



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TİP-2 BULANIK MANTIK KULLANARAK
FAZ DİZİLİ RADARLARIN AYARLANMASI

Fatih Turgut AKÇAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Ocak-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatih Turgut AKÇAY tarafından hazırlanan “TİP-2 BULANIK MANTIK KULLANARAK FAZ DİZİLİ RADARLARIN AYARLANMASI” adlı tez çalışması 20/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç.Dr. Süleyman NEŞELİ

Danışman

Prof.Dr. İsmail SARITAŞ

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Onur İNAN

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Fatih Turgut AKÇAY

20.01.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ TİP-2 BULANIK MANTIK KULLANARAK FAZ DİZİLİ RADARLARIN AYARLANMASI

Fatih Turgut AKÇAY

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. İsmail SARITAŞ

2021, 77 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. İsmail SARITAŞ
Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ
Dr. Öğr. Üyesi Onur İNAN**

Günümüzde radar teknolojisi hem sivil hem askeri alanda gittikçe önem kazanmaktadır. Savunma sanayisinin de gelişmesi ile radarlar üzerine yapılan çalışmalar artmakta ve radar sistemlerinin önemi daha çok ön plana çıkmaktadır. Ülkemiz için milli radar geliştirme projesi de hava savunma sistemleri ve radar teknolojileri için bu önemi vurgulayan kritik çalışmalardanır.

Bu tez çalışmasında hârekat şartları içinde hava sahasına giren düşman uçaklarının radarlar kullanılarak tip-2 bulanık mantık yardımıyla tespit ve teşhis edilerek önceliklendirilmesi ve radarların verimli çalışması için hava tehditlerine gerekli olan radarın zaman paylaşımının optimize edilmesi amaçlanmıştır.

Bu optimizasyonun yapılabilmesi için belirlenen parametreler tip-2 bulanık mantık ile hesaplanmıştır. Çalışmada tip-2 bulanık mantığın, tip-1 bulanık mantığa göre avantajları incelenmiş olup sonrasında arama radarları, hedef takip radarları, atış kontrol radarlarında kullanılan ağırlıklandırılmış metot ve sabit değer metoduna karşı olan başarısı test senaryoları ile açıklanmıştır.

Yapılan bu tez çalışması sayesinde savunma sanayisi bünyesinde ilerleyen yıllarda ülkemiz kaynakları ile üretilen veya üretilmesi planlanan radarların etkinliklerinin arttırılacağı hava sahasına giren tehditlerin önceliklendirileceği kompleks şekilde düzenlenen hava taarruzlarına karşı radarların başarısının arttırılacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Faz Dizili Radar, Radar Teknolojileri, Savunma Sanayisi, Sınıflandırma, Tip-2 Bulanık Mantık

ABSTRACT

MS THESIS

ADJUSTMENT OF PHASE ARRAY RADARS USING TYPE-2 FUZZY LOGIC

Fatih Turgut AKÇAY

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN DEFENSIVE TECHNOLOGIES DEPARTMENT**

Advisor: Prof. Dr. İsmail SARITAŞ

2021, 77 Pages

Jury

Prof. Dr. İsmail SARITAŞ

Assoc. Dr. Süleyman NEŞELİ

Assist. Prof. Dr. Üyesi Onur İNAN

Today, radar technology is gaining more and more importance in both civil and military fields. Especially in the defense industry, this importance comes to the fore more. The national radar development project is also an important indicator of this importance.

In this thesis, it is aimed to identify and prioritize the enemy aircraft entering the airspace within the conditions of nature by detecting and diagnosing with the help of type-2 fuzzy logic using radars and optimizing the time sharing required for air threats for the efficient operation of the radars.

The parameters determined for this optimization will be calculated with type-2 fuzzy logic.

In the study, the advantages of type-2 fuzzy logic compared to type-1 fuzzy logic will be examined, and then its success against the weighted method used in search radars, target tracking radars, fire control radars and fixed value method.

Thanks to this thesis, it is thought that the efficiency of the radars produced / planned with the resources of our country will be increased in the defense industry in the next years.

Keywords: Fuzzy Logic, Phase Array Radar, Radar Technologies, Defense Industry, Classification, Type-2 Fuzzy Logic

ÖNSÖZ

Bu yaşıma gelmemde, verdiğim kararlarda, yaptığım çalışmalarda daima yanımda olan sevgili annem Ayşe AKÇAY, babam Kemal AKÇAY ve kardeşim Cansu AKÇAY'a, semineri hazırlamam ve ders çalışmam konusunda beni motive eden eşim Cansın ATABEYOĞLU AKÇAY'a teşekkürlerimi sunarım. Silahlı kuvvetler mensubu olarak her zaman dürüst, çalışkan, adil, vatansever olmamız gerektiğini hatırlatan çok kıymetli saygıdeğer komutanım Hv. Plt. Alb. Mehmet Murat GÜVENÇ'e ve bu süreçte yardımını, desteğini, sabrını esirgemeyen danışmanım sayın Prof. Dr. İsmail Sarıtaş'a sonsuz teşekkür ederim.

Fatih Turgut AKÇAY
KONYA-2021



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Radar Tarihiçesi ve Kullanım Alanı	1
1.2. Radarda Tip-2 Bulanık Mantık Kullanımı	1
1.3. Literatür Taraması.....	2
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Radarlar ve Türleri	4
2.1.1. Klasik Radarlar	4
2.1.2. Faz Dizili Radarlar	4
3. BULANIK MANTIK	12
3.1. Tip-1 Bulanık Mantık Çıkarım İşlemi.....	18
3.1.1. Mamdani Bulanık Mantık Çıkarım Yöntemi	18
3.1.2. Sugeno Bulanık Mantık Çıkarım Yöntemi.....	22
3.2. Tip-2 Bulanık Mantık Sistemleri.....	23
3.2.1. Tip İndirgeme.....	28
4. TİP-2 BULANIK MANTIK İLE RADAR MODELLENMESİ.....	32
4.1. Problemin tespiti ve çözüm tekniği	32
4.2. Tip-2 bulanık mantık sistem kullanarak radarın tasarımı.....	33
4.3. Üyelik fonksiyonları.....	37
4.4. Kural tabanları, tip azaltımı ve durulaştırma tekniği.....	42
5. TİP-2 BULANIK MANTIK İLE RADARIN KULLANILMASI TEST SONUÇLARI	44
6.SONUÇ	58
7. ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	63
EKLER	65

KISALTMALAR

AHP: Analitik Hiyerarşik Proses

CW: Continious Wave (Sürekli Dalga)

FFT: Fast Fourier Transform

HSS: Hava Savunma Sistemi

HTS: Hedef Takip Süresi

MTI: Moving Target Indicator

RCS: Radar Cross Section (Radar Kesit Alanı)

RF: Radyo Frekansı

SAM: Surface to Air Missile

TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions

TWS: Track While Scan

YKS: Yeniden Kontrol Süresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1 : Faz dizinli anten yapısı.....	5
Şekil 2. 2 : Faz farkı uygulanmış faz dizinli anten yapısı	5
Şekil 3. 1 : (a) Klasik küme (b) Bulanık küme (Yıldırım, 1998)	12
Şekil 3. 2 : A bulanık kümesinin üyelik grafiği (Yıldırım, 1998)	13
Şekil 3. 3 : (a) Keskin küme üyelik (b) Bulanık küme üyelik (Altınörs, 2007)	14
Şekil 3. 4 : Üyelik fonksiyon grafikleri ve denklemleri (Nguyen, Prasad, Walker, & Walker, 2002)	16
Şekil 3. 5 : Bulanık mantık blok diyagramı.....	16
Şekil 3. 6 : Bulanık mantık çıkarım blok diyagram.....	18
Şekil 3. 7 : Mamdani Bulanık Çıkarım Çıkışı (Li, Chen, Dai, & Li, 2010)	19
Şekil 3. 8 : “ve”, “veya” kapılarının bulanık mantık uygulaması.....	20
Şekil 3. 9 : Toplama işlemi ile bulanık küme oluşturulması	21
Şekil 3. 10 : Durulaştırma yöntemleri	22
Şekil 3. 11 : Sugeno bulanık mantık sisteminin çalışma diyagramı.....	23
Şekil 3. 12 : Tip-2 bulanık mantık blok diyagramı.....	25
Şekil 3. 13 : Genel Tip-2 bulanık mantık üyelik fonksiyonu	26
Şekil 3. 14 : Aralıklı Tip-2 bulanık mantık üyelik fonksiyonu	26
Şekil 3. 15 : Üyelik fonksiyon sınırları a) Tip-1 üyelik fonksiyon sınırları b) Genişletilmiş üyelik fonksiyon sınırları c) Belirgin ayak izi üyelik fonksiyon sınırları	28
Şekil 3. 16 : Gömülü Tip-1 bulanık mantık sistemlerin toplanması.....	29
Şekil 3. 17 : Bulanık sistem durulaştırma blok diyagramı	31
Şekil 4. 1 : Tasarlanan Tip-2 bulanık mantık sistemi blok diyagramı.....	33
Şekil 4. 2 : Menzile göre puanlama grafiği	34
Şekil 4. 3 : İrtifaya göre puanlama grafiği.....	35
Şekil 4. 4 : Hızın puanlamaya göre grafiği	35
Şekil 4. 5 : İvmenin puanlamaya göre grafiği	36
Şekil 4. 6 : RCS'in puanlamaya göre grafiği.....	37
Şekil 4. 7 : İrtifa üyelik fonksiyonu.....	38
Şekil 4. 8 : Hız üyelik fonksiyonu	38
Şekil 4. 9 : Menzil üyelik fonksiyonu	39
Şekil 4. 10 : İvme üyelik fonksiyonu.....	39

Şekil 4. 11 : Radar Kesit Alanı üyelik fonksiyonu	40
Şekil 4. 12 : Tip-2 bulanık mantık sistemi HTS çıkışı üyelik fonksiyonları	41
Şekil 4. 13 : Genel sistem görünüşü	42
Şekil 4. 14 : 25 adet örnek kural tabanı	43
Şekil 5. 1 : İrtifa değerlerine göre HTS sonuçları	44
Şekil 5. 2 : İrtifa değerlerine göre YKS sonuçları	45
Şekil 5. 3 : Mesafe değerlerine göre HTS sonuçları	46
Şekil 5. 4 : Mesafe değerlerine göre YKS sonuçları	47
Şekil 5. 5 : Hız değerlerine göre HTS sonuçları	48
Şekil 5. 6 : Hız değerlerine göre YKS sonuçları	49
Şekil 5. 7 : İvme değerlerine göre HTS sonuçları	50
Şekil 5. 8 : İvme değerlerine göre YKS sonuçları	51
Şekil 5. 9 : RCS değerlerine göre HTS sonuçları	52
Şekil 5. 10 : RCS değerlerine göre YKS sonuçları	53
Şekil 5. 11 : Tip-1 ve Tip-2 benzer şartlara göre HTS sonuçları	54
Şekil 5. 12 : Tip-2 bulanık mantık ve Sabit Değerlikli Sistem HTS sonuçları	55
Şekil 5. 13 : Tip-2 bulanık mantık sistem ile Ağırlıklandırılmış Katsayılı Sistem HTS sonuçları	56

ÇİZELGELER

Çizelge 4. 1 : Dilsel ifadeler	37
Çizelge 5. 1 : İrtifa değeri değışken olan HTS sonuçları.....	44
Çizelge 5. 2 : İrtifa değeri değışken olan YKS sonuçları	45
Çizelge 5. 3 : Mesafe bilgileri değışken olan HTS sonuçları	46
Çizelge 5. 4 : Mesafe bilgileri değışken olan YKS sonuçları.....	46
Çizelge 5. 5 : Hız bilgileri değışken olan HTS sonuçları	47
Çizelge 5. 6 : Hız bilgileri değışken olan YKS sonuçları.....	48
Çizelge 5. 7 : İvme bilgileri değışken olan HTS sonuçları.....	49
Çizelge 5. 8 : İvme bilgileri değışken olan YKS sonuçları	50
Çizelge 5. 9 : RCS bilgileri değışken olan HTS sonuçları	51
Çizelge 5. 10 : RCS bilgileri değışken olan YKS sonuçları.....	52
Çizelge 5. 11 : Tip-1 ve Tip-2 birlikte HTS sonuçları.....	54
Çizelge 5. 12 : Sabit Değer Metodu ve Tip-2 bulanık mantık HTS sonuçları	55
Çizelge 5. 13 : Ağırlıklandırılmış katsayılı metot ve Tip-2 bulanık mantık HTS sonuçları.....	56

1. GİRİŞ

1.1. Radar Tarihçesi ve Kullanım Alanı

Radar temelleri, James Clerk Maxwell tarafından 1864 yılında ortaya atılan Elektromanyetik Alanın Dinamik Teorisi'ne kadar gitmektedir (Deliormanlı, 2009).

İkinci Dünya Savaşı'nın başlamasıyla Almanya ile İngiltere arasında cereyan eden "Britanya Muharebeleri" esnasında İngilizler ülkelerini korumak için Almanların hava saldırılarına karşılık radar teknolojisini ilk defa aktif olarak kullanmışlardır. Zaman içerisinde gelişen teknoloji ve kullanılan metotlar ile birlikte radarların kullanım alanları ve kabiliyetleri de gelişme göstermiştir. Günümüzde ülkeler hava sahalarının güvenliği için radarları hava gözetleme, arama, tespit etme amacıyla ve HSS'lerde atış kontrol radarı olarak da kullanılmaktadır.

Teknolojik gelişmeler ve yapılan çalışmalar ile radarların kabiliyetleri arttırılmış, çeşitleri radarlar geliştirilmiştir. Her bir anten elemanını ayrı kaynaklardan besleyen ve gök yüzüne RF yayını yapan, RF hüzmünün elektronik yöntemler ile yönlendirildiği faz dizili radarlar bu şekilde ortaya çıkmıştır.

Günümüz savaş şartlarında havadan yapılacak olan taarruzlar için radarların azımsanamaz önemi bulunmakta ve hava sahasında bulunan her bir düşman uçağını takip etmesi ve gerektiğinde atış menzili içinde füze atması harekât ortamı için çok önemlidir. Hava sahasında çok sayıda ve çok çeşitli bulunan tehditlerin takibinin yapılması için radar kaynaklarının verimli şekilde kullanılması gerekmektedir.

1.2. Radarda Tip-2 Bulanık Mantık Kullanımı

Tip-2 bulanık mantık sistemleri ile birlikte radar kaynağını en etkili şekilde kullanılması için hava tehditlerinin bazı parametreleri incelenmelidir. Tez çalışmasında hava platformunun faz dizili radarın kritiklik seviyesini belirlememiz için beş çeşit parametre değerlendirmeye alınmıştır. Bu parametreler tehdidin hızı, tehdidin irtifası, tehdidin mesafesi, tehdidin ivmesi veya manevra gücü ve tehdidin radar kesit alanıdır. Bu parametrelere bakılarak tip-2 bulanık mantık yardımıyla radarın hava tehdidini ne kadar süre takip edeceğini belirleyen HTS değeri ve aynı hava tehdidine karşı ne sıklık ile kontrol edeceğini belirleyen YKS değerleri meydana çıkarılacaktır.

Sonuçlar ele alındığında tip-2 bulanık mantık ile yapılan radar kaynağının optimizasyonu tip-1 bulanık mantığa göre daha uzun süreli HTS ve daha kısa süreli YKS değerlerine erişildiği görülmüştür.

1.3. Literatür Taraması

Literatür araştırmalarına bakıldığında bulanık mantığın kullanıldığı ve savunma sanayisini içine alan birçok çalışma karşımıza çıkmaktadır.

Lu vd. tarafından yapılan çalışmada bulanık mantık kullanarak hedefin tipi, hızı, geliş açısı, uçuş irtifası, karıştırma kabiliyetinin olup olmadığı gibi özelliklere değerlendirerek tehdit kritiklik seviyesini ölçmüş ve önerilen bu yöntemin başarılı olduğunu göstermiştir (Lu, Wang, Lei, & Wang, 2015).

Rizwan vd. tehdidin hız, irtifa, mesafe bilgilerini kullanarak hazırladıkları puan skalasında not vermiş ve tehdit kritiklik seviyesine göre sınıflandırmışlardır. Bu çalışmada sadece hız, irtifa ve mesafe bilgilerinin değerlendirildiği tehditler üzerinde herhangi bir elektronik destek sisteminin olup olmadığına bakılmağı için çok etkili bir sınıflandırma vermediği değerlendirilmektedir (Rizwan et al., 2014).

Beşer vd. yaptığı çalışmada hava araçlarının kara ya da deniz araçlarına göre daha hızlı hareket etmesinden dolayı, savaş gemilerinin havadan gelecek tehditleri kısıtlı sürede doğru algılaması ve uygun reaksiyonu göstermesi gerektiğini, hava hedeflerinin doğru şekilde kimliklendirilebilmesi için radar, elektronik destek sistemleri, göz gibi çeşitli sensörlerden gelen bilgiler kullanıldığını, hedef tipinin ve tehdit seviyesinin belirlenmesi, gösterilecek reaksiyon açısından büyük önem arz ettiğini değerlendirmektedir. Bu çalışmada, hava hedeflerine ait hız, irtifa, mesafe ve tırmanma oranı değerleri ile uzman görüşü alınarak oluşturulan bulanık mantık kuralları kullanılarak tehdit seviyesi belirlenmiştir (Beser, Adıgüzel, Yıldırım, & Yıldırım, 2018). Bulanık mantık simülasyon sonuçlarını Sugeno ve Mamdani tekniklerini kullanarak üçgensel ve gaussian dağılımlara uygulamış çıkan sonuçları kıyaslamıştır. Yapılan kıyaslamalar sonucunda radar kaynaklarının optimize edildiği görülmüştür (Mamdani & Assilian, 1975; Sugeno, 1985).

Aydın ve Tamer bulanık mantık kullanarak savunma sanayisinde tedarikçi seçimlerini doğru yapan işletmelerin tasarruf sağlayıp, pazarda rekabet avantajı da elde edebileceğine yönelik çalışma yapmıştır. Bulanık küme teorisine dayalı hiyerarşik süreç kullanarak firmaların tedarik süreçlerini değerlendiren çalışma yapılmıştır. Kapasite kısıtı, üretim maliyet kısıtı, kaynağında kalite kontrol kısıtı, teslim süresi kısıtı, fire oranı kısıtı ve bulanık AHP ncelikleri kısıtlamaları ile oluşturulmuş bir hedef programlama modeli oluşturmuştur çalışma sonucunda hazırlamış oldukları bulanık AHP önceliklerinin kullanılabilir ıktıları olduğunu gözlemlemişlerdir (Aydın & Tamer, 2018).

Demirtaş ve Akdoğan yaptığı araştırmalarında bulanık ortamda savuma sanayisi için tedarikçi seçiminde TOPSIS yöntemi kullanarak bulanık ortamda en iyi tedarikçiyi seçmeye çalışmış ve TOPSIS yönteminin tedarikçi seçiminde başarılı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir (Demirtaş & Akdoğan, 2014).

Stoffel çalışmasında radar kaynağını optimize ederek operasyonel sahada önceliği yüksek olan hedeflere daha çok süre takip etmiş böylelikle yüksek tehlike arz eden tehditleri daha çok takip etme ve gözetim altında tutma imkânı bulmuştur çalışması sonucunda radar kaynağının etkili kullanılmasını sağlamıştır (Stoffel, 1994).

Gelev vd. yaptıkları çalışmada füzenin hedefe ne kadar mesafede patlama yapacağını hesaplamak için hedefin hız ve açısı bilgilerini bulanık mantık ile kullanmış ve en iyi patlama mesafesini ortaya çıkaran çalışma yapmış ve bulduğu sonuçların en iyi patlama mesafesi olduğunu göstermiştir (Gelev, Gacovski, Jiea-he, Yuan-wei, & Deskovski, 2007).

Shin vd. yaptığı çalışmada tehdit manevra yapmaya başladığında o tehlide bakma süresini arttırıp daha fazla süre takipte kalmış ve radar kaynağını tehlike arz eden tehditlere daha çok ayırarak verimlilik sağlamıştır (Shin, Hong, & Hong, 1995).

Miranda vd. radarın parametrelerini inceleyerek belirli değişimler gözlemlenen parametrelere katsayılar vererek bu parametreleri bulanık mantık yardımı ile hedefi sınıflandırmak ve radar kaynağını en etkili biçimde kullanmak için çalışma yapmış, hedef tespit ve takibinde başarılı sonuçlar almıştır (Miranda, Baker, Woodbridge, & Griffiths, 2007).

Serbest, faz dizili radarların kaynak tahsisi optimizasyonunu ele almış ve Lagrange rahatlatma modelini kullanmıştır (Wintenby & Krishnamurthy, 2006). Lagrange rahatlatma modeline göre faz dizili radarın arama ve takip özellikleri birbirinden bağımsız düşülmüştür. Kaynak kısıtları tam sayı doğrusal probleme çevirmiş ve optimize etmiştir (Serbest, 2019).

Bulut çalışmasında tip-2 bulanık mantık kümelerinin tanımlarını yaparak, tip-1 bulanık mantık kümelerine göre avantajlarından bahsetmiş ve MATLAB yazılımı ortamında SIMULINK üzerinde Fuzzy Tool Box'ı modelleme çalışması yapmış ve ürettiği Tool Box'ın doğru çalıştığını göstermiştir (Bulut, 2004).

Öztürk vd. bulanık ortamda karar vermenin zorluğundan bahsetmiş tip-2 bulanık mantığın tip-1 bulanık mantıktan daha doğru sonuçları vereceği üzerine çalışma yapmış olup tip-2 bulanık mantık kullanarak uygun ve doğru tedarikçi seçimi çalışmasında bulunmuşlardır (Öztürk & Paksoy, 2020).

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radarlar ve Türleri

Radar kelimesi, anlam olarak “Radio Detection and Ranging” kelimelerinin kısaltması ile türetilmiş, çalışma prensibi olarak yönlendirilmiş anteni sayesinde gökyüzüne gönderdiği frekans dalgalarının cisimlere çarpması sonucu yansıyan frekans dalgalarını toplayıp sinyal işleme sürecinden geçirdikten sonra gökyüzündeki cisim hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayan bir sistemdir. Radarların gökyüzüne yolladığı frekans dalgaları ile çok uzak mesafelerdeki cisimlerin konumları, hızları, irtifaları gibi özellikleri tespit edilebilir. Gökyüzünden alınan bu bilgiler sayesinde hava sahasının bütünsel resmi ortaya çıkartılabilir, hava sahasındaki dost ve düşman uçakların durumları gözetlenebilir.

Tarih boyunca radar teknolojileri gelişerek ilerlemiş günümüz teknolojisi şartlarında klasik ve faz dizili radarlar karşımıza çıkmaktadırlar. Bu radarlar genel anlamda incelenebilir.

2.1.1. Klasik Radarlar

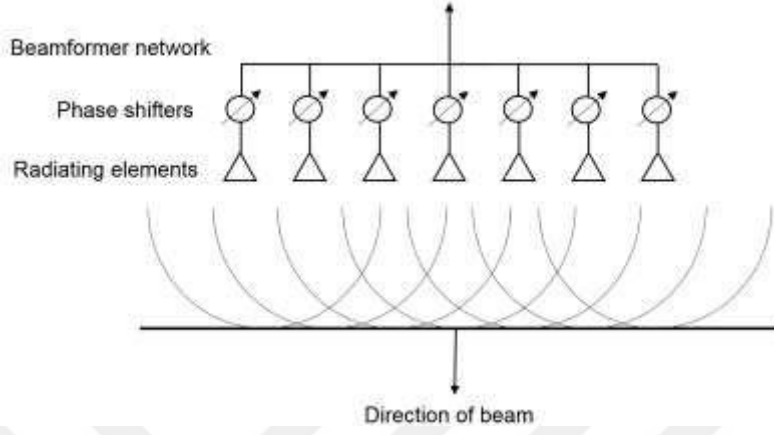
Klasik radarlar göz önüne alındığında; kesintisiz olarak yayın yapan CW Radar, gönderdiği sürekli frekans değerini belirli periyotlarda değiştiren Frekans Modüleri CW Radarlar, gönderdiği frekanslar arasında uyum yoksa eşlenik olmayan (Noncoherent), Hareketli hedefleri göstermekte kullanılan MTI Radarlar, trafik polislerinin hız aşımalarını ölçmek için sıklıkla kullandığı hassas hız ölçümü yapan Darbe Doppler Radarlar, hedef takip radarları, tarama olarak Konik Taramalı Tek Darbeli Takip Radarları, açışal doğrulukta takip yapan Mesafe Tespit Radarları şeklinde çeşitleri mevcuttur.

2.1.2. Faz Dizili Radarlar

Klasik radarlarda yönlü antenin baktığı taraf değiştirilerek radarın hâkim olduğu alan artırılmaya çalışılır. Böylelikle radarın gördüğü alan ve gözetleme etkinliği artırılmış olur. Faz dizinli radarlarda diziyi oluşturan aktif elemanların güç beslemesi ayrı olduğundan antenden çıkan hüzmeye genlik ve frekans elektriksel olarak yönlendirilir. Anten mekanik olarak döndürülmeden verici antenden çıkan frekans yayınları arasına faz farkı eklenerek anten elektriksel olarak döndürülmüş olunur. Fazlı bir dizinin geleneksel bir radara göre avantajı, frekans hüzmeye herhangi bir mekanik sistem olmadan yönlendirebilmesidir. Bu şekilde, mekanik hatalar ortadan kaldırılır radar sistemleri daha

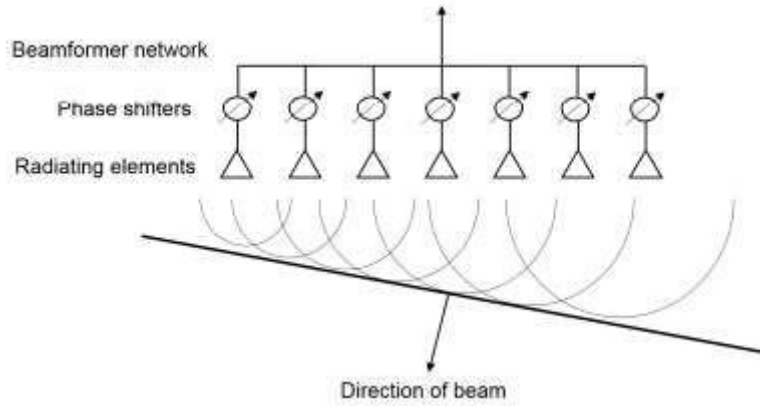
güvenilir hale gelir. Hüzme konumlandırması daha hızlı hale geldiğinden daha yüksek tarama oranları elde edilir.

Anten çıkışları ayrı güç beslemelerinden olduğu için aynı anda birden fazla hüzmeye sahip olur ve aynı anda birden fazla tehdidi takip edebilir.



Şekil 2. 1 : Faz dizinli anten yapısı

Şekil 2.1’de gösterilen faz dizinli antenin her biri bağımsız yayın yapabilme yeteneğine sahip dizinler gösterilmiştir. Taranmak istenen yönde faz farkı eklenerek anten elektromanyetik olarak yönlendirilebilir.



Şekil 2. 2 : Faz farkı uygulanmış faz dizinli anten yapısı

Şekil 2.2’de faz dizinli antenin hüzmeleri elektriksel müdahale ile baktığı yön dışına çevrilmiştir. Bu çevirmeyi sağlamak için aktif yayın yapan besleme kaynakları faz kaydırıcılar kullanılarak hüzmelerin doğrultusu değiştirilmiştir.

