



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE İSTENMEYEN YANKILARI
YOK ETME METODLARI**

**Elektrik Elektronik Müh. Tuncay EREN
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof.Dr. Hakan Ali ÇIRPAN**

Eylül, 2008

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE İSTENMEYEN YANKILARI
YOK ETME METODLARI**

**Elektrik Elektronik Müh. Tuncay EREN
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof.Dr. Hakan Ali ÇIRPAN**

Eylül, 2008

İSTANBUL

Bu çalışma 17/09/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalı Elektrik Elektronik programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Hakan Ali ÇIRPAN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Sıddık YARMAN
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Aydın AKAN
İstanbul Üniversitesi

Prof.Dr.Ayten KUNTMAN
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet SERTBAŞ
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Danışman hocam Sayın Prof.Dr. Hakan Ali ÇIRPAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yüksek lisans öğrenimim sırasında radar ve teknolojileri konusunda bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, şunda emekli olan değerli hocam Sayın Prof.Dr. Fahri BURŞUK'a ve tezimle ilgili çalışmalarda bana yardımcı olan Yük. Müh. Şevket DEMİRCİ'ye teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca bu tezin hazırlanmasında maddi ve manevi desteğini, en zor vakitlerimde anlayış ve güler yüzlerini esirgemeyen sevgili aileme, tüm dostlarıma sonsuz teşekkürler.

Eylül, 2008

Tuncay EREN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1. ELEKTROMANYETİK (EM) DALGA TEORİSİ.....	3
2.1.1. Elektromanyetik Dalganın Oluşumuç.....	3
2.1.2. Maxwell Denklemleri.....	3
2.1.3. Elektromanyetik Dalganın Yayınımı.....	4
2.1.4. Elektromanyetik Dalga Özellikleri.....	6
2.1.5. Elektromanyetik Dalgaların Yayınımını Etkileyen Fiziksel Faktörler	8
2.2. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM VE RADAR.....	10
2.2.1. Radar ve Sınıflandırılması.....	12
2.2.2. Radar Çalışma Prensibi.....	12
2.2.3. Radarlarda Menzil Hesabı.....	14

2.2.4. Radar Menzil Denklemi.....	15
2.2.5. Radar Görüntüleme.....	16
2.2.5.1. Gerçek Açıklıklı Radar (RAR) Görüntülemesi.....	16
2.2.5.2. Yapay (Sentetik) Açıklıklı Radar (SAR) Görüntüleme.....	18
2.2.5.3. Polarizasyon.....	21
2.2.6. Yere Nüfuz Eden Radar	22
2.2.6.1 Yer Radarının Çalışmasına Etki Eden Faktörler	24
2.3. İSTENMEYEN YANKI (CLUTTER) SİNYALLERİ.....	25
2.3.1. SAR görüntülemenin Otomatik Hedef Algılama ve Tanımda (OHA/T) Kullanımı.....	26
2.3.2. Algılama Stratejileri.....	27
2.3.2.1. Global Eşikleme Algoritmalar.....	27
2.3.2.2. Adaptif Eşikleme Algoritmaları.....	28
2.3.3. Hedef Takibi Algoritmaları.....	31
2.3.4. İstenmeyen Yankıların Modellenmesi ve Giderilmesi ile ilgili Çalışmalar.....	32
2.3.4.1. Direkt Eşikleme	32
2.3.4.2. Olasılık Yoğunluk Çarpıklığı Kullanımı.....	32
2.3.4.3. Adaptif Dalgacık Paket Dönüşümü (AWPT) Kullanımı.....	34
2.3.4.4. Sinyal gösteriminde dalgacık paket temeller.....	34
2.3.4.5. Yankıların Modellenmesinde İstatistiksel Model Kullanımı	36
2.3.4.6. SAR istenmeyen yankıların olasılıksal modelleri.....	37
2.3.4.7. Parametre kestirimi.....	40
3. MALZEME VE YÖNTEM	44
3.1. KULLANILAN MALZEMELER	44
3.1.1. MSTAR Veri Kümesi	44
3.1.1.1. MSTAR veri diskleri içerikleri.....	44
3.1.1.2. MSTAR dosya biçimi	45
3.1.2. Kullanılan Yazılım.....	46
3.2. KULLANILAN YÖNTEM.....	48
3.2.1. Direkt Eşikleme ile Giderme.....	48
3.2.2. İstatistiksel Modele Dayalı Giderme.....	48
3.2.2.1. Genlik dağılımının modellenmesi.....	48
3.2.2.2. İstenmeyen yankı dağılımının yüksek-dereceden istatistikler kombinasyonu (HOSC) ile tanınması.....	52

3.2.2.3. <i>Uyum derecesi testi</i>	54
3.2.2.4. <i>Sabit yanlış alarm oranı (CFAR) algılama</i>	55
4. BULGULAR	57
4.1. HEDEFİ İÇEREN ORJİNAL SAR GÖRÜNTÜSÜ.....	57
4.2. DİREKT EŞİKLEME.....	57
4.3. İSTATİSTİKSEL MODELE DAYALI GİDERME.....	59
4.3.1. İstenmeyen Yankı Görüntülerinin Analizi.....	59
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	63
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Elektromanyetik dalgaların ilerleme yönü	5
Şekil 2.2	: Dalga cepheleri	8
Şekil 2.3	: Dalga hareketi.....	10
Şekil 2.4	: Elektromanyetik dalga.....	11
Şekil 2.5	: Elektromanyetik spektrum.....	11
Şekil 2.6	: Temel radar blok şeması.....	13
Şekil 2.7	: Radar menzil hesabı.....	14
Şekil 2.8	: SLAR görüntüleme geometrisi.....	17
Şekil 2.9	: Görüntüleme için uygun mikrodalga frekans bantları.....	17
Şekil 2.10	: SAR anten uzunluğu	19
Şekil 2.11	: Dalga boylarının nesne üzerine etkisi	20
Şekil 2.12	: Yüzeyin saçılma etkisi	21
Şekil 2.13	: Düşey (vertical) ve yatay (horizontal) polarizasyon.....	22
Şekil 2.14	: GPR'ın blok diyagramı	23
Şekil 2.15	: Otomatik Hedef Algılama/Tanıma (OHA/T) işlem akış diyagramı.....	26
Şekil 2.16	: Adaptif eşikleme algılayıcısı için tipik pencere kurgusu.....	29
Şekil 2.17	: Dağılım.....	34
Şekil 3.1	: Kolmogorov-Smirnov istatistiği.....	55
Şekil 4.1	: Orjinal SAR görüntüsü.....	57
Şekil 4.2	: Direkt eşikleme sonucu.....	58
Şekil 4.3	: SAR istenmeyen yankı görüntüsü.....	59
Şekil 4.4	: Seçili bölge için pdf ve cdf' ler.....	60
Şekil 4.5	: Yankı verilerinin Weibull modeli ile adaptif CFAR algılayıcı çıkışı...61	
Şekil 4.6	: BMP-2 ana savaş tankı hedef görüntüsü.....	62

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Frekans bandlar.....	13
Tablo 3.1	: Tipik radar istenmeyen yankı dağılımlarının pdf, cdf ve momentleri...	49

SEMBOL LİSTESİ

∇	: del operatörü
\vec{E}	: elektrik alan vektörü
E	: elektrik alan
\vec{B}	: manyetik alan vektörü
B	: manyetik alan
H	: manyetik alan şiddeti
J	: akım yoğunluğu
\vec{D}	: elektrik deplasman vektörü
K_0	: boşlukta elektromanyetik dalgaların genel yayılım sabiti
μ_0	: boşluğun manyetik geçirgenliği
ϵ_0	: boşluğun elektrik geçirgenliği
w	: radyan cinsinden frekans
σ_{DC}	: doğru akım elektrik iletkenliği
μ	: ortamın manyetik geçirgenliği
K^*	: kompleks dielektrik katsayısı
K''	: kayıp faktörü
K'	: dielektrik katsayısı
v	: hız
Z	: elektromanyetik empedans
a	: sönümlenme
$i\sigma_{DC}$: DC iletkenlik kayıp faktörü
Z_0	: Boşluğun empedansı
f	: frekans
c	: ışık hızı
ϵ	: dielektrik
ϵ_r	: maddenin bağıl dielektrik geçirgenliği
λ	: dalga boyu
A	: dalganın genlik değeri
R	: hedefin menzili
R_{max}	: hedef tespiti yapılabilecek maksimum menzil
P_T	: gönderme gücü
G_T	: gönderme anteni kazancı
G_R	: alma anteni kazancı
σ	: hedefin radar kesit alanı (RKA)
n	: evre uyumlu bütünleştirme yapılan darbe sayısı
τ	: darbe genişliği

S_{\min}	: hedef tespiti için gerekli minimum SNR değeri
kT_s	: termal gürültü enerjisi
L_T	: gönderme hatlarındaki kayıp
L_R	: alma hatlarındaki kayıp
L_P	: sinyal işleme kayıpları
L_b	: huzme şeklinden kaynaklanan kayıp
B_{dop}	: doppler bant genişliği
f_{dop}	: doppler frekansı
P_{FA}	: yanlış alarm olasılığı
k	: uzay kayması indeksi
j	: ölçek indeksi
n	: modülasyon indeksi
α_3	: çarpıklık katsayısı
m_r	: r 'inci dereceden moment
s_{k_2}	: Pearson'un çarpıklığın ikinci katsayısı
$U_{p,q}^j$: 2-D dalgacık temel fonksiyonu
$s(\mathbf{m}, \mathbf{n})$: uzamsal bölgedeki SAR görüntüsü
\tilde{S}	: dalgacık paket dönüşümü katsayıları
$\Phi_{j,k}^n$: 1-D dalgacık temel fonksiyonu
T	: Eşik değeri

ÖZET

RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE İSTENMEYEN YANKILARI YOK ETME METODLARI

Radar; kara, hava ve deniz uygulamalarında cisimlerin görüntülenmesi işlemlerinde kullanılmaktadır. Görüntüleme, hedeflerin otomatik olarak tanınması işleminde karşılaşılan önemli sorunlardan biri, hedef sinyalleri ile karışan istenmeyen yankı (clutter) sinyalleridir ve bu sinyaller hedef sinyallerinin yanında önemli bir enerjiye sahiptirler. Görüntü işlemede hedef sinyallerini ayırt etmek oldukça zordur. İstenmeyen yankı sinyallerini radar görüntülerinden ayırt etmek için; dalgacık paket dönüşümü, direk eşikleme ve istatistiksel modele dayalı teknikler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada radar görüntülerinde istenmeyen yankıları yok etme metodları araştırılmış ve bu metodlardan direk eşikleme ve istatistiksel modele dayalı metodlar gerçek Yapay Açıklıklı Radar (SAR) görüntülerine uygulanmış ve bunların performansları karşılaştırılmıştır. Gerçek veri olarak MSTAR data verisi kullanılmıştır.

Yapılan çalışma sonunda istatistiksel modele dayalı tekniğin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

SUMMARY

CLUTTER CANCELLATION METHODES IN RADAR IMAGES

Radar is the fundamental devices used in land, air and sea applications. In the imaging process, one of the important problem faced in the automatic recognition of targets in radar images is that the clutter signals which interfere with target signals, have significant energy levels. In the imaging processes, it is difficult to discriminate target signals because of the clutters. In order to depress the clutter signals in radar images, different kind of clutter cancellation techniques are used such as Adaptive Wavelet Packet Transform (AWPT), direct thresholding and statistical modelling.

In this thesis, clutter cancellation techniques in Synthetic Aperture Radar (SAR) images were investigated and these techniques were implemented to real Synthetic Aperture Radar (SAR) data. The methods which are direct thresholding and statistical modelling were implemented to SAR images and their performances were compared. As real image data, MSTAR SAR data set was used and the methods were implemented to MSTAR target images for target detection.

In terms of the target clutter cancellation performance, it is seen that the method statistical modelling gives better results than direct thresholding method.

1. GİRİŞ

RADAR kelimesi “RADio Detection And Ranging” kelimelerinden oluşmaktadır. Radarlarda genel olarak, modüle edilmiş darbeler ve yönlendirilmiş antenler kullanılmaktadır. Bu sayede, belirlenmiş bir hacim içinde tarama yapılabilen ve hedefler aranabilmektedir. Belirlenmiş hacim içindeki hedefler, radardan yayılan enerjinin bir kısmını geri döndürürler. Bu dönen enerji radar tarafından işlenerek hedef hakkında bilgi edinilir. Bu bilgiler; menzil, hız, açılal yer ve hedefi tanımlamaya yarayacak bilgiler olabilir.

Radarlar çok çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Sınıflandırma; menziline göre (uzun, orta, kısa menzil), teknik özelliklerine göre (darbeli, CW), çalıştıkları frekans bantlarına göre (C, L, X, Ku – Tablo 2.1), kullanım şekillerine göre (meteoroloji radarı, arama radarı, takip radarı, atış kontrol radarı, erken uyarı radarı, ufuk üstü radarı, arazi izleyen radar), anten özelliklerine göre (faz dizili, reflektör antenli) olabilir.

Uzaktan algılama sistemlerinde kullanılan en karmaşık radar tekniklerinden biri SAR’dır. Yapay Açıklıklı Radar (SAR)’ın ana işlevi uzun menzilli bir platformdan dünya yüzeyindeki büyük alanların görüntülerini yüksek çözünürlükle sağlamaktır. Elde edilen görüntüler hava koşullarından ve karanlıktan etkilenmezler. SAR görüntüleri, uzaktan algılama ve askeri hedef algılama ve gözetim uygulamalarında yaygın biçimde kullanılır [1, 2]. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) , mikrodalga bölgesinde kullanılan bir uzaktan algılama ve görüntüleme sistemidir. Yapay açıklıklı radar sayesinde küçük boyutlu antenlerle yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler elde edilebilir. SAR, uçuş hattı boyunca hareket ederken radar tarafından alınan sinyalleri birleştirerek çok uzun bir antenmiş gibi davranış göstermesinin sağlanmasında kullanılan bir tekniktir. Açıklık (Aperture), cisim biçimlendirmek için kullanılan yansıyan enerjiyi toplamayı sağlayan aralık anlamına gelmektedir. Bu, kamera için objektif açıklığı , radar da ise antendir. Yapay açıklık

(synthetic aperture), uçuş hattı boyunca gerçek açıklığın ya da antenin, değişik pozisyonlarda hareket etmesiyle meydana getirilir. Radar hareket ederken, sinyal her pozisyonda gönderilir; dönen ekolar alıcıdan geçerek echo deposuna kaydedilir. SAR görüntülemenin önemli uygulamalarından biri Otomatik Hedef Algılama/Tanıma (OHA/T) alanındadır [2, 3]. Bu uygulamalarında karşılaşılan temel problemlerden biri, yapay açıklıklı radar (SAR) görüntülerinde, hedef harici tüm sinyaller olarak tanımlanan istenmeyen yankılar (clutter) ortamındaki askeri hedeflerin algılanmasıdır. İstenmeyen yankı sinyalleri asıl hedef özellikleri ile karıştığından dolayı OHA/T işleminden önce giderilmelidir.

İstatistiksel ve kompleks bir yapıya sahip olan istenmeyen yankıların, karakteristiklerini belirlemek için birçok deneysel ölçümler yapılmıştır. Deneysel verilerden elde edilen bilgiler ile istenmeyen yankı sinyallerinin hedef sinyallerinden ayırt edici öznitelikleri saptanmış ve istenmeyen yankıları gidermek teknikleri geliştirilmiştir. İstenmeyen yankıları gidermede en basit teknik, belirli bir piksel değerinin üstündeki değerleri hedef olarak kabul eden direkt eşikleme metodudur [4, 5]. Bunun için uygun bir eşik değeri belirlenmekte ve bu tek eşik değeri global olarak tüm SAR görüntü piksellerine uygulanarak, bu değerden büyük sinyaller hedef sinyalleri olarak algılanmaktadır. Ancak bu metod, yankı sinyali enerjisinin hedef sinyali enerjisinden daha büyük olduğu durumlarda etkili sonuç verememektedir. Bu yüzden daha etkin ve kabul edilebilir metotlara gereksinim duyulduğundan, SAR istenmeyen yankıları giderme teknikleri çoğunlukla istenmeyen yankıların istatistiksel modellenmesine dayanır [6, 7]. Hedeflerin güçlü bir şekilde algılanması için, istenmeyen yankı sinyallerinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve bunların da sinyal işlemede kullanılması gerekir. Böylece karakteristik özellikleri bilinen yankı sinyallerinin, hedef sinyallerinden ayrıştırılması daha kolay hale gelir.

