



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü



# BULANIK SİSTEMLER İLE FAZ DİZİLİ RADAR PARAMETRELERİNİN GERÇEK ZAMANLI AYARLANMASI

Yüksek Lisans Tezi

Muhammer ER

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir  
2019



T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**BULANIK SİSTEMLER İLE FAZ DİZİLİ RADAR  
PARAMETRELERİNİN GERÇEK ZAMANLI  
AYARLANMASI**

Muhammer ER

Danışman : Prof.Dr.Aydoğan SAVRAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Elektronik Yüksek Lisans Programı

İzmir  
2019



Muhammer ER tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Bulanık Sistemler ile Faz Dizili Radar Parametrelerinin Gerçek Zamanlı Ayarlanması” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 04.07.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

**Jüri Başkanı** : Prof.Dr. Aydoğan SAVRAN

**Raportör Üye** : Dr.Öğretim Üyesi Fadıl KUYUCUOĞLU

**Üye** : Dr.Öğretim Üyesi Yavuz ÖZTÜRK





## EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bulanık Sistemler ile Faz Dizili Radar Parametrelerinin Gerçek Zamanlı Ayarlanması” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

01 / 08 / 2019

İmzası



Adı-Soyad

Muhammed ER



## ÖZET

# BULANIK SİSTEMLER İLE FAZ DİZİLİ RADAR PARAMETRELERİNİN GERÇEK ZAMANLI AYARLANMASI

ER, Muhammer

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydoğan SAVRAN  
Temmuz 2019, 84 sayfa

Bu tezde hedef önceliğinin önemli olduğu harekât ortamında radarlar ile bazı hedeflerin daha hassas tespit ve takip edilmesi gerektiğinde Bulanık Mantık Metodu ile kaynak yönetimi yapan bir algoritma oluşturulmuştur.

Bu kaynak yönetimi kapsamında dört adet hedef özelliği ile oluşan hedef önceliğine göre anten parametreleri Bulanık Mantık Metodu ile hesaplanmıştır.

Çalışmamızda geleneksel olarak atış kontrol radarlarında, erken ihbar radarlarında, füze güdüm algoritmaları gibi yerlerde hedef önceliğinde kullanılan Ağırlıklandırılmış Metod ve Sabit Değer Metodu da ele alınmış olup tekli ve çoklu hedef simülatör ortamlarında Bulanık Mantık Metodu ile elde ettiğimiz sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Bulanık mantığın diğer iki metoda üstünlüğü gözlemlenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Faz Dizili Antenler, Bulanık Mantık, kaynak yönetimi, hedef öncelikleri



## ABSTRACT

### TUNING RADAR PARAMETERS OF PHASED ARRAY RADAR

#### AT REAL TIME

#### BY FUZZY LOGIC

ER, Muhammer

MSc in Electronic Eng.

Supervisor: Prof. Dr. Aydoğın SAVRAN

June 2019, 84 pages

In this thesis, a resource management algorithm based on fuzzy logic method is applied to an operation zone where target priority is important and some of the targets have to be tracked with a higher sensitivity.

In this resource management scope, radar parameters were computed by fuzzy logic method according to the priorities of targets complying with four specialties of target.

In our work weighted method and constant value method, it also was handled by conventional fire control radar, early warning radar, missile guidance. In this regard, fuzzy logic method used in this thesis was compared with the traditional methods in the single target and multi target simulator environment. In conclusion, superiority of fuzzy logic method to the other two methods is observed

**Keywords:** Phased array radars, fuzzy logic, resource management, priorities of target



## ÖNSÖZ

Günümüzde bulanık mantık uygulamaları kontrol süreçlerini içeren adaptif sistemlerde yaygın şekilde kullanılmaya başlanmış olup böylelikle bulanık mantık klasik mantığın yerini almaktadır.

Üretim ve tasarım teknolojisinin gelişmesiyle de radar dünyasında faz dizili radarlar klasik radarları geride bırakarak yaygın uygulama alanı bulmaktadır.

Radar kaynaklarını verimli olarak kullanma fikrinden doğan tez konum bu iki modern sistemin birlikte kullanım alanlarından birini ortaya koymuştur. MATLAB'ın da simülasyon ve diğer kullanım etkinliğinden faydalanarak radar parametrelerini bulanık mantık ile gerçek zamanlı ayarlayarak tezimi tamamladım.

İZMİR

01/08/2019



Muhammer ER



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xviii</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2.GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>2</b>
2.1 Radarlar.....	3
2.1.1 Klasik Radarlar-----	3
2.1.2 Faz dizili radarlar -----	4
2.2 Bulanık Mantık .....	12
2.2.1 Bulanık mantık kavramı -----	12
2.2.2 Bulanık mantığın avantajları -----	14
2.2.3 Bulanık kümeler ve klasik kümeler -----	15
2.2.4 Bulanık sistemler ve uygulama alanları -----	19
2.3 MATLAB Bulanık Sistemler ve Bulanık Mantık Araç Kutusu .....	21
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEM</b> .....	<b>22</b>
3.1 Probleme Bakış ve Çözüm Yaklaşımı .....	22
3.2 Radar Sisteminin Tasarımı .....	23
3.2.1 Sabit Değer Metodu tasarımı-----	25
3.2.2 Ağırlıklandırılmış Metod tasarımı-----	26
3.2.3 Bulanık Mantık Metodu tasarımı-----	32
<b>4.BULGULAR</b> .....	<b>37</b>
4.1 Bulanık Sistemin Kontrolü .....	37
4.2 Simulink’de Modelin Oluşturulması .....	39
4.3 Sistemin Monostatik Olarak Modellenmesi .....	39
4.4 Hedefteki Değişimlere Karşı Çıkışların Bulanık Mantık İle Belirlenmesi.....	40
4.4.1 Hedefteki mesafe değişimine karşı çıkışların bulanık mantık derleyici ile belirlenmesi-----	40

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

### Sayfa

4.4.2 Hedefteki irtifa değişimine karşı çıkışların bulanık mantık derleyici ile belirlenmesi -----	42
4.4.3 Hedefteki hız değişimine karşı çıkışların bulanık mantık derleyici ile belirlenmesi -----	43
4.4.4 Hedefteki ivme değişimine karşı çıkışların bulanık mantık derleyici ile belirlenmesi -----	45
4.5 Bulanık Mantık Metodu ile Diğer Metodların Karşılaştırılması.....	46
4.5.1 Üç metotta elde edilen Mesafe- $Pd$ grafiklerinin karşılaştırılması -----	46
4.5.2 Üç metotta elde edilen İrtifa- $Pd$ grafiklerinin karşılaştırılması -----	47
4.5.3 Üç metotta elde edilen Hız- $Pd$ grafiklerinin karşılaştırılması-----	48
4.5.4 Üç metotta elde edilen İvme- $Pd$ grafiklerinin karşılaştırılması -----	50
4.6 Çoklu Hedef Simülatörü .....	51
4.7 Kümülatif $Pd$ Değeri .....	53
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>55</b>
<b>6. ÖNERİLER .....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>	<b>58</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>61</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>62</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>.....</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Adaptif faz dizili anten mimarisi.....	11
2.2 Saf bulanık sistemin temel konfigürasyonu.....	13
2.3 TSK bulanık sistemin temel konfigürasyonu .....	14
2.4 Bulanıklaştırıcı ve Durulayıcı ile bulanık sistemin temel konfigürasyonu .....	14
2.5 Bulanık küme.....	15
2.6 Klasik küme .....	16
2.7 Üçgen üyelik fonksiyonu.....	16
2.8 Yamuk üyelik fonksiyonu.....	16
2.9 Gauss üyelik fonksiyonu.....	17
2.10 Genelleştirilmiş çan eğrisi .....	17
2.11 Sigmoid üyelik fonksiyonu.....	17
2.12 A bulanık kümesi.....	17
2.13 B bulanık kümesi .....	18
2.14 Kesişim işlemi .....	18
2.15 Birleşim işlemi.....	18
2.16 Tümleme işlemi .....	19

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.17 MATLAB Bulanık Mantık Araç Kutusu .....	21
3.1 SNR'a karşı tespit olasılığı değerleri .....	24
3.2 Menzil puan ilişkisi .....	27
3.3 İrtifa puan ilişkisi .....	27
3.4 Hız puan ilişkisi .....	28
3.5 İvme puan ilişkisi .....	28
3.6 Menzil - Pd grafiği .....	30
3.7 İrtifa - Pd grafiği .....	30
3.8 Hız - Pd grafiği .....	31
3.9 İvme - Pd grafiği .....	31
3.10 MATLAB Bulanık Mantık Araç Kutusu devresi.....	32
3.11 Menzil üyelik fonksiyonu .....	33
3.12 İrtifa üyelik fonksiyonu.....	33
3.13 Hız üyelik fonksiyonu .....	34
3.14 İvme üyelik fonksiyonu .....	34
3.15 ÜKS üyelik fonksiyonu.....	35
3.16 TBS üyelik fonksiyonu .....	35

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 ÜKS veri yüzey grafiği .....	37
4.2 TBS yüzey grafiği (irtifa-menzil) .....	37
4.3 TBS yüzey grafiği (ivme-hız) .....	38
4.4 ÜKS yüzey grafiği (ivme-hız) .....	38
4.5 Çoklu hedef simülatörü ve bulanık mantık devresi .....	40
4.6 Mesafe değişim modeli .....	41
4.7 Mesafe - Pd grafiği .....	41
4.8 İrtifa değişim modeli .....	42
4.9 İrtifa - Pd grafiği .....	43
4.10 Hız değişim modeli .....	44
4.11 Hız Pd grafiği .....	44
4.12 İvme değişim modeli .....	45
4.13 İvme - Pd grafiği .....	46
4.14 Üç metod Menzil - Pd grafiği .....	47
4.15 Üç metod İrtifa - Pd grafiği .....	48
4.16 Üç metod Hız - Pd grafiği .....	49
4.17 Üç metod İvme - Pd grafiği .....	50

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.18 Çoklu hedef simülink modeli.....	51
4.19 Çoklu hedef simülatörü Üç metod Pd grafiği.....	52
4.20 Üç metod Kümülatif Pd grafiği .....	54



**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 T-norm ve S-norm .....	19
3.1 Dilsel ifadeler.....	33
3.2 Çıkış dilsel ifadeler .....	34
4.1 Üç metod Pd değerleri .....	53



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
G	Kazanç (Gain)
$G_t$	Göndermeç kazancı (Gain of the transmitter antenna)
$G_r$	Alıcı kazancı (Gain of the receiver antenna)
k	Boltzmann sabiti
$\lambda$	Dalga boyu
L	Kayıplar (iletim hattı ve devre elemanlarından kaynaklı)
$P_t$	İletim gücü (Power of a transmitter)
R	Menzil (Range)
$\sigma$	Radar kesit alanı (radar crosssection (RCS))
t	Zaman (Time)
$\mu$	Üyelik fonksiyonu
<u>Kısaltmalar</u>	
CW	Sürekli dalga
MTI	Hareketli hedef göstericisi
ÜKS	Üzerinde kalma süresi
TBS	Tekrar bakma süresi
$P_d$	Tespit olasılığı

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$P_{fa}$	Hata alarm olasılığı
SNR	Sinyal gürültü oranı
RF	Radyo frekans
SAM	Yerden havaya füze
TWS	Tararken takip (track while scan)
Ghz	Giga hertz
ps	pikosaniye
ns	nanosaniye
W	Watt
Kw	kilowatt
RLS	Tekrarlı En Küçük Kareler (Recursive Least Squares)
LMS	En Küçük Ortalama Kareler (Least Mean Square)
CGM	Eşlenik Eğimler Yöntemi (Conjugate Gradient Method)
CMA	Sabit Modül Algoritması (Sabit Modulus Algorithm)
GaN	Galyum nitrat
dB	desibel
g	yerçekimi ivmesi
km	kilometre

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ft	Feet
s	Saniye
ms	Milisaniye
m/s	metre/saniye
FIS	Bulanık çıkarım sistemi (Fuzzy Inference System)
$P_{miss}$	Hedef kaçırma olasılığı

## 1.GİRİŞ

Radarlar II. Dünya Savaşında aktif olarak kullanılmaya başlamış ve hava hedeflerinin var olmasından bu yana harekât ortamında ihtiyaç duyulan bir unsur olmuştur. Klasik radarlar ile başlayan, harekât ortamının vazgeçilmezi olan bu sistemlerin serüveni tehdit çeşitleri arttıkça ve teknolojik gelişmeler hızlandıkça gelişerek devam etmiş ve çok çeşitli radarlar olarak ortaya çıkmıştır. Zamanla radarlar ileri teknolojilerin kullanıldığı ürünler haline gelmiş ve hava gözetleme, yakalama, atış kontrol, güdüm, tahrip değerlendirme, aydınlatma gibi bir çok fonksiyon alanında kullanılır olmuştur.

Günümüz teknolojisinin geldiği durumda aktif faz dizili radarlar ortaya çıkmış olup böylelikle her bir anten elemanı kontrol edilebilmekte ve bunların hüzmesi istenilen yöne yönlendirilebilmektedir. Hava sahasında aynı anda çok fazla sayıda ve fazla çeşitte hedef olan günümüz harekât ortamında bu denli yüksek yeteneklere sahip radarların fonksiyonlarının etkinlikle kullanımı kaynak yönetimi yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Eğer kaynak yönetimi etkili bir şekilde yapılamazsa radarımız çok kabiliyetli olmasına rağmen etkin bir şekilde kullanılamaz duruma gelecektir.

Hedef önceliğinin önemli olduğu harekât ortamında yani harekât ortamı kriterlerine göre bazı hedeflerin daha hassas izlenmesi ve takip edilmesi gerektiğinde kaynak yönetimi yapmak kaçınılmaz bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu kapsamda kaynak yönetimi yapılırken çalışmamızdaki yaklaşımımızda hedef önceliğine bakılırken dört adet hedef özelliği (mesafe,irtifa,hız,ivme) giriş parametresi olarak belirlenmiştir.Bu özelliklere göre hedefler üzerinde radar hüzmesinin hedef üzerinde kaldığı süreyi tanımlayan ÜKS (Üzerinde Kalma Süresi) ve tekrar bakma süresini tanımlayan TBS (Tekrar Bakma Süresi) değerleri ayarlanmak suretiyle gerektiğinde Tespit Olasılığı (Probability of Detection -  $P_d$ )değeri arttırılarak daha yüksek tespit/takip oranı ile işlem yapılmaktadır.

Bu sonuçlar kaynak yönetimi yapan bulanık mantık kontrolcü ile mümkün hale gelmiştir. Çalışmamızda geleneksel olarak atış kontrol radarlarında, erken ihbar radarlarında, füze atış kontrol algortitmaları gibi yerlerde hedef önceliğini belirlemek için kullanılan Ağırlıklandırılmış Metod ve klasik radarlarda da aynı metod olarak kullanılan Sabit Değer Metodu da ele alınmış ve burada Bulanık Mantık Metodu ile elde edilen değerler karşılaştırılarak bulanık mantığın diğer metodlara üstünlüğü görülmüştür. Bu üstünlük hedeflerin mesafe,irtifa,hız ve ivme değişimlerine karşı radar denkleminde İşaret Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio - SNR)'na direkt etki eden ÜKS değerinin ve dolayısıyla  $P_d$  değerinin

artmasından, TBS değerinin azalması ile kümülatif  $P_d$  değerinin artmasından ve çoklu hedef ortamında  $P_d$  değeri ortalamasının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Faz dizili radarlarda kaynak yönetimi ile ilgili literatüre bakıldığında bir çok yayın karşımıza çıkmaktadır. Çok fonksiyonlu radarda radar kaynak yönetimi algortimalarının bir ön çalışması Ding (2008) tarafından sunulmuş ve daha iyi algoritmalar ile daha az kaynakla aynı performansın yakalandığı gösterilmiştir. Başka bir çalışmada Lu (2011) tarafından farklı hedef ortamlarında ve radarın aşırı yüklendiğinde radar görev fonksiyonuna göre önceliğini gerçek zamanlı olarak ayarlayabilen bir algoritma önerilmiş ve simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. Bilgi tabanlı yaklaşımlar kullanılarak radar kaynağının planlanmasından bahseden Stoffel (1994) böylelikle hedef tespit, takip ve silah sistemi ile önleme sürecinde taktik sahada hedef önceliği düşük olan hedefler yerine önceliği yüksek olan hedefler ve görevler için planlama yapmakta ve başarımı artırmaktadır.

Söz konusu radar kaynak planlamasının başında gelen kaynaklardan TBS değerinin adaptif olarak ayarlanması konusu ile ilgili bir hedef manevra yapmaya başladığında hızlı bir TBS kullanacak bir algoritma üzerine çalışma yapan Shin (1995) bu algoritmanın sonuçlarını Monte Carlo simülasyonu yardımıyla paylaştığı çalışmada radar üzerindeki yükün azaldığını göstermektedir. Non lineer kontrol problemi olarak tanımlanan kaynak yönetiminde TBS'nin planlanması konusu ile ilgili çalışma yapan Hong (1998) bazı örnekler için sayısal olarak parametre ayarlanmasını yaptığı çalışma ile göstermektedir. Böylelikle TBS ve ÜKS değerini sayısal olarak ayarlamakta ve minimum radar kaynağı ile başarımı sağlayabilmektedir. Faz dizili radarların radar kontrol bilgisayar tasarımı en önemli konulardan biri olan gerçek zamanlı olarak ÜKS değerinin ayarlanması konusunda yaptığı çalışma ile Kuo (2005) etkili bir Ağırlıklandırılmış Metod sunmaktadır.

Çok fonksiyonlu radarlarda çok yoğun hedef ortamlarında hedeflerin tespit ve takibi için sabit zamanının kullanılmasının farklı görevlerin gereksinimlerini karşılayamadığını ifade eden Vine (2001) bulanık mantık kullanarak hedefleri önceliklendirdiği ve böylelikle adaptif olarak ÜKS değerini ayarladığı çalışmada bulanık mantık yardımı ile adaptif kaynak yönetimini anlatmaktadır. Çalışmamızda yol gösterici olan çalışmalardan en önemlilerinden bir tanesi olan Miranda'nın (2007) yaptığı çalışmaya göre hedefin değişen özelliklerine bulanık mantık yöntemi ile verilen önceliğe göre radar kaynak yöneticisi çok yoğun hedef ortamında sabit önceliklendirmeye nazaran hedef tespit ve takibinde daha etkili olmaktadır. Söz konusu bu çalışmalardan yola çıkarak bulanık mantık kullanılarak hedefin değişen parametrelerine karşın faz dizili radarın değerleri ayarlanmıştır

## 2.GENEL BİLGİLER

### 2.1 Radarlar

Radar kelimesi “RADio Detection And Ranging” nin kısaltmasıdır. Genel olarak radar sistemleri uzayda özel bir alanda bulunan hedefleri araştırmak için elektromanyetik enerjiyi yaymak amacıyla modüle edilmiş dalga formları ve yönlendirilmiş antenleri kullanır. (Mahafza and Elzherbeni, 2004)

Nesnelerin yerini belirlemek ve tespit etmek için kullanılan bir elektromanyetik sistem olan radar özel bir çeşit dalga formu örneğin bir darbe modüleli sinüs dalgası neşrederek çalışır ve geri yansıyan sinyalleri tespit eder. Radar çevresel gözetleme için özellikle görme için kullanılır. Radarın bu özelliği gözün yapamadığı şeyleri yapmasıdır. Radar gözün yetenekli olduğu karmaşık dereceli nesnelerin renklerini tanıma gibi detayları çözemez. Fakat radar normal insan gözünün göremediği örneğin karanlık, sis, yağmur kar gibi şartlarda görmek için tasarlanabilir Buna ilaveten radarlarda nesnelerin uzaklığını ya da mesafesini ölçme yeteneğine sahip olma avantajı da bulunmaktadır. Bu muhtemelen radarların en önemli yeteneğidir. (Skolnik, 1981)

Radarlar çok kompleks elektronik ve elektromanyetik sistemlerdir. Ayrıca çoğunlukla kompleks mekanik sistemleri de içerirler. Radar sistemleri birçoğu çok farklı bileşenlerden oluşan çok farklı alt sistemlerden oluşmaktadır. Bundan dolayı radar sistemlerinin tasarımında çok fazla farklılıklar bulunmaktadır fakat temel işleyişi ve temel alt sistemleri benzerdir. (Varshney, 2002 )

#### 2.1.1 Klasik radarlar

Radarların kullanılmaya başlandığı ilk günden bu zamana kadar çeşitli fonksiyonları yerine getirmek amacıyla çeşitli karakteristiklere sahip bir çok radar çeşidi geliştirilmiş ve halen de türlü fonksiyon alanlarına göre çeşitli radarlar geliştirilmeye devam edilmektedir.

Klasik radarlar olarak tanımlanan radarlar genel olarak; Sürekli Dalga (Continous Wave CW) Radar, Frekans Modüleli CW Radarlar, eşlenik olmayan (Noncoherent) Hareketli Hedef Göstercisi (Moving Target Indicator - MTI) Radarlar, Darbe Doppler Radarlar, Takip Radarları, Konik Taramalı Tek Darbeli Takip Radarları, hedef yansıtma karakterine ve açısal doğrulukta takip yapan Mesafe Tespit Radarlarıdır.

### 2.1.2 Faz dizili radarlar

Faz dizili radarlar arzu edilen bir hüzme yapısını oluşturabilmek amacıyla, diziyi oluşturan elemanların besleme genlik ve faz değerlerinin ayrı ayrı kontrol edilebildiği bir dizi yapısına sahiptir. Hüzmenin konumu dizi elemanlarının besleme faz değerlerinin ayarlanması ile elektronik olarak kontrol edilir. Böylelikle ana hüzme anteni mekanik olarak hareket ettirmeksizin yönlendirilebilir. Faz dizili radarların mikrosaniye mertebesinde hızlı ve doğru bir şekilde hüzme tarama yapabilme yetenekleri, sistemlerin birçok fonksiyonu aynı anda gerçekleştirebilmesine imkan sağlamaktadır. Elektronik olarak hüzme tarama yama yeteneğine sahip radarlar çok fazla hedefi izleme ve bu hedeflerden arzu edilen radyo frekans (RF) enerjisi ile aydınlatılabilme özelliğine sahiptir. Böyle bir radar yüksek kazançla sahip hüzmelerini uzak mesafede bulunan alıcı ve vericilere yönlendirerek, bir haberleşme sistemi olarak da çalışabilir (Sürmeli,2012).

Faz dizili radarlarda muazzam bir esneklik söz konusudur. Özel durumları en iyi şekilde karşılayabilmek amacıyla tarama ve izleme hızları ayarlanabilir. Örneğin hedeflerin manevraları gibi belirsizlik durumlarında veri hızı artırılmaktadır. Faz değiştirme yoluyla anten hüzme genişliği elektronik olarak değiştirilebilir. Böylece, belirli alanları çok daha hızlı bir biçimde, ancak daha düşük kazançla kapsamak mümkündür. Açıklık boyunca yerleştirilen çok katlı güç üreteçleri sayesinde çok yüksek güç değerleri elde edilebilmektedir. Güç dağılımı, tarama alanında bilgisayar yardımıyla kontrol edilebilir. Elektronik olarak kontrol edilen faz dizili antenler eldeki belirli bir görevi en iyi biçimde yerine getirebilmek için gerek duyulan çeşitli fonksiyonların tamamını gerçekleştirebilme yeteneğine sahiptir. Örneğin ters sentetik açıklık gibi hedef sınıflama fonksiyonlarını desteklerler. Fonksiyonlar sayısal hüzme tarama bilgisayarları ile hızlı bir biçimde programlanabilirler. Ayrıca Faz dizili antenler kargaşayı (*clutter*) daha etkili bir biçimde bastırabilirler (Volakis, 2007).

Yukarıdaki avantajlarından dolayı faz dizili radarlar 1950'li yıllardan beri birçok askeri ve sivil radar uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. İlk radyo vericileri ve 2. Dünya savaşının radarlarında istenilen anten yayın örüntülerini elde etmek için çoklu yayın elemanları kullanıldı. 1940'ların ortasında kullanılan orduya ait radar ilk dizi radarların bir örneğidir. 1950'lerde yeni bir girişim bireysel dizi anten elemanlarının hızlı elektronik devreleri kullanılmasına yol açtı. Böylelikle anten elemanları mekanik olarak daha yavaş ve daha az esnek olan tarama yöntemine göre elektronik olarak yönlendirilen radar huzmesiyle daha hızlı tarama yöntemi elde edildi. Birçok endüstriyel firmalar,

devlet laboratuvarları ve akademik kurumların gelişen yöntemleri elektronik hüzme yönlendirmeye dâhil edildi. Aslında 1950’lerde bu araştırma alanında bir radar huzmesini yönlendirmek için bin kadar yöntem karakterize edilebilirdi. Bert Fowler 1950’lerden şimdilere kadar yapılan çalışmaların çoğunu yazmıştır. O dönemde şüpheli bilim adamlarının birçoğu binlerce dizi ögesinin uyum içerisinde çalışabilir olduğuna inanıyordu fakat bunun gerçekleşmesi uzun zaman içinde yapılamayacaktı. Ayrıca akıllı anten sistemleri, sinyal işleme algoritmaları kullanarak adaptif sistem olarak dinamik bir şekilde enterferansı minimize etmek ve istenilen sinyal algılamasını fazlaştırmak için etkili bir şekilde sinyalleri işler (Roeloffzen, 2018).

### 2.1.2.1 Uygulama alanları ve avantajları

Faz dizili radarlar temel olarak üç tür uygulamada kullanılmaktadır. Büyük faz dizili radarlar uzun menzilli balistik güdümlü füzelerin izlenerek bunların tespit, izleme ve çarpma noktasının hesaplamasında kullanılır. Taktik büyüklükte faz dizi radarlar Havadan Yere Füze (SAM – Surface to Air Missile) sistemlerinde ve silah tespit sistemlerinde (örn. TPQ-36 ve TPQ-37 radarları) yakalama, izleme ve hedef aydınlatma görevlerini yerine getirirler. Sınırlı tarama hat dizileri ise üç boyutlu radarda yükseklik taraması sağlar. Hibrit tarama dizileri de hassas yaklaşma-iniş seyrişer radarlarının hem yanca hem yükseltide küçük açı ile tarama yapmasını sağlar (Schleher, 2004).

Çoklu hedeflerin eşzamanlı olarak izlenmesini gerektiren silah sistemi uygulamaları faz dizili bir radarın yapabileceği bir fonksiyondur. Faz dizili radar bu gereksinimi bir Tararken Takip (TWS – Track While Scan) izleme radarı sisteminden daha üstün bir kesinlikle tek bir açıklıktan (hedef izleme radarlarının çokluğuyla karşılaştırıldığında) karşılayabilir. Faz dizili radarın önemli bir avantajı da radarın enerji yönetim kabiliyetidir. Çünkü bu sayede radar kritik hedefler üzerinde azami enerji toplarken kritik olmayan hedefler üzerinde daha kısa zaman kalarak hedeflerin olmadığı ya da sınırlı ilgi alanına giren sektörlerde enerji kaybetmek zorunda kalmaz. Bu kabiliyet faz dizili radarın hedef izleme fonksiyonunu en iyi şekilde kullanmasını sağlar (Schleher, 2004).

