

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK/ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK/ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK
LİSANS PROGRAMI**

**SİNYAL KARIŞTIRICILARIN HEDEF TESPİT RADARLARINA
ETKİSİ**

HAZIRLAYAN

VOLKAN HAMURCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA – 2022

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK/ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK/ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK
LİSANS PROGRAMI**

**SİNYAL KARIŞTIRICILARIN HEDEF TESPİT RADARLARINA
ETKİSİ**

HAZIRLAYAN

VOLKAN HAMURCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ A. ÇAĞRI YAPICI

ANKARA – 2022

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Volkan HAMURCU tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 16 / 02 / 2022

Tez Adı: Sinyal Karıştırıcıların Hedef Tespit Radarlarına Etkisi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Serap ALTAY ARPALI, Çankaya Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Alparslan Çağrı YAPICI, Başkent Üniversitesi

Prof. Dr. Sedat NAZLIBİLEK, Başkent Üniversitesi

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih : ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrencinin Adı, Soyadı: Volkan HAMURCU

Öğrencinin Numarası: 22010077

Anabilim Dalı: Elektrik/Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Elektrik/Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi A. Çağrı YAPICI

Tez Başlığı: Sinyal Karıştırıcıların Hedef Tespit Radarlarına Etkisi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 78 sayfalık kısmına ilişkin, 04/03/2022 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 1'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

... / ... / 20...

Öğrenci Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi A. Çağrı YAPICI

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca, bana danışmanlık ederek, yolumu aydınlatan ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi A. Çağrı YAPICI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresi boyunca ihtiyaç duyduğum her noktada yardımlarını asla esirgemeyen ve çalışmalarım sırasında yanımda olan Sayın Taha Ahmed ÖZBEY, Tunahan YARDIM ve Onur AYDOĞDU'ya teşekkür ederim.

Sonsuz sevgi ve desteğiyle yanımda olan, varlığıyla huzur bulduğum ve hayattaki herşeyim anneme teşekkür ederim.

ÖZET

Volkan HAMURCU

SİNYAL KARIŞTIRICILARIN HEDEF TESPİT RADARLARINA ETKİSİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik/Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

2022

Hedef tespiti ve hedef konumlandırma, radar sinyal işleme alanının en önemli yaklaşımlarından olup, hedef unsurlara ait konum bilgilerini, hedef bölgeye yaklaşımadan, güvenli bir mesafeden elde etmek için kullanılan bir radar sistemidir. Hareketli hedef tespiti radarlarda temel amaç hareket tespitidir ve genel olarak hareketli insanların tespiti söz konusudur.

Bant genişliği, merkez frekansı, anten kazancı vb. radar parametrelerinin değerleri, hareketli hedef tespit radarının hareket tespit ve görüntüleme performansını etkilemektedir. Hareketli hedef tespiti, genel olarak bazı temel işaret işleme adımlarını içerir; görüntü oluşturma, arka plan çıkarma, hareketli hedef tespiti, hedef konumlandırma, gürültü giderme vb. tüm bu adımlardaki algoritmaların başarımı, tüm sistemin başarımını etkilemektedir.

Hedeften elektromanyetik dalgalarla elde edilen ham veriler, belirsizlik ve bozulmalar içerebilmektedir, çevresel şartlardan önemli ölçüde etkilenmektedir. Sinyal Karıştırıcılar (Jammerlar) sistem başarımını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, çeşitli senaryolar içeren deneyler ile gerçek farklı radar türleri (FMCW, SFCW ve Pseudo-Noise Radar) ile veriler toplanarak Sinyal Karıştırıcının farklı tür radarlara etkileri mukayese edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: FMCW, SFCW, Pseudo-Noise, Radar, İnsan Tespiti, Elektromanyetik Dalgalar, Yankılaşım, Sinyal Karıştırıcı (Jammer).

ABSTRACT

VOLKAN HAMURCU

JAMMER EFFECTS ON TARGET DETECTION RADARS

Başkent University Institute Of Science

Department Of Electrical And Electronics Engineering

2022

Target detection and target positioning is one of the most important approaches in the field of radar signal processing, and it is a radar system used to obtain location information of target elements from a safe distance without approaching the target area. The main purpose of moving target detection radars is motion detection and generally the detection of moving people.

The values of radar parameters such as bandwidth, center frequency and antenna gain etc. affect the motion detection and imaging performance of the moving target detection radar. Moving target detection generally includes some basic signal processing steps; imaging, background subtraction, moving target detection, target positioning, noise removal, etc. The performance of the algorithms in all these steps affects the success of the whole system.

Raw data acquired from the target by using electromagnetic waves may include ambiguity and distortions, it is significantly affected by environmental conditions. Jammers can adversely affect system performance. Therefore, the effects of the Jammer on different types of radar were compared by collecting data with real different radar types (FMCW, SFCW and Pseudo-Noise Radar) with experiments involving various scenarios.

KEY WORDS: FMCW, SFCW, Pseudo-Noise, Radar, Human Detection, Electromagnetic Waves, Multipath, Jammer.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. HAREKETLİ HEDEF TESPİT RADAR MİMARİLERİ	4
2.1. Frekans Temelli Yaklaşım	6
2.1.1. SFCW radar sistemleri.....	6
2.1.2. FMCW radar sistemleri	8
2.2. Zaman Tabanlı Yaklaşım.....	10
2.2.1. Sahte gürültü radarı (pseudo-noise radar / m-sequence radar).....	12
3. HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ SİNYAL İŞLEME.....	14
3.1. Dağınıklık Giderme	15
3.2. Hedef İzi Oluşturma	15
3.3. Zarf Alma	16
3.4. CFAR Temelli Hedef Tespiti.....	17
4. SİNYAL KARIŞTIRICI	21
4.1. Radar Karıştırması.....	22
4.2. Baraj Karıştırması	23
4.3. Nokta Köreltme.....	25
5. BENZETİMLER, ÖLÇÜMLER VE TESTLER.....	27
5.1. Test Antenleri.....	27
5.1.1. Frekans aralığı ve geri dönüş kaybı	27
5.1.2. Karşılıklı kuplaj ve yan kulakçık seviyesi	29
5.2. Boş Ortam Ölçümleri	30
5.3. İnsan Radar Kesit Alanı.....	32
5.4. Radarı Karıştırma Geometrisi.....	34
5.5. SFCW Radarı Deneysel Çalışmalar	35

5.6. FMCW Radarı Deneysel Çalışmalar	40
5.7. Sahte Gürültü Radarı Deneysel Çalışmalar	44
5.8. SFCW Radarı Ve Karıştırıcı Deneysel Çalışmalar.....	49
5.8.1. SFCW radarı ve nokta köreltme karıştırması	51
5.8.2. SFCW radarı ve baraj karıştırması	56
5.9. FMCW Radarı Ve Karıştırıcı Deneysel Çalışmalar	60
5.9.1. FMCW radarı ve nokta köreltme karıştırması.....	62
5.9.2. FMCW radarı ve baraj karıştırması.....	64
5.10. Sahte Gürültü Radarı Ve Karıştırıcı Deneysel Çalışmalar.....	65
5.10.1. Sahte gürültü radarı ve nokta köreltme karıştırması.....	67
5.10.2. Sahte gürültü radarı ve baraj karıştırması.....	69
5.11. Deney Sonuçları	70
6. SONUÇ	72
7. KAYNAKLAR.....	75

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 5.1 SFCW Radarı Veri Toplama Ekipmanları	36
Tablo 5.2 SFCW Radarı Ölçüm Parametreleri	37
Tablo 5.3 FMCW Radarı Veri Toplama Ekipmanları	40
Tablo 5.4 FMCW Radarı Ölçüm Parametreleri.....	42
Tablo 5.5 Sahte Gürültü Radarı Veri Toplama Ekipmanları.....	45
Tablo 5.6 Sahte Gürültü Radarı Ölçüm Parametreleri	47
Tablo 5.7 SFCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ekipmanları	50
Tablo 5.8 SFCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ölçüm Parametreleri.....	51
Tablo 5.9 SFCW Radar Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları	56
Tablo 5.10 SFCW Radar Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları	60
Tablo 5.11 FMCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ekipmanları	61
Tablo 5.12 FMCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ölçüm Parametreleri	62
Tablo 5.13 FMCW Radar Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları.....	64
Tablo 5.14 FMCW Radar Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları.....	65
Tablo 5.15 Sahte Gürültü Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ekipmanları	66
Tablo 5.16 Sahte Gürültü Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ölçüm Parametreleri	67
Tablo 5.17 Sahte Gürültü Radarı Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları.....	69
Tablo 5.18 Sahte Gürültü Radarı Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları.....	70
Tablo 5.19 Nokta Köreltmenin Hedef Tespit Radarlarına Etkileri	71
Tablo 5.20 Baraj Karıştırmasının Hedef Tespit Radarlarına Etkileri	71

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Frekans Tabanlı Yöntemde İşaretin Zaman-Frekans Gösterimi	7
Şekil 2.2 Basitleştirilmiş SFCW Radar Sistemi Blok Diyagramı	7
Şekil 2.3 FMCW Radar İşaretin Zaman-Frekans Gösterimi	9
Şekil 2.4 Basitleştirilmiş FMCW Radar Sistemi Blok Diyagramı	9
Şekil 2.5 Zaman Tabanlı Radar Sinyali Gösterimi.....	11
Şekil 2.6 Basitleştirilmiş M-Sequence Radar Sistemi Blok Diyagramı	12
Şekil 2.7 4 Derece M-Sequence İşaretinin Zaman Diyagramı	13
Şekil 3.1 a) Radar A-Tarama b) Radar B-Tarama Görüntüsü Örneği.....	14
Şekil 3.2 Radar Sinyal İşleme Adımları	14
Şekil 3.3 Dağınıklığın Giderilmesinden Önce Ve Sonra Yansıyan Dalga Biçimi	15
Şekil 3.4 Sinyalin Hilbert Dönüşümünün Mutlak Değeri	17
Şekil 3.5 Hareketli Hedef Tespit İşaret İşleme Zinciri	17
Şekil 3.6 a) Hareketli Hedef Radar Menzil Profili b) CA-CFAR Çıktısı.....	18
Şekil 3.7 CA-CFAR Yaklaşımı	19
Şekil 4.1 Hedef Sinyallerin Tespiti.....	21
Şekil 4.2 Geniş Bant Karıştırıcının Güç Spektral Yoğunluğu.....	22
Şekil 4.3 Radar Karıştırması Geometrisi	22
Şekil 4.4 Baraj Karıştırması.....	23
Şekil 4.5 Gürültü Sinyalinin Matlab Ortamında Oluşturulması a) Gürültü Sinyalinin I/Q Spektrumu b) Gürültü Sinyalinin I/Q Dalga Formu	24
Şekil 4.6 a) Gürültü Sinyalinin Oluşturulması b) Sinyalin Ölçüm Sonucu.....	24

Şekil 4.7 Nokta Köreltme	25
Şekil 4.8 Nokta Köreltme Sinyalinin Matlab Ortamında Oluşturulması a) Nokta Köreltme Sinyalinin I/Q Spektrumu b) Nokta Köreltme Sinyalinin I/Q Dalga Formu	25
Şekil 4.9 a) Nokta Köreltme Sinyalinin Oluşturulması b) Sinyalin Ölçüm Sonucu	26
Şekil 5.1 a) Test Anteni b) Test Antenin Işıma Deseni	27
Şekil 5.2 Deneyisel Test Anteni S11 Ölçüm Sonuçları.....	28
Şekil 5.3 Antenler Arası Etkileşim	29
Şekil 5.4 Test Antenlerinin Yerleşimi (İki Antenli Yapı)	29
Şekil 5.5 Test Antenleri Arası Mesafe (İki Antenli Yapı).....	30
Şekil 5.6 Havadaki Zayıflamanın Ölçülmesi İçin Kurulan Düzenek	30
Şekil 5.7 Elektromanyetik Dalganın Yayılımından Kaynaklanan Zayıflama (Havadaki Zayıflama).....	31
Şekil 5.8 Hedef Uzaklığına Bağlı Havadaki Zayıflama	32
Şekil 5.9 CST Benzetim Ortamında Kullanılan Gerçekçi İnsan Modeli (İnsan Modeli 183 Cm Boyunda)	32
Şekil 5.10 CST Benzetim Ortamında Kullanılan Gerçekçi İnsan Modelinin 1.5 GHz'deki Yatay Açıdaki RKA Analizi	33
Şekil 5.11 CST Benzetim Ortamında Kullanılan Gerçekçi İnsan Modelinin 2.5 GHz'deki Yatay Açıdaki RKA Analizi	33
Şekil 5.12 CST Benzetim Ortamında Kullanılan Gerçekçi İnsan Modelinin 1.5 ve 2.5 GHz'deki Karşılaştırmalı Yatay Açıdaki RKA Analizi (DD için).....	33
Şekil 5.13 Arbitrary Waveform Generator (Karıştırma Sinyali Üretici)	34
Şekil 5.14 Yan Lobdan Alınan Doğrudan Karıştırma	35
Şekil 5.15 SFCW Radarı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek	35
Şekil 5.16 SFCW Radar Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede)	36
Şekil 5.17 Vektör Network Analizör	36

Şekil 5.18 VNA Ölçüm Ayarları Arayüzü	37
Şekil 5.19 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	38
Şekil 5.20 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	38
Şekil 5.21 a) 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	39
Şekil 5.22 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm).....	39
Şekil 5.23 FMCW Radarı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek.....	40
Şekil 5.24 FMCW Radar Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede).....	40
Şekil 5.25 SDR-KIT 240B FMCW Radar Modülü	41
Şekil 5.26 SDR-KIT 240B Veri Kayıt Arayüzü.....	41
Şekil 5.27 a) FMCW Radarı Ham Veri b) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	42
Şekil 5.28 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	43
Şekil 5.29 a) FMCW Radarı Ham Veri b) 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	43
Şekil 5.30 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm).....	44
Şekil 5.31 Sahte Gürültü Radarı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek	44
Şekil 5.32 Sahte Gürültü Radarı Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede).....	45
Şekil 5.33 M: Explore Sahte Gürültü Radarı.....	45
Şekil 5.34 M: Explore Ölçüm Ayarları	46
Şekil 5.35 M: Explore Veri Kayıt Arayüzü	46
Şekil 5.36 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	47

Şekil 5.37 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 4 dBm)	48
Şekil 5.38 a) 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	48
Şekil 5.39 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm).....	49
Şekil 5.40 SFCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek	49
Şekil 5.41 SFCW Radar Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede, Sinyal Üretici 1 Metrede)	50
Şekil 5.42 SFCW Radarı Ölçümleri İçin Karıştırıcı Çıkış Gücü.....	50
Şekil 5.43 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	51
Şekil 5.44 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 4 dBm)	52
Şekil 5.45 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -10 dBm)	52
Şekil 5.46 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 10 dBm)	53
Şekil 5.47 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -20 dBm)	53
Şekil 5.48 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 20 dBm)	54
Şekil 5.49 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -30 dBm)	54
Şekil 5.50 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 30 dBm)	55
Şekil 5.51 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	56
Şekil 5.52 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 4 dBm)	57
Şekil 5.53 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -10 dBm)	57

Şekil 5.54 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 10 dBm)	58
Şekil 5.55 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -20 dBm)	58
Şekil 5.56 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 20 dBm)	59
Şekil 5.57 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -30 dBm)	59
Şekil 5.58 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 30 dBm)	60
Şekil 5.59 FMCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek.....	61
Şekil 5.60 FMCW Radar Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede, Sinyal Üretici 1 Metrede)	61
Şekil 5.61 FMCW Radarı Ölçümleri İçin Karıştırıcı Çıkış Gücü	62
Şekil 5.62 a) FMCW Radarı Ham Veri b) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	63
Şekil 5.63 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 4 dBm)	63
Şekil 5.64 a) FMCW Radarı Ham Veri b) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	64
Şekil 5.65 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 4 dBm)	65
Şekil 5.66 Sahte Gürültü Radarı Ve Karıştırıcı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek.....	66
Şekil 5.67 Sahte Gürültü Radarı Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede, Sinyal Üretici 1 Metrede).....	66
Şekil 5.68 Sahte Gürültü Radarı Ölçümleri İçin Karıştırıcı Çıkış Gücü	67
Şekil 5.69 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	68
Şekil 5.70 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 4 dBm)	68

Şekil 5.71 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)	69
Şekil 5.72 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü - 4 dBm)	70



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ADC	: Analog To Digital Converter
BW	: Bandwidth
CA-CFAR	: Cell-Averaging CFAR
CAGO-CFAR	: Cell-Averaging Greatest-Of CFAR
CAOS-CFAR	: Cell-Averaging Ordered Statistics CFAR
CASH-CFAR	: Cell-Averaging Statistic Hofele
CFAR	: Constant False Alarm Rate
CUT	: Cell Under Test
CW	: Continuous Wave
dB	: Desibel
dBi	: Decibels Relative To Isotropic
dBm	: Decibel Milliwatts
DD	: Dikey-Dikey (Anten Polarizasyonu)
DFT	: Discrete Fourier Transform
EABS	: Exponential Averaging Background Subtraction
ECM	: Electronic Countermeasures
EM	: Elektromanyetik
FCC	: US Federal Communications Commission
FMCW	: Frequency-Modulated Continuous Wave
FPGA	: Field Programmable Gate Array
GHz	: Gigahertz
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transform
J/S	: Jamming To Signal Ratio
MAMIS-CFAR	: Maximum-Minimum Statistic CFAR
MHz	: Megahertz
MLBS	: Maximum Length Of Binary Signal
MTI	: Moving Target Indication
OS-CFAR	: Ordered Statistics CFAR
PEC	: Perfect Electric Conductor
Radar	: Radio Detection And Ranging
RF	: Radio Frequency
RKA	: Radar Kesit Alanı
SFCW	: Stepped Frequency Continuous Wave
SNR	: Signal To Noise Ratio
UGB	: Ultra Geniş Bant
VNA	: Vector Network Analyzer
VSWR	: Voltage Standing Wave Ratio
YY	: Yatay-Yatay (Anten Polarizasyonu)

1. GİRİŞ

Hedef tespit radarları, elektromanyetik dalgaların gönderilmesi ve hedeften yansıyan dalgaların toplanarak işlenmesi prensibine dayanır. Hedef tespitine yönelik radarların uygulama alanları oldukça fazladır. Otonom sürücüsüz araçlar, gemi çarpışmalarını önleme, hava araçların tespiti benzeri açık alandaki radar uygulamaları bulunduğu gibi rehine kurtarma, hasta takibi, yerleşim alanında terörle mücadele ve kazazede kurtarma benzeri bina içi radar uygulamaları da bulunmaktadır [1].

Terörle mücadele için kullanılan radarların operasyonun doğası gereği sinyal karıştırıcılarına karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Çoğunlukla güvenlik birimleri, radar uygulamasının gerçekleştirildiği ortamda ayrıca kendi sinyal karıştırıcılarını da kullanmaktadır. Sinyal karıştırıcılar, radar sistemlerinin hedefleri doğru bir şekilde tespit etmesine engel olacak belirli frekans aralıklarında radyo sinyalleri yaymaktadır. Sinyal karıştırıcı hedef tespit radarının elektromanyetik spektrumunun kullanım etkinliğini azaltmaktadır. Sinyal karıştırıcılar radarların hedef tespit başarımını olumsuz etkileyebilmektedir. Sinyal karıştırıcıların kullanıldığı bir ortamda radar sistemlerinin başarımını artırmak için sinyal karıştırıcılarının çeşitli radar alıcısı tipleri üzerindeki etkilerinin bilinmesini gereklidir.

Guy Kouemou [9] tarafından yazılan “Radar Technology” kitabında FMCW Radar, SFCW Radar ve Zaman Tabanlı Radar mimarileri kullanan radarların dalga biçimleri için sistem dinamik aralığı (SDR) matematiksel modeli geliştirilmiş ve her bir radar tipi için SDR sonuçları karşılaştırılmıştır. Merkez frekansı 1 GHz olan ve 1 GHz’lik bant genişliğine sahip Zaman Tabanlı radarın SDR değeri 115.5 dB, SFCW radarın SDR değeri 91.5 dB, FMCW radarın SDR değeri ise 101.5 dB olarak hesaplamıştır. Bu karşılaştırma sonucunda farklı radar tipleri için SDR değeri 40 dB’den fazla değişiklik göstermektedir. Hedef takip radarlarının performans artışı için yüksek sistem dinamik aralığına sahip olması gerektiği sonucu çıkarılmıştır. Bununla beraber karşılaştırmalar karıştırıcı işaretinin olmadığı ortamda sabit hedefler için ele alınmıştır.

Peter, Nikos ve arkadaşları [24] tarafından yapılan çalışmada; pasif radar yapısı karıştırıcı etkisi altında incelenmiştir. Bu çalışmada hedef tespit etmek ve hedef izlemek için alıcı ağı kullanılmaktadır. Böyle bir pasif radar alıcı ağı, hedef tespiti gerçekleştirebilen geleneksel radarlar ile karşılaştırmıştır. Karıştırma teknikleri olarak baraj karıştırması, nokta

köreltmesi, kendini koruma karıştırması (Self-Protection Jamming) ve refakatte karıştırma (Escort Jamming), aldatma ve iletişim karıştırması kullanmaktadır. Önerilen pasif radar alıcı ağı sisteminde, alıcı konumunun bilindiği durum için alıcının baraj ve aldatma karıştırmasına karşı savunmasız olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, bistatik radarların baraj, nokta ve aldatma karıştırmasına karşı savunmasız olduğunu belirtilmiştir. Ancak sinyal karıştırıcıların hareketli hedef tespiti üzerine etkileri incelenmemiştir.

Jian, Xinhong ve arkadaşları [25] tarafından yapılan çalışmada; geleneksel faz kodlu radar (M-Sequence, Pseudo Random) kullanarak sinyal karıştırma ve farklı radarlardan kaynaklı parazit etkileri incelenmiştir. Karıştırma tekniği olarak baraj karıştırması kullanılmıştır. Karıştırıcının bulunduğu ortamda bir arada bulunan radarlardan kaynaklı parazit etkilerini gidermek için radar kimliğine dayalı kaotik şifreli darbe sıkıştırma sinyali benzetimlerde kullanılmıştır. Bu teknik ile karıştırmaya karşı dayanıklılık sağlanmış ve hedef tespit yeteneği artırılmaya çalışılmıştır. Birden fazla alıcının çıktılarının birleştirilmesiyle, radarın karıştırmaya karşı dayanıklılığının daha da geliştirilebileceği önerilmiştir.

Zhang, Su ve arkadaşları [26] tarafından yapılan çalışmada; ultra geniş bant görüntüleme radarı sistemi kullanarak sinyal karıştırma performansı incelenmiştir. Benzetimler vasıtasıyla, ultra geniş bant rastgele gürültü radarı performansı ile ultra geniş bant geleneksel doğrusal frekans radarı sonuçları karşılaştırmıştır. Karıştırma yöntemi olarak Gauss gürültü karıştırma modeli ve gürültü modülasyonu karıştırma tekniklerini kullanılmıştır. Çalışmalarda radar merkez frekansı 400 MHz, bant genişliği 300 MHz, menzil çözünürlüğü ve azimut çözünürlüğü 0.5 metre alınmıştır. Gauss gürültü karıştırması bant genişliği 300 MHz ve gürültü modülasyonlu karıştırma bant genişliği 280 MHz'dir. İletilen sinyalin rastgele olması nedeniyle, geleneksel radar ile karşılaştırıldığında, karıştırmaya karşı 10 dB daha iyi olduğu gösterilmiştir.

Feng [27] tarafından yapılan çalışmada; FMCW radar sistemi kullanılarak sinyal karıştırma performansı incelenmiştir. FMCW radar sinyalinin doğrusal olmaması radarın tespit yeteneğini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda sinyal karıştırıcılar tarafından müdahale riskini artırmaktadır [27]. Bu çalışmada FMCW radarı, frekans atlamalı yayılı spektrum tekniğinin kullanıldığı ve kullanılmadığı iki farklı tipi için karıştırmaya karşı dayanımları açısından karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışmalarında radar merkez frekansı 24 GHz, bant genişliği 200 MHz, frekans atlama aralığını 300 MHz ve hedef 50 metre mesafede olacak

şekilde alınmıştır. FMCW radarda frekans atlama teknolojisini kullanarak menzil doğruluğunun ve karıştırmaya karşı dayanımının arttığı sonucuna varmıştır.