Bu çalışmada istenmeyen yankı sinyallerinin giderilmesinde kullanılan metodlar MSTAR gerçek SAR görüntülerine hedef algılama için uygulanmış ve metodların performansları karşılaştırılmıştır. İstenmeyen yankıları giderirken hedef özelliklerini korumada istatistiksel modele dayalı metod daha etkili sonuç vermiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 ELEKTROMANYETİK (EM) DALGA TEORİSİ

Elektromanyetik dalga, uzayda ya da maddesel bir ortamda yayılan elektrik alanı ve manyetik alan dalgalarının ortak adıdır. Kozmik, gama, x, morötesi, görünür bölge, kızılötesi, mikrodalga, TV, radyo dalgaları elektromanyetik dalgalardır.

2.1.1 Elektromanyetik Dalganın Oluşumu

Elektromanyetik alan, zamanla değişen elektrik ve manyetik alanların birlikte varlığından oluşur. Bu alanlardan herhangi birindeki değişimin diğer alandaki değişimi yaratması elektromanyetizma teriminin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Elektromanyetizma temel olarak, elektromanyetik alanın fizigidir ve elektrik iletkenlerindeki elektrik yük (elektrik akımı) akışından kaynaklanır.

2.1.2 Maxwell Denklemleri

Elektromanyetik dalgaların yayını ve sönümlenmesini anlamak için elektrik ve manyetik alan vektörleriyle ilişkili Maxwell Eşitlikleri kullanılabilir.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

Bu ifade Faraday Kanununun matematiksel ifadesidir. Zamanla değişen bir manyetik alan, ortamdaki elektrik yüklerin hareket etmesine ve bu yük hareketiyle, kapalı döngüsel bir elektrik alan oluşmasına neden olur. Elektrik alan, indüklenen elektromanyetik alanın manyetik akı değişiminin negatif işaretlisidir ve vektörel bir büyüklüktür.

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.2)$$

Maxwell'in ikinci eşitliği bir elektrik akımının uzayda bir manyetik alanın vektörel kaynağını oluşturduğunu ve oluşan bu manyetik alanın bölgedeki iletkenlik (yük akısı) ve elektrik yüklerinin zamanla yer değiştirmesinden kaynaklanan toplam akıma orantılı

olduğunu ifade eden Ampere Kanununun matematiksel ifadesidir ve (2.2) bağıntısı ile verilmektedir. Bunun fiziksel olarak en basit örneği, iletken bir çubuktan geçen elektrik akımının etrafında oluşan manyetik alan ve bu manyetik alanın varlığını ispat eden telin etrafındaki kağıt düzleminde manyetik alanın şeklini alan demir tozlarıdır.

Doğada elektrik alanın iki kaynağı bulunmaktadır. Elektrik alanın skaler kaynağı, ya maddeler içerisindeki serbest elektrik yük yoğunluğu ya da elektrik alanın noktasal yüklerde sonlanması ile oluşur ki, bu da Gauss Yasası olarak bilinir. Bir diğer elektrik alan kaynağı olan indükleme olgusu meydana geldiğinde, elektrik yükleri salınım yaparak zamanla değişim gösteren elektrik alanları (yani yüklerin hareketlenmesi ile) kapalı döngü şeklinde oluşturur. Genelde zamanla değişen sinyaller bu iki farklı kaynaktan ortaya çıkan elektrik alanın toplamından oluşur.

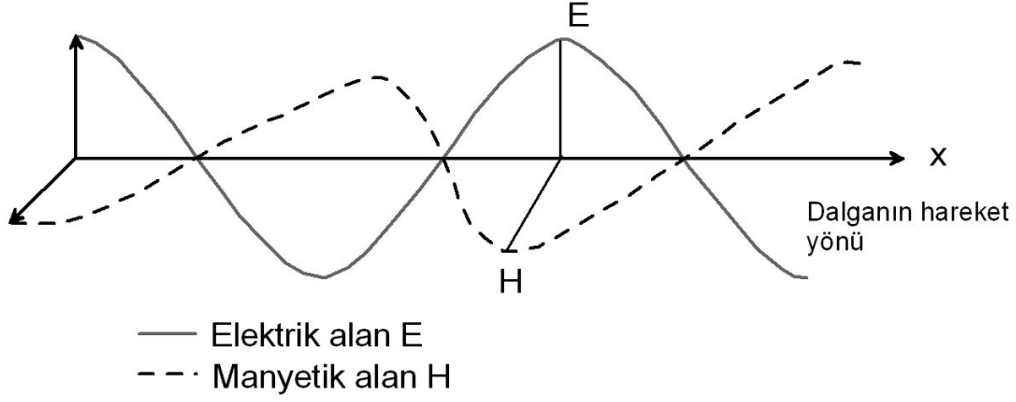
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = q \quad (2.3)$$

Doğada manyetik alan, elektrik yüklerinin hareketlenmesiyle oluşan akım akısı sayesinde oluşur. Bu nedenle, manyetik alanlar sadece bağıntı 2.4'de ifade edilen kapalı döngüde oluşacaktır (ya da diğer bir deyişle hep kendi üzerinde sonlanır) ve manyetik alanın skaler kaynağı yoktur. Bu durumda herhangi bir kapalı yüzeyde oluşan manyetik alanın akısı sıfırdır.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

2.1.3 Elektromanyetik Dalganın Yayınımı

Şekil 2.1'de elektromanyetik dalganın kabaca şekli görünmektedir. Daha önce belirtildiği gibi elektromanyetik dalga, elektrik ve manyetik alanların bileşkesinden oluşur. Elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine dik sinüs dalgaları şeklindedir ve dışardan gelen herhangi bir etki olmadığı müddetçe aynı fazdadırlar. Bu nedenle birisi maksimum olduğunda diğeri de maksimum, biri minimum olduğunda diğeri de minimumdur. Elektromanyetik dalgalar boşlukta ışık hızında hareket ederler. İlerleme yönü $\vec{E} \times \vec{B}$ vektörü yönünde ve z-ekseni doğrultusundadır.



Şekil 2.1: Elektromanyetik dalgaların ilerleme yönü : Elektromanyetik dalgalar elektrik ve manyetik alanların birleşiminden oluşur. İlerleme yönü sağ el kuralına göre ve x-ekseni doğrultusundadır.

Yeraltındaki elektromanyetik enerjinin hareketi, içinden geçtiği maddenin/ortamın yayılım sabiti tarafından yönlendirilir. Boşlukta elektromanyetik dalgaların genel yayılım sabiti (K_0), (2.5) bağıntısıyla verilir. Denklemden ω radyan cinsinden frekansı, μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliğini ve ϵ_0 boşluğun elektrik geçirgenliğini ifade etmektedir.

$$K_0 = (\omega^2 \mu_0 \epsilon_0)^{0.5} \quad (2.5)$$

Yer içinde, elektromanyetik dalganın ilerleyişi, seyahat ettiği ortamın elektrik iletkenliğine bağlıdır ve yüksek elektrik iletkenlikli ortamlarda elektromanyetik dalgalar çok çabuk sönümlenir. Bu nedenle yayılım katsayısının hesabı (2.6) denklemi ile verilir. Burada μ ortamın manyetik geçirgenliği, ϵ ortamın elektrik geçirgenliği ve σ_{DC} doğru akım elektrik iletkenliği ve $i = (-1)^{0.5}$ dir.

$$K_0 = (\omega^2 \mu \epsilon + i \omega \sigma_{DC})^{0.5} \quad (2.6)$$

Elektrik geçirgenlik radar uygulamalarında çok büyük önem taşımaktadır ve genellikle bağıl geçirgenlik ya da bağıl dielektrik geçirgenlik katsayısı şeklinde açıklanır ve (2.7) bağıntısında gösterildiği gibi verilir. Denklemden K^* kompleks dielektrik katsayısı,

K' dielektrik katsayısı ve K'' kayıp faktörü olarak adlandırılır. Buradan yeraltındaki elektromanyetik dalganın yayılım faktörü, (2.8) bağıntısıyla verilen şekilde tanımlanabilir. wK' dielektrik katsayısı faktörünü, iwK'' dielektrik kayıp faktörünü ve $i\sigma_{DC}$ DC iletkenlik kayıp faktörünü ifade etmektedir.

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_0} = K' \epsilon_0 + iK'' \epsilon_0 \quad (2.7)$$

$$K = \left[w\mu_0\epsilon_0 (wK' + iwK'' + i\sigma_{DC}) \right]^{0.5} \quad (2.8)$$

(2.8) bağıntısı, söz konusu madde içerisinde yayılan enerji miktarını, hem doğru akım iletkenlik değerinin hem de karmaşık dielektrik geçirgenlik katsayılarının belirlediğini göstermektedir. Burada sözü geçen fiziksel kavramlar izleyen kısımda daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2.1.4 Elektromanyetik Dalga Özellikleri

Elektromanyetik dalgaların yer içerisindeki hareketlerini açıklayabilmek için en önemli parametreler faz hızı (v), sönümlenme (a) ve elektromanyetik empedans (Z)'dir. Elektromanyetik teoride basit ortamlar olarak ifade edilen sabit dielektrik geçirgenlik, elektrik iletkenlik ve manyetik geçirgenliğe sahip ortamlarda dalga özelliklerinin hepsi benzer davranışlar sergilemekte ve frekans değerlerine bağlı olarak değişimler göstermektedir. Düşük frekanslarda, tüm dalga özellikleri açısal frekansa (w) bağlıdır. Yüksek frekanslarda eğer ϵ , μ , σ sabit ise, dalga özellikleri frekanstan bağımsızdır. Yüksek frekanslarda elektromanyetik dalgaların bu davranışı yer radarının en karakteristik özelliğidir.

Düşük frekanslarda, elektromanyetik alanlar ortam içine yayılır ve elektromanyetik enerji kendini ortama ısı enerjisi şeklinde dağıtır. Bu ortamdaki bir dürtü sinyali, bu sinyalin frekans bileşenlerinin bu ortam içerisinde farklı oranlarda sönümlenmesi ve farklılaşan faz hızlarında seyahat etmesi nedeniyle saçılmaya başlar. Bu durumdaki faz hızı, sönümlenme ve elektromanyetik empedans için matematiksel gösterim (2.9), (2.10) ve (2.11) bağıntılarıyla tanımlanmıştır.

$$v = \sqrt{\frac{2w}{\mu\sigma}} \quad (2.9)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{w\mu\alpha}{2}} \quad (2.10)$$

$$Z = (1+i)\sqrt{\frac{w\mu}{2\sigma}} \quad (2.11)$$

Yüksek frekanslarda, elektromanyetik alanlar ortam içerisinde dalgalar şeklinde yayınırlar. Tüm frekans bileşenleri aynı hızda seyahat eder ve aynı sönümlenmeden etkilenir. Bir dürtü sinyali bozulmamış şekliyle seyahat edecektir. Bu yayınımla, saçılmasız yayınımla olarak adlandırılır [8]. Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların ortam içerisindeki hız, sönümlenme ve elektromanyetik empedans değerleri (2.12), (2.13) ve (2.14) bağıntıları ile bulunabilir. Burada ortamın manyetik özellikleri ihmal edilmektedir ve (2.15) bağıntısıyla verilen Z_0 boşluğun empedansını göstermektedir.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{K}} \quad (2.12)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{\sigma}{2} = Z_0 \frac{\sigma}{2\sqrt{K}} \quad (2.13)$$

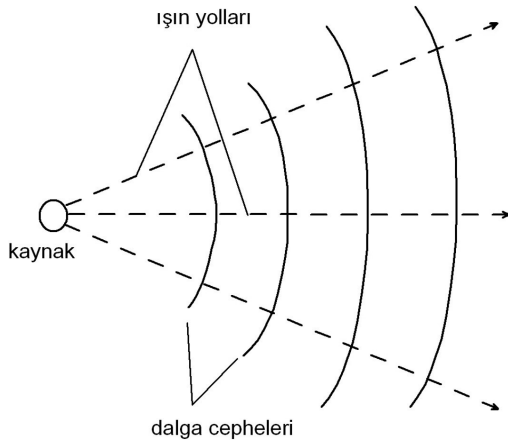
$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \frac{Z_0}{\sqrt{K}} \quad (2.14)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (2.15)$$

Yer içine yayılan elektromanyetik dalgalar farklı elektrik iletkenlikli ortamlara girdiklerinde elektrik akımları iletimsel durumdan yerdeğiştirme durumuna geçebilirler ve bu durumda, elektromanyetik dalgalar için, yayınımsal bir geçiş olgusu (difüzyon) ortaya çıkar. Ortam içerisindeki bu geçiş frekansı, (2.16) bağıntısı ile tanımlanır.

$$f = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon} \quad (2.16)$$

Elektromanyetik bir dalganın yayını temel olarak, dalga cepheleri ve ışın yolları ile karakterize edilebilir. Her iki kavram da Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Dalga cephesi, sinyallerin tümünün aynı fazda olduğu uzamsal bir yüzeyi gösterirken, ışın yolu dalgaboyu ya da geçici sinyal süresinin bir ifadesidir. Herhangi bir kaynaktan gönderilen geçici bir sinyal için uzamsal yüzeyin eş seyahat süresi, dalga cephelerini belirler.



Şekil 2.2: Dalga cepheleri : Dalga cepheleri bir kaynaktan dışa doğru seyahat eden dalgalar için eş seyahat süreli ya da fazlı yüzeylerdir. Işınlar (rays) dalga cephelerine diktir ve yörüngeden dışa doğru çizilir [9].

Işın yolları, dalga cephesine ve ortamdaki elektrik ve manyetik alanlara dik bir konumda bulunmaktadır. Işın yolları için en ideal durum, dalga boyu ya da geçici sinyal süresinin çok kısa olmasıdır. Elektromanyetik bir dalganın yayını ortam koşulları çok önemli olmakla birlikte, dalganın özellikleri de önem taşır. Bu nedenle, elektromanyetik dalga yayını doğasının iyi bilinmesi çözümü olası kılar. Elektromanyetik alanlar ışınlar olarak davrandığında, kavramsal olarak, ışın tarafından tanımlanan yol boyunca seyahat eder.

2.1.5. Elektromanyetik Dalgaların Yayınımını Etkileyen Fiziksel Özellikler

Elektromanyetik alanlar zamanla değişen elektrik (E) ve manyetik (H) alan bileşenlerinden oluşmaktadır ve bu bileşenler içinden geçtikleri ortamların farklı fiziksel özelliklerinden etkilenirler. Bu değişim, bu alanların ortamda yayılım ve sönümlenmelerini etkilemenin yanı sıra, farklı karakterlerde yansımalar elde edilmesine de neden olur. Birçok radar uygulamasında, yerin elektrik özellikleri yer radarı yanıtlarını etkileyen birinci faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Elektrik özelliklerdeki farklılaşmayla kıyaslandığında, manyetik değişim çok zayıf kalmaktadır. Ancak yer radarı yanıtlarını etkileyebilecek manyetik özelliklere sahip ortamların bulunduğu da göz ardı edilmemelidir.