Faz dizili radarların bir diğer avantajı yayın yaptığı hüzmeye boyutunun değiştirilebilmesidir. Hava sahası tarama yapılırken tehditlerin manevrası, hız gibi parametreleri tam algılanmaması durumunda faz dizili radar hüzmelerinin uzunluğunu

veya genişliğini değiştirerek hedefi yakalamak için kendini güncelleyebilir. Dizi anten üzerine yerleştirilen ayrı besleme gücü ile çalışan antenler yüksek güç seviyelerine çıkartılabilir böylece daha uzun mesafelerdeki tehditler takip altına alınabilir. Faz dizimli radarların bir diğer özelliği de konvensiyonel radarlara göre dağınıklık veya kargaşa olarak ifade edilen clutter durumunu daha etkili bir şekilde çözmektedir (Volakis,2007). Elektronik tarama yapabilme özelliği faz dizili radarlara büyük avantajlar ve yetkinlikler sağlamaktadır. Ters sentetik açıklıklı radarların özelliği olan tehditlerin sınıflandırılması işlemini yapabilirken tarama periyotları bilgisayar ortamında değiştirilebilir.

Bütün bu özellikler dikkate alındığında faz dizili radarlar tarihte 1950'lerden bu yana kullanılmaktadır. Faz dizili radarların ilk kullanımı göz önüne alındığında 1940 sonlarında hava sahasının resmini daha iyi görüntülemek için birden fazla yayın kaynağı olarak radarlar kullanılmıştır.1950'lerde elektronik kart tasarımları kullanılarak çoklu yayın kaynakları tek anten üzerinde toparlanmıştır. Bu yeni tasarım anteni mekanik olarak döndürmeden elektriksel olarak gökyüzünde daha çok alana daha hızlı tarama imkânı sağlamıştır.

2.1.2.1. Faz Dizili Radarların Uygulamaları ve Avantajları

Faz dizili radarlarda genel olarak üç çeşit uygulama alanı vardır. Kıtalararası füze atım kabiliyeti olan balistik füzeleri tespit etme, bu füzeleri takip etme ve tahmini çarpma noktasını bulmak, karadan havaya füze atma kabiliyeti olan SAM sistemlerinde kullanımı ve ayrıca bazı savunma sanayisi firmalarının geliştirdiği uçaklarda (F-22 Raptor) ve deniz (F220, AN/SPY-1) radarlarında yakalama, takip ve aydınlatma radarları olarak kullanılmaktadır.

Faz dizili radarlar TWS çalışan radarlara göre birden fazla hedefin eş zamanlı olarak takibini daha kesin sonuçlarla yapabilmektedir (Schleher, 2004). Faz dizili radarların kaynak optimizasyonu yapabilme yeteneği önemli tehditler üzerinde daha fazla süre kalmasını daha az tehlike arz eden tehditlere daha az kaynak ayırma özelliği sunar. Faz dizili radarlar özelliklerine ek olarak füze güdüm çeşitlerinden olan yarı aktif füze güdümü için hedef yakalama amacıyla kullanılır. Faz dizili radarlar sayesinde yarı aktif güdüm şeklinde çalışan radarlarda tehdit üzerine düşen ve tehditten yansıyan radyo frekanslarını alan füze hedefe yönelir. Bu kompleks işlemleri yapabilmek için faz dizimli radarın kaynağını en uygun biçimde kullanılması önem arz etmektedir. Bilgisayarlı kullanıma bağlı olarak kaynak enerjisinin artırılıp azaltılması en optimum seviyede hedef takibi yapılmasına olanak vermektedir (Schleher, 2004).

Faz dizili radarlar çok fonksiyonlu olarak kullanılması taktik sahada operasyonel fayda sağlarken bu tarz radarların üretilmesinin ekonomik maliyetini konvensiyonel radarlara göre yüksek olup bu radarların tasarımını yapmak oldukça zordur. Bu üretim maliyetinin ve tasarım yapılmasının zor olmasına rağmen faz dizili radarlar konvensiyonel radarlara göre daha kabiliyetlerinden dolayı sıklıkla tercih edilmektedir.

2.1.2.2. Faz Dizili Anten Mimarisi ve Değiştirilebilen Özellikleri

Faz dizili anten mimarisi incelendiğinde anten elemanları eşit aralıklarla yerleştirilmiş olan doğrusal antenler tasarım için esas alınmıştır. Aralıkların eşit ölçülerde alınması hem hesaplama yapmak açısından hem de tasarım yapmak açısından kolaylık sağlamaktadır. Dizi anten modüllerinin her birisine ayrı genlik ve ayrı faz farkı uygulanması ile anten hüzmesi kontrol edilmektedir (Center, 1997).

Faz dizili radarlarda anten yüzeyindeki dizi setleri öbek halinde çalışarak modül yapısını oluşturabilir. Modül halinde çalışan bu diziler birbirinden farklı tarama alanlarına radyo frekansı gönderebilir böylelikle anten yüzeyinden birden fazla hüzmeneşredebilir. Modül yapıları esas taranmak istenen ana hüzmelerin yan loblarını bastırmak amacıyla kullanılabilir böylece yan loblardan alıcıya girmesi istenen karıştırma sinyalleri bastırılabilir aynı mantık ile ortamdaki gürültü sinyalini kısmen bastırılmış olunur (Schleher, 2004).

Faz dizili radar antenlerinde fazın değiştirilmesi için genel olarak 3 veya 5 bitlik dijital cihazlar kullanılır. Fazların değişimini kontrol etmek amacıyla PIN diyotları kullanılır. Bu diyotlar en çok 4 kW ortalama olarak 200 W kadar çok yüksek olmayan güç kullanırlar. Bu antenlerin fazı değiştirme hızları 2 GHz seviyesine kadar 50 nanosaniye gibi çok yüksek seviyelere çıkabilmektedir. Faz dizili radar antenleri 5 GHz frekans bandına çıktığında fazı değiştirme hızları orta seviyelere inmekte kullanılan güç olarak 400 W seviyelerine çıkmaktadır. Anten hüzmelerinin hızlı yönlendirilebilmesi için fazı değiştiren bitlerin sayısı önem arz etmektedir. Bu bitler sayesinde ana hüzmelerin keskinliği hem de yan hüzmelerin seviyesi ayarlanabilir. Radar anteni üzerindeki modüller antenin alıcı tarafında kullanılarak FFT işleminden geçirilerek dijital hüzmeye üretilir (ER, 2019).

Faz dizili radarlar detaylı hedef kimliğini öğrenmek ve kendisine uygulanacak karıştırma tekniklerine karşı geniş bantta çalışmaktadır. Radar anteni üzerinde yayın yapan elemanların diziliminde frekans dalga boyunun yarısı kullanıldığında ortaya çıkan girişim sinyallerine engel olur. Hangi sıklığa göre anten elemanlarının dizilim

yapılacağına en kısa dalga boyundan yola çıkılarak hesaplama yapılır. Radar anteninin hüzmelerinin oluşturulması için optik geciktirme yapması için fotonik fazlı dizi oluşturan elemanlar da kullanılmaktadır (Schleher, 2004). Anteni oluşturan dizi elemanları eğer hat boyunca yan yana dizilmişlerse bu anten tasarımı lineer dizi anten olarak isimlendirilir. Radar anteninin yayın faktörünü yayın yapacak elemanın gücü, çalışma yapısı ve anten elemanının dizilişi belirler. Anten yüzeyi eğrisel şekilde ise anten yüzeyine yerleştirilen anten elemanları eğrisel düzlem olarak adlandırılmaktadır.

Faz dizili radar antenlerinde yayın yapan aktif elemanların faz farkları kullanılarak tek boyutta yönlendirme işlemi yapılır. Aynı mantık ile iki boyutta yönlendirilmenin yapılması için yayın yapan bir arada çalışan yayın gruplarının yani modüllerin yönlendirilmesi ile olur.

Faz dizili radarlarda bazı özellikler kontrol edilebilir ve ayarlanabilir. Bunlar incelenecek olursa radar hüzmelerinin kaydırılması, hüzmelerin şekillendirilmesi ve radarın tarama paternini yenilemesi özellikler sayılabilir. Anten yüzeyindeki faz dizileri birbirlerinden ayrı yayın yapan elemanlardan oluşan yayın yapacağı yön bağımsız elemanların göreceli olarak fazları arasında fark bırakılarak anten hüzmeleri kaydırılmış olur. Anten elemanı olarak genel manada kullanılan dipol yapılı antenler, açık uçlu dalga klavuzları veya yarı kesikli dalga klavuzları kullanılabilir. Hüzmelerin elektronik olarak yönlendirilmesi faz dizili radarlar için oldukça büyük bir avantajdır (Schleher, 2004). Radarın hızlı bir şekilde hüzmeye yönlendirmesi yapabilmesi hava sahasının kontrolünü ve güvenliğini sağlamak için önem arz etmekte böylelikle tehditler hakkında daha fazla bilgi alınması amaçlanmaktadır. Faz dizili radarların en etkili biçimde kullanılabilmesi için yüksek hızda işlem yapabilme kabiliyetine sahip olan gerçek zamanlı bir bilgisayar ile kullanılması gerekmektedir (Schleher, 2004).

Faz dizili radarların kontrol edilebilir ve ayarlanabilir özelliklerinden birisi olan radar hüzmelerinin şekillendirilebilmesi havadaki tehditlerin daha iyi takip edilebilmesi için önemlidir. Hüzmelerin şekillendirilmesi için anten yüzeyindeki yayın yapan elemanların birbirlerine olan uzaklıkları, her bir yayın elemanına verilen güç değeri, her bir yayın elemanına verilen faz farkı ve radar anteninin şekli önemlidir. Radarın hüzmelerinin tam şekillendirilebilmesi için anten üyelerinin bazılarının hiç yayın yapmaması gerekmektedir. Gerçek dünyada tam olarak bu sağlanamasa bile hesaplama yapılmasında ideal durum olarak ele alınmaktadır. Şekillendirilebilen radar hüzmeleri akıllı anten olarak ifade edilen anten yapıları ile oluşturulur.

Faz dizili radarların bir diğer kontrol edilebilir ve ayarlanabilir özelliği de takip sürelerinin güncellenmesidir. Radar kaynağının en verimli şekilde kullanılması için zaman yönetimini ve enerji tüketimini en optimum şekilde kullanılması gerekmektedir. Burada optimizasyonu sağlamak için gökyüzünde taranan alan, takip edilen hedefin hız, ivme, mesafe, irtifa gibi parametrelerinin değişkenliği önemli rol almaktadır. Örneğin hedef uzakta ve sabit hızla geliyor ise radar başka bir alanı taramak için kendisine zaman yaratabilir ve yenileme süresini azaltabilir. Tehdit eğer hızını arttırıp azaltan şekilde ilerliyor ve manevra yapıyorsa takibini kaybetmemek için daha çok hedefe konsantre olmalı ve yenileme süresini arttırmalıdır (Shin et al., 1995). Yenileme zamanının kontrol edilmesi hedeften alınan parametrelerin güncellenmesi ile yapılabildiği gibi radara kabiliyet katacak algoritmalar kullanılarak da gerçekleştirilebilir.

2.1.2.3. Aktif ve Pasif Dizili Antenler

Faz dizili antenler yapı olarak incelendiğinde aktif ve pasif yapıları olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Bunlardan aktif dizili antenler çok fazla sayıda katı hal alıcı ve verici olarak kullanılan elemanların bir arada kullanılması ile kullanılır. Aktif dizili radarlarda esas amaç aktif elemanların kullanılması ile frekans yayılımını istenilen bölgeye doğru çevirmektir. Aktif dizili anten yapısında anten elemanları kendisinden yayın yaptığı için anten içi yol kayıpları azdır. Aktif dizili antenler modül yapısında bağımsız diğer elemanlardan bağımsız olarak çalıştığı için sistem belirli bir yüzdeye kadar bozulma durumlarında bile aktif olarak çalışabilir.

Pasif dizili anten yapısında alıcı ve verici anten için merkezi bir kontrol noktası bulunmaktadır. Hüzmenin yönlendirilmesi için anten elemanları arasına faz farkı oluşacak şekilde gecikmeli frekans yayını yapılır. Frekans yayını esnasındaki modüller arasındaki faz gecikmesi elektronik ortamda hesaplanarak gönderilir. Böylece anten yüzeyi mekanik olarak hareket ettirilmeden anten hüzmesi elektronik olarak yönlendirilmiş olur. Pasif dizili anten yapısında modüller üzerinde meydana gelebilecek arıza durumunda merkezi bir alıcı verici olduğundan sistemin hata vermesi ve çalışmaması durumu ortaya çıkabilir. Bu aktif dizili radarlara göre bir handikap oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra merkezi bir alıcı verici olması ve ağ yapısının karmaşık olmamasından dolayı maliyet anlamında avantaj sağlamaktadır (Venkata, 2013).

Bunun yanı sıra pasif dizili antenler aktif sistemlere göre dezavantaj olarak merkezi alıcı verici biriminden yayın yapacak anten uçlarına kadar olan yolda frekans kayıplarına uğrayabilir.

Faz dizili antenlerin yayın yapan elemanları birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir olduğundan dolayı anten hüzmesinin yönlendirebilir olması ve hüzmenin istenilen şekle getirilebilir olması radara uyumlanabilir yani adaptif olma özelliği kazandırır. Uyumlu anten çalışmasına sahip olan radarın harekât sahasında çalışırken hedeften aldığı parametreler ile kendisini güncellemesi gerekmektedir. Bu işlemi yaparken de bazı algoritma yapıları kullanılmaktadır. Adaptif anten yapılarında kaynağın optimize kullanılması için kullanılacak algoritmanın öncelikle antenin göstereceği performans değerlerini belirlenmesi ve sonrasında bu performansın yakalanması için anten elemanlarının ağırlıklandırılması daha etkili çalışma sağlamaktadır. Bu sisteme algoritmayı ağırlıklandırma sistemi de denilmektedir (El-Khamy, Rizk, & Korayem, 2013).

Anten elemanlarından alınan yayın parametreleri algoritma tarafından belirlenmiş olan ağırlıklandırmadan geçirilerek sinyal işleme kısmına gelir. Burada sinyal işleme sonrası istenilen performans sergilenmemiş ise algoritma kendisini güncelleyerek ağırlıklandırmaları yeniden belirler. Bu işlem istenilen performans kriteri sağlanana kadar devam eder. Genel olarak Recursive Least Squares Algoritması, Least Mean Square Algoritması, Conjugate Gradient Method gibi algoritmalar adaptif yapılı faz dizili antenlerde kullanılmaktadır.

2.1.2.4. Faz Dizili Anten Kaynak Yönetimi

Konvensiyonel radarlarda birden fazla sistem ve eleman ile gerçekleştirilmeye çalışılan etkili görüntüleme gelişen teknoloji ve GaN gibi katı hal entegre devrelerinin gelişmesi ile yerini daha kompakt sistem olan faz dizili radarlar için önemi ve tercihi bir hayli artmıştır. Harekât esnasında faz dizili radarların bu kabiliyetleri ile hava sahasının resmini çıkartma, hedeflerin izlenmesi, komuta güdümlü füzelerin güdülmesi gibi birçok işlemi gerçekleştirmektedir. Havada ki tehditlerin sayısı ve tarama yapılacak alanın miktarı arttıkça radar frekansının ve enerji yönetiminin önemi artmaktadır. Kaynak yönetimini iyi kullanmak için anten yapısında elemanların en iyi çalışılacak şekilde yerleştirilmesi ve amaca uygunlukta algoritmalar ile desteklenmesi gerekmektedir. Konvensiyonel radar sistemlerinde frekans yapıları ve anten yönlendirme kabiliyetlerinin kısıtlı olmasından dolayı faz dizili radarlara olan ilgiyi arttırmıştır. Faz dizili radarlar hava sahasında değişen parametrelere göre tehdidi hüzmesi içinde tutabilmek için hızlı bir şekilde hüzme şeklini, frekansını, darbe sıklığını değiştirebilir. Faz dizili radarlar hedefi görüş alanında tutmak için yaptığı değişikliklerin yanı sıra füze güdüm modunda kendi

füzesine yönlendirme sinyali ve gönderilen frekansın gücünü ayarlama yapması gerekmektedir. Aynı anda birden fazla iş yapılması bu radarlar için bilgisayar desteği olmadan yapılması mümkün değildir (Stoffel, 1994).

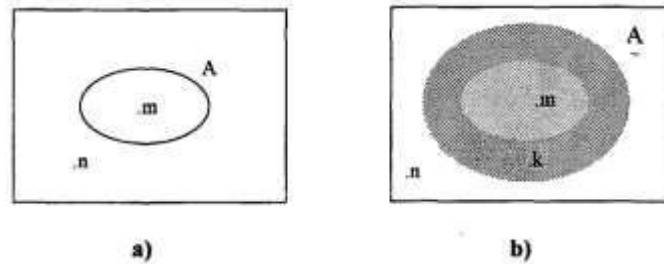
Radar kaynak yönetiminin yapılmasının hedefleri yakalamak ve hava sahasının güvenliği için her hedefin takip edilmesi hava sahasının tamamının kontrol altında tutulması kritik önem arz ettiği için kaynak optimizasyonun yapılması zaruri hal almaktadır. Radarın daha etkili çalışması hedefleri yakalayabilmesi ve yakaladığı hedefleri ilgili sınıflandırmalar içine sokması son derece önemlidir. Bu işlemin yapılabilmesi için çeşitli algoritmalar ile sistemin desteklenmesi gerekmektedir. Tez çalışmamızda algoritma desteklemesi olarak tip-2 bulanık mantık kullanılmış olup sistemin performans çıktıları incelenmiştir.



3. BULANIK MANTIK

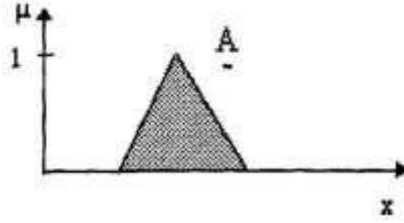
Bulanık mantık Azerbaycanlı bilim adamı Lotfi A. Zadeh tarafından 1961 yılında yapılan bir çalışma ile ortaya çıkmıştır. Zadeh matematik modellemesi zor olan karmaşıklık içeren sistemleri mantığa oturtarak çözmeyi amaçlayan yayın yapmıştır. Matematik modellemelerde olan keskin ifadeler ile açıklanması zor olan durumları kolayca karar bağlamak için bulanık mantık yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. 1970’li yılların ilk dönemlerinde bulanık mantık kullanımı ekonomi, tıp, karar alma mekanizmaları, fabrika otomasyonları gibi birçok konuda kullanılmıştır.

Temelleri MÖ 4. yüzyılda Aristo tarafından atılan ve klasik mantık olarak adlandırılan küme teorisine göre uzaydaki nesnelerin her biri tanımlanmış olan kümenin bir üyesi ya da kümenin değil olmak zorundadır. Bu durum mantık kümelerinde eğer küme elemanı ise Lojik 1 olarak adlandırılırken küme elemanı değil ise Lojik 0 olarak adlandırılmaktadır. Bu şekilde elemanların aitlik durumları 0 veya 1 olarak kesin bir şekilde belirlenen kümeler “crisp cluster” yani keskin küme denilmektedir. Bulanık mantık kümelemesinde kümeye ait elemanlar klasik kümeler gibi 0 veya 1 şeklinde değil $[0,1]$ arasında bir değerde kümeye aittirler. Diğer bir ifade ile bir eleman bir kümenin belirli bir oranda küme üyesidir. Şekil 3.1 (a) klasik kümeye ait elemanların gösterimi şekil 3.1 (b)’de bulanık kümeye ait elemanlar gösterilmektedir.



Şekil 3. 1 : (a) Klasik küme (b) Bulanık küme (Yıldırım, 1998)

Şekil 3.2’de örnek olarak verilen A bulanık kümesinin elemanlarının aitlik durumu gözükmemektedir.



Şekil 3. 2 : A bulanık kümesinin üyelik grafiği (Yıldırım, 1998)

Bulanık mantık üyelerinin göreceli olarak kümelere aitliğinin olması insan doğasına daha uygundur. İnsanın yaşamında ve kararlarında genel olarak klasik küme mantığı gibi keskin sınırlar yoktur. Bunun aksine birçok konuda insan yaşamı belirsiz ve kesin olmayan durumlar içermektedir. Bulanık mantık göreceli üyelik derecelerini kullanarak klasik mantığın yetersiz olduğu durumlara çözümler sunmuştur. Bu çözümlere örnek verecek olursak klasik mantık renk skalasında cismin rengi beyaz veya siyah olabilir. Bulanık mantığa göre renk skalası oluşturulduğunda cisim siyah ve beyaz arasında gri tonlarında renk alabilmektedir. Bu şekilde renk tanımları ile gri tonlarında siyaha çok yakın koyu gri veya beyaza çok yakın açık gri şeklinde ifadeler kullanılabilir. Bulanık mantık kesinlik ve bütünlük içermeyen bilgiler ışığında doğru karar alınabilmesi için karar verme mekanizması olarak kullanılmaktadır.

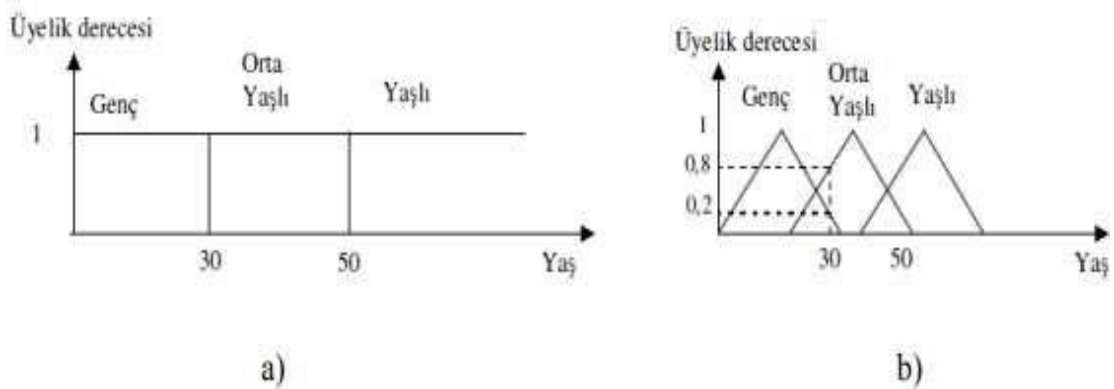
Bulanık mantık ile sözel değişkenlerin karar mekanizmalarında kullanılması sağlanmıştır. Bireylerin yaş durumlarını ifade ederken sözel değerler kullanabiliriz buna örnek olarak birey gençtir, çok gençtir, çok genç değildir, genç değildir, yaşlıdır, çok yaşlı değildir, orta yaşlıdır gibi çokça ifade kullanılabilir. Bulanık mantık kullanarak bu sözel ifadeleri bulanık kümelerin elemanları olarak tanımlayabiliriz. Bu sayede sayısal olmayan insanların belirlediği sözel ifadeleri giriş verisi olarak kullanıp karar mekanizmaları oluşturabiliriz.

Zadeh bulanık mantık ve bulanık kümeleri tanımlarken üyelik fonksiyonlarının kesin olmadığını kesinlik içermeyen ifadelerin de doğada var olduğunu matematiksel olarak küme elemanlarının 0 ile 1 arasında değişen değerler alabileceğini vurgular.

Bulanık mantığı tanımlamak için bulanık kümenin tanımının yapılması gerekmektedir. Buradan yola çıkarak A isimli bulanık kümenin formülü şu şekilde tanımlanabilir:

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (3.1)$$

Bulanık küme elemanın ne kadarının kümeye ait olma veya ne kadarının küme elemanı olmama durumu küme elemanın geçiş derecesidir. Elemanın aitlik durumunu inceleyerek “suyun sıcaklığı düşük” veya “su soğuktur” gibi sözel ve esnek ifadeler bulanık mantık ile matematiksel modelleme yapılabilmektedir. Zadeh yayınlamış olduğu “Bulanık Kümeler” makalesinde tanımı olmayan küme ve sınıfların bulanık mantık kullanılarak bilgi teknolojilerinde, soyutlama ve örüntü tanılama gibi çalışma alanlarında insan düşüncelerine ve karar verme mekanizmalarına yardımcı olduğunu belirtmiştir (Zadeh, 1975b). İnsanların yaşlarına göre sınıflandırılmasını ele alacak olursak kişinin genç, orta yaşlı veya yaşlı olması durumları kesinlik içermemekle birlikte toplum nezdinde 30 ila 50 yaş aralığındaki bireyler orta yaşlı olarak kabul edilmektedir. Bireylerin yaş kavramları klasik küme mantığı ve bulanık küme mantığı ile gösterilmek istenirse şekil 3.3 (a) ve (b)’deki gibi ifade edilebilir.



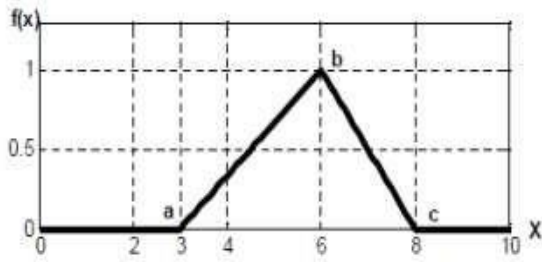
Şekil 3.3 : (a) Keskin küme üyelik (b) Bulanık küme üyelik (Altınörs, 2007)

Küme elemanları olan genç, orta yaşlı, yaşlı olma durumlarının kümeye aitlik durumları klasik kümeler için keskin geçiş sağlamış iken bulanık kümelerde birbirini içine geçmiş üyelik durumları vardır.

Bulanık küme elemanının aitlik durumu veya üyeliği belirli bir karakter yapısına göre ya da fonksiyon tanımına göre belirlenebilir. Üyelik fonksiyonu tanımlaması yapılırken küme elemanlarının alabileceği aitlik değerleri $[0,1]$ arasında bir değer almalıdır. Aralık içerisinde aldığı değer küme elemanın o kümeye ne kadarlık oranda ait olduğunu göstermektedir. Bulanık kümelerin aksine kesin küme elemanları ilgili kümenin ya elemanıdır ya da değildir bundan dolayı alabileceği değerler sadece 0 ve 1

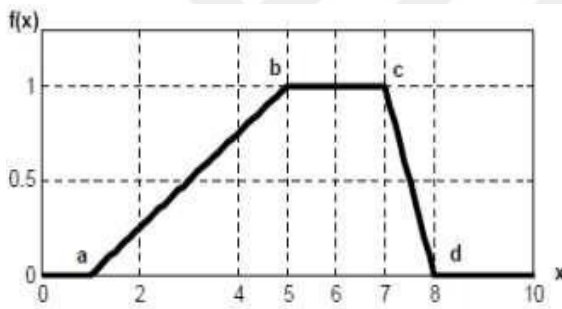
olmaktadır. Bulanık kümelerdeki geçişli yapıda olan aitlik durumları istenilen hassasiyete göre ayarlanabilmektedir (Palit & Babuska, 2001).

Bulanık kümelerde üyelerin aitliği hesaplanırken üçgen, yamuk, gauss eğrisi, sigmoid, çan eğrisi başta olmak üzere belirli fonksiyonlar kullanılır. Burada hangi fonksiyonun kullanılacağını seçmek için problemin ne olduğu çözümünün neye benzediği iyi irdelenmeli ve uygun olan fonksiyon seçilmelidir (Nguyen et al., 2002). Bahsedilen fonksiyonların gösterimleri ve denklem yapıları şekil 3.4 (a-e)'de gösterilmiştir.