Bu tez çalışmasında, yukarıdaki çalışmalardan farklı olarak, hareketli hedef tespit radar tiplerinin karıştırmaya karşı başarımları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Vektör Sinyal Üretici kullanarak karıştırma sinyalleri oluşturulmuştur. Farklı hedef tespit radarı türleri (FMCW, SFCW ve Pseudo-Noise Radar) ile karıştırıcı etkisi altındaki ham veriler toplanmıştır. Nokta Köreltmesi ve Baraj Karışırması'nın hedef tespit radarlarına etkilerinin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerde, ham veriler toplanırken, radar tiplerinin çıkış güçleri eşit olacak şekilde tutulmuştur. Farklı radar tipleri için veri toplama araçları, hedef hareketi ve karıştırma geometrisi aynı olacak şekilde ölçüm düzeneği oluşturulmuştur. Ayrıca ölçüm süreleri de eşit tutulmuştur. Hedef tespiti ve pozisyon takibi için işaret işleme adımları uygulanmıştır. İşaret işleme adımları olarak görüntü oluşturma, arka plan çıkarma, hareketli hedef tespiti, hedef konumlandırma, gürültü giderme benzeri işlemler gerçekleştirilmiştir. Farklı radar sistemlerinin başarımlıları yüzde başarı ölçütü olarak mukayese edilmiştir. Tez kapsamında sinyal karıştırıcı çeşitlerinin, farklı tipteki radar alıcıları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. HAREKETLİ HEDEF TESPİT RADAR MİMARİLERİ

Genel olarak radar sistemleri, II. Dünya Savaşı öncesinden beri birçok gelişmenin olduğu çok olgun bir konudur. RADAR kelimesi Radio Detection And Ranging anlamına gelir ve ilk olarak 1940 yılında Birleşik Devletler Donanması tarafından kullanılmıştır. Bununla birlikte, radar kavramı, Heinrich Hertz'in elektromanyetik dalgaların iletimi, alımı ve yansıması gösterimini 1886 civarında gerçekleştirdiği düşünülebilir.

Radar sistemleri, II. Dünya Savaşı'nda askeri uygulamalar için algılama cihazları olarak başından beri önemli ölçüde ilerlemiştir ve kullanımlarını birçok askeri olmayan uygulama için genişletmiştir [3].

Hareketli Hedef Tespit Sistemi, hedef veya hedeflerin konum bilgisinin, hedef bölgeye yaklaşmadan, güvenli bir mesafeden, elektromanyetik dalgaların gönderilmesi ve yansıyan dalgaların toplanarak işlenmesi yolu ile tespitine imkân tanıyan radar sistemidir.

Bu sistem;

- Analog sinyalleri EM dalgalara çevirip ortama yönlendirecek, hedeften yansıyan EM dalgaları alıp analog sinyale dönüştürecek antenlerden,
- Sistemden gönderilecek sinyali, uygun parametrelerde üretecek, ortamdan yansıyan sinyali, güçlendirip sayısallaştıracak alıcı-vericiden,
- Hedeflere ait konum bilgilerinin oluşturulması için kullanılacak sinyal işleme algoritmaları ve bu algoritmaları temel alan sinyal işleme ortamından,

oluşmaktadır [4].

Hareketli hedef tespit radarlarda temel amaç hareket tespittir ve genel olarak hareketli insanların tespiti söz konusudur.

Hareketli hedef tespit radarları, genel olarak sabit bir konumda kullanılırlar ve farklı zamanlarda elde ettikleri ölçümleri kullanarak hareketli hedefi tespit etmeye çalışırlar. Hareket, ancak belirli süre boyunca veri toplanması ile tespit edilebilir. Özetle, hareketli hedef tespit radarları genellikle ardışık tarama verileri topladıktan sonra bu tarama verilerinin analizi ve işlenmesi ile hareketi tespit ederler [5]. Hareketli insanın 2 veya 3 boyutlu konumlandırılması için ise birden fazla alıcı antenin kullanılması gerekir.

Kullandıkları teknoloji veya yöntemine göre hareketli hedef tespit radarları zaman tabanlı veya frekans tabanlı olarak iki kategoriye ayrılırlar:

- i. **Frekans temelli yaklaşım:** Bu tip alıcı/vericiler, ortamın -hedefin- dürtü tepkisini (impulse response) frekans alanında toplar. Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW), Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) radarlar bu kategoriye girer.
- ii. **Zaman temelli yaklaşım:** Bu kategoriye giren alıcı/vericiler, ortamın dürtü tepkisini zaman alanında toplar. Bu nedenle bu tip alıcı/vericilerin ham verisi, direk işaret gecikmesini verebilir. Sahte gürültü (Pseudo-Noise) radarları ise kodlu bir işareti sürekli gönderip sayısal olarak otokorelasyon yaparlar.

Bir radarın menzil çözünürlüğü, aynı azimut açısında bulunan, fakat farklı mesafelerdeki iki veya daha fazla hedefin birbirinden ayırt etme özelliğidir. Menzil çözünürlüğünü iletilen sinyalin bant genişliğine, hedeflerin tipine ve radar kesit alanına, radar alıcısının ve antenin verimine bağlıdır.

Hareketli hedef tespit radarında menzil çözünürlüğü, ΔR yaklaşık olarak Denklem 2.1 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\Delta R = \frac{c}{2B} \quad (2.1)$$

Bu formülde, c ışık hızı (metre/saniye), B ise radar işaretinin bant genişliğini ifade eder.

ΔR , hareketli hedef tespit radarının tespit yapabileceği teorik maksimum mesafeye karşılık gelir. Pratikte bir hareketli hedef tespit radarının tespit mesafesi, teorideki maksimum tespit menziline daha kısa olabilir. Bunun nedeni pratikte kayıplardan dolayı teorik limite ulaşamamasıdır.

Zaman tabanlı yapılar için, maksimum tespit menzili Denklem 2.2 ile hesaplanır.

$$R_{max} = \frac{c T_r}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

Burada T_r darbe tekrarlama aralığı, ϵ_r ise ortamın dielektrik permitivitesidir (hava için 1 alınır).

Frekans tabanlı yapılar için ise Denklem 2.3 ile hesaplanır.

$$R_{max} = \frac{N c}{4 B \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

N , toplam frekans adım sayısını, B ise toplam bant genişliğini ifade eder [6].

2.1. Frekans Temelli Yaklaşım

Frekans temelli radar sistemleri, Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) veya Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) gibi sinyalleri iletmek için tipik olarak farklı frekans modülasyonlarına sahip sürekli dalga (Continuous wave, CW) yöntemini kullanır.

2.1.1. SFCW radar sistemleri

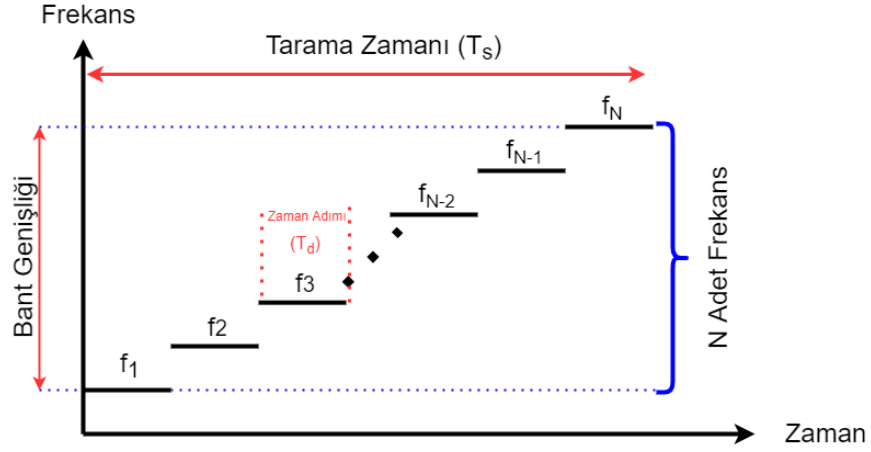
Bir SFCW sistemi, hedeflere doğru, her biri farklı frekansta belirli bir miktarda ayrılmış ardışık CW sinyal dizilerini iletir ve hedeflerden yansıyan sinyalleri alır. Bir hedeften alınan dijital in-phase (Denklem 2.4) ve quadrature (Denklem 2.5) sinyalleri daha sonra, hedefin bilgilerini içeren ters ayırık Fourier Dönüşümü (Inverse Fast Fourier Transform, IFFT) kullanılarak zaman alanında sentetik bir darbeye dönüştürülür. Bir SFCW sistemi, her frekansta çok dar anlık bant genişliğine sahiptir, bu da alıcıda istenilen şekilde yüksek sinyal-gürültü oranı ile sonuçlanır.

$$I_i = A_i \cos \phi_i = A_i \cos\left(-\frac{2\omega_i R}{v}\right) \quad (2.4)$$

$$Q_i = A_i \sin \phi_i = A_i \sin\left(-\frac{2\omega_i R}{v}\right) \quad (2.5)$$

Denklemde ω_i frekans ve R ise hedefin mesafesini vermektedir.

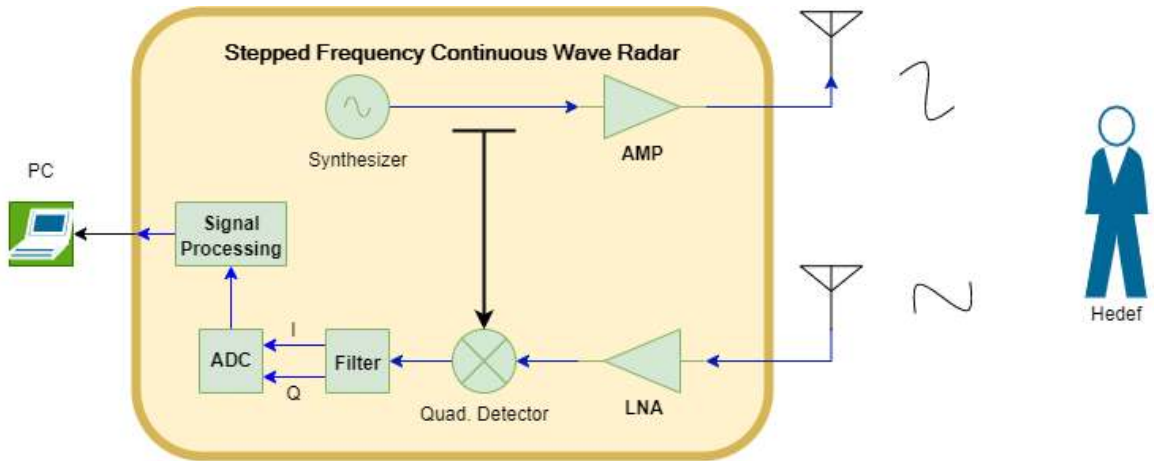
Şekil 2.1’de frekans tabanında gönderilen işaret zaman-frekans düzleminde gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, zamanda belli bir aralıkta, T_d (zaman adımında) bakıldığı zaman, işaret sadece tek bir frekansa sahiptir. Her zaman adımında gönderilen frekansın değeri doğrusal olarak artırılmaktadır. Alıcıda yine her zaman adımında alınan işaret sayısallaştırılır ve sonra bu işaretler birleştirilerek radar ölçümü elde edilir. Şekil 2.2’de SFCW radar sistemlerinin basitleştirilmiş bir blok diyagramını göstermektedir. Her zaman adımında sayısallaştırışı (ADC) sadece bir ölçüm üretilir ve tarama sonunda, T_s toplam frekans adımı sayısı kadar ölçüm elde edilmiş olur. SFCW radar çalışma prensibine bakıldığı zaman iki tür bant genişliği düşünülebilir: anlık bant genişliği ve toplam bant genişliği. Anlık bant genişliği Δf ile orantılıdır [3].



Şekil 2.1 Frekans Tabanlı Yöntemde İşaretin Zaman-Frekans Gösterimi

Bir SFCW Radar'ın kullanımında önemli olan parametreler şunlardır:

1. Toplam frekans adım sayısı (number of frequency points, number of frequency steps)
2. Başlangıç frekansı: Taramanın başlatıldığı frekans değeri
3. Bitiş frekansı: Taramanın bitirildiği frekans değeri
4. Toplam bant genişliği (bandwidth): Başlangıç ve bitiş frekanslarından hesap edilebilir
5. Tarama süresi (sweep time): SFCW Radar'nın tüm frekans adımlarını tarayıp ölçümünü oluşturduğu süre



Şekil 2.2 Basitleştirilmiş SFCW Radar Sistemi Blok Diyagramı

Hareketli hedef tespit radarları, VNA (Vektör Network Analizör) cihazı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşımla gerçekleştirilen radarlara **SFCW (Stepped Frequency Continuous Wave)** radarları da denilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, VNA'ların oluşturduğu ölçümlerin frekans alanında olması ve zaman (menzil) alanına geçmek için IFFT uygulanmasının gerektiğidir.

Her tarama sonunda, VNA toplam frekans adım sayısı boyutuna sahip 1-D bir tarama verisi üretir. Bu tarama verisinin IFFT'si alınarak sinyal zaman tabanında elde edilir. Bu zaman tabanındaki sinyalin index'i, ışık hızıyla çarpılarak menzil profili elde edilir (range profile). Menzil profiline A-taraması verisi de adı da verilmektedir. Genellikle hedefin veya güçlü bir yansıtıcının olduğu menzilde daha güçlü genliklerin olması beklenir [7].

Avantajları ve Dezavantajları

SFCW yapıya dayalı çalışan radarların sunduğu önemli avantajlar şunlardır:

- Yüksek alıcı duyarlılığı
- Anlık bant genişliğinin düşük olması nedeniyle düşük hızlı sayısallaştırıcıların yeterli olması
- Düşük maliyet ve düşük donanım kompleksitesi
- Düşük veri yoğunluğu ve bu nedenle ucuz donanımlarla sinyal işleme imkânı

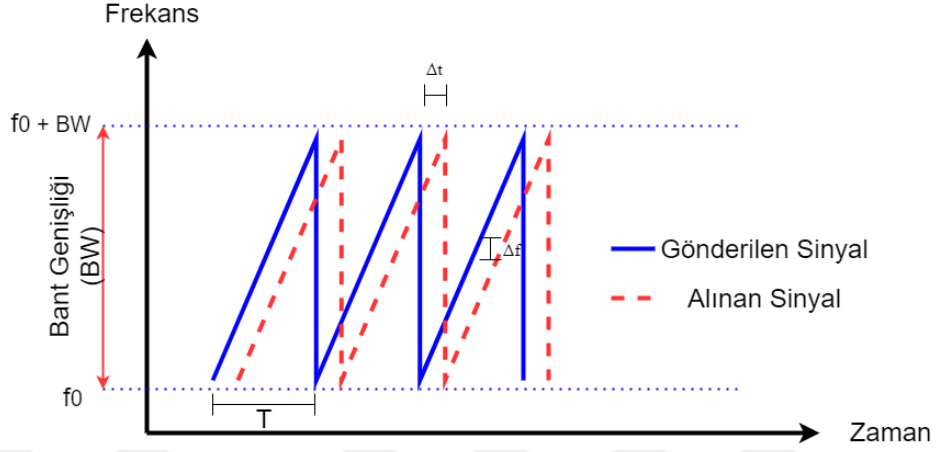
SFCW radarların dezavantajları ise;

- Tarama süresinin uzun olması: Tüm frekans adımları taranmadan VNA bir veri üretemez. Bu özellikle hareketli hedeflerin konum kestiriminde 'coherent' işaret alımını engellediği için problem teşkil eder.
- Frekans tarama yaklaşımı ile paralel çalışan çoklu alıcılı yapıların gerçekleştirilmesinin son derece maliyetli ve karmaşık olmasıdır.
- İşaret olarak sinüs kullandığı için hedeften yansıyan işaretin zamanda (menzilde) çok yayılması ve yakın hedeflerin birbirini bastırmasıdır [8].

2.1.2. FMCW radar sistemleri

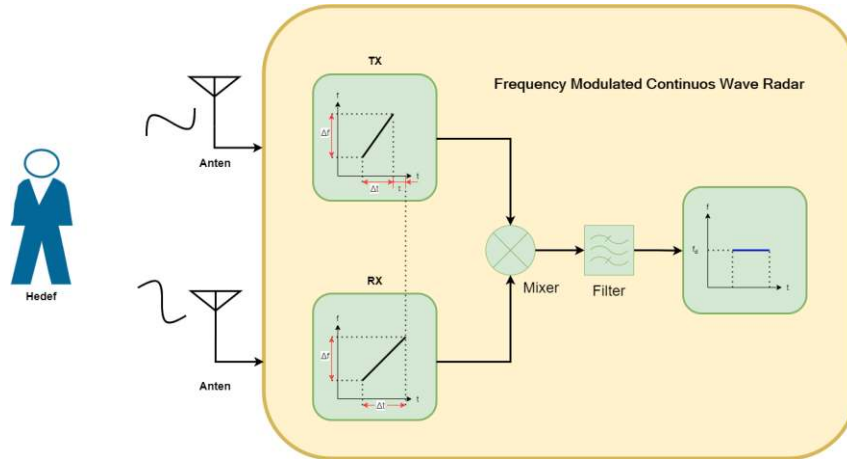
Bir FMCW sistemi bir bant genişliği boyunca her frekansta bir sinyal olmak üzere CW (sinüzoidal) sinyalleri iletir ve alır. Bir FMCW sistemi, farklı frekanslardaki sinyalleri aynı anda iletmez ve almaz. Yani, bir FMCW sistemi temelde tek frekanslı sinyallerin bir bant genişliği üzerinden çalıştırılır. FMCW radar işaretinin zaman-frekans düzlemi Şekil 2.3'de

gösterilmektedir; burada BW verici sinyalin bant genişliği, Δf vuruş frekansı (beat frequency) ve Δt zaman gecikmesidir.



Şekil 2.3 FMCW Radar İşaretin Zaman-Frekans Gösterimi

FMCW radar sistemleri, Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) radarlardan çok daha yüksek bir ortalama güce ulaşabilir. Şekil 2.4’de doğrusal bir frekans modülasyon vericisi kullanan FMCW radar sistemlerinin basitleştirilmiş bir blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 2.4 Basitleştirilmiş FMCW Radar Sistemi Blok Diyagramı

Bir hedefin radar sistemine uzaklığı Denklem 2.6 ile hesaplanabilir.

$$R = \frac{vf_d}{2m} \quad (2.6)$$

Bir hedefin sisteme uzaklığı, denklemindeki f_d iletilen ve dönen sinyaller arasındaki ve karıştırıcı (mixer) tarafından aşağı dönüştürülen (down-converted) nispi zaman gecikmesinden (τ) kaynaklanan vuruş (beat) frekansıdır ve m tarama frekansı oranıdır [7].

Avantajları ve Dezavantajları

FMCW yapıya dayalı çalışan radarların sunduğu önemli avantajlar şunlardır:

- Yüksek bir ortalama güce ulaşabilir.

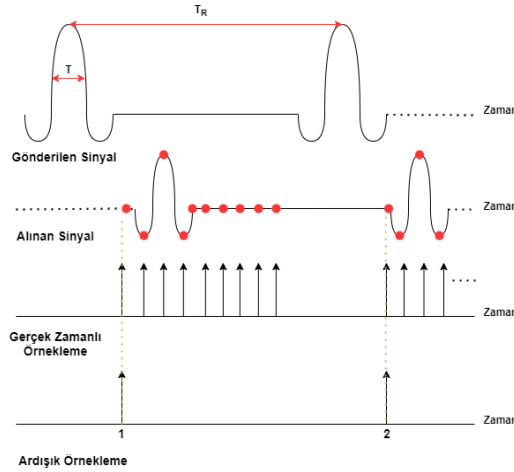
FMCW radarların dezavantajları ise;

- Belirli bir menzil ve yayılma ortamı için menzil ölçümünün doğruluğu, FMCW radar sistemleri için önemli bir tasarım parametresi olan frekans tarama hızının doğruluğuna bağlıdır. Geniş bir bant genişliği, alıcının gürültü değerini düşürür ve bu da alıcı için duyarlılığın ve dolayısıyla dinamik aralığın azalmasına neden olur.

Bu dezavantajlar, çok yüksek aralık doğruluğu ile geniş bant çalışması gerektiren bazı uygulamalar için FMCW radar sistemlerinin olası kullanımını engelleyebilir [8].

2.2. Zaman Tabanlı Yaklaşım

Ultra Geniş Bant (UGB) teknolojisini kullanan zaman tabanlı yapılarda, işaretin sayısallaştırılması için standart örnekleme tekniği tercih edilmez. Bunun nedeni GHz mertebelerinde bant genişliğine sahip bir işaretin Nyquist kriterine göre en az GHz örnekleme frekansları ile sayısallaştırmak gerekir ve ortaya çok kısa zamanda çok büyük veri yoğunluğu ortaya çıkar. Bu kadar büyük bant genişliğini destekleyen sayısallaştırıcılar yüksek maliyetli ve düşük dinamik alana sahiptirler. Bunun yanı sıra, veri boyutunun büyüklüğü nedeniyle verinin depolanması ve transferi de problem yaratabilmektedir. Bu nedenle ‘subsampling’ adı verilen bir örnekleme tekniği kullanılmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Zaman Tabanlı Radar Sinyali Gösterimi

Subsampling yaklaşımında, alıcıda işaretin sayısallaştırılması ardışık darbelerden uygun sıra -gecikmeyle- alınan örneklerle yapılır. Hedefe ait ölçüm aslında tek darbe ile değil her darbeden bir örnek alınacak şekilde belli sayıda darbe kullanılarak elde edilir. Bu teknik, ölçüm zamanını belli miktarda uzatmakla birlikte bu, genelde kabul edilebilir bir mertebede olmaktadır [9].

Avantajları ve Dezavantajları

Zaman tabanlı yapıya dayalı çalışan radarların sunduğu önemli avantajlar şunlardır:

- Zaman tabanlı yöntemlerin en önemli avantajı çok hızlı çalışabilmelidir.
- Ayrıca görece küçük boyutta ve ağırlıkta donanımlarla gerçekleştirilebilirler.

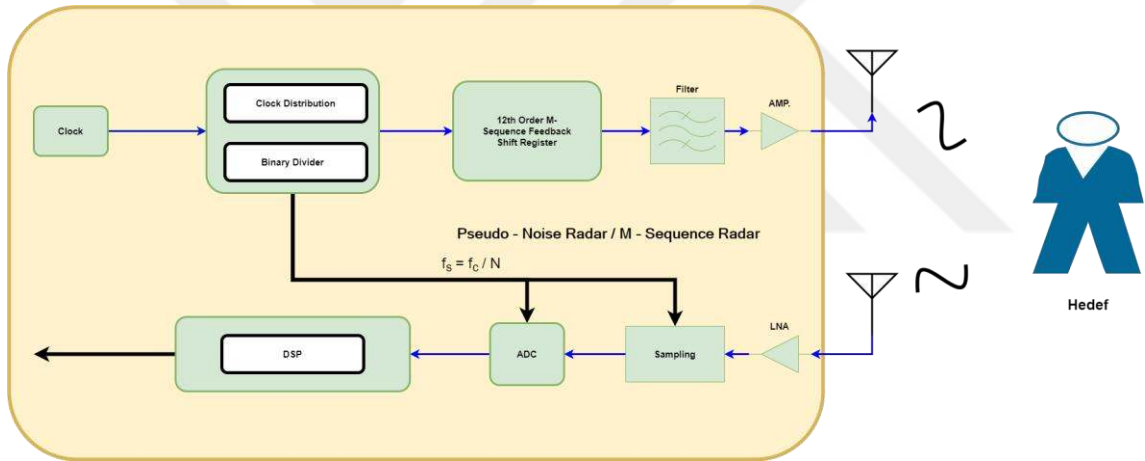
Zaman tabanlı radarların dezavantajları ise;

- Sistemin gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan donanımların karmaşık olmasıdır. Zamanda çok kısa süreli ve yüksek genlikli darbenin üretilmesi oldukça zor ve maliyetlidir.

Günümüzde zaman tabanlı yapıların dezavantajları, M-Sequence ve subsampling adı verilen tekniklerle giderilmeye başlanmıştır. M-Sequence tekniği ile zamanda çok yüksek genlikli darbe üretme zorunluluğu ortadan kaldırılarak sadece yarı-iletken devrelerle hedef tespit radarlarının gerçekleştirilmesi mümkün hale gelmiştir. Subsampling yöntemi ise oluşan yüksek veri yoğunluğunu önemli ölçüde düşürmeyi sağlar [8].