Dielektrik (ϵ) ifadesi elektriksel yalıtkanlıkla eş anlamlıdır ve dielektrik bir madde, elektrik akımına yüksek derecede direnç gösteren madde olarak tanımlanmaktadır. Dielektrik ortamlar, elektromanyetik enerjinin büyük bir kısmının saçılmadan geçişine izin verir. Dielektrik bir ortamda bir elektromanyetik alan söz konusu olduğunda, elektrik alan tarafından zorlanan yükler bu zorlamaya bir yer değiştirme hareketiyle cevap verirler. Birim elektrik alan başına düşen elektriksel yer değiştirme miktarının ölçüsü dielektrik geçirgenlik olarak tanımlanır. Birimi farad/metre ya da coulomb/volt.metredir.

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.17)$$

Dielektrik bir ortamda elektrik alan şiddeti arttığında, elektrik yer değiştirme hareketi bu ortamda depolanır. Daha sonra elektrik alan azaldığında, ortam depoladığı enerjiyi bırakır ve yer değiştirme akımlarını oluşturur. Bir maddenin bağıl dielektrik geçirgenliği (ϵ_r), o madde elektromanyetik enerjiyle yüklendiğinde, enerjiyi depolama ve daha sonra elektromanyetik enerjinin geçişine izin verme kapasitesi olarak tanımlanır [10].

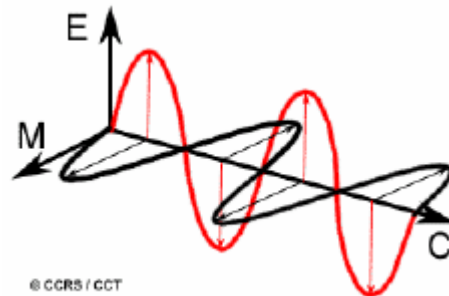
2.2. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM VE RADAR

Yeryüzünden belirli uzaklıkta, atmosferde veya uzayda hareket eden platformlara yerleştirilmiş algılayıcılar aracılığıyla, nesnelere fiziksel temasa geçilmeden, yeryüzünün doğal ve yapay nesnelere hakkında bilgi alma ve bunları değerlendirme tekniği olan uzaktan algılama sistemlerinde yeryüzündeki nesnelere ait bilgi, nesnelere özelliğine göre enerjinin yansımaya ve iletilmesiyle sağlanır.

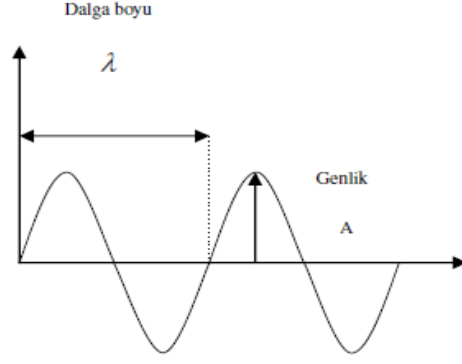
Uzaktan algılamanın ilk adımında hedef nesne aydınlatılmalı ve nesneden gelen enerji yayılmalıdır. Yayılan enerji algılayıcı tarafından kayıt edilmelidir. Bu enerjinin formu elektromanyetik ışımaya şeklindedir. Elektromanyetik ışımaya temel özelliği ve davranışı dalga hareketine dayanır. Işımanın yol aldığı yöne dik doğrultu elektrik alanı, elektrik alanla sağ yönde açı yapan alan ise manyetik alanı oluşturur. Her ikisi de ışık hızında hareket eder. EM enerjinin hareketini sağlayan dalga üzerinde, en kısa iki (alçak ya da yüksek) komşu nokta arasındaki uzaklık λ , dalga boyudur. EM dalganın frekansı f , yayılma hızı v ise dalga boyu (2.18) bağıntısıyla hesaplanır.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.18)$$

Dalganın denge halinden tepe noktasına olan uzaklık A genlik değeridir. Genlik arttıkça, taşınan enerji de artar. E elektrik alan, M manyetik alan olmak üzere şekil 2.3 dalganın hareketini gösterir.



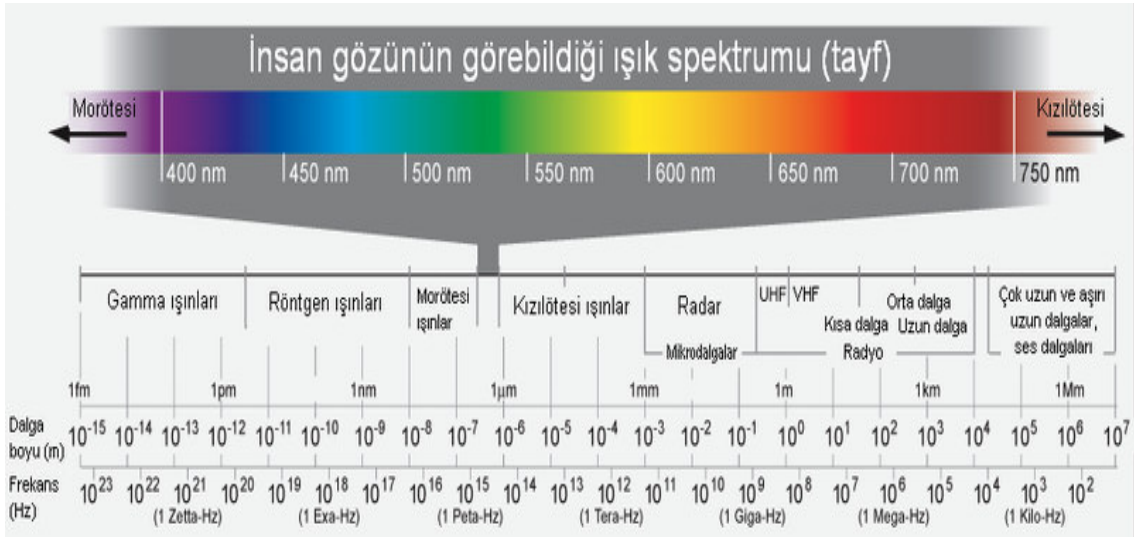
Şekil 2.3: Dalga hareketi



Şekil 2.4: Elektromanyetik dalga

Uzaktan algılama sistemleri EM enerjinin kaynağına göre iki sisteme ayrılırlar; aktif sistemler ve pasif sistemler. Pasif sistemlerde enerji kaynağı güneştir. Güneş eş zamanlı hareket eden pasif sistemler güneş ışığı olmaksızın görüntü elde edemezler. Aktif sistemlerde ise enerji kaynağını algılayıcı kendisi üretir.

Taramalı görüntülü yani görüntü kaydeden radar, kısa dalga boylu gamma, x ışınlarından uzun dalga boylu mikrodalga ve radyo dalgalarına kadar geniş bir aralığa sahip olan elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde yer alır. Uzaktan algılamada kullanılan en uzun dalga boylu mikrodalga bölgesindedir ve radar bu bölgede 1 cm ile 1 m dalga boyları arasında değerler alır.



Şekil 2.5: Elektromanyetik spektrum

2.2.1. Radar ve Sınıflandırılması

RADAR kelimesi “RAdio Detection And Ranging” kelimelerinden oluşmaktadır. Radarlarda genel olarak, modüle edilmiş darbeler ve yönlendirilmiş antenler kullanılmaktadır. Bu sayede, belirlenmiş bir hacim içinde tarama yapılabilmekte ve hedefler aranabilmektedir. Belirlenmiş hacim içindeki hedefler, radardan yayılan enerjinin bir kısmını geri döndürürler. Bu dönen enerji radar tarafından işlenerek hedef hakkında bilgi edinilir. Bu bilgiler; menzil, hız, açısız yer ve hedefi tanımlamaya yarayacak bilgiler olabilir.

Radalar çok çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. Sınıflandırma; menziline göre (Uzun, orta, kısa menzil), teknik özelliklerine göre (Darbeli, CW,..), çalıştığı frekans bantlarına göre (C, L, X, Ku – Tablo 2.1), kullanım şekillerine göre (meteoroloji radarı, arama radarı, takip radarı, Track-While-Scan radarı, atış kontrol radarı, erken uyarı radarı, ufuk üstü radarı, arazi izleyen radar), anten özelliklerine göre (faz dizili, reflektör antenli, ..) olabilir.

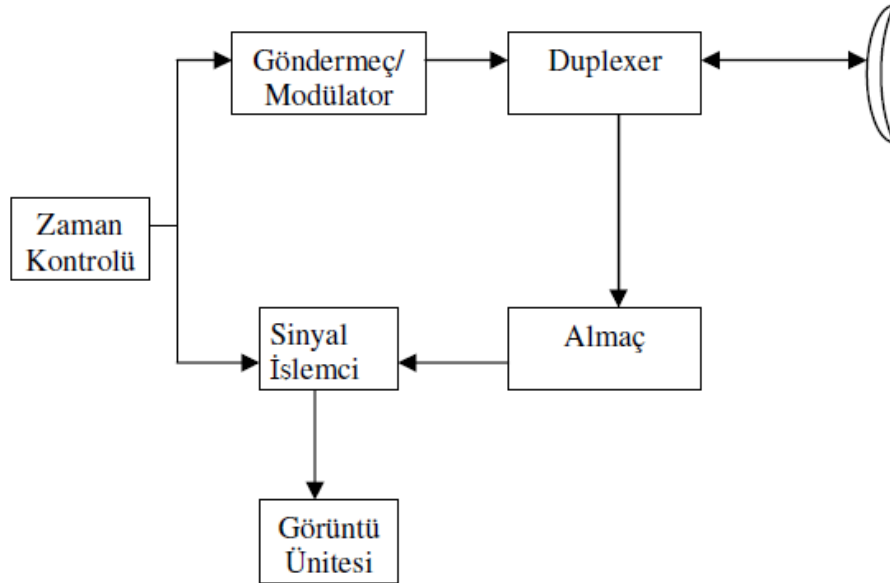
2.2.2 Radar Çalışma Prensipleri

Şekil 2.6 da olduğu gibi bir radar sisteminde temel olarak gönderme (transmitter), alma (receiver), senkronizasyon blokları (time control) ve sinyal işleme (signal processor) blokları bulunur. Şekil 2.6 da görülen duplexer birimi, radar sistemlerinde genelde tek bir anten kullanıldığı için alma ve gönderme sinyallerinin ayrılması için kullanılır.

Zaman kontrolü sayesinde alma ve gönderme hatlarında senkronizasyon sağlanır. Radar ile menzil ölçmek için darbenin gönderme zamanının bilinmesi esastır. Gönderilecek dalga biçimi modüle edilerek anten üzerinden ortama gönderilir. Anten göndermenin bitiminin ardından alma konumuna geçerek gelen sinyalleri sinyal işleme birimine gönderir. Bu birim, hedef tespiti ve takibi gibi işlevleri gerçekleştirdikten sonra operatörü ilgilendiren bilgileri ekrana gönderir.

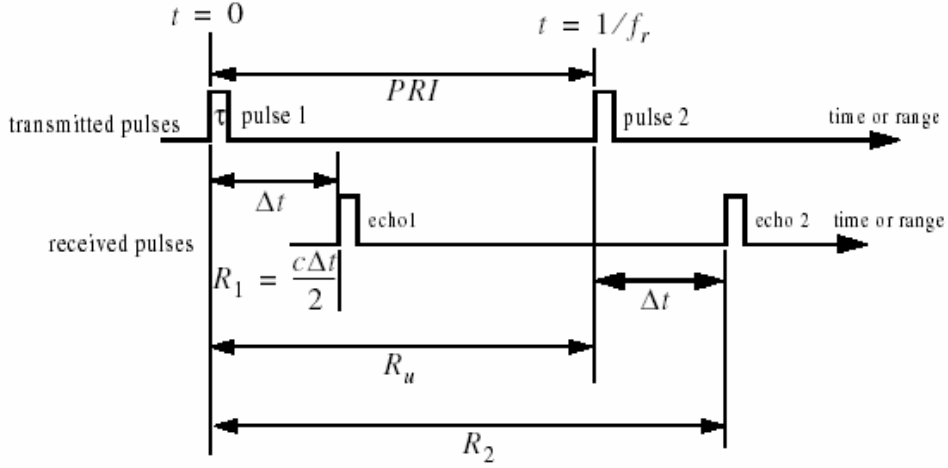
Tablo 2.1 : Frekans bandları

Radar	Frekans Bandları	Genel Kullanım Alanları
VHF	50-300 MHz	Uzun menzilli sahalar
UHF	300-1000 MHz	Uzun menzilli sahalar
L	1-2 GHz	Trafik kontrol
S	2-4 GHz	Tarfik kontrol
C	4-8 GHz	Hava tahmini
X	8-12 GHz	Kısa mesafe izleme, deniz trafik kontrol
Ku	12-18 GHz	Uydular
K	18-27 GHz	Askeri uygulamalar
Ka	27-40 GHz	Havalanı izleme istasyonu



Şekil 2.6: Temel radar blok şeması

2.2.3 Radarlarda Menzil Hesabı



Şekil 2.7: Radar menzil hesabı

Radarlarda, bir darbenin gönderilmesinden sonra hedefe çarpıp geri gelmesine kadar geçen süreden hedefin menzili hesaplanabilir. Şekil 2.7 de görüldüğü gibi $t=0$ anında darbe ortama gönderilir ve Δt süre sonra darbe hedefe çarpıp geri döner. Ortama gönderilen elektromanyetik dalganın ışık hızı ile yayıldığı bilindiğine göre hedefin menzili (2.19) nolu denklemdeki gibi hesaplanabilir.

$$R = \frac{c\Delta t}{2} \quad (2.19)$$

Bir darbeye ait ekolar, bir sonraki darbenin gönderilmesinden önce alınamazsa menzil belirsizliği oluşur. Belirsizlik yaratmayan en büyük menzil PRI değeriyle sınırlanır. PRI büyüdükçe belirsizlik yaratmayan en büyük menzil artar.

Doppler işleme yapan radarlarda hedefin belirsizlik olmayan tespit edilebilen radyal hızı da PRI ile sınırlıdır. Bu kez, ters bir ilişki söz konusudur. Menzil artırmak için Pulse Tekrar Aralığı (PRI) artırıldığında maksimum hedef hızı azalmaktadır. Bu durum uzak mesafelerde hızlı hedef tespitini güçleştirmektedir. Bu durumlarda farklı teknikler

uygulanmaktadır. Bunlardan birkaçı, Multi-PRF (çoklu darbe tekrarlama aralığı), PRF staggering (darbe tekrarlama aralığı basamaklama), PRF jitter (darbe tekrarlama aralığı seğirme) olarak sayılabilir.

2.2.4. Radar Menzil Denklemi

Radar menzil denklemi analizi birçok radar kitabında ayrıntılı olarak verilmiştir. Burada maksimum menzil hesabında kullanılan denklem verilecektir ve bileşenleri açıklanacaktır. Gönderme ve alma hatlarındaki kayıp, sinyal işlemedeki kayıp ve huzme şeklinden dolayı oluşan kayıplar daha etkin olduğu için bağıntı (2.20) da gösterilmiştir. Bağıntı (2.20) literatürde karşılaşılan denklemlerle kayıplar dışındaki parametrelere bakıldığında benzemektedir.

$$R_{\max} = \left(\frac{P_T \tau G_T G_R \lambda^2 \sigma n}{k T_s (4\pi)^3 L_T L_R L_P L_b S_{\min}} \right)^{1/4} \quad (2.20)$$

R_{\max} : Hedef tespiti yapılabilecek maksimum menzil

P_T : Göndermeç gücü

G_T : Gönderme anteni kazancı

G_R : Alma anteni kazancı

σ : Hedefin radar kesit alanı (RKA)

n : Evre uyumlu bütünleştirme yapılan darbe sayısı

τ : Darbe genişliği

λ : Dalga boyu

S_{\min} : Hedef tespiti için gerekli minimum SNR değeri

kT_s : Termal gürültü enerjisi

L_T : Gönderme hatlarındaki kayıp

L_R : Alma hatlarındaki kayıp

L_P : Sinyal işleme kayıpları

L_b : Huzme şeklinden kaynaklanan kayıp

2.2.5. Radar Görüntüleme

Radarlar görüntüleme, yol gösterme, uzaktan algılama ve küresel yer bildirme gibi birçok çeşitli uygulamalarda hem askeri hem de sivil amaçlar için kullanılmaktadırlar. İyapısal olarak, yansıtılan veya yayılan enerjiye bağımlılık anlamına gelen pasif olan optik ve kızılötesi algılayıcılara zıt olarak radarlar, kendi aydınlatmasını elektromanyetik dalgalar biçiminde sağlaması açısından aktif algılayıcıdırlar.