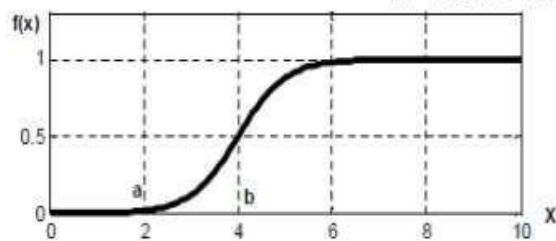
$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , c \leq x \end{cases}$$

a. Üçgen



$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & , c \leq x \leq d \\ 0 & , d \leq x \end{cases}$$

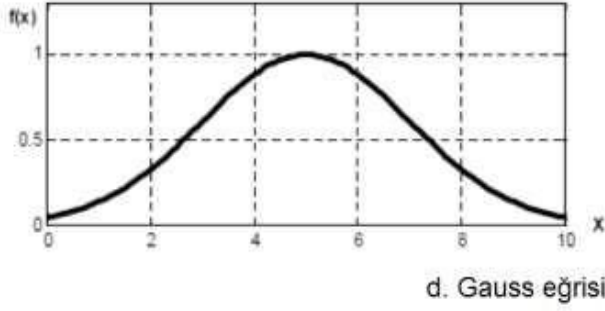
b. Trapezoidal



$$f(x, a, b) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}}$$

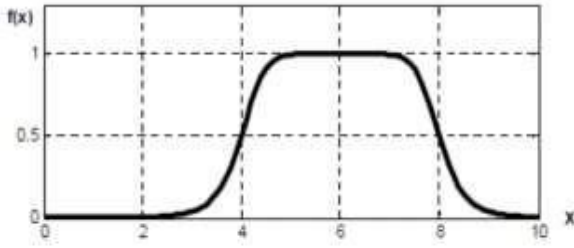
a = 2; b = 4

c. Sigmoid eğrisi



$$f(x, \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$$

$$\sigma = 2; c = 5$$

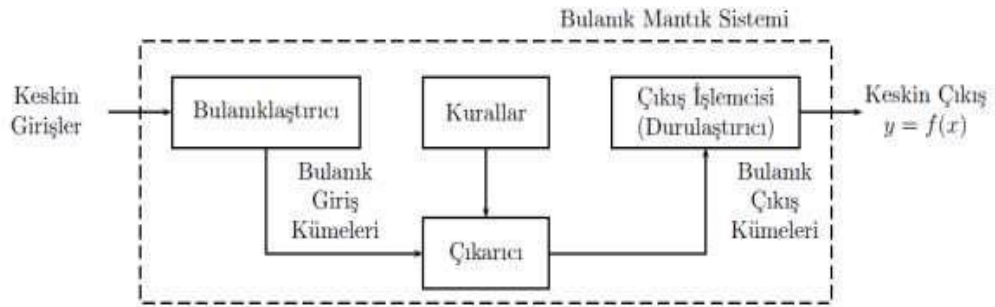


$$f(x, \sigma, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$

$$a = 2; b = 4; c = 6$$

Şekil 3. 4 : Üyelik fonksiyon grafikleri ve denklemleri (Nguyen et al., 2002)

Şekil 3.5'te bulanık mantık sisteminin yapısı ve çalışma şekli blok diyagram halinde gösterilmiştir.



Şekil 3. 5 : Bulanık mantık blok diyagramı

Bulanık mantık blok diyagram içindeki birimler tek tek incelendiğinde

- Bulanıklaştırıcı: Bulanık mantık sistemine gelen kesinlik içeren giriş verilerini sözel olarak tanımlanmış olan bulanık küme elemanlarının üyelik derecelerine ilgili atama işlemini yapar.
- Kural Tabanı: Bulanık mantığın sonuç verecek şekilde çalışması için veri tabanını kullanarak giriş verilerini çıkış verilerine belirli kural çerçevesi içinde bağlayan ve EĞER-İSE (IF-THEN) şeklinde yazılan birimdir. Mantık

kuralları oluşturulurken yalnızca veri girdileriyle çıktılar arasında olabilecek tüm bağlantı ilişkileri bu bölümdedir. Yapılan bu işlem ile veri girdisinin her biri çıkış verisi ile ilişkilendirilmiş olur.

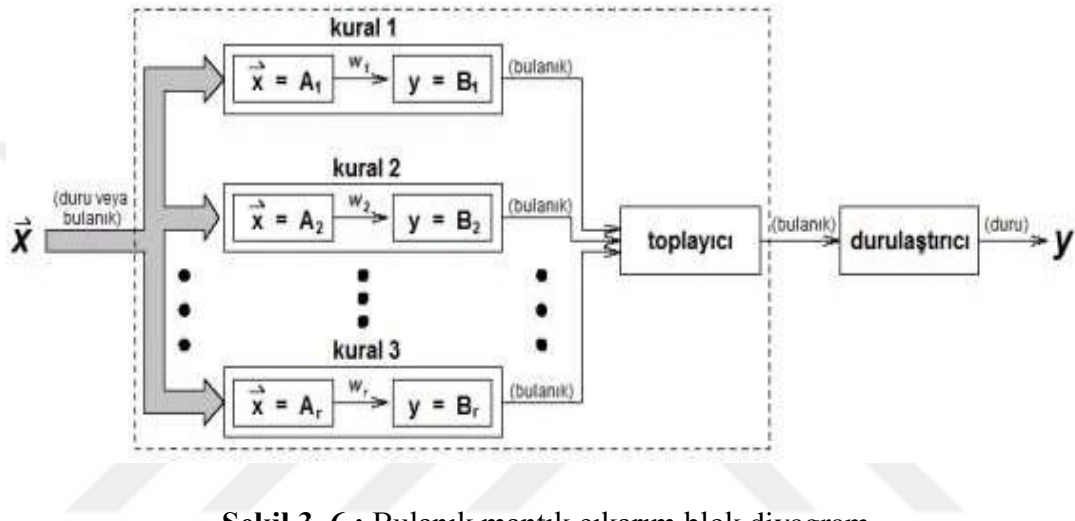
- c) Çıkarıcı (çıkarm) Birimi: Bu kısımda bulanıklaştırıcıdan gelen veriler ile kural tabanında belirlenen kurallar işleme sokularak bulanık kümeler oluşturulur. Oluşturulan bulanık kümeler bir tane olabileceği gibi birden fazla da olabilir. Bulanık kümenin oluşturulabilmesi için bu birimde kullanılan iki ana yaklaşım vardır. Bu yaklaşımlardan birincisi composition based inference diye adlandırılan birleşme tabanlı çıkarım iken diğeri individual rule based inference olarak isimlendirilen tek kural tabanlı çıkarım işlemidir. Çıkarıcı biriminin temelde uyguladığı üç işlem çeşidi vardır. Birinci işlem çeşidi olarak kural tabanında oluşturulan kurallara göre bulanıklaştırıcı biriminden gelen verilere ve, veya, değil şeklindeki mantık kapılarında işleme sokmak. İkinci işlem çeşidi olarak kural ile bu kuralın karşılığındaki çıkış bulanık kümesini birbirine bağlama işlemidir. Üçüncü işlem olarak çıkış bulanık kümelerinin birleştirilmesi işlemidir.
- d) Durulaştırıcı: Çıkarıcı biriminden gelen bulanık işlem sonuçlarının kesin çıkış değerlerine dönüştürüldüğü birimdir. Bu birimde belirlenmiş olan durulaştırma tekniği kullanılarak birim çıkışında anlamlı hale gelecek çıkış verileri oluşturulur. Durulaştırma işlemi yapılırken bulanık mantık çıkışlarının ağırlık ortalamasına göre durulaştırma, toplam değerlerin merkezine göre durulaştırma, yüksekliğe göre durulaştırma, kümelerin merkezlerine göre durulaştırma, uyarlanmış yüksekliğe göre durulaştırma şeklinde bazı durulaştırma yöntemleri kullanılmaktadır (Jang, 1993).

Bulanık mantık insan düşünmesine yakın olması nedeniyle, uygulanış olarak matematiksel modele ihtiyaç duymamasıyla, yazılım maliyetinin düşük olmasıyla, tanımlanması zor problemleri çözmek için uygun yapısının olmasıyla ve uygulama yapılmasının kolay olmasıyla avantajlıdır.

Bulanık mantık bahsedilen avantajlara karşılık olarak kullanılacak olan kural tabanlarının belirlenmesi için bir uzmana ihtiyaç duyulması, üyelik fonksiyonlarının tanımlanması için bir uzman desteğine ihtiyaç duyulması, oluşturulan sistemin kararlılığının analiz edilmesinin zorluğu ve sistemin eğitilmesinin zor olması gibi dezavantajlara sahiptir.

3.1. Tip-1 Bulanık Mantık Çıkarım İşlemi

Bulanık mantık çıkarım işlemi yapabilmek için eğer-ise kuralları ile çalışan bulanık tabanlı bir sistem tasarımı olmalı ve bu sistemin giriş verileri birer çıkış kapısı ile eşleştirilmelidir. Bulanık mantık çıkarımları için tasarlanan sistemler genel olarak otomatik kontrol sistemleri, verilerin sınıflandırılması, karar verme mekanizmaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Şekil 3.6'da örnek bir bulanık mantık çıkarım işlemi için blok diyagram verilmiştir.



Şekil 3. 6 : Bulanık mantık çıkarım blok diyagram

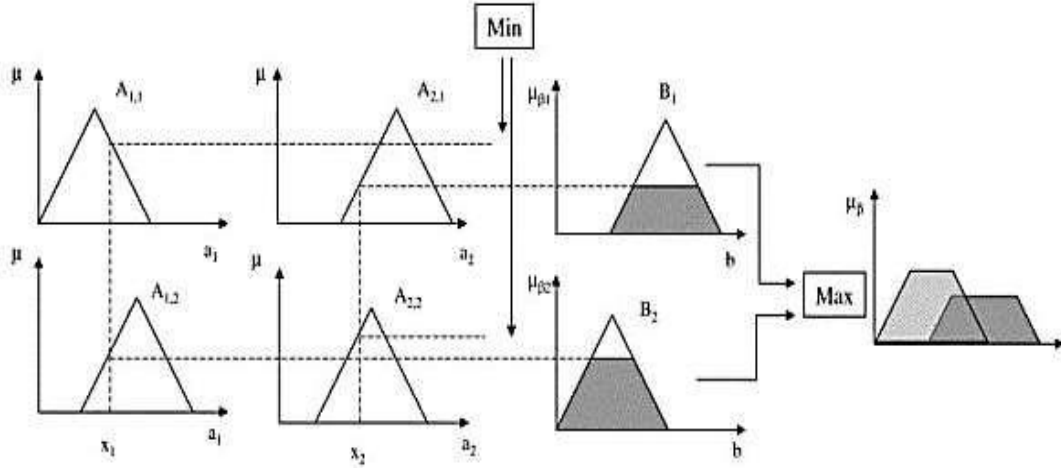
Bulanık mantık sistemleri, çıkarım yaparken kuralların seçimini, bulanık kurallara göre belirlenen üyelik fonksiyonlarını ve çıkış elde etmek için kuralları ve girişleri kullanarak çıkarımda bulunurlar.

Bulanık mantık çıkarım çeşitleri incelendiğinde Mamdani ve Sugeno Bulanık Mantık çıkarımları öne çıkmaktadır. İki sistemi temelde birbirinden ayıran özellikler toplayıcı ve durulaştırma kademelerinde görülmektedir.

3.1.1. Mamdani Bulanık Mantık Çıkarım Yöntemi

Mamdani bulanık mantık çıkarım yöntemi, 1975 yılında Profesör İbrahim Mamdani'nin buhar motorunun çalışmasını bulanık mantık ile modellemesi ile ilk kez kullanılmıştır. Mamdani çalışmasında bir çıkış değeri oluşturabilmek için ilk başta bulanık kuralların kümesini tanımlamış, giriş verilerini bulanıklaştırma birimde bulanıklaştırmış, bulanık kuralın derecesini tespit edebilmek için bulanık giriş değerlerini toplamış, kuralın derecesi ile çıkış üyelik fonksiyonunu toplayıp kural sonucunu bulmuş

ve çıkan sonuçların çıkış dağılımını bulabilmek için toplamıştır. Eğer çıkan sonucun keskin bir sonuca bağlanması isteniyorsa durulaştırma işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Mamdani bulanık çıkarım yöntemi şekil 3.7’de açıklanmıştır.



Şekil 3. 7 : Mamdani Bulanık Çıkarım Çıkışı (Li et al., 2010)

Bulanıklaştırma basamağında bulanık mantıkta sistem için toplanan giriş verilerinin alınıp, belirlenen üyelik fonksiyonları kullanılarak 0 ve 1 arasında bir değere atamasının yapılır. Bu herhangi bir sensörden alınan veri olabileceği gibi sisteme manuel olarak verilen giriş bilgileri de olabilir. Örneğin hava sıcaklığının ölçüldüğü termometreden alınan verilerin bulanık mantık sistemine uygulanması sonucu havanın sıcak, soğuk, ılık gibi sözle anlaşılabilir hale getirilmesi. Bu işlemler yapılırken kullanılan ve, veya, değil kapılarının fonksiyonlarından faydalanılır.

Bulanık mantık da “ve” lojik kapısı öncül kapıların birleştirilmesi amacıyla kullanılır. Eşitlik 3.2’de bu denklemi gösterecek olursak:

$$\mu_{(A \cap B)} = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.2)$$

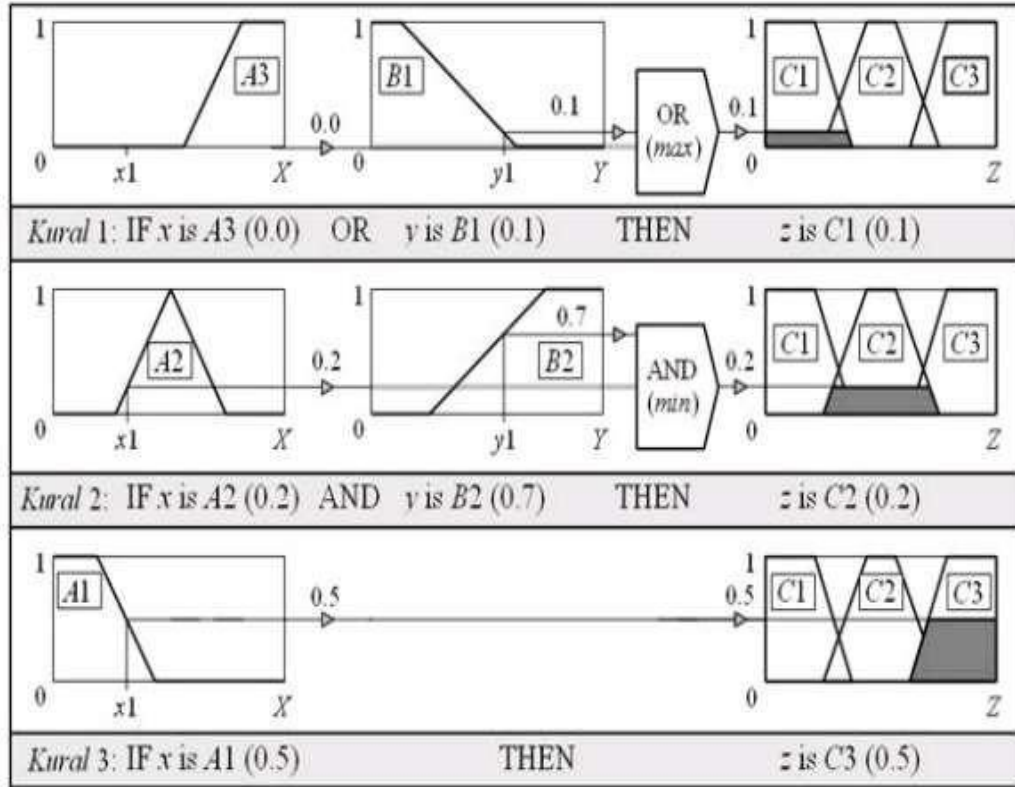
Şeklinde ifade edilebilir. Buradaki gösterimde μ_A ifadesi A kümesinin üyelik durumu μ_B ifadesi de B kümesinin üyelik durumudur. “ve” ifadesinin bulanık mantık sistemleri için kullanırken iki kümenin de şartlarını sağlaması için bu kümelerin minimum seviyelerinin işleme sokulması gerekmektedir. Zadeh “ve” kapısını yorumlarken minimumları olarak ortak payda oluşturmuştur.

Bulanık mantık da “veya” lojik kapısı öncellerin kapıların ayrıştırılması amacıyla kullanılır. Eşitlik 3.3’de bu denklemi gösterecek olursak:

$$\mu_{A \cup B} = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.3.)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Zadeh “veya” kapısını yorumlarken iki ifadeden maksimum olanı alıp böylelikle iki ifadeyi birbirinden ayırmış olur.

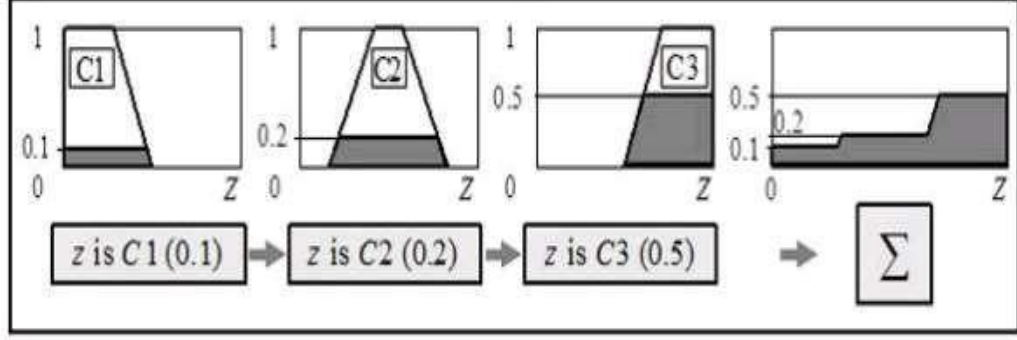
Bulanık mantık için “ve”, “veya” lojik kapılarının uygulamalı gösterimi Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3. 8 : “ve”, “veya” kapılarının bulanık mantık uygulaması

Bulanık mantık sistemlerinde lojik kapıların işlevlerine göre ilgili kümede aitlik derecesi belirlenmiş olur. Çıkışta belirlenmiş olan üyelik derecelerine göre kırpma işlemi gerçekleştirilir.

Bulanık mantık sisteminin oluşturulabilmesi için kapılar yardımıyla ortaya çıkan çıkış dağılımı toplama işlemi ile küme oluşturulur. Toplama işleminin çalışma mantığı şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Toplama işlemi ile bulanık küme oluşturulması

Toplamlar sonucunda ortaya çıkan küme ifadelerini keskin sonuçlara dönüştürme ihtiyacı vardır. Bundan dolayı çıkış dağılımının durulaştırılması gerekmektedir. Bu işlem yapılırken kullanılan belirli teknikler vardır.

- a) Ağırlık merkezi yöntemi Z_{COA} :

$$Z_{COA} = \frac{\int_z \mu_a(z)zdz}{\int \mu_a(z)dz} \quad (3.4)$$

Bu denklemde $\mu_a(z)$ 'nin ağırlık merkezi hesaplanarak çıkışı gösterilmiştir.

- b) Alanın ortası Z_{BOA} :

$$\int_{\alpha}^{z_{BOA}} \mu_a(z)dz = \int_{z_{BOA}}^{\beta} \mu_a(z)dz \quad (3.5)$$

$\alpha = \min \{z; z \in Z\}$, $\beta = \max \{z; z \in Z\}$, α ve β değerleri alanın sınırları şeklinde belirlenmiştir.

- c) Maksimumların ortalaması Z_{MOM} :

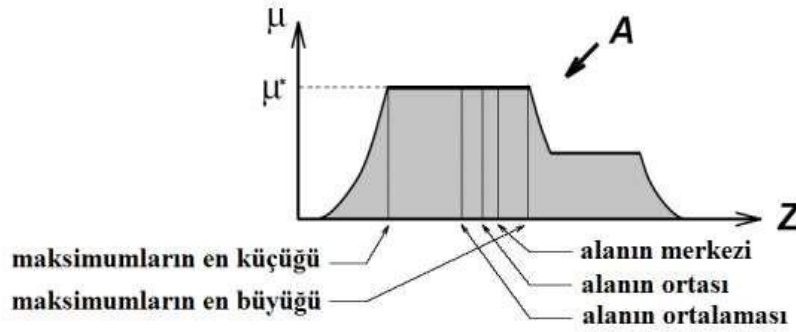
$$Z_{MOM} = \frac{\int_{Z'} zdz}{\int_Z dz} \quad (3.6)$$

$$Z' = \{z; \mu_z(z) = \mu\}$$

Denklem 3.6'da maksimum değerlerin ortalaması alınarak durulaştırma yapılır.

- d) En küçük maksimum: Durulaştırma işlemi bulanık kümenin maksimum olduğu değer üzerinden yapılır.

Durulaştırma yöntemleri ile keskin çıkışların elde edilmesine yönelik uygulama biçimleri Şekil 3.10'da belirtilmiştir.



Şekil 3.10 : Durulaştırma yöntemleri

3.1.2. Sugeno Bulanık Mantık Çıkarım Yöntemi

Sugeno bulanık mantık çıkarım yöntemi kontrol mekanizmalarında sıklıkla uygulanabilen bir yöntemdir. Sugeno yöntemi 1985 yılında Takagi, Sugeno, Kang tarafından giriş kümeleri ve çıkış kümelerinden bulanık kurallar oluşturmak ve bu kuralları sistematığe oturtmak amacıyla geliştirilmiştir. Sugeno bulanık mantık çıkarım yöntemi Mamdani yöntemi ile giriş verilerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemlerinin uygulanması açısından benzer olmasına karşın bu yöntemlerin en büyük farklılık Sugeno bulanık mantık çıkarım yönteminin çıkış verilerini giriş fonksiyonuna bağlı değerler ile göstermesi ve bu fonksiyon değerlerinin lineer ve sabit olmasıdır. Sugeno tipi bulanık mantık çıkarım yöntemi şu denklem halinde yazılabilir.

$$\text{Eğer } x \text{ A ise ve } y \text{ B ise } z=f(x,y) \quad (3.7)$$

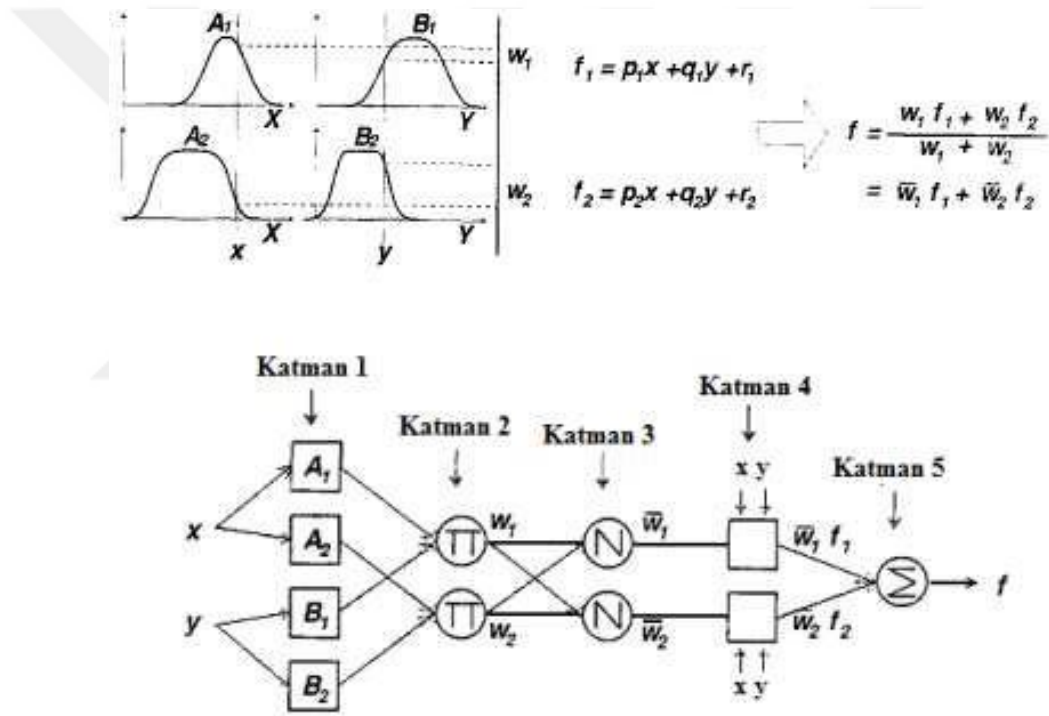
Denklem açık şekilde ifade edildiğinde x ve y sistemin giriş verileri olup z, x ve y'ye bağlı bir fonksiyondur. A ve B bulanık mantık sisteminin bulanık kümeleri olup f(x,y) fonksiyonu eğer birinci dereceden ise sistem birinci dereceden Sugeno Bulanık Mantık Çıkarım Yöntemi olarak, eğer fonksiyon sabit değerli ise sistem sıfırıncı dereceden Sugeno Bulanık Mantık Çıkarım Yöntemi olarak isimlendirilir. Sistem sıfırıncı dereceden olduğunda Mamdani ve Tsukamoto bulanık mantık sistemlerinin özel durumu olarak isimlendirilebilir. Burada sistemin çıkışı fonksiyon olduğundan dolayı herhangi bir durulaştırma işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Fonksiyon çıkışını bulmak için genel olarak bulanık kuralların çıkış değerlerinin ağırlıklı ortalaması hesaplanır. Bu ağırlıklı ortalamanın hesaplanması şu şekilde yapılır:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^K \beta_i(x)y_i}{\sum_{i=1}^K \beta_i(x)} = \frac{\sum_{i=1}^K \beta_i(x)(a^T x + b)_i}{\sum_{i=1}^K \beta_i(x)} \quad (3.8)$$

$\beta_i(x)$ ifadesi i . derecedeki kuralın uyarılma derecesidir ve bu eşitlik için $\beta_i(x) = \mu_{A_i}(x)$ değerine eşittir.

Bulanık mantığı oluşturan bileşenler katmanlar halinde düşünüldüğünde giriş yakın olan katmanlar giriş verileri arasındaki farkları kesin şekilde tanımlamak için kullanılır. Takagi – Sugeno modeli genel anlamda doğrusal olmayan sistemleri parçalı olarak ele alarak bu sistemlerin ilgili kısımlarını doğrusal olarak inceler. Doğrusal olmayan sistemlerin giriş kısımları ile çıkış kısımlarındaki farklılığın giderilmesi amacıyla bölümlere ayrılarak ve doğrusal hale getirilerek bulanık mantık modellemesi yapılır.

Sugeno bulanık mantık sisteminin çalışma mekanizması Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3. 11 : Sugeno bulanık mantık sisteminin çalışma diagramı

Sugeno bulanık mantık sisteminde katman yapılarının doğru kullanılması ile etkili sonuçlar üretilebilecek bulanık mantık sistemleri tasarlanabilir.

3.2. Tip-2 Bulanık Mantık Sistemleri

Tip-1 bulanık mantık sistemleri 1970’li yıllardan bu yana belirsiz olan sistemleri belirli sonuçlara ulaştırmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Belirsizlik kavramını belirli

hale getirme amacıyla kullanılan sistem modellemelerinde kimi zaman Tip-1 bulanık mantık sistemleri yetersiz kaldığı gözlemlenmiş ve daha kesin sonuçlara ulaşmak amacıyla Tip-2 bulanık mantık sistemleri geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanılmıştır.

Geleneksel olarak kullanımda olan Tip-1 bulanık mantık kümelerinden farklı olarak Tip-2 bulanık mantık kümeleri sınırlarında alt ve üst katmanları olan genişletilmiş bir kümeyi oluşturur. Tip-2 bulanık mantık kümelerde küme elemanlarının üyeliklerinin sınırları Tip-1'den farklı olarak kesin değildir. Yani üyelik geçişleri belli sınırlar içinde yapılmaktadır. Üyelik fonksiyonu belirli sınırlar içerisinde geçişli yapıda olduğundan dolayı bulanık mantık sisteminin kurallarındaki belirsizliklerin önüne geçilmiş olunur.

