

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YÖN BULMADA (YB) SİNYAL İŞLEME TEKNİKLERİ:  
GENEL BİR YAKLAŞIM**

**Polat Serkan ERİSEV**

**ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2006**

**Her hakkı saklıdır**



Doç.Dr.H.Gökhan İLK danışmanlığında, Polat Serkan ERİSEV tarafından hazırlanan bu çalışma 05/05/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı' nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd.Doç.Dr.Mücahit K. ÜNER  
Hacettepe Üniversitesi  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye : Doç.Dr.H.Gökhan İLK  
Ankara Üniversitesi  
Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye : Yrd.Doç.Dr.Ziya TELATAR  
Ankara Üniversitesi  
Elektronik Mühendisliği Bölümü

**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof.Dr. Ülkü MEHMETOĞLU**  
**Enstitü Müdürü**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### YÖN BULMADA SİNYAL İŞLEME TEKNİKLERİ: GENEL BİR YAKLAŞIM

Polat Serkan ERİŞEV

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr.H.Gökhan İLK

Radar İkaz Alıcısı (RİA) sistemleri; konuşlu olduğu platformun görev yaptığı ortamda yayın yapan radarları tespit ederek, mesafe ve yön bilgilerini belirleyen ve yeterli bir zaman önceden pilotu ikaz ederek, gerekli manevraları yapmasını, radarı aldatacak alüminyum parçacıkları içeren “chaff” mühimmatını kullanmasını ve ölçtüğü parametreleri aynı platform üzerinde konuşlu olan Elektronik Karşı Tedbirler (EKT, Electronic Counter-Measures: ECM) sistemine aktararak karıştırma fonksiyonun başlamasını sağlayan bir sistemdir. Söz konusu RİA sistemlerinin pratik kullanımında mesafe ve yön bilgisi (YB) ölçümünde bir takım kısıtları bulunmakta olup (YB hassasiyeti ancak 30-40° RMS civarında ölçülebilmektedir), bu kısıtlamalar hareket alanında görev yapan pilotun kendisini ve birlikte hareket ettiği diğer uçakları koruma ve yerdeki birliklere yakın hava desteği verme görevini sıkıntıya sokabilecek niteliktedir.

Tüm savaş uçaklarına takılmasının getirdiği maliyet ve monte edildiği bölgede yüzey alanının daha fazla sayıda anten takılmasını mümkün kılmaması, teknolojik nedenler vb. vesilelerle sistem mevcut kısıtları ile kullanılmakta, fakat bir takım eklentilerle performansının artırılmasına çalışılmaktadır. Daha hassas antenler ve alıcılar kullanarak sistemin performansının artırılacağı kesin olmakla birlikte, maliyeti arttırmadan (mevcut alıcı antenlerle), sistemin doğasından kaynaklanan söz konusu kısıtları azaltacak ya da tamamen ortadan kaldıracak bir yaklaşım getirme ihtiyacı duyulmaktadır.

Bu tezin amacı bu noktada ortaya çıkmakta ve uçaklarda var olan bu sistemi mevcut durumunda bir değişiklik yapmadan iyileştirmenin yolları aranmaktadır. Bu amaçla bu tezde, RİA antenlerinin fiziksel özelliklerini değiştirilmeden, antenleri buldukları yuva içinde saat yönünde ve saat yönünün tersi yönünde döndürerek antenler arasındaki şaşı açısı değerinin değiştirilmesi ve varış açısı (VA)’nın buna göre analiz edilmesinin sistemin YB performansını nasıl etkileyeceğinin değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla 45° olan şaşı açısı değeri 75°’ye kadar değiştirilmiş ve her 1.5°’lik adımda genlik karşılaştırılması mantığına dayanan VA ölçümü yapılarak bulunan değerler bir tabloya kaydedilmiştir. Kaydedilen değerlerden yararlanarak şaşı açısının her 1.5°’lik adımı için farklı bir histogram oluşturulmuştur. Bir sonraki adımda Gaussian Karışım Modeli (GKM) yöntemi kullanılarak histogramlar ağırlıklandırılmış ve toplam histogram elde edilmiştir. Toplam histogramın yakınsadığı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF)’nin En Büyük Olabilirlik Kestirimi (EBOK) değeri araştırılmış ve bulunan değerin gerçek değere hesaplanan VA değerlerinden daha yakın olduğu ve önerilen yöntemin daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür.

**2006, 131 sayfa**

**Anahtar Kelimeler :** Yön bulma, Genlik karşılaştırması, Varış açısı, Radar İkaz Alıcısı

## **ABSTRACT**

Master of Science Thesis

### **SIGNAL PROCESSING TECHNIQUES AT DIRECTION FINDING : A GENERAL APPROACH**

Polat Serkan ERİSEV

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr.H.Gökhan İLK

Radar Warning Receiver (RWR) systems detect radars which emit signals within the vicinity of the ownship platform, in order to determine the distance and direction of the radar. This detection capability enables the pilot to make necessary maneuvers or use chaff. It is also useful in terms of Electronic Counter Measures (ECM) capabilities.

Today's RWR systems, have significant restrictions, that is the Direction Finding (DF) accuracy can be measured by an error up to 30-40 degrees RMS. This restriction may obstruct the pilot's support to ground forces and/or its patrol in the operational area.

It is possible to increase the sensitivity of the RWR system and hence improve the performance by using more antennas and receivers. However with limited space available on the platform and cost restrictions the objective of this thesis is to improve the RWR DF accuracy without any major modifications.

The aim of this thesis, therefore, is to increase the DF accuracy without manipulating the existing antenna architecture. For this purpose, the DF measurement of an RWR system was simulated first. Then a histogram based correction algorithm is introduced in order to increase the accuracy. Finally squint angle is changed in order to obtain multiple measurements for a single DF. The measurement histograms proved to improve the DF accuracy significantly.

**2006, 131 pages**

**Key Words :** Direction Finding, Amplitude comparison, Angle of Arrival, Radar Warning Receiver

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımın her aşamasında yakın ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç.Dr.H.Gökhan İLK (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi)'e sabırlı davrandığı ve çok kritik zamanlarda yeni fikirlerle ufkumu açtığı, değerli arkadaşım Mustafa AKBAŐ' a engin MATLAB bilgisi ile her ihtiyacım olduğunda yardımına koőtuđu, karım Esra ERİSEV' e desteğini benden hiç eksik etmediği ve biricik oğlum Efe Serkan ERİSEV' e birlikte oynadığımız zamanlardan istemeyerek te olsa feragat ettiği için teőekkürlerimi sunarım.

Polat Serkan ERİSEV  
Ankara, Mayıs 2006

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İNGİLİZCE KISALTMALAR DİZİNİ.....	iv
TÜRKÇE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tez Çalışmasının Tanımı.....	3
1.2 Tezin Organizasyonu.....	4
1.3 Literatür Araştırması.....	5
1.3.1 Genlik Tabanlı Yön Bulma .....	5
1.3.2 Faz Tabanlı Yön Bulma .....	6
1.3.3 Işın Şekillendirme (Beam-Forming) .....	7
2. RADAR.....	10
2.1 Radar Nedir?.....	10
2.2 Radar Bileşenleri.....	10
2.3 Radarın EH Sistemleri Tarafından Ölçülebilen Parametreleri Nelerdir?.....	13
2.3.1 Frekans.....	13
2.3.2 Darbe Yineleme Aralığı (DYA).....	15
2.3.3 Darbe Genişliği (DG).....	16
3. EH SİSTEMLERİ.....	20
3.1 Pasif EH Sistemleri.....	20
3.1.1 Radar İkaz Alıcısı (RIA) nedir?.....	21
3.1.2 Yeni geliştirilen RIA teknikleri.....	24
3.1.3 Elektronik Destek Tedbirleri (EDT) sistemleri.....	26
3.1.4 RIA sistemi ile EDT sisteminin farkları.....	27
3.2 EH Sistemlerinde Konum ve Yön Belirleme.....	30
3.2.1 Üçgenleme (Triangulation).....	30
3.2.2 EH sistemlerinde VA.....	30
3.2.2.1 Dönen yönlü anten (Rotating Directional Antenna).....	31
3.2.2.2 Genlik karşılaştırmalı (Amplitude Comparison) tekli-darbe (Monopulse) tekniği .....	31
3.2.2.3 Faz karşılaştırmalı (Phase Comparison) tekli-darbe (Monopulse) tekniği veya interferometre.....	32
3.2.2.4 Zaman farkının karşılaştırılması (Time Difference Of Arrival: TDOA).....	36
3.2.2.5 Kombine sistem kullanımı.....	37
3.3 EH Sistemlerinde Pasif Mesafe Ölçümü.....	38
4. KURAMSAL TEMELLER.....	40
4.1 Kesikli Fourier Dönüşümü (KFD, Discrete Fourier Transform: DFT)' nün Şekli ve Gösterimi.....	40
4.1.1 Frekans bölgesinin bağımsız değişkeni.....	41
4.1.2 Sentez, Ters KFD'nin hesaplanması.....	43



4.1.3	Analiz, KFD'nin hesaplanması.....	47
4.1.3.1	Eş zamanlı denklemlerle KFD .....	47
4.1.3.2	Bağıntı ile KFD.....	47
4.2	En Büyük Olabilirlik Kestirimi (EBOK, Maximum Likelihood Estimation: MLE).....	49
4.2.1	Olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF, Probability Density Function: PDF).....	49
4.2.2	Olabilirlik fonksiyonu (Likelihood function).....	51
4.2.3	En büyük olabilirlik kestirimi.....	52
4.2.4	Olabilirlik denklemi (Likelihood Equation).....	53
4.2.5	Yerel en büyük (Local Maxima).....	56
4.3	Gaussian Karışım Modeli (GKM, Gaussian Mixture Model: GMM)....	56
4.4	Analiz Edilecek Verinin Hazırlanması.....	58
4.4.1	Gerçek durum senaryosu.....	58
4.4.2	RİA sistemlerinde yön bulma (YB) işlemi.....	59
4.4.3	RİA sistemlerinde yön bulma işleminin simule edilmesi.....	60
5.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	68
5.1	Şaşı Açı Değerinin Sabit Olduğu Durum İçin Analiz Sonuçları.....	68
5.2	Değişen Şaşı Açı Değerleri İçin Analiz Sonuçları.....	88
5.3	Değişen Şaşı Açı Değerleri İçin “Gaussian Karışım Modeli” Analiz Sonuçları.....	97
6.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	119
6.1	KFD Yöntemi ve Analiz Sonuçları.....	119
6.2	Histogramı Çizdirilen VA Ölçüm Değerlerinin EBOK Yöntemi Kullanılarak En Büyük Değerinin Bulunması ve Yapılan Analizlerin Sonuçları.....	121
6.3	Şaşı Açı Değeri Değiştirilerek Elde Edilen Histogramların GKM Yöntemi ile Ağırlıklandırılması Yoluyla Elde Edilen Toplam Histogramın EBOK Yöntemi Kullanılarak En Büyük Değerinin Bulunması ve Yapılan Analizlerin Sonuçları.....	124
6.4	GelecekteYapılacak Çalışmalar.....	127
	KAYNAKLAR.....	128
	EK 1 Frekans Bandları .....	130
	ÖZGEÇMİŞ.....	131

## SİMGELER DİZİNİ

AF	Ara Frekans
AKR	Atış Kontrol Radarı
ASD	Analog-Sayısal Dönüştürücü
BOEBM	Belirsiz Olmayan En Büyük Menzil
ÇSS	Çoklu Sinyal Sınıflaması
DDD	Düzgün Dairesel Dizi
DDTM	Darbe-Doppler Tanımlama Modülü
DHO	Dairesel Hata Olasılığı
DG	Darbe Genişliği
DKD	Düzgün Karesel Dizi
DLD	Düzgün Lineer Dizi
DYA	Darbe Yineleme Aralığı
DYF	Darbe Yineleme Frekansı
EBOK	En Büyük Olabilirlik Kestirimi
EDT	Elektronik Destek Sistemleri
EH	Elektronik Harp
EKT	Elektronik Karşı Tedbirler
FSAS	Frekans Seçmeli Alıcı Sistemi
GKM	Gaussian Karışım Modeli
HAED	Harekat Alanının Elektronik Düzeni
HLTA	Hassas Lokasyon ve Tanımlama
HTR	Hedef Takip Radarı
İHA	İnsansız Hava Aracı
KFD	Kesikli Fourier Dönüşümü
KYF	Karşıt Yayınım Füzesi
ÖYTA	Özel Yayın Kaynağı Takibi
ÖYTN	Özel Yayın Kaynağı Tanımlanması
RIA	Radar İkaz Alıcısı
SGO	Sinyalin Gürültüye Oranı
SPDDK	Sinyal Parametrelerinin Dönerli Değişmezlik Tekniği ile Kestirimi
SSI	Sayısal Sinyal İşleme
VA	Variş Açısı
YB	Yön Bulucu
YHF	Yerden Havaya Füze

## İNGİLİZCE SİMGELER DİZİNİ

ADC	Analog to Digital Converter
ADR	Advanced Digital Receiver
AIM	Air Interceptor Missile
AOA	Angle Of Arrival
ATTT	Advanced Tactical Targeting Technology
BW	Beamwidth
CRT	Cathode Ray Tube
CVR	Crystal Video Receiver
CEP	Circular Error Probable
DF	Direction Finding
DFT	Discrete Fourier Transform
DOA	Direction of Arrival
DSP	Digital Signal Processing
ECM	Electronic Counter Measures
ELINT	Electronic Intelligence
EM	Electro Magnetic
EOB	Electronic Order of Battle
ERP	Effective Radiated Power
ESPRIT	Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques
EW	Early Warning
FCR	Fire Control Radar
FFT	Fast Fourier Transform
FSRS	Frequency Selective Receiver System
GCI	Ground Controlled Intercept
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IF	Intermediate frequency
IR	Infrared
LPI	Low Probability of Intercept
MOP	Modulation on Pulse
MUR	Maximum Unambiguous Range
MUSIC	Multiple Signal Classification
PDID	Pulse-Doppler Identification
PLAID	Precision Location and Identification
POI	Probability of Intercept
PRI	Pulse Repetition Interval
PW	Pulse Width
RF	Radio Frequency
RMS	Root Mean Square
RWR	Radar Warning Receiver
SA	Situational Awareness
SAGE	Space-Alternating Generalised Maximisation-expectation
SAM	Surface to Air Missile
SEI	Specific Emitter Identification
SET	Specific Emitter Tracking
SNR	Signal to Noise Ratio
TOA	Time of Arrival

TTR	Target Tracking Radar
TWT	Travelling Wave Tube
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCA	Uniform Circular Array
ULA	Uniform Linear Array
URA	Uniform Rectangular Array

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Aralarındaki mesafe (d) olan antenler .....	7
Şekil 2.1	Genel olarak bir darbe radarının blok diagramı .....	11
Şekil 2.2	Radarin EH sistemleri tarafından ölçülebilen parametreleri .....	13
Şekil 2.3	Atmosferik zayıflatma .....	14
Şekil 3.1	Radarı İkaz Alıcısı şematik blok gösterimi.....	21
Şekil 3.2	RİA sistemlerinde kullanılan uçuş programlarının hazırlanış döngüsü	22
Şekil 3.3	RİA sisteminin blok diagramı .....	23
Şekil 3.4	Elektronik Destek Tedbirleri sisteminin şematik blok gösterimi .....	26
Şekil 3.5	EDT ve RİA sistemlerinin entegrasyonu örneği .....	29
Şekil 3.6	Üçgenleme (Triangulation) .....	30
Şekil 3.7	RİA antenlerinin alıcı patterninin (a) yandan görünüşü, (b) üstten görünüşü.....	31
Şekil 3.8	Genlik karşılaştırmalı sistemin blok diagramı .....	32
Şekil 3.9	Faz karşılaştırmalı sistemin blok diagramı .....	33
Şekil 3.10	İnterferometrik üçgen .....	34
Şekil 3.11	Faz karşılaştırmalı yön bulma İşlemi .....	36
Şekil 3.12	Kombine yön bulma sistemi blok diagramı .....	37
Şekil 3.13	Kombine yön bulma işlemi .....	38
Şekil 3.14	EH sistemlerinde pasif mesafe ölçümü .....	38
Şekil 4.1	KFD terminolojisi .....	40
Şekil 4.2.	a. KFD, zaman bölgesinde yer alan $x[n]$ sinyalini frekans bölgesinde yer alan $ReX[e^{j\omega n}]$ ve $Im X[e^{j\omega n}]$ sinyallerine çevirir, b. Kullanılan ilk metod: Yatay düzlem dizi indeksinin 0 ile $N/2$ arasında değiştiği durum, c. kullanılan ikinci metod: Yatay düzlem dizi indeksinin örnekleme frekansına bağlı olarak 0 ile $0.5$ arasında değiştiği durum ..	43
Şekil 4.3	TKFD örneği .....	45
Şekil 4.4	Frekans bölgesi örneklerinin bandgenişliği .....	46
Şekil 4.5	Analiz örnekleri .....	48
Şekil 4.6	Örnek boyutu $n = 10$ olan binomial olasılık dağılımları ve olasılık parametresi (a) $w = 0.2$ , (b) $w = 0.7$ .....	52

Şekil 4.7	Verilen gözlem datası $y = 7$ nin olasılık fonksiyonu ve tek parametre modeli için örnek boyutu $n = 10$ .....	52
Şekil 4.8	Hayali tek parametre modeli için logaritmik-olabilirlik fonksiyonunun şematik çizimi .....	55
Şekil 4.9	Tek boyutlu bir dağılım modeli örneği .....	57
Şekil 4.10	Gerçek durum senaryosu .....	58
Şekil 4.11	RİA alıcı antenlerinin kapsama alanı .....	59
Şekil 4.12	Simüle RİA sisteminin sağ ve sol alıcı antenlerinin kazançları .....	61
Şekil 4.13	Simüle RİA sisteminin uçuş platformunun hareketi .....	63
Şekil 4.14	Program tarafından çizilen radarın uçuş platformuna göre hareketi ...	63
Şekil 4.15	RİA sisteminin polar ekseninde alıcı anten kazançları .....	64
Şekil 4.16	Ölçülen VA değerinin gerçek VA değerine göre durumu .....	65
Şekil 4.17	Sağ $45^\circ$ nin üzerindeki açılarda VA karşılaştırması .....	66
Şekil 4.18	Sol $45^\circ$ nin üzerindeki açılarda VA karşılaştırması .....	66
Şekil 4.19	Sol $45^\circ$ ile sağ $45^\circ$ nin arasında kalan açılarda VA karşılaştırması ...	67
Şekil 4.20	Ölçülen VA değerinin gerçek VA değerine göre farkı .....	67
Şekil 5.1	Açıklamalar .....	69
Şekil 5.2	a. Şaşı açısı değeri $45^\circ$ iken VA değeri $-86^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA Histogramı .....	70
Şekil 5.3	a. Şaşı açısı değeri $45^\circ$ iken VA değeri $-68^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA Histogramı .....	72
Şekil 5.4	a. Şaşı açısı değeri $45^\circ$ iken VA değeri $-45^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA Histogramı .....	74
Şekil 5.5.	a. Şaşı açısı değeri $45^\circ$ iken VA değeri $-30^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA Histogramı .....	76
Şekil 5.6	a. Şaşı açısı değeri $45^\circ$ iken VA değeri $0^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA Histogramı .....	78
Şekil 5.7	a. Şaşı açısı değeri $45^\circ$ iken VA değeri $30^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA Histogramı .....	80
Şekil 5.8	a. Şaşı açısı değeri $45^\circ$ iken VA değeri $45^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA Histogramı .....	82
Şekil 5.9	a. Şaşı açısı değeri $45^\circ$ iken VA değeri $69^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen	

	VA durumu, c. Ölçülen VA Histogramı .....	84
Şekil 5.10	a. Şaşı açısı değeri $45^\circ$ iken VA değeri $87^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA Histogramı .....	86
Şekil 5.11	a. Senaryoda kullanılan uçuş yolu, b. Senaryoda kullanılan uçuş yolunun grafiksel gösterimi .....	88
Şekil 5.12	a. Şaşı açısı değeri $48^\circ$ olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram	90
Şekil 5.13	a. Şaşı açısı değeri $50^\circ$ olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram	91
Şekil 5.14	a. Şaşı açısı değeri $60^\circ$ olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram	92
Şekil 5.15	a. Şaşı açısı değeri $61,5^\circ$ olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram .....	93
Şekil 5.16	a. Şaşı açısı değeri $73,5^\circ$ olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram.....	94
Şekil 5.17	a. Şaşı açısı değeri $75^\circ$ olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram	95
Şekil 5.18	a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri $-80^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	99
Şekil 5.19	a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri $-68^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	101
Şekil 5.20	a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri $-45^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	103
Şekil 5.21	a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri $-30^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	105
Şekil 5.22	a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri $0^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	107
Şekil 5.23	a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri $30^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	109
Şekil 5.24	a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri $45^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	111
Şekil 5.25	a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri $67^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	113
Şekil 5.26	a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri $87^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	115
Şekil 5.27	a. Şaşı açısı değeri ve VA değeri değişirken , b. Gerçek VA ve ölçülen	

VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı.....	117
Şekil 6.1 Antenler arasındaki mesafenin 20 m olduğu durum için 45°'den gelen sinyalin alıcıda ölçülen genlik değerleri.....	120
Şekil 6.2 a. VA değeri -76°, b. Histogram.....	122
Şekil 6.3 a. VA değeri 26°, b. Histogram.....	123
Şekil 6.4 a. VA değeri -75°, b. Histogram.....	125
Şekil 6.5 a. VA değeri 27°, b. Histogram.....	126
Şekil 6.6 RİA alıcı antenleri .....	127



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Hızlı Arama Tablosu .....	63
Çizelge 6.1 SPSS programı karşılaştırma tablosu .....	125
Çizelge 6.2 SPSS programı karşılaştırma tablosu .....	126
Çizelge 6.3 SPSS programı karşılaştırma tablosu .....	128
Çizelge 6.4 SPSS programı karşılaştırma tablosu .....	129



## 1. GİRİŞ

Geçen zamanla birlikte, elektronik teknolojisi artan bir ivmeyle askeri alanda da önemli rollere sahip olmaya başlamıştır. Elektroniğin silah sistemlerine girişinde ilk basamak radyo ve radyo yön bulucularının hedef platformun yerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılmaya başlanması ile olmuştur. İkinci basamak radarın algılama, yer belirleme yeteneklerinin düşman platformlarının açısının ve mesafesinin tespit edilmesi amacıyla kullanılması ve bunu yapılan atışların daha hassas hale getirilmesi amacına hizmet etmesi takip etmiştir. Son basamak, ve muhtemelen en can alıcı olanı, füzelerin hedefe doğru hassas biçimde yönlendirilmesini sağlamak amacıyla güdüm sistemi olarak elektronik cihazların kullanılmaya başlanmasıdır.

Elektronik güdümlü silah sistemlerinin başarısının ifadesi olan vuruş olasılığı (kill probability), zamanla o kadar yüksek değerlere ulaşmıştır ki, hareket halindeki korumasız platformların kaçmak için en ufak bir umudu bile kalmamıştır. Elektronik güdümlü silah sistemleri açısından başarının bu kadar yüksek seviyede olması neredeyse tüm silah sistemlerinde elektronik güdüm yöntemlerinin kullanılmaya başlaması sonucunu doğurmuştur. Ancak etkiye karşı tepki prensibi gereği, kısa zaman içinde güdümlü silah sistemlerinin etkinliğini azaltma kabiliyetine sahip karşı tedbir sistemleri (Counter-Measures) geliştirilmeye başlanmıştır.

Karşı tedbir sistemlerinin etkinliği hemen kendini belli etmiş ve hemen hemen tüm güdümlü silah sistemlerinin performansı ciddi şekilde azalmıştır. Kaçınılmaz olarak bir sonraki basamak, etkinliği karıştırma sistemleri tarafından azaltılmış olan silah sistemlerini orijinal etkinlik seviyesine yeniden ulaştıracak karşı-karşı tedbirlerin (Counter Counter-Measures) uygulanması olmuştur. Silah sistemlerini etkileyen elektronik cihazların yapımına önderlik eden teknolojiler ve karşı-karşı tedbirlerin geliştirilmesi günümüze kadar “kedi-fare oyunu” şeklinde devam etmiş ve Elektronik Harp (EH) başlığı altında incelenen gelmiştir.

1982 yılında yapılan Suriye-İsrail Savaşı EH' in yukarıda bahsettiğimiz ilginç uygulamalarını sergilemesi açısından güzel bir örnektir. Haziran 1982' de İsrail

Kuvvetleri 2 gün süren hava ve deniz bombardımanını takiben İsrail-Lübnan sınırında 50 km genişliğinde bir emniyet kuşağı oluşturmak amacıyla Güney Lübnan' a saldırmıştır. 9 Haziran' da kuzeye ilerleyen İsrail Kuvvetleri bir güçlükle karşılaşmadan 600 adet Suriye tankı ve 20 adet Yerden Havaya Füze (YHF, Surface to Air Missile: SAM) bataryası ile korunan Bekaa Vadisi' ne yaklaşmışlardır. İlk sıcak karşılaşma zırhlı mekanize birlikleri arasında olmuştur. Bu karşılaşmanın hemen ardından Suriye acilen MIG uçaklarını yardıma çağırmıştır. İsrail, “erken uyarı” uçağı olarak kullandığı E-2C “Hawkeye” uçakları sayesinde yaklaşan 60 adet Suriye uçağını erkenden farketmiş ve karşılık olarak bölgeye 90 adet uçak göndermiştir. Bunun yanısıra EH karıştırma teçhizatı ile donatılmış 4 adet Boeing 707 uçağını havalandırarak, Suriye' nin savaş uçaklarının tüm haberleşmesini karıştırmıştır. Bu arada E2-C’ ler, bu uçakların koordinatlarını İsrail uçaklarına bildirerek onlara avantajlı yönden saldırabilme imkânı sağlamıştır. RIA (Radar Warning Receiver: RWR) sistemleri ve “Chaff/Flare” mühimmatı ile teçhiz edilmiş olan İsrail uçakları, kendisine atılan RF güdümlü füzeleri fark ederek onlardan aldatma ile kurtulurken, kızılötesi (Infrared: IR) güdümlü füzelerden “Flare” ile korunabilmiştir. Suriye uçaklarında herhangi bir Elektronik Harp teçhizatı olmadığından, İsrail uçakları kızılötesi güdümlü “Sidewinder” (AIM-9) füzeleri ile onları vurarak üstünlük sağlamıştır. Suriye uçaklarının radar ve telsizlerinin Boeing 707' ler tarafından karıştırılıyor olması yerde konuşlu hava savunma sistemlerinden yeterli ateş desteğini almalarını imkânsız hale getirmiştir.

Bu savaşta İsrail EH amaçlı TV kamerası, lazer işaretleyici ve uçak ekosu yaratacak yansıtıcı ile donatılmış olan özel İnsansız Hava Aracı (İHA, Unmanned Aerial Vehicle: UAV) geliştirmiştir. Harekat anında, önce YHF bataryalarının yeri bir İHA tarafından tespit edilerek, TV görüntüsü olarak ilişim (link) devreleri üzerinden ilgili kademelere iletilmiştir. Yeri belirlenen YHF bataryalarının her birine iki İHA gönderilmiş; bunlardan bir tanesi YHF bataryalarının radarında sahte uçak ekosu yaratarak, kendisine angaje olmasını sağlamış, diğer İHA pasif moddan aktif moda geçen YHF bataryalarının radarına ilişkin teknik parametreleri ve taktik bilgileri anında ilişim devreleri üzerinden “Boeing” ve “Hawkeye” uçaklarına aktarmıştır. Bu faaliyetler sonunda, Karşıt Yayınım Füzesi (KYF, Anti Radiation Missile: ARM) atışı için gerekli bilgiler temin edilmiş ve 40 km menzildeki hedeflere “Zeev/Arm” füzesi, daha uzak

menzildeki hedeflere “Shrike” füzesi atılarak, YHF radarları tahrip edilmiştir. KYF tehdidini anlayan Suriye YHF radarlarını kapatma yoluna gidince de bir İHA tarafından lazer işaretleyicisi ile yeri işaretlenmiş ve işaretlenen bu hedefe “Maverick” bombası atılarak YHF etkisiz hale getirilmiştir.

İcra edilen bu EH uygulamaları ile Bekaa Vadisindeki tüm YHF' ler etkisiz hale getirilmiştir. Bu ve benzeri örnekler, EH' in ve EH' i icra edebilmek için kullanılan teçhizatın önemini ortaya koymaktadır.

Bu tezde; konuşlu olduğu uçak platformuna yönelen radarları algılayıp, yönünü ve mesafesini tespit ederek uçağın yok olmasıyla sonlanabilecek bir takım olayların önüne geçebilecek EH teçhizatlarından en önemlisi olan RİA sisteminin doğasından kaynaklanan bir takım kısıtlarının azaltılması ya da tamamen ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.

## **1.1 Tez Çalışmasının Tanımı**

Bu tez çalışmasında RİA (Radar İkaz Alıcısı) sistemlerinde kullanılan YB (Yön Bulma) yöntemine yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Taktik uçaklarda kullanılan ve elektronik hareket ortamında uçağa yönelen tehditleri fark ederek, söz konusu tehditin varış açısı (VA), mesafe ve kimlik bilgilerini üreten RİA sistemleri mevcut durumda YB işlemi için genlik karşılaştırması olarak adlandırılan yöntemi kullanmaktadırlar. Bu yöntem, uçağa aralarında belli açılar bulunacak şekilde yerleştirilmiş antenlerin ölçtüğü genlik değerlerinin sistemin işlemcisi tarafından bir tablo yardımıyla analiz edilmesi mantığına dayanır.

Kullanılan bu yöntem, sistemin içerdiği anten ve alıcılarının getirdiği kısıtlar nedeniyle ortalama bir performans göstermektedir. Bu performansı arttırabilmek amacıyla burada önerilen; öncelikle kısa aralıklar için tablo aracılığı ile elde edilen değerlerin histogramının çıkarılması ve bu histogramdan olasılık yoğunluk dağılımını elde ederek, EBOK (En Büyük Olabilirliğin Kestirimi) yöntemiyle fonksiyonun en büyük değerinin bulunmasıdır. Çalışmanın bu kısmı olumlu sonuçlar vermiş olmasına rağmen yeni bir yaklaşımda bulunularak antenler arasında bulunan şaşı açının  $1,5^\circ$  lik adımlarla ( $45^\circ$

den 75°'ye) değiştirilmesi ve tüm ölçümlerin bu adımlar için tekrarlanması ve önceki işlemlerin bu haliyle tekrar edilmesinin sistemin performansını nasıl arttıracığı değerlendirilmiştir. Yeni durumda elimizde her bir VA ölçümü için 21 yeni olasılık yoğunluk fonksiyonu bulunacağından GKM (Gaussian Karışım Modeli) kullanılarak tek bir olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilmiş ve bunun en büyük değerine bakılmıştır.

Antenler arasındaki şaşı açının değiştirilmesi yöntemi ile yapılan hesaplamalar oluşturulan bir simülasyon yazılımı ile mevcut sistemler ile karşılaştırılmış ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır.

## **1.2 Tezin Organizasyonu**

Bu tez 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm EH kavramına genel bir girişin yapıldığı ve tezde yapılmak istenenin ortaya konduğu bölümdür.

İkinci bölümde EH' nin en önemli parçası olan radarlar anlatılmakta, üçüncü bölüme yardımcı olması amacıyla radarların parametrelerine değinilmekte, ve taktik uçaklara tehdit oluşturan radar parametrelerinin özellikleri belirtilmektedir.

Üçüncü bölümde, pasif EH sistemleri gruplanarak, konumuz olan RİA sistemleri ve radarların RİA sistemlerince teşhis ve tespit edilme yolları anlatılmaktadır. Burada RİA sistemlerinin kullandığı YB tekniklerinden basitçe bahsedilerek, konumuz olan genlik karşılaştırması tekniğine değinilmektedir.

Dördüncü bölümde, bu tezde yapılan çalışmalar sırasında kullanılan KFD (Kesikli Fourier Dönüşümü), EBOK ve GKM tekniklerinden bahsedilmektedir.

Beşinci bölümde simüle RİA sisteminde şaşı açısı değeri sabit olduğu durumda değişik VA değerleri için analizler yapılmış ve hesaplanan VA değerlerinin histogramları çizdirilmiş ve EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerin buldurulması yolu ile VA değerinin iyileştirilebildiği gösterilmiştir. Daha sonra analizler şaşı açısı değeri değiştirildiği durum için tekrarlanmış ve elde edilen histogramlardan GKM kullanılarak ağırlıklandırılmış tek bir histogram elde edilerek bu histogramda en büyük

değer yine EBOK yöntemi ile bulunmuş ve gerçek VA değerine yaklaşıldığı gösterilmiştir.

Altıncı bölümde RİA sistemi tarafından ölçülen genlik değerlerinin KFD yöntemi kullanarak faz bilgilerinin elde edilmesi amacıyla uygulanan, ancak başarılı olamayan yöntem tartışılmıştır. Bu bölümde ayrıca tezde başarı ile uygulanan; Şaşı açısı değeri değiştirilerek elde edilen VA değerlerinin histogramlarının çizdirilmesi ve histogramların ağırlıklandırılarak GKM' nin elde edilmesi ve EBOK yöntemi ile GKM' nin en büyük değerinin bulunması işleminin daha etkin hale getirilmesi için GKM ağırlıklarının hesaplanması hakkında yöntem önerisi yapılmıştır.

### **1.3 Literatür Araştırması**

Yön bulma (YB, Direction Finding: DF); radar, sonar, sismoloji ve radyoastronomi gibi çok fazla alanda uygulamalara sahip olması nedeniyle cazip olan ve literatürde sıkça rastlanan bir konudur. Özellikle radar ve sonarda cazip olması ise; TMS320 ailesi gibi yeni jenerasyon, yüksek hızlı sayısal sinyal işlemciler kullanarak gerçek zamanlı analizler yapmanın mümkün olmasından kaynaklanmaktadır (Vu and Rathinam 1988).

Günümüzde VLSI teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ile, önerilebilecek bir dizi paralel mimarilerle söz konusu YB tekniklerinin işlem ağırlığı azaltılabilir ve gerçek zamanlı uygulamalar yapılabilir (Goryn and Kaveh 1988).

#### **1.3.1 Genlik Tabanlı Yön Bulma**

Genlik metodu anten ışın desenlerinden oluşan bir kombinasyonu Doppler Yayılım tayfındaki her bir frekans bileşeni için VA değerini bulmak amacıyla kullanır. Eğer anten deseni biliniyorsa, ve genlik her bir frekans bileşeni için her döngüde ölçüldüyse bu durumda gelen sinyalin yönü bulunabilir. Eğer hedef yayı üzerinde birden fazla pozisyon için özel bir Doppler kayma frekansı üretilirse, bu durumda bu basit analiz yöntemi çalışmaz.

Herhangi bir hata azaltma, yok etme ya da düzeltme tekniği uygulanmadığı durumda genlik karşılaştırması metodunda ortalama YB ölçüm hatası 30 ila 40° RMS değerine ulaşabilmektedir (Gregoire and Singletary 1989).

Analiz algoritması Çoklu Sinyal Sınıflaması (ÇSS, Multiple Signal Classification: MUSIC) (Schmidt, 1986) adı verilen YB algoritmaları kullanılarak birden fazla kaynaktan gelen yayını ayıracak şekilde geliştirilebilir. Barrick ve Lipa (1997) “aynı frekanstaki çoklu kaynaklardan gelen sinyaller için gelişmiş çözünürlük sağlayan 5 elemanlı anteni de içeren simüle verileri kullanarak ÇSS algoritmasının doğruluğunu” değerlendirmiştir.

Çapraz döngü YB HF radar sisteminin en önemli avantajı küçük bir alan kaplayan antenidir. Bu anten, bir kutupta diğer kutuptaki verici ile birlikte bulunur. Bu radar yapısı diğer büyük antenlerinin kullanılmadığı yerlerde tercih edilir. Bu küçük antenlerin sunduğu esneklik dolayısıyla genlik YB sistemleri HF topluluğu için önemli bir opsiyondur.

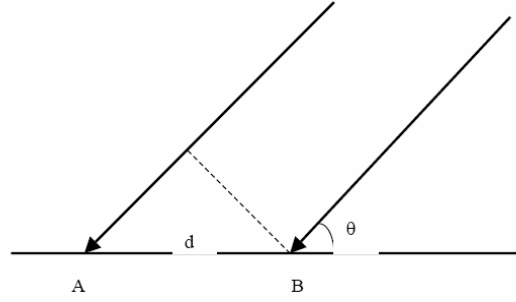
Teknik, anten kutup desenlerine ve özellikle de değişimlerine karşı hassastır. Antenin dalgaboyunun ikilisi içindeki metal objelerin görünüşü anten desenini etkiler. Bunlar kalibre edilebilir ve kurulum yöntemi daha sonra analizde kullanılacak olan gerçek (teorik yerine) desenin belirlenmesini içerir. Sistem desende sonradan meydana gelen değişimlere karşı hassastır.

### **1.3.2 Faz Tabanlı Yön Bulma**

Prensip olarak, aralarında çeyrek dalgaboyu ile yarım dalgaboyu arasında fark olan iki anten (Şekil 1.1), bir nokta kaynağından gelen sinyalin geliş yönünü bulabilir. Sinyalin  $\theta$  açısından geldiği ve radarın dalga boyunun  $\lambda$  olduğu durumda, iki ayrı antenden alınan sinyallerin faz farkı şu formülle verilir:

$$\Delta\phi = 2\pi d \cos\theta/\lambda \quad (\text{Eğer } \Delta\phi \text{ ölçülürse } \theta \text{ açısı bulunabilir.})$$





Şekil 1.1 Aralarındaki mesafe (d) olan antenler

Analiz, genlik YB metodu ile aynı yolu izler. Her bir antendeki faz ve genlikler 100 sn gibi belli bir süre kaydedilir ve Doppler kayması tayfını elde etmek için FFT kullanılır. Daha sonra tepe değerinin her bir frekans bileşeni için, yönü hesaplamak amacıyla faz ilişkisi kullanılır.