2.2.5.1. Gerçek Açıklıklı Radar (Real Aperture Radar (RAR)) Görüntülemesi

Radar görüntülerinin iki ana çeşidi, dairesel taramalı plan-yer göstergesi (PPI) görüntüleri ve yanal gözlemlen görüntülerdir. PPI uygulamaları hava ve deniz trafiği görüntüleme ile kısıtlıdırlar. Uzaktan algılama uygulamaları, gerçek açıklıklı radar (genellikle yanal radar gözleyen hava radarı için SLAR veya yanal gözleyen radar için SLR olarak adlandırılır) ve yapay açıklıklı radar (SAR) olarak ikiye ayrılan yanal gözlemlen görüntüleri kullanırlar.

SLAR görüntüleme sistemi, Şekil 2.8 de görüldüğü gibi, boylamasına ekseni uçuş yönüne paralel olacak şekilde, bir platform (uçak veya uydu) üzerine monte edilmiş bir uzun, düz anten kullanır. Anten, platform uçuş yönüne dik ve yeryüzüne aşağı yönlü elektromanyetik enerji darbeleri yayar. Menzile, uçağın uçuş yönüne dik olan yöndür ve menzile yönündeki çözünürlük, iletilen radar darbesinin frekans bant genişliği artırılarak iyileştirilebilir. Çapraz-menzile (azimut) ise uçağın uçuş yönüne paralel olan yöndür. Çapraz-menzile yönündeki radar ışının açısal yayılımı, λ iletilen ışının dalga boyu ve L radar anteninin çapraz-menzile yönündeki boyu olmak üzere;

$$\theta = \lambda / L \quad (2.21)$$

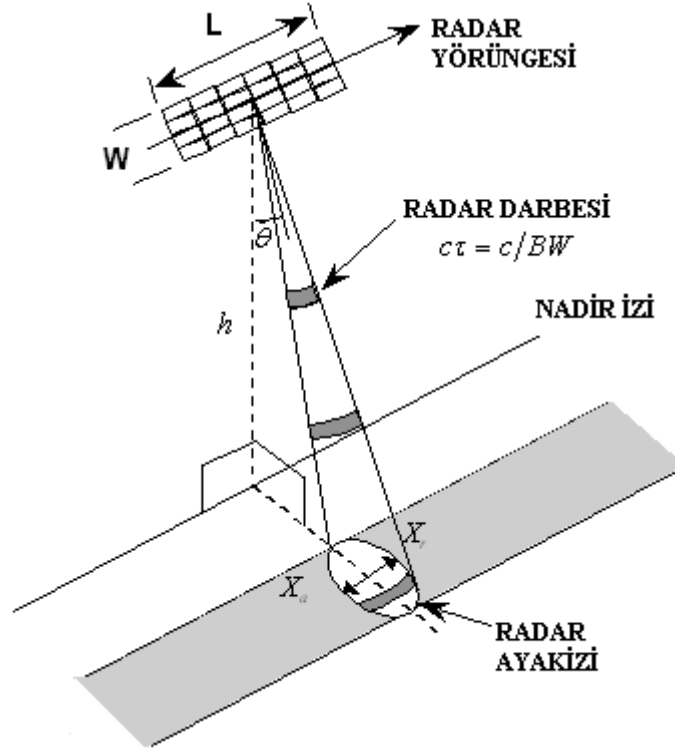
Bu açısal yayılım, açıklık boyu arttıkça azalır. C ışık hızı, BW iletilen dalganın bant genişliği, h radarın yere dik yüksekliği ve çapraz-menzile yönündeki açısal yayılım olmak üzere, menzile ve çapraz-menzile çözünürlükleri şu şekilde ifade edilir;

Menzile çözünürlüğü :

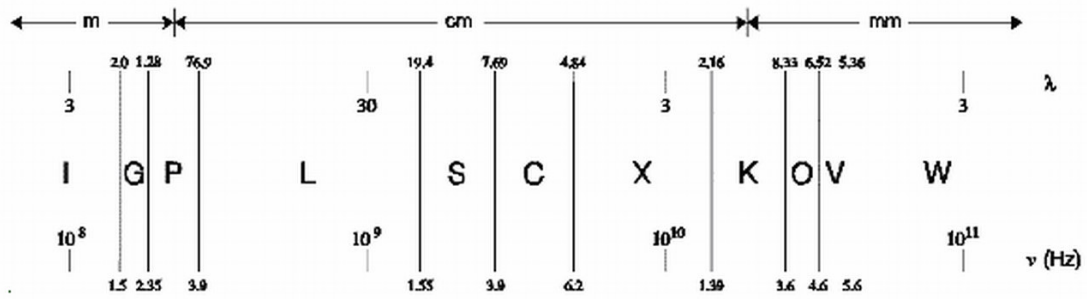
$$X_r = \frac{c\tau}{2\sin\theta} = \frac{c}{2BW\sin\theta} \quad (2.22)$$

Çapraz-menzil çözünürlüğü :

$$X_a = \frac{h\lambda}{L \cos \theta} \quad (2.23)$$



Şekil 2.8: SLAR görüntüleme geometrisi.



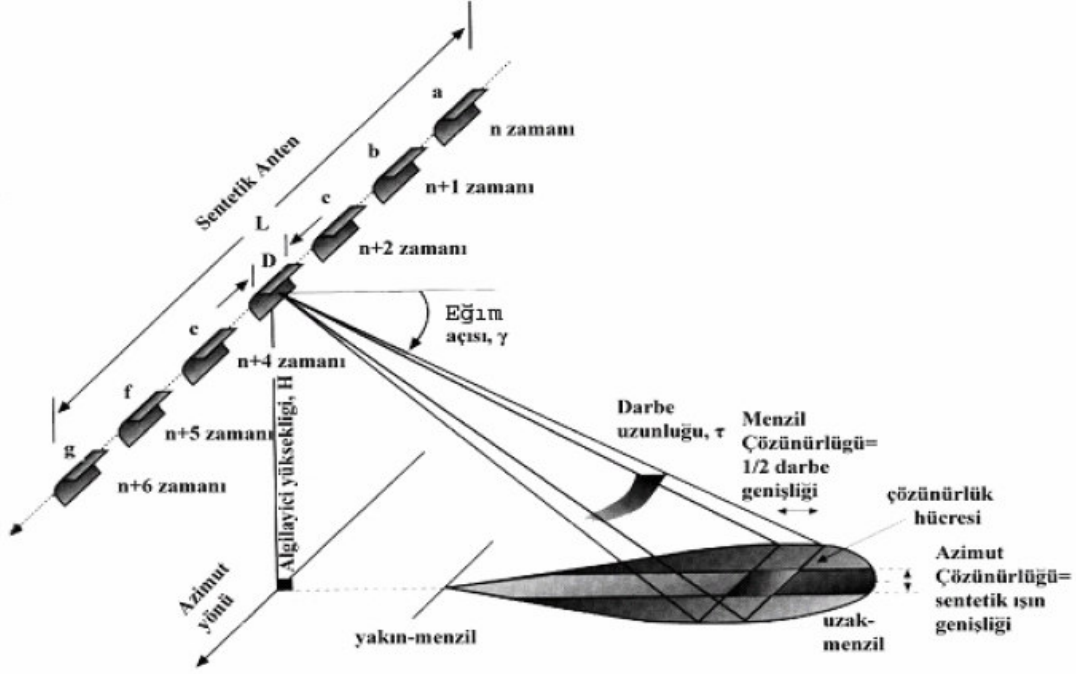
Şekil 2.9: Görüntüleme için uygun mikrodalga frekans bandları.

Mikrodalgaların atmosfer ve yer ile etkileşme biçiminden dolayı, yalnız birkaç frekans bandı görüntüleme için uygundur. Bunlar Şekil 2.9 da görülmektedir. Belirli bir f frekansı (veya λ dalga boyu) ve R eğim menzili ($h/\cos\theta$) için, çapraz-menzil çözünürlüğü tamamen L açıklık boyuna bağlıdır. Ancak uydunun veya hava tabanlı görüntüleme algılayıcının çalıştığı bantta (1-10 GHz bölgesinde) ve yükseklikte teknik zorluklar L/λ değerinin birkaç yüzden fazla değerlerinin elde edilmesini olanaksız kılar. Yani gerçek açıklık çapraz-menzil çözünürlüğünü kısıtlar.

Fakat, yapay açıklık teknolojisi kullanılarak yüksek çözünürlüklü radar görüntüleri elde edilebilir. İlk olarak 1951'de Carl Wiley, yana-bakan radarın çözünürlüğünü arttırmak için, yankı sinyalinin Doppler yayılımının çok daha büyük açıklığı sentezlemek için kullanılacağını farkına vardı [11].

2.2.5.2. Yapay (Sentetik) Açıklıklı Radar (SAR) Görüntüleme

Gerçek açıklıklı radar sisteminin neden olduğu çözünürlük problemi geliştirilen SAR (Synthetic Aperture Radar) sistemi ile çözülmüştür. Bu sistemde kısa bir anten, uzun bir antenin görevini görecek şekilde tasarlanarak yapay olarak uzatılmıştır. SAR sistemine göre gönderilen ışın demeti genişliği RAR sistemine göre daha dardır. Burada doppler prensibi temel alınmıştır. Doppler prensibine göre bir sese ait frekans, dinleyici ya da kaynağın birbirine göre bağıl olarak hareket halinde olması durumunda değişir. Örnek olarak yaklaşan bir trenin sesi, yaklaştıkça artan bir frekansa sahip olacaktır. Bu artış, sesin alıcıya ya da dinleyiciye en yakın olduğu noktada yani dik olduğu durumda maksimum olacaktır. Bu noktaya doppler sıfır noktası denir. Tren uzaklaştıkça trenin sesi frekans değerinin azalmasıyla azalacaktır. Bu prensip radar sistemini içeren mikrodalgalar ile birlikte tüm harmonik dalga hareketleri için uygulanabilir. Şekil 2.10 da görüldüğü üzere n zamandan $n+3$ zamana gidene kadar frekans artar ve $n+3$ zamanda maksimum değere ulaşır. Hedef nesne sabit alınır ve uydunun hareketinden faydalanarak doppler prensibi uygulanır. Hedef nesne birden fazla görüntülenir ve bunların ortalaması alınarak geri saçılım değerleri hesaplanır.



Şekil 2.10: SAR anten uzunluğu [12]

Doppler frekansı f_{dop} , anlık faz ϕ , anten hızı v_a , anten uzunluğu L , toplam doppler band genişliği B_{dop} , aydınlatma süresi T olmak üzere konumsal çözünürlük (bağıntı 2.28) aşağıdaki şekilde bulunur;

$$\phi = \phi_0 + 2 \frac{2\pi}{\lambda} (R^2 + v_a^2 t^2)^{1/2} \quad (2.24)$$

$$f_{\text{dop}} = -\frac{1}{2\pi} \frac{d\phi}{dt} \cong -2 \frac{v_a^2 t}{\lambda R} \quad (2.25)$$

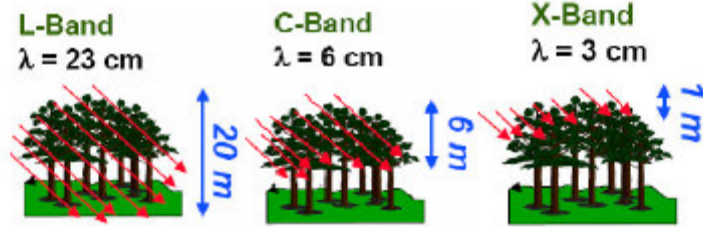
$$T \approx R \frac{\lambda}{L v_a} \quad (2.26)$$

$$B_{\text{dop}} = 2 \frac{v_a^2 T}{\lambda R} = 2 \frac{v_a}{L} \quad (2.27)$$

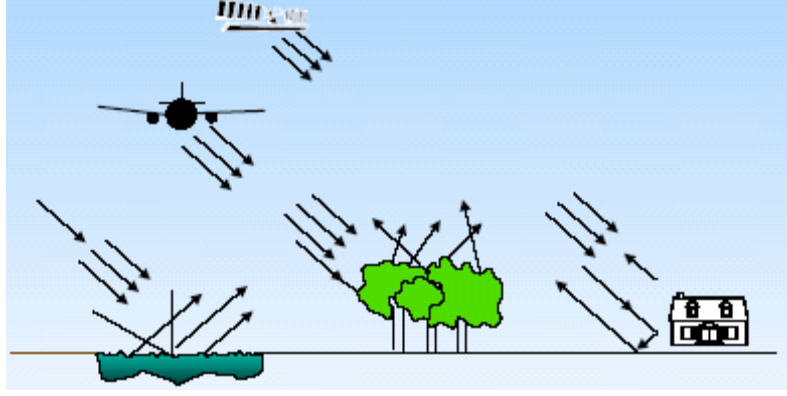
$$\frac{v_a}{B_{\text{dop}}} = \frac{L}{2} \quad (2.28)$$

Bağıntıya göre konumsal çözünürlük algılayıcı yüksekliğinden bağımsız olarak sadece anten boyuna bağlı olarak değişmektedir [13].

Radar bantlarının dalga boylarının farklı olması, dalga boylarının nesneyi geçme özelliğini (penetration) değiştirir. Uzun dalga boyuna sahip L bandı nesnelere geçerek yere kadar etki edebilir ancak kısa dalga boyuna sahip X bandı nesnelere geri döner (Şekil 2.11). Böylece farklı dalga boyuna ait bantlar farklı nesnelere ait bilgilerin üretilmesinde kullanılır. Radar görüntülerinde iki temel parlaklık değeri gözlemlenir. Ton çeşitliliği ve doku çeşitliliği. Ton bilgisi ayırt edilebilir, siyahtan beyaza kadar uzanan gri değerlerin bütünüdür. Geri saçılan enerjinin gücünü gösterir. Genel olarak yol, sulu alanlar gibi düz ve düze yakın nesnelere tam yansımaya neden olduğu için koyu tonlarda gözlenirken, ormanlık alan, dağ gibi pürüzlü yüzeyler dağınık yansımaya dolayı daha açık tonlarda gözlemlenir. Gemi, bina gibi nesnelere ise görüntülerde parlak tonlarda gözlemlenir. Ancak şehir alanlarında binaların yüzeyinden dolayı ve ormanlık alanlarda da ağaçların gövdesinden dolayı oluşan köşe saçılmaları çift yansımaya neden olurlar.



Şekil 2.11: Dalga boylarının nesne üzerine etkisi [13]



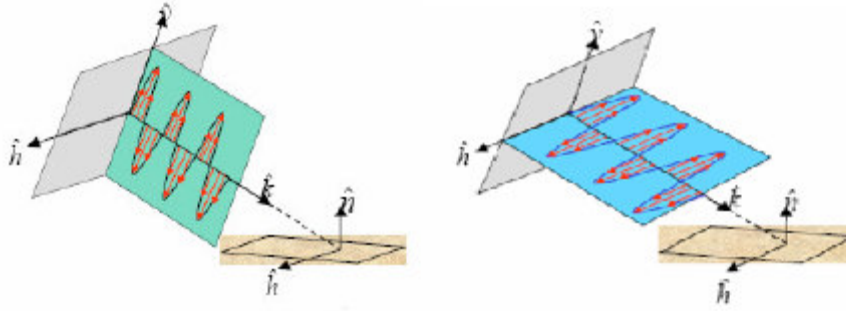
Şekil 2.12: Yüzeyin saçılma etkisi

2.2.5.3.Polarizasyon

SAR görüntülerinden bilgi üretilmesini sağlayan diğer bir faktör polarizasyondur. Elektromanyetik enerjinin vuruşu anten tarafından dikey polarizasyonlu ya da düşey polarizasyonlu olarak iletilir. Polarizasyon, elektro manyetik dalganın aldığı yol boyunca yaptığı salınım hareketidir. Düşey bir polarizasyon dalga aşağı yukarı salınım şeklinde ileri doğru hareket eder. Bir vuruş algılayıcıdan gönderildiğinde, anten tasarımına göre elektrik alan vektörü dalgayı düşey (V) ya da yatay (H) olarak titretir (Şekil 2.13).

