

**TEKDARBE RADARLARA YÖNELİK KARŞI TEDBİRLERİN  
MODELLENMESİ VE SİMULASYONU**

**MODELLING AND SIMULATION OF MONOPULSE RADAR  
COUNTERMEASURES**

**ANIL ÖZTÜRK**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2011

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. A. Salim KAYHAN

Üye : Prof.Dr. Feza ARIKAN

Üye (Danışman) : Yrd.Doç.Dr. Yakup ÖZKAZANÇ

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mücahit K. ÜNER

Üye : Yrd.Doç.Dr. Murat EFE

ONAY

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ...../...../2011 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunca ...../...../2011 tarihinde kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Adil DENİZLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# TEKDARBE RADARLARA YÖNELİK KARŞI TEDBİRLERİN MODELLENMESİ VE SİMULASYONU

**Anıl ÖZTÜRK**

**ÖZ**

Tekdarbe (monopulse) tekniği, izleme radarlarında kullanılan bir anten tekniğidir ve özellikle konik taramalı radarların karıştırmaya karşı zafiyetlerinden dolayı bir elektronik koruma yaklaşımı olarak geliştirilmiştir. Modern izleme radarlarının hemen hemen tümünde tekdarbe anten yapısından ve izleme tekniğinden yararlanılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, tekdarbe radar sistemlerinin çalışma prensipleri incelenmiş, bu yapılar içinde kullanılan radar teknikleri araştırılmış ve benzetim çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra çeşitli karıştırma teknikleri, oluşturulan tekdarbe radar modellerine uygulanarak elde edilen başarımlar gözden geçirilmiştir.

Uygulanan karıştırma teknikleri sonucunda, hem faz hem de genlik tabanlı açı ayırıştırıcı yapısına sahip radar modellerinin başarımları gözlemlenmiş ve modellerde yer alan çeşitli birimlerin benzetime etkisi yönünden sonuçlar değerlendirilmiştir.

Benzetim çalışmaları sonucu elde edilen sonuçlar incelenerek her bir radar modeli için uygulanabilen ve uygulanamayan karıştırma yöntemleri belirlenmiş, karıştırma yöntemlerinin uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tekdarbe Radarları, Karıştırma, Elektronik Karşı Tedbir, Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Şaşı Karıştırması

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

# MODELLING AND SIMULATION OF MONOPULSE RADAR COUNTERMEASURES

**Anıl ÖZTÜRK**

## **ABSTRACT**

Monopulse is an angular tracking technique used in radars. Monopulse radar have been developed for electronic support because of conical scanning radar antennas' weakness on jamming techniques. Almost in all modern tracking radar, monopulse antenna structures and tracking techniques are used.

In this thesis study, monopulse radar systems' operation principle is examined, popular radar techniques are investigated and simulated for monopulse radar system. Then, various jamming techniques are reviewed by applying these jamming techniques to the generated radar models.

As a result of jamming techniques applied to the radar structure that have the amplitude and the phase angle discriminator, radar performance results are observed and impact of the various model blocks are evaluated for the model simulation results.

All performance results obtained from the each model that applied or not applied jamming techniques, are examined and determined, also issues must be considered are emphasized during the implementation of jamming techniques.

**Keywords:** Monopulse Radar, Jamming, Electronic Counter Measurement, Cross Polarization Jamming, Cross Eye Jamming

**Supervisor:** Asst. Prof. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering

## TEŞEKKÜR

Ders dnemi ve tez alışmam sresince bilgi ve tecrbelerinden faydalandığım, yardım ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ' a teŐekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında bana yardımcı ve destek olan çalışma arkadaşlarım Serkan KARAKÜTÜK' e ve N. Serhat GÜNEŐ' e teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince gösterdikleri anlayış ve desteklerden dolayı MİKES A.Ő.' ye ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle daima yanımda olan bütün aileme teŐekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZ .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	v
SÖZLÜKÇE.....	xii
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. TEK DARBE RADARLARI.....	3
2.1. Tekdarbe Kavramları.....	3
2.2. Tekdarbe Radarlarda Kullanılan Açık Ayırıştırıcılar .....	7
2.2.1. Genlik Tabanlı Açık Ayırıştırıcılar.....	7
2.2.2. Faz Tabanlı Açık Ayırıştırıcılar .....	9
2.2.3. Toplam ve Fark Tabanlı Açık Ayırıştırıcılar .....	10
3. TEK DARBELİ RADAR SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ.....	11
3.1. Radar Tasarımına Yardımcı Alt Sistem Modelleri .....	11
3.1.1. Filtre Modelleri .....	11
3.1.2. Anten Örüntülerinin Modellenmesi .....	13
3.1.3. Faz Kenetleme Döngüsü (PLL).....	17
3.1.4. Otomatik Kazanç Kontrol Devresi (AGC) .....	20
3.1.5. Radar Servo Motorunun Modellenmesi.....	21
3.2. Tekdarbe Radar Benzetim Modelleri.....	21
3.2.1. Genlik Karşılaştırmalı TDR Benzetim Modelleri .....	21

3.2.1.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli .....	22
3.2.1.1.1. G-G (Log) TDR, Modelin Oluşturulması.....	22
3.2.1.1.2. G-G (Log) TDR, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması .....	26
3.2.1.2. Genlik - Genlik (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) Karşılaştırmalı TDR Modeli.....	30
3.2.1.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Modelin Oluşturulması .....	30
3.2.1.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması .....	33
3.2.2. Faz Karşılaştırmalı TDR Benzetim Modelleri .....	35
3.2.2.1. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR Modeli .....	35
3.2.2.1.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR, Modelin Oluşturulması.....	35
3.2.2.1.2. F-F (Sınırlandırıcı) TDR, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması .....	37
3.2.2.2. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR Modeli .....	39
3.2.2.2.1. F-F (AGC' li) TDR, Modelin Oluşturulması.....	39
3.2.2.2.2. F-F (AGC' li) TDR, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması .	40
4. TEK DARBELİ RADAR KARIŞTIRMA TEKNİKLERİ.....	43
4.1 Formasyon Karıştması.....	44
4.1.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Formasyon Karıştması.....	45
4.1.1.1. G-G (Log) TDR Formasyon Karıştması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	46
4.1.1.2. G-G (Log) TDR Formasyon Karıştması, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması.....	47
4.1.2. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Formasyon Karıştması.....	49

4.1.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Formasyon Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	49
4.1.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Formasyon Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	50
4.1.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Formasyon Karıştırması.....	51
4.1.3.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Formasyon Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	51
4.1.3.2. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Formasyon Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	52
4.1.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Formasyon Karıştırması .....	53
4.1.4.1. F-F (AGC' li) TDR Formasyon Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	53
4.1.4.2. F-F (AGC' li) TDR Formasyon Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması.....	54
4.2. Araziden Yansıtılmal Karıştırma.....	55
4.2.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Araziden Yansıtılmal Karıştırma .....	56
4.2.1.1. G-G (Log) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	56
4.2.1.2. G-G (Log) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması.....	57
4.2.2. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Araziden Yansıtılmal Karıştırma .....	59
4.2.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	59
4.2.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	60



4.2.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Araziden Yansıtılmalı Karıştırma .....	60
4.2.3.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Araziden Yansıtılmalı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması.....	61
4.2.3.2. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Araziden Yansıtılmalı Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	61
4.2.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Araziden Yansıtılmalı Karıştırma .....	62
4.2.4.1. F-F (AGC' li) TDR Araziden Yansıtılmalı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	62
4.2.4.2. F-F (AGC' li) TDR Araziden Yansıtılmalı Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	62
4.3. Kırışma Karıştırması .....	63
4.3.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Kırışma Karıştırması.....	64
4.3.1.1. G-G (Log) TDR Kırışma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	64
4.3.1.2. G-G (Log) TDR Kırışma Karıştırması, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması.....	65
4.3.2. Genlik - Genlik (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) Karşılaştırmalı TDR, Kırışma Karıştırması .....	68
4.3.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Kırışma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması.....	68
4.3.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Kırışma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	68
4.3.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Kırışma Karıştırması...	69
4.3.3.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Kırışma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	69

4.3.3.2. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Kırpışma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	69
4.3.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Kırpışma Karıştırması.....	70
4.3.4.1. F-F (AGC' li) TDR Kırpışma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	70
4.3.4.2. F-F (AGC' li) TDR Kırpışma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması.....	71
4.4. Çapraz Kutuplanma Karıştırması .....	72
4.4.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması .....	74
4.4.1.1. G-G (Log) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	75
4.4.1.2. G-G (Log) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	76
4.4.2. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması .....	77
4.4.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	77
4.4.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması.....	78
4.4.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması.....	79
4.4.3.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması.....	79
4.4.3.2. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	80
4.4.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması.....	81

4.4.4.1. F-F (AGC' li) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	82
4.4.4.2. F-F (AGC' li) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	82
4.5. Şaşı Karıştırma .....	83
4.5.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Şaşı Karıştırma ..	87
4.5.1.1. G-G (Log) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	88
4.5.1.2. G-G (Log) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Çeşitli Senaryolarda Koşturulması .....	90
4.5.2. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Şaşı Karıştırma .....	94
4.5.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması.....	94
4.5.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Şaşı Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması .....	96
4.5.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Şaşı Karıştırma.....	96
4.5.3.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	97
4.5.3.2. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Şaşı Karıştırma, Modelin Çeşitli Senaryolarda Koşturulması .....	99
4.5.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Şaşı Karıştırma.....	100
4.5.4.1. F-F (AGC' li) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması .....	100
4.5.4.2. F-F (AGC' li) TDR Şaşı Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması.....	101
5. SONUÇ .....	103
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	108

ÖZGEÇMİŞ .....	110
----------------	-----

## SÖZLÜKÇE

Algılayıcı	: Detector
Anakulak	: Mainlobe
Anten Merkez Hattı	: Boresight Direction
Araziden Yansıtımlı Karıştırma	: Terrain - Bounce Jamming
Başarım	: Performance
Benzetim	: Simulation
Çapraz Kutuplanma	: Cross-Polarization
Çapraz Kutuplanma Karıştırma	: Cross Polarization Jamming
Çevresel Yansıma	: Clutter
Dinamik Erim	: Dynamic Range
Doğal Frekans	: Natural Frequency
Durum Uzayı	: State Space
Düzeltilmiş	: Normalized
Eş Kutuplanma	: Co-Polarization
Evrişim	: Convolution
Faz Kenetleme Döngüsü	: Phase Lock Loop (PLL)
Formasyon Karıştırması	: Formation Jamming
Hüzme	: Beam
Hüzme Açıklığı	: Beam Width
İzge	: Spectrum

Kırpışma Karıştırması	: Blinking Jamming
Kipleme	: Modulation
Oransal GÜdüm	: Proportional Navigation Guidance
Örüntü	: Pattern
Özyineli	: Recursive
Salınıcı	: Oscillator
Salınım	: Oscillation
Sınırlandırıcı	: Limiter
Sonlu Dürtü Yanıtı	: Finite Impulse Response (FIR)
Sonsuz Dürtü Yanıtı	: Infinite Impulse Response (IIR)
Sönümlleme Oranı	: Damping Ratio
Şaşılık Açısı	: Squint Angle
Yanca	: Azimuth
Yankulak	: Sidelobe
Yükseliş	: Elevation

## KISALTMALAR DİZİNİ

- AF : Ara Frekans
- AGC : Otomatik Kazanç Kontrolü
- EKT : Elektronik Karşı Tedbir
- ET : Elektronik Tedbir
- FIR : Finite Impulse Response
- IIR : Infinite Impulse Response
- LPF : Alçak Geçiren Filtre
- PLL : Faz Kenetleme Döngüsü
- TDR : Tekdarbe Radarı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 2.1</b> TDR, Temel Yapı .....	4
<b>Şekil 2.2</b> Genlik Karşılaştırmalı TDR Anten Örüntü Pozisyonları .....	4
<b>Şekil 2.3</b> Faz Karşılaştırmalı TDR Anten Örüntü Pozisyonları .....	5
<b>Şekil 2.4</b> Faz Karşılaştırmalı Yöntem .....	6
<b>Şekil 2.5</b> Genlik ve Faz Birleşimli Karşılaştırma Radar Anten Örüntü Pozisyonları ....	7
<b>Şekil 2.6</b> Genlik Tabanlı Açık Ayrıştırıcı (Log Yükselteçli) .....	8
<b>Şekil 2.7</b> Genlik Tabanlı Açık Ayrıştırıcı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) .....	8
<b>Şekil 2.8</b> Faz Tabanlı Açık Ayrıştırıcı (Sınırlandırıcı) .....	9
<b>Şekil 2.9</b> Faz Tabanlı Açık Ayrıştırıcı (AGC' li) .....	9
<b>Şekil 3.1</b> Düzgelenmiş Elektrik Alanı ve Yayılan Güç .....	14
<b>Şekil 3.2</b> Çeşitli Alfa Değerleri İçin Hüzme Genişlikleri .....	15
<b>Şekil 3.3</b> Anten Örüntüleri Hüzme Genişliği ve Örüntüler Arası Şaşılık Açısı .....	16
<b>Şekil 3.4</b> Optimum "Şaşılık Açısı / Hüzme Genişliği" Oranı Grafiği .....	16
<b>Şekil 3.5</b> PLL Genel Blok Şeması .....	18
<b>Şekil 3.6</b> Kaynak Faz Farkında Sinyal Üretilmesi .....	18
<b>Şekil 3.7</b> Çalışma Anında Fazı Değiştiren Sistem.....	20
<b>Şekil 3.8</b> Otomatik Kazanç Kontrol Devresi .....	21
<b>Şekil 3.9</b> Servo Motor Kontrol Modeli.....	21
<b>Şekil 3.10</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli .....	22
<b>Şekil 3.11</b> G-G (Log) TDR, Açısız İzleme Yanıtı .....	23
<b>Şekil 3.12</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli Kazancı.....	23
<b>Şekil 3.13</b> Basitleştirilmiş Genlik Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli.....	24
<b>Şekil 3.14</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Benzetim Modeli..	26
<b>Şekil 3.15</b> G-G (Log) TDR, Senaryo 1 Çıktıları .....	27



<b>Şekil 3.16</b> G-G (Log) TDR, Senaryo 2 Çıktıları .....	27
<b>Şekil 3.17</b> G-G (Log) TDR, Senaryo 3 Çıktıları (Tehdit Açısal Konum Değişirme Süresi: 5 sn) .....	28
<b>Şekil 3.18</b> G-G (Log) TDR, Senaryo 3 Çıktıları (Tehdit Açısal Konum Değişirme Süresi: 1 sn) .....	29
<b>Şekil 3.19</b> G-G (Log) TDR, Senaryo 3 Çıktıları (Tehdit Açısal Konum Değişirme Süresi: 0.40 sn) .....	29
<b>Şekil 3.20</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Modeli.....	30
<b>Şekil 3.21</b> G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Açısal İzleme Yanıtı .....	32
<b>Şekil 3.22</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Modeli Kazancı.....	32
<b>Şekil 3.23</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Benzetim Modeli.....	33
<b>Şekil 3.24</b> G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Senaryo 1 Çıktıları .....	34
<b>Şekil 3.25</b> G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Senaryo 2 Çıktıları .....	34
<b>Şekil 3.26</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR Modeli.....	35
<b>Şekil 3.27</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Benzetim Modeli .....	37
<b>Şekil 3.28</b> F-F (Sınırlandırıcı) TDR, Senaryo 1 Çıktıları .....	38
<b>Şekil 3.29</b> F-F (Sınırlandırıcı) TDR, Senaryo 2 Çıktıları .....	38
<b>Şekil 3.30</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR Modeli.....	39
<b>Şekil 3.31</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Benzetim Modeli.....	40
<b>Şekil 3.32</b> F-F (AGC' li) TDR, Senaryo 1 Çıktıları .....	41
<b>Şekil 3.33</b> F-F (AGC' li) TDR, Senaryo 2 Çıktıları .....	41
<b>Şekil 4.1</b> Formasyon Karıştırması Tekniği .....	45
<b>Şekil 4.2</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Formasyon Karıştırması Benzetim Modeli.....	46

<b>Şekil 4.3</b> G-G (Log) TDR Formasyon Karıştırması Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	47
<b>Şekil 4.4</b> G-G (Log) TDR Formasyon Karıştırması, Senaryo 2 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	48
<b>Şekil 4.5</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Formasyon Karıştırması Benzetim Modeli.....	50
<b>Şekil 4.6</b> G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Formasyon Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği .....	51
<b>Şekil 4.7</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Formasyon Karıştırması Benzetim Modeli.....	52
<b>Şekil 4.8</b> F-F (Sınırlandırıcı) TDR Formasyon Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	53
<b>Şekil 4.9</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Formasyon Karıştırması Benzetim Modeli.....	54
<b>Şekil 4.10</b> F-F (AGC' li) TDR Formasyon Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	55
<b>Şekil 4.11</b> Araziden Yansıtılmal Karıştırma Tekniği .....	56
<b>Şekil 4.12</b> G-G (Log) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	57
<b>Şekil 4.13</b> G-G (Log) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Senaryo 2 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	58
<b>Şekil 4.14</b> G-G (Log) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Senaryo 3 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	59
<b>Şekil 4.15</b> G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği ...	60
<b>Şekil 4.16</b> F-F (Sınırlandırıcı) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	61
<b>Şekil 4.17</b> F-F (AGC' li) TDR Araziden Yansıtılmal Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	63

<b>Şekil 4.18</b> Kırpışma Karıştırması Tekniği .....	64
<b>Şekil 4.19</b> G-G (Log) TDR Kırpışma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	65
<b>Şekil 4.20</b> G-G (Log Yükselteçli) TDR Kırpışma Karıştırması, Senaryo 2-a Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	66
<b>Şekil 4.21</b> G-G (Log Yükselteçli) TDR Kırpışma Karıştırma, Senaryo 2-b Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	67
<b>Şekil 4.22</b> G-G (Log Yükselteçli) TDR Kırpışma Karıştırması, Senaryo 2-c Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	67
<b>Şekil 4.23</b> G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Kırpışma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği .....	69
<b>Şekil 4.24</b> F-F (Sınırlandırıcı) TDR Kırpışma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	70
<b>Şekil 4.25</b> F-F (AGC' li) TDR Kırpışma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	71
<b>Şekil 4.26</b> Çapraz Kutuplanma Karıştırması Tekniği.....	72
<b>Şekil 4.27</b> Çapraz Kutuplanma İçin Kullanılan Anten Örüntü Modeli ( $A_{CROSS} = 1$ ) ....	74
<b>Şekil 4.28</b> Eş ve Çapraz Kutuplanma İçin Kullanılan Anten Örüntü Modeli ( $A_{CO} = 1$ ve $A_{CROSS} = 1$ ) .....	74
<b>Şekil 4.29</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması Benzetim Modeli .....	75
<b>Şekil 4.30</b> G-G (Log) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği.....	76
<b>Şekil 4.31</b> Radar Eş ve Çapraz Örüntü Genlik Maksimum Noktaları Arası Açısız Farkı .....	77
<b>Şekil 4.32</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması Benzetim Modeli .....	78
<b>Şekil 4.33</b> G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği	79

<b>Şekil 4.34</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Çapraz Kutuplanma Karışırması Benzetim Modeli.....	80
<b>Şekil 4.35</b> F-F (Sınırlandırıcı) TDR Çapraz Kutuplanma Karışırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısıl Konum Değişim Grafiği.....	81
<b>Şekil 4.36</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Çapraz Kutuplanma Karışırması Benzetim Modeli.....	82
<b>Şekil 4.37</b> F-F (AGC' li) TDR Çapraz Kutuplanma Karışırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısıl Konum Değişim Grafiği.....	83
<b>Şekil 4.38</b> Şaşı Karışırma Yapısı .....	84
<b>Şekil 4.39</b> Oransıl Gúdüm Yaklaşımı .....	85
<b>Şekil 4.40</b> Şaşı Karışırma Tekniği Sonucu Oluşan Sahte Tehdit .....	87
<b>Şekil 4.41</b> G-G (Log) TDR Şaşı Karışırma, Senaryo (Oransıl Gúdüm) Çıktısı .....	88
<b>Şekil 4.42</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Şaşı Karışırma Benzetim Modeli.....	89
<b>Şekil 4.43</b> G-G (Log Yükselteçli) TDR Şaşı Karışırma, Senaryo 1 Çıktıları .....	91
<b>Şekil 4.44</b> Karışırma Antenleri, Füze ve Gemi Merkezi Arasında Kalan Açılar .....	92
<b>Şekil 4.45</b> Karışırma Açıları Değişim Grafiği.....	93
<b>Şekil 4.46</b> G-G (Log) TDR Şaşı Karışırma Senaryo 2 Çıktısı, Füze Hareket Profili .....	93
<b>Şekil 4.47</b> Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Şaşı Karışırma Benzetim Modeli .....	95
<b>Şekil 4.48</b> G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Şaşı Karışırma, Senaryo 1 Çıktısı, Füze Hareket Profili.....	96
<b>Şekil 4.49</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Şaşı Karışırma Benzetim Modeli.....	98
<b>Şekil 4.50</b> F-F (Sınırlandırıcı) TDR Şaşı Karışırma, Senaryo 1 Çıktısı, Füze Hareket Profili.....	99
<b>Şekil 4.51</b> F-F (Sınırlandırıcı) TDR Şaşı Karışırma, Senaryo 2 Çıktısı, Füze Hareket Profili.....	100

<b>Şekil 4.52</b> Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Şaşı Karıştırma Benzetim Modeli.....	101
<b>Şekil 4.53</b> F-F (AGC' li) TDR Şaşı Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Füze Hareket Profili .....	102

## **ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b>Çizelge 2.1</b> TDR Modelleri .....	10
<b>Çizelge 5.1</b> Formasyon Karıştırması Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi .....	104
<b>Çizelge 5.2</b> Araziden Yansıtımlı Karıştırma Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi .....	104
<b>Çizelge 5.3</b> Kırpışma Karıştırması Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi.....	105
<b>Çizelge 5.4</b> Çapraz Kutuplanma Karıştırması Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi....	106
<b>Çizelge 5.5</b> Şaşı Karıştırma Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi.....	106

## 1. GİRİŞ

Radar, durağan ya da hareketli bir nesnenin elektromanyetik dalgalardan faydalanılarak menzil, yükseklik, yön ya da hız bilgilerini elde etmek için kullanılan bir sistemdir. Radar çanağı ya da anteni, radyo dalgalarını, o an bulunduğu konum doğrultusunda ortama yaymakta ve bu doğrultu üzerinde bulunan tehdit, gönderilen bu radyo dalgalarının küçük bir kısmını yansıtarak radarın alıcı antenine geri göndermektedir. Radar sistemleri tehditten geri dönen radyo dalgalarını işleyerek nesneyle ilgili çeşitli bilgiler elde ederler.

Bilinen ilk pratik radar sistemi 2. Dünya Savaşı sırasında İngiltere ve diğer uluslar tarafından geliştirildi. "RADAR" sözcüğü A.B.D tarafından 1940 yılında "Radyo ile Algılama ve Menzil Tayini" kelimelerinin İngilizcesinin (RADIO Detection And Ranging) baş harfleri alınarak türetilmiştir.

Modern dünyada Radar, hava trafik kontrolünde, radar astronomisinde, hava savunma sistemlerinde, denizcilikte yer belirleme ve diğer gemilerin algılanmasında, okyanus gözetleme sistemlerinde, meteorolojik tahmin sistemlerinde, güdümlü füze sistemlerinde ve benzeri alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır [Skolnik, 1990].

Radar teknolojilerinde sıklıkla kullanılan yapılardan bir tanesi de tehdidi hassas olarak takip etmeye imkân tanıyan izleme (tracking) radarlarıdır. Tipik bir izleme radarı bir kalem hüzmeye (pencil beam) ile nesneden dönen eko sinyalini alarak izlediği tehdidin açısız konumunu, hızını ve menzilini tayin etmektedir. İzleme radarlarının çözünürlük hücresi – anten hüzmeye açıklığı olarak da ifade edilebilir – arama radarlarına göre oldukça küçüktür. Takip radarları, hüzmeye açıklığı küçük olan hüzmelerini nesnenin üzerine tutup takibe başlayabilmek için arama radarları ya da belirleme (acquisition) radarlarından, nesnenin konumu ile ilgili bilgi alırlar.

İzleme radarının ilgilendiği birincil unsur tehdidin açısız konum bilgisidir. Açısız konum bilgisi, birden fazla anten ile (çoklu kanal) elde edilen bir bilgidir. İzleme radarlarından günümüzde en popüler olanı Tekdarbe Radar (TDR) sistemleridir [Skolnik, 1990].

Tekdarbe tekniği, izleme radarlarında kullanılan bir anten tekniğidir ve özellikle konik taramalı radar antenlerinin karıştırmaya karşı zafiyetlerinden dolayı bir elektronik koruma yaklaşımı olarak geliştirilmiştir. Modern izleme radarlarının pek çoğunda tekdarbe anten yapısından yararlanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, çeşitli TDR modelleri için uygulanabilen karıştırma teknikleri ile ilgili kapsamlı bir analiz yapılmıştır. Karıştırma tekniklerini uygulamak için öncelikle, referans alınacak TDR sistemleri yazılım kodu ile modellenmiştir. Daha sonra uygulanacak karıştırma teknikleri belirlenip, her bir karıştırma tekniğinin tüm radar modelleri için ne gibi sonuçlar verdiği benzetimlerde incelenmiş ve analiz edilmiştir.

Bu tez raporu 5 bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm giriş bölümüdür ve tez çalışması ile ilgili genel bir bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, tez çalışmaları sırasında kullanılan TDR modelleri ilgili teorik çalışmalara yer verilmiştir. Bu bölümde temel TDR kavramından bahsedilmiş, TDR için kullanılan farklı tip açı algılayıcılar ve açı ayırıştırıcılar incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, TDR modellerin benzetimlerle modellenmesi kısmıdır. Bu kısımda belirlenen dört TDR sistemi için modellemelerinin nasıl yapıldığından ve modeller için kullanılan alt sistem birimlerinden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde, uygulanan karıştırma teknikleri modellemesinden ve yapılan analizlerden bahsedilmiştir. Oluşturulmuş radar modellerine uygulanacak karıştırma teknikleri belirlendikten sonra tekniklerin her biri yine her bir TDR modeli için uygulanmıştır. Karıştırma tekniklerinin uygulanmasında dikkat edilecek hususlar bu bölümde belirtilmiştir.

Raporun son bölümü ise tez çalışmasının sonuçlarının incelenmesine ayrılmıştır.



## 2. TEK DARBE RADARLARI

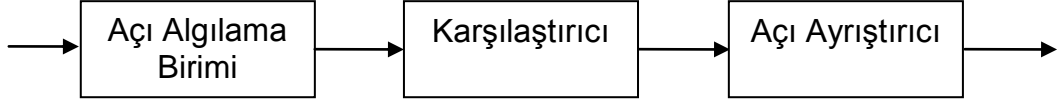
### 2.1. Tekdarbe Kavramları

Tehdit açığı kestirimi yani tehdidin açısal konumunu bulma işlemi TDR' ların temel görevlerinden bir tanesidir. Geçmişte, sinyal kaynağının açısal konumunu belirlemek için konik tarama veya ardışık atlamalı (sequential) tarama sıklıkla kullanılıyordu. Bu tekniklerde açığı algılama işlemi zaman içinde art arda oluşturulmuş hüzmeye örüntülerinin (beam pattern) birbirleri ile karşılaştırılmasıyla elde edilmektedir. Açısal bilgi ise hüzmelere ulaşan sinyallerin, sinyal genlik kiplemesi (modulation) ya da sinyal frekans kiplemesi parametrelerinden elde edilmektedir. Elde edilen kipleme parametrelerinden faydalanarak, hata sinyali olarak tanımlanan bilgi elde edilir ve bu bilgi de tehdidin açısal konumunun bulunmasında kullanılır.

Tek darbe yaklaşımını radar sistemine bütünleştirebilmek için öncelikli olarak (konik ve atlamalı modellerin aksine) eşzamanlı hüzmeye örüntülerinin oluşturulması gerekmektedir ve bu da çoklu-kanal (multi-channel) alıcı yapısı ile sağlanabilir. Tehdit tarafından geri yansıtılan sinyal (eko sinyali) eşzamanlı olarak anten grupları tarafından alınmakta (yanca için iki anten, yükseliş için iki anten) ve gerekli karşılaştırma işlemlerinden sonra anlamlı mesajlara dönüştürülmektedir.

TDR' ların işlevini yerine getirebilmesi için radar sistemi içerisinde yer alan temel birimler şu şekilde sıralanabilir:

- Açığı algılama birimi (alıcı anten), tehditten yansıyan sinyali toplar.
- Karşılaştırıcı ya da çevirici devre, alınan sinyalleri kullanarak, genlik ve faz (ve birleşimleri) cinsinden ham mesajlar üretir.
- Açığı ayırıcı ise alınan ham mesajları değişik yöntemler kullanarak anlamlı mesajlara dönüştürür.

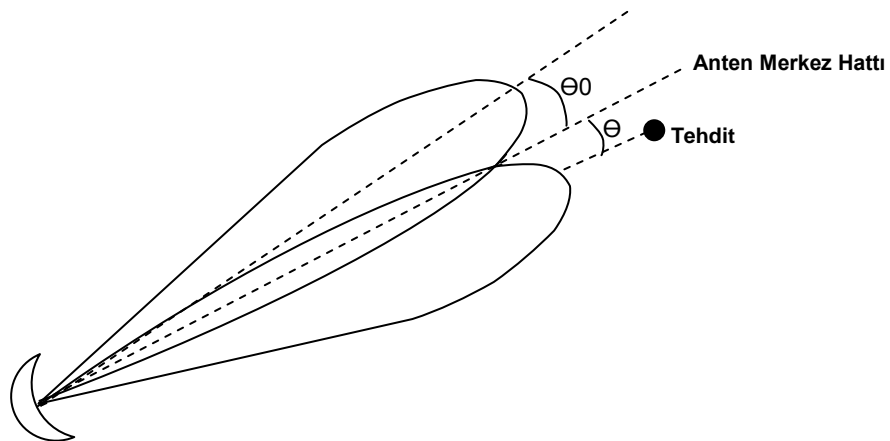


**Şekil 2.1** TDR, Temel Yapı

Açı algılama birimi, radar sistemi ile dış dünyayı birbirine bağlayan anten birimidir. Üç tip açı algılama modeli mevcuttur. Bunlar:

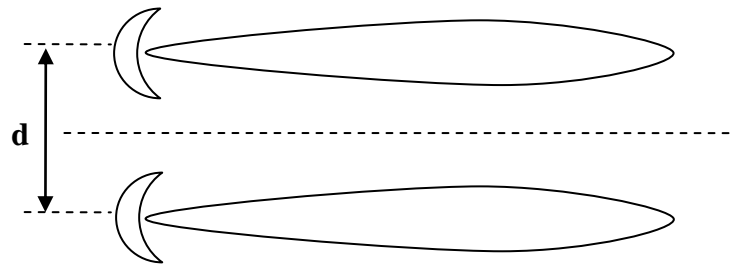
- Genlik İle Açı Algılama
- Faz İle Açı Algılama
- Genlik ve Faz İle Açı Algılama

Genlik ile açı algılama TDR modelinde, birbirleri üzerinde kesişim bölgeleri bulunan (overlap eden) hüzmeler, anten merkez hattından (boresight direction)  $\pm\theta_0$  açısal uzaklıkta konumlanmaktadır. Tehdit, bu merkez hattından  $\theta$  kadarlık bir sapma ile konumlandığında hüzmelerden bir tanesinde ağırlıklı sinyal seviyesi artarak, bu hüzmelerin bulunduğu antene daha büyük bir genlik ile eko sinyali düşecektir. Anten hüzmeleri arasındaki bu genlik farkı tehdidin açısal konumunun bulunması için gerekli bilgiyi sağlar. Şekil 2.2' de genlik karşılaştırmalı sistemlerde kullanılan anten örüntülerinin pozisyonları gösterilmektedir.



**Şekil 2.2** Genlik Karşılaştırmalı TDR Anten Örüntü Pozisyonları

Faz ile açı algılama TDR modelinde, tehdidin açısal konumu, antenlere ulaşan sinyallerin faz bilgilerinin karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Anten uzak alanında, hüzme örüntülerinin birbirleri ile uyumlu olduğu kabul edilir ve bunun sonucu olarak da tehditten yansıyan sinyal, antenlere eş genlikte ancak farklı fazlarda ulaşmaktadır. Şekil 2.3’ de faz karşılaştırmalı sistemlerde kullanılan anten örüntülerinin pozisyonları gösterilmektedir. Burada  $d$  uzaklığı iki antenin faz merkezleri arasındaki uzaklıktır.



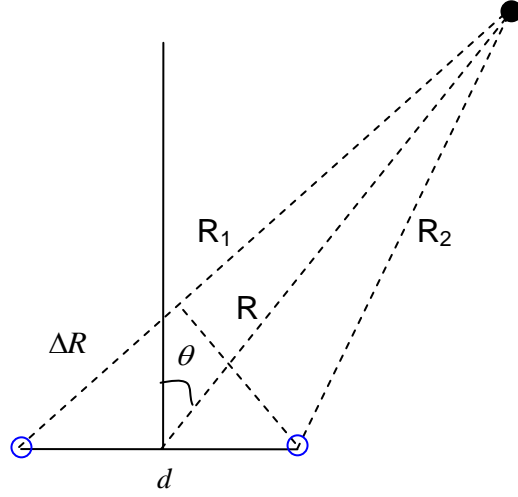
**Şekil 2.3** Faz Karşılaştırmalı TDR Anten Örüntü Pozisyonları

Antenlerin arasında bulunan alanın orta noktasından tehdide doğru yönlendirilmiş hayali bir asal eksen (equisignal direction) oluşturulduğunda, tehditten anten-1’ e ve anten-2’ ye olan uzaklıkları şu şekilde bulunabilir:

$$R_1 = R + \frac{d}{2} \sin \theta$$

$$R_2 = R - \frac{d}{2} \sin \theta$$
(2.1)

Tehditten yansıyan eko sinyali ilk olarak kendisine yakın olan antene, antenler arası mesafe ( $d$ ) ile orantılı bir süre sonra da ikinci antene varacaktır. Eko sinyali farklı zamanlarda antenlere ulaştığı için antenlerden alınan sinyaller arasında bir zaman gecikmesi ve bunun sonucunda da bir faz farkı oluşacaktır. Şekil 2.4’ de bu mesafe farkı ve Eş. 2.3’ de ise bu mesafe farkından kaynaklanan faz farkı ifadesi yer almaktadır.



**Şekil 2.4** Faz Karşılaştırmalı Yöntem

Şekilde de gösterilen  $\Delta R$ ' nin (tehdidin anten-1 ve anten-2' ye olan uzaklıklarının farkı) değeri ise;

$$\Delta R = R_1 - R_2 = d \sin \theta \quad (2.2)$$

olmaktadır.

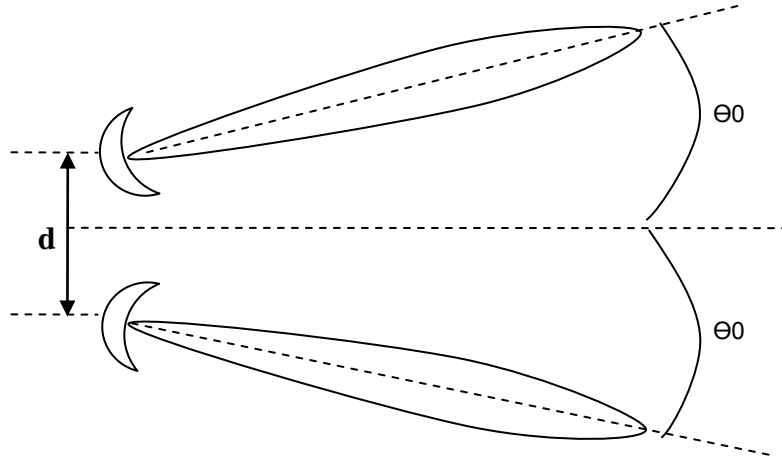
$R_1$  ile  $R_2$  arasındaki mesafe farkından dolayı oluşan faz farkı ise Eş. 2.3 ile bulunmaktadır.

$$\Delta \theta = \frac{2\pi \Delta R}{\lambda} = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda} \quad (2.3)$$

( $\lambda = C / f$  , C: Işık Hızı, f: frekans)

Eş. 2.3, tehdidin göreceli açısal konumu ile orantılı iki antenden alınan sinyallerin faz farkını ortaya koyan ifadedir. Eş. 2.3 ile  $\theta = 0$  durumunda faz farkının sıfır olduğu görülmektedir.

Genlik ve faz ile açı algılama yöntemlerinin birleşimini kullanan TDR modelinde ise tehdidin açısal konumu antenlere ulaşan sinyallerin hem genlik bilgisi hem de faz bilgisi kullanılarak elde edilmektedir.



**Şekil 2.5** Genlik ve Faz Birleşimli Karşılaştırma Radar Anten Örüntü Pozisyonları

Karşılaştırıcı (ya da dönüştürücü), tehdit açısı bilgilerini içeren sinyalleri kullanarak bunları genlik ve faz cinsinden belirli birleşimlerine dönüştürmeye yarayan birimdir.

Son olarak açı ayırıcı ise, radar sisteminde elde edilmek istenilen anlamlı mesajı üretmek için kullanılan birimdir. Duyarlı olduğu sinyal modlarına göre üç gruba ayrılır. Bunlar:

- Sinyaldeki genlik parametrelerine duyarlı olan genlik tabanlı açı ayırıcı
- Sinyaldeki faz parametrelerine duyarlı olan faz tabanlı açı ayırıcı
- Sinyaldeki hem genlik hem de faz parametrelerine duyarlı olan toplam ve fark açı ayırıcı

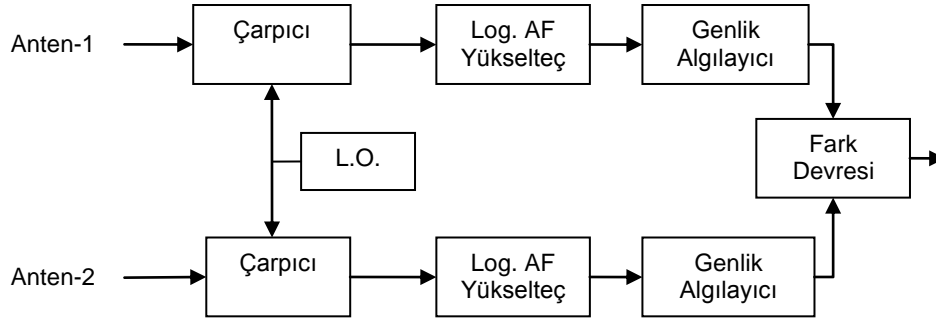
olarak gruplandırılabilirler [Leonov, 1986].