İki anten için yalnızca bir yön analiz edilir; kapalı formda N anten için, Doppler kayma frekansına katkıda bulunacak N-1 sinyal yönünü hesaplamak mümkündür (Barrick *et al.* 1977, Gurgel 1997).

Faz ölçümü ile yapılan YB' nin avantajı; söz konusu ölçümün daha hassas sonuçlar vermesi ve daha güvenilir olmasıdır. Dezavantajı ise genlik karşılaştırmasına göre anten dizisinin daha büyük olmasıdır. Örneğin 25 MHz için kare formunda dizilmiş antenler arasında 3m mesafe olmalıdır (Heron 1998).

### 1.3.3 Işın Şekillendirme (Beam-Forming)

Son on yılda YB kestirimlerindeki önemli gelişmelere yol gösteren farklı türde YB teknikleri ve algoritmaları geliştirilmiştir. Bununla birlikte, bilinen algoritmaların çoğunluğu düzgün lineer dizilere (DLD, uniform linear array: ULA) ve düzgün karesel dizi (DKD, uniform rectangular array: URA) mimarisine dayandırılmış, ancak 360° yatay kapsama sağlayabilmesi, kaynağın düşeydeki bilgisini verebilmesi (Işın deseninin

elemanlarına bağı olarak) gibi sayısız avantajlar sunmasına rağmen düzgün dairesel dizi (DDD, uniform circular array: UCA) yapılarına verilen önem sınırlı kalmıştır.

DKD her yönden yayın alamayan (non-omnidirectional) elemanları ile tam bir yatay kapsama sağlayamamaktadır. Işın şekillendirme uygulamalarında, bir DDD' nin yönlenmiş deseni yatay eksen boyunca ışın şeklinde önemli bir değişim olmaksızın elektronik olarak döndürülür. Kenarda kalan bir eleman olmadığından ve karşılıklı kavrama (mutual coupling) etkilerine karşı daha az hassas olduğundan DDD' deki tüm elemanlar birbirinin eşleniği bir ışın deseni gösterecektir (DLD ve DKD ile karşılaştırıldığında) (Tan *et al.* 2002).

Sistemler, anten dizileri kullanılarak dikkate değer bir biçimde geliştirilebilir. Kanalin uzaysal bilgisini kullanacak ışın şekillendirme (beamforming gibi) teknikleri için sinyalin varış açısı gibi kanal bilgisi de önemlidir. VA kestirimi yaparken, klasik ışın şekillendirme tekniklerinin zayıf çözünürlüğünün arzu edilmeyen neticeleri üzerine; kestirim parametrelerinin Fourier limitlerinin ötesinde arttırılması için bir dizi etkin yüksek çözünürlüklü algoritmalar geliştirilmiştir.

Yüksek çözünürlüklü YB kestirimi yıllardır bir çok uygulamada önem arz etmekte olup, konuyla ilgili olarak bir çok teknik önerilmiştir. Geliştirilen yüksek çözünürlüklü algoritmaların bir kısmı, ÇSS, Min-Norm, JoDeG, Sinyal Parametrelerinin Dönerli Değişmezlik Tekniği ile Kestirimi (SPDDK, Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques: ESPRIT), ve Uzay-Alternatifli Genelleştirilmiş En Büyük Kestirimi (Space-Alternating Generalised Maximisation-expectation: SAGE)' dir.

Sinyal alt uzay metodu (ÇSS) (Schmidt, 1986) asimptotik olarak yansız ve etkili kestirimler verdiği için en popüler teknik olmuştur. ÇSS algoritması öncelikle dizi ölçümlerinden sözde sinyal alt uzayını kestirmekte, daha sonra çeşitli diziler ve kestirilen sinyal alt uzayı arasındaki kesişmelerden ilgilenilen parametrelere ulaşmaktadır.

Yeni bir yaklaşım olarak SPDDK, temelde var olan veri modelinden istifade etmesi ve asimptotik olarak yansız ve etkili kestirimler oluşturması bakımından ÇSS algoritmasına benzemektedir. Bunun yanısıra, ÇSS' den çok daha fazla avantajlara sahiptir. Şöyle ki;

- Algoritmanın uygulandığı bir çok senaryoda ÇSS' den daha gelişmiş performansa sahip olduğu görülmüştür.
- Dizinin geometrisini ve elemanların karakteristiklerini bilmeye ihtiyaç duymamaktadır, bu sebeple dizinin kalibrasyonu gerekmemekte ve bir çok dizinin özelliklerinin depolanması ihtiyacı ortadan kalkmaktadır (Roy *et al.* 1986).

Bu algoritmaların çözünürlüğü göz ardı edilirse, DLD' ye gelen radyo sinyallerinin VA kestiriminin yapılması sırasında elemanlar arasındaki mesafe dalga boyunun yarısından fazla olduğunda bir belirsizlik hatası oluşturdukları söylenebilir. Bu belirsizlik hatası VA' nın umulmadık şekilde hatalı kestirilmesine neden olur. Bu etki aynı özelliklere sahip olduklarından ÇSS tipinde veya SPDDK türünde algoritmalar kullanan tüm yöntemlerde gözlenebilmektedir. Bu durumlarda ÇSS ve SPDDK temeline dayalı VA takibini yapan akıllı anten uygulamalarının performansını etkiler.

Sızdırmazlık ortamında yapılan testlerde, kullanılan DLD' nin elemanları arasındaki mesafe ( $d$ ), 2.12 GHz' de yayınlanan sinyalin dalga boyu ( $\lambda$ ) olmak üzere  $0.563 * \lambda$  dır. Sonuç göstermektedir ki belirsizlik hatası, uzaysal bölgede değerlendirildiğinden dolayı sadece kestirilen VA değerlerini etkilemektedir. Zaman Gecikmeli Varış (Time-Delay-of-Arrival: TDoA) ve yol ağırlıkları gibi diğer sinyal parametreleri, uzaysal bölge problemi olmadıklarından anten elemanları arasındaki ayırımdan dolayı etkilenmemektedirler (Tan *et al.* 2002).

## 2. RADAR

### 2.1 Radar Nedir ?

RADAR terimi sistemin en önemli rolü olan yaklaşan tehdidi, hava savunma sisteminin tepki verebileceği yeterli mesafeden algılaması ve mesafe ölçümü fonksiyonunu yerine getirmesi kavramlarını ifade eden “*Radio Detection And Ranging*” ifadesinden gelir.

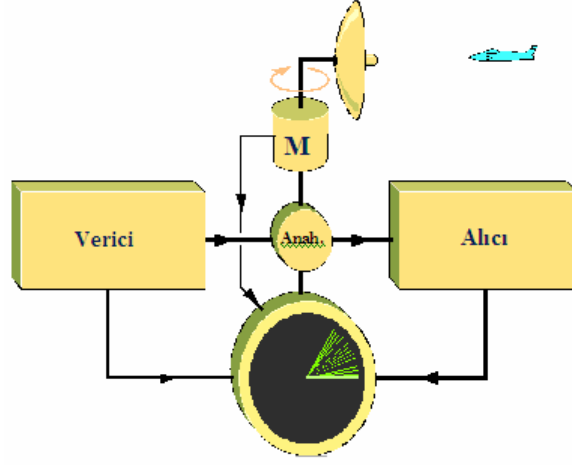
Radar sisteminin mesafe ölçümü ve hedef yönünün bulunması fonksiyonları, hava savunma unsurlarının, gece-gündüz şartlarında, uzun mesafelerde, toz, duman şartlarında, küçük parçalar karşısında ve harekât ortamının zorlu şartlarında görevini yerine getirmesini sağlayan ilave özellikler olmuştur.

Tipik bir radar, dar bir hüzmeye gönderilen EM (Electro Magnetic) enerji ile uzayda hedeflerin olması muhtemel bölgeyi tarar. Taranan bölgede karşılaşılan hedeften yansıyan yayınların bir kısmı geriye radar sistemine döner.

Radar sistemlerinin çoğunluğu algılama ve yayın fonksiyonları için zaman paylaşımı metodu ile tek anten kullandığından aynı anda yayın ve algılama işlemini yapamamaktadır.

### 2.2 Radar Bileşenleri

Geniş bir spektrum maksadı içinde arama (search) ve takip (tracking) görevleri için kullanılan darbe radar sisteminin basitleştirilmiş blok diagramı şekil 2.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1 Genel olarak bir darbe radarının blok diagramı

Verici ünitesi anten yoluyla neşredilen yüksek güçlü sinyalleri oluşturur. Verici ünitesinin çıkış tüpü bir “magnetron”, “klystron” veya “TWT” olabilir. Burada elde edilen darbe yapısındaki elektromanyetik sinyaller, alıcı-verici anahtar ünitesine (Duplexer) gelir.

Alıcı-verici anahtar ünitesi aynı anten ile radarın hem yayın hem de algılama fonksiyonunun yapılabilmesini mümkün kılar. Hızlı bir anahtarlama birimi olan ünite bu özelliği ile alıcıyı, vericinin yüksek güçlü yayınlarından korumuş olur. Alıcı-verici anahtar ünitesi vasıtasıyla neşredilecek sinyalin antene ulaşmasından sonra (yani darbe gönderme süresinin tamamlanmasını müteakip), anahtarlayıcı, anteni alıcıya irtibatlar ve bir dahaki darbe gönderme anına kadar radarın algılama fonksiyonunu yerine getirilebilmesi için alıcıya bağlı kalır.

Antenler, elektromanyetik enerjiyi iletim hattından atmosfere (ya da tersi) geçirmeye yarayan bir çeşit dönüştürücü olup, genellikle parabolik şekilli yansıtıcılardır. Hemen hemen tüm radarlar yönlendirilmiş bir anten kullanır. Hedefin yönü anten yönlendirildiğinde en büyük seviyede eko alınan bölgeden belirlenir. Birbirine benzeyen birçok antenin bir arada uyum içinde kullanılması ile faz dizili antenler oluşturulur.

Alıcı, hedeften dönen zayıf radar sinyallerini algılar, yükseltir ve operatöre görüntülenmek üzere skopa ya da analiz edilmesi için sinyal işlemci ünitesine gönderir. Sinyal işlemci hedeften yansıyan sinyalleri ortamda bulunan istenmeyen yayınlardan (karadan, denizden, yağmurdan vb. olan yansımalar) ayırır. İstenmeyen sinyallerin, hedeften yansıyan sinyallerden daha güçlü olması az rastlanan bir olay değildir. Duran cisimlerden gelen büyük saçınımlar, hareket halindeki küçük sinyallerden, gözlenen frekansta cismin hareketi nedeniyle oluşturduğu frekans kayması ile ayrılabilir.<sup>1</sup>

Alıcının ilk katı, genelde bir yarı iletken diyottan oluşan karıştırıcıdır. (mixer) Burada gürültüsü az olmasına rağmen, yüksek genlikli sinyalleri anında saturasyona uğratabilen RF yükselteçlerde kullanılabilir. Bu da sınırlama etkisi yaptığı için karıştırıcı diyodun zarar görmesini engellemiş olur. Alıcının asıl kazancı, yerel salıngaç(local osilatör)' tan sonra elde edilen ara frekans (AF, Intermediate frequency : IF) üzerinde olur. Tipik olarak 30 veya 60 MHz' de elde edilen AF sinyal için çoğu zaman birden fazla karıştırıcı ve yerel salıngaç kullanılır. AF yükselteci olarak kullanılan geniş bantlı, düşük güçlü yükselticilerden sonra, çoğunlukla "Shottky-Barrier" diyottan oluşan dedektör gelir. Dedektör çıkışında elde edilen sinyal video olarak isimlendirilir ve video yükselticiden geçtikten sonra, direkt olarak veya işlendikten sonra görüntü ünitesine gönderilir. Radar alıcılarında elde edilen AF ve video sinyalleri aşağı yukarı aynı band genişliğine sahiptir.

Alıcı ünitesi ilgi alanında olan sinyalleri (hedef olan hava platformlarından gelen sinyaller) alırken, ilgi alanı dışında olan birçok sinyali de (yerden, kuş sürülerinden, yağmurdan kaynaklanan ve algılanmaya çalışılan hava platformunu maskeleyen ya da ona karışan sinyaller) süzer.

Radarlar uygulama alanlarına göre miliwattlardan megawatlara kadar değişen değerlerde yayın yapabilirler. Radarın sinyal gücü (Peak Power), megawattlar civarında iken, radar sürekli yayın yapmadığından, ortalama güç (Average Power) kilowattlar civarında olabilmektedir.<sup>2</sup> Radardan neşredilen sinyal hedefe çarpıp, geriye alıcıya

---

<sup>1</sup> Bu fenomen "Doppler frekans kayması" olarak adlandırılır.

<sup>2</sup> Ortalama güç, sinyalin yayın anındaki gücünden daha düşük olacaktır.

ulaştığında “watt”ın trilyonda biri seviyelerinde olabilir. Bu da radar sisteminde güç seviyelerinin vericide çok yüksek, alıcıda ise çok düşük değerlerde olduğunu göstermektedir.

### 2.3 Radarın EH Sistemleri Tarafından Ölçülebilen Parametreleri Nelerdir?

Radarda vericiden neşredilen ve alıcıdan algılanan sinyalin dalga formunun işlenmesi süreci hedefin tipine ve bulunduğu çevrenin koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bir operatör, bulunulan çevreye bağlı olarak performansını arttırmak amacıyla radarın şekil 2.2’ de gösterilen çalışma parametrelerini değiştirebilir. Alternatif olarak, sistemin kendi elektronik devreleri otomatik olarak içinde bulunulan ortamı analiz ederek (hangi bölümler kara, hangi bölümler deniz vb.) uygun sinyal parametrelerini, sinyal işleme yöntemlerini ve diğer parametreleri optimize edebilir. Radarın bulunduğu şartlara bağlı olarak performansını arttırmak amacıyla operatör tarafından ya da otomatik olarak sistemin işlemcisi tarafından yapılan parametre değişimleri radarın çalışma modlarını oluşturur.



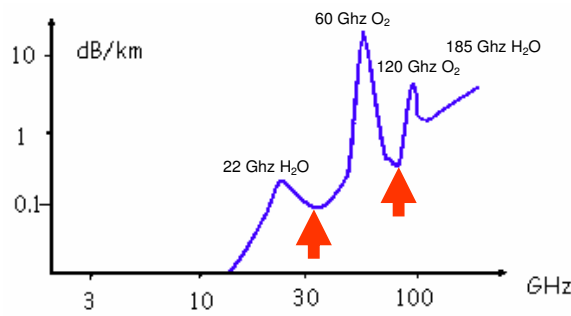
Şekil 2.2 Radarın EH sistemleri tarafından ölçülebilen parametreleri

#### 2.3.1 Frekans

EH açısından bakıldığında tehdit olarak kabul edilen hava savunma silah sistemi radarlarının frekans aralığı 1-20 GHz olarak düşünülse de NATO’ nun bir alt çalışma grubu tarafından hazırlanan “Next Generation EW Suite” dokümanına göre gelişen

teknoloji ve atış kontrol radarlarının daha yüksek çalışma frekanslarına ulaşması nedeniyle bu aralık 0.1-42 GHz aralığı olarak kabul edilmeye başlanmıştır.

Radar sinyallerinin yayılma ortamı olan atmosfer, yapısında bulunan O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O nedeniyle tüm frekanslarda EM enerjisi değişik oranlarda zayıflatır. Frekans arttıkça sinyallerin atmosfer tarafından absorbe edilme oranı daha çok artmaktadır. Şekil 2.3, 1-100 GHz aralığındaki atmosferik zayıflatmayı göstermektedir.<sup>3</sup>



Şekil 2.3 Atmosferik zayıflatma

Grafikte, 12-15 GHz'e kadar olan bölgede önemli bir absorpsiyon problemi yaşanmadığı, daha üst bölgelerde frekans arttıkça zayıflatmanın arttığı açıkça görülmektedir. Bunun yanısıra zayıflatmanın nispeten yüksek olduğu frekans aralığında, 35 ve 94 GHz frekanslarında geçirgenliğin iyi olduğu pencere (window) tabir edilen bölgeler bulunmaktadır. Bazı modern kısa mesafe takip radarları 35 GHz' de bulunan pencereyi kullanırlar (Anonim 2000).

Düşük taşıyıcı frekansların kullanılması, sinyalin daha az atmosferik zayıflatmaya maruz kalmasına, dolayısıyla aynı güç ile daha uzun mesafelere ulaşılmasına yardımcı olur. Yüksek frekanslarda ise, hüzmeye genişliğinin (Beamwidth: BW) düşük frekanslara göre daha dar olmasını, dolayısıyla kazancın daha yüksek olmasını sağlar. Yüksek taşıyıcı frekanslarına yönelmesi daha küçük anten kullanımına, dolayısıyla daha iyi

<sup>3</sup> 10 dB/km; 1 km mesafede sinyalin enerjisinin % 90' ının kaybolduğunu, 3 dB/km; 1 km mesafede sinyalin yarı genliğinin kaybolduğunu, 0.1 dB/km ise; sinyalin genliğinin yarısının kaybolması için 30 km gerektiğini ifade etmektedir.



bir tanımlama yapmaya olanak verir. Uzun mesafelerde algılamanın daha fazla tercih edildiği durumlarda tanımlama önemini yitireceğinden bu tür radarlar düşük frekansları kullanmaya yönelirler. (Taşıyıcı frekansının ne kadar düşük olabileceği tolere edilen en büyük anten boyuna bağlıdır.) Bu sebeple uzaktan algılama yapması beklenen gemi erken uyarı radarları “D” bandında ya da daha düşük bandlarda çalışırken, uçaklardaki uyarı radarları “E/F” , hatta “I” bandı gibi daha üst bandlarda bile çalışabilmektedirler.

Hedef takip ve seyrüsefer radarları için dar hüzmelerin getireceği kesinlik, uzun mesafeden daha önemli olduğundan böyle radarlar tipik olarak “I/J” bandları civarında çalışır. Dar hüzmelerin yanı sıra, hafif bir antene ihtiyaç duyan takip radarları muhtemelen “I/J” ve “K” bandlarını kullanacaklardır (EK 1).

### 2.3.2 Darbe Yineleme Aralığı (DYA)

Ardışık olarak gönderilen darbelerin tekrarlanma hızı manasına gelen DYA (Darbe Yineleme Aralığı) radarın menzilini belirleyen parametredir. Radar sistemleri, bir darbe gönderdikten sonra belirli bir süre gönderilen darbenin çarptığı hedeften dönmesini bekler ve bekleme süresinin ardından bir sonraki darbe gönderilir. Beklenen süre DYA kadardır ve bu süre radarın en büyük menzilini belirler. Bu değere “Belirsiz Olmayan En Büyük Menzil” (BOEBM, Maximum Unambiguous Range: MUR) adı da verilir ve (2.1) denkleminde gösterildiği şekilde hesaplanabilir)

$$\text{BOEBM (km)} = 150 * \text{DYA (msn)} \quad (2.1)$$

Örnek olarak bir radar, iki darbe gönderimi arasında 1 msn süreyle bekliyorsa bu radar için DYA’ nın 1 msn olduğu söylenebilir. EM dalga ışık hızı ile ( $3 \cdot 10^8$  m/sn) hareket ettiğinden 1 msn süresi boyunca gönderilen darbe 300 km yol alır. Alınan bu yolun hedefe gidiş ve dönüş yollarının toplamı olduğu düşünülürse radarın menzilinin 300 km’ nin yarısı yani, 150 km olduğu söylenebilir.

DYA, radarın menzilini etkileyen bir parametre olduğundan, seçiminde dikkatli davranılmazsa bir takım belirsizliklere sebep olabilir. Örnek olarak; En büyük menzili 90 km olan bir radar tasarlanmak için DYA 600  $\mu$ sn. olarak seçilsin. Eğer radar

sisteminin alıcıları gereğinden fazla hassas ise, radara 150 km mesafede bulunan bir hedef, radar tarafından 60 km mesafede bulunan bir tehdit gibi algılanacaktır.<sup>4</sup> Bu sebeple alıcı gereği kadar hassas seçilerek ölçmek istenen mesafenin dışındaki hedeflerden gelecek ekolar göz ardı edilmeli ve en büyük menzil olabildiğince büyük seçilmelidir. En büyük menzili büyük seçmenin (dolayısıyla DYA' yı büyük seçmek) bahsedilen mesafe belirsizliği problemini ortadan kaldıracak hatta bir avantaj bile olabileceği düşünülse de durum görünenden biraz farklı olacaktır. Şöyleki: anten sabit bir hızla tarama yaptığından, hedefe baktığı anda gönderilen darbe sayısının fazla olması hedeften alınan bilginin fazla olmasına ve hedefin gürültüden ayrılarak izlenmesinin kolaylaşmasına yardımcı olacaktır. Dolayısıyla DYA' nın alt ve üst limitlerini uygun şekilde belirlemek gerekmektedir (Anonim 2000).

NATO' nun EH çalışmaları yapan 'Air Group III Sub Group II' nin yayınladığı "Next Generation EW Suite" dokümanına göre tehdit radarları için;

DYA 0.5 - 25 000  $\mu$ sn (DYF 40 Hz - 2 MHz )

arasında seçilmelidir. (Anonim 1998)

### 2.3.3 Darbe Genişliği (DG)

Radarin ölçebileceği minimum mesafeler söz konusu olduğunda darbenin devam etme süresi (Darbe Genişliği : DG) bunda belirleyici rol oynar. Darbe gönderme anında, radar anteninin alıcı ünitelerden ayrılıp, verici üniteye tahsis edilmesi nedeniyle yakın hedeflerden dönen ekolar algılanamaz. Örnek olarak DG değeri 2  $\mu$ sn olan bir radarda bu süre içinde yansıyan hiç bir eko algılanamayacağından, 300 m içindeki herhangi bir hedefin belirlenmesi mümkün olmayacaktır. Bu mesafe radar tarafından ölçülemeyen minimum mesafeye karşılık gelir. DG' nin küçük seçilmesi ölçülemeyen minimum mesafenin de küçük tutulmasına olanak verir.

---

<sup>4</sup> Sistem, DYA kadar süre (600  $\mu$ sn) bekleyecek ve ardışık darbe gönderilecektir. 90 km içinde başka bir hedef olmadığından bu süre zarfında dönen bir sinyal olmayacak, ancak ikinci darbenin gönderildiği andan kısa bir süre sonra (yani 400  $\mu$ sn) önceki darbenin 150 km mesafedeki hedeften yansıyan ekosu geri dönecek ve 60 km mesafede varolan bir hedef gibi algılanacaktır.

DG değerinin küçük seğilmesinin bir diğer avantajı da radarın menzil hassasiyetini arttırmasıdır (Range Resolution). Örnek olarak, 1  $\mu$ s süreli darbe kullanılması halinde, radar doğrultusunda aralarında 150 m' den az mesafe olan iki uğağın geriye yansıyan ekoları birleşeceği için, radar tarafından ayrıştırılmaları mümkün olmayacak ve tek hedef gibi yorumlanacaktır. Bu örnekte radarın menzil hassasiyeti 150 m olarak tanımlanabilir. Genel olarak radarın mesafe hassasiyeti ise  $DG/2$  süreye karşılık gelen mesafe olarak ifade edilebilir (Anonim 2000).

DG değerinin küçük seçilmesi radarın mesafe hassasiyetini arttırması ve ölçülemeyen minimum mesafeyi kısaltması sebebiyle avantajlı bir durum olarak değerlendirilse bile; hem alıcıda hem de vericide geniş bandlar kullanılmasını gerektirmesi, dolayısıyla gürültüye maruz kalınan frekans bölgesini arttırarak en büyük menzilin kısılmasına sebebiyet vermesi nedeniyle dezavantaj yaratan bir durumdur.

Radarlar uzun mesafelerden algılama için uzun darbelere ( $>10 \mu$ s) ihtiyaç duyarlar. Uzak hedeflerden gelen ekolar zayıftır. Gelen ekoların zayıf olması sebebiyle;

- Alıcı hassas olmalıdır, fakat esas önemli olan sinyalin gürültüye oranının (SGO, Signal to Noise Ratio : SNR) yüksek olmasıdır,
- Bu durumda arka planda var olan gürültü oranının düşük olması sağlanmalıdır,
- Gürültünün düşük olması ancak dar band genişliğine sahip filtreler kullanılarak mümkün olabilir,
- Bu tür filtre kullanılabilmesi için sinyalinde dar band genişliğine sahip olması gerekmektedir,
- O halde, "Band Genişliği = 1 / Darbe Genişliği" olduğundan darbe uzun olmalıdır.

Bunun yanısıra DG değeri radarın vericisinin tepe gücünü değiştirmeden gönderilen toplam enerjiyi değiştirmekte ve menzilin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu açıdan bakıldığında da DG değerinin mümkün olduğunca büyük seçilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla alt ve üst sınırları belirlenmiş bir DG değeri ortaya çıkmaktadır. Radarın kullanacağı DG değeri yapacağı göreve göre belirlenmelidir. Örneğin silah sistemlerinin savaş başlıklarındaki küçülme menzillerini azaltacağından

radarlarında küçük DG değerleri kullanılmalıdır. RİA açısından bakıldığında ise radarın tehdit kabul edilebilmesi için DG değeri 0.1  $\mu$ sn ile 1  $\mu$ sn arasında olmalıdır.

Görevi yalnızca başlangıçta hedefin bulunması ve yönünün belirlenmesi olan radarlar erken ihbar (Early Warning), arama (search) ve yakalama (acquisition) radarları olarak adlandırılırlar. Bu radarlarda uzun mesafelerden hedefin tespit edilmesi, mesafe hassasiyetinden daha önemli olduğundan DG değerleri bu görevi yerine getirebilecek büyüklükte seçilmektedir.

Radarin verici ünitesinde üretilen ve neşredilen darbenin başlangıç köşesinin (Leading Edge) dik olması hedeften yansıyacak ekonun başlangıç kenarının dik ve düzgün olmasını, dolayısıyla mesafe ölçüm hassasiyetinin artmasını sağlar. (Bu özellik atış kontrol radarları için oldukça önemlidir.) Bitiş kenarının (Trailing Edge) dik olması ise darbe gönderildikten hemen sonra alıcı verici arasında anahtarlama görevini yapan ünitenin biten kenarı algılayarak alıcıyı devreye sokmasını kolaylaştıracağından dolayı oldukça önemlidir.

Atış kontrol radarları sektörel hassasiyetlerinin iyi olması için dar hüzmelere ihtiyaç duyarlar, ancak dar hüzme ile geniş alanları taramaları çok uzun zaman alacağından başlangıç bilgisi açısından beraber çalışacakları yakalama (acquisition) ya da erken ihbar radarlarına ihtiyaç duyarlar.

Erken ihbar radarları için : (Anonim 1998)

DYF	100-1000 Hz
Hüzme genişliği	6-16°
Menzil	> 200 Nm

Erken ihbar radarı hedefin varlığını tespit ettikten sonra, yakalama radarı hedefin yerini daha hassas pametreleri ile belirleyerek bu bilgileri atış kontrol radarına iletir.

Yakalama radarları için ise:

DYF 800 - 8000 kHz

Hüzme aralığı 3 - 6°

Takip radarları kalem hüzme (pencil beam) adı verilen dar hüzmeleri sayesinde hedefleri hem yatayda hem de düşeyde takip edebilen ve tipik olarak 1° civarında hüzme genişliğine sahip olan sistemlerdir. Uçak gözetim (Aircraft-surveillance) radarı genel olarak yatayda dar (yaklaşık olarak 1° ya da 2°) ve düşeyde geniş olan (yaklaşık olarak 20° ile 40° arasında ya da daha geniş) yelpaze hüzme kullanır. Bu türdeki bir yelpaze hüzme yalnızca yataydaki açıların tespit edilmesine izin verir.

### 3. EH SİSTEMLERİ

#### 3.1 Pasif EH Sistemleri

Pasif EH sistemleri, radarlarda bahsedilen türde bir elektromanyetik yayın yapmadan (pasif), bulunduğu hareket ortamını dinleyen, ortamda var olan radar yayınlarını algılayan, bu yayınların parametrelerini ölçerek konuşlu olduğu platforma veya ortamda bulunan diğer dost unsurlara tehdit olup olmadığına karar veren ve ileride bahsedilecek bir takım teknikler kullanarak mesafeleri, yönleri ve lokasyonları hakkında bilgi toplayan sistemlerdir. Bu amaçla kullanılan pasif EH sistemleri başlıca iki grup altında incelenebilir. Bunlardan:

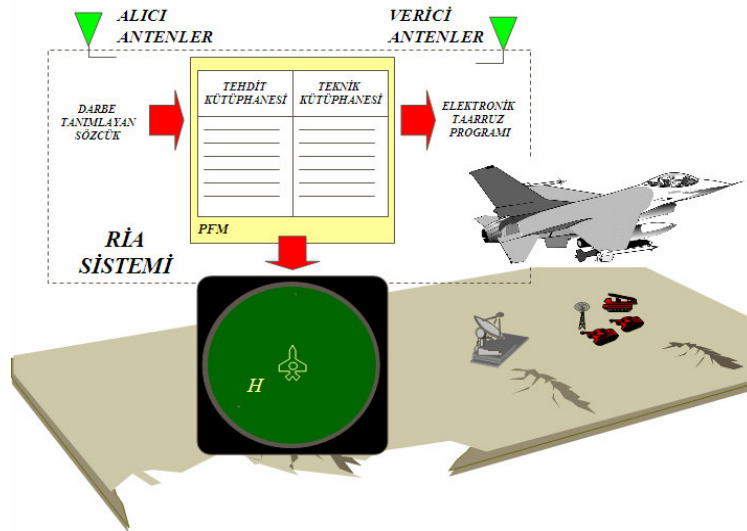
Radar İkaz Alıcısı (RİA) sistemleri konuşlu olduğu platformu korumak amacıyla, sadece düşmanca amaçları olan radarları tespit ederek, bunların mesafe ve yön bilgisini ölçen ve yeterli zaman önceden pilota göstererek, gerekli manevraları yapmasını, pasif tedbirler kapsamında karşıdaki radarı aldatacak alüminyum parçacıkları içeren “chaff” mühimmatını kullanmasını ve ölçtüğü parametreleri aynı platform üzerinde konuşlu olan Elektronik Karşı Tedbirler (EKT, Electronic Counter-Measures : ECM) sistemine aktararak aktif karıştırmaya yardımcı olmasını sağlayan bir sistemdir. RİA sisteminin amacı yalnızca konuşlu bulunduğu platformu korumak ve ona yönelen tehditleri saptayarak, pilota bildirmektir.

Elektronik Destek Tedbirleri (EDT, Electronic Support Measures : ESM) sistemleri ise, RİA sistemlerinden farklı olarak taktik uçaklara değil daha büyük hacimli uçaklara monte edilen ve düşmanın tehdit menziline içine girmeden uzak mesafelerden pasif yöntemler kullanarak ortamda var olan tüm yayınları algılayan, bunları sınıflandıran, parametrelerini daha ayrıntılı olarak ölçen, analiz eden ve sonuçta elde edilen Harekat Alanının Elektronik Düzeni (HAED, Electronic Order of Battle : EOB)’ ni linkler vasıtasıyla yerdeki komuta merkezine ileten ya da hareketin havadan yönetilmesine destek veren sistemlerdir.

### 3.1.1 Radar İkaz Alıcısı (RİA) nedir?

Radar İkaz Alıcısı sistemleri, yerde uçuş öncesinde programlanan “Tehdit Parametrelerini Tanımlama Tablosu” nu kullanarak, alıcılarını, bahsi geçen kütüphanede bulunan yayınları arayacak şekilde uygun frekans aralıklarına ayarlar. Alıcılar sürekli olarak ortamdan gelen sinyalleri dinler ve kendisine doğru “kilit atmak” ya da “takip etmek” amacıyla yapılan yayınları arar. Alıcıların ayarlandığı frekans aralığında olan ve sistem tarafından algılanan yayınların; tam frekansı, DYA, DG ve genlik değerleri ölçülür.

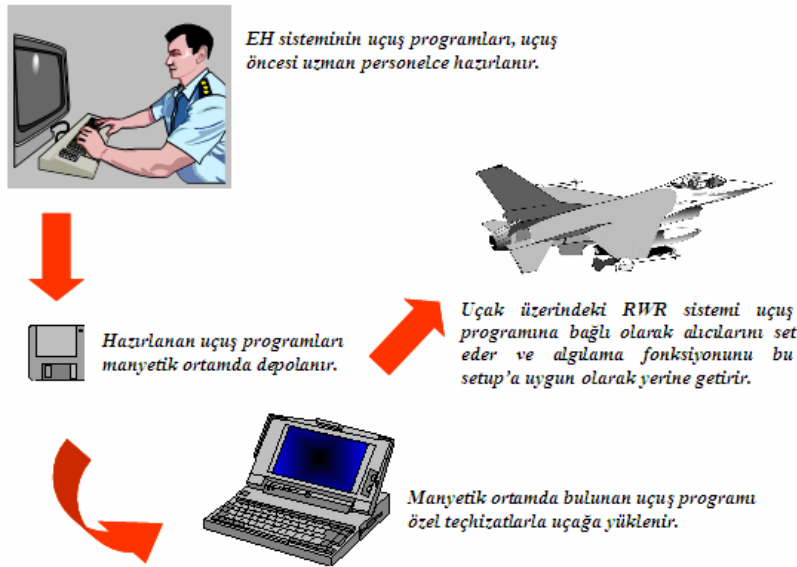
Ölçüm işleminin tamamlanmasından sonra tespit edilen değerler, söz konusu frekans aralığında bulunan tehditin, tehdit kütüphanesinde bulunan DYA ve DG değerleri ile karşılaştırılır. Eğer uyum varsa tehditin kimliği belirlenmiş olur. Kimlik bilgileri tespit edilen radarın ölçülen sinyal genlik değerinin, tehdit kütüphanesinde tanımlı etkin yayının gücü (Effective Radiated Power: ERP) değerinden hangi mesafede ölçülen değere düşeceği belirlenir. Böylece kabaca mesafe ölçümü yapılmış olan tehdit için değişik antenlerden gelen sinyallerin genlik ölçüm değerlerinin karşılaştırılmasından sonra da yön bilgisi belirlenmiş olur. Bir sonraki aşamada kimliği, yönü ve kabaca mesafesi belirlenen tehdit, görsel sembol ve işitsel seslerle pilota bildirilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Radar İkaz Alıcısı şematik blok gösterimi

“Tehdit Parametrelerini Tanımlama Tablosu” nin oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus kütüphaneye hedef takip radarı (HTR, Target Tracking Radar: TTR) ve atış kontrol radarı (AKR, Fire Control Radar: FCR) türündeki radarlarının programlanmasıdır. Bu tür radarlar daha önce bahsedildiği gibi taşıyıcı frekans değeri yüksek, DYA ve DG değeri düşük olan ve silah sistemlerini hedefe yönlendirebilecek kadar hassas mesafe ve yön bilgisi verebilen ve savaş uçakları açısından tehdit kabul edilen radarlardır.

Çoğunlukla koruduğu uçak platformuna tehdit olan radar sinyallerini en çabuk şekilde algılamak, tanımlamak, yerini bulmak ve göstermek amacıyla geliştirilmiş olan RIA sistemleri gemileri ve yere konuşlu unsurları korumak amacıyla da kullanılabilir. RIA’ lar tipik olarak etraflarında 360° tarama alanına sahip olup, tehdit olduğu kabul edilen tüm silah sistemi radarlarının korunan platforma ulaşan ilk hüzmelerini algılayacak kadar kısa sürede tüm frekans spektrumunu tarayabilecek kabiliyette olmaları beklenmektedir.



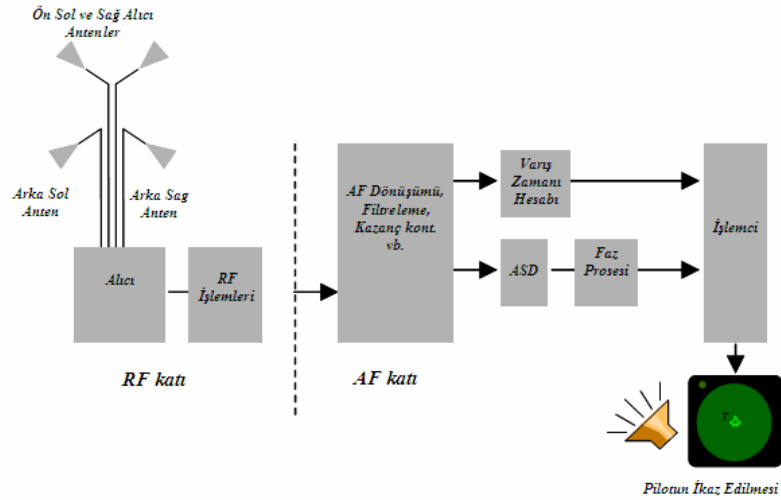
Şekil 3.2 RIA sistemlerinde kullanılan uçuş programlarının hazırlanış döngüsü

Sistem, sadece şekil 3.2’ de gösterildiği gibi uçuş öncesinde programlanan “Tehdit Parametrelerini Tanımlama Tablosu” nda yer alan tanımlı tehditleri algılamaktadır.