Polarizasyon, antenin dalgayı gönderiş ve alış şekline göre ayarlanabilir. Çoğunlukla gönderilen vuruşlar paralel-polarizasyon şeklindedir. Elektrik alan titreşimi, gönderildiği gibi alınır, bu durumda düşey-düşey (HH) ya da yatay-yatay (VV) polarizasyon elde edilir. Diğer bir anten konumu olan çapraz-polarizasyonda dalganın gönderildiği ve alındığı durumları farklıdır, VH ya da HV konumundadırlar. Buna göre elektro- manyetik dalganın gönderim ve alım türüne göre dörde ayrılır;

- 1- Tek Polarizasyon: VV, HH
- 2- Tek çapraz Polarizasyon: HV, VH
- 3- Çift Polarizasyon: VV/HH, HH/VV, HH/HV, VV/VH
- 4- Tam Polarizasyon: HH+HV+VH+VV



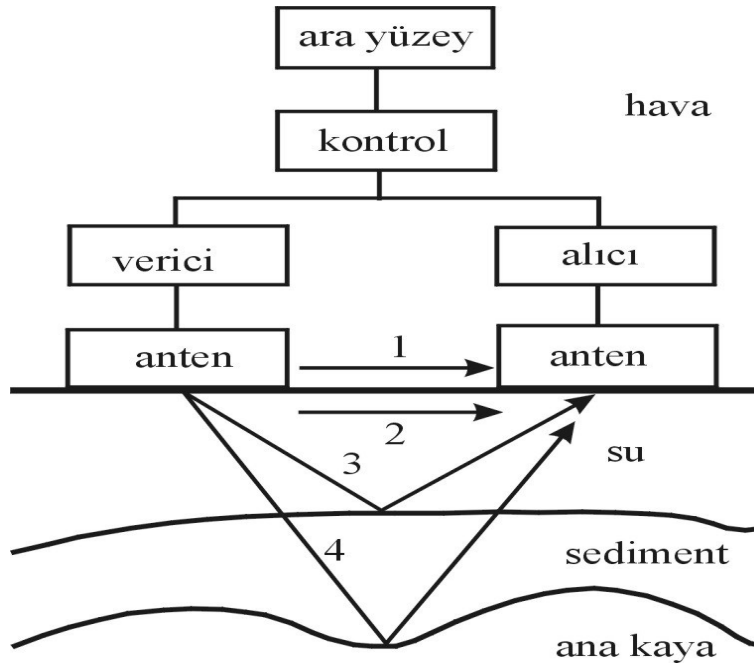
Şekil 2.13: Düşey (vertical) ve yatay (horizontal) polarizasyon

Bir EM dalga, değişen bir ortama geçtiğinde ya da bir nesneden geri saçıldığında, yansıtıcının şekli ve yönü ile ilgili karakteristik bilgiler elde edilir. Polarimetri hedef yakalama parametrelerine pek çok yeni tanımlayıcı bilgi üretir. Mikrodalgaların nesneden olan yansıma özelliği nesnenin geometrik yapısının ve polarizasyonun birbiriyle olan ilişkisine bağlıdır. Bazı özellikler her iki paralel ya da çapraz polarizasyonlu görüntülerde aynı görünür. Ancak örneğin bitki örtüsü gibi yaprak, çalılık, ve bitki gövdesinden gelen çoklu geri saçılım değerleri HV ya da VH durumunda farklı parlaklıkta görüntüler oluştururlar. Bu nedenle hedef nesne ile nesnenin dışındaki ayrıntıları ayırt edebilmek için doğru polarizasyon kombinasyonu seçilmelidir. Araziye ekilen ürün türünün ve arazi kullanım sınıflandırma sonuçlarının artırılması ve biyofiziksel, jeofiziksel parametrelerin (ormanın biyokütlesi) doğruluğunun belirlenmesinde kullanılan polarizasyon tekniğine ayrıca PolSAR da denilmektedir [14].

2.2.6. Yere Nüfuz Eden Radar

Yer Radarı, yüzeysel yeraltı özelliklerinin yüksek ayırım duyarlılığı için kullanılan bir jeofizik yöntemdir [15]. Yere Nüfuz Eden Radar (YNR), yer yüzeyinin veya daha genel bir ifade ile yüzey altındaki nesnelerin ve katmanların elektromanyetik teknikler kullanarak algılanmasını ve konumlandırılmasını sağlayan bir uzaktan algılama teknolojisidir. YNR, mayın ve patlamamış askeri mühimmat gibi çok sığ hedeflerin algılanmasından, buzulların derinlik çıkarımı gibi daha derin algılama problemlerine kadar çok geniş alanda yüzey altı algılama problemlerinde kullanılmaktadır [16, 17].

Günümüzde GPR algılayıcılar genel olarak jeofizik uygulamalarda kullanılmaktadırlar ve merkez frekansları 1 GHz'in altındadır. Merkez frekansı ve GPR darbesinin band genişliğinin seçimi GPR sistem tasarımında anahtar parametrelerdir. Küçük boyutlu cisimleri belirlemek için daha iyi çözünürlüğe yani yüksek frekanslara ihtiyaç duyulurken, frekans arttıkça topraktaki zayıflama da artacağı için daha derinlere gömülü cisimleri tespit etmek için daha düşük frekanslar tercih edilir. Geniş bantlı GPR'lar, iyi bir çözünürlük için gereken hem düşük hem de yüksek frekanstaki sinyalleri içerdiği için önemli bir üstünlük sağlarlar ve mayın tespiti gibi uygulamalarda tercih edilirler. Gömülü küçük cisimlerin tespiti ve teşhisinde GPR darbe sinyalinin toprak içerisinde bozulmadan yayılmasını sağlayan çok geniş frekans bantlı (Ultra Wide Band:UWB) antenin yeteneği oldukça önem kazanmaktadır. GPR antenleri toprağa etkin şekilde enerji yayabilmek için yere yakın çalıştırılırlar.



Şekil 2.14: GPR'ın blok diyagramı: 1) Hava Dalgası, 2) Direkt yer dalgası, 3 ve 4) Yansımalar [18].

2.2.6.1 Yer Radarının Çalışmasına Etki eden Faktörler

Yer Radarı araştırmalarında en önemli iki faktör olan zemin iletkenliği ve dielektrik sabit, yüzeysel özelliklerin bulunmasını etkilemektedir [19]. Bu iki parametre sudan önemli bir şekilde etkilenmektedir, bundan dolayı su GPR'ın çalışma performansı üzerinde büyük etkiye sahiptir [15].

Yüksek iletkenlik radar çalışmalarını sınırlayan en önemli faktörlerden biridir. Yüksek iletkenli zemin (yüksek kil içerikli zemin) düşük iletkenli zeminden (kuru kum) daha fazla enerji soğurur [15]. Yüksek iletkenli ortamlar, iletilen sinyalin soğurulmasına ve derinliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yer radarı çalışmalarında çalışılan ortamın iletkenliğinin düşük olması istenir. Zemin dokusu, zemin yoğunluğu, zemin hacimsel su içeriği ve zemin tuz miktarı içindeki değişiklikler GPR sinyallerini etkilemektedir [20].

Ortamın dielektrik sabiti elektromanyetik dalganın yayılma hızını belirlemektedir. Yayılma hızı ile dielektrik sabit arasında ters orantı vardır. Yeraltına gönderilen elektromagnetik dalgaların hızı, ani bir dielektrik sabit düşmesi sonucunda artmaktadır. Bu ortam değişikliği sınırı bir yansıma yüzeyi oluşturduğundan ilerleyen dalganın bir kısmı geri dönmekte ve alıcı antene ulaşmaktadır. Dielektrik sabitin arttığı ortamlarda (Kil gibi su içeriğinin yüksek olduğu ortamlar), dalga hızı azalmakta ve enerji kaybına uğramaktadır. Bu nedenle bu tür ortamlarda GPR ile çalışmak oldukça zordur [21]. Su sahip olduğu yüksek polarizetibilite nedeniyle en yüksek dielektrik sabite sahiptir. Bu nedenle elektromagnetik dalgaların bu direnç karşısında ilerlemesi oldukça zordur.

2.3. İSTENMEYEN YANKI (CLUTTER) SİNYALLERİ

Parazit yansıma sinyalleri (clutter), algılanması istenilmeyen ama radar ekranında algılanıp görüntülenen ve aynı zamanda gerçek hedeflerin algılanma olasılığını azaltan sinyaller demektir.

Görüntülerdeki nesnelere iki kategoride sınıflandırılabilir. Birinci kategori hedeflerdir. Bu kategori askeri Otomatik Hedef Algılama ve Tanıma (OHA/T) sistemlerinin tanınması gereken nesnelere içerir. Hedef olarak nitelenmeyen bütün şeyler istenmeyen yankı (clutter) olarak bilinen ikinci kategoriye girer. İki çeşit istenmeyen yankı vardır; doğal olarak var olan ve insan-yapımı istenmeyen yankılar. Doğal olarak var olan istenmeyen yankılar; ağaçlar, göller, kuşlar, çim, çalı, deniz gibi şeyleri içerir. İnsan-yapımı istenmeyen yankılar; binaları, araçları, köprüleri içerir. İstenmeyen yankılar OHA/T sistemini güçleştirir. Çünkü istenmeyen yankılar bazen hedeften daha güçlü yansıma yapabildiklerinden, hedefler kısmi veya tamamen istenmeyen yankılar ile gizlenebilir.

Evler, ağaçlar, yer yükselteleri ve benzerleri gibi sabit hedeflerden kaynaklanan yankılar yerden parazit yansımaları olarak anılırlar. Ağaçların rüzgarda sallanmaları sonucunda radara dönen sinyalde Doppler kaymasına sebep olur. Doppler kayma yöntemi radar sisteminde istenilmeyen sinyallerin temizlenmesinde kullanılan çok önemli bir araçtır.

Denizde oluşan dalgalardan kaynaklanan yankılara da denizden parazit yansımaları (sea clutter) denilir. Rüzgarın yarattığı bu dalgalar aynı zamanda bir Doppler frekans içeriğine de sahiptir ve bu yüzden bastırılmaları gerçekten zordur.

Hava parazit yansımaları (weather clutter) arasında buluttan, yağmurdan, kardan yada sisten parazit yansımalarını sayabiliriz. Bunlar sanki bir hedefmiş gibi algılanır ve ekranda görüntülenir.

Kuşlar, rüzgar türbinleri ve bireysel uzun binalar tipik noktasal parazit yansıma kaynaklarıdır. Hareket eden hedefler arasında hayalet parazit yansımaları (angel clutter) sayabiliriz. Bazen kuşlar ve böcekler parazit yansımalar üretirler, bunları bir uçaktan ayırt etmek çok zor olabilir.

Parazit yansımalar dalgalanan yada dalgalanmayan tip olabilir. Yerden parazit yansımalar dalgalanmayan tiptir, çünkü buradaki hedefler sabittir. Ama hava parazit yansımaları rüzgarın etkisi ile hareket ederler ve bunlar dalgalanan tip parazit yansımalarıdır.

Parazit yansımalar, eğer dönüşlerin hepsi bir örnek ise tektürel (homojen) olarak adlandırılır. Çoğu yerden ve havadan yansıma parazitleri bu bağlamda çözümlenir.

2.3.1. SAR Görüntülemenin Otomatik Hedef Algılama ve Tanıma (OHA/T) Kullanımı

Yüksek çözünürlüklü yapay açıklıklı radar (SAR) sistemleri, askeri gözetim görevlerinde önemli bir rol üstlenirler. Ancak, bu tür sistemlerin sağlayabildiği artan hacimde görüntü verisi ile, görüntü yorumlanması için yalnız insan operatörleri kullanmak pratik değildir. Bu yüzden otomatik algoritmalar gerekir. Özel bir öneme sahip bir uygulama ise hedeflerin algılanması, ayırt edilmesi, sınıflandırılması ve tanınmasıdır. Bu problemin bütün yönleri otomatik hedef algılama ve tanıma (OHA/T) alanına girer.

Genel olarak SAR Otomatik Hedef Tanıma (OHA/T) sistemleri Şekil 2.15 de görüldüğü gibi 5 aşamadan oluşur. Bunlar algılama, ayırmama, sınıflandırma, tanıma ve belirlemedir.



Şekil 2.15: Otomatik Hedef Algılama/Tanıma (OHA/T) işlem akış diyagramı.

İlk adım, SAR görüntüsünde hedef belirteçlerinin varlığını belirleyen ve hedefleri güvenilir biçimde istenmeyen yankılardan ayırtan, algılama problemidir. Bu aşamada, arkaplandan ayrıştırılabilen hedef belirteçleri özniteliklerinin belirlenmesi ve analizi yapılır. Algılama aşamasından sonra, herhangi bir gerçek hayat SAR görüntüsünde “Yanlış Alarm Olasılığı” (P_{FA}) kabul edilemeyecek düzeyde büyüktür. Bu yüzden hedef sınıflandırmadan önce “Yanlış Alarm Olasılığını” (P_{FA}) azaltmak için hedef ayırmsama yapılmalıdır. Hedef ayırmsama, ikili örüntü sınıflandırma, yani “hedef var” veya “hedef yok”, olarak düşünülebilir. Bu aşamada hedefler insan-yapımı veya doğal istenmeyen yankılardan ayrıştırılır. Hedef sınıflandırma aşamasında, hedefin bazı askeri-olmayan önemli hedefe zıt olarak tank veya zırhlı personel taşıyıcı gibi genel bir sınıfa ait olup olmadığı belirlenmek istenir. Hedef tanıma aşamasında da sınıf içerisinde hedefleri çeşitlerine göre tanıma yapılır. Hedef tanıma mesela, askeri tanklar olarak belirlenen hedefler sınıfından bir BMP-2 tankını otomatik olarak tanımak olarak tanımlanır. En son aşama olan hedef belirleme, hedefi tam doğrulukla ve bütün özellikleriyle belirleme anlamına gelir.

2.3.2. Algılama Stratejileri

Yüksek-çözünürlüklü SAR görüntülerindeki güçlü geri saçılım, genellikle metal nesnelerin (araçlar, demiryolları vb.), insan-yapımı yapılar (binalar, köprüler vb.) veya pürüzlü doğal yüzeyler (okyanus dalgalanmaları vb.) göstergesidir. Bunlardan, askeri araçlar ve yapılar OHA/T perspektifinden hedefleri oluştururlar. Bu bölümde hedef algılama ve hedef öznitelikleri ile etkileşime giren istenmeyen yankıları giderme stratejileri incelenecektir.

2.3.2.1. Global Eşikleme Algoritmaları

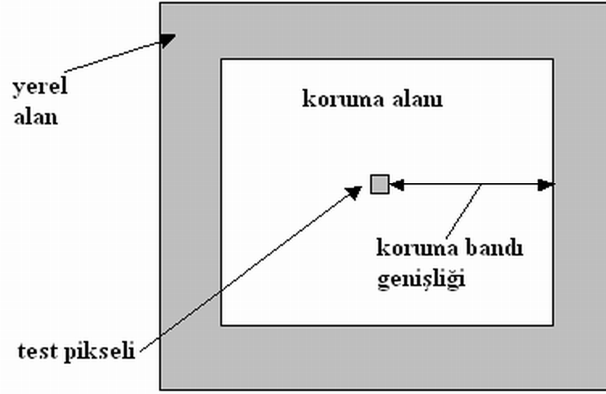
Eğer sinyal şiddet değişkenliğine katkıda bulunan tek faktör, ısı (termal) gürültü ise, istenmeyen yankıları gidermede ve parlak pikselleri algılamada geleneksel yöntem, global bir eşik belirlemek ve bunu SAR görüntüsüne direkt olarak uygulamaktır [4, 22]. Ancak bu yaklaşım hedef sinyalinin istenmeyen yankı sinyaline oranının (SCR), hedef görüntüsünden çok az özellik gidecek şekilde büyük olduğu varsayımına dayanır. Bu

varsayım doğru olmadığında ya hedef özellik kaybı ya da büyük istenmeyen yankı sinyalleri oluşur.