Hedef izleme fonksiyonuna ek olarak faz dizili radar ayrıca yarı aktif güdümlü füze güdümü için bir hedef yakalama fonksiyonu ve bir hedef aydınlatma fonksiyonuna da sahiptir. Böylelikle bir hedefin füze ile önlenmesi için hedefin aydınlatılmasına gerek duyan yarı aktif güdümlü füzenin güdülmesinde son derece eşsiz bir hale gelir. Bu çoklu işlevin sağladığı başlıca avantaj faz dizili radar anteninin, bilgisayar ve işlemcilerle ilgili olan kaynak yönetimi yapılarak bu kaynağın tüm gereksinimlere dağılmış olmasıdır. Bağlantılı

bir avantaj ise mobiliteyi arttıran ve bir harp sahası ortamı için sağlamlaştırılabilen tüm radar işlevinin tek bir aralıktan kullanılabilmesidir. Ancak radar tasarımının çoklu işlev özellikleri, faz dizili radarın her bir fonksiyon için tek tek en iyi şekilde kullanılabilir olduğunda elde edilebilecek performans üzerinde bir uyumlandırma yapılması gerekmektedir (Schleher, 2004).

Faz dizili antenler diğer antenlerle karşılaştırıldığında dizayn olarak karmaşık ve daha yüksek fiyatlıdır. Ancak anten huzmesinin elektronik olarak kaydırılabilmesi ile sahip olunan esnekliği ve özellikli çok fonksiyonlu radar sistemlerine olan ihtiyaç faz dizili antenleri radar uygulamalarını çekici kılmaktadır.

### 2.1.2.2 Faz dizili radarların kontrol edilebilir özellikleri

**Hüzme kaydırma:** Faz dizisi bağımsız yayın yapan elemanlardan oluşan şekli ve yönü bağımsız elemanların akımlarının göreceli fazları ve genlikleri tarafından belirlenen yayın örüntüsünü üreten yönlü antendir. Fazların düzgün bir şekilde değiştirilmesi ile yayın yönüne döndürmek mümkündür. Yayın yapan elemanlar dipoller, açık uçlu dalga kılavuzları, yarı kesikli dalga kılavuzları ya da herhangi diğer bir çeşit anten olabilirler. Faz dizili antenlerin elektronik kontrol yardımıyla hüzme kaydırması sayesinde sunulan esneklik bu radarlara ilgiyi arttıran özelliktir. Bu radar uygulamaları hüzmeyi uzaydaki bir pozisyondan diğer bir pozisyona hızlıca kaydırmanın gerekli olduğu yerlerde ya da birçok hedef hakkında hızlı bilgi oranı ile esnek bir şekilde bilgi toplanması gereken yerlerde düşünülmektedir. Bir faz dizili radarın tam donanımı, günlük operasyonel durumlar üzerinde, dizi tarafından sunulan yeteneklerin en iyi nasıl kullanılması için gerçek zamanlı karar verebilen bir bilgisayarın kullanılmasını gerektirir. (Schleher, 2004).

**Hüzme şekillendirme:** Akıllı antenlerin en önemli süreçlerden biri de hüzme şekillendirmedir. Hüzme şekillendirmenin temel fonksiyonu verilmiş bir açı için antenin hüzme örüntüsünü değiştirmektir. Eğer anten alışı sinyallerinin yönünü değiştirmezse sinyal kayıpları yüksek olur. Bu yüzden sistemdeki etkinliği arttırmak ve sinyal kayıplarını azaltmak için akıllı antenlerde hüzme şekillendirme için modern metodlar ortaya çıkmıştır. Öne sürülen bu yeni metodlardan ikisi bulanık sistemler ve yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları ve bulanık mantığın eğitilmesini sağlamak amacıyla kullanılacak büyük özelleştirilmiş bilgi setini (Big Data) elde etmek için genetik algoritma gibi algoritmalar kullanılır. Hüzme şekillendirme için bulanık mantık teorisinin girişi olarak verilmiş verilerden biri istenilen açıdır. Bulanık sistem ise buna karşılık gelen anten parametrelerini ve faz açısını çıkış olarak verir. Hüzmelerin genişliği, faz açısı, örüntü sayısı ve

elemanlar arasındaki uzaklık faz dizili antenlerin diğer hüzme şekillendirme parametreleridir.

Dizinin toplam alanı bağımsız elemanlar tarafından yayınlanan alanların vektörel eklenmesi ile elde edilir. Bu hesaplamada her bir elemanın akımının aynı olduğunu ve elemanlar arasındaki etkileşim ihmal edildiği varsayılır. Bu genellikle olası bir durum değildir ve elemanlar arasındaki ayrıma bağlıdır. Tam yönlendirilmiş örüntüler sağlamak için istenilen yönde yayın yapan dizinin elemanları yayına devam etmeli geriye kalan uzaydaki elemanların her birinin iptal edilmesi sağlanmalıdır. İdeal olarak bu başarılabilir fakat uygulamada bu duruma sadece yaklaşılabilir.

Aynı elemanlardan oluşan bir dizide antenin bütün yayın örüntüsünü şekillendirmek için kullanılabilen en az beş kontrol mekanizması vardır. Bunlar:

1. Bütün dizinin geometrik konfigürasyonu (Doğrusal, Dairesel, Dikdörtgen, Silindirik)
2. Elemanlar arasındaki göreceli uzaklık
3. Bağımsız elemanlara uygulanan genlik değerleri
4. Bağımsız elemanlara uygulanan faz değerleri
5. Bağımsız elemanların göreceli örüntüsü

Yenileme zamanı (Update Rate): Faz dizili radarlar anten huzmesini oldukça hızlı bir şekilde kapatıp açabilirler. Bu hızlı anahtarlama hedefin davranışına bağlı olarak her bir hedefi takip için değişik yenileme aralıkları oluşmasını sağlayabilir. Bir hedef manevraya başladığında hedefi yüksek doğrulukla takip etmek için ve hedefi kaybetmeyi engellemek için yüksek yenileme zamanı kullanabiliriz. Buna zıt olarak hedef daha stabil davrandığında diğerine nispeten hedefi takipte tutmaya yetecek daha düşük yenileme zamanı kullanabiliriz. Her bir hedefin böyle bir yenileme zamanı ile takip edilmesi hedef dinamiklerine bağlıdır. Birkaç yenileme ile takip kalitesi için belirli takip hata gereksinimini sağlanabilir ve var olan hedeflerin devamlılığının sağlanması için radar kaynakları ekonomik olarak kullanılabilir. Radar kaynaklarının bu ekonomik kullanımı takip sayısını artmasını sağlar ve ayrıca yeni hedeflerin araştırılması için tahsis edilebilecek kaynakları artırır. (Shin et al., 1995)

Bu yenileme zamanını hedeften radar aracılığıyla veya başka bir kaynaktan elde ettiğimiz hedefe dair verileri kullanarak değiştirebiliriz. Böylelikle daha esnek bir radar tasarımına sahip olabiliriz. Bu esnekliğe sahip olmak için birçok algoritmadan faydalanılabilir ve bunlar radar kaynak yönetiminde kullanılabilir.

### 2.1.2.3 Faz dizili anten mimarisi

Eşit aralıklı elemanlardan oluşan lineer faz dizili antenler çoğu faz tasarımlarının temelini oluşturmanın ve analiz etmenin en kolay yoludur. Hâlâ faz dizili antenlerin en basiti ve hala en geniş kullanımı olan antenlerdir. Her bir elemanın beslendiği genlik ve faz değerleri kontrol edilerek dizi tarafından yayınlanan huzmenin şekli ve yönünü kontrol edebiliriz. (NAWCWPNS, 1997)

Aktif dizi radarının her bir yayın ögesi kendi almacına sahiptir. Sıralanan alıcı öğelerin oluşturduğu gruplar genellikle alt diziler oluşturmak için mikrodalga çevrimleriyle birleştirilir. Her bir alt dizi sinyal genliğinin ve fazının doğru bir versiyonunu üreten bir alt çeviriciye ve dijitalleştiriciye sahiptir. Alt diziler ana hüzme hedef sinyallerini, paraziti ve yan loblar yoluyla içeri giren tüm gürültü karışımlarını alan normal anten biçimi oluşturmak için bir araya getirilebilir. Uyarlanabilir bir hüzme oluşturucusu yan hüzme biçim düzenindeki sıfır noktalarını karıştırma müdahalesi içeren açıların yönüne doğru yönlendirirken ana hüzmenin hedefe doğru işaret eden yönünü korumaya devam eder (Schleher, 2004).

Faz değiştiricileri genellikle üç ile beş bit arasındaki dijital cihazlardır ve faz kontrolü için PIN diyotları gibi elemanları kullanırlar. Diyot faz değiştiricileri temel olarak düşük güçlü (örn. Azami 4-kW, ortalama 200-W), hızlı değişme hızları (50 ns) özellikle 2 GHz'in altında olduğunda kullanışlı olan küçük cihazlardır, ancak bunlara Ku bandıyla da ulaşmak mümkündür. Demir filizi değiştiricileri özellikle 5 GHz'nin üzerinde çok kullanışlı olabilen orta değiştirme hızlarına sahip olan (1ps) daha yüksek güçlü cihazlar (örn. Azami 150-kW ortalama 400 W) olabilir, ancak 60 GHz üzerinde de sağlanması mümkündür. Faz değiştirici bitlerin sayısı hem ortalama yan hüzme düzeyini hem de hüzme işaret etme doğruluğunu belirlemede önemli bir etkidir. İleride kullanılacak diziler alıcı kanalında hızlı bir Fourier dönüşümü (FFT) işlemcisi kullanan temel bant frekanslarının her bir unsurunda çalışarak dijital hüzme oluşturmasını kullanabilir.

Faz dizili radarlarda geniş bant uygulaması hem genişletilmiş bir hedef kimliği temelli hem de karıştırma karşıtı yetenekler için istenilen bir uygulamadır.  $\lambda/2$  düzeyinde unsur aralaması şebeke loblarına engel olmak için gerekli olduğundan, en sık aralama dizinin çalışması gereken en kısa dalga uzunluğu üzerinden belirlenir. Bu da tüm bant üzerinde anten biçim düzenini koruyacak faz yerine değişken zaman gecikmesi tarafından geniş bant yayın unsurlarının ve hüzme yönlendirmesinin geliştirilmesine gerek duyacaktır. Geniş bant dizi radarları üzerindeki mevcut araştırma anten hüzmeleri oluşturmak için lazer

sürücü fiber optik gecikme hatları kullanan fotonik fazlı dizi hüzme oluşturucuları kullanmaktadır (Schleher, 2004).

Anten elemanlarının ışına örüntüsü (Eleman faktörü), dizileme etkisiyle beraber (dizi faktörü) anten dizisinin ışına örüntüsünü belirler. Elemanları bir hat boyunca yerleştirilmiş olan diziyeye lineer dizi adı verilmektedir. Bu tür diziler tek düzlemde dar hüzme (eleman ve dizi faktörlerinin birleşik etkisinden dolayı), ortogonal düzlemde ise geniş hüzme (eleman faktörü tarafından belirlenen) sahiptirler. Anten elemanları bir düzlem üzerine yerleştirilmiş dizi, düzlemsel dizi olarak adlandırılmış olup her iki düzlemdeki ışına örüntüsü dizi faktörü tarafından kontrol edilmektedir. Dairesel olarak yerleştirilmiş elemanlara sahip anten dizisine dairesele dizi adı verilmektedir. Eğer dizinin yerleştirildiği hat veya yüzey eğrisel bir yapıda ise bu tür dizilere ise yüzeye uyumlu diziler denilmektedir.

Anten dizilerinde hüzme, dizide bulunan elemanlara ait sıraların kontrol edilmesiyle bir boyuta yöneltilmekte ve iki boyutlu yöneltme her antenin ya da anten eleman gruplarının ayrı ayrı kontrol edilmesiyle sağlanabilmektedir (Tuğluer, 2004).

Faz dizili anten mimarisinin temeli yukarıda bahsettiğimiz gibi olup bu temelden yola çıkarak yüzeysel dizi, dairesele dizi gibi dizi çeşitleri geliştirilmiştir. Ayrıca besleme birimine göre pasif ve aktif dizili antenler mevcuttur.

#### 2.1.2.4 Pasif diziler

Pasif dizilerde merkezi bir verici ve bir alıcı birimi bulunmaktadır. Hüzme taramanın yapılması için kullanılan faz kaydırıcılar faz kaymasını sağlamak amacıyla eleman düzeyinde kullanılır. Bu gecikmeler elektronik olarak kolaylıkla kontrol edilebilir. Anten hareket etmeksizin hüzme kaydırılarak tarama sağlanır. Böylelikle uzaydaki bir bölümü geleneksel mekanik sistemlere göre daha hızlı bir şekilde tarayabilir. Faz kaydırıcılar genellikle genlik kontrolü sağlamazlar. Sistem hassasiyetini ve verimliliğini artırmak için besleme ağı ve faz kaydırıcıların kayıplarının düşük düzeye indirilmesi gerekmektedir. Bileşenlerinin yapısı çok karmaşık olmadığından ve merkezi alıcı, vericiler ve besleme ağı olduğundan sayı olarak da az olduğundan pasif diziler içerisinde maliyetleri oldukça düşük olan dizi antenlerdendir. Pasif diziler elektronik olarak tarama yapan dizi antenlerin en düşük maliyetli olanıdır; çünkü bileşenlerinin sayısı ve maliyetleri düşüktür. Eğer çok düşük yan kulakçık düzeyleri isteniyorsa uygun genlik ağırlıklandırılmasının kullanıldığı ayrı bir alıcı besleme ağının kullanılması gerekmektedir (Venkata, 2018).

### 2.1.2.5 Aktif diziler

Çok sayıda küçük katı hal verici/alıcı elemanların bir araya gelerek oluşturduğu faz dizili radarların verici/alıcı fonksiyonları aktif faz dizili radar olarak bilinir. Bunların amacı huzmesini belirli yönlere yayarak RF enerjisini yayabilmektir. Bunlar pasif dizilerin gelişmiş şeklidir Pasif dizilere göre birçok avantajı vardır.

Anten elemanlarının kendi verici/alıcı modülleri olduğundan dolayı, antenin kayıpları düşük olur. Pasif dizilerde olmayan bir özellik olarak yayın elemanlarına onların RF kaynağı arasında bir bağlantı sağlar ancak iç kayıplar oluşabilir.

Yüksek hata toleransı sayesinde bazı modüllerde oluşan hatalar radarın kullanılmasını engellemez fakat toplam modüllerdeki hata % olarak belli bir değerde olursa tüm cihazda hata oluşacaktır. Temel olarak aktif versiyondaki her bir modül kendi alıcı ve verici modülü içerdiğinden dolayı tek nokta hatası yoktur, pasif cihaz tek bir verici cihaz kullandığı için verici hatası radar çalışmasını engelleyebilecektir(Venkata, 2018).

### 2.1.2.6 Adaptif faz dizili antenler

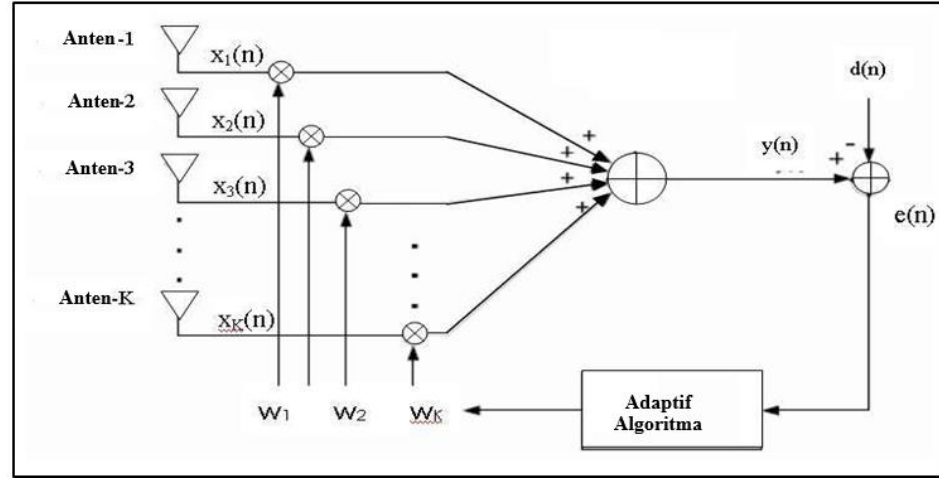
Faz dizili antenler her bir elemanının ayrı ayrı kontrol edilebilmesi, hüzmelerin kaydırılması ve şekillendirilmesi sayesinde günümüz teknolojisinde adaptif bir yapı haline dönüşmüştür.

Söz konusu adaptif anten performansının geliştirilebilmesi için birçok algoritma kullanılır. Bu, sinyallerin çoklu kopyalarını almak için bir dizideki çoklu anten elemanlarının çeşitlenmesine bağlıdır. Verilmiş bir dizi geometrisi için, ne aldığımızı, yükselttiğimizi yada reddettiğimizi anten elemanlarından sonra ağırlıkları ayarlayarak kontrol edebiliriz. Adaptif antenin temel problemi adaptif algoritmayı ağırlıklandırma sistemidir.Uyarılma algoritmalarının iki ana kategorisi vardır bunlar kör olmayan ve kör olan algoritmalarıdır. Kör olmayan algoritmalarda ilk olarak bir performans kriteri ayarlanmakta ve sonra ağırlıkları ayarlamak için tekrarlı denklemlerin bir kümesi üretilmesinden ağırlıklar türetilmektedir. Böylelikle performans kriteri karşılanır (El-Khamy, 2013).

Uyarılmalı hüzmeye şekillendirme algoritmaları ağırlık vektörünü zamana bağlı olarak tahmin eder ve Şekil 2.1'de görüldüğü gibi günceller. Ağırlıklar tekrarlı olarak ayarlanırken hüzmeye şekillendiricinin performansı istenen kritere yaklaşır. Bu şekildeki algoritmalar:

- Tekrarlı En Küçük Kareler (Recursive Least Squares-RLS) Algoritması,
- En Küçük Ortalama Kareler (Least Mean Square-LMS) Algoritması,
- Eşlenik Eğimler Yöntemi (Conjugate Gradient Method - CGM )

Sabit Modül Algoritması (Constant Modulus Algorithm-CMA)  
(Boucha,2008)



Şekil 2.1 Adaptif faz dizili anten mimarisi (Boucha'dan 2008)

### 2.1.2.7 Faz dizili antenlerde kaynak yönetimi

GaN gibi katı hal entegre devre teknolojilerinin artması ve önceden ayrı sistemler gerektiren geniş bir alandaki fonksiyonları ekonomik olarak yerine getiren radarların yeteneklerinin artması aktif dizili çok fonksiyonlu radarların kullanımını önemli ölçüde artmaktadır. Taktik sahada bu fonksiyonlar izleme ve takipten füze güdümüne, hedef aydınlatmadan tahrip değerlendirilmesine kadar çok fazla değişiklik göstermektedir. Dalga çeşidi planlama ve enerji yönetimi zordur ancak radarın aynı paylaşılmış açıklığı haberleşme, yönlendirme gibi fonksiyonlar için kullandıkça bu sistemlere daha fazla ihtiyaç olmaktadır. Dalga seçimi ve enerji yönetimi konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar farklı algoritmalar ile bu ihtiyacın giderilmesini sağlamaktadır.

Geçmişteki dalga çeşitleri sınırlı olan ve bilinen katı kurallar ile tarama örüntüsüne sahip olan radarların aksine aktif dizili çok fonksiyonlu radarlar tehdit eksenslidir (threat driven) ve değişen şartlara karşı hızlı bir şekilde dalga şeklini ve örüntüsünü değiştirebilir. Bu adaptasyon güç seviyesi, darbe tekrarlama sıklığı, hüzmeye atma açısı, üzerinde kalma süresi gibi fonksiyonların aynı anda uyarlanmasını sağlar. Normal arama ve takip sürecine ilave olarak bu çeşit radarlar kendi füzesini yakalama, ara safha güdümü, ayrıca tehdit aydınlatılması, tahrip değerlendirilmesi (kill assesment) fonksiyonlarını da gerçekleştirir. Her bir süreç fonksiyonunun özel amacını gerçekleştirecek farklı bir dalga şekli sınıfı gerektirir. Bu esnekliğin sağlanmasında ihtiyaç bulunan şeyi kontrol etmek özellikle zor şartlar altında oldukça zordur. (Stoffel, 1994)

Modern faz dizili radarlarda kaynak yönetimini zorunlu tutan hususlardan yukarıda kısaca bahsettik. Elimizde sınırsız bir kaynak olsaydı tüm hedefleri en

yüksek gücü ve zamanı harcayarak en yüksek doğrulukla tabii ki tespit ve takip ederdik ancak enerjimiz ve zamanımız kısıtlı olduğu için bunları yönetmek durumundayız. Böyle olunca hedefleri sınıflandırmak, sahip olduğumuz fonksiyonları ayırmak veya da çalışmamızın da temelini oluşturan hedef parametrelerin değerinin takibini yapmak ve buna göre hedef tespit ve takip algoritmalarını koşturmak gereklidir. Bu yönetim ile ilgili çeşitli algoritmalar kullanılarak çeşitli fonksiyonlar gerçekleştirilebilir.

Giriş kısmında da bahsettiğimiz gibi çalışmamızda çeşitli hedef parametreleri kullanarak Bulanık Mantık Metodu ile kaynak yönetimi yapıp radar performansımızı arttırdık.

## 2.2Bulanık Mantık

### 2.2.1 Bulanık mantık kavramı

Bulanık mantık bir bilgisayar mantık devrimidir çünkü insan davranışlarına benzeyen mantıksal uygulamalarla bilgisayarlara yardım etmektedir (Kıyak, 2003; Gümrahoğlu'ndan, 2009).

Olayların oluşum olasılığından çok oluşum derecesiyle ilgilenen bir kavramı tanımlayan ve ilk defa Prof. Zadeh tarafından kullanılan bu terim temelde çok değerli mantık üzerine oturtulmuştur. Olasılık ve bulanıklık arasındaki farklardan en önemlisi bulanıklık bir belirsizliktir. (Özkan, 2003; Özdoğan'dan, 2010).

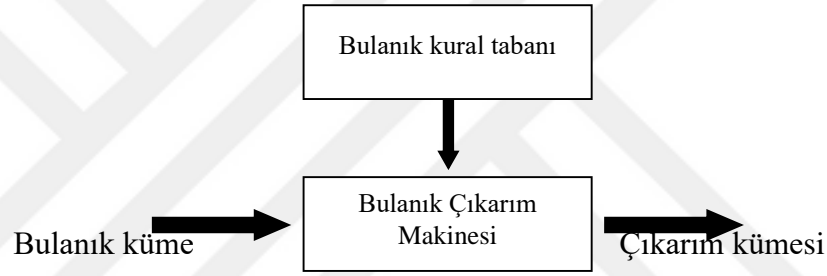
Bulanık mantıkta kesin bir şey yoktur yani 0-1 mantığı yoktur mesela bir şey beyaz ya da siyah değildir gri tercihlerde mevcuttur. Beyazsa az beyaz, biraz beyaz, çok beyaz gibi beyazın derecesine sahiptir. İşte bu belirsizlik ortamları günlük hayatta çok kez karşımıza çıkmaktadır. Bulanık mantık kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için şöyle düşünebiliriz günlük hayatta kullandığımız çok sıcak, biraz yavaş, biraz yakın, çok uzak vb. ifadeleri matematiksel olarak bir şey ifade etmese de karşı tarafa bir fonksiyonu gerçekleştirilmesi için verdiğimiz anlamlı bir komut olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin bir kişi araba kullanırken hızlı sürüyorsa biraz yavaş sür dediğimizde gaz pedalından ayağını çekerek biraz hızını azaltır. Ancak çok yavaş sür dediğimizde aracın hızını çok azaltır ve yavaş sürmeye başlar. Aslında kesin olmayan bir giriş işareti verdik ancak sonucunda bir matematik fonksiyonu gibi azaltılmış ya da arttırılmış bir değer çıktı.

Bilginin niteliği bulanık mantık ile öne çıkan bir husustur. Bulanık mantıkta ölçmeye dayalı bir bilginin yerini algıya dayalı bir bilgi almaktadır. Algıya dayalı bilgiyi işleyememesi Prof. Zadeh'e göre olasılık teorisinin en büyük sınırlandırıcısı olmaktadır. Örnek olarak verecek olursak yaşını bilmediğimiz biri

ile ilgili Lütfü yaşlı görünmemektedir ama muhtemelen genç de değildir. Buna göre Lütfü'nün genç ya da yaşlı olma ihtimali nedir sorusuna olasılık teorisi cevap bulamamaktadır. Bunun nedenialgıların anlamlarını karşılayacak ve hesaplamaya dâhil edecek bir mekanizmanın olasılık teorisinin içinde bulunmamasıdır. Algısal bilgileri matematiksel çıkarım için kullanabilen bulanık mantık olmaktadır. (Zadeh, 2002; Gümrahoğlu'ndan, 2009)

Bulanık sistemler bilgi tabanlı ya da kural tabanlı sistemlerdir. Bir bulanık sistemin kalbi IF-THEN kurallarından oluşan bilgi tabanıdır. Bir bulanık IF-THEN kuralı bazı kelimeleri sürekli üyelik fonksiyonları tarafından karakterize edilen bir IF-THEN cümlesidir. (Wang, 1997)

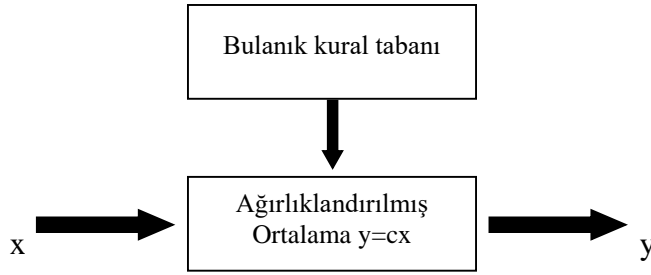
Literatürde yaygın olarak kullanılan üç tip bulanık sistem vardır. Bunlar: saf bulanık sistemler, Takagi-Sugeno-Kang bulanık sistemler ve bulanıklaştırıcı /durulayıcı bulanık sistemlerdir. Saf bulanık sistemlerin temel konfigürasyonu Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil-2.2 Saf bulanık sistemin temel konfigürasyonu

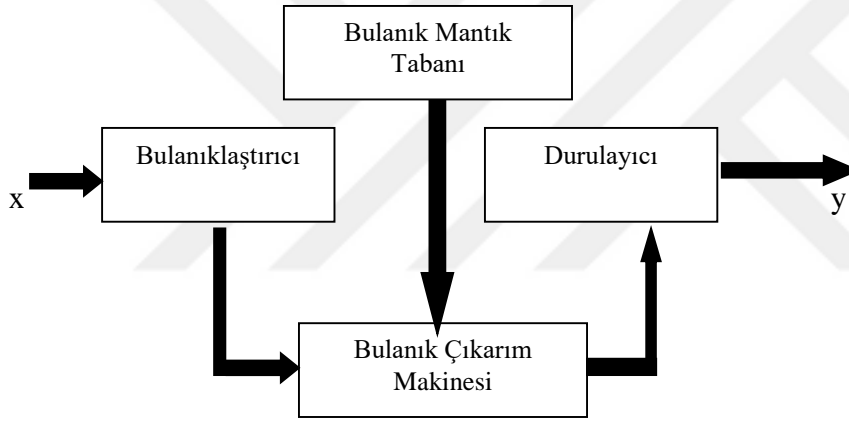
Saf bulanık sistemin kullandığı IF-THEN kuralı formunun yerine TSK sistemi kural değişiminin THEN kısmındaki doğal dili basit bir matematik formülü olarak tanımlamıştır. Bu değişim kuralları birleştirmeyi kolaylaştırmıştır. Aslında TSK bulanık sistem kuralın THEN kısmındaki değerlerin ağırlıklandırılmış ortalamasıdır. TSK'nin temel konfigürasyonu Şekil-2.3'de gösterilmiştir.