Algılama işlemini yaparken radarlardan gelen sinyallerin tamamını değil, belirsizliğe neden olmayacak kadar yeterli datayı toplayarak, hızlı bir veri işlemeye tabi tutmaktadır. RİA sistemi alıcılarının, radarların ana hüzmelerinden gelecek yayınları algılayacak yeterli seviyede hassasiyete sahip olmaları, sinyalin varış açısını belirlemeleri, kokpitte oturan pilotun durumdan haberdarlığını (Situational Awareness: SA) sağlamaları ve karıştırma sistemlerine ihtiyacı olan parametreleri sağlamaları beklenmektedir.

RİA sistemleri, muhtemel tüm tehditler karşısında % 100 ya da çok yakın rastlaşma olasılığı (Probability of Intercept: POI)' na sahip olmalıdır. Rastlaşma olasılığının burada bahsedilen anlamı bir tehditten gelen ve alıcının hassasiyet seviyesinin üzerinde olan sinyalin korunan platforma ulaşmasından sonra çok kısa bir sürede (genellikle 1 sn) algılanması ve gösterilmesidir.



Şekil 3.3 RİA sisteminin blok diagramı

RİA sistemleri uçağın etrafında birbirine simetrik olarak yerleştirilmiş az sayıdaki (genellikle 4) yönlendirilmiş anten ile algılama yapar. Antenler yoluyla alınan sinyaller, tüm tehdit frekans bandını kapsayan ön uç filtrelerini içeren ve sinyalin hangi banda düştüğüne karar veren kristal video alıcılara ulaşır. Kristal video alıcılardan çıkan video sinyalleri, alınan darbe dizilerinin parametrelerini ölçen ve elindeki ölçüm sonuçlarına

bakarak bu değerlerin hangi radarın (dolayısıyla hangi silah sisteminin), hangi moduna ait olduğuna karar verecek olan işlemciye gelir.

Şekil 3.3' te görülen blok diagramı RİA sisteminin çalışma mantığını göstermesi açısından basit ve etkilidir. Farklı antenlerden gelen sinyal genliklerinin karşılaştırılması sonucu, işlemci uçağın burnunu sıfır referansı (boresight) alarak, sinyali gönderen yayının yönünü hesaplamaktadır. Paralel olarak yürütülen bir dizi işlem ile alıcılara gelen sinyal gücünden, sinyali gönderen yayının korunan platforma olan mesafesi hesaplanır. Tehdit yayınının tipi, yönü ve uçağa olan mesafesi pilota sesli ve görüntülü olarak bildirilir. Kullanılan ilk modellerde, lokasyon bilgisi merkezden uzanan bir strob ile gösterilirken, sinyalin varış açısı, strobun açısı ile ve tehditin uzaklığı strobun merkezden olan uzunluğu ile kabaca ifade edilmiştir. Tehdit tipi ise ayrı bir panelde ışıklı şekiller ile gösterilmiştir. Sonraki uygulamalarda, tehdidin tahmin edilen mesafesini, yönünü ve tehdidi tanımlayan sembolü gösterecek özellikte göstergeler kullanılmış ve pilota gerekli olan tüm bilgilerin bir seferde verilmesi sağlanmıştır.

Ses uyarıları başlangıçtan itibaren her zaman kullanılmıştır. Önceleri, sadece tehdit olan emiterden gelen darbelerin sesi operatörün kulağına iletilmiş ve zamanla becerisi artan operatörlerin kulağına gelen sinyalin DYA' sından ve tarama paterninden yararlanarak tehdidi tanınması imkanı sağlanmıştır. Sonraki aşamada bu işlenmemiş video ses çıkışı pilotun dikkatini dağıtmaması amacıyla, sadece hedef takip radarının kilit yada füze atması gibi önemli durumlarda üretilen sentetik ses sinyali haline dönüştürülmüştür. Mevcut durumda, ses sinyali özellikle deniz kuvvetlerinin kullandığı EDT sistemlerinde kullanıma devam edilmektedir.

### **3.1.2 Yeni geliştirilen RİA teknikleri**

Hassas Lokasyon ve Tanımlama (HLTA, Precision Location and Identification: PLAID), ölçümleri normal RİA antenleri ile yapılan lokasyonu hassas olarak belirleme ve tanımlama tekniğidir. Tehdit sinyal parametreleri (genlik ve faz bilgisi) mevcut durumdaki RİA sistemlerine oranla iki kat daha doğru şekilde ölçülür. Bu işlem Özel Yayın Kaynağı Takibi (ÖYTA, Specific-Emitter Tracking: SET) ve Özel Yayın Kaynağı Tanımlanması (ÖYTN, Specific-Emitter Identification: SEI) adı verilen

özellikleri desteklemektedir. HLTA, zaman ve frekans ekseninde yapılacak modern analiz algoritmalarını desteklemek için yeterli işlemci gücüne sahip gelişmiş sayısal alıcı (Advanced Digital Receiver: ADR) teknolojisini içerir. Kurulum dizaynı, RİA sistemlerinin var olan ünitelerinin ADR ile değiştirilmesini ya da Grup-A modifikasyonu yapılmadan ünitenin modifiye edilmesini gerektirmektedir.

F-15 ve C-130 uçaklarında yapılan testlerde HLTA, ÖYTN ve hassas lokasyon (precision location) konusundaki tüm beklentileri karşılamış olup, bu kabiliyeti mevcut durumda ABD Hava Kuvvetlerinin envanterinde bulunan AN/ALR-69 RİA sistemlerine kazandırma konusundaki çalışmalar devam etmektedir.

Darbe-Doppler Tanımlama Modülü (DDTM, Pulse-Doppler Identification: PDID), uçakların atış kontrol radarlarının PD sinyallerini işleyen modülün kullandığı yöntemleri kullanarak PD sinyalleri analiz eden, ve her hangi bir RİA' dan gelen video çıkış sinyallerini kabul eden sayısal tabanlı bir alt işlemci sistemidir. Bu analizin sonucu var olan PD sinyallerin sayısı ve belirli radar tiplerinin (dost ya da düşman) tanımlanması sağlanabilmektedir. DDTM modülü gelen sinyallerin filtrelemesini yaparak, RİA' nın PD radarlar karşısındaki hassasiyetini artırır. Algoritma FFT kullanarak RİA sisteminden gelen video sinyalini analiz eder ve ÖYTN tekniklerini uygulamak için yeterli parametrik ayırımı yapar. Böylece diğer görevlerde ÖYTA uygulanmasına imkan verir. Analiz sonuçları RİA sistemine diğer tehdit bilgileri ile birlikte görüntülenmek üzere gönderilir.

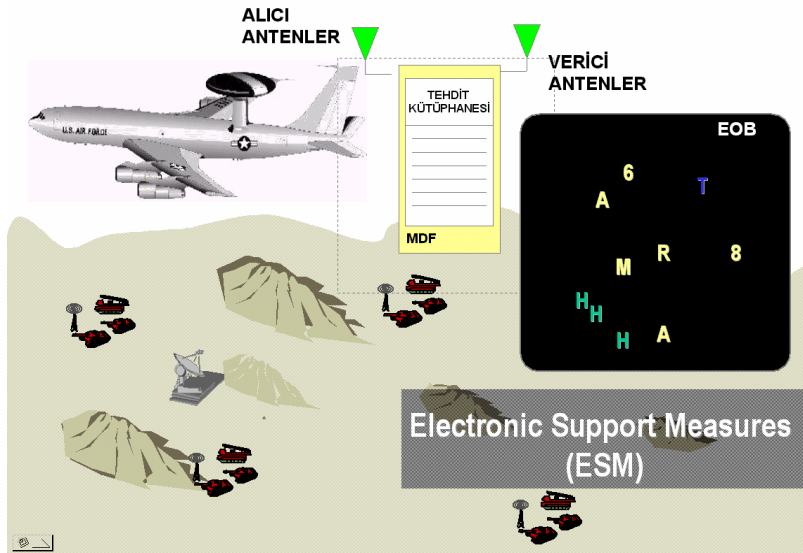
DDTM, EGLIN Air Force Base test sahasında başarıyla tanıtılmıştır. DDTM, RİA sistemine bir eklenti ya da bir modifikasyon kurulumu şeklinde geliştirilmiştir. RİA üreticilerinin bilgisayar kartlarının boyutlarının küçülmesi sebebiyle DDTM onun izlerinde yer alacak sayılı komponentlerden birisidir.

Gelişmiş Taktik Hedefleme Teknolojisi (GTHT, Advanced Tactical Targeting Technology: ATTT), çok sayıda uçakla tehdit lokasyonunu bulma yaklaşımını geliştirmek için yürütülen bir programdır. Bu program, taktik uçaklar arasında sinyal geliş açısı bilgisini paylaşmak amacıyla veri bağı kullanımına dayanmaktadır. Birden fazla platformdan gelen geliş açısı verilerini kullanan işlemci, tehditin lokasyonuna

üçgenleme metodunu kullanarak karar verebilir. Eğer dataları toplayan platformlar birbirinden tehdit radarına olan mesafeleri oranında açılırlarsa lokasyon bilgisinin doğruluğu artmaktadır. Bunun yanı sıra, hareket halindeki bir çok platformdan yapılan ölçümler; ölçümleri yapan platformların bireysel hatalarından kaynaklanan belirsizlikleri de azaltır. Başlangıçta kullanılan linklerin yerini zamanla laser tabanlı veri bağının alabileceği umulmaktadır.

### 3.1.3 Elektronik Destek Tedbirleri (EDT) sistemleri

Elektronik Destek Tedbirleri sistemleri, RİA sistemlerine benzer şekilde uçuş öncesi yerde programlanan bir tehdit kütüphanesine sahiptir ve bu kütüphane aracılığı ile havada her türlü radar sinyallerini arar. Tehdit kütüphanesinin oluşturulması sırasında, RİA sistemlerinde olduğu gibi sadece HTR ve ATR türündeki radarlar değil aynı zamanda Erken İhbar Radarı (Early Warning: EW), Yakalama Radarı, Yerden Kontrollü Kesiştirme Radarı (Ground Controlled Intercept: GCI) vb. her türdeki radarlar programlanmaktadır. RİA sistemlerinden farklı olan yanı ise, ortamda var olan fakat kendi tehdit kütüphanesinde bulunmayan sinyalleri de kaydederek gerçek zamanlı ya da uçuş sonrası yerde analiz imkanı sunmasıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Elektronik Destek Tedbirleri sisteminin şematik blok gösterimi

Bu tür sistemlerin amacı ortamın önceden bilinmeyen ve oldukça karmaşık olan gerçek zamana yakın HAED' ni çıkartarak, değişen ortam şartlarını izlemek ve düşmanın varlığını tespit ederek hem kendi savunmasını hem de pasif gözetleme görevini yerine getirir. Bu görevleri gerçekleştirirken savaş uçakları gibi düşman hatlarının içlerine kadar girmez, dolayısıyla doğrudan tehditlere maruz kalmazlar. Ancak uzak mesafelerden algılama yapabilmeleri için çok daha hassas alıcılara sahip olmaları gerekmektedir (Neri 1991).

HAED' nin oluşturulması hem antenlere gelen sinyallerin algılanmasına hem de bu sinyallerin taşıyıcı frekansı, varış açısı (Angle of Arrival : AOA), geliş zamanı (Time of Arrival: TOA), DG, genlik değeri, Atım Üstü Kiplenimi (Modulation on Pulse: MOP) ve zamandaki şekil ve modülasyonuna bağlı olarak sınıflandırılmasına dayanır. Tüm bu bilgilerin dışında EDT sisteminin yayın yapan emiterlerin darbelerini bağıntı kurarak ve onları aile grupları içine yerleştirerek ayıklama ve ilişkilendirme denen karmaşık işlemleri gerçekleştirmesi beklenmektedir (Schleher 1999).

EDT sistemleri algıladığı tehditin yön bilgisini vermesinin yanısıra üçgenleme metodunu kullanarak, düz bir hat üzerinde farklı noktalardan ölçümler yapmakta ve belli bir dairesel hata olasılığı (DHO, Circular Error Probable: CEP) değeri içinde tehditin konum bilgisini de üretebilmektedirler.

#### **3.1.4 RİA sistemi ile EDT sisteminin farkları**

EDT sistemleri, alıcılarının daha hassas olması ve daha iyi bir lokasyon bilgisi verebilmesi bakımından RİA sisteminden farklıdır, ancak esas fark EDT sisteminin algılanan sinyaller üzerinde daha detaylı analizler yapabilmesinden kaynaklanmaktadır. Tipik bir EDT sistemi algıladığı tüm sinyallerin parametrelerini ölçer, kaydeder ve sistemi elektronik istihbarat (Electronic Intelligence: ELINT) sistemlerine yaklaştıran bir özellik olan kullanıcı tarafından istenen ekstra analizleri gerçekleştirir. Bunun yanı sıra EDT sistemleri tehdit sinyallerini RİA sistemlerinden farklı olarak sadece ana lobundan değil yan loblarından algılayabilmektedir.

RİA sistemlerinden beklenen fonksiyonların mevcut haliyle EDT sistemleri tarafından tam olarak karşılanması mümkün değildir. Her iki görevin bir arada yerine getirilebilmesi için hem RİA sistemlerinde, hem de EDT sistemlerinde performans arttırımı yapma ihtiyacı bulunduğu görülmektedir. Hiçbir RİA kullanıcısı EDT kabiliyetlerine sahip olmak için RİA kabiliyetlerini feda etmek istemeyeceğinden, yapılan çalışmalar RİA sistemlerine mevcut kabiliyetlerini kaybettirmeden EDT sistemlerinin kabiliyetlerine yaklaştırma konusunda yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalarda esas olarak geliştirilmek istenen özellikler:

- Tüm tehditleri, kontrol ettikleri silah sistemlerinin ölümcül mesafelerinin daha uzağındaki mesafelerden ve yan loblarından bile algılayabilecek seviyede yeterli hassasiyete sahip olması,
- VA ölçüm hassasiyetinin, tehditin yerini diğer dost platformlara tam olarak aktarabilecek kadar yeterli olması,
- Darbe-Doppler radarlardan gelen yayınların algılanması,
- Dost ve düşman yayınlarının ayrılması,
- Özel yayın kaynaklarının takip edilebilmesi (ÖYTA) ya da daha iyisi özel tehditlerin tanımlanabilmesi (ÖYTN),
- Karşılaşılması olasılığı düşük olan (Low Probability of Intercept : LPI) türündeki radarların tespiti ve yerinin belirlenmesi,

olarak sayılabilir. Yeni beklentiler bazen üstesinden gelinmesi gereken yeni sorunları da beraberinde getirebilir. Şöyleki;

- Arttırılan hassasiyet yayın kaynaklarının yan loblarından da algılanmasına olanak verir, ancak alıcıların hassasiyetinin arttırılması ortamda bulunan çok sayıdaki ilgisiz sinyalin de tespit edilmesine sebep olmaktadır. Hassasiyetin her 1 dB iyileştirilmesi taranan frekans aralığında % 25 daha fazla sinyal algılanması sonucunu doğurur.
- Ölçüm doğruluğunun arttırılması daha fazla “bit” ile ifade edilen daha fazla veri manasına gelmektedir. Bu da işlemci hızının ve hafıza biriminin yükseltilmesini

gerektirmektedir. Sayısal teknolojinin kullanılması bu problemi ortadan kaldırsa bile datanın aktarılması halen önemli bir problemdir. Daha yüksek veri bağı bandgenişliği, daha uzun görüş hattı (line of sight) manasına gelen yüksek taşıyıcı frekansı ve daha dar hüzmeler manasına gelen antenler gerektirmektedir.<sup>5</sup>

- Fark Doppler (FD) son derece hassas emitter lokasyon bilgisi üretir, ancak ölçümler, ölçümü yapan uçağın hızından kaynaklanan doppler frekans kayması temeline dayanmaktadır. Bu yerde konuşlu platformlar için bir problem doğurmasa da, hızı korunan platforma yakın olan hava platformları için (iki uçağın oluşturacağı doppler kaymalarının da aynı seviyede olması nedeniyle ayrımaları zor olacağından) ciddi bir problemidir.



Şekil 3.5 EDT ve RIA sistemlerinin entegrasyonu örneği

RIA sistemi, EDT sistemi ile aynı fonksiyonu yerine getiremese de, şekil 3.5’ te görülen AN/ALR-76/504 örneğinde olduğu gibi iki sistem entegre edilebilir.

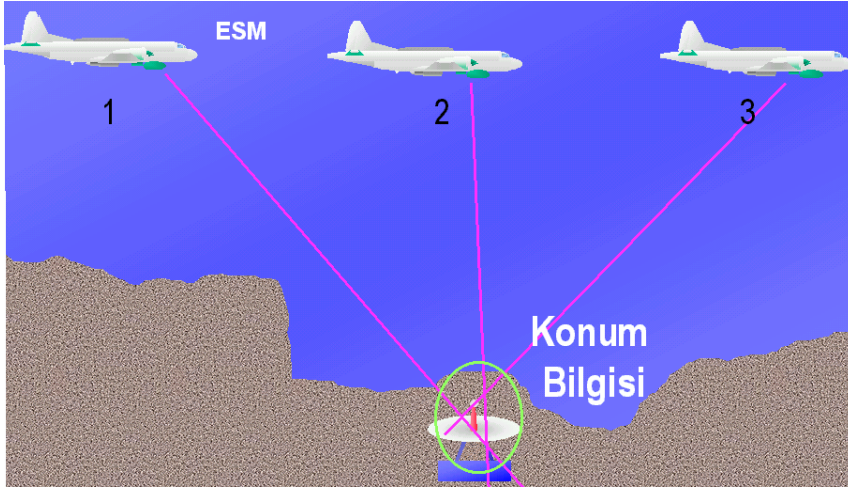
---

<sup>5</sup> Daha dar hüzmeler hızlı hareket eden platformlar karşısında daha sıkı bir anten takibi yapılmasını gerektirir.

## 3.2 EH Sistemlerinde Konum ve Yön Belirleme

### 3.1.2 Üçgenleme (Triangulation)

Konum bilgisinin üretilebilmesi amacıyla platformun düz bir hat üzerinde uçuşması ve değişik noktalarda hedeften kestirmeler almasıdır. Hesaplamalar sonucunda hedefin konum bilgisi bir DHO değeri içinde verilir. Alınan kestirme sayısı arttırılırsa DHO değeri küçülür (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Üçgenleme (Triangulation)

### 3.2.2 EH sistemlerinde VA

RİA ve EDT sistemlerinde; Karıştırmayı doğru yönde yapmak, durumun farkında olmak (Situational Awareness) ve ortamın HAED' sini çıkarmak gibi amaçlarla pasif metotlar kullanılmakta yani EH sistemini taşıyan platform herhangi bir yayın yapmadan, ilgilendiği sistemin yaptığı yayını kullanarak düşmanın konumunu belirleyebilmektedir.

RİA ve EDT sistemlerinde, emiterlerin tanımlanması fonksiyonu, aynı emiterden yayılan ardışık darbelerin frekans ve VA parametreleri kullanılarak ilişkilendirilmesini gerektirmektedir. VA parametresi düşmanın darbeden darbeye değiştiremeyeceği bir



parametre olması itibari ile oldukça önemlidir. Bununla birlikte zaman bölgesinde çakışan darbelerin VA parametrelerini belirleyebilmek için onların öncelikle frekans bölgesinde ayrıştırılması gerekmektedir. VA amacıyla kullanılan temel metotlar:

- i) Dönen yönlü anten kullanılması,
- ii) Genlik karşılaştırılması,
- iii) Faz karşılaştırılması,
- iv) Zaman farkının karşılaştırılması,

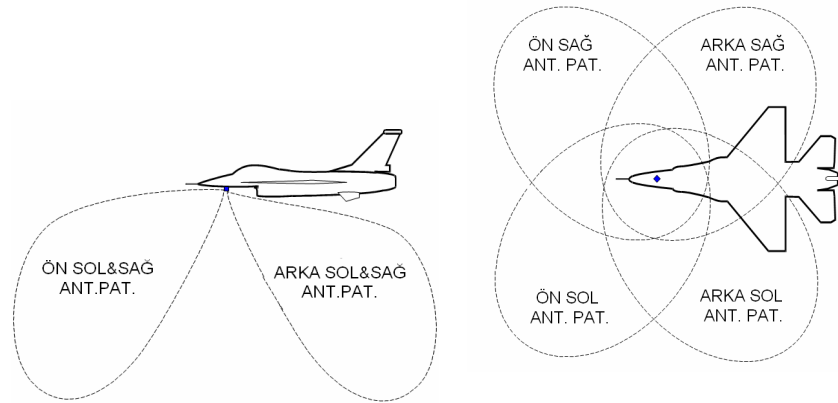
başlıkları altında sayılabilir.

### 3.2.2.1 Dönen yönlü anten (Rotating Directional Antenna)

Bu metot ince algılama hüzmesine sahip dönen bir antenin döndüğü yönden aldığı sinyalleri değerlendirmesi ile yön bilgisine ulaşmasını sağlayan bir yöntemdir. RİA türünde sistemlerde kullanılması, yönlendirilmiş büyük antenler gerektirmesi nedeniyle mümkün olmayıp EDT sistemleri tarafından kabul gören bir yöntemdir.

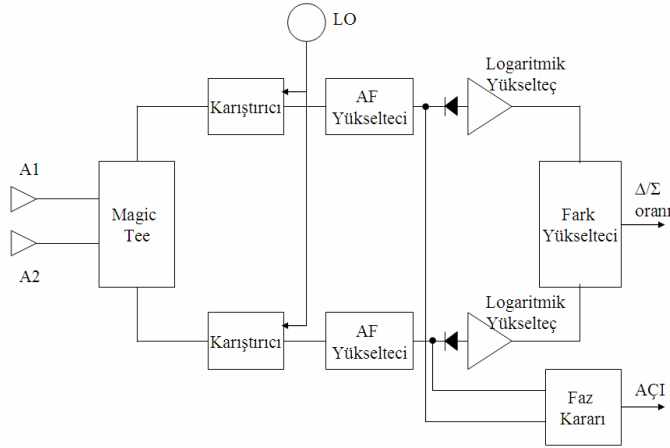
### 3.2.2.2 Genlik karşılaştırmalı (Amplitude Comparison) tekli-darbe (Monopulse) tekniği

Genlik Karşılaştırması tekniği bir çift antenden alınan sinyallerin genlik seviyelerinin karşılaştırılması mantığına dayanır. Genel olarak uygulamalarda şekil 3.7 (a) ve (b)' de görülen şekilde 360° yi kapsayacak geometride birbirlerine aralarında 90° açı olacak şekilde monte edilirler.



Şekil 3.7 RİA antenlerinin alıcı patterninin (a)yandan görünüşü, (b)üstten görünüşü

Her bir anten, mikser, osilatör, dedektör ve logaritmik video yükselteci içeren alıcı kanalına sahiptir. Bu alıcı kanallarında RF sinyaller algılanır ve logaritmik olarak yükseltilir (Skolnik 1981). Genlik karşılaştırmasında, dairesel olarak polarize edilmiş, frekanstan bağımsız ve eksenini etrafında simetrik bir paterne sahip antenler kullanılır (Şekil 3.8).

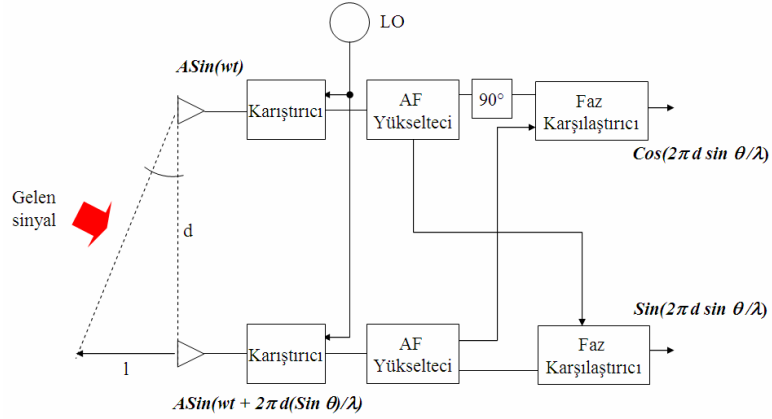


Şekil 3.8 Genlik karşılaştırmalı sistemin blok diagramı

VA doğruluğu ve genlik karşılaştırmalı tekli atım YB sisteminin hassasiyeti ek alıcı kanallarında daha fazla sayıda daha dar hüzmeye genişliğine sahip antenler kullanılarak artırılabilir. Alıcı kanalları arasındaki dengesizlik geliş açısının hesaplanmasında meydana gelen hatanın kaynağıdır.

### 3.2.2.3 Faz karşılaştırmalı (Phase Comparison) tekli-darbe (Monopulse) tekniği veya interferometre

Faz karşılaştırmalı sistemlerde, antenlerde algılanan RF sinyallerin faz farkı RF sinyalin dalga cephesinin geliş değerinin yani geliş açısı değerinin hesaplanmasında kullanılır.



Şekil 3.9 Faz karşılaştırmalı sistemin blok diagramı

Tipik bir faz karşılaştırmalı monopulse YB sisteminin blok diagramı şekil 3.9.' da görülmektedir. Hedeften çıkan dalganın cephesi<sup>6</sup> algılayan sistemin sıfır hattına göre belli bir  $\theta$  açısıyla geliyorsa, antenlere olan yolların arasındaki fark nedeniyle  $A_1$  antenine  $A_2$  anteninden daha önce ulaşır.

$$l = d(\sin \theta) \quad (3.1.)$$

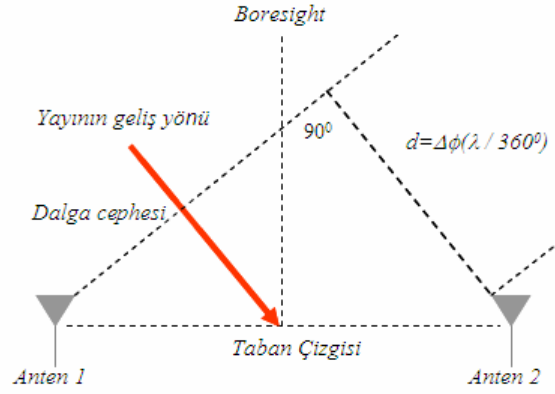
Radardan belli bir açıyla gelen sinyal önce  $A_1$  antenine ulaşacak ve "1" mesafe kadar daha yol aldıktan sonra  $A_2$  antenine ulaşacaktır. Bu yolu alırken geçen zaman diliminde, sinyalin  $A_1$  antenine ulaştığı andaki fazı,  $\Phi$  oranında değişecektir.

$$\Phi = 2\pi d(\sin \theta)/\lambda \quad (3.2.)$$

Bu eşitlik sinyal oran açısının elektriksel faz kayması  $\Phi$  ile ilgili temel interferometrik eşitliktir. Gerçekten,  $l$  ve  $\Phi$  için bu eşitlik sinyal dalga önünün yatay düzlemde olduğu varsayımıyla çıkartılır. Eğer bir YB sisteminin yaklaşık  $1^\circ$  RMS doğruluğa sahip olduğu ifade edilirse, genellikle bu sistemin interferometric teknikler kullandığı söylenebilir. Bu teknik, sahip olduğu her iki antendeki algılanan sinyallerin fazlarını ölçer ve bu faz

<sup>6</sup> Dalga cephesi normalde var olmayan, ancak yararlı bir kavramdır. Algılama yapan sisteme ulaşan sinyalin yayılma yönüne dik bir hat tarafından ifade edilir.

değerlerinin farkından yola çıkarak geliş açısı değerini hesaplar. İnterferometrik YB tekniğinin temeli en iyi şekilde interferometrik üçgen ile açıklanabilir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 İnterferometrik üçgen

Neşredilen sinyal sinüsoidaldir ve ışık hızı ile yayılır. Sinyalin bir tam çevrim (cycle) uzunluğu  $360^\circ$  faza karşılık gelir. Sinyalin gözlenen fazı, dalga önü boyunca herhangi bir noktada aynı olur. Dalgaboyu ile frekans arasındaki ilişki şu formül ile verilebilir:

$$c = \lambda * F$$

$c$ : Işık hızı ( $3 \times 10^8$  m/sn)

$\lambda$ : Dalga boyu (m)

$F$ : Sinyalin frekansı (Hz)

Taban çizgisi, dalga cephesi ve  $d$  tarafından oluşturulan interferometrik üçgende, bir emiterden neşredilen sinyalin dalga cephesi herhangi bir antene ulaştığında diğer antenden mesafesi,  $d$  kadardır.  $d$ 'nin dalgaboyuna oranı  $360^\circ$ 'in faza bölümü ile aynıdır. İki antenden alınan sinyallerin faz farkı, bu sebeple,  $d$ 'nin dalgaboyu oranına eşittir.

$d$ 'nin taban çizgisi uzunluğuna oranı  $A$  açısının sinüsüdür ve  $A$  açısı  $B$  açısına eşittir. Taban çizgisine dik olarak çizilen doğru interferometrenin "sıfır" açısı,  $B$  açısının değeri ölçülen geliş açısı olur.

Interferometre sistemlerinin çoğunda, taban çizgisi  $0.1$  ile  $0.5 \times \lambda$  boyu arasındadır. Taban çizgisi  $0.1 \times \lambda$ ' dan daha kısa ise yeterli doğruluk sağlanamaz ve eğer  $0.5 \times \lambda$ ' yı geçerse belirsiz cevaplar üretir.

Belirsizlik olmayan açı ölçümlerinde, interferometrenin iki anteni arasındaki sinyalin fazının değişimi  $2\pi$ ' den daha küçük olmalıdır. Bu durumda, iki anten arasındaki mesafe dalga boyunun yarısından daha büyük olamaz.

İnterferometre yani faz karşılaştırmalı YB sistemleri, hızlı tepki verme avantajına sahiptir, ancak genellikle kapsama alanı geniş antenler kullanırlar ve bu da hassasiyeti kötüleştirir. Bunun yanısıra bu sistemler, çok değişik çevresel koşullarda kullanılmaları ve geniş frekans aralığına sahip olmaları nedeniyle antenler arasındaki faz uyumunu sürdürebilmeleri için oldukça kompleks mikrodalga devreleri gerektirirler. Yüksek konum belirleme hassasiyeti gerektiğinde ( $0.1$  ile  $1^\circ$  arasında) belirsizlik (ambiguity) çözme devreleri ile birlikte interferometre sistemlerinden yararlanılır.

Şekil 3.11' de görülen iki elemanlı interferometre metodunda, iki anten arasında oluşan faz farkı sinyalin geliş açısı  $\theta_i$ ' ye bağlı olarak (3.3) denkleminde uygun şekilde değişmektedir.

$$\Delta\phi = \phi_A - \phi_B = 360 d \sin\theta_i / \lambda \quad (3.3.)$$

$\Delta\phi$  (deg) : A ve B noktaları arasındaki faz farkını,

$\lambda$  (m) : Sinyalin dalga boyunu,

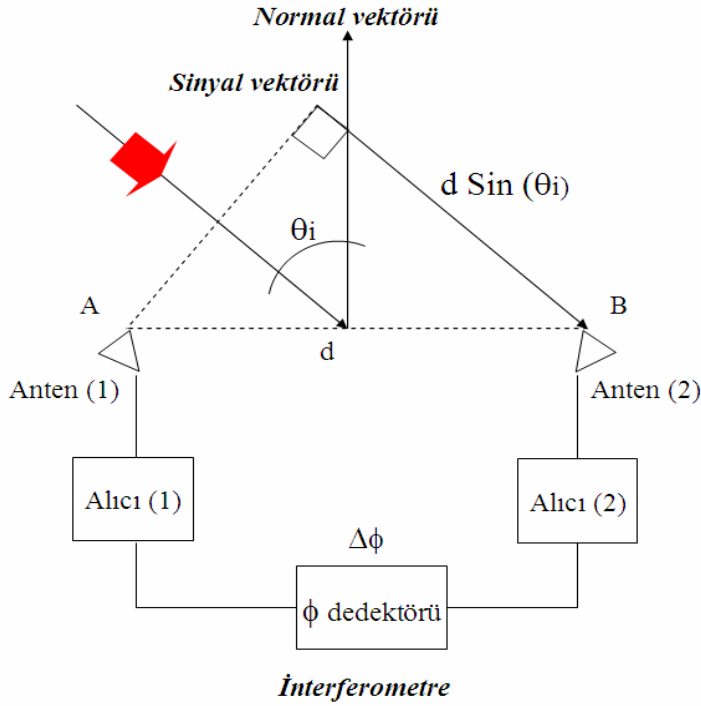
$d$  (m) : Antenler arasındaki mesafeyi,

$\theta_i$  (rad) : Geliş açısını göstermek üzere;

$$\theta_i = \pi/2 - \arccos(d'.S/d) \quad (rad) \quad (3.4.)$$

$d'$  (m) : A ile B arasındaki mesafe,

$S$  (birimsiz) : Birim sinyal vektörü,



Şekil 3.11 Faz karşılaştırmalı yön bulma işlemi

İnterferometre metodunda antenler arasındaki mesafe  $d > \lambda/2$  olduğu durumlarda A ve B noktaları arasındaki faz farkı 360 derecenin katları olmaya başlar. Bununla birlikte faz yalnızca  $\pm 180^\circ$  aralığında ölçülür. Bu durum belirsizliklerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.  $\lambda$  değerinin frekansa bağlı olduğu düşünülürse, algılama frekans bandının yüksek frekans kısımlarında  $\lambda$  değerinin küçüleceği ve belirsizlik probleminin artacağı görülmektedir. Geniş frekans bandında çalışılan bu tür sistemlerde belirsizliğin çözülebilmesi için ikiden fazla anten kullanılmakta ve antenler arasındaki mesafeler ( $d_1, d_2, \dots$ ) farklı değerlerde tutulmaktadır.

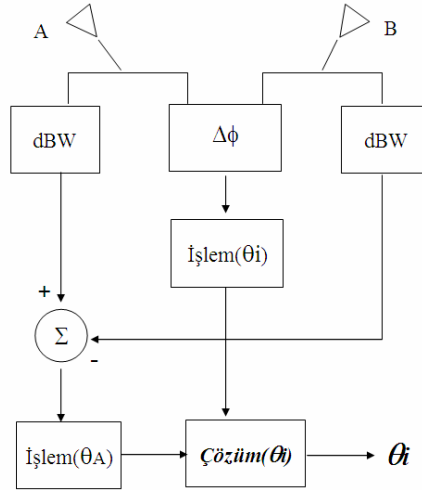
#### 3.2.2.4 Zaman farkının karşılaştırılması (Time Difference Of Arrival: TDOA)

Bu metot interferometre ile aynı konfigürasyonu kullanır, ancak antenler arasında faz farkı yerine zaman farkına bakılır.

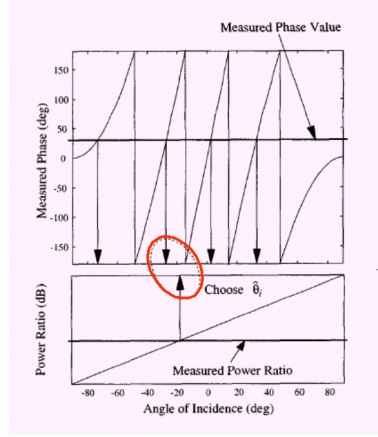
### 3.2.2.5 Kombine sistem kullanımı

Geniş frekans bandında çalışma gereği olan sistemlerde kullanılan interferometre yönteminde belirsizliğin çözülebilmesi için ikiden fazla anten kullanıldığı ve antenler arasındaki mesafelerin ( $d_1, d_2, \dots$ ) birbirinden farklı değerlerde tutulduğundan bahsedilmiştir. İnterferometre sistemler, alt yapı olarak genlik karşılaştırmalı sistemlerden daha karmaşık olmakla birlikte benzer özellikler göstermektedirler. İnterferometre sistemlere şekil 3.12’ de görülen genlik ölçüm özelliğinin eklenmesi ile şekil 3.13’ de görülen metot uygulanarak belirsiz durumların ortadan kaldırılması mümkün olabilmektedir (Brinegar 1999).

Burada yapılmak istenen: interferometre metodunda ikiden fazla anten kullanılmasına gerek kalmadan, genlik ölçümünü kullanarak belirsiz durumların ortadan kaldırılmasının ne derece başarılı olduğu ve genlik ölçüm metodunun geliştirilmesinin mümkün olup olmadığının araştırılmasıdır.



