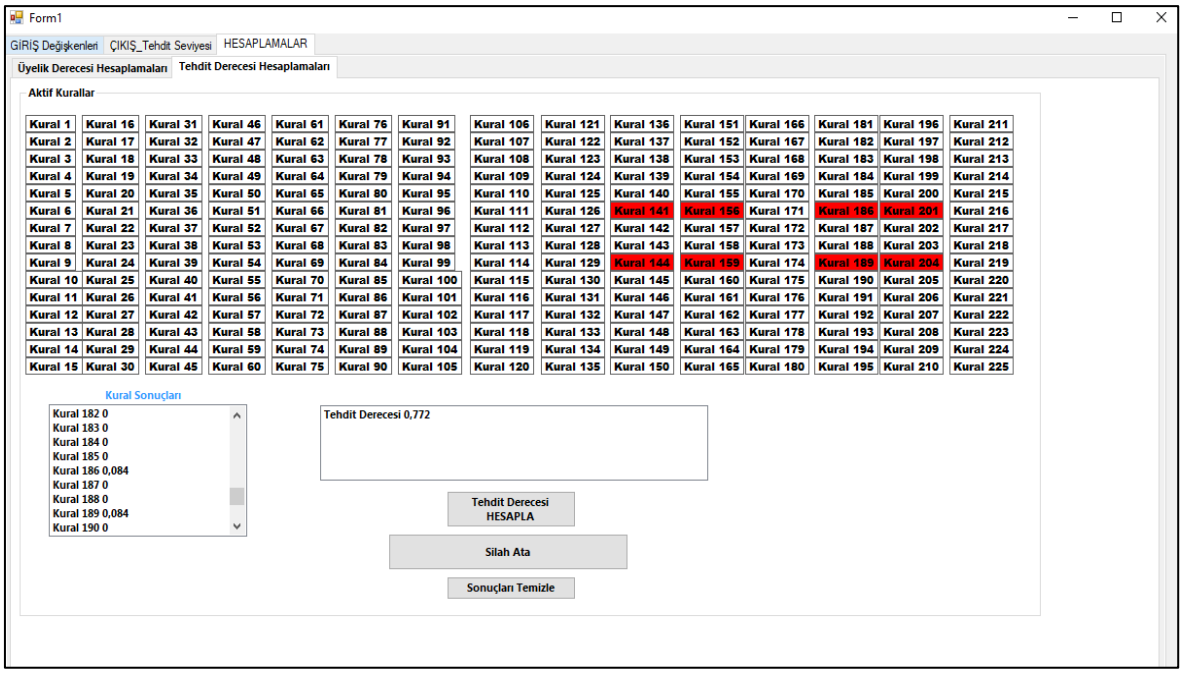
Şekil 5.6. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü manevra değişkeni değer giriş ekranı

- Arayüze ait hesaplamalar bölümünde, gerçek sistemlerden farklı olarak radarlardan okunan değerler otomatik olarak değil operatörler tarafından girilir. Operatör tarafından öncelikle hız, irtifa, mesafe ve manevra parametrelerine ait keskin değerler girilerek bulanık çıkarım işlemleri gerçekleştirilmiş ve üyelik dereceleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.7. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü üyelik dereceleri hesaplama ekranı

- Üyelik derecelerinin hesaplanması işlemi sonrasında arayüzde görsel olarak aktif kurallar operatöre bildirilerek keskin çıkış değeri olan tehdit derecesi hesaplanmıştır.



Şekil 5.8. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü tehdit derecesi hesaplama ekranı

Arayüzde tehdit derecesinin hesaplanmasından sonra silah atama aşamasına geçilmektedir. Silah atama aşamasında tehdide ait parametreler ve tehdit derecesi de göz önünde bulundurularak, katmanlı hava savunma sistemi oluşturacak şekilde envanterde bulunan üç adet silah sisteminden uygun olanı; bulanık mantık yöntemi ile hesaplanarak, operatöre önerilmiştir. Arayüzde silah atama aşamasında oluşturulan bulanık sistemde; sisteme ait giriş değişkenleri; hız, irtifa, mesafe ve manevra çıkış değişkeni ise silah sistemleri olarak belirlenmiştir. Giriş değişkenleri için Çizelge 5.1'deki dilsel ifadeler kullanılmıştır. Çıkış değişkeni olan silah sistemleri için ise Silah Sistemi-1, Silah Sistemi-2 ve Silah Sistemi-3 dilsel ifadeler olarak belirlenmiştir. Daha önce konusunda uzman kişilerin deneyimleri ışığında 225 adet kuraldan oluşan kural tabanında yer alan 110 adet kural kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve uygun silah sistemi operatöre önerilmiştir. Ancak bu aşamada son karar operatör tarafından verilmekte ve operatör arzu ettiği durumda hesaplanan tehdit derecesine göre kendi tecrübelerine göre silah atama işlemini yerine getirebilmekte ya da doğrudan arayüz önerisini dikkate almaktadır.

5.3. Tehdit Değerlendirme ve Silah Atama Arayüzünde Gerçekleştirilen Hesaplamalar

Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzünde hesaplamaların gerçekleştirilmesi amacıyla iki adet senaryo oluşturulmuştur. Öncelikle arayüzdeki giriş ve çıkış değişkenlerine ait sınır değerleri, alanında uzman operatörler tarafından belirlenerek sisteme girilmiştir. Sonrasında ise oluşturulan senaryolar çerçevesinde tehdit dereceleri hesaplanmıştır. Hesaplanan tehdit derecesi ve hedefe ait diğer parametreler de göz önünde bulundurularak katmanlı hava savunma oluşturacak şekilde tasarlanmış üç adet silah sisteminden uygun olanı operatöre önerilmiştir.