TSK'de temel problem THEN kısmı bir matematik formülüdür ve sonuç olarak insan bilgisini yansıtmak için doğal bir çerçeveyi sağlayamaz. TSKbulanık sistemin farklı prensiplerini uygulamak için yeteri kadar bağımsız değildir. Bundan dolayı bulanık mantığın çeşitliliği iyi bir şekilde bu çerçevede yansıtılamaz.



Şekil-2.3 TSK bulanık sistemin temel konfigürasyonu

Mühendislik sistemlerinde saf bulanık sistemi kullanmak için basit bir metod; girişe gerçek değerli değişkeni bulanık kümeye çeviren bir bulanıklaştırıcı ve çıkışa bulanık bir kümeyi gerçek değerli bir değişkene çeviren durulayıcı ilave etmektir. Sonuç Şekil 2.4’de gösterilen bulanıklaştırıcı ve durulayıcı ile bulanık bir sistemdir. Bu bulanık sistem saf bulanık sistemlerin ve TSK bulanık sistemlerin dezavantajlarının üstesinden gelir (Wang, 1997).



Şekil-2.4 Bulanıklaştırıcı ve Durulayıcı ile bulanık sistemin temel konfigürasyonu

### 2.2.2 Bulanık mantığın avantajları

Bulanık mantık anlaşılması kolay temellere sahiptir. Bulanık mantığın arkasındaki matematiğin kuralları basittir ve yaklaşımı karmaşık olmaktan çok doğaldır.

Bulanık mantık esnekler. Kullanılacağı sisteme herhangi bir seviyede kolaylıkla entegre olabilir.

Hassas/kesin olmayan veriyi kullanabilir. Bütün ölçümler, veriler yeteri hassaslıkta incelendiği zaman belli miktarda belirsizlik içerirler. Bulanık mantık bu anlayışa göre probleme yaklaşır ve bundan faydalanarak çözüme ulaşır.

Çok karmaşık, lineer olmayan sistemleri bile modelleyebilir. Herhangi bir giriş çıkış ilişkisini gerçekleştirecek bir bulanık sistem oluşturmak mümkündür

Bulanık mantık uzmanların tecrübelerine dayanarak tasarlanabilir. Yapay sinir ağlarında veri eğitilmesine ihtiyaç duyulmakta ve tasarımcıya kapalı bir

model ortaya çıkartmakta olup bunun aksine bulanık mantık uzman personele dayanan tecrübeler ile sistemin kurulmasına izin vermektedir.

Bulanık mantık geleneksel kontrol teknikleri ile birlikte harmanlanabilir. Bulanık sistemler klasik denetim yöntemlerinin yerine geçmek yerine çoğu uygulamada onları destekler ve uygulanmalarını kolaylaştırır

Bulanık mantık doğal dil temeline dayanır. Bulanık mantıkta kullanılan yaklaşım temel insan iletişimine dayanır. (The Mathworks, 1995)

### 2.2.3 Bulanık kümeler ve klasik kümeler

Klasik mantıkta, bir eleman bir kümeyle aittir ya da değildir. Yani aitliğe göre üyelik değeri 1 ya da 0 olur (Yalçın, 2019).

Mehmet zayıftır = 1

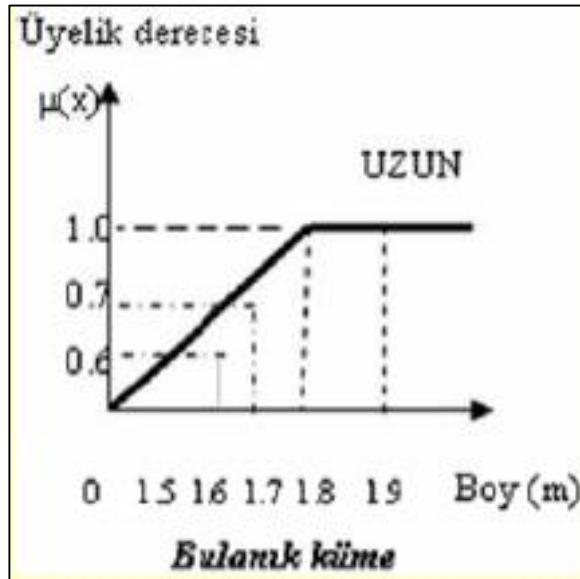
Mehmet zayıf değildir=0



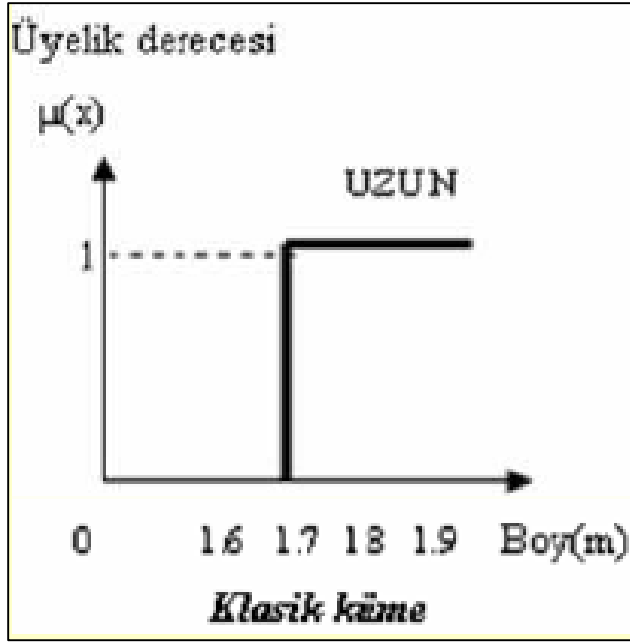
Bulanık mantıkta ise ölçeklendirme (derecelendirme) vardır. Bu ölçeklendirme 0-1 aralığında değerler alır ve dilsel ifadeye göre bu değerler değişir (Yalçın, 2019)

Mehmet çok zayıftır = 0,98

Mehmet biraz zayıftır = 0,20



Şekil 2.5 Bulanık küme (Gümrahoğlu'dan 2009)

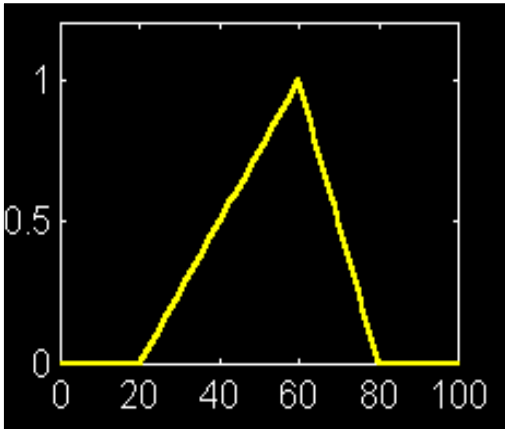


Şekil 2.6 Klasik küme (Gümrahoğlu'dan 2009)

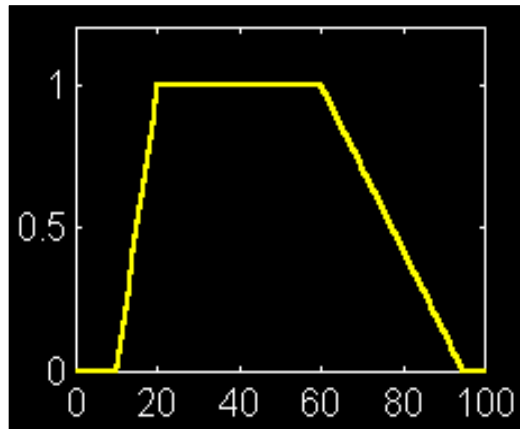
Keskin çizgiler ile klasik mantık ayrılmaktadır. Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da grafikleri verilen örneğe bakacak olursak uzun kümesi için 1,7 m sınır kabul edilirse boyu 1,71 m olan Mehmet uzundur. Bunun yanında boyu 1,69 m olan birisinin uzun kümesine girmemesi ve normal kümesinde olmasının ne kadar doğru olduğu düşünülmelidir (Yalçın, 2019).

### 2.2.3.1 Üyelik fonksiyon çeşitleri

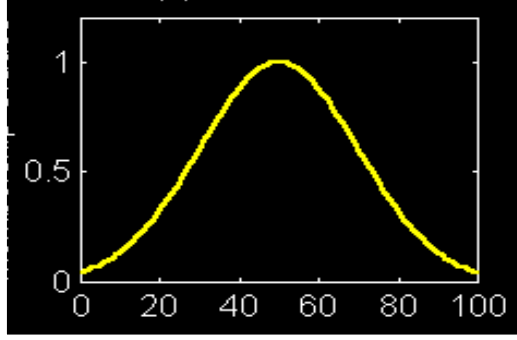
Birçok üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla Üçgen (Şekil 2.7), Yamuk (Şekil 2.8), Gauss (Şekil 2.9), Genelleştirilmiş Çan (Şekil 2.10) ve Sigmoid (Şekil 2.11) üyelik fonksiyonlarıdır. Üyelik işlevine ilişkin söz konusu fonksiyonlar aşağıdaki şekillerdeki gibi gösterilir.



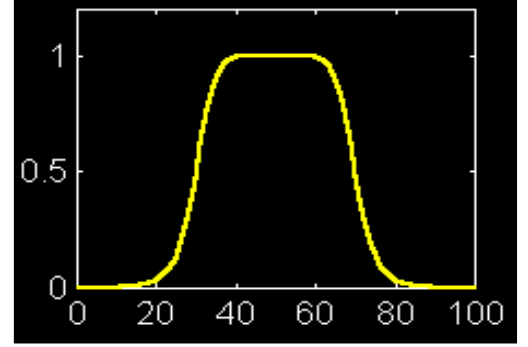
Şekil 2.7 Üçgen üyelik fonk.



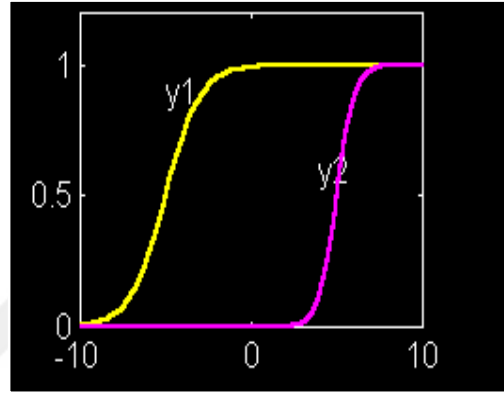
Şekil 2.8 Yamuk üyelik fonk.



Şekil 2.9 Gauss üyelik fonksiyonu



Şekil 2.10 Gauss üyelik fonksiyonu

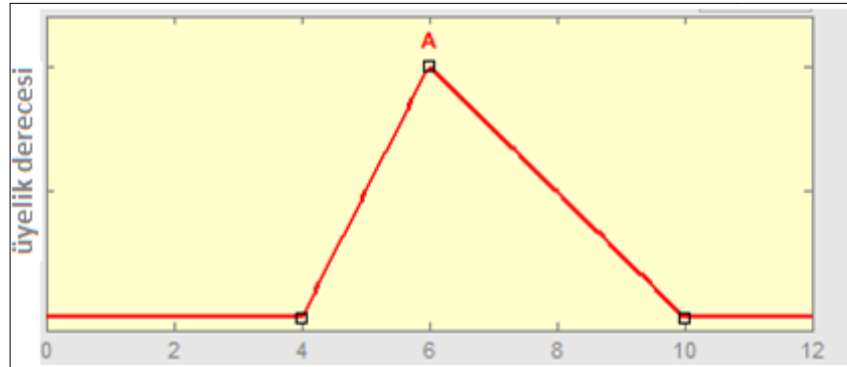


Şekil 2.11 Sigmoid üyelik fonksiyonu

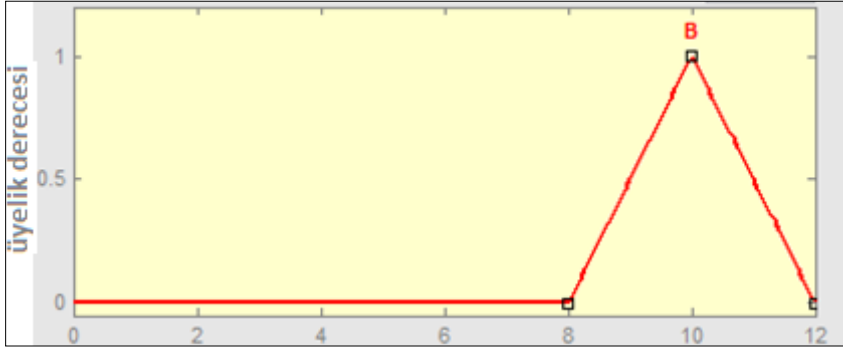
### 2.2.3.2 Üyelik fonksiyonu işlemleri

Bulanık kümeler arasındaki işlemler üyelik fonksiyonları ile tanımlanabilmektedir. Üyelik fonksiyonu bulanık kümeler için en önemli bileşendir. Buna ek olarak, ilk olarak 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya konan yaklaşıma göre bu bulanık kümeler arasındaki işlemler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Zimmermann, 2001; Gümrahoğlu'ndan, 2009).

Temel işlemler klasik kümelerde geçerli olduğu gibi bulanık kümeler için de geçerlidir. Aynı uzayda tanımlanan A ve B kümesi ve üyelik işlemleri Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'deki gibi olan iki bulanık küme olsun (Tektaş, 2019).



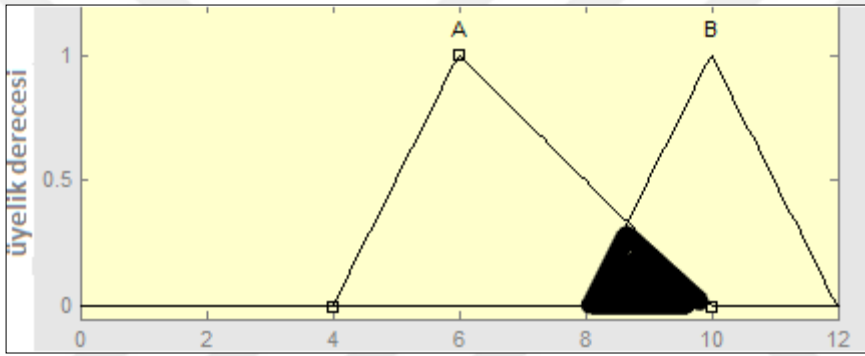
Şekil 2.12 A bulanık kümesi



Şekil 2.13 B bulanık kümesi

### Kesişim

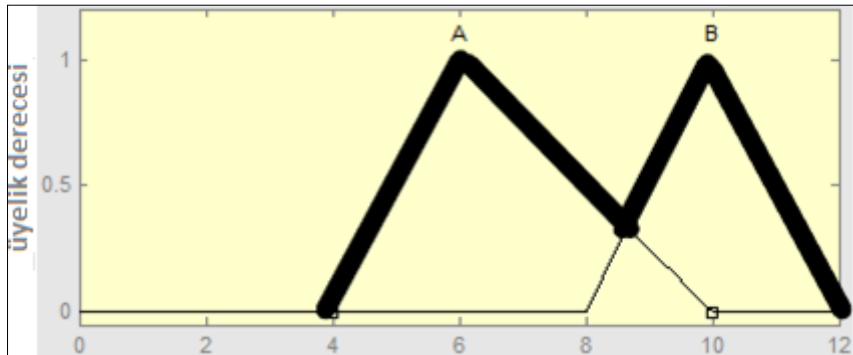
Verilen iki kümenin kesişimi (Şekil 2.14) hem A hem de B'de olan elemanları tanımlamaktadır.



Şekil 2.14 Kesişim işlemi

### Birleşim

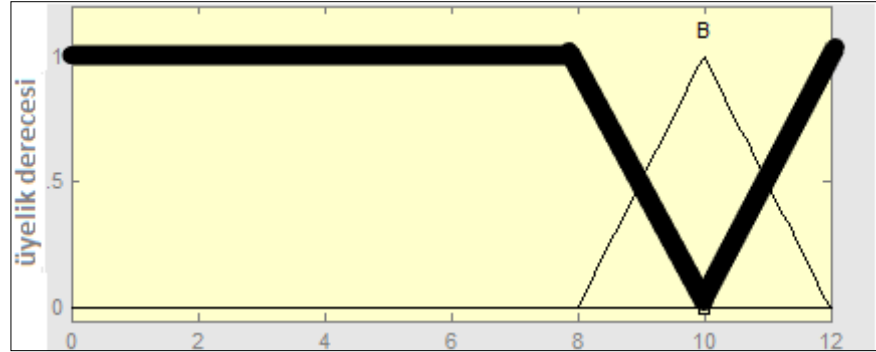
Verilen iki kümenin birleşimi (Şekil 2.15) iki kümedeki bütün elemanların oluşturacağı kümedir.



Şekil 2.15 Birleşim işlemi

### Tümleme

Verilen bir kümenin tümleyeni (Şekil 2.16) tanım uzayında bulunan ancak o kümede bulunmayan elemanların oluşturduğu kümedir.



Şekil 2.16 Tümleme işlemi

### T-norm ve S-norm

Yukarıda anlatılan işlemlerin yanı sıra bilim adamları tarafından tanımlanan bir takım işlemler de bulunmaktadır T-norm ve S-norm olarak adlandırılan bu işlemler Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1 T-norm ve S-norm (Gümrahoğlu'ndan 2009)

T norm	S Norm
Minimum $T_{\min}(a, b) = \min(a, b)$	Maksimum $S_{\max}(a, b) = \max(a, b)$
Cebirsel Çarpım $T_{cc}(a, b) = axb$	Cebirsel Toplam $S_{ct}(a, b) = a+b-a.b$
Sınırlı Çarpım $T_{sq}(a, b) = \max(0, a+b-1)$	Sınırlı Toplam $S_{st}(a, b) = \min(1, a+b)$
Keskin (Drastic) Çarpım $T_{kç}(a, b) = \begin{cases} a, & \text{if } b = 1 \\ b, & \text{if } a = 1 \\ 1, & \text{if } a, b < 1 \end{cases}$	Keskin (Drastic) Toplam $S_{ki}(a, b) = \begin{cases} a, & \text{if } b = 0 \\ b, & \text{if } a = 0 \\ 1, & \text{if } a, b > 0 \end{cases}$

#### 2.2.4 Bulanık Sistemler ve Uygulama Alanları

İlk kez 1970 yılların ortasında bulanık mantık, bir bulanık kontrolcü olarak, bir buhar makinesinde Londra'ki Queen Mary College'de Prof. Ebrahim H. Hamdani tarafından uygulandı (Arı, 1995 ; Işıklı'dan, 2018).

Bulanık mantık 1980 yılında, Danimarka'daki bir çimento fabrikasının fırınının kontrol uygulamasında kullanılması ticarî olarak ilk kullanılışıydı. Çimentoda kullanılan kimyasal maddeler istenilen sıcaklığın üzerinde bir derecede yakılırsa oluşan katı madde parçalanamayacak kadar sert olur. Kalitesi ise bu sıcaklığın altında bir derecede yakınca düşer. Bu ayarlama işlemi insan gücünü aşan ve saatlerce süren bir durum oluşturmaktadır. Isıyı ve fırın içindeki rotasyonu 8 saat dikkatini dağıtmadan ayarlayan bir mühendisten sonra yerine

geçen bir başkası bütün herşeyi karıştırabilir. Sensörlerden, ısı ve maddelere ait bilgileri alan bilgisayar geri-besleme ile değişkenleri yine bilgisayar aracılığıyla bulanık mantık ile hazırlanan bir kontrolcü ile kontrol ederek, bu ayarlama işini çok hassas ölçümler kullanarak gerçekleştirir ve önemli oranda enerji tasarrufu temin eder. (Alan, 2003;Işıklı'dan, 2018).

Bu kuramın en önemli özelliğinin kontrolcülüktür. Bunu L. Zadeh, ifade etmiştir ve demiştir ki: Bulanık mantık bir kontrolcüdür... “insanların çoğu bunun bulanık mantığın en önemli özelliği olduğunu bilmemektedir. Siz herhangi bir bulanıklıktan istifade ediyorsunuz ve sizin için çok fazla şeyleri birleştiriyor. Bu ise işlemlerin daha kolay, daha ucuz ve daha hızlı yapılmasına imkân veriyor” (Semed, 2000;Işıklı'dan, 2018).

Japonya'da bulunan ve en gelişmiş metro olarak kabul edilen Sendai metrosunda, yaklaşık 14 km boyunca 16 istasyonda duran tren, o kadar az sallantı olarak hareket etmektedir ki, ayaktaki yolcular sadece çok hafifçe sallanmaktadır. Bir akvaryumun, suyunu hiç dökmeden taşımak bu metroda mümkün olmaktadır. Bunun temelinde yatan ise bulanık mantıktır. Şimdiye kadar hiçbir tehlikeye yol açmamakla birlikte tepki süresi insanlarınkinden üç kat daha kısadır ve % 10 yakıt tasarrufu sağlamaktadır (Alan, 2003; Işıklı'dan, 2018).

Bulanık mantık Japonya'da fotoğraf ve video kameralarında, otomobil, tren ve sanayi işlemlerinin idare edilmesinde uygulamaya başlandı. Bu kuramın ticari amaçlı uygulamalarıyla başta Mitsubishi, Toshiba, Sony, Orison, Konan, Piko, Aneson, Honda, Neck olmak üzere birçok firma ilgilenmektedir. Bu kuramın üretimde uygulanmasının getirileri farklı şirket danışmanlarına göre inanılmazdır. Bulanık teknolojinin uygulandığı alanlarda daha önce görülmemiş değişiklikler gerçekleşmekte, böylelikle çok yüksek meblağlarda kazanç sağlanmaktadır. İlk aşamada 3 binden fazla bilim adamı bu kuram üzerinde çalışmakla görevlendirilmişti (Semed, 2000; Işıklı'dan, 2018).

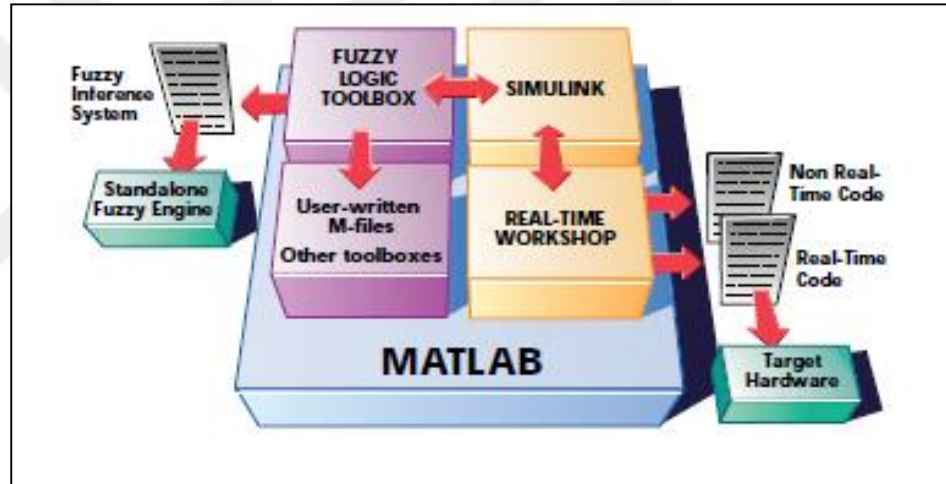
1980 yılından sonra uygulama alanları genişleyen bulanık mantığa yönelim amacıyla Japonya'dan sonra Almanya, Fransa, Danimarka, Rusya ve Çin gibi ülkeler de bulanık mantık uzmanları yetiştirmeye başlamışlardır (Alan, 2003). Bu konuda lider ülke Japonya olmakla birlikte Çin ise onu takip etmektedir (Blair, 1994 sözlü görüşme; Işıklı'dan, 2018).

Bulanık mantık sayesinde makineler daha zeki olmaktadır. Mekanik zekâyâ sahip birçok ürün ve üretim süreci artırmıştır. Bulanık dizgeli süper bilgisayarlar, akıllı oyuncaklar ve zeki makineler aptal cihazların yerini almıştır. Örneğin büyük firmalara sağlık hizmeti veren Omron Grubu bulanık mantık kurallarıyla bir dizgeye ait beş tip veri tabanını, kontrol etmektedir. 1985 yılında bulanık yongalar geliştiren Masaki Tokai ve Hiroyuki Watana bulanık mantıkla çalışan mikro

elektronik devreler sayesinde saniyede yaklaşık 2 milyon işlem yapabilmekte ve hemen her sahada çok daha verimli sonuçlar vermektedir. Örneğin, Japonya’da yapılan bir çalışmada; denizde fırtınalı havalarda mahsur kalan gemicileri kurtarmak için kullanılan helikopterleri bulanık mantık programıyla kontrol eden bu simülasyon ve makette herhangi bir sallantı ve sarsıntı olmamakta, insanların kullandığı helikopterlerin aksine çiviyle çakılmış gibi sabit bir şekilde havada kalmaktadır. Örneğin internette arama sorunuyla ilgili olarak bazı şirketler "yüksek görünürlük" sunan bulanık mantığı kullanmaktadır (Freksa, 2001 sözlü görüşme; Işıklı’dan, 2018).

L. Zadeh’ye göre, ‘tanıma teknolojileri’ bulanık mantığın internet üzerindeki en önemli araştırma alanı olacaktır. Özellik tanıma, el yazısı tanıma vb. teknolojiler internette çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Işıklı, 2018).

### 2.3 MATLAB Bulanık Sistemler ve Bulanık Mantık Araç Kutusu



Şekil 2.17 MATLAB Bulanık Mantık Araç Kutusu (The Mathworks’dan 1995)

MATLAB’da bulunan araçlardan Bulanık Mantık Araç Kutusu’nun kullandığı alt sistemler ve etkileşim halinde olduğu diğer yazılımsal ve donanımsal birimler Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Bulanık Mantık Araç Kutusu MATLAB çerçevesini kullanarak bulanık çıkarımlı sistemler yaratmayı ve eklemeyi sağlar. Ayrıca yaratılan bulanık sistem Simulink aracılığıyla simülasyon ortamına sokulabilir.

Bu çalışmada MATLAB’ın Şekil 2.17’de görünen bulanık mantık araç kutusunun çoğu özelliği kullanılmakta, bulanık çıkarım sistemi ile kurulan bulanık mantık devresi ile Simulink ile kurulan devre ile birlikte çalışarak hazırlanan m. dosyaları ile radar parametreleri çıkış olarak elde edilmektedir.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1 Probleme Bakış ve Çözüm Yaklaşımı

Günümüz harekât ortamlarında sensör ailesi çok genişlemiştir. Bu sensör ailesi uzaydan başlayıp uçan platformlara, silah sisteminin radarına, hatta füzelerin arayıcı başlığına kadar uzamaktadır. Radarların yanında iletişimin teknolojilerinin de gelişme yaşadığı bir ortamda hiçbir sistem müstakil olarak etkin bir şekilde görev yapamaz. Yani örneğin bir balistik füzeyi takip etmek ve vurmak istiyorsanız fırlatılma safhasında IR uydularla elde edilen verinin erken ihbar radarlarına aktarılması ve bu radarda da elde edilen menzil, irtifa hız gibi değerlerin önleme yapacak silah sistemine aktarılması gerekmektedir. Tıpkı bu örnekte olduğu gibi bizim varsayımımızda da hedeflerin radarımıza farklı kaynaklardan aktarılan ve değerini bildiğimiz değişen parametreleri bulunmaktadır. Bu parametreler çok fazla sayıda olabilecek olup temelde mesafe, irtifa, hız ve ivme (manevra) değerleridir.