## 2.2. Tekdarbe Radarlarda Kullanılan Açı Ayırıcılar

### 2.2.1. Genlik Tabanlı Açı Ayırıcılar

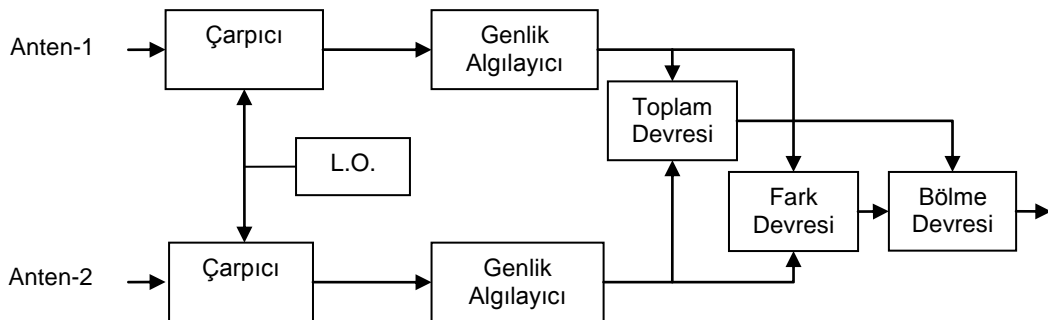
Şekil 2.6' da gösterilen genlik tabanlı açı ayırıcı (log yükselteçli) modelinde her iki sinyalin logaritmik değerleri bulunduktan sonra bu değerler birbirlerinden çıkarılmaktadır. Bu çıkarım işlemi sonucu elde edilen hata sinyali bu iki sinyalin oranlarının logaritmasına eşit olduğu için çıkışta elde edilen hata sinyali genliği girişteki sinyallerin genliklerinden bağımsız olmaktadır.

Antenlerden alınan sinyallerin fazlarındaki farklılık bu tasarımda etkili olmamaktadır çünkü sinyallerin faz bilgileri genlik algılayıcı kısmında yitilmektedir. Bu nedenle bu ayrıştırıcı yapısı faz karşılaştırmalı TDR anten yapıları ile uyumlu değildir.



**Şekil 2.6** Genlik Tabanlı Açık Ayrıştırıcı (Log Yükselteçli)

Şekil 2.7' de gösterilen genlik tabanlı açık ayrıştırıcı modelinde (toplam sinyaline düzgelenmiş) görüldüğü üzere logaritmik yükselteç kullanılmamıştır. Bunun yerine antenlerden alınan sinyaller video frekansında birbirlerinden çıkartılır ve sinyallerin toplamından elde edilen başka bir sinyal ile bu fark sinyali düzgelenir. Bu model de genlik tabanlı açık ayrıştırıcılarda kullanılan yöntemlerden bir tanesidir [Leonov, 1986].



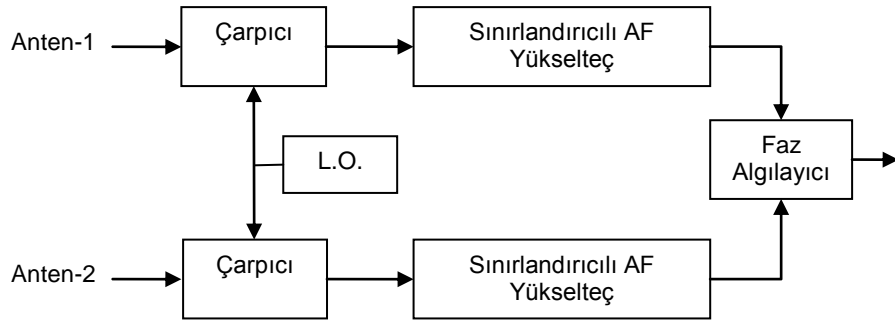
**Şekil 2.7** Genlik Tabanlı Açık Ayrıştırıcı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş)

## 2.2.2. Faz Tabanlı Açı Ayırıştırıcılar

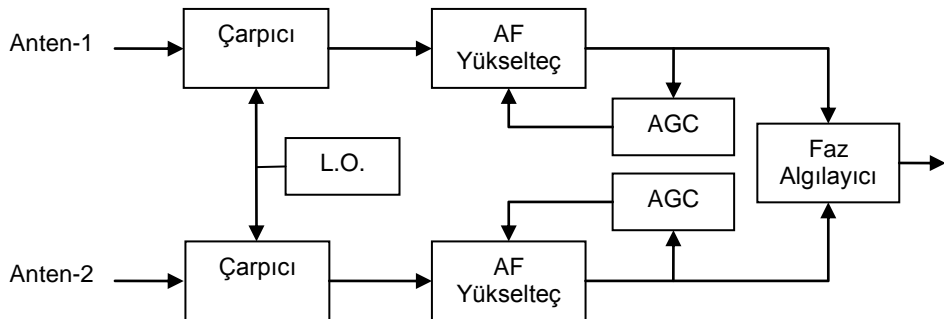
Faz tabanlı açı ayırıştırıcılarda, genlik modülasyonu düzgelenecek şekilde yok edilmelidir. Bunun için kullanılan çözümlerden bir tanesi Şekil 2.8’de gösterilen faz tabanlı açı ayırıştırıcı (sınırlandırıcı) modelidir. Bu model ile birlikte çıkış sinyalinin, girişteki anten sinyal genliklerinden bağımsız olması sağlanmaktadır [Leonov, 1986].

Genliği sabit bir değerde düzgelemek için kullanılan bir diğer yöntem ise Şekil 2.9’da gösterildiği gibi her kanal için kullanılacak otomatik kazanç devrelerinin sisteme eklenmesidir.

Antenlerden alınan sinyallerin genliklerindeki farklılık sınırlandırıcı ve AGC kısmında yok edilmektedir. Bu nedenle bu ayırıştırıcı yapısı genlik karşılaştırmalı TDR anten yapıları ile uyumlu değildir.



Şekil 2.8 Faz Tabanlı Açı Ayırıştırıcı (Sınırlandırıcı)



Şekil 2.9 Faz Tabanlı Açı Ayırıştırıcı (AGC'li)

### 2.2.3. Toplam ve Fark Tabanlı Açık Ayırıştırıcılar

Bu tez çalışması içerisinde yer verilmeyen ancak literatürde yer alan bir diğer açık ayırıştırıcı modeli ise toplam ve fark açık ayırıştırıcısıdır. Bu modelde her bir kanaldan elde edilen toplam sinyali çeşitli yapılarda olabilen AGC birimine iletilmekte ve AF yükseltecin kazanç değeri sürekli ve kontrollü bir biçimde değiştirilmektedir.

Yukarıda ifade edilen üç farklı açık ayırıştırıcı yapısı ile birlikte her bir ayırıştırıcı modeli için de genlik, faz ve birleşimli açık algılama yöntemleri uygulanabilir. Bunun sonucu olarak toplamda 9 temel TDR sistemi modeli elde edilebilmektedir. (bkz. Çizelge 2.1)

**Çizelge 2.1 TDR Modelleri**

Açık Ayırıştırma Yöntemleri	Açık Algılama Yöntemleri		
	Genlik (G)	Faz (F)	Birleşim (B) ( Genlik + Faz)
Genlik (G)	$G - G^*$	$F - F$	$B - G$
Faz (F)	$G - F$	$F - F^*$	$B - F$
Toplam ve Fark (TF)	$G - TF^*$	$F - TF^*$	$B - TF$

Çizelgede gösterildiği gibi 9 temel TDR yaklaşımı bulunsa da bunlardan sadece 4 tanesi yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Genlik - Genlik ( $G - G$ )
- Faz - Faz ( $F - F$ )
- Genlik - Toplam ve Fark ( $G - TF$ )
- Faz - Toplam ve Fark ( $F - TF$ )

pratikte kullanılabilen tekdarbe mimarileridir.



### 3. TEK DARBELİ RADAR SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Bu tez çalışması içerisinde yer alan karıştırma teknikleri, dört farklı TDR modeli üzerinden çalışmıştır. Bu modeller:

- Genlik Karşılaştırmalı Modeller
  - Genlik Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli
  - Genlik Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Modeli
- Faz Karşılaştırmalı Modeller
  - Faz Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR Modeli
  - Faz Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR Modeli

olarak gruplandırılabilirler.

Yukarıda bahsedilen radar modellerinin oluşturulması sırasında bazı alt sistem modellerinden yararlanılmıştır. Radar sistemleri modellemesine geçmeden önce bu yardımcı modellerden bahsetmenin yararlı olacağı düşünülmüştür. Daha özelleşmiş yardımcı modellerden ise o modelin konu başlığı altında bahsedilecektir. Radar sistemleri için kullanılan temel alt sistem modelleri şu şekildedir:

- Filtreler
- Anten Örüntüleri
- Faz Kenetleme Döngüsü (PLL)
- Otomatik Kazanç Kontrol Devresi (AGC)
- Radar Servo Motorunun Modellenmesi

#### 3.1. Radar Tasarımına Yardımcı Alt Sistem Modelleri

##### 3.1.1. Filtre Modelleri

Tüm radar modellerinde çeşitli yerlerde kullanılmasına ihtiyaç duyulan alçak geçiren filtreler bulunmaktadır. Gerçek zamanda her bir sinyal örneği üzerinde kullanılacak filtre katsayılarını (sayısal filtre) belirlemek için Z-Dönüşümü

kullanılmış ve çıktı örneklerini elde etmek için ise Fark Denklemlerinden faydalanılmıştır [Goldberg, 1986].

Fark denklemleri,  $n$ . sinyal çıktı örneğinin oluşturulması için  $n$ . ve önceki girdi sinyal örnekleri ile  $n$ ' den önceki sinyal çıktı örneklerini kullanan formül dizisine verilen isimdir.

$$y(n) = [b_0x(n) + b_1x(n-1) + \dots + b_Mx(n-M)] - [a_1y(n-1) + \dots + a_Ny(n-N)]$$
$$y(n) = \sum_{i=0}^M b_i x(n-i) - \sum_{j=1}^N a_j y(n-j) \quad (3.1)$$

(  $x$  : girdi sinyal örnekleri,  $y$  : çıktı sinyal örnekleri,  $a_i$  ve  $b_i$ : katsayılar )

Sayısal filtre tasarımında fark denklemleri sıklıkla kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Çıktıdaki  $y(n)$  sinyali örneğini bulmak için Eş. 3.1' de gösterildiği gibi önceki sinyal çıktı örnekleri kullanılabilir. Bu tür işlemlere geri besleme adı verilir. Bir filtrede bir ya da birden fazla geri besleme yolu varsa ( $N > 0$ ), bu filtreye özyineli (recursive) filtre adı verilir.

Genelleme yapılırsa eğer,  $b_i$  katsayılarına "ileri besleme" katsayıları,  $a_j$  katsayılarına ise "geri besleme" katsayıları ismi verilir.

Bir filtreye özyineli denilebilmesi için  $a_j \neq 0$  ( $j > 0$  için ) olması şarttır. Özyineli filtrelerin bir diğer ismi de Sonsuz Dürtü Yanıtlı (IIR) filtredir. Bir geri besleme yolu bulunmayan ( $a_j = 0$ ,  $\forall j > 0$ ) filtrelere ise özyinesiz ya da Sonlu Dürtü Yanıtlı (FIR) filtre adı verilir.

Z-Dönüşümü sayısal filtreler için kullanılan evrişim modeli olduğu için, bu dönüşüm fark denklemlerine uygulanabilir. Eş. 3.1' de yer alan genel fark denklemi üzerinden tekrar gidilirse,

$$y(n) = \sum_{i=0}^M b_i x(n-i) - \sum_{j=1}^N a_j y(n-j) \quad (3.2)$$

denklemini yazılabilir [Ogata, 1995].

Eş. 3.2' deki denklemde, eşitliğin her iki tarafında kalan ifadelerin z-dönüşümü alındığında ( $\mathbb{Z}\{\}$  işaretiyle gösterilecektir) Eş. 3.3 elde edilmektedir.

$$\mathbb{Z}\{y(n)\} = b_0\mathbb{Z}\{x(n)\} + b_1\mathbb{Z}\{x(n-1)\} + \dots + b_M\mathbb{Z}\{x(n-M)\} - a_1\mathbb{Z}\{y(n-1)\} - \dots - a_N\mathbb{Z}\{y(n-N)\} \quad (3.3)$$

$$Y(z) = b_0X(z) + b_1z^{-1}X(z) + \dots + b_Mz^{-M}X(z) - a_1z^{-1}Y(z) - \dots - a_Nz^{-N}Y(z) \quad (3.4)$$

$Y(z)$  terimleri eşitliğin sol tarafına,  $X(z)$  terimleri ise eşitliğin sağ tarafına toplandığında Eş. 3.5' i elde edilmektedir.

$$Y(z) + a_1z^{-1}Y(z) + \dots + a_Nz^{-N}Y(z) = b_0X(z) + b_1z^{-1}X(z) + \dots + b_Mz^{-M}X(z) \quad (3.5)$$

Eşitliğin solunda ve sağında kalan ifadeler gerekli ortak parantez alma işlemine sokulduktan sonra ise aşağıdaki sonuç ortaya çıkmaktadır.

$$Y(z)[1 + a_1z^{-1} + \dots + a_Nz^{-N}] = X(z)[b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_Mz^{-M}] \quad (3.6)$$

$$A(z) = 1 + a_1z^{-1} + \dots + a_Nz^{-N}$$

$$B(z) = b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_Mz^{-M}$$

$$A(z)Y(z) = B(z)X(z)$$

Eş. 3.6' da  $Y(z)$  ve  $X(z)$  ifadeleri oranlandığında ise Eş. 3.7 (aktarım işlevi) elde edilir.

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_Mz^{-M}}{1 + a_1z^{-1} + \dots + a_Nz^{-N}} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (3.7)$$

Bu tez çalışmasında, filtre tasarımı yazılım kodu kullanılarak geliştirilmiş ve benzetimlerde filtreler Eş. 3.1' deki gibi fark denklemleri ile koşturulmuştur.

### 3.1.2. Anten Örüntülerinin Modellenmesi

TDR modellerinde, tasarımın temel taşlarından birini oluşturan anten genlik örüntüleri büyük önem taşımaktadır. Özellikle genlik karşılaştırmalı radar

sistemlerinin hata sinyalinin, anten örüntülerinden kaynaklanan sinyal genliği farkından çıkarıldığı düşünülürken örüntülerin önemi göz ardı edilemez.

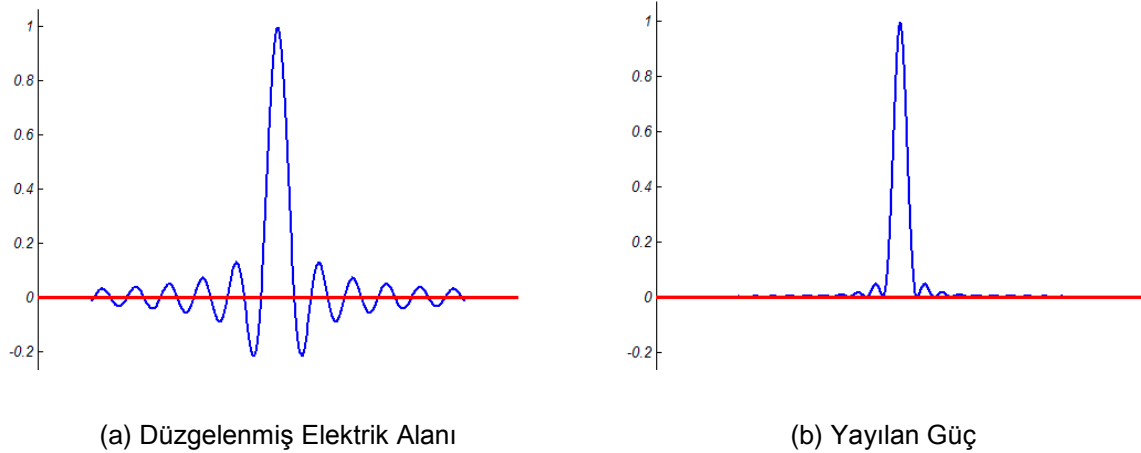
Anten genlik örüntüsünün modellenmesi için "sinc" fonksiyonunu sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tez içerisinde bulunan çalışmalarda da örüntü modellenmesi için "sinc" ve bu fonksiyondan türetilmiş ifadeler kullanılacaktır.

"Sinc" fonksiyonu ile antenin anakulağı ve yankulakları ifade edilebilmektedir. Anten örüntü modeli, yayılan elektrik alanının merkez hattına olan uzaklığı ile orantılı bir  $|\sin x/x|$  fonksiyonu olarak ifade edilebilir [Neri, 2006].

Yayılan gücün modeli ise,

$$E^2 = \frac{\sin^2 x}{x^2} \quad (3.8)$$

ile ifade edilebilmektedir.



**Şekil 3.1** Düzgelenmiş Elektrik Alanı ve Yayılan Güç

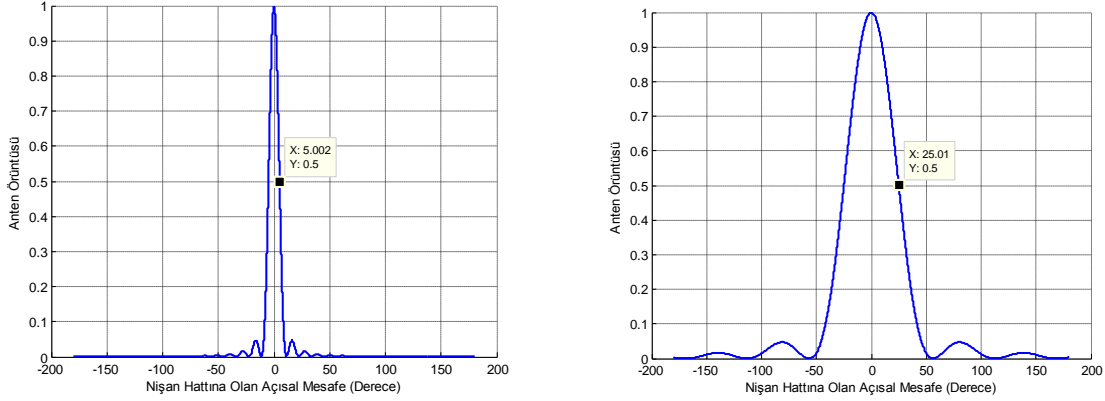
Gerekli tüm radar modelleri için kullanılan anten örüntü denklemi Eş.3.9' da verilmiştir.

$$\text{Anten örüntüsü} = A_G \cdot \left| \text{sinc}(\theta / \alpha) \right| = A_G \cdot \left| \frac{\sin(\pi\theta / \alpha)}{(\pi\theta / \alpha)} \right| \quad (3.9)$$

( $A_G$ : Anten kazancı,  $\theta$ : merkez hattına olan açısal mesafe,  $\alpha$ : 3-dB hüzme genişliğini ayarlamak için kullanılan değişken)

Alfa ( $\alpha$ ) ile 3-dB hüzme genişliği arasındaki ilişki ise Eş. 3.10' de verilmiştir.

$$\text{3-dB Hüzme Genişliği (Derece)} = \alpha \frac{10}{0.1971} = 50.735\alpha \quad (3.10)$$



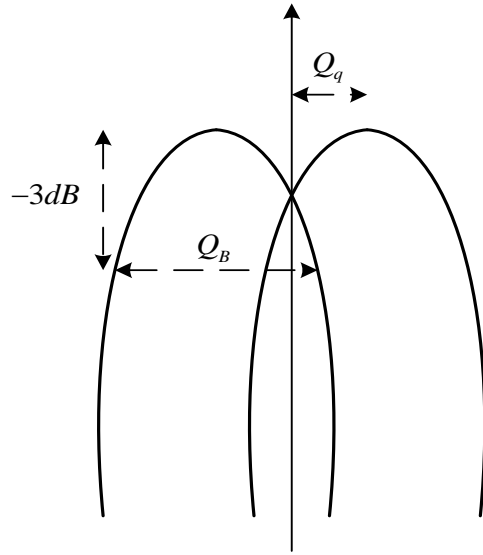
(a)  $\alpha = 0.1971$  için hüzme genişliği ( $2 \times 5 = 10^\circ$ ) (b)  $\alpha = 0.9855$  için hüzme genişliği ( $2 \times 25 = 50^\circ$ )

### Şekil 3.2 Çeşitli Alfa Değerleri İçin Hüzme Genişlikleri

Tüm TDR modellerinde kullanılan anten örüntüleri için, 3-dB hüzme genişliği 10 derece olacak şekilde ayarlanmıştır. Eş. 3.10' deki alfa değeri aşağıda gösterilen denklemde, hüzme genişliği değeri yerine konularak belirlenecektir.

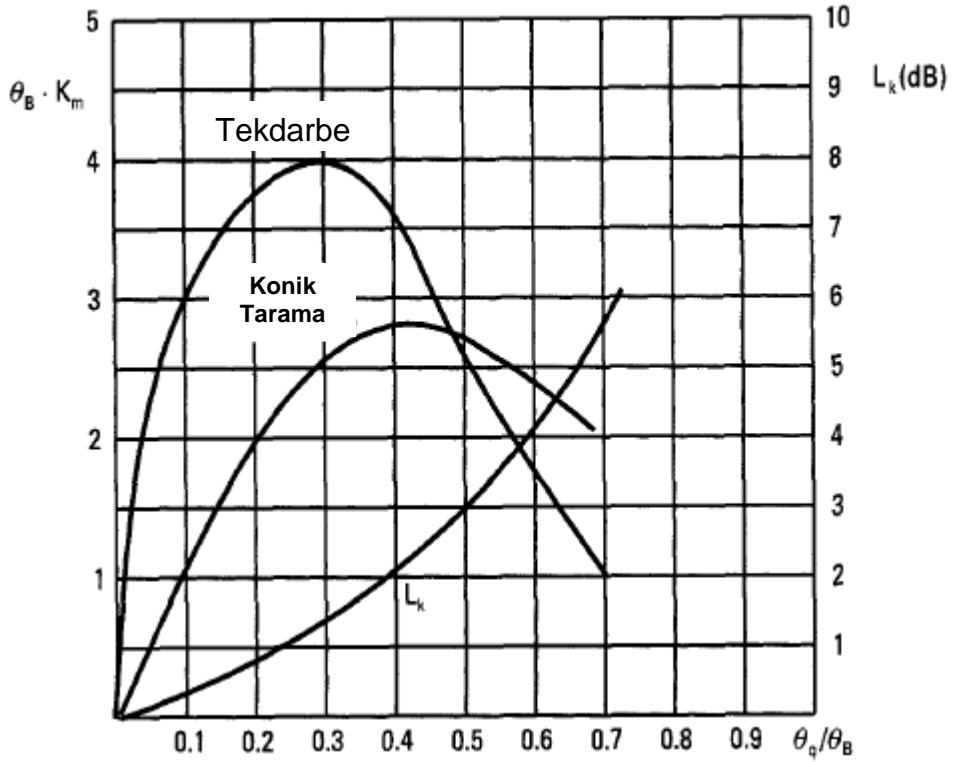
$$\text{3-dB Bant Denişliği (Derece)} = \alpha \cdot \frac{10}{0.1971} = 10^\circ \rightarrow \alpha = 10 \cdot \frac{0.1971}{10} = 0.1971 \quad (3.11)$$

Genlik karşılaştırmalı TDR modellerinde kritik unsurlardan bir diğeri ise anten hüzmeleri arasındaki şaşılık açısı (squint angle) değerinin seçilmesidir. Şaşılık açısı değerinin hüzme genişliğine göre optimum olacak bir değerde seçilmesi sistem kazancı değerinin daha yüksek olmasını sağlar [Neri, 2006]. Şekil 3.3' de anten örüntülerinin hüzme genişlikleri ( $Q_B$ ) ve örüntüler arasında kalan şaşılık açısı ( $Q_q$ ) ifadeleri gösterilmektedir.



**Şekil 3.3** Anten Örüntüleri Hüzme Genişliği ve Örüntüler Arası Şaşılık Açısı

Aşağıdaki şekilde, şaşılık açısı için seçilmesi gereken optimum “şaşılık açısı / hüzme genişliği” oranını (  $Q_q / Q_B$  ) veren grafik verilmiştir [Neri, 2006].



**Şekil 3.4** Optimum “Şaşılık Açısı / Hüzme Genişliği” Oranı Grafiği

Şekil 3.4' de verilen grafikte görüldüğü üzere TDR tekniği için en yüksek “ $Q_B \cdot K_m$ ” değerini veren  $Q_q / Q_B$  değeri 0.3' dür. Hüzme genişliği önceden  $10^\circ$  olacak şekilde ayarlandığına göre, şaşılık açısı değeri

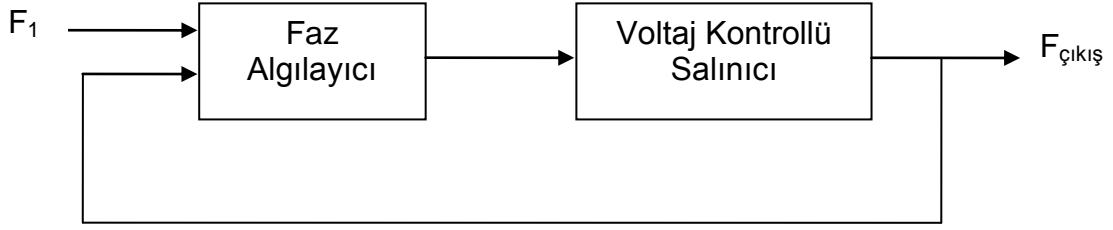
$$\begin{aligned}\frac{Q_q}{Q_B} &= 0.3 \\ Q_q &= 0.3Q_B \\ Q_q &= 0.3 \times 10 = 3^\circ\end{aligned}\tag{3.12}$$

olarak elde edilir.

### 3.1.3. Faz Kenetleme Döngüsü (PLL)

Faz kenetleme döngüsü (PLL), çıkışta üretilecek sinyalin fazı ile girişte referans olarak alınacak sinyalinin fazı ilişkili olacak şekilde sinyal üretebilen geribesleme döngüsüne verilen isimdir. PLL içerisinde, ürettiği frekans değeri değiştirilebilir salınıcı (oscillator) ve faz dedektörü bulunan bir yapıdır. PLL sistemi, giriş sinyalinin fazı ile salınıcı sinyalinden türetilmiş sinyalin fazını karşılaştırıp salınıcı frekansını kontrol ederek fazların sürekli uyuşması için çalışmaktadır. Faz dedektöründen elde edilen sinyal geri besleme üzerinden sisteme tekrar girdi olarak aktarılmakta ve bu döngü bu şekilde devam ettirilmektedir [Best, 1999].

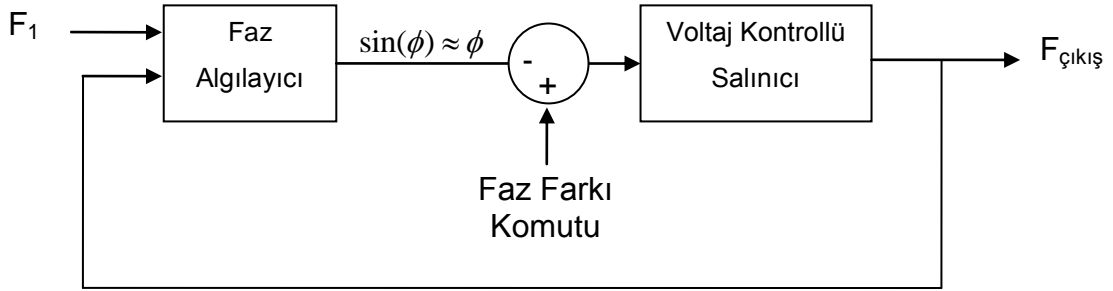
Faz dedektörü, kendisine girdi olarak gelen iki sinyali birbirleri ile karşılaştırıp, bu iki sinyalin faz farkı ile orantılı hata sinyali üreten bir birimdir. Hata sinyali daha sonra alçak geçiren filtreden geçirilerek istenilen fazda sinyal üretebilmek için Voltaj Kontrollü Salınıcı (VCO)' ya iletilmektedir. VCO çıkışı eksi geri besleme üzerinden tekrar sistem girişine aktarılır ve faz dedektör tarafından girdi olarak kullanılır. Eğer çıkıştaki sinyalin fazı kayarsa hata sinyalinin değeri artacak ve VCO diğer yönde ivme kazacak şekilde sürülmeye başlanacaktır. Bu da hata sinyalinin tekrar azalmasıyla sonuçlanacaktır. Sonuç olarak VCO çıkışındaki sinyal faz olarak girişteki sinyalin (referans sinyali) fazına kilitlemiş olur.



**Şekil 3.5** PLL Genel Blok Şeması

Faz karşılaştırmalı TDR modellerinde tehdidin açısal konumu radar antenlerine ulaşan sinyallerinin faz farklarından faydalanılarak bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak bu tip radarların benzetimler ile modellenmesi için çalışma anında sinyallerden bir tanesinin fazını diğerine göre değiştirme ihtiyacı doğmaktadır.

PLL döngüsü kaynak olarak uygulanan bir sinyal ile faz uyumlu bir sinyali çıktı olarak verebiliyorsa; kaynak sinyalinden istenilen belirli bir faz farkında olacak şekilde bir sinyal de üretebilir. Bunun için sisteme Şekil 3.6' da gösterildiği gibi faz dedektör çıkışı ile VCO girişi arasına kaynak olarak alınacak bir faz değeri sinyalinin eklenmesi yeterlidir.



**Şekil 3.6** Kaynak Faz Farkında Sinyal Üretilmesi

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \sin(\omega t) \\
 F_{\text{çıkış}} &= \sin(\omega t + \phi)
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

(  $\phi$  : Sinyaller arası faz farkı )



PLL sisteminde gerçekte zamanlı olarak sinyallerin frekansını değiştirebilmek için ise durum uzayı ( state space ) modeli kullanılmıştır. Bunun için Eş. 3.14' den yararlanılmıştır.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \omega_0 \\ -\omega_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

(  $\omega_0$  : açısal frekans,  $x_1$  ve  $x_2$  : sinyal örnekleri )

Bu modeli ayrık formda yazacak olursak:

$$x_{(n+1)} = e^{A\Delta t} x_{(n)} \quad (3.15)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \omega_0 \\ -\omega_0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

(  $\Delta t : 1 / F_{\text{sampling}} = \text{örnekleme zamanı}$  )

$$e^r = 1 + r + \frac{r^2}{2!} + \frac{r^3}{3!} + \frac{r^4}{4!} + \dots \quad (3.17)$$

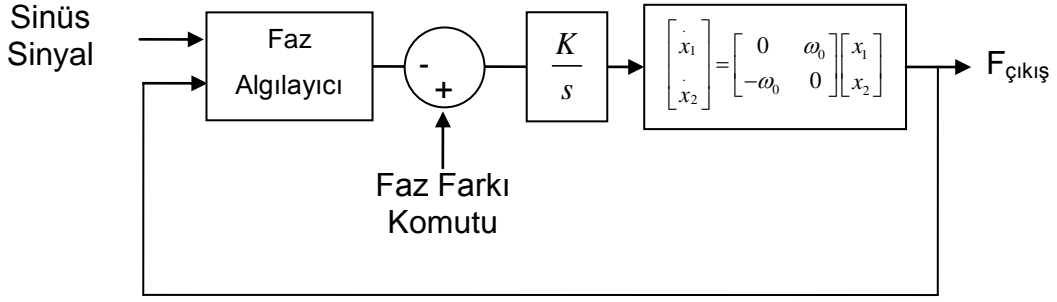
olduğuna göre,

$$\begin{bmatrix} x_{1(n+1)} \\ x_{2(n+1)} \end{bmatrix} = e^{A\Delta t} \begin{bmatrix} x_{1(n)} \\ x_{2(n)} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

$$\begin{bmatrix} x_{1(n+1)} \\ x_{2(n+1)} \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega_0\Delta t \\ -\omega_0\Delta t & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -(\omega_0\Delta t)^2 / 2! & 0 \\ 0 & -(\omega_0\Delta t)^2 / 2! \end{bmatrix} + \dots \right) \begin{bmatrix} x_{1(n)} \\ x_{2(n)} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir. Böylece,  $\omega_0$  frekansında bir sinüs sinyali üretmek için kullanabilir bir benzetim modeli elde edilir.

Şekil 3.7' de yukarıda bahsedilen sistemin son hali gösterilmektedir.



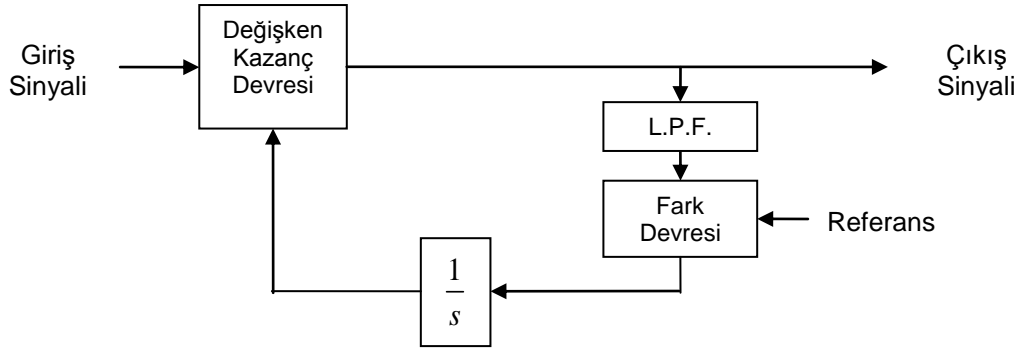
**Şekil 3.7** Çalışma Anında Fazı Değiştiren Sistem

( $\omega_0$  : açısal frekans )

### 3.1.4. Otomatik Kazanç Kontrol Devresi (AGC)

Otomatik kazanç kontrol devresi (AGC), birçok elektronik birimde kullanılan uyarlanabilir bir sistemdir. AGC ilk olarak, radyo dalgalarının genliğinde oluşan istenmeyen değişimleri ortadan kaldırmak için ortaya çıkartılmıştır. Sistem istenmeyen değişimleri algılayıp giriş sinyaline uygulanacak kazanç değerini buna göre kontrol etmektedir. Bu sayede sistem, dinamik erimi geniş olabilen giriş sinyaline karşı dinamik erimi oldukça dar çıkış sinyalini elde etmektedir.

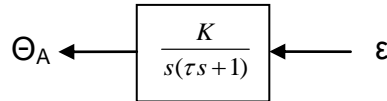
Bu yapıda çıkış sinyali alçak geçiren bir filtreden geçirildikten sonra elde edilen sinyal bir referans değer ile karşılaştırılıp, karşılaştırılma sonucu ortaya çıkan sinyal bir geri besleme yardımıyla sistemini çıkış / giriş sinyali kazancını ayarlayan birime gönderilmektedir. Geri beslemeden gelen sinyalin işaretine ve büyüklüğüne göre birim, kazancını artırmakta ya da azaltmaktadır [Skolnik, 1981]. Şekil 3.8' de bu yapı gösterilmektedir.



**Şekil 3.8** Otomatik Kazanç Kontrol Devresi

### 3.1.5. Radar Servo Motorunun Modellenmesi

Tüm TDR yapılarında ihtiyaç duyulan servo motor birimini modellemek için 2. derece dinamik bir modelden faydalanılmıştır. Servo sisteminin daha dengeli çalışması istenildiği için fonksiyon 2. derece seçilmiştir. Servo motor modeline giriş olarak tekdarbe yapısından elde edilen epsilon ( $\epsilon$ ) hata sinyali çıktısı girmekte ve modelden çıkış olarak gerçek zamanlı radar merkez hattı açısız konum bilgisi elde edilmektedir.



**Şekil 3.9** Servo Motor Kontrol Modeli

### 3.2. Tekdarbe Radar Benzetim Modelleri

Bu tez çalışmasında TDR benzetim modelleri, genlik karşılaştırmalı modeller ve faz karşılaştırmalı modeller olarak iki grupta incelenmiştir.

#### 3.2.1. Genlik Karşılaştırmalı TDR Benzetim Modelleri

Bu başlık altında aşağıda belirtilen iki modelin tasarımının nasıl gerçekleştirildiği ve yapılan tasarımın ne gibi sonuçlar verdiği ele alınacaktır.

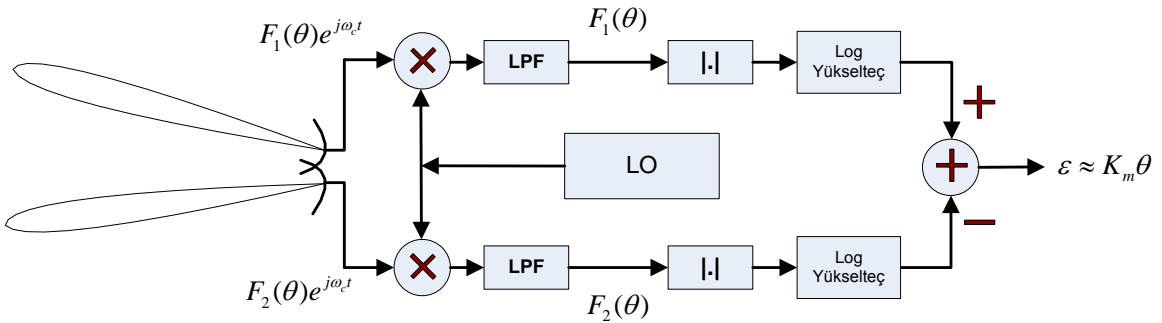
- Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli
- Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Modeli

### 3.2.1.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli

Bu başlık altında sırasıyla, gerekli TDR modeli oluşturulmuş ve ardından bu model kendi yapısına uygun çeşitli senaryolarda koşturulmuştur.