Tip-1 bulanık mantık sistemlerinde üyelik fonksiyonlarının sınırları keskin ve belirli olduğundan dolayı bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlara örnek vermek gerekirse kural oluşturulurken kullanılan kelimelerin farklı kişiler arasında farklı anlamlar uyandırması, üyelik fonksiyonları belirlenirken danışılan uzman görüşleri arasında farklılıklar olması ve üyelik fonksiyon sınırlarını oluşturmada zorluk yaşanması ve giriş verileri ile bulanık sistemi kurmak için kullanılan verilerdeki gürültü oranları bu gibi dezavantajlara örnek verilebilir.

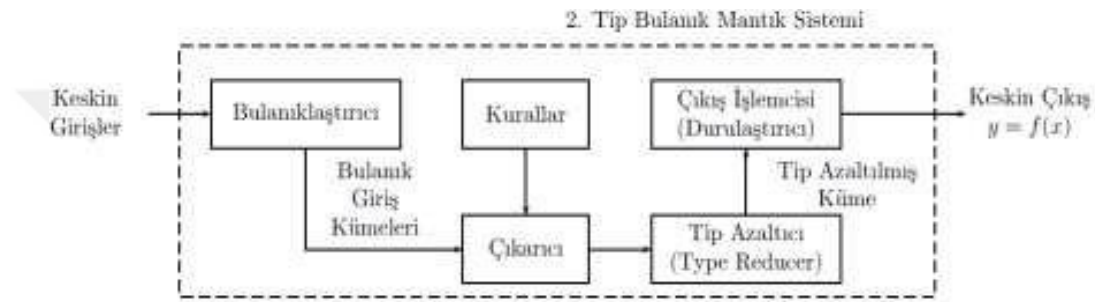
Tip-1 bulanık mantık sistemlerinin sınırlarındaki keskinlik üyelik geçişleri net olmadığı durumda kümeyi tam olarak modellemeyemez ve hatalı sonuçlar üretebilir. Tip-2 bulanık mantık sistemlerinde ki üyelik fonksiyonlarının sınırları geçişli olduğundan dolayı belirsizlik ve aksaklık durumlarında bile Tip-1 bulanık kümeye göre daha doğru sonuçlar verebilmektedir.

Bulanık mantık sistemleri ele alındığında sistemin çıkışlarını etkileyen kurallar, bulanıklaştırma aşaması, çıkarım aşaması ve durulaştırma gibi kısımlardan oluştuğu ve kural tabanlarına göre bir çıkış verdiği görülmektedir. Bulanık mantık sisteminin çıkış verebilmesi için $y = f(x)$ gibi bir fonksiyonla çalışması gerekmektedir. Fonksiyon mantığına göre çıkış üreten bulanık mantık sistemleri bugün birçok sektörde kullanılmakta olup örnek olarak kontrol sistemleri, üretim süreçleri, algılama sistemleri vb. şeklinde saha uygulamaları mevcuttur.

Bulanık mantık sistemlerinde giriş verilerinden bir çıkış sonucuna ulaşmak için IF – THEN yani EĞER – İSE kurallarına gerek duyulmaktadır. Kural yapısı incelendiğinde EĞER olarak ifade edilen bölüm giriş verilenin atandığı, İSE olarak ifade edilen bölüm çıkış sonucunun atandığı bölüm olarak ifade edilebilir. Bu kurallar bütünü Tip sınırlaması olmaksızın n'inci dereceden bulanık mantık sistemi için kullanılabilir. Derece arttıkça kullanılacak olan parametre sayısı artacağından dolayı yüksek dereceli

bulanık mantık sistemleri çok fazla tercih edilmemektedir. Tip-1 bulanık mantık sisteminde üyelik fonksiyonları kesin değerler ile ifade edilirken Tip-2 bulanık mantık sisteminde üyelik fonksiyonun kendisi bulanık sınırları içermektedir.

Bulanık mantık sistemlerinde adlandırma yapılacaksa o sistemin en çok kaçınıcı dereceden bulanık mantık sistemi içerdiğine bakılır. Örnek olarak bulanık mantık sistemi Tip-1 bulanık mantık sistemleri ile tanımlanmışsa Tip-1 bulanık mantık sistemi olarak adlandırılır. Eğer bir bulanık mantık sistemi kurulduğunda içerisinde hem Tip-1 hemde Tip-2 bulanık kümeleri bulunuyorsa bu sistem Tip-2 bulanık mantık sistemi olarak adlandırılır. Tip-2 bulanık mantık sisteminin blok diagramı Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



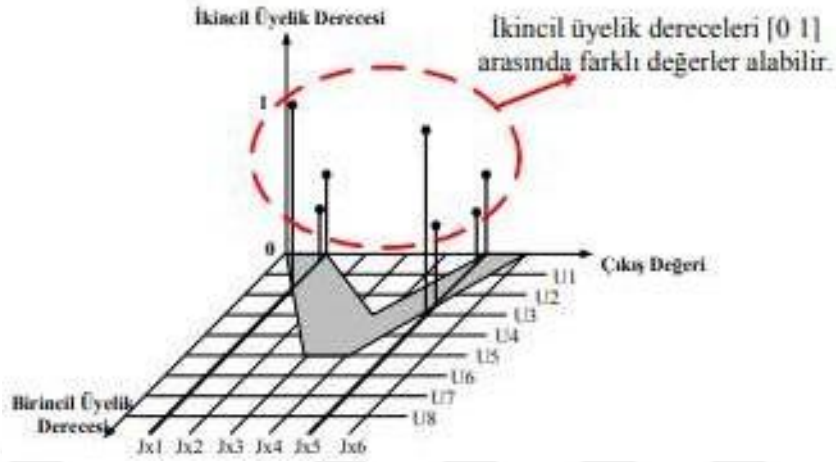
Şekil 3.12 : Tip-2 bulanık mantık blok diagramı

Mühendislik alanında yapılan çalışmalarda Tip-1 bulanık mantığın problemlere dinamik yaklaşım gösterememesi ve belirsizlik durumlarını çözememesinden dolayı Zadeh tarafından Tip-2 bulanık mantık üzerine çalışmalar yapılmış ve modellemeler daha başarılı olmuştur (Zadeh, 1975c).

Geliştirilen Tip-2 bulanık mantık sisteminin belirsizlikleri daha iyi çözüme ulaştırdığı ama işlem karmaşasını arttırdığı gözlemlenmiştir. İşlem karmaşasının yaşanma sebebi Tip-1 bulanık mantık üyelik fonksiyonu iki boyutta yer alırken Tip-2 bulanık mantık sisteminin üyelik fonksiyonları üç boyutta yer almaktadır. Bu sebepten dolayı yaşanan işlem karmaşıklığını gidermek amacıyla yapılan çalışmalarda üyelik fonksiyonlarının tanımlarını iki bölüme ayırıp işlem kolaylığı sağlanmıştır (Zadeh, 1975a). Tip-2 bulanık mantık sistemlerindeki karmaşıklığı gidermek için genel Tip-2 sistemler ve aralıklı Tip-2 sistemler olmak üzere yeniden sınıflandırılmıştır.

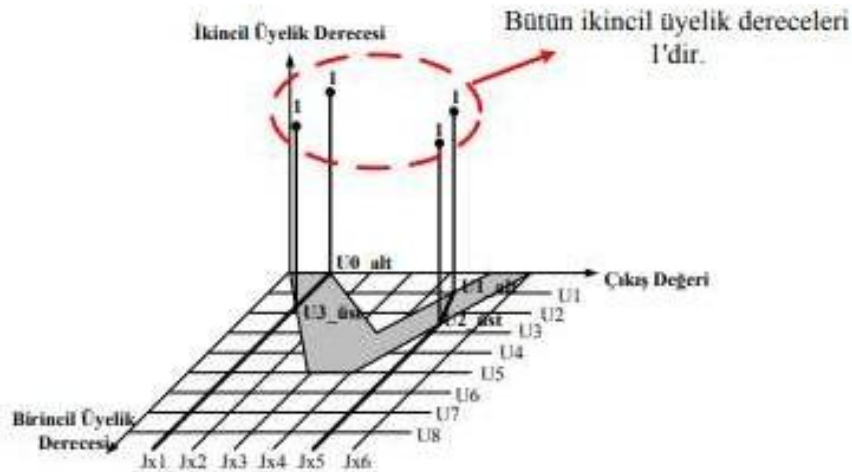
Genel Tip-2 bulanık mantık sistemlerinde üyelik fonksiyonun birincil ve ikincil üyelik dereceleri $[0, 1]$ arasında değerler alabilmektedir. Burada üyelik derecelerinden

gelen değerlere göre çıkış oluşmaktadır. Üyelik dereceleri değişken değer aldığından dolayı işlem karmaşası genel Tip-2 bulanık mantık sistemlerinde mevcuttur.



Şekil 3.13 : Genel Tip-2 bulanık mantık üyelik fonksiyonu

Aralıklı Tip-2 bulanık mantık değerlerinde üyelik fonksiyonunun üçüncü boyuttaki etkisini yok etmek için ikincil üyelik derecesi 1 olarak alınmıştır. İkincil üyelik fonksiyonunun sabitlenmesi ile işlem kolaylığı sağlanmış olup çıkış değeri sadece üyelik fonksiyonunun alt ve üst değerlerine göre belirlenmektedir. Bu sebeple aralıklı Tip-2 olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 3.14 : Aralıklı Tip-2 bulanık mantık üyelik fonksiyonu

Tip-2 bulanık mantık sistemleri üyelik fonksiyonlarındaki sınırların kesin olmadığı durumlarda kullanılarak Tip-1 sistemlere göre daha doğru sonuçlar vermektedir.

Tip-1 sistemlerdeki üyelik fonksiyon sınırları keskin geçişlere sahip olduğundan dolayı oluşturulan kural tabanlarındaki belirsizlikleri algılayamaz ve hatalı sonuçlar üretebilir.

Oluşturulacak olan bulanık mantık sisteminin kural yapısı ve ölçüm değerlerinde belirsizlikler mevcut ise Tip-2 bulanık mantığın kullanılması daha doğru sonuçlar sağlayacaktır. Bulanık mantık sistemindeki bulanıklaştırma bölümü ile giriş değerleri keskin sayılardan aralık değerlerine dönüştürülür. Burada giriş verilerinde bulunan gürültü sinyalleri de hatalı sonuç üretmemesi amacıyla bulanık girişlere çevrilmiş olunur.

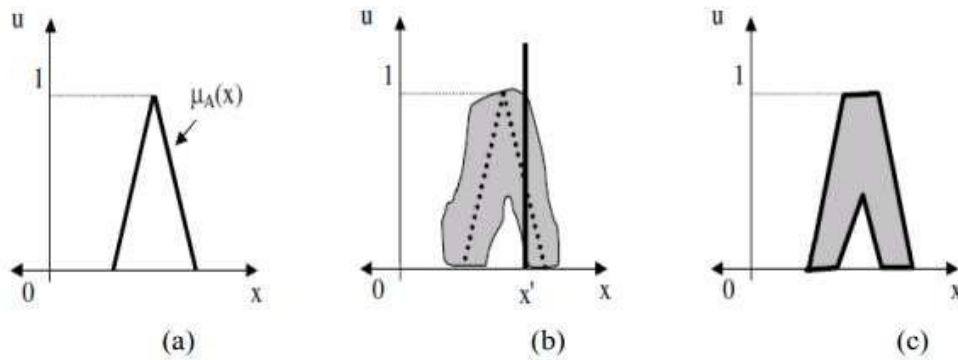
Bulanık mantık sistemlerindeki çıkış değerlerinin bir sayı veya bir sonuç belirtmesi için keskin hale getirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada kesin sayı çıkışları için durulaştırma aşaması kullanılmaktadır. Çıkış verisinde kullanılan kesin sayı sonuçları kontrol mekanizmalarında etki katsayısı olarak, sinyal işleme uygulamalarında konum bilgisi gibi sonuçlar üretmektedir. Tip-1 bulanık mantık sistemlerinde çıkış sonucu için sadece durulaştırıcı kullanılırken Tip-2 bulanık mantık sistemlerinde durulaştırıcı ve tip azaltıcı olmak üzere iki katman bulunmaktadır. Burada yapılan işlemde çıkış verileri önce tip azaltma işlemi ile Tip-1 bulanık küme seviyesine indirilir sonrasında çıkış verileri durulaştırma işlemi yapılarak kesin çıkış değerlerine atanır.

Bulanık mantık sistemlerinin kullanılmasındaki amaç kesinlik durumu olmayan veya belirsiz durumlar için çalışma yapıldığında en doğru sonuca ulaşmaktır. Bu bakımdan incelendiğinde Tip-2 bulanık mantık sistemleri birçok belirsizlik durumun olduğu olasılık teorilerindeki çalışmalara katkı sağlamaktadır. Olasılık teorisinde yaygın olarak kullanılmakta olan olasılık yoğunluk fonksiyonları (probability density functions) ile gerçek çalışma ortamdaki sonsuz sayıda parametre girdisi ile modellenebilecek olan sistemler hakkında yaklaşık sonuçlara ulaşılmaktadır. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun Gaussien yapıda olduğu bir durumda ortalama değer parametresi ve varyans parametresi kullanılarak olasılık değeri ortaya çıkarılmaktadır. Bu sayede sonsuz girdi ile modellenebilecek sistem iki parametre ile modellenebilir seviyeye getirilmiş olunur. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarındaki çalışma mantığına benzer şekilde Tip-2 bulanık mantık sistemlerinde kesinlik oluşturmeyen durumlar üyelik fonksiyon sınırlarının yoğunluğu göz önüne alınarak belirlenir ve sistemin daha iyi çıktı vermesi amaçlanır.

Tip-2 bulanık mantık sistemleri üyelik fonksiyonları tanımlanırken Tip-1 bulanık mantık sistemlerinden farklı olarak üyelik sınırlarının tek değer değil genişletilmiş aralık değer olması gerekmektedir. Üyelik fonksiyonun sınırlarının genişletilmesi ile oluşan bu duruma ayak izi denir. $\chi \in X$ şeklinde değişkeni olan bir küme incelendiğinde A bulanık kümesi Eşitlik 3.9'deki gibi tanımlanır.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (3.9)$$

μ_A olarak tanımlanan Tip-1 üyelik fonksiyonunun sınırlarını Şekil 3.15 (a)'daki gibi tanılayıp bu üyelik sınırlarını Şekil 3.15 (b)'deki gibi genişlettiğimizde üyelik fonksiyonun alanı ortaya çıkar. Şekil 3.15 (c)'de genişletilmiş olan üyelik fonksiyon sınırlarının belirgin iz sınırları gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Üyelik fonksiyon sınırları a) Tip-1 üyelik fonksiyon sınırları
b) Genişletilmiş üyelik fonksiyon sınırları c) Belirgin ayak izi üyelik fonksiyon sınırları

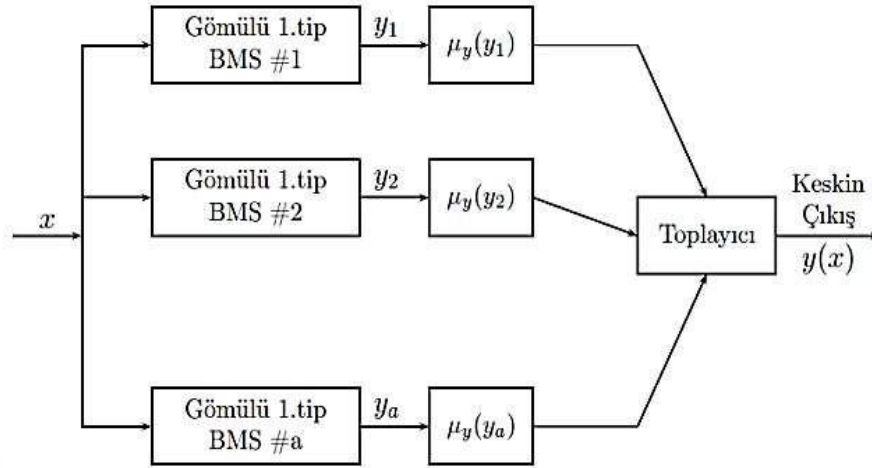
Şekil 3.15 (b) incelendiğinde örnek olarak seçilen x' değerinin üyelik sınırı tek bir değeri değil doğru boyunca birden fazla değeri olmaktadır. Belirgin olan ayak izleri birleştirilerek Şekil 3.15 (c)'deki gibi Tip-2 bulanık mantık üyelik fonksiyon sınırları elde edilebilir.

3.2.1. Tip İndirgeme

Tip-2 bulanık mantık sistemlerinin kesin çıkışlı sonuçlar üretmesi beklenir. Tip-2 bulanık mantık sistemlerinde sınırların belirsizliğinden dolayı ilk aşamada kesin sonuç üretilemez. Bu problemi aşmak için öncelikle Tip-2 sistemlerden Tip-1 sistemlere indirgeme işlemi yapıлып çıkan Tip-1 üzerinden kesin sonuca ulaşılır. Yapılan bu işleme tip indirgeme işlemi denir. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan küme tip azaltılmış küme olarak isimlendirilir. Bu işlem sonunda bulanık üyelik sınırlarına sahip olan Tip-2 bulanık mantık sisteminden kesin üyelik geçişlerine sahip olan Tip-1 bulanık mantık sistemi elde edilmiş olur. Tip azaltma işlemi genel anlamda kütle merkezinin bulunması olarak ifade edilebilir.

Tip-2 bulanık mantık sistemleri içerisinde çok sayıda Tip-1 bulanık mantık sistemleri bulunabilir ve bu sistemler için Tip-2 bulanık mantık sistemi içine gömülü bulanık mantık sistemleri denilir. Kesin sonuç için sistemin içinde çok sayıda bulunan

Tip-1 bulanık mantık sistemlerinin ayrı ayrı bulanık mantık sistemlerinin kütle merkezi hesaplanıp bulunan sonuçların toplamı ile kesin sonuç ataması yapılır. Gömülü sistemlerin toplamalarının bulunmasına yönelik blok diagramı Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3. 16 : Gömülü Tip-1 bulanık mantık sistemlerin toplanması

Sistemlerin kütle merkezini bulmak işlem yapma açısından zor olduğundan dolayı çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Literatürde en çok kullanılan tip indirgeme yöntemleri olarak kütle merkezi tip azaltım yöntemi (centroid type reduction method), merkezlerin toplamı tip azaltımı yöntemi (center of sums type reduction method), kütlelerin merkezi tip azaltımı yöntemi (center of sets type reduction method), yükseklik tip azaltım yöntemi (height type reduction method), iyileştirilmiş yükseklik tip azaltımı yöntemi (modified height type reduction method) olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.2.1.1. Kütle Merkezi Tip Azaltım Yöntemi

Kütle merkezi tip azaltım yönteminde sistem çıkışında elde edilen Tip-1 bulanık mantık kümelerinin maksimumları kullanılarak birleştirme işlemi yapılan yöntemdir. Bu yöntemde bulanık mantık küme birleşimi B ile ifade edilirse denklem 3.10'daki gibi gösterilebilir (Yildirim, Basturk, & Yuksel, 2007).

$$B = \bigcup_{l=1}^M B^L \quad (3.10)$$

Kütle merkezi tip azaltım yöntemi denklem 3.11'deki gibi ifade edilebilir (Yildirim et al., 2007).

$$y_c(x) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \mu_b(y_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_b(y_i)} \quad (3.11)$$

3.2.1.2. Toplamların Merkezi Tip Azaltım Yöntemi

Toplamların merkezi tip azaltım yönteminde Tip-1 bulanık mantık kümelerinin birbirleri üzerine eklenerek ortaya çıkan toplamın kütle merkezinin hesaplandığı tip azaltım yöntemidir. Denklem 3.12'deki gibi gösterilebilir (Yildirim et al., 2007).

$$\mu_B(y) = \sum^M \mu_{B_l}(y), \forall y \in Y \quad (3.12)$$

Toplamların merkezi bulunduktan sonra tip indirgeme işlemi denklem 3.13'deki gibi yapılmaktadır (Yildirim et al., 2007).

$$y(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \mu_{B_l}(x)}{\sum_{l=1}^M \mu_{B_l}(y)} \quad (3.13)$$

3.2.1.3. Yükseklik Tip Azaltım Yöntemi

Yükseklik tip azaltım yönteminde kullanılan tip azaltımı denklem 3.14'deki gibi gösterilmiştir (Yildirim et al., 2007).

$$y(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \mu_{B_l}(x)}{\sum_{l=1}^M \mu_{B_l}(y)} \quad (3.14)$$

Bu denklemde maksimum nokta veya birden fazla maksimum nokta varsa bunların ortalamasını alarak tip indirgeme işlemi yapılmaktadır.

3.2.1.4. İyileştirilmiş Yükseklik Tip Azaltım Yöntemi

İyileştirilmiş diğer ifade ile düzeltilmiş yükseklik tip azaltım yöntemi uygulama bakımından yükseklik tip azaltım yöntemine benzemektedir. İyileştirilmiş yükseklik tip azaltım yönteminde ölçeklendirme işlemi yapılmakta olup bu işlemin matematiksel ifadesi denklem 3.15'de gösterilmiştir (Yildirim et al., 2007).

$$y_h(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \mu_{B_l}(x)}{\sum_{l=1}^M \mu_{B_l}(y)} \quad (3.15)$$

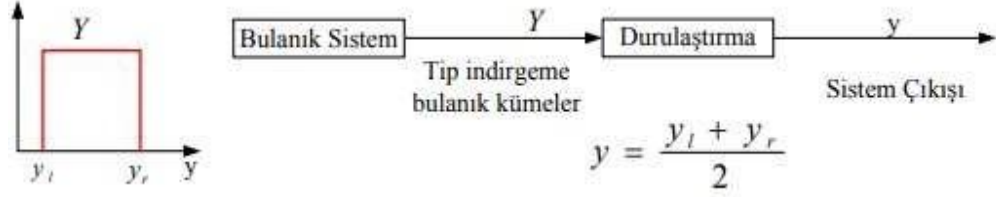
Denklemden ifade edilen δ^{l^2} çıkış kümesi dağılımının bazı ölçümlerini göstermektedir.

3.2.1.5. Kümelerin Merkezi Tip Azaltım Yöntemi

Tip azaltım yöntemi olan kümelerin merkezi tip azaltım yönteminin matematiksel çıkışı denklem 3.16'deki gibi gösterilmiştir (Yildirim et al., 2007).

$$y_{\cos} (x) = \frac{\sum_{i=1}^M T_i^p \mu_{F_i}(x)}{\sum_{i=1}^M T_i^p} \quad (3.16)$$

Bulanık mantık sistemlerinde girişlere bağlı olarak çıkış değerlerinin elde edilmesi ve bu değerlerin kesin sonuç olması istenmektedir. Bulanık mantık sisteminin tip azaltım yönteminden sonra kesin sonuca ulaşmak için durulaştırma işlemine tâbi tutulması gerekmektedir. Durulaştırma işleminin blok diagramı Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17 : Bulanık sistem durulaştırma blok diagramı

Bulanık mantık sistemlerinde tip azaltım işlemi ardından ortaya çıkan Tip-1 bulanık mantık kümesinin orta noktasının hesaplanması ile durulaştırma işlemi yapılmış olur.

4. TİP-2 BULANIK MANTIK İLE RADAR MODELLENMESİ

4.1. Problemin tespiti ve çözüm tekniği

Hazırlanan bu tez çalışmasında faz dizili radarların çalışma mantığından ve Tip-2 bulanık mantık sistemlerinden bahsedilmiştir. Günümüz savaş sahalarında artık silah sistemleri ve mühimmatlar çok daha elektronik, kompleks ve akıllı hale dönüştüğü ve savaş alanında beden gücünden çok kullanılan silah sistemlerinin ve parçaların savaşın sonucunu etkiler hale geldiği gözlemlenmektedir. Bu bakımdan incelendiğinde ülkelerin bağımsızlığı için hava sahalarını koruma altına almak ve gelişmiş sistemlerle bu bağımsızlığı desteklemek zorundadırlar.

Bu çalışmada Tip-2 bulanık mantık sistemleri ile faz dizili radarların hedef takip sürelerini ve yeniden kontrol süreleri Tip-1 bulanık mantık sistemlerine, ağırlıklandırılmış katsayılı sistemlere ve sabit katsayılı sistemlere göre daha düşük seviyelere çekerek kısıtlı olan zaman kaynağını en verimli şekilde kullanılması ve hava sahasının güvenliğinin sağlanması amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmalar için <http://ritweb.cloudapp.net:8080/JuzzyOnline> web adresi kullanılmıştır. Bulut tabanlı çalışan web sayfası University of Nottingham, School of Computer Science Bölümünden Prof.Dr. Christian Wagner tarafından oluşturulmuş olup tip-1 bulanık mantık sistemleri, aralık değerlikli ve genel tip-2 bulanık sistemler tasarlanabilen Java tabanlı bir kitaplık olan Juzzy araç setini kullanmaktadır. Tip-2 Bulanık Mantık sistem tasarımı, kural tanımları ve çıkışlar online web sayfası kullanılarak hesaplanmıştır.

Radarin çalışmasında HTS miktarındaki değişim ile radarın hava hedefini tespit edebilmesi arasında doğru orantı mevcuttur. Örnek verilecek olursa sabit katsayılı bir radar hedefi takip ettiği süre içerisinde hava hedefinin hızlandığında veya sağa sola manevra şeklinde ivmelendiğinde hedefte meydana gelebilecek değişiklikler ile radar hedefi takip etmede zorlanabilir. Eğer bu parametreler çok hızlı değişiyorsa radarın bir süre sonra hedefi yakalaması, tespit etmesi bile imkânsız hale gelebilir. Bu sebeple ne kadar çok hedef takibi yapılırsa o kadar çok hedefin konumu, hızı, ivmesi gibi parametre değişimleri gözlemlenmiş ve hedefi tespit etme oranı arttırılmış olunur.

Tez çalışmasının amacına uygun olarak Tip-2 bulanık mantık sisteminin Tip-1 bulanık mantık sistemi, ağırlıklandırılmış katsayılı sistemlere ve sabit katsayılı sistemlere göre avantajları incelendiğinden hedef tespit oranları bütün sistemler için eşit alınmıştır. Radarların hedefleri tespit etme istatistikleri pratikte 1 olarak istense bile uygulamada bu

oran mümkün olmayıp günümüzde en ideal hedef tespit oranları 0.85 ile 0.95 arasında değişmektedir.

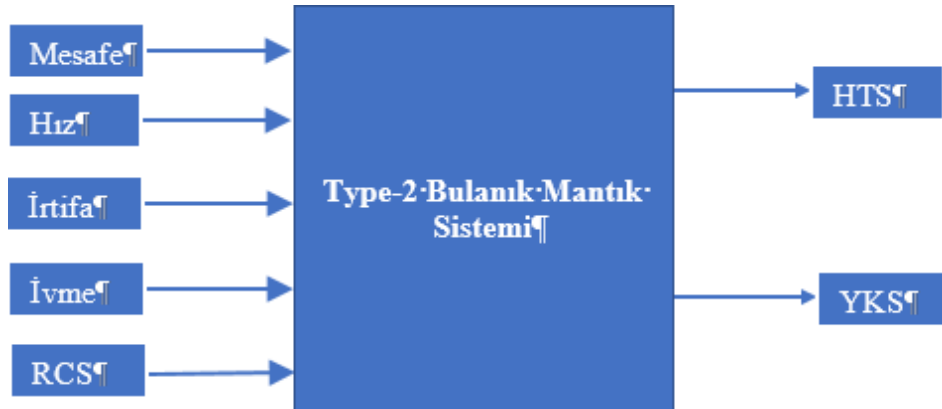
Tip-1 bulanık mantık sistemi kullanılarak tasarlanmış olan faz dizili radarların kaynak verimliliği ile kıyaslama yapılabilmesi için YKS değeri maksimum bakma süresi için 70 ms olarak alınmıştır. Tip-2 bulanık mantıktan çıkan sonuçlar aynı parametreler ile Tip-1 ve sabit katsayılı sistemler ile test edilip sonuçlar arasında kıyaslama yapılacaktır.