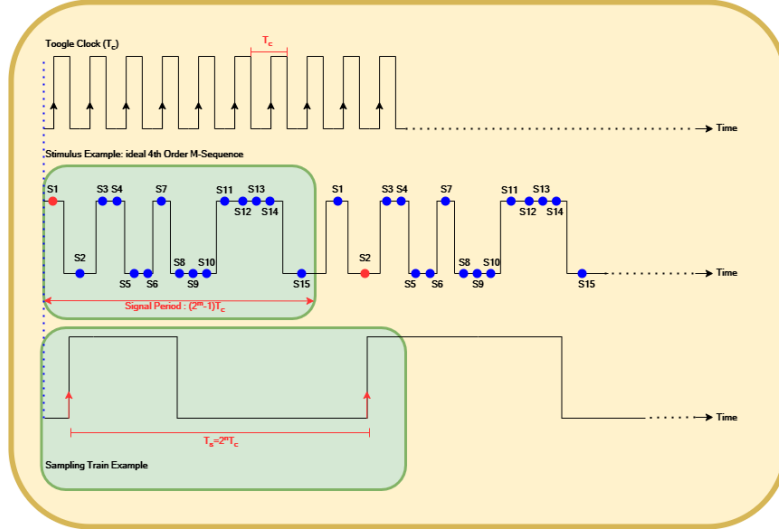
2.2.1. Sahte gürültü radarı (pseudo-noise radar / m-sequence radar)

Temel olarak, zamanda kısa bir süre alan bir darbe işaretinin gönderilerek geri dönen işaretlerin toplanması prensibine dayanır. Birçok radar uygulamasında, hedeften yansıyan işaretlerin daha yüksek genliğe sahip olması beklenir. Hedef tespit radarı uygulamalarında genellikle insan hareketlerinin tespit edilmesi amaçlanır ve insanın radar kesit alanı son derece küçüktür. Ortamdaki nesnelerden, insandan yansıyandan daha yüksek genlikli işaretler alınır. Bu nedenle, insanın tespiti ancak hareketinin tespiti ile yapılabilir. Farklı zaman anlarında toplanan radar verileri, aynı zaman adımı için hareketten dolayı düşük genlik farklarına sahip olur ve bu farkların tespiti ile hareketli insanın tespiti mümkün olmaktadır. Şekil 2.6’da Sahte gürültü radar sistemlerinin basitleştirilmiş bir blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 2.6 Basitleştirilmiş M-Sequence Radar Sistemi Blok Diyagramı

Zaman tabanlı hedef tespit radarların maliyetini ve zamanda çok kısa süreli-yüksek genlikli darbe üretmenin getirdiği zorlukları aşmak için M-Sequence/Pseudo-Noise (sahte gürültü) adı verilen yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. M-Sequence tekniğinde zamanda çok kısa süreli bir darbe kullanmak yerine, zamanda daha uzun süreye yayılan kodlanmış bir işaret kullanılır. Bu teknoloji sayesinde dürtü radarına nazaran verici güçleri çok yükseğe çıkarılabilir, sinyal yapısı elektronik olarak yükseltmeye uygundur. Tipik bir M-Sequence radar işareti Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 4 Derece M-Sequence İşaretinin Zaman Diyagramı

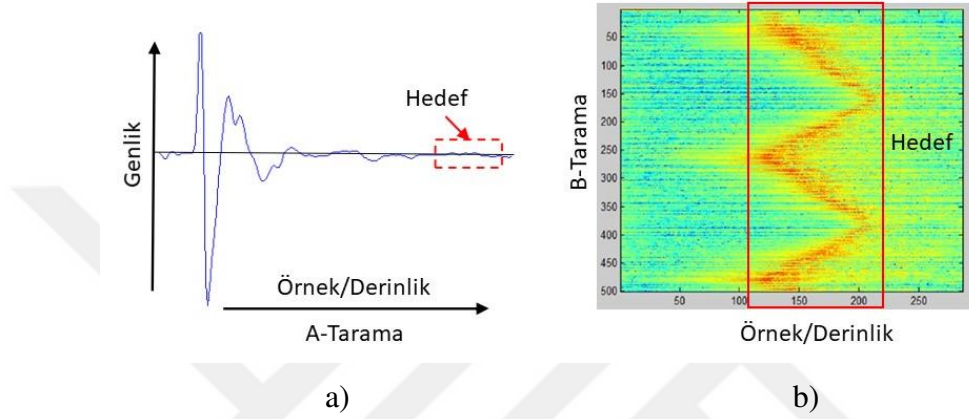
Bu teknolojiye temel yaklaşım, zamanda geniş bir alana yayılan kodlu bir işaretin analog olarak kullanılmasıdır. Alıcıda sayısallaştırıcı ile entegre çalışan bir FPGA ile subsampling yaklaşımı ile hem işaretin örnek sayısı azaltılır hem de sayısallaştırılan işaret, bilinen kod yapısı ile otokorelasyon yapılır. Sayısal alanda yapılan otokorelasyon ile sinyalin yansıdığı zamanda (menzilde) sinyal genlikleri yüksek hale getirilir.

M-sequence ve subsampling yöntemlerini birlikte kullanan sistemler sadece yarı-iletken devrelerle gerçekleştirilebilir. Bu, sistemin maliyetlerinin ve boyutunun önemli ölçüde düşürülebilmesini sağlar. Ayrıca paralel çoklu alıcılı yapılar, maliyetleri ciddi miktarda artırmadan gerçekleştirilebilir.

Ancak M-Sequence ve subsampling yöntemleri, SNR’da belli ölçüde performans kaybına neden olurlar [10].

3. HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ SİNYAL İŞLEME

Hareketli hedef tespit radarları, her tarama için bir menzil profili üretir ve menzil profillerinin sütunlar olarak yerleştirilmesiyle 2 boyutlu bir B-tarama matrisi elde edilir (Şekil 3.1). Elde edilen bu matris, radar görüntüsü olarak da isimlendirilebilir.



Şekil 3.1 a) Radar A-Tarama b) Radar B-Tarama Görüntüsü Örneği

Hareketli hedef izi oluşturmada temel yaklaşım, hareketli bir hedefin aynı menzil hücresinde farklı tarama anları için farklı genlikler üretmesidir. Sabit nesneler ise farklı tarama anlarında aynı menzil hücresi için benzer genlik değerleri üretir. Bu gözleme dayanarak, ardışık tarama anlarındaki menzil profilleri kullanılarak hareketli hedef izi ön plana çıkarılırken sabit nesnelere ait işaret bastırılmaya çalışılır [11].

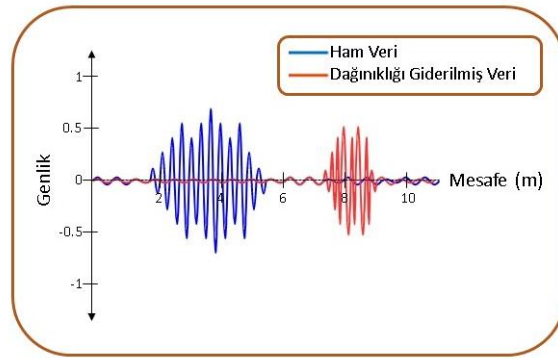


Şekil 3.2 Radar Sinyal İşleme Adımları

Hedef tespiti ve takibi için hedef tespit radarı sinyal işleme adımları Şekil 3.2’de yer almaktadır. Ön işleme teknikleri, hedefin tespit edilmesini, yani menzilinin tahmin edilmesini ve ayrıca dağınıklık olarak da adlandırılan istenmeyen sinyallerin ortadan kaldırılmasını içeren bir başlangıç aşamasıdır [12].

3.1. Dağınıklık Giderme

Dağınıklık, algılanması istenilmeyen fakat radar tarafından algılanan işaretlerdir. Bunlar aynı zamanda gerçek hedeflerin algılanma olasılığını da azaltırlar. Dağınıklık, antenler arasındaki karşılıklı kuplaj ve insan dışındaki diğer nesnelerden yansımaları da içermektedir. Dağınıklığın kaynakları, sistem için ayrılmış bant genişliği dışındaki frekanslardaki bant dışı girişim sinyalleri de olabilir. Bant dışı parazit, Fourier dönüşümü ve bant geçiren filtreleme gibi geleneksel tekniklerle algılanabilir ve kaldırılabilir [13].



Şekil 3.3 Dağınıklığın Giderilmesinden Önce Ve Sonra Yansıyan Dalga Biçimi

Üstel Ortalama Arka Plan Çıkarma, hareketli nesnelerle kullanılan bir dağınıklığı giderme yöntemidir [5].

3.2. Hedef İzi Oluşturma

Literatürde hareketli hedef izi oluşturmaya yönelik metotlar iki isimle anılmaktadır:

1. Arka plan çıkarma (Background Subtraction)
2. Hareketli Hedef Belirtme (MTI- Moving Target Indication)

Arka plan çıkarma teriminden kasıt, sabit nesnelerin zamanla değişmeyen arka plan olarak görülmesidir. Sabit nesneler, farklı ölçüm zamanlarında (tarama anlarında), aynı menzil için yaklaşık olarak aynı genliğe sahip ölçümler üretirken hareketli hedefin aynı menzil için ürettiği ölçümler değişir.

Literatürde, hedef tespit radarları için Üstel Ortalama Arka Plan Çıkarma (EABS- Exponential Averaging Background Subtraction) yöntemi önerilmektedir. EABS, gerçek zamanlı olarak çalışabilen yöntemdir. Her tarama anında, A-tarama verisi yani menzil profili

kullanılarak arka plan kestirimi güncellenir. EABS yöntemi aşağıdaki denklemler ile ifade edilir:

$$y_k = \alpha y_{k-1} + (1 - \alpha)x_k \quad (3.1)$$

$$\widehat{x}_k = x_k - y_{k-1} \quad (3.2)$$

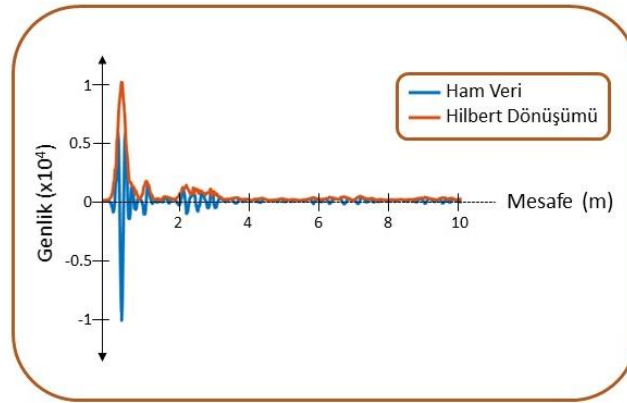
Bu denklemde, $\widehat{x}_k$ sonucu, y_k , şimdiki zamanı ifade eden k anındaki arka plan kestirimini, x_k ise şimdiki zamanda elde edilen A-tarama ölçümünü (menzil profili) ifade eder. $-\alpha$ - parametresi ise arka plan çıkarmada, geçmiş ölçümlerin ne kadarının etkin olacağını ayarlar ve değeri 1 ile 0 arasında değişir [14].

3.3. Zarf Alma

Hilbert Dönüşümü: $u(t)$ fonksiyonunun Hilbert dönüşümü aşağıdaki denklem ile ifade edilir:

$$H(u)(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (3.3)$$

Doğrusal bir operatör olan Hilbert dönüşümü, fonksiyonun $1/(\pi t)$ ile konvolüsyonudur. Frekans alanındaki Hilbert dönüşümü $H(u)(t)$, bir fonksiyonun her Fourier bileşenine 90° 'lik bir faz kayması uygular. Bu nedenle, $H(u)(t)$, $u(t)$ 'nin negatif frekans bileşenlerinin fazını $+90^\circ$ ($\pi/2$ radyan) ve pozitif frekans bileşenlerinin fazını 90° kaydırma etkisine sahiptir. Hilbert dönüşümü, sinyali sararak, gürültüyü azaltarak ve hedefi temsil eden tepe noktaları bulmayı kolaylaştırarak sonuçlanır. Dönüşümün sonucu Şekil 3.4'de gösterilmektedir.

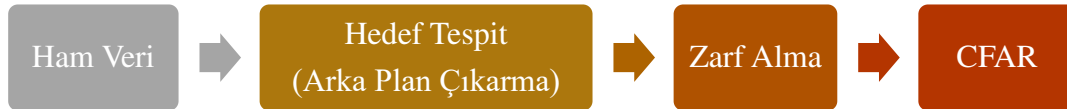


Şekil 3.4 Sinyalin Hilbert Dönüşümünün Mutlak Değeri

Hedefe olan uzaklığı tahmin etmek için basit bir tepe noktası seçmek yerine Hilbert dönüşümü ve ortalamasını kullanarak doğruluğun arttığını göstermektedir [15].

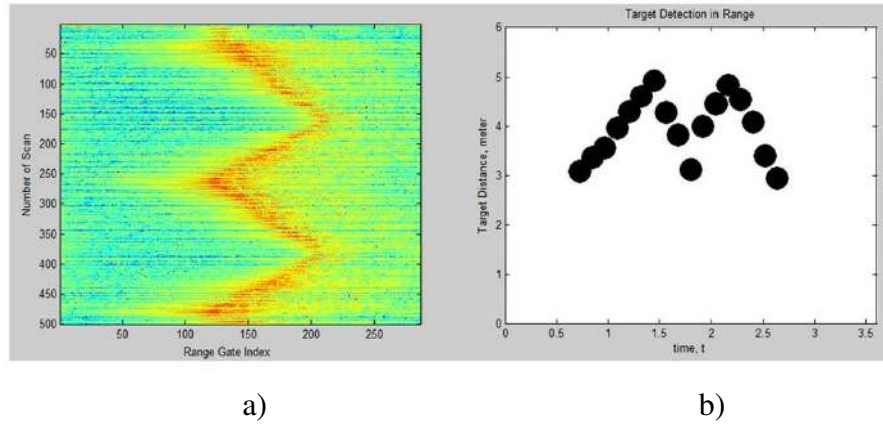
3.4. CFAR Temelli Hedef Tespiti

CFAR yöntemi menzil profili üzerinde uygulanır. CFAR yöntemi uygulanmadan önce ham verinin ön işlemeden geçirilmesi gerekir. Ön işleme safhası, hareketli hedef izi oluşturma (arka plan çıkarma, değişim tespiti) ve zarf alma adımlarını içerir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Hareketli Hedef Tespit İşaret İşleme Zinciri

CFAR yöntemi, hedef hücrenin etrafındaki menzil yönündeki hücrelerden bilgi toplayan istatistiksel bir test uygulanmasına dayanır. Bu istatistiksel test aslında bir eşikleme operasyonudur ve bu eşikleme değerini geçen hücreler hedef olarak tespit edilir. CFAR sonucunda 0 veya 1'lerden oluşan binary bir görüntü elde edilir (1'ler hedef). 2-5 metre arasında hareketli hedefe ait radar menzil profili ve Cell-Averaging CFAR (CA-CFAR) çıktısı Şekil 3.6'da yer almaktadır [16].



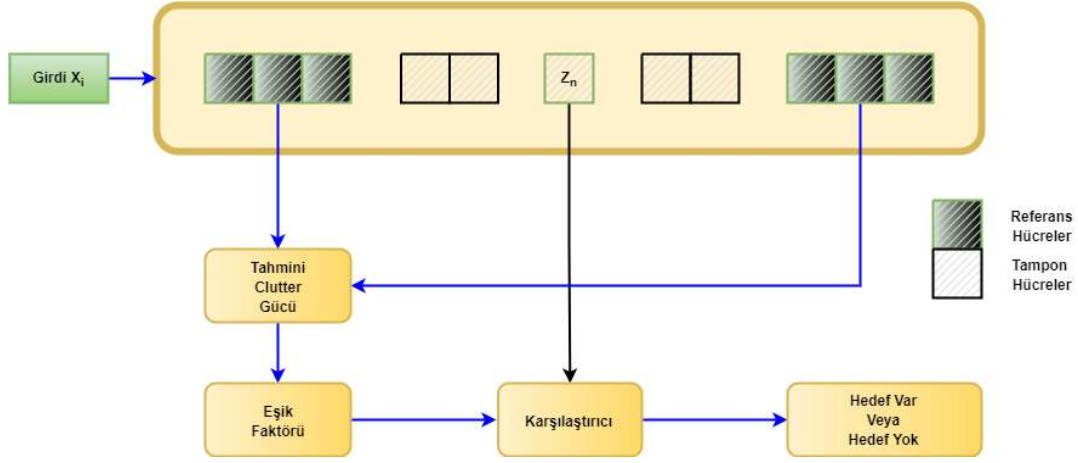
Şekil 3.6 a) Hareketli Hedef Radar Menzıl Profili b) CA-CFAR Çıktısı

Literatürde birçok farklı CFAR yöntemi önerilmiştir. Bunlardan öne çıkanları:

1. Cell-Averaging CFAR (CA-CFAR)
2. Cell-Averaging Greatest-Of CFAR (CAGO-CFAR)
3. Ordered Statistics CFAR (OS-CFAR)
4. Cell-Averaging Ordered Statistics CFAR (CAOS-CFAR)
5. Cell-Averaging Statistic Hofele (CASH-CFAR)
6. Maximum-Minimum Statistic CFAR (MAMIS-CFAR)

Çeşitli CFAR yöntemleri, farklı parazit (clutter) ve gürültü modellerine göre optimum çalışabilmektedir. Genel olarak gerçek verinin istatistiksel özelliklerine göre CFAR tipinin seçilmesi ve CFAR parametrelerinin ayarlanması gerekir.

Literatürde en çok uygulanan ve en temel CFAR yöntemi CA-CFAR'dır. CA-CFAR yönteminin işleyişi Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Hedef hücrenin (Cell Under Test- CUT) etrafından bir tampon bölge alınır. Bu tampon bölgenin, hedefe ait bilgileri taşıdığı varsayılır ve hedefin kaplaması muhtemel menzıl hücre sayısına bağlı olarak belirlenmelidir. G adet tampon hücre hesaba katılmaz. Tampon bölgenin dışında, hedefin her iki tarafından M adet referans hücre alınarak bu hücrelerin aritmetik ortalaması hesaplanır. Bu M adet hücrenin arka plana ait olduğu var sayılır ve arka plan hücresi olarak da isimlendirilmektedir. Daha sonra elde edilen bu ortalama, alfa (α) adı verilen bir eşik faktörü ile ölçeklendirilir. Hedef hücrenin değeri bu ölçeklendirilen değerle karşılaştırılır ve hedef hücrenin değeri büyükse o hücrenin hedefe ait olduğu tespiti yapılır.



Şekil 3.7 CA-CFAR Yaklaşımı

CA-CFAR'ın mekanizması matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$x_{test} \geq \alpha \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i \quad (3.4)$$

Alfa değeri (α) istenilen bir yanlış alarm olasılığına, P_{FA} , bağlı olarak belirlenebilir:

$$\tau = (P_{FA})^{-1/M} - 1 \quad (3.5)$$

CA-CFAR yöntemi ile dağınıklığı giderilmiş homojen bir radar verisinde hareketli bir hedefi tespit etmekte yüksek başarıma sahiptir. Dağınıklığı giderilmiş heterojen radar verisinde veya birden fazla hareketli hedefin birbirine yakın olduğu durumlarda CA-CFAR tespit başarımı düşmektedir. Referans hücre sayısı arttıkça hesaplanan istatistiksel değerler daha gerçekçi hale gelmektedir. Referans hücrelerin artmasıyla CA-CFAR yönteminin tespit başarısının da artmaktadır. Referans hücre sayısı arttıkça hedefe yakın başka bir hedefe ait veya hedefin arka planın verisine ait olmayan hücrelerde de referans hücreler içine girebilmektedir. Bu durum hedef arka plan homojenliğini azaltmaktadır ve CA-CFAR yöntemin hedef tespit başarımını düşürmektedir.

Ordered statistics CFAR, birbirine yakın mesafedeki hedeflerden kaynaklı heterojen dağınıklığı giderilmiş radar verisi istatistiğinin iyi tahmin edilemediği durumlarda hedef tespit başarımını yükseltmek için kullanılan yöntemdir. Greatest of CFAR yöntemi dağınıklığı giderilmiş radar verisinde çokça kenar olması durumunda iyi tespit performansı sağlamaktadır. Fakat düzgün dağılmış dağınıklığı giderilmiş radar verisine sahip hedefler için CA-CFAR yöntemine kıyasla daha düşük tespit başarısı sunabilmektedir. Smallest of

CFAR yöntemi ise birbirine yakın hedeflerin bulunduğu durumlarda başarılıdır. Fakat SO-CFAR yöntemi dağınıklığı giderilmiş radar verisinin çok kenar içerdiği durumlarda yanlış alarm oranı yükselmektedir.

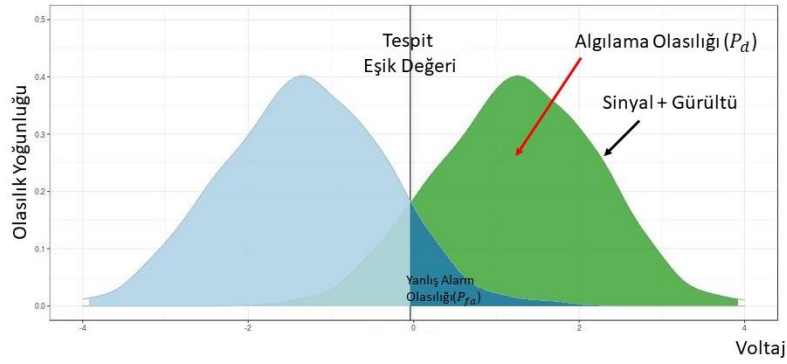
Farklı CFAR yöntemleri içinde her şartta yüksek tespit başarımına sahip bir yöntem bulunmamaktadır. Referans hücre sayısı, tampon hücreleri, dağınıklığı giderilmiş radar verisinin homojenliğine en uygun uyarlamalı bir yöntem daha yüksek tespit başarımları sağlayabilir [17].



4. SİNYAL KARIŞTIRICI

Bir radar alıcısı, alınan sinyalin voltajını önceden ayarlanmış bir eşik voltajı ile karşılaştırarak bir hedefi tespit eder. Alınan voltaj eşikten büyükse, radarın bir hedef tespit ettiği söylenir.

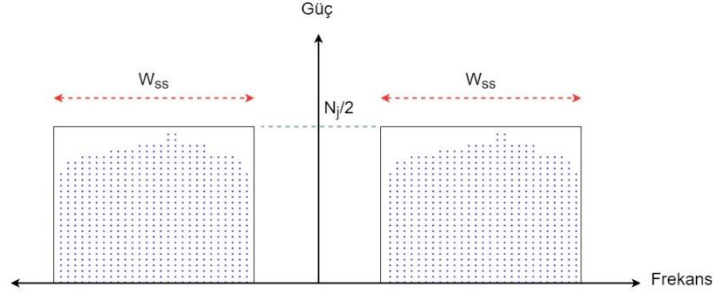
Radar alıcıları iki ana zıt özelliği karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Bunlar, algılama olasılığı (probability of detection P_d) ve yanlış alarm olasılığıdır (probability of false alarm, P_{fa}). Bir radarın algılama olasılığı, bir hedef mevcut olduğunda radarın bir hedefi ne sıklıkla algılayacağını bir ölçüsüdür. Yanlış alarm olasılığı, bir hedef olmadığında bir radarın bir hedefin mevcut olduğuna ne sıklıkla karar vereceğinin bir ölçüsüdür (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Hedef Sinyallerin Tespiti

P_d ve P_{fa} parametreleri, bir radarın gerekli sinyal gürültü oranını (SNR) ve gerekli minimum sinyal gücünü belirlemek için kullanılır. Gürültü gücündeki bir artış, sinyal gürültü oranında bir azalmaya neden olacaktır. Gürültü gücündeki artıştan kaynaklanan SNR'daki azalma, radarın algılama olasılığında bir azalmaya ve radarın yanlış alarm olasılığında bir artışa neden olur [4].

Sinyal karıştırıcılar, radar sisteminin frekansı bilinmiyorsa birden fazla frekansı veya bir frekans bandını hedefleyerek karıştırma sinyalini frekans spektrumunun tüm genişliğine yerleştirir. Radar tek bir frekansta çalışıyorsa ve bu frekans biliniyorsa, sinyal karıştırıcının tüm gücü bu frekansta yoğunlaştırır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Geniş Bant Karıştırıcının Güç Spektral Yoğunluğu

Karıştırma sinyali genellikle Gauss olduğu varsayılır. Teorik Gauss gürültüsü sonsuz bir frekans kapsamına sahiptir. Sinyal gücü sonsuz bant genişliğine yayıldığından, sinyal alanı boyutu başına güç sonludur. Bu nedenle, verici gücünü sonlu boyutlu bir sinyal uzayına yoğunlaştırarak bir güç avantajı elde edilir.

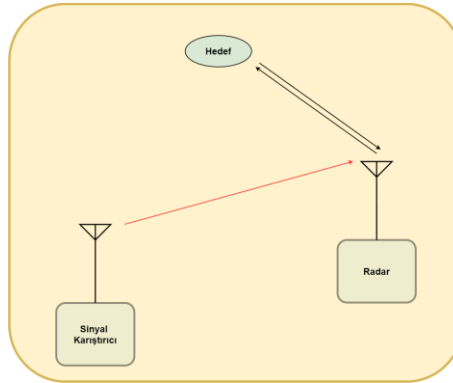
Karıştırma sinyalinin gücü denklemi aşağıdaki gibi tanımlanır [28].

$$J = 2W_{ss} \left(\frac{N_j}{2} \right) = W_{ss} N_j \quad (4.1)$$

- J : Karıştırma sinyalinin gücü
 W_{ss} : Yayılmış spektrum bant genişliği
 N_j : Karıştırma sinyalinin spektral gücü

4.1. Radar Karıştırması

Radar karıştırması, radarın hedefini bulmasını veya izlemesini önlemek için radarın alıcısına girişim sinyalleri yayar (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Radar Karıştırması Geometrisi

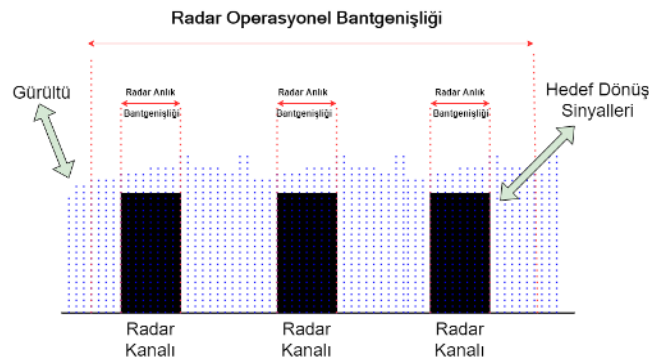
Sinyal karıştırmanın etkinliği, yalnızca bozduğu radar alıcı bağlamında hesaplanabilir. Etkinliği tanımlamanın en yaygın yolu, etkin bozucu gücün (yani, alıcıda oluşan girişim sinyal gücünün), sinyal gücüne (alıcının gerçekte almak istediği) oranıdır. Buna sinyal karıştırma oranı denir [20].