#### 3.2.1.1.1. G-G (Log) TDR, Modelin Oluşturulması

Hem menzil, hem de radar kesit alanı değişimi nedeni ile radar eko sinyallerinin dinamik erimi çok yüksek olabilmektedir. Radar sistemlerinde, alınan sinyallerin dinamik erimlerinin bastırılması gerekmektedir. Bu sayede sistemin sınırları daha kontrollü bir şekilde çizilebilir. Radar sistemlerinde dinamik erimleri bastırmak için tercih edilen yöntemlerden bir tanesi logaritmik yükselteç kullanmaktır. Logaritmik yükseltecin faydası, sinyal yapısında bulunan istenmeyen iniş ve çıkışları bastırmasıdır. Şekil 3.10' da bünyesinde logaritmik yükselteci barındıran genlik - genlik karşılaştırmalı (log yükselteçli) TDR modeli gösterilmektedir [Leonov, 1986].



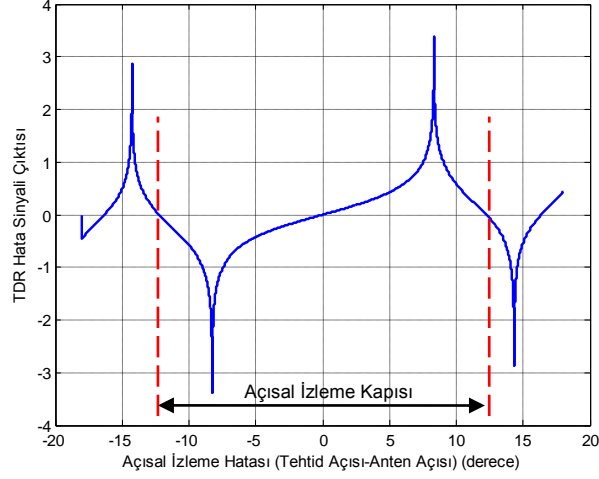
**Şekil 3.10** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli

Model yapısı Şekil 3.10' da verilmiş tekdarbe sistemini matematiksel olarak incelediğimizde sonuç aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\varepsilon = \log | F_1 | - \log | F_2 | = \log \left| \frac{F_1}{F_2} \right| = \log \left| \frac{F(\theta - \theta_0)}{F(\theta + \theta_0)} \right|$$

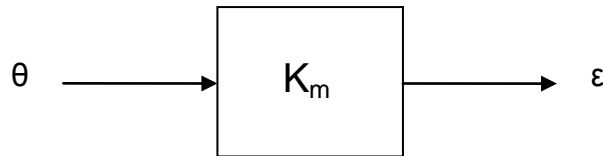
$$\approx \log \left| \frac{F_0 + K_m \theta}{F_0 - K_m \theta} \right| \approx \log | 1 + 2K_m \theta | \approx K_m \theta$$
(3.20)

Örnek olarak alınan bir aralıkta ( $\theta$ ' nın  $-18^\circ$  ile  $+18^\circ$  arasında olduğu aralık)  $\epsilon$  (hata sinyali)' nin değişim grafiği aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:



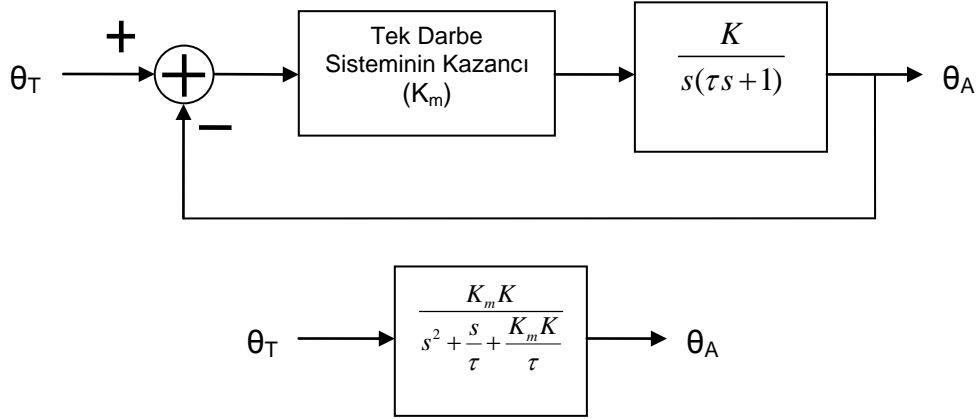
**Şekil 3.11** G-G (Log) TDR, Açısız İzleme Yanıtı

Şekil 3.11' de görüldüğü üzere küçük açısız izleme hatası değerlerinde ( $-6^\circ$  ile  $+6^\circ$  arasında kalan değerlerde) sistemin eğimi sabit kalmıştır. Bu sonuç, genlik genlik karşılaştırmalı (log yükselteçli) TDR sistemlerinin aslında belirli bir kazanç değeri olan basit bir birim (Şekil 3.12) olarak modellenebileceğini göstermektedir. Şekil 3.11' de ayrıca TDR sisteminin açısız izleme kapısı ortaya çıkmıştır. Görüldüğü üzere açısız izleme hatası yaklaşık  $+12.5^\circ$  yi aştığında TDR hata sinyali çıktısı ( $\epsilon$ ) işaret değiştirmiştir. Açısız izleme hatasının  $+12.5^\circ$  den büyük olduğu durumlarda kapı sınırlarının dışına çıktığı için sistemin düzgün çalışmadığını gözlenmiştir (aynı şekilde açısız izleme hatasının  $-12.5^\circ$  den küçük olduğu durumlarda da  $\epsilon$  işaret değiştirmiş, sistemin çalışması bozulmuştur). Bu TDR sisteminin açısız izleme kapısı  $-12.5^\circ$  ile  $+12.5^\circ$  arasındadır.



**Şekil 3.12** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli Kazancı

TDR çıkışında elde edilen hata sinyali radar antenlerin bağlı olduğu servo motoru sürmek için kullanılmaktadır.



**Şekil 3.13** Basitleştirilmiş Genlik Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR Modeli

Sönümlenme Oranı, bir sistemin denge durumuna ulaşmaya kadar yaptığı salınım miktarını belirten birimsiz bir ifadedir. Eğer sistemin sönümlenme oranı değeri 0 – 1 arasında ise eksik sönümlü (under damped) sistem, 1’ den büyük ise aşırı sönümlü (over damped) sistem ismini alır.

Doğal Frekans, denge durumuna ulaşmak için bir sistemin birim zamanda yaptığı salınım miktarıdır.

Transfer fonksiyonu Eş. 3.21’ de verilen sistemin analizini yapmak için sistemin transfer fonksiyonu üzerinden sönümlenme oranı ve doğal frekansı hesaplanabilir.

$$\frac{K_m K}{s(\tau s + 1) + K_m K} = \frac{K_m K}{s^2 + \frac{s}{\tau} + \frac{K_m K}{\tau}} \quad (3.21)$$

olduğu durumda, sönümlenme oranı ve doğal frekans Eş. 3.22 ve Eş. 3.23 ile şu şekilde bulunur:

$$\frac{1}{\tau} = 2\zeta\omega_n \quad (3.22)$$

$$\omega_n^2 = \frac{K_m K}{\tau} \quad (3.23)$$

( $\zeta$  = sönümlleme oranı,  $\omega_n$  : doğal frekans,  $K_m$  : Radar Modeli Kazancı,  $K$  : Servo motor transfer fonksiyonu içerisinde yer alan kazanç )

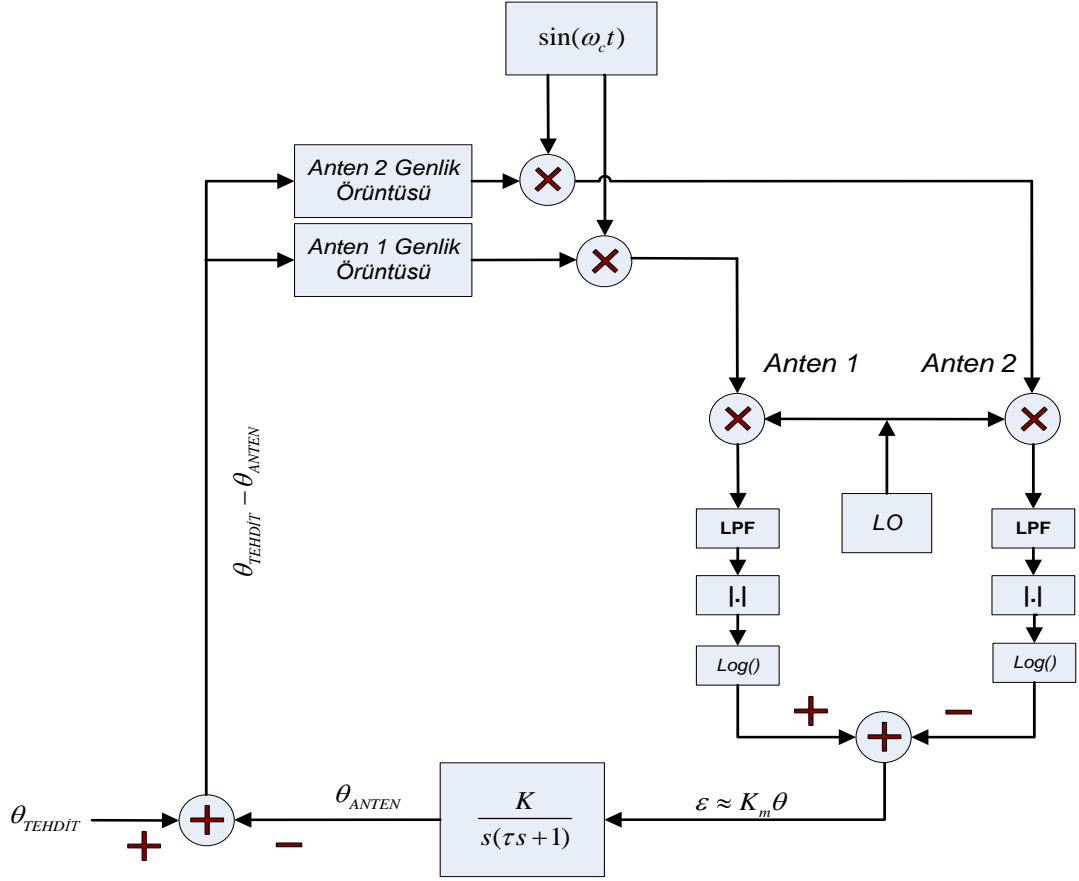
TDR sisteminin yanıt süresi,

$$\text{Yanıt Süresi} \sim \frac{1}{\zeta \omega_n} \quad (3.24)$$

ile doğru orantılıdır. Eş. 3.24' de verilen ifadenin yaklaşık 5 katı sürede TDR sisteminin denge durumuna ulaşabileceği varsayılabilir.

Tasarlanan modelin sönümlleme oranı 1(bir)' in üzerindedir ki bu sistemin aşırı sönümlü bir sistem olduğunu göstermektedir. Yani sistem denge durumuna ulaşırken salınım yapmamaktadır. Bu da TDR sistemlerinde tehdit takibi için tercih edilen bir durumdur.

Şekil 3.14' de genlik - genlik karşılaştırmalı (log yükselteçli) TDR' nin benzetim modeli gösterilmektedir. Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden oluşturulmuştur.



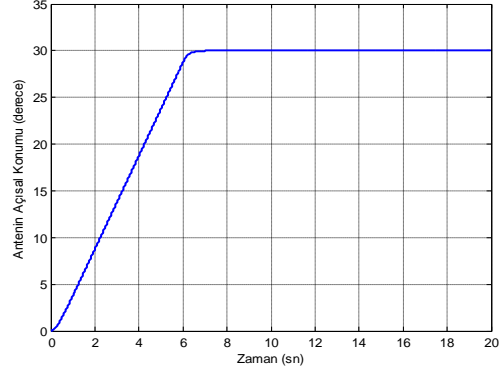
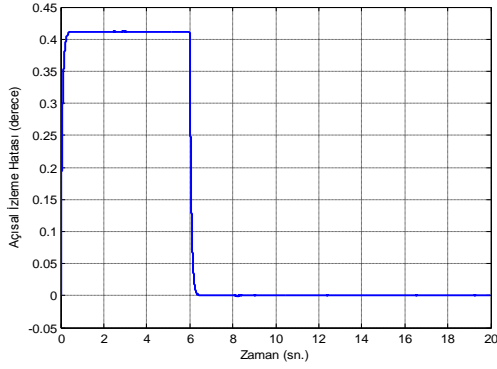
**Şekil 3.14** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Benzetim Modeli

### 3.2.1.1.2. G-G (Log) TDR, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması

#### Senaryo 1:

Hızı sabit olan bir tehdit açsal konumunu 6 saniyede  $0^\circ$  den  $30^\circ$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra konumunu  $30^\circ$  de kalacak şekilde korumaktadır. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^\circ$  dedir.





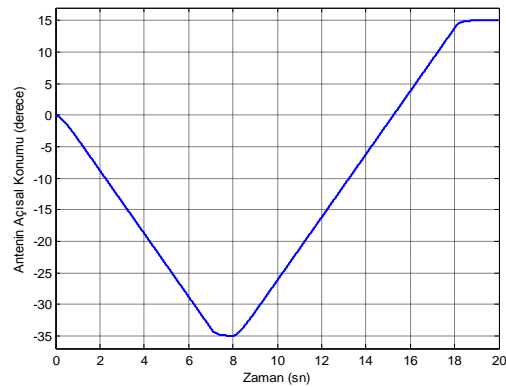
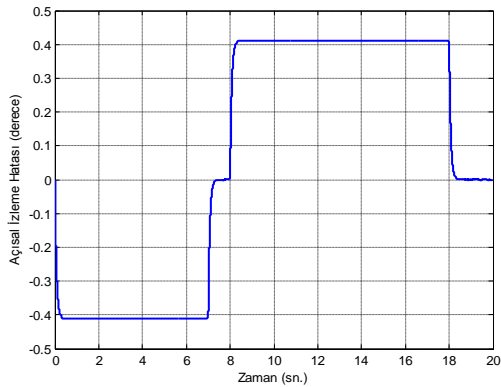
(a) Açısal İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

### Şekil 3.15 G-G (Log) TDR, Senaryo 1 Çıktıları

Sonuçlardan görüldüğü üzere radar sistemi 6 saniye boyunca  $30^{\circ}$  lik açısal harekette bulunmuş tehdidi düzgün bir şekilde takip edebilmiştir.

### Senaryo 2:

Hızı sabit olan bir tehdit açısal konumunu 7 saniyede  $0^{\circ}$  den  $-35^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Tehdit 1 saniye açısal konumu koruduktan sonra ise açısal konumunu 10 saniyede  $-35^{\circ}$  den  $15^{\circ}$  e doğru değiştirmektedir. Daha sonra konumunu  $15^{\circ}$  de kalacak şekilde korumaktadır. Radar sistemi (sabit radar) anteninin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.



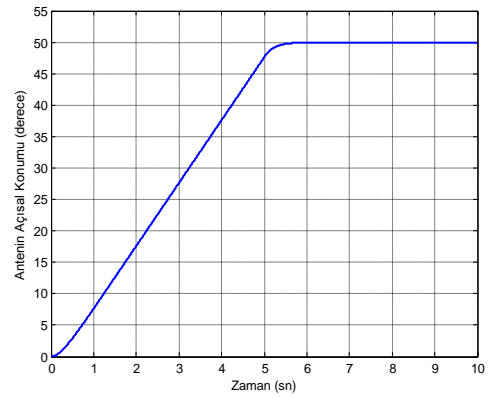
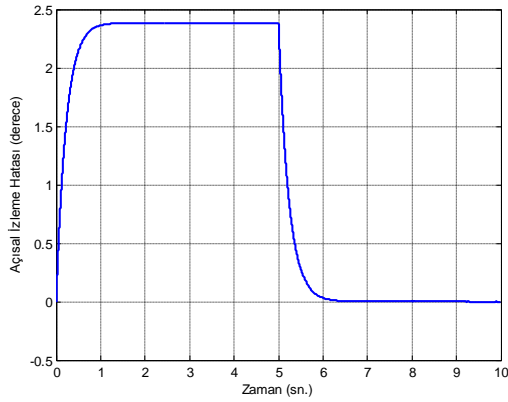
(a) Açısal İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

### Şekil 3.16 G-G (Log) TDR, Senaryo 2 Çıktıları

Tehdit ilk olarak antenin ilk merkez hattı açısai konumuna göre eksi yönde hareket etmiş daha sonra ise artı yönde hareketine devam etmiştir. Senaryo çıktılarına baktığımızda modelini oluşturduğumuz radar sisteminin her iki yönde de tehdidi başarı ile takip edebildiği gözlenmiştir.

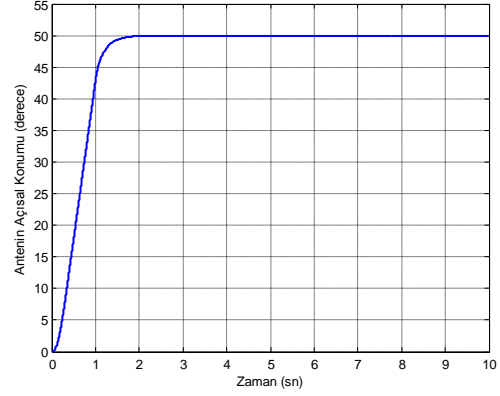
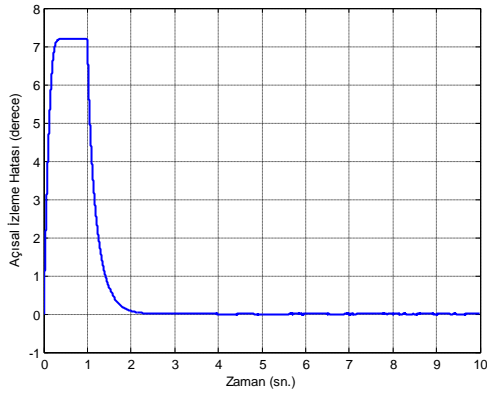
### Senaryo3:

Bu senaryoda ise tehdidin farklı açısai hızları için radarın nasıl bir sonuç vereceği gözlenecektir. Hızı sabit olan bir tehdit açısai konumunu her seferinde 5, 1, 0.40 saniyelerde 0° den 50° ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra konumunu 50° de kalacak şekilde korumaktadır. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise 0° dedir.



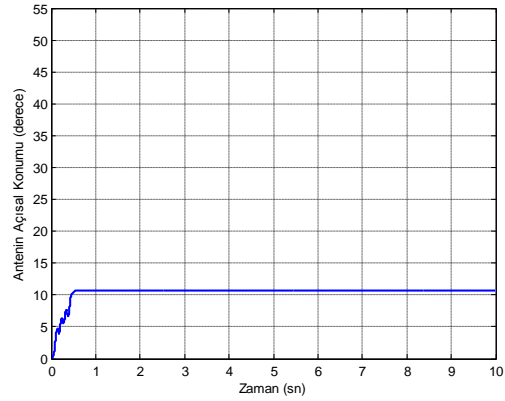
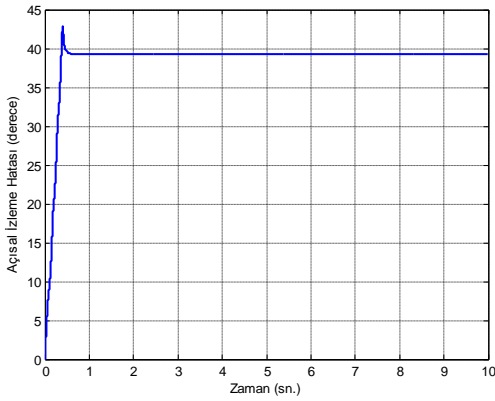
(a) Açısai İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısai Konum Değişim Grafiği

**Şekil 3.17** G-G (Log) TDR, Senaryo 3 Çıktıları (Tehdit Açısai Konum Değişirme Süresi: 5 sn)



(a) Açısıl İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısıl Konum Değişim Grafiği

**Şekil 3.18** G-G (Log) TDR, Senaryo 3 Çıktıları (Tehdit Açısıl Konum Değişirme Süresi: 1 sn)



(a) Açısıl İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısıl Konum Değişim Grafiği

**Şekil 3.19** G-G (Log) TDR, Senaryo 3 Çıktıları (Tehdit Açısıl Konum Değişirme Süresi: 0.40 sn)

Tehdit açısıl konumunu 0.40 saniyede  $0^{\circ}$  den  $50^{\circ}$  ye değiştirdiğinde ise radar sisteminin tehdit hareketlerine yanıt verme hızının yetersiz kalmasından dolayı tehdidi izleyemediği gözlenmiştir. Görüldüğü üzere açısıl izleme hatası açısıl izleme kapısı sınırını ( $-12.5^{\circ}$  ile  $+12.5^{\circ}$  arası) aşmıştır. Bundan dolayı da tehdit başarılı bir şekilde takip edilememiştir.

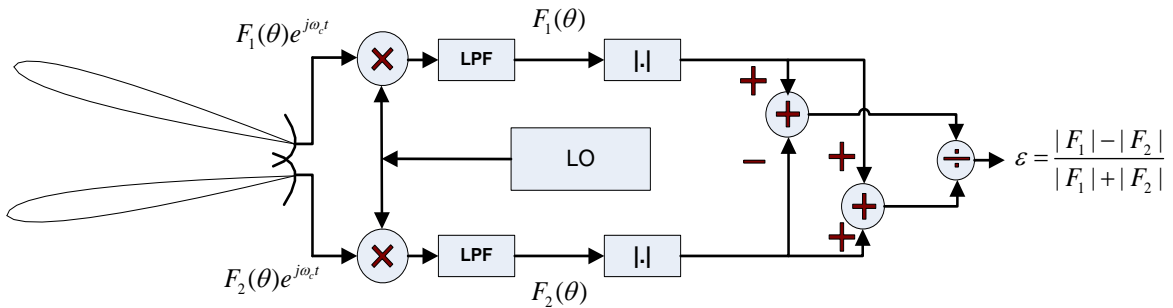
### 3.2.1.2. Genlik - Genlik (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) Karşılaştırmalı TDR Modeli

Bu başlık altında sırasıyla, gerekli TDR modeli oluşturulmuş ve ardından bu model kendi yapısına uygun çeşitli senaryolarda koşturulmuştur.

#### 3.2.1.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Modelin Oluşturulması

Genlik duyarlı TDR sistemlerinde her bir anten örüntüsü için sinyalin içinde hareket ettiği kanal yapısında farklılıklar olabilir. Bu farklılıklar sinyalin genliğinde ya da fazında değişime neden olabilmektedir. Bazı durumlarda ise kanaldaki anlık değişimler sonucu bu sinyal karakteristikleri çok büyük oranda değişebilmektedir.

Genlikte oluşan bu etkiyi ortadan kaldırmak için kullanılan bir diğer yöntem ise antenlerden alınan sinyallerin toplamlarıyla ve farklarıyla yeni sinyaller oluşturulup bu sinyallerin birbirlerine oranlanmasıyla elde edilir. Şekil 3.20' de yukarıda bahsedilen yapının modeli gösterilmektedir [Leonov, 1986].



**Şekil 3.20** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Modeli

Model yapısı Şekil 3.20' de verilmiş tekdarbe sistemini matematiksel olarak incelediğimizde sonuç aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} f_1(t, \theta) &= F_1(\theta)e^{j(\omega_c t)} \\ f_2(t, \theta) &= F_2(\theta)e^{j(\omega_c t)} \end{aligned} \quad (3.25)$$

$F_1(\theta)$  ve  $F_2(\theta)$ ' i Eş. 3.26' da gösterildiği gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}
F_1(\theta) &= F(\theta_0 - \theta) = F(\theta_0)(1 + K_m \theta) \\
F_2(\theta) &= F(\theta_0 + \theta) = F(\theta_0)(1 - K_m \theta)
\end{aligned}
\tag{3.26}$$

(  $\theta_0$ : Her bir antenin merkez hattı doğrultusu ile antenlerin sinyal merkezi doğrultusu arasında kalan açı)

Toplam (Eş. 3.27) ve fark (Eş. 3.28) sinyalleri ise şu şekilde ifade edilirler:

$$\begin{aligned}
U_T(t, \theta) &= F_1(\theta) + F_2(\theta) = F(\theta_0)(1 + K_m \theta) + F(\theta_0)(1 - K_m \theta) \\
&= F(\theta_0)(1 + K_m \theta + 1 - K_m \theta) = 2F(\theta_0)
\end{aligned}
\tag{3.27}$$

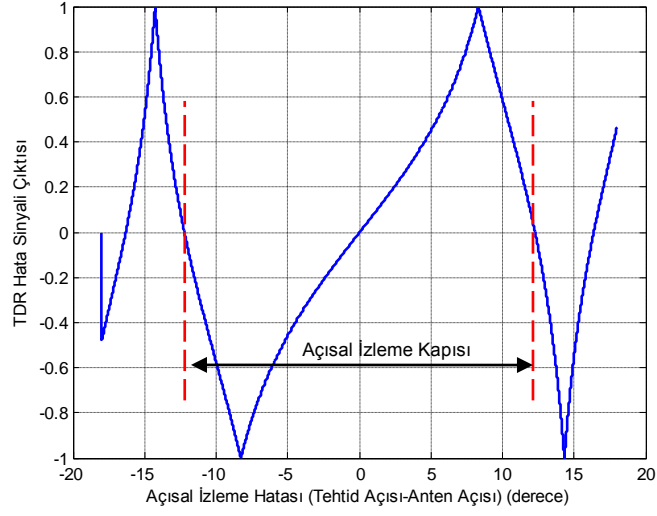
$$\begin{aligned}
U_F(t, \theta) &= F_1(\theta) - F_2(\theta) = F(\theta_0)(1 + K_m \theta) - F(\theta_0)(1 - K_m \theta) \\
&= F(\theta_0)(1 + K_m \theta - 1 + K_m \theta) = 2K_m \theta F(\theta_0)
\end{aligned}
\tag{3.28}$$

(  $U_T$  : Toplam Sinyali,  $U_F$  : Fark Sinyali )

Son olarak çıkışta elde edilen hata sinyali ise Eş. 3.29' de gösterildiği gibidir.

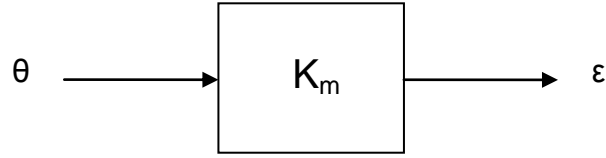
$$\varepsilon = \frac{U_F(t, \theta)}{U_T(t, \theta)} = \frac{2K_m \theta f(\theta_0)}{2f(\theta_0)} = K_m \theta
\tag{3.29}$$

Örnek olarak alınan bir aralıkta ( $\theta$ ' nın  $-18^\circ$  ile  $+18^\circ$  arasında olduğu aralık) genlik genlik karşılaştırmalı (toplam sinyaline düzgelenmiş) TDR' da  $\varepsilon$  (hata sinyali)' nin değişim grafiği aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:



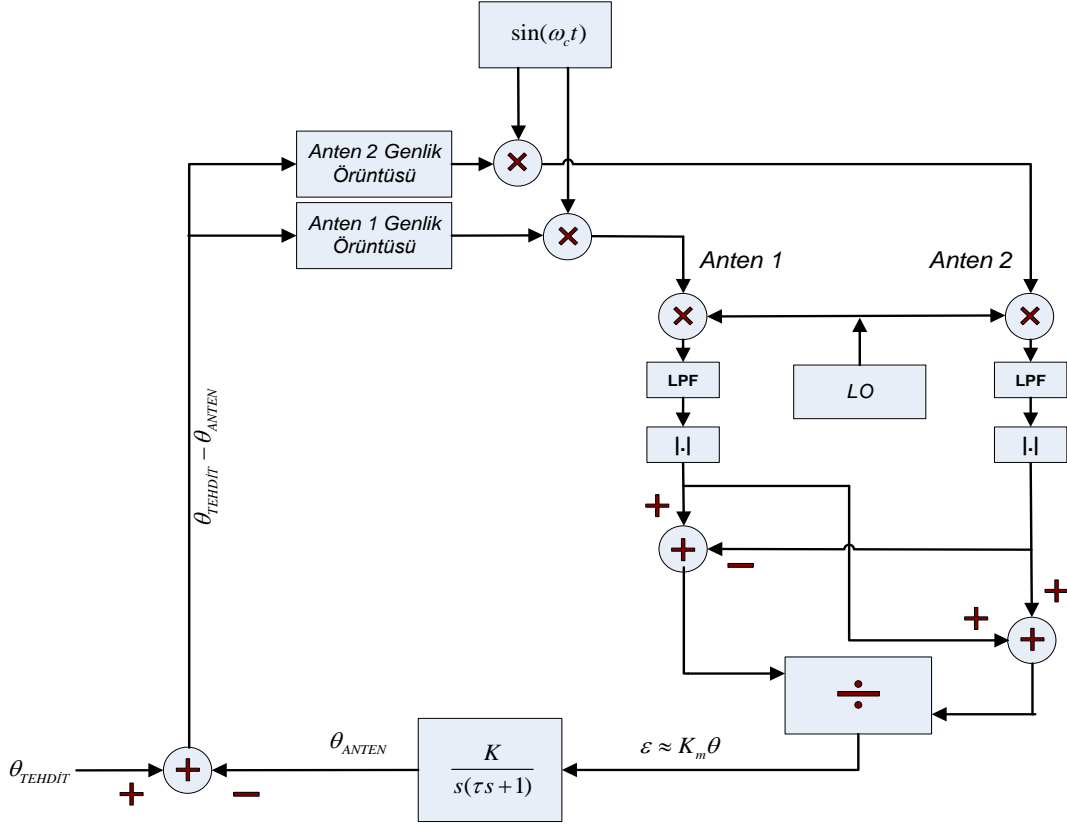
**Şekil 3.21** G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Açısız İzleme Yanıtı

Benzer şekilde Şekil 3.21' de görüldüğü üzere açısız izleme hatasının  $-6^\circ$  ile  $+6^\circ$  arasında kalan değerlerinde sistemin eğimi sabit kalmıştır. Sistemin açısız kapısı bir önceki modele benzer bir biçimde  $-12.5^\circ$  ile  $+12.5^\circ$  arasındadır.



**Şekil 3.22** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Modeli Kazancı

Şekil 3.23' de genlik - genlik karşılaştırmalı (toplam sinyaline düzgelenmiş) TDR' nin benzetim modeli gösterilmektedir. Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşurulmuştur.

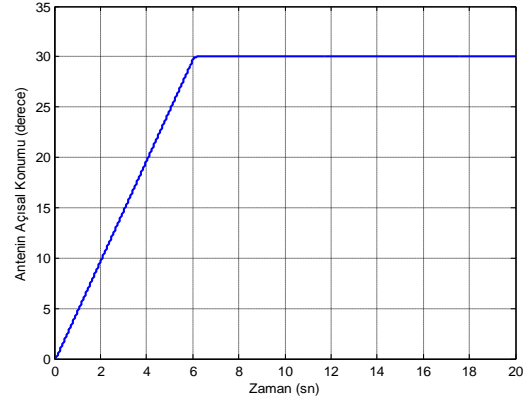
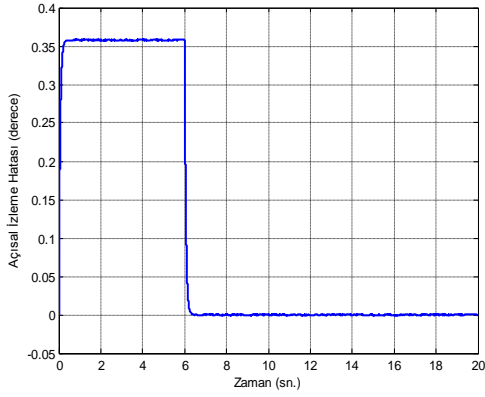


**Şekil 3.23** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Benzetim Modeli

### 3.2.1.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması

#### Senaryo 1:

Hızı sabit olan bir tehdit açısai konumunu 6 saniyede  $0^{\circ}$  den  $30^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra açısai konumunu  $30^{\circ}$  de kalacak şekilde korumaktadır. Radar sistemi (sabit radar) anteninini ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dir



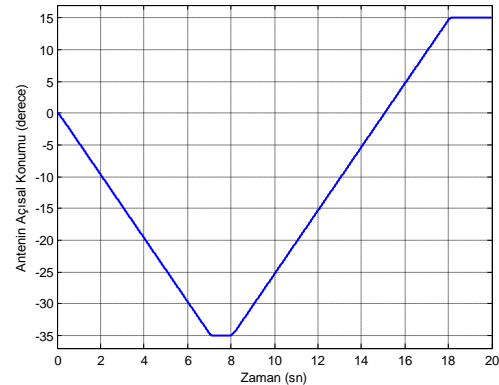
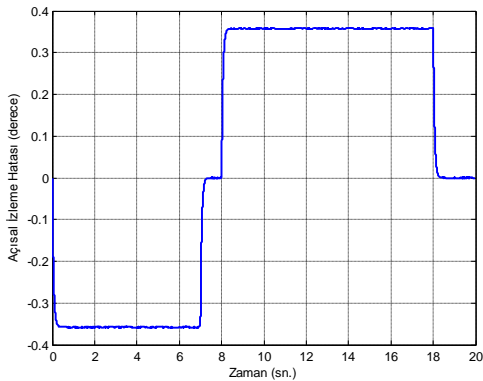
(a) Açısal İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

**Şekil 3.24** G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Senaryo 1 Çıktıları

Sonuçlardan görüldüğü üzere radar sistemi 6 saniye boyunca  $30^{\circ}$  lik açısal harekette bulunmuş tehdidi düzgün bir şekilde takip edebilmiştir.

**Senaryo 2:**

Hızı sabit olan bir tehdit açısal konumunu 7 saniyede  $0^{\circ}$  den  $-35^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Tehdit, 1 saniye açısal konumu koruduktan sonra ise açısal konumunu 10 saniyede  $-35^{\circ}$  den  $15^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra açısal konumunu  $15^{\circ}$  de kalacak şekilde korumaktadır. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.



(a) Açısal İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

**Şekil 3.25** G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Senaryo 2 Çıktıları



Tehdit ilk olarak radarın ilk merkez hattı açısız konumuna göre eksi yönde hareket etmiş daha sonra ise artı yönde hareketine devam etmiştir. Senaryo çıktılarına baktığımızda modelini oluşturduğumuz radar sisteminin her iki yönde de tehdidi başarı ile takip edebildiği gözlenmiştir.

### 3.2.2. Faz Karşılaştırmalı TDR Benzetim Modelleri

Bu başlık altında aşağıda belirtilen iki modelin tasarımının nasıl gerçekleştirildiği ve yapılan tasarımın ne gibi sonuçlar verdiği ele alınacaktır.

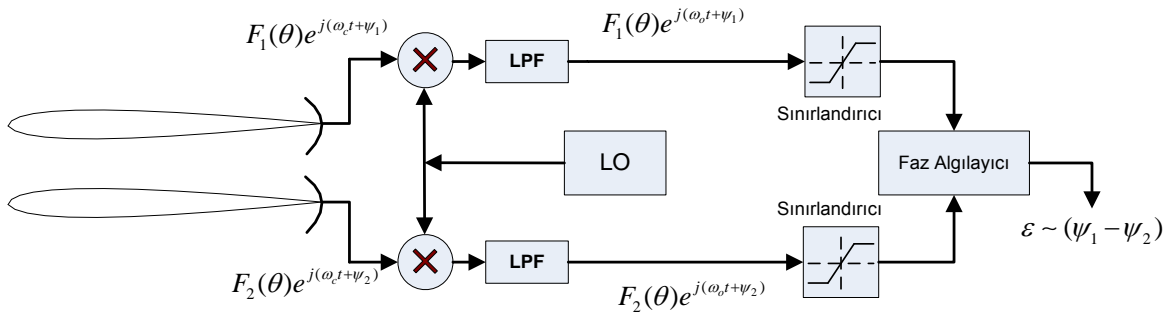
- Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR Modeli
- Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR Modeli

#### 3.2.2.1. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR Modeli

Bu başlık altında sırasıyla, gerekli TDR modeli oluşturulmuş ve ardından bu model kendi yapısına uygun çeşitli senaryolarda koşturulmuştur.

##### 3.2.2.1.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR, Modelin Oluşturulması

Radar sisteminin dinamik erimi sınırlı olduğu için sinyal işleme için gerekli gerilim seviyesinin üstündeki tüm sinyallerin belirli bir seviyeye kırılması gerekmektedir. Sınırlandırıcı, sinyalde belirtilen seviyenin üstünde oluşan istenmeyen gürültü, çevresel yansıma gibi oluşumları elimine etmek için kullanılmaktadır [Meikle, 2001].