Bu değerlere bakılarak hedef önceliğinin oluşturulması böylelikle kaynak yönetimi algoritması sayesinde bu önceliklere uygun anlık olarak kendi parametrelerini ayarlayabilen yani adaptif ve diğer bir deyişle akıllı radarlara sahip olmak çok çeşitli hedeflerin mevcut olduğu ve bu hedeflerin yüksek harp yeteneklerine sahip olduğu modern harekât ortamlarında bir ihtiyaç olmuştur. Bu kaynak yönetimi sayesinde yeni nesil bu radarlar geleneksel radarlara göre üstünlük sağlamaktadır.

Bu üstünlüğün sağlanmasında katkı sağlayacak olan aktif faz dizili, her bir anten elemanının ayrı bir beslemesi olan radarımızda radar hüzmesini kontrol etmektir. Bu hüzme kontrolü birden çok özelliğin kontrolü olabilecektir ancak en önemlilerinden ikisi hüzmenin hedef Üzerinde Kalış Süresi (ÜKS - dwell time) ve hedefe Tekrar Bakma Süresi (TBS - revisit time)'dir. Bu sürelerin değişken olarak oluşmasındaki etken hedefin yukarıda sağdığımız özelliklerine uygun olarak oluşacak öncelik değerlerinin oluşması olmuştur.

Hedefin değişen özelliklerine göre ÜKS ve TBS'nin değiştirilebilmesi birçok avantaj sağlayacaktır. Bu avantajların en başında  $P_d$  değerinin istenen düzeyde ayarlanması ve yüksek öncelikli hedeflerin  $P_d$  değerinin yüksek elde edilmesidir. Günümüz uygulamalarına bakıldığında daha çok Ağırlıklandırılmış Metod kullanılmaktadır. Bu methodda hedefin her bir özelliği olan mesafe, irtifa, hız ve ivme değerlerine sabit ağırlıklar verilmektedir bu ağırlıklara göre ÜKS ve TBS değerleri ayarlanmaktadır. Bu metoda nazaran daha eski bir metod olan ve

10 yıllardır kullanılan geleneksel metod ise sabit değer vermektir. Burada yapılan ÜKS ve TBS değerlerine sabit bir değer verilerek hedefteki değişimlerin göz ardı edilmesidir. Hedefte değişim olmasına karşın bu metod ile radar parametrelerinde hiçbir değişiklik yapılmamaktadır. Bu geliştirilen modüler yaklaşımda radar parametrelerinin sabit tutulması bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (Miranda, 2007).

Bizim tezimizde kullandığımız metod ise bu metodların aksine akıllı bir radar olarak görebileceğimiz sistemimizde ÜKS ve TBS değerlerimizin bulanık mantık ile belirlendiği bir metoddur. Bilindiği gibi bulanık mantığın tasarımının kolay ve işlevselliğinin yüksek ve bulanık ortamdaki kestirim gücünün yüksekliğinden faydalanılmıştır.

Aşağıda sonuçları yer alan çalışmamız geleneksel metod ve Ağırlıklandırılmış Metodun aksine bulanık mantık kullanılarak yüksek öncelikli hedeflerin  $P_d$  değerlerinin daha yüksek tutularak düşük öncelikli hedeflerin ise  $P_d$  değerlerinin daha düşük tutularak önemli hedeflere yönelmemizi sağlayacak ve bu hedefleri kaçırma olasılığımız daha çok düşecektir. Özellikle çoklu hedef senaryolarının işletildiği ortamlarda buna şahit olmaktayız.

### 3.2 Radar Sisteminin Tasarımı

Oluşturulacak modele temel alınacak radar sisteminde radar denklemi baz alınmış olup bu denklemde yer alan diğer etmenler sabit olarak alınmıştır. Şöyle ki radar denklemi işaret gürültü oranı (Signal to Ratio – SNR) karşılığında denklemin diğer parametreleri işaretin sağında olacak şekilde yazıldığında 3.1'deki denklem elde edilir.

$$SNR = \frac{G_t G_r \lambda^2 \sigma P_t UKS}{(4\pi)^3 (R)^4 k T_0 F_n L_0 L_R L_{min}} \quad 3.1$$

$G$  = Kazanç (Gain)

$G_t$  = Göndermeç kazancı (Gain of the Transmitter Antenna)

$G_r$  = Alıcı kazancı (Gain of the Receiver Antenna)

$k$  = Boltzmann sabiti

$\lambda$  = Dalga boyu

$L$  = Kayıplar (Loss- iletim hattı ve devre elemanlarından kaynaklı)

$P_t$  = İletim gücü (Power of a Transmitter)

$R$  = Menzil (Range)

$\sigma$  = Radar kesit alanı (Radar Cross Section (RCS))

ÜKS = Üzerinde Kalma Süresi (Zaman (Time))

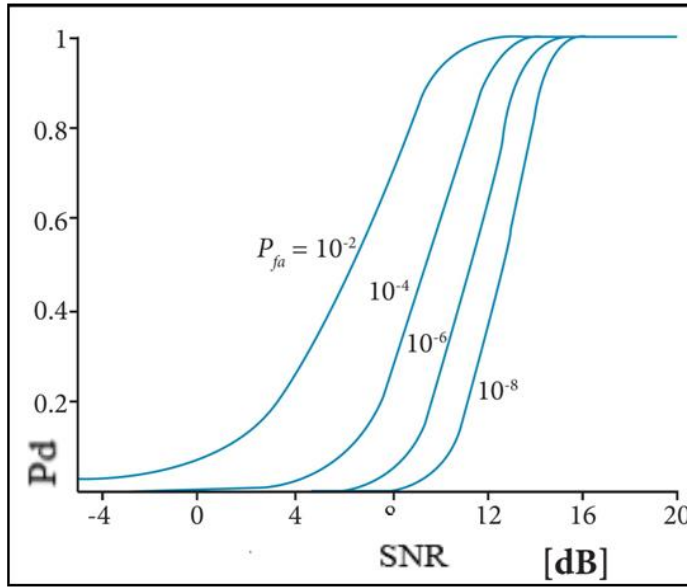
Çalışmamızda amacımız ÜKS'nin adaptif olarak değişikliğinin etkisi incelendiğinden süreyi içeren ÜKS değişken olarak ve diğer değişkenler ise sabit olarak tutulmuştur. Böylelikle etkisi gözlemlenebilmiştir. Diğer değişkenler  $\alpha$  sabiti olarak alındığında  $\alpha$  denklemini

$$\alpha = \frac{G_t G_{rx} \lambda^2 \sigma P_t}{(4\pi)^3 (R)^4 k T_0 F_n L_0 L_{RL_{min}}} \quad 3.2$$

şeklinde olacaktır. Bu durumda SNR denklemini

$$SNR = \alpha \dot{ÜKS} \quad 3.3$$

şekline dönüşecektir.



Şekil 3.1 SNR'a karşı tespit olasılığı değerleri (farklı  $P_{fa}$ 'ler) (Yue'den, 2015)

Sabit bir değer olarak alınacak olan  $\alpha$  değerine karşılık bir hedefin tespiti ve takibi için radarımızın tasarımından gelen bir eşik değeri olarak alınacak SNR değeri 0,7 ms ÜKS değeri için 20 dB olarak alınmıştır. Bu değer genelde radarlar incelendiğinde bir hedefin tespit ve takibi için yeterli bir değerdir. Bu durumda

$$20 \text{ dB} = 10 \log(x) \quad 3.4$$

$$SNR = 100 \quad 3.5$$

olmaktadır. Buradan ÜKS değeri 0,7 ms olduğunda

$$20 \text{ dB} = 100 = \alpha \cdot 0,7 \quad 3.6$$

$\alpha=142.857$  değeri olarak elde edilir.

Örneğin ÜKS 0,4 ms olduğunda

$$SNR = \alpha \dot{ÜKS} \quad 3.7$$

$$SNR = 142.857 \dot{ÜKS} \quad 3.8$$

$$SNR = 142.857 * 0,4 \quad 3.9$$

$$SNR = 57.14 \quad 3.10$$

$$SNR = 10 \log(57,14) = 17,56 \text{ dB} \quad 3.11$$

olmaktadır. Bu değerden  $P_d$  değerini elde etmek istediğimizde  $P_{fa}$  değeri olarak isimlendirilen yanlış alarm olasılığı  $10^{-6}$  olarak kabul edilen radarımızda  $P_d$  denklemi 3.12'deki gibi

$$P_d = P_{fa}^{\left(\frac{1}{1+SNR}\right)} \quad 3.12$$

olduğundan 0,7 ms max ÜKS değeri için

$$P_d = 10^{-6\left(\frac{1}{1+100}\right)} \quad 3.13$$

$$P_d = 10^{-0,059} \quad 3.14$$

$$P_d = 0,873 \quad 3.15$$

olmaktadır. Örneğin ÜKS 0,4 ms olduğunda

$$P_d = 10^{-6\left(\frac{1}{1+57,14}\right)} \quad 3.16$$

$$P_d = 10^{-6\left(\frac{1}{1+100}\right)} \quad 3.17$$

$$P_d = 0,788 \quad 3.18$$

olmaktadır.

Radarımızın tasarımdan kaynaklanan  $P_{fa} = 10^{-6}$  olduğunda hedefin diğer özellikleri sabit kabul edildiğinde tespit takip limitleri şu şekilde alınmış ve hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Menzil: 0 - 400 km

İrtifa: 0 - 60000 ft

Hedef hızı: 0 - 1000 m/s

Hedef ivmesi: 0 – 8,9 g

Menzil azaldıkça denklem 3.1 radar denkleminde paydada bulunan  $(R)^4$  den kaynaklı olarak  $P_d$  değeri otomatik olarak artmaktadır. Bu artış radar denkleminin doğasından kaynaklı olduğundan aşağıda bahsi geçen Sabit Değer Metodu, Ağırlıklandırılmış Metod ve Bulanık Mantık Metodunda aynı oranda etki etmektedir. Bu yüzden bu etki bu çalışmada göz ardı edilmiştir. Böyle durumlarda bu etkiler göz ardı edilebilmektedir (Miranda, 2017).

Menzilin azalması ile hedef önceliği artacağından ÜKS'nin artırılması ve böylelikle  $P_d$  değerinin daha fazla artması önem taşımaktadır. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında bunu sağlayan metodlardan birisi olan Ağırlıklandırılmış Metod ile çalışmada önerilen Bulanık Mantık Metodu karşılaştırılarak bu etki gözlenmiştir.

### 3.2.1 Sabit Değer Metodu tasarımı

Radarlar ilk olarak ortaya çıktığından itibaren günümüze kadar süregelen zamanda kullanılmakta olan ve en yaygın olan bu metotta radar hüzmesi her hedef üzerinde sabit bir süre tutulur yani bizim tanımladığımız ÜKS değeri ve TBS değeri sabit olur. Hedef özelliklerinde (hız, irtifa vb.) oluşan herhangi bir değişim radarın ışımasını etkilemez. Örneğin hızlı hedefe ya da nisbeten daha yavaş

hedefe aynı süre bakılır bu da sabit bir  $P_d$  değerinin oluşması manasına gelir. Aktif faz dizili antenler de bu şekilde kullanılabilir. Bu da önemli ya da önemsiz bütün hedeflere aynı değerin verilmesi manasına gelir ki böyle bir tasarım günümüz harekât ortamında hedef önceliklerini göz ardı eden bir yaklaşım doğurur. Bu da harekât etkinliğinin azalması manasına gelir bu metotta radarımızın max ÜKS'si 0,7 ms, max TBS 100 ms olduğundan ortalama ÜKS 0,35 ms TBS ise 50 ms olarak alınmıştır. Bu durumda her bir hedef tespitinde diğer koşullar sabit iken  $P_d$  değeri de sabit olacağından

$$\text{SNR} = \alpha \text{ÜKS} \quad 3.19$$

$$\text{SNR} = 142.857 \text{ ÜKS} \quad 3.20$$

$$\text{SNR} = 142.857 * 0,35 \quad 3.21$$

$$\text{SNR} = 57,14 \quad 3.22$$

$$P_d = 10^{-6 \left( \frac{1}{1+57,14} \right)} \quad 3.23$$

$$P_d = 0,762 \quad 3.24$$

olacaktır.

### 3.2.2 Ağırlıklandırılmış Metod tasarımı

Bu tasarım sabit metoda göre daha esnek bir radar sunmakta olup harekât ortamında önemli ya da önemsiz hedeflerin ayırımını matematiksel olarak ortaya koymakta bu sayede önemli hedeflerin  $P_d$  değerlerini yüksek tutarak bu hedeflerin  $P_{miss}$  değeri azalmaktadır. Bu sayede harekât ortamında sabit metod tasarımına nazaran üstünlük sağlamaktadır. Bu tasarımda hedefin değişen özelliği olarak ele alınan mesafe, irtifa, hız ve ivme (manevra)'ye sabit ağırlıklar verilmektedir. Bu ağırlıklar vasıtasıyla hedefler önceliklendirilmektedir. Bu ağırlıklar belirlenirken genelde uzman görüşü alınmaktadır. Uzmanlar kendi konsept ve dokümanlarına uygun olarak hedeflerin değişen özelliklerine göre hedefleri değerlendirmektedir. Birçok uzmana anket yapılarak bu ağırlıklar elde edilmekte olup sonrasında bu ağırlıklar sistem algoritmasına yansıtılmakta ve ona göre radar tasarımı yapılmaktadır. Bu çalışmamızda genel bir bakış açısıyla toplam 1 olacak şekilde bu ağırlıkları oluşturduk bu ağırlıklar:

$$\text{Menzil}=0,27 \quad 3.25$$

$$\text{İrtifa}=0,23 \quad 3.26$$

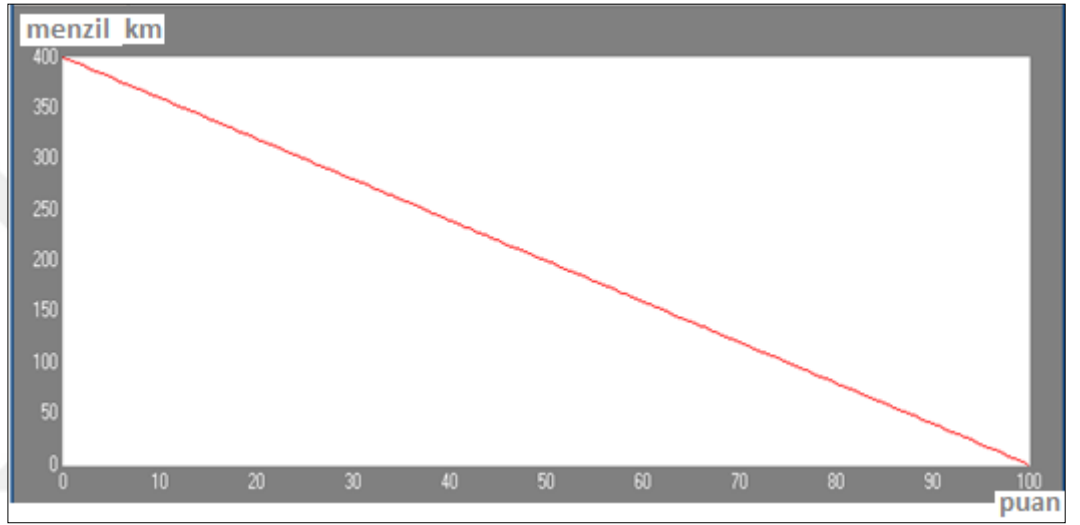
$$\text{Hız}=0,28 \quad 3.27$$

$$\text{İvme}=0,22 \quad 3.28$$

olarak alınmıştır. Yani göreceli olarak en düşük ağırlık ivmeye en yüksek ağırlık ise hıza verilmiştir. Radarımızın tasarımından gelen ise menzilin 400 km olduğu azami hedef hızının 1000 m/s azami irtifanın 60000 feet ve azami hedef ivmesinin 8,9 g olduğudur. Bundan hareketle Ağırlıklandırılmış Metoda hedeften gelecek

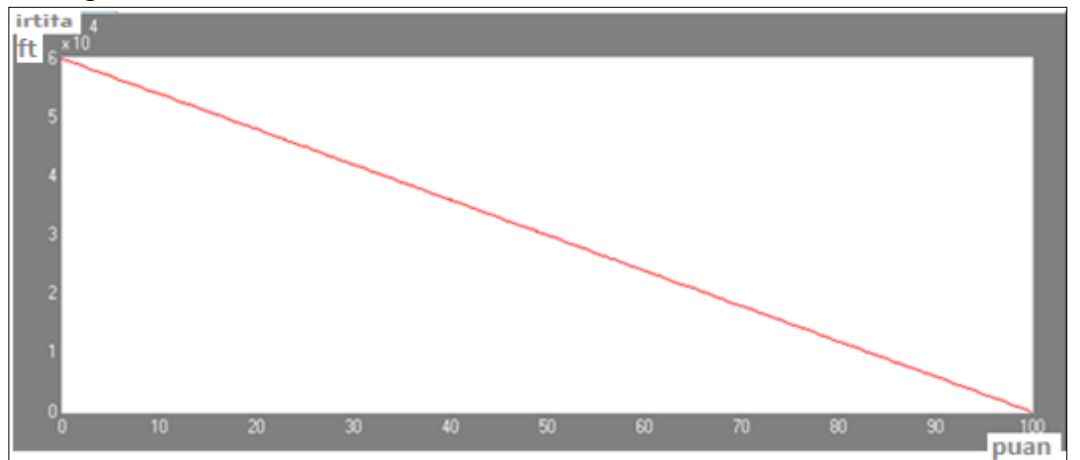
bu dört özelliğe göre gelecek puan ile herbiri yukarıdaki ağırlıklar ile çarpılarak bir önceliklendirme yapılmakta ve buna göre ÜKS ve TBS belirlenmektedir. ÜKS değerinden ise  $P_d$  değeri elde edilmektedir. Örnek verecek olursak diğer özellikleri aynı olan ancak hızı daha yüksek olan iki hedeften hızlı olan daha öncelikli hedef olarak kategorize edildiğinden radar hızının bu hedefin üzerindeki kalış süresi fazla olacak ve böylelikle  $P_d$  değeri daha yüksek olacaktır.

Menzil değeri azami 400 km olacak şekilde alınmış olup menzil değeri azaldıkça hedef önceliği artacağından Şekil 3.2’de görüldüğü gibi puan ile menzil arasında ters bir ilişki kurulmaktadır. Yani “Daha uzaktaki hedef benim için daha değerlidir.” yaklaşımından hareket edilmiştir.



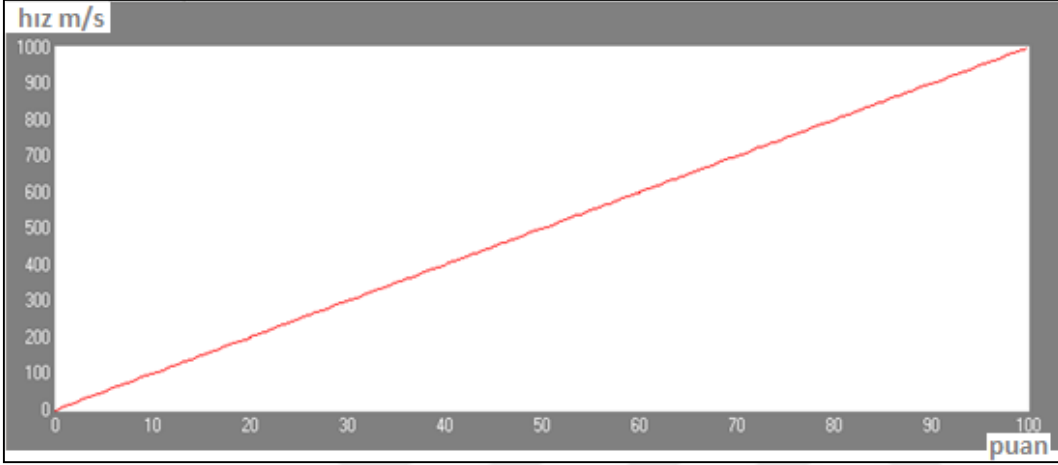
Şekil 3.2 Menzil puan ilişkisi

Radarın özelliğinden gelen irtifa değeri azami 60 bin feet olacak şekilde menzil yaklaşımında olduğu gibi irtifa ile puan arasında Şekil 3.3’de görülen ters bir ilişki vardır. 100 puan üzerinden puanlandırılacak şekilde irtifa azaldıkça hedef önceliği artmaktadır.



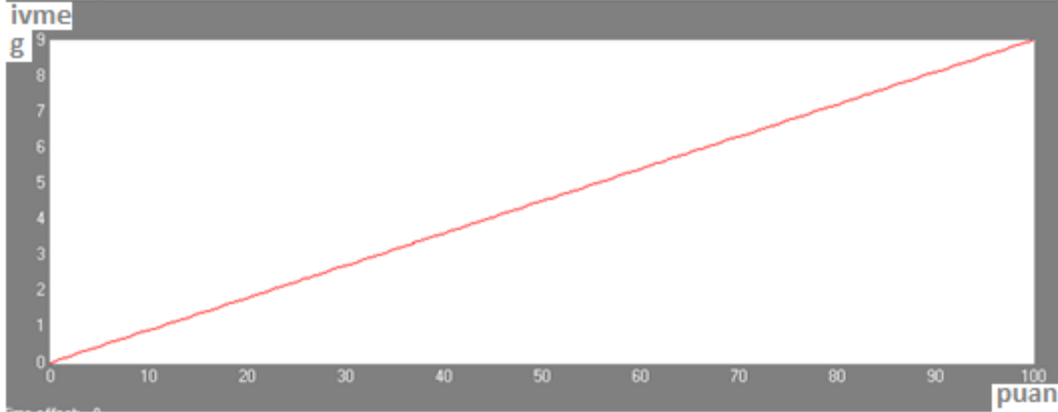
Şekil 3.3 İrtifa puan ilişkisi

Radarımız azami 1000 m/s hıza sahip olan hedefleri takip edebilmektedir. Hız değeri menzil ve irtifa değerinin aksine hedef önceliği belirlenirken doğrusal bir etki oluşturmaktadır. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi hızlı bir hedef yavaş bir hedefe göre daha yüksek bir puan almaktadır. 1000 m/s civarında hıza sahip olan bir cisim günümüz teknolojisinde füze olacağından füzelerin ise yüksek öncelikli olarak takip edilmesi de önemli olduğundan hedef hızları çok yüksek olan hedefler yüksek puan almaktadır.



Şekil 3.4 Hız puan ilişkisi

Azami 9g hedeflerin takip edildiği radarımızda ivme ile hedef önceliği ve dolayısıyla ÜKS arasında Şekil 3.5'de görüldüğü gibi doğrusal bir ilişki vardır. Yani yüksek manevraya sahip bir hedef daha öncelikli ve ÜKS değeri daha yüksek olarak alınır. Böylelikle daha yüksek  $P_d$  değeri ile tespit ve takip yapılır.



Şekil 3.5 İvme puan ilişkisi

Ağırlıklandırılmış Metotta yukarıda verilen grafiklerden hedefin özelliğine göre 100 puan üzerinden bir puan elde edilir bu puana göre ÜKS belirlenir ve buna bağlı olarak  $P_d$  değeri değişir.

Örneğin menzili 250 km, irtifası 20 bin feet, hızı 300 m/s, ivmesi 2,25g olan bir hedefin  $P_d$  si şöyle hesaplanır.

$$\text{Menzil 250 km} = 37,5 \text{ puan} \quad 3.29$$

$$\text{İrtifa 24 bin feet} = 50 \text{ puan} \quad 3.30$$

$$\text{Hız } 200 \text{ m/s} = 20 \text{ puan} \quad 3.31$$

$$\text{İvme } 2,25 \text{ g} = 25 \text{ puan} \quad 3.32$$

Bunları bölüm başında verdiğimiz ağırlıklar ile çarparsak

$$37,5*0,27+50*0,23+20*0,28+25*0,22 \quad 3.33$$

Ağırlıklı puanı 32,725 olur.

100 puan ile azami 0,7 ms olan ÜKS değerini elde edeceğinden hareketle 32,725 puanın karşılığı 0,229 ms ÜKS değeri olur burdan ise

$$SNR = 142,857 \text{ ÜKS} \quad 3.34$$

$$SNR = 142,857 * 0,229 \quad 3.35$$

$$SNR = 32,714 \quad 3.36$$

$$P_d = 10^{-6\left(\frac{1}{1+32,714}\right)} \quad 3.37$$

$$P_d = 0,663 \quad 3.38$$

değeri elde edilir

100 puan ile radarımızın asgari 10 ms olan TBS değeri elde edileceğinden ve TBS ile hedef önceliği ve ağırlıklı puan arasında ters ilişki olduğundan aynı 32.725 ağırlıklı puanın karşılığı olan TBS değeri

$$TBS = 100 - (\text{puan} * 0,9) \quad 3.39$$

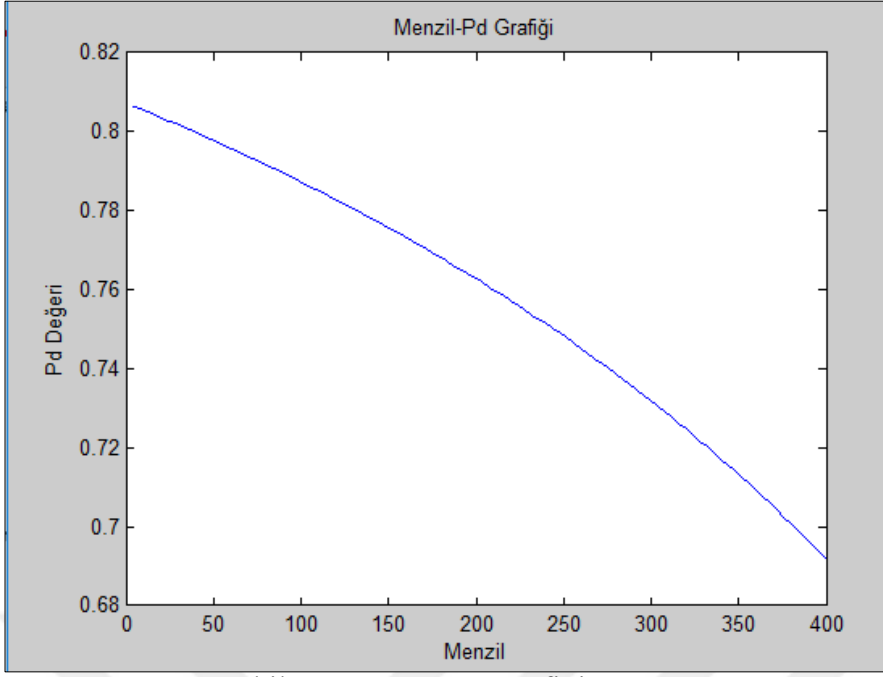
$$TBS = 100 - (32,725 * 0,9) \quad 3.40$$

$$TBS = 70,54 \text{ msn} \quad 3.41$$

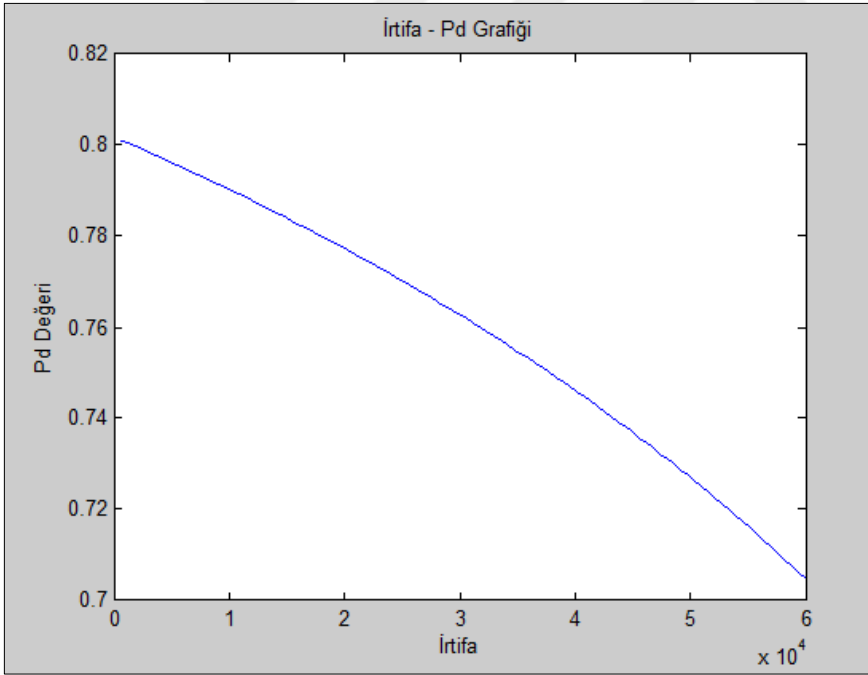
değeri elde edilir

Ağırlıklandırılmış Metoddaki tasarımın  $P_d$  ye etkisini ayrı ayrı her bir hedef özelliği için grafik üzerinde gösterecek olursak şu şekilde grafikler elde edilmektedir.