Karıştırma sinyali bir nesneden gelen dönüş sinyalinden çok daha güçlüyse karıştırma başarılı olacaktır. Radara alınan gelen karıştırıcı sinyali, sinyal karıştırıcının çıkış gücüne ve sinyal karıştırıcı ile radar arasındaki mesafeye bağlı olacaktır. Radara hedeften dönen sinyalinin gücü, radar sinyalinin çıkış gücüne, nesnenin radar kesit alanına ve radar ile nesne arasındaki mesafeye bağlı olacaktır.

Bir radar tek bir frekansta çalışıyorsa ve bu frekans biliniyorsa, sinyal karıştırıcının tüm gücü bu frekansta yoğunlaştırılabilir ve bu karıştırma türüne **Nokta Köreltmesi** denir. Frekans bilinmiyorsa veya radar bir tür frekans atlama kullanıyorsa, sinyal karıştırıcının birden fazla frekansı veya bir frekans bandını hedeflemesi gerekir ve bu tekniğe **Baraj Karıştırması** denir [2].

4.2. Baraj Karıştırması

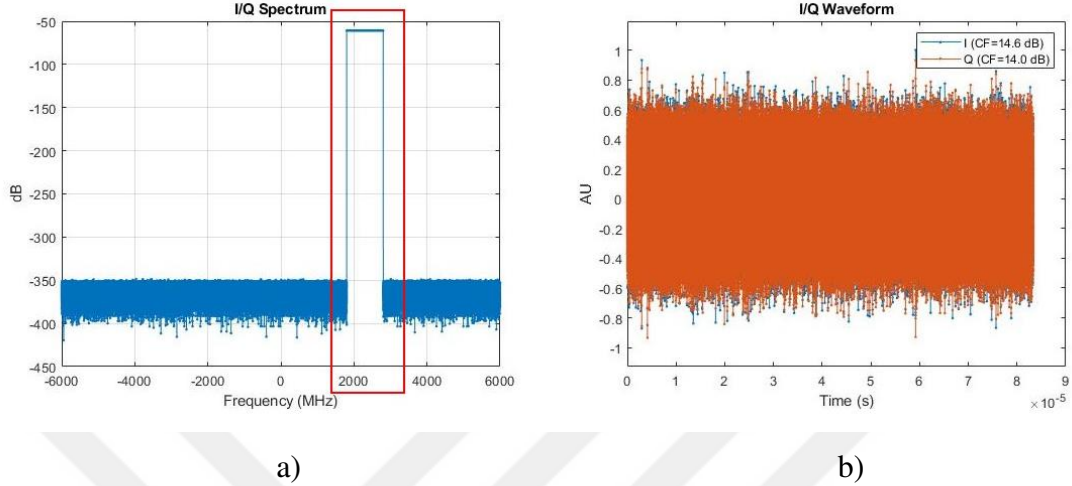
Baraj karıştırması, birkaç aktif elektronik karşı önlem tekniğinden biridir. Birincil baraj karıştırma yöntemi, mümkün olduğunca rastgele veya gürültüye benzer bir sinyal üretmektir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Baraj Karıştırması

Baraj karıştırmasını analiz ederken birkaç değişkeni dikkate almak gerekir. Girişim sinyali gücü, en kritik parametrelerden biridir. Karıştırmanın etkili olması için, alınan radar sinyalinin enerjisinden daha büyük olmalıdır. Baraj karıştırma dalga biçiminin istatistiksel

özellikleri de önemlidir. Bir gürültü karıştırma sinyalinin etkili olabilmesi için, gürültünün istatistikleri, alıcının termal gürültü istatistiklerine mümkün olduğunca yakın olmalıdır.



Şekil 4.5 Gürültü Sinyalinin Matlab Ortamında Oluşturulması a) Gürültü Sinyalinin I/Q Spektrumu b) Gürültü Sinyalinin I/Q Dalga Formu

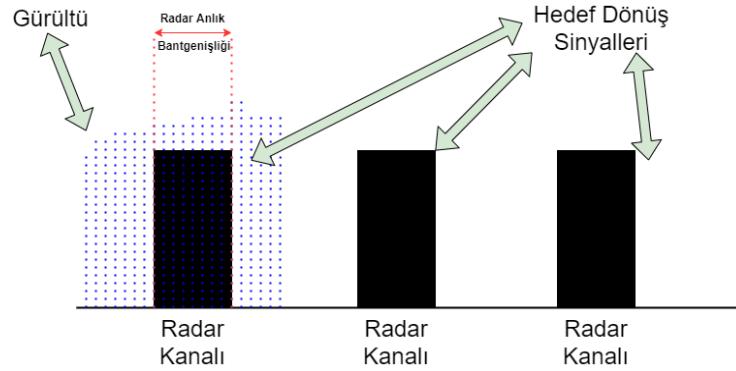
Gürültü karıştırmasının birincil amacı, alıcıda hâlihazırda mevcut olan termal gürültüye yaklaşan yüksek güçlü bir gürültü dalga biçimi üreterek radarın Pfa'sını artırmak ve radarın Pd'sini düşürmektir [20].



Şekil 4.6 a) Gürültü Sinyalinin Oluşturulması b) Sinyalin Ölçüm Sonucu

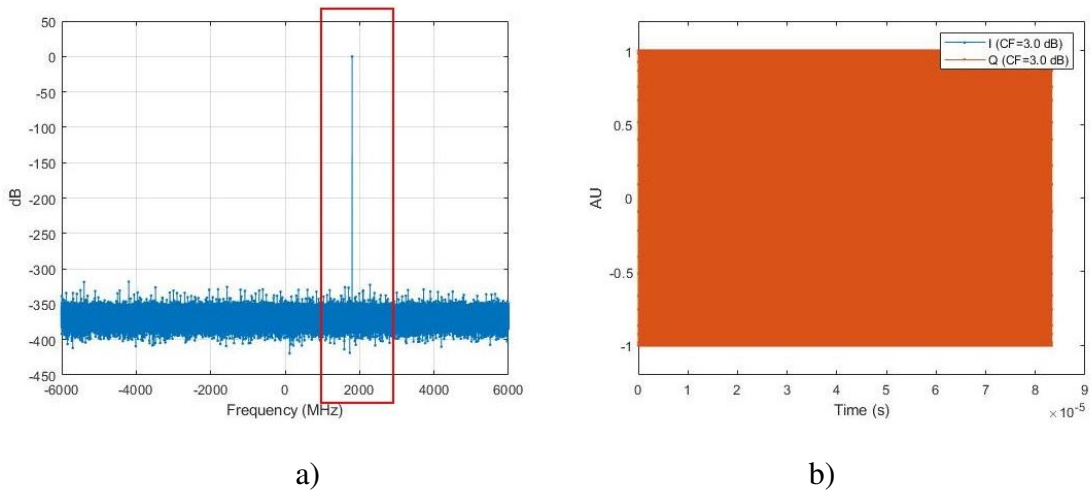
4.3. Nokta Köreltme

Nokta köreltme, karıştırmanın spesifik bir kanal ya da frekans ile yapılmasıdır. Bu teknik, gürültü benzeri sinyal üreten frekans karıştırma tekniğidir. Sinyal karıştırıcının çıkış gücünün tümü, çok dar bir bant genişliği içerisinde, idealde radarinkine eşit bir şekilde yoğunlaştırılır. Dolayısıyla, nokta köreltme, genellikle belirli bir radara karşı yöneltilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Nokta Köreltme

Nokta köreltme kendi gücünü çok dar bir bant genişliği içerisinde yoğunlaştırır ve böylece sinyal bozma etkisi önemli oranda artar. Nokta genişliği; hedef sinyal ve hesaplanan frekanslardaki belirsizliği (değişkenliği) örtmek için yeterlidir.



Şekil 4.8 Nokta Köreltme Sinyalinin Matlab Ortamında Oluşturulması a) Nokta Köreltme Sinyalinin I/Q Spektrumu b) Nokta Köreltme Sinyalinin I/Q Dalga Formu

Nokta köreltme;

- Sadece tek frekans ya da tek kanala yönelik karıştırma yöntemidir.
- Bant genişliği dardır.
- RF gücü dar bir bantta kullandığı için karıştırma RF güç dağılımı yüksektir.
- Birden fazla frekans/kanal için yetersizdir.
- Frekans atlamalı sistemler için çok uygun değildir.
- Nokta Köreltme çok dar bantta çalıştığı için GHz boyutunda bant genişliğini karıştırmak çok olanaklı değildir [20].



a)

b)

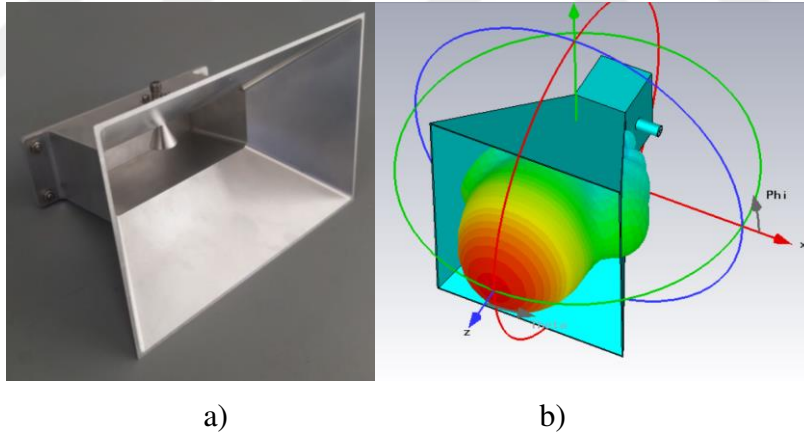
Şekil 4.9 a) Nokta Köreltme Sinyalinin Oluşturulması b) Sinyalin Ölçüm Sonucu

5. BENZETİMLER, ÖLÇÜMLER VE TESTLER

Sinyal karıştırıcılarının etkilerinin incelenmesi üç bölüm halinde ele alınacaktır. İlk olarak, hareketli hedef senaryosunu içeren deneysel kurulum ile farklı radar türleri (FMCW, SFCW ve Pseudo-Noise Radar) ile veriler toplanacaktır. Gürültü karıştırma dalga biçimleri de istatistiksel özellikleri ile modellenmiştir. Vektör Sinyal Üretici ile oluşturulacak gürültü karıştırma dalga biçimleri, doğrudan gürültü yükseltilmiş (Baraj Karıştırması), gürültü ile genlik modülasyonlu (Nokta Köreltme) şeklindedir. Son olarak, gürültü bozucu dalga biçimi istatistikleri, sinyal karıştırmanın alıcının üzerindeki etkilerini belirlemek için üç farklı radar alıcısına uygulanacaktır.

5.1. Test Antenleri

Deneysel veri toplama çalışmalarında radar alıcısında, radar vericisinde ve vektör sinyal üretici vericisinde standart gain horn antenler kullanılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 a) Test Anteni b) Test Antenin Işıma Deseni

5.1.1. Frekans aralığı ve geri dönüş kaybı

ABD Federal İletişim Komisyonu'nun (US Federal Communications Commission's, FCC) tanımına göre, bant genişliği 500 MHz'den büyükse veya kesirli bant genişliği 0,2'den büyükse bir sinyal UWB sinyali olarak tanımlanabilir [29]. Kesirli bant genişliği denklemi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$B_f = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (5.1)$$

B_f : Kesirli bant genişliği

f_L : Başlangıç frekansı

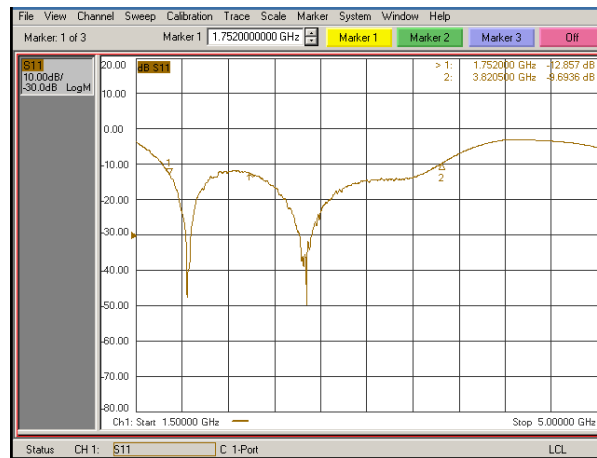
f_H : Bitiş frekansı

Deneyisel veri toplama antenlerinin kesirli bant genişliği, 1.5 GHz - 3.5 GHz frekans aralığı ve 2.5 GHz merkez frekansı için; $(3.5-1.5)/2.5=0.8$ (%80)'dir. Dolayısıyla %50'nin üzerinde olduğu için ultra geniş bantlı anten sınıfına girmektedir. Diğer bir yandan, üst frekans ile alt frekansın oranı da anten bant genişliğini tanımlamada kullanılabilir $(3.5/1.5=2.33)$.

Frekans bandını belirlerken geri dönüş kaybının değerine bağlı olarak anten kazancı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

- $|S_{11}|$ dB, -10 dB'nin altında kalırsa; anten verimliliği $10.\log(1 - |S_{11}|^2) = -0.458$ dB kadar anten kazancını düşürecektir.
- $|S_{11}|$ dB, -12 dB'nin altında kalırsa; anten verimliliği $10.\log(1 - |S_{11}|^2) = -0.283$ dB kadar anten kazancını düşürecektir.
- $|S_{11}|$ dB, -15 dB'nin altında kalırsa; anten verimliliği $10.\log(1 - |S_{11}|^2) = -0.140$ dB kadar anten kazancını düşürecektir.

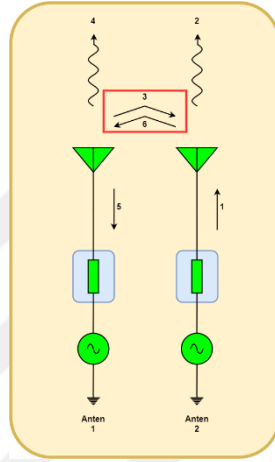
S_{11} için -15 dB değeri esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 5.2 Deneyisel Test Anteni S_{11} Ölçüm Sonuçları

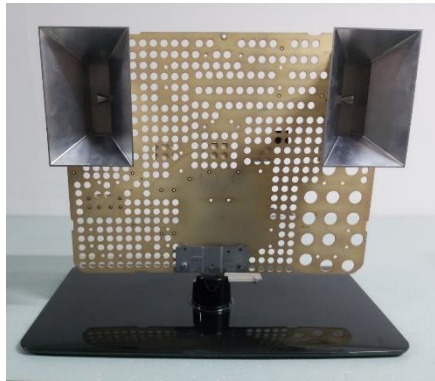
5.1.2. Karşılıklı kuplaj ve yan kulakçık seviyesi

Karşılıklı kuplaj, bir dizideki anten elemanları arasındaki elektromanyetik etkileşimdir (Şekil 5.3). Çevredeki pasif saçıcıların olmadığı bir ortamda anten-anten etkileşimi incelendiğinde, çalışma frekansı yükseldikçe, antenler arasındaki mesafe arttıkça, anten hüzmesi daraldıkça, yan kulakçık seviyesi düştükçe ve uygun geometrik dizilim ile karşılıklı kuplaj azalmaktadır. Anten tipi, çalışma frekansı, yan kulakçık seviyesi, anten hüzmesi ve polarizasyonu karşılıklı kuplajı etkilemektedir [18].



Şekil 5.3 Antenler Arası Etkileşim

Test antenlerinin çalışma frekans aralığında (Şekil 5.4), antenlerin karşısında hedef yok iken S_{21} 'in genliğinin -20 dB'nin altında kalacak şekilde antenlerin yerleşimi yapılmıştır. SFCW radarı, FMCW radarı ve Sahte Gürültü radarı deneysel veri toplama sisteminde kullanılmak üzere 2 antenli anten platformu hazırlanmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Test Antenlerinin Yerleşimi (İki Antenli Yapı)

SFCW radarı, FMCW radarı ve Sahte Gürültü radarı deneysel veri toplama sisteminde kullanılan 2 antenli anten platformunda antenler arasındaki mesafe besleme konektöründen besleme konektörüne 30 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Test Antenleri Arası Mesafe (İki Antenli Yapı)

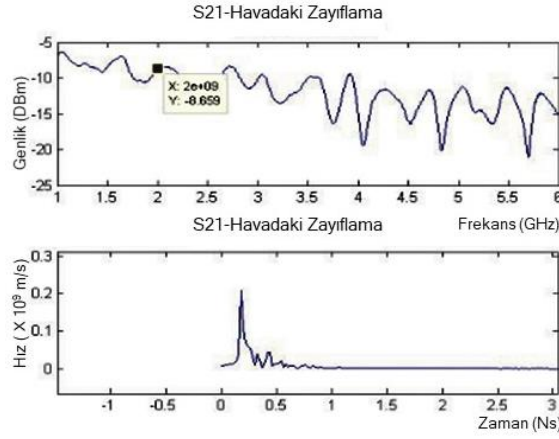
5.2. Boş Ortam Ölçümleri

Elektromanyetik dalgalar havada yayılırken güç yoğunluğunda azalmaya neden olur. Havada yayılmadan dolayı ortaya çıkan zayıflamaya boşluk zayıflaması denir. Yapılan ölçümlerde karıştırıcı etkilerinin analiz edilebilmesi için öncelikle hava ortamında ölçümler alınmıştır. Antenler aralarındaki mesafe sabit kalacak şekilde karşılıklı olarak yerleştirilmiş ve ölçümler alınmıştır. Antenler arasındaki mesafe beslemeden beslemeye 52,5 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Havadaki Zayıflamanın Ölçülmesi İçin Kurulan Düzenek

Yapılan ölçüm sonuçları Şekil 5.7’de paylaşılmaktadır. Havadaki zayıflama 2 GHz’de 8-10 dB aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.7 Elektromanyetik Dalganın Yayılımından Kaynaklanan Zayıflama (Havadaki Zayıflama)

Havadaki ulaşım süresi ise 1.8 nanosaniye olarak ölçülmüştür. Sinyalin ideal hızı 300.000.000 m/s olmasına rağmen ölçülen sinyalin hızı yaklaşık 285.000.000 m/s olarak hesaplanmıştır.

$$x = v * t \quad (5.2)$$

Antenler arasındaki uzaklık ve sinyalin ulaşım süresi bilinmektedir. Formülden “ v ” değeri elde edilmiştir. Söz konusu değer EM sinyalin havadaki yayılım hızıdır.

Artan mesafe ile EM sinyalin güç yoğunluğu azaldığından, gönderici anten alıcı antenden uzaklaştıkça alıcı antenin alacağı enerji miktarı azalacaktır (Şekil 5.8). Hedef mesafesine bağlı havadaki zayıflama aşağıdaki denklem ile hesaplanır [22].

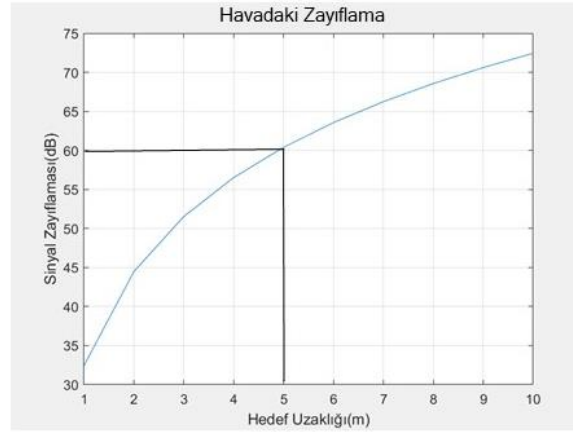
$$P_{Tx} = P_{Rx} + 20 \log \frac{4\pi f d}{c} \quad (5.3)$$

P_{Tx} : Gönderilen sinyal gücü [dBm]

P_{Rx} : Alınan sinyal gücü [dBm]

f : Frekans [Hz]

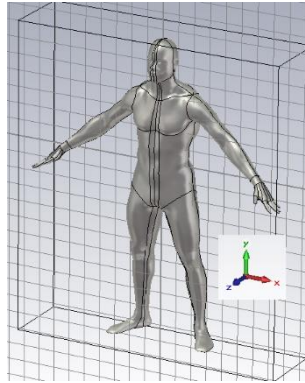
d : Göndericiye olan mesafe



Şekil 5.8 Hedef Uzaklığına Bağlı Havadaki Zayıflama

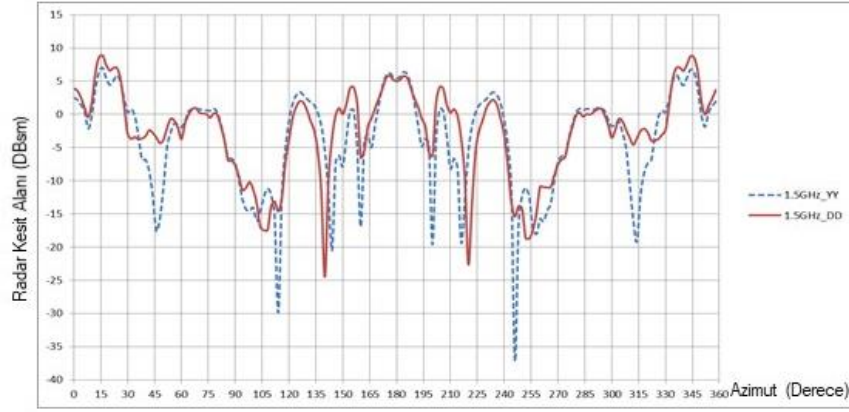
5.3. İnsan Radar Kesit Alanı

Bir nesnenin radar sistemi tarafından tespit edilebilme etkinliği; hedefin büyüklüğüne (Şekil 5.9), geometrik şekline, elektromanyetik dalganın hedefe geliş açısına, elektromanyetik dalganın hedeften yansıma açısına, gelen ve yansıyan elektromanyetik dalganın hedefe göre polarizasyonlarına bağlı olmakla birlikte hedefin radar kesit alanını da bağlıdır [23].

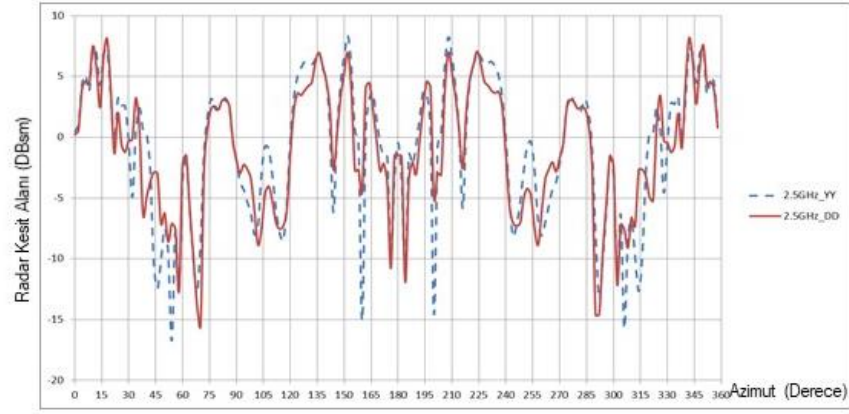


Şekil 5.9 CST Benzetim Ortamında Kullanılan Gerçekçi İnsan Modeli (İnsan Modeli 183 Cm Boyunda)

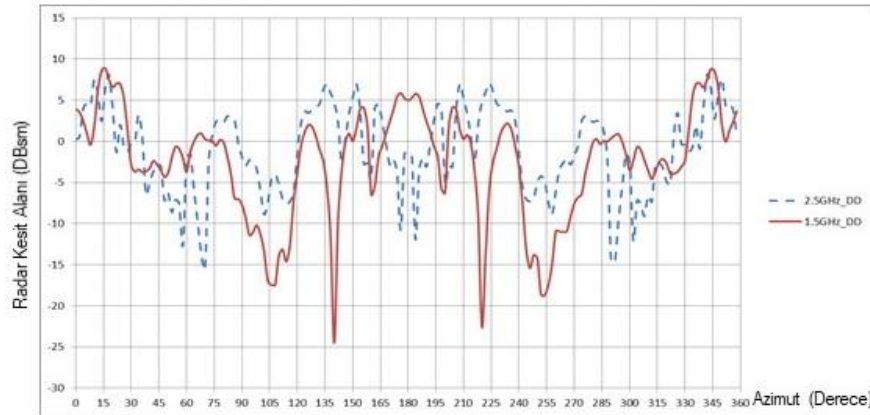
Benzetimdeki hesaplama süresinin kısaltılması için seçilen gerçekçi insan nümerik modeli Perfect Electric Conductor ile kaplanmıştır.