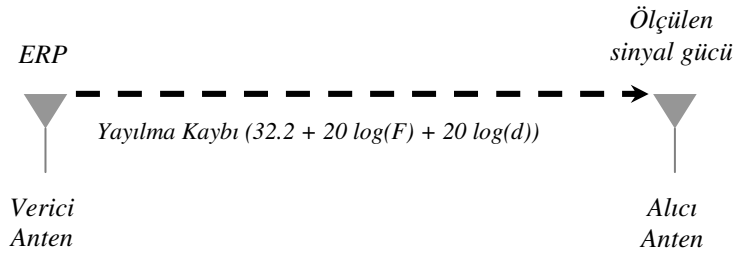
Şekil 3.12 Kombine yön bulma sistemi blok diagramı



Şekil 3.13 Kombine yön bulma işlemi

### 3.3 EH Sistemlerinde Pasif Mesafe Ölçümü

Neşredilen ve alınan sinyal seviyeleri bilindiği takdirde sinyalin aldığı yolu hesaplamak mümkündür. Teknik yalnızca yüksek doğruluklu şekilde mesafe ölçme ihtiyacı olmayan EH sistemlerinde kullanıldığından dolayı yayılma kaybı (Spreading Loss) dışındaki diğer tüm faktörler ihmal edilebilir (Şekil 3.14). Yayılma kaybı 3.5. denklemi ile ifade edilebilir (Adamy 2001):



Şekil 3.14. EH sistemlerinde pasif mesafe ölçümü

$$L_S = 32.2 + 20 \log(F) + 20 \log(d) \quad (3.5)$$



- $L_S$  : Yayılma kaybı (dB),  
 $F$  : Neşredilen sinyalin frekansı (MHz),  
 $d$  : İletim yapılan yolun uzunluğu (km),

Eşitlik d için çözümlenirse:

$$d = \text{antilog}\{[L_S - 32.2 - 20 \log(F)]/20\} \quad (3.6)$$

Örneğin, 10 GHz de yayın yaptığı ve etkin yayınım gücünün 100 dBm olduğu bilinen bir radarın sinyali bir EH sisteminin anteninden alındığında alıcısında sinyalin ölçülen değeri -50 dBm ise, yayınım kaybı 150 dB olarak hesaplanır. (3.6) eşitliğinde değerler yerine konulduğunda radarın EH sistemine olan yaklaşık mesafesinin 76 km olduğu görülür. Pratikte özellikle uçak sistemlerinde bu ölçümün doğruluğu % 25' den daha iyi değildir. Daha etkin teknikler yayılma zamanını (propagation time) göz önüne alan tekniklerdir. Radyo dalgaları ışık hızına çok yakın bir hızda yani  $3 \times 10^8$  m/sn. ile yayılırlar. Bu nedenle sinyalin neşreden sistemden ayrılması ve algılama yapan sistemin alıcısına ulaşması arasında geçen zaman bilinirse aşağıdaki formül yardımıyla tam olarak yayılma mesafesi bulunabilir (Adamy 2001):

$$d = t.c$$

$d$  : Yayılma mesafesi (m),

$t$  : Yayılma zamanı (sn),

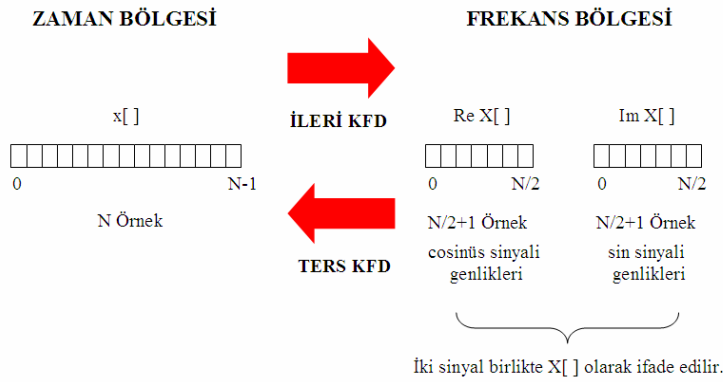
$c$  : Işık hızı ( $3 \times 10^8$  m/sn),

Eğer yayılma zamanı 1 msn ise, sinyali neşreden sistemin sinyali algılayan sisteme mesafesi 300 km' dir. Bu radarın mesafeyi bulmak için kullandığı basit bir yoldur, çünkü verici ve alıcı genellikle bir aradadır.

## 4. KURAMSAL TEMELLER

### 4.1 Kesikli Fourier Dönüşümü (KFD, Discrete Fourier Transform : DFT)' nün Şekli ve Gösterimi

Kesikli Fourier Dönüşümü,  $N$  örnekten oluşan giriş sinyalini  $N/2+1$  örnekten oluşan iki ayrı çıkış sinyaline çevirir. (Şekil 4.1) Bu çıkış sinyalleri sinüs ve cosinüs dalgalarının genlik bilgilerini içerirken, giriş sinyali ayrıştırılmış (being decomposed) sinyali içerir. Giriş sinyali zaman bölgesindedir, çünkü KFD' ne giren en genel tip sinyal belirli zaman aralıkları ile alınan örneklerden oluşmaktadır.



Şekil 4.1 KFD terminolojisi

Örneklenmiş her türdeki veri KFD' ne tabi tutulabilir. Zaman bölgesinde 0' dan  $N-1$ ' e kadar  $N$  değerden oluşan  $x[n]$  sinyali, KFD işlemine tabi tutulduğunda frekans bölgesinde, gerçek kısmı  $ReX[]$  ve sanal kısmı  $Im X[]$  ile ifade edilen iki sinyal meydana getirir. Frekans bölgesindeki bu sinyallerden her biri  $N/2+1$  uzunluğunda ve 0 ile  $N/2$  aralığındadır.

Fourier analizinde zaman bölgesi ifadesi zamanda alınmış örneklere ya da ayrıştırılmış herhangi bir kesikli sinyale işaret ederken, frekans bölgesi ifadesi ise sinüs ve kosinüs sinyallerinin genlik değerlerini ifade eder. Frekans bölgesi zaman bölgesi ile tam olarak

aynı bilgileri, ancak farklı bir formda içerir. Dolayısıyla herhangi bir bölge biliniyorsa bundan yararlanarak diğeri hesaplanabilir. Zaman bölgesinin bilindiği durumda, frekans bölgesinin hesaplanması işlemine “*ayrıştırma (decomposition)*”, “*analiz*”, “*ileri KFD*”, ya da en basit şekliyle *KFD* adı verilir. Eğer frekans bölgesinden zaman bölgesine geçilmesi gerekiyorsa bu işleme de “*sentez*” ya da “*Ters KFD*” denir.

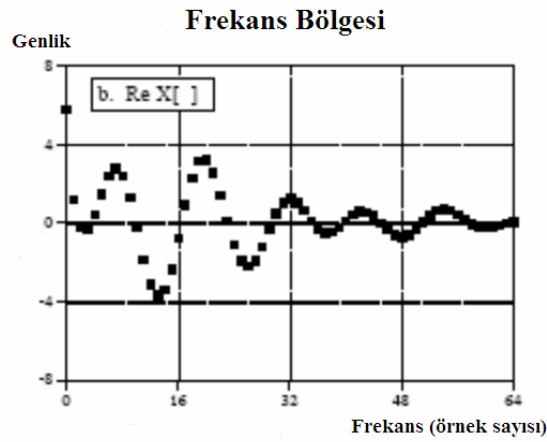
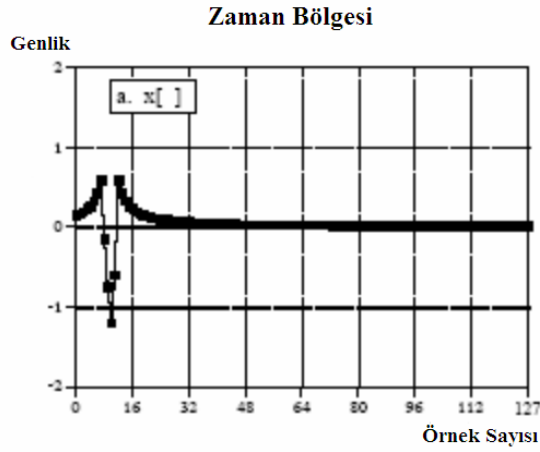
Zaman bölgesindeki örneklerin sayısı genellikle  $N$  değişkeni ile ifade edilmektedir.  $N$  herhangi bir pozitif tamsayı olarak seçilebileceği halde; sayısal verilerin depolanması işleminin ikili adresleme yoluyla yapılması ve *KFD*’ ni hesaplamak için kullanılan FFT algoritmasının ikinin kuvveti şeklinde olan  $N$  ile kullanılması nedeniyle genellikle 128, 256, 512, 1024 gibi  $2^n$  nin kuvvetleri kullanılır. Genel olarak 32 ile 4096 arasında değerler seçilir. Örnekler genellikle  $0$ ’ dan  $N-1$ ’ e değişir.

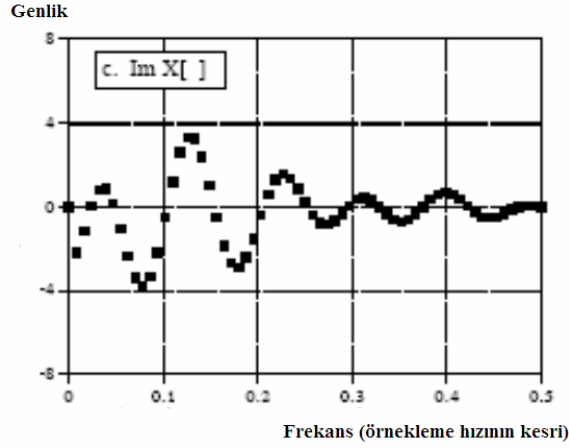
Sayısal Sinyal İşleme (SSİ, Digital Signal Processing: DSP) notasyonunda zaman bölgesi  $x[n]$ ,  $y[n]$  ve  $z[n]$  gibi küçük harfler ile gösterilir.  $X[k]$ ,  $Y[k]$  ve  $Z[k]$  gibi büyük harfler ise frekans bölgesini ifade eder. Örnek olarak  $N$  elemanlı zaman bölgesi sinyali  $x[n]$ ’ le gösterilir. Bu sinyalin frekans bölgesi  $X[k]$  ile gösterilir ve her biri  $N/2+1$  elemanlı diziden oluşan iki kısımdan oluşur. Bunlardan  $X[k]$ ’ in gerçek kısmı  $ReX[k]$  ve sanal kısmı  $ImX[k]$  olarak ifade edilir.  $ReX[k]$  ile gösterilen değerler kosinüs dalgalarının,  $ImX[k]$  ile gösterilenler ise sinüs dalgalarının genlik değerleridir. Zaman bölgesinde sinyal  $x[0]$ ’ dan  $x[N-1]$ ’ e kadar giderken, frekans bölgesindeki sinyaller  $ReX[0]$ ’ dan  $ReX[N/2]$  ve  $ImX[0]$ ’ dan  $ImX[N/2]$ ’ ye kadar uzanır (Smith 1997).

#### 4.1.1 Frekans bölgesinin bağımsız değişkeni

Şekil 4.2.(a),  $N = 128$  olan bir *KFD* örneği görülmektedir. Zaman bölgesindeki sinyal  $x[0]$ ’ dan  $x[127]$ ’ ye kadar uzanmaktadır. Frekans bölgesindeki sinyaller ise  $ReX[0]$ ’ dan  $ReX[64]$ ’ e ve  $ImX[0]$ ’ dan  $ImX[64]$ ’ e kadar iki diziyi içermektedir. Zaman bölgesindeki 128 elemanlı sinyal, frekans bölgesinde her biri  $0$ ’ dan  $64$ ’ e kadar indekslenen 65 elemanlı sinyale karşılık gelir. Kısaca zaman bölgesindeki  $N$  değerinin, frekans bölgesinde  $N/2+1$  değere karşılık geldiği ifade edilebilir. Frekans bölgesinin yatay ekseni SSİ’ de değişik yöntemlerle ifade edilebilir. Bu yöntemlerden ilkinde yatay eksen, dizideki  $N/2$  değere karşılık  $0$ ’ dan  $64$ ’ e kadar etiketlenir. Bu etiketleme

kullanıldığında frekans bölgesi için kullanılan indeks bir tamsayıdır. Örneğin  $k$ ' nın 0' dan  $N/2$ ' ye değiştiği durum için  $ReX[k]$  ve  $Im X[k]$  şekil 4.2 (b)' de olduğu gibi tamsayılarla ifade edilir.





Şekil 4.2 a. KFD, zaman bölgesinde yer alan  $x[n]$  sinyalini frekans bölgesinde yer alan  $ReX[f]$  ve  $Im X[f]$  sinyallerine çevirir, b. Kullanılan ilk metod: Yatay düzlem dizi indeksinin 0 ile  $N/2$  arasında değiştiği durum, c. Kullanılan ikinci metod: Yatay düzlem dizi indeksinin örnekleme frekansına bağlı olarak 0 ile 0.5 arasında değiştiği durum

Şekil 4.2 (c)' de kullanılan diğer bir metotta ise yatay eksen örnekleme hızının bir bileşkesi olarak etiketlenir. Yani kesikli data, DC ile örnekleme hızının yarısı arasında değerler içermesi dolayısıyla yatay eksen boyunca 0 ile 0.5 arasında değerler almaktadır. Bu notasyon ile frekans için kullanılan indeks  $f'$  tir. Gerçek ve sanal kısımlar  $ReX[f]$  ve  $Im X[f]$  ile gösterilirken  $f$ ; 0 ile 0.5 arasında  $N/2+1$  tane değer alır. İlk notasyon olan  $k'$  yı ikinci notasyon olan  $f'$  ye çevirebilmek için yatay eksenini  $N'$  e bölmek gerekir. Yani,  $f = k/N$ .

#### 4.1.2 Sentez, Ters KFD' nin hesaplanması

Sentez denklemi (4.1)' de görüldüğü gibi yazılabilir:

$$x[n] = \sum_{k=1}^{N/2} \text{Re } \bar{X}[k] \cos(2\pi nk / N) + \sum_{k=1}^{N/2} \text{Im } \bar{X}[k] \sin(2\pi nk / N) \quad (4.1)$$

\* $x[n]$ ,  $n$  değeri 0' dan  $N-1$ ' e kadar değişen sentezlenen sinyaldir.  $\text{Re } \bar{X}[k]$  ve  $\text{Im } \bar{X}[k]$ ,  $k$  değeri 0' dan  $N/2$ ' ye kadar değişen kosinüs ve sinüs dalgalarının genliklerini tutar. Eşitlik bu denklemi TKFD' ye çevirmek için normalizasyonu sağlar.

Herhangi bir  $N$  elemanlı sinyal,  $x[n]$ ,  $N/2+1$  sinüs ve  $N/2+1$  kosinüs dalgası eklenerek oluşturulabilir. Sinüs ve kosinüs dalgalarının genlikleri sırasıyla  $\text{Im } \bar{X}[k]$  ve  $\text{Re } \bar{X}[k]$  dizilerinde tutulur. Sentez denklemi (4.1) bir set ölçeklenmiş sinüs ve kosinüs dalgası elde edebilmek için bu genlikleri temel fonksiyonlar ile çarpar. Ölçeklenmiş sinüs ve kosinüs dalgalarının eklenmesi zaman bölgesi sinyali  $x[n]$ ' nin elde edilmesini sağlar. (4.1) denkleminde diziler  $\text{Im}X[k]$  ve  $\text{Re}X[k]$  yerine,  $\text{Im } \bar{X}[k]$  ve  $\text{Re } \bar{X}[k]$  olarak adlandırılır. Çünkü sentez için gereken genlikler ( $\text{Re}X[k]$  ve  $\text{Im}X[k]$ ) sinyalin frekans bölgesinden ( $\text{Im } \bar{X}[k]$  ve  $\text{Re } \bar{X}[k]$ ) biraz farklıdır. Bu daha önce bahsedilen ölçekleme faktörüdür.

$$\text{Re } \bar{X}[k] = \frac{\text{Re}X[k]}{N/2}$$

$$\text{Im } \bar{X}[k] = -\frac{\text{Im}X[k]}{N/2}$$

İki özel durum dışında:

(4.2)

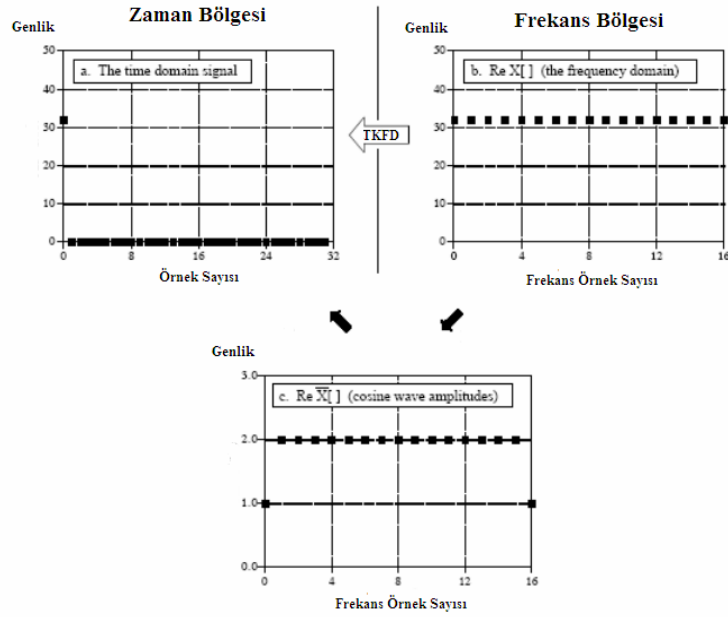
$$\text{Re } \bar{X}[0] = \frac{\text{Re}X[0]}{N}$$

$$\text{Re } \bar{X}[N/2] = \frac{\text{Re}X[N/2]}{N}$$

(4.2) Frekans bölgesi ile sinüzoidal genlikler arasında dönüşümü gösterir.

Bu denklemlerde  $\text{Re}X[k]$  ve  $\text{Im}X[k]$  frekans bölgesinin gerçek ve sanal kısımlarını tutarken,  $\text{Im } \bar{X}[k]$  ve  $\text{Re } \bar{X}[k]$  sentez için gereken sinüs ve kosinüs dalgalarının genliklerini tutar. Burada,  $N$  zaman bölgesi sinyalindeki noktaların sayısını,  $k$  ise 0' dan  $N/2$ ' ye kadar değişen indeks değerini gösterir. Frekans bölgesi gösterimi  $\text{Im}X[k]$  ve  $\text{Re}X[k]$  verildiğini,  $\text{Im } \bar{X}[k]$  ve  $\text{Re } \bar{X}[k]$  arandığını düşünelim. Başlangıç olarak, sinüs ve kosinüs dalgalarının genlikleri bulunur. (4.2) denklemi bu işlemi matematiksel olarak

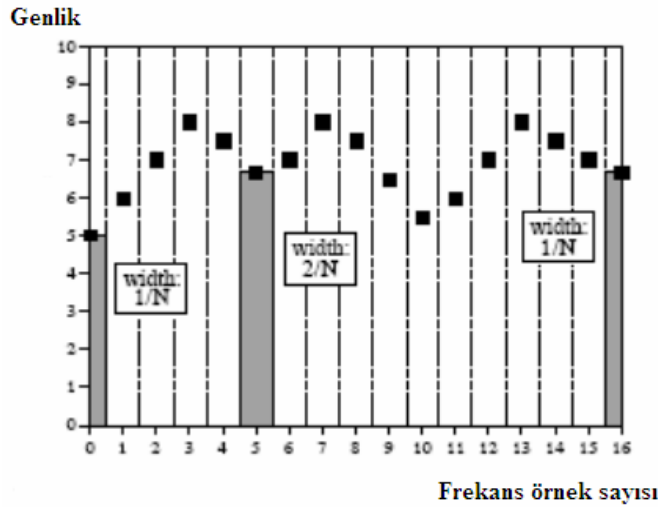
göstermektedir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için 3 basamağın izlenmesi gerekmektedir. Öncelikle, frekans bölgesindeki tüm değerler  $N/2$  ile bölünmelidir. İkinci basamakta, tüm sanal sayıların işareti değiştirilir. Üçüncü basamakta ise, gerçek kısımdaki ilk ve son örnekleri yani  $ReX[0]$  ve  $ReX[N/2]$  2 ile bölünür. Bu işlem (4.1) denklemi ile ifade edilen sentez için ihtiyaç duyulan genlik değerlerini elde etmeye yarar. Bir arada ele alındığında (4.1) ve (4.2) denklemleri TKFD' ni oluşturur.



Şekil 4.3 TKFD örneği

Sentez (4.1) için iki yol bulunmaktadır. İlk metotta ölçeklenmiş sinüzoid her bir zamanda bir kere oluşturulmakta ve zaman bölgesi sinyali haline gelmesini sonlandıran bir toplam dizisine eklenmektedir. İkinci metotta ise sinüs ve kosinüs dalgalarındaki ilgili tüm örneklerin toplamı olduğundan zaman bölgesi sinyalindeki her örnek zamanda bir kere hesaplanmaktadır. Her iki örnekte aynı sonucu vermektedir. Şekil 4.3, TKFD işlemini ve frekans bölgesi ile sentez için gereken genlikler arasındaki farkı ifade etmektedir. Şekil 4.3'te üstte solda sentez edilmek istenen (sıfırıncı elemanı genlik değeri 32 olan dürtü) sinyal, üstte sağda ise sinyalin frekans bölgesi gösterilmektedir. Frekans bölgesinin gerçek kısmı sabit 32 değerinden ve sanal kısmı ise gösterilmeyen sıfırlardan oluşmaktadır. Zaman bölgesindeki dürtü ise, frekans bölgesinde sabit bir

sayıya karşılık gelmektedir. (4.2) denklemi frekans bölgesi sinyalin, kosinüs dalgasının genlik değerlerine çevirmek için kullanılır. Görüldüğü gibi “bir” değerine sahip olan 0 ve 16 numaralı elemanlar dışındaki tüm kosinüs dalgaları genlik olarak “iki” değerine sahiptir. Sinüs dalgaları sıfır genlik değerine sahip olduklarından ve bir katkı sağlamadıklarından örnekte görülmemektedir. Bu durumda sentez denklemi (4.2) kosinüs dalgalarını zaman bölgesine çevirmektedir. Bu frekans bölgesinin sinüzoidal genliklerden nasıl farklı olduğunu açıklar, ancak neden farklı olduklarını açıklamaz. Şekil 4.3’ teki örnek, frekans bölgesindeki 32 elemanlı sinyalin gerçek kısmını oluşturmaktadır. Burada, 0’ dan 16’ ya kadar olan örnekler 0 ile örnekleme frekansının yarısı arasında eşit şekilde bölünmüş 17 frekans aralığını gösterir. Tayf yoğunluğu, birim band genişliği başına ne kadar sinyalin (genliğin) görüldüğünü tanımlar. Sinüs genliklerini tayf yoğunluğu haline çevirmek için her bir genlik değeri band genişliğine bölünür.



Şekil 4.4 Frekans bölgesi örneklerinin band genişliği

Bandgenişliği şekil 4.4’ te görüldüğü gibi örnekler arasına bölüm çizgileri çizerek tanımlanabilir. Örneğin, 5 numaralı eleman 4.5 ve 5.5 numaralı elemanlar arasında, 6 numaralı eleman 5.5 ve 6.5 numaralı elemanlar arasında görülür. Toplam bandgenişliğinin (yani  $N/2$ ) kesiri olarak ifade edilirse, herbir örneğin bandgenişliği  $2/N$  olur (Smith 1997).



### 4.1.3 Analiz, KFD' nin hesaplanması

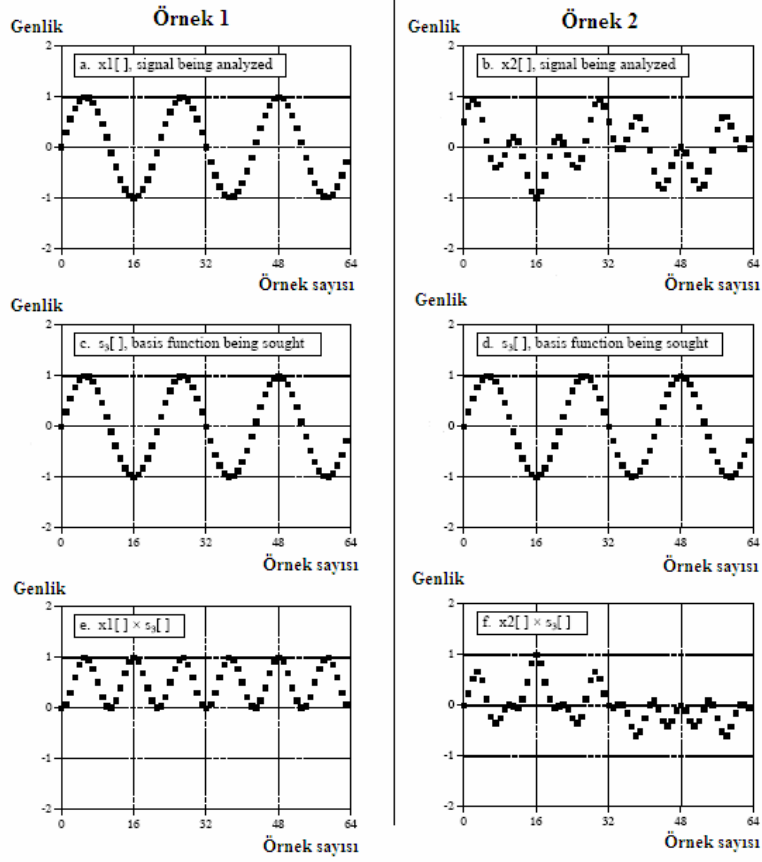
KFD tamamen farklı 3 yöntemden biri ile hesaplanabilir. İlk olarak, probleme eş zamanlı eşitlikler seti olarak yaklaşılabılır. Bu metot KFD' yi anlamak için yararlı, fakat pratik kullanım için son derece etkisizdir. İkinci metot, bilinen bir dalga şeklini başka bir sinyal olarak algılamaya dayanan “bağıntı” fikrinden gelmektedir. FFT olarak bilinen üçüncü metot ise, N noktalı KFD' yi bileşenlerine ayırarak, tek noktalı N tane KFD' ye çeviren ve diğer metotlardan yüzlerce kat daha hızlı olan bir algoritmadır. Pratik kullanımda KFD yaklaşık 32 elemandan az ise “bağıntı” tercih edilen yöntemdir, aksi halde FFT kullanılır (Smith 1997).

#### 4.1.3.1 Eş zamanlı denklemlerle KFD

KFD hesabı yapılırken; zaman bölgesinden N değer verilmekte ve (bilinen iki frekans bölgesi değerinin sıfır olması gerektiği ihmal edilerek) frekans bölgesi için N değer hesaplanması istenmektedir. N bilinmeyenli çözüm üretebilmek için lineer olarak değişen N bağımsız eşitlik gerekmektedir. Bunu yapabilmek için, her bir sinüzoidten ilk örnekler alınmalı ve toplanmalıdır. Toplam zaman bölgesindeki ilk örnek, sinyale eşit olmalı ve buradan ilk eşitlik elde edilmelidir. Benzer şekilde, zaman bölgesindeki sinyalin kalan noktalarının her biri için bir eşitlik yazılarak gereken N eşitlik elde edilebilir. Sonuç eş zamanlı eşitlikleri çözmek için hazırlanmış olan “Gaussian Elimine Etme” metodu türündeki metotlar ile bulunabilir, ancak bu metot çok fazla sayıda hesaplama gerektirdiğinden SSI' de hemen hemen hiç kullanılmaz (Smith 1997).

#### 4.1.3.2 Bağıntı ile KFD

Bu başlık altında KFD hesaplamasının standart yöntemi olarak bilinen diğer bir yöntem görülmektedir. Bu yöntemle örneğin 64 elemanlı bir sinyalin KFD' sini hesaplamak gerekirse; frekans bölgesinin 33 elemanlı gerçek kısmı ve 33 elemanlı sanal kısmı hesaplanmalıdır. Buradaki örnekte yalnızca tek bir örneği yani 0 ile 63' üncü nokta arasında 3 tam devir yapan sinüs dalgasının genliği  $ImX[3]$ ' ün nasıl hesaplanacağı gösterilmektedir. Diğer tüm frekans bölgesi değerleri benzer şekilde hesaplanmaktadır. Hesaplama amacıyla “bağıntı” kullanılması yöntemi şekil 4.5' te görülmektedir.



Şekil 4.5 Analiz örnekleri

Şekil 4.5(a) ve (b) sırasıyla iki tane örnek zaman bölgesi sinyali olan  $x1[ ]$  ve  $x2[ ]$  'yi göstermektedir. İlk sinyal, 0 ile 63' üncü nokta arasında 3 tam devir yapan sinüs dalgasını ifade etmektedir.  $x2[ ]$  farklı olarak, hiç biri 0 ile 63 ncü örnek arasında 3 devir yapmayan bir çok sinüs ve kosinüs dalgasından oluşmaktadır. Bu iki sinyal, hesaplama için hangi algoritmanın kullanılması gerektiğini gösterir.  $x1[ ]$  'e beslendiğinde, algoritma sinüs dalgasının genliği olan 32' nin değerini üretmelidir.  $x2[ ]$  'ye gelindiğinde ise bu özel sinüs dalgasının bu sinyalde bulunmadığını göstermek için algoritma sıfır değeri üretmelidir.

$$\text{Re } X[k] = \sum_{i=0}^{N-1} X[i] \cos(2\pi ki / N)$$

$$\text{Im } X[k] = -\sum_{i=0}^{N-1} X[i] \sin(2\pi ki / N)$$

(4.3)

Diğer bir sinyalde taşınan, bilinen bir dalga şeklini algılamak için iki sinyal çarpılır ve tüm noktalar sonuçta elde edilen sinyale eklenir. Bu işlemlerden elde edilen tek sayı, iki sinyalin ne kadar benzer olduğunun ölçüsüdür.

Şekil 4.5(c) ve (d), 0 ile 63' üncü nokta arasında 3 tam devir yapan aranan sinüs dalgası sinyalini gösterir. Şekil 4.5(e), (a) ile (c)' nin çarpımının sonucunu, benzer şekilde (f), (b) ile (d)' nin çarpımının sonucunu vermektedir.

Şekil 4.5(f)' deki tüm noktaların toplamı sıfır iken, (e)' deki tüm noktaların toplamının 32 olması istenen algoritmanın bulunduğunu göstermektedir. Frekans bölgesindeki diğer tüm örnekler aynı yöntemle hesaplanır. Bu yöntem analiz denkleminde<sup>7</sup> formülize edilecektir. İki örnek sinyal (a) ve (b), (c) ve (d)' de görülen özel temel fonksiyonu içerdiğinden analiz edilmektedir.

Şekil 4.5(e) ve (f) her bir örnek sinyalin temel fonksiyon ile çarpımının sonucunu ifade etmektedir. Şekil 4.5(e) 0.5 ortalama değeri,  $x_1[n]$ 'in genliği 1.0 olan temel fonksiyonu içerdiğini, (f) ise tam ters olarak, 0 ortalama değeri,  $x_2[n]$ 'nin temel fonksiyonu içermediğini göstermektedir.

## **4.2 En Büyük Olabilirlik Kestirimi (EBOK, Maximum Likelihood Estimation: MLE)**

En Büyük Olabilirlik Kestirimi bir parametre kestirim metodudur.

### **4.2.1 Olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF, Probability Density Function: PDF)**

İstatistiksel bakış açısıyla, bilinmeyen bir topluluk içinden rasgele seçilen örnekler  $y = (y_1, \dots, y_m)$  data vektörleri olsun. Data analizinin amacı, örneği oluşturması muhtemel olan bu topluluğu tanımlamaktır. İstatistikte her topluluk ilgili bir olasılık dağılımı ile tanımlanabilir.

---

<sup>7</sup> Zaman bölgesinden frekans bölgesinin hesaplanması için kullanılan matematiksel yöntem

Bir model parametresinin, her olasılık dağılımı ile ilgili tek bir değer vardır. Parametre değeri değişirse farklı olasılık dağılımları ortaya çıkar. Bir model, modelin parametreleri ile indekslenen olasılık dağılımlarının ailesi olarak tanımlanabilir.  $f(y|w)$  olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermek üzere,  $w$  parametresi, gözlemlenen data vektörü  $y$ ' nin olasılığını tanımlar. (Vektör için eksiz bir harf ( $y$ ) ve vektör elemanları için ekli bir harf ( $y_i$ ) kullanılır.)  $w = (w_1, \dots, w_k)$  parametresi çok boyutlu parametre uzayında tanımlanan bir vektördür. Eğer bağımsız gözlem  $y_i$ ' ler istatistiksel olarak birbirinden bağımsız iseler, o zaman olasılık teorisine göre, verilen parametre vektörü  $w$  için  $y = (y_1, \dots, y_m)$  dalarının OYF' si bağımsız gözlemlerin OYF' lerinin çarpılması olarak açıklanabilir.

OYF kavramını anlatabilmek için, tek parametre ve tek gözlemden oluşan ( $m = k = 1$ ) en basit durumu incelemek gerekir.  $y$  datasının 10 Bernoulli denemesindeki (paranın 10 kere atılması) başarı sayısını,  $w$  parametresinin ise herhangi bir denemenin başarı olasılığını gösterdiği farz edilsin. (Değeri 0.2' dir.) Bu durumda OYF şöyle gösterilir:

$$f(y | n=10, w = 0.2) = \frac{10!}{y!(10-y)!} (0.2)^y (0.8)^{10-y} \quad (y = 0, 1, \dots, 10)$$

$n = 10, w = 0.2$  parametrelerine sahip binomial dağılım olarak bilinir. Denemelerin sayısı ( $n$ ) bir parametre olarak incelenir. Bu OYF' nin şekli, şekil 4.6(a)' da gösterilmektedir. Eğer parametre değeri (örneğin  $w = 0.7$  olarak) değiştirilirse, yeni OYF şöyle olur:

$$f(y | n = 10, w = 0.7) = \frac{10!}{y!(10-y)!} (0.7)^y (0.3)^{10-y} \quad (y = 0, 1, \dots, 10)$$

(4.4) denklemini  $w$  ve  $n$ ' nin ardışık değerleri için binomial dağılımının OYF' sinin genel ifadesidir.

$$f(y | n, w) = \frac{n!}{y!(n-y)!} (w)^y (1-w)^{n-y} \quad (0 \leq w \leq 1 ; y=0, \dots, 10) \quad (4.4)$$

y' nin fonksiyonu, w ve n' nin verilen değerleri için y datasının olasılığını ifade eder. (0-1 bu durumda w için;  $1 \leq n$ ) aralığı boyunca parametrenin değiştirilmesi ile oluşturulan tüm bu OYF' lerin toplamı bir modeli tanımlar (Myung 2001).

#### 4.2.2 Olabilirlik fonksiyonu (Likelihood function)

OYF, verilen bir parametre setinin değerlerinden bazılarının, diğerlerinden daha olası olduğunu gösterir. Bir önceki örnekte, (değeri  $w = 0,2$  olan OYF' ye göre)  $y = 2$ ' nin olma olasılığı,  $y = 5$ ' e göre daha fazladır. (0.302 ile 0.026). Buna göre, bir zıtlık problemi olduğu görülebilir. Verilen gözlem datası ve ilgilenilen model, modelin salık verdiği tüm olasılık yoğunlukları arasından bir OYF bulunur. Bu zıtlık problemini tanımlayabilmek amacıyla olabilirlik fonksiyonu,  $f(y|w)$  fonksiyonundaki data vektörü y ve parametre vektörü w' nin rolleri ters çevrilerek tanımlanabilir. Yani:

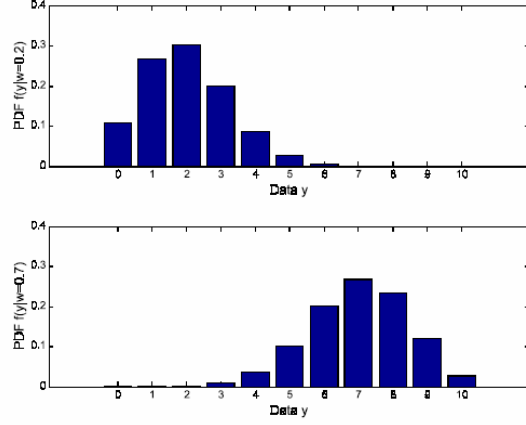
$$L(w|y) = f(y|w)$$

Bundan dolayı  $L(w|y)$  verilen y gözlem datasının w parametresinin olabilirliğini gösterir. (3.4) denklemindeki bir parametrelili binomial örneğinde,  $y = 7$  ve  $n = 10$  için olabilirlik fonksiyonu;

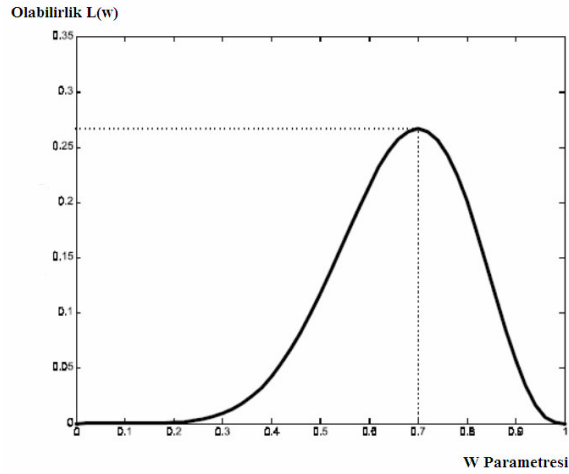
$$L(w | n=10, y=7) = f(y=7 | n=10, w) = \frac{10!}{7!3!} (w)^7 (1-w)^3 \quad (0 \leq w \leq 1)$$

olur. Bu OYF, Şekil 4.7' de görölmektedir. Burada göröldüğü gibi OYF  $f(y|w)$  ve olabilirlik fonksiyonu  $L(w|y)$  arasında önemli bir fark bulunmaktadır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7' de göröldüğü gibi iki fonksiyon farklı eksenlerde tanımlanmaktadır ve bundan dolayı birbirleri ile direkt olarak karşılaştırılmaları mümkün değildir. Şekil 4.7. sabit bir data seti için belirli bir parametre değerinin olasılığını ("normalize edilmemiş olabilirlik") gösterirken, Şekil 4.6 sabit bir parametre için belirli bir data değerinin olasılığını anlatır. "n" nin yanında bilindiği farz edilen yalnızca bir parametre bulunduğundan bu olasılık fonksiyonu bir eğridir. Eğer modelin iki parametresi varsa, olasılık fonksiyonu parametre uzayının üzerinde bulunan bir yüzey olacaktır. Genel olarak, k parametrelili bir model için, olasılık fonksiyonu  $L(w/y)$ ,  $w = (w_1; y; w_k)$

parametre vektörü ile yayılmış  $k$  boyutlu hiper yüzeyin üzerinde bulunan  $k$  boyutlu geometrik yüzeyin şeklini alır (Myung 2001).