**Şekil 3.26** Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR Modeli

Model yapısı Şekil 3.26' da verilmiş tekdarbe sistemi matematiksel olarak incelendiğinde sonuç aşağıdaki gibi olacaktır [Leonov, 1986]. Filtre sonrası elde edilen sinyaller şu şekildedir:

$$\begin{aligned} u_1(t, \theta) &= F_1(\theta)e^{j(\omega_0 t + \psi_1)} \\ u_2(t, \theta) &= F_2(\theta)e^{j(\omega_0 t + \psi_2)} \end{aligned} \quad (3.30)$$

( $F_1(\theta)$  ve  $F_2(\theta)$  genlik örüntüleri, kanaldan ya da anten kazançlarından dolayı farklı olabilir)

Sınırlandırıcı sonrası sinyaller ise Eş. 3.31' deki şekliyle ifade edilir:

$$\begin{aligned} u'_1(t, \theta) &= U_{\text{lim}} e^{j(\omega_0 t + \psi_1)} \\ u'_2(t, \theta) &= U_{\text{lim}} e^{j(\omega_0 t + \psi_2)} \end{aligned} \quad (3.31)$$

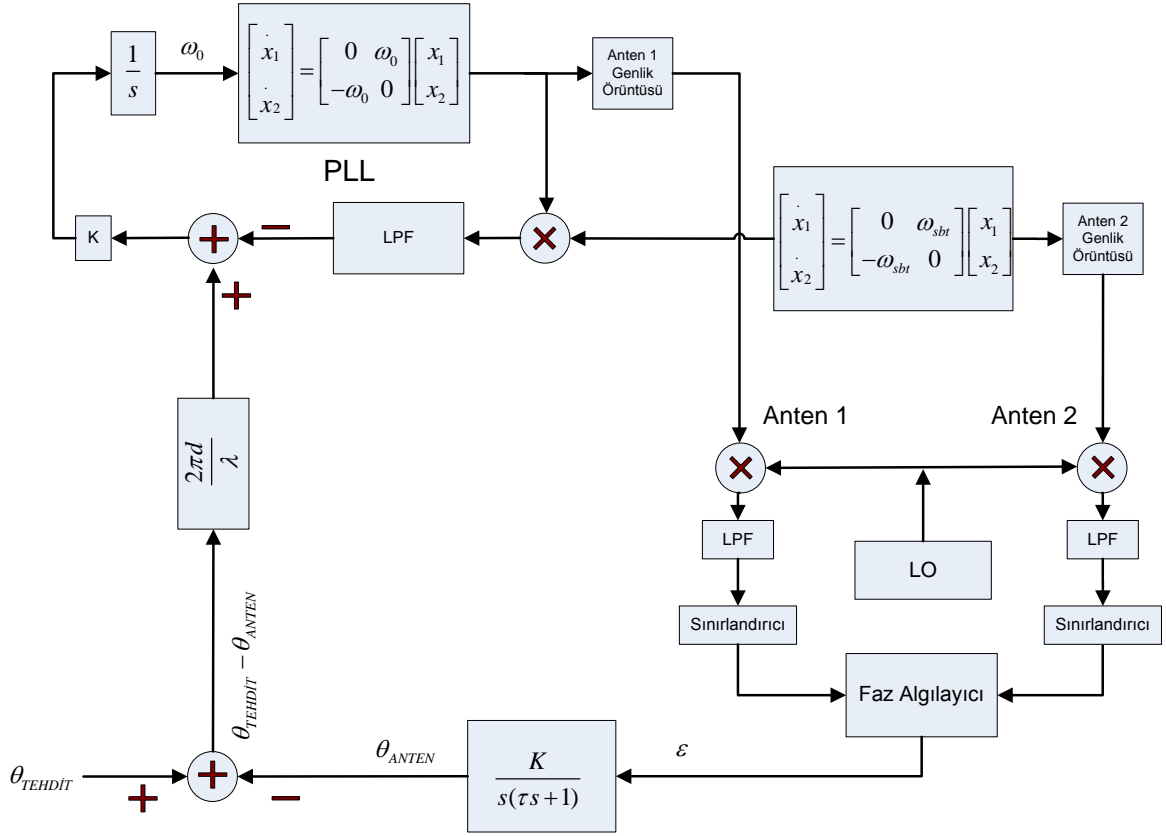
( $U_{\text{lim}}$ : Sınırlandırıcının eşik değeri)

Faz dedektöründe işlendikten sonra elde edilen hata sinyali ise şu şekildedir:

$$\varepsilon = K_{fd} U_{\text{lim}}^2 \sin(\psi_1 - \psi_2) \quad (3.32)$$

( $\Delta\phi$ : Antenlerden alınan sinyaller arası faz farkı,  $K_{fd}$ : Faz dedektörü kazancı)

Şekil 3.27' de faz - faz karşılaştırmalı (sınırlandırıcılı) TDR' nin benzetim modeli gösterilmektedir. Bu modelde "PLL" olarak ifade edilen kısım, birbirlerine göre faz farkı olan anten sinyallerini üretmeye yarar. Bu sinyaller tehdidin açılma konumu ile ilgili bilgiyi barındırmaktadır. Üretilen anten sinyalleri tekdarbe kısmından geçmekte ve sonuç olarak faz dedektöründen sinyallerin faz farkı ile ilintili hata sinyali üretilmektedir. Bu hata sinyali servo motor sürücüsünden geçer ve radar anteni merkez hattı açılma konumu bilgisi elde edilir. Son olarak da tehdit açılma konumu ile anten açılma konumu arasındaki açılma fark ile doğru orantılı faz farkı bilgisi (antenler arası mesafe, taşıyıcı frekans ile ilintili) tekrar PLL' ye iletilir ve PLL' nin bununla orantılı anten sinyallerini üretmesi sağlanır. Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

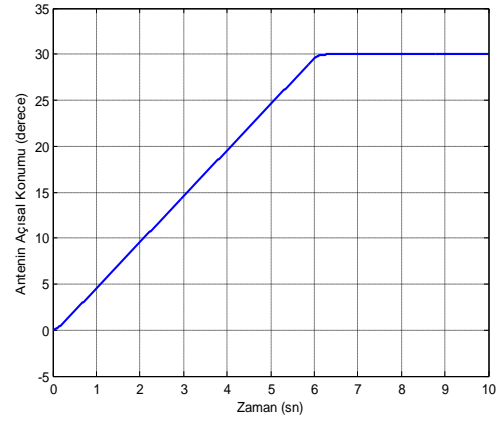
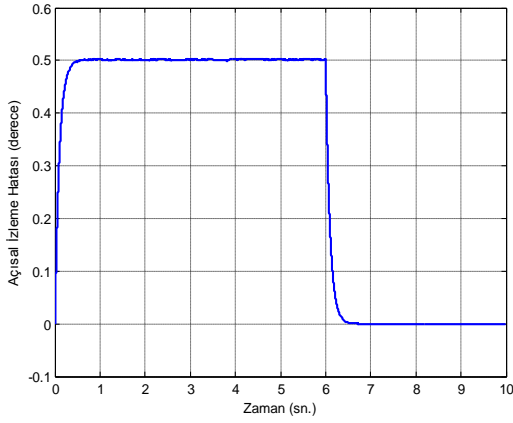


**Şekil 3.27** Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcılı) TDR, Benzetim Modeli

### 3.2.2.1.2. F-F (Sınırlandırıcılı) TDR, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması

#### Senaryo 1:

Hızı sabit olan bir tehdit açisal konumunu 6 saniyede  $0^{\circ}$  den  $30^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra konumunu  $30^{\circ}$  de kalacak şekilde korumaktadır. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.



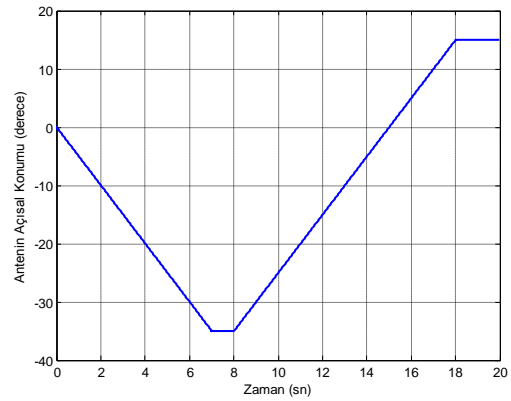
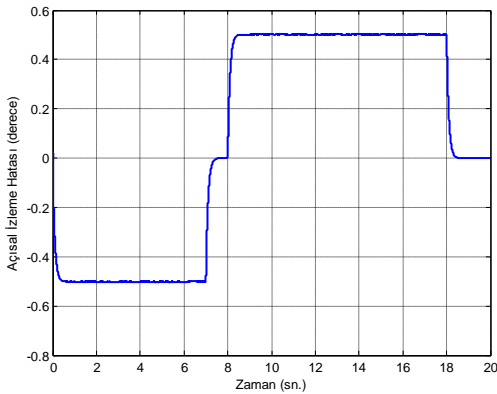
(a) Açısal İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

### Şekil 3.28 F-F (Sınırlandırıcılı) TDR, Senaryo 1 Çıktıları

Sonuçlardan görüldüğü üzere radar sistemi 6 saniye boyunca  $30^{\circ}$  lik açısal harekette bulunmuş tehdidi düzgün bir şekilde takip edebilmiştir.

### Senaryo 2:

Hızı sabit olan bir tehdit açısal konumunu 7 saniyede  $0^{\circ}$  den  $-35^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Tehdit, 1 saniye açısal konumu koruduktan sonra ise açısal konumunu 10 saniyede  $-35^{\circ}$  den  $15^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra açısal konumunu  $15^{\circ}$  de kalacak şekilde korumaktadır. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.



(a) Açısal İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

### Şekil 3.29 F-F (Sınırlandırıcılı) TDR, Senaryo 2 Çıktıları

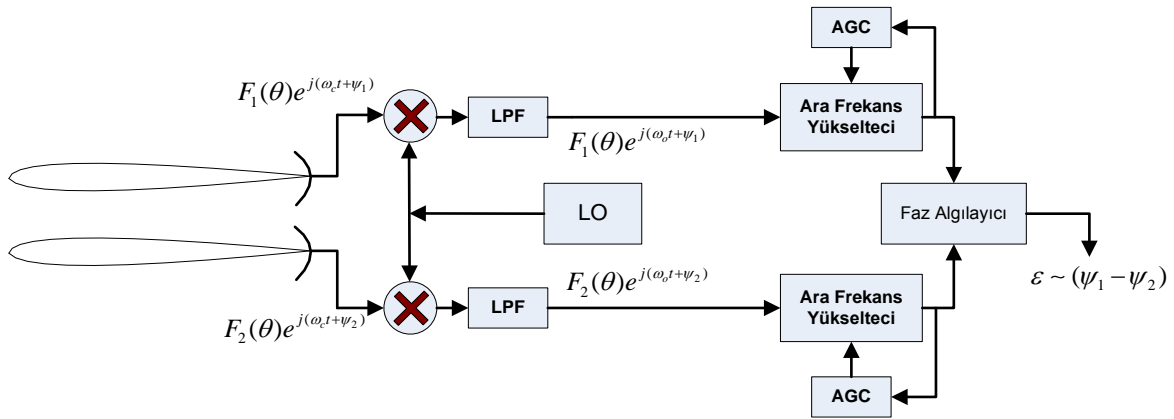
Senaryo çıktılarına baktığımızda modelini oluşturduğumuz radar sisteminin her iki yönde de tehdidi başarı ile takip edebilmiştir.

### 3.2.2.2. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR Modeli

Bu başlık altında sırasıyla, gerekli TDR modeli oluşturulmuş ve ardından bu model kendi yapısına uygun çeşitli senaryolarda koşturulmuştur.

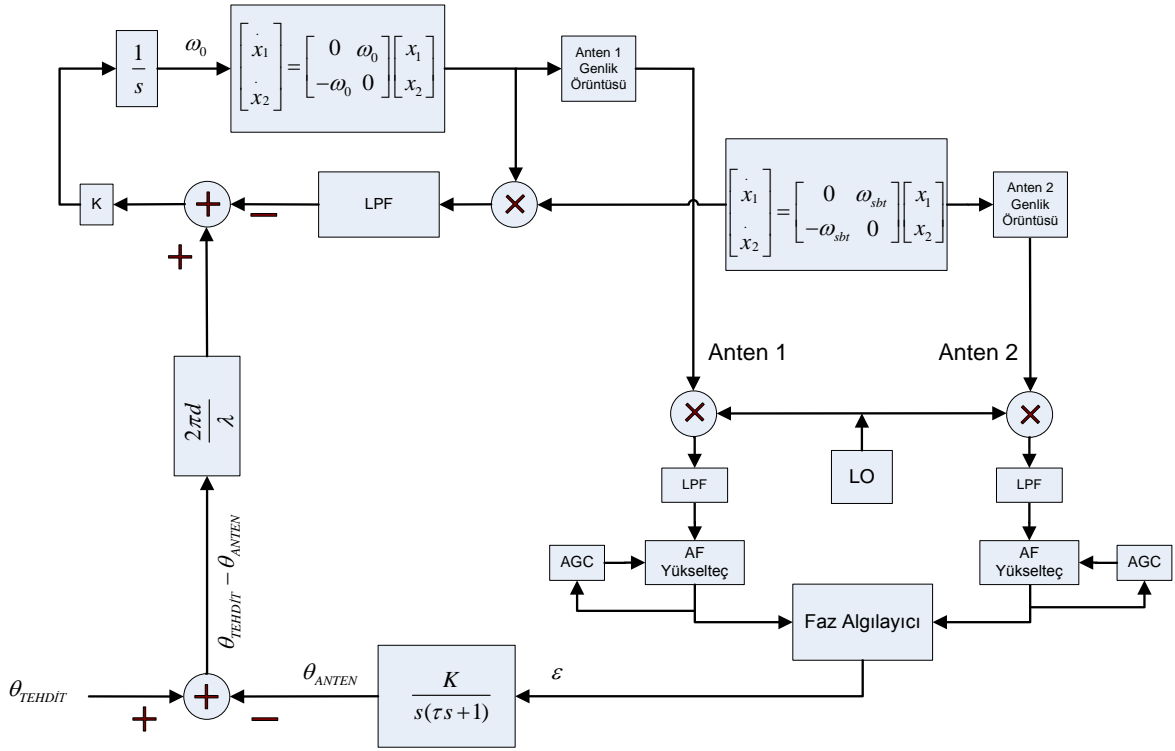
#### 3.2.2.2.1. F-F (AGC' li) TDR, Modelin Oluşturulması

Faz- Faz Karşılaştırmalı Radar sistemlerinde sinyal genliklerini düzgeleme yöntemlerinden bir diğeri ise sistemde otomatik kazanç devresinin (AGC) kullanılmasıdır. Burada AGC, her bir antenden gelen sinyal için anlık tepe değerini kontrol etmekte ve sinyali değişken bir kazanç ile çarpıp her bir sinyali faz dedektörü birimine göndermektedir. Şekil 3.30' da AGC' li TDR sistemi gösterilmektedir [Leonov, 1986]. Modelin faz - faz karşılaştırmalı (sınırlandırıcı) TDR modelinden tek farkı sınırlandırıcı yerine AGC' li bir arafrekans yükseltece sahip olmasıdır.



**Şekil 3.30** Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR Modeli

Şekil 3.31' de faz - faz karşılaştırmalı (AGC' li) TDR 'ının benzetim modeli gösterilmektedir. Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

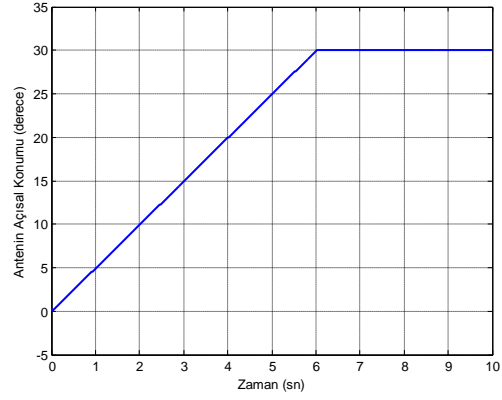
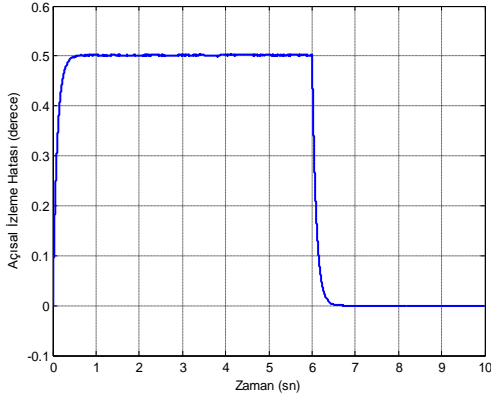


**Şekil 3.31** Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Benzetim Modeli

### 3.2.2.2.2. F-F (AGC' li) TDR, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması

#### Senaryo 1:

Hızı sabit olan bir tehdit açisal konumunu 6 saniyede  $0^{\circ}$  den  $30^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra konumunu  $30^{\circ}$  de kalacak şekilde korumaktadır. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.



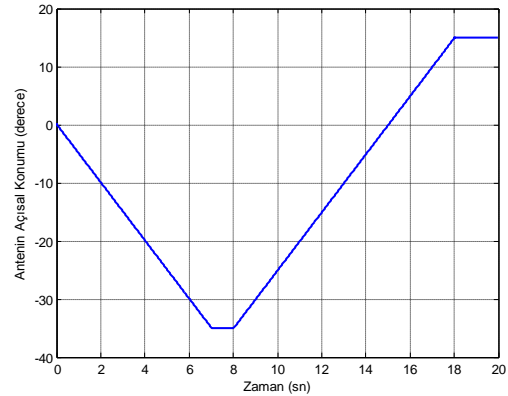
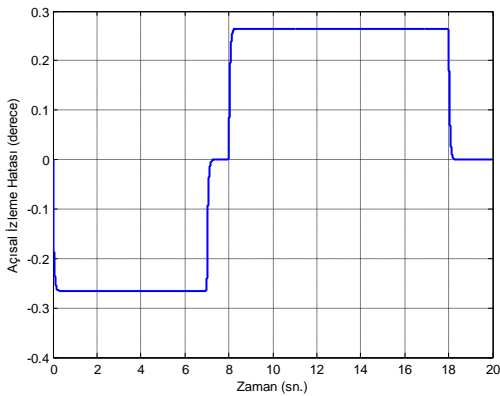
(a) Açısal İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

### Şekil 3.32 F-F (AGC' li) TDR, Senaryo 1 Çıktıları

Sonuçlardan görüldüğü üzere radar sistemi 6 saniye boyunca  $30^{\circ}$  lik açısal harekette bulunmuş tehdidi düzgün bir şekilde takip edebilmiştir.

### Senaryo 2:

Hızı sabit olan bir tehdit açısal konumunu 7 saniyede  $0^{\circ}$  den  $-35^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Tehdit, 1 saniye açısal konumu koruduktan sonra ise açısal konumunu 10 saniyede  $-35^{\circ}$  den  $15^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra konumunu  $15^{\circ}$  de kalacak şekilde korumaktadır. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.



(a) Açısal İzleme Hatası Değişim Grafiği (b) Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

### Şekil 3.33 F-F (AGC' li) TDR, Senaryo 2 Çıktıları

Senaryo ıktılarına baktığımızda modelini oluşturduğumuz radar sisteminin her iki yönde de tehdidi başarı ile takip edebildiği gözlenmiştir.



#### 4. TEK DARBELİ RADAR KARIŞTIRMA TEKNİKLERİ

Elektronik Karşı Tedbirler (EKT), düşmanın elektromanyetik izgesinden faydalanan tüm sistem ya da alt sistemlerinin aldatılmasına yönelik bir faaliyettir. EKT Elektronik harbin üç bileşeninden bir tanesidir. Radar uygulamalarında EKT tekniklerinin temel amacı, radar sisteminin hatalı sinyal almasını sağlamak ya da sinyal almasını tamamen engellemektir. EKT taktik ve teknikleri çeşitli başlıklar altında gruplandırılabilir. Bunlar;

Elektromanyetik enerji yayınının yapılmasına ya da yapılmamasına göre,

- Aktif EKT Teknikleri
- Pasif EKT Teknikleri

Radarin elde edeceği hangi parametrenin yanıtılacağına göre,

- Açık Ölçüm Yanıltma EKT Teknikleri
- Menzil Ölçüm Yanıltma EKT Teknikleri
- Hız Ölçüm Yanıltma EKT Teknikleri

Hangi tip radara karşı EKT tekniklerinin uygulanacağına göre,

- Arama (Surveillance) Radarlarına Karşı
- Takip (Tracking) Radarlarına Karşı

olacak şekilde gruplandırılabilirler [Leonov, 1986].

EKT teknikleri temel olarak hem gürültü karıştırma hem de aldatici karıştırma tekniklerinden oluşmaktadır. Modern EKT sistemleri birçok farklı türdeki radar sistemleriyle başa çıkmak için özel olarak tasarlanmışlardır.

Bilindiği üzere TDR sistemleri açısal takip radarlarıdır. Bu yüzden tez çalışması sırasında oluşturulan radar modelleri için uygulanan tedbir teknikleri de açı ölçüm yanıltma EKT teknikleridir. Açık ölçüm EKT teknikleri, tehdidin açısal doğrultu bilgisinin hem arama hem de takip radar sistemleri tarafından yanlış algılanmasını hedefleyen tekniklerdir.

TDR sistemlerine karşı oluşturulmuş açısız karıştırma teknikleri iki başlık altında toplanabilir. Bunlar;

- TDR sistemi tasarımı ve üzerinde kullanılan donanım zayıflıklarından faydalanılarak radar sinyali algılamasının bozulmasıdır. Bu grupta; Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Etek-Frekans Karıştırması ve İmge Frekans Karıştırması gibi teknikler bulunmaktadır.
- İkinci grupta ise birden fazla karıştırma noktası bulunan ve bu sayede gerçek açı bilgisini barındıran sinyali bozarak karıştırma tekniği uygulayan yöntemler bulunmaktadır. Bu grupta; Kırpışma Karıştırması, Şaşı Karıştırma, Formasyon Karıştırması ve Araziden Yansıtımlı Karıştırma teknikleri bulunmaktadır.

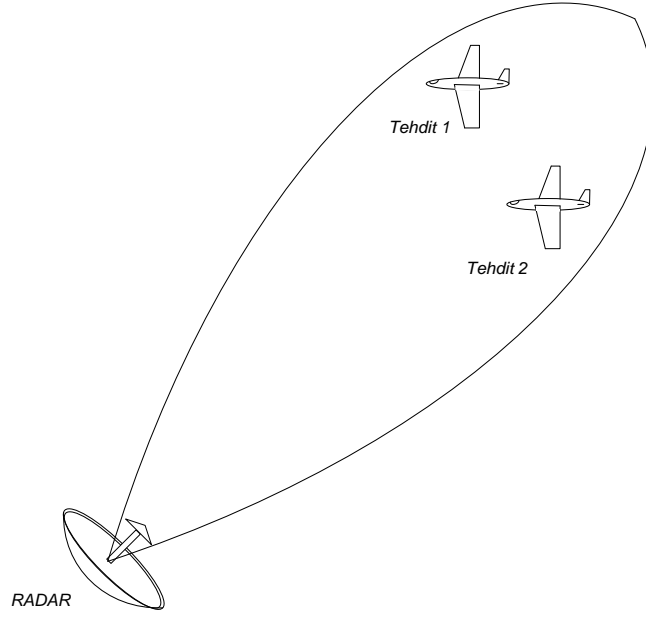
Bölüm 3 içerisinde anlatılan dört tip TDR modeline uygulanıp başarımlarının değerlendirileceği karıştırma tekniklerini şu şekilde sıralanabilir:

- Formasyon Karıştırması
- Araziden Yansıtımlı Karıştırma
- Kırpışma Karıştırması
- Çapraz Kutuplanma Karıştırması
- Şaşı Karıştırma

Yukarıda bahsedilen her bir karıştırma tekniği, oluşturulan tüm TDR modelleri için uygulanacak ve ne gibi sonuçlar verdiği gözlemlenecektir.

#### **4.1 Formasyon Karıştırması**

Formasyon karıştırması, radar sistemi antenlerinin oluşturduğu hüzmeye hücre içerisinde birden fazla tehdit olduğu durumlarda ortaya çıkan bir karıştırma tekniğidir. Her ne kadar bir karıştırma tekniği olarak adlandırılrsa da aslında hücre içerisinde yer alan tehditler aktif olarak bir karıştırma sinyali uygulamamaktadır ve bu yüzden bu teknik bir “tedbir” olarak adlandırılrsa daha doğru olur [Adamy, 2001]. Şekil 4.1’ de hüzmeye hücre içerisinde kalan tehditler ve radar sistemi gösterilmektedir.



**Şekil 4.1** Formasyon Karışırması Tekniği

TDR hüzme hücrelerinden geri yansıyan sinyaller radar sistemi antenleri tarafından toplanmakta ve sistemlerin içerisinde yer alan açı dedektörleri dönen bu sinyallerin ağırlıklı ortalamalarıyla orantılı bir hata sinyali üretmektedir. Böylece, bu tür bir tedbir altında, radarın yönlendireceği bir füze tehditlere değil, iki tehdidin arasına yönelecektir.

Her bir radar modelinin bu karışırma tekniği karşısında nasıl sonuç verdiği aşığıdaki başlıklar altında anlatılmaktadır.

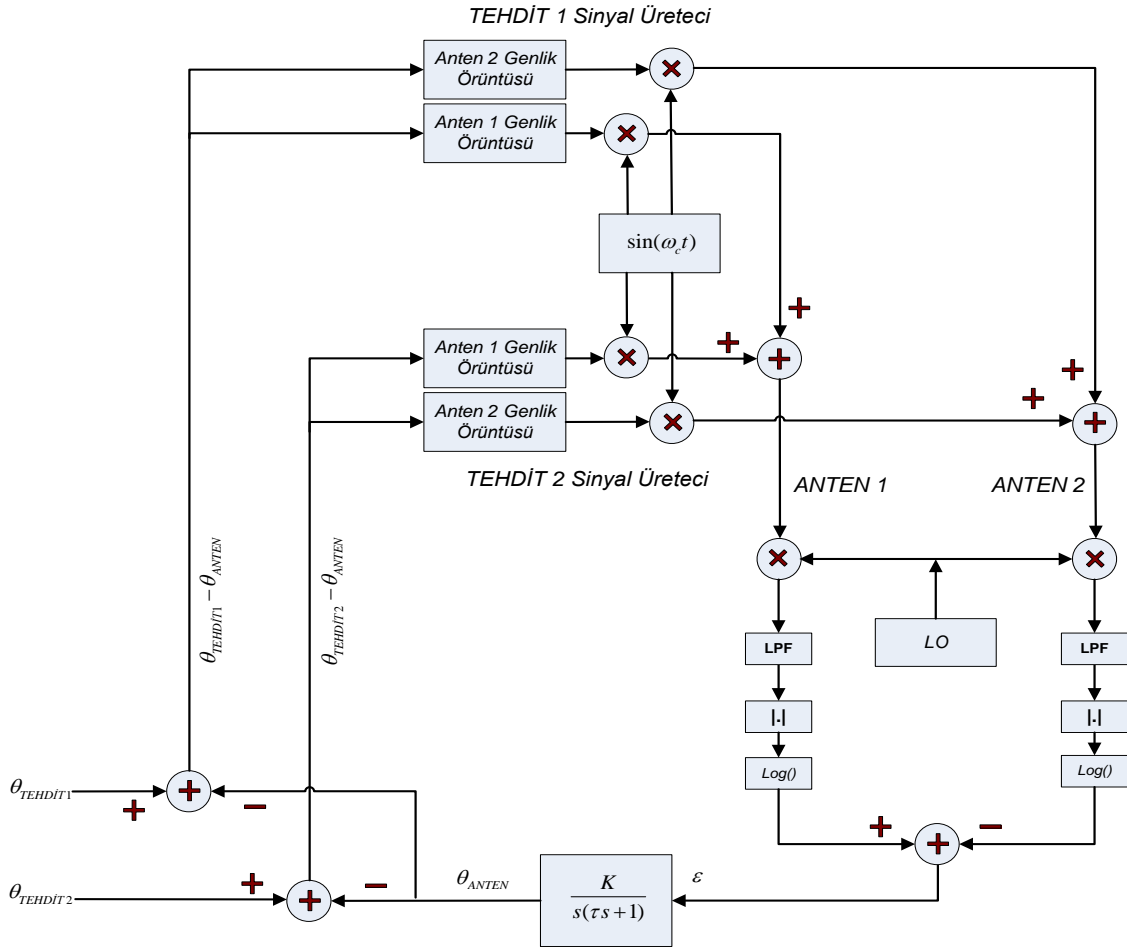
#### **4.1.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Formasyon Karışırması**

Bu başlık altında, uygulanacak karışırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından çeşitli senaryolar altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

#### 4.1.1.1. G-G (Log) TDR Formasyon Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

Bu tür TDR' lara karşı formasyon karıştırması tekniğinin nasıl sonuç vereceğini görmek için tasarlanan modele iki (ya da daha fazla) tehdidin tanıtılması gerekmektedir. Her bir tehdit sinyali üretme bloğu referans tehdit açısai doğrultu bilgisini ayrı referanslardan alacaktır. Şekil 4.2' de ikinci tehdit için gerekli blokların eklendiği model yapısı gösterilmektedir.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

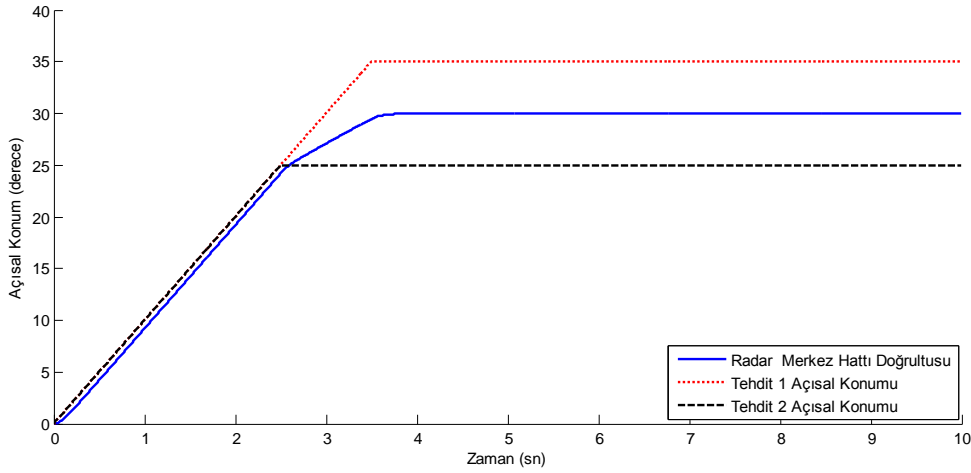


Şekil 4.2 Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Formasyon Karıştırması Benzetim Modeli

#### 4.1.1.2. G-G (Log) TDR Formasyon Karıştırması, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan birinci tehdit açısal konumunu 3.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $35^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Yine açısal hızı sabit ve birinci tehditle aynı olan ikinci tehdit ise açısal konumunu 2.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $25^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra tehditler açısal konumları sabit kalacak şekilde durmaktadırlar. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir. TDR üzerinde yer alan her bir antenin hüzme genişliği (3dB)  $10^{\circ}$  ve şaşılık açısı  $3^{\circ}$  dir.



**Şekil 4.3** G-G (Log) TDR Formasyon Karıştırması Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

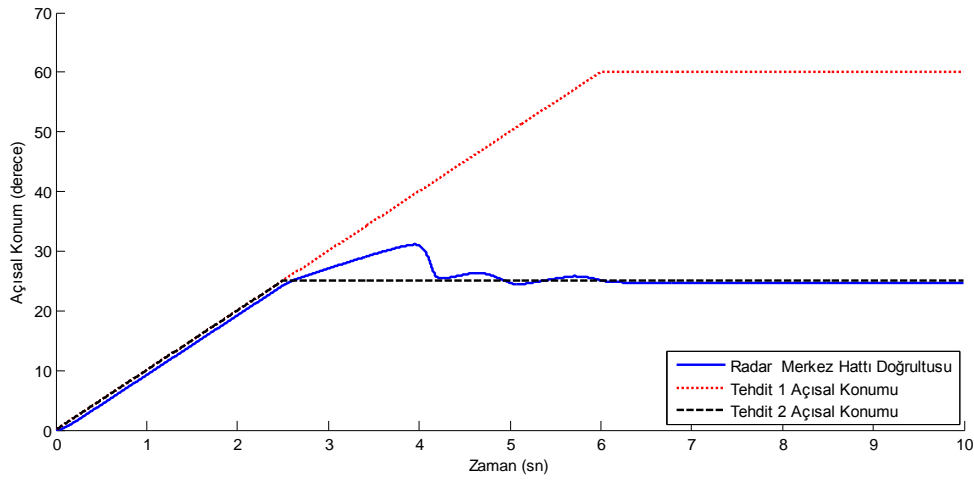
Anten açısal konum grafiğinden de görüldüğü üzere “Tehdit 2”  $25^{\circ}$  de “Tehdit 1” ise  $35^{\circ}$  de açısal konumlarını korumuşlardır. Radar sistemi merkez hattı da bu iki tehditten dönen sinyallerin ağırlıklı sinyal merkezi olan  $30^{\circ}$  konumunu sabitlemiştir.

Grafik sonuçlarına göre, hüzme hücresi içerisinde kalan birden fazla tehdidin bulunduğu senaryolarda, radar sisteminin tehdidin doğru açısal konumunu bulma yeteneğinin formasyon karıştırması tekniği ile aldatılabileceği gözükmemektedir.

İki tehditli senaryolarda, tehditlerden bir tanesinin hüzme hücresi içerisinde kalmadığı durumlarda ne gibi sonuçların ortaya çıkacağı ise “Senaryo 2” de incelenmiştir.

## Senaryo 2:

Açısal hızı sabit olan birinci tehdit açısal konumunu 6 saniyede  $0^{\circ}$  den  $60^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Yine açısal hızı sabit ve birinci tehditle aynı olan ikinci tehdit ise açısal konumunu 2.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $25^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra tehditler açısal konumları sabit kalacak şekilde durmaktadırlar. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.



**Şekil 4.4** G-G (Log) TDR Formasyon Karıştırması, Senaryo 2 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

Bu senaryodaki antenin açısal konum değişim grafiğine incelendiğinde, 2.5 saniye ile 4. saniyeler arasında radar sisteminin her iki tehditten gelen sinyalleri göz önünde bulundurarak bir izleme yaptığını ortaya çıkmaktadır. Ancak 4. Saniyede “Tehdit 1” radar hüzmeye hücrelerini terk etmiş ve bunun sonucu olarak da radar sistemi “Tehdit 2” yi takip etmeye başlamıştır. Radar merkez hattı doğrultusunun hemen denge durumuna geçememesinin nedeni “Tehdit 1” in anten yankulaklarında radar sistemini etkilemeye devam etmesinden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak görülmektedir ki, formasyon karıştırması tekniği genlik - genlik karşılaştırmalı (log yükselteçli) TDR modelinde düzgün olarak işlevini yerine getirmiş ve başarılı sonuç vermiştir. Ancak formasyon karıştırması için her iki platformun da izleme hüzmeleri içinde kalmasının gerektiği unutulmamalıdır.

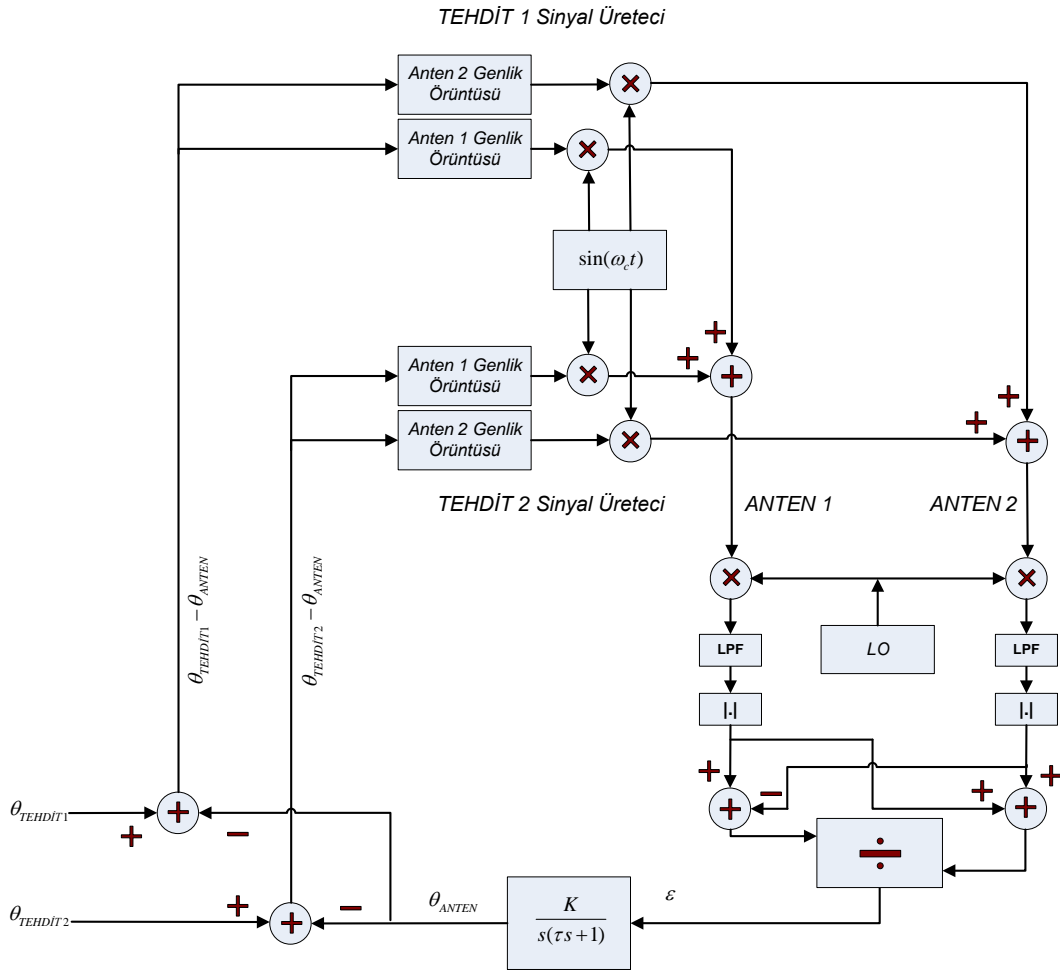
#### **4.1.2. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Formasyon Karıştırması**

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### **4.1.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Formasyon Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması**

Bu radar modelinde de yine önceki genlik modelinde olduğu gibi modele iki (ya da daha fazla) tehdidin tanıtılması gerekmektedir. Şekil 4.5' de ikinci tehdit için gerekli blokların eklendiği model yapısı gösterilmektedir.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.



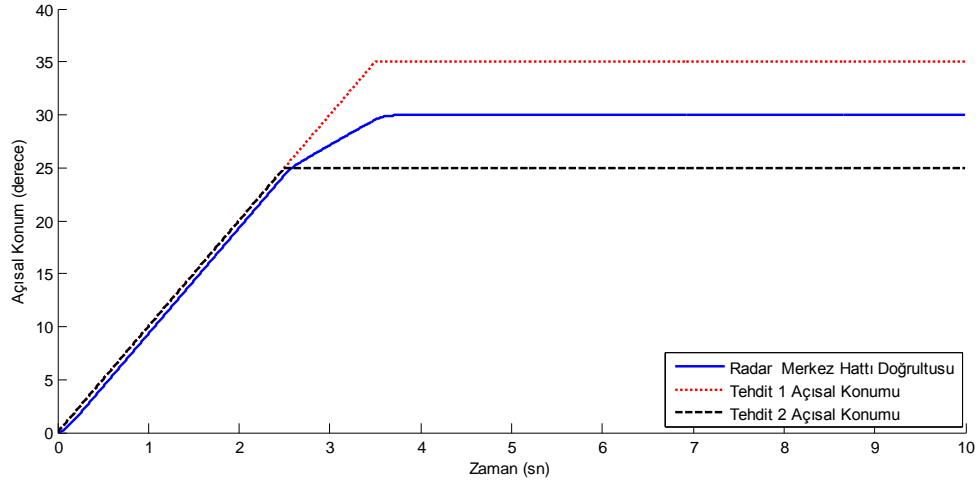
**Şekil 4.5** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Formasyon Karıştırması Benzetim Modeli

#### 4.1.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Formasyon Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan birinci tehdit açısal konumunu 3.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $35^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Yine açısal hızı sabit ve birinci tehditle aynı olan ikinci tehdit ise açısal konumunu 2.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $25^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra tehditler açısal konumları sabit kalacak şekilde durmaktadırlar. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.