Şekil 5.10 CST Benzetim Ortamında Kullanılan Gerçekçi İnsan Modelinin 1.5 GHz'deki Yatay Açıdaki RKA Analizi



Şekil 5.11 CST Benzetim Ortamında Kullanılan Gerçekçi İnsan Modelinin 2.5 GHz'deki Yatay Açıdaki RKA Analizi



Şekil 5.12 CST Benzetim Ortamında Kullanılan Gerçekçi İnsan Modelinin 1.5 ve 2.5 GHz'deki Karşılaştırmalı Yatay Açıdaki RKA Analizi (DD için)

Şekil 5.12’de görüldüğü üzere yüksek frekanslarda RKA değeri daha iyi çıkmaktadır. Ancak yüksek frekanslarda da EM sinyaller daha fazla zayıflamaya uğramaktadırlar.

Genel olarak yatay-yatay (YY) ve dikey-dikey (DD) monostatik uygulama arasında belirgin bir RKA farkı bulunmamaktadır. Dolayısıyla anten elemanının polarizasyonunun seçiminde yatay ya da dikey polarizasyon kullanılabilir.

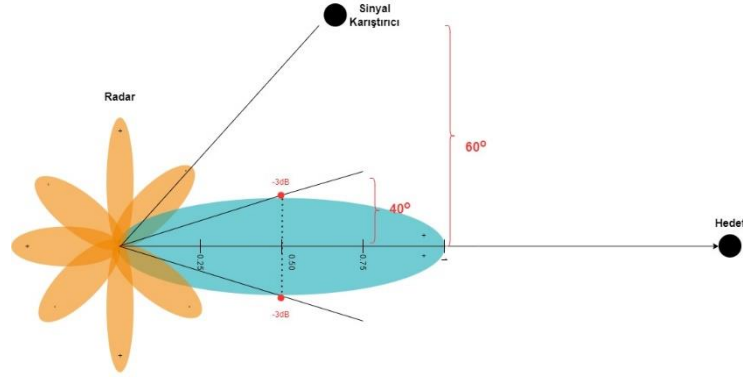
5.4. Radarı Karıştırma Geometrisi

Bu tez çalışmasında radar alıcısının çalışmasını önlemek amacıyla Vektör Sinyal Üretici kullanarak oluşturulan düzenek ile Nokta Körelmesi ve Baraj Karıştırması sinyalleri oluşturulmuştur (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Arbitrary Waveform Generator (Karıştırma Sinyali Üretici)

Radar alıcısının anten ışıma deseninde yan loblardan alınan karıştırma istenmeyen bir durumdur çünkü yan loblar geniş bir anten ışıma deseninde etkisi orta düzeyde olabilir. Tek bir sinyal karıştırma kaynağı, radarı geniş azimut açısında karıştırabilir [30]. Veri toplama düzeneğinde hedef 5 metrede makro hareket, hedef uzuv hareketleri ve hedefin yer değiştirmesi gibi hareketler, yapmaktadır. Sinyal üretici ile radar alıcı anteni arasında 1 metre bulunmaktadır (Şekil 5.14).

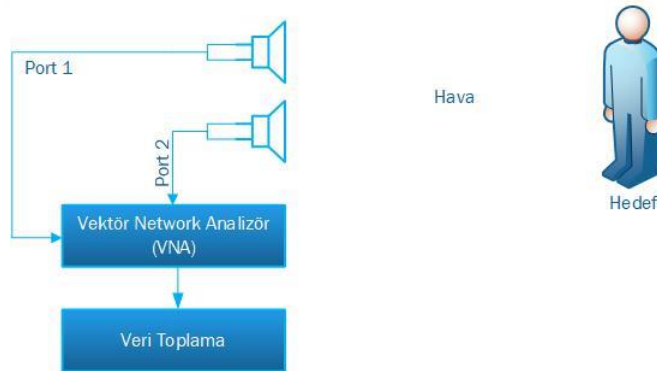


Şekil 5.14 Yan Lobdan Alınan Doğrudan Karıştırma

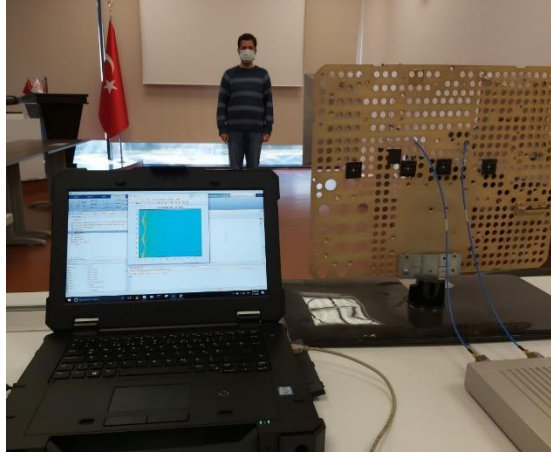
Bu tezin temel amacı, alınan radar sinyalindeki yan lobdan alınan karıştırma bileşenini hareketli hedef tespit sinyal işleme adımlarını kullanarak karıştırma sinyalinin etkisini en aza indirmektir.

5.5. SFCW Radarı Deneysel Çalışmalar

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, VNA kullanılarak ultra geniş bant (UGB) deneysel verileri toplanmıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 SFCW Radarı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek



Şekil 5.16 SFCW Radar Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede)

Karıştırmanın olmadığı durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.1'deki veri toplama ekipmanları kullanılmıştır.

Tablo 5.1 SFCW Radarı Veri Toplama Ekipmanları

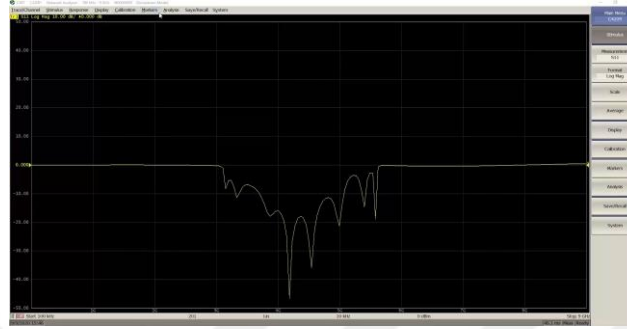
No	Ekipman	Açıklama
1	Vektör Network Analizörü	S-Parametreleri Ölçümü
2	Veri Toplama Ekipmanı	Bilgisayar
3	Anten (2 Adet)	Standart Gain Horn Anten
4	RF Kablo (2 Adet)	SMA-SMA, 50 Ohm (50 cm)

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, sistem ile hedef arasında 5 metre bulunmaktadır. Makro hareket yapan bir hedef için veri kayıtları yapılmıştır.



Şekil 5.17 Vektör Network Analizör

Vektör Network Analizör belirli bir frekans bant genişliğini, belirli frekanslarda belirlenen sayıda tek ton sinüzoidal sinyaller göndererek tarayan sistemlerdir. Ortamın frekans tepkisi S-parametresi ölçülerek elde edilir. Vektör Network Analizör yardımıyla empedans, VSWR, kayıp, kazanç, izolasyon ve toplam gecikme ölçümleri de yapılabilir.



Şekil 5.18 VNA Ölçüm Ayarları Arayüzü

Karıştırmanın olmadığı durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.2'deki ölçüm parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 5.2 SFCW Radarı Ölçüm Parametreleri

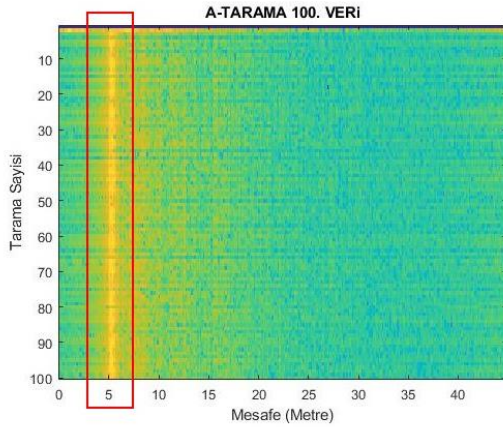
No	Parametre	Değer
1	Frekans Aralığı	1.8 - 2.8 GHz
2	Çıkış Gücü	-4, -10, -20, -30 dBm (Ayarlanabilir)
3	Frekans Noktası Sayısı	301 Nokta
4	Toplam Tarama Süresi	30 Saniye
5	Anten Kazancı	10 dBi

Sistemin topladığı ham veriler üzerine uygulanan işaret işleme teknikleri aşağıda belirtilen işlevleri yerine getirme üzere geliştirilecektir:

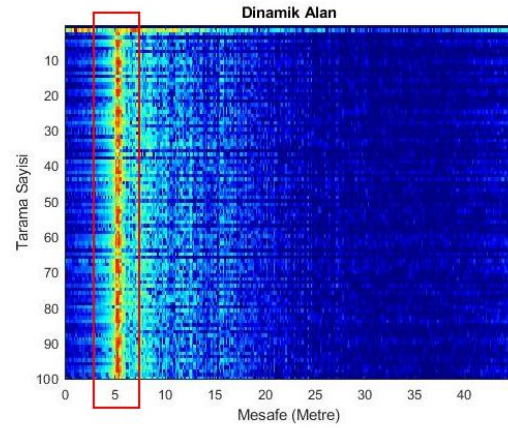
- Hareketli hedef tespiti

Genel olarak tez kapsamında çalışılacak olan hedef tespit radarı işaret işleme zinciri şu adımlardan oluşur:

- Ön-işleme: Parazit yankıların azaltılması
- Değişim tespiti vb. temelli yaklaşımlarla hareketli 5 metrede hedef tespiti (menzil yönünde) (Şekil 5.19)



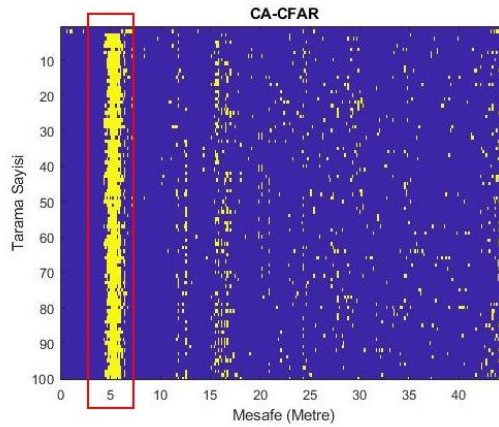
a)



b)

Şekil 5.19 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Hedef ile SFCW radar arasında 5 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.20’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.

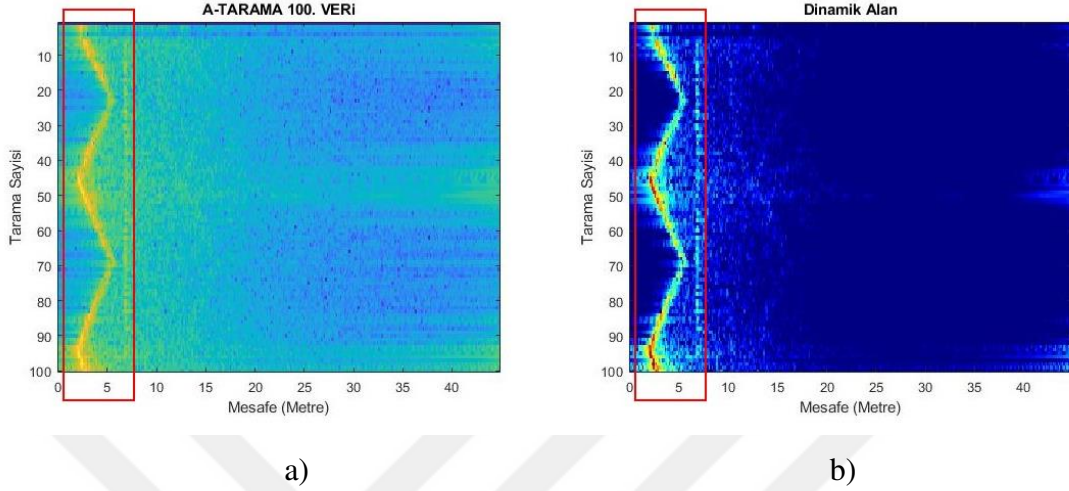


Şekil 5.20 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Hedef ile SFCW radar arasında 5 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 1901’dir.

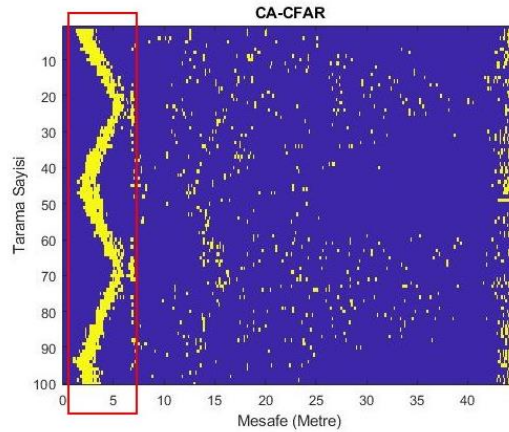
Sabit nesneler farklı zamanlarda alınan işaretlerde bir farklılığa sebep olmazken, hareketli hedefler alınan işaretlerde küçük değişimlere sebep olur. Bu değişimleri tespit

edebilen işaret işleme teknikleri ile hareketli hedefler, sabit nesnelerden ayırt edilerek tespit edilebilir (Şekil 5.21).



Şekil 5.21 a) 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Hedef ile SFCW radar arasında 5 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.22’de görülmektedir. Hedef 2-5 metre arasında yürüme hareketi yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.

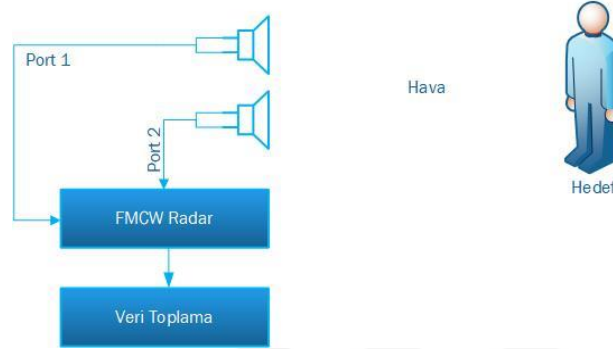


Şekil 5.22 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Hedef ile SFCW radar arasında 5 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 1975’dir.

5.6. FMCW Radarı Deneysel Çalışmalar

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, FMCW radar kullanılarak deneysel veriler toplanmıştır (Şekil 5.23).



Şekil 5.23 FMCW Radarı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek



Şekil 5.24 FMCW Radar Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede)

Karıştırmanın olmadığı durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.3'deki veri toplama ekipmanları kullanılmıştır.

Tablo 5.3 FMCW Radarı Veri Toplama Ekipmanları

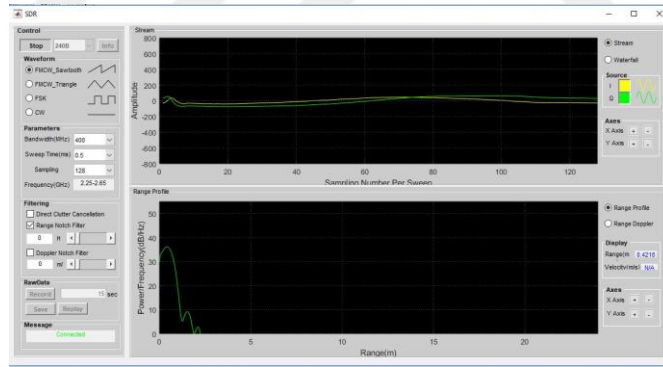
No	Ekipman	Açıklama
1	FMCW Radar Modülü	Yansıma Verisi Ölçümü
2	Veri Toplama Ekipmanı	Bilgisayar
3	Anten (2 Adet)	Standart Gain Horn Anten
4	RF Kablo (2 Adet)	SMA-SMA, 50 Ohm (50 cm)

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, sistem ile hedef arasında 5 metre bulunmaktadır. Makro hareket yapan bir hedef için veri kayıtları yapılmıştır.



Şekil 5.25 SDR-KIT 240B FMCW Radar Modülü

SDR-KIT 240B, kısa menzilli, hafif ve düşük güç tüketimine sahip RF sistemleri oluşturmak için kullanılan yazılım tanımlı radyodur. Yazılım tanımlı radyo, iletişim sistemleri ve radar sistemleri gibi özel donanım kullanımını en aza indirmek ve radyo frekansı sinyallerini gönderme ve alma işlemini uygulamak / yönetmek için yazılım protokollerini kullanır.



Şekil 5.26 SDR-KIT 240B Veri Kayıt Arayüzü

Karıştırmanın olmadığı durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.4'deki ölçüm parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 5.4 FMCW Radarı Ölçüm Parametreleri

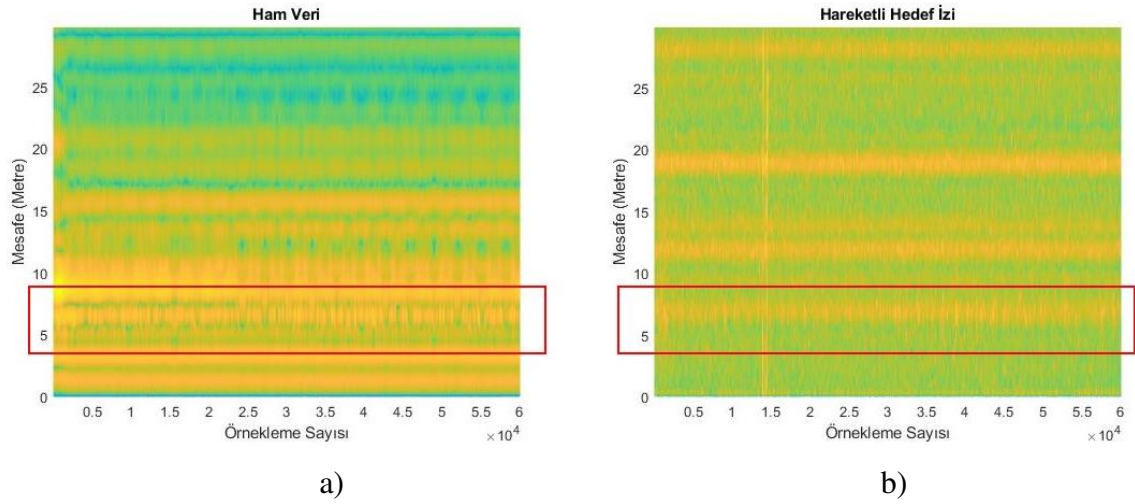
No	Parametre	Değer
1	Frekans Aralığı	2.25- 2.65 GHz
2	Çıkış Gücü	-4 dBm
3	Bant Genişliği	100 MHz
4	Toplam Tarama Süresi	30 Saniye
5	Anten Kazancı	10 dBi

Sistemin topladığı ham veriler üzerine uygulanan işaret işleme teknikleri aşağıda belirtilen işlevleri yerine getirme üzere geliştirilecektir:

- Hareketli hedef tespiti

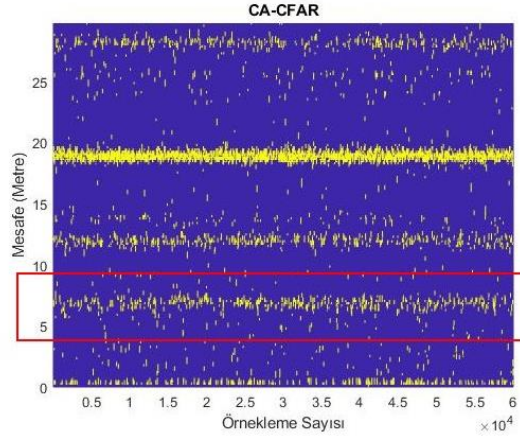
Genel olarak tez kapsamında çalışılacak olan hedef tespit radarı işaret işleme zinciri şu adımlardan oluşur:

- Ön-işleme: Parazit yankıların azaltılması
- Değişim tespiti vb. temelli yaklaşımlarla 5 metrede hareketli hedef tespiti (menzil yönünde) (Şekil 5.27)



Şekil 5.27 a) FMCW Radarı Ham Veri b) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

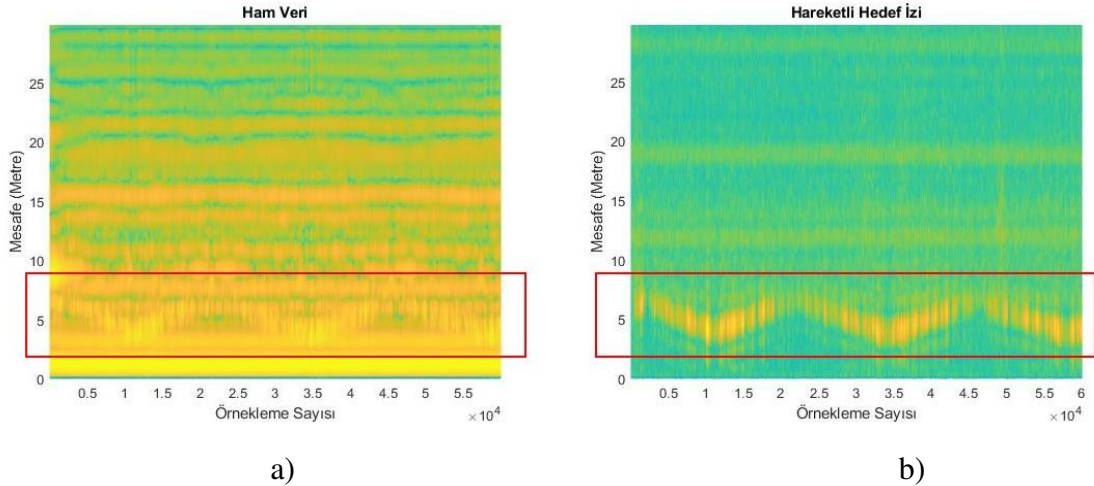
Hedef ile FMCW radar arasında 5 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.28’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. FMCW radar çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.28 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Hedef ile FMCW radar arasında 5 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 2525’dir.

Sabit nesneler farklı zamanlarda alınan işaretlerde bir farklılığa sebep olmazken, hareketli hedefler alınan işaretlerde küçük değişimlere sebep olur. Bu değişimleri tespit edebilen işaret işleme teknikleri ile hareketli hedefler, sabit nesnelerden ayırt edilerek tespit edilebilir (Şekil 5.29).

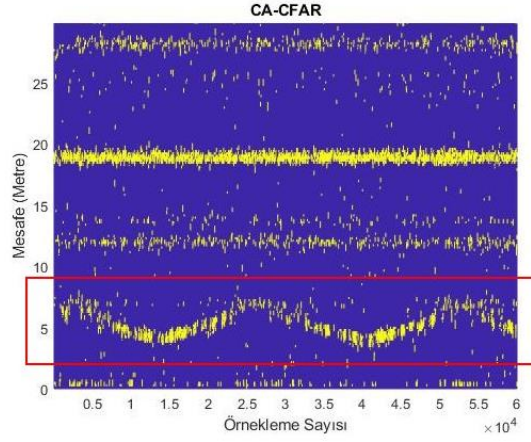


a)

b)

Şekil 5.29 a) FMCW Radarı Ham Veri b) 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Hedef ile FMCW radar arasında 5 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.30’de görölmektedir. Hedef 2-5 metre arasında yürüme hareketi yapmaktadır. FMCW radar çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.

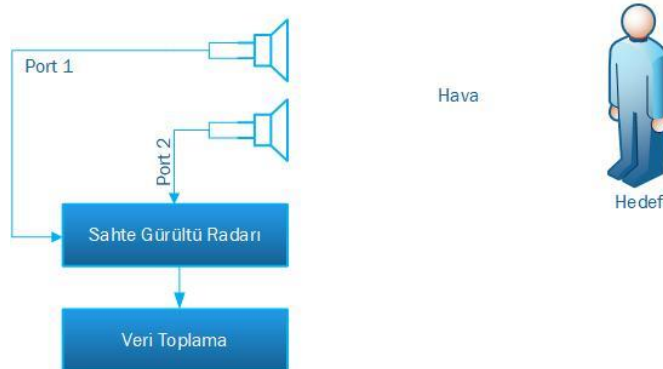


Şekil 5.30 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

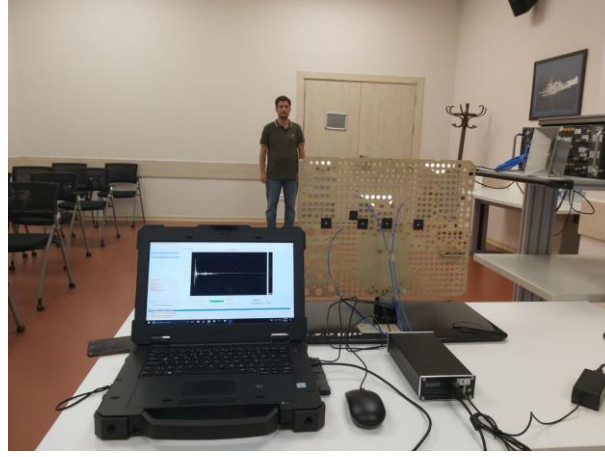
Hedef ile FMCW radar arasında 5 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 28904’dür.

5.7. Sahte Gürültü Radarı Deneysel Çalışmalar

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, Sahte Gürültü Radarı deneysel verileri toplanmıştır (Şekil 5.31).



Şekil 5.31 Sahte Gürültü Radarı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek



Şekil 5.32 Sahte Gürültü Radarı Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede)

Karıştırmanın olmadığı durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.5’deki veri toplama ekipmanları kullanılmıştır.