2.3.2.2. Adaptif Eşikleme Algoritmaları

Eğer hedef belirteci, bilinen bir dağılımlı rasgele değişken olarak varsayılırsa, hem kaçırılan algılamaları, hem de yanlış alarmları minimize etmek için bir algılayıcı tasarlanabilir. Çok çeşitli hedefler olduğundan ve bunların SAR belirteçlerinin yönlerine bağlı duyarlılığından bu pek pratik değildir. Bunun yanı sıra, pratikte bir hedefin belirtecinin yetersiz örnekleri, dağılımının parametrelerinin makul kestirimini elde etmede zorluk çıkarır. Hedef geri saçılım istatistikleri hakkında, hedef piksellerinin istenmeyen yankı piksellerinden daha parlak olduğu dışında hiçbir şey bilinmiyorsa, algılayıcının istenilen özelliklerinden birinin sabit yanlış alarm olasılığını temin etmesidir. Bu homojen SAR istenmeyen yankıların uygun bir istatistiksel model ile ifade edilebileceği olgusu ile sağlanır. İstenmeyen yankı istatistiksel modelinin seçimi, radar fenomenolojisi, gözlenen verilere deneysel uyumlar veya her ikisi ile belirlenir.

Adaptif eşikleme algoritmaları, radar görüntülerinde hedef algılama için en yaygın algoritmalarıdır. Adaptif eşikleme algoritmaları, çevreleyen bölgedekilere göre farklı parlak olan piksel değerlerini aramak için tasarlanırlar. Bu, çevreleyen bölgenin istatistiğine bağlı (bu yüzden adaptif terimi) eşik ayarlayarak yapılır. Eşikten yüksek değerlerde olan piksel değerleri, hedef örneklerine benzer biçimde belirlenirler. Çevreleyen bölgenin istatistikleri genellikle, test altındaki piksel etrafında görüntü örnekleri halkası alınarak analiz edilirler. En basit kurgu Şekil 2.16 da görüldüğü gibidir. Burada, test altındaki piksel, bir koruma “halkası” ve sonra da arkaplan “halkası” ile çevrelenmiştir. Koruma halkasının amacı, arkaplan halkası içinde genişletilmiş hedef piksellerinin olmamasını temin etmek ve böylece arkaplan halkasının temeldeki arkaplan istatistiklerinin göstergesi olmasını sağlamaktır. Bütün pencereler, bütün görüntü boyunca bir anda bir piksel kayarlar. Tabi ki bu basit kurgunun çok çeşitleri de mümkündür. Eşik ve arka plan istatistikleri arasındaki tam bağıntı, hangi adaptif eşikleme algoritmasının incelendiğine bağlıdır.



Şekil 2.16: Adaptif eşikleme algılayıcısı için tipik pencere kurgusu.

Adaptif eşikleme algılayıcıları tasarımında doğal bir amaç, yanlış alarm olasılığının (P_{FA}) sabit olmasını temin etmektir. Bu durumda, eşik, eşğin üstünde yer alan arkaplan piksel değerlerinin yüzdesi sabit olacak şekilde seçilir. Eğer bu yapılırsa, o zaman yanlış alarm oranı (görüntüdeki birim alan başına yanlış alarmların sayısı) aynı şekilde sabit olacaktır. Bu nedenle bu tür algılayıcılar sabit yanlış alarm oranlı (CFAR) algılayıcılar olarak adlandırılırlar. CFAR algılamanın bir yolu, direkt arkaplan değerlerinin histogramı ile çalışmak ve bunun kuyruk kısmında uygun noktada eşik ayarlamaktır. Ancak, istenilen yanlış alarm oranları genellikle çok düşüktür ve eşği tam doğru olarak kestirmek için çok fazla arkaplan örnekleri ve ağır hesaplama yükü gerekir. Bu yüzden, arkaplan dağılımını parametrik olarak modellemek ve model parametrelerini kestirmek için arka plan örneklerini kullanmak daha makuldür.

Arka plan için parametrik dağılım modeli seçmek, x olası piksel değerleri sınırlarına sahip olmakla, bağlı parametrik olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x)$ 'i belirtmeğe denktir. $f(x)$ seçildikten ve parametreleri arkaplan örneklerinden kestirildikten sonra, T eşği için yanlış alarm olasılığı (P_{FA}) şu şekilde verilir :

$$P_{FA} = 1 - \int_{-\infty}^{\gamma} f(x) dx = \int_{\gamma}^{\infty} f(x) dx \quad (2.29)$$

Böylece, CFAR algılayıcı tasarlamak, belirtilen P_{FA} ve $f(x)$ pdf'si kestirilen parametreleri cinsinden (2.29) denklemini T eşiği için çözmektir. Bu problemin analitik çözümü her zaman olmayabilir ve sayısal yöntemler gerekebilir. CFAR algılayıcısı, x_t test altındaki piksel olarak;

$$x_t > T \Leftrightarrow \text{hedef} \quad (2.30)$$

formunda olduğundan ve kümülatif dağılım fonksiyonu artan olduğundan eşdeğer algılama testi şu biçimdedir;

$$\int_{x_t}^{\infty} f(x)dx < P_{FA} \Leftrightarrow \text{hedef} \quad (2.31)$$

Her iki yaklaşımda da $\int_{x_t}^{\infty} f(x)dx$ veya eşdeğer olarak $\int_{-\infty}^{x_t} f(x)dx$ integrali yalnız sayısal olarak hesaplanmayı gerektirir.

Genel olarak kullanılan istatistiksel model Gauss dağılımıdır. Bu genellikle uygulanabilir; çünkü, merkezi limit teoremi çok fazla sayıdaki özdeş olarak dağılmış rasgele değişkenlerin ortalamasının Gauss dağılımına sahip olacağını belirtir. Gauss modeline dayalı CFAR algılayıcısı tasarımı;

$$x_t > \mu_b + \sigma_b t \Leftrightarrow \text{hedef} \quad (2.32)$$

formundaki algılayıcıyı oluşturur. Burada x_t test altındaki piksel, μ_b arkaplan ortalaması, σ_b arkaplan standart sapması ve t , yanlış alarm olasılığı P_{FA} 'yı (veya eşdeğer olarak yanlış alarm oranını) kontrol eden algılayıcı tasarım parametresidir. Pratikte, t sabittir ve μ_b ve σ_b arkaplan halkasındaki örneklerden kestirilir. Novak [23] bu testi SAR için uygulamış ve iki parametrelili CFAR algılayıcı olarak adlandırmıştır. İstenilen P_{FA} değeri verildiğinde, buna karşılık gelen algılayıcı tasarım parametresi t , (2.29) dan sayısal olarak çözümlenmelidir. Goldstein [24], (2.32) deki testin, Log-normal ve Weibull dağılımlı istenmeyen yankılar için de CFAR algılayıcı oluşturduğunu göstermiştir.

Gauss dağılımı genel olarak kullanılmasına rağmen, radar görüntüleme için doğru model değildir. Radar şiddet görüntüsü için daha uygun modeller (bunlar da yine mükemmel değildirler), tek-bakışlı görüntü için negatif üstel, ve çoklu-bakışlı görüntü için gamma dağılımlarıdır. Bu dağılımlar için CFAR algılayıcılar tasarımı, hücre ortalamalı CFAR (CA-CFAR) algılayıcısını oluşturur. Bu durumda algılayıcı;

$$x_t > \mu_b t \Leftrightarrow \text{hedef} \quad (2.33)$$

Referans istenmeyen yankı piksellerinden adaptif eşiği elde etmedeki değişik metotlar, farklı CFAR algılayıcılarını oluşturur. Finn ve Johnson [25], hücre ortalamalı CFAR (CA-CFAR) algılayıcıyı anlatarak CFAR tekniğini ilk uygulayanlardır. CA-CFAR algılayıcıda, referans penceredeki tüm pikseller, ortalama istenmeyen yankı gücünü hesaplamada kullanılırlar ve bu da daha sonra adaptif eşiği hesaplamada kullanılır. Yalnız test altındaki pikselin hedef aday olduğu, referans piksellerinin de saf istenmeyen yankılar olduğu varsayılır. Bu varsayım altında CA-CFAR işlemcisi, referans piksel sayısı sonsuza yaklaştıkça performansı Neyman-Pearson algılayıcısının performansına yaklaşarak optimaldir. İki veya daha fazla istenmeyen yankı çeşidi referans penceresi içinde yer alırsa veya referans penceresi içinde ek hedef pikselleri bulunursa performans yarı-optimal olur. Birinci durum, test altındaki piksel daha yüksek ortalama güçlü istenmeyen yankı bölgesinde yer aldığı anda, istenilen yanlış alarmlar değerinde artmaya yol açar. Sonraki durum ise, etkileşen hedef piksellerini içererek hesaplanan doğal olmayan yüksek eşik değerinden dolayı kaçırılan algılamalara yol açar.

Etkileşen hedefler olduğunda daha sağlam CFAR algılayıcılar sınıfı, referans penceresindeki yankıları sıra-listelemeye ve eşik değerini hesaplamadan önce bazılarını ihmal etmeye dayanır [26].

2.3.3. Hedef Takibi Algoritmaları

Hedef takip, ölçümlerin izlere ilişkilendirilmesi ve takip filtresinden oluşmaktadır. Takip filtresi, ilişkilendirilmiş ölçümü kullanarak mevcut zaman için kestirim yapar. Bu filtrelerde tipik olarak kinematik (konum, hız, ivme, vs) ve öznitelik (radar kesit alanı, vs) bileşenleri yer alır. Veri ilişkilendirme, ölçümlerin var olan izlerle ilişkilendirilmesi veya

bu ölçümlerden yeni izler başlatılmasıdır. Çoklu hedef takibinde en önemli problem, sahte hedef, parazit yankı, birbirine karışan hedefler ve elektronik tedbirler kaynaklı ölçümlerin izlerle ilişkilendirilmesidir.

Hedef takip algoritmaları:

- Alfa-beta takip algoritması
- Kalman takip algoritması
- IMM takip algoritması
- PDAF takip algoritması
- IMMPDAF takip algoritması

2.3.4. İstenmeyen Yankıların Modellenmesi ve Giderilmesi İle İlgili Çalışmalar

Literatürde istenmeyen yankıların modellenmesi ve SAR görüntülerinden giderilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde yapılan bu çalışmalar gözden geçirilecektir.

2.3.4.1. Direkt Eşikleme

İstenmeyen yankıları gidermede en basit teknik, belirli bir piksel değerinin üstündeki değerleri hedef olarak kabul eden direkt eşikleme metodudur [4, 27]. En ilkel olan bu metot diğer metotlara referans teşkil eder. Bu yaklaşım, Lin ve diğerleri [22] tarafından SAR görüntülerinde gemi algılanması için kullanılmıştır.

2.3.4.2. Olasılık Yoğunluk Çarpıklığı Kullanımı

Bu metot istenmeyen yankı sinyalleri ile hedef sinyalleri arasındaki ayırt edici bir istatistiksel farklılığı kullanmaya dayanır. Fogler [28], SAR görüntülerinde istenmeyen yankıların giderilmesi için, istenmeyen yankı yer sinyallerinin olasılık yoğunluk fonksiyonundaki asimetriden faydalanan bir teknik kullanmıştır. Log-genlik bölgesinde, doğal yer istenmeyen yankıların ve insan-yapımı nesnelere kaynaklanan yankıların olasılık yoğunluklarının zıt çarpıklık göstermesinden faydalanarak istenmeyen yankılar giderilmiştir.

Birçok istatistiksel analizlerde önemli bir görev, veri kümesinin yerini (ortalama, ortanca) ve değişkenliğini (değişinti, standart sapma, vb.) karakterize etmektir. Verinin daha ileri karakterize edilmesi çarpıklığı ve savrukluğu içerir. Çarpıklık simetrisinin veya daha doğru olarak simetri eksikliğinin bir ölçüsüdür.

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının (pdf) çarpıklığını belirlemek için birçok ölçümler vardır. Bunlar, çarpıklık katsayısı, momentsel çarpıklık katsayısı ve Pearson'un çarpıklığın birinci ve ikinci katsayılarını içerir. Çarpıklık katsayısı, örneğin ortalama etrafındaki ikinci ve üçüncü momentlerinden şu şekilde hesaplanır;

$$\alpha_3 = \frac{m_3}{(m_2)^{3/2}} \quad (2.34)$$

burada m_r örneğin ortalama etrafındaki r 'inci momentidir ve şu şekilde kestirilir;

$$m_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^r \quad (2.35)$$

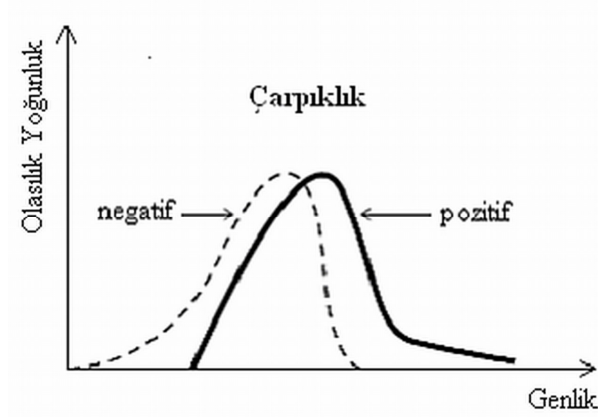
Momentsel çarpıklık katsayısı, çarpıklık katsayısının yarısına eşittir. Pearson'un çarpıklığın ikinci katsayısı şu formdadır;

$$s_{k_2} = \frac{3(\bar{X} - M_d)}{\bar{\sigma}} \quad (2.36)$$

burada $\bar{\sigma}$ örnek ortalaması \bar{X} etrafındaki standart sapma ve M_d de örneğin ortanca değeridir. Pearson'un birinci katsayısı s_{k_1} ortanca yerine mod kullanır. Bazı yerlerde, çarpıklık katsayıları, Denklem (2.34) ve (2.36) nın kareleri olarak tanımlanır. İstenmeyen yankı giderilmesinde, uygun ölçeklendirme ile bu çarpıklık ölçülerinin herhangi biri kullanılabilir.

Normal dağılımının çarpıklığı sıfırdır ve herhangi bir simetrik veri sıfıra yakın çarpıklığa sahip olmalıdır. Çarpıklık için negatif değerler, verinin sola çarpıklığını, pozitif değerler verinin sağa çarpıklığını belirtir. Sola çarpıklık, sol kuyruğun sağ kuyruğa göre daha uzun

olduğu anlamına gelir. Benzer şekilde, sağa çarpıklık, sağ kuyruğun sol kuyruktan daha uzun olduğu anlamına gelir. Şekil 2.17’de çarpıklığı Normal dağılımdan farklı olan bir dağılım görölmektedir.



Şekil 2.17: Dağılım : Üçüncü momenti (çarpıklık), Normal (Gaussian) dağılımdan oldukça farklı olan bir dağılım.

Log-genlik düzleminde, SAR görüntülerinde doğal istenmeyen yankı bölgeleri için negatif çarpıklık değerlerinin, binalar ve benzetim yapılan yer araçlar için pozitif çarpıklık değerlerinin gözlenmesi, bu istenmeyen yankıları giderme metodunun temelini oluşturur.