5.3.1. Arayüzde üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi

Hız değişkenine ait dilsel ifadeler Çizelge 5.1'de verilmiştir. Hız değişkenine ait evrensel küme değerleri Eş. 5.1'de gösterildiği gibi 0-1400 knot aralığında seçilmiştir.

$$Hız(x) = \begin{cases} x; & 0 \leq x \leq 1400\ knot \\ 0; & Diğer\ durumlar \end{cases} \tag{5.1}$$

Hız değişkenine ait üyelik fonksiyonları Eş. 5.2-5.6 arasında gösterilmiştir.

$$\mu\text{ÇokYavaş}(x: 0; 100) = \begin{cases} (100 - x)/100\,; & 0 \leq x \leq 100 \\ 0; & x > 100 \end{cases} \tag{5.2}$$

$$\mu\text{Yavaş}(\text{x}: 0; 100; 200) = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \\ x/100; & 0 \leq x \leq 100 \\ (200 - x)/100; & 100 \leq x \leq 200 \\ 0; & x > 200 \end{cases} \tag{5.3}$$

$$\mu\text{Orta}(\text{x}: 100; 200; 300) = \begin{cases} 0; & x \leq 100 \\ (x - 100)/100; & 100 \leq x \leq 200 \\ (300 - x)/100; & 200 \leq x \leq 300 \\ 0; & x > 300 \end{cases} \tag{5.4}$$

$$\mu\text{Hızlı}(\text{x}: 250; 600; 950) = \begin{cases} 0; & x \leq 250 \\ (x - 250)/350; & 250 \leq x \leq 600 \\ (950 - x)/100; & 600 \leq x \leq 950 \\ 0; & x > 950 \end{cases} \tag{5.5}$$

$$\mu\text{ÇokHızlı}(\text{x}: 900; 1400) = \begin{cases} 0; & x \leq 900 \\ (x - 900)/500; & 900 \leq x \leq 1400 \\ 0; & x > 1400 \end{cases} \quad (5.6)$$

Hız giriş değişkeni dilsel ifadelerine ait üyelik fonksiyonları değerlerinin arayüzdeki giriş ekranı ve arayüz tarafından oluşturulan üyelik fonksiyon grafiği Resim 5.1.'de gösterilmiştir.

İrtifa değişkenine ait dilsel ifadeler düşük, orta ve yüksek olarak belirlenmiştir. İrtifa değişkenine ait evrensel küme değerleri Eş. 5.7'de gösterildiği gibi 0-65000 feet aralığında seçilmiştir.

$$\text{İ}rtifa(x) = \begin{cases} x; & 0 \leq x \leq 65000\ feet \\ 0; & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (5.7)$$

İrtifa değişkenine ait üyelik fonksiyonları Eş. 5.8-5.10 arasında gösterilmiştir.

$$\mu\text{Düşük}(x: 0; 12000) = \begin{cases} (12000 - x)/12000\,; & 0 \leq x \leq 12000 \\ 0; & x \geq 12000 \end{cases} \quad (5.8)$$

$$\mu\text{Orta}(\text{x}: 10000; 25000; 40000) = \begin{cases} 0; & x \leq 10000 \\ (x - 10000)/15000; & 10000 \leq x \leq 25000 \\ (40000 - x)/15000; & 25000 \leq x \leq 40000 \\ 0; & x > 40000 \end{cases} \quad (5.9)$$

$$\mu\text{Yüksek}(\text{x}: 30000; 65000) = \begin{cases} 0; & x \leq 30000 \\ (x - 30000)/35000; & 30000 \leq x \leq 65000 \\ 0; & x > 65000 \end{cases} \quad (5.10)$$

İrtifa giriş değişkeni dilsel ifadelerine ait üyelik fonksiyonları değerlerinin arayüzdeki giriş ekranı ve arayüz tarafından oluşturulan üyelik fonksiyon grafiği Resim 5.2.'de gösterilmiştir.

Mesafe değişkenine ait dilsel ifadeler Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Mesafe değişkenine ait evrensel küme değerleri Eş. 5.11'de gösterildiği gibi 0-400 km aralığında seçilmiştir.

$$Mesafe(x) = \begin{cases} x; & 0 \leq x \leq 400\ km \\ 0; & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (5.11)$$

Mesafe değişkenine ait üyelik fonksiyonları Eş. 5.12-5.16 arasında gösterilmiştir.

$$\mu\text{ÇokYakın}(x: 0; 60) = \begin{cases} (60 - x)/60\,; & 0 \leq x \leq 60 \\ 0; & x > 60 \end{cases} \tag{5.12}$$

$$\mu\text{Yakın}(\text{x}: 0; 60; 120) = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \\ x/60; & 0 \leq x \leq 60 \\ (120 - x)/60; & 60 \leq x \leq 120 \\ 0; & x > 120 \end{cases} \tag{5.13}$$

$$\mu\text{Orta}(\text{x}: 60; 120; 180) = \begin{cases} 0; & x \leq 60 \\ (x - 60)/60; & 60 \leq x \leq 120 \\ (180 - x)/60; & 120 \leq x \leq 180 \\ 0; & x > 180 \end{cases} \tag{5.14}$$

$$\mu\text{Uzak}(\text{x}: 120; 180; 240) = \begin{cases} 0; & x \leq 120 \\ (x - 120)/600; & 120 \leq x \leq 180 \\ (240 - x)/600; & 180 \leq x \leq 240 \\ 0; & x > 240 \end{cases} \tag{5.15}$$

$$\mu\text{ÇokUzak}(\text{x}: 200; 400) = \begin{cases} 0; & x \leq 200 \\ (x - 200)/200; & 200 \leq x \leq 400 \\ 0; & x > 400 \end{cases} \tag{5.16}$$

Mesafe giriş değişkeni dilsel ifadelerine ait üyelik fonksiyonları değerlerinin arayüzdeki giriş ekranı ve arayüz tarafından oluşturulan üyelik fonksiyon grafiği Resim 5.3.'te gösterilmiştir.

Manevra değişkeni, hedefin belirli bir zaman aralığında gerçekleştirdiği manevraların sayıları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Bu kapsamda, manevra giriş değişkenine ait dilsel ifadeler az, orta ve çok olarak belirlenmiştir. Manevra giriş değişkenine ait evrensel küme değerleri Eş. 5.17'de gösterildiği gibi 0-9 adet aralığında seçilmiştir.

$$Manevra(x) = \begin{cases} x; & 0 \leq x \leq 9 \\ 0; & Diğer\ durumlar \end{cases} \tag{5.17}$$

Manevra değişkenine ait üyelik fonksiyonları Eş. 5.18-5.20 arasında gösterilmiştir.

$$\mu\text{Az}(x: 0; 4) = \begin{cases} (4 - x)/4\,; & 0 \leq x \leq 4 \\ 0; & x \geq 4 \end{cases} \quad (5.18)$$

$$\mu\text{Orta}(\text{x}: 0; 4; 6) = \begin{cases} x/4\,; & 0 \leq x \leq 4 \\ (6 - x)/2; & 4 \leq x \leq 6 \\ 0; & x > 6 \end{cases} \quad (5.19)$$

$$\mu\text{Çok}(\text{x}: 4; 9) = \begin{cases} 0; & x \leq 4 \\ (x - 4)/5; & 4 \leq x \leq 9 \\ 0; & x > 9 \end{cases} \quad (5.20)$$

Manevra giriş değişkeni dilsel ifadelerine ait üyelik fonksiyonları değerlerinin arayüzdeki giriş ekranı ve arayüz tarafından oluşturulan üyelik fonksiyon grafiği Resim 5.4.'te gösterilmiştir.