Er çalışmasında Tip-1 bulanık mantık sistemi giriş parametrelerinden yola çıkarak hedef tespit oranı hesaplanmış ve bu oranı kullanarak kaynak optimizasyonu yapmıştır (ER, 2019). Er'in çalışmasındaki hedef tespit oranlarını 0,70 msn için 0,873 hedef tespit oranı yani %87,3 hedef yakalama oranını referans almıştır. Tip-1 bulanık mantık sistemi için bu yakalama oranları 0.70 msn, %87.3 olacak şekilde milisaniye cinsine çevrilmiş ve Tip-2 bulanık mantık sistemi ile kıyaslama yapılmıştır.

Radarın ne kadar sık aralık ile tehdide tekrar bakacağını ifade eden YKS değeri hedefin önem derecesi arttıkça artmakta ve daha çok sık aralıklar ile hedefi kontrol etmesi anlamına gelmektedir. Bu bakımdan incelendiğinde YKS için radarların revisit time (tekrar ziyaret süresi) diye adlandırılan tekrar bakma süresinden farklı olduğu gözükmemektedir. Revisit time değeri azalan bir hedefin önem derecesi artmakta olup YKS ile arasında ters orantı olduğu söylenebilir. Çalışmamızda hedef parametrelerine bağlı olarak YKS miktarının artması ile radarın önem derecesinin arttığını söyleyebiliriz.

4.2 Tip-2 bulanık mantık sistem kullanarak radarın tasarımı

Tip-2 bulanık mantık sistemi tasarlanırken faz dizili radarların hedefi tespit etmekte kullandığı beş adet veri değerlendirilmeye alınmıştır. Bu veriler tehdidin mesafesi, tehdidin hızı, tehdidin irtifası, tehdidin ivmesi ve tehdidin radar kesit alanıdır.

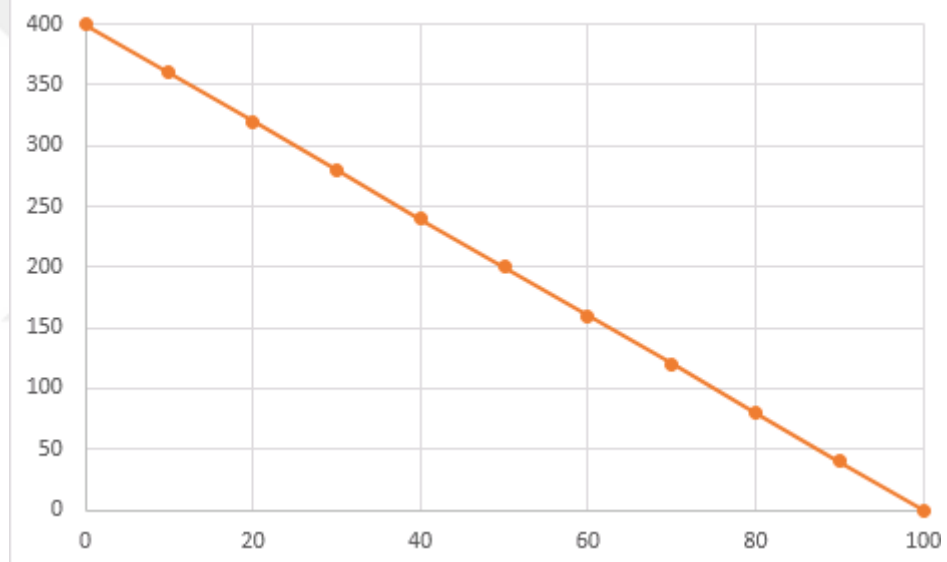


Şekil 4. 1 : Tasarlanan Tip-2 bulanık mantık sistemi blok diyagramı

Radar tasarımı yapılırken daha önce çalışması yapılmış olan Tip-1 bulanık mantık sistemi ve diğer sistemlerle kıyaslama yapılabilmesi için radarın tespit edebileceği menzil 400 km, takip edebileceği hız 1000 m/sn, tespit edebileceği irtifa 60.000 feet, takip edebileceği ivme 9 G, tespit edebileceği radar kesit alanı (RCS – Radar Cross Section) 10 m² olarak seçilmiştir.

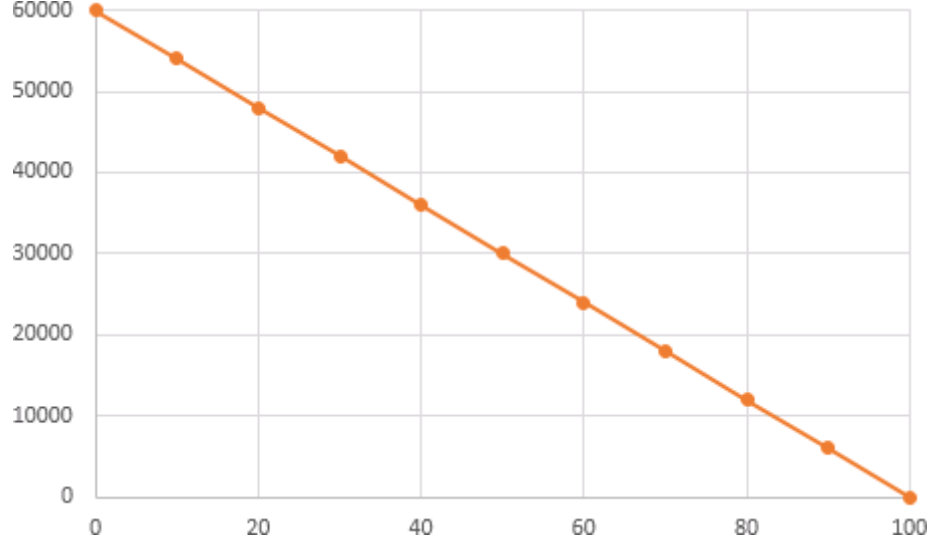
Tehdidin radara olan mesafesi ile tehdidin önceliği arasında ters orantı olup uzaktaki bir tehdit radarımız için daha az önemdedir. Tehdit ile radar arasındaki mesafe azaldığında tehdidin önem derecesi artmakta ve HTS miktarını ve süre olarak YKS'yi azaltmaktadır.

Çalışmamızda radarın tespit edebileceği en uzak mesafe 400 km olarak belirlenmiş olup en yakından en uzağa doğru olacak şekilde menzil puanlaması yapılmıştır. Şekil 4.2'de menzil puanlama ilişkisi gösterilmiştir.



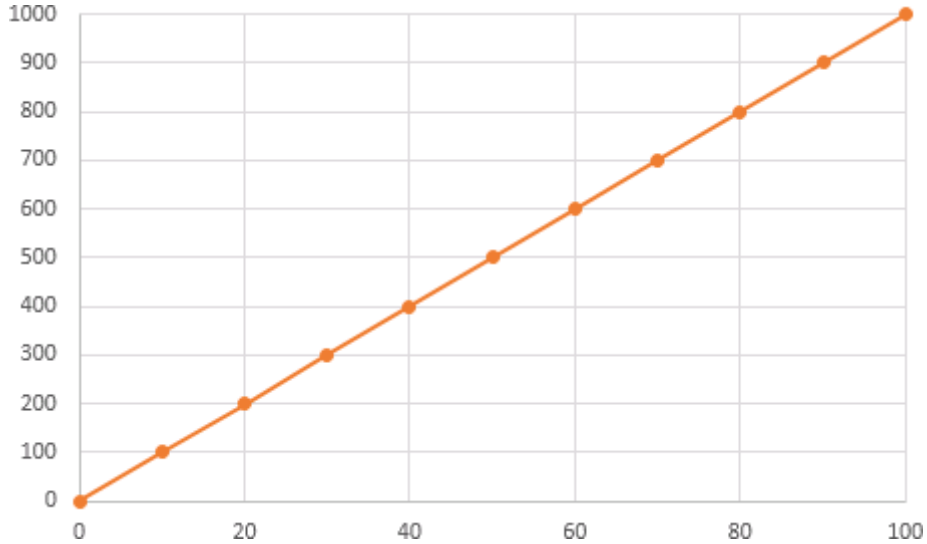
Şekil 4. 2 : Menzile göre puanlama grafiği

Radarın hedefi tespit edebileceği bir diğer kriter irtifa bilgisidir. Havadan gelen tehditleri için radarımızın algılayabileceği en yüksek seviye 60.000 feet olarak seçilmiştir. Tehditler sınıflandırılırken en yüksekteki tehdidin radarımız için önem seviyesi en düşük yere en yakın tehdidin önem seviyesi en yüksektir. Şekil 4.3'te irtifaya göre puanlama grafiği verilmiştir.



Şekil 4.3 : İrtifaya göre puanlama grafiği

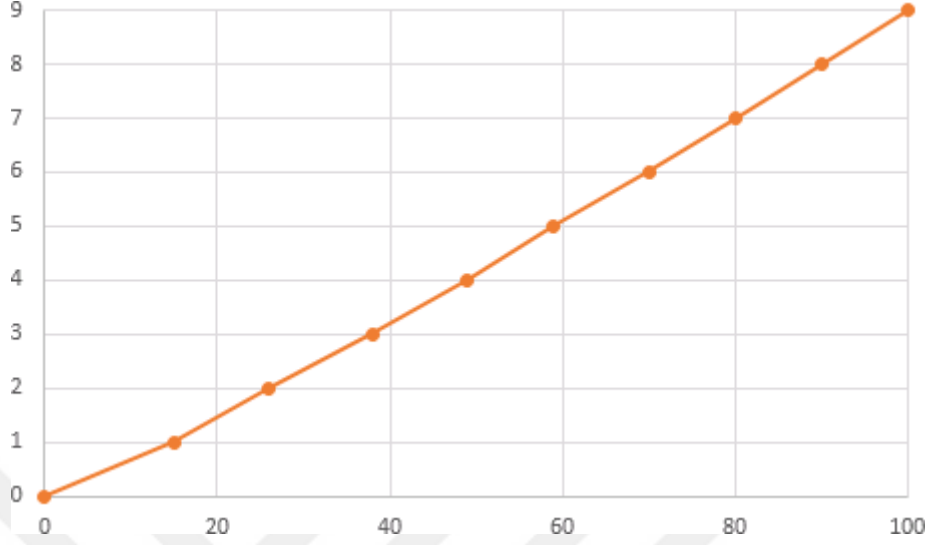
Tip-2 bulanık mantık ile tasarladığımız radarın hedef takibi yaparken kullandığı bir diğer parametre hız bilgisidir. Hedefin hızı ile radarın takip etme süresi arasında doğru orantı vardır. Savaş uçaklarının hızları ticari yolcu uçaklarına göre hızlı olması veya savaş ortamında jet uçaklarının pervaneli uçaklara göre yüksek hızlı olduğundan tercih edilmesi hız ile hedefin önem derecesi arasındaki orantıya örnek olarak verilebilir. Bu şekilde incelendiğinde hızın puanlamaya göre grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 : Hızın puanlamaya göre grafiği

İvme ya da manevranın radarların hedefi takip edebilmeleri üzerine olumsuz etkileri vardır. Şöyle ki çok fazla manevra yapan yani diğer bir deyişle ivmesi sabit

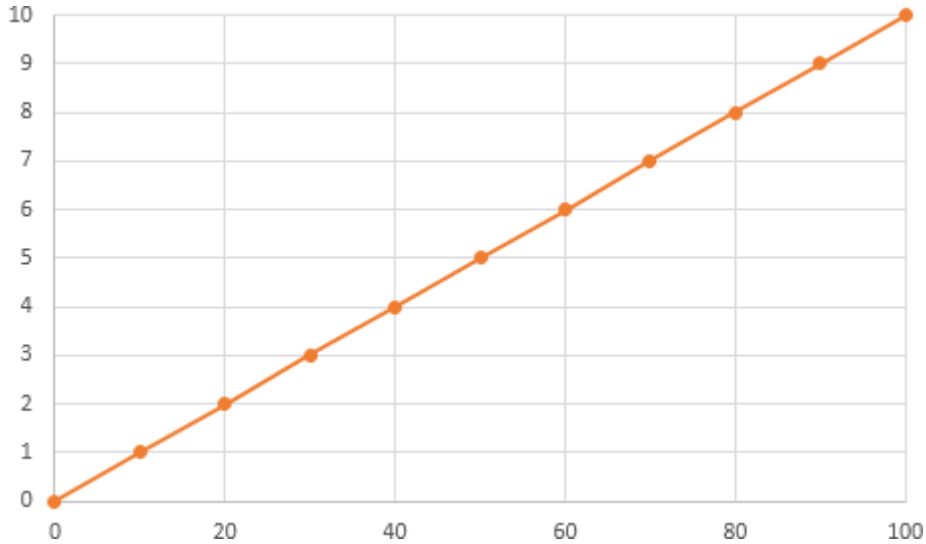
olmayan hava tehditlerini radarın takipte tutabilmesi için çok fazla süre o hedefe yayın yapması gerekmektedir. Bu da HTS miktarını dolayısı ile bulanık mantık sistemimiz için aldığı puanı arttırmaktadır. İvmenin puanlamaya göre grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : İvmenin puanlamaya göre grafiği

Hava tehditlerinin yüz ölçümü olarak da nitelendirilebilen radar kesit alanı (RCS) hava tehditlerinin sınıflandırılması için önemli bir veridir. Örnek verecek olursak bir balistik füzenin yüzey alanı ile bir ticari yolcu uçağının yüzey alanı birbirinden farklıdır.

Füze veya jet uçakları gibi yolcu uçaklarına göre daha küçük RCS değerine sahip tehditler Tip-2 bulanık mantık ile tasarlanmış radarımızın için daha öncelikli olacağından RCS değeri azaldıkça HTS miktarında artma olacaktır. Şekil 4.6'de RCS'in puanlamaya göre grafiği verilmiştir.



Şekil 4. 6 : RCS'in puanlamaya göre grafiği

Puanlama şekillerinden anlaşılacağı üzere radarın modellenmesi yapılırken hangi parametre hangi değeri alıyorsa puan durumlarına göre hedeflerin önem derecesi belirlenmiş olunur. Sonraki aşama olarak Tip-2 bulanık mantık yardımı ile ilgili üyelik fonksiyonları kullanılarak çıkış değeri bulunur.

4.3 Üyelik fonksiyonları

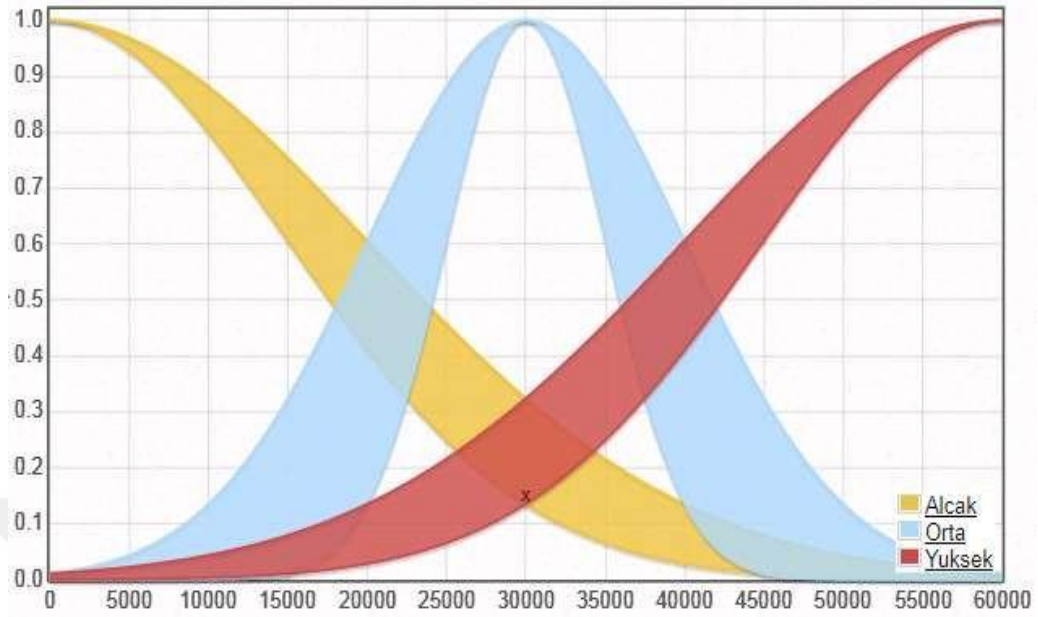
Tip-2 bulanık mantık kullanılarak modellenen faz dizili radar için her bir parametre yani veri girişi için üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Burada üyelik fonksiyonları belirlenirken dilsel ifadelerden faydalanılmıştır. Dilsel ifadeler seçilirken anlam karmaşası yaratmayacak ve söylendiğinde herkeste aynı etkiyi bırakabilecek kelimelerin kullanılmasına dikkat edilmiştir.

Tasarlanan Tip-2 bulanık mantık sistemli faz dizili radarın dilsel ifadeleri Çizelge 4.1'deki gibidir.

Çizelge 4. 1 : Dilsel ifadeler

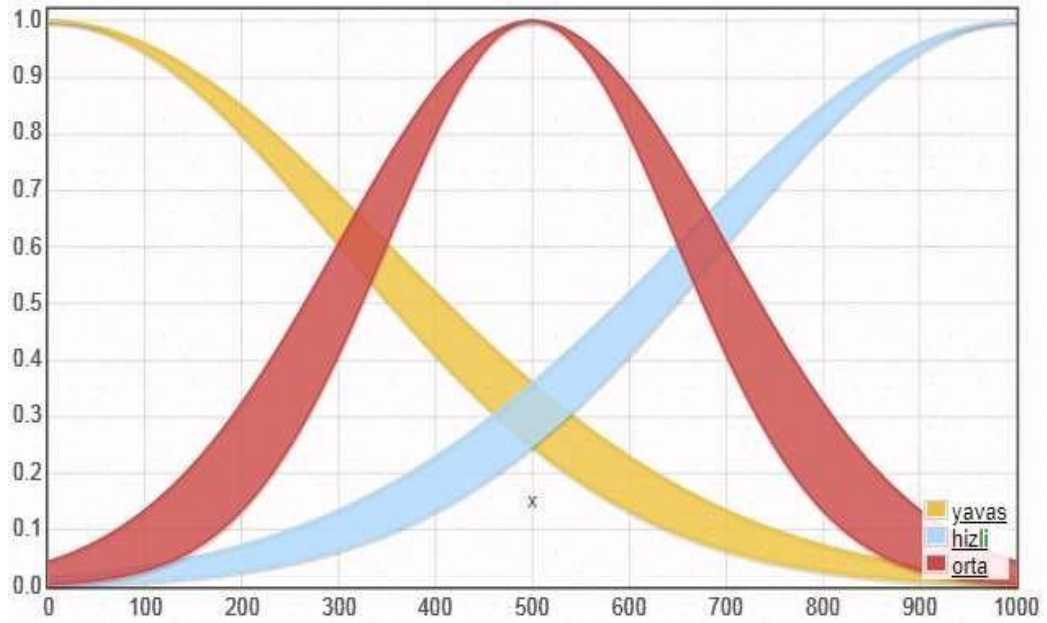
Parametre	Dilsel ifade		
	Alçak	Orta	Yüksek
İrtifa	Alçak	Orta	Yüksek
Hız	Yavaş	Orta	Hızlı
Menzil	Yakın	Orta	Uzak
İvme	Düşük	Normal	Yüksek
RCS	Küçük	Orta	Büyük

Radarın irtifa sınırı 0-60.000 feet arasında olacak şekilde tasarlanmış ve Şekil 4.7'de irtifaya göre üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



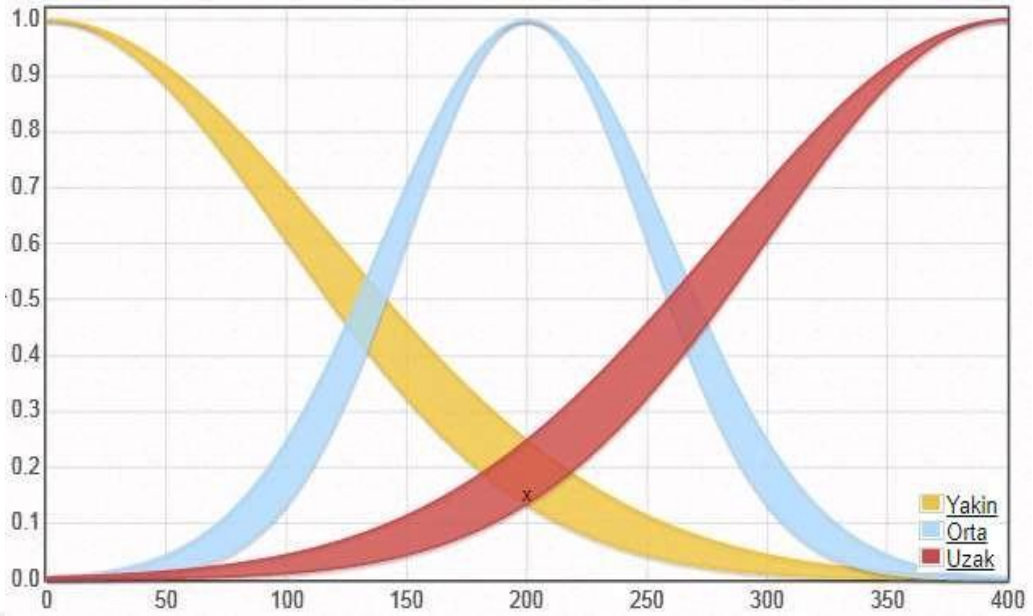
Şekil 4.7 : İrtifa üyelik fonksiyonu

Radarın algılayabileceği hız sınırı 0-1000 m/sn olarak tasarlanmış olup Şekil 4.8'de hıza göre üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



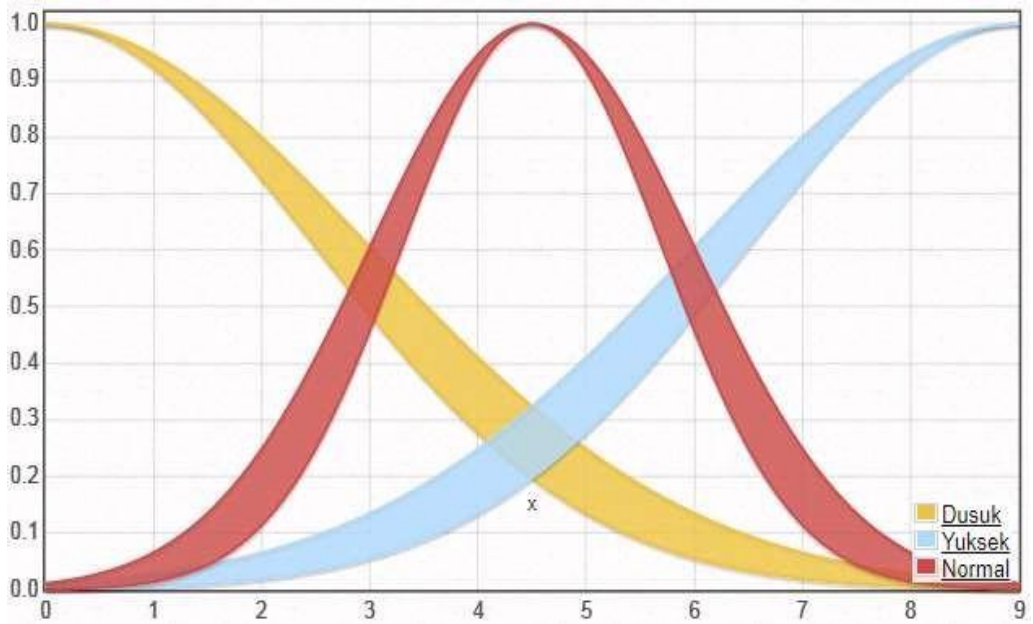
Şekil 4.8 : Hız üyelik fonksiyonu

Radarın algılayabileceği menzil limitleri 0-400 km arası olarak belirlenmiş olup menzil üyelik fonksiyon grafiği Şekil 4.9'daki gibidir.



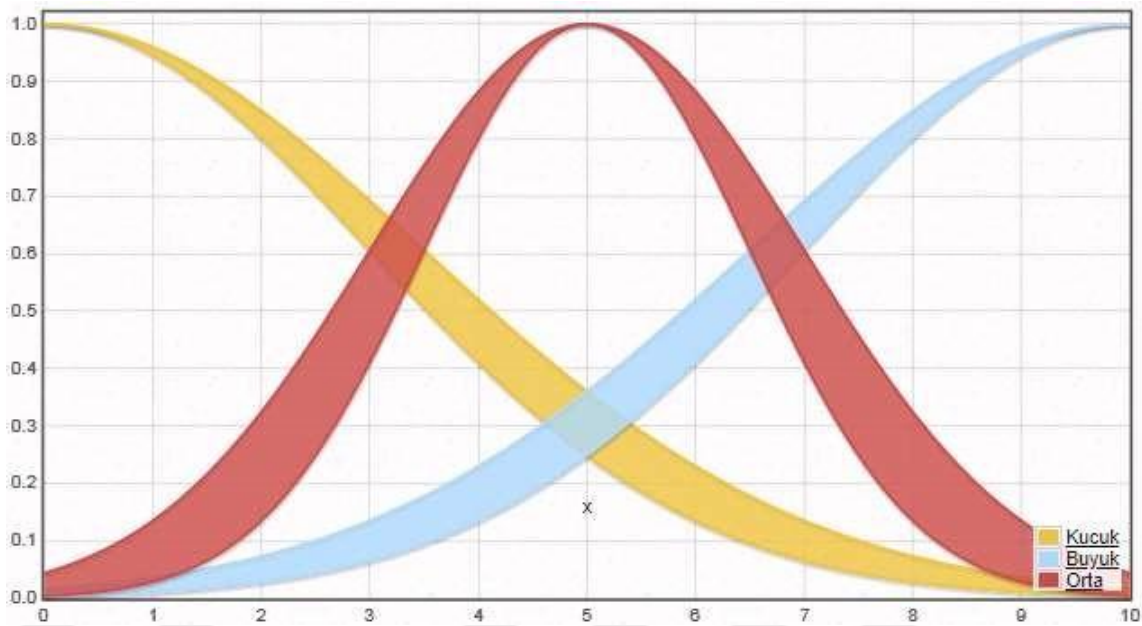
Şekil 4.9 : Menzil üyelik fonksiyonu

Radara takip edeceği bir diğer parametre olan ivmenin sınırları Tip-2 bulanık mantık sistemimiz için 0-9 G arasında belirlenmiş olup ivme üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 4.10'daki gibidir.