2.3.4.3. Adaptif Dalgacık Paket Dönüşümü (AWPT) Kullanımı

Son yıllarda sinyal işleme alanında oldukça popüler olan dalgacık analizi, hedeflerin istenmeyen yankı görüntülerinden algılanması için de uygulanmışlardır [29, 30]. Bu metodun temelinde, istenmeyen yankıların hedef sinyallerinden önemli bir ayırt edici özelliği olan, istenmeyen yankıların ilintisiz (veya zayıf ilintili) olma özelliği yatar. Diğer yandan hedef sinyalleri kendisine ilintilidir. Dalgacık paket temellerini kullanarak, hedef öznelikleri daha etkin gösterilir ve dalgacık düzleminde, daha yüksek sinyalin istenmeyen yankı sinyaline oranı (SCR) elde edilir. Böylece, istenmeyen yankılar orijinal SAR düzlemindekine oranla dönüşüm düzleminde, hedef özelliklerinden daha iyi ayrıştırılırlar.

2.3.4.4 Sinyal gösteriminde dalgacık paket temelleri

Dalgacık paket temelleri geleneksel dalgacık temellerinin genelleştirilmiştir. Geleneksel dalgacık temellerinin çoklu çözünürlük özelliğini korurken, ayrışımındaki katı sabit-Q yapısını gerçekleştirmez. Teorik olarak, düzenli darbe temellerini, FFT temellerini, kısacası Fourier dönüşüm (STFT) temelleri ile birlikte geleneksel dalgacık temellerini de içerirler. Uzamsal bölgedeki bir dalgacık paket temel fonksiyonu şu şekilde ifade edilir;

$$\varphi_{j,k}^n(x) = 2^{-j/2} \psi_n(2^{-j}x - k), \quad k \in \mathbb{Z}, \quad j \in \mathbb{Z}, \quad n \in \mathbb{Z}_+ \quad (2.37)$$

Burada k , j ve n sırasıyla uzay kayması, ölçek ve modülasyon indeksidir. ψ_n fonksiyonu “iki-ölçek denklemini” kullanarak hem ölçek fonksiyonun hem de ana dalgacık fonksiyonun ayrışımından çıkarılabilir [31, 32]. Dalgacık paket temellerinin parametre seçimi, bir sinyalin L^2 uzayında tam ve ortogonal ayrışımı için tek değildir. $\varphi_{j,k}^n$ dalgacık paket temel fonksiyonu için, frekans bölgesinde ikici aralığı $I_{j,n} \subset \mathfrak{R}$ [32, 33] deki gibi şu şekilde tanımlanır;

$$I_{j,n} = [2^{-j}n, 2^{-j}(n+1)] \quad (2.38)$$

L^2 uzayında sinyali göstermek için seçilen tam ve ortogonal dalgacık paket fonksiyonları $\{\varphi_j^n\}$ için, ikici aralıkları ayrışık olmalı ve tüm sinyal bant genişliğini kapsamalıdır, yani;

$$\bigcap_{j,n} I_{j,n} = [\emptyset] \quad (2.39)$$

ve

$$\bigcup_{j,n} I_{j,n} = [0,1] \quad (2.40)$$

Bu yüzden , dalgacık paket temel fonksiyonu φ_j^n , $2^{-j}(n+1/2)$, merkezi frekanslı ve 2^{-j} düzelenmiş (normalized) bant genişlikli, bir kiplenmiş (modulated) dalgacık olarak yorumlanabilir.

İki-boyutlu görüntü ayrışımı için, 2-D dalgacık paket temel fonksiyonu, 1-D dalgacık paket temel fonksiyonundan şu şekilde düzenlenir;

$$U_{p,q}^j(m,n) = \Psi_{j,m}^p \Psi_{j,n}^p \quad (2.41)$$

(2.41)'de iki 1-D temel fonksiyonların ölçekleri aynıdır. Bu, temel fonksiyonların yatay ve dikey yönlerde aynı boyutta olmasını ve dönüşüm görüntüsündeki ölçekler-arası kuplaj (coupling) terimlerini gidermeyi temin eder. Tam ve ortogonal ayrışım için, (2.41)'deki iki 1-D temel fonksiyonları, ayrıca (2.39) ve (2.40)'daki koşulları da sağlamalıdır.

Uzamsal (SAR) bölgedeki orijinal görüntüyü $\{s(m,n), 0 \leq m, n < N\}$ kabul ederek, tam ve ortonormal 2-D dalgacık paket temel fonksiyonları kümesi şu şekilde tanımlanır;

$$\{U_{p,q}^j(k,l) \mid 0 \leq j < J, 0 \leq p, q < 2^j, 0 \leq k, l < N2^{-j}\} \quad (2.42)$$

burada, j ölçeği, $J = \log_2(N)$, p ve q frekans kiplenim (modulation) indislerini ve k, l yer indislerini belirtir. Dalgacık paket temellerini kullanarak $s(m,n)$ görüntüsünün ayrışım katsayıları şu şekildedir;

$$\tilde{S}_{p,q}^j(k,l) = \sum_m \sum_n s(m,n) U_{p,q}^j(k - 2^j m, l - 2^j n) \quad (2.43)$$

Uzamsal bölgede periyodik olarak genişletilen görüntü ile (2.43)'daki dönüşüm ile toplam katsayılar sayısı tam olarak N^2 dir. Kolaylık için, katsayıları j, p ve q 'nun belirttik göstergesi olmadan basit olarak $\{\tilde{S}(m,n), 1 \leq m, n \leq N\}$ matrisi olarak kabul edilir.

Genel olarak, verilen $s(m,n)$ SAR görüntüsü için, dönüşüm düzleminde SCR'yi maksimize etmek için en iyi dalgacık paket temelleri, toplanır bir maliyet fonksiyonuna göre aranılır. Bulunan bu temeller ile dönüşüm düzleminde ayrıştırılan SAR görüntüsüne ölçek bağımlı eşikleme uygulanarak istenmeyen yankılar giderilir.

2.3.4.5. Yankıların Modellenmesinde İstatistiksel Model Kullanımı

Hedeflerin güçlü bir şekilde algılanması için, istenmeyen yankı sinyallerinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve bunların da sinyal işlemede kullanılması gerekir. Böylece karakteristik özellikleri bilinen yankı sinyallerinin, hedef sinyallerinden ayrıştırılması daha kolay hale gelir. Bunu yapmak için istenmeyen yankıların gerçekçi ve çözülebilir modeli gerekir. Bu uygulamalarda istenmeyen yankıların gerisaçılıma katkıda bulunma olasılığını belirten uygun parametrize edilmiş istatistiksel modeller çok daha kullanışlıdır. SAR istenmeyen yankıları giderme teknikleri çoğunlukla istenmeyen yankıların istatistiksel modellenmesine dayanır.

2.3.4.6. SAR istenmeyen yankıların olasılıksal modelleri

Bu bölümde tek polarizasyonlu SAR istenmeyen yankı verilerini modellemede kullanılan istatistiksel dağılımlar incelenecektir. Bu olasılık yoğunluk fonksiyonlarının bazıları radar olgusunda temeldir, bazıları da deneysel verilere uyduğundan popülerdirler.

Mikrodalga gerisaçılımının fiziksel tabanlı modelini oluşturmanın tipik metodu, tek bir çözünürlük hücresinden kaynaklanan sinyali göz önüne almaktır. Çözünürlük hücresi belirli bir hacme sahip olduğundan, bölgeden kaynaklanan sinyal, içerdiği tüm saçıcılardan kaynaklanan sinyallerin süperpozisyonudur. Çözünürlük hücresinden kaynaklanan $s(t)$ sinyali şu şekilde yazılabilir;

$$s(t) = \text{Re}\{Ae^{jw_0 t}\} \quad (2.44)$$

burada $\text{Re}\{\cdot\}$ ifadenin gerçek kısmını alma işlemi, w_0 iletim veya merkez frekansı ve A yankı sinyalinin kompleks genliğidir. Hücrede N adet saçıcının olduğunu varsayırsa;

$$A = \sum_{k=1}^N A_k e^{j\theta_k} \quad (2.45)$$

burada A_k ve θ_k çözünürlük hücresindeki k 'nci saçıcının sırasıyla yankı genliği ve fazıdır. Gerisaçılım yankısının A zarfı ve θ fazı şu şekilde ifade edilebilir;

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2} \quad (2.46)$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{I}\right) \quad (2.47)$$

burada I ve Q geri saçılımın, sırasıyla eşevreli ve dördün evreli bileşenleridir. Goodman [37], tek-bakışlı, tek polarizasyonlu SAR verileri için, uzak-alan kargaşa (speckle) olgusunu içererek, ilk istatistiksel modeli önermiştir. Kargaşa, şu şartlar altında tamamıyla gelişmiş olarak kabul edilir; görüntülenen yüzey, gelen elektromanyetik enerjinin dalga boyuna kıyasla pürüzlü olduğunda; tek bir çözünürlük hücresinde ölçülen sinyale çok fazla sayıda bağımsız saçıcı elemanlar katkıda bulunduğu (büyük N); ve herhangi bir çözünürlük hücresinde baskın saçıcılar olmadığına. Tamamıyla gelişmiş kargaşa varsayımı altında, bir pikseldeki kompleks gerisaçılım, dairesel simetrik Gauss rasgele değişkeni ile modellenenir. Bu merkezi sınır teoreminin ve ölçülen sinyalin eş evreli (I) ve dördün evreli (Q) bileşenlerinin varsayılan bağımsızlığının bir sonucudur.

Sıfır-ortalımalı dairesel kompleks Gauss rasgele değişkenin şiddet veya gücü negatif üstel dağılıma uyar;

$$f_1(i) = \frac{1}{\bar{X}} \exp\left(\frac{-i}{\bar{X}}\right) \quad (2.48)$$

burada \bar{X} homojen bölgenin ortalama şiddetidir. Karşılık gelen genlik (şiddetin karekökü) Rayleigh dağılımı ile modellenir. σ parametrelili Rayleigh pdf ile modellenen X rasgele değişkeni şu şekilde ifade edilir;

$$p(x) = \frac{x}{\sigma} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma}\right], \quad x > 0 \quad (2.49)$$

Dairesel simetrik kompleks Gauss, Negatif üstel ve Rayleigh pdf'ler (olasılık yoğunluk fonksiyonu), $\sigma = \bar{X}/2$ kompleks Gauss'un herhangi bir bileşeni olarak, aynı verinin kompleks, şiddet ve genlik gösterimlerine uygulanabilir olması açısından eşdeğerdirler. Özel bir örnekte bu pdf'ler arasındaki seçim, SAR data formatına bağımlıdır.

Kompleks gerisaçınım için geleneksel dairesel Gauss varsayımı, düşük bakış (grazing) açılarda ve yüksek-çözünürlüklü radarlardan elde edilen verilerde iyi uyum sağlamazlar [34]. Bu şartlar altında, her bir çözünürlük elemanındaki her bir saçıcı merkezin sayı azlığından ve nadiren oluşan baskın saçıcılardan dolayı istenmeyen yankı dağılımı, dairesel Gauss varsayımından sapma gösterir. Rayleigh'den daha uzun kuyruklu ve daha büyük standart sapma-ortalama oranlı dağılımlar deneysel genlik dağılımına daha iyi uyar. Radar istenmeyen yankı genlik dağılımları için Rayleigh'e alternatif olarak önerilen istatistiksel modeller, Log-normal [24], Weibull [35], ve K [36] dağılımlarını içerir. Log-normal modeli, tipik SAR arazi istenmeyen yankıların çok uzun-kuyruklu ve keskin (spiky) yapısını ileri gösterim ettiğinden pek popüler değildir. Log-normal pdf ile modellenen X rasgele değişkeni şu şekilde ifade edilir;

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \frac{1}{x} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2\right), \quad x > 0 \quad (2.50)$$

Yüksek-çözünürlüklü radar istenmeyen yankı genlik dağılımları, genellikle Rayleigh ve Log-normal dağılımlar ile gösterilen iki uç arasında yer alır. Hem Weibull hem de K-dağılımı aileleri sadece bu koşulu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda iki parametrelili dağılımlar olduklarından dolayı çok çeşitli istenmeyen yankı dağılım biçim ve güçlerini modelleyebilirler.

Weibull dağılımı, yüksek çözünürlüklerde ve düşük bakış açılarında, deniz ve yer istenmeyen yankı genliği için bir model olarak önerilmiştir [35, 37, 38]. Weibull pdf ile modellenen X rasgele değişkeni şu şekilde ifade edilir;

$$p(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right], \quad x > 0 \quad (2.51)$$

burada c ve b sırasıyla Weibull biçim ve ölçek parametreleridir.

Deneysel SAR yer istenmeyen yankı Jao [40], Yueh [41] ve deniz istenmeyen yankı Oliver [42], Ward [43, 44] genliği için önerilen bir diğer iki-parametrelili dağılım K dağılımıdır. K dağılımı çözünürlük hücresindeki istenmeyen yankı genliği, değışintisi gamma dağılımı ile yavaş uzamsal değışime sahip, hızlı Rayleigh dalgalanmalar

gösterdiğinde oluşur [36, 44]. K pdf ile modellenen X rasgele değişkeni şu şekilde ifade edilir;

$$p(x) = \frac{2}{a\Gamma(v+1)} \left(\frac{x}{2a}\right)^{v+1} K_v\left(\frac{x}{a}\right), \quad x > 0, v > -1 \quad (2.52)$$

burada $\Gamma(\cdot)$ Gamma işlevi, $K_v(\cdot)$, v derecesinden ikinci türden değiştirilmiş Bessel fonksiyonu, v biçim, a ise ölçek parametresidir. $b=1$ değerli Weibull dağılımı, $v = \infty$ değerli K-dağılımına denk ve her iki dağılım da Rayleigh dağılımı ile özdeştir. Biçim parametresi, düşük değerleri daha sivri istenmeyen yankıyı modellemekle birlikte, istenmeyen yankının sivriliğini kontrol eder.

İstenmeyen yankıların uzamsal dağılımı komplekstir ve uygulamadan uygulamaya değişiklik gösterir. Yalnız rasgele saçıcıların karakteristiklerine bağımlı olmayıp, radar çözünürlüğü, ışınlama geometrisi (bakış açısı), radar frekansı ve polarizasyonu gibi faktörlere de bağımlıdır. İstenmeyen yankılara tam uyan dağılımı belirlemek ve bahsedilen dağılımlar arasında karşılaştırmaları yapmak için birçok deneysel çalışmalar yapılmış ve bunlar rapor edilmişlerdir [45, 46].

2.3.4.7. Parametre kestirimi

İstenmeyen yankıların dağılımları çalışmalarında önemli bir konu parametre kestirimidir. Verilen bir olasılık yoğunluk fonksiyonu için, parametreleri bütün karşılık gelen istatistiklerini belirler.

En Büyük Olabilirlik (ML) Kestirimi Metodu : Parametreleri belirlemede standart yaklaşım, eğer ön bilgi yoksa, verilen veriler ve pdf için kestirimlerin en olası parametreler olması açısından optimal parametre kestirimleri sağlayan en büyük olabilirlik (ML) metodudur [47, 48, 49].

Verilen dağılım fonksiyonunun $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$, m parametrelerinin kestirimi için x_1, x_2, \dots, x_n örnek verilirse, o zaman x_1, x_2, \dots, x_n 'nin birleşik pdf'si olabilirlik fonksiyonu olarak tanımlanır ve marjinal pdf'lerin çarpımına eşit olur.

$$L = f(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) \quad (2.53)$$

(2.53)'deki birleşik pdf'yi maksimize eden $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_m$ kestirimleri ML kestirimleri olarak tanımlanır. Genellikle $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_m$ kestirimleri Lagrange metodu kullanılarak bulunur.