Arayüzde tehdit değerlendirme aşamasında çıkış değişkeni olarak tehdit seviyesi belirlenmiştir. Tehdit seviyesi çıkış değişkenine ait dilsel ifadeler düşük, orta ve yüksek olarak belirlenmiştir. Tehdit derecesi olarak bilinen tehdit seviyesi 0 (en az derecede tehdit) ve 1 (en yüksek derecede tehdit) olmak üzere 0-1 arasında bir değer alır. Daha yüksek dereceli tehdit daha tehlikeli hedef anlamına gelmektedir. Bu sebeple, tehdit seviyesi çıkış değişkenine ait evrensel küme değerleri Eş. 5.21'de gösterildiği gibi 0-1 aralığında belirlenmiştir.

$$TehditSeviyesi(x) = \begin{cases} x; & 0 \leq x \leq 1 \\ 0; & Diğer\ durumlar \end{cases} \quad (5.21)$$

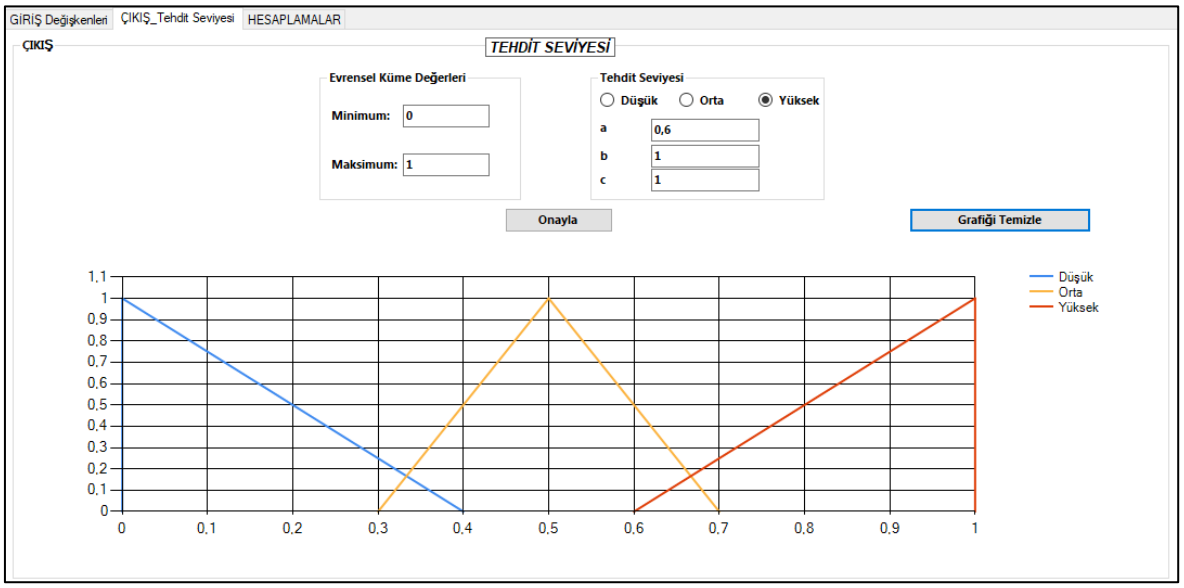
Tehdit seviyesi çıkış değişkenine ait üyelik fonksiyonları Eş. 5.22-5.24 arasında gösterilmiştir.

$$\mu\text{Az}(x: 0; 0{,}4) = \begin{cases} (0{,}4 - x)/4\,; & 0 \leq x \leq 0{,}4 \\ 0; & x > 4 \end{cases} \quad (5.22)$$

$$\mu\text{Orta}(\text{x}: 0{,}3; 0{,}5; 0{,}7) = \begin{cases} 0; & x \leq 0{,}3 \\ (x - 0{,}3)/0{,}2; & 0{,}3 \leq x \leq 0{,}5 \\ (0{,}7 - x)/0{,}2 & 0{,}5 \leq x \leq 0{,}7 \\ 0 & x > 0{,}7 \end{cases} \quad (5.23)$$

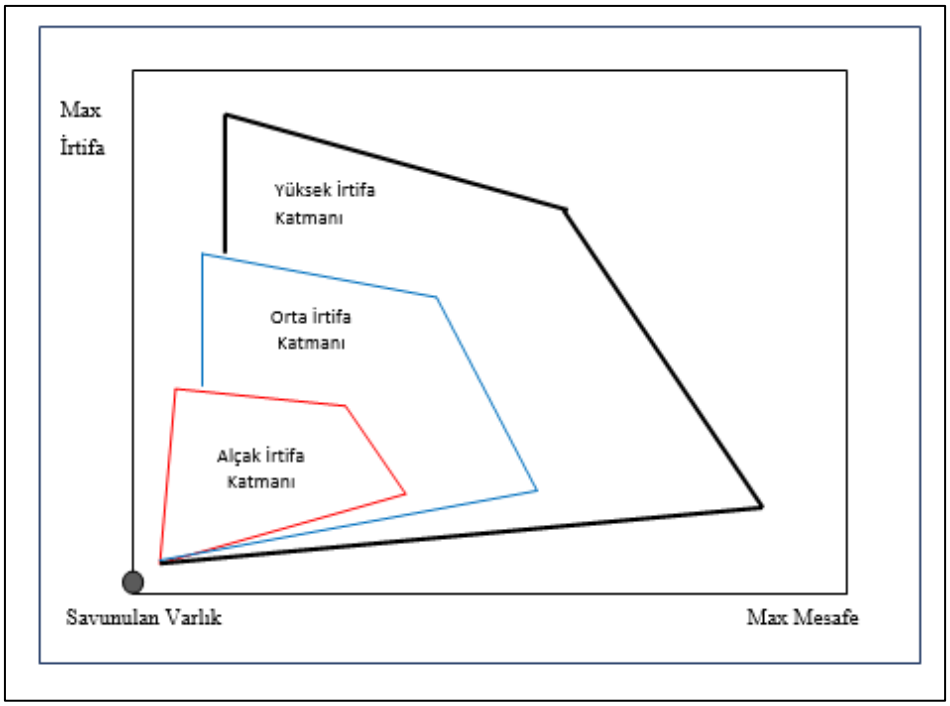
$$\mu\text{Çok}(x: 0{,}6; 1) = \begin{cases} 0; & x \leq 0{,}6 \\ (x - 0{,}6)/1; & 0{,}6 \leq x \leq 1 \\ 0; & x > 1 \end{cases} \quad (5.24)$$