Şekil 4.10 : İvme üyelik fonksiyonu

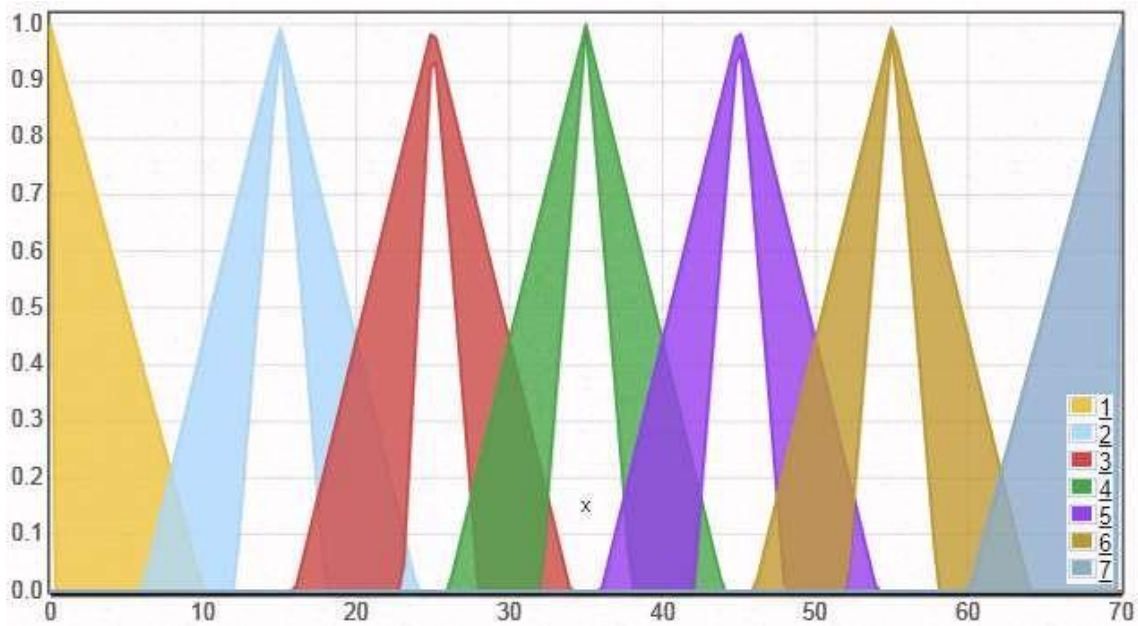
Radara hedef takip süresinde dikkate aldığı diğer parametre olan radar kesit alanının Tip-2 bulanık mantık sistemi için sınır değerleri 0-10 m² olarak belirlenmiştir. Radar kesit alanı üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 4.11'deki gibidir.



Şekil 4.11 : Radar Kesit Alanı üyelik fonksiyonu

Radara çıkışında bir hava tehdidinin dost – düşman veya tehlikeli – tehlikesiz şeklinde sınıflara ayırmak ve bu verileri kullanılarak HTS çıkışı için 1’den 7’ye kadar olan üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. 1 numaralı üyelik fonksiyonu en az tehlikeli ve dolayısıyla en az süre hedef takip süresi kullanılan tehdit için seçilmiş olup 7 numaralı üyelik fonksiyonu en tehlikeli ve dolayısıyla en uzun süre takip edilmesi gereken tehdit için kullanılmıştır. Aynı mantık ile YKS çıkışları için en tehlikeli hava tehdidi için 1 numaralı üyelik fonksiyonu kullanılarak tehlikeli veya düşman olarak belirlenen hedefi sıklıkla ile takip etmek, dost veya tehlike arz etmeyen hava hedefi için 7 numaralı üyelik fonksiyonunu kullanarak YKS süresini arttırmak ve böylelikle kalan zamanı hava sahasını kontrol etmek veya tehlikeli hava hedeflerini daha çok takip ederek radarın kaynaklarını etkili kullanması amaçlanmaktadır.

Üyelik fonksiyon sınırları belirlenirken uzman görüşlerinden faydalanılmış ve en etkili çıkış sonuçlarına ulaşılması amaçlanmıştır. Tip-2 bulanık mantık sisteminin HTS çıkışı üyelik fonksiyon Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

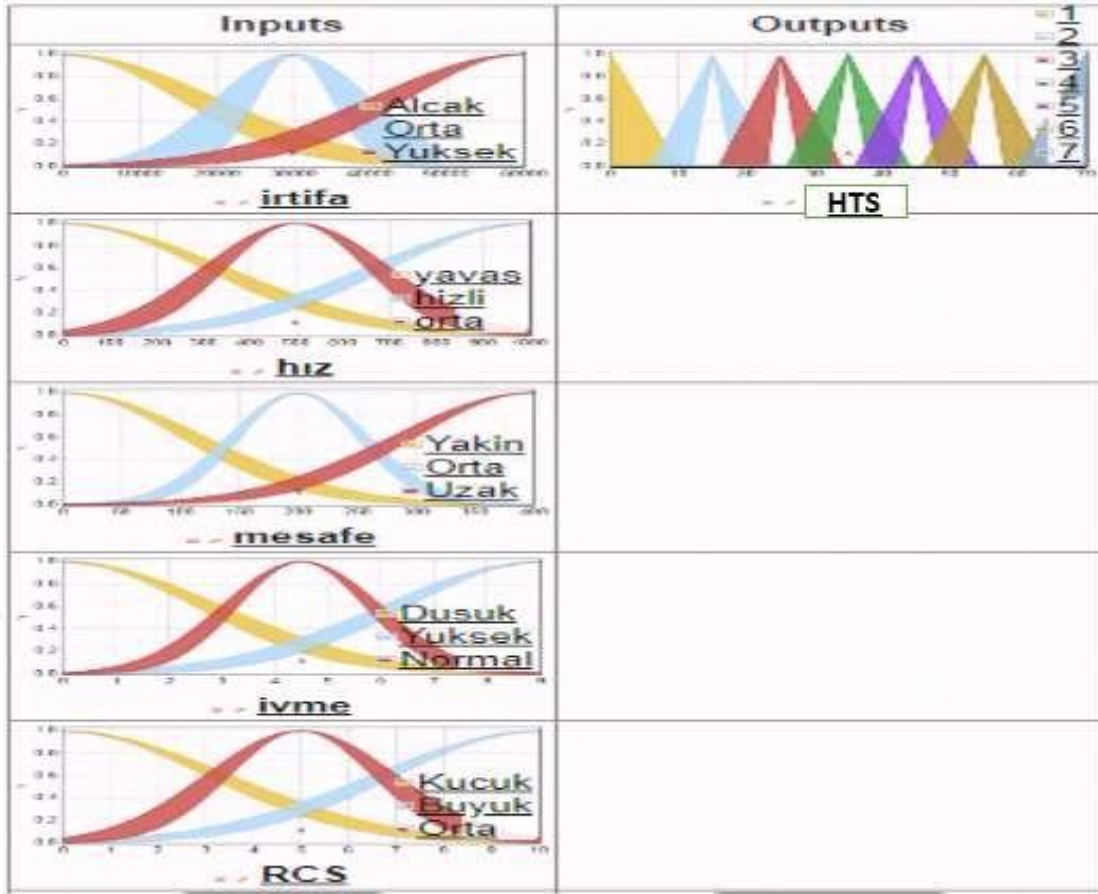


Şekil 4.12 : Tip-2 bulanık mantık sistemi HTS çıkışı üyelik fonksiyonları

1 Numaralı üyelik fonksiyonu: 1. Dereceden tehlikeli, **2 Numaralı üyelik fonksiyonu:** 2. Dereceden tehlikeli, **3 Numaralı üyelik fonksiyonu:** 3. Dereceden tehlikeli, **4 Numaralı üyelik fonksiyonu:** 4. Dereceden tehlikeli, **5 Numaralı üyelik fonksiyonu:** 5. Dereceden tehlikeli, **6 Numaralı üyelik fonksiyonu:** 6. Dereceden tehlikeli, **7 Numaralı üyelik fonksiyonu:** 7. Dereceden tehlikeli hava tehdidi olduğunu belirtmektedir.

HTS çıkışları radarın ne kadar süre ile tehdidi takip edeceğini ifade etmekte olup buradan alınan sonuç ile YKS miktarı ile benzer bir çıkış vermesi beklenmektedir. Burada ifade edilmek istenen durum eğer hava tehdidinin hızı artarsa radar bu hedefi kaybetmemek için hem üzerinde kalma süresini arttırmalı hem de sık aralıklarla tehdide tekrar bakmalıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi yeniden kontrol sayısı artmakta verevise time denilen tekrar bakma süresini azaltmadır. Radarın YKS miktarı HTS çıkışı üyelik fonksiyonu ile aynı kabul edilip miktar cinsinden hesaplanacaktır.

Sistem genel olarak 5 girişi ve 1 çıkışı olan giriş üyelik fonksiyonları gaussian ve çıkış üyelik fonksiyonu triangular seçilen 243 adet kuralı olan radar HTS ve YKS miktarlarını en verimli seviyeye getirmeye çalışan sistem olarak tasarlanmıştır. 243 adet kural HTS için sisteme tanıtılmış olup işlem kapasitesini zorlamak ve hesaplama süresini azaltmak için YKS için de aynı seçilmiştir. HTS'de alınan bir sonuç YKS'ye hesaplama yöntemi ile çevrilecektir. Sistem giriş ve çıkışlarını gösteren genel sistem görünüşü Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 : Genel sistem görünüşü

4.4. Kural tabanları, tip azaltımı ve durulaştırma tekniği

Tip-2 bulanık mantık sistemi kurulurken giriş parametreleri olarak seçilen 5 giriş verisinin her birinde 3'er adet üyelik fonksiyonları olduğundan dolayı sistem $3^5=243$ adet IF-THEN ile kural tabanları tanımlanmıştır. Giriş için seçilen parametrelerin ağırlık dereceleri sonuçlar arasında uyumluluk sağlaması amacıyla mümkün olduğunca birbirine yakın tutulmaya çalışılmış bir parametrenin diğerine göre farklılığı bulunmamaktadır.

Kural tabanlarındaki giriş değerleri IF-THEN yapılarına sokularak çıkış için seçilmiş olan 1-7 arasındaki çıkış kümesine yönlendirilir. Web sayfasına tanımlanmış olan kural tabanlarının tamamı EK'te verilmiş olup örnek olarak 25 adet çıkışı Şekil 4.14'te sunulmuştur.

1. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Yakın and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 7
2. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Yakın and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 7
3. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Yakın and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 6
4. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 7
5. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 7
6. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 6
7. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Yakın and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 6
8. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Yakın and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 6
9. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Yakın and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 4
10. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 7
11. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 7
12. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 6
13. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 7
14. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 6
15. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 5
16. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 6
17. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 5
18. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 4
19. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakın and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
20. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakın and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 6
21. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakın and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
22. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 6
23. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 5
24. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 4
25. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakın and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4

Şekil 4. 14 : 25 adet örnek kural tabanı

Tip-2 bulanık mantık içerisinde Tip-1 bulanık mantık sistemleri bulunmaktadır. Tip-2 bulanık mantık sistemlerinde çıkış sonucu alabilmek için önce sistemin Tip-1 seviyesine azaltmak gerekmektedir. Radarımızın tasarımında tip indirgeme yöntemi olarak kütle merkezi tip azaltım yöntemi kullanılmıştır.

Tip-1 seviyesine indirgenmiş bulanık mantık sisteminin çıkış sonucu için centroid (ağırlık merkezi) durulaştırma tekniği seçilmiştir.

5. TİP-2 BULANIK MANTIK İLE RADARIN KULLANILMASI TEST SONUÇLARI

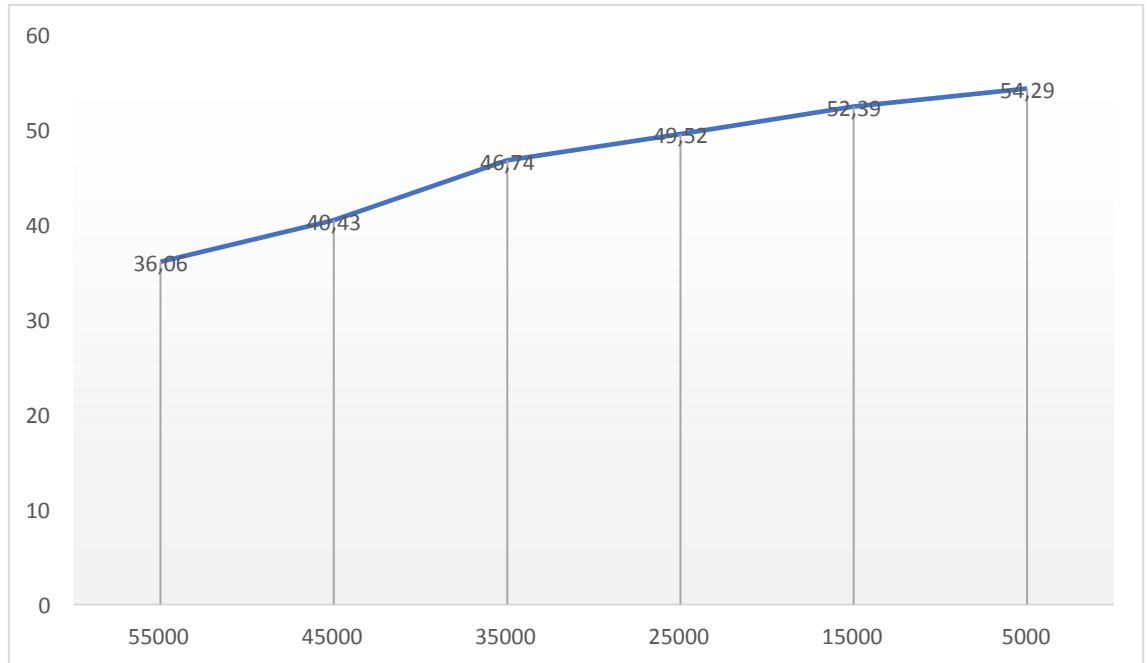
Çalışmanın ilk aşamasında giriş verilerinden 4 tanesi sabit tutulup 1 tane parametreyi değiştirdiğimizde HTS ve YKS miktarlarındaki değişim incelenmiştir. Tez çalışmasının bir diğer amacı daha önce Tip-1 bulanık mantık sistemleri kullanılarak oluşturulan senaryolara göre Tip-2 bulanık mantık senaryolarının başarı durumu incelenmiştir.

Oluşturulan bu senaryolara göre radarın HTS ve YKS durumları incelenerek kaynak yönetiminin verim durumu incelenmiştir.

Senaryolardan ilkinde hedefin hız, mesafe, ivme ve RCS değerleri sabit tutulup irtifa değeri düzenli olarak düşürülmüştür. İlgili senaryonun HTS sonuçları Çizelge 5.1'deki gibidir.

Çizelge 5. 1 : İrtifa değeri değişken olan HTS sonuçları

İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	HTS (sn)
55000	999	399	8.9	0.1	36.06
45000	999	399	8.9	0.1	40.43
35000	999	399	8.9	0.1	46.74
25000	999	399	8.9	0.1	49.52
15000	999	399	8.9	0.1	52.39
5000	999	399	8.9	0.1	54.29

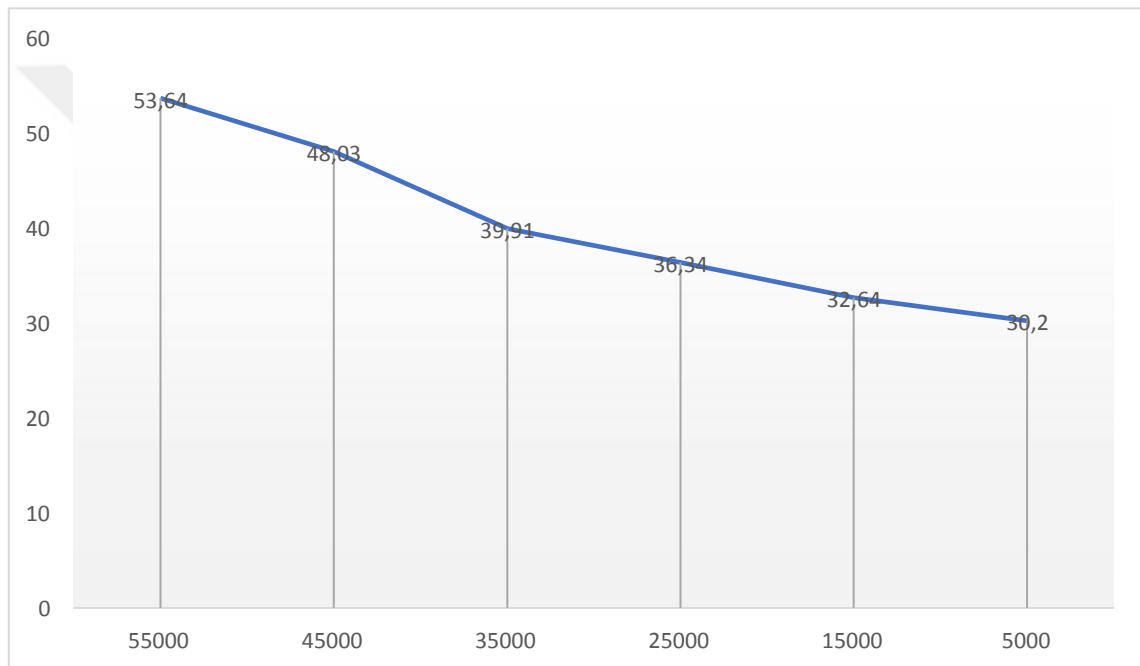


Şekil 5. 1 : İrtifa değerlerine göre HTS sonuçları

Çizelge 5.1'den görüldüğü üzere hız, mesafe, ivme ve RCS değerleri sabit tutulup irtifa değeri düzenli olarak azaltıldığında HTS değeri artmaktadır. Böylelikle irtifası radara yakın olan hava tehdidinin önem derecesi artar ve hedefi takip ettiği süre artar.

Çizelge 5. 2 : İrtifa değeri değişken olan YKS sonuçları

İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	YKS (sn)
55000	999	399	8.9	0.1	53.64
45000	999	399	8.9	0.1	48.03
35000	999	399	8.9	0.1	39.91
25000	999	399	8.9	0.1	36.34
15000	999	399	8.9	0.1	32.64
5000	999	399	8.9	0.1	30.20



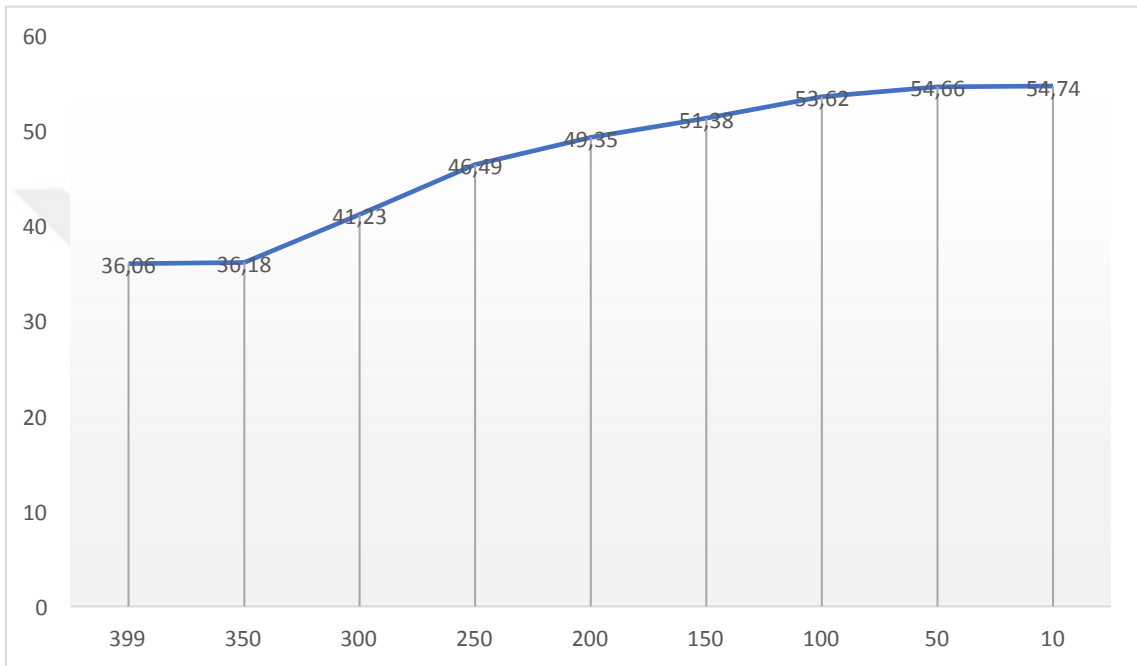
Şekil 5. 2 : İrtifa değerlerine göre YKS sonuçları

Çizelge 5.2'de görüldüğü üzere hız, mesafe, ivme ve RCS değerleri sabit tutulup irtifa değeri düzenli olarak azaltıldığında YKS miktar olarak artmakta ve radarın hedefi kontrol ettiği sıklık değeri artmakta daha kısa zaman aralıkları ile daha çok hedefi kontrol etmektedir. Buradan anlaşıldığı üzere irtifası radara yakın olan hava tehdidinin önem derecesi artar ve radarın yeniden kontrol sıklığı artmaktadır.

İkinci senaryoda hedefinin irtifa, hız, ivme ve RCS değerleri sabit tutulan mesafe bilgisi düzenli olarak azaltılarak HTS ve YKS değerleri incelenmiştir. İlgili HTS senaryosu Çizelge 5.3'deki gibidir.

Çizelge 5.3 : Mesafe bilgileri değişken olan HTS sonuçları

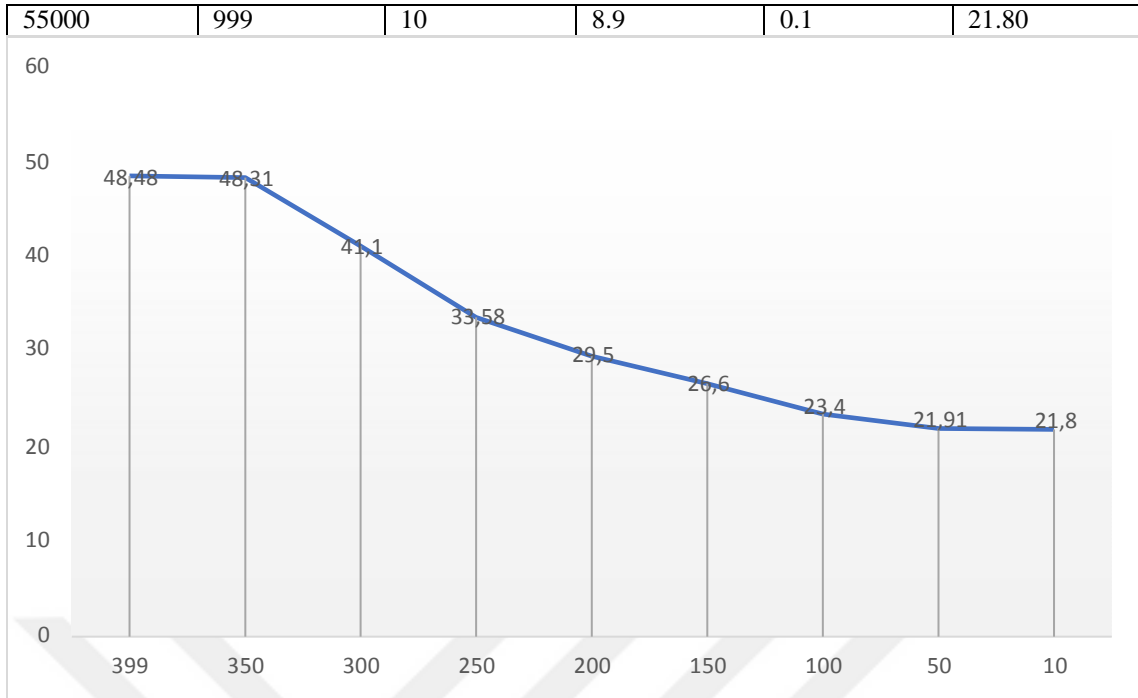
İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	HTS (sn)
55000	999	399	8.9	0.1	36.06
55000	999	350	8.9	0.1	36.18
55000	999	300	8.9	0.1	41.23
55000	999	250	8.9	0.1	46.49
55000	999	200	8.9	0.1	49.35
55000	999	150	8.9	0.1	51.38
55000	999	100	8.9	0.1	53.62
55000	999	50	8.9	0.1	54.66
55000	999	10	8.9	0.1	54.74

**Şekil 5.3** : Mesafe değerlerine göre HTS sonuçları

Çizelge 5.3’de görüldüğü üzere irtifa, hız, ivme ve RCS değerleri sabit tutulup mesafe değeri düzenli olarak azaltılan hava tehdidi için HTS miktarı artmaktadır. Böylelikle mesafe olarak uzakta olan bir hava tehdidinde daha az, görece yakında olan hava tehdidinde daha çok yayın yapılarak zaman kaynağı verimli kullanılmış olunur.

Çizelge 5.4 : Mesafe bilgileri değişken olan YKS sonuçları

İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	YKS (sn)
55000	999	399	8.9	0.1	48.48
55000	999	350	8.9	0.1	48.31
55000	999	300	8.9	0.1	41.10
55000	999	250	8.9	0.1	33.58
55000	999	200	8.9	0.1	29.50
55000	999	150	8.9	0.1	26.60
55000	999	100	8.9	0.1	23.40
55000	999	50	8.9	0.1	21.91



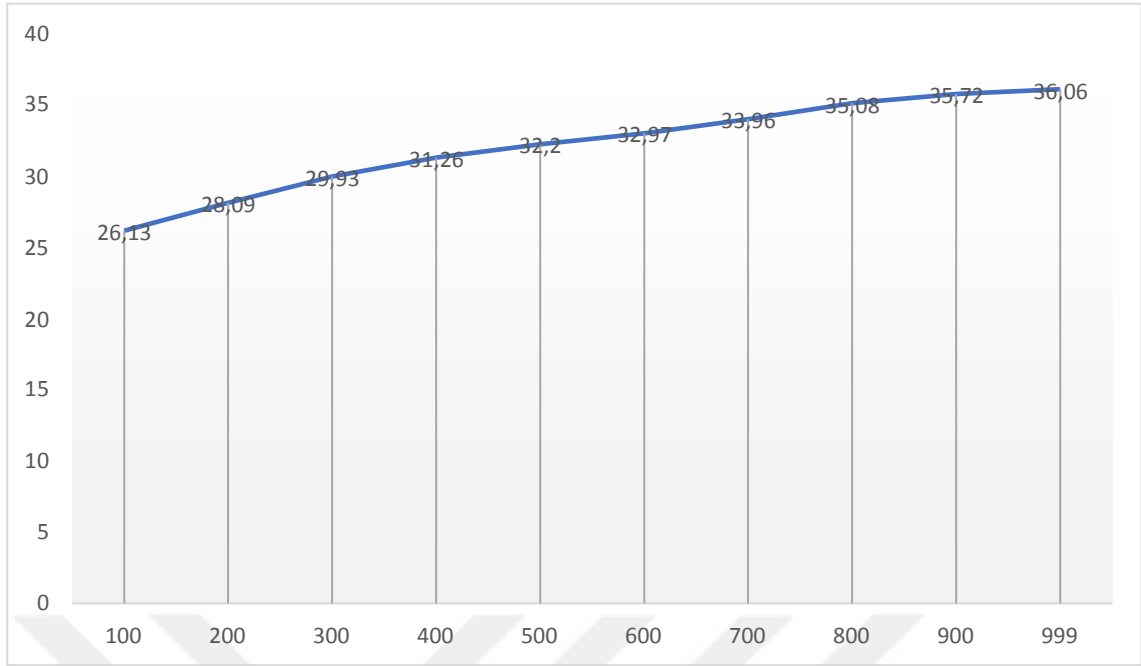
Şekil 5.4 : Mesafe değerlerine göre YKS sonuçları

Çizelge 5.4’de görüldüğü üzere irtifa, hız, ivme ve RCS değeri sabit tutulup mesafe değeri düzenli olarak azaltılan hava tehdidi için YKS miktarı azalmaktadır. Böylelikle radar için daha fazla tehdit arz eden hedefi daha kısa aralıklarla kontrol eder.

Üçüncü senaryoda hedefin irtifa, mesafe, ivme, RCS değerleri sabit tutularak hız değeri düzenli olarak artırılarak HTS ve YKS miktarındaki değişim incelenmiştir. İlgili HTS senaryosu Çizelge 5.5’deki gibidir.