Tablo 5.5 Sahte Gürültü Radarı Veri Toplama Ekipmanları

No	Ekipman	Açıklama
1	Sahte Gürültü Radarı	Yansıma Verisi Ölçümü
2	Veri Toplama Ekipmanı	Bilgisayar
3	Anten (2 Adet)	Standart Gain Horn Anten
4	RF Kablo (2 Adet)	SMA-SMA, 50 Ohm (50 cm)

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, sistem ile hedef arasında 5 metre bulunmaktadır. Makro hareket yapan bir hedef için veri kayıtları yapılmıştır.



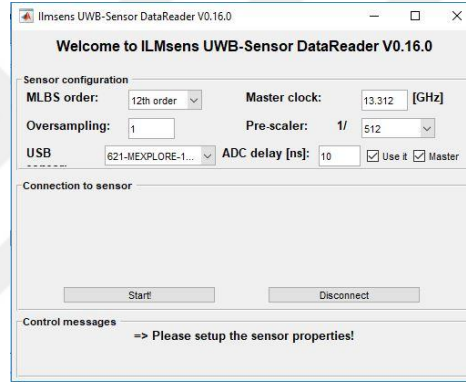
Şekil 5.33 M: Explore Sahte Gürültü Radarı

M: Explore- ultra geniş bant (UWB) radar sensörüdür. Radar sensörü, M-Sequence sahte gürültü tasarımını kullanmaktadır.

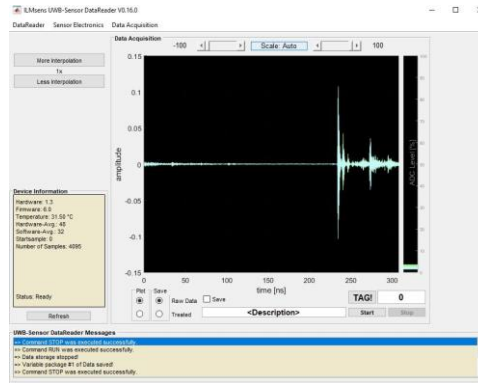
Aşağıdaki gibi birçok uygulama için uygundur.

- Yüksek çözünürlüklü kısa menzilli radar
- Vektör Network Analizörü
- Zaman alanı reflektometresi
- Birden fazla cihazı birleştirerek tutarlı MIMO ölçümleri
- Empedans spektroskopisi

Sahte gürültü Radarı, paralel olarak çalışan 1 UWB temel bant vericisi ve 2 UWB temel bant alıcısı içerir.



Şekil 5.34 M: Explore Ölçüm Ayarları



Şekil 5.35 M: Explore Veri Kayıt Arayüzü

Karıştırmanın olmadığı durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.6'daki ölçüm parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 5.6 Sahte Gürültü Radarı Ölçüm Parametreleri

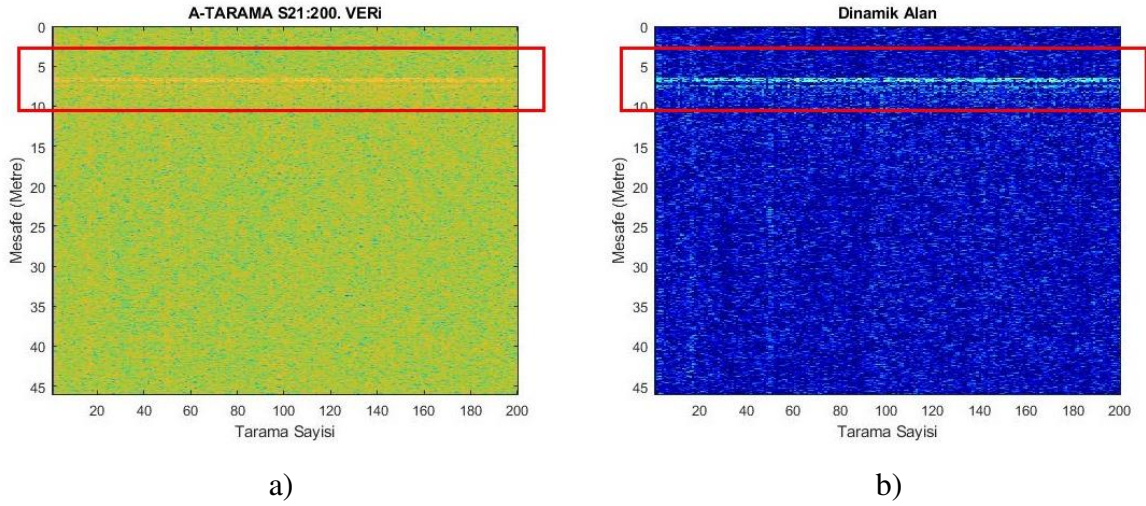
No	Parametre	Değer
1	Anlık 10dB Bant Genişliği	0.1-6 GHz
2	Çıkış Gücü	-4 dBm
3	MLBS	12
4	Toplam Tarama Süresi	30 Saniye
5	Anten Kazancı	10 dBi

Sistemin topladığı ham veriler üzerine uygulanan işaret işleme teknikleri aşağıda belirtilen işlevleri yerine getirme üzere geliştirilecektir:

- Hareketli hedef tespiti

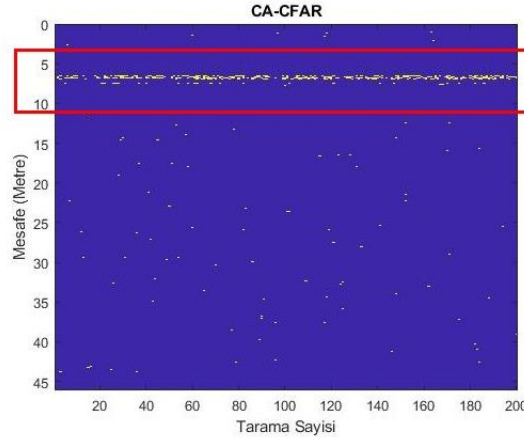
Genel olarak tez kapsamında çalışılacak olan hedef tespit radarı işaret işleme zinciri şu adımlardan oluşur:

- Ön-işleme: Parazit yankıların azaltılması
- Değişim tespiti vb. temelli yaklaşımlarla 5 metrede hareketli hedef tespiti (menzil yönünde) (Şekil 5.36)



Şekil 5.36 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

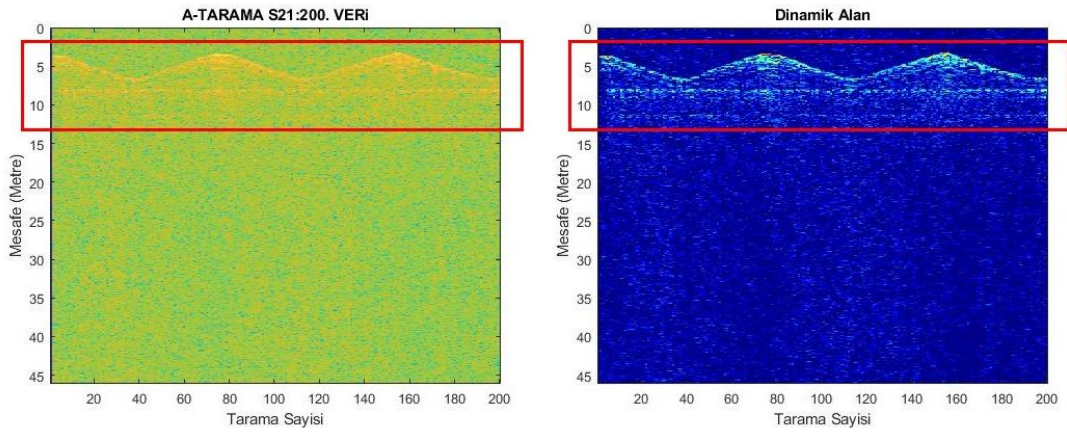
Hedef ile Sahte Gürültü Radarı arasında 5 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.37’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. Sahte gürültü radarı çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.37 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Hedef ile sahte gürültü radarı arasında 5 metre bulunduğunda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 4785'dir.

Sabit nesneler farklı zamanlarda alınan işaretlerde bir farklılığa sebep olmazken, hareketli hedefler alınan işaretlerde küçük değişimlere sebep olur. Bu değişimleri tespit edebilen işaret işleme teknikleri ile hareketli hedefler, sabit nesnelerden ayırt edilerek tespit edilebilir (Şekil 5.38).



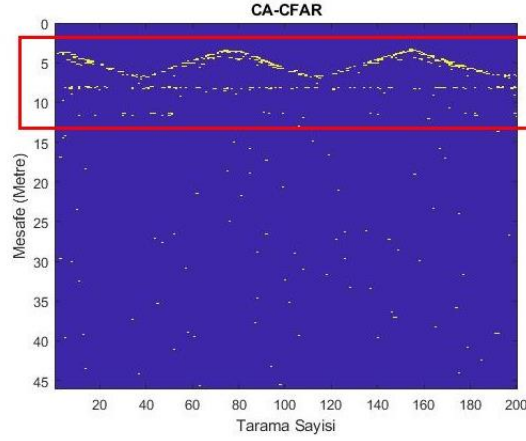
a)

b)

Şekil 5.38 a) 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile Sahte Gürültü Radarı arasında 1 metre bulunduğunda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.39'da görülmektedir. Hedef 2-5 metre

arasında yürüme hareketi yapmaktadır. Sahte gürültü radarı çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.

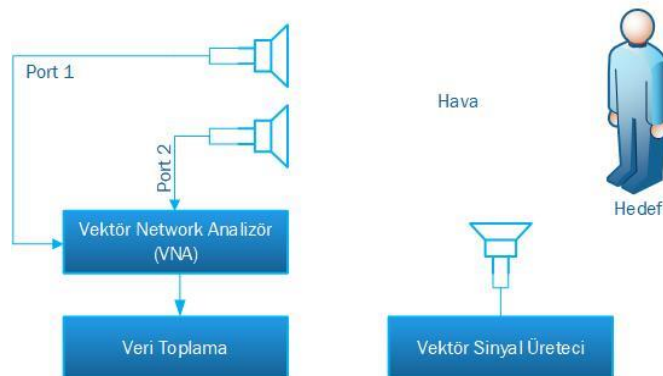


Şekil 5.39 2-5 Metre Arasında Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

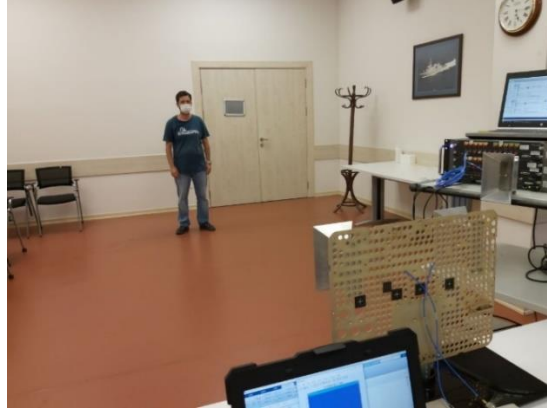
Sinyal üretici ile sahte gürültü radarı arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 6235'dir.

5.8. SFCW Radarı Ve Karıştırıcı Deneysel Çalışmalar

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, VNA kullanılarak ultra geniş bant (UGB) deneysel verileri toplanmıştır. Vektör Sinyal Üretici kullanılarak karıştırma sinyalleri oluşturulmuştur (Şekil 5.40).



Şekil 5.40 SFCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek



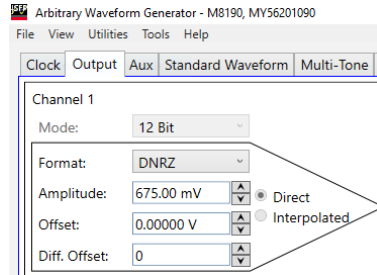
Şekil 5.41 SFCW Radar Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede, Sinyal Üretici 1 Metrede)

Karıştırmanın olduğu durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.7'deki veri toplama ekipmanları kullanılmıştır.

Tablo 5.7 SFCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ekipmanları

No	Ekipman	Açıklama
1	Vektör Network Analizörü	S-Parametreleri Ölçümü
2	Veri Toplama Ekipmanı	Bilgisayar
3	Antenler	Standart Gain Horn Anten
4	Vektör Sinyal Üretici	Karıştırıcı Sinyal Kaynağı
5	RF Kablo	SMA-SMA, 50 Ohm (50 cm)

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, sistem ile hedef arasında 5 metre bulunmaktadır. Makro hareket yapan bir hedef için veri kayıtları yapılmıştır.



Şekil 5.42 SFCW Radarı Ölçümleri İçin Karıştırıcı Çıkış Gücü

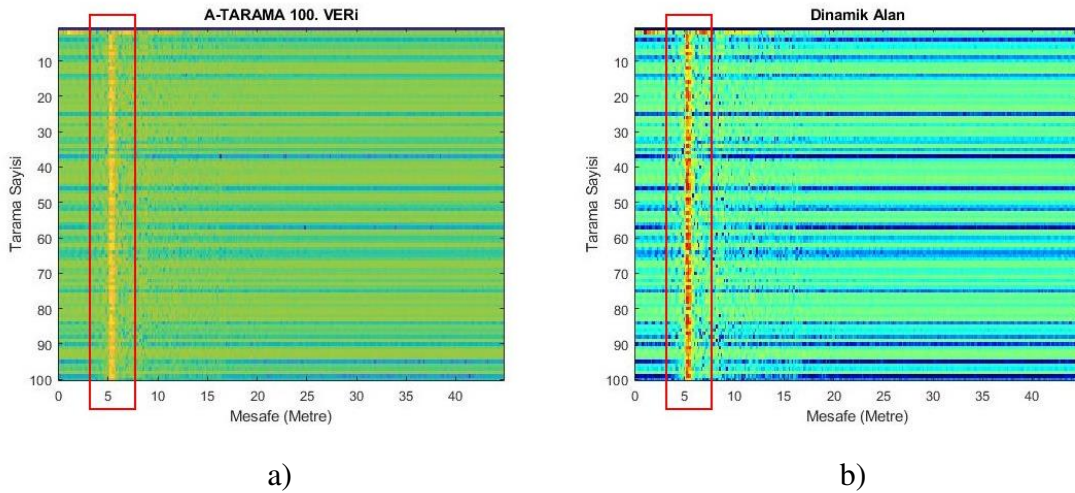
Karıştırmanın olduğu durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.8'deki ölçüm parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 5.8 SFCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ölçüm Parametreleri

No	Parametre	Değer
1	Frekans Aralığı	1.8-2.8 GHz
2	Çıkış Gücü	-4, -10, -20, -30 dBm (Ayarlanabilir)
3	Frekans Noktası Sayısı	301 Nokta
4	Toplam Tarama Süresi	30 Saniye
5	Anten Kazancı	10 dBi
6	Vektör Sinyal Üretici (Çıkış Gücü)	-1.89 dBm (Nokta Köreltme)
7	Vektör Sinyal Üretici (Çıkış Gücü)	-20 dBm (Baraj Karıştırması)

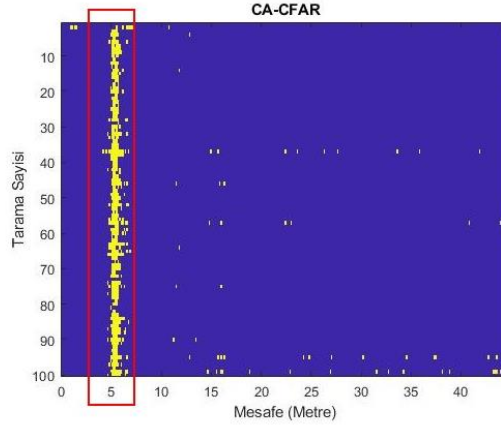
5.8.1. SFCW radarı ve nokta köreltme karıştırması

Radar alıcısının düzgün bir şekilde çalışmasını önlemek amacıyla vektör sinyal üretici kullanılarak nokta köreltme sinyali oluşturulmuştur. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır (Şekil 5.43). Sinyal üretici ile SFCW Radar antenleri arasında 1 metre bulunmaktadır. Sinyal üretici 2 GHz'de nokta köreltme yapmaktadır.



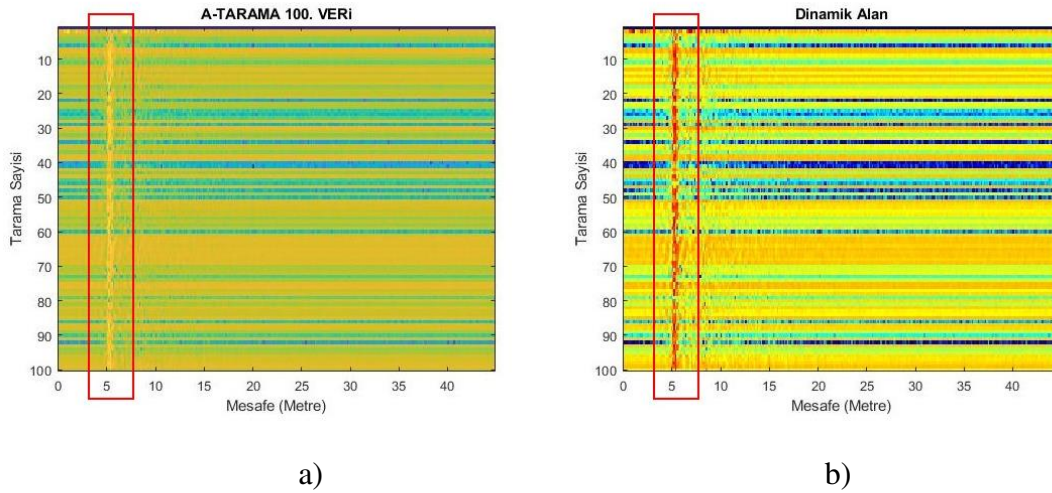
Şekil 5.43 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.44’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.



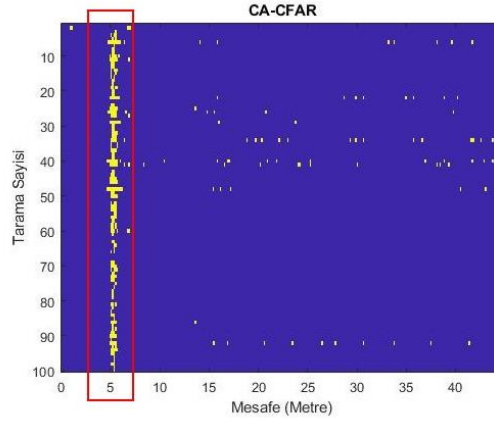
Şekil 5.44 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 596’dır.



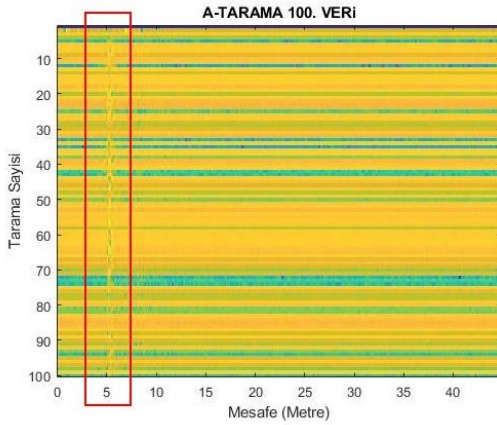
Şekil 5.45 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -10 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.46’da görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -10 dBm olarak ayarlanmıştır.

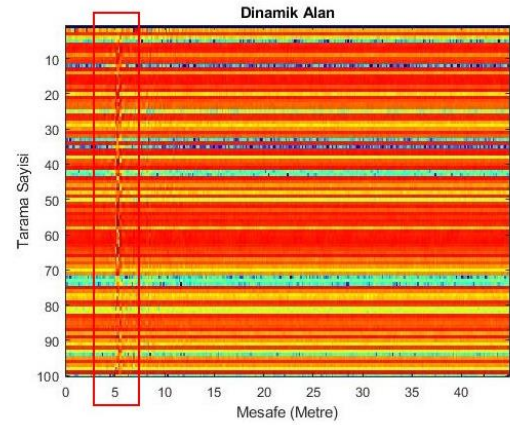


Şekil 5.46 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -10 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğunda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 368'dir.



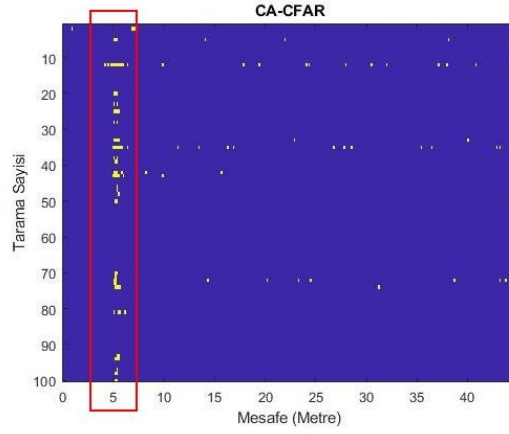
a)



b)

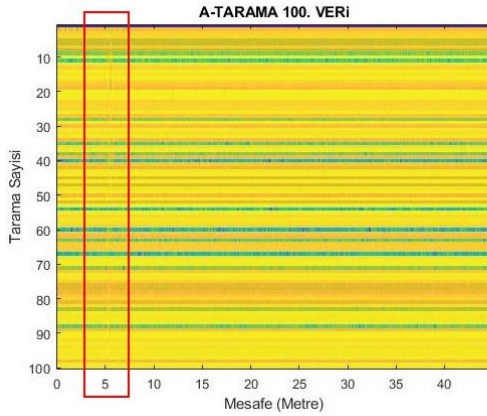
Şekil 5.47 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -20 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğunda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.48'de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -20 dBm olarak ayarlanmıştır.

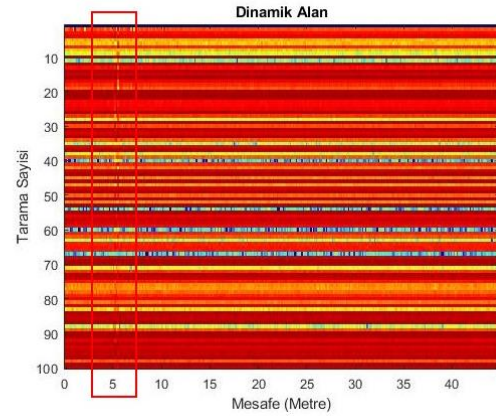


Şekil 5.48 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -20 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 132’dir.



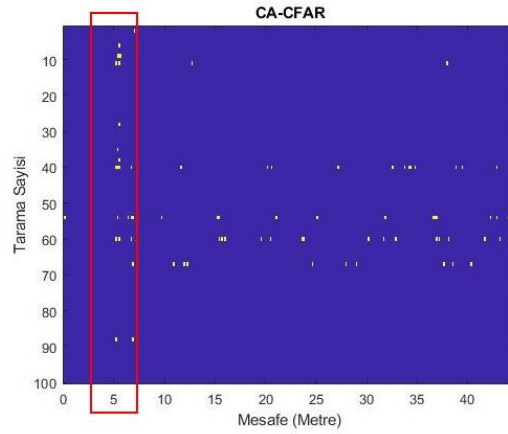
a)



b)

Şekil 5.49 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -30 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.50’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -30 dBm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.50 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -30 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 79’dur.

Hareketli hedef senaryosunu içeren deneysel kurulum ile SFCW radar ile veriler toplanmıştır ve tespit sonuçları hesaplanmıştır. Nokta köreltmenin etkileri analiz edilmiştir ve elde edilen verilere etkiler yüzdelik değişim kullanılarak karşılaştırılmıştır. Düşük çıkış güçlerinde hedefin oluşturduğu izin ortam kaynaklı yansımalar arasında neredeyse kaybolduğu gözlemlenmiştir (Tablo 5.9).

$$Değişim = \left(\frac{TTS - KTS}{TTS} \right) \times 100 \quad (5.4)$$

TTS : Toplam tespit sayısı, hareketli hedef(ler)in veri toplama süresi boyunca geliştirme ortamında görünmesidir.