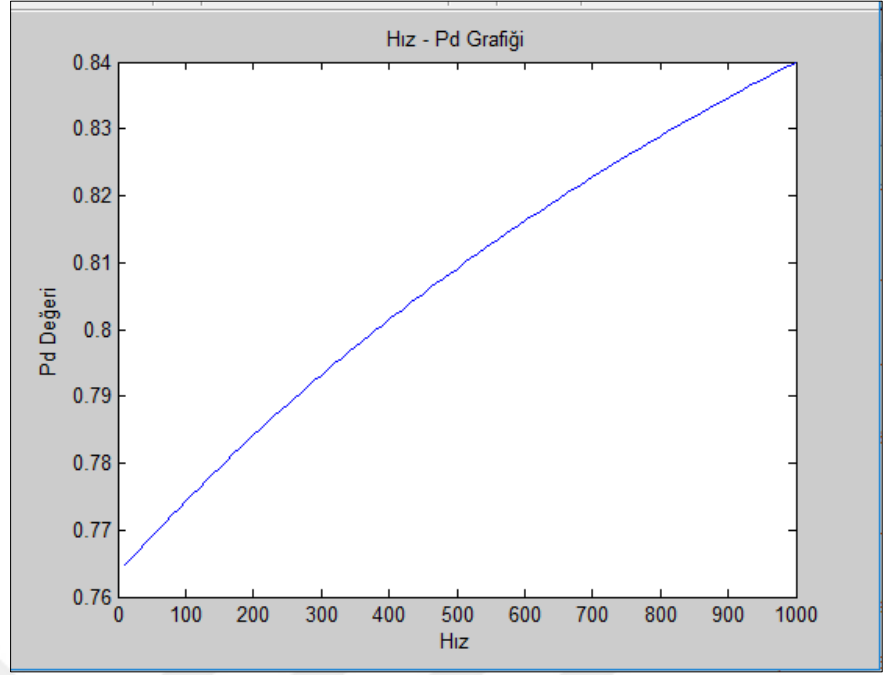
Bu metotta tüm değerleri ortalama olan yani irtifası 30 bin feet, hızı 500 m/s ve ivmesi 4,5 g olan bir hedefin 0 – 400 km arasında artan menzillerde  $P_d$  değerini gösteren grafik Şekil3.6'daki gibi elde edilir.

Şekil 3.6 Menzil -  $P_d$  grafiği

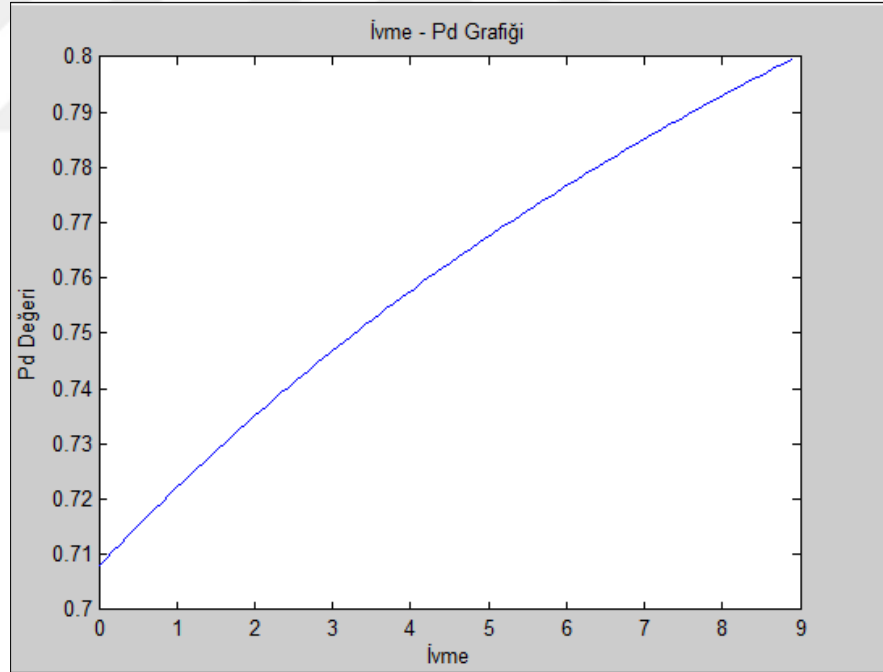
Menzili 200 km, hızı 500 m/s ve ivmesi 4,5 g olan bir hedefin 0-60 bin feet arasında artan irtifalarda  $P_d$  değerini gösteren grafik Şekil 3.7'deki gibi elde edilir.

Şekil 3.7 İrtifa -  $P_d$  grafiği

Menzili 200 km, irtifası 30 bin feet ve ivmesi 4,5 g olan bir hedefin 0 - 1000 m/s arasında değişen hızlarda  $P_d$  değerini gösteren grafik Şekil 3.8'deki gibi elde edilir.

Şekil 3.8 Hız -  $P_d$  grafiği

Menzili 200 km, irtifası 30 bin feet ve hızı 500 m/s olan bir hedefin 0-9 g arasında artan ivmelerde  $P_d$  değerini gösteren grafik Şekil 3.9'daki gibi elde edilir.

Şekil 3.9 İvme -  $P_d$  grafiği

Ağırlıklandırılmış Metod tasarımına göre elde edilen bu grafikler hedefin değişen özelliklerine göre uygun ağırlıklar verilerek  $P_d$  değerini değiştirmektedir. Buradaki amaç radarın kaynak planlaması yapılırken hedefin öncelikli olup olmadığına bakılması ve böylelikle önceliği yüksek olan hedeflerin  $P_d$  değerlerinin daha yüksek tutulmasıdır. Aşağıda bahsettiğimiz metod ise farklı bir

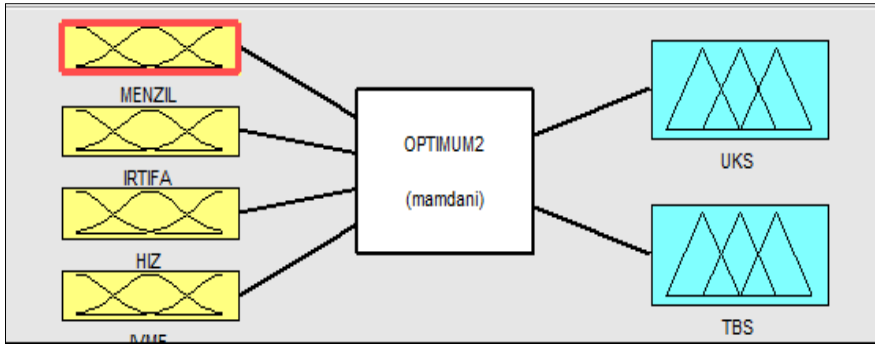
bakış açısı sunarak bulanık mantığın avantajlarını kullanmakta ve bulanık ortamda karar verebilen akıllı sistemler yaratmaktadır.

### 3.2.3 Bulanık Mantık Metodu tasarımı

Yukarıda bahsedilen iki metoda nazaran radarların harekât ortamında daha esnek kullanımının sağlanması için bulanık mantığın esnek tasarımından faydalanacağız. Bu bölümde bulanık mantık tasarımının nasıl yapıldığı giriş ve çıkış fonksiyonlarının nasıl tasarlandığı ve durulamanın nasıl yapıldığından bahsedilmektedir.

#### 3.2.3.1 Bulanık mantık giriş üyelik fonksiyonlarının tanımlanması

Radarımızın bizim istediğimiz esnek tasarıma sahip olması için dış dünyadan aldığımız hedeflerin bilgilerine göre kendi parametreleri ayarlayabilen bir radar tasarlamamız gerekmektedir. İşte bu radar adaptif veya akıllı radar olarak adlandırılabilir. Burada hedefin özellikleri çok çeşitli olmakla birlikte özellikle harekât ortamında kullanılan bazı özellikler ön plana çıkmaktadır. Bunlar yukarıda da bahsedilen mesafe, irtifa, hız ve ivmedir. İvme manevra olarak da isimlendirilebilir. Bu değerlerin radarımıza dışardaki bir linkten geldiği varsayımından hareketle bu değerler Bulanık mantık devremizin giriş işaretlerini oluşturmaktadır. Çıkış işaretlerini ise ÜKS ve TBS oluşturmaktadır. MATLAB Bulanık Mantık Araç Kutusu kullanılarak Şekil 3.10'da görüldüğü üzere devremiz şu şekilde tasarlanmıştır.



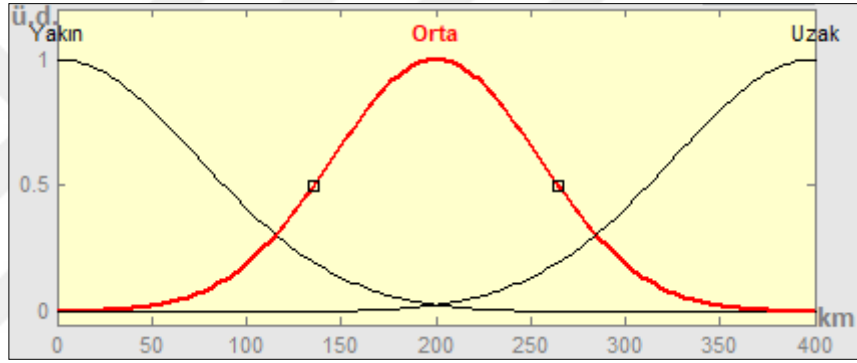
Şekil 3.10 MATLAB Bulanık Mantık Araç Kutusu Devresi

Bu giriş üyelik fonksiyonları yukarıda da bahsedilen limit değerleri içerisinde Çizelge 3.1'deki şu dilsel değerleri alacak şekilde tasarlanmıştır.

Çizelge 3.1 Dilsel ifadeler

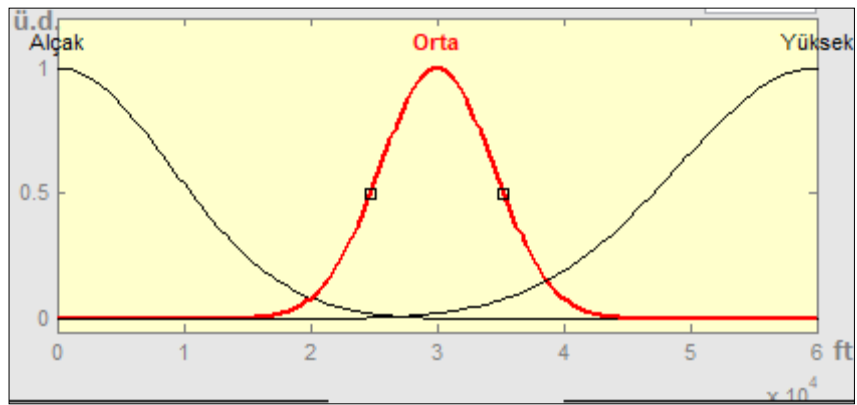
Giriş	Dilsel İfadeler		
	Yakın	Orta	Uzak
Menzil	Yakın	Orta	Uzak
İrtifa	Alçak	Orta	Yüksek
Hız	Yavaş	Orta	Hızlı
İvme	Düşük	Normal	Yüksek

Menzil için üyelik fonksiyonu (Gauss):0-400 km arasında yakın-orta-uzak olarak dilsel ifadeler ile tanımlanan mesafe diğer bir deyişle menzil giriş işareti Şekil 3.11’de gösterilen üç adet gaussian üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır.



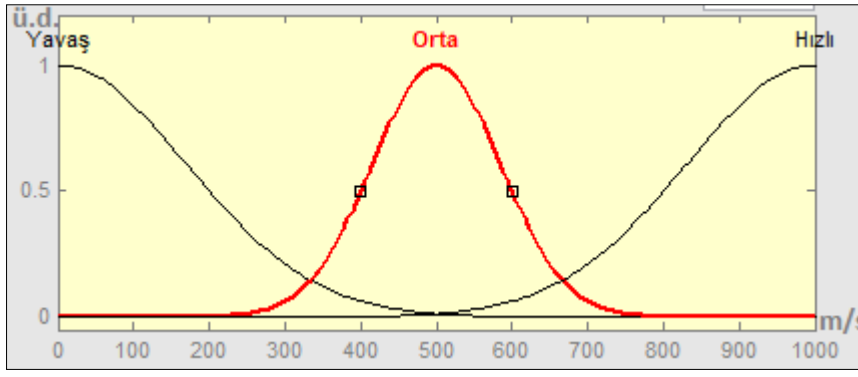
Şekil 3.11 Menzil üyelik fonksiyonu

İrtifa için üyelik fonksiyonu (Gauss):0-60 bin feet arasında alçak-orta-yüksek olmak üzere dilsel ifadeler kullanılmış böylelikle üç adet Gaussian üyelik fonksiyonu ile irtifa giriş işareti değeri aşağıdaki Şekil 3.12’ de görülmektedir.



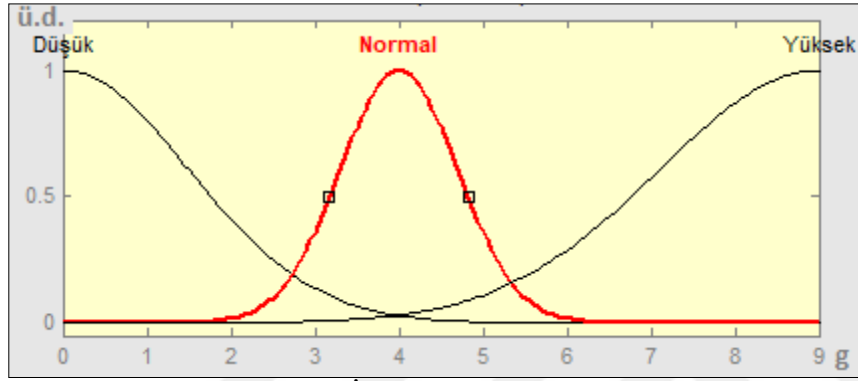
Şekil 3.12 İrtifa üyelik fonksiyonu

Hız için üyelik fonksiyonu (Gauss):0-1000 m/s arasında yavaş-orta-hızlı olan dilsel ifadeler kullanılarak oluşturulan, üç adet gaussian üyelik fonksiyonu ile tanımlanan hız giriş işareti değeri Şekil-3.13’de gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Hız üyelik fonksiyonu

İvme için üyelik fonksiyonu (Gauss):0- 9 g arasında düşük-normal-yüksek olacak şekilde dilsel ifadeler kullanılarak oluşturulan üç adet gaussian üyelik fonksiyonu, ivme giriş işareti değeri Şekil 3.14’de görülmektedir.



Şekil 3.14 İvme üyelik fonksiyonu

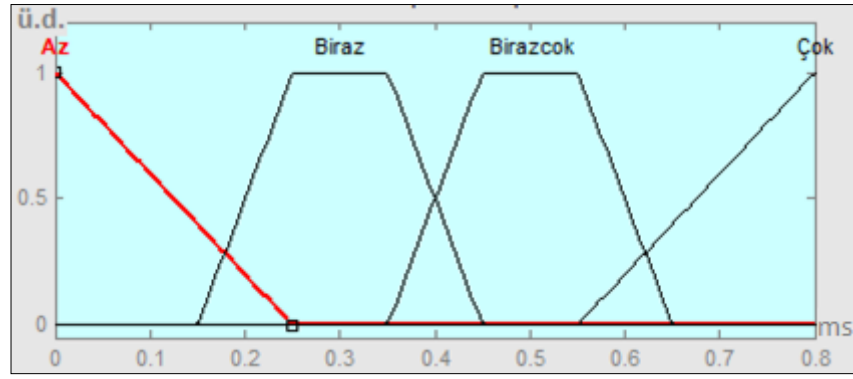
### 3.2.3.2 Çıkış için üyelik fonksiyonu (Gauss)

Tanımlanan bu dört adet girişe bağımlı olarak tanımlanan çıkış değeri biri ÜKS değeri ise TBS olmak üzere iki adettir. Bu-çıkış üyelik fonksiyonları yukarıda da bahsedilen limit değerleri içerisinde Çizelge 3.2’deki şu dilsel değerleri alacak şekilde tasarlanmıştır.

Çizelge 3.2 Çıkış dilsel ifadeler

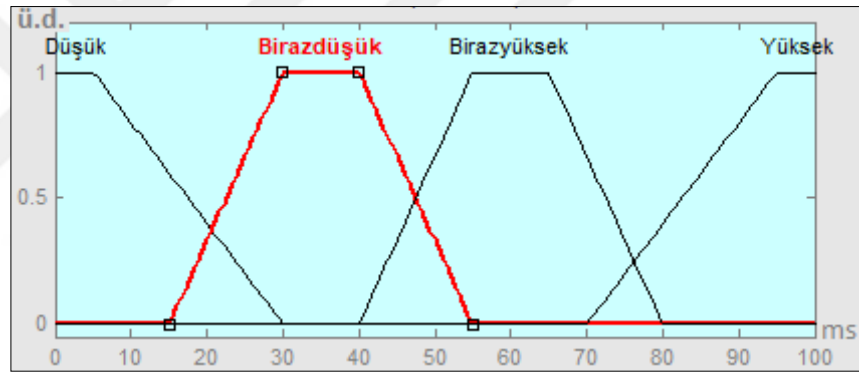
Çıkış	Dilsel İfadeler			
	ÜKS	Az	Biraz	BirazÇok
TBS	Düşük	BirazDüşük	BirazYüksek	Yüksek

ÜKS için üyelik fonksiyonu (Üçgen-Yamuk):ÜKS çıkış değeri dört adet çıkış üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Bunlar dilsel ifadeleri Şekil 3.15’de görüldüğü gibi Az-Biraz-BirazÇok-Çok olan üyelik fonksiyonlarıdır. Az ve Çok üçgen diğer ikisi ise yamuk üyelik fonksiyonudur. ÜKS 0-0,7ms arasında tanımlanmıştır



Şekil 3.15 ÜKS üyelik fonksiyonu

TBS için üyelik fonksiyonu (Yamuk):Diğer çıkış üyelik fonksiyonu ise TBS'dir. TBS üyelik fonksiyonu da Şekil 3.16'da görüldüğü gibi dört adet üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Bu üyelik fonksiyonun dilsel ifadeleri Düşük-Birazdüşük- Birazyüksek - Yüksek'dir bu üyelik fonksiyonları yamuk şeklinde tanımlanmış üyelik fonksiyonlarıdır. TBS azami değeri 100 ms olacak şekilde 0 – 100 ms olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.16 TBS üyelik fonksiyonu

### 3.2.3.3 Durulaştırma

Ayrıca işlemler için min-max ikilisi seçilmiş olup durulama yöntemi için ise ağırlık merkezi (centroid) tercih edilmiştir.

### 3.2.3.4 Kural Tabanının Oluşturulması

Girişlere atanan üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılan yapı Mamdani çıkarım yöntemi ile çıkışlar elde edilmiş ve dört adet Giriş işaretine bağlı olan iki adet çıkış değerinin anlamlı bir şekilde elde edilmesi amacıyla her bir çıkış için toplam

$$3^4 = 81$$

3.42

81 adet IF-THEN Kuralı tanımlanmıştır. Bu kurallar yukarıda Ağırlıklandırılmış Metotta bahsedilen aynı mantık içerisinde yapılmış olup hız ve mesafenin etkisi yüksek ivme ve irtifanın etkisi düşük tutulmuştur. Yine bu

kurallar oluşturulurken Mesafe ve İrtifanın ÜKS üzerinde negatif, Hız ve İvmenin ise ÜKS üzerinde pozitif etkisi olduğu düşünülerek hareket edilmiş TBS için ise tam tersi düşünülerek Ek-1’de sunulan IF-THEN kuralları oluşturulmuştur.

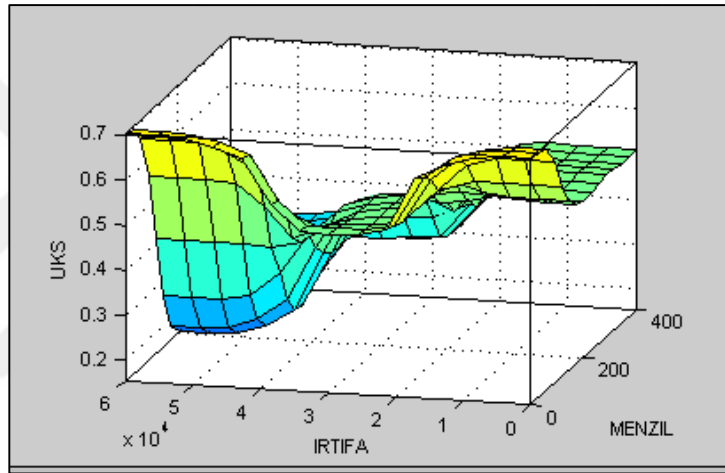


## 4.BULGULAR

### 4.1 Bulanık Sistemin Kontrolü

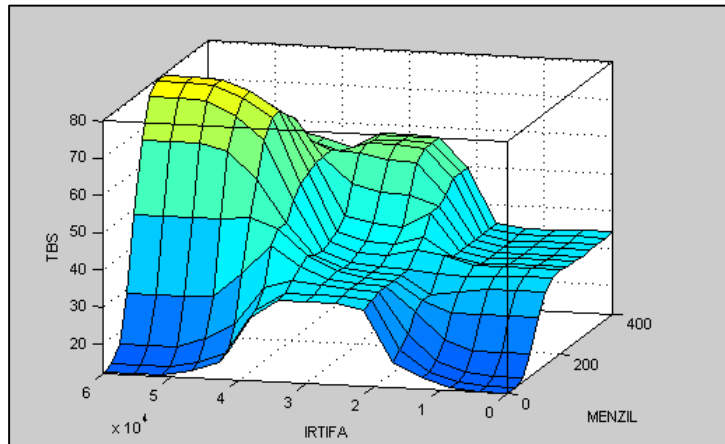
Veri yüzey grafiği: Bulanık Mantık Araç Kutusu tasarlanan bulanık tabanlı kontrol sistemlerinin iki yönlü kontrol ve testine izin vermektedir. Bu amaçla kullanılan ilk araç yüzey görüntüleme aracı olup girdilere bağlı olarak elde edilen sonuçlara ilişkin bir nevi grafik özelliği taşıyan görsel bir araçtır.

Menzil-İrtifa girişlerine karşın ÜKS çıkışını gösteren veri yüzey grafiği aşağıdaki Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde özellikle menzilde yaklaşık 100 km altında irtifada ise yaklaşık 20 bin feet altında ani kırılmalar görünmekte ÜKS değeri üst limite doğru hızla yaklaşmaktadır.

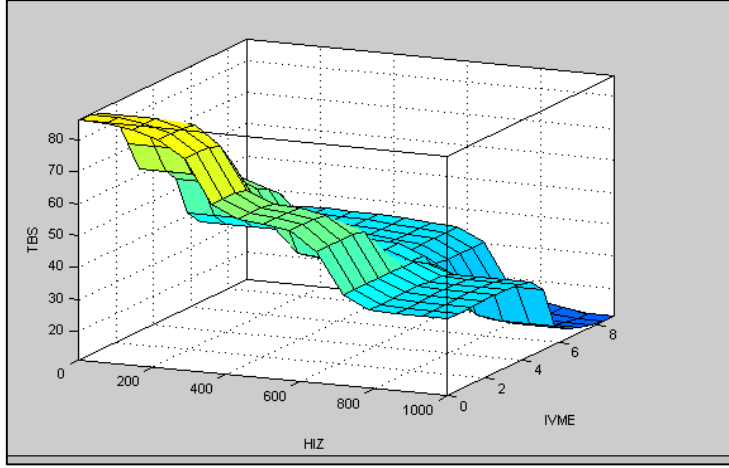


Şekil 4.1 ÜKS veri yüzey grafiği

Şekil 4.2’de ise TBS çıkış değerinin elde edildiği Menzil-İrtifa yüzey grafiği görülmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere 300 km menzil ve ötesinde çok fazla bir değişim gözlenmemekte irtifa olarak ise daha çok değişim 10 bin ile 45 bin feet arasında olduğu görülmektedir. Diğer aralıklarda daha stabildir.



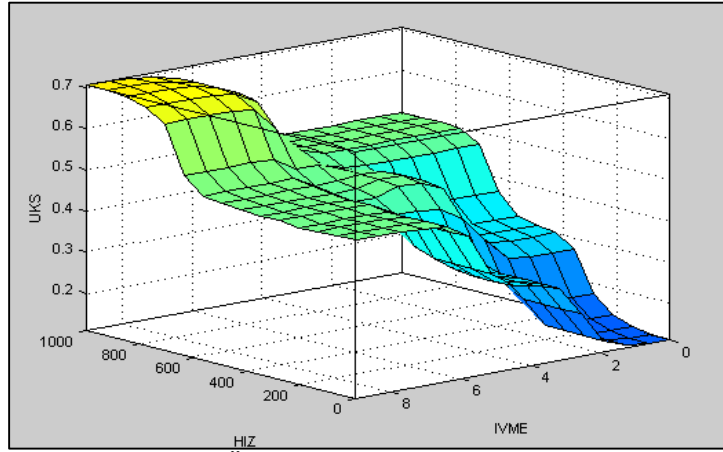
Şekil 4.2 TBS yüzey grafiği (irtifa-menzil)



Şekil 4.3 TBS yüzey grafiği (ivme-hız)

İvme-Hız grafiğinin giriş TBS'nin çıkış olduğu Şekil 4.3'de gösterilen yüzey grafiğine bakılacak olursa ivmenin 6 g olduğu değerde ve hızın 700 m/s olduğu yerlerde ani kırılma meydana geldiği ayrıca ivmenin 1-2 g ve hızın da 200 m/s ve altında olduğu durumlarda TBS değerinin maximum değerine yaklaştığı görülmektedir.