Tehdit seviyesi çıkış değişkeni dilsel ifadelerine ait üyelik fonksiyonları değerlerinin arayüzdeki giriş ekranı ve arayüz tarafından oluşturulan üyelik fonksiyon grafiği Resim 5.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü tehdit seviyesi değişkeni bulanık kümeleri

Hava savunma sistemlerinde silah sistemlerinin kabiliyetleri dikkate alındığında katmanlı hava savunma sistemi kavramı ortaya çıkmaktadır. Katmanlı hava savunma sistemlerinde savunulan hava sahası, envanterde bulunan silah sistemlerinin yeteneklerine göre çeşitli kademelere bölünür. Bu kademeler Resim 5.8.'de görüldüğü gibi alçak irtifa katmanı, orta irtifa katmanı ve yüksek irtifa katmanı olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 5.10. Hava savunma katmanları

Bu çalışmada tasarlanan arayüzde, hedefe ait tehdit derecesinin hesaplanması işleminden sonra operatör istediği aşamada Resim 5.6.'da görülen ekranda silah ata butonunu kullanarak silah atama işlemini gerçekleştirebilir. Arayüzde silah sistemleri katmanlı hava savunma sistemi olarak oluşturulacak şekilde tasarlanmış ve operatöre sunulmuştur. Bu kapsamda arayüzde belirlenen silah sistemleri ve özellikleri Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Silah sistemleri ve özellikleri

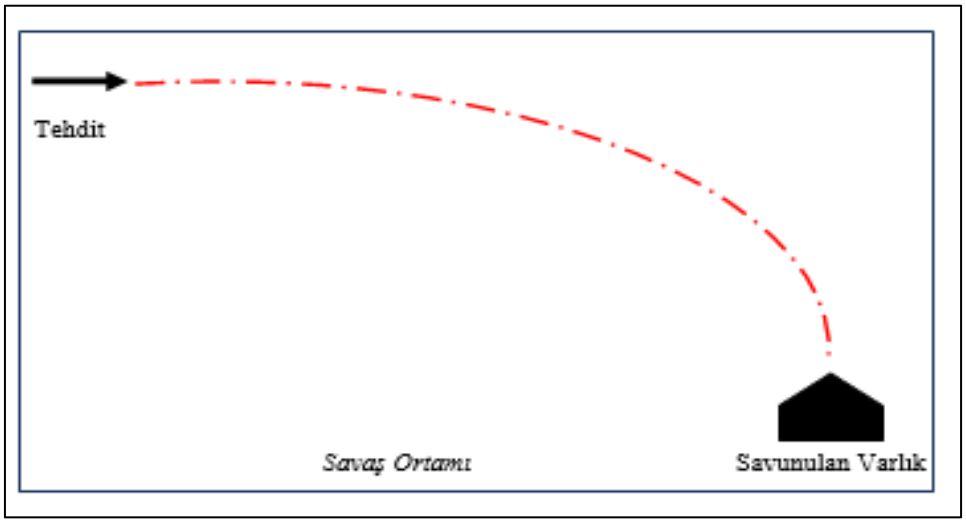
Silah Sistemi	Katman	Tehdit Seviyesi
Silah Sistemi-1 (SS-1)	Alçak İrtifa Katmanı	Düşük
Silah Sistemi-2 (SS-2)	Orta İrtifa Katmanı	Orta
Silah Sistemi-3 (SS-3)	Yüksek İrtifa Katmanı	Yüksek

Bu silahlardan her biri farklı irtifa ve uzaklıklarda etkin olarak kullanılmasının yanı sıra her bir silah sisteminin etkinlik dereceleri de farklıdır. Örnek olarak Silah Sistemi 1 alçak irtifa katmanında yer alan ve tehdit derecesi nispeten düşük tehditler için etkin olarak kullanılabilirken, orta katmanda yer alan ve tehdit derecesi daha büyük tehditler için etkili olarak kullanılamamaktadır. Ancak katmanlı hava savunma sisteminin doğası gereği, her katmanda yer alan silah sistemi bir alt katmanında da etkin olarak kullanılabilmektedir. Yani orta katmandaki hedefler için etkin kullanılabilen Silah Sistemi 2 iç katmandaki hedeflere

karşı da kullanılabilmektedir. Aynı şekilde dış katmanda yer alan Silah Sistemi 3 hem orta hem de iç katmanda etkin olarak kullanılabilmektedir.

5.3.2. Senaryo 1 kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar

Tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzünde, iki adet senaryo kapsamında tehdit derecesinin hesaplanması ve sonrasında ise silah atama işlemi gerçekleştirilmiştir. Senaryolarda, öncelikle radar takibi sonucunda tehdit olarak sınıflandırılan bir hava aracının, savunulan varlığa karşı oluşturduğu tehdit seviyesi belirlenmiştir. Daha sonra ise hesaplanan tehdit seviyesi ve hedefe ait diğer parametreler kullanılarak uygun silah sistemi hesaplanmış ve etkin silah sistemi operatöre önerilmiştir. İlk olarak Şekil 5.3.'te gösterilen Senaryo-1 çerçevesinde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.11. Savaş ortamında senaryo-1