Şekil 4.6 Örnek boyutu  $n = 10$  olan binomial olasılık dağılımları ve olasılık parametresi a.  $w = 0.2$  , b.  $w = 0.7$



Şekil 4.7 Verilen gözlem datası  $y = 7$  nin olabilirlik fonksiyonu ve tek parametre modeli için örnek boyutu  $n = 10$

### 4.2.3 En büyük olabilirlik kestirimi

En Büyük Olabilirlik Kestirimi prensibinin amacı, ilgilenilen olasılık dağılımının gözlenen datayı *en muhtemel* yapan, yani olasılık fonksiyonu  $L(w/ y)$ ' nu en büyük

değerine ulaştıran değeri bulmaktır. Çok boyutlu parametre uzayını araştırarak çıkarılan sonuçtaki parametre vektörü, EBOK tahmini olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$wEBOK = (w_1, EBOK \dots w_k, EBOK).$$

Örneğin, “en büyük” değerine ulaştırılmış olasılık değeri  $L(wEBOK = 0,7 / n = 10, y = 7) = 0,267$  için EBOK tahmini  $wEBOK = 0,7$ ’ dir. EBOK tahmini ile ilişkili olasılık dağılımı şekil 4.6’ nın alt kısmında görülmektedir. EBOK prensibine göre bu,  $y = 7$ ’ nin gözlemlenmiş verisini oluşturan en olası popülasyondur. Özetlemek gerekirse, En Büyük Olabilirlik Kestirimi gözlemlenen veriyi en olası yapan değeri arama metodudur (Myung 2001).

#### 4.2.4 Olabilirlik denklemi (Likelihood Equation)

Bu bölümde, var olan tek EBOK tahmininin nasıl hesaplanacağı gösterilmektedir. Hesap rahatlığı açısından EBOK tahminini, logaritmik-olabilirlik fonksiyonunu  $\ln L(w|y)$  en büyük değerine ulaştırarak elde edebiliriz.  $\ln L(w|y)$  ve  $L(w|y)$  birbirleriyle ilişkili fonksiyonlar olduğundan aynı EBOK tahmin değeri her ikisini de en büyük yapan değerdir. Farz edelim ki diferansiyeli alınabilen logaritmik-olabilirlik fonksiyonu  $\ln L(w|y)$ , eğer  $wEBOK$  varsa, (4.5) numaralı denklemde ifade edilen olabilirlik denklemi olarak bilinen kısmi türev denklemini sağlamalıdır.

$$\frac{\partial \ln L(w|y)}{\partial w_i} = 0 \quad w_i = w_i \text{ (} i = 1 \dots k \text{ için EBOK)'} \text{ de} \quad (4.5)$$

Sürekli diferansiyeli alınabilir fonksiyonun “en büyük” tanımı böyle noktalarda ilk türevin kaybolduğunu belirtmektedir. Olabilirlik denklemi, EBOK tahmininin varolma şartının durumunu gösterir. İlk türev bir fikir veremeyeceğinden dolayı, sağlanması gereken ilave bir koşul da  $\ln L(w|y)$ ’ nin “en küçük” değil bir “en büyük” olduğunun kontrol edilmesidir. Bir en büyük olabilmesi için logaritmik-olabilirlik fonksiyonunun  $wEBOK$  civarında şekli tepe değere sahip (konveks) olmalıdır.

Bu logaritmik-olabilirlik değerinin ikinci türevi hesaplanarak ve  $w_i = w_i$  ( $i = 1 \dots k$  için EBOK)' de tümünün negatif olup olmadığı gösterilerek kontrol edilebilir.

$$\frac{\partial^2 \ln L(w|y)}{\partial w_i^2} < 0 \quad (4.6)$$

EBOK işlemini gösterebilmek için, yeniden tek parametrelili  $n$ ' in sabit değeri verilen binomial örneğini inceleyelim. Öncelikle, eşitlikteki olabilirlik fonksiyonu  $L(w|n=10, y=7)$ ' nun logaritmasını alarak, logaritmik-olabilirlik;

$$L(w|n=10, y=7) = \ln \frac{10!}{7!3!} + 7 \ln w + 3 \ln(1-w)$$

elde ederiz. Daha sonra, logaritmik-olabilirlik'in ilk türevi hesaplanır:

$$\frac{d \ln L(w|n=10, y=7)}{dw} = \frac{7}{w} - \frac{3}{1-w} = \frac{7-10w}{w(1-w)} = 0$$

Bu eşitliğin sıfıra eşitlenmesiyle, aranan EBOK tahmin değeri elde edilir.

$$7-10w = 0$$

$$w = 0.7$$

Sonucun bir en küçük değil, bir en büyüğü gösterdiğini garantilemek için logaritmik-olabilirlik değerinin ikinci türevi hesaplanır ve  $w = w_{EBOK}$ ' da değerlendirilir.

$$\frac{d^2 \ln L(w|n=10, y=7)}{dw^2} = -\frac{7}{w^2} - \frac{3}{(1-w)^2} = -47,62 < 0$$

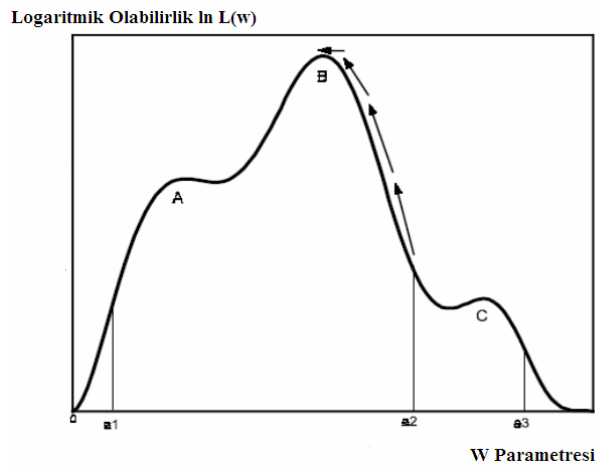
Değer negatif ise aranan değer olduğuna karar verilir. Bununla birlikte pratikte genellikle, EBOK değeri için özellikle modelin bir çok parametre içerdiği ve OYF' nin sıklıkla doğrusal olmadığı durumlarda analitik bir çözüm bulmak mümkün değildir. Böyle durumlarda EBOK tahmini, lineer olmayan en uygun şekle sokma (optimizasyon)



algoritmaları kullanarak çözümlenebilir. Lineer olmayan optimizasyonun temel fikri logaritmik-olabilirlik değerini en büyük yapan en uygun parametrelere en hızlı şekilde ulaşmaktır.

Bu, parametre sayısı arttıkça kolay kolay kontrol edilemeyen tüm parametre uzayını etraflıca araştırmaktan ziyade, çok boyutlu parametre uzayını daha küçük alt bölümlere parçalayarak yapılabilir. Akıllıca yapılan araştırma tekrarlanan adımlar dizisinin istikameti üzerindeki denemeler ve hatalarla ilerletilebilir. Özellikle, her bir adımda, önceki adımdaki sonuçlar hesaba katılarak, performansı arttıracak şekilde önceki parametrelere küçük değişimler eklenerek yeni bir parametre seti elde edilebilir. Değişik en uygun şekle sokma algoritmaları, yenileme algoritmalarının işletilmesi konusunda farklılıklar gösterirler.

Tekrarlanan işlemler, şekil 4.8' de gösterilen bir seri oklar ile, uygun bir şekilde önceden belirlenmiş bir ölçüt (yani şekil 4.8' deki (B) noktası) üzerindeki en uygun parametre setinin değerine yaklaştırılan parametreler muhakeme edilene kadar devam eder. Durdurma kriterinin örnekleri, izin verilen tekrarların en büyük sayısını ya da iki başarılı tekrar arasındaki parametre değerlerinin en küçük değişim miktarını içermektedir (Myung 2001).



Şekil 4.8 Hayali tek parametre modeli için logaritmik-olabilirlik fonksiyonunun şematik çizimi

Şekil 4.8.' de (A) ve (C) noktası yerel iki en büyük nokta iken, (B) noktası genel bir en büyüktür. Ardışık oklar tekrarlanan optimizasyon işlemini göstermektedir.

#### 4.2.5 Yerel en büyük (Local Maxima)

Optimizasyon algoritmasının logaritmik-olabilirlik değerini en büyük yapan parametrelerinin bulunması, kullanıcı tarafından sağlanan başlangıç parametre setinin geliştirilmesini deneyen sezgisel bir süreçtir. Başlangıç parametre değerleri ya rasgele ya da tahmini olarak seçilir. Başlangıç parametrelerinin seçimine bağlı olarak, algoritma erken şekilde sonlanabilir ve alt-optimal değerlere dönülebilir. Bu duruma yerel en büyük problemi adı verilir.

Örneğin, şekil 4.8.' de (a2) noktasındaki başlangıç parametre değeri genel en büyük değeri olan (B) noktasına ulaşmasına rağmen, (a1) noktasındaki başlangıç parametre değeri alt-optimal bir çözüm olan (A) noktasına ulaştırır. Benzer şekilde, (a3) noktasındaki başlangıç parametre değeri bir diğer alt-optimal çözüm olan (C) noktasına ulaştırır.

Yerel en büyük probleminin genel bir çözüm yolu bulunmamaktadır. Ancak bu problemden kurtulabilmek için etkinliği garanti olmasa da bir takım çareler geliştirilmektedir. Örneğin, yenileme (iteration) sürecinin defalarca işletilmesi sırasında farklı başlangıç noktalarının seçilmesi ve sonuçların aynı çözüme ulaştırıp ulaştırmadığının gözlemlenmesidir. Bu yöntem uygulandığı taktirde genel bir en büyük değerine ulaşıldığı konusunda güven duyulan bir değer elde edilebilir (Myung 2001).

### 4.3 Gaussian Karışım Modeli (GKM, Gaussian Mixture Model: GMM)

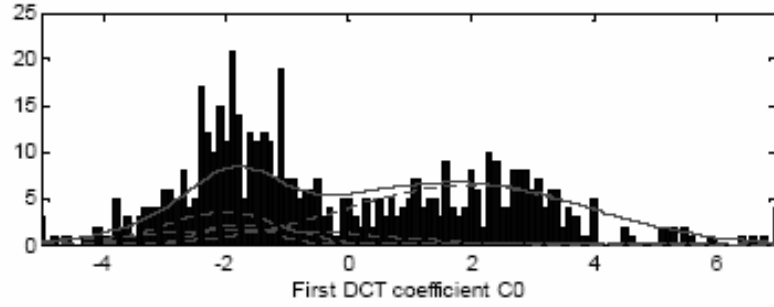
Gaussian Karışım Model (GKM)' leri, Gaussian olasılık yoğunluk fonksiyonlarının veya karışımlarının ağırlıklandırılmış toplamlarından oluşur ve birden fazla kaynak içeren uygulamalarda her bir kaynağın toplam olasılık yoğunluk fonksiyonuna olan göreceli katkısını tahmin etmek için kullanılır. Böylece her bir Gaussian Karışımının ortalaması küme kitle merkezinin kestirimini verir. GKM' ler genellikle ortalama vektörleri  $\mu_m$ , kovaryans matrisi  $\sigma_m$ , ve karışım ağırlıkları  $w_m$  parametreleri ile ifade

edilirler. Bu durumda toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu (Epps and Ambikairajah 2004)

$$p(x) = \sum_{m=1}^M w_m \exp\left[-\frac{1}{2}(x - \mu_m)' \sigma_m^{-1} (x - \mu_m)\right]$$

Gaussian karışımlarının sayısı  $M$ ,  $\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_K\}$  dizisinin hangi olasılık yoğunluk fonksiyonunun modelleneneceğini belirler. GKM'lerin parametreleri sıklıkla EM algoritmaları kullanılarak kestirilir (Dempster *et al.* 1977).

Şekil 4.9' da bir boyutlu bir dağılım modeli örneği görülmektedir. Karışım modeli (kesiksiz çizgi) farklı ortalamalara, varyanslara ve ağırlıklara sahip dört bağımsız Gaussian OYF' nun (kesikli çizgiler) toplamıdır (Epps and Ambikairajah 2004).



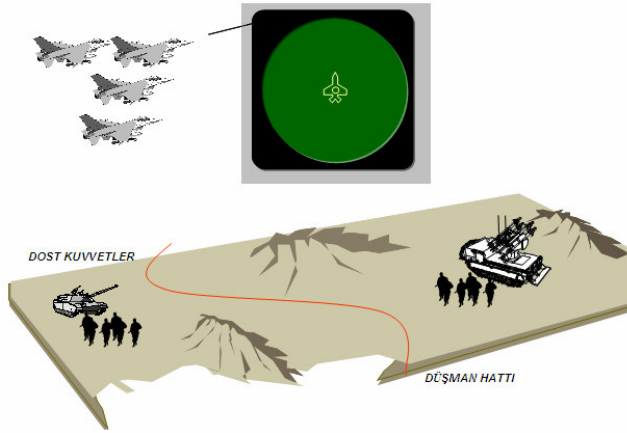
Şekil 4.9 Tek boyutlu bir dağılım modeli örneği

Bu örnekte, olasılık yoğunluk fonksiyonlarının 3 tanesi çok benzer ortalamalara sahiptir ve büyük ölçüde örtüşmektedirler. Bu da göstermektedir ki ya kümeler kolaylıkla ayrılamamakta ya da her üçüde aynı kümeyi modellemektedir (Epps and Ambikairajah 2004).

## 4.4 Analiz Edilecek Verinin Hazırlanması

### 4.4.1 Gerçek Durum Senaryosu

4 adet F-16 uçağından oluşan görev paketi, düşman hattının gerisinde bulunan dost yer kuvvetlerine yakın-hava savunma desteğı (Close Air Support) vermektedir. Uçuş kolunun lideri, bir anda RİA sisteminden ön 45° VA ve 10 mil mesafeden SA-6 YHF sisteminin hedef takip radarından gelen sinyali gösteren sesli ve görüntülü ikazı alır. Pilotun, uçuş profilini yeniden düzenleyerek kendi uçağını ve kolundaki diğer uçakları tehdit radarının etkin bölgesinden çıkarması gerekmektedir. Pilot, hemen 90° sola doğru yatışa başlar (Şekil 4.10). Bahsettiğimiz senaryoda eğer RİA sistemi tehdit YHF sisteminin yerini ve mesafesini tam doğru olarak gösterebiliyorsa pilotun tehditin etkin menziline çıkması ve daha iyi bir pozisyon almak için yaptığı manevra olumlu sonuç verecektir.

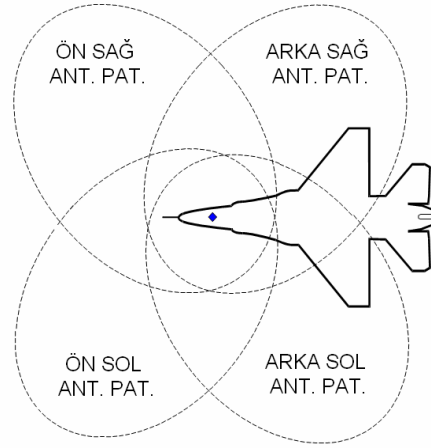


Şekil 4.10 Gerçek durum senaryosu

Ancak senaryoda RİA sisteminin mesafe ve yön bilgilerini hatalı olarak hesapladığını ve bu hatalı bilgileri gösterdiğini varsayarsak, pilotun kendini ve paketindeki diğer uçakları korumak ve yerdeki birliklere yakın hava desteğı görevini sürdürebilmek için yaptığı manevra etkili olamayacak ve uçakların kaybıyla sonuçlanacak olayların başlangıcı olacaktır.

Bu tezin amacı bu noktada ortaya çıkmakta ve uçaklarda var olan bu sistemi anten, alıcı gibi mevcut fiziksel elemanlarında herhangi bir değişiklik yapmadan iyileştirmenin yolları aranmaktadır.

#### 4.4.2 RİA sistemlerinde yön bulma (YB) işlemi



Şekil 4.11 RİA alıcı antenlerinin kapsama alanı

RİA sistemleri; aynı düzlemde, aralarında  $90^\circ$  açı olacak şekilde monte edilmiş ve  $360^\circ$  kapsama alanı oluşturan 4 adet alıcı anten ihtiva etmektedir (Şekil 4.11). Alıcı antenler tarafından alınan sinyallerin genlik değerleri ölçülerek, sistemin tasarımı aşamasında hazırlanmış ve sistem yazılımının içine gömülmüş olan “Hızlı Arama Tablosu (Look Up Table)” yardımıyla ölçülen değerlere karşılık gelen VA değerleri bulunmaktadır.

Kullanılan bu yöntem ile alıcı antenlerinin kapsama alanlarının iyi ve kazançlarının yüksek olduğu bölgelerde olumlu sonuçlar alınırken, kapsama alanının kötüleştiği ve anten kazancının düştüğü bölgelerde ise olumsuz sonuçlar alınmakta ve bulunan VA değerleri kötüleşmektedir. Pratikte yapılan uygulamalarda anten kapsama alanlarının iyi ve kazançlarının yüksek olduğu bölgelerde VA doğruluk değeri  $5^\circ$  hata ile bulunabilirken, anten kapsama alanlarının kötü ve kazançlarının düşük olduğu bölgelerde yapılan hata  $45^\circ$  lere kadar çıkabilmektedir. Bu da RİA sistemleri için VA

doğruluk değerinin ancak 30-40° RMS civarında olduğunu göstermektedir (Gregoire ve Singletary 1989).

Bir savaş uçağı için kendisine tehdit olan bir radarın yerinin kesin bir doğrulukla bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Taktik sahada bir tehditle karşılaşan pilot, hemen durumunu gözden geçirmekte ve yeni hareket tarzına karar vererek tehdide en uygun açıdan saldırmak, aktif ve pasif savunmayı en uygun şartlarda başlatmak zorundadır. Dolayısıyla mevcut durumda kullanılan RİA sistemleri fiziksel bazı sınırlamalar dolayısıyla savaş uçakları ve onları kullanan pilotlar açısından bir dezavantaj yaratmaktadırlar.

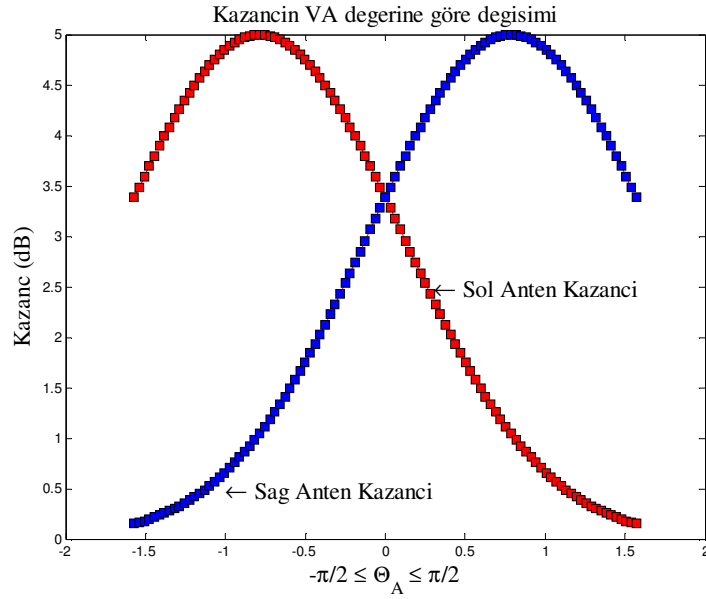
#### 4.4.3 RİA sistemlerinde yön bulma işleminin simüle edilmesi

Tez çalışmaları sırasında RİA sisteminin genlik karşılaştırması metodunu kullanarak karşısında bulunan tehdit radarının yönünü hesaplaması sürecinin simülasyonu yapılmıştır. Gerçeğe mümkün olduğunca yaklaşılması için öncelikle RİA sisteminin ön sektöründeki algılama anten desenini oluşturabilmek için ikili anten dizini;

$$G(\theta_A) = A \exp(-a^2(\theta_A + \alpha)^2) \quad (4.4)$$

G	(W/W)	Geliş açısına göre anten kazancını,
A	(W/W)	“boresight” anten kazancını,
$a^2$	(1/rad <sup>2</sup> )	$2.776/\theta_B^2$
$\theta_B$	(rad)	3dB (Yarı güç) BW’ ini,
$\theta_A$	(rad)	anten dizisinin normaline göre geliş açısını,
$\alpha$	(rad)	anten şaşı bakış açısını,

göstermek üzere (Brinegar 1999);



Şekil 4.12 Simüle RİA sisteminin sağ ve sol alıcı anten kazançları

$A = 5$  dB,

$\theta_B = 120^\circ$ ,

$\alpha = 45^\circ$  (antenler arasındaki açı  $90^\circ$ )

olacak şekilde simüle edilmiştir (Şekil 4.12). İki adet eş anten paterni y eksenine göre  $\pm \alpha$  açıları ile yerleştirilmiştir. Genlik karşılaştırmalı yön bulma tekniğinde;  $\alpha$  açısının sıfır derece olmadığı ve bu sebeple belli bir açıyla gelen sinyalin her bir antende farklı güç seviyelerinde algılandığı kabul edilmektedir. Algılanan bu farklı güç seviyelerinden yola çıkarak geliş açısını tespit etmenin en basit yolu bir eşitlik ya da güç seviyelerinin oranının geliş yönüne olan bağıntısını ortaya koyan bir hızlı arama tablosu kullanılmasıdır. İki eş antenden oluşturulan dizinin ölçtüğü sinyal genliklerinin dB cinsinden oranlarından geliş açısını en ideal yolla hesaplamak için kullanılan bağıntı (Brinegar 1999);

$$R(\theta_A) = 10 \log_{10} (A_1/A_2) + 17.372\alpha^2 \theta_A \quad (4.5)$$

R (dB) alınan sinyallerin oranı

- A<sub>1</sub> (W/W) 1 nci antenin kazancı  
A<sub>2</sub> (W/W) 2 nci antenin kazancı

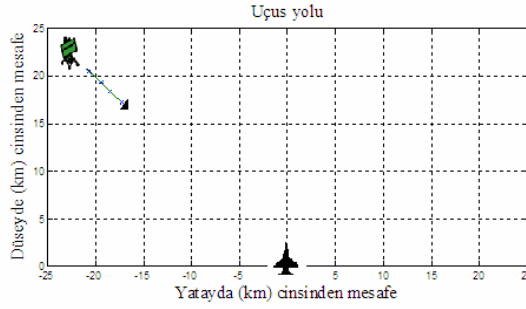
olmak üzere  $-\pi/2$  ile  $+\pi/2$  aralığı için “Hızlı Arama Tablosu” oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1 Hızlı Arama Tablosu

<i>Açı Değeri (<math>\theta_A</math>)</i>	<i>R(<math>\theta_A</math>)</i>
-90	-27.126
-89.82	-27.072
-89.64	-27.018
-89.46	-26.963
-89.28	-26.909
-89.1	-26.855
-88.92	-26.801
-88.74	-26.746
-88.56	-26.692
-88.38	-26.638
-88.2	-26.584
-88.02	-26.529
87.84	-26.475
-87.66	-26.421
-87.48	-26.367
-87.3	-26.312
-87.12	-26.258
...	
86.94	26.204
87.12	26.258
87.3	26.312
87.48	26.367
87.66	26.421
87.84	26.475
88.02	26.529
88.2	26.584
88.38	26.638
88.56	26.692
88.74	26.746
88.92	26.801
89.1	26.855
89.28	26.909
89.46	26.963
89.64	27.018
89.82	27.072
90	27.126

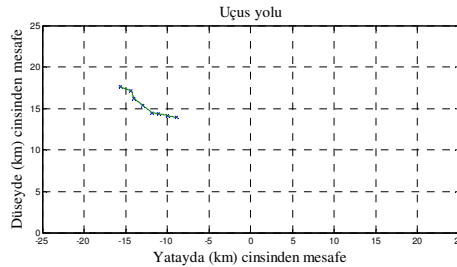


RİA sisteminin; ön sektörde bulunan tehditi algılayarak, yönünü bulmak için kullandığı anten dizisi ve bu işlemler sırasında kullandığı hızlı arama tablosunun oluşturulmasının ardından, sistemin monteli olduğu uçuş platformu hareket halinde olduğu için tehdit olan radarın platforma göre hareketi simüle edilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Simüle RİA sisteminin uçuş platformunun hareketi

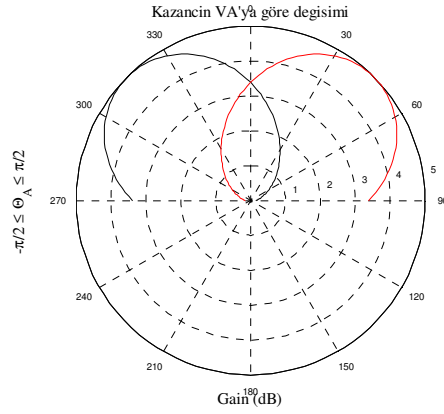
Hareket simülatörü, RİA sistemlerinin algılama mesafesinin ortalama 25 km yarıçaplı bir daire olduğu değerlendirilerek oluşturulmuş ve değişik senaryolar uygulayabilmek amacıyla dinamik olarak tanımlanmıştır. Simülasyon programı hazırlanırken göreceli olarak uçağın durduğu, radarın ise uçağın baş pozisyonuna göre konum değiştirdiği varsayılmıştır. Bu varsayımla hazırlanan simülasyon programına göre şekil 4.13’ de gösterilen örnek senaryoda radar uçağa göre sol 45° civarından başladığı göreceli hareketini, yaklaşık olarak 7-8 km boyunca yön değiştirmeden sürdürmektedir.



Şekil 4.14 Program tarafından çizilen radarın uçağa göre hareketi

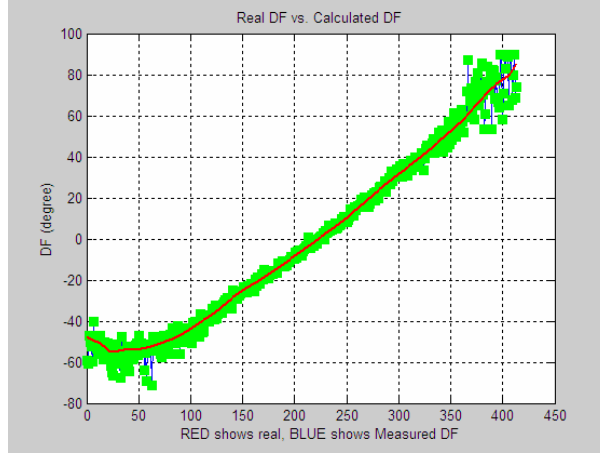
Hareket simülatorü hazırlanırken radarın uçağa göre hareketini belirleyen esas noktalar tespit edildikten sonra aralarının simülasyon programı tarafından enterpole edilmesi sağlanarak, gerçek şartlarda RİA sisteminin aldığı verilere yakın bir data akışı elde edilmiştir.

Hareket simülasyonu sonucunda radarın uçağa göre olan hareketi program tarafından şekil 4.14’ de görüldüğü gibi raporlanmıştır. Bu raporlamada radarın uçağa göre hareketini belirleyen esas noktalar “\*” ile gösterilirken, simülasyon programı tarafından aradeğerlenen kısımlar düz çizgi ile belirtilmiştir.



Şekil 4.15 RİA sisteminin polar eksende alıcı anten kazançları

Genlik karşılaştırma yöntemi ile gelen sinyalin yönünün hesaplanması sürecine geçmeden önce, hesaplama taban oluşturacak olan anten kazanç paternleri program tarafından şekil 4.15’ de olduğu gibi çizdirilmiştir.

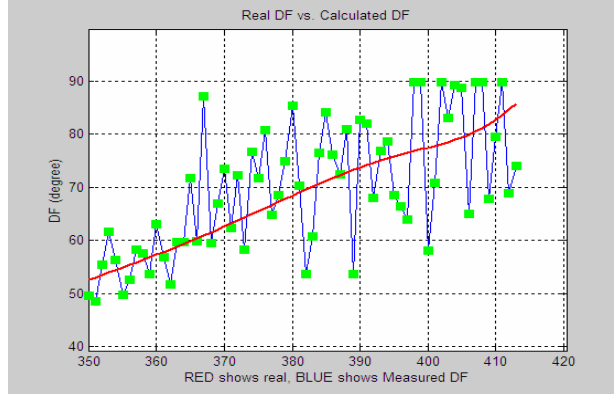


Şekil 4.16 Ölçülen VA değerinin gerçek VA değerine göre durumu

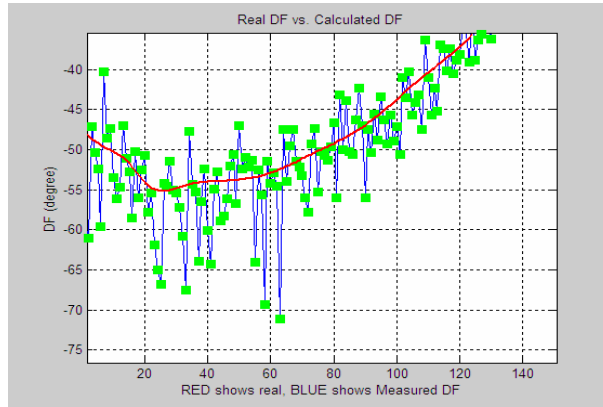
RİA sistemi tarafından, radardan sistemin konuşlu olduğu uçağa yönelen EM sinyallerin yönünün bulunması işleminin simüle edilmesi sırasında gerçek uçuş şartlarında hesap hatalarına yol açan faktörlerin “Normal” dağılıma (Gaussian) sahip olduğu kabul edilerek sisteme bir hata eklenmiştir (Sadler *et al.* 1999)(Koç vd. 2000).

Simülasyonda genlik karşılaştırması yöntemi kullanılarak tespit edilen VA değerleri yeşil kutucuklar ile belirtilmiştir. Kırmızı çizgi ile belirtilen grafik ise gerçek VA değerini göstermekte olup, Normal dağılıma sahip olduğu varsayımıyla eklenen ve gerçek şartlarda karşılaşıldığı düşünülen ölçme hataları şekil 4.16’ da açıkça görülebilmektedir.

Hazırlanan simülasyon sonucu beklendiği gibi anten kazançlarının daha iyi olduğu bölgelerde yapılan ölçüm ve sonrasındaki hesaplamalar daha iyi sonuçlar verirken, anten kazançlarının daha kötü olduğu bölgelerde yapılan ölçüm ve sonrasındaki hesaplamalar gerçek şartlarda olduğu gibi daha kötü sonuçlar vermektedir. Şekil 4.16’ da yer alan grafikte  $-45^\circ$  ve  $+45^\circ$  dışında kalan bölgeler ayrı ayrı ele alınacak olursa; bu bölgelerde yapılan genlik karşılaştırmalı VA hesabında antenlerden birinin iyi, ancak diğerinin kötü bir kazançla sahip olduğu bilinen bölgelere karşılık gelmesi nedeniyle şekil 4.17 ve 4.18’ de görüldüğü gibi hesaplamalarda hatalar artmaktadır.

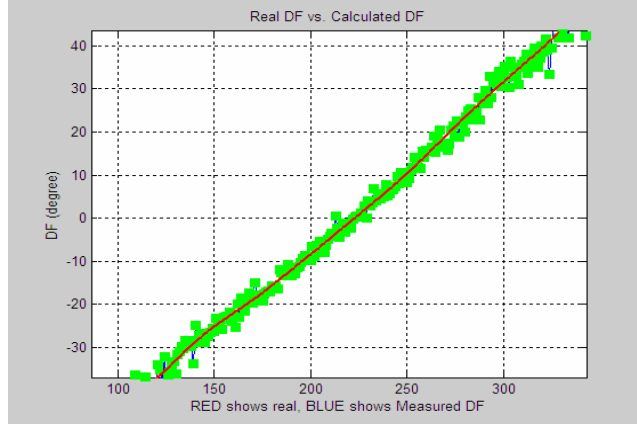


Şekil 4.17 Sağ  $45^\circ$ ' nin üzerindeki açılarda VA karşılaştırması

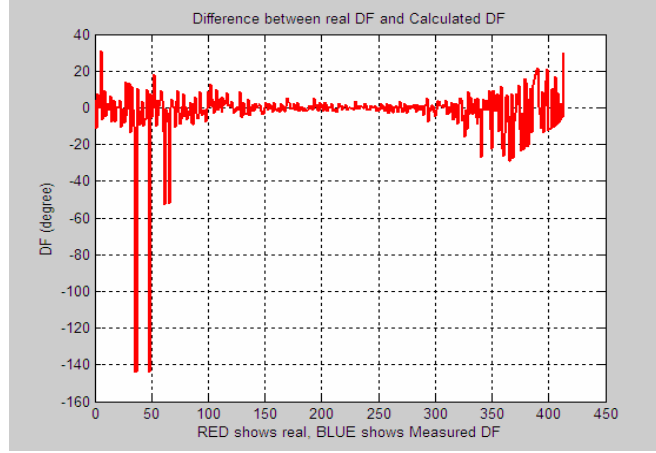


Şekil 4.18 Sol  $45^\circ$ ' nin üzerindeki açılarda VA karşılaştırması

Yine şekil 4.16' da,  $-45^\circ$  ve  $+45^\circ$  arasında kalan bölge ele alınacak olursa; bu bölgede yapılan genlik karşılaştırmalı VA hesabında nispeten her iki antenin de kazancının daha iyi olması sebebiyle  $-45^\circ$  ve  $+45^\circ$  dışında kalan bölgeye göre daha iyi sonuçlar elde edildiği şekil 4.19' da ve aradaki farkı gösteren şekil 4.20' de net olarak görülmektedir.



Şekil 4.19 Sol  $45^\circ$  ile sağ  $45^\circ$ ' nin arasında kalan açılarda VA karşılaştırması



Şekil 4.20 Ölçülen VA değerinin gerçek VA değerine göre farkı

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 5.1 Şaşı Açı Değerinin Sabit Olduğu Durum İçin Analiz Sonuçları

Tezin bu bölümünde uçakta konuşlu RİA sisteminin, alıcı antenleri arasında bulunan açı değerinin (şası açısı değeri  $45^\circ$ ) sabit olduğu durum için değişik VA' larından radara yaklaşmasının simülasyonu yapılmıştır (Şekil 5.1).

Gerçek şartlarda uçağın ortalama 500 Knot süratle uçağı kabul edilerek, bu süratin sn' de yaklaşık 257 m yer değiştirmeye karşılık geleceği ve bu durumda uçağın yaklaşık 20 sn arayla yön değiştirebileceği kabul edilmiştir.<sup>8</sup>

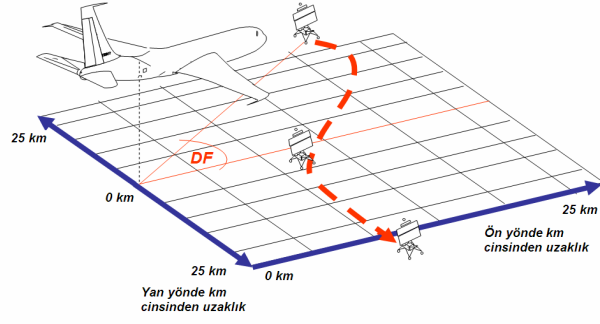
Yapılan kabullere uygun olarak, uçağın radara  $-86^\circ$ ,  $-68^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $-30^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $69^\circ$  ve  $87^\circ$  VA' larından yaklaştığı durumlar için simülasyon programı çalıştırılmıştır. Simülasyonda gerçek şartları oluşturabilmek amacıyla sisteme hata eklenmiştir. Simüle edilen RİA sistemi bir taraftan radara yaklaşırken diğer taraftan genlik karşılaştırması yöntemini kullanarak radardan gelen sinyallerin VA değerini hesaplamaktadır. Simülasyon şartlarında sistemin yaptığı hatayı içeren hesaplanmış VA değerleri, gerçek VA değerleri ile aynı şekiller üzerinde çizdirilerek yapılan ölçüm hatası gösterilmektedir. Sonraki aşamada hesaplanan ölçüm sonuçlarının dağılımını görebilmek amacıyla histogramı çizdirilmiştir. Örnek aralığı sıfıra giderken histogramlar olasılık yoğunluk fonksiyonuna yaklaşmaktadır (Papoulis and Pillai 2002). Dolayısıyla çizdirilen histogramların olasılık yoğunluk fonksiyonuna yakınsayacağı değerlendirilmektedir.

Histogramların çizdirilmesi ve oluşan dağılımın en büyük olduğu değerin belirlenmesi durumunda şekil 5.2(c), 5.3(c), 5.4(c) ve 5.5(c)' de görüldüğü gibi, şekil 5.2(b), 5.3(b),

---

<sup>8</sup> Simülasyonda kullanılan uçağın, yaklaşık olarak 5 km uçuş boyunca yön değiştirmeyeceği ve dolayısıyla bu süre boyunca aynı tehditten aldığı sinyalin yönünün değişmeyeceği kabul edilmiştir.

5.4(b) ve 5.5(b)' den farklı olarak<sup>9</sup> histogramları en büyük yapan değerlerin radar sinyalinin uçağa geliş yönüne yaklaştığı görülmektedir.