Çizelge 5.5 : Hız bilgileri değişken olan HTS sonuçları

İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	HTS (sn)
55000	100	399	8.9	0.1	26.13
55000	200	399	8.9	0.1	28.09
55000	300	399	8.9	0.1	29.93
55000	400	399	8.9	0.1	31.26
55000	500	399	8.9	0.1	32.20
55000	600	399	8.9	0.1	32.97
55000	700	399	8.9	0.1	33.96
55000	800	399	8.9	0.1	35.08
55000	900	399	8.9	0.1	35.72
55000	999	399	8.9	0.1	36.06

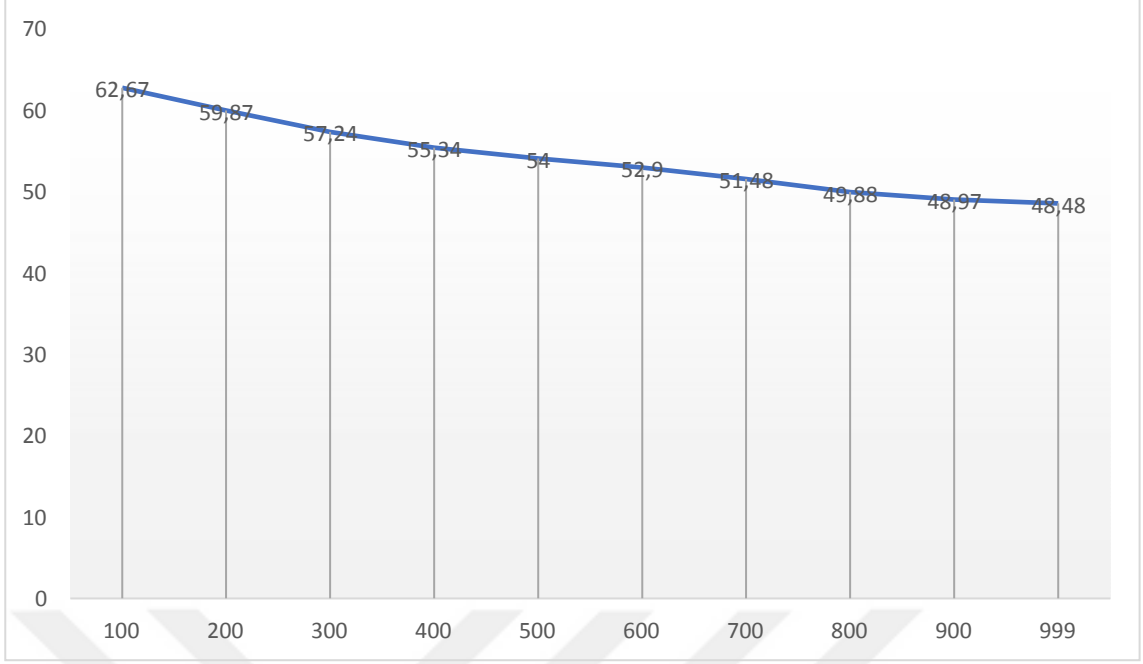


Şekil 5. 5 : Hız değerlerine göre HTS sonuçları

Çizelge 5.5'den görüldüğü üzere irtifa, mesafe, ivme ve RCS değerleri sabit tutulup hız değeri düzenli olarak arttırılan hava tehdidi için HTS miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Böylelikle hız değeri artan bir tehdidi radar daha uzun süre takip ederek gözlem altında tutmakta ve görece olarak hızı yavaş olan tehdidi daha az süre takip ederek radar kaynağını verimli şekilde kullanmaktadır.

Çizelge 5. 6 : Hız bilgileri değişken olan YKS sonuçları

İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	YKS (sn)
55000	100	399	8.9	0.1	62,67
55000	200	399	8.9	0.1	59,87
55000	300	399	8.9	0.1	57,24
55000	400	399	8.9	0.1	55,34
55000	500	399	8.9	0.1	54,00
55000	600	399	8.9	0.1	52,90
55000	700	399	8.9	0.1	51,48
55000	800	399	8.9	0.1	49,88
55000	900	399	8.9	0.1	48,97
55000	999	399	8.9	0.1	48,48



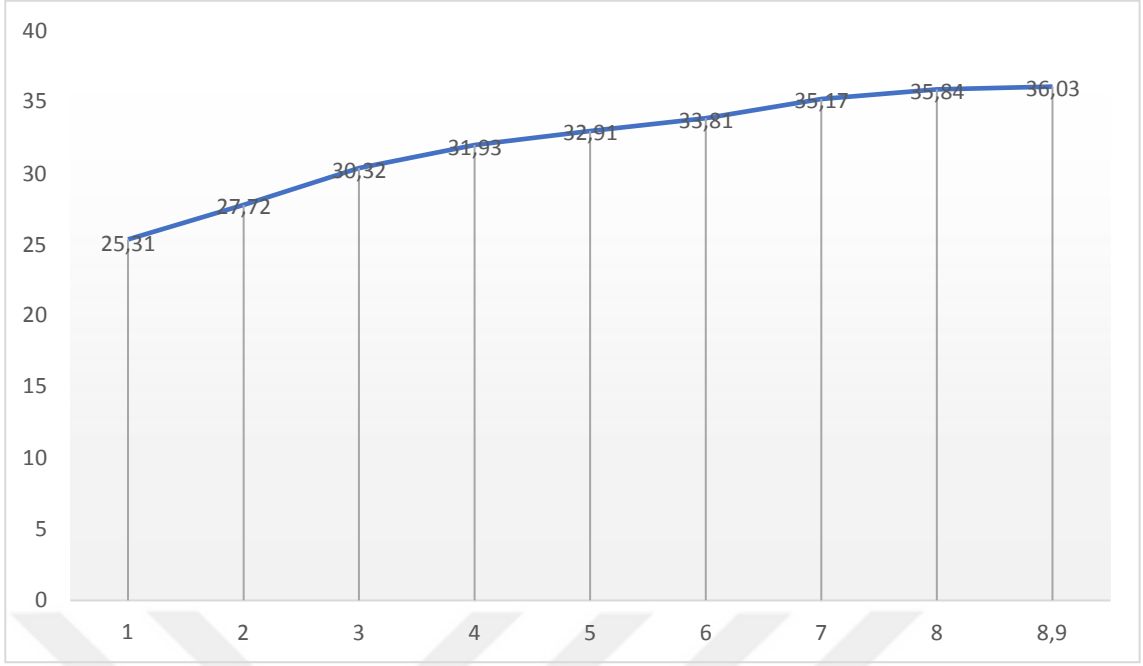
Şekil 5. 6 : Hız değerlerine göre YKS sonuçları

Çizelge 5.6'da görüldüğü üzere irtifa, mesafe, ivme ve RCS değerleri sabit tutulduğunda ve hız değeri düzenli olarak arttırıldığında YKS miktarında azalma görülmektedir. Böylelikle radarın tehdit derecesi artan bir hedefi daha sık aralıklarla ile yeniden kontrol ettiğini ve radar kaynağını daha verimli kullandığı görülmüştür.

Dördüncü senaryoda hedefin irtifa, hız, mesafe ve RCS değerleri sabit tutularak ivme değeri düzenli olarak arttırıldığında HTS ve YKS değerleri incelenmiştir. İlgili HTS sonuçları Çizelge 5.7'deki gibidir.

Çizelge 5. 7 : İvme bilgileri değişken olan HTS sonuçları

İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	HTS (sn)
55000	999	399	1	0.1	25.31
55000	999	399	2	0.1	27.72
55000	999	399	3	0.1	30.32
55000	999	399	4	0.1	31.93
55000	999	399	5	0.1	32.91
55000	999	399	6	0.1	33.81
55000	999	399	7	0.1	35.17
55000	999	399	8	0.1	35.84
55000	999	399	8.9	0.1	36.03

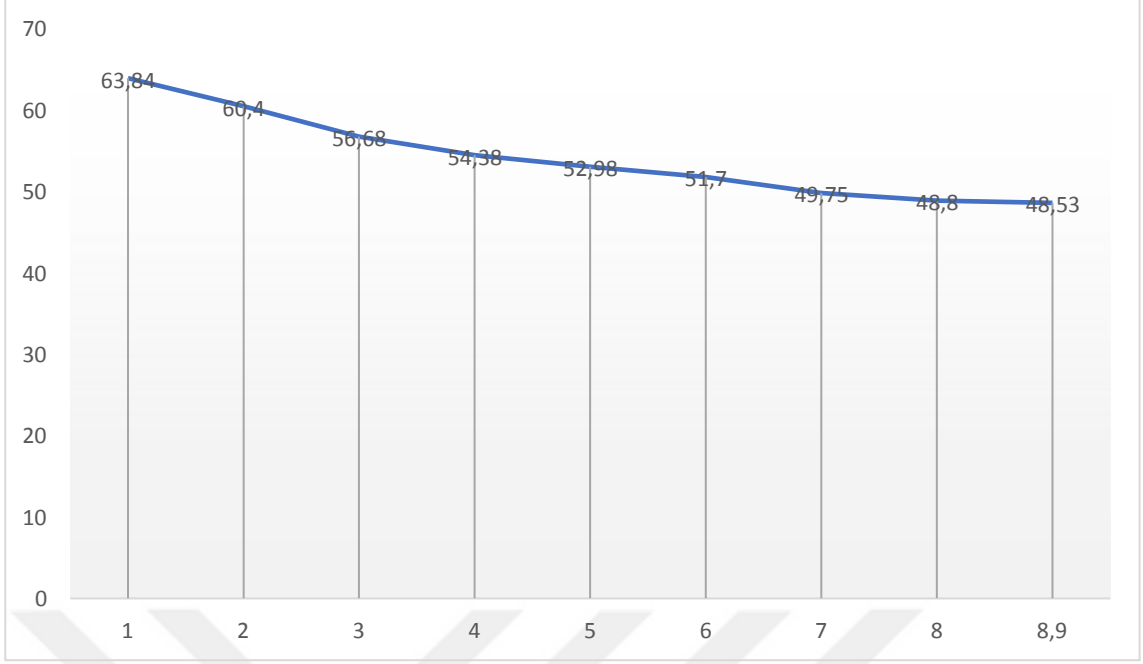


Şekil 5. 7 : İvme değerlerine göre HTS sonuçları

Çizelge 5.7’den görüldüğü üzere irtifa, hız, mesafe ve RCS değerleri sabit tutulan ve ivme değeri düzenli olarak artırılan hedefin HTS miktarının arttığı görülmektedir. Böylelikle manevra kabiliyeti yüksek olan hava hedeflerinin daha tehlikeli olduğu ve bu hedefleri daha uzun süreli takip edilmesi gerektiği görülmektedir.

Çizelge 5. 8 : İvme bilgileri değişken olan YKS sonuçları

İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	YKS (sn)
55000	999	399	1	0.1	63.84
55000	999	399	2	0.1	60.40
55000	999	399	3	0.1	56.68
55000	999	399	4	0.1	54.38
55000	999	399	5	0.1	52.98
55000	999	399	6	0.1	51.70
55000	999	399	7	0.1	49.75
55000	999	399	8	0.1	48.80
55000	999	399	8.9	0.1	48.53



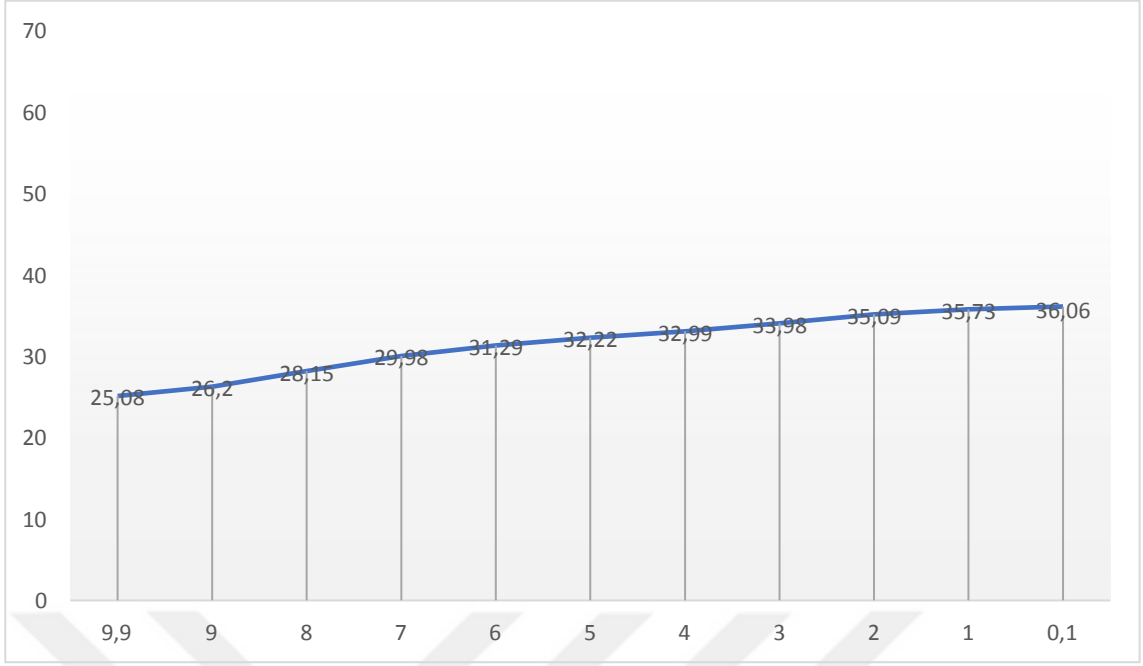
Şekil 5. 8 : İvme değerlerine göre YKS sonuçları

Çizelge 5.8’den görüldüğü üzere irtifa, hız, mesafe ve RCS değerleri sabit tutulan ve ivme değeri düzenli olarak arttırılan hedefin YKS miktarının azaldığı görülmektedir. Böylelikle manevra kabiliyeti yüksek olan hedefin önem derecesi arttıkça radar daha kısa aralıklarla hedefi kontrol etmektedir. Bu sebeple YKS miktarı azalmaktadır.

Beşinci senaryoda irtifa, hız, mesafe ve ivme değerleri sabit tutulan ve RCS değeri düzenli olarak azaltılan hedefin HTS ve YKS değerleri incelenmiştir. İlgili senaryonun HTS sonuçları Çizelge 5.9’daki gibidir.

Çizelge 5. 9 : RCS bilgileri değişken olan HTS sonuçları

İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	HTS (sn)
55000	999	399	8.9	9.9	25.08
55000	999	399	8.9	9	26.20
55000	999	399	8.9	8	28.15
55000	999	399	8.9	7	29.98
55000	999	399	8.9	6	31.29
55000	999	399	8.9	5	32.22
55000	999	399	8.9	4	32.99
55000	999	399	8.9	3	33.98
55000	999	399	8.9	2	35.09
55000	999	399	8.9	1	35.73
55000	999	399	8.9	0.1	36.06

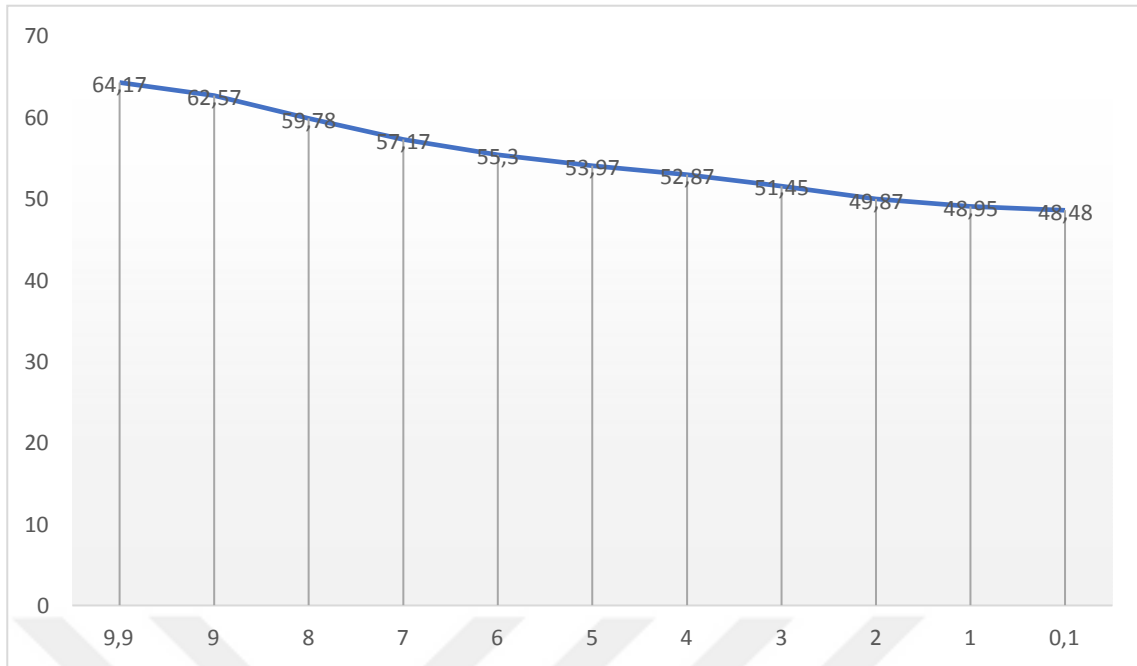


Şekil 5. 9 : RCS değerlerine göre HTS sonuçları

Çizelge 5.9'da görüldüğü üzere hedefin radar kesit alanı küçüldükçe radarın hedefi takip etmesi gereken süre artmaktadır. Böylelikle jet motorlu savaş uçakları gibi RCS değeri görece küçük olan savaş uçaklarına daha uzun süre bakarak hedefi kaybetmeme ve kontrol altında tutmaktadır. HTS süresinin küçük RCS değerleri için artması ile radarın kaynakları verimli şekilde kullanılmış olur.

Çizelge 5. 10 : RCS bilgileri değişken olan YKS sonuçları

İrtifa	Hız	Mesafe	İvme	RCS	YKS (sn)
55000	999	399	8.9	9.9	64.17
55000	999	399	8.9	9	62.57
55000	999	399	8.9	8	59.78
55000	999	399	8.9	7	57.17
55000	999	399	8.9	6	55.30
55000	999	399	8.9	5	53.97
55000	999	399	8.9	4	52.87
55000	999	399	8.9	3	51.45
55000	999	399	8.9	2	49.87
55000	999	399	8.9	1	48.95
55000	999	399	8.9	0.1	48.48



Şekil 5.10 : RCS değerlerine göre YKS sonuçları

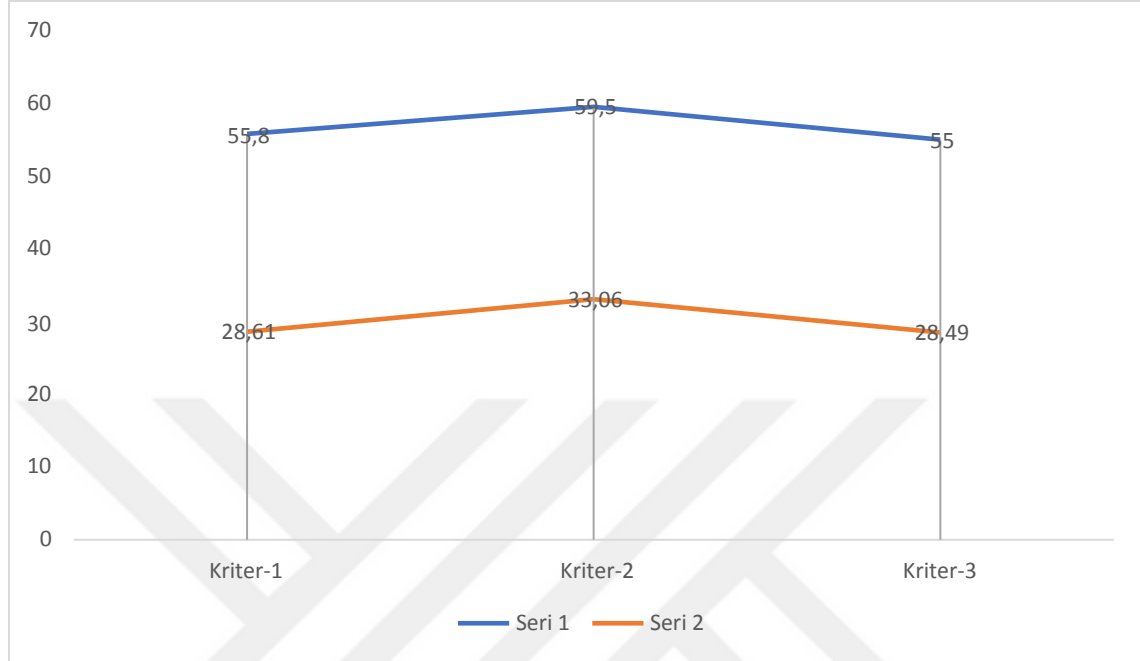
Çizelge 5.10'da hedefin radar kesit alanı küçüldükçe radarın hedefi daha kısa aralıklarla yani daha sık kontrol ettiği görülmektedir. Böylelikle görece RCS değeri daha küçük olan jet motorlu savaş uçakları gibi daha tehlikeli hedefleri kısa zaman aralıkları ile kontrol ederek radar kaynağını verimle şekilde kullanmaktadır.

Tip-1 bulanık mantık sistemi kullanılarak benzer şekilde yapılan radar kaynak optimizasyonu Tip-2 bulanık mantık ile kıyaslayıp verimliliğini ölçmek için Er tarafından daha önce yapılmış olan çalışmanın sonuçlarından faydalanılmıştır (ER, 2019). Er çalışmasında Tip-1 bulanık mantık yardımıyla hedefin hız, irtifa, mesafe ve ivme verilerini kullanarak sistem çıkışlarını incelemiştir. Her iki bulanık mantık sisteminin arasındaki fark incelendiğinde Er'in hazırladığı Tip-1 bulanık mantıkta RCS değişkenini kullanmadığından dolayı RCS değerinin etkisini minimuma indirecek şekilde yeniden işleme tâbi tutulmuştur. RCS değeri sınırları 0 ile 10 arasında olduğundan sistem çıkışlarını bozmaması için RCS değeri hem Tip-1 bulanık mantık sisteminde hem de Tip-2 bulanık mantık sisteminde 5 olarak seçilmiştir. Böylelikle RCS değerinin çıkışlara olan etkisi azaltılmış, Tip-1 ve Tip-2 bulanık mantık sistemi benzer şartlar altında kıyaslamaya tâbi tutulmuştur.

Yapılan bu çalışmaların sonuçları HTS değerleri için Çizelge 5.11'de incelenmiştir.

Çizelge 5. 11 : Tip-1 ve Tip-2 birlikte HTS sonuçları

Mesafe (km)	İrtifa (feet)	Hız (m/s)	İvme (g)	RCS	Tip-1	Tip-2
211.880	58441	529.7	4.71	5	55.8	28.61
166.994	52231	417.485	3.71	5	59.5	33.06
210.771	53910	526.928	4.68	5	55.0	28.49

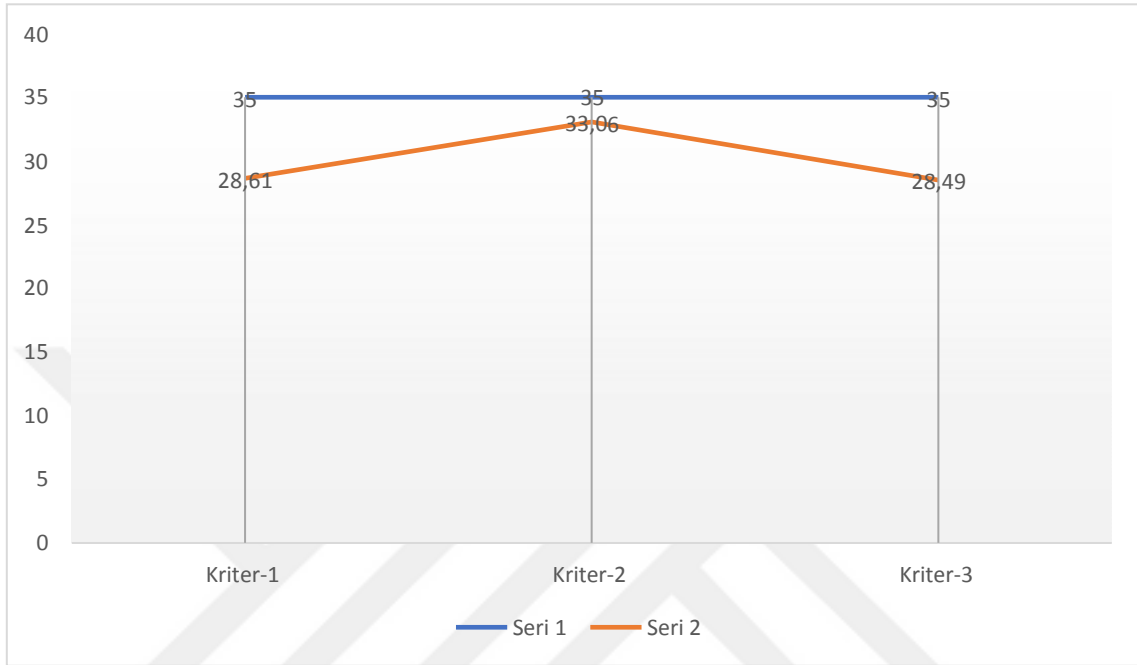
**Şekil 5. 11 : Tip-1 ve Tip-2 benzer şartlara göre HTS sonuçları**

Çizelge 5.11’de Tip-2 bulanık mantık sistemi HTS sonuçları Tip-1 bulanık mantık sistemi sonuçlarına göre daha az olduğu gözlemlenmektedir. HTS miktarının aynı şartlar altındaki tehditler için Tip-2 bulanık mantıkta süre olarak daha az sonuçlar üretmesi diğer tehditlere daha fazla zaman ayırabileceği böylelikle kaynak yönetimini Tip-1 bulanık mantığa göre daha verimli kullandığı söylenebilir.

Sabit değer metodu ile çalışan radarlar kaynaklarını zamanın belli bir bölümünde yayın yaparak zamanın kalan bölümünde ise gönderdiği yayınları toplayarak kullanır. Kaynak optimizasyonu açısından yayın yapma ve dinleme süreleri %50 ile kullanıldığında sabit değerlikle çalışan radar zaman kaynağını en verimli şekilde kullanır. Bu kriter göz önüne alındığında 70 msn kaynak süresi olan bir radar 35 msn yayın yapıp 35 msn dinleme yapacaktır. HTS sürelerine göre Tip-2 bulanık mantık sistemi ve Sabit Değer Metodu incelenip sonuçları Çizelge 5.12’de incelenmiştir.