İvme-Hız grafiğinin giriş ÜKS'nin çıkış olduğu Şekil 4.4'de gösterilen yüzey grafiğine bakılacak olursa ivmenin 6,5 g olduğu değerde ve hızın 700 m/s olduğu yerlerde ani kırılma meydana gelerek ÜKS değerinin artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca ivmenin 3 g den 2 g'ye düşerken hız da 300 m/s den 200 m/s'ye düşerken ÜKS değerinde önemli ölçüde kırılmalar görülmekte ve ÜKS değerinin minimum değerine yaklaştığı görünmektedir.



Şekil 4.4 ÜKS yüzey grafiği (ivme-hız)

Kural gösterimi: Bulanık Mantık devremizi kontrol ettiğimiz diğer bir araç ise "Kural Gözleme" dediğimiz kuralların işleyişine göre giriş değerlerine uygun bir şekilde çıkış değerleri üreten araçtır. Bu modülde istenilen giriş değerlerine karşılık gelen sonuç değerlerini, kuralların etkinliğini, birbirleri ile olan ilişkilerini görüp kurallar arası işlemlerin tutarlılığını gözlemleyip kontrol edebiliriz Ek-2'de gördüğümüz gibi menzil ve irtifa minimum, hız ve ivme maksimum değerler

aldığında ÜKS değerinin maksimum değeri olan yaklaşık 0,7 ms ve TBS değerinin minimum değeri olan yaklaşık 10 ms değeri aldığı görülmüş olup bu da bize kuralların doğru oluşturulduğunu göstermektedir.

Yine benzer şekilde Ek-3’de gördüğümüz gibi öncelik derecesi en az olan bir hedef menzil ve irtifa maksimum, hız ve ivme minimum değerler alınarak oluşturulmuş olup ÜKS değerinin minimum değerini 0,08 ms olarak aldığı ve TBS değerinin ise maksimum değerine yakın bir değer olarak 90 ms değeri aldığı görülmüş olup bu da bize kuralların doğru oluşturulduğunu bir kez daha göstermektedir.

Yine istendiğinde ara değerler alınarak veya yalnızca bir giriş değeri değiştirilerek kural tabanının doğru oluşturulup oluşturulmadığı görülebilmekte gerektiğinde kurallarda düzeltmeler yapılabilmektedir. Üzerinde çalışılmış kural tabanı. Ek-1’de verdiğimiz şekildedir.

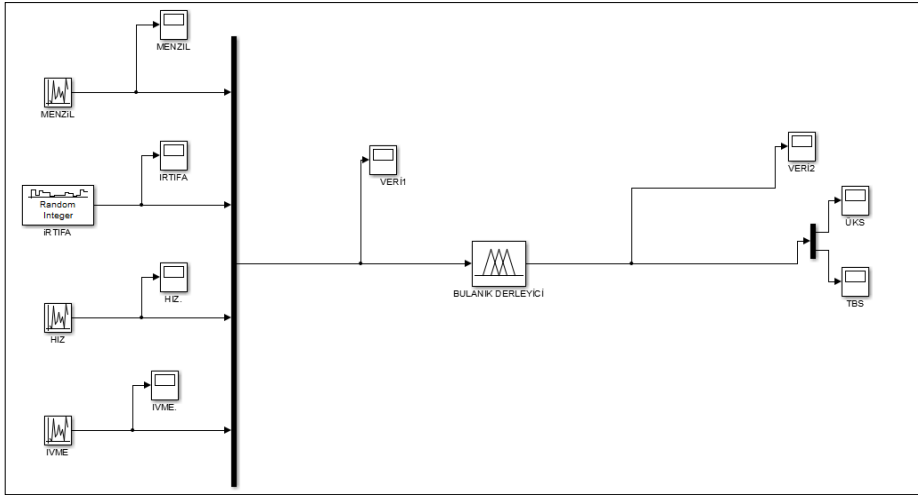
#### 4.2 Simulink’de Modelin Oluşturulması

Çalışmanın bu aşamasında problemin çözümünün ilk aşamasında oluşturulan bulanık tabanlı kontrolcü ikinci aşamada oluşturulan model ile hedefin özellikleri alınarak buna göre radar hızmesinin hedef üzerinde ÜKS olarak isimlendirdiğimiz uygun süre kalması sağlanmakta ve TBS olarak isimlendirdiğimiz aynı hedefe bir sonraki radar bakışının ne zaman yapılması gerektiği tasarlanacak. Bu model MATLAB Simulink ortamında oluşturulacak ve bu modelle hedeften gelen veriler ile bulanık mantık devresi entegre edilerek çıkış değerleri elde edilmektedir.

#### 4.3 Sistemin Monostatik Olarak Modellenmesi

Sistemi modelleyebilmek amacıyla simulink ortamında bu yazılımın kütüphanesinde yer alan işlem bloklarından yararlanılmakta, böylelikle yukarıda Bulanık Mantık Araç Kutusu ile oluşturulan Bulanık Mantık Derleyici elemanı ile Hedef elemanı birbirine entegre edilmektedir. Bulanık Mantık Derleyici elemanı hedeften gelen bilgilerle radar için hüzme yönlendirme verisi oluşturmaktadır.

Hedeften gelen verilerin simulink ortamına aktarılması amacıyla Simulink elemanlarından faydalanılmakta olup aşağıdaki Şekil 4.5’de örnek olarak çoklu hedef simülörünü ve buna entegre çalışan Bulanık Mantık Derleyici elemanı görülmektedir.



Şekil 4.5 Çoklu hedef simülasyonu ve bulanık mantık devresi

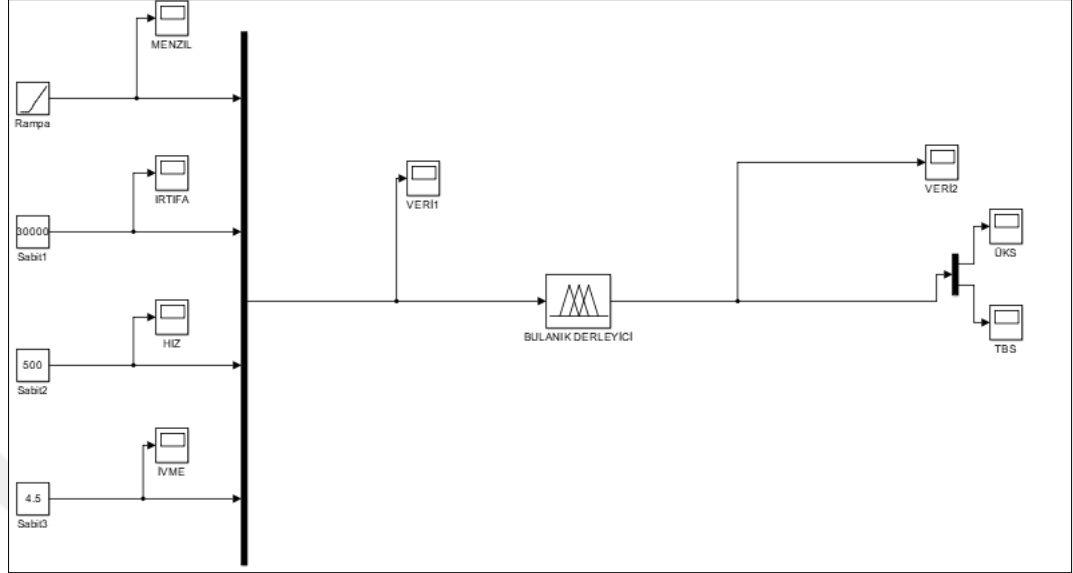
Hedef simülasyonu; menzil değeri 0-400 arasında “Uniform Random” adındaki devre elemanı, irtifa değeri 0-60000 arasında “Random İnteger” adındaki devre elemanı, hız değeri 0-1000 m/s arasında “Uniform Random” adındaki devre elemanı, ivme değeri 0-9 g arasında “Uniform Random” adındaki devre elemanı kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu değerleri sırasıyla giriş olarak alan ve yukarıda tasarımı anlatılan Bulanık Kontrolcü “FIS” devre elemanı kullanılarak oluşturulmaktadır.. Çıkışında ise radara hüzme verisi sağlayacak sırasıyla ÜKS ve TBS değerleri elde edilmektedir.. Ayrıca oluşturulan modelde veri akışını kontrol edecek “monitör” devre elemanları uygun yerlere yerleştirilmekte ve böylelikle veriler alınmaktadır.

#### 4.4. Hedefteki Değişimlere Karşı Çıkışların Bulanık Mantık İle Belirlenmesi

##### 4.4.1. Hedefteki mesafe değişimine karşı çıkışların bulanık mantık derleyici ile belirlenmesi

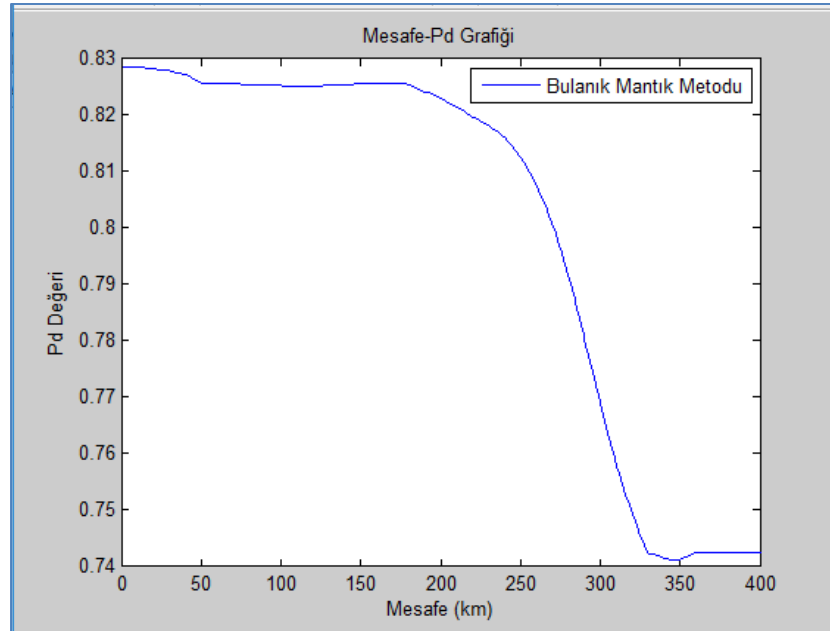
Yaklaşan bir hedefin öncelik derecesi artacağından mesafesi daha yakın olan bir hedef daha önemli hale gelmektedir. Bundan dolayı bu hedefin daha yüksek bir  $P_d$  değeri ile tespiti ve takibi gerekecektir. Daha değerlikli bir hedef haline dönüşen bu hedeflerin daha hassas olarak takip edilmesi kritiktir. Bu saydığımız fonksiyon her ne kadar yukarıda bahsi geçen Ağırlıklandırılmış Metod ile yapılırsa da bulanık mantığın kestirim gücünün yüksek olması ve esneklik ve tasarım kolaylığı avantajlarından faydalanılarak aşağıdaki Şekil 4.6’da oluşturulan model üzerinden çıkış verileri elde edilmiştir.

Şekil 4.6’da oluşturulan hedef özelliklerinden irtifa 30 bin feet, hız 500 m/s, ivme 4.5 g değeri olmak üzere ortalama değerde sabit bir değer verecek “Sabit” devre elemanı olarak seçilmiş ve mesafe değeri 400 km’den başlamak kaydıyla azaltılacak şekilde “rampa” devre elemanı olarak seçilmiştir.



Şekil 4.6 Mesafe değişim modeli

Modelden elde edilen ÜKS çıkış değerini kullanan radarın hedefin mesafe değişimine karşı  $P_d$  değerindeki değişim aşağıdaki Şekil 4.7’deki gibi elde edilmiştir.



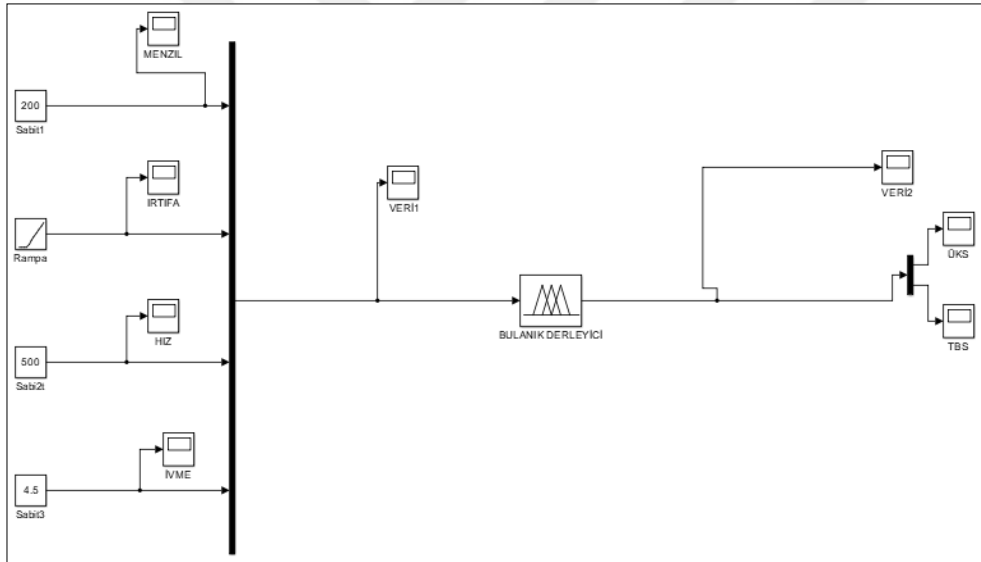
Şekil 4.7 Mesafe -  $P_d$  grafiği

Grafikten de anlaşılacağı üzere hedef mesafesi radara yakinken yani hedef diğer özellikleri aynı olan uzaktaki diğer bir hedefe göre daha öncelikli hale geldiğinde  $P_d$  değeri bulanık mantık devresi kullanılarak artırılmıştır.

#### 4.4.2 Hedefteki irtifa değişimine karşı çıkışların bulanık mantık derleyici ile belirlenmesi

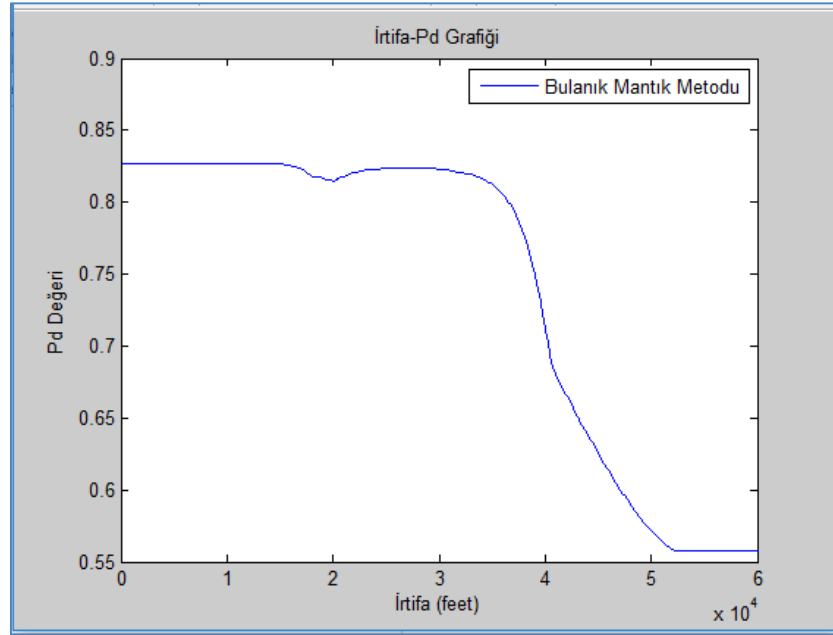
İrtifası azalan bir hedefin öncelik derecesi artacağından irtifası daha düşük olan bir hedefe göre daha önemli hale gelmektedir. Bundan dolayı bu hedefin daha yüksek bir  $P_d$  değeri ile tespiti ve takibi gerekecektir. Daha değerlikli bir hedef haline dönüşen bu hedeflerin daha hassas olarak takip edilmesi kritiktir. Radarımızın kaynağının buna göre planlanması gerekmektedir. Bu fonksiyon Ağırlıklandırılmış Metod ile yapılırsa da bulanık mantık daha etkili bir çözüm oluşturmaktadır. Bulanık mantık kullanılarak aşağıdaki şekil 4.8’de oluşturulan model üzerinden çıkış verileri elde edilmiştir.

şekil 4.8’de oluşturulan hedef özelliklerinden mesafe 200 km, hız 500 m/s, ivme 4,5 g değeri olmak üzere ortalama değerde sabit bir değer verecek ‘‘Sabit’’ devre elemanı olarak seçilmiş ve irtifa değeri 60000 feetden başlamak kaydıyla azaltılacak şekilde ‘‘rampa’’ devre elemanı olarak seçilmiştir.



şekil 4.8 İrtifa değişim modeli

Modelden elde edilen ÜKS çıkış değerini kullanan radarın hedefin irtifa değişimine karşı  $P_d$  değerindeki değişim aşağıdaki şekil 4.9’deki grafik ile elde edilmektedir.



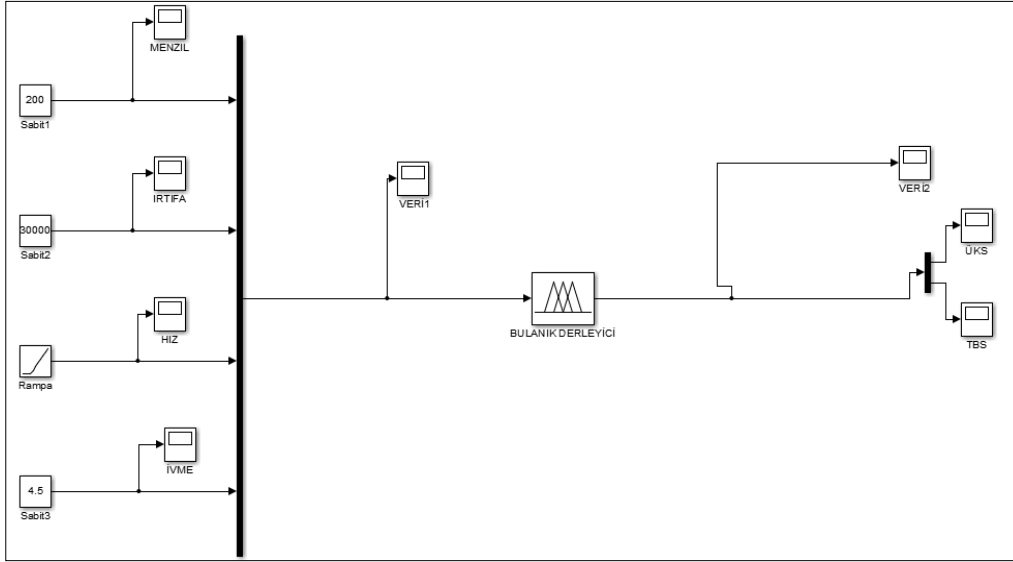
Şekil 4.9 İrtifa -  $P_d$  grafiği

Grafikten de anlaşılacağı üzere hedef irtifa olarak alçak olduğu durumda yani hedef, diğer özellikleri aynı olan daha yüksek irtifadaki diğer bir hedefe göre daha öncelikli hale geldiğinde  $P_d$  değeri bulanık mantık devresi kullanılarak arttırılmıştır. Hedefin irtifası arttığında ise radar kaynak yönetimi yapılarak ÜKS değeri ve dolayısıyla  $P_d$  değeri düşmüştür. Bu kaynak; etraftaki başka öncelikli hedeflere ayrılmış hedef olmasa dahi yeni hedef bulmaya aktarılmıştır.

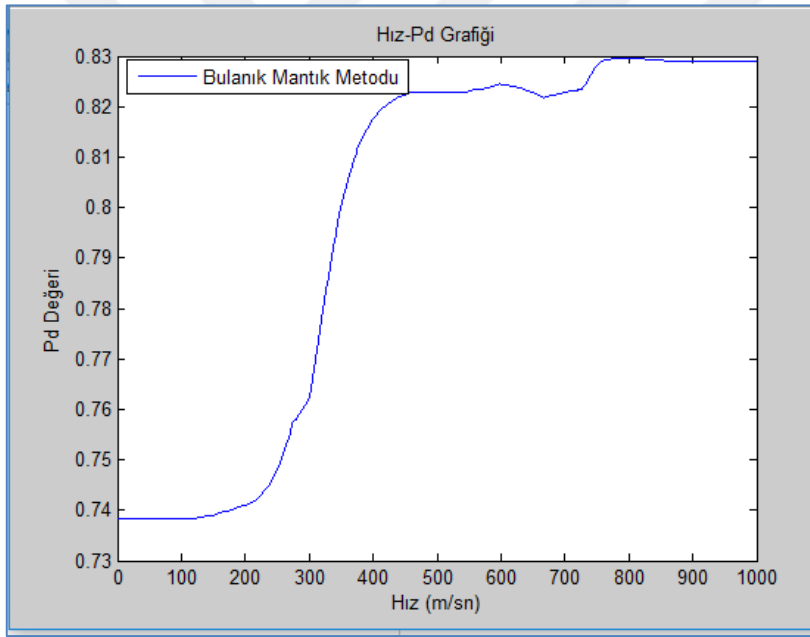
4.4.3 Hedefteki hız değişimine karşı çıkışların bulanık mantık derleyici ile belirlenmesi

Hızı artan bir hedefin öncelik derecesi artacağından hızı daha düşük olan bir hedefe göre daha önemli hale gelmektedir. Bundan dolayı bu hedefin daha yüksek bir  $P_d$  değeri ile tespiti ve takibi gerekecektir. Daha değerlikli bir hedef haline dönüşen bu hedeflerin daha hassas olarak takip edilmesi önemlidir. Radarımızın kaynağının buna göre planlanması gerekmektedir. Bulanık mantık kullanılarak aşağıdaki Şekil 4.10'da oluşturulan model üzerinden çıkış verileri elde edilmiştir.

Şekilde oluşturulan hedef özelliklerinden mesafe 200 km, irtifa 30000 feet, ivme 4.5 g değeri olmak üzere ortalama değerde sabit bir değer verecek "Sabit" devre elemanı olarak seçilmiş ve hız değeri azami 1000 m/s olacak şekilde 10 m/s aralıklarla lineer arttırılacak şekilde "rampa" devre elemanı olarak seçilmiştir.



Şekil 4.10 Hız değişim modeli

Şekil 4.11 Hız  $P_d$  grafiği

Modelden elde edilen ÜKS çıkış değerini kullanan radarın hedefin hız değişimine karşı  $P_d$  değerindeki değişim Şekil 4.11'deki grafik elde edilmiştir.

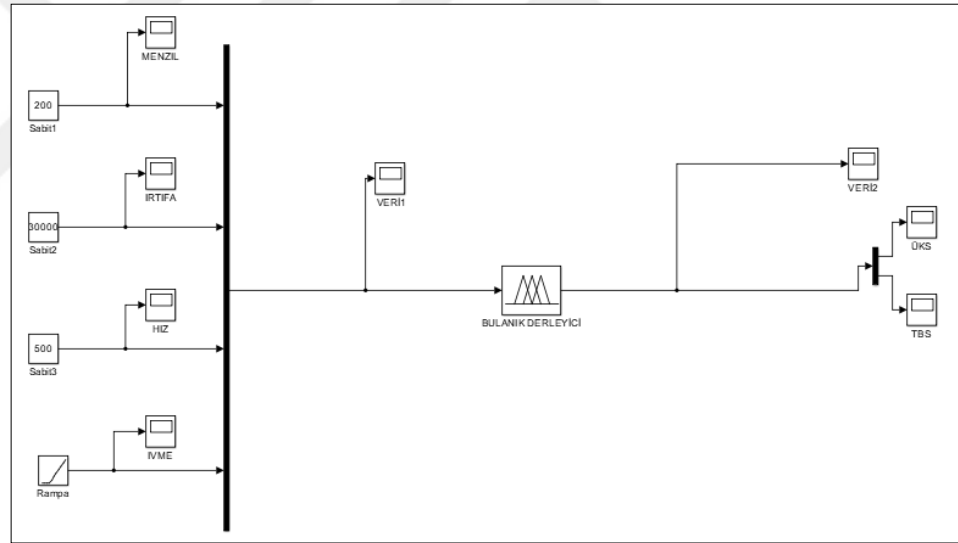
Grafikten de anlaşılacağı üzere hedef hızlı olduğu durumda yani hedef, diğer özellikleri aynı olan daha yavaş diğer bir hedefe göre daha öncelikli hale geldiğinde  $P_d$  değeri bulanık mantık devresi kullanılarak arttırılmıştır. Hedefin hızı azaldığında ise yine radar kaynak yönetimi yapılarak ÜKS değeri ve dolayısıyla  $P_d$  değeri düşmüştür. Bu kaynak; etraftaki başka öncelikli hedeflere ayrılmış, hedef olmasa dahi yeni hedef bulmaya aktarılmıştır. Bu da adaptif bir radar ortaya konulmasını sağlamış ve radarın harekât ortamında özellikle hızı

yüksek olan füze, ses üstü uçan uçak gibi hızlı hedeflerin tespit ve takibinde avantajlı duruma getirmiştir.

4.4.4 Hedefteki ivme değişimine karşı çıkışların bulanık mantık derleyici ile belirlenmesi

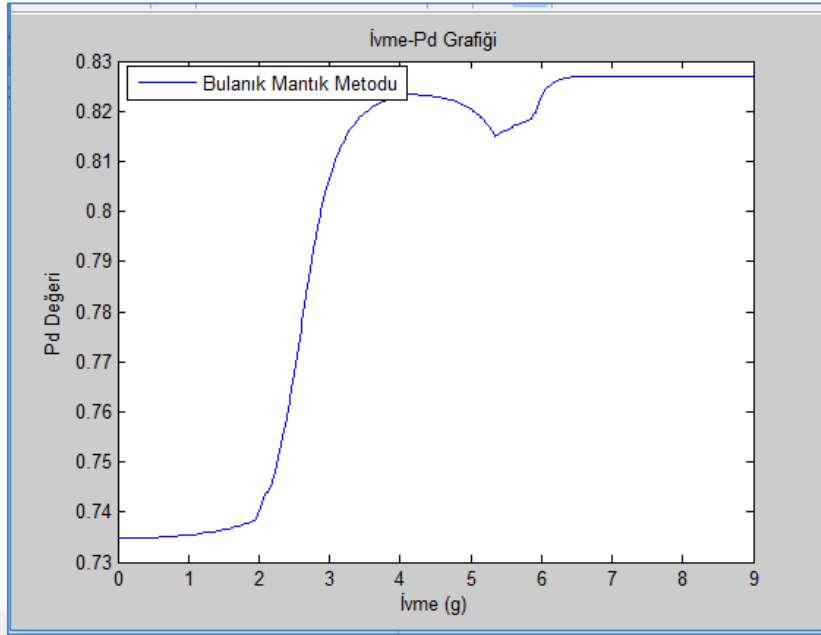
İvmesi artan bir hedefin öncelik derecesi artacağından ivmesi daha düşük olan bir hedefe göre daha önemli hale gelmektedir. Bundan dolayı bu hedefin daha yüksek bir  $P_d$  değeri ile tespiti ve takibi gerekecektir. Daha değerlikli bir hedef haline dönüşen bu hedeflerin daha hassas olarak takip edilmesi önemlidir. Radarımızın kaynağının buna göre planlanması gerekmektedir. Bulanık mantık kullanılarak aşağıdaki Şekil 4.12’de oluşturulan model üzerinden çıkış verileri elde edilmiştir.