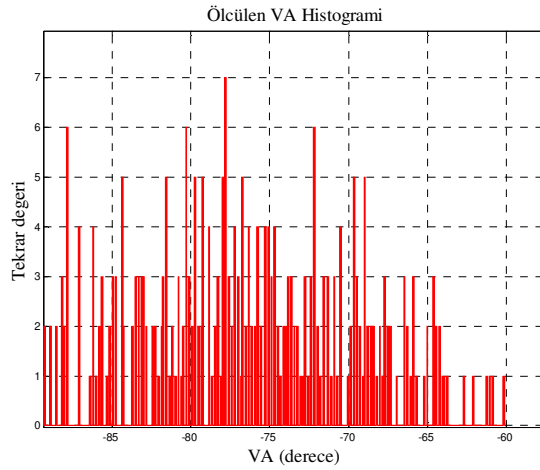
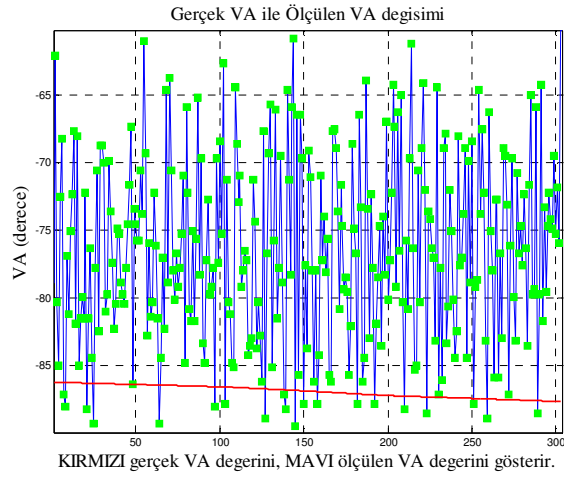
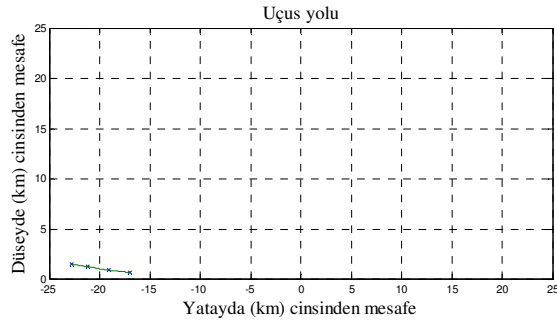


Şekil 5.1 Açıklamalar

---

<sup>9</sup> RİA sistemleri tarafından hesaplanan VA değerlerinin her adımda gerçek değerden  $\pm 10^\circ$  farklı olabildiği görülmektedir.

Şaşı açısı değeri  $45^\circ$  ve gerçek VA değeri  $-86^\circ$  iken analiz sonuçları

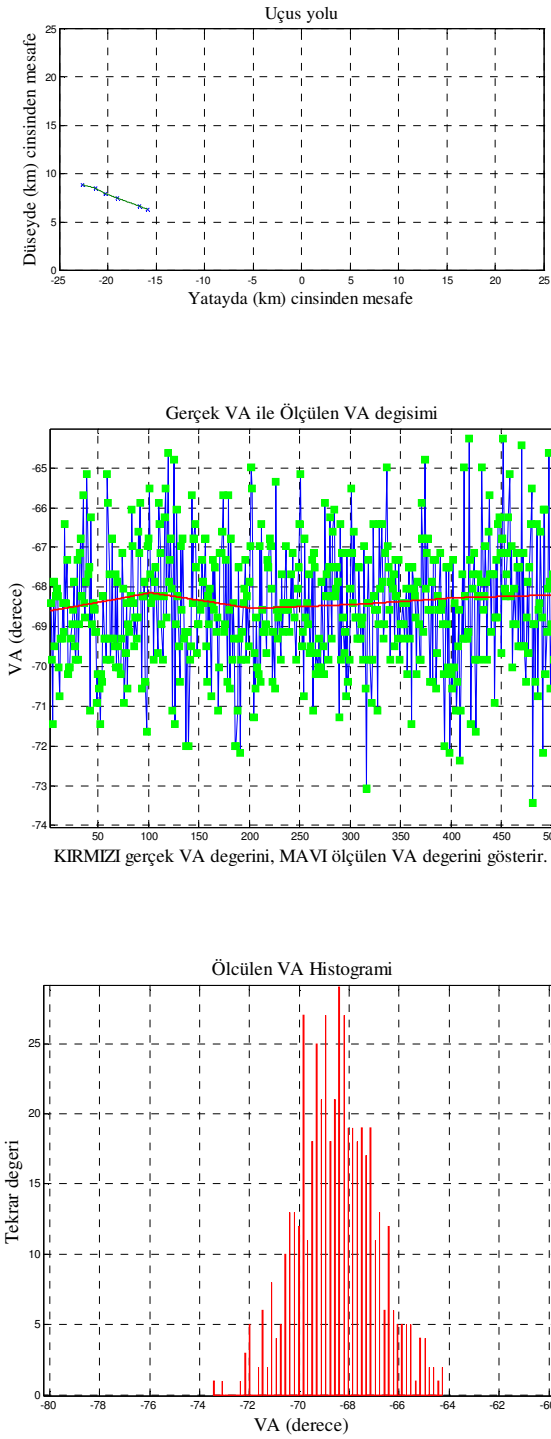


Şekil 5.2 a. Şaşı açısı değeri  $45^\circ$  iken VA değeri  $-86^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı



İlk simülasyonda şekil 5.2(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağın  $-86^\circ$  sol düzleminde olduğu durum için analizler yapılmıştır. Bu durumda sistemin genlik karşılaştırması sırasında  $15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.2(b)' de görülmektedir. Özellikle bu bölgede sağ anten paterninin kazancının düşmesi nedeniyle gerçek sistemlerde olduğu gibi simüle edilen sistemin yaptığı ölçümlerdeki hatalar da artmaktadır. Analitik bir ortalama alınarak VA değeri bulunmaya çalışılırsa hatalı sonuçlar elde edileceği görülmektedir. Ancak şekil 5.2(c)' de görüldüğü gibi bu ölçümlerin histogramı çizdirildiğinde yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile en büyük değeri tespit edildiğinde bu değer  $-83.34^\circ$  olduğu ve  $-86^\circ$  olan gerçek VA değerine yaklaşıldığı görülmektedir.

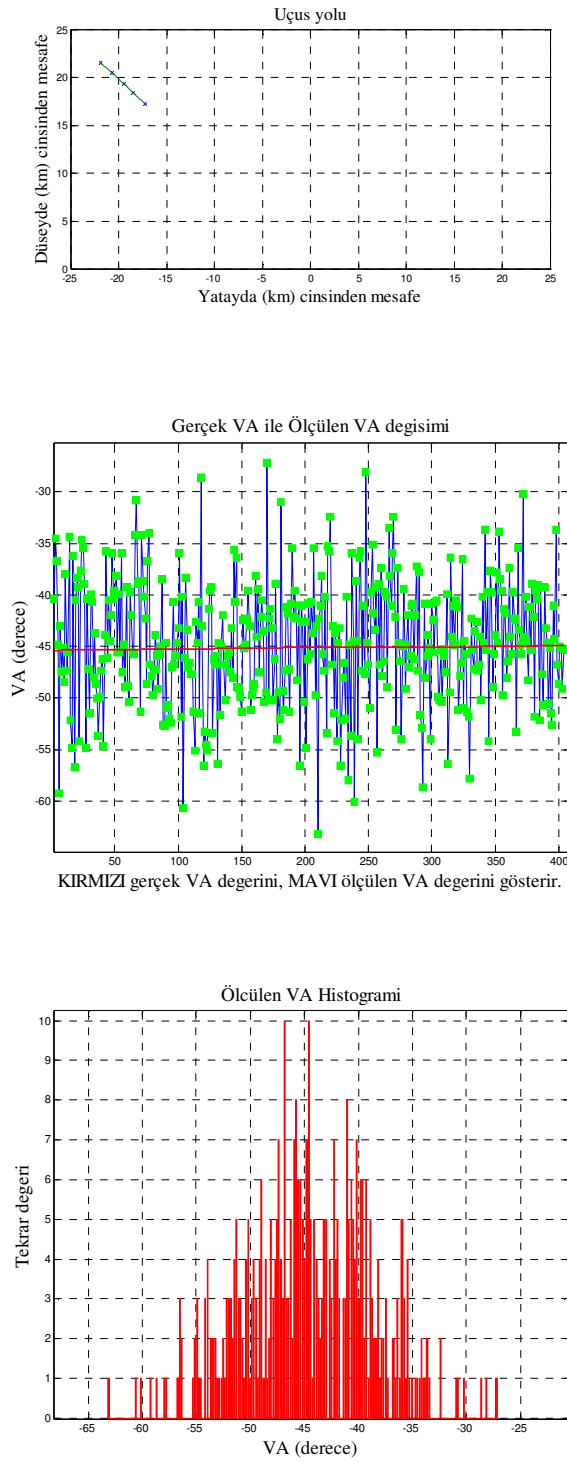
Şaşı açısı değeri  $45^\circ$  ve gerçek VA değeri  $-68^\circ$  iken analiz sonuçları



Şekil 5.3 a. Şaşı açısı değeri  $45^\circ$  iken VA değeri  $-68^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

İkinci simülasyonda şekil 5.3(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağın  $-68^{\circ}$  sol düzleminde olduğu durum için analizler yapılmıştır. Bu durumda sistemin genlik karşılaştırması sırasında  $\pm 6^{\circ}$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.3(b)' de görülmektedir. Bu bölgede sağ anten paterninin kazancının zayıflaması nedeniyle gerçek sistemlerde olduğu gibi simüle edilen sistemin yaptığı ölçümlerdeki hatalar da artmaktadır. Şekil 5.3(c)' de görüldüğü gibi bu ölçümlerin histogramı çizdirildiğinde yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile en büyük değeri tespit edildiğinde bu değer  $-71.46^{\circ}$  olduğu ve  $-68^{\circ}$  olan gerçek VA değerine yaklaşıldığı görülmektedir.

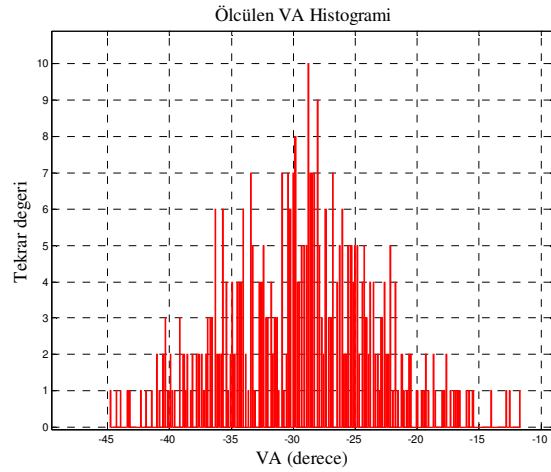
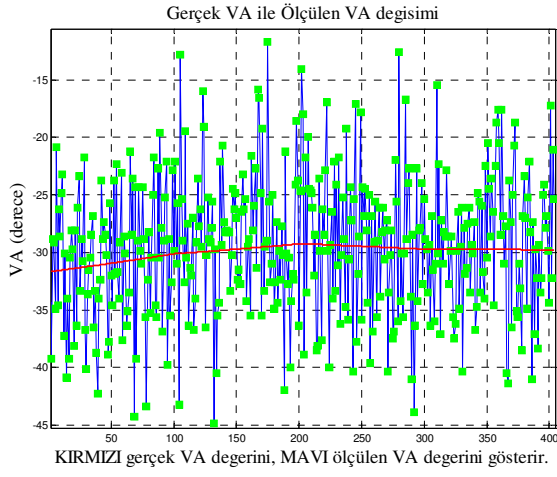
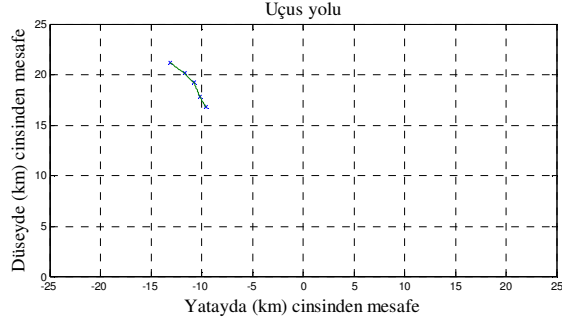
Şaşı açısı değeri  $45^\circ$  ve gerçek VA değeri  $-45^\circ$  iken analiz sonuçları



Şekil 5.4 a. Şaşı açısı değeri  $45^\circ$  iken VA değeri  $-45^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Üçüncü simülasyonda şekil 5.4(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa  $-45^{\circ}$  sol düzleminden yaklaştığı durum için analizler yapılmıştır. Bu durumda sistemin genlik karşılaştırması sırasında  $\pm 18^{\circ}$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.4(b)' de görülmektedir. Şekil 5.4(c)' de görüldüğü gibi bu ölçümlerin histogramı çizdirildiğinde yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile en büyük değeri tespit edildiğinde bu değer  $-48.96^{\circ}$  olduğu ve  $-45^{\circ}$  olan gerçek VA değerine yaklaşıldığı görülmektedir.

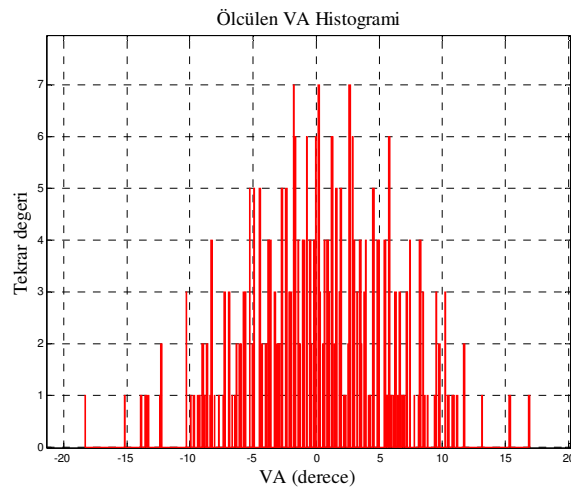
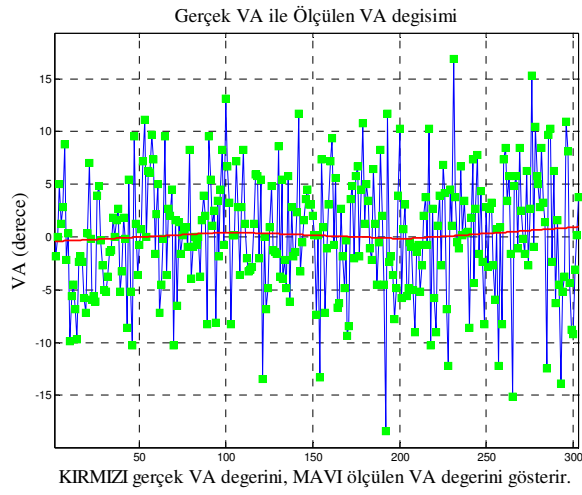
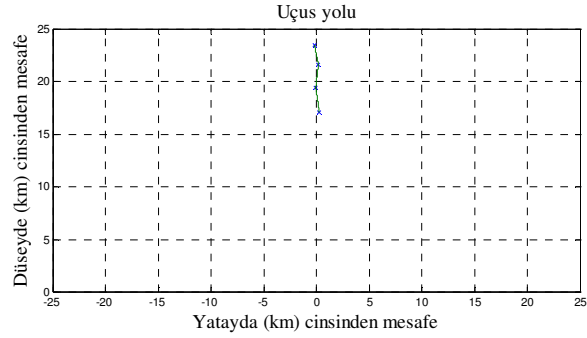
Şaşı açi değeri  $45^\circ$  ve gerçek VA değeri  $-30^\circ$  iken analiz sonuçları



Şekil 5.5 a. Şaşı açi değeri  $45^\circ$  iken VA değeri  $-30^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Dördüncü simülasyonda şekil 5.5(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa  $-30^{\circ}$  sol düzleminden yaklaştığı durum için analizler yapılmıştır. Bu durumda sistemin genlik karşılaştırması sırasında  $\pm 18^{\circ}$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.5(b)' de görülmektedir. Şekil 5.5(c)' de görüldüğü gibi bu ölçümlerin histogramı çizdirildiğinde yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile en büyük değeri tespit edildiğinde bu değer  $-28.08^{\circ}$  olduğu ve  $-30^{\circ}$  olan gerçek VA değerine yaklaşıldığı görülmektedir.

## Şaşı açısı değeri $45^\circ$ ve gerçek VA değeri $0^\circ$ iken analiz sonuçları

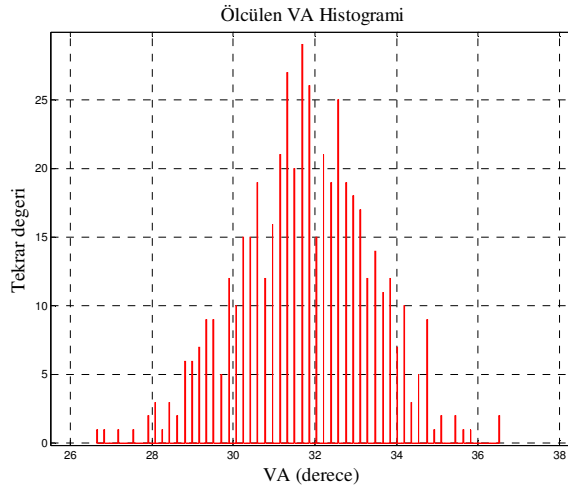
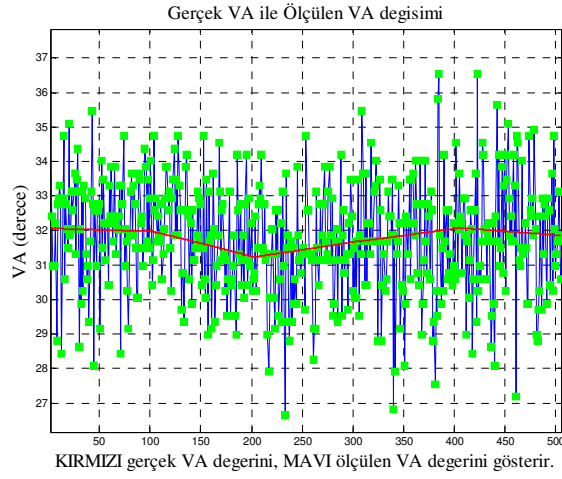
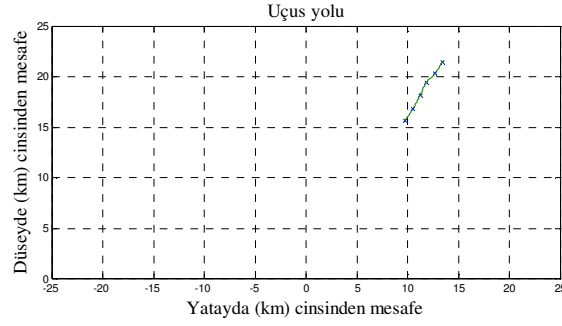


Şekil 5.6 a. Şaşı açısı değeri  $45^\circ$  iken VA değeri  $0^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı



Beşinci simülasyonda şekil 5.6(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa tam karşısından yaklaştığı durum için analizler yapılmıştır. Bu durumda sistemin genlik karşılaştırması sırasında  $\pm 18^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.6(b)' de görülmektedir. Şekil 5.6(c)' de görüldüğü gibi bu ölçümlerin histogramı çizdirildiğinde yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile en büyük değeri tespit edildiğinde bu değer  $1.08^\circ$  olduğu ve  $0^\circ$  olan gerçek VA değerine yaklaşıldığı görülmektedir.

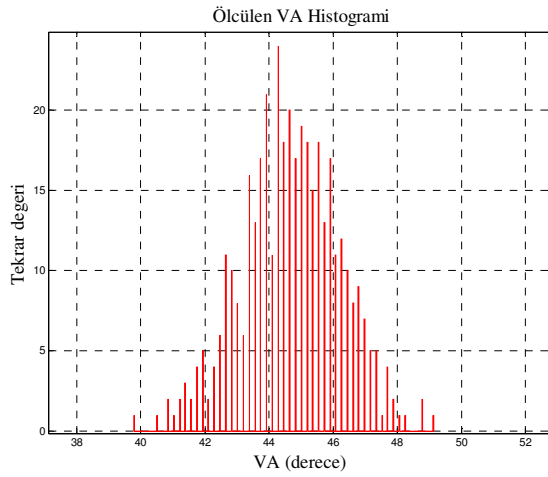
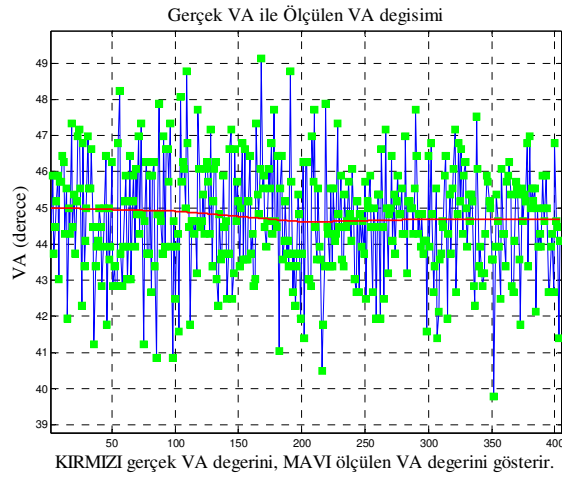
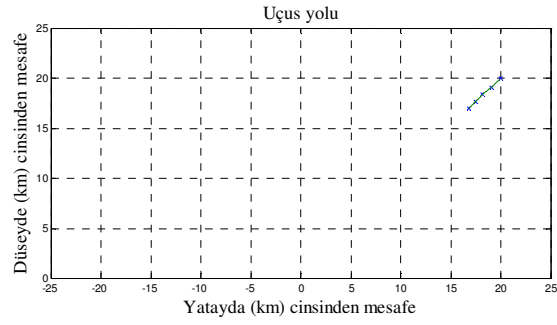
## Şaşı açısı değeri 45° ve gerçek VA değeri 30° iken analiz sonuçları



Şekil 5.7 a. Şaşı açısı değeri 45° iken, VA değeri 30°, b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Altıncı simülasyonda şekil 5.7(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa 30° sağ düzleminden yaklaştığı durum için analizler yapılmıştır. Bu durumda sistemin genlik karşılaştırması sırasında  $\pm 5^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.7(b)' de görülmektedir. Şekil 5.7(c)' de görüldüğü gibi bu ölçümlerin histogramı çizdirildiğinde yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile en büyük değeri tespit edildiğinde bu değer 28.2° olduğu ve 30° olan gerçek VA değerine yaklaşıldığı görülmektedir.

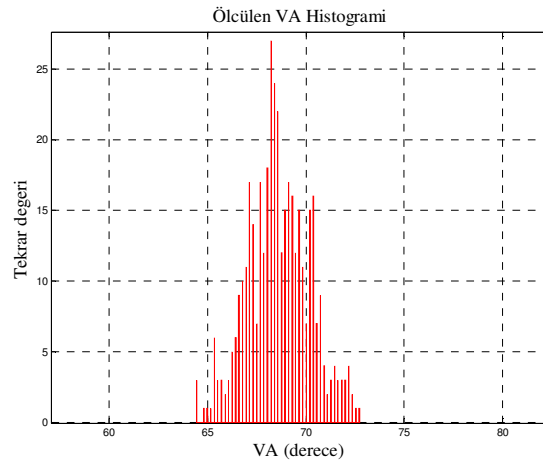
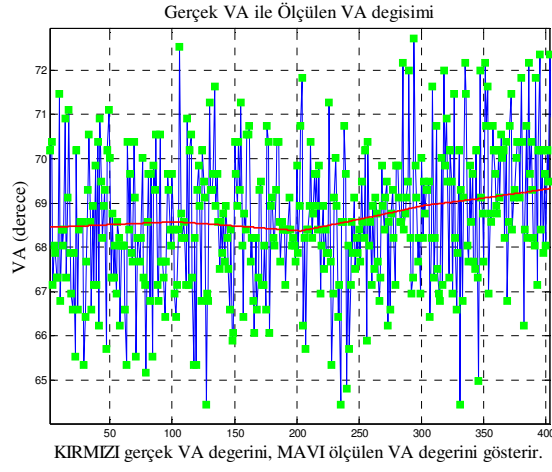
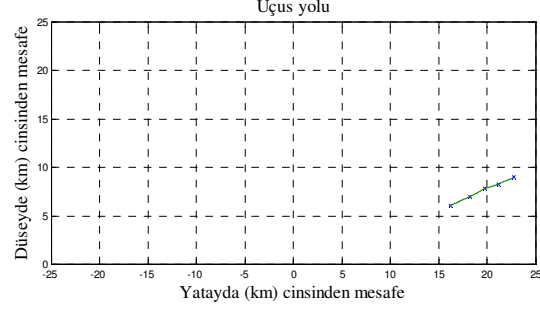
## Şaşı aç değeri 45° ve gerçek VA değeri 45° iken analiz sonuçları



Şekil 5.8 a. Şaşı aç değeri 45° iken VA değeri 45°, b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Yedinci simülasyonda şekil 5.8(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa 45° sağ düzleminden yaklaştığı durum için analizler yapılmıştır. Bu durumda sistemin genlik karşılaştırması sırasında  $\pm 5^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.4(b)' de görülmektedir. Şekil 5.4 (c)' de görüldüğü gibi bu ölçümlerin histogramı çizdirildiğinde yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile en büyük değeri tespit edildiğinde bu değer 44.28° olduğu ve 45° olan gerçek VA değerine yaklaşıldığı görülmektedir.

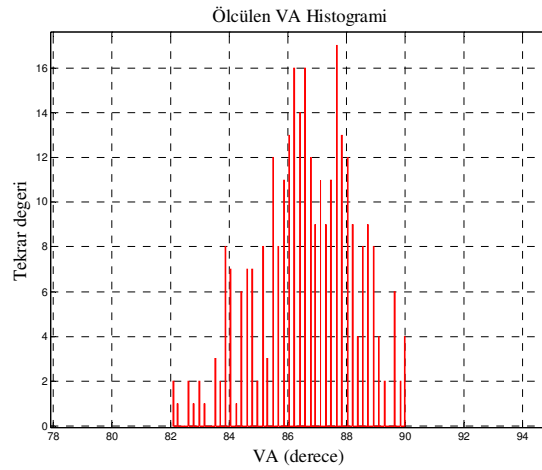
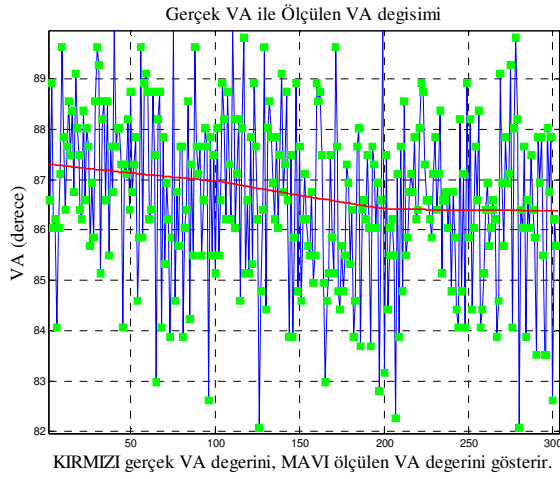
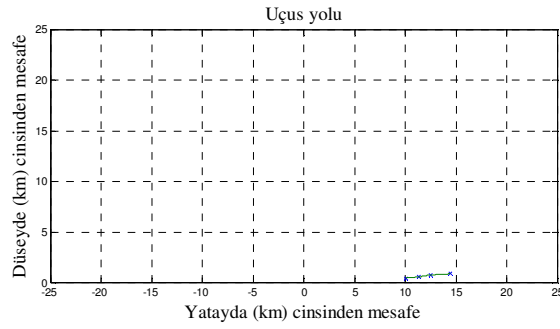
## Şaşı açısı değeri 45° ve gerçek VA değeri 69° iken analiz sonuçları



Şekil 5.9 a. Şaşı açısı değeri 45° iken VA değeri 69°, b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Sekizinci simülasyonda şekil 5.9(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağın  $69^\circ$  sağ düzleminde olduğu durum için analizler yapılmıştır. Bu durumda sistemin genlik karşılaştırması sırasında  $\pm 5^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı görülmektedir. (Şekil 5.9(b)) Bu bölgede sol anten paterninin kazancının zayıflaması nedeniyle gerçek sistemlerde olduğu gibi simüle edilen sistemin yaptığı ölçümlerdeki hatalar da artmaktadır. Şekil 5.9(c)' de görüldüğü gibi bu ölçümlerin histogramı çizdirildiğinde yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile en büyük değeri tespit edildiğinde bu değer  $65.34^\circ$  olduğu ve  $69^\circ$  olan gerçek VA değerine yaklaşıldığı görülmektedir.

## Şaşı açısı değeri $45^\circ$ ve gerçek VA değeri $87^\circ$ iken analiz sonuçları



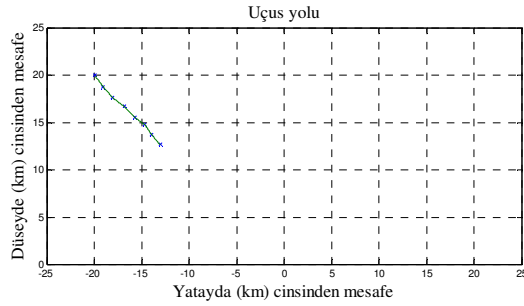
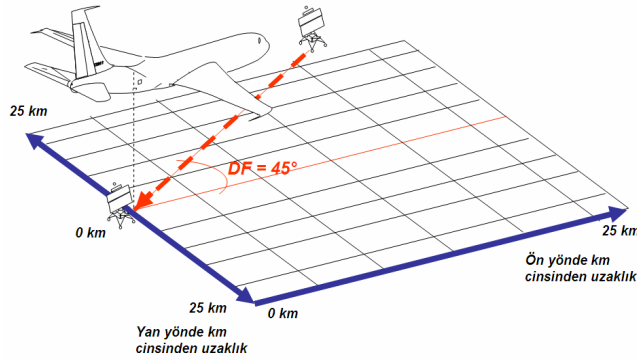
Şekil 5.10 a. Şaşı açısı değeri  $45^\circ$  iken, VA değeri  $87^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı



Dokuzuncu simülasyonda şekil 5.10(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağın  $87^\circ$  sağ düzleminde olduğu durum için analizler yapılmıştır. Bu durumda sistemin genlik karşılaştırması sırasında  $\pm 5^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.10(b)' de görülmektedir. Özellikle bu bölgede sol anten paterninin kazancının düşmesi nedeniyle gerçek sistemlerde olduğu gibi simüle edilen sistemin yaptığı ölçümlerdeki hatalar da artmaktadır. Analitik bir ortalama alınarak VA değeri bulunmaya çalışılırsa hatalı sonuçlar elde edileceği görülmektedir. Ancak şekil 5.10(c)' de görüldüğü gibi bu ölçümlerin histogramı çizdirildiğinde yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile en büyük değeri tespit edildiğinde bu değer  $88.74^\circ$  olduğu ve  $87^\circ$  olan gerçek VA değerine yaklaşıldığı görülmektedir.

## 5.2 Değişen Şaşı Açı Değerleri İçin Analiz Sonuçları

Simüle edilen şartlar altında hesaplanan VA değerlerinin histogramlarının çizdirilmesi ve bunu en büyük yapan değer bulunması yaklaşımı iyi sonuçlar vermesine rağmen, tezin bu bölümünde yeni bir yaklaşım getirilerek alıcı antenlerinin bulunduğu yuva içinde saat yönünde ve saatin tersi yönünde döndürülerek her bir VA değeri için değişik şaşı açıları ile ölçümlerin tekrarlanması ve hassasiyetin artırılmasının mümkün olup olmadığının araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için sağdaki antenin yuvasında saat yönünde, soldaki antenin ise saat yönünün tersi yönünde  $30^\circ$  döndürülmesine karar verilmiştir. Tezin bundan sonraki kısmında şaşı açısı değerinin her bir alıcı anten için  $45^\circ$ ' den  $75^\circ$ ' ye değiştiği durum simüle edilerek sistemin YB hassasiyetini nasıl etkileyeceği analiz edilmiştir.



Şekil 5.11 a. Senaryoda kullanılan uçuş yolu, b. Senaryoda kullanılan uçuş yolunun grafiksel gösterimi

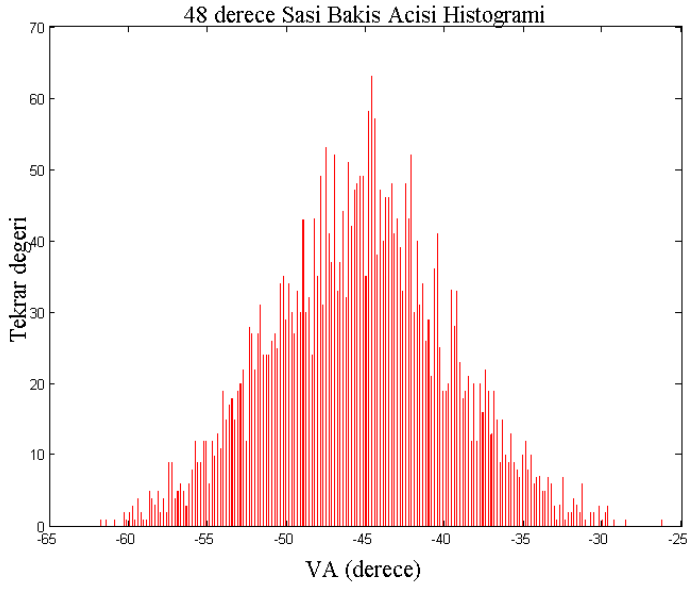
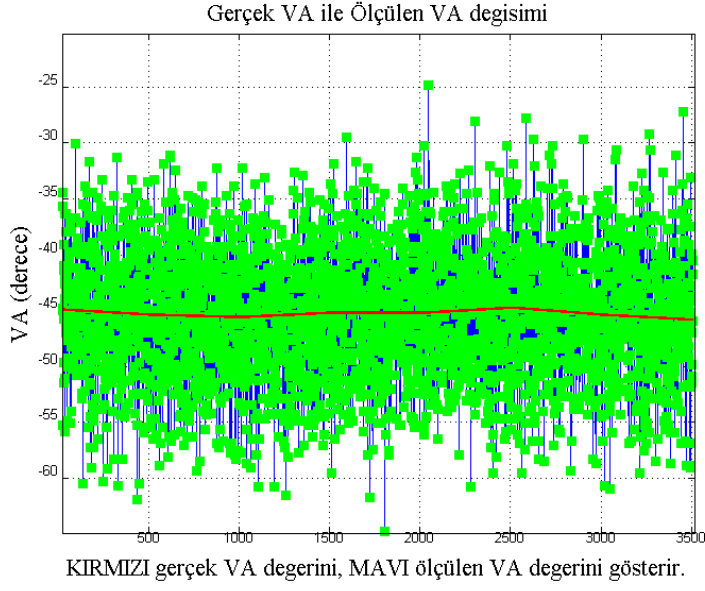
Söz konusu simülasyonun analizleri yapılırken radarın uçağa sol  $45^{\circ}$  den (şekil 5.11(a) ve (b)) yaklaştığı senaryo kullanılmış ve şaşı açısı değerinin  $45^{\circ}$  den  $75^{\circ}$  ye kadar toplam  $30^{\circ}$  değiştiği kabul edilmiştir. Senaryoda RIA sisteminin, radarı yaklaşık 28 km mesafede algıladığı kabul edilerek simülasyon bu noktada başlatılmış ve uçak yaklaşık 18 km' lere kadar radara sol  $45^{\circ}$  den yaklaşmaya devam etmiş, bu noktadan sonra uçağın manevra yaptığı ve VA değerinin değiştiği kabul edilerek simülasyon bu noktada kesilmiştir.

$45^{\circ}$  olan şaşı açısı değerinin  $30^{\circ}$  arttırılarak  $75^{\circ}$  ye çıkarılması sırasında, her  $1.5^{\circ}$  lik adımda sağ ve sol antenlerin genliklerinin karşılaştırılması mantığına dayanan VA ölçümü yapılmış ve bulunan değerler bir tabloya kaydedilmiştir. Kaydedilen değerlerden yararlanarak şaşı açısının değiştiği her  $1.5^{\circ}$  lik adım için bir histogram oluşturulmuştur. Şaşı açısı değeri  $45^{\circ}$  den  $75^{\circ}$  ye değiştiği durum için elde edilen tüm histogramların tek tek analizlerinin her birinin, RIA sisteminin yaptığı ölçümlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Sonuçta bulunan toplam Gaussian OYF oluşturulduktan sonra ise bölüm 4.2' de anlatıldığı şekliyle *En Büyük Olabilirlik Kestirimi* metodu kullanılarak gerçek VA değerine yakın bir değere ulaşılmaya çalışılmaktadır. Yapılan analizlerin sonunda bulunan *En Büyük Olabilirlik Kestirimi* değerinin gerçek değere hesaplanan VA değerlerinden daha yakın olduğu ve daha iyi bir sonuç verdiği yapılan simülasyonlar sonucunda görülmektedir.