**Şekil 4.6** G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Formasyon Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

Sonuçlara bakıldığında, formasyon karıştırma tekniğinin genlik - genlik (toplam sinyaline düzgelenmiş) karşılaştırmalı TDR modelinde düzgün olarak işlevini yerine getirdiği ve başarılı sonuç verdiği gözlenmiştir.

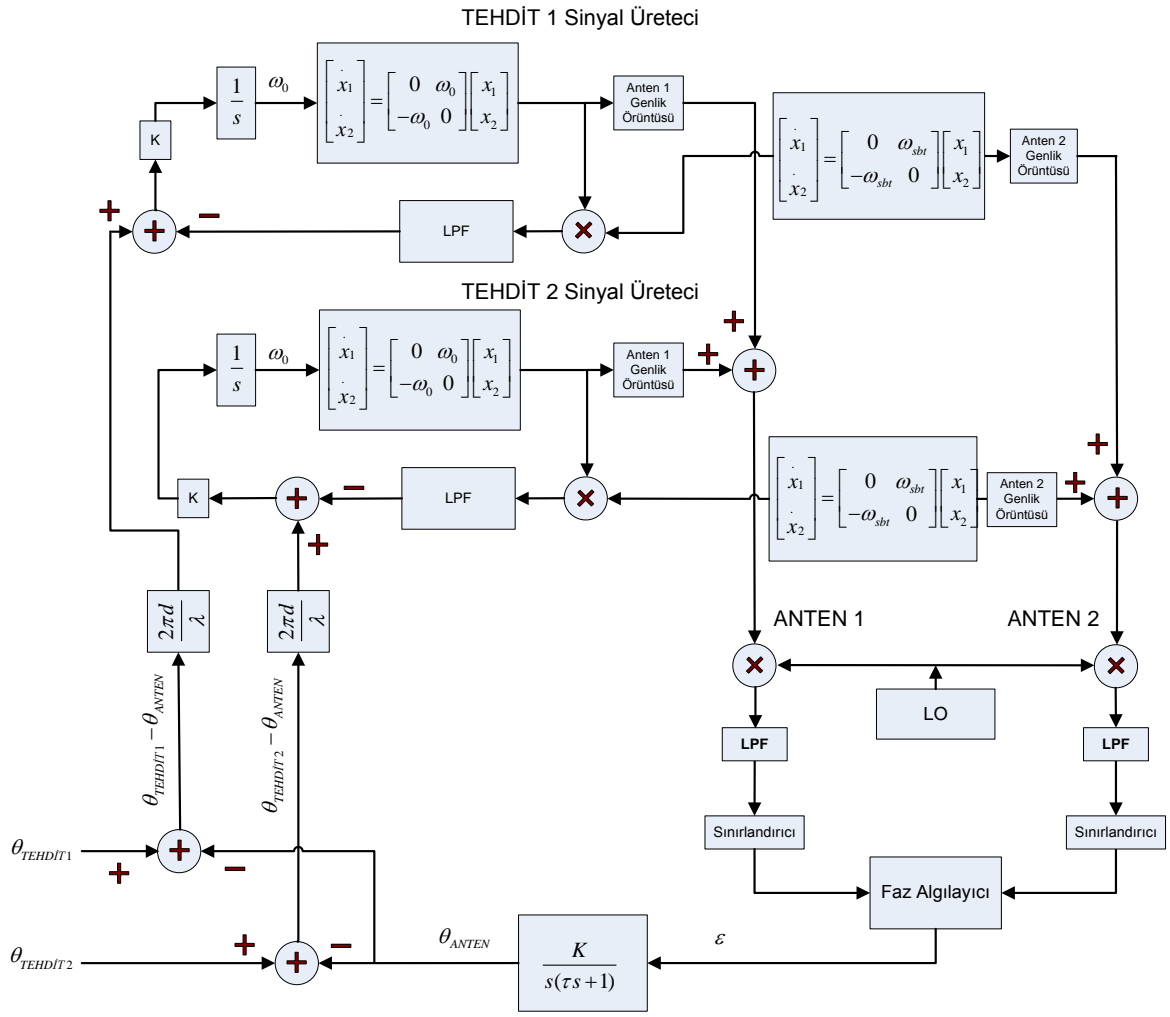
#### 4.1.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Formasyon Karıştırması

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### 4.1.3.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Formasyon Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

İkinci tehdit bloğunun tanımlandığı radar modeli Şekil 4.7' de gösterilmektedir.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

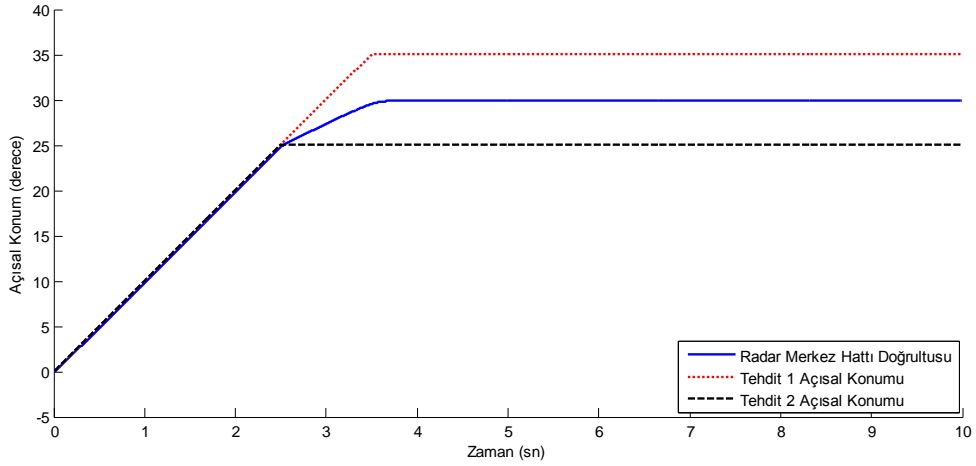


**Şekil 4.7** Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcılı) TDR, Formasyon Karıştırması Benzetim Modeli

#### 4.1.3.2. F-F (Sınırlandırıcılı) TDR Formasyon Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan birinci tehdit, açısal konumunu 3.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $35^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Yine açısal hızı sabit ve birinci tehditle aynı olan ikinci tehdit ise açısal konumunu 2.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $25^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra tehditler, açısal konumları sabit kalacak şekilde durmaktadırlar. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.



**Şekil 4.8** F-F (Sınırlandırıcı) TDR Formasyon Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

Sonuçlara bakıldığında, Formasyon Karıştırması tekniğinin faz - faz karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR modelinde düzgün olarak işlevini yerine getirdiği ve başarılı sonuç verdiği gözlenmiştir.

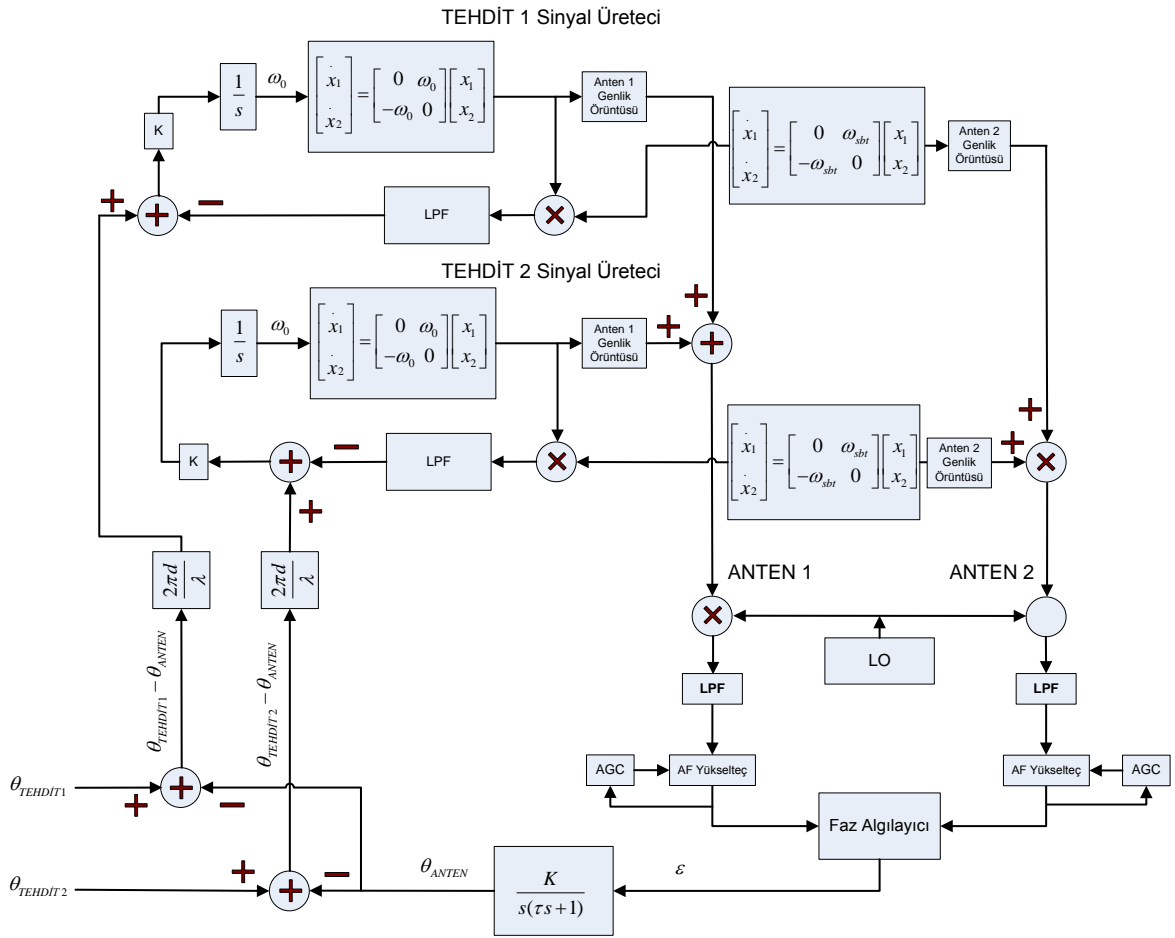
#### 4.1.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Formasyon Karıştırması

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### 4.1.4.1. F-F (AGC' li) TDR Formasyon Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

İkinci tehdit bloğunun tanımlandığı radar modeli Şekil 4.9' da gösterilmektedir.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden oluşturulmuştur.

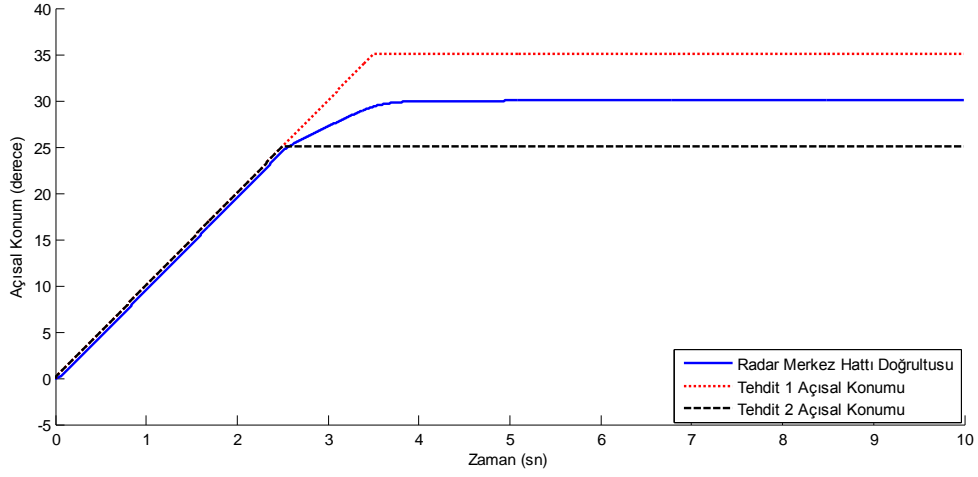


**Şekil 4.9** Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Formasyon Karıştırması Benzetim Modeli

#### 4.1.4.2. F-F (AGC' li) TDR Formasyon Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan birinci tehdit açısal konumunu 3.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $35^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Yine açısal hızı sabit ve birinci tehditle aynı olan ikinci tehdit ise açısal konumunu 2.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $25^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. Daha sonra tehditler açısal konumları sabit kalacak şekilde durmaktadırlar. Radar sistemi (sabit radar) antenin ilk merkez hattı ise  $0^{\circ}$  dedir.



**Şekil 4.10** F-F (AGC' li) TDR Formasyon Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

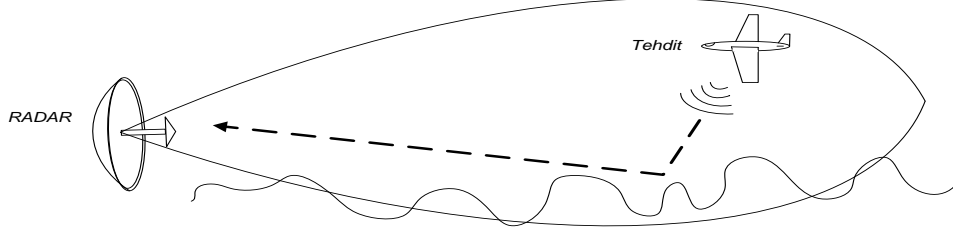
Sonuçlara bakıldığında, formasyon karıştırması tekniğinin faz - faz karşılaştırmalı (AGC' li) TDR modelinde düzgün olarak işlevini yerine getirdiği ve başarılı sonuç verdiği gözlenmiştir.

Formasyon karıştırması için, kritik olanın her iki radar hedefinin hüzme içinde kalması olduğu, TDR yapısının önemli olmadığı görülmektedir. Formasyon karıştırması, her türlü izleme radarına karşı etkili bir karşı tedbirdir.

#### 4.2. Araziden Yansıtımlı Karıştırma

Araziden yansıtımlı karıştırma, radar sistemi antenlerinin oluşturduğu hüzme hücresi içerisinde bulunan tehdidin, eko sinyaline göre daha güçlü bir sinyali yine bu hücre içerisinde kalacak şekilde bir noktadan yansıtarak göndermesi tekniğidir [Adamy, 2001]. Bu sayede radar sistemi karıştırılır ve radar sahte bir tehdide yöneltilmiş olunur.

Bu karıştırma tekniğinde tehdit aktif olarak ortama bir sinyal uygulamaktadır yani aktif EKT tekniğidir. Şekil 4.11' de hüzme hücresi içerisinde kalan tehdit, yansıtılan karıştırma sinyali ve radar sistemi gösterilmektedir.



**Şekil 4.11** Araziden Yansıtımlı Karıştırma Tekniği

#### **4.2.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Araziden Yansıtımlı Karıştırma**

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından çeşitli senaryolar altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### **4.2.1.1. G-G (Log) TDR Araziden Yansıtımlı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması**

Bu tür TDR' lara karşı araziden yansıtımlı karıştırma tekniğinin nasıl sonuç vereceğini görmek için tasarlanan modele iki (ya da daha fazla) yayıcının (emitter) tanıtılması gerekmektedir.

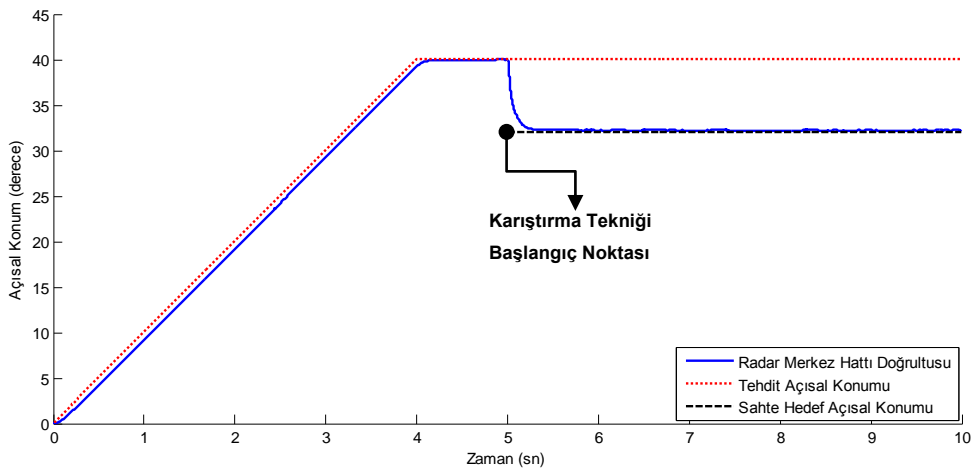
Formasyon karıştırması için kullanılan genlik - genlik karşılaştırmalı (log yükselteçli) TDR blok yapısı bu karıştırma tekniği için de aynen kullanılacaktır, tek fark karıştırma sinyalini modelleyen yayıcı sinyal çıkışının karıştırma sinyali kazanç katsayısı ile çarpılmasıdır.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

#### 4.2.1.2. G-G (Log) TDR Araziden Yansıtımlı Karıştırma, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit açısal konumunu 4 saniyede 0°' den 40°' ye doğru değiştirmektedir. 1 saniye konumu bu açıda koruduktan sonra kendinden 8° daha düşük açısal konumda yer alan noktadan karıştırma sinyalini (eko sinyaline göre genliği 20 kat daha yüksek) yansıtarak uygulamaya başlamaktadır.



**Şekil 4.12** G-G (Log) TDR Araziden Yansıtımlı Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

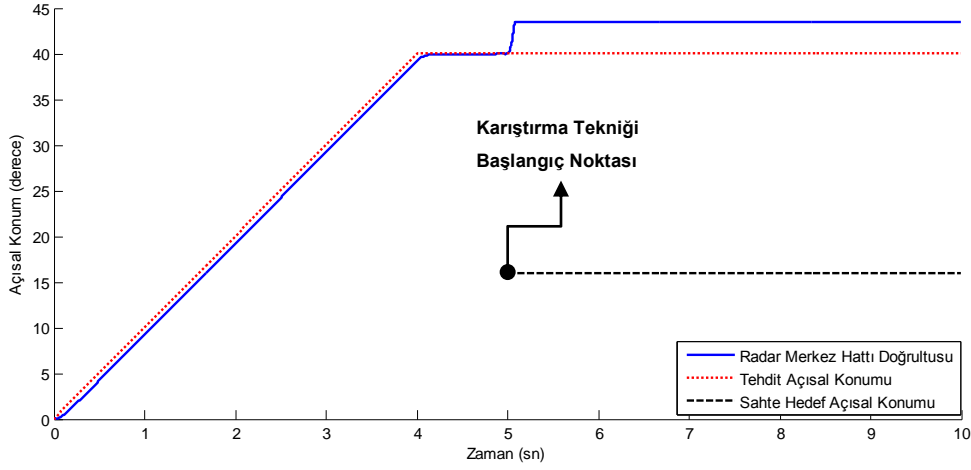
Grafik sonuçlarına göre, karıştırma sinyali tehdit tarafından uygulandığında, radar sisteminin karıştırma sonucu oluşan sahte tehdidi takip etmeye başladığı görülmüştür. Karıştırma tekniği bu radar modeli için başarılı sonuç vermiştir. Ortaya çıkan başarılı sonuç araziden yansıyan sinyalin hedef ekosundan güçlü olmasına bağlıdır.

Yansıtılarak gönderilecek karıştırma sinyalinin hüzme hücresi içerisinde kalmadığı durumlarda ne gibi sonuçların ortaya çıktığı ise "Senaryo 2" de incelenmiştir.

##### Senaryo 2:

Açısal hızı sabit olan tehdit açısal konumunu 4 saniyede 0°' den 40°' ye doğru değiştirmektedir. 1 saniye konumu bu açıda koruduktan sonra kendinden 24° daha

düşük açısız konumda yer alan noktadan karıştırma sinyalini (eko sinyaline göre genliği 20 kat daha yüksek) yansıtarak uygulamaya başlamaktadır.



**Şekil 4.13** G-G (Log) TDR Araziden Yansıtılmalı Karıştırma, Senaryo 2 Çıktısı,  
Radar Merkez Hattı Açısız Konum Değişim Grafiği

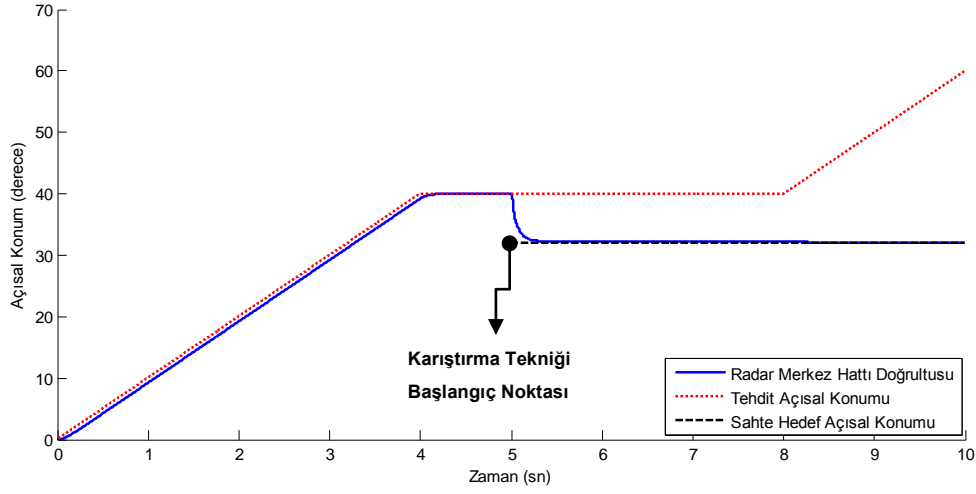
Senaryo sonuçlarına bakıldığında, hüzme hücresi içerisinde kalmayan karıştırma sinyalinin radar merkez hattını başarılı bir şekilde üzerine çekemediği bu yüzden de karıştırma tekniğinin başarılı bir sonuç veremediği gözlenmiştir. Ancak karıştırma sinyali yankulaklardan radar sistemini etkilemeye devam ettiği için radar merkez hattını pozitif yönde belirli bir açı kadar ötelemiştir.

Son olarak “Senaryo 3” de, radar hüzme hücresi içerisinde kalacak şekilde karıştırma tekniğinin uygulanmaya başlanıp, ardından tehdidin bu hücreden çıkma çabasının ne gibi sonuçlar vereceği gözlenecektir.

### Senaryo 3:

Açısız hızı sabit olan tehdit açısız konumunu 4 saniyede 0° den 40° ye doğru değiştirmektedir. 1 saniye konumu bu açıda koruduktan sonra kendinden 8° daha düşük açısız konumda yer alan noktadan karıştırma sinyalini (eko sinyaline göre genliği 20 kat daha yüksek) yansıtarak uygulamaya başlamaktadır. Son olarak karıştırma tekniği uygulanmaya devam ederken, tehdit açısız konumu 3 saniyede 40° den 70° ye doğru değiştirmiştir.





**Şekil 4.14** G-G (Log) TDR Araziden Yansıtımlı Karıştırma, Senaryo 3 Çıktısı,  
Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

“Senaryo 3” sonucu görülmüştür ki, karıştırma sinyalinin ilk yansıtılacağı nokta hücre içerisinde kalıp tehdit hücreyi terk ettiğinde, radar sistemi sahte tehdidi takip etmeye devam etmiştir. Bu sonuç, tehdidin bu teknikle radar takibini kırabileceğini göstermiştir.

#### **4.2.2. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Araziden Yansıtımlı Karıştırma**

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### **4.2.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Araziden Yansıtımlı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması**

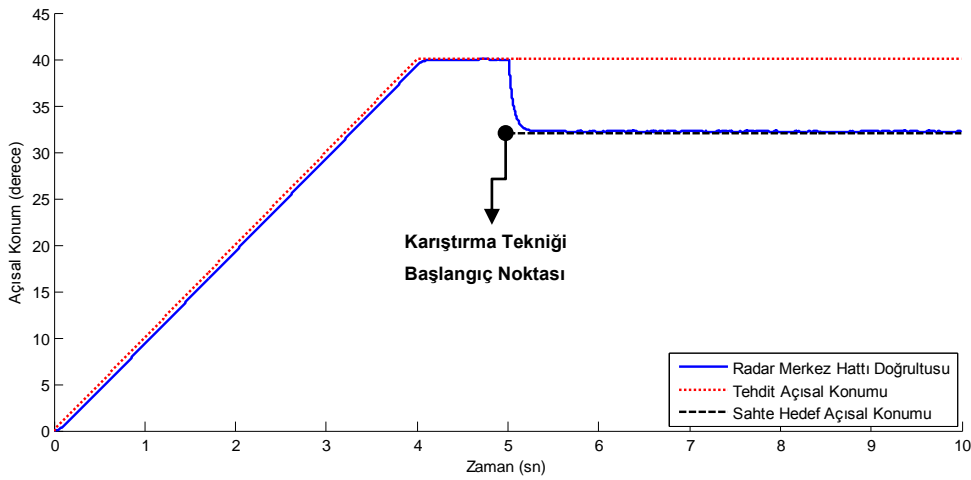
Formasyon karıştırması için kullanılan genlik - genlik (log yükselteçli) karşılaştırmalı TDR blok yapısı bu karıştırma tekniği için de aynen kullanılacaktır.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra senaryo bu kod üzerinden oluşturulmuştur.

#### 4.2.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Araziden Yansıtmalı Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit, açısal konumunu 4 saniyede  $0^{\circ}$  den  $40^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. 1 saniye konumu bu açıda koruduktan sonra kendinden  $8^{\circ}$  daha düşük açısal konumda yer alan noktadan karıştırma sinyalini (eko sinyaline göre genliği 20 kat daha yüksek) yansıtarak uygulamaya başlamaktadır.



**Şekil 4.15** G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Araziden Yansıtmalı Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

Grafik sonuçlarına göre, karıştırma sinyali tehdit tarafından uygulandığında, radar sisteminin karıştırma sonucu oluşan sahte tehdidi takip etmeye başladığı görülmüştür. Karıştırma tekniği bu radar modeli için de başarılı sonuç vermiştir.

#### 4.2.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Araziden Yansıtmalı Karıştırma

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

#### 4.2.3.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Araziden Yansıtmalı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

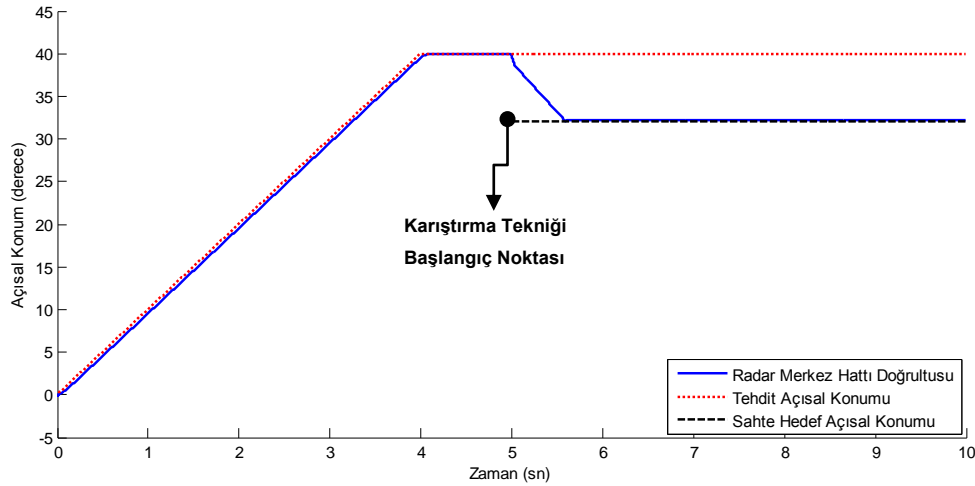
Formasyon karıştırması için kullanılan Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR blok yapısı bu karıştırma tekniği için de aynen kullanılacaktır.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

#### 4.2.3.2. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Araziden Yansıtmalı Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit açısal konumunu 4 saniyede  $0^{\circ}$  den  $40^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. 1 saniye konumu bu açıda koruduktan sonra kendinden  $8^{\circ}$  daha düşük açısal konumdan bir karıştırma sinyalini (eko sinyaline göre genliği 20 kat daha yüksek) yansıtarak uygulamaya başlamaktadır.



**Şekil 4.16** F-F (Sınırlandırıcı) TDR Araziden Yansıtmalı Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

Grafik sonuçlarına göre, karıştırma sinyali tehdit tarafından uygulandığında, radar sisteminin karıştırma sonucu oluşan sahte tehdidi takip etmeye başladığı görülmüştür. Karıştırma tekniği bu radar modeli için başarılı sonuç vermiştir.

#### **4.2.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Araziden Yansıtımlı Karıştırma**

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### **4.2.4.1. F-F (AGC' li) TDR Araziden Yansıtımlı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması**

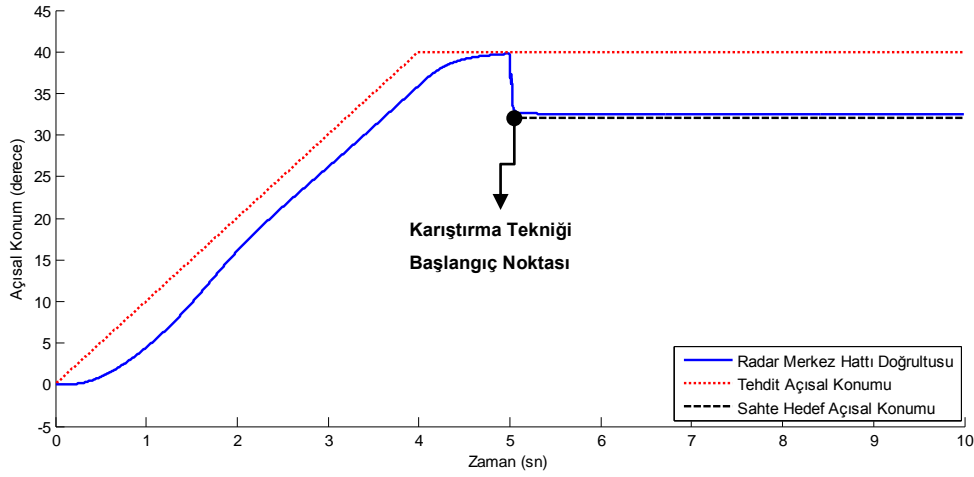
Formasyon karıştırması için kullanılan Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR blok yapısı bu karıştırma tekniği için de aynen kullanılacaktır.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

##### **4.2.4.2. F-F (AGC' li) TDR Araziden Yansıtımlı Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması**

#### **Senaryo 1:**

Açısal hızı sabit olan tehdit açısal konumunu 4 saniyede 0° den 40° ye doğru değiştirmektedir. 1 saniye konumu bu açıda koruduktan sonra kendinden 8° daha düşük açısal konumdan bir karıştırma sinyalini (eko sinyaline göre genliği 7 kat daha yüksek) yansıtarak uygulamaya başlamaktadır. Sistemde yer alan AGC' nin yanıt hızı yavaş olduğu için "karıştırma sinyali genliği/eko sinyali genliği" oranı 20 yerine 7 olacak şekilde seçilmiştir.



**Şekil 4.17** F-F (AGC' li) TDR Araziden Yansıtımlı Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

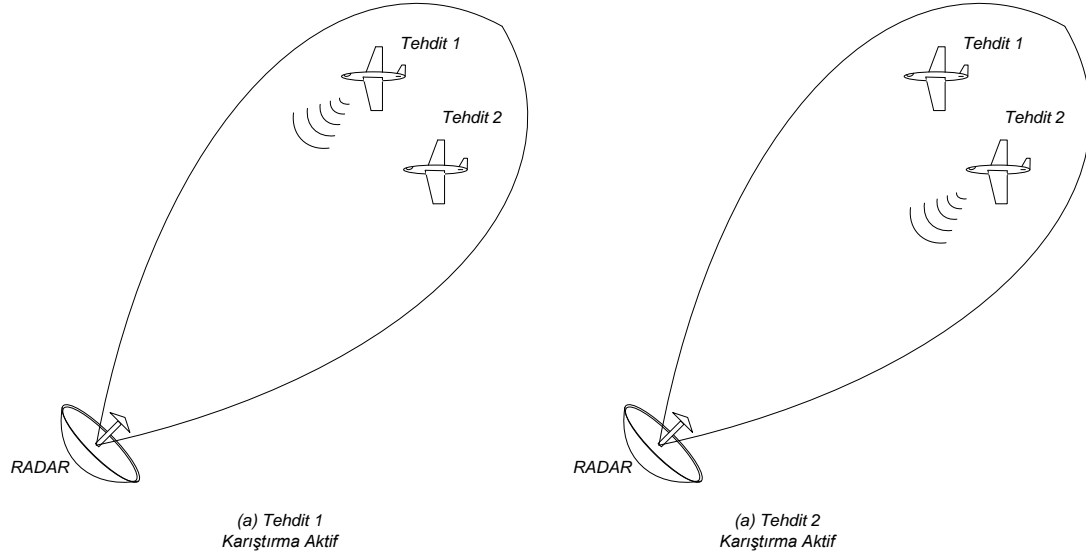
Grafik sonuçlarına göre, karıştırma sinyali tehdit tarafından uygulandığında, radar sisteminin karıştırma sonucu oluşan sahte tehdidi takip etmeye başladığı görülmüştür. Karıştırma tekniği bu radar modeli için başarılı sonuç vermiştir ancak radarın tehdit açısı takibinde AGC' den kaynaklı olarak belirli bir miktar geciktiği benzetim sonuçlarından gözükmektedir. Buna göre faz – faz karşılaştırmalı TDR' de sınırlandırıcı kullanmak AGC kullanmaya göre daha avantajlıdır.

### 4.3. Kırpışma Karıştırması

Kırpışma karıştırması (blinking jamming), radar sistemi antenlerinin oluşturduğu hüzmeye hücrenin içerisinde birden fazla tehdit olduğu durumlarda uygulanabilecek bir karıştırma tekniğidir. Hüzmeye içerisine kalan tehditler, belirli bir sıklıkta olacak şekilde sırasıyla ortama eko sinyalinden daha güçlü olacak şekilde karıştırma sinyali uygularlar. Radar sistemi her seferinde karıştırma sinyalini yayan tehdide yönelmeyi tercih edeceği için karıştırmanın sıklık değeri ile ilgili olarak, radar bir salınım hareketinde bulunacaktır [Adamy, 2001].

Bu teknik tekdarbe yapısına sahip radarlara karşı kullanılan en etkili EKT tekniklerindendir bir tanesidir. Bu karıştırma tekniğinin dezavantajı, en uygun kırpışma frekansı değeri seçiminin zor olmasıdır. Yine de en çok kullanılan aralık 0.1 – 10 Hz arası kırpışma frekansı seçiminin yapılmasıdır [Hoon, 1989]. Etkili karıştırma için kırpışma frekansı, TDR servo bant genişliğinden daha yüksek seçilmelidir.

Şekil 4.18' de hüzme hücrei içerisinde kalan tehditler ve radar sistemi gösterilmektedir.



**Şekil 4.18** Kırpışma Karışırması Tekniği

#### **4.3.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Kırpışma Karışırması**

Bu başlık altında, uygulanacak kırpışma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından çeşitli senaryolar altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### **4.3.1.1. G-G (Log) TDR Kırpışma Karışırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması**

Bu tür TDR' lara karşı kırpışma kırışırması tekniğinin nasıl sonuç vereceğini görmek için önceki iki kırışırma tekniğinde olduğu gibi tasarlanan modele iki (ya da daha fazla) yayıcının (emitter) tanıtılması gerekmektedir.

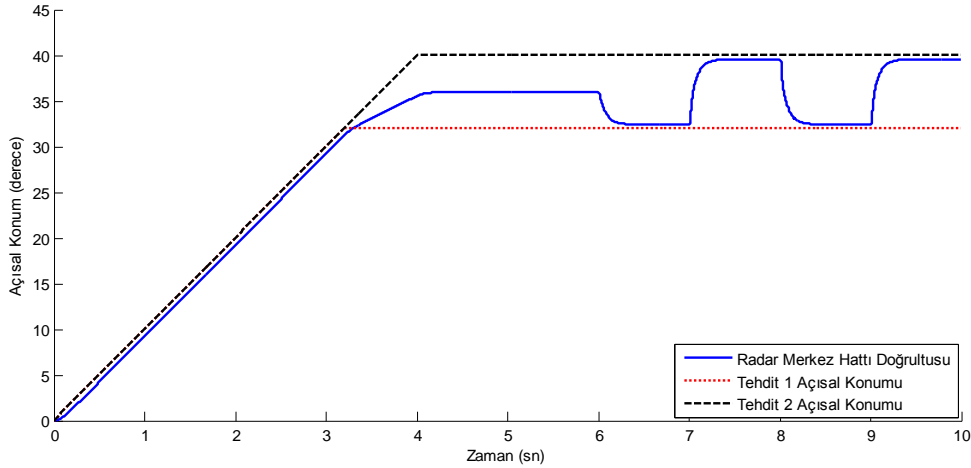
Formasyon kırışırması için kullanılan genlik - genlik karşılaştırmalı (log yükselteçli) TDR blok yapısı bu kırışırma tekniği için de aynen kullanılacaktır, tek fark kırışırma sinyalini modelleyen tehdit kaynaklı yayıcı sinyal çıkışlarının o anki kırışırma sinyali kazanç katsayısı ile çarpılmasıdır.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

#### 4.3.1.2. G-G (Log) TDR Kırpışma Karıştması, Modelin Çeşitli Senaryolarla Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit 1, açısal konumunu 4 saniyede 0° den 40° ye doğru, tehdit 2 ise açısal konumunu 3.2 saniyede 0° den 32° ye doğru değiştirmektedir. 6. saniyeden itibaren ise kırpışma karıştması tekniği aktif hale getirilmektedir. Kırpışma frekansı 0.5 Hz' dir.