Çizelge 5. 12 : Sabit Değer Metodu ve Tip-2 bulanık mantık HTS sonuçları

Mesafe (km)	İrtifa (feet)	Hız (m/s)	İvme (g)	RCS	Sabit Değerlikli Metot	Tip-2
211.880	58441	529.7	4.71	5	35	28.61
166.994	52231	417.485	3.71	5	35	33.06
210.771	53910	526.928	4.68	5	35	28.49

**Şekil 5. 12 : Tip-2 bulanık mantık ve Sabit Değerlikli Sistem HTS sonuçları**

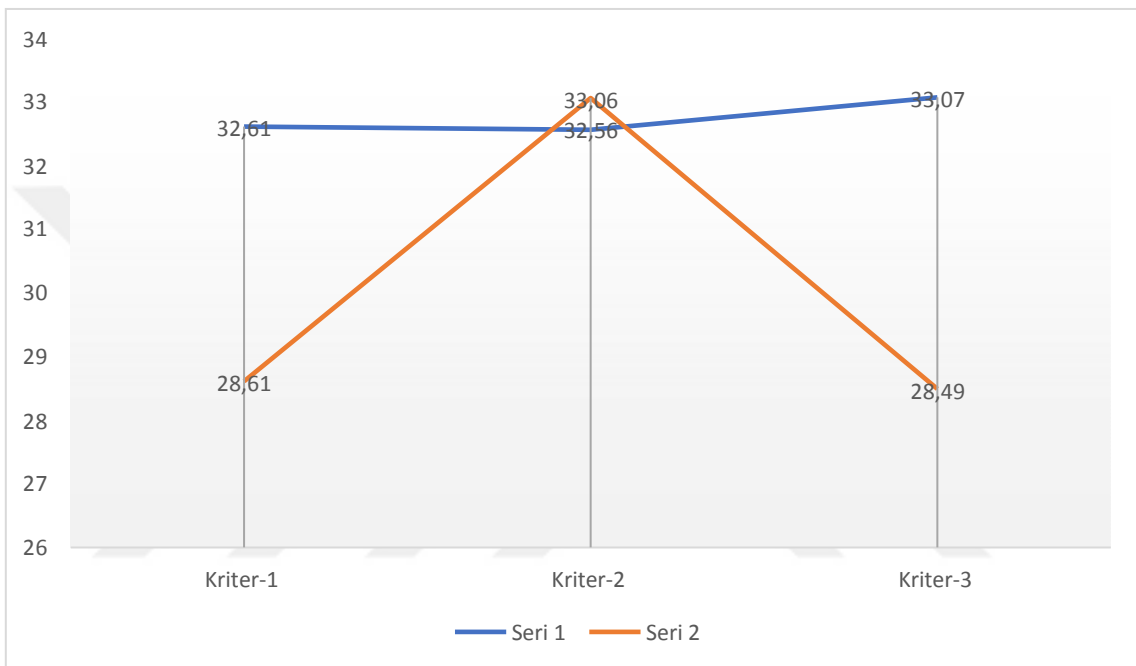
Çizelge 5.12’de sabit değerde çalışan bir radar ile Tip-2 bulanık mantık metodunu kullanan bir radar sisteminin kıyaslaması yapılmıştır. Sabit değere göre çalışan bir radar için maksimum HTS süresi %50 oranında bir takip süresi ile 70 ms üzerinden 35 ms olarak seçildiği kabul edilir. Sabit değer üzerinden HTS hesaplanırken mesafe, irtifa, hız, ivme, RCS gibi parametreler değişmesine rağmen takip süresi değişmemektedir. Tip-2 bulanık mantık sistemi ile çalışan radar parametre değişimlerine göre sonuçları değişmekte ve sabit değer olan 35 msn’den daha kısa sürelerde hedefi takip etmektedir. Böylelikle arda kalan fazla süreyi diğer tehditleri kontrol etmek amacıyla kullanabilmektedir.

Er çalışmasında Tip-1 bulanık mantık sistemi ile ağırlıklandırılmış katsayılı metodu kıyaslama yapmış ve Tip-1 bulanık mantık sisteminin hedef takip süresinin daha kısa olduğunu görmüştür. Çalışmada kullanılan Pd değerleri üzerinden HTS süreleri hesaplanmıştır (ER, 2019).

HTS sürelerine göre Tip-2 bulanık mantık sistemi ve ağırlıklandırılmış katsayılı metot Çizelge 5.13'te incelenmiştir.

Çizelge 5. 13 : Ağırlıklandırılmış katsayılı metot ve Tip-2 bulanık mantık HTS sonuçları

Mesafe (km)	İrtifa (feet)	Hız (m/s)	İvme (g)	RCS	Ağırlıklandırılmış Metot	Tip-2
211.880	58441	529.7	4.71	5	32.61	28.61
166.994	52231	417.485	3.71	5	32.56	33.06
210.771	53910	526.928	4.68	5	33.07	28.49



Şekil 5. 13 : Tip-2 bulanık mantık sistem ile Ağırlıklandırılmış Katsayılı Sistem HTS sonuçları

Çizelge 5.13'te Er yaptığı araştırma da mesafe, irtifa, hız, ivme değişkenleri için katsayılar kullanarak bir tespit etme oranı (Pd) hesaplamıştır. Tip-1 bulanık mantık sistemine göre tasarlanmış olan sistemde giriş değeri 4 olmakla beraber bu sistem için RCS değeri kullanılmamıştır. Ağırlıklandırılmış katsayılı metot yapısı oluşturulurken katsayılar toplamı 1 olacak şekilde mesafe için 0.27 değeri, irtifa için 0.23 değeri, hız değeri için 0.28 değeri ve ivme için 0.22 değeri katsayı olarak kullanılmıştır (ER, 2019).

Çalışmamızda Pd değerinden 70 msn maksimum değer olacak şekilde milisaniyeye dönüşüp yapıp Tip-2 bulanık mantık ile kıyaslanmıştır. RCS değeri etkisi azaltılması için üyelik fonksiyonlarının 0-10 arasındaki orta değer olan 5 olarak seçilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Tip-2 bulanık mantık sisteminin ağırlıklandırılmış metoda göre hedef takip sürelerinde daha kısa sonuçlar ürettiği böylelikle arda kalan

süreleri diğer tehditleri kontrol etmek amacıyla kullandığı ve verimliliği arttırdığı söylenebilir.



6. SONUÇ

İlk kez kullanılmaya başlanıldığı zamandan bugüne radarlar savaş sahalarının vazgeçilmez bir savunma elemanı olmuşlardır. Teknolojik gelişmelerle birlikte hava sahalarını işgal eden tehditlerin çeşitliliği artmış ve bu işgali önlemek için radarların kabiliyetlerinde de olumlu gelişmeler yaşanmıştır. Radarların gelişmesi ile birlikte radar ailesine atış kontrol radarları, güdüm radarları, gözetleme radarları, faz dizili radarlar, çok fonksiyonlu radarlar gibi yeni nesil radarlar eklenmiştir. Faz dizili radar anteni üstündeki devre elemanlarına ayrı ayrı besleme yapılarak birden fazla radar hüzmesi oluşturulup birden fazla hedef takibi veya gökyüzünü daha çok hüzme ile kontrol edilebilir hale gelmiştir. Faz dizili radar teknolojisi hüzmenin ışına doğrultusunu elektronik devre elemanları ile yönlendirerek daha hızlı hedefe kilit atma imkânı sağlamaktadır. Böylelikle hem daha hızlı yönlendirilebilen hem de daha çok tarama sayısı ile radarın hava tehditlerine karşı hava sahasının güvenliğini sağlamak için faz dizili radarların ne kadar önemli olduğu görülmektedir.

Konvensiyonel radarlar olarak tanımlanan ve hedefe otomatik kilit atma özelliği olmayan radarlarda hedefi takip işlemi radar operatörü tarafından manuel olarak yapılmaktadır. Operatörün becerilerine göre hedefi tespit etme ve takip etme süreleri değişiklik göstermektedir. Eğer operatör radarı kullanma konusunda yetenekli ise hedefi daha kısa sürede tespit edebilecek ve daha az süre aralıklarla kontrol ve daha uzun süre takip ederek hedefi kaçırmadan izleme imkânı bulabilir. Eğer radar operatörü bahsedildiği şekilde yetenekli değilse hedefi daha uzun süre takip etme ihtiyacı ve daha sık aralıklar ile yeniden kontrol etme ihtiyacı duyacaktır. Bu durumda radarın verimli ve etkili kullanılmasının şartı operatörün yetenekleri ile sınırlı kalmaktadır.

Bu tez çalışmasında günümüz modern radarı olarak nitelendirilebilen faz dizili radarın operatör yeteneklerinden bağımsız olarak Tip-2 bulanık mantık yardımı ile tehditlerinin önem derecelerinin belirlenerek radarın ilgili tehdidi ne kadar süre takip edeceği ve ilgili tehdidi ne kadar sık aralıklarla kontrol edeceği değeri üzerine çalışılmıştır. Günümüz hava taarruzu konseptlerinde çok sayıda uçak ile saldırı gerçekleştirildiği düşünüldüğünde radarın çok hızlı şekilde hava sahasını tarayıp hedefleri tespit etmesi ve bu hedefleri kaybetmeden sürekli olarak takip etmesi, bu işlemi yaparken bir yandan da hava sahasını yeniden kontrol edip başka tehditlerin olup olmadığını kontrol etmesi gerekmektedir.

Çeşitli algoritmalar ve kullanılan bulanık mantık yöntemleri ile bu işlemin otomatikleştirilmesi hava taarruzlarını bertaraf etmek için kullanılan vazgeçilmez bir yöntem olmuştur. Böylelikle gökyüzüne çok fazla sayıda yayın yapabilen bir faz dizili bir radar ile geliştirilmiş bir Tip-2 bulanık mantık yöntemi ile radarın kabiliyetlerini ve kısıtlı olan zaman kaynağı en etkili, en verimli şekilde kullanılabilir.

Zaman kaynağının en etkili şekilde kullanılabilmesi için hedeflerin aralarında bir öncelik sıralaması yapılması ve öncelik durumlarına göre takip ve kontrol sürelerinin hesaplanması gerekmektedir. Takip ve kontrol sürelerinin belirlenmesi için radarın dikkate aldığı 5 parametre değerlendirilmeye tâbi tutulmuştur. Bu parametreler tehdidin mesafesi, tehdidin hızı, tehdidin irtifası, tehdidin ivmesi ve tehdidin radar kesit alanıdır. Bu parametreler kullanılarak radarın hedefi ne kadar süre takip edeceğini belirleyen HTS miktarı ve hedefi ne kadar süre aralıklarla ile kontrol edeceğini belirleyen YKS süreleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda parametre değerlerine göre hedefin durumu ölçülüp dilsel ifadelerle uygun olacak şekilde sınıflandırılması yapılmıştır. Örnek verecek olursak eğer hedefin hızı görece olarak hızlıysa veya hedefin ivmesi görece olarak yüksekse veya hedefin irtifası görece olarak radara yakınsa radar hedefi daha uzun süre takip eder ve daha kısa aralıklarla radarı tekrar kontrol edecektir. Tam tersi durumlarda yani hedefin hızı görece yavaşsa veya hedefin ivmesi görece düşükse veya hedefin irtifası görece yüksekse radar hedefin önceliğini arka plana atacak ve daha kısa süre takip edecek ve daha uzun aralıklarla tekrar kontrol edecektir. Buradan Tip-2 bulanık mantık sistemi kullanılarak oluşturulan bu sistemin hedefleri önceliklendirerek önem sırası belirlendiği ve bu önem sırasına radarın zaman kaynağını verimli şekilde kullandığı görülmektedir. Bulanık mantık sisteminin burada radar sisteminin kontrolörü olmakla birlikte tasarımı zor olmayan sistem olup radar operatörünün yapabileceği hataların önüne geçmektedir.

Sonuçlara bakıldığında 70 msn değeri bir radarın hedefi maksimum şekilde takip edeceği değer kabul edilmiş ve bu değer üzerinden hesaplamalar yapılacak şekilde senaryolar oluşturulmuştur.

Giriş parametrelerinden sadece irtifa değeri değişken olan bir hava tehdidi için radarın 55000 feet değerindeki bir radar için hedefi takip edeceği süre 36.06 msn olarak ortaya çıkmaktadır. Tehdidin irtifa değeri düştükçe yani radara yaklaştıkça tehdit seviyesi artmakta ve radar daha uzun süre ile takip etmek durumunda kalmaktadır. Senaryo kapsamında hava tehdidi 5000 feet seviyelerine kadar indiğinde hedefi takip süresi 54.29 msn kadar artmaktadır. Buradan Tip-2 bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının uzman

görüşü eşliğinde doğru seçildiği ve irtifa değerinin azalmasıyla takip süresinin ters orantılı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

İrtifa değeri azaldıkça radarın tehdit seviyesinin arttığı böylelikle radarın daha sık aralıklarla hedefi kontrol etmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Tip-2 bulanık mantık kullanarak oluşturulan senaryoda hedefin 55000 feet seviyelerinde iken radarın hedefi 53.64 msn aralıklarla yeniden kontrol ettiği, irtifa seviyesinin 5000 feet seviyelerine kadar düşmesi ile hedefi yeniden kontrol süresinin 30.20 msn'lere kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Böylelikle irtifa seviyesi ile hedefi yeniden kontrol süresinin doğru orantılı olduğu gözlemlenmiş ve irtifa seviyesi azaldıkça radarın hedefi kaybetmemek için daha kısa aralıklarla kontrol etmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Giriş parametrelerinden sadece mesafe bilgisinin değiştiği senaryoya göre radardan 399 km uzakta bulunan hava tehdidi için radarın hedefi 36.06 msn boyunca takip ettiği, hedefin 10 km kadar yakına geldiği durumda radarın hedefi 54.74 msn boyunca takip ettiği görülmektedir. Böylelikle hedefin tehdit seviyesi arttıkça radarın takip etme süresinin doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir.

Mesafe bilgisi gittikçe azalan hedefin tehdit olma seviyesi gittikçe arttığından dolayı radarın hedefi kaybetmemek için kontrol ettiği süre zarfı azalmakta bu değer 399 km için 48.48 msn olmakla beraber 10 km mesafesi için 21.80 msn olmaktadır.

Giriş parametrelerinden sadece hız bilgisinin değiştiği senaryoda hız 100 m/sn için 26.13 msn boyunca hedefi takip ederken 999 m/sn hıza çıktığında 36.06 msn süreyle hedef takibi gerçekleştirmektedir. Buradan hız ile hedef takibinin doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Hız bilgisi arttıkça tehdidin seviyesi arttığından dolayı radarın hedefi kaybetmemek için kontrol ettiği süre zarfı azalmakta 100 m/sn için 62.67 msn aralıklar hedefi kontrol ederken 999 m/sn hıza ulaştığında 48.48 msn'ye kadar kontrol süresi düşmektedir. Buradan yola çıkarak kontrol süresi ile hız değişkeni arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Giriş parametrelerinden sadece ivme bilgisinin değiştiği senaryo incelendiğinde ivme değeri 1 G olan hava hedefinin hedef takip süresinin 25.31 msn olduğu ve ivme miktarının artırılması ile hedefin 9.9 G seviyesine çıkmasıyla hedef takip süresinin 36.03 msn'ye kadar çıktığı görülmektedir. Böylelikle manevra kabiliyeti yüksek olan savaş uçaklarının ivme yani manevra miktarı arttıkça radarın hedefi daha uzun süreli takip etmesi gerektiğini görüyoruz.

İvme bilgisi arttıkça tehdidin oluşturduğu tehlike durumu arttığından radarın hedefi daha sık aralıklarla kontrol etmesi beklenir. İvme 1 G olduğu durumda 63.84 msn aralıklarla kontrol ettiği, ivme 8.9 G seviyesine yükseldiğinde 48.53 msn aralıklarla kontrol ettiği görülmüştür. İvme ile HTS doğru orantılı, ivme ile YKS ters orantılı olduğu görülmektedir.

Giriş parametrelerinden sadece RCS bilgisinin değiştiği senaryo incelendiğinde RCS değeri 9.9 m^2 olduğu durumda 25.08 msn olarak karşımıza çıkmakta ve RCS değeri 0.1 m^2 olduğu durumda 36.06 msn olarak karşımıza çıkmaktadır. Buradan ticari yolcu uçaklarına göre daha küçük radar kesit alanına sahip olan savaş uçaklarını radar takip etmek için daha uzun süre ayırdığı görülmektedir. Radardan beklenen büyük radar kesit alanına sahip olan bir sisteme görece daha kısa süreyle hedefi takip etmesi ve kalan zamanı başka tehditler için kaynak olarak kullanmasıdır.

RCS bilgisinin değiştiği senaryoda görece radar kesit alanı büyük olan yani 9.9 m^2 seçilen durumda radarın hedefi 64.17 msn süre sıklıkla kontrol ettiği, RCS değerinin küçük olduğu yani tehdit derecesinin görece yüksek olduğu durumda 0.1 m^2 radar kesit alanına sahip olunan durumda 48.48 msn kontrol süresine kadar bakma sıklığı azalmıştır. Buradan radarın yüksek radar kesit alanına sahip tehditler için daha uzun aralıklarla kontrol ettiği ve kalan süreyi diğer tehditlere ayırarak zaman kaynağını olumlu yönde kullandığı söylenebilir.

Radar sisteminin benzer şartlara yakın şekilde tasarlanan Tip-1 bulanık mantık sistemlerine göre daha büyük HTS miktarları ürettiği ve daha küçük YKS sürelerine ulaştığı böylelikle hedefin tehdit seviyesi arttıkça daha uzun süre takipte kalıp daha kısa aralıklarla kontrol ettiği Tip-1 bulanık mantık sistemlerine göre zaman kısıtlamasını daha verimli kullandığı değerlendirilmektedir.

Radar sistemi sabit değerlikli çalışan radarlara göre hedefin tehdit derecesi arttıkça HTS ve YKS sürelerini optimize ederek sabit değerle çalışan radarlara göre daha etkili ve daha verimli olduğu değerlendirilmektedir.

7. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında uzman görüşleri alınarak üyelik fonksiyonları ve giriş parametreleri seçilmiştir. Tez çalışmasının geliştirilebilmesi amacıyla üyelik fonksiyonlarında daha detaylı çalışma yapılabilir. Sistem çıkışlarını etkileyecek veri giriş miktarı yani parametre sayısı arttırılıp Tip-2 bulanık mantık sistemi daha hassas hale getirilebilir. Tip-2 bulanık mantık parametrelerinin kendi aralarındaki ağırlık katsayısı birbirlerine eşit seçilmiştir, çalışılmak istenen alana göre bu parametreler arasında ağırlıklandırma yapılarak çıkışlar daha hassas hale getirilebilir. Tip-2 bulanık mantık sistemleri savunma sanayisinde yapılacak olan sistem ve projelerde etkin olarak kullanılabilceği değerlendirilmektedir.



KAYNAKLAR

- Altınörs, A. (2007). Tip-II bulanık mantık ve kayma kipli kontrol yöntemleri ile servo sistemlerin dayanıklı kontrolü/Robust control of servo systems using type-2 fuzzy logic and sliding mode control methods.
- Aydın, Y., & Tamer, E. (2018). Hava savunma sanayii alt yüklenici seçiminde bulanık mantık altında çok kriterli karar verme ve hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Journal of Aviation*, 2(1), 10-30.
- Beser, F., Adıgüzel, D., Yıldırım, Ö., & Yıldırım, T. (2018). Bulanık Mantık Kullanarak Hava Savunma Karar Destek Sistemi Tasarımı Air Defence Decision Support System Design Using Fuzzy Logic.
- Bulut, M. (2004). *Tip-2 bulanık mantık sistemlerin benzetimi için yazılım geliştirme*. Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Center, N. A. W. (1997). Electronic warfare and radar systems engineering handbook. *Electronic Warfare Division, Pont Mugu, CA*.
- Delioranlı, S. (2009). *Yapay Açıklıklı Radar Ham Verilerinden Görüntü Oluşturulması*. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Demirtaş, Ö., & Akdoğan, A. (2014). BULANIK ORTAMDA TEDARİKÇİ SEÇİMİ: SAVUNMA SANAYİİ'NE YÖNELİK BİR UYGULAMA. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*(43), 203-222.
- El-Khamy, S. E., Rizk, M. R., & Korayem, R. K. (2013). *Fuzzy inference based wavelet robust sidelobe canceller*. Paper presented at the 2013 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS).
- ER, M. (2019). Bulanık sistemler ile faz dizili radar parametrelerinin gerçek zamanlı ayarlanması.
- Gelev, S., Gacovski, Z., Jiea-he, X., Yuan-wei, J., & Deskovski, S. (2007). Fuzzy logic in fire control systems for air defence.
- Jang, J.-S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Li, P.-c., Chen, G.-h., Dai, L.-c., & Li, Z. (2010). Fuzzy logic-based approach for identifying the risk importance of human error. *Safety science*, 48(7), 902-913.
- Lu, Y., Wang, Y., Lei, Y., & Wang, Y. (2015). *Air targets threat assessment based on fuzzy rough reasoning*. Paper presented at the The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC).
- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.
- Miranda, S., Baker, C., Woodbridge, K., & Griffiths, H. (2007). Fuzzy logic approach for prioritisation of radar tasks and sectors of surveillance in multifunction radar. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 1(2), 131-141.
- Nguyen, H. T., Prasad, N. R., Walker, C. L., & Walker, E. A. (2002). *A first course in fuzzy and neural control*: CRC press.
- Öztürk, M., & Paksoy, T. (2020). Tedarikçi seçimi için yeni bir aralık tip-2 hibrit bulanık kural tabanlı AHP sistemi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 35(3).
- Palit, A. K., & Babuska, R. (2001). *Efficient training algorithm for Takagi-Sugeno type Neuro-Fuzzy network*. Paper presented at the 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems.(Cat. No. 01CH37297).
- Rizwan, H., Tayyaba, S., Ashraf, M. W., Rasheed, H., Ahmed, Z., & Ali, B. (2014). *Threat evaluation of suspicious target for cognitive radar*. Paper presented at the 17th IEEE International Multi Topic Conference 2014.
- Schleher, D. C. (2004). Bilgi Çağında Elektronik Harp. *Berna Kona (çev.)*, Doruk.

- Serbest, İ. (2019). *Radar Resource Allocation Optimization In Phased Array Radar Systems*. Middle East Technical University,
- Shin, H.-J., Hong, S.-M., & Hong, D.-H. (1995). Adaptive-update-rate target tracking for phased-array radar. *IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation*, 142(3), 137-143.
- Stoffel, A. (1994). *Heuristic energy management for active array multifunction radars*. Paper presented at the Proceedings of IEEE National Telesystems Conference-NTC'94.
- Sugeno, M. (1985). *Industrial applications of fuzzy control*: Elsevier Science Inc.
- Venkata, R. S. (2013). Array and phased array antennna. <https://www.slideshare.net/VenkataRajendraSadhu/array-and-phased-array-antennna>.
- Wintenby, J., & Krishnamurthy, V. (2006). Hierarchical resource management in adaptive airborne surveillance radars. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems*, 42(2), 401-420.
- Yıldırım, M. (1998). *Bulanık mantıklı yapay sinir ağı ile doğrusal olmayan sistem modelleme*. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Yildirim, M. T., Basturk, A., & Yuksel, M. E. (2007). *A Type-2 Fuzzy Logic Operator for Impulse Noise Removal from Digital Images*. Paper presented at the 2007 IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications.
- Zadeh, L. A. (1975a). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. *Information sciences*, 9(1), 43-80.
- Zadeh, L. A. (1975b). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information sciences*, 8(3), 199-249.
- Zadeh, L. A. (1975c). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—II. *Information sciences*, 8(4), 301-357.

EKLER**EK:** Tip-2 Bulanık Mantık Sistemi Kural Tabanları

1. If irtifa is Alcak and hız is hızlı and mesafe is Yakın and ivme is Yüksek and RCS is Küçük then UKS is 7
2. If irtifa is Alcak and hız is hızlı and mesafe is Yakın and ivme is Yüksek and RCS is Orta then UKS is 7
3. If irtifa is Alcak and hız is hızlı and mesafe is Yakın and ivme is Yüksek and RCS is Büyük then UKS is 6
4. If irtifa is Alcak and hız is hızlı and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Küçük then UKS is 7
5. If irtifa is Alcak and hız is hızlı and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 7
6. If irtifa is Alcak and hız is hızlı and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Büyük then UKS is 6
7. If irtifa is Alcak and hız is hızlı and mesafe is Yakın and ivme is Düşük and RCS is Küçük then UKS is 6
8. If irtifa is Alcak and hız is hızlı and mesafe is Yakın and ivme is Düşük and RCS is Orta then UKS is 6
9. If irtifa is Alcak and hız is hızlı and mesafe is Yakın and ivme is Düşük and RCS is Büyük then UKS is 4
10. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Yüksek and RCS is Küçük then UKS is 7
11. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Yüksek and RCS is Orta then UKS is 7
12. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Yüksek and RCS is Büyük then UKS is 6
13. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Küçük then UKS is 7
14. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 6
15. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Normal and RCS is Büyük then UKS is 5
16. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Düşük and RCS is Küçük then UKS is 6
17. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Düşük and RCS is Orta then UKS is 5
18. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Yakın and ivme is Düşük and RCS is Büyük then UKS is 4

19. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
20. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 6
21. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
22. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 6
23. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 5
24. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 4
25. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
26. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 4
27. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 3
28. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 7
29. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 7
30. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 6
31. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 7
32. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 6
33. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 5
34. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 6
35. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 5
36. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 4
37. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 7

38. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 6
39. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 5
40. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 6
41. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 5
42. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 4
43. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 5
44. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 4
45. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 3
46. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
47. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 5
48. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
49. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 5
50. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 4
51. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 3
52. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
53. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 3
54. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 2
55. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
56. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 6

57. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
58. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 6
59. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 5
60. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 4
61. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
62. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 4
63. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 3
64. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
65. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 5
66. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
67. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 5
68. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 4
69. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 3
70. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
71. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 3
72. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 2
73. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
74. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 4
75. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 3

76. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RC S is Kucuk then UKS is 4
77. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RC S is Orta then UKS is 3
78. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Normal and RC S is Buyuk then UKS is 2
79. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RC S is Kucuk then UKS is 3
80. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RC S is Orta then UKS is 2
81. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Yakin and ivme is Dusuk and RC S is Buyuk then UKS is 1
82. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 7
83. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 7
84. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 6
85. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 7
86. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 6
87. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 5
88. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 6
89. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 5
90. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 4
91. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 7
92. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 6
93. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 5
94. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 6

95. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 5
96. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 4
97. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 5
98. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 4
99. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 3
100. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
101. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 5
102. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
103. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 5
104. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 4
105. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 3
106. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
107. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 3
108. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 2
109. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 7
110. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 6
111. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 5
112. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 6
113. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 5

114. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 4
115. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 5
116. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 4
117. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 3
118. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
119. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 5
120. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
121. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 5
122. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 5
123. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 3
124. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
125. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 3
126. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 2
127. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 5
128. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 4
129. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 3
130. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 4
131. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 3
132. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 2

133. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 3
134. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 2
135. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 2
136. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
137. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 5
138. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
139. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 5
140. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 4
141. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 3
142. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
143. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 3
144. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 2
145. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 5
146. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 4
147. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 3
148. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 4
149. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 3
150. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 2
151. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 3

152. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 2
153. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 2
154. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 4
155. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 3
156. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 2
157. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 3
158. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 2
159. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 2
160. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 2
161. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 2
162. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Orta and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 1
163. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
164. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 6
165. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
166. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 6
167. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 5
168. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 4
169. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
170. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 4

171. If irtifa is Alcak and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 3
172. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
173. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 5
174. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
175. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 5
176. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 4
177. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 3
178. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
179. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 3
180. If irtifa is Alcak and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 2
181. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 4
182. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 4
183. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 3
184. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 4
185. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 3
186. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 2
187. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 3
188. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 2
189. If irtifa is Alcak and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 1

190. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 6
191. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 5
192. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 4
193. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 5
194. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 4
195. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 3
196. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 4
197. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 3
198. If irtifa is Orta and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 2
199. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 5
200. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 4
201. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 3
202. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 4
203. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 3
204. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 2
205. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 3
206. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 2
207. If irtifa is Orta and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 4
208. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 4

209. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 3
210. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 2
211. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 3
212. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 2
213. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 2
214. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 2
215. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 2
216. If irtifa is Orta and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 1
217. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 4
218. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 4
219. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 3
220. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 4
221. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 3
222. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 2
223. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 3
224. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 2
225. If irtifa is Yuksek and hız is hizli and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 1
226. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 4
227. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 3

228. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 2
229. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 3
230. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 2
231. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 2
232. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 2
233. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 2
234. If irtifa is Yuksek and hız is orta and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 1
235. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Kucuk then UKS is 3
236. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Orta then UKS is 2
237. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Yuksek and RCS is Buyuk then UKS is 1
238. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Kucuk then UKS is 2
239. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Orta then UKS is 2
240. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Normal and RCS is Buyuk then UKS is 1
241. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Kucuk then UKS is 1
242. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Orta then UKS is 1
243. If irtifa is Yuksek and hız is yavas and mesafe is Uzak and ivme is Dusuk and RCS is Buyuk then UKS is 1