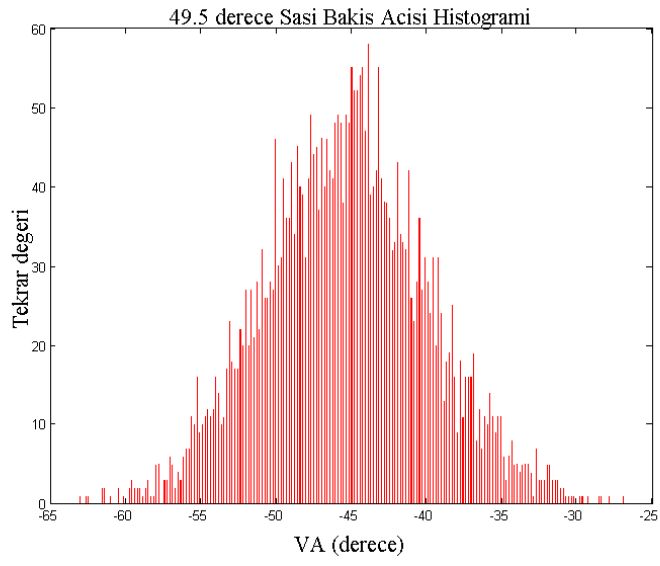
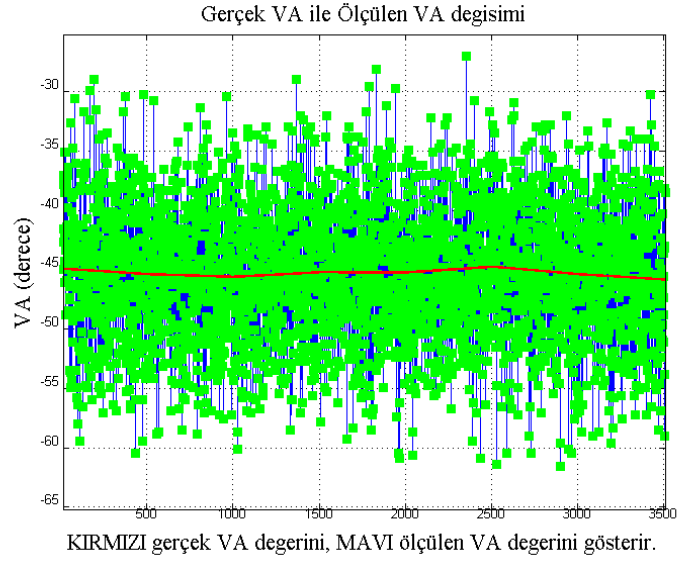
Şekil 5.12' den, şekil 5.17 kadar olan grafiklerde  $1.5^{\circ}$  adım aralığı ile şaşı açısı değerlerinin değiştirildiği durum için yapılan analizlerden örnekler verilmiştir. Burada gösterilen analizler VA değerinin sabit olarak  $-45^{\circ}$  de tutulduğu, yani radarın uçağa sol  $45^{\circ}$  den yaklaştığı durum için yapılmaktadır.

## Şaşı aç değeri 48° için histogram



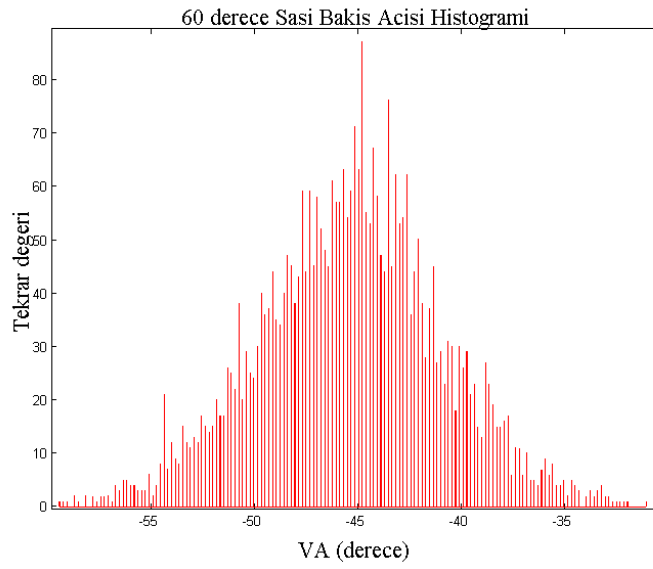
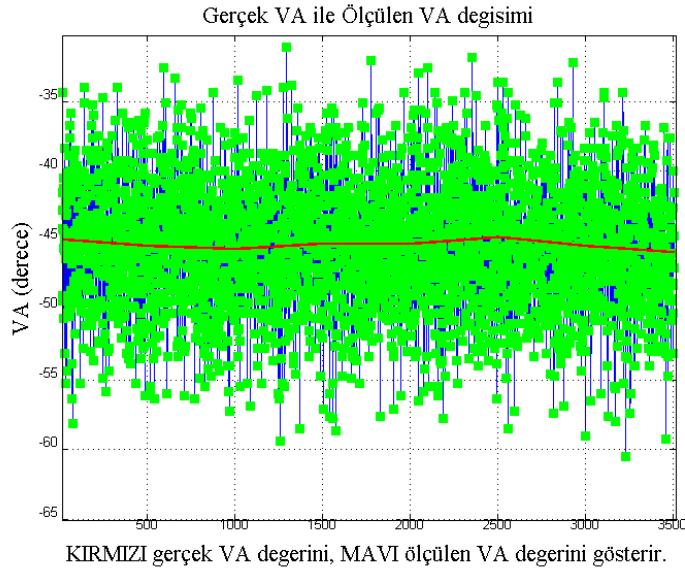
Şekil 5.12 a. Şaşı aç değeri 48° olduğu durum için VA değisimi, b. Histogram

## Şaşı açısı değeri 50° için histogram



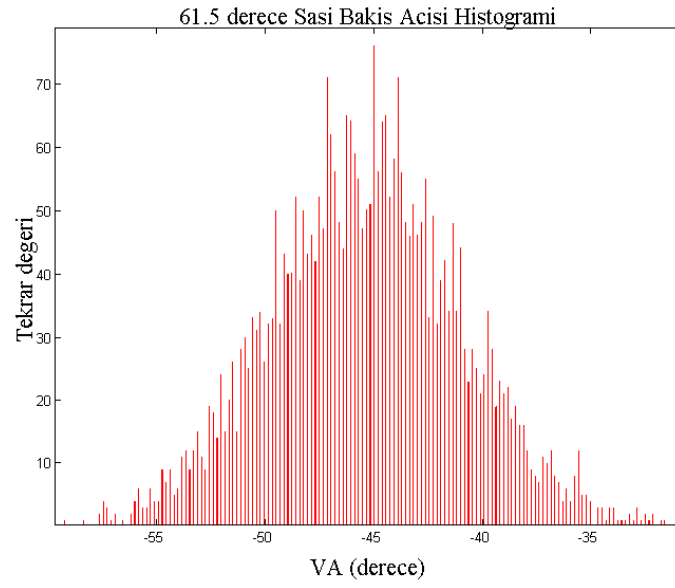
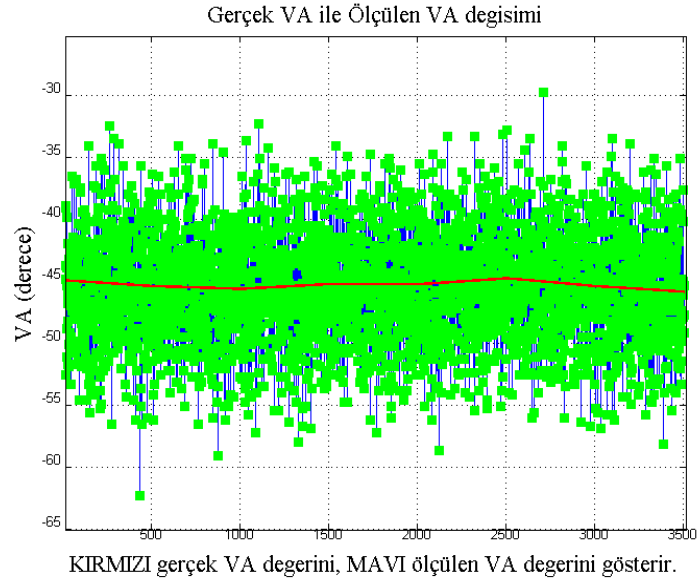
Şekil 5.13 a. Şaşı açısı değeri 50° olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram

## Şaşı açısı değeri 60° için histogram



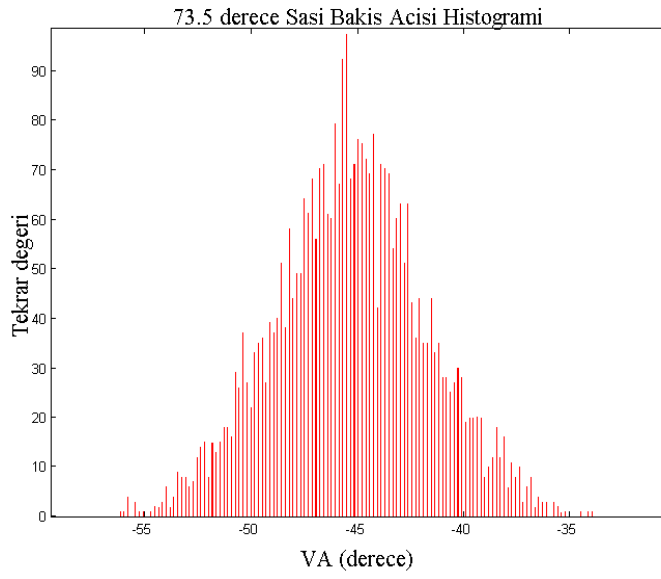
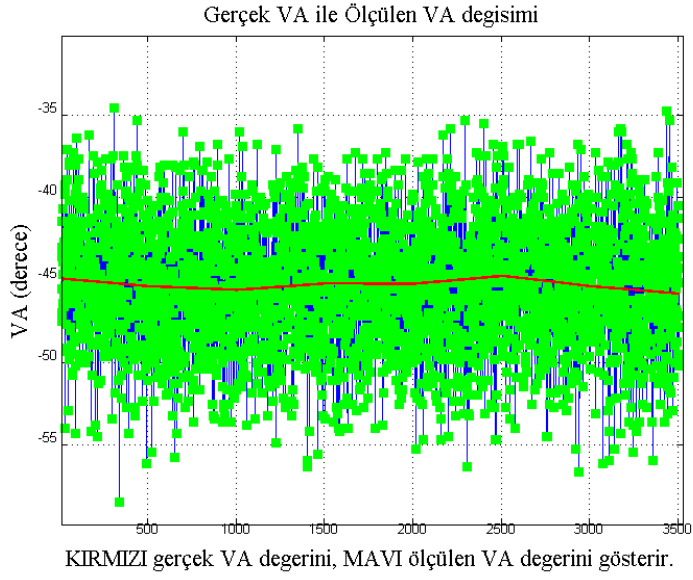
Şekil 5.14 a. Şaşı açısı değeri 60° olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram

## Şaşı aç değeri 61.5° için histogram



Şekil 5.15 a. Şaşı aç değeri 61,5° olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram

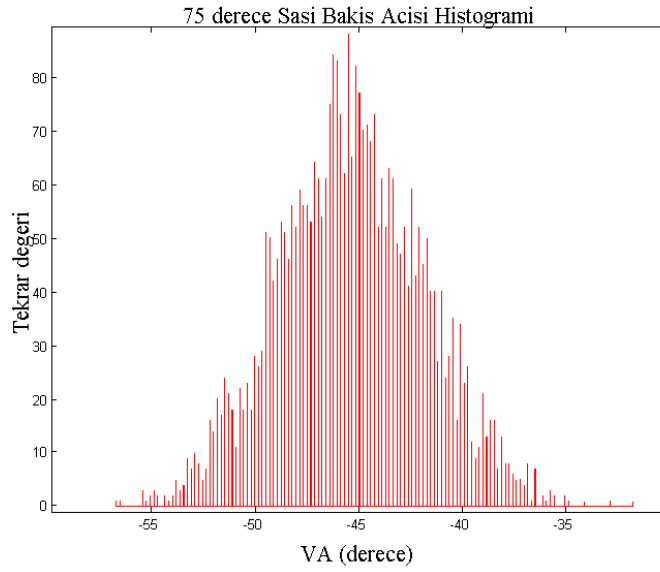
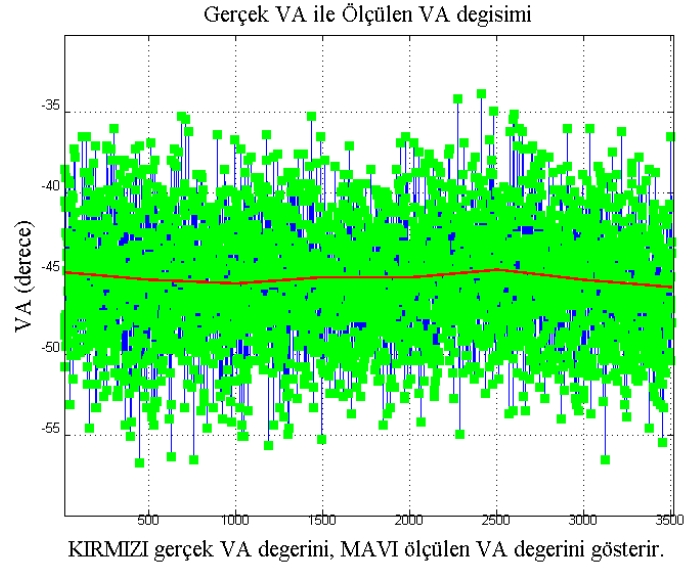
## Şaşı aç değeri 73.5° için histogram



Şekil 5.16 a. Şaşı aç değeri 73,5° olduğu durum için VA değisimi, b. Histogram



## Şaşı açısı değeri 75° için histogram



Şekil 5.17 a. Şaşı açısı değeri 75° olduğu durum için VA değişimi, b. Histogram

Şekil 5.12(a)' da şaşı açısı değerinin 45°' den 48°' ye değiştirildiği adımda yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde; RIA sisteminin sol 45°' den yaklaşan radarın VA değerini hatalı olarak 35° ile 55° ler arasında ölçtüğü görülmektedir. Bu uçuş yolu

boyunca radardan alınan sinyallerin genlik değerlerinin histogramı şekil 5.12(b)' de görüldüğü gibi oluşturulmasının ve EBOK yönteminin kullanılmasının ardından, alınan sinyallerin en büyük değerine  $44^\circ$  de ulaştığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.13(a)' da şaşı açısı değerinin  $48^\circ$  den  $50^\circ$  ye değiştirildiği adımda yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde; RİA sisteminin sol  $45^\circ$  den yaklaşan radarın VA değerini hatalı olarak  $35^\circ$  ile  $55^\circ$  ler arasında ölçtüğü görülmektedir. Bu uçuş yolu boyunca radardan alınan sinyallerin genlik değerlerinin histogramı şekil 5.13(b)' de görüldüğü gibi oluşturulmasının ve EBOK yönteminin kullanılmasının ardından, alınan sinyallerin en büyük değerine  $45^\circ$  de ulaştığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.14(a)' da şaşı açısı değerinin  $58^\circ$  den  $60^\circ$  ye değiştirildiği adımda yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde; RİA sisteminin sol  $45^\circ$  den yaklaşan radarın VA değerini hatalı olarak  $35^\circ$  ile  $60^\circ$  ler arasında ölçtüğü görülmektedir. Bu uçuş yolu boyunca radardan alınan sinyallerin genlik değerlerinin histogramı şekil 5.14(b)' de görüldüğü gibi oluşturulmasının ve EBOK yönteminin kullanılmasının ardından, alınan sinyallerin en büyük değerine  $45^\circ$  de ulaştığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.15(a)' da şaşı açısı değerinin  $60^\circ$  den  $61.5^\circ$  ye değiştirildiği adımda yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde; RİA sisteminin sol  $45^\circ$  den yaklaşan radarın VA değerini hatalı olarak  $35^\circ$  ile  $60^\circ$  ler arasında ölçtüğü görülmektedir. Bu uçuş yolu boyunca radardan alınan sinyallerin genlik değerlerinin histogramı şekil 5.15(b)' de görüldüğü gibi oluşturulmasının ve EBOK yönteminin kullanılmasının ardından, alınan sinyallerin en büyük değerine  $47^\circ$  de ulaştığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.16(a)' da şaşı açısı değerinin  $70^\circ$  den  $73.5^\circ$  ye değiştirildiği adımda yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde; RİA sisteminin sol  $45^\circ$  den yaklaşan radarın VA değerini hatalı olarak  $35^\circ$  ile  $65^\circ$  ler arasında ölçtüğü görülmektedir. Bu uçuş yolu boyunca radardan alınan sinyallerin genlik değerlerinin histogramı şekil 5.16(b)' de görüldüğü gibi oluşturulmasının ve EBOK yönteminin kullanılmasının ardından, alınan sinyallerin en büyük değerine  $39^\circ$  de ulaştığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.17(a)' da şaşı açısı değerinin  $73.5^\circ$ ' den  $75^\circ$ ' ye değiştirildiği adımda yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde; RİA sisteminin sol  $45^\circ$ ' den yaklaşan radarın VA değerini hatalı olarak  $35^\circ$  ile  $80^\circ$  ler arasında ölçtüğü görülmektedir. Bu uçuş yolu boyunca radardan alınan sinyallerin genlik değerlerinin histogramı şekil 5.17(b)' de görüldüğü gibi oluşturulmasının ve EBOK yönteminin kullanılmasının ardından, alınan sinyallerin en büyük değerine  $38^\circ$  ve  $42^\circ$  lerde ulaştığı tespit edilmiştir.

Analizlerden görülen diğer bir önemli nokta ise şaşı açısı değerinin büyümesinin ölçüm hata aralığını arttırması yönünde olmuştur. Başlangıçta sol  $45^\circ$ ' den yaklaşan radarın VA değeri,  $35^\circ$  ile  $55^\circ$  arasında ölçülürken şaşı açısı değerinin artması ile  $35^\circ$  ile  $80^\circ$  arasında ölçülmeye başlanmıştır.

Asıl önemli nokta olasılık yoğunluk fonksiyonundan yola çıkılarak bulunan VA değerlerinin  $38^\circ$  ile  $47^\circ$  derece arasında değişmesi konusunda olmuştur. Şaşı açısı değerinin büyük değerlerinde hem hata aralığının büyümesi hem de olasılık yoğunluk fonksiyonunda en büyük değerin kayması antenlerin arasının iyice açılması sonucu bir antenin kazancının en yüksek olduğu noktadan gelen bir sinyalin diğer antenin kazancının düşük olduğu noktaya denk gelme oranının artmasından kaynaklanmaktadır.

### **5.3 Değişen Şaşı Açısı Değerleri İçin “Gaussian Karışım Modeli” Analiz Sonuçları**

VA değeri sabit iken şaşı açısı değerinin değiştirilmesi ile elde edilen histogramların tek tek analiz edilmesi sonucunda her birinin RİA sisteminin yaptığı ölçümlerden daha iyi sonuçlar verdiği (4.2.) başlığı altında ifade edilmişti. Bu kısımda elde edilen 21 adet histogramın birlikte değerlendirilmesini yapabilmek amacıyla Gaussian Karışım Modeli<sup>10</sup> kullanılacaktır. GKM, OYF' nin bileşenleri denen bir çok Gaussian olasılık yoğunluk fonksiyonunun ağırlıklandırılmış ortalamasıdır. Genelde, M bileşenli Gaussian Karışım OYF, Pm' ler Gaussian OYF' yi göstermek üzere şöyle tanımlanabilir:

---

<sup>10</sup> Bölüm (4.3)' te daha önce GKM yönteminin kullanımından bahsedilmiştir.

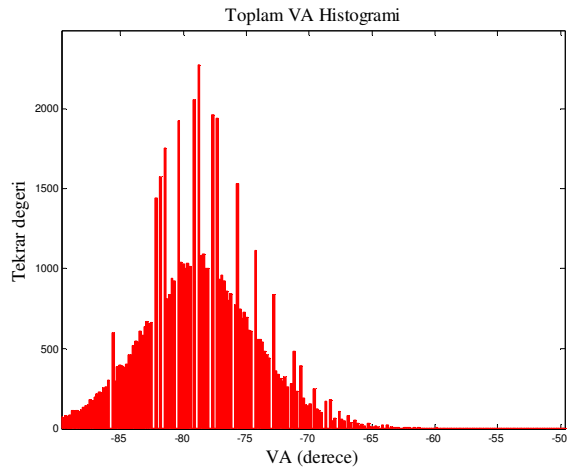
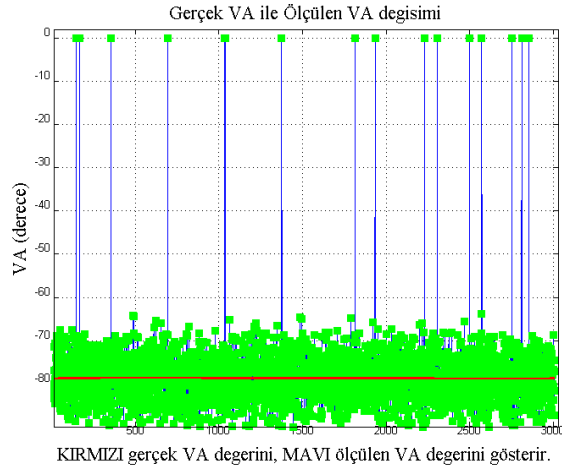
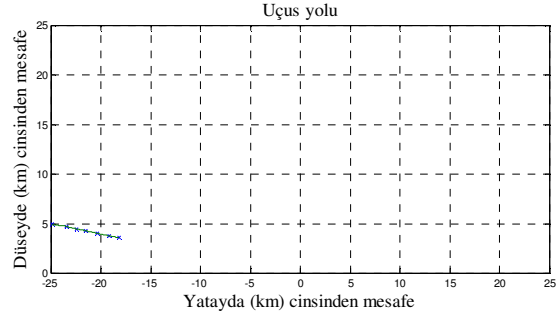
$$p(y) = \sum_{m=1}^M w_m p_m(y) \quad (5.1)$$

$$0 \leq w_m \leq 1, \sum_{m=1}^M w_m = 1$$

Şaşı açısı değerinin  $45^\circ$  den  $75^\circ$  ye,  $1,5^\circ$  lik adımlarla değiştirilmesi sırasında elde edilen birbirinden bağımsız 21 adet histograma ait Gaussian OYF'lerden (5.1) denkleminde ifade edildiği şekilde tek bir OYF elde edilerek bunun değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu işlemin gerçekleştirilmesi esnasında  $w_m$  ağırlıkları eşit olarak kabul edilmiştir.

GKM' nin elde edilmesinden sonra bulunan EBOK değeri incelendiğinde gerçek VA değerine, hesaplanan VA değerlerinden daha yakın olduğu ve daha iyi bir sonuç verdiği şekil 5.13(c), 5.14(c) ve 5.15(c)'deki grafiklerde görülmektedir.

Gerçek VA değeri  $-80^\circ$  iken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması

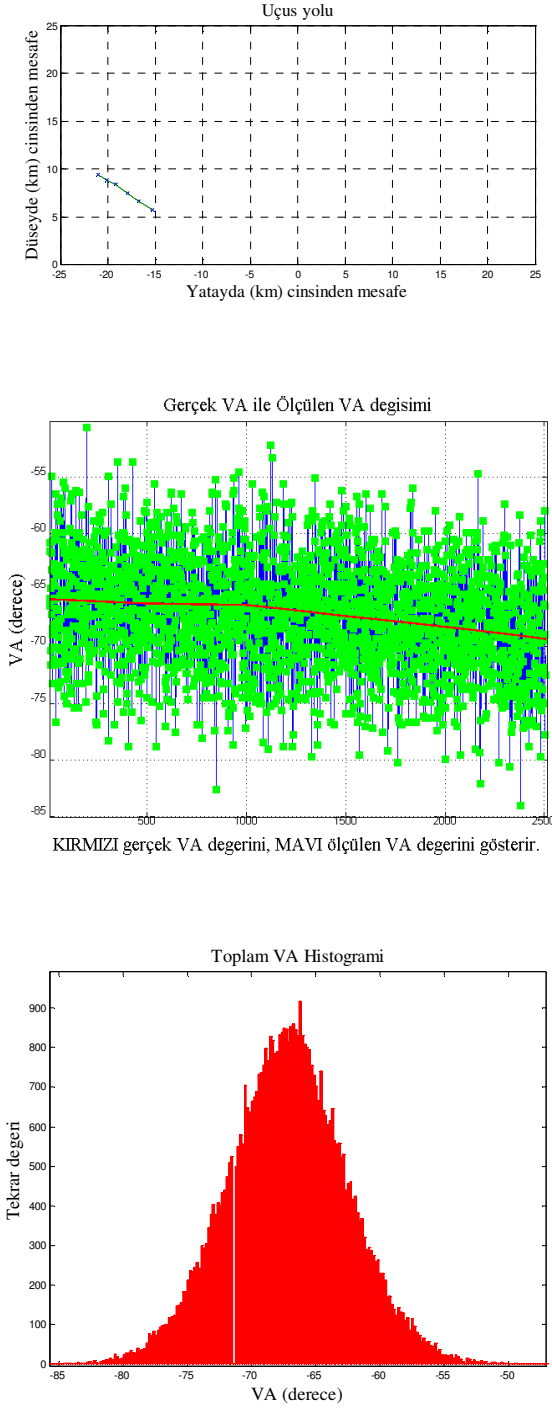


Şekil 5.18 a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri  $-80^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Simülasyonda şekil 5.18(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağın  $80^\circ$  sol düzleminde olduğu durum için analizler yapılmıştır. RIA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.18(b)' de görülmektedir.

Gerçek şartlarda RIA sistemlerinde anten kazancının düştüğü bölgelerde VA açısının hesaplanmasında hatalar artmaktadır. Ortaya konan yöntem ile amaçlanan özellikle gerçek RIA sistemlerinde YB hassasiyetinin kötüleştiği bu bölgelerde performansın iyileştiğini gösterebilmektir. Bu amaçla öncelikle şaşı açısı değerini değiştirilerek hesaplanan VA değeri için 21 adet farklı histogram elde edilir. Bu histogramlar GKM'yi elde edebilmek için (5.1) denkleminde olduğu gibi aynı ağırlık değeri ile çarpılarak birbirleri ile toplanır. Sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.18(c)' de görülmektedir. GKM tarafından yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Sonuçta elde edilen değer  $-78.66^\circ$  olduğu ve bu tezde önerilen yöntem ile  $-80^\circ$  olan gerçek VA değerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.

**Gerçek VA değeri  $-68^\circ$  iken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması**



KIRMIZI gerçek VA değerini, MAVI ölçülen VA değerini gösterir.

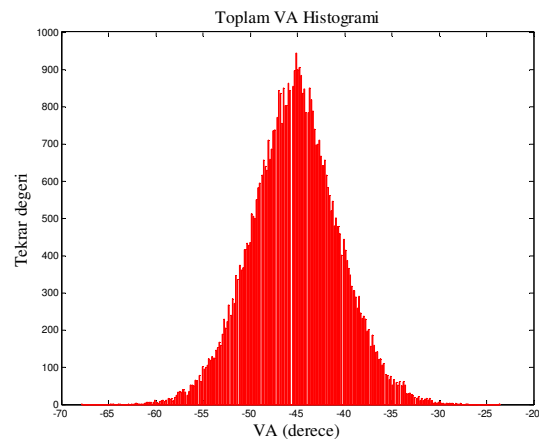
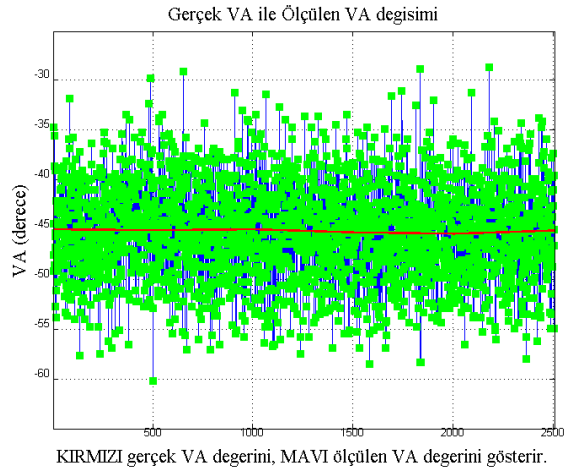
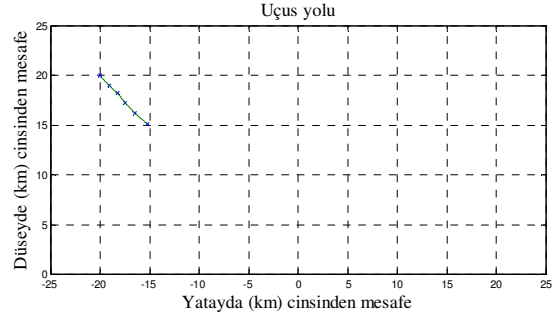
Şekil 5.19 a. Şaşı aç değeri değişken, VA değeri  $-68^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

İkinci simülasyonda şekil 5.19(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağın  $68^\circ$  sol düzleminde olduğu durum için analizler yapılmıştır. RİA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.19.(b)' de görülmektedir.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.19(c)' de gösterilmektedir. GKM tarafından yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Bu değer  $-66.24^\circ$  olduğu ve bu tezde önerilen yöntem ile  $-68^\circ$  olan gerçek VA değerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.



Gerçek VA değeri  $-45^\circ$  iken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması

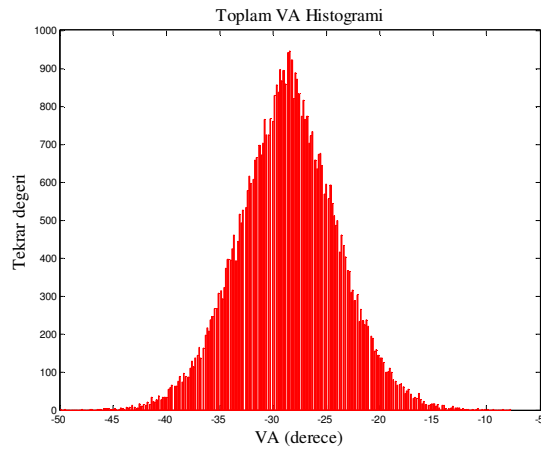
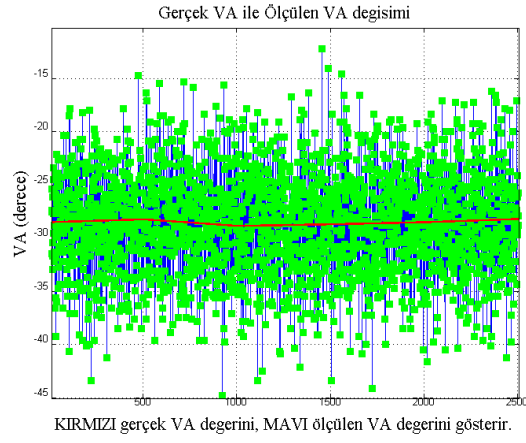
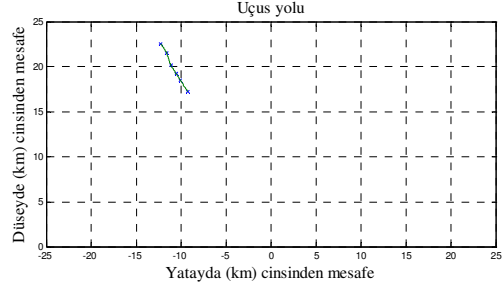


Şekil 5.20 a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri  $-45^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Üçüncü simülasyonda şekil 5.20.(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağın  $45^\circ$  sol düzleminde olduğu durum için analizler yapılmıştır. RIA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.20 (b)' de görülmektedir.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.20 (c)' de gösterilmektedir. GKM tarafından yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Bu değer  $-45.18^\circ$  olduğu ve bu tezde önerilen yöntem ile  $-45^\circ$  olan gerçek VA değerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.

**Gerçek VA değeri  $-30^\circ$  iken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması**

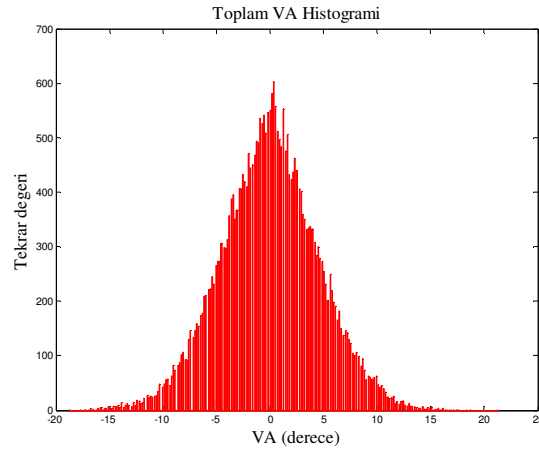
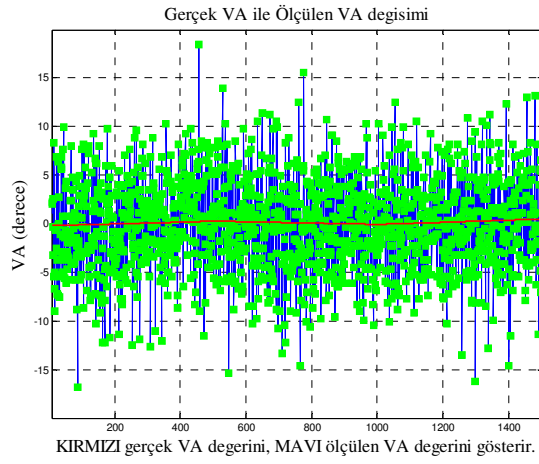
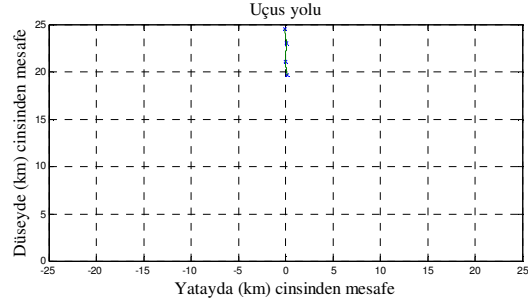


Şekil 5.21 a. Şaşı açısı değeri değişken, VA değeri  $-30^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Dördüncü simülasyonda şekil 5.21 (a)' da görüldüğü gibi radarın uçağın  $30^\circ$  sol düzleminde olduğu durum için analizler yapılmıştır. RIA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.21 (b)' de görülmektedir.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.21 (c)' de gösterilmektedir. GKM tarafından yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Bu değer  $-28.44^\circ$  olduğu ve bu tezde önerilen yöntem ile  $-30^\circ$  olan gerçek VA değerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.

Gerçek VA değeri  $0^\circ$  iken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması

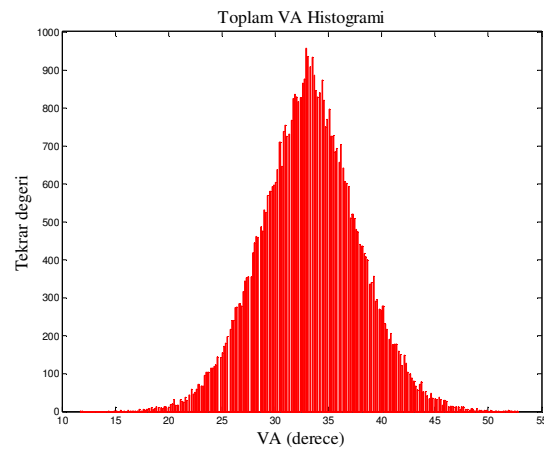
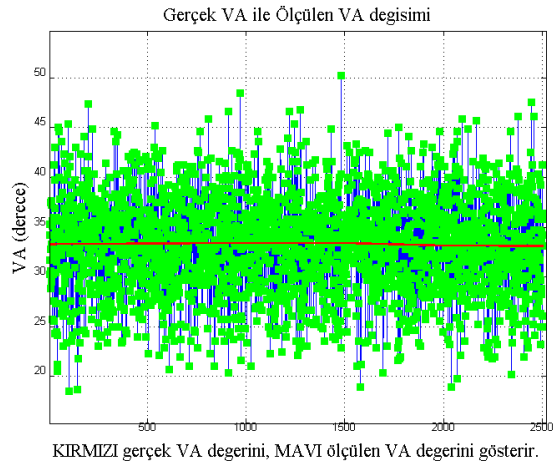
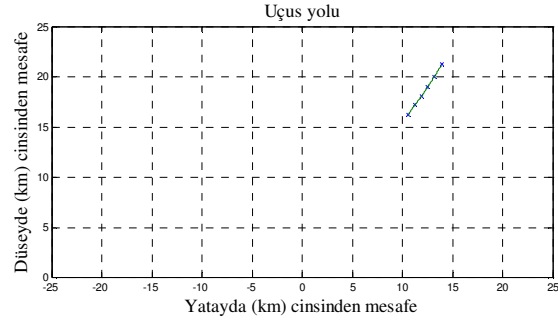


Şekil 5.22 a. Şaşı aç değeri değışken, VA değeri  $0^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Beşinci simülasyonda şekil 5.22(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa 0°' den yaklaştığı durum için analizler yapılmıştır. RIA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.22(b)' de görülmektedir.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.22(c)' de gösterilmektedir. GKM tarafından yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Bu değer  $0.36^\circ$  olduğu ve bu tezde önerilen yöntem ile 0° olan gerçek VA değerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.