**Şekil 4.19** G-G (Log) TDR Kırpışma Karıştması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

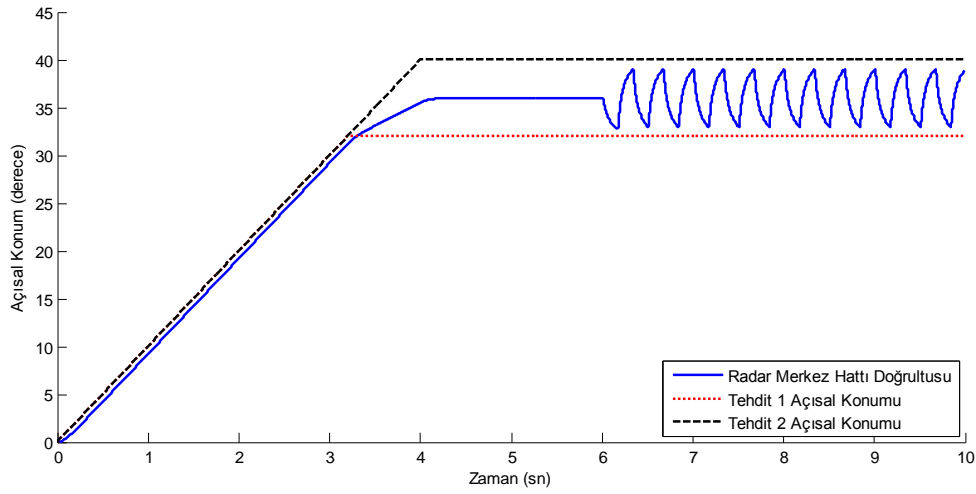
Grafik sonuçlarına bakıldığında, uygulanan kırpışma karıştması tekniğinin frekansı ile alakalı olarak radar anteni merkez hattı, belirli süreler boyunca tehditlerden bir tanesi üzerinde kalmıştır. Kırpışma karıştması tekniğinde temel amaç, radar anteni merkez hattının tehditlerden herhangi biri üzerine gelmesine izin vermeden, arada kalan güvenli açısal bölge içerisinde salınımını yapmasını sağlamaktır.

“Senaryo 2” içerisinde, aynı koşullar altında ancak daha yüksek frekanslarda kırpışma karıştması uygulandığında nasıl sonuçlar elde edileceği incelenecektir.

## Senaryo 2:

Açısal hızı sabit olan tehdit 1 açısal konumunu 4 saniyede 0°' den 40°' ye doğru, tehdit 2 ise açısal konumunu 3.2 saniyede 0°' den 32°' ye doğru değiştirmektedir. 6. saniyeden itibaren ise kırpışma karıştırması tekniği aktif hale getirilmektedir. Bu senaryo içerisinde kırpışma karıştırması tekniğinin kırpışma frekansının 3, 10, 50 Hz olma durumlarında ne gibi sonuçların ortaya çıktığı incelenecektir.

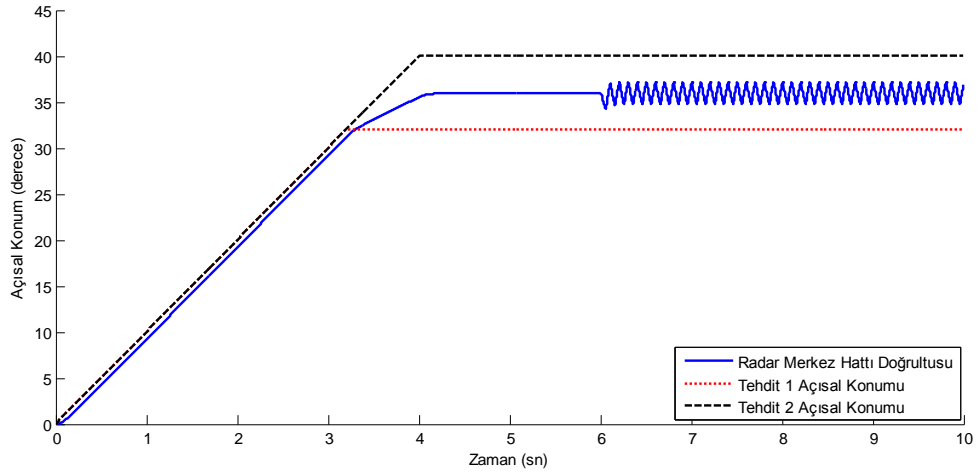
### a) Kırpışma karıştırması frekansı = 3 Hz



**Şekil 4.20** G-G (Log Yükselteçli) TDR Kırpışma Karıştırması, Senaryo 2-a Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

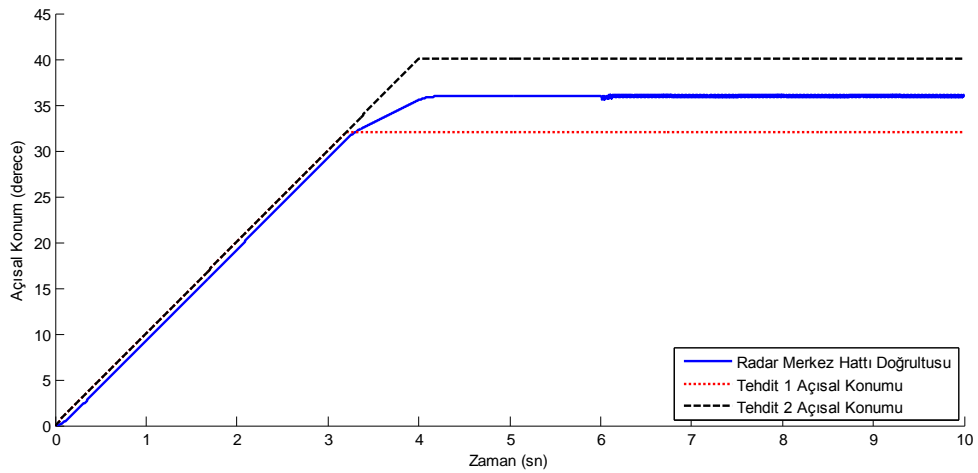


b) Kırışma karışırması frekansđ = 10 Hz



Şekil 4.21 G-G (Log Yükselteçli) TDR Kırışma Karışırması, Senaryo 2-b Çıktısı,  
Radar Merkez Hattđ Açısal Konumu Değişim Grafiği

c) Kırışma karışırması frekansđ = 50 Hz



Şekil 4.22 G-G (Log Yükselteçli) TDR Kırışma Karışırması, Senaryo 2-c Çıktısı,  
Radar Merkez Hattđ Açısal Konumu Değişim Grafiği

Bu senaryo içerisinde yer alan her üç karışırma tekniği sonucunda görölmektedir ki, karışırma sinyali kırışma frekansđ arttıkça radar anteni merkez hattının yaptđı salınım aralığı giderek azalmıştır. Kırışma frekansđ 2Hz' den 10Hz' e geçmesi sonucu ise merkez hattđ salınım aralığının tehdit konumlarından tamamen ayrıldığı

gözlenmiştir ve bunun sonucu olarak tehditler kendini güvenli bir bölgeye almayı başarmışlardır.

Kırpışma frekansının 50Hz olması sonucu ise salınım aralığı çok fazla düşmüş ve radar anteni merkez hattının hareketi, formasyon karıştırması sonucu radarın verdiği tepkiye benzer bir tepki vermeye başlamıştır.

Karıştırma tekniği bu radar modeli için başarılı sonuç vermiştir. Ancak kırpışma frekansının servo bant genişliğinden büyük seçilmesi başarılı bir sonuç elde etmek için gereklidir.

#### **4.3.2. Genlik - Genlik (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) Karşılaştırmalı TDR, Kırpışma Karıştırması**

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### **4.3.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Kırpışma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması**

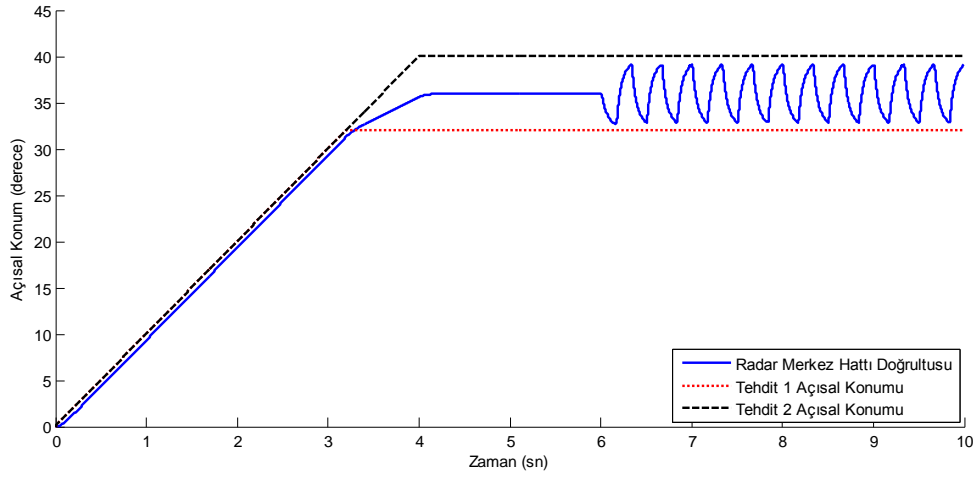
Formasyon karıştırması için kullanılan genlik - genlik (toplam sinyaline düzgelenmiş) Karşılaştırmalı TDR blok yapısı bu karıştırma tekniği için de aynen kullanılacaktır.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

##### **4.3.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Kırpışma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması**

#### **Senaryo 1:**

Açısal hızı sabit olan tehdit 1 açısal konumunu 4 saniyede 0°' den 40°' ye doğru, tehdit 2 ise açısal konumunu 3.2 saniyede 0°' den 32°' ye doğru değiştirmektedir. 6. saniyeden itibaren ise kırpışma karıştırması tekniği aktif hale getirilmektedir. Kırpışma frekansı 3 Hz' dir.



**Şekil 4.23** G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Kırpışma Karışırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

Karışırma tekniği bu radar modeli için başarılı sonuç vermiştir.

#### 4.3.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcılı) TDR, Kırpışma Karışırması

Bu başlık altında, uygulanacak karışırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### 4.3.3.1. F-F (Sınırlandırıcılı) TDR Kırpışma Karışırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

Formasyon karışırması için kullanılan Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcılı) TDR blok yapısı bu karışırma tekniği için de aynen kullanılacaktır.

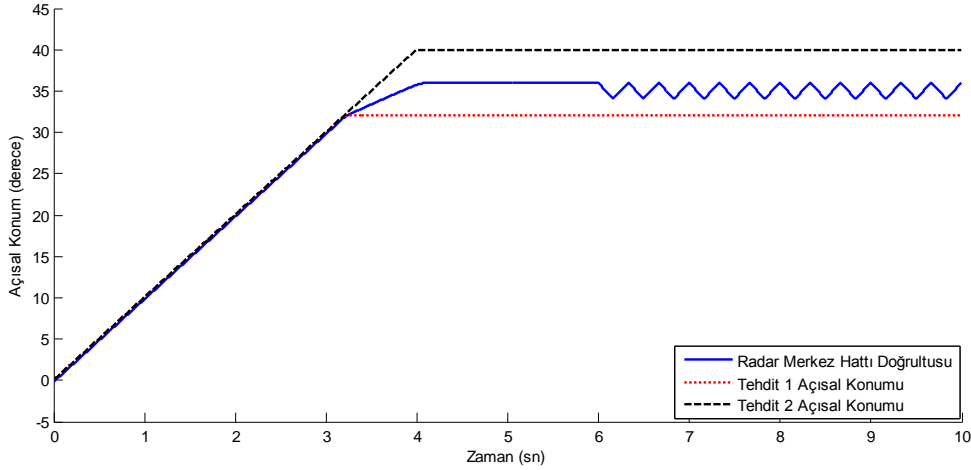
Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

##### 4.3.3.2. F-F (Sınırlandırıcılı) TDR Kırpışma Karışırması, Modelin Senaryoda Koşturulması

#### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit 1 açısal konumunu 4 saniyede 0° den 40° ye doğru, tehdit 2 ise açısal konumunu 3.2 saniyede 0° den 32° ye doğru değiştirmektedir.

6. saniyeden itibaren ise kırpışma karışırması tekniği aktif hale getirilmektedir. Kırpışma frekansı 3 Hz' dir.



**Şekil 4.24** F-F (Sınırlandırıcılı) TDR Kırpışma Karışırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

Karışırma tekniği bu radar modeli için başarılı sonuç vermiştir.

#### 4.3.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Kırpışma Karışırması

Bu başlık altında, uygulanacak karışırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### 4.3.4.1. F-F (AGC' li) TDR Kırpışma Karışırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

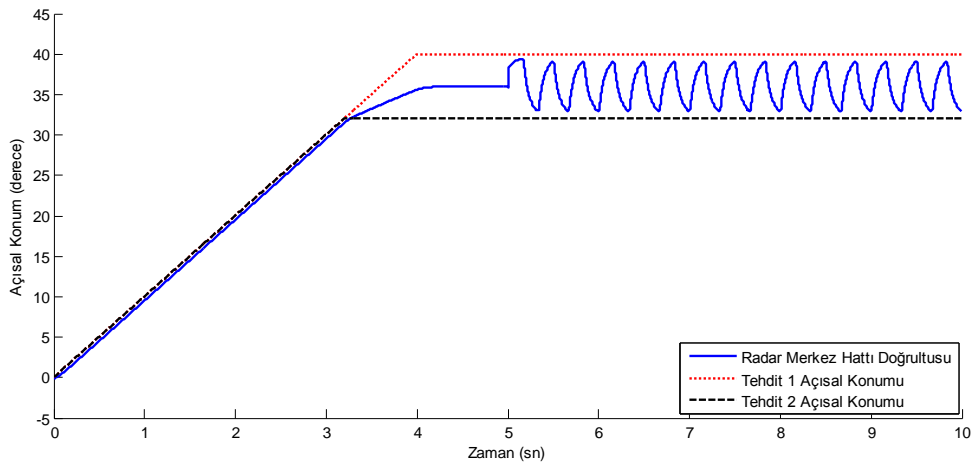
Formasyon karışırması için kullanılan Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR blok yapısı bu karışırma tekniği için de aynen kullanılacaktır.

Bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

#### 4.3.4.2. F-F (AGC' li) TDR Kırışma Karışırması, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit 1 açısal konumunu 4 saniyede 0° den 40° ye doğru, tehdit 2 ise açısal konumunu 3.2 saniyede 0° den 32° ye doğru değiştirmektedir. 6. saniyeden itibaren ise kırışma karışırması tekniği aktif hale getirilmektedir. Kırışma frekansı 3Hz' dir.



**Şekil 4.25** F-F (AGC' li) TDR Kırışma Karışırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

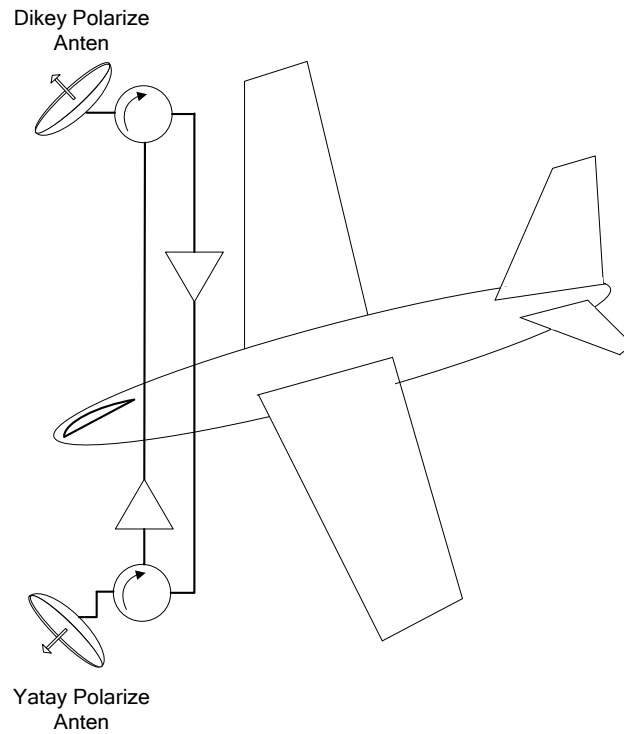
Karışırma tekniği bu radar modeli için başarılı sonuç vermiştir.

Faz - faz karşılaştırmalı (AGC' li) TDR modelinde AGC' nin yanıt hızının yavaş olmasından dolayı "karışırma sinyali genliği / eko sinyali genliği" oranı 10 yerine 5 alınmıştır ve bu farkın dışında, karışırma tekniğinin tüm 4 model için de başarılı sonuç verdiği görülmüştür. Ancak "karışırma sinyali genliği / eko sinyali genliği" oranına hassasiyet görüldüğü üzere AGC' li faz- faz karşılaştırmalı sistemlerde problem olduğu için, bu tip TDR' larda sınırlandırıcılı içeren sistemler AGC içerenlere göre daha avantajlıdır. Uygun karışırmanın ve karışırma sonucu oluşan merkez hattı salınımının kırışma frekansı ile ilintili olduğu oluşturulan çeşitli senaryoların sonucunda anlaşılmıştır.

#### 4.4. Çapraz Kutuplanma Karıştırması

Çapraz kutuplanma karıştırması, radar sisteminde kullanılan antenlerin eş kutuplanmada ve çapraz kutuplanmada anten örüntülerinin farklı olmasını avantaja çeviren bir karıştırma tekniğidir [Neri, 2006].

Radar sistemi içerisinde bulunan açı ayrıştırma biriminin çapraz polarize sinyallere, eş polarize sinyallerde olduğu gibi yanıt vermediği durumlar olabilir. Radar sisteminin bu zafiyetini avantaja çevirmek için kullanılan karıştırma tekniklerinden bir tanesi de çapraz kutuplanma karıştırma tekniğidir. Çapraz kutuplanma karıştırması tekniğini kullanan tehdit; kendisine yatay polarize gelen sinyali kazanç devresinden geçirip dikey kutuplanmada, dikey polarize gelen sinyali kazanç devresinden geçirip yatay kutuplanmada radara geri göndermektedir. Bu sayede genlik kiplemeli sinyal üzerinde yer alan anlamlı bilgiler tahrip edilir. Şekil 4.26 de hüzmeye içerisinde kalan tehditler ve radar sistemi gösterilmektedir.



Şekil 4.26 Çapraz Kutuplanma Karıştırması Tekniği

Tüm radar sistemlerinde kullanılmak üzere bu karıştırma tekniğini modellemek için hem eş kutuplanma anten örüntüsünü hem de çapraz kutuplanma anten örüntüsü kullanılmıştır.

Eş kutuplanma anten örüntü modeli için kullanılan formül Eş. 3.9' da verilmişti.

Literatürde eş kutuplanma anten örüntüsüne karşılık kullanılan çapraz kutuplanma anten örüntüsü için, birinin genliğinin maksimum olduğu yerde diğersinin genliğinin minimum olarak ayarlanması kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde göre çapraz kutuplanma anten örüntü modelinde kullanılan formülü elde etmek için Eş. 3.9' da gösterilen ifadenin  $(\pi\theta/\alpha)$ ' a göre türevi alınmıştır.

$$\text{Eş kutuplanma anten örüntüsü} = A_{CO} \cdot \left| \frac{\sin(\pi\theta/\alpha)}{(\pi\theta/\alpha)} \right| \quad (4.1)$$

“sinc(z)” fonksiyonunun z değişkenine göre türevi,

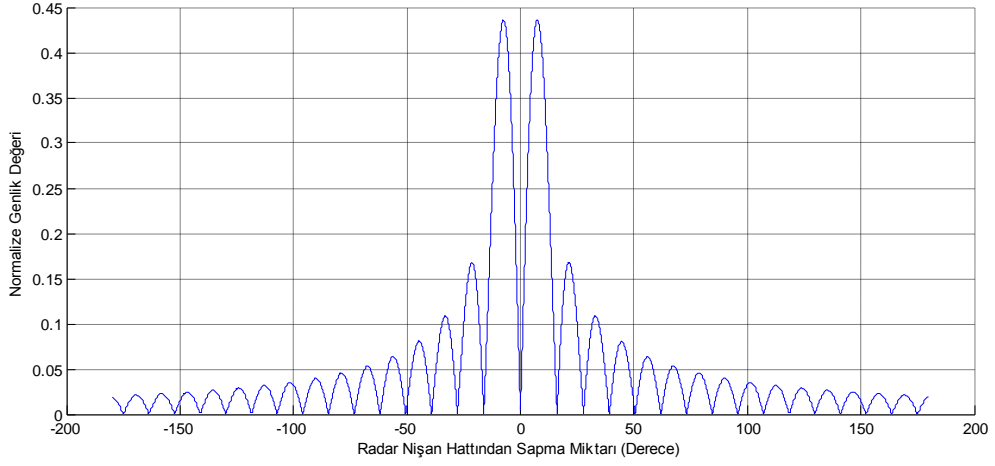
$$\frac{dsinc(z)}{dz} = \frac{\cos z}{z} - \frac{\sin z}{z^2} \quad (4.2)$$

olduğuna göre Eş. 4.1' de gösterilen ifadenin  $(\pi\theta/\alpha)$ ' a göre türevi alındığında Eş. 4.3 elde edilir.

$$\text{Çapraz kutuplanma anten örüntüsü} = A_{CROSS} \cdot \left| \frac{\cos(\pi\theta/\alpha)}{(\pi\theta/\alpha)} - \frac{\sin(\pi\theta/\alpha)}{(\pi\theta/\alpha)^2} \right| \quad (4.3)$$

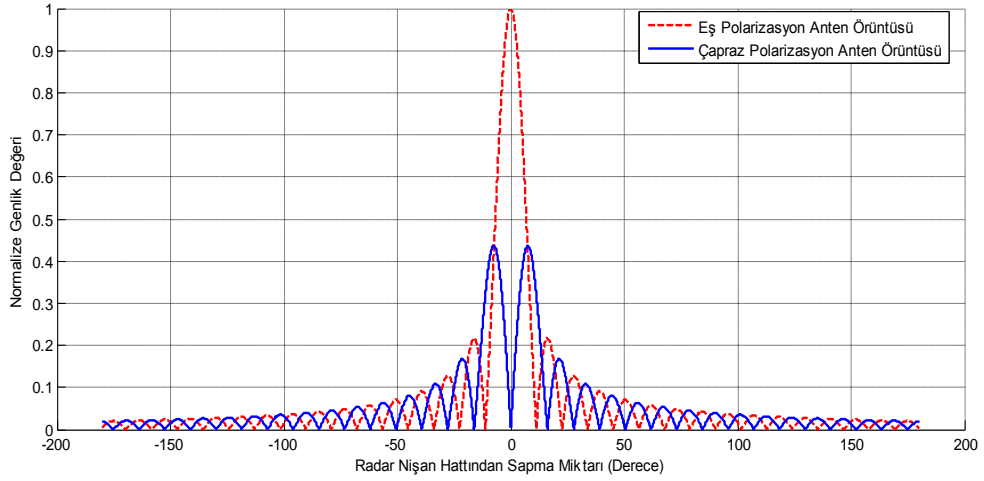
Sistemde eş polarize ve çapraz polarize anten örüntülerini 1' e göre düzgelemek için  $A_{CROSS} > A_{CO}$  seçilebilir. Çünkü Eş. 4.3' de yer alan ifadede, mutlak değer içinde kalan kısımda en yüksek değer Şekil 4.27' den de görüldüğü üzere 1' in altında kalmaktadır (yaklaşık 0.43).

Eş. 4.3' de belirtilen ifadenin radar merkez hattına göre ortaya çıkan kulağı Şekil 4.27' de gösterilmektedir. Bu kulaklara ayrıca “condon” kulakları adı da verilmektedir [McGrath, 1992].



**Şekil 4.27** Çapraz Kutuplanma İçin Kullanılan Anten Örüntü Modeli ( $A_{CROSS} = 1$ )

Şekil 4.28' de eş ve çapraz kutuplanma anten örüntü modelleri bir arada çizdirilmiştir.



**Şekil 4.28** Eş ve Çapraz Kutuplanma İçin Kullanılan Anten Örüntü Modeli ( $A_{CO} = 1$  ve  $A_{CROSS} = 1$ )

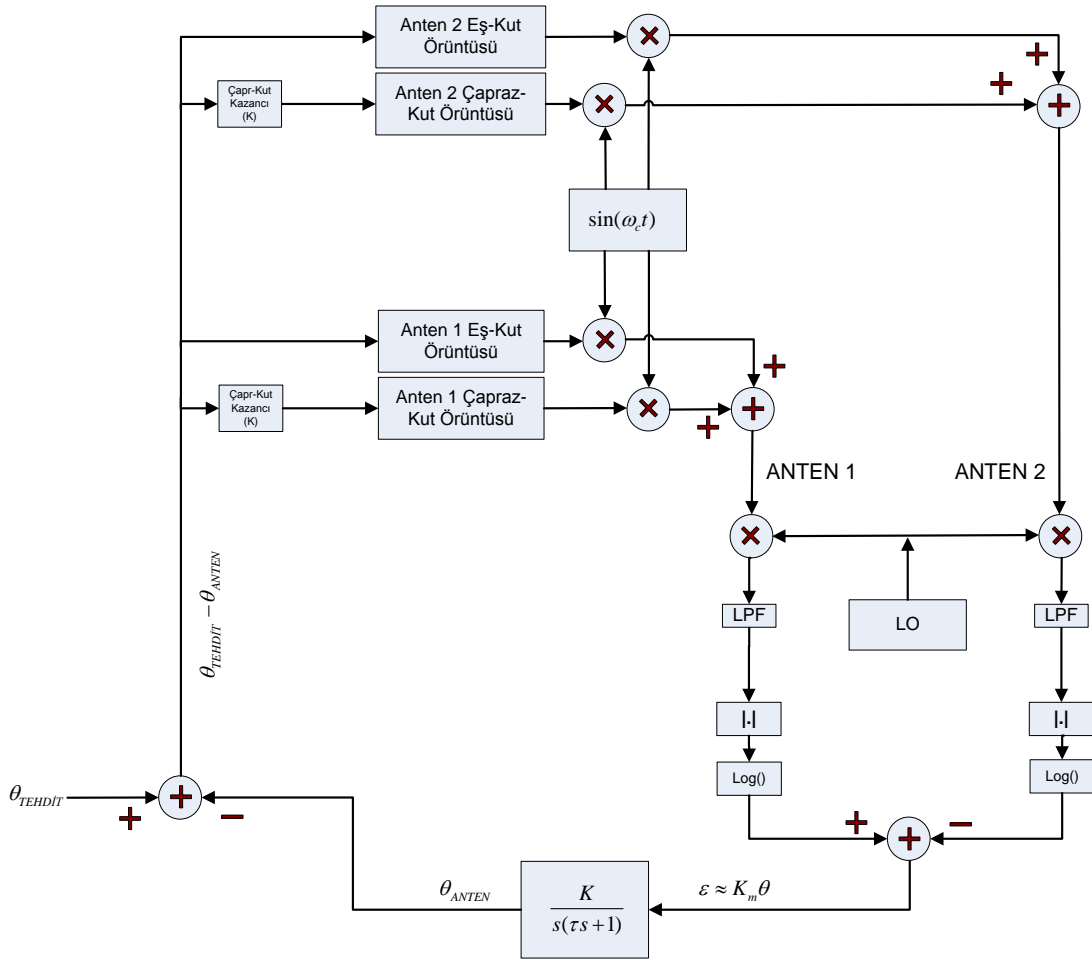
#### 4.4.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.



#### 4.4.1.1. G-G (Log) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

Bu tür TDR' lara karşı çapraz kutuplanma karıştırması tekniğinin nasıl sonuç vereceğini görmek için tasarlanan yapıya iki adet anten genlik hüzmesi modelinin (eş kutuplanma ve çapraz kutuplanma için birer adet) tanıtılması gerekmektedir. Şekil 4.29' da bu iki yapının eklendiği model gösterilmektedir.



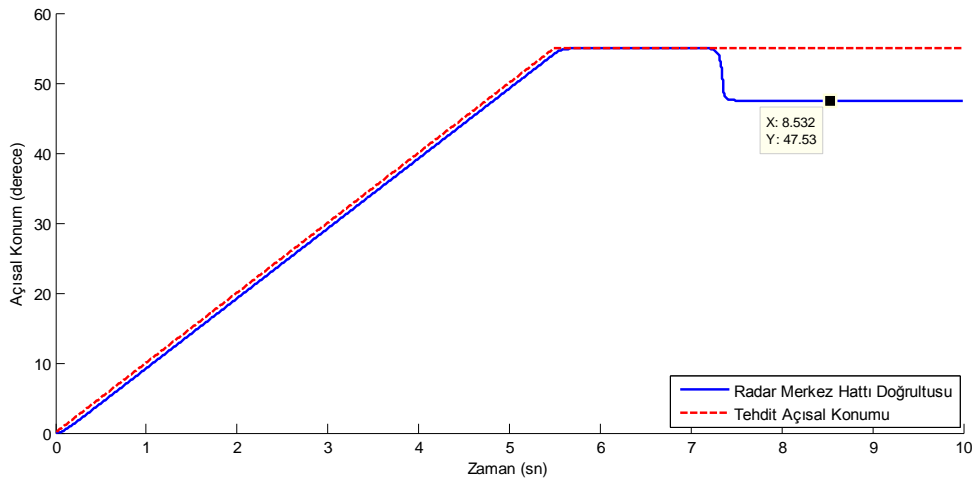
**Şekil 4.29** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması Benzetim Modeli

Karıştırmanın tehdit ile aynı yerde olduğu varsayılmıştır. Tüm bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra çeşitli senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

#### 4.4.1.2. G-G (Log) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması

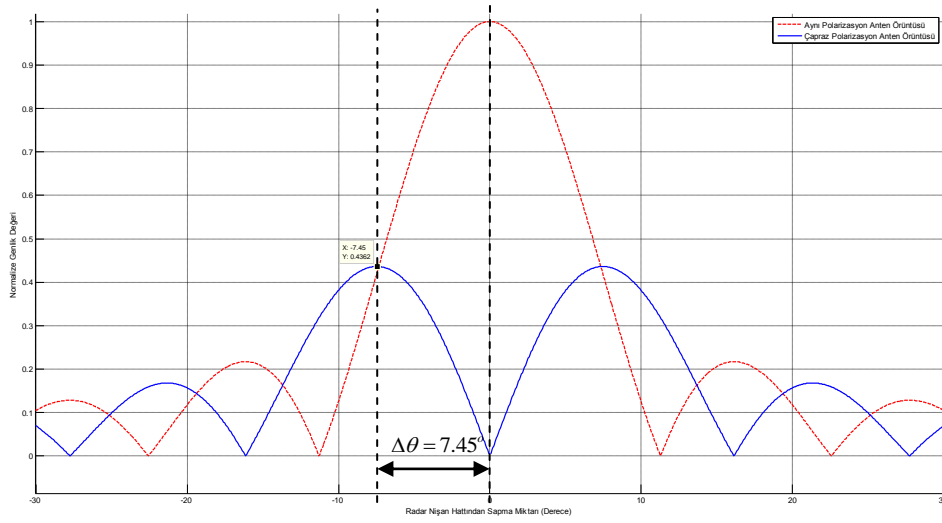
##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit açısal konumunu 5.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $55^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. 7. saniyeden itibaren ise çapraz kutuplanma karıştırması tekniği aktif hale getirilmektedir. Karıştırma Sinyali Genliği / Eko Sinyali Genliği oranı 100 olarak seçilmiştir.



**Şekil 4.30** G-G (Log) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

Senaryonun çıktılarından da görüldüğü üzere karıştırma tekniği uygulanmaya başlandıktan belirli bir süre sonra radar merkez hattı  $47.53^{\circ}$  de dengeye ulaşmıştır. Karıştırma sonrası tehdidin gerçek açısal konumu ile merkez hattı açısal konumu arasında  $7.47$  ( $= 55 - 47.53$ ) derecelik bir fark bulunmaktadır. Bu fark Şekil 4.31' de gösterildiği gibi radarın eş kutuplanma anten örüntüsünün genlikte maksimum olduğu nokta ile çapraz kutuplanma anten örüntüsünün genlikte maksimum yaptığı noktalar arası açısal farka denk gelmektedir.



**Şekil 4.31** Radar Eş ve Çapraz Örüntü Genlik Maksimum Noktaları Arası Açısal Farkı

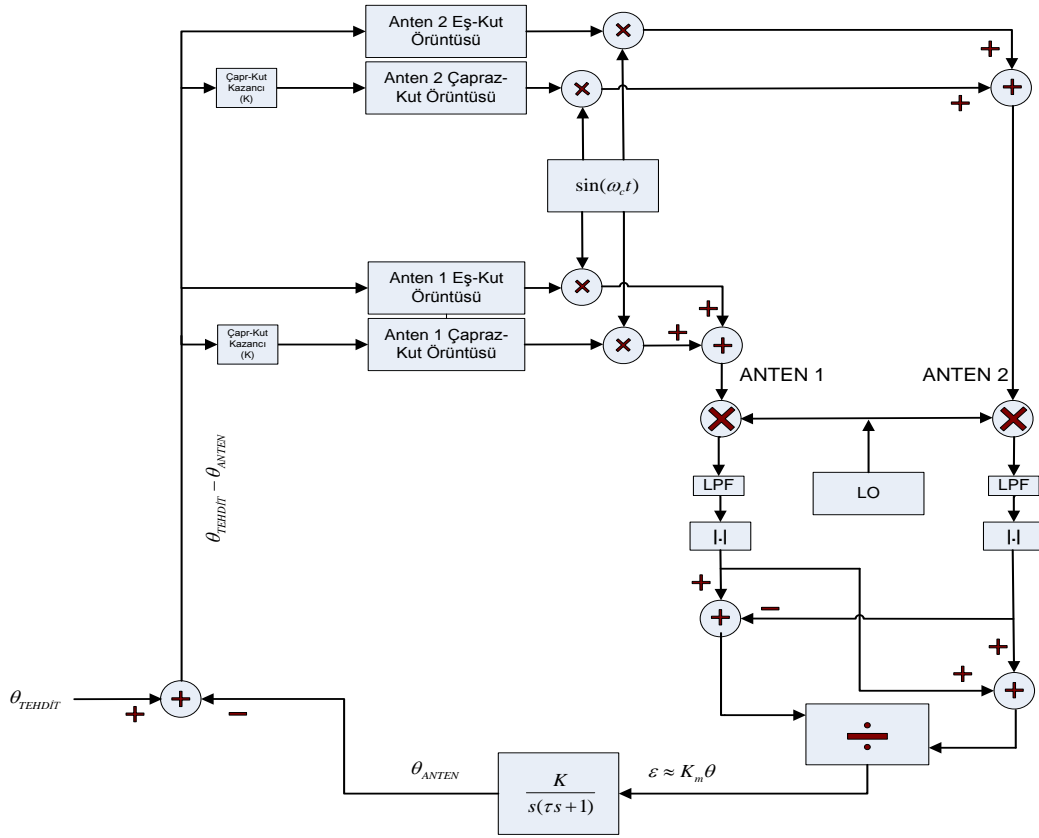
Şekil 4.30' de çıktıları verilen senaryoda gösterildiği üzere karıştırma tekniği sonrası radar merkez hattı negatif yönde yaklaşık  $7.5^\circ$  açısal harekette bulunmuştur. Ancak Şekil 4.31' de gösterildiği üzere çapraz örüntülerin maksimum olduğu iki nokta olduğu için karıştırma yönü negatif çıkabileceği gibi pozitif de çıkabilmektedir. Nitekim ileride çıktıları verilen bazı senaryolarda bu durum gözükmemektedir.

#### 4.4.2. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### 4.4.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

Şekil 4.32' de çapraz kutuplanma karıştırması tekniği için kullanılan model gösterilmektedir.



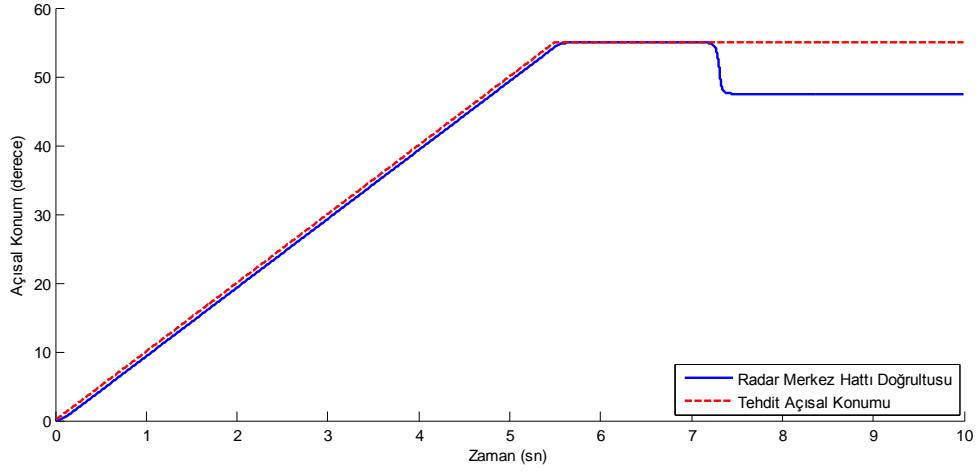
**Şekil 4.32** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması Benzetim Modeli

Tüm bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra oluşturulan senaryo bu kod üzerinden koşturulmuştur.

#### 4.4.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit açısal konumunu 5.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $55^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. 7. saniyeden itibaren ise çapraz kutuplanma karıştırması tekniği aktif hale getirilmektedir. Karıştırma Sinyali Genliği / Eko Sinyali Genliği oranı 100 olarak seçilmiştir.