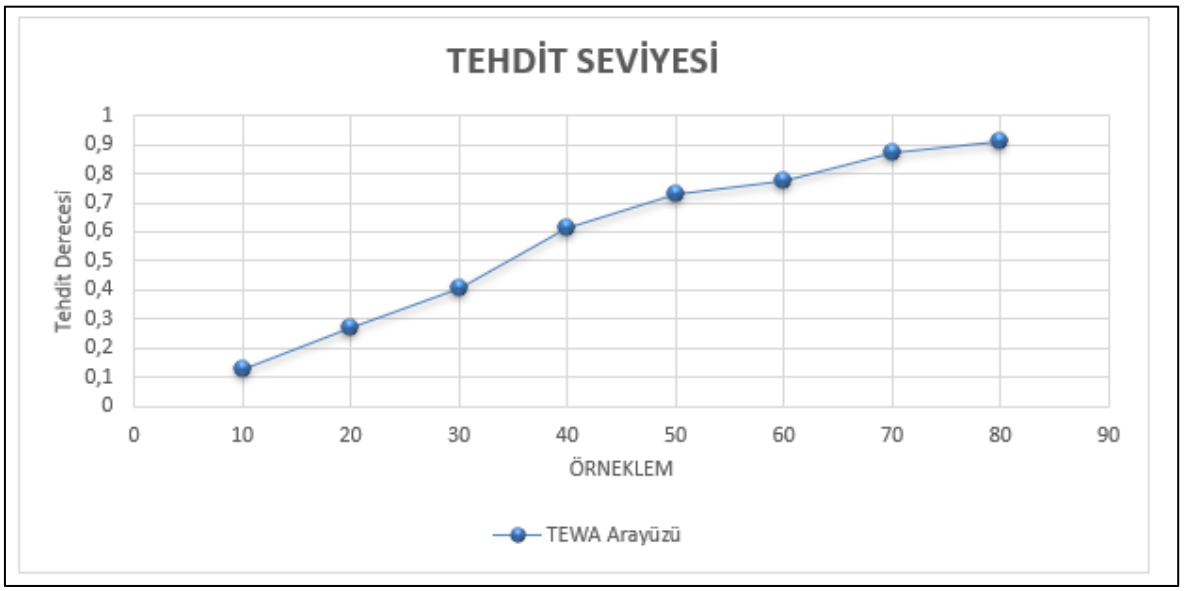
Senaryo-1'de belirli bir zaman aralığında hedeften alınan hız, irtifa, mesafe ve belirli bir zaman aralığında gerçekleştirilen toplam manevra sayıları göz önünde bulundurularak tehdit derecesi hesaplanmıştır. Hedefe ait hız parametresinin [90; 173; 275; 438; 782; 942; 1100; 1223] knot olmak üzere sekiz farklı zaman aralığında arttığı kabul edilmiştir. Aynı şekilde irtifa parametresinin [42775; 38895; 33700; 27680; 17000; 10210; 7690; 5296] feet ve mesafe parametresinin ise [288; 233; 167; 105; 80; 67; 33; 20] km olmak üzere sekiz farklı zaman aralığında değişen değerlerle azaldığı kabul edilmiştir. Başlangıçta hedefin normal sayıda manevra yaptığı kabul edilirken, savaş ortamında hava araçlarının gerçekleştirdiği gibi gözlem zamanı geçtikçe hedefin daha fazla manevra yaptığı kabul edilmiştir. Sekiz

farklı zaman aralığında manevra değerleri ise [2; 2; 5; 7; 7; 7; 7; 7] adet kabul edilmiştir. Tehdit derecelerinin hesaplanmasında sonra ise, operatörün silah atamasını gerçekleştirmek istediği anda, silah atama öneresi arayüz tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada her bir tehdit derecesi ve parametreye göre hesaplamalar yapılmış ve envanterde bulunan üç adet silah sisteminden uygun olanı, arayüz tarafından operatöre önerilmiştir. Hesaplanan tehdit dereceleri ve silah önerileri Çizelge 5.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Senaryo-1 arayüz hesaplama sonuçları

Örneklem Zamanı	Hız	İrtifa	Mesafe	Manevra	Tehdit Seviyesi	Silah Sistemi
1	90	42 775	288	2	0,127	-
2	173	38 895	233	2	0,27	-
3	275	33 700	167	5	0,404	SS2
4	438	27 680	105	7	0,611	SS2
5	782	17 000	80	7	0,73	SS2
6	942	10 210	67	7	0,772	SS3
7	1 100	7 690	33	7	0,872	SS3
8	1 223	5 296	20	7	0,912	SS3

Senaryo-1 kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda tehdit derecesinde gerçekleşen değişimler Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Senaryo-1 tehdit derecesi değişimi

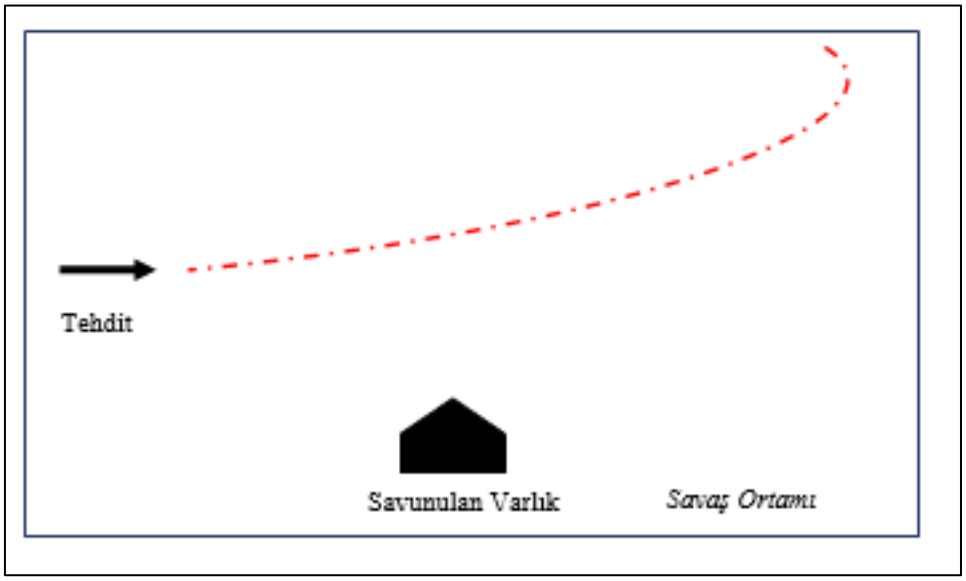
TDSA arayüzünde gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, tehdit olarak sınıflandırılan bir hava aracına ait parametreler Senaryo 1 kapsamında incelenmiştir. Hava aracına ait hız ve