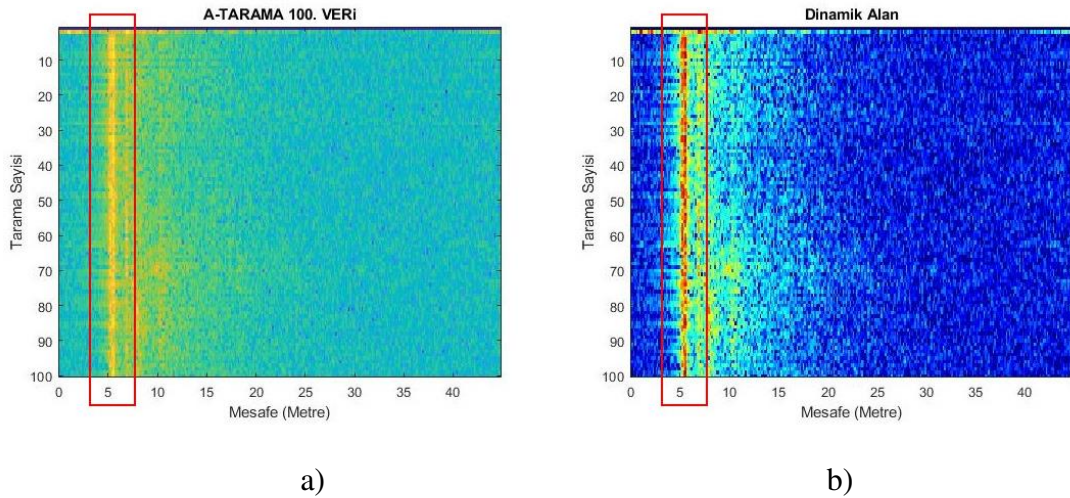
KTS : Karıştırmanın olduğu durumda toplam tespit sayısı

Tablo 5.9 SFCW Radar Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları

No	Radar Çıkış Gücü	Karıştırma	CA-CFAR (Toplam Tespit)	Değişim (Yüzde)
1	-4 dBm	Yok	1901	-
2	-4 dBm	Nokta Köreltme	596	68,65
3	-10 dBm	Nokta Köreltme	368	80,65
4	-20 dBm	Nokta Köreltme	132	93,06
5	-30 dBm	Nokta Köreltme	79	95,85

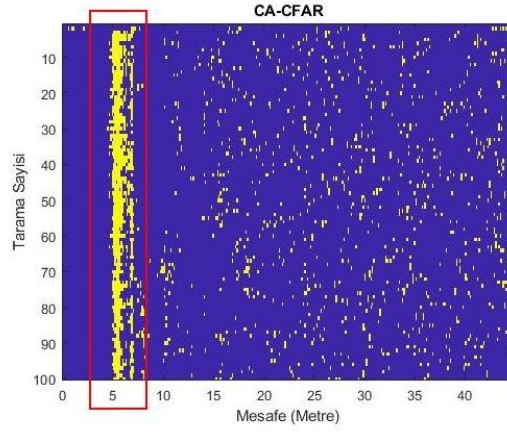
5.8.2. SFCW radarı ve baraj karıştırması

Radar alıcısının düzgün bir şekilde çalışmasını önlemek amacıyla vektör sinyal üretici kullanılarak baraj karıştırması sinyali oluşturulmuştur. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır (Şekil 5.51). Sinyal üretici ile SFCW Radar antenleri arasında 1 metre bulunmaktadır.



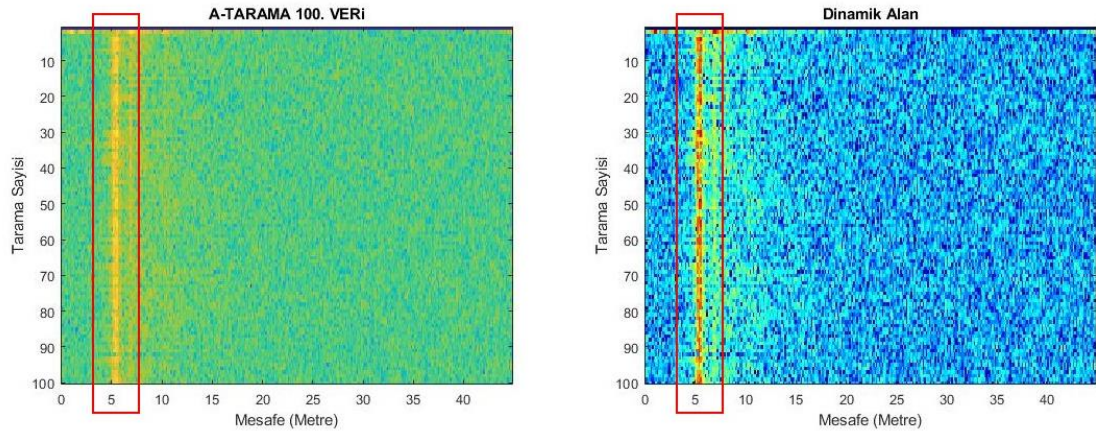
Şekil 5.51 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.52’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.52 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 1874'tür.

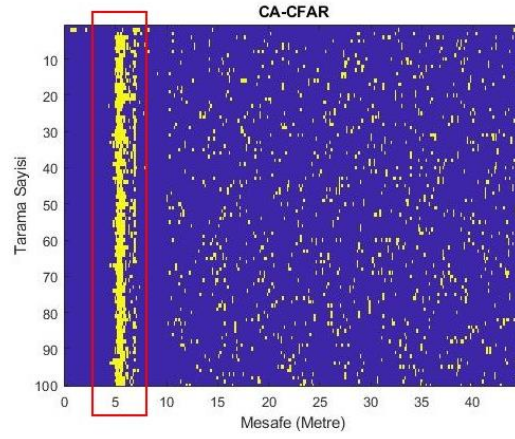


a)

b)

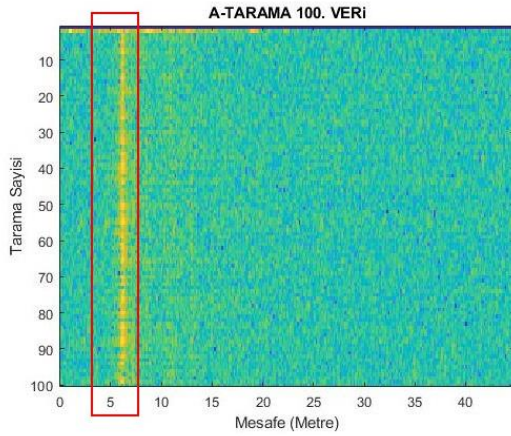
Şekil 5.53 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -10 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.54'de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -10 dBm olarak ayarlanmıştır.

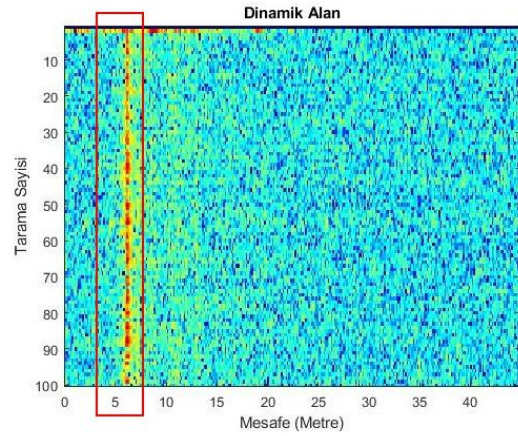


Şekil 5.54 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -10 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 1850'dir.



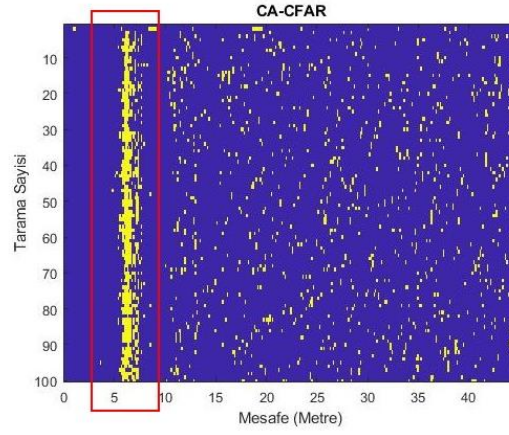
a)



b)

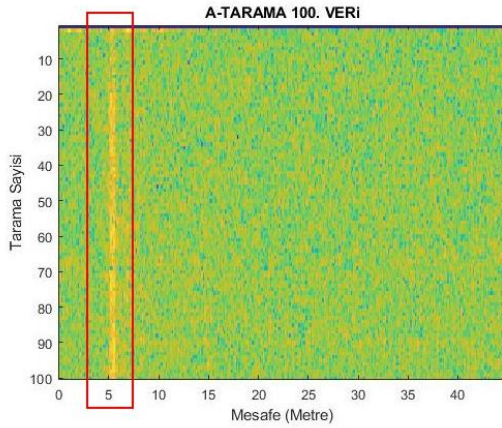
Şekil 5.55 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -20 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.56'de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -20 dBm olarak ayarlanmıştır.

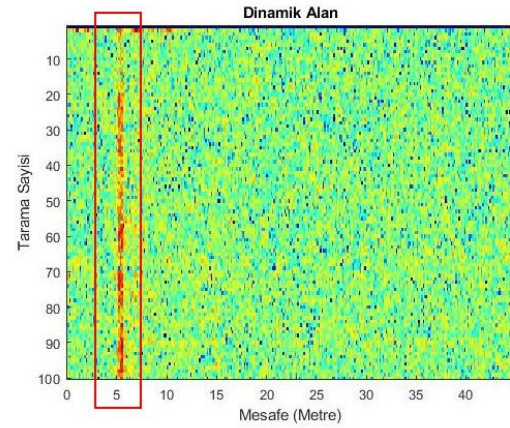


Şekil 5.56 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -20 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 1742'dir.



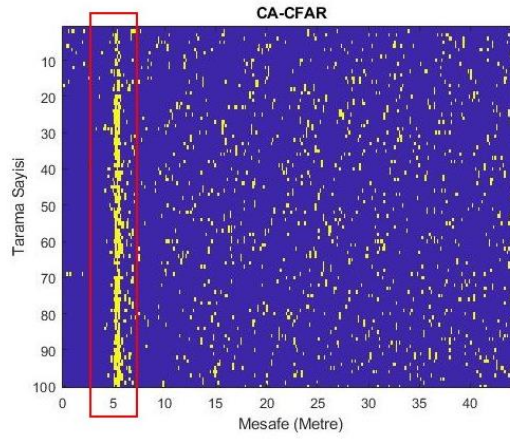
a)



b)

Şekil 5.57 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -30 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.58'de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. SFCW radar çıkış gücü -30 dBm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.58 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -30 dBm)

Sinyal üretici ile SFCW radar arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 1619’dur.

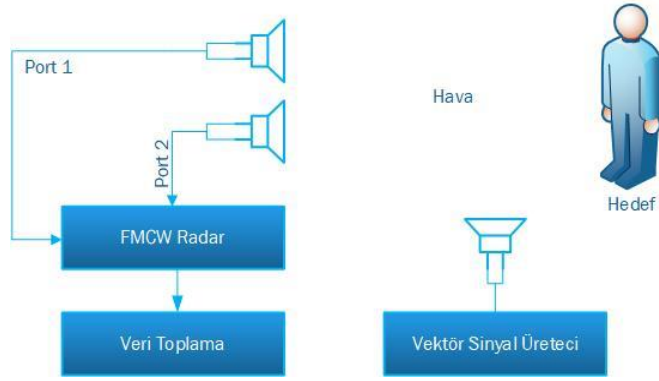
Hareketli hedef senaryosunu içeren deneysel kurulum ile SFCW radar ile veriler toplanmıştır ve tespit sonuçları hesaplanmıştır. Baraj karıştırmasının etkileri analiz edilmiştir ve elde edilen verilere etkiler yüzdelik değişim kullanılarak karşılaştırılmıştır. Düşük çıkış güçlerinde baraj karıştırmasının etkili olabileceğini elde edilen deneysel çalışmalar sonucunda gözlemlenmiştir (Tablo 5.10).

Tablo 5.10 SFCW Radar Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları

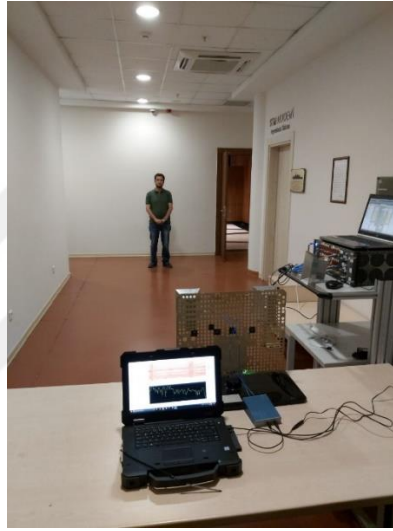
No	Radar Çıkış Gücü	Karıştırma	CA-CFAR (Toplam Tespit)	Değişim (Yüzde)
1	-4 dBm	Yok	1901	-
2	-4 dBm	Baraj Karıştırma	1874	1,42
3	-10 dBm	Baraj Karıştırma	1850	2,68
4	-20 dBm	Baraj Karıştırma	1742	8,36
5	-30 dBm	Baraj Karıştırma	1619	14,83

5.9. FMCW Radarı Ve Karıştırıcı Deneysel Çalışmalar

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, FMCW radar kullanılarak deneysel veriler toplanmıştır. Vektör Sinyal Üretici kullanarak karıştırma sinyalleri oluşturulmuştur (Şekil 5.59).



Şekil 5.59 FMCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek



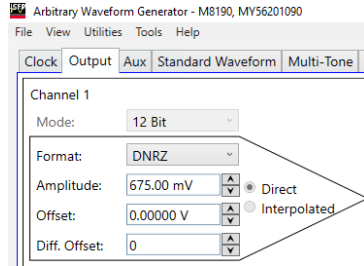
Şekil 5.60 FMCW Radar Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede, Sinyal Üretici 1 Metrede)

Karıştırmanın olduğu durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.11'deki veri toplama ekipmanları kullanılmıştır.

Tablo 5.11 FMCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ekipmanları

No	Ekipman	Açıklama
1	FMCW Radar Modülü	Yansıma Verisi Ölçümü
2	Veri Toplama Ekipmanı	Bilgisayar
3	Antenler	Standart Gain Horn Anten
4	Vektör Sinyal Üretici	Karıştırıcı Sinyal Kaynağı
5	RF Kablo	SMA-SMA, 50 Ohm (50cm)

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, sistem ile hedef arasında 5 metre bulunmaktadır. Makro hareket yapan bir hedef için veri kayıtları yapılmıştır.



Şekil 5.61 FMCW Radarı Ölçümleri İçin Karıştırıcı Çıkış Gücü

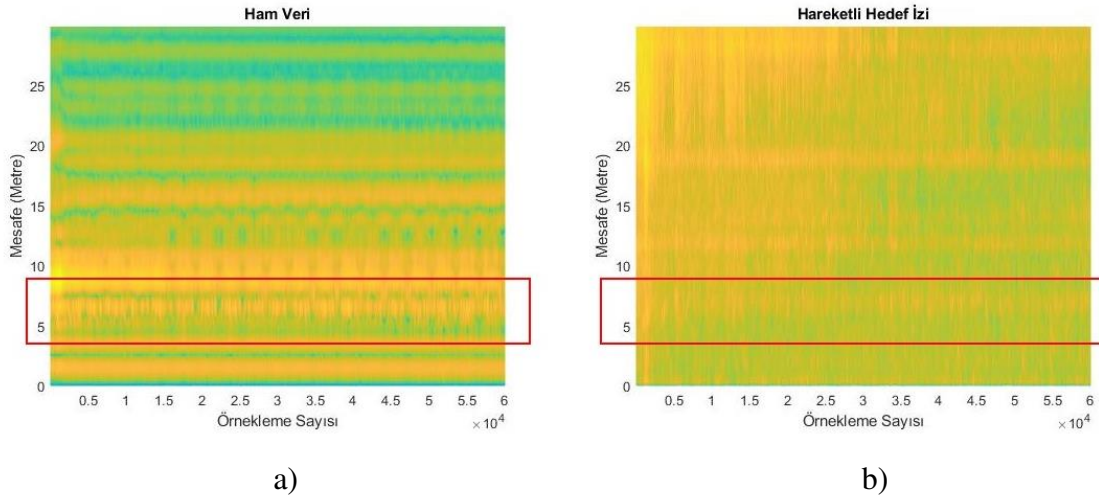
Karıştırmanın olduğu durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.12'deki ölçüm parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 5.12 FMCW Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ölçüm Parametreleri

No	Parametre	Değer
1	Frekans Aralığı	2.25 - 2.65 GHz
2	Çıkış Gücü	-4 dBm
3	Bant Genişliği	100 MHz
4	Toplam Tarama Süresi	30 Saniye
5	Anten Kazancı	10 dBi
6	Vektör Sinyal Üretici (Çıkış Gücü)	-1.89 dBm (Nokta Köreltme)
7	Vektör Sinyal Üretici (Çıkış Gücü)	-20 dBm (Baraj Karıştırması)

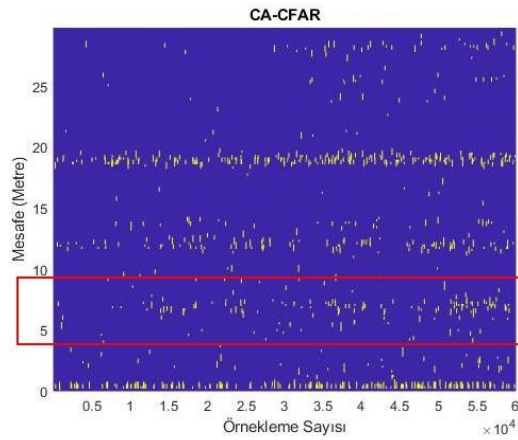
5.9.1. FMCW radarı ve nokta köreltme karıştırması

Radar alıcısının düzgün bir şekilde çalışmasını önlemek amacıyla vektör sinyal üretici kullanılarak nokta köreltme sinyali oluşturulmuştur. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır (Şekil 5.62). Sinyal üretici ile FMCW Radar antenleri arasında 1 metre bulunmaktadır. Sinyal üretici 2.45 GHz'de nokta köreltme yapmaktadır.



Şekil 5.62 a) FMCW Radarı Ham Veri b) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile FMCW Radarı arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.63’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. Sahte gürültü radarı çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.63 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile FMCW radarı arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 382’dir.

Hareketli hedef senaryosunu içeren deneysel kurulum ile FMCW radar ile veriler toplanmıştır ve tespit sonuçları hesaplanmıştır. Nokta köreltmenin etkileri analiz edilmiştir ve elde edilen verilere etkiler yüzdelik değişim kullanılarak karşılaştırılmıştır. FMCW radar alıcısında, nokta köreltme deneyinde bariz bir sıkışma etkisi gözlemlenmiştir. Nokta

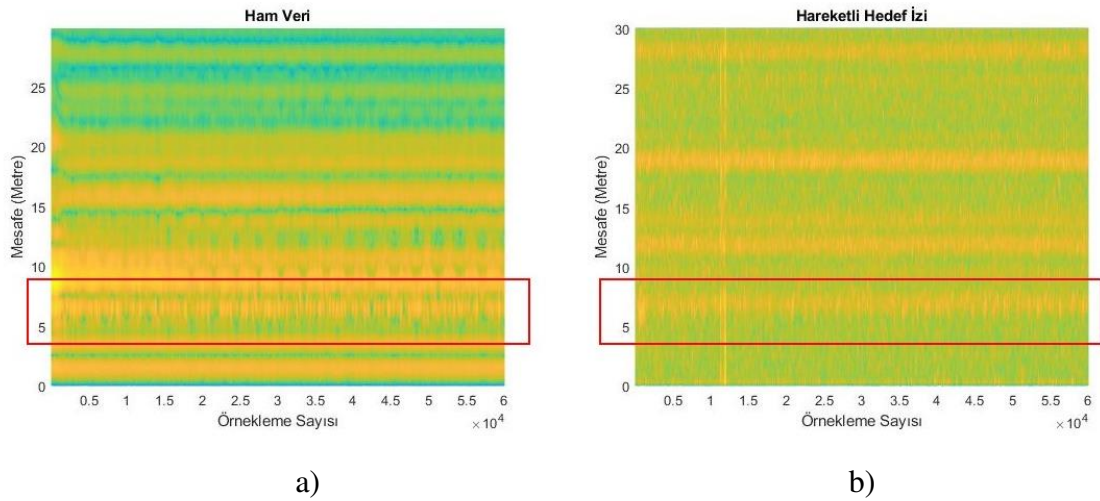
köreltme deneyinde, herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayının ancak %15,13'ü kadar hedef tespit sayısı elde edilmiştir (Tablo 5.13).

Tablo 5.13 FMCW Radar Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları

No	Radar Çıkış Gücü	Karıştırma	CA-CFAR (Toplam Tespit)	Değişim (Yüzde)
1	-4 dBm	Yok	2525	-
2	-4 dBm	Nokta Köreltme	382	84,87

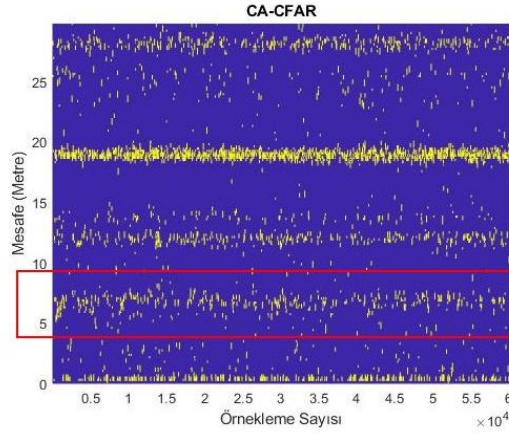
5.9.2. FMCW radarı ve baraj karıştırması

Radar alıcısının düzgün bir şekilde çalışmasını önlemek amacıyla vektör sinyal üretici kullanılarak baraj karıştırması sinyali oluşturulmuştur. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır (Şekil 5.46). Sinyal üretici ile FMCW Radar antenleri arasında 1 metre bulunmaktadır.



Şekil 5.64 a) FMCW Radarı Ham Veri b) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile FMCW Radarı arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.65’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. Sahte gürültü radarı çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.65 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile FMCW radarı arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 1623'tür.

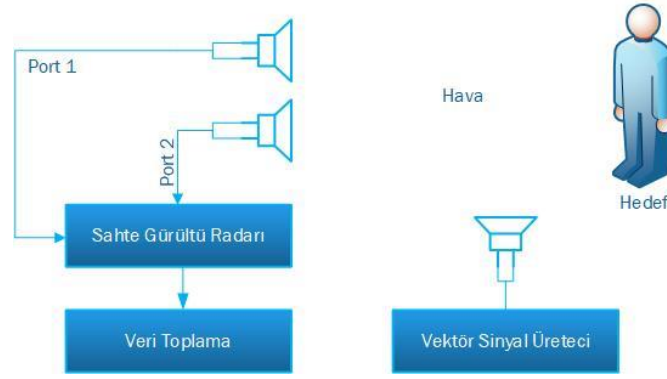
Hareketli hedef senaryosunu içeren deneysel kurulum ile FMCW radar ile veriler toplanmıştır ve tespit sonuçları hesaplanmıştır. Baraj karıştırmasının etkileri analiz edilmiştir ve elde edilen verilere etkiler yüzdelik değişim kullanılarak karşılaştırılmıştır. Baraj karıştırma bant genişliği radar alıcı bandı içinde ise, baraj karıştırmasının FMCW radar sistemlerine karşı da etkili olabileceğini kanıtlıyor (Tablo 5.14).

Tablo 5.14 FMCW Radar Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları

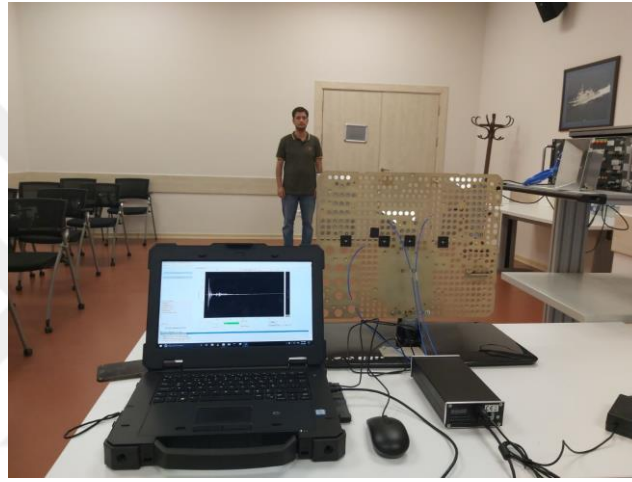
No	Radar Çıkış Gücü	Karıştırma	CA-CFAR (Toplam Tespit)	Değişim (Yüzde)
1	-4 dBm	Yok	2525	-
2	-4 dBm	Baraj Karıştırma	1623	35,72

5.10. Sahte Gürültü Radarı Ve Karıştırıcı Deneysel Çalışmalar

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, Sahte Gürültü Radarı deneysel verileri toplanmıştır. Vektör Sinyal Üretici kullanarak karıştırma sinyalleri oluşturulmuştur (Şekil 5.66).



Şekil 5.66 Sahte Gürültü Radarı Ve Karıştırıcı Veri Ölçümü İçin Kurulan Düzenek



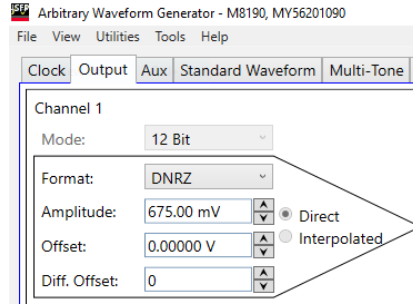
Şekil 5.67 Sahte Gürültü Radarı Hedef Tespiti Deneyleri (Hedef 5 Metrede, Sinyal Üretici 1 Metrede)

Karıştırmanın olduğu durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.15'deki veri toplama ekipmanları kullanılmıştır.