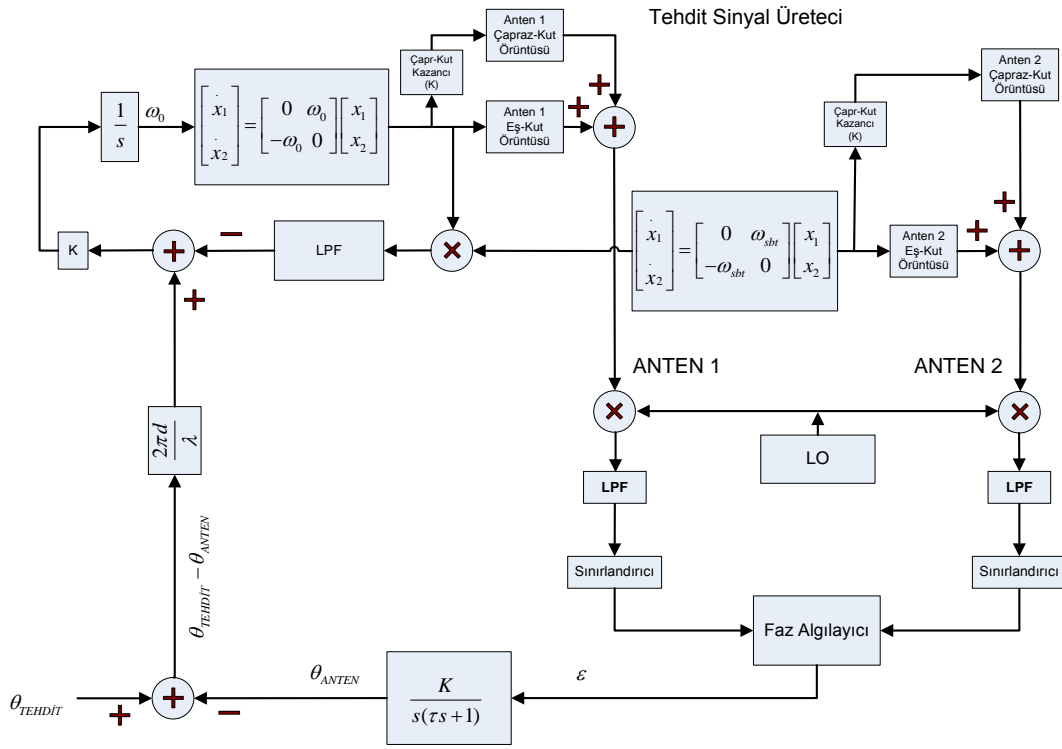
**Şekil 4.33** G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği Karıştırma tekniği bu radar modeli için başarılı sonuç vermiştir.

#### 4.4.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### 4.4.3.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

Şekil 4.34' de çapraz kutuplanma karıştırması tekniği için kullanılan model gösterilmektedir.



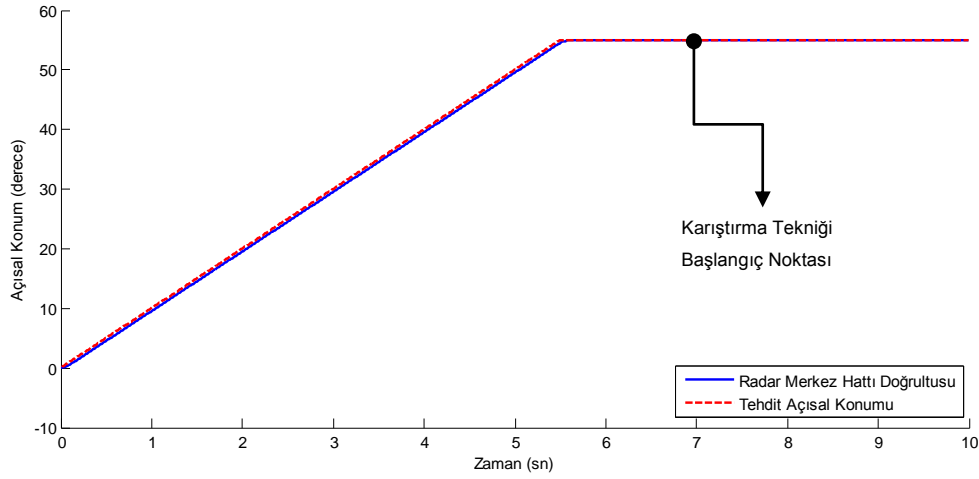
**Şekil 4.34** Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcılı) TDR, Çapraz Kutuplanma Karışırması Benzetim Modeli

Tüm bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra oluşturulan senaryo bu kod üzerinden koşurulmuştur.

#### 4.4.3.2. F-F (Sınırlandırıcılı) TDR Çapraz Kutuplanma Karışırması, Modelin Senaryoda Koşurulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit açısal konumunu 5.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $55^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. 7. saniyeden itibaren ise çapraz kutuplanma karışırması tekniği aktif hale getirilmektedir. Karışırma Sinyali Genliği / Eko Sinyali Genliği oranı 100 olarak seçilmiştir.



**Şekil 4.35** F-F (Sınırlandırıcı) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısai Konum Değişim Grafiği

Senaryo çıktılarından görüldüğü üzere uygulanan karıştırma tekniği faz - faz karşılaştırmalı (sınırlandırıcı) TDR için başarısız olmuştur.

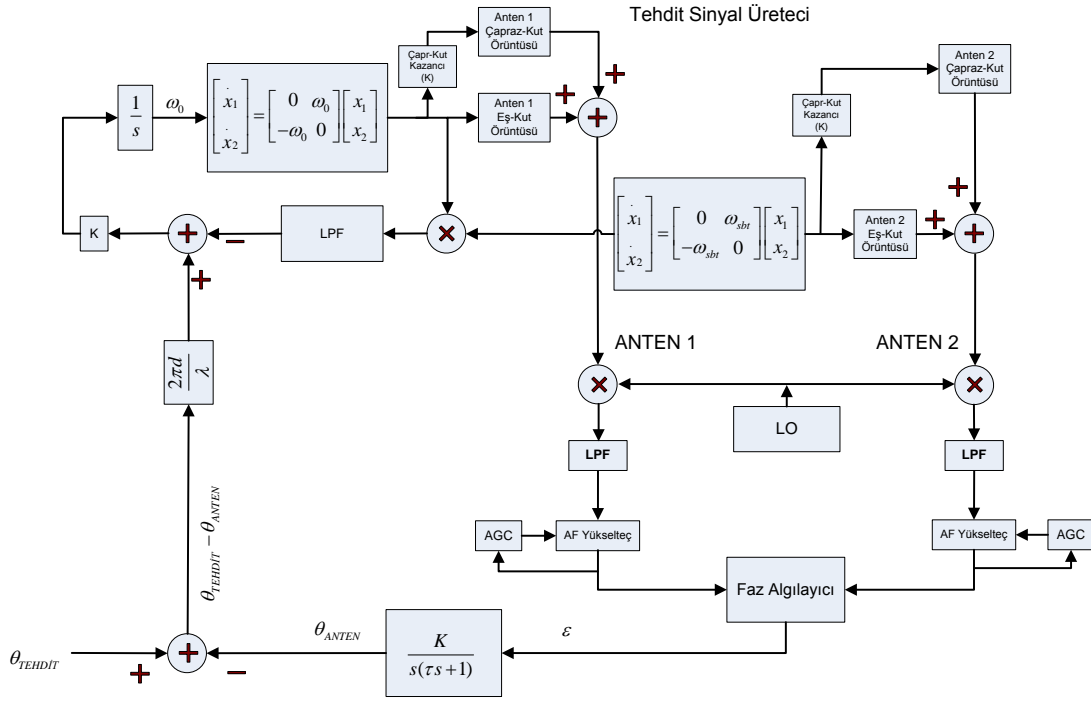
Bilindiği üzere bu radar modelinde, alıcı anten birimlerine gelen sinyal çiftinin faz bilgilerinden yararlanılarak tehdidin açısai konumu belirlenmektedir. Sistem bu işlemi yapabilmek için gelen sinyallerin genlikleri eş değerde olacak şekilde düzgelemektedir. Temelde çapraz kutuplanma karıştırması tekniği, farklı kutuplanmadaki sinyallerin genliği ile oynayarak karıştırma yapmayı hedefler. Karıştırma tekniği, sinyallerin faz karakteristikleri üzerinde her hangi bir etkiye neden olmadığı için ve faz karşılaştırmalı (sınırlandırıcı) TDR sistemi gelen sinyallerin genlik karakteristiklerini sınırlandırıcı üzerinden yok ettiği için bu karıştırma tekniği bu modelde başarılı olamamıştır.

#### **4.4.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması**

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

#### 4.4.4.1. F-F (AGC' li) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

Şekil 4.36' da çapraz kutuplanma karıştırması tekniği için kullanılan model gösterilmektedir.



**Şekil 4.36** Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Çapraz Kutuplanma Karıştırması Benzetim Modeli

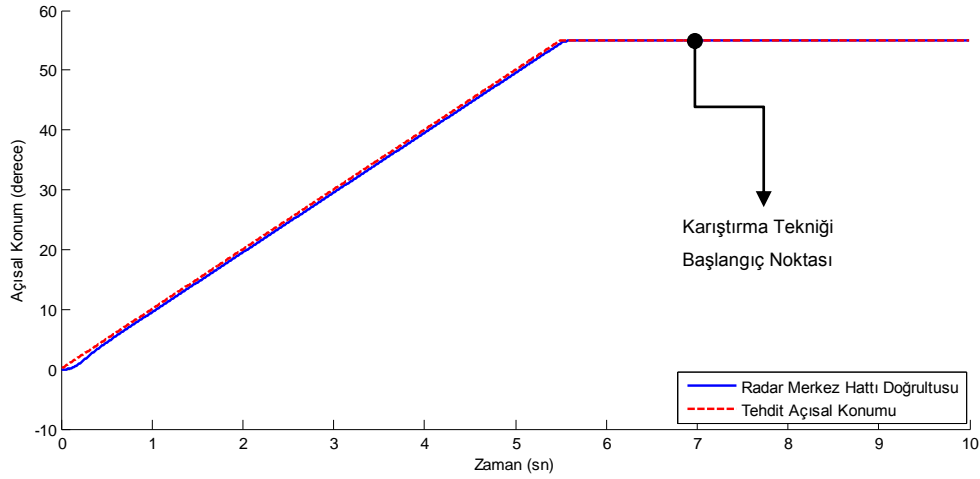
Tüm bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra oluşturulan senaryo bu kod üzerinden koşturulmuştur.

#### 4.4.4.2. F-F (AGC' li) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Açısal hızı sabit olan tehdit açısal konumunu 5.5 saniyede  $0^{\circ}$  den  $55^{\circ}$  ye doğru değiştirmektedir. 7. saniyeden itibaren ise çapraz kutuplanma karıştırması tekniği aktif hale getirilmektedir. Karıştırma Sinyali Genliği / Eko Sinyali Genliği oranı 100 olarak seçilmiştir.





**Şekil 4.37** F-F (AGC' li) TDR Çapraz Kutuplanma Karıştırması, Senaryo 1 Çıktısı, Radar Merkez Hattı Açısal Konum Değişim Grafiği

Senaryo çıktılarından görüldüğü üzere uygulanan karıştırma tekniği düşük “Karıştırma Sinyali Genliği / Eko Sinyali Genliği” oranında, faz - faz karşılaştırmalı (AGC' li) TDR için başarısız olmuştur. Bu oran yüksek bir değer olacak şekilde seçildiğinde karıştırma tekniği başlangıcında, AGC' nin sinyal genliklerinde oluşan ani değişimi kompanse edemediği gözlenmiştir.

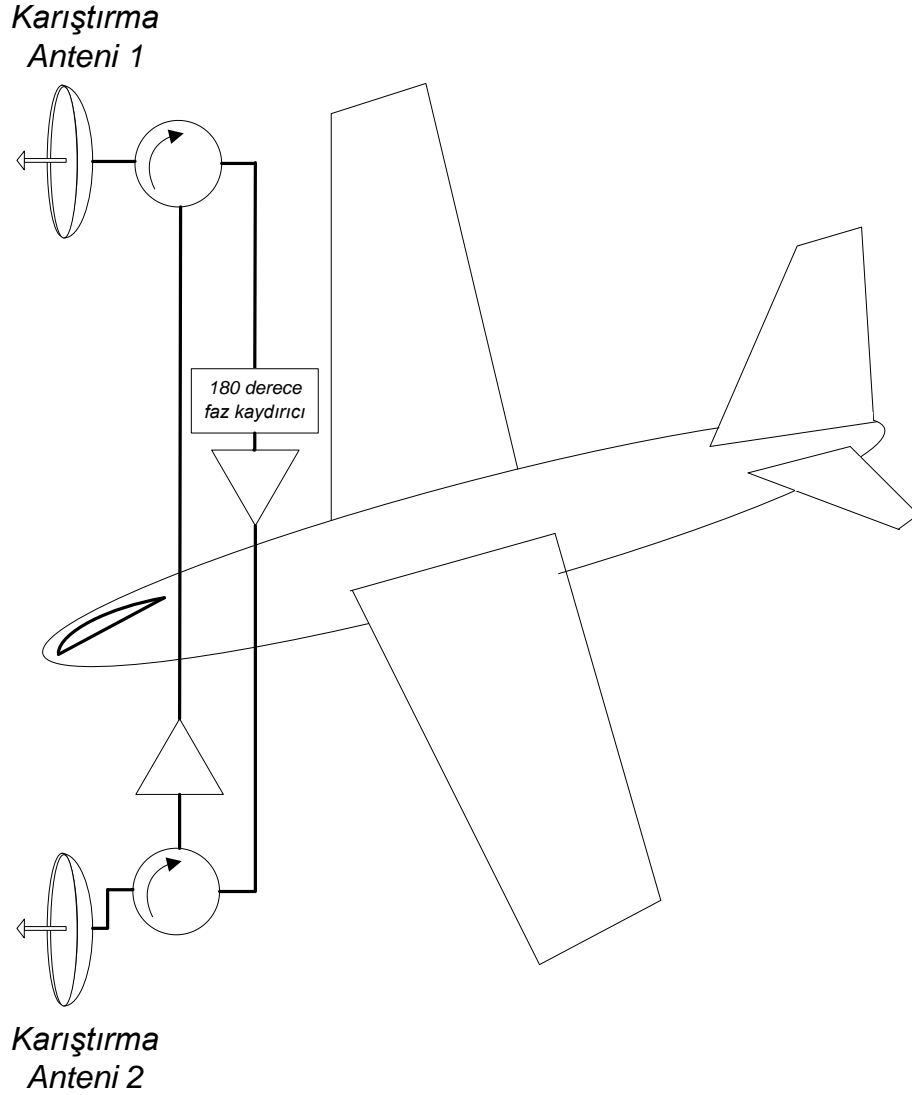
Radar modeli üzerinde yer alan AGC, gelen sinyalleri sabit bir değerde düzgelediği için uygulanan karıştırma tekniği sonucu oluşan sinyal genliği karakteristikleri yok edilmiştir. Bunun sonucu olarak da sınırlandırıcılı faz - faz karşılaştırmalı TDR modeline benzer bir şekilde çapraz karıştırma tekniğinin başarısız olduğu gözlenmiştir.

#### 4.5. Şaşı Karıştırma

Şaşı karıştırma (Cross Eye) tekniği kendini koruma teknikleri grubu altında bulunan popüler aldatma tekniklerinden bir tanesidir [Adamy, 2001]. Bu karıştırma tekniğinin amacı, aralarında  $180^\circ$  faz farkı olan iki karıştırma sinyalini ortama yayarak radar sistemini kitlendiği hedeften başka bir noktaya doğru saptırmaya çalışmasıdır.

Şaşı karıştırmanın genel amacı birden fazla kaynak ile radar sisteminin karıştırılmaya çalışılmasıdır (buna benzer diğer karıştırma türleri: Araziden

yansıtmalı ve çapraz kutuplanma karıştırması). Şekil 4.38' de hüzme hücresi içerisinde kalan bir hedef ve hedef üzerine konuşlanmış bir şaşı karıştırma sistemi gösterilmektedir.



**Şekil 4.38** Şaşı Karıştırma Yapısı

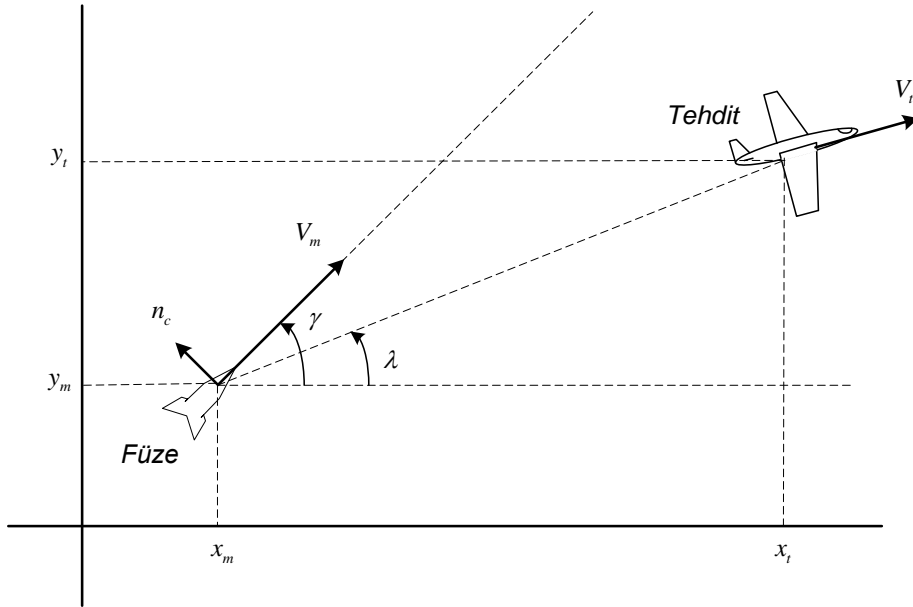
Karıştırma sinyallerini üretmek için kullanılan verici antenler birbirlerinden  $d$  mesafe uzakta ve koruyacakları birimin en uç noktalarında konumlandırılmışlardır. Bu karıştırma tekniği için kullanılacak senaryolarda oransal güdüm yaklaşımından faydalanılmıştır. Senaryolara geçmeden önce bu yaklaşımdan bahsetmek faydalı olacaktır.

## Oransal Güdüm Yaklaşımı

Teorik olarak oransal güdüm (proportional navigation guidance), anlık füze-tehdit merkez hattına ve yaklaşma hızına bağlı kalınarak ivmenin vektörel olarak kontrol edilmesi olayıdır. Matematiksel olarak güdüm kuralı Eş. 4.4' de gösterildiği gibidir [Zarchan, 1997].

$$n_c = NV_c \dot{\lambda} \quad (4.4)$$

( $n_c$ : Güdümlü fzeye yanal olarak uygulanan güdüm ivmesi,  $V_c$ : Füze ve hedef arasındaki yaklaşma hızı,  $\lambda$ : Merkez hattı açısı,  $N$ : 3-5 arası bir güdüm katsayısı)



**şekil 4.39** Oransal Güdüm Yaklaşımı

Füzenin, yer koordinatlarına göre konumu füzenin hız bileşenlerinin integralinin alınması ile elde edilir. Buna göre elde edilen tehdit konum ifadeleri ve hız ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$\dot{V}_{mx} = a_{mx} \quad (4.5)$$

$$\dot{V}_{my} = a_{my}$$

(  $a_{mx}$  ve  $a_{my}$  : füze ivme bileşenleri )

$$\begin{aligned}\dot{x}_m &= V_{mx} \\ \dot{y}_m &= V_{my}\end{aligned}\tag{4.6}$$

(  $V_{mx}$  ve  $V_{my}$  : füze hız bileşenleri )

Aynı şekilde tehdit için de konum bilgileri hız bileşenlerinden elde edilebilir.

$$\begin{aligned}\dot{x}_t &= V_{tx} \\ \dot{y}_t &= V_{ty}\end{aligned}\tag{4.7}$$

Füzenin ivme bileşenlerinin bulunabilmesi için öncelikle tehdit ile füze arasındaki bağıl menzil ifadelerini elde edilmesi gerekmektedir. Eş. 4.8' de bu ifadeler yer almaktadır.

$$\begin{aligned}X_{TM} &= X_T - X_M \\ Y_{TM} &= Y_T - Y_M \\ R_{TM} &= \sqrt{(Y_T - Y_M)^2 + (X_T - X_M)^2} \\ \lambda &= \tan^{-1}\left(\frac{Y_T - Y_M}{X_T - X_M}\right)\end{aligned}\tag{4.8}$$

Tehdit ile füze arasındaki bağıl hız ifadeleri ise şu şekildedir:

$$\begin{aligned}V_{TMx} &= V_{Tx} - V_{Mx} \\ V_{TMy} &= V_{Ty} - V_{My}\end{aligned}\tag{4.9}$$

LOS oranı olarak tanımlanan ifade ise aşağıda yer almaktadır.

$$\dot{\lambda} = \frac{X_{TM}V_{TMy} - Y_{TM}V_{TMx}}{R_{TM}^2}\tag{4.10}$$

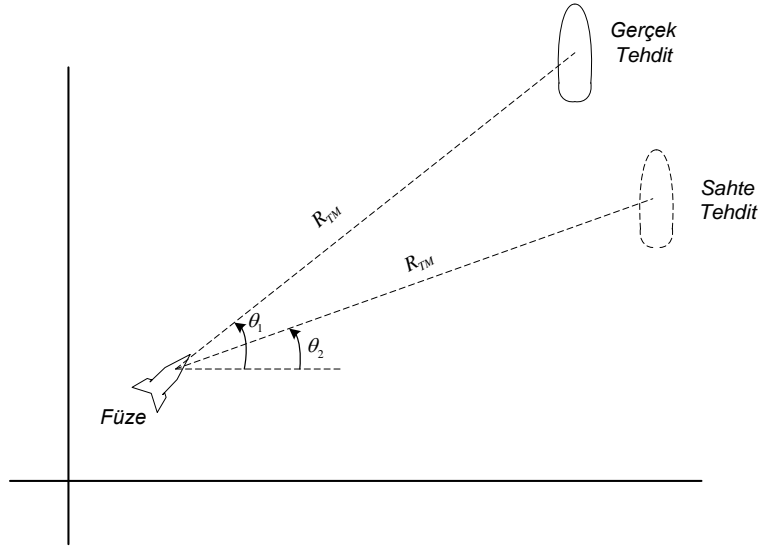
Yaklaşma hızı tehdit ile füze arasındaki bağıl menzilin türevinin ters işaretlisine eşit olduğuna göre, yaklaşma hızı aşağıdaki şekliyle ifade edilebilir.

$$V_c = -\dot{R}_{TM} = -\frac{(X_{TM}V_{TMx} + Y_{TM}V_{TMy})}{R_{TM}}\tag{4.11}$$

Bu ifadeler elde edildikten sonra yanal ivmenin bulunması için Eş. 4.4 kullanılmıştır. Yanal ivme elde edildikten sonra ise Eş. 4.12' de gösterilen ifadeler kullanılarak füzenin ivme bileşenleri elde edilir. Bu eşitlikte belirtilen ifadeler saf kontrol (pure control) kuralı esas alınarak yazılmıştır [Özkazanç, 2005].

$$\begin{aligned} a_{mx} &= -n_c \sin \gamma \\ a_{my} &= n_c \cos \gamma \end{aligned} \quad (4.12)$$

Senaryolarda, radar modellerine uygulanan karıştırma tekniklerinde, oransal güdüm yaklaşımının karıştırma sonucunda ortaya çıkan sahte hedefi takip etmesi sağlanmıştır. Şekil 4.40' da ifade edilen bu yapı gösterilmiştir. TDR türü bir takip radarının füze üzerinde bulunduğu ve füzenin oransal güdüm ile yönlendirildiği varsayılmaktadır. Bu senaryo, tüm aktif ve yarı aktif radar güdümlü füzeler için geçerli bir kabuldür.



**Şekil 4.40** Şaşı Karıştırma Tekniği Sonucu Oluşan Sahte Tehdit

#### 4.5.1. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Şaşı Karıştırma

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından çeşitli senaryolar altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

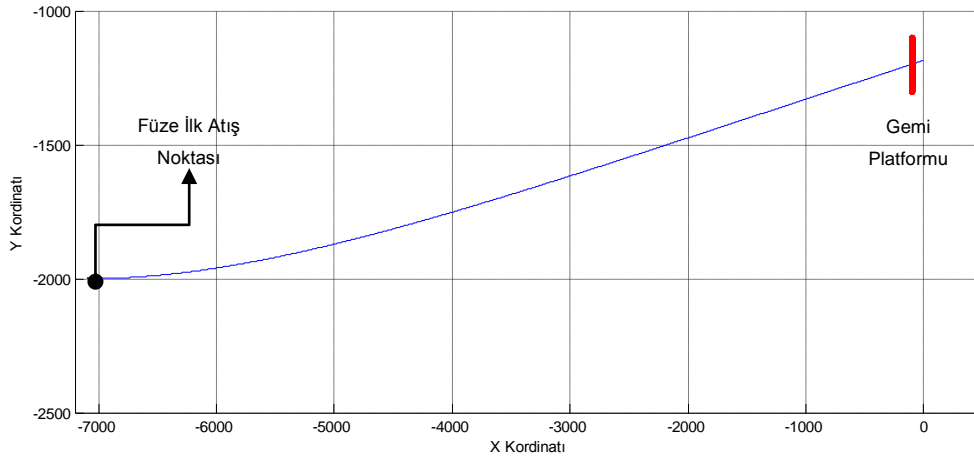
#### 4.5.1.1. G-G (Log) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması

Bu tür TDR' lara karşı şaşı karıştırma tekniğinin nasıl sonuç vereceğini inceleyebilmek için tasarlanan yapıya üç adet anten genlik hüzmeleri modelinin (tehditten yansıyan sinyal için bir adet ve her bir karıştırma sinyali için birer adet) tanıtılması gerekmektedir. Şekil 4.41' de bu yapının eklendiği model gösterilmektedir.

Oransal güdüm yaklaşımının düzgün çalıştığını test etmek için ilk olarak aşağıda ifade edilen, füzenin oransal güdüm hareketinin benzetimi yapılmıştır.

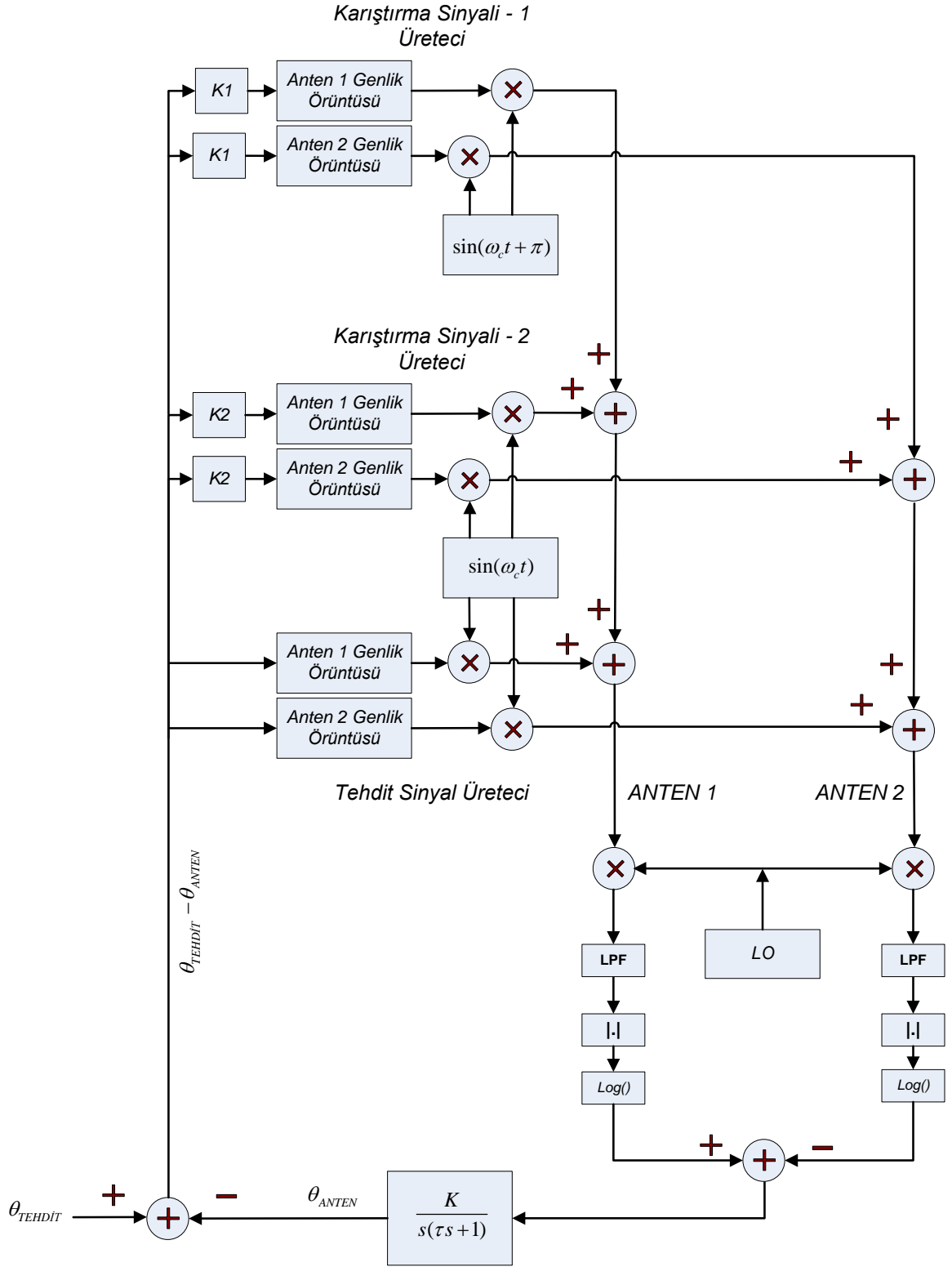
#### Senaryo (Oransal Güdüm, Karıştırma Tekniği Uygulanmıyor):

Sabit bir koordinatta sabit olarak duran gemi platformuna ( $X = -100$ ,  $Y = -1200$ ), ilk hızı 500 m/sn olan bir füze fırlatılmıştır. Füzenin atıldığı ilk koordinat değerleri  $X = -7100$  ve  $Y = -2000$ ' dir (füze ile gemi arasındaki menzil 7045 metredir).



Şekil 4.41 G-G (Log) TDR Şaşı Karıştırma, Senaryo (Oransal Güdüm) Çıktısı

Senaryodaki elde edilen sonuca göre füze güdüm profili incelendiğinde, füzenin tehdidi tam orta noktasından 14.2' nci saniyede vurduğu gözlenmiştir. Bu da oransal güdüm yaklaşımının modellenmesinin başarılı olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.42** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Log Yükselteçli) TDR, Şaşı Karıştırma Benzetim Modeli

Şekil 4.41' de yer alan modelde "K1" ve "K2" katsayıları karıştırma antenlerinin kazanç değerlerini ifade eden değerlerdir. Şaşı karıştırma senaryosu gereği bu

katsayılar kontrollü olarak bir değere ayarlanmakta ya da yavaş yavaş artırılmaktadır.

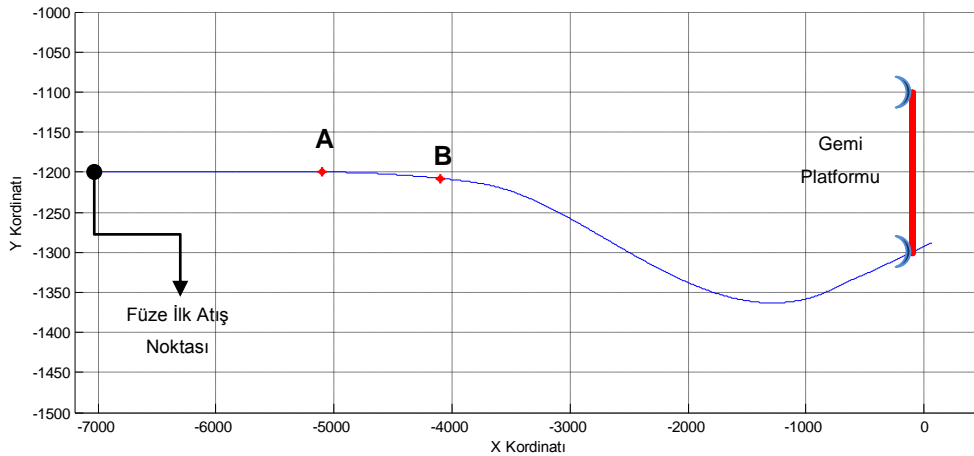
Tüm bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra oluşturulan senaryolar bu kod üzerinden koşturulmuştur.

#### 4.5.1.2. G-G (Log) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Çeşitli Senaryolarda Koşturulması

Senaryo-1 ve Senaryo-2' de farklı karıştırma sinyali güçleri uygulanarak karıştırma başarımının nasıl etkilendiği incelenecektir.

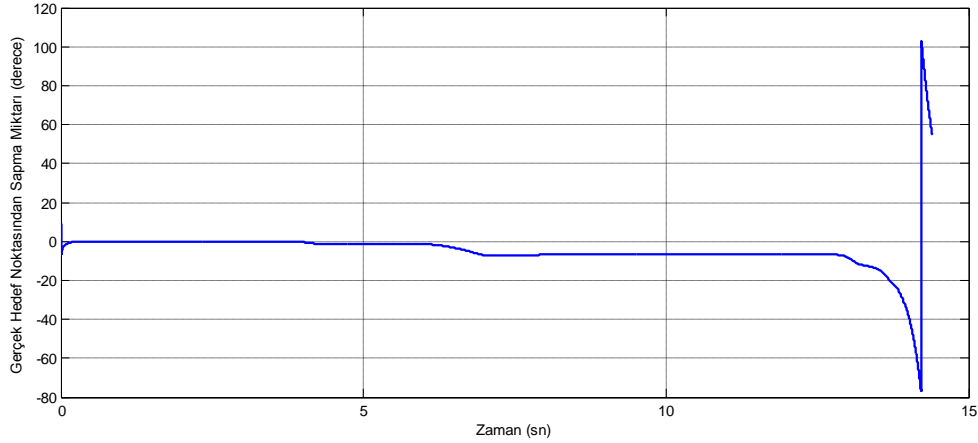
##### Senaryo 1:

Sabit bir koordinatta duran gemi platformuna ( $X = -100$ ,  $Y = -1200$ ), ilk hızı 500 m/sn olan bir füze fırlatılmıştır. Füzenin atıldığı ilk koordinat değerleri  $X = -7100$  ve  $Y = -1200$  dir (füze ile gemi arasındaki menzil 7000 metredir). 4. saniyeden itibaren ise karıştırma tekniği aşamalı olarak füze üzerinde uygulanmaya başlıyordur.



(a) Füze Hareket Profili





(b) Gerçek Hedef Noktasından Sapma Miktarı (Açısal İzleme Hatası)

#### Şekil 4.43 G-G (Log Yükselteçli) TDR Şaşı Karıştırma, Senaryo 1 Çıktıları

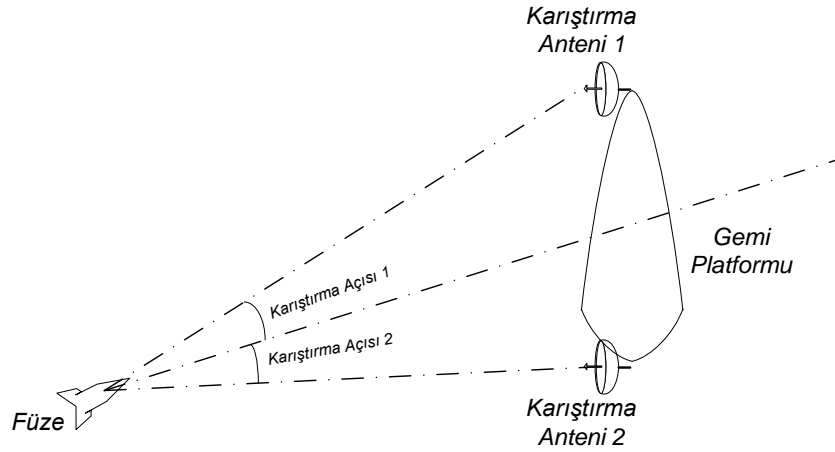
Şekil 4.43 (a) ' da gösterilen "A" noktasında karıştırma tekniğini kademeli olarak başlatılmıştır. Bu noktada "Karıştırma Anteni 2" devreye sokulmuştur. Bu anten eko sinyali ile aynı fazda ancak daha güçlü sinyali ortama yaymaya başlamıştır. "B" noktasında ise "Karıştırma Anteni 1", eko sinyali ile farklı fazda olan ( $180^\circ$  faz farkı olacak şekilde) sinyalin gücünü, kademeli olarak diğer karıştırma anteni ile aynı olana kadar artırarak ortama yaymaya başlamıştır. Senaryoda, farklı fazda sinyal yayan karıştırma sinyali karıştırmaya başladıktan 1 saniye sonra diğer anten ile aynı sinyal genlik seviyesine gelmektedir.

Karıştırma tekniğinde "Karıştırma Anteni 2", radar merkez hattının gerçek tehdit doğrultusuna göre bir kaç derece kaymasına neden olmaktadır. Fazı farklı olan diğer anten ise kendisine göre vektörel olarak  $-180^\circ$  den gelen bir sinyal ile aynı etkiye sahip bir sinyali ortama yaymaktadır.

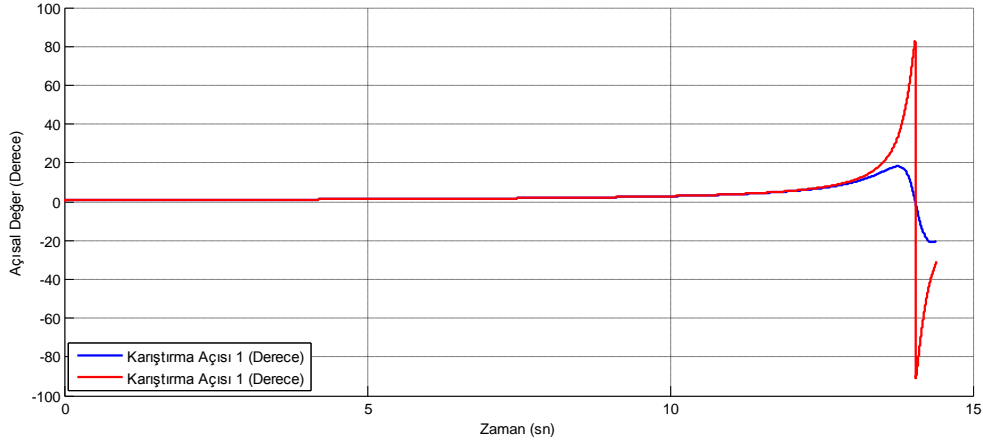
Şekil 4.43 (a)' da görüldüğü üzere karıştırma tekniği başladıktan sonra belirli bir süre teknik başarılı olmuş ve radar sistemi içeren füze, tehdit doğrultusundan büyük oranda sapmıştır. Ancak füze tehlide yaklaştıkça tekniğin başarımının düştüğü gözlenmekte ve bunun sonucu olarak da füzenin doğrultusunun tekrar tehlide doğru yaklaştığı dikkatleri çekmektedir.