belirli bir zaman aralığında gerçekleştirilen manevra sayısı artarken, irtifa ve savunulan varlığa karşı mesafe zamanla azaldığında tehdit derecesinin de zamanla arttığı gözlemlenmiştir. Silah atama aşamasında ise ilk iki durumda TDSA arayüzü tarafından herhangi bir silah atamasına gerek duyulmamış ve operatöre caydırıcı başka angajmanlar gerçekleştirmesi gerektiği önerilmiştir. Hedefin tehdit derecesinin zamanla artmasıyla ve diğer parametreler göz önünde bulundurulduğunda ilerleyen aşamalarda silah sistemi önerileri gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak 6. sıradaki parametreler incelendiğinde hedefin irtifası düşük ve orta kümelerine ve hedefin mesafesinin ise yakın kümesine üye olması karar süreçlerinde karmaşa yaratabilir. Bu belirsizlik ve yoğun veri ışığında silah atama aşamasında operatör karar vermekte zorlanabilir. Bu sebeple, ilgili aşamada operatörün karar destek sistemine ihtiyacı olabilir. Bu aşamada, operatör TDSA arayüzüne başvurduğunda, uzmanlar tarafından oluşturulan kurallar da dikkate alındığında gerçekleştirilen hesaplamalar ve hedefin tehdit derecesinin de yüksek olması sebebiyle daha etkili sistem olan Silah Sistemi-3 önerilmiştir. Aynı şekilde 8. Sıradaki parametreler incelendiğinde, hedefin irtifası düşük, mesafesi ise çok yakın ve yakın kümelerine üye olduğu durumda, katmanlı hava savunma sistemlerinin doğası gereği alçak irtifa katmanında yer alan silah sistemlerinin kullanılması beklenmektedir. Ancak, hedefin hız, manevra ve tehdit derecesi de ele alındığında alçak irtifa silah sistemlerinin, hedefin etkinliğini azaltmak için yeterli olmayacağı açıktır. Bu sebeple hedefin diğer parametreleri ve tehdit derecesi de göz önünde bulundurularak en etkin silah sisteminin operatöre önerilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, operatör TDSA arayüzüne başvurduğunda, uzmanlar tarafından oluşturulan kurallar da dikkate alındığında gerçekleştirilen hesaplamalar ve hedefin tehdit derecesinin de yüksek olması sebebiyle daha etkili sistem olan Silah Sistemi-3 önerilmiştir.

5.3.3. Senaryo 2 kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar

Arayüz tarafından, Şekil 5.5.'te gösterilen Senaryo-2 çerçevesinde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Senaryo-2 kapsamında hedefe ait hız parametresinin [1200; 848; 750; 532; 348; 132; 120; 110] knot olmak üzere sekiz farklı zaman aralığında azaldığı kabul edilmiştir. İrtifa parametresinin [3000; 4150; 12700; 21300; 24220; 28180; 30000; 34440] feet ve mesafe parametresinin ise [22; 49; 64; 80; 115; 140; 210; 250] km olmak üzere sekiz farklı zaman aralığında değişen değerlerle arttığı kabul edilmiştir. Başlangıçta hedefin normal sayıda manevra gerçekleştirdiği ve zamanla manevra sayısında büyük değişiklikler

gerçekleştirmediği kabul edilmiştir. Sekiz farklı zaman aralığında manevra değerleri ise [2; 2; 4; 4; 4; 4; 4; 4] adet kabul edilmiştir.



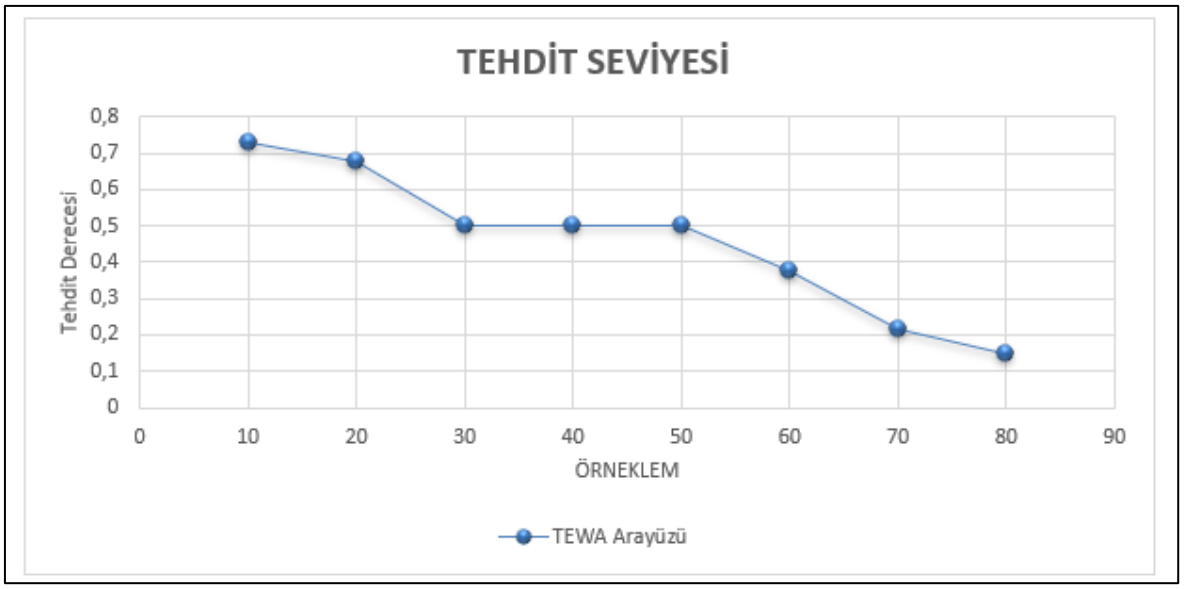
Şekil 5.13. Savaş ortamında senaryo-2

Bu aşamada her bir tehdit derecesi ve parametreye göre hesaplamalar yapılmış ve envanterde bulunan üç adet silah sisteminden uygun olanı, arayüz tarafından operatöre önerilmiştir. Hesaplanan tehdit dereceleri ve silah önerileri Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Senaryo-2 arayüz hesaplama sonuçları

Örneklem Zamanı	Hız	İrtifa	Mesafe	Manevra	Tehdit Seviyesi	Silah Sistemi
1	1 200	3 000	22	2	0,731	SS2
2	848	4 150	49	2	0,679	SS2
3	750	12 700	64	4	0,5	SS2
4	532	21 300	80	4	0,5	SS2
5	348	24 220	115	4	0,5	SS2
6	132	28 180	140	4	0,378	SS2
7	120	30 000	210	4	0,214	-
8	110	34 440	250	4	0,15	-

Senaryo-2 kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda tehdit derecesinde gerçekleşen değişimler Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Senaryo-2 tehdit derecesi değişimi