Tablo 5.15 Sahte Gürültü Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ekipmanları

No	Ekipman	Açıklama
1	Sahte Gürültü Radarı	Zaman Tabanlı Yansıma Verisi Ölçümü
2	Veri Toplama Ekipmanı	Bilgisayar
3	Antenler	Standart Gain Horn Anten
4	Vektör Sinyal Üretici	Karıştırıcı Sinyal Kaynağı
5	RF Kablo	SMA-SMA, 50 Ohm (50 cm)

Sistem ile hedef arasında engel bulunmadığı hareketli hedef senaryoları için, sistem ile hedef arasında 5 metre bulunmaktadır. Makro hareket yapan bir hedef için veri kayıtları yapılmıştır.



Şekil 5.68 Sahte Gürültü Radarı Ölçümleri İçin Karıştırıcı Çıkış Gücü

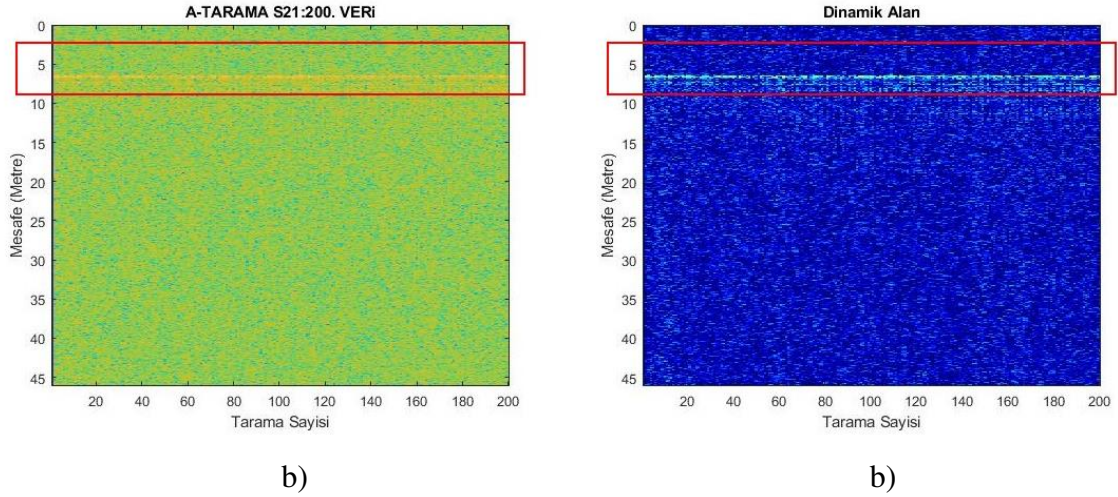
Karıştırmanın olduğu durumda, hareketli hedef senaryoları için Tablo 5.16'deki ölçüm parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 5.16 Sahte Gürültü Radarı Ve Karıştırıcı Veri Toplama Ölçüm Parametreleri

No	Parametre	Değer
1	Anlık Bant Genişliği (10dB)	0.1-6 GHz
2	Çıkış Gücü	-4 dBm
3	MLBS	12
4	Toplam Tarama Süresi	30 Saniye
5	Anten Kazancı	10 dBi
6	Vektör Sinyal Üreteci (Çıkış Gücü)	-1.89 dBm (Nokta Köreltme)
7	Vektör Sinyal Üreteci (Çıkış Gücü)	-20 dBm (Baraj Karıştırması)

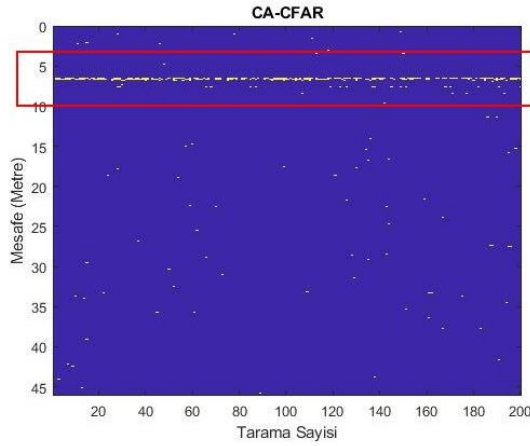
5.10.1. Sahte gürültü radarı ve nokta köreltme karıştırması

Radar alıcısının düzgün bir şekilde çalışmasını önlemek amacıyla vektör sinyal üretici kullanılarak nokta köreltme sinyali oluşturulmuştur. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır (Şekil 5.69). Sinyal üretici ile Sahte Gürültü Radarı antenleri arasında 1 metre bulunmaktadır. Sinyal üretici 2 GHz'de nokta köreltme yapmaktadır.



Şekil 5.69 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile Sahte Gürültü Radarı arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.70’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. Sahte gürültü radarı çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.70 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile sahte gürültü radarı arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 4241’dir.

Hareketli hedef senaryosunu içeren deneysel kurulum ile Sahte Gürültü radarı ile veriler toplanmıştır ve tespit sonuçları hesaplanmıştır. Nokta köreltmenin etkileri analiz edilmiştir ve elde edilen verilere etkiler yüzdelik değişim kullanılarak karşılaştırılmıştır.

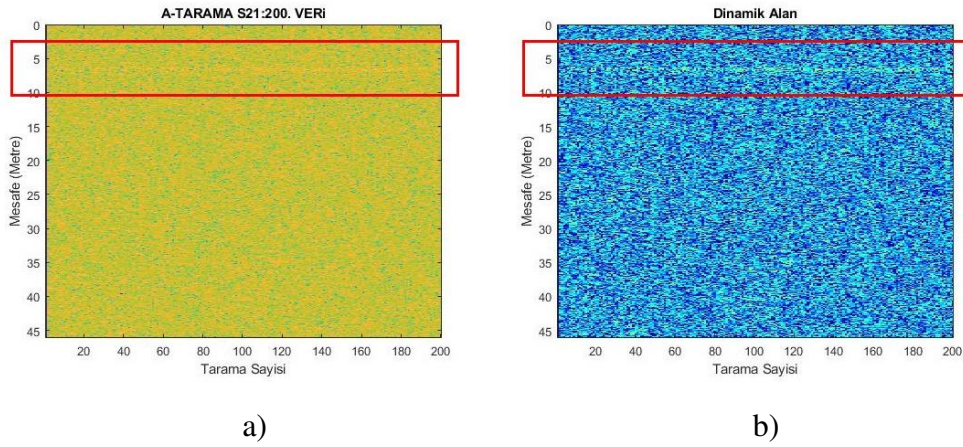
Ancak sinyalin geniş bir alana yayılmasından dolayı nokta köreltmenin hedef tespitine etkisi baraj karıştırmasına kıyasla daha az olarak gözlemlenmiştir (Tablo 5.17).

Tablo 5.17 Sahte Gürültü Radarı Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları

No	Radar Çıkış Gücü	Karıştırma	CA-CFAR (Toplam Tespit)	Değişim (Yüzde)
1	-4 dBm	Yok	4785	-
2	-4 dBm	Nokta Köreltme	4241	11,37

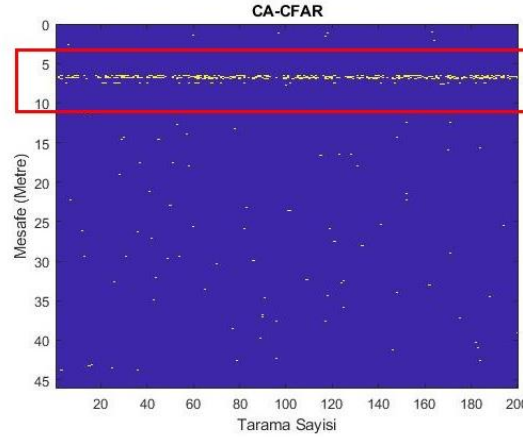
5.10.2. Sahte gürültü radarı ve baraj karıştırması

Radar alıcısının düzgün bir şekilde çalışmasını önlemek amacıyla vektör sinyal üretici kullanılarak baraj karıştırması sinyali oluşturulmuştur. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır (Şekil 5.71). Sinyal üretici ile Sahte Gürültü Radarı antenleri arasında 1 metre bulunmaktadır.



Şekil 5.71 a) 5 Metrede Hareketli Hedef Tespitinin Yapılması b) Dinamik Alan Ölçülmesi (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile Sahte Gürültü Radarı arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR görüntüsü Şekil 5.72’de görülmektedir. Hedef 5 metrede makro hareket yapmaktadır. Sahte gürültü radarı çıkış gücü -4 dBm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.72 5 Metrede Hareketli Hedefin CA-CFAR Görüntüsü (Radar Çıkış Gücü -4 dBm)

Sinyal üretici ile sahte gürültü radarı arasında 1 metre bulunduğu durumda toplanılan verilerin CA-CFAR toplam tespit sayısı 1886'dır.

Hareketli hedef senaryosunu içeren deneysel kurulum ile Sahte Gürültü radarı ile veriler toplanmıştır ve tespit sonuçları hesaplanmıştır. Baraj karıştırmasının etkileri analiz edilmiştir ve elde edilen verilere etkiler yüzdelik değişim kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sahte gürültü radarı anlık 10 dB bant genişliği 0.1 - 6 GHz'dir. Test antenleri çalışma frekans aralığı 1.75 - 3.82 GHz'dir. Test antenleri sinyal karıştırmanın olmadığı deneyde yansıma sinyallerinin ancak test anteni çalışma aralığı kadarında bozulma olmadan aldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı sinyal üreticinin 1.8 GHz ile 2.8 GHz arasında baraj karıştırması yaptığında en az tespit sayısı elde edilmiştir (Tablo 5.18).

Tablo 5.18 Sahte Gürültü Radarı Hareketli Hedef CA-CFAR Sonuçları

No	Radar Çıkış Gücü	Karıştırma	CA-CFAR (Toplam Tespit)	Değişim (Yüzde)
1	-4 dBm	Yok	4785	-
2	-4 dBm	Baraj Karıştırma	1886	60,59

5.11. Deney Sonuçları

Bu tez çalışmasında her bir radar türünde nokta köreltmenin ve baraj karıştırmasının etkilerini ölçmek için hedef tespitine yönelik deneyler yapılmıştır. Nokta köreltme deneyinde sinyal karıştırıcının tüm gücünü tek bir frekansa odaklayarak, çok dar bir bant genişliği içerisinde, eşit çıkış gücüne sahip her bir radar türünde sinyal karıştırma etkileri

incelenmiştir. Radar sinyalinin geniş bir alana yayılmasından dolayı nokta köreltmenin radar alıcısında dar bir bant genişliği içerisinde kalmasına neden olmaktadır. Böylece nokta köreltmenin sinyal bozma etkisi önemli oranda azalır (Tablo 5.19).

Tablo 5.19 Nokta Köreltmenin Hedef Tespit Radarlarına Etkileri

No	Radar Çıkış Gücü	Karıştırma	Radar Türü	Değişim (Yüzde)
1	-4 dBm	Nokta Köreltme	Sahte Gürültü	11,37
2	-4 dBm	Nokta Köreltme	SFCW	68,65
3	-4 dBm	Nokta Köreltme	FMCW	84,87

Baraj karıştırması deneyinde sinyal karıştırıcının tüm gücü belirli bir bant genişliğine yayarak, eşit çıkış gücüne sahip her bir radar türünde sinyal karıştırma etkileri incelenmiştir (Tablo 5.20). Sahte gürültü radarı anlık 10 dB bant genişliği 0.1 - 6 GHz'dir. Test antenleri çalışma frekans aralığı 1.75 - 3.82 GHz'dir. Test antenleri sinyal karıştırmanın olmadığı deneyde yansıma sinyallerinin ancak test anteni çalışma aralığı kadarında bozulma olmadan aldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı sinyal üreticinin 1.8 GHz ile 2.8 GHz arasında baraj karıştırması yaptığında en az tespit sayısı elde edilmiştir.

Tablo 5.20 Baraj Karıştırmasının Hedef Tespit Radarlarına Etkileri

No	Radar Çıkış Gücü	Karıştırma	Radar Türü	Değişim (Yüzde)
1	-4 dBm	Baraj Karıştırma	SFCW	1,42
2	-4 dBm	Baraj Karıştırma	FMCW	35,72
3	-4 dBm	Baraj Karıştırma	Sahte Gürültü	60,59

6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında sinyal karıştırıcılarının, hareketli hedef tespit radarlarının performansına etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Hareketli hedef senaryosunu içeren ölçüm düzeneği ile farklı radar türleri (FMCW, SFCW ve Pseudo-Noise Radar) için veriler toplanmıştır ve tespit sonuçları hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere genel sinyal işleme adımları uygulanarak sinyal karıştırıcıların etkileri analiz edilmiştir ve sinyal işleme adımları ile hedef tespiti üzerine etkileri analiz edilmiştir ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca her bir radar türünde nokta köreltmenin ve baraj karıştırmasının etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

SFCW radarın farklı çıkış güçlerindeki deneysel çalışmalar sinyal karıştırıcılarının SFCW radar performansına etkisi hakkında kapsamlı bilgiler elde etme imkanı sağlamıştır. SFCW radarın diğer radar tiplerinde de kullanılan radar çıkış gücü olan -4 dBm seviyesinde sinyal karıştırıcı etkisini ölçmek için hedef tespitine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. SFCW radar alıcısı için nokta köreltme deneyinde, herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayının %31,35'i kadar hedef tespit sayısı elde edilmiştir. Ardından radar çıkış gücü -10 dBm, -20 dBm ve -30 dBm seviyelerine ayarlanmıştır. Bu radar çıkış gücü değerleri için nokta köreltme deneyinde herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayının sırasıyla %19,35'i, %6,94'ü ve %4,15'i kadar hedef tespit sayısı elde edilmiştir.

SFCW radarı alıcısında, baraj karıştırma deneyinde, radar çıkış gücü -4 dBm iken herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayının %98,58'i kadar hedef tespit sayısı elde edilmiştir. Ardından radar çıkış gücü -10 dBm, -20 dBm ve -30 dBm seviyelerine ayarlanmıştır. Bu radar çıkış gücü değerleri için baraj karıştırma deneyinde herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayının sırasıyla %97,32'i, %91,64'ü ve %85,17'si kadar hedef tespit sayısı elde edilmiştir.

Düşük çıkış güçlerinde hedefin oluşturduğu izin ortam kaynaklı yansımalar arasında neredeyse kaybolduğu ancak çıkış gücünün artırılmasıyla hedef izinin giderek belirginleştiği gözlemlenmiştir. Çıkış gücünün yüksek tutulmasının sistem tespit kabiliyetine gözle görülür etkisinin olacağı görülmüştür. Ayrıca beklenildiği gibi baraj karıştırma tekniği, gücün

spektruma yayılması nedeniyle, nokta köreltme karıştırma tekniğine kıyasla SFCW radarın hedef tespit performansını daha az etkilemektedir.

FMCW radarın diğer radar tiplerinde de kullanılan radar çıkış gücü olan -4dBm seviyesinde sinyal karıştırıcı etkisini ölçmek için hedef tespitine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. FMCW radarının çıkış gücü ayarlanamadığından dolayı farklı çıkış güçlerinde karıştırıcı etkileri incelenememiştir.

FMCW radar çıkış gücü -4dBm iken nokta köreltme herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayısının ancak $\%15,13$ 'ü kadar hedef tespit sayısı elde edilmiştir. Baraj karıştırma deneyinde, herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayısının $\%64,28$ 'ü kadar hedef tespit sayısı elde edilmiştir. FMCW radarda nokta köreltmenin baraj karıştırmasına kıyasla radarda bariz bir sıkışmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca baraj karıştırma bant genişliği radar alıcı bandı içinde ise, baraj karıştırmasının FMCW radar sistemlerine karşı da etkili olabileceğini kanıtlıyor.

Sahte gürültü radarında zamanda geniş bir alana yayılan kodlu bir işaret analog olarak kullanılmaktadır ve aynı zaman adımı için hareketten dolayı ufak genlik farklarına sahip olur ve bu farkların tespiti ile hareketli hedef tespiti yapılmaktadır. Sinyal genliği, hedefin daha iyi tespiti için sinyal işleme algoritmalarında bir özellik olarak kullanılabilir.

Sahte gürültü radarın çıkış gücü -4dBm iken nokta köreltmenin herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayısının $\%88,63$ 'ü kadar hedef tespit sayısı elde edilmiştir. Baraj karıştırması deneyinde bariz bir karıştırma etkisi gözlemlenmiştir. Baraj karıştırma deneyinde, herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayısının ancak $\%39,41$ 'i kadar hedef tespit sayısı elde edilmiştir. Sinyalin geniş bir alana yayılmasından dolayı nokta köreltmenin hedef tespitine etkisi baraj karıştırmasına kıyasla daha az olarak gözlemlenmiştir.

Sahte gürültü radarı anlık 10dB bant genişliği $0.1\text{--}6\text{ GHz}$ 'dir. Test antenleri çalışma frekans aralığı $1.75\text{--}3.82\text{ GHz}$ 'dir. Test antenleri karıştırmanın olmadığı deneyde yansıma sinyallerinin ancak test anteni çalışma aralığı kadarında bozulma olmadan aldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı sinyal üreticinin 1.8 GHz ile 2.8 GHz arasında baraj karıştırması yaptığında en az tespit sayısı elde edilmiştir.

Nokta köreltmesi deneyinde, Sahte gürültü, SFCW ve FMCW radarlarında herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayısının sahte gürültü

radarında %88,63'ü, SFCW radarda %31,25'i ve FMCW radarda %15,13'ü kadar tespit sayısı elde edilmiştir. Radar sinyalinin geniş bir alana yayılmasından dolayı nokta köreltmenin radar alıcısında dar bir bant genişliği içerisinde kalmasına neden olmaktadır. Böylece nokta köreltmenin sinyal bozma etkisi önemli oranda azalır.

Baraj karıştırması deneyinde, SFCW, Sahte gürültü ve FMCW radarlarında herhangi bir karıştırmanın olmadığı durumda elde edilen toplam hedef tespit sayının SFCW %98,58'i, FMCW radarda %64,28'i ve Sahte gürültü radarında %39,41'i kadar tespit sayısı elde edilmiştir. SFCW radarının çıkış sinyalinin FMCW radar çıkış sinyaline kıyasla daha geniş bir alana yayılmasından dolayı karıştırıcının sinyal bozma etkisi daha az olmaktadır. Radar alıcısına uygulanan karıştırma gürültü enerjisi, baraj karıştırıcı çalışma frekans aralığı ile radar alıcı bant genişliğine eşit olduğunda maksimum karıştırma etkisi meydana gelir. Ancak nokta köreltme teknikleriyle karşılaştırıldığında, güç açısından verimli değildir. Bununla birlikte, radar çalışma frekans bandı bilinmediğinde, geniş bantlı bir karıştırma biçimi tek seçenek olabilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] P. Withington, H. Fluhler and S. Nag, "Enhancing Homeland Security With Advanced UWB Sensors," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 4 no. 3, pp. 51-58, 2003.
- [2] D. Adamy, *EW101 A First Course in Electronic Warfare*. Boston, London, UK: Artech House, 2001.
- [3] C. Nguyen and J. Park, *Stepped-Frequency Radar Sensors Theory, Analysis and Design*. Cham, Switzerland: Springer, 2016.
- [4] M. I. Skolnik, *Introduction To Radar Systems*. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill, 1981.
- [5] R. Zetik, S. Crabbe, J. Krajnak, P. Peyerl, J. Sachs and R. Thomä, "Detection And Localization Of Persons Behind Obstacles Using Msequence Through-The-Wall Radar," *Sensors, And Command, Control, Communications, And Intelligence (C3I) Technologies For Homeland Security And Homeland Defense V. International Society For Optics And Photonics*, vol. 6201, p. 62010I, 2006, doi:10.1117/12.667989.
- [6] J. D. Taylor, *Ultra-Wideband Radar Technology*. Boca Raton, Florida, US: CRC Press, 2000.
- [7] P. K. Verma, A. N. Gaikwad, D. Singh, and M. J. Nigam, "Analysis Of Clutter Reduction Techniques For Through Wall Imaging In UWB Range," *Progress In Electromagnetics Research B*, vol. 17, pp. 29-48, 2009.
- [8] N. T. P. Van, L. Tang, V. Demir, S. F. Hasan, N. D. Minh and S. Mukhopadhyay, "Review-Microwave Radar Sensing Systems For Search And Rescue Purposes," *Sensors*, vol. 19 no. 13, pp. 2879, 2019, doi:10.3390/s19132879.
- [9] G. Kouemou, *Radar Technology*. Vukovar, Croatia, Slovene: In-Teh, 2009.

- [10] P. Galajda, M. Pecovsky, M. Sokol, M. Kmec and D. Kocur, "Recent Advances In ASIC Development For Enhanced Performance M-Sequence UWB Systems," *Sensors*, vol. 20 no. 17, pp. 4812, 2020, doi:10.3390/s20174812.
- [11] M. A. Lee, D. T. Anderson, J. E. Ball and J.L. White, "Background Adaptive Division Filtering For Hand-Held Ground Penetrating Radar," *Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects, and Obscured Targets XXI International Society for Optics and Photonics*, vol. 9823, pp. 98230I, 2016, doi:10.1117/12.2223294.
- [12] J. Rovakova and D. Kocur, "UWB Radar Signal Processing For Positioning Of Persons Changing Their Motion Activity," *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. 10 no. 3, pp.165-184, 2013.
- [13] J. D. Bryan, J. Kwon, N. Lee, and Y. Kim, "Application Of Ultra-Wide Band Radar For Classification Of Human Activities," *IET Radar, Sonar Navigation*, vol. 6 no. 3, pp. 172 - 179, 2011, doi:10.1049/iet-rsn.2011.0101.
- [14] G. Zhu, J. Hu, Z. Yuan and X. Huang, "Automatic Human Target Detection Of Ultra-Wideband Through-Wall Radar," *2013 IEEE Radar Conference (RadarCon13)*, pp. 1 – 4, 2013, doi:10.1109/RADAR.2013.6586106.
- [15] S. A. Rane, S. Sarkar, and A. Gaurav, "Moving Target Localization Using Ultra Wideband Sensing," *2016 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET)*, pp. 1-5, 2016, doi:10.1109/GET.2016.7916628.
- [16] G. Inanan, G. Pay, V. Hamurcu, O. Sütçüoğlu, "Handheld Ultra-Wideband Through-Wall Radar," *2017 Seminar on Detection Systems Architectures and Technologies (DAT)*, pp. 1-6, 2017, doi:10.1109/DAT.2017.7889197.
- [17] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis And Design Using Matlab*. 3rd ed. Boca Raton, Florida, US: CRC Press, 2013.

- [18] T. S. Bird, *Mutual Coupling Between Antennas*. Sydney, Australia: Wiley, 2021.
- [19] R. Poisel, *Principles Of Electronic Warfare Antenna Systems*. Boston, London, UK: Artech House, 2011.
- [20] D. L. Adamy, *Introduction To Electronic Warfare Modeling And Simulation*. Boston, London, UK: Artech House, 2003.
- [21] B. R. Mahafza, S. C. Winton and A. Z. Elsherbeni, *Handbook Of Radar Signal Analysis*. Boca Raton, Florida, US: CRC Press, 2021.
- [22] O. Katircioğlu, H. Isel, O. Ceylan, F. Taraktas and H. B. Yagci, "Comparing Ray Tracing, Free Space Path Loss And Logarithmic Distance Path Loss Models In Success Of Indoor Localization With RSSI," *2011 19th Telecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers*, pp. 313-316, 2011, doi:10.1109/TELFOR.2011.6143552.
- [23] E. Piuze, S. Pisa, P. D'Atanasio and A. Zambotti, "Radar Cross Section Measurements Of The Human Body For UWB Radar Applications," *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, pp. 1290-1293, 2012, doi:10.1109/I2MTC.2012.6229134.
- [24] P. Stavroulakis, N. Farsaris and T. D. Xenos, "Anti-Jamming Transmitter Independent Radar Network," *2008 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Networking*, pp. 269-273, 2008, doi:10.1109/ICSCN.2008.4447202.
- [25] J. Dai, X. Hao, P. Li, Z. Li and X. Yan, "Antijamming Design And Analysis Of A Novel Pulse Compression Radar Signal Based On Radar Identity and Chaotic Encryption," *2020 IEEE Access*, pp. 5873-5884, 2020, doi:10.1109/ACCESS.2019.2963481.

- [26] Z. Xianyi, S. Weimin and G. Hong, "Anti-Jamming Performance Analysis For Random Noise UWB Imaging Radar," *2006 IEEE CIE International Conference on Radar*, pp. 1-4, 2006, doi:10.1109/ICR.2006.343578.
- [27] F. Jianli, "Wideband FM Anti-Jamming Method of FMCW Radar," *2021 IEEE 6th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP)*, pp. 777-780, 2021, doi: 10.1109/ICSP51882.2021.9408835.
- [28] G. Ponuratinam, B. Patel, S. S. Rizvi and K. M. Elleithy, "Improvement In The Spread Spectrum System In DSSS, FHSS, And CDMA. ASEE," *2009 ASEE Northeast Section Conference*, 2009.
- [29] "Federal Communications Commission FCC 02-48." [Online]. Available: <https://ecfsapi.fcc.gov/file/60001090750.pdf>
- [30] B. Pikacz, "An Implementation And Performance Analysis Of A Sidelobe Canceller," *2013 IEEE Signal Processing Symposium (SPS)*, pp. 1-6, 2013, doi: 10.1109/SPS.2013.6623574