Karıştırma tekniği sonucunda füzenin tehdidi 0.7 metre ile ıskaladığı görülmüştür. Ancak füzenin etki alanı geniş olabileceği için hedefi vurduğu kabul edilebilir.

Şekil 4.44' de karıştırma antenleri, füze ve gemi merkezi arasında kalan açılar gösterilmektedir. Uzak menzilde füze tehdide yaklaştıkça, şekilde “karıştırma açısı” olarak adlandırılan bağıl açı değerleri artmakta ve tekniğin başarımı yükselmektedir. Başarımın yükselmesi sonucunda füze, açısal doğrultusunu tehditte daha uzak bir açısal konuma doğru değiştirmektedir. Füze açısal konumu değiştirdikten belirli bir süre sonra ise bağıl açı değerleri tekrar düşmeye başlamaktadır. Sonuç olarak karıştırma başarımı düşmekte ve olay füzenin tehlide yaklaşması ile sonuçlanmaktadır. Eğer karıştırma sinyali yeterince güçlü ise füze, tehdidi çok da büyük olmayan bir fark ile ıskalayacaktır. Şekil 4.45' de füzenin hareketine bağlı olarak karıştırma açıları değerlerinin zamanla değişim grafiği gösterilmektedir. Yaklaşık 14. saniyeden itibaren, karıştırma açı değerleri füzenin o anki konumu ile ilintili olarak düşüşe geçmiştir.



**Şekil 4.44** Karıştırma Antenleri, Füze ve Gemi Merkezi Arasında Kalan Açılar

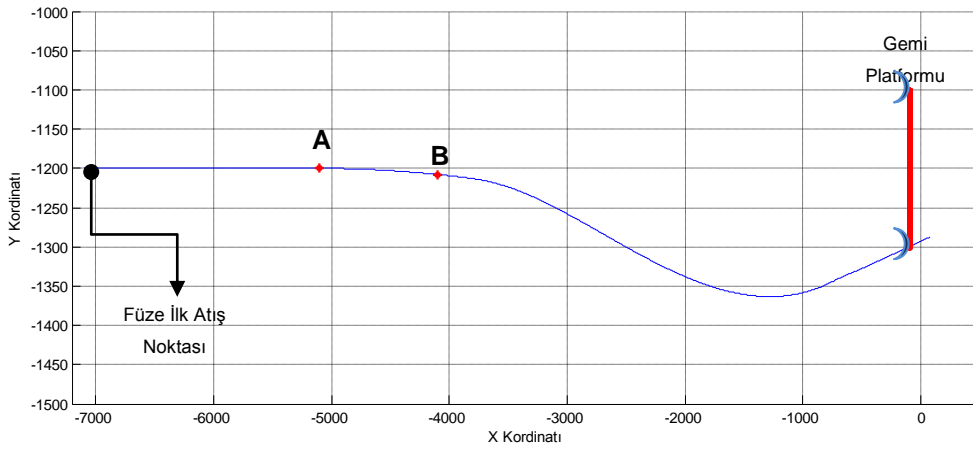


**Şekil 4.45** Karıştırma Açıları Değişim Grafiği

Senaryo-2' de daha güçlü karıştırma sinyali ile karıştırma başarımının nasıl değiştiği incelenmiştir.

#### Senaryo 2:

Sabit bir koordinatta duran gemi platformuna ( $X = -100$ ,  $Y = -1200$ ) ilk hızı 500 m/sn olan bir füze yaklaşmaktadır. Füzenin atıldığı ilk koordinat değerleri  $X = -7100$  ve  $Y = -1200$ ' dir (füze ile gemi arasındaki menzil 7000 metredir). 4. saniyeden itibaren ise karıştırma tekniği aşamalı olarak füze üzerinde uygulanmaya başlıyordur. Bu senaryoda karıştırma sinyali genliği / Eko sinyali genliği oranı 100000' e çıkartılmıştır.



**Şekil 4.46** G-G (Log) TDR Şaşı Karıştırma Senaryo 2 Çıktısı, Füze Hareket Profili

Karıştırma tekniği sonucunda füzenin tehdidi aynı şekilde gemi platformunu 0.7 metre ile ıskaladığı görülmüştür. Sonuç olarak genlik - genlik karşılaştırmalı (log yükselteçli) TDR sisteminde, karıştırma sinyali gücünün çok yüksek olmasının karıştırma başarımını etkilemediği gözlenmiştir.

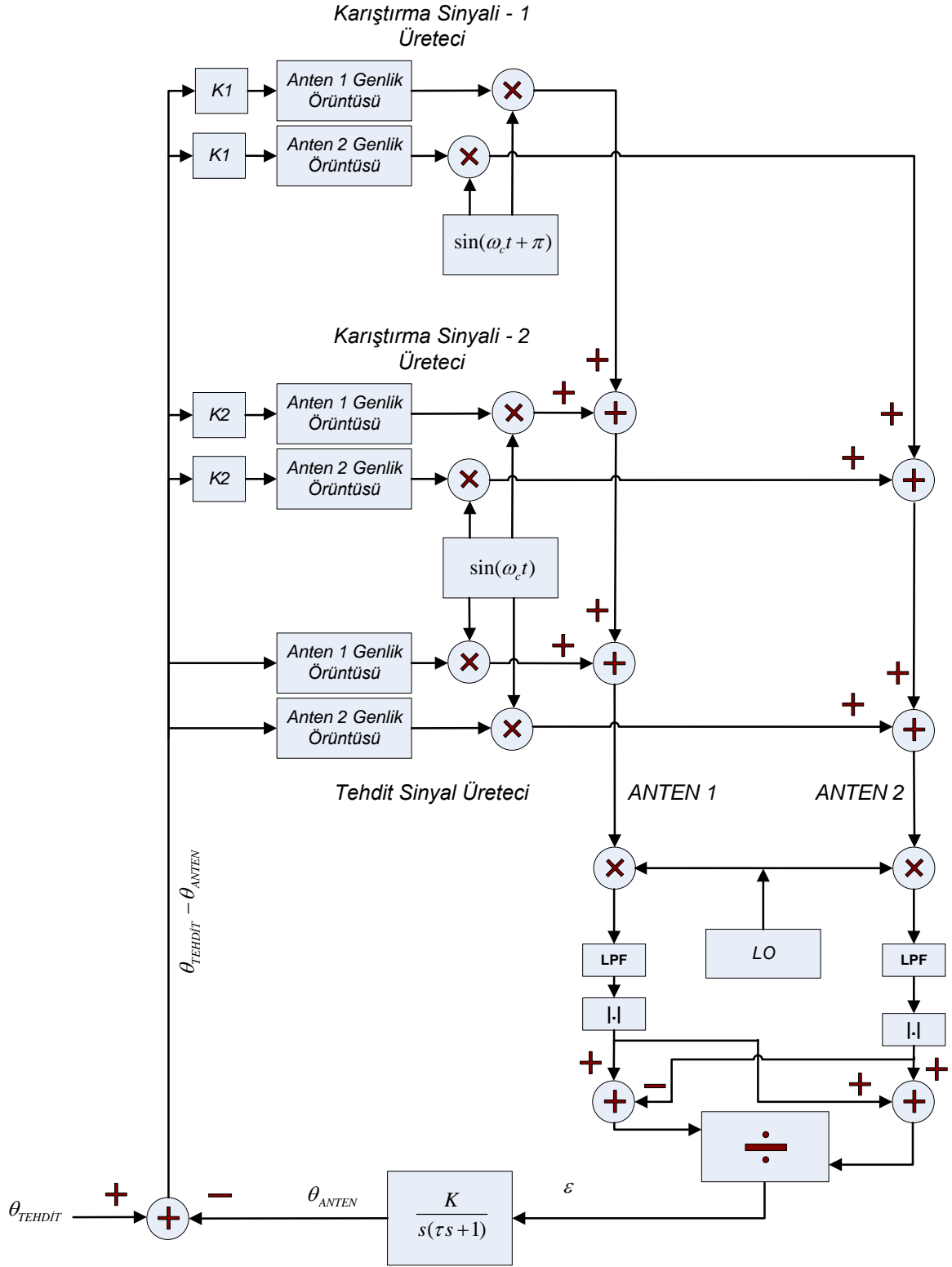
#### **4.5.2. Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Şaşı Karıştırma**

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### **4.5.2.1. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması**

Genlik- genlik karşılaştırmalı (log yükselteçli) TDR modeline benzer yapı bu modelde de yer almaktadır. Şekil 4.47' de bu model gösterilmektedir.

Tüm bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra oluşturulan senaryo bu kod üzerinden koşturulmuştur.

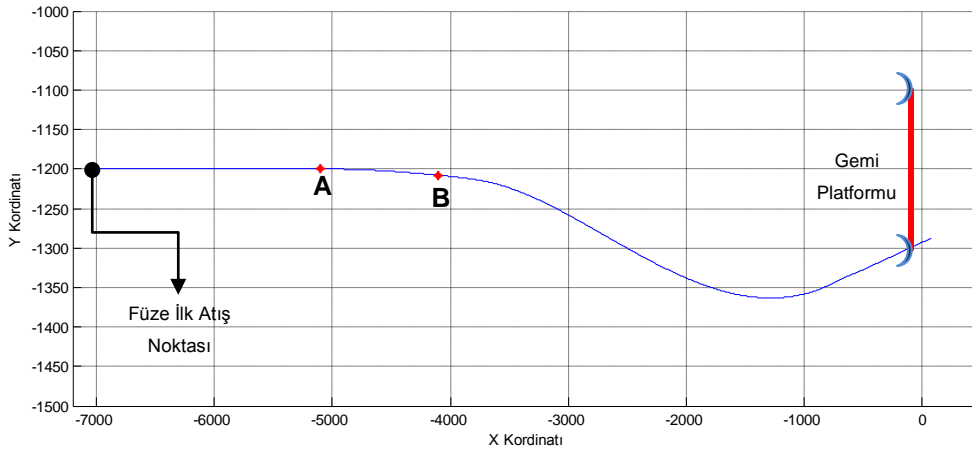


**Şekil 4.47** Genlik - Genlik Karşılaştırmalı (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR, Şaşı Karıştırma Benzetim Modeli

#### 4.5.2.2. G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Şaşı Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Sabit bir koordinatta duran gemi platformuna ( $X = -100$ ,  $Y = -1200$ ) ilk hızı 500 m/sn olan bir füze yaklaşmaktadır. Füzenin atıldığı ilk koordinat değerleri  $X = -7100$  ve  $Y = -1200$ ' dir (füze ile gemi arasındaki menzil 7000 metredir). 4. saniyeden itibaren ise karıştırma tekniği aşamalı olarak füze üzerinde uygulanmaya başlıyordur.



**Şekil 4.48** G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR Şaşı Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Füze Hareket Profili

Karıştırma tekniği bu model için başarılı sonuç vermiştir. Uygulanan teknik sonucunda füzenin tehdidi 0.7 metre ile ıskaladığı görülmüştür.

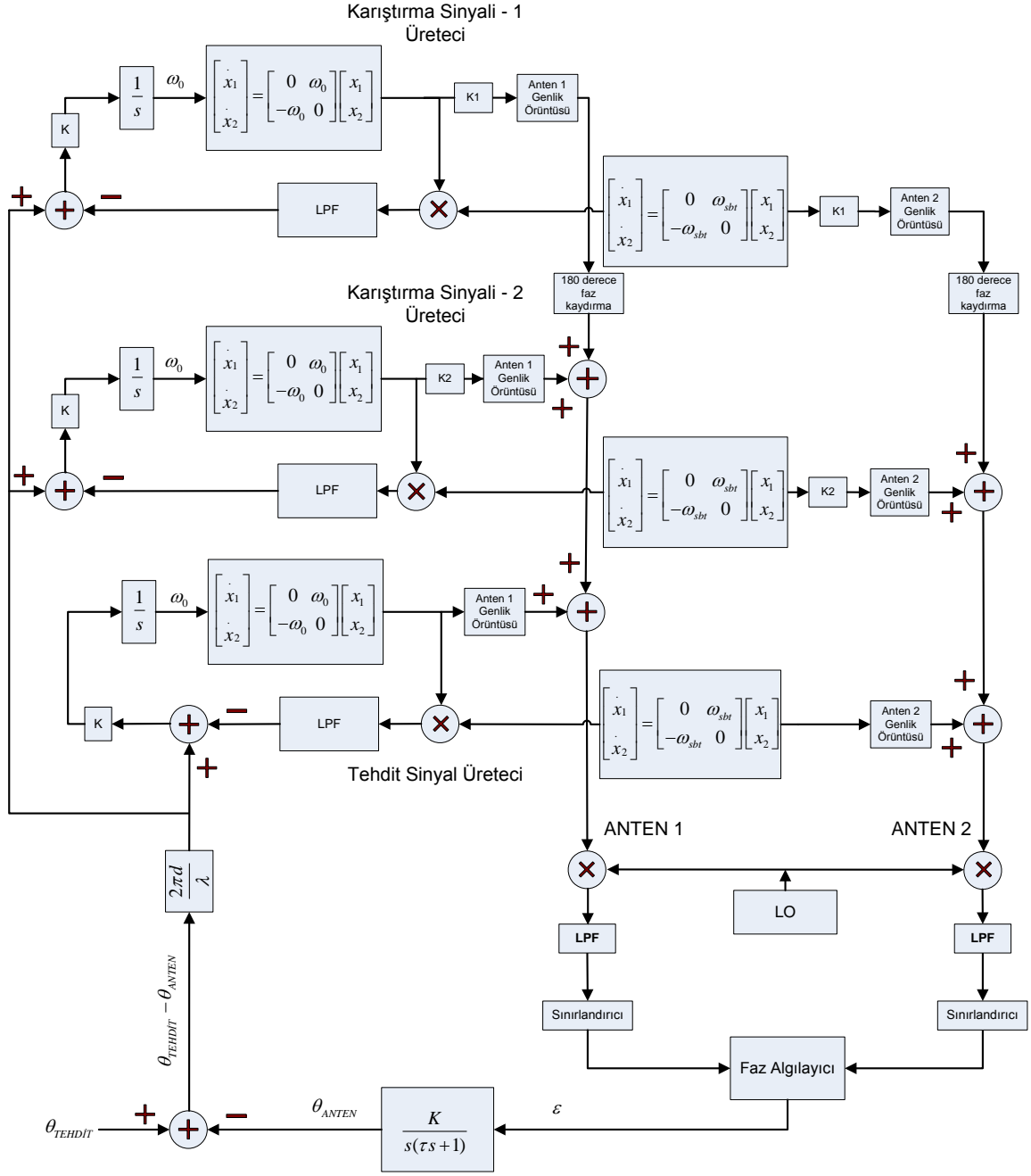
#### 4.5.3. Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Şaşı Karıştırma

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

#### **4.5.3.1. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması**

Önceki TDR modellerine benzer yapı bu modelde de yer almaktadır. Modelde üç adet sinyal üretici (tehdit sinyali üretici olarak kullanılan üreteçler) yer almaktadır. Şekil 4.49' da bu model gösterilmektedir.

Tüm bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra oluşturulan senaryo bu kod üzerinden koşturulmuştur.



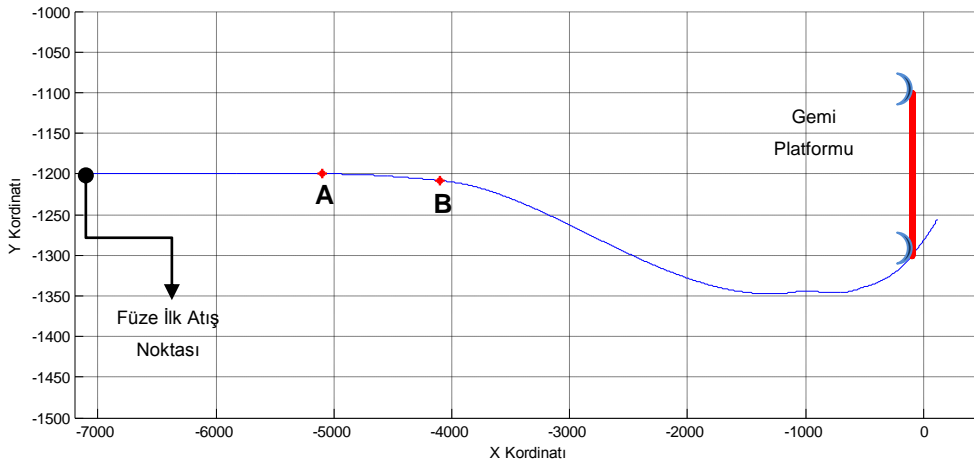
**Şekil 4.49** Faz - Faz Karşılaştırmalı (Sınırlandırıcı) TDR, Şaşı Karıştırma Benzetim Modeli



#### 4.5.3.2. F-F (Sınırlandırıcı) TDR Şaşı Karıştırma, Modelin Çeşitli Senaryolarda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Sabit bir koordinatta duran gemi platformuna ( $X = -100$ ,  $Y = -1200$ ) ilk hızı 500 m/sn olan bir füze yaklaşmaktadır. Füzenin atıldığı ilk koordinat değerleri  $X = -7100$  ve  $Y = -1200$ ' dir (füze ile gemi arasındaki menzil 7000 metredir). 4. saniyeden itibaren ise karıştırma tekniği aşamalı olarak füze üzerinde uygulanmaya başlıyordur. Karıştırma sinyali genliği / eko sinyali genliği oranı 1000 olarak seçilmiştir.



**Şekil 4.50** F-F (Sınırlandırıcı) TDR Şaşı Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Füze Hareket Profili

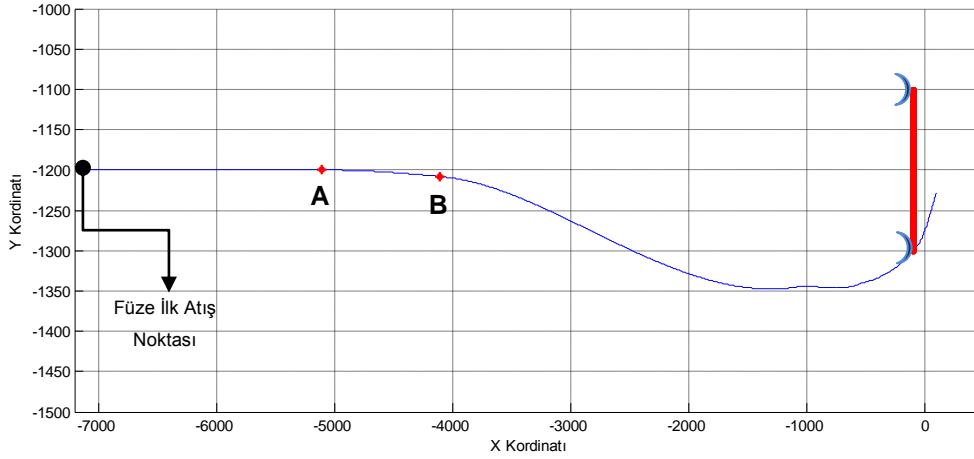
Karıştırma tekniği bu model için başarılı sonuç vermiştir. Uygulanan teknik sonucunda füzenin tehdidi 1.2 metre ile iskaladığı görülmüştür.

Senaryo-2' de daha güçlü bir karıştırma sinyali ile karıştırma başarımının değişip değişmediği gözlenecektir.

##### Senaryo 2:

Sabit bir koordinatta duran gemi platformuna ( $X = -100$ ,  $Y = -1200$ ) ilk hızı 500 m/sn olan bir füze yaklaşmaktadır. Füzenin atıldığı ilk koordinat değerleri  $X = -7100$  ve  $Y = -1200$ ' dir (füze ile gemi arasındaki menzil 7000 metredir). 4.

saniyeden itibaren ise karıştırma tekniği aşamalı olarak füze üzerinde uygulanmaya başlıyordu. Karıştırma sinyali genliği / eko sinyali genliği oranı 100000 olarak seçilmiştir.



**Şekil 4.51 F-F (Sınırlandırıcı) TDR Şaşı Karıştırma, Senaryo 2 Çıktısı, Füze Hareket Profili**

Uygulanan teknik, karıştırma sinyali gücü artırılmış bu senaryolar için de başarılı sonuç vermiştir. Uygulanan teknik sonucunda füzenin tehdidi 1.2 metre ile ıskaladığı görülmüştür. Yani karıştırma sinyali gücünün artırılması ıskalama farkının büyüklüğünü etkilememiştir.

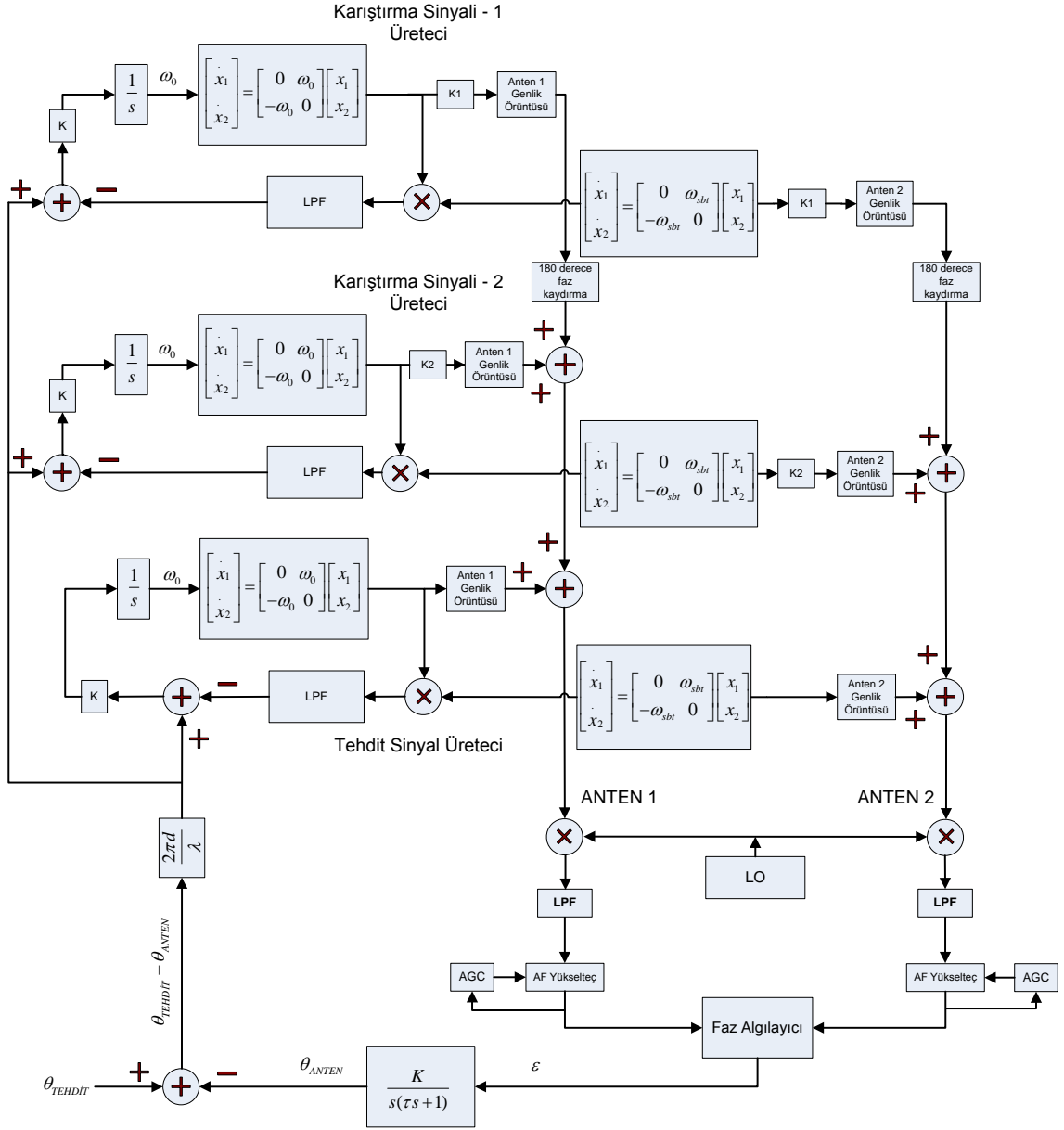
#### **4.5.4. Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Şaşı Karıştırma**

Bu başlık altında, uygulanacak karıştırma tekniği için uygun TDR modelinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış ve ardından senaryo altında bu modelin nasıl sonuç verdiği incelenmiştir.

##### **4.5.4.1. F-F (AGC' li) TDR Şaşı Karıştırma, Radar-ET Modelinin Oluşturulması**

Son model için de önceki TDR modellerine benzer yapı geçerlidir. Şekil 4.52' de bu model gösterilmektedir.

Tüm bu model yazılım ile koda aktarıldıktan sonra oluşturulan senaryo bu kod üzerinden koşturulmuştur.



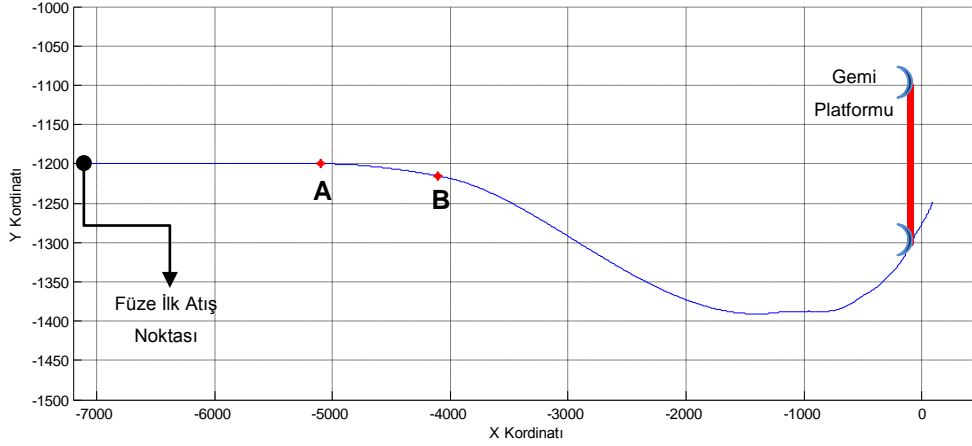
**Şekil 4.52** Faz - Faz Karşılaştırmalı (AGC' li) TDR, Şaşı Karıştırma Benzetim Modeli

#### 4.5.4.2. F-F (AGC' li) TDR Şaşı Karıştırma, Modelin Senaryoda Koşturulması

##### Senaryo 1:

Sabit bir koordinatta duran gemi platformuna (X = -100, Y = -1200 ) ilk hızı 500 m/sn olan bir füze yaklaşmaktadır. Füzenin atıldığı ilk koordinat değerleri X = -7100 ve Y = -1200' dir (füze ile gemi arasındaki menzil 7000 metredir). 4.

saniyeden itibaren ise karıştırma tekniği aşamalı olarak füze üzerinde uygulanmaya başlıyordu.



**Şekil 4.53** F-F (AGC' li) TDR Şaşı Karıştırma, Senaryo 1 Çıktısı, Füze Hareket Profili

Karıştırma tekniği bu model için başarılı sonuç vermiştir. Uygulanan teknik sonucunda füzenin tehdidi 3.5 metre ile iskaladığı görülmüştür.

Tüm TDR modellerine uygulanan şaşı karıştırma sonucu karıştırmanın füze üzerindeki başarımını, füzenin gemi platformuna uzaklığı ile orantılı olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni, Şekil 4.44' de de gösterilen karıştırma açılarının, füzenin gemi platformuna yaklaşması ile düşüşe geçmesinden kaynaklanmaktadır. Füze, gemi platformuna uç bölgeden kritik seviyede yaklaştığı durumda ise karıştırma açıları sıfır seviyesine inmiş ve füze, geminin karıştırma anteni ile temas etme durumuna girmiştir. Ancak sonuçlara bakıldığında füzenin tehdit olarak algıladığı geminin orta noktasına yönelmediği ve bu orta noktayı vurmadığı görülmüştür.

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, tekdarbe radar sistemlerinin çalışma prensipleri incelenmiş, bu sistemlerin çalışması için gerekli yöntemler araştırılmıştır. Belirli karıştırma teknikleri uygulandığında tekdarbe radar sistem başarımlarının nasıl değiştiği gözlenmiştir.

Radar modellemesi için kullanılan yapılar, genlik ve faz karşılaştırmalı (açı ayrıştırıcı modelleri) sistemlerdir. Bu sistemleri modellemek için MATLAB yazılım geliştirme aracı kullanılmıştır. Ayrıca bu modeller için gereken diğer alt modeller de (alçak geçiren filtre, anten örüntü modellemesi, faz kenetleme döngüsü, otomatik kazanç kontrol devresi ve radar servo motor modellemesi) yine bu araç kullanılarak oluşturulmuştur.

Radar modellemesi kısmı tamamlandıktan sonra karıştırma tekniklerinin belirlenmesine ve bu belirlenen tekniklerinin yazılım ile modellenmesinin ardından hazırlanan radar modellerine uygulanmasına geçilmiştir. Hazırlanan tüm dört radar modeli için aşağıdaki beş karıştırma tekniğinin tamamı uygulanmış ve sonuçlar hakkında detaylı analizler yapılmıştır. Uygulanan karıştırma teknikleri,

- Formasyon Karıştırması
- Araziden Yansıtımlı Karıştırma
- Kırpışma Karıştırması
- Çapraz Kutuplanma Karıştırması ve
- Şaşı Karıştırma

şeklinde listelenebilir.

Çizelge 5.1' den Çizelge 5.5' e kadar karıştırma teknikleri sonucundan radar modellerinin nasıl bir başarımlı sergilediği ve sergilenen başarımlarla ilgili açıklamalar yer almaktadır.

**Çizelge 5.1** Formasyon Karıştırması Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi

Karıştırma Tekniği	Radar Modeli	Uygulanabilme Durumu
Formasyon Karıştırması	G-G (Log) TDR	Etkili
	G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR	Etkili
	F-F (Sınırlandırıcı) TDR	Etkili
	F-F (AGC' li) TDR	Etkili

Formasyon karıştırması için, bu karışırmaya katılacak tehditler radar hüzmeye hücresi içerisinde yer aldığı sürece tekniğin uygulanmasında bir kısıt yoktur. Bir diğer nokta ise formasyon karıştırmasının aslında TDR yapısından bağımsız olmasıdır. Bu karıştırma tekniği her türlü izleme radarı için uygulanabilecek bir karşı tedbirdir.

**Çizelge 5.2** Araziden Yansıtımlı Karıştırma Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi

Karıştırma Tekniği	Radar Modeli	Uygulanabilme Durumu
Araziden Yansıtımlı Karıştırma	G-G (Log Yükselteçli) TDR	Etkili
	G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR	Etkili
	F-F (Sınırlandırıcı) TDR	Etkili
	F-F (AGC' li) TDR	Kısmen Etkili

Araziden yansıtımlı karıştırma tekniği için önemli olan, karıştırma sinyalinin yansıtılacağı noktanın teknik başlangıcında hüzmeye hücresi içerisinde yer almasının gerekli olmasıdır.

Faz-faz karşılaştırmalı (AGC' li) TDR sistemlerde yer alan AGC' nin yanıt hızı yavaş olduğu için uygulanacak karıştırma sinyali gücünün eko sinyaline göre çok güçlü olması, araziden yansıtımlı karıştırmanın uygun bir şekilde çalışmasını

engellemektedir. Bu yüzden karıştırmanın amacına uygun olması için benzetimlerde sinyalinin eko sinyaline göre çok güçlü olmamasına dikkat edilmiştir.

**Çizelge 5.3** Kırpışma Karıştırması Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi

Karıştırma Tekniği	Radar Modeli	Uygulanabilme Durumu
Kırpışma Karıştırması	G-G (Log Yükselteçli) TDR	Etkili
	G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR	Etkili
	F-F (Sınırlandırıcı) TDR	Etkili
	F-F (AGC' li) TDR	Kısmen Etkili

Kırpışma karıştırması tekniği için, bu karışırmaya katılacak tehditler radar hüzmeye hücre içinde yer aldığı sürece tekniğin uygulanmasında bir kısıt yoktur. Etkili karıştırma için kırpışma frekansı, TDR servo bant genişliğinden daha yüksek seçilmelidir.

Faz-faz karşılaştırmalı (AGC' li) TDR sistemlerde yer alan AGC' nin yanıt hızı yavaş olduğu için uygulanacak karıştırma sinyali gücünün eko sinyaline göre çok güçlü olması, kırpışma karıştırmanın uygun bir şekilde çalışmasını engellemektedir. Bu yüzden kırpışma karıştırmanın amacına uygun olması için benzetimlerde sinyalinin eko sinyaline göre çok güçlü olmamasına dikkat edilmiştir.

**Çizelge 5.4** Çapraz Kutuplanma Karıştırması Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi

Karıştırma Tekniği	Radar Modeli	Uygulanabilme Durumu
Çapraz Kutuplanma Karıştırması	G-G (Log Yükselteçli) TDR	Etkili
	G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR	Etkili
	F-F (Sınırlandırıcı) TDR	Etkili Değil
	F-F (AGC' li) TDR	Etkili Değil

Genlik karşılaştırmalı radar modellerinden çapraz kutuplanma karıştırması tekniğinin uygulanmasında herhangi bir kısıt bulunmamaktadır.

Çapraz kutuplanma temelde sinyal genliği üzerinde yapılan oynamalar sonucu uygulanabilmektedir. Antenlerden alınan sinyallerin genlik bilgisi faz karşılaştırmalı sistemler tarafından yok edildiği için çapraz kutuplanma karıştırma tekniği faz karşılaştırmalı radar modelleri için anlamlı bir sonuç ortaya koyamamıştır.

**Çizelge 5.5** Şaşı Karıştırma Tekniği Başarım Sonuç Çizelgesi

Karıştırma Tekniği	Radar Modeli	Uygulanabilme Durumu
Şaşı Karıştırma	G-G (Log Yükselteçli) TDR	Etkili
	G-G (Toplam Sinyaline Düzgelenmiş) TDR	Etkili
	F-F (Sınırlandırıcı) TDR	Etkili
	F-F (AGC' li) TDR	Kismen Etkili

Şaşı karıştırma tekniğinde, aralarında  $180^{\circ}$  lik faz farkı bulunan karıştırma antenleri sinyallerinin aynı anda uygulanması durumunda radar alıcı anteninde sıfır (null) ortaya çıkacaktır. Bu yüzden karıştırma sinyalleri uygun bir senaryo ile uygulanmıştır.



Faz-faz karşılaştırmalı (AGC' li) TDR sistemlerde yer alan AGC' nin yanıt hızı yavaş olduğu için uygulanacak karıştırma sinyali gücünün eko sinyaline göre çok güçlü olması, karıştırmanın uygun bir şekilde çalışmasını engellemektedir. Bu yüzden şaşı karıştırmanın amacına uygun olması için benzetimlerde sinyalinin eko sinyaline göre çok güçlü olmamasına dikkat edilmiştir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

[Adamy, 2001] EW 101: A First Course in Electronic Warfare, David Adamy, Artech House Inc., 2001.

[Adamy, 2004] EW 102: A Second Course in Electronic Warfare, David Adamy, Artech House Inc., 2004.

[Barton, 1998] Radar Technology Encyclopedia, David K. Barton, Sergey A. Leonov, Artech House Inc., 1998.

[Best, 1999] Phase-Locked Loops: Design, Simulation and Applications, Roland E. Best, McGraw-Hill Inc., 1999.

[Falk, 2007] Cross-Eye Jamming of Monopulse Radar, Lars Falk, 2007.

[Goldberg, 1986] Introduction to Difference Equations, Samuel Goldberg, Courier Dover Publications, 1986.

[Hoon, 1989] Optimizing ECM Techniques Against Monopulse Acquisition and Tracking Radars (Thesis), Kwon, Ki Hoon, 1989.

[Ivanov, 1983] Semi-Active Radar Guidance, A. Ivanov, 1983.

[Kopp, 2007] Active and Semiactive Radar Missile Guidance, Carlo Kopp, 2007.

[Leonov, 1986] Monopulse Radar, A. I. Leonov, K. I. Fomichev, Artech House Inc., 1986.

[Mahafza, 2000] Radar Systems Analysis and Design Using Matlab, Bassem R. Mahafza, CRC Press, 2000.

[McGrath, 1992] Analysis of Radome Induced Cross Polarization, Daniel T McGrath, 1992, <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA249773&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>

[Meikle, 2001] Modern Radar Systems, Hamish Meikle, Artech House Inc., 2001.

[Neri, 2006] Introduction to Electronic Defense Systems, Filippo Neri, SciTech Publishing Inc., 2006.

[Ogata, 1995] Discrete-Time Control Systems, Katsuhiko Ogata, Prentice Hall, 1995.

[Özkazanç, 2005] Notes on Electronic Warfare, Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ, 2005.

[Skolnik, 1990] Radar Handbook, Merrill I. Skolnik, McGraw-Hill Inc., 1990.

[Skolnik, 1981] Introduction to Radar Systems, Merrill I. Skolnik, McGRAW-Hill Book Company, 1981.

[Songtao, 2011] Study on the Tracking Characteristic of Two Jammers with Passive Monopulse Radar, Xu Songtao, Yang Shaoquan, 2011.

[Tactical, 2001] Cross Eye Jamming Effectiveness, Tactical Technologies Inc., 2001, <http://tti-ecm.com/>

[Ural, 2003] Control Systems, Prof. Dr. Alper Uraz, Hacettepe University Faculty of Engineering Publications, 2003.

[Zarchan, 1997] Tactical and Strategic Missile Guidance, Third Edition, Paul Zarchan, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. 1997.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Anıl ÖZTÜRK

Doğum Yeri : Elazığ

Doğum Tarihi : 19 Şubat 1986

### **Eğitim ve Akademik Durumu:**

Lise : 2000 – 2004 Selçuklu Anadolu Lisesi, Konya

Lisans : 2004 – 2008 Gazi Üniversitesi, Elektrik - Elektronik  
Mühendisliği Bölümü, Ankara

Yüksek Lisans : 2008 – 2011 Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik  
Mühendisliği Bölümü, Ankara

### **İş Tecrübesi:**

2009 – ..... : MİKES A.Ş., Test Sistemleri Tasarım Mühendisi