TDSA arayüzünde gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, tehdit olarak sınıflandırılan bir hava aracına ait parametreler Senaryo 2 kapsamında incelenmiştir. Hava aracına ait hız belirli bir zaman aralığında azalırken, irtifa ve savunulan varlığa karşı mesafe zamanla arttığında tehdit derecesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Silah atama aşamasında ise ilk durumda, hedefin irtifasının düşük bulanık kümesine ve mesafesinin ise çok yakın ve yakın bulanık kümelerine üye olduğu hesaplanmıştır. Hedefin irtifasının düşük ve savunulan varlığa mesafesinin çok yakın, yakın olduğu durumda alçak irtifa katmanında yer alan silah sistemlerinin kullanımı düşünülebilir. Ancak TDSA arayüzünde, hedefin tehdit derecesi 0,731 olarak hesaplanmıştır. Bu tehdit derecesi hem orta hem de yüksek bulanık kümesine belirli derecelerde üyedir. Bu durumda hedefin tehdit derecesi ve diğer parametreler hesaba katılmadığında silah sistemi seçiminde hatalar yapılabilir ve silahların etkin kullanımı gerçekleştirilemeyebilir. Bu sebeple, operatörün silah atama aşamasında gerçekleştirebileceği hataları önlemek ve karar verme sürecinde destek olması amacıyla karar destek sistemine ihtiyacı olabilir. Bu amaçla operatör TDSA arayüzüne başvurduğunda, uzmanlar tarafından oluşturulan kurallar da dikkate alındığında gerçekleştirilen hesaplamalar ve hedefin tehdit derecesinin de yüksek olması sebebiyle daha etkili sistem olan Silah Sistemi-2 önerilmiştir. Zamanla hedefe ait tehdit derecesinin azalması sonucunda son iki satırda TDSA arayüzü tarafından herhangi bir silah atamasına gerek duyulmamış ve operatöre caydırıcı başka angajmanlar gerçekleştirmesi gerektiği önerilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen ve değişen savaş ortamında kullanılan silahların ve tehdit unsurlarının kabiliyetleri gün geçtikçe artmaktadır. Bu artış sebebiyle savaş ortamında karar verme süreçleri daha da karmaşık ve zor bir hâl almaktadır. Bu sebeple, günümüzün gelişmiş tehdit unsurlarını ivedilikle tespit edebilmek ve envanterde bulunan silahların yeteneklerinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi önemli bir vazife olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu vazifenin yerine getirilebilmesi için sadece operatör deneyimleri yeterli olmamaktadır. Bu sebeple operatör deneyimlerinin yanı sıra ilave karar destek sistemlerini de ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada operatörlere karar verme süreçlerinde katkı sağlamayı hedefleyen bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Literatürden farklı olarak karar destek sisteminde bulanık mantık yöntemiyle hesaplamaların gerçekleştirilmesi amacıyla; tehdit değerlendirme ve silah atama arayüzü oluşturulmuştur. Hesaplamalar harekât ortamında benzer olarak kullanılan iki adet senaryo çerçevesinde bulanık mantık yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Senaryo-1 kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar incelendiğinde hedefe ait hız ve belirli bir zaman aralığında gerçekleştirilen manevra sayısı artarken aynı zamanda irtifa ve savunulan varlığa karşı mesafe zamanla azaldığında tehdit derecesinin de zamanla arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Senaryo-2 kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar incelendiğinde hedefe ait hız zamanla azalırken, irtifa ve savunulan varlığa karşı mesafe arttığında tehdit derecesinin de azaldığı gözlemlenmiştir.

Senaryolar kapsamında hedefe ait parametreler ve tehdit dereceleri göz önünde bulundurularak silah atama önerileri arayüz tarafından gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen silah atama önerileri incelendiğinde, katmanlı hava savunma oluşturulacak şekilde envanterde bulunan üç adet silah sisteminden uygun olanı operatöre etkin bir şekilde önerilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, bulanık mantık karar destek sisteminde tecrübeleri doğrultusunda katkı sağlayan uzmanların sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve arayüz hesaplamaları ve uzman tahminleri arasında benzerlik gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tehdit derecesi hesaplamalarının ve silah atama önerilerinin kişisel tecrübeleri ve yeteneği

kapsamında çok sayıda ve belirsiz özellikteki veri ile gerçek zamanlı ve hızlı kararlar vermek zorunda olan operatöre katkı sunduğu değerlendirilmiştir.

Ayrıca, daha önceki çalışmalarda olduğu gibi tehdit değerlendirme ve silah atama süreçlerinde doğası gereği eksik ve belirsiz olarak nitelendirilen verilerle karar vermek için bulanık mantık yönteminin kullanımının uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, arayüzde kullanılan parametrelere ilave parametreler eklenerek daha yüksek doğrulukta tehdit derecesi hesaplamaları ve silah atama önerileri gerçekleştirilebilir. Ayrıca mümkün olması halinde, harekat ortamında yer alan bir tehdide ait gerçek parametre değerleri ve gerçek silah sistemleri arayüze eklenerek TDSA arayüzü ile gerçek hesaplamalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Ünver, S. (2015). *Hava savunma sistemlerinde analitik ağ süreçleri yardımıyla tehdit değerlendirme*. Yüksek Lisans Tezi, Galatasaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1, 12.

2. North Atlantic Treaty Organization (NATO). (2013). *NATO Glossary of Terms and Definitions – AAP-06 Edition.* NATO Standardization Agency, 6.

3. Coşkun, M. (2021). *Hava savunma sistemlerinde bulanik mantik tabanli tehdit değerlendirmesi ve derecelendirmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2.

4. Turan, A. (2012). *Silahların hedeflerin tahsisi problemine yönelik algoritmalar*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4.

5. Özdemir, Z. (2019). *Bölgesel hava savunma için çok amaçlı konuşlanma modeli*. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4.

6. Brancalion, J. F. B., and Kienitz, K. H. (2017). *Threat evaluation of aerial targets in an air defense system using bayesian networks.* 15th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 15th International Conference on Pervasive Intelligence and Computing, 3rd International Conference on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress, November 6-10, Orlando, USA, 900.

7. Johansson, F. (2010). *Evaluating the performance of TEWA system*. Doctoral Dissertation, Skövde University, Sweden, 18.

8. Yun, J., Hong, S. S., and 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, November 20-24, Kobe, Japan, 20-24.

9. Naseem, A., Tasweer, S., Shah, H., Khan, S. A., and Malik, A. W. (2017) Decision support system for optimum decision-making process in threat evaluation and weapon assignment: current status, challenges and future directions. *Annual Reviews in Control*, 20(43), 169-187.

10. Kalcı, K. (2008). *Gemi savunma sistemlerinde tehdit değerlendirme ve silah atama uygulamalari*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 61.