Şekilde oluşturulan model için hedef özelliklerinden mesafe 200 km, irtifa 30000 feet, hız 500 m/s değeri olmak üzere ortalama değerde sabit bir değer verecek “Sabit” devre elemanı olarak seçilmiş ve ivme değeri azami 9 g olacak şekilde değeri lineer arttıran “rampa” devre elemanı olarak seçilmiştir.



Şekil 4.12 İvme değişim modeli

Modelden elde edilen ÜKS çıkış değerini kullanan radarın ivme değişimine karşı  $P_d$  değerindeki değişim aşağıdaki Şekil 4.13’deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.13 İvme -  $P_d$  grafiği

Grafikten de anlaşılacağı üzere hedef ivmelendiği durumda yani hedef, diğer özellikleri aynı olan daha az manevra yapan diğer bir hedefe göre daha öncelikli hale geldiğinde  $P_d$  değeri bulanık mantık devresi kullanılarak arttırılmıştır. Hedefin manevrası azaldığında ise yine radar kaynak yönetimi yapılarak ÜKS değeri ve dolayısıyla  $P_d$  değeri düşmüştür. Bu kaynak; etraftaki başka öncelikli hedeflere ayrılmış, hedef olmasa dahi yeni hedef bulmaya aktarılmıştır. Bu da radarın harekât ortamında özellikle manevra yeteneği yüksek olan yeni nesil jet uçakları gibi hedeflerin tespit ve takibinde avantaj sağlamaktadır.

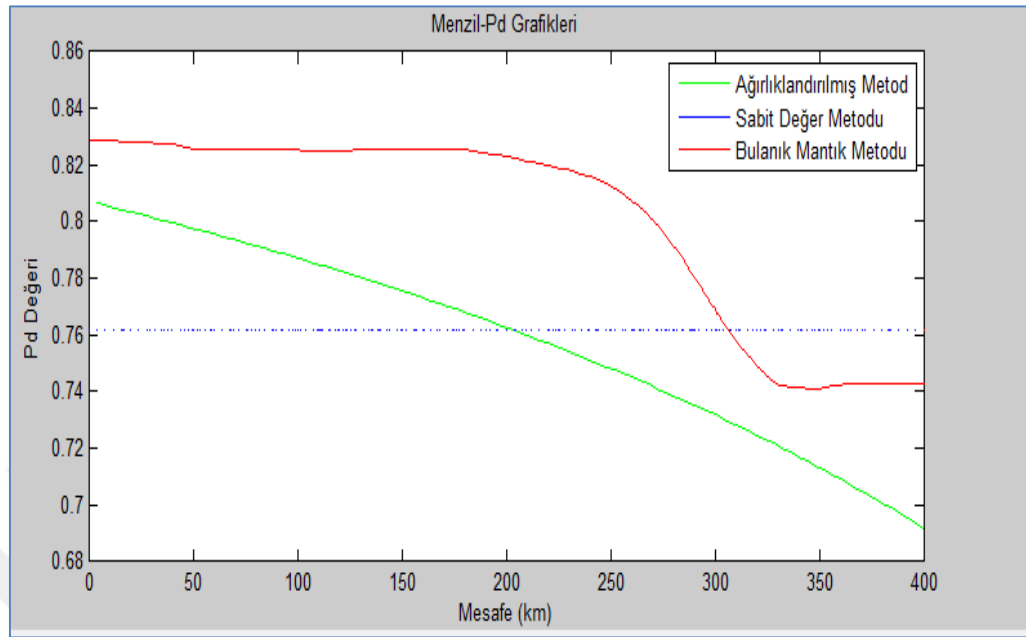
#### 4.5 Bulanık Mantık Metodu ile Diğer Metodların Karşılaştırılması

Bulanık mantık ile elde edilen yukarıdaki problem çözümlerinin Ağırlıklandırılmış Metod ve Sabit Değer Metoduna göre üstünlükleri olup olmadığını gözlemlemek faydalı olacaktır. Bu kapsamda hedefin değişen özelliklerinden mesafe, irtifa, hız ve ivme değerlerine karşılık olarak Bölüm 4.3'de kurulan simulink model yardımıyla bulanık mantık ile elde ettiğimiz grafikler ile Ağırlıklandırılmış Metoda elde ettiğimiz grafikler ve Sabit Değer Metodunda da elde edilen  $P_d$  değerini karşılaştırdığımızda üç metod arasındaki farkları göreceğiz. Böylelikle tek grafik üzerinden daha kolay yorum yapabileceğiz.

##### 4.5.1 Üç metotta elde edilen Mesafe- $P_d$ grafiklerinin karşılaştırılması

Ağırlıklandırılmış Metod, Sabit Değer Metodu ve Bulanık Mantık Metodu ile elde edilen Mesafe- $P_d$  grafiği aşağıdaki Şekil 4.14'de gösterilmiştir. İrtifa 30

bin feet, Hız 500 m/s, İvme ise 4.5 g sabit değer olmak üzere Mesafe değeri 0-400 km arasında değişen değerler alınırken elde edilen grafik şu şekilde olmuştur.



Şekil 4.14 Üç metod Menzil - $P_d$  grafiği

Şekil 4.14'deki grafikten de görüldüğü üzere hedefe ait diğer değerler sabit tutulduğunda mesafe değeri azaldıkça yani operasyonel anlamda hedef önceliği arttığında  $P_d$  değeri artmaktadır. Bu da radarımızdaki kaynak yönetim algoritmasında bulunan bulanık mantık tabanlı kontrolcü ile mümkün olmuştur. Hedefin önceliği azaldığında yani radarımıza olan mesafesi arttığında ise radar hüzmesinin hedef üzerinde kalış süresi olarak tanımlanan ÜKS değeri azaltılarak  $P_d$  değeri düşürülmüştür. Bu da o anda radar kaynağının, daha önemli hedeflere yönlendirilmesini veya yeni hedef aramaya yönlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Şekilden de anlaşıldığı üzere önemli yani mesafesi yakın hedefler için Bulanık Mantık Metodu ile elde edilen  $P_d$  değeri diğer iki metod ile elde edilen  $P_d$  değerinden daha yüksektir. Bu da operasyon anında önemli hedeflerin kaçırılma olasılığı yani  $P_{miss}$  değerinin daha düşük olması anlamına gelmektedir ki bu radarımızı harekât ortamında öne çıkaran özellik olarak karşımıza çıkmaktadır.

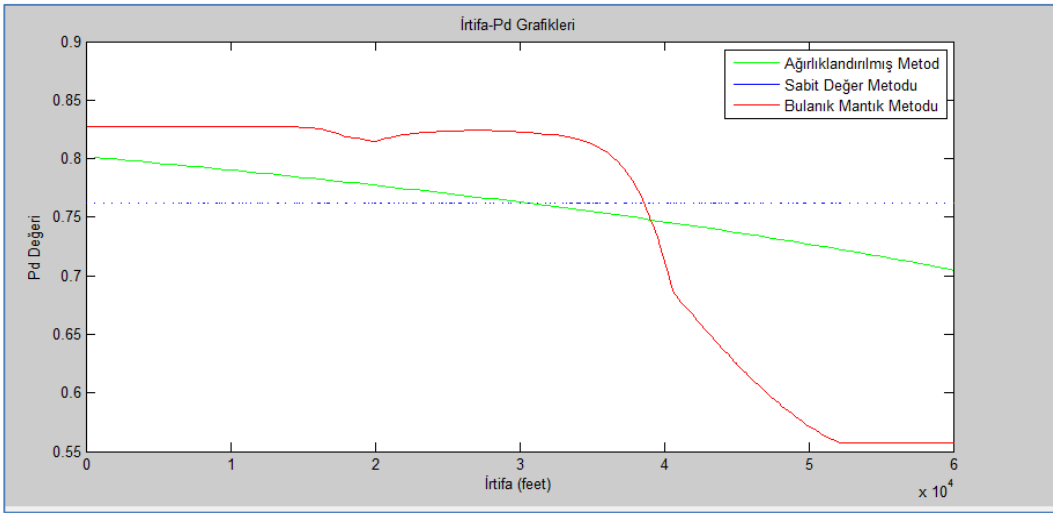
Burada mesafe değişimi ile radar denkleminde kaynaklı olarak  $P_d$  değişimi göz ardı edilmiştir. Çünkü her üç methodda da aynı etkiyi göstermektedir.

#### 4.5.2 Üç methodda elde edilen İrtifa- $P_d$ grafiklerinin karşılaştırılması

Ağırlıklandırılmış Metod, Sabit Değer Metodu ve Bulanık Mantık Metodu ile elde edilen İrtifa- $P_d$  grafiği aşağıdaki Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Mesafe 200

km, Hız 500 m/s, İvme ise 4.5 g sabit değer olmak üzere İrtifa değeri 0-400 km arasında değişen değerler alınırken elde edilen İrtifa-  $P_d$  grafiği Şekil 4.15'deki gibi olmuştur.

Radarımızdaki kaynak yönetim algoritmasında bulunan bulanık mantık tabanlı derleyici sayesinde şekildeki grafikte de görüldüğü üzere hedefe ait diğer değerler sabit tutulduğunda irtifa değeri azaldıkça yani operasyonel anlamda hedef önceliği arttığında  $P_d$  değeri artmaktadır. Hedefin önceliği azaldığında yani hedefin irtifası arttığında ise radar hızmesinin hedef üzerinde kalış süresi olarak tanımlanan ÜKS değeri azaltılarak  $P_d$  değeri düşürülmüştür. Bu da o anda radar kaynağının, daha önemli hedeflere yönlendirilmesini veya yeni hedef aramaya yönlendirilmesini mümkün kılmaktadır. İleride örnek olarak vereceğimiz çoklu hedef simülöründe bu özelliğin nasıl çalıştığını görülecektir.

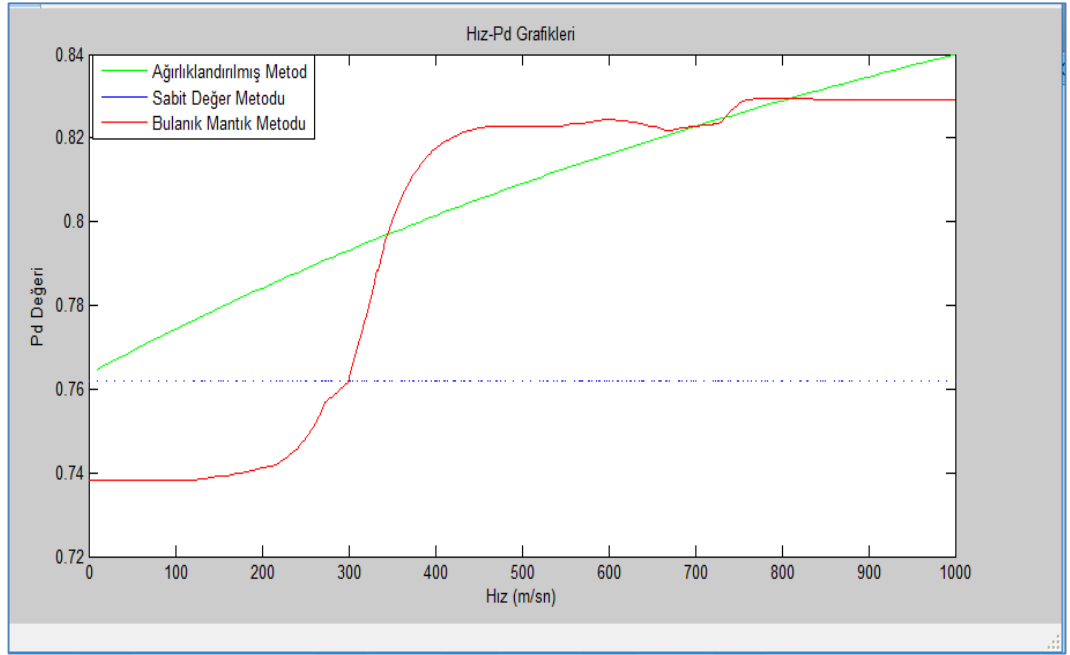


Şekil 4.15 Üç metod İrtifa -  $P_d$  grafiği

Şekilden görüldüğü üzere önceliği yüksek olan yani irtifası düşük hedefler için Bulanık Mantık Metodu ile ulaşılan  $P_d$  değeri diğer iki metod ile elde edilen  $P_d$  değerinden yüksektir.

#### 4.5.3 Üç metotta elde edilen Hız- $P_d$ grafiklerinin karşılaştırılması

Ağırlıklandırılmış Metod, Sabit Değer Metodu ve Bulanık Mantık Metodu ile elde edilen Hız- $P_d$  grafiği aşağıdaki Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Mesafe 200 km, İrtifa 30 bin feet, İvme ise 4.5 g sabit değer olmak üzere hız değeri 0-1000 m/s arasında değişen değerler alınırken elde edilen Hız- $P_d$  grafiği Şekil 4.16'daki gibi olmuştur.



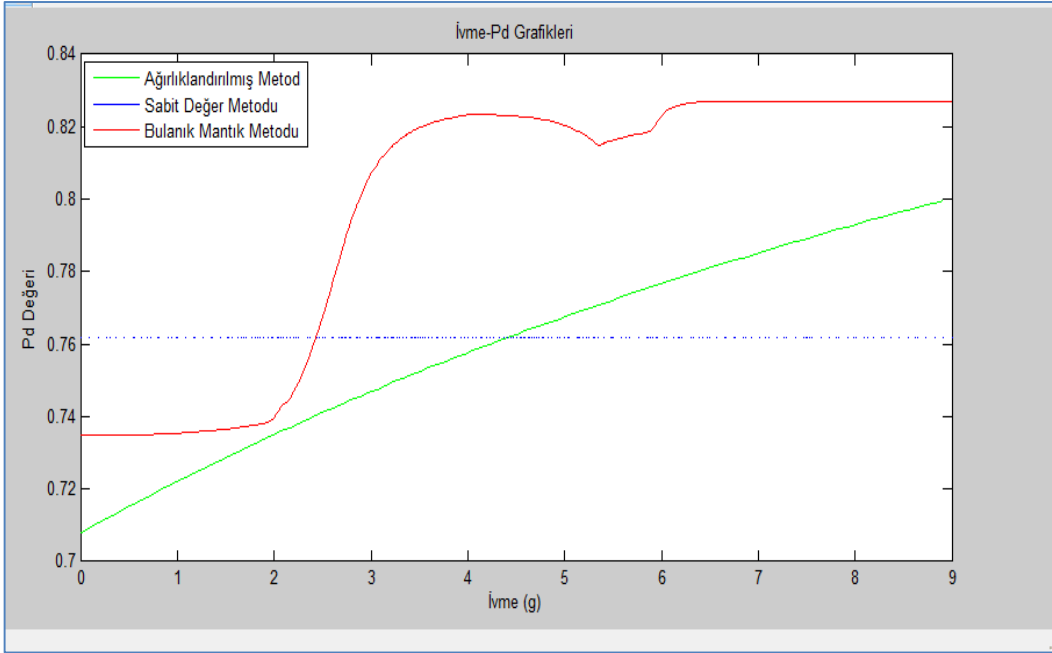
Şekil 4.16 Üç metod Hız - $P_d$  grafiği

Her üç metod ile de gösterilen Hız- $P_d$  grafiğinde radarımızdaki kaynak yönetim algoritmasında bulunan bulanık mantık tabanlı kontrolcü sayesinde şekildeki grafikten de görüldüğü üzere hedefe ait diğer değerler sabit tutulduğunda hız arttığında yani operasyonel anlamda hedef önceliği arttığında  $P_d$  değeri ciddi oranda artmaktadır. Sonuçlar bir önceki mesafe ve irtifa grafiğinde elde edilen sonuçlara göre özellikle çok yüksek hızlarda stabil hale gelmektedir ki bunun sebebi seçilen üyelik fonksiyonu ve uygulanan kurallar olmuştur. Bu kuralları oluştururken düşündüğümüz sav belli bir hızdan fazla hareket eden hedef füze gibi bir hedef olacağından önceliklendirme algoritması biraz düşük profilde çalışmıştır. Hedefin önceliği azaldığında yani hedefin hızı ciddi oranda azaldığında ise radar hüzmesinin hedef üzerinde kalış süresi olarak tanımlanan ÜKS değeri azaltılarak  $P_d$  değeri düşürülmüştür. Bu da o anda radar kaynağının, daha önemli hedeflere yönlendirilmesini veya yeni hedef aramaya yönlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Burada bir ölçüde sapmalar yaşansa da çoklu hedef simülöründe bulanık mantığımızın nasıl etkin bir şekilde çalıştığı görülecektir.

Şekilden de anlaşıldığı üzere önceliği yüksek yani hızı yüksek hedefler için Bulanık Mantık Metodu ile elde edilen  $P_d$  değerinin özellikle taarruz yapan jet uçaklarının seyrettiği 350 – 700 m/s hız aralığında diğer iki metod ile elde edilen  $P_d$  değerinden daha yüksektir. Bu da operasyon anında özellikle taarruz yapan jet uçakları gibi önemli hedeflerin kaçırılma olasılığının düşük olması anlamına gelmektedir.

#### 4.5.4 Üç metotta elde edilen İvme- $P_d$ grafiklerinin karşılaştırılması

Ağırlıklandırılmış Metod, Sabit Değer Metodu ve Bulanık Mantık Metodu ile elde edilen İvme- $P_d$  grafiği aşağıdaki Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Mesafe 200 km, İrtifa 30 bin feet ve Hız 500 m/s sabit değer olmak üzere ivme değeri 0-9 g arasında değişen değerler alınırken elde edilen İvme- $P_d$  grafiği Şekil 4.17’deki gibi olmuştur.



Şekil 4.17 Üç metod İvme -  $P_d$  grafiği

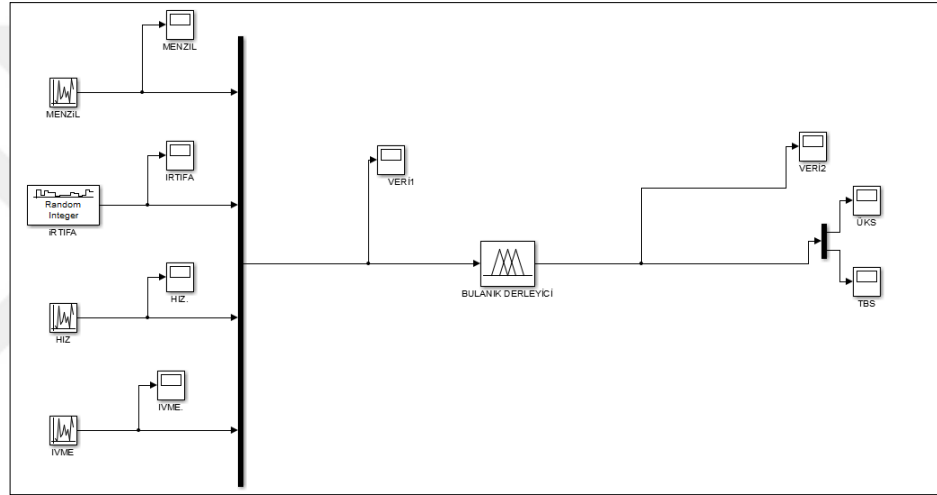
Her üç metod ile de gösterilen İvme- $P_d$  grafiğinde hedefe ait diğer değerler sabit tutulduğunda ivme arttığında yani operasyonel anlamda hedef önceliği arttığında  $P_d$  değeri artmakta belli bir ivmeden sonra hala yüksek olsa da daha sabit hale gelmektedir. Radarımızdaki kaynak yönetim algoritmasında bulunan bulanık mantık tabanlı kontrolcü sayesinde elde edilen grafikten de görüldüğü üzere. Yüksek ivmelerde sabit hale gelen  $P_d$  değerinin düşmesinde fonksiyonu ve uygulanan kurallar etkili olmuştur. Bu kurallarda kullanılan dilsel ifadeler göre 6 g den sonrası yüksek ivme kabul edilmiştir. Aslında bu stabil çalışma değerindeki  $P_d$  değeri dâhi diğer iki metoddaki  $P_d$  değerine göre çok daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Hedefin ivmesi azaldığında yani öncelik azaldığında ise radar hüzmesinin hedef üzerinde kalış süresi olarak tanımlanan ÜKS değeri azaltılarak  $P_d$  değeri Sabit Değer Metodunda atanan değer altına düşürülmüştür. Bu da o anda radar kaynağının, daha önemli hedeflere yönlendirilmesini veya yeni hedef aramaya yönlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Şekilden de anlaşıldığı üzere önceliği yüksek yani ivmesi orta ve yüksek hedefler için Bulanık Mantık Metodu ile elde edilen  $P_d$  değeri diğer iki metod ile elde edilen  $P_d$  değerinden daima daha yüksektir. Bu da operasyon anında özellikle

manevra ile taarruz yapan veya dost unsurlara önleme yapan jet uçakları gibi önemli hedeflerin kaçırılma olasılığının düşük olması anlamına gelmektedir. Bu operasyonel anlamda önemlidir.

#### 4.6 Çoklu Hedef Simülatorü

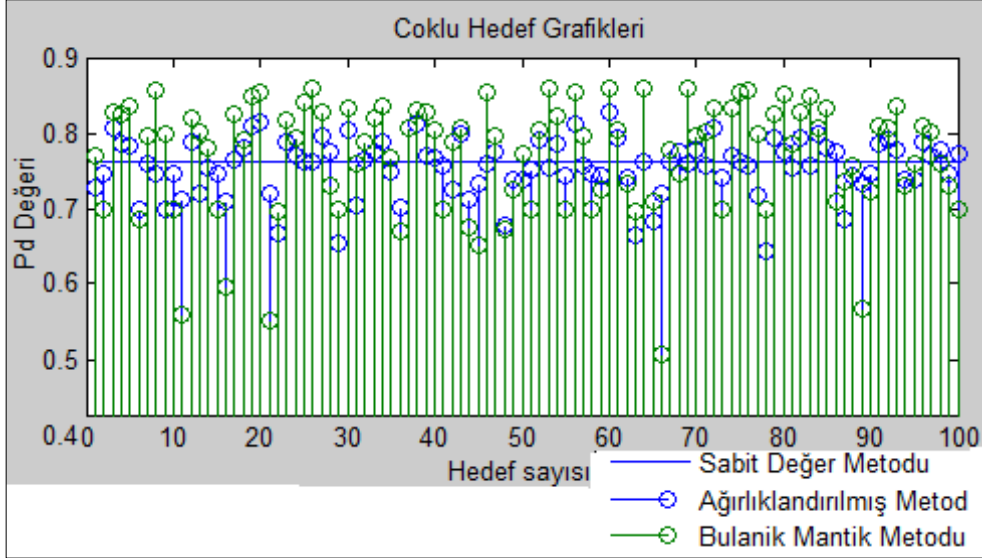
Çoklu hedeflerin simüle edildiği bir MATLAB simülink model aşağıda görünen Şekil 4.18'deki gibi tasarlanmış olup burada 100 adet hedef yukarıda da verilen menzil, irtifa, hız, ivme değerleri ile simüle edilmiştir. Bu 100 adet hedefin radarımız ile tespit ve takibinin yapılması amacıyla kaynak yönetim algoritmasının içerisine entegre edilmiş olan Bulanık mantık tabanlı kontrolcü kullanılmaktadır. Böylelikle hedefin değişen özelliklerine karşın hüzmeyi yönlendiren ve kaynağı ona göre yöneten bir tasarım oluşturulmaktadır.



Şekil 4.18 Çoklu hedef simülink modeli

Bu tasarımda Hedef simülatorü 100 adet hedefi simüle etmektedir. Bu hedefler; menzil değeri 0-400 arasında, hız değeri 0-1000 m/s, ivme değeri 0-9 g arasında “Uniform Random” adındaki devre elemanı, irtifa değeri 0-60000 feet arasında “Random İnteger” adındaki devre elemanı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu değerleri sırasıyla giriş olarak alan ve yukarıda tasarımı anlatılan Bulanık Kontrolcü “FIS” devre elemanı kullanılarak oluşturulmuştur. Çıkış da ise radara hüzmeye verisi sağlayacak sırasıyla ÜKS ve TBS değerleri elde edilmiştir. Ayrıca oluşturulan modelde veri akışını kontrol edecek “monitör” devre elemanları uygun yerlere yerleştirilmiş ve böylelikle veriler alınmıştır.

Tasarlanan bu model ile elde edilen farklı özelliklerdeki rastgele 100 adet hedefe karşı Bulanık Mantık temelli radar kaynak yönetimi yapılarak elde edilen  $P_d$  değerleri ve diğer iki metod olan Ağırlıklandırılmış Metod ve Sabit Değer Metodundan elde edilen  $P_d$  değerleri aşağıdaki Şekil 4.19'de görülmektedir.



Şekil 4.19 Çoklu hedef simülasyonu Üç metod  $P_d$  grafiği

Şekilde de görüldüğü gibi aynı anda birden çok hedef olduğunda bulanık mantık derleyicisi, hedeflerin özelliklerine göre radar hüzmesinin her bir hedef üzerinde kalma süresi olan ÜKS'yi çıkış işareti olarak üretmekte ve buna göre her bir hedef için  $P_d$  değeri belirlenmektedir. Ortamda çok hedef olduğunda diğer metodlarda elde edilen  $P_d$  değeri ile Bulanık Mantık Metodu ile elde edilen  $P_d$  değerleri arasında fark olduğu görülmekte olup bu özelliği Bulanık Mantık Metodunu diğer metodların öne çıkarmaktadır.

Grafikten elde edilen değerlere bakıldığında rastgele 100 hedef simüle edilmiş ve bu hedeften 71 tanesinde Bulanık Mantık Metoduyla elde edilen  $P_d$  değerleri Ağırlıklandırılmış Metoda göre daha yüksek çıkmıştır. 100 hedeften 62 adet hedef için Bulanık Mantık Metodundan elde edilen  $P_d$  değeri Sabit Değer Metoduyla elde edilen  $P_d$  değerinden daha yüksektir. 55 adet hedef için Sabit Değer Metoduyla elde edilen  $P_d$  değeri Ağırlıklandırılmış Metod ile elde edilen değerinden daha yüksektir.

Bulanık Mantık Metoduyla elde edilen bir kısım  $P_d$  değerinin neden düşük olduğuna bakıldığında uzman görüşüne göre bu hedeflerin öncelik derecelerinin düşük olduğu hareket ortamında daha az önemde hedef oldukları görülecektir. Örnek olarak bulanık mantık  $P_d$  değeri diğer yöntemlere nazaran düşük olan 11'inci, 16'ncı ve 21'inci hedefin Çizelge 4.1'deki özelliklerine bakalım.

Çizelge 4.1 Üç metod  $P_d$  değerleri

Hedef No	Mesafe	İrtifa	Hız	İvme	Sabit D. Met. $P_d$	Ağırlık. Met. $P_d$	Bulanık Mantık Met. $P_d$
11	211,880	58441	529,700	4,71	0,762	0,710	0,558
16	166,994	52231	417,485	3,71	0,762	0,709	0,595
21	210,771	53910	526,928	4,68	0,762	0,72	0,550

Söz konusu çizelgede de görüldüğü üzere bu hedeflerin ortak özelliği irtifa değerlerinin çok yüksek olmasıdır. İrtifa değerleri yüksek olan hedefler harekât ortamında önceliği az olan hedeflerdir. Bu nedenle radarımızda bulanık mantık derleyici yardımıyla kaynak yönetimi yapılarak radar hüzmesinin bu hedeflerin üzerinde kalma süresi düşürülerek daha öncelikli hedeflere yönlendirilmesi sağlanır.