Gerçek VA değeri  $30^\circ$  iken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması



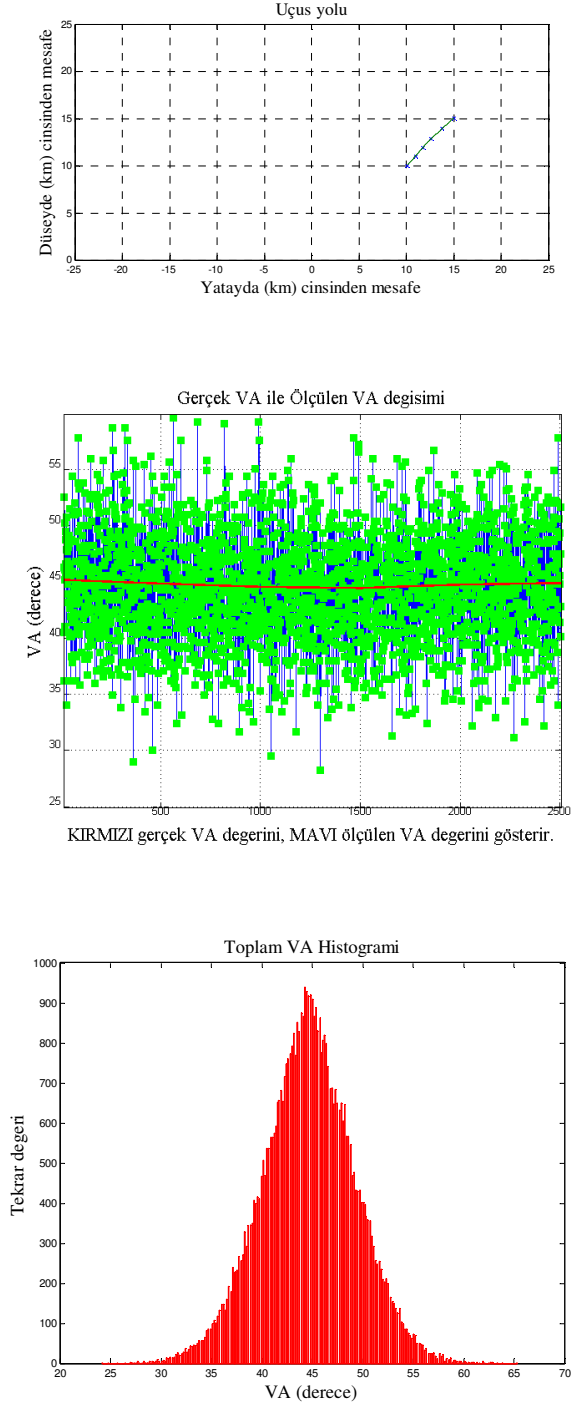
Şekil 5.23 a. Şaşı aç değeri değışken, VA değeri  $30^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Altıncı simülasyonda şekil 5.23(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa 30°' den yaklaştığı durum için analizler yapılmıştır. RIA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.23(b)' de görülmektedir.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.23(c)' de gösterilmektedir. GKM tarafından yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Bu değer 32.94° olduğu ve bu tezde önerilen yöntem ile 30° olan gerçek VA değerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.



Gerçek VA değeri  $45^\circ$  iken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması

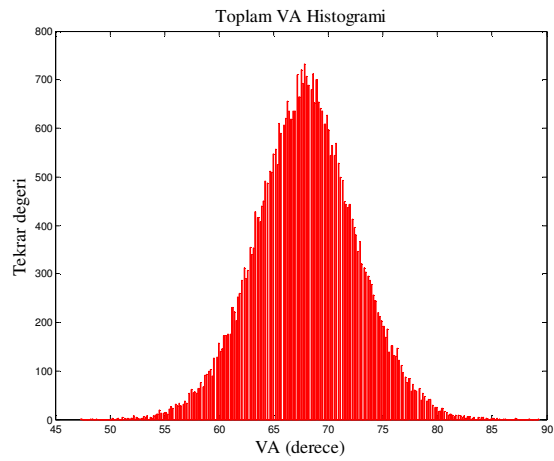
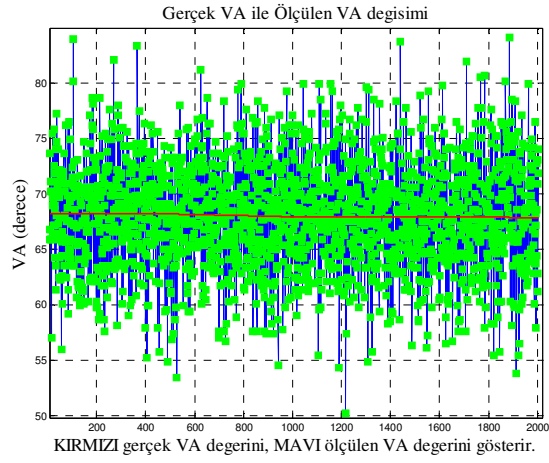
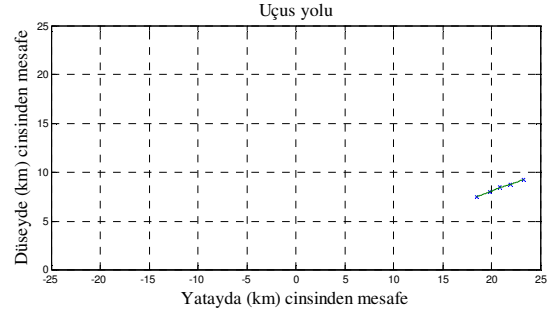


Şekil 5.24 a. Şaşı aç değeri değışken, VA değeri  $45^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Yedinci simülasyonda şekil 5.24(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa 45°' den yaklaştığı durum için analizler yapılmıştır. RIA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.24(b)' de görülmektedir.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.24(c)' de gösterilmektedir. GKM tarafından yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Bu değer 44.27° olduğu ve bu tezde önerilen yöntem ile 45° olan gerçek VA değerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.

Gerçek VA değeri  $67^\circ$  iken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması

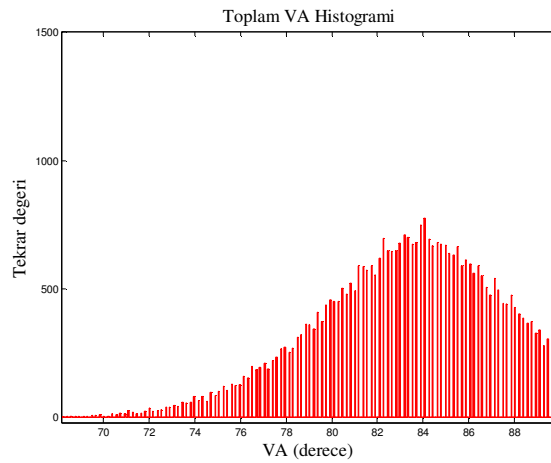
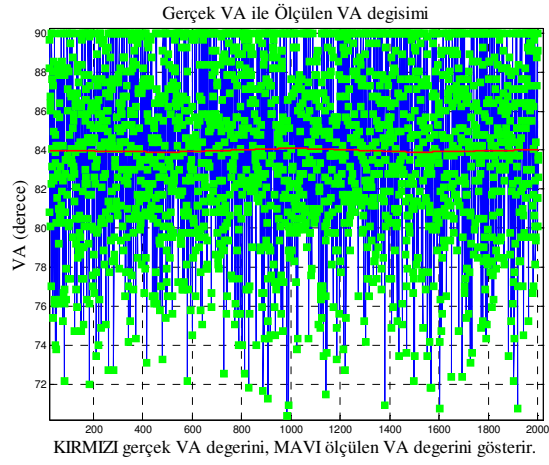
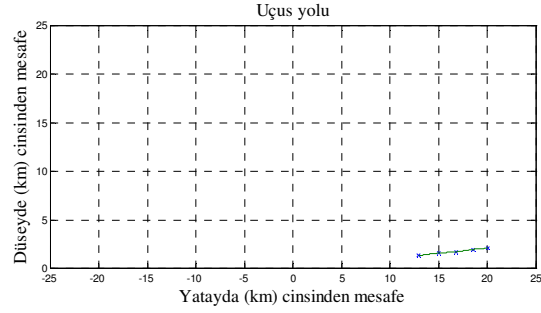


Şekil 5.25 a. Şaşı aç değeri değişken VA değeri  $67^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Sekizinci simülasyonda şekil 5.25(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa göre  $67^\circ$  sağ yarı düzlemde olduğu durum için analizler yapılmıştır. RIA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.25(b)' de görülmektedir.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.25(c)' de gösterilmektedir. GKM tarafından yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Bu değer  $67.86^\circ$  olduğu ve bu tezde önerilen yöntem ile  $67^\circ$  olan gerçek VA değerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.

Gerçek VA değeri  $87^\circ$  iken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması

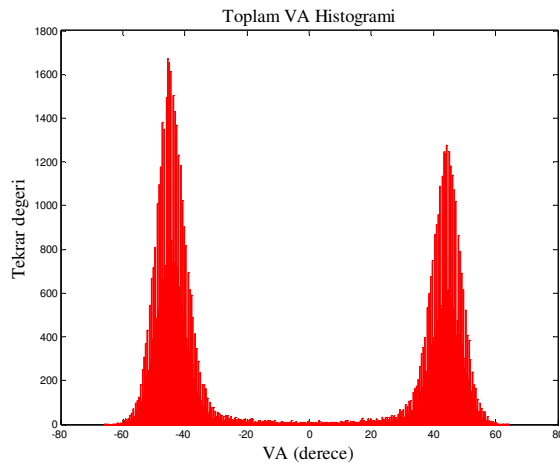
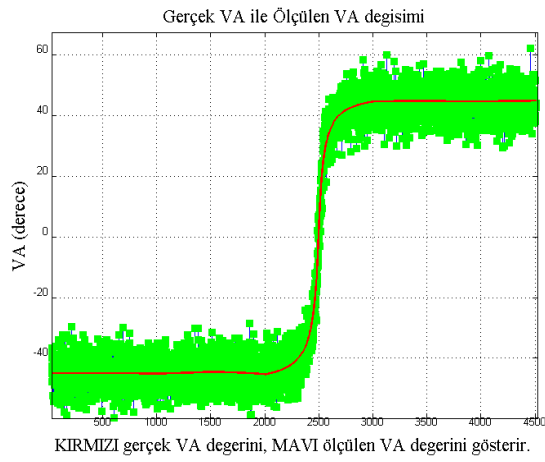
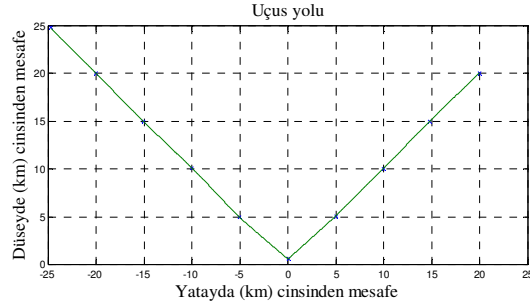


Şekil 5.26 a. Şaşı aç değeri  $45^\circ$  iken, VA değeri  $87^\circ$ , b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Dokuzuncu simülasyonda şekil 5.26(a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa göre 87° sağ düzlemde olduğu durum için analizler yapılmıştır. RIA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.26(b)' de görülmektedir.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.26(c)' de gösterilmektedir. GKM tarafından yakınsanan olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Bu değer 85.99° olduğu ve bu tezde önerilen yöntem ile 87° olan gerçek VA değerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.

**Gerçek VA değeri değişirken, şaşı açının değiştirilmesiyle elde edilen GKM' nin EBOOK yöntemi kullanılarak en büyük değerinin bulunması**



Şekil 5.27 a. Şaşı açısı değeri ve VA değeri değişirken, b. Gerçek VA ve ölçülen VA durumu, c. Ölçülen VA histogramı

Sonuncu simülasyonda şekil 5.27 (a)' da görüldüğü gibi radarın uçağa göre sol 45°'den başladığı hareketini sağ 45°'de bitirdiği durum için analizler yapılmıştır. Normalde tezde bahsedilen yöntem VA değerinin değişmediği kısa aralıklarla uygulanması gereken bir yöntem olmasına rağmen burada radarın uçağa göre VA değeri değişmediğinden uygulandığında başarıya ulaştığı görülmektedir. Bu simülasyonda RIA sisteminin genlik karşılaştırması sırasında gerçek değer etrafında  $\pm 15^\circ$  lere varan hatalı ölçümler yaptığı şekil 5.27 (b)' de görülmektedir.

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra sonuçta ortaya çıkan GKM şekil 5.27(c)' de gösterilmektedir. GKM tarafından yakınsanan iki ayrı olasılık yoğunluk fonksiyonunun EBOK yöntemi ile değeri bulunur. Bu değerlerin  $-45^\circ$  ve  $45^\circ$  olduğu ve gerçek VA değerlerine oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.



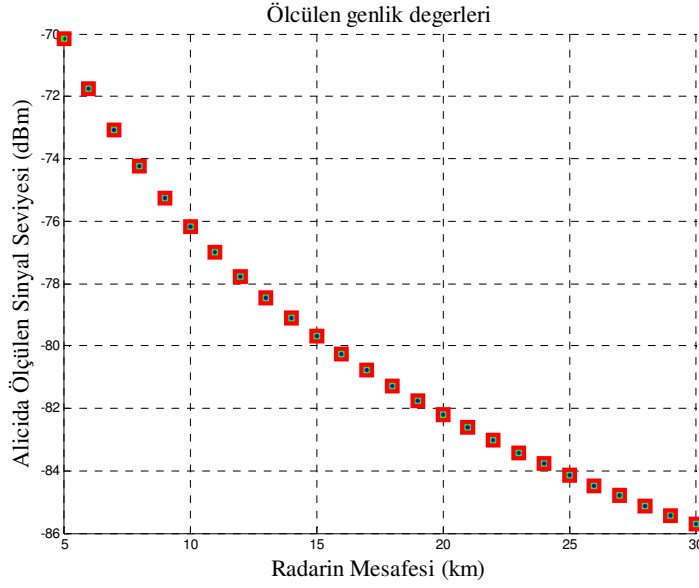
## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

### 6.1 KFD Yöntemi ve Analiz Sonuçları

RİA sistemlerinde karşılaşılan “VA değerinin mevcut fiziksel yapı ile istenen hassasiyette ölçülememesi” problemine çözüm olarak başlangıçta FFT kullanılması ve *ölçülen genlik değerlerinin Bölüm 3.1.’de anlatılan şekilde FFT’ leri alınarak, buradan faz değerlerinin elde edilmesi* yönteminin denenmesine karar verilmiştir.

Bu işlem gerçekleştirilirken radar sinyalinin geldiği varsayılan her nokta için iki farklı antenden alınan genlik değerlerinin ayrı ayrı FFT işlemine tabi tutulması ve bulunan faz değerlerinin farkından bir “Hızlı Arama Tablosu” yardımıyla (faz değerleri için hazırlanmış) sinyalin geliş yönünün hesaplanması amaçlanmıştır.

Öncelikle antenlerde ölçülen genlik değerlerinin amaca uygun şekilde kullanılıp kullanılmayacağıın belirlenmesi için gerçek şartlarda sinyal seviyesinin durumuna bakılmıştır. Bu amaçla hazırlanan senaryoda 5 GHz frekansında yayın yapan ve çıkış gücü 50 dBm olan bir radarın, aralarındaki mesafe 20 m ve algılama kazançları her yönden 0 dB (anten ve geliş yönü faktörünü ortadan kaldırmak için kazançları isotropik anten gibi her yönden aynı olarak kabul edilmiştir.) olan RİA sisteminin iki anteni tarafından 5-30 km mesafe aralığında ölçülen genlik değerleri çizdirilmiştir. (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 Antenler arasındaki mesafenin 20 m olduğu durum için 45°’den gelen sinyalin alıcıda ölçülen genlik değerleri

$$R_x = P_t - 32.2 - 20 \cdot \log_{10}(F) - 20 \cdot \log_{10}(D) + G_r \quad (6.1)$$

$R_x$  (dB) Alıcının hassasiyeti

$P_t$  (dB) Vericinin çıkış gücü

32.2 Spreading Loss

$F$  (Mhz) Radar yayınının frekansı

$D$  (km) Radarın uçağa mesafesi

$G_r$  (dB) Alıcının anten kazancı

olmak üzere yapılan çizimde (Şekil 6.1) yeşil kutucuklar sol antende, kırmızı kutucuklar ise sağ antende yapılan ölçümde bulunan genlik değerleridir. Açık olarak görülmektedir ki 5-30 km aralığı boyunca yapılan tüm ölçümlerde her iki alıcıda genlik değerlerinin biribiri ile aynı olduğu görülmüştür. Ancak uçağa belli bir açı ile gelen sinyal bir antene diğerinden (3.1) eşitliğinde ifade edilen oranda, “1” kadar daha fazla yol (“*antenler\_ arası\_mesafe x sin(45°)*”) olarak ulaşmaktadır. Bu durumda sinyal antenlerin bulunduğu uçak platformuna sağ 45°’ den geldiği ve antenler arası mesafe 20 m olduğu için sol antene ulaşmak için 14 m daha fazla yol alacak ve biraz daha zayıflayacaktır. 14 m,

km' ler yanında küçük kalacağından bu mesafedeki zayıflama hissedilemeyecek kadar küçüktür.

Mevcut RİA sistemlerinin genlik ölçme hassasiyeti yaklaşık 1 dB civarında olduğundan burada bahsedilen antenler arası mesafeden kaynaklanan farkı ölçmeleri mümkün değildir. *Dolayısıyla alıcıda ölçülen genlik değerlerinin FFT' leri alınarak, buradan faz değerlerinin elde edilmesi ve bir "Hızlı Arama Tablosu" (faz karşılaştırması yapmak amacıyla hazırlanmış) kullanarak elde edilen faz değerlerinden sinyalin VA değerinin bulunması yönteminin, RİA sistemlerinde mevcut durumda var olan fiziksel kısıtlamalar dolayısıyla uygulanması mümkün görülmemektedir.*

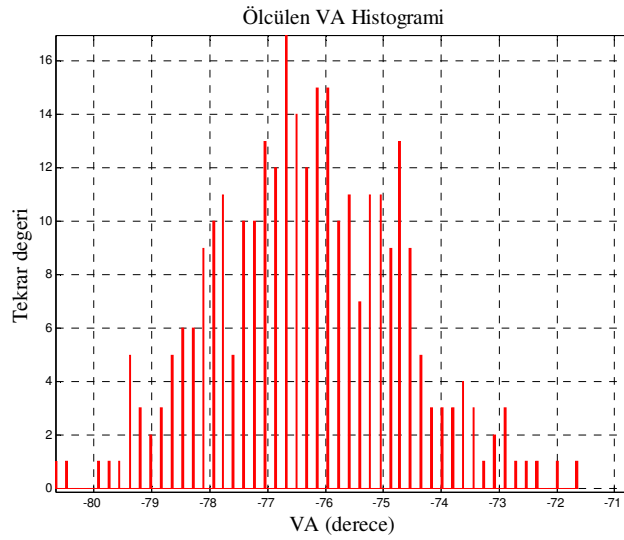
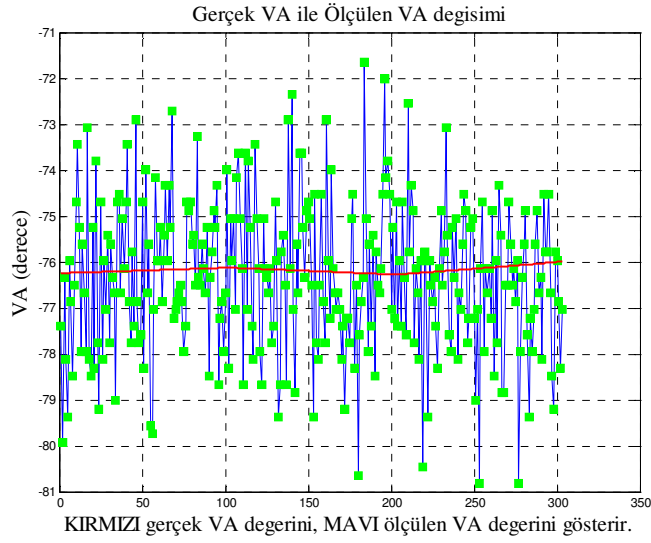
Bu durumda her iki antene de ulaşan sinyal değerleri aynı olduğundan sinyalin yönünü hesaplamak için geliş yönüne bağlı olarak değişen anten kazançlarının, dolayısıyla antene ulaşan radar sinyalinin genlik değerine anten kazancının eklenmesi sonucu oluşan genlik farklarının karşılaştırılması için hazırlanmış olan "Hızlı Arama Tablosu" nun sağladığı hassasiyete dönülmüş oldu.

## **6.2 Histogramı Çizdirilen VA Ölçüm Değerlerinin EBOK Yöntemi Kullanılarak En Büyük Değerinin Bulunması ve Yapılan Analizlerin Sonuçları**

Bu noktada ikinci bir metot olarak RİA antenlerinden elde edilen ölçüm sonuçlarının histogramı çizdirilerek VA değerinin dağılımına bakılmıştır. Histogramlarda örnek aralığı küçüldükçe olasılık yoğunluk fonksiyonuna yaklaşılabileceğinden, elde edilen histogramın OYF' ye yakınsayacağı değerlendirilerek EBOK yöntemi ile OYF'nin en büyük değerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler elde edilen EBOK değerinin gerçek değere hesaplanan VA değerlerinden daha yakın olduğunu ve kullanılan yöntemin daha iyi bir sonuç verdiğini göstermiştir.

SPSS programı ile gerçek VA değeri  $-76^{\circ}$  ve  $26^{\circ}$  (GKM'siz) olduğu durumlar için yapılan analizlerde hesaplama ile bulunan sonuçların belli bir karar aralığında bulunduğu görülmektedir (Çizelge 6.1 ve çizelge 6.2).

## Gerçek VA değeri -76°, GKM'siz



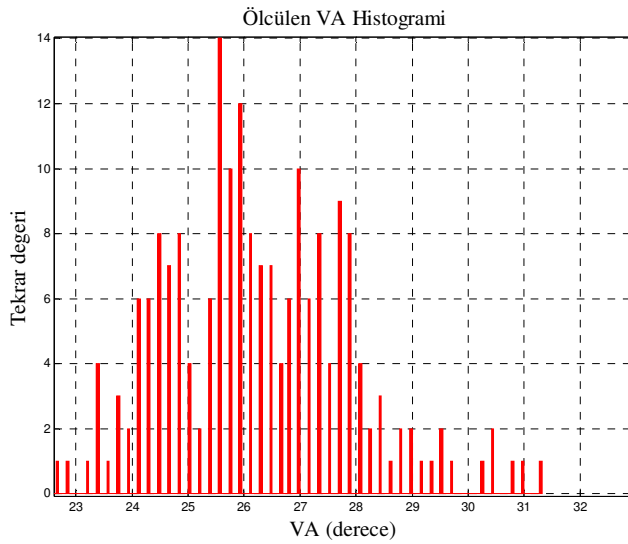
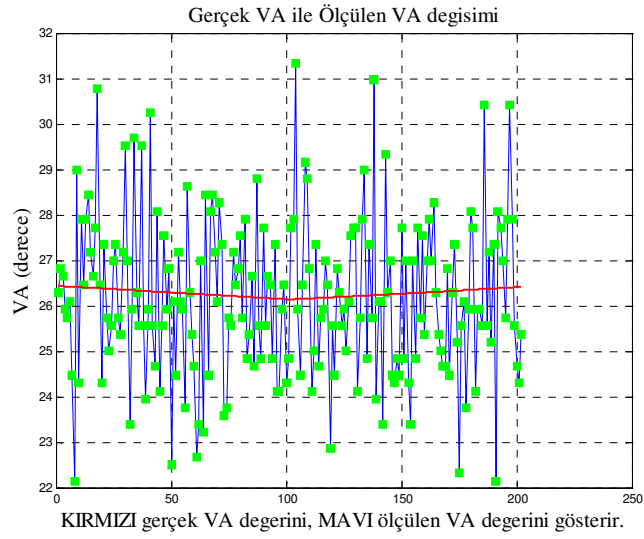
Şekil 6.2 a. VA değeri -76°, b. Histogram

(*max\_likelihood\_of\_x = -77.40*)

Çizelge 6.1 SPSS programı karşılaştırma tablosu

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Stand. Sapma
Gerçek_VA	302	-76,2722	-75,9921	-76,170613	6,2800E-02
Ölçüm_VA	303	-80,8200	-71,6400	-76,339010	1,6431
Hesap_VA	1	-76,6000	-76,6000	-76,6000	0,0

## Gerçek VA değeri 26°, GKM' siz



Şekil 6.3 a. VA değeri 26°, b. Histogram

( $max\_likelihood\_of\_x = 26.28$ )

Çizelge 6.2 SPSS programı karşılaştırma tablosu

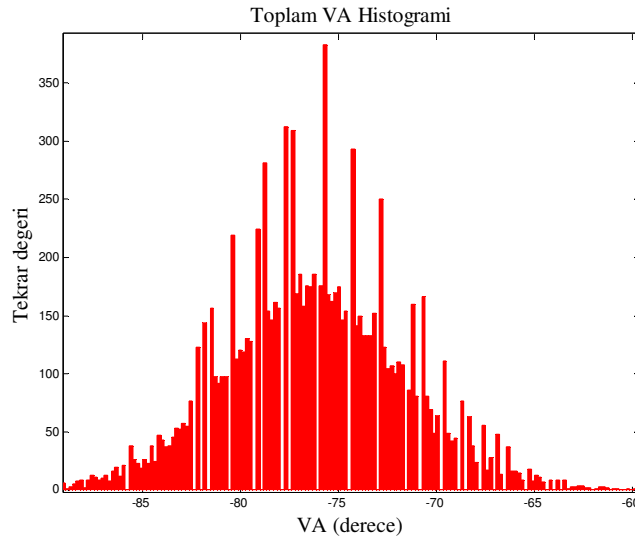
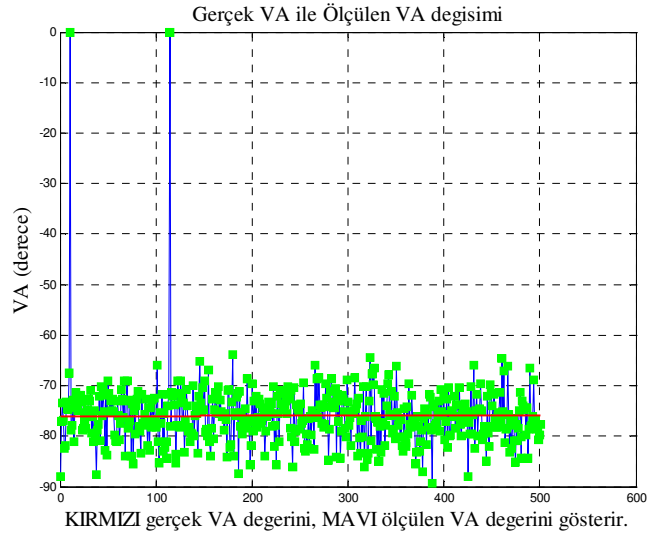
	N	En küçük	En büyük	Ortalama	Stand. Sapma
Gerek_VA	202	26,1443	26,4332	26,2837	8,2051E-02
lüm_VA	202	22,1400	31,3200	26,1926	1,7398
Hesap_VA	1	25,5800	25,5800	25,5800	0,0

### **6.3 Şaşı Açı Değeri Değiştirilerek Elde Edilen Histogramların GKM Yöntemi İle Ağırlıklandırılması Yoluyla Elde Edilen Toplam Histogramın EBOK Yöntemi Kullanılarak En Büyük Değerinin Bulunması ve Yapılan Analizlerin Sonuçları**

Bu noktada üçüncü bir metot olarak; *RIA antenlerinin fiziksel özelliklerini değiştirmeden, antenleri buldukları yuva içinde saat yönünde ve saat yönünün tersi yönünde döndürerek antenler arasındaki şaşı açısı değerinin değiştirilmesi ve VA' nın buna göre analiz edilmesinin sistemin YB performansını nasıl etkileyeceğinin değerlendirilmesine karar verilmiştir.* Bu amaçla 45° olan şaşı açısı değeri 75°' ye kadar değiştirilmiş ve her 1.5°' lik adımda genlik karşılaştırılması mantığına dayanan VA ölçümü yapılarak bulunan değerler bir tabloya kaydedilmiştir. Kaydedilen değerlerden yararlanarak şaşı açısının her 1.5°' lik adımı için farklı bir histogram oluşturulmuştur. Bir sonraki adımda GKM yöntemi kullanılarak histogramlar ağırlıklandırılmış ve toplam histogram elde edilmiştir. Toplam histogramın yakınsadığı OYF'nin EBOK değeri araştırılmış ve bulunan değer gerçek değere hesaplanan VA değerlerinden daha yakın olduğu ve önerilen yöntemin daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür.

SPSS programı ile gerçek VA değeri -75° ve 27° (GKM'li) olduğu durumlar için yapılan analizlerde hesaplama ile bulunan sonuçların belli bir karar aralığında bulunduğu görülmektedir (Çizelge 6.3 ve çizelge 6.4).

## Gerçek VA değeri -75°, GKM' li



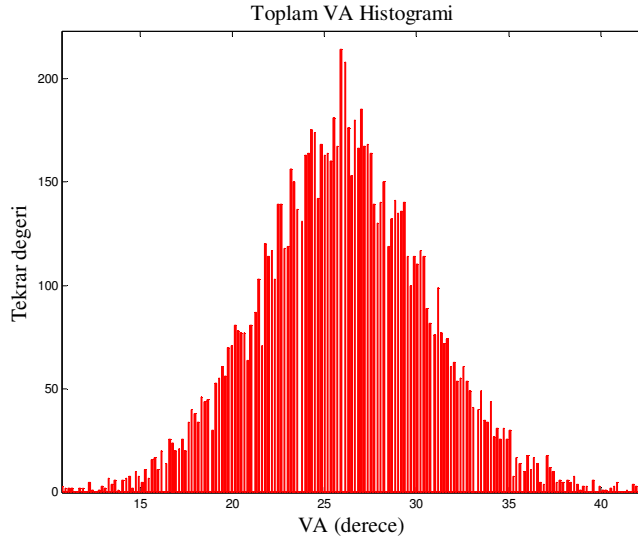
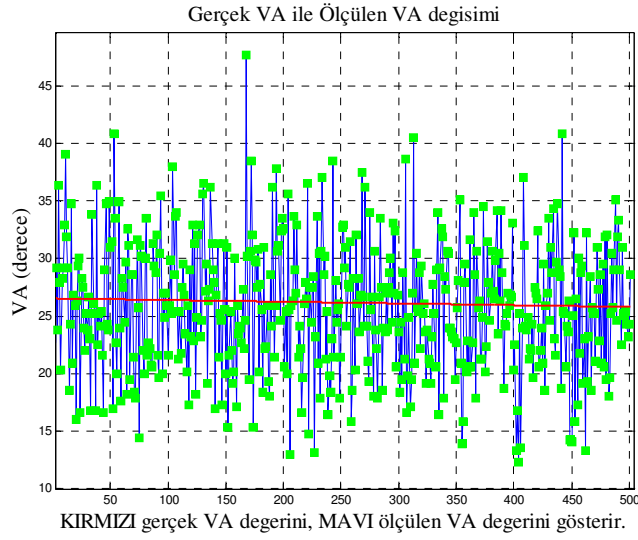
Şekil 6.4 a. VA değeri -75°, b. Histogram

( $max\_likelihood\_of\_x = -75.77$ )

Çizelge 6.3 SPSS programı karşılaştırma tablosu

	N	En küçük	En büyük	Ortalama	Stand. Sapma
Gerçek_VA	501	-76,0703	-75,8974	-75,9849	5,0066E-02
Ölçüm_VA	2232	-88,9200	-64,0800	-76,0945	3,6767
Hesap_VA	1	-75,7755	-75,7755	-75,7755	0,0

## Gerçek VA değeri 27°, GKM'li



Şekil 6.5 a. VA değeri 27°, b. Histogram

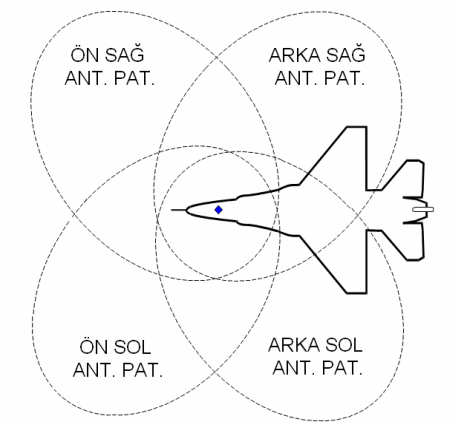
( $max\_likelihood\_of\_x = 25.92$ )

Çizelge 6.4 SPSS programı karşılaştırma tablosu

	N	En küçük	En büyük	Ortalama	Stand. Sapma
Gerçek_VA	501	25,7904	26,5425	26,1711	0,21776
Ölçüm_VA	10521	14,32	47,72	25,9976	4,5795
Hesap_VA	1	25,9211	25,9211	25,9211	0,0



## 6.4 Gelecekte Yapılacak Çalışmalar



Şekil 6.6 RİA alıcı antenleri

- Önerilen yöntemde şaşı açısı değeri değiştirilerek VA değerinin bulunması sırasında elde edilen histogramların GKM yöntemi ile ağırlıklandırılması sırasında her bir histogramın eşit ağırlığa sahip olduğu kabul edilmiştir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda ağırlıkların belirlenmesi amacıyla optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.
- RİA sistemleri; aynı düzlemde, aralarında  $90^\circ$  açı olacak şekilde monte edilmiş ve  $360^\circ$  kapsama alanı oluşturan 4 adet alıcı anten ihtiva etmektedir. Burada yapılan çalışmada şekil 6.6'da görülen ön sağ ve ön sol antenler simüle edilmiş ve analizler bu antenlere göre yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda ön sol ve ön sağ antenlerden elde edilen genlik değerlerinin analizi için kullanılan EBOK değeri ön sol ile arka sağ ve ön sağ ile arka sol antenleri içinde değerlendirilecek olursa daha sağlıklı değerlere ulaşılacağı değerlendirilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Adamy, D.L. 2001. EW 101: A First Course in Electronic Warfare. Artech House.
- Anonim. 2000. Temel Radar Prensipleri, Hv.K.K.lığı Basımevi, s.12-33, Ankara.
- Anonymous. 1998. Next Generation EW Suite. NATO , 83-88.
- A.T., Koç, Şen,E. and Tanık,Y. 2000. Direction Finding with a Circularly Rotated Antenna. Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP '00. Proceedings. IEEE International Conference on Volume 5, 3077-3080.
- Brinegar, C. 2000. Passive Direction Finding: Combining Amplitude and Phase Based Methods. National Aerospace and Electronics Conference,78 – 84.
- Epps, J. and Ambikairajah, E. 2004. Visualisation of Reduced-Dimension Microarray Data Using Gaussian Mixture Models.  
<http://crpit.com/confpapers/CRPITV45Epps.pdf>. Erişim Tarihi: 02.05.2006.
- Goryn, D. and Kaveh, M. 1988. Neural Networks for Narrowband and Wideband Direction Finding. Acoustics, Speech, and Signal Processing International Conference. 2164-2167 vol.4
- Gregoire, D.G. and Singletary, G.B. 1989. Advanced ESM AOA and Location Techniques. Aerospace and Electronics Conference, 917-924 vol.2
- Heron, M. Review Notes On Hf Ocean Surface Radar.  
<http://web.maths.unsw.edu.au/~jffm/HFRADAR/review.pdf>. Erişim Tarihi: 02.05.2006.
- Myung, I.J. 2001. Maximum Likelihood Estimation.  
<http://quantrm2.psy.ohio-state.edu/injae/mle-pub.pdf>. Erişim Tarihi: 02.05.2006.
- Neri, F. 1991. Introduction to Electronic Defence Systems, Artech House. 23-27.
- Papoulis, A. and Pillai, S.U. 2002. Probability. Mc Graw Hill.
- Roy, R., Paulraj, A., and Kailath,T. 1986. Direction-of-Arrival Estimation by Subspace Rotation Methods – ESPRIT. Acoustics, Speech, and Signal Processing International Conference on ICASSP '86. Volume 11, 2495 - 2498
- Schleher, D.C. 1999. Electronic Warfare in the Information Age. Artech House. 120-125.

- Skolnik, M.I. 1981. Introduction to Radar Systems. McGraw-Hill. 56-59.
- Smith, S.W. 1997. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Publishing.
- Tan, C.M., Fletcher, P., Beach, M. A., Nix, A.R., Landmann, M., and Thomä, R.S. 2002. On the Application of Circular Arrays in Direction Finding, Part I: Investigation into the Estimation Algorithms. 1st Annual COST 273 Workshop. <http://faro.lx.it.pt/cost273/workshop1/3-22.pdf>. Erişim Tarihi: 02.05.2006.
- Tan, C.M., Beach, M.A., and Nix, A.R., 2002. Problems with direction finding using linear array with element spacing more than half wavelength. 1st Annual COST 273 Workshop.
- Sadler, B.M., Kozick, R.J., and Moore, T. 1999. Performance Analysis for Direction Finding in Non-Gaussian Noise. Acoustics, Speech, and Signal Processing ICASSP '99. Proceedings., IEEE International Conference on Volume 5, 2857 - 2860 vol.5
- Vu, T.B. and Rathinam, M. 1988. Direction Finding with Null Steering at Baseband Using Digital Signal Processors: A Computer Simulation. Antennas and Propagation Society International Symposium, 254-257 vol.1

## EK 1 Frekans Bandları

<b>Band Adı</b>	<b>Frekans Aralığı</b>	<b>Dalgaboyu Aralığı</b>
<b>HF</b>	3-30 MHz	10-100 m
<b>P</b>	< 300 MHz	1 m+
<b>VHF</b>	50-330 MHz	0.9-6 m
<b>UHF</b>	300-1000 MHz	0.3-1 m
<b>L</b>	1-2 GHz	15-30 cm
<b>S</b>	2-4 GHz	7.5-15 cm
<b>C</b>	4-8 GHz	3.75-7.5 cm
<b>X</b>	8-12 GHz	2.5-3.75 cm
<b>Ku</b>	12-18 GHz	1.67-2.5 cm
<b>K</b>	18-27 GHz	1.11-1.67 cm
<b>Ka</b>	27-40 GHz	0.75-1.11 cm
<b>mm</b>	40-300 GHz	1 - 7.5mm
<b>V</b>	40-75 GHz	4.0 - 7.5 mm
<b>W</b>	75-110 GHz	2.7 - 4.0 mm

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Polat Serkan ERİSEV

**Doğum Yeri** : ESKİŞEHİR

**Doğum Tarihi** : 25.03.1972

**Medeni Hali** : Evli

**Yabancı Dili** : İngilizce

### **Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)**

Lise : Eskişehir Cumhuriyet Lisesi (1990)

Lisans : Eskişehir Anadolu Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (1995)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi  
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (2006)

### **Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl**

Hava Kuvvetleri Komutanlığı (1996 – Halen)