11. Kumar, S., and Tripathib, B. K. (2016). Modelling of threat evaluation for dynamic targets using Bayesian. *Procedia Technology*, 24, 1268-1275.

12. Liang, Y. (2007). *An approximate reasoning model for situation and threat assesment.* International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), August 15-17, Haikou, China, 246-250.

13. Rizwan, H., Tayyaba, S., Ashraf, M. W., Rasheed, H., Ahmed, Z., and Ali, B. (2014). *Threat evaluation of suspicious target for cognitive radar*. 7th IEEE International Multi Topic Conference, November 5-7, Karachi, Pakistan, 456-461.

14. Lu, Y., Wang, Y., Lei, Y., and Wang, Y. (2015). *Air targets threat assessment based on fuzzy rough reasoning.* 27th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), May 23-25, Qingdao, China, 885-890.

15. Johansson, F., and Falkman, G. (2008). *Bayesian network approach to threat evaluation with application to an air defense scenario*. 11th International Conference on Information Fusion, June 30-July 3, Cologne, Germany, 1352-1358.

16. Johansson, F., and Falkman, G. (2008). *A comparison between two approaches to threat evaluation in an air defense scenario*. 5th International Conference Modeling Decisions for Artificial Intelligence, October 30-31, Sabadell, Spain, 110-121.

17. Dongfenga, C., Yu, F., and Yongxuea, L. (2012). Threat assessment for air defense operations based on intuitionistic fuzzy logic. *Procedia Engineering*, 29, 3302-3306.

18. Beser, F., Adıgüzel, D., Yıldırım, Ö., ve Yıldırım, T. (2017*). Bulanık mantık kullanarak hava savunma karar destek sistemi tasarımı.* Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, 5-7 Kasım, Antalya, 2-4.

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

20. İnternet: US Air Force. (2011). *Command and Control: Air Force Doctrine Document 6-0*. URL: https://irp.fas.org/doddir/usaf/afdd6-0.pdf, Son Erişim Tarihi: 16.02.2021.

21. Roux, J., and Vuuren, J. V. (2007). Threat evaluation and weapon assignment, *ORION*, 23(2), 151-187.

22. İnternet: Boyd, J. R. (2012). The essence of winning and losing, OODA Loop. URL: https://fasttransients.files.wordpress.com/2010/03/essence_of_winning_losing.pdf, Son Erişim Tarihi: 07.12.2021.

23. Liebhaber, M. J., and Feher, B. (2002). *Air threat assessment: Research, model, and display guidelines*. Simulation and Human Systems Technology Division of SPAWAR Systems Center (SSC). San Diego, CA: Pacific Science and Engineering Group, Inc, 128.

24. Truter, M. L. (2016). *Development and demonstration of a performance evaluation framework for threat evaluation and weapon assignment systems*. Master's Thesis, Stellenbosch University Industrial Engineering, South Africa, 3.

25. Paradis, S., Benaskeur, A., Oxenham, M., and Cutler, P. (2005). *Threat evaluation and weapons allocation in network-centric warfare*. 7th International Conference on Information Fusion (FUSION), July 25-28, Philadelphia, USA, 8.

26. Roy, J., Paradis, S., and Allouche, M. (2002). *Threat evaluation for impact assessment in situation analysis systems*. In Kadar, I. (Ed.), Proceedings of SPIE: Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition XI, SA: SPIE Publications, 329-341.

27. Oxenham, M. G. (2003). *Enhancing situation awareness for air defence via automated threat analysis*. Proceedings of the 6th International Conference on Information Fusion, July 8-11, Cairns, Australia, 1086-1093.

28. Hosein, P. A., and Athans, M. (1990). *An asymptotic result for the multi-stage weapon-target allocation problem*. Proceedings of the 29th IEEE Conference on Decision and Control, December 5-7, Honolulu, USA, 122.

29. Durgun, E. (2019). *Silah hedef atama ve konumlandırma probleminde melez algoritmaların uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5.

30. Açarlar Barlas, M. (2021). *Elektronik harp tehdit değerlendirmesi kapsamında silah-hedef tahsisi probleminin modellenmesi ve optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Milli Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 18.

31. Lötter, D. P. (2012). *Modelling weapon assignment as a multiobjective decision problem*. Doctoral Dissertation, Stellenbosch University, South Africa, 6.

32. İnternet: Military Today. (t.y.) SAMP/T. URL: http://www.military-today.com/missiles/sampt.htm, Son Erişim Tarihi: 09.01.2022.

33. Bay, Ö. F. ve Uşaklı, A. B. (2003). Survey of fuzzy logic applications in brain-related researches. *Journal of Medical Systems*, 27(2), 215-223.

34. Elmas, Ç. (2011). *Yapay zeka uygulamaları* (4. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık, 112.

35. Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.

36. Mamdani, E. H., and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.

37. Ödük, M. N. (2019). *Bulanık mantık yöntemi ve uygulamaları* (1. Baskı), İstanbul: İksad Yayıncılık, 14.

38. İnternet: Bay, Ö. F. (t.y.) Bulanık kümeler ders notları. URL: https://www.omerfarukbay.com.tr/wpcontent/uploads/2021/11/BMD4_BulanikKumeler.pdf, Son Erişim Tarihi: 19.02.2022.

39. Jang, J.-S. R., Sun, C.-T., and Mizutani, E. (1997). *Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence* (1. Baskı). ABD: Prentice Hall, 24-30.

40. Mouzouris, G. C., and Mendel, J. M. (1997). Dynamic non-singleton fuzzy logic systems for nonlinear modeling. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 5(2), 199-208.

41. Bayhan, E. (2019). *Bulanık mantık kullanarak taşıtlar için bir engel tanıma uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, 12-14.

42. Dahlbom, A., and Helldin, T. (2013). *Supporting threat evaluation through visual analytics.* IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA), February 25-28, San Diego, USA, 155-162.

43. Azak, M., and Bayrak, A. E. (2008). *A new approach for threat evaluation and weapon assignment problem, hybrid learning with multi-agent coordination.* 23rd International Symposium on Computer and Information Sciences, October 27-29, Istanbul, Turkey, 1-6.

44. Chen, L., and Zhang, Y. (2015). *Analysis of multi aerial targets threaten degree on terminal defense system*. International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA), June 28-29, Bangkok, Thailand, 997-1000.

45. Çöçelli, M., and Arkın, E. (2017). A category based threat evaluation model using platform kinematics data. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 2(3), 1330-1341.



GAZİ GELECEKTİR..