Böylelikle radarımızın doyuma ulaştığı noktalarda daha az önemli hedeflerin takibinden vazgeçilme veya bu hedeflerin daha az  $P_d$  değeri ile takibi işlemi yapılır. Çünkü ortamda daha değerlikli hedefler vardır. Bu daha değerlikli hedeflerin  $P_d$  değerlerinin daha yüksek tutularak hedef takibi yapılmaktadır. Diğer iki yönteme bakıldığında her ne kadar Ağırlıklandırılmış Metod ile  $P_d$  değeri düşürülmüş olsa da bu yetersiz kalmaktadır çünkü daha az önemli hedefler üzerinde daha uzun süre ışığa tutulur ancak bu da diğer önemli hedefleri kaçırmak anlamına gelmektedir. İşte aslında radarımızı akıllı kılan bulanık mantık derleyicinin tasarımımda oluşturduğu bu farklılıktır. Bununla radarımız operasyonel anlamda klasik radarlarda belki bir operatörün yapması gereken işi veya yapılması mümkün olmayan bir işi kendisi yapabilmektedir

#### 4.7 Kümülatif $P_d$ Değeri

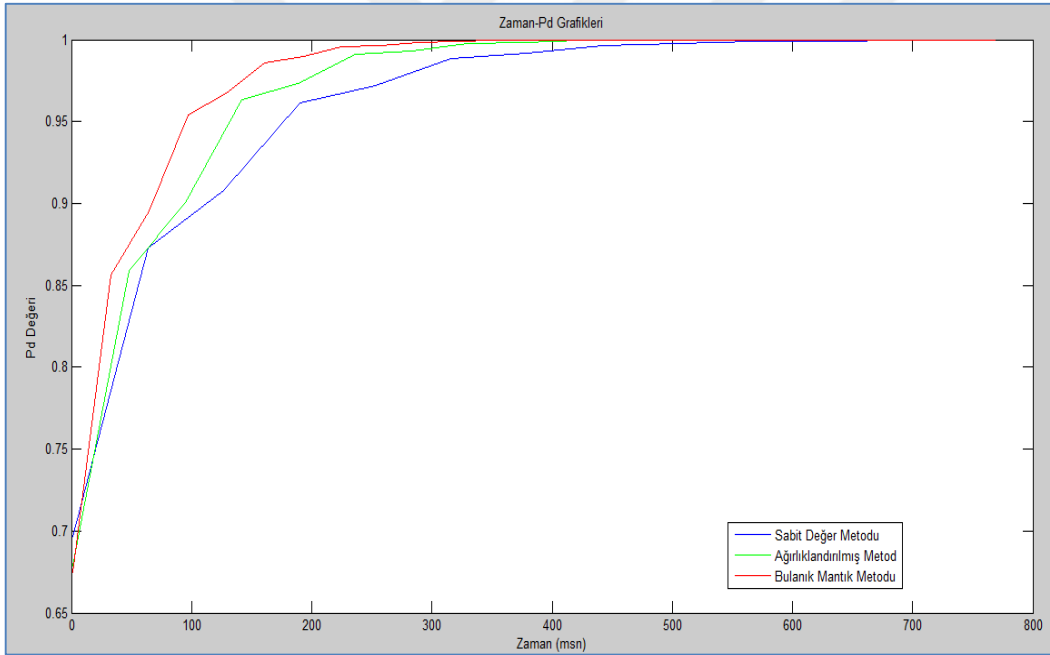
Buraya kadar incelediğimiz ÜKS çıkış değerinin yanı sıra bulanık mantık derleyicisinin çıkışında elde ettiğimiz TBS değerinin değişmesi ve dilsel ifadeler kullanılarak bulanık mantık tabanlı bir değer almasının kazandıracığı faydaya yönelik bir analiz aşağıda çıkarılmıştır.

Radar denkleminde bir yer işgal etmeyen TBS değeri kümülatif  $P_d$  değerinin artmasında önemli katkı sunmaktadır. Bu da diğer hedeflere nazaran önemli hedefler olarak düşüneceğimiz mesafesi yakın, irtifası düşük veya ivmesi ve hızı yüksek hedeflerin kaçırılma olasılığını düşürmektedir.

Hızı 500 m/s ivmesi 4,5 g ve irtifası 30 bin feet sabit bir irtifa olan hedef 400 km uzaklıktan yaklaşmaya başladığında, mesafe olarak yaklaşan bir hedefin önceliği operasyonel anlamda artacağından bulanık mantık derleyicimiz sayesinde hedefe tekrar bakma süresi olarak adlandırdığımız TBS değeri azalmış ve ÜKS

değeri artmıştır. Bu da radar hızmesinin hedef üzerinde toplam kalma süresini arttırmasını dolayısı ile kümülatif olarak  $P_d$  değerinin artmasını sağlamıştır.

Şekil 4.20’de görüldüğü üzere kırmızı renkli çizgi ile gösterilen bulanık mantık derleyicinin kullanıldığı Bulanık Mantık Metodunda kümülatif  $P_d$  değeri Ağırlıklandırılmış Metod ve Sabit Değer Metoduna göre çok hızlı bir şekilde artmıştır. 1 değerine daha kısa sürede erişmiş ve sürekli daha yüksek değerler almıştır. Diğer metod olan ve grafikde yeşil renk ile gösterilen Ağırlıklandırılmış Metodunise her ne kadar Sabit Değer Metoduna göre 1 değerine ulaşma süresi kısa olsa da Bulanık Mantık Metodunun gerisinde kaldığı görülmektedir. Sabit Değer Metodunda da anlatıldığı gibi Sabit Değer Metodunda ÜKS değeri 50 m/s ortalama değer olarak alınmış olup mavi renk ile gösterilen bu metoddakümülatif olarak  $P_d$  değerinin çok daha uzun sürede 1 değerine vardığı görülmekte ve mesafe azaldığında sürekli diğer metodlara nazaran düşük  $P_d$  değeri gözlemlenmektedir. Söz konusu analiz ile özellikle hedef mesafesi yaklaştıkça Bulanık Mantık Metodunun üstünlüğü bir kere daha ortaya konulmaktadır.



Şekil 4.20 Üç metod Kümülatif  $P_d$  grafiği

## 5. SONUÇLAR

Radarlar kullanılmaya başlandığı günden beri harekât ortamının vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Karşı tehdit olarak hedef çeşitleri arttıkça radarlar da gelişmeye başlamış ve çok farklı aileden çok çeşitde radar ortaya çıkmıştır. Bunlar hava gözetleme radarlarından, silah sisteminin atış kontrol radarlarına, güdüm radarlarından, uçan platformalara takılan geniş alan gözetleme radarlarına kadar bir çok alanda kullanılan radarlar olmuştur.

Radar sürecindeki bu gelişimle birlikte katı hal göndermeçli aktif faz dizili radarların ortaya çıkması ile bu radarların bize sunduğu en büyük avantajlardan biri  $P_d$  değerinin arttırılması olmuştur.

Aslında programlanabilen ve hüzmesi yönlendirilebilen radarların olmadığı bir ortamda bir operatörün hakim olabileceği sayıda hedef olsaydı operatör kendi el becerisiyle daha önemli olan hedefe daha sık bakacak ve üzerinde fazla kalacaktı. İşte radar böylelikle önemli hedefleri kaçırma olasılığını azaltacak ve bunların  $P_d$  değerinin yüksek olmasını sağlayacaktı. Tıpkı kalabalık bir toplulukta bir kişiyi takip etmek gibi... Eğer bu kişiyi takipten kaçırmak istemiyorsanız gözümüzle daha sık bakarız ve her bakışımızda daha uzun gözetleriz.

Ancak günümüz teknolojisinin geldiği durumda aktif faz dizili radarlarda her bir anten elemanı kontrol edilebilmekte ve bunların hüzmesi istenilen yöne yönlendirilebilmektedir. Yani örneğin 4000 tane gönderme alma çekirdeği olan bir anten 4000 tane radar gibi yayın yapılabilmektedir. Gözetleme teknolojisi seviyesinin bu olgunlukta olduğu günümüz harekât ortamında ayrıca hava sahasında aynı anda çok fazla sayıda ve fazla çeşitte hedef olduğundan bu radarların bir algoritma ile kaynak yönetimi yapılması son derece önemli hale gelmiştir. Eğer kaynak yönetimi etkili bir şekilde yapılamazsa radarımız çok kabiliyetli olmasına rağmen yeterli etkinlikle kullanılamaz.

Bu kaynak yönetiminde girdi ve çıktı çok fazla çeşitte olabilmekte ve bunlara yönelik bir çok metod kullanılabilenekte olup özellikle hedef önceliğinin önemli olduğu harekât ortamında yani harekât ortamı kriterlerine göre bazı hedeflerin daha hassas izlenmesi gerektiğinde kaynak yönetimi yapmak kaçınılmaz bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu hedeflerin neler olabileceği konusunda bir çok yaklaşım olabilmekle birlikte, çalışmamızda detaylı analiz edilen söz konusu yaklaşımımızda hedef önceliğine bakılırken dört adet hedef özelliği (mesafe,irtifa,hız,ivme) giriş parametresi olarak belirlenmiştir.Bu hedef özelliklerine göre harekât ortamında operatörün kullandığı harekât ve kullanım konseptine göre daha önemli hedef olarak düşünülen hedefler üzerinde radar hüzmesinin hedef üzerinde kaldığı ÜKS

ve tekrar bakma süresini tanımlayan TBS değerleri ayarlanmak suretiyle  $P_d$  değeri artırılarak daha yüksek tespit/takip oranı ile işlem yapılabilir. İşte bu ihtiyacı karşılayacak olan metodlardan birisi olarak öne sürdüğümüz ve çalışmamızda analiz ettiğimiz Bulanık Mantık Metodu ile önemli sonuçlar ortaya konmuştur. Tıpkı insan beyninin çalışma usulü gibi basit bir teknik ile örneğin hedef yakınsa veya hızlı ise üzerinde uzun kal ve sık bak, hedef yavaşsa üzerinde az kal ve seyrek bak gibi dilsel ifadeler kullanılarak çalışılan bu metod ile güçlü sonuçlar ortaya konulmuştur.

Bu sonuçlar kaynak yönetiminde bulunan bulanık mantık kontrolcü ile mümkün hale gelmiştir. Yani operatörün ve diğer bazı metodların yetişemediği bu noktada bulanık mantık derleyici imdadımıza yetişmiş hem kolay tasarımı hem de doğru sonuçlar ile radar kaynak yönetime katkı sağlamıştır.

Elde edilen sonuçlardan Şekil 4.20'deki grafik incelenecek olursa kümülatif  $P_d$  olarak 1 değerine bulanık mantık yöntemiyle 270 ms içerisinde ulaşılırken Ağırlıklandırılmış Metodda bu değer 330 ms olmakta ve Sabit Değer Metodunda bu değer 500 ms'ye kadar çıkmaktadır. Bu da bize Bulanık Mantık Metodunun diğer metodlara üstünlüğünü ortaya koymaktadır.

Bulanık Mantık Metoduyla çok hedefli ortamda  $P_d$  değerlerini gösteren Şekil 4.19'dan elde edilen Çizelge 4.1 uzman görüşü ile incelendiğinde anlaşılmıştır ki Ağırlıklandırılmış Metodda hedef önceliği düşük olsa dahi hedefler ortalama 0,71  $P_d$  değeri ile tespit takip edilirken Bulanık Mantık Metodunda bu değer 0,55'e kadar düşmektedir. Bu da bulanık mantık ile dinamik hedef ortamında diğer hedeflere daha çok kaynak ayırma anlamına gelmektedir.

Çalışmamızda geleneksel olarak atış kontrol radarlarında, erken ihbar radarlarında, füze atış kontrol algortitmaları gibi yerlerde hedef önceliğinde kullanılan Ağırlıklandırılmış Metod ve klasik radarlarda da aynı metod olarak kullanılan Sabit Değer Metodu da ele alınmış ve burada Bulanık Mantık Metodu ile karşılaştırılmış ve bulanık mantığın diğer metodlara üstünlüğü hedefin seyir halinde bulundupu farklı parametrelere gerçek zamanlı olarak ayarlanmıştır. Şöyle ki Şekil 4.14'deki grafikten anlaşıldığı gibi Bulanık Mantık Metoduyla elde edilen grafikte 250 km menzile kadar 0.8 civarında seyreden  $P_d$  değeri hedef önceliği azaldığında düşmektedir.

Genel olarak bulanık mantığın üstünlüğü hedeflerin mesafe,irtifa,hız ve ivme değişimlerine karşı radar denklemine SNR a direkt etki eden ÜKS değerinin ve dolayısıyla  $P_d$  değerinin artmasından, TBS değerinin azalması ile kümülatif  $P_d$  değerinin artmasından ve çoklu hedefte  $P_d$  değeri ortalamasının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

## 6. ÖNERİLER

Çalışmamızda kullandığımız dört özellik dışında hedefe yönelik diğer özellikler de kullanılabilir. Bu da çok fazla tasarım ve algoritma zorluğu getirmeden yapılabilir. Örneğin hedeflerin dost düşman olması ya da az ya da çok olması gibi özellikler de giriş değerleri olarak atanabilir. Bu girişlerden de elde edilecek çıkış değerleri aracılığı ile radar hüzmeleri hedef önceliklerine göre yönlendirilerek arzu edilen  $P_d$  değerleri elde edilebilir. Mesela hedef düşman ise o hedef üzerinde hüzmelerin kalış süresi arttırılarak ve hedefe daha sık bakılarak  $P_d$  değeri istenen değerlerde tutulabilir. Tabi bu yapılırken hedef önceliğine bakılmış ve dost olan hedeflerin çok önemli olmadığı ve düşük  $P_d$  değeri ile takibin gerçekleşebileceği varsayımından hareket edilmiştir.

Aslında bu bir varsayım değil harekât ortamının veya çok yoğun hava hedefi ile çalışma ortamının getirdiği bir diktendir. Çünkü basit olarak düşünüldüğünde bir taarruz ortamında uzaktaki bir hedefle, veya yavaş bir hedefle çok fazla ilgilenilmez tehdit oluşturabilecek diğer hedeflere daha öncelikli olduğundan yakındaki veya hızlı bir hedefle ilgilenilir.

Mesela bu hızlı hedef füze de olabilir bu eğer bir füze ise füzeyi kaybetme olasılığı hız ivme gibi etkenlerden dolayı artacaktır. Bu nedenden ötürü daha sık bakma yani TBS değerinin küçük ve her bakışta daha uzun süre kalma yani ÜKS değerinin daha yüksek olması ihtiyacı kaçınılmazdır. İşte bu da bu algoritma ile sağlanabilir. Yani burada hedef tanımlama ve sınıflandırma yaparak da çıkış değerleri bulanık mantık ile kontrol edilebilir.

Bulanık mantık uygulamaları radar teknolojileri alanında kendilerine diğer teknolojik alanlarda olduğu gibi daha çok yer bulabilir. Örneğin elektronik harp uygulamalarından olan yan hüzmeye seviyelerini azaltma veya radarın gücünü azaltma, en az karıştırılan frekansa geçme gibi uygulamalarda bulanık mantığın çalışma alanlarından birisi olabilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Alan, A.Y.**, 2003, Fuzzy Logic, International Seminar Group, Ludwigshaven, Germany
- Arı M. E.**, 1995, Stabilization of An Inverted Pendulum By Using A Fuzzy Controller, A Master's Thesis, Middle East Technical University, (unpublished)
- Boucha, A., Debbat, F., Bendimard F.T.**, 2008, Modified Blind Beamforming Algorithm For Smart Antenna System, 2p
- Ding, Z.**, 2008, A Survey Of Radar Resource Management Algorithm, IEEE, 1559p.
- El-Khamy, S. E., Rizk, M.R.M., Korayem, R. K.**, 2013, Fuzzy Inference Based Wavelet Robust Sidelobe Canceller, IEEE, 366p.
- Gümrahoğlu, T.**, 2009, Radar Sistemlerinde İşaret Gürültü Oranına Bağlı Olarak Çıkış Gücünün Bulanık Mantık Tabanlı Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, HHO Havacılık ve Uzay Enstitüsü, 18-20s (yayınlanmamış).
- Hong, S. Jung, Y.**, 1998, Optimal Scheduling of Track Updates in Phased Array Radars, IEEE, 34 (3),1016 p.
- Işıkli, Ş.**, “Bulanık Mantık ve Bulanık Teknolojiler”, <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/34/923/11510.pdf> (Erişim tarihi: 05 Aralık 2018)
- Jang, J.S.R.**, “Slides for Fuzzy Sets, Ch. 2 of Neuro-Fuzzy and Soft Computing” <https://slideplayer.com/slide/4194570/> (Erişim tarihi: 02 Ocak 2019)
- Kıyak, E.ve Kahvecioğlu A.**, 2003, Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(2): 19s
- Kuo, T., Chao Y.,Kuo, C., Chang C.**, 2005, Real Time Dwell Scheduling of Component Oriented Phased Array Radars, IEEE, 54 (1), 47p.
- Lu, J., XIAO, H.,XI Z.,ZHANG, M.**, 2011, Multifunction Phased Array Radar Resource Management Real Time Scheduling Algorithm, JOSCIS, 385p.
- Mahafza, B.R. and Elzherbeni, A.Z.**, 2004, MATLAB Simulations for Radar System Design, A CRC Press Company, Florida, 20p.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Miranda S.L.C., Baker C.J.,Woodbridge K.,Griffiths H.D.,** 2007, Fuzzy Logic Approach for Prioritisation of Radar Tasks and Sectors of Surveillance in Multifunction Radar, IET Radar Sonar Navig, 1 (2), 131- 132 p.
- NAWCWPNS,** 1997, Electronic Warfare and radar system engineering Handbook,Nawal Air System Commands, Washington D.C., 3-4.2p.
- Özdaban, İ.,** 2010, İş Değerlendirme ve Personel Değerlendirme Üzerine Bir Bulanık Karar Modeli, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 32s (yayınlanmamış).
- Özkan, C.,** 1992. İnsan Hatalarını Sayısallaştırmak İçin Bir Model, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (yayınlanmamış).
- Roeloffzen, B.,**“Beam forming”, [https://sites.ieee.org/benelux.../IEEEWorkshop\\_Roeloffzen.ppt](https://sites.ieee.org/benelux.../IEEEWorkshop_Roeloffzen.ppt) (Erişim tarihi: 05 Aralık 2018)
- Schleher, D.C.,** 2004, Bilgi Çağında Elektronik Harp, Doruk Yayınları, İstanbul, 15-185s
- Semed, M.,** 2000, Dünya Dahilersiz Yasayamaz, (Çev. Ş. Işıklı), Azerbaycan Bilimler Akademisi Yay., Bakü, 135s
- Shin, J., Hong, M. and Hong H.,** 1995, Adaptive Update Rate Target Tracking for Phased Array Radar, IEEE Proc. Radar sonar Navig. 142 (3): 137p.
- Skolnik, M. I.,** 1981, Introduction to Radar System, Mc Graw Hill Book Company, Singapore, 1p.
- Stoffel, A.P.,** 1994, Heuristic Energy Management for Active Array Multifunction Radars, IEEE National Telesytem Conference, 71p.
- Sürmeli, K.,** 2012, Yüzey uyumlu dairesel dizi anten analiz ve tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 16s (yayınlanmamış).
- Tektaş, M.,** 2019, “Bulanık Mantık”, [http://tektasi.net/wp-content/uploads/2014/01/fuzzy\\_proje.pdf](http://tektasi.net/wp-content/uploads/2014/01/fuzzy_proje.pdf) (Erişim tarihi: 15 Nisan 2019)
- The Mathworks,** 1995, Fuzzy Logic Toolbox Users Guide, Berkeley, 1-5p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Tuğluer, T.**, 2004, Yüzeye Uyumlu Fazlı Dizi Antenlerin Ve Uyarlamalı Hüzme Şekillendirme Algoritmalarının Analizi, Yüksek lisans Tezi, HHO Havacılık ve Uzay Enstitüsü, 2s (yayınlanmamış).
- Varshney, L.**, 2002, Radar System Components and System Design, Syracuse Research Corporation, Newyork, 1p.
- Venkata, R.S.**, “Phased array antenna”, <https://www.slideshare.net/VenkataRajendraSadhu/array-and-phased-array-antenna> (Erişim tarihi: 05 Aralık 2018)
- Vine M.T.**, 2001, Fuzzy Logic in Radar Resource Management, IEE, 5p.
- Volakis J. L.**, 2007, Antenna Engineering Handbook, McGraw-Hill, New York, 163p
- Wang, L.**, 1997, A Course In Fuzzy Systems and Control, Prentice Hall International Inc., USA, 5-7p.
- Yalçın, N.**, “Bulanık Mantık”, <https://docplayer.biz.tr/47335617-Mantik-arasgor-nesibe-yalcin-bilecik-universitesi-bulanik-mantik.html> (Erişim tarihi: 3 Mart 2019)
- Yue, K., Chen, S., Shu, C.**, 2015, Calculation of Aircraft Target's Single-Pulse Detection Probability, Journal of Aerospace Technology and Management 7 (3): 470p.
- Zadeh, L. A.**, 2002, Fuzzy Logic: A Framework for the New Millennium, New York, Physica-Verlag Herderberg,
- Zimmermann, H.J.**, 2001, Fuzzy Set Theory and Its Applications, Kluwer Academic Publishers, Masschusetts, 29p.

## TEŐEKKÖR

Bu alıőma sűresince gerekli desteklerini esirgemeyen ASELSAN AŐ. alıőanlarından Eray LAZ'a kıymetli gűrűşlerinden yararlandıđım ve tezin biçimlenmesinde deđerli katkılarını aldıđım sayın Prof. Dr. Aydođan SAVRAN'a ve çalıőmamda her zaman destek olan eőim Emine ER'e teőekkűrű bir borç bilirim.



## ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Kırşehir’de doğdu İlk, orta ve lise öğrenimini Kırşehir’de tamamladı. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2008 yılında mezun oldu, 2009 yılında girdiği Hv.K.K.lığından aynı yıl teğmen rütbesiyle 8’inci Nike Filo K.lığına, 2014 yılı genel atamaları ile Hv.K.Prj.Ynt.D.Bşk.lığı Ankara’ya atandı. Halihazırda görevine devam ettiği Hv.K.Prj.Ynt.D.Bşk.lığında radar sistemleri, hava savunma sistemleri geliştirme projeleri başta olmak üzere birçok projede proje yöneticisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

### Yayınları

UHAT 2013 “EMP Bombalarına Karşı Tedbir Olarak Ekranlama Yönteminin Bir Simülasyon Programı Yardımıyla İncelenmesi” konulu bildiri

UHAT 2013 “Sifonik Sistem Çatı Drenajının Havacılık Binalarında Uygulamaları” konulu bildiri

HİTEK 2014 “Bir Savaş Uçağının LQR Algoritması ile Optimal Kontrolcü Tasarımı ve Simülasyonu “ konulu bildiri

## **EKLER**

Ek 1 IF-THEN Kuralları

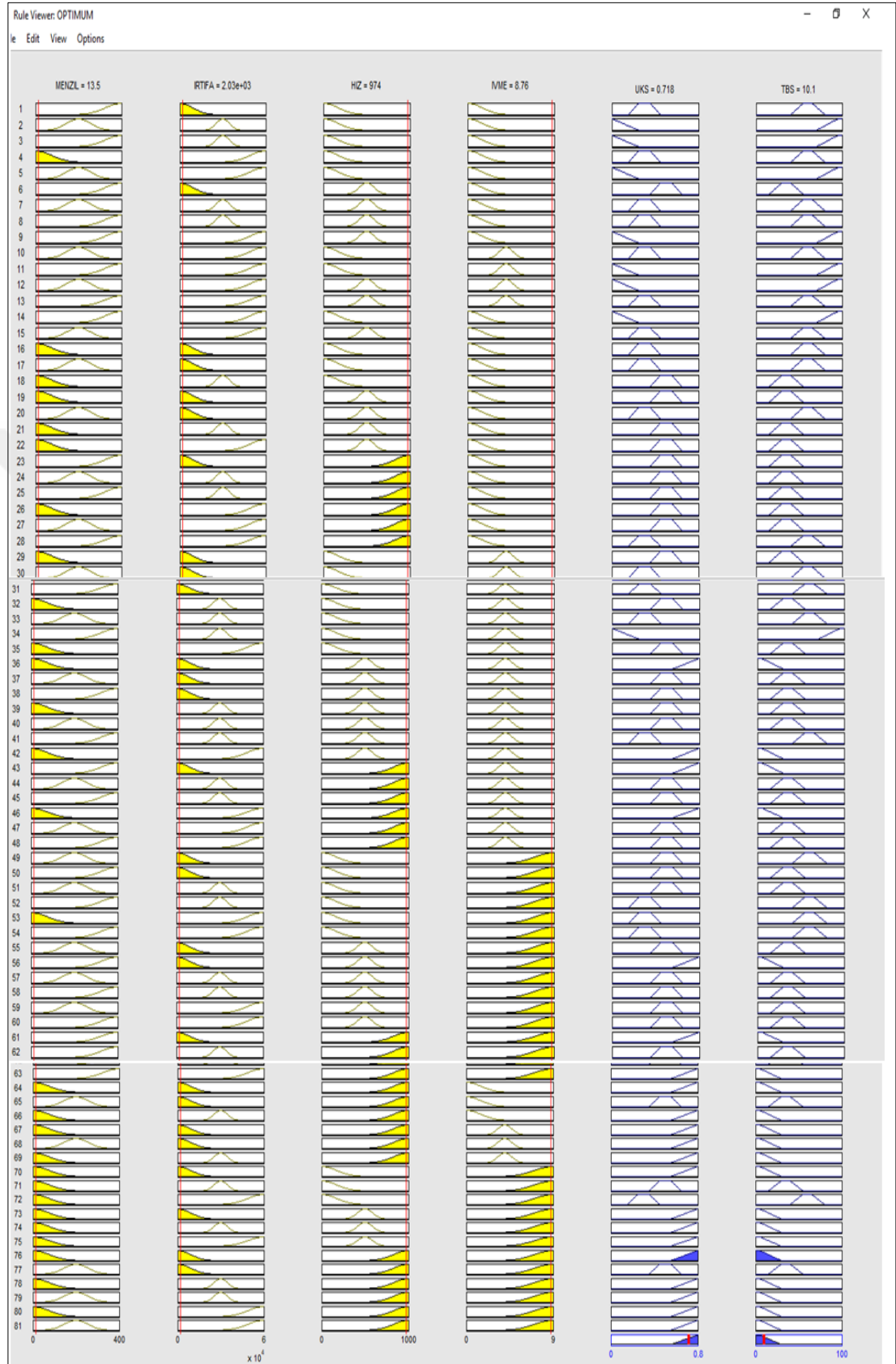
Ek 2 Kural gösterimi (min. menzil ve irtifa max.hız ve ivme)

Ek 3 Kural gösterimi (max. menzil ve irtifa min.hız ve ivme)





## Ek-2 Kural gösterimi (min. menzil ve irtifa max.hız ve ivme)



## EK-3 Kural gösterimi (max. menzil ve irtifa min.hız ve ivme)