Logaritma fonksiyonu tekdüze (monotonik) fonksiyon olduğundan ve çarpımı toplamaya dönüştürdüğünden, ML kestirimleri şu şekilde elde edilebilir;

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \theta_1} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \theta_2} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \theta_3} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = 0 \end{cases} \quad (2.54)$$

Momentler Metodu (MOM) : Momentler metodu, parametre kestirim alanında sıklıkla kullanılan bir diğer tekniktir. X rasgele değişkenini k 'ıncı dereceden orijin etrafında ilk momentini, eğer varsa şu şekilde tanımlanır;

$$m_k = E(X^k) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k p(x) dx \quad (2.55)$$

Eğer x_1, x_2, \dots, x_n bir veri kümesini gösterirse, o zaman k 'ıncı merkezi moment için yansız kestirici şu şekildedir;

$$\hat{m}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^k \quad (2.56)$$

Momentler metodu ile kestirim, olasılık dağılımın orijin momentlerini (bilinmeyen parametrelerin fonksiyonu olan), örnek momentlerine eşitleyerek ve bilinmeyen parametreler için çözüm bulunarak gerçekleştirilir.

Momentler metodu, kestirmek istediğimiz θ_1, θ_2 parametrelerinin, ilk iki veya daha yüksek momentlerin fonksiyonları olarak yazılabilme varsayımına dayanır. Eğer;

$$\theta_1 = f_1(m_1, m_2) \quad \theta_2 = f_2(m_1, m_2) \quad (2.57)$$

olarak yazılabilirse, doğal kestirimleri, sadece m_1 ve m_2 'in kestirimlerini yerine koyarak elde edilebilir;

$$\hat{\theta}_1 = f_1(\hat{m}_1, \hat{m}_2) \quad \hat{\theta}_2 = f_2(\hat{m}_1, \hat{m}_2) \quad (2.58)$$

İki parametrelili bir dağılımın parametre kestiriminde, iki moment için en basit seçim genellikle, verilerden elde edilen örnek ortalaması ve örnek değışintisini kullanmaktır. Bu nicelikler dağılımın ortalama ve değışintisine uyum edilerek iki parametre kestirim değeri bulunabilir.

İstenmeyen Yankı Dağılımlarının Parametre Kestirimi ile İlgili Çalışmalar : Teorik olarak en büyük olabilirlik (ML) Kestirim metodu, verilen dağılım ve örnek verileri için en olası parametreler olan optimal parametreleri verir. Asimptotik sınırdaki, ML kestirimleri Cramer-Rao alt sınır ile hesaplanabilen en küçük hataları oluştururlar (Blacknell, 1994). Fakat, ML kestirimleri ortalama ve değışinti (yani verinin birinci ve ikinci momentleri) hesaplamaları ile direkt olarak hesaplanabilen Rayleigh ve Log-normal dağılımlar haricinde hem Weibull hem de K dağılımlarının ML kestirimleri veri örneklerinin özyineli işlem denklemlerini içerir. Weibull dağılımının ML kestirimi, gelişen nümerik algoritmalar ile doğrulukla yapılabilmektedir. Bu konuda en büyük zorluk K-dağılımının parametrelerinin kestirimindedir.

Ortalama parametresi a , yerel örnek ortalaması veya birinci moment kullanılarak direkt olarak veriden kestirilebilir. Biçim parametresi v 'yi kestirmek için birkaç yöntem denenmiş ve önerilmiştir [50, 51].

Değiştirilmiş ikinci türden Bessel fonksiyonunun, v 'ye göre türevi kapalı formda olmadığından (v sadece değişkenin bir bölümü değil aynı zamanda fonksiyonun derecesidir ve bu da türevi daha da zor yapar), K-dağılımın ML kestirimini bulmak, denklem (2.30)'u kullanarak özyineli biçimde de yapılırsa çok zor veya imkansızdır. Joughin [50], K-dağılımın ML kestirimi için, log-olabilirlik fonksiyonunu, parametrelerin kestirimlerini değiştirerek (optimize ederek) nümerik olarak maksimize etmiştir. ML metodu Joughin [50] asimptotik olarak etkili kestirimler verse de hesaplamasal olarak çok maliyetlidir.

Önerilen moment-tabanlı metotlardan [41, 52, 53] K-dağılımın parametrelerini kestirmek için, verinin aritmetik ve geometrik ortalamalarına dayanan bir metot önermiştir. Metot, belirli bir parametre menzili için γ ve K dağılımların benzer olmasına ve K-dağılımının ML kestiriminin, γ dağılımının ML kestirimini hesaplamada kullanılan aynı istatistik ile çıkarılabileceğine dayanır. Bu metot, Rayleigh'dan oldukça farklı veriler ve küçük örnek boyutlar için standart momentler metoduna göre daha iyi sonuçlar verir. Oliver [53], Mellin dönüşümünü kullanarak, K-dağılım için asimptotik bir ifade çıkarmıştır. Sonra da asimptotik ifadeye karşılık gelen yaklaşık ML kestirimleri çıkarılmıştır. Ancak, çıkarılan ML kestirimleri sadece çoklu bakış verilerinin büyük bakış sayılı olanlarına uygulanabilirliği ile kısıtlıdır. Blacknell [54], diğer araştırmacıların Raghavan [52] ve Oliver [53] K-dağılımı için momentler metoduna dayanan parametre kestirim yöntemlerini karşılaştırmıştır. Bu metotlar doğru kestirimleri sağlarlar fakat, lineer olmayan denklem sistemlerinin çözümünü gerektirdiklerinden hesaplamasal olarak yoğun nümerik metotlar içerirler.

Lineer olmayan denklem sistemlerin çözülmesine gerek duymamak, gerçek-zaman için pratik olması için radar sistemlerinde geçmişte en çok kullanılan en basit standart yaklaşım ikinci ve dördüncü dereceden momentlere dayanır. Bu metot örnek sayısı fazla olduğunda, mesela binden fazla olduğunda iyi çalışır fakat bu sayı az olduğunda performansı azalır [50]. Alternatif olarak ikinci ve dördüncü dereceden momente dayalı metoda göre daha düşük parametre kestirim değişimini gösteren yüksek-dereceli ve kesirli momentler kullanarak kestirim metodu da önerilmiştir [51]. Bu teknik kolaydır ve lineer olmayan denklemler sisteminin çözümüne gerek duymaz.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. KULLANILAN MALZEMELER

3.1.1. MSTAR Veri Kümesi

Bu çalışmada SAR görüntüleri olarak MSTAR [55] veri kümesi kullanılmıştır. MSTAR (Hareketli ve Durağan Hedeflerin Toplanması ve Tanınması), SAR Otomatik Hedef Algılama/Tanıma (OHA/T) teknolojilerini geliştirmek ve bu teknolojiye yeni nesil model-tabanlı vizyon yaklaşımı oluşturmak amacıyla, Amerikan DARPA (Defence Advanced Research Project Agency) ve ARFL (Air Force Research Laboratory) tarafından ortaklaşa yürütülmüş bir programdır. Programda, değişken görüntü toplama geometrisi, rasgele hedef pozu ve konfigürasyon durumu ve hedef mevzilenme konumlarında farklılıkları içeren kısıtlanmamış görüntüleme senaryolarında, yer hedeflerini belirleyebilen yüksek performanslı OHA/T yeteneğini oluşturmak amaçlanmıştır. Bu algoritmaların oluşumunu ve test edilmesini desteklemek amacıyla üç veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu veri toplamalar; Eylül'95, Kasım'96 ve Mayıs'97'de yapılmıştır. Toplanan MSTAR verileri, OHA/T alanındaki çalışmalar için çok önemli bir kaynak olmuştur. İstatistiksel önem açısından önemli miktarda görüntüye sahiptir, en gelişkin radar ile toplanmıştır ve birçok kontrol edilen koşullarda çok çeşitli askeri araçları içerir.

MSTAR halka açık (kamusal) dağıtım verileri, MSTAR koleksiyonunun bir alt kümesidir. Veda Inc. (Wright Lab. ve DARPA için MSTAR veri yöneticileri) tarafından isteğe bağlı olarak dağıtıma sunulmuştur.

3.1.1.1. MSTAR veri diskleri içerikleri

“MSTAR Hedefler” veri diskleri, üç değişik T-72 ana savaş tankı (MBT), üç BMP-2 zırhlı personel taşıyıcısı (APC), bir BTR-70 APC ve bir SLICY geometrik hedef nesnesi olmak üzere toplam sekiz değişik hedef nesnesinin SAR görüntü kümelerini içerir. Diskteki T-72, BMP-2 ve BTR-70 SAR hedef görüntüleri, Huntsville, AL yakınlarında, Eylül 1995’te MSTAR Veri Koleksiyonu #1’in bir parçası olarak toplanmıştır. T-72, BMP-2 ve BTR-70 görüntüleri için genel toplama parametreleri şunlardır;

- X-bandı
- 15° ve 17° bakış açıları
- “Spotlight” modu
- 1-foot çözünürlük

T-72, BMP-2, BTR-70 hedef görüntüleri 128 x 128 pikseldir ve her bir dosya yaklaşık olarak 130KB boyutundadır.

Bu diskteki SLICY SAR görüntüleri, Elgin AFB’de, Kasım 1996’da MSTAR veri koleksiyonu #2’in bir parçası olarak toplanmıştır. Toplama, 15° ve 30° bakış açıları ve “spotlight” modu parametrelerine sahiptir. SLICY cip görüntüleri 54 x 54 pikseldir ve yaklaşık olarak 25KB boyutundadır.

“MSTAR/IU Karışık Hedefler” veri diski, 2S1, BDRM-2, BTR-60, D7, T62, ZIL-131, ZSU-23/4, ve SLICY hedef görüntülerini içerir. Diskteki görüntüler, MSTAR veri koleksiyonu #1, sahne 1’in ve MSTAR veri koleksiyonu #2, sahneler 1, 2, ve 3’ün parçası olarak toplanmıştır. Bu diskteki, genel toplama parametreleri “MSTAR Hedefler” disklerindeki ek olarak 30° ve 45° bakış açılarını da içerir.

“MSTAR İstenmeyen Yankı” veri diskleri, SAR yer istenmeyen yankı görüntülerinin iki diskini içerir. Her iki diskteki görüntüler, Huntsville, AL yakınlarında, Eylül 1995’te MSTAR veri koleksiyonu #1’in bir parçası olarak toplanmıştır. Bu disklerdeki istenmeyen yankı görüntülerinin genel toplama parametreleri şunlardır;

- X-bandı
- 15° bakış açıları

- 1-foot çözünürlük

SAR istenmeyen yankı görüntüleri yaklaşık olarak 1784 x 1476 pikseldir ve her bir dosya yaklaşık olarak 10MB boyutundadır.

3.1.1.2. MSTAR dosya biçimi

Her bir dosya, spesifik bir görüntü için ayrıntılı yer doğruluk ve algılayıcı bilgiyi içeren başlangıca eklenen, değişken uzunluklu “Phoenix” formatlı (ASCII) bir üstbilgiden oluşur. “Phoenix” üstbilgisini takiben veri bloğu gelir. Veri bloğu Sun kayan noktalı biçiminde yazılmıştır ve genlik bloğu ve faz bloğu olarak iki bloğa bölünmüştür. MSTAR verilerini orijinal formatından saf ikili veriye dönüştürmek için verilerin de istendiği “Sensor Data Management System” (<https://www.sdms.afrl.af.mil/> [Haziran 2005]) web sitesinden veri dönüştürüm programları temin edilmiştir. DOS tabanlı çalışan “mstar2raw” programı MSTAR görüntülerini orijinal formatından iki çıkış dosyasına dönüştürür: bir dosya ASCII üstbilgiyi içerir, diğeri de, tercihe bağlı olarak ya bütün MSTAR verisini (hem genlik hem de faz) içeren saf ikili dosyadır, ya da sadece genliği içeren saf ikili dosyadır.

3.1.2. Kullanılan Yazılım

Bu tez çalışmasında, tüm hesaplamalar, algoritmalar, veri analizleri ve grafikler için MATLAB yazılım paketi kullanılmıştır.

"MATLAB" yüksek seviyeli bir teknik programlama dili olmasının yanında algoritma geliştirme, verilerin görselleştirilmesi, veri analizi ve sayısal hesaplamalar için etkileşimli bir yazılım paketidir. MATLAB ile teknik hesaplama problemleri; C, C++ ve Fortran gibi geleneksel programlama dillerinden daha hızlı bir şekilde çözelebilmektedir. MATLAB yazılımının birçok alanda uygulamaları vardır. İçerdiği “toolbox” adı verilen paketler aracılığıyla sayısal işaret işleme, kontrol tasarımı, test ve ölçüm, finansal modelleme ve analiz, haberleşme gibi birçok alanda kullanılabilir. Temel özellikleri şunlardır :

- Teknik hesaplamalar için yüksek seviyeli bir dil,
- Kodların ,dosyaların ve verilerin düzenlenmesi için bir geliştirme ortamı,
- İteratif tasarım ve problem çözme yöntemleri için interaktif araçlar,

- Lineer cebir, istatistik, Fourier analizi, filtreleme, optimizasyon ve sayısal integrasyon için matematiksel fonksiyonlar,
- Verilerin görselleştirilmesi için iki ve üç boyutlu grafik araçları,
- Grafik arayüzler tasarlamak için araçlar,

MATLAB bilim ve mühendislik alanlarında kullanılan ortak matematiksel işlemler için birçok fonksiyonu içinde bulundurmaktadır. Bu fonksiyonlar MATLAB dilinin temelini oluşturmaktadır.

Toolbox adı verilen modüller sayesinde işaret işleme, optimizasyon, istatistik ve sembolik matematik gibi birçok özelleştirilmiş fonksiyonları kullanılabilir. Bu modüller MATLAB'a ayrıyetten dahil edilebilmektedirler. Bu modüllere her geçen gün bir yenisi eklenmektedir. Böylece MATLAB'ın kullanım alanları da her geçen gün genişlemektedir.

MATLAB birçok klasik algoritmayı tek bir komutta sunmaktadır. Böylece matematiksel hesaplamaların bilgisayarda yapılması diğer programlama dillerinde (C, C++, Fortran gibi) olduğundan daha kısa sürede ve daha az kod yazılarak gerçekleştirilebilmektedir. Böylece problemin bilgisayara uyarlanması çok problemin kendisine yoğunlaşmak daha da kolaylaşmaktadır.

MATLAB, geçmiş zaman zarfı boyunca birçok kullanıcıların katkısıyla çok gelişmiştir. Üniversite ortamlarında, matematik, mühendislik, ve bilimdeki temel ve ileri dersler için standart bir eğitimsel araçtır.

MATLAB, araç kutuları olarak adlandırılan eklenebilir uygulama-spesifik çözümler ailesi özelliğine sahiptir. MATLAB kullanıcıların birçoğu için çok önemli olan araç kutuları, spesifik teknolojiyi öğrenme ve uygulamaya olanak tanır. Araç kutuları, MATLAB ortamını, hususi problem sınıflarını çözmek için genişleten MATLAB fonksiyonlarının (M-dosyaları) kapsamlı koleksiyonlarıdır. Sinyal işleme, kontrol sistemleri, sinir ağları, bulanık mantık, dalgacıklar, benzetim, ve birçok başka alanlarda araç kutularına sahiptir.

3.2. KULLANILAN YÖNTEM

3.2.1. Direkt Eşikleme ile Giderme

İstenmeyen yankı sinyallerinin histogramının kuyruk kısmında uygun bir eşik değeri belirlenmiş, bu tek eşik değeri, global olarak tüm SAR görüntü piksellerine uygulanarak, bu değerden büyük sinyaller hedef sinyalleri olarak algılanmıştır. Bu tür eşikleme katı-eşikleme (hard-thresholding) olarak adlandırılır. Eşikleme işlemcisi şu şekildedir;

$$\rho_T(x) = \begin{cases} x, & \text{eğer } |x| > T \\ 0, & \text{eğer } |x| \leq T \end{cases} \quad (3.1)$$

3.2.2. İstatistiksel Modele Dayalı Giderme

3.2.2.1. Genlik dağılımının modellenmesi

Yer istenmeyen yankıların genliklerini modellemede en popüler modeller olan, Rayleigh, Log-normal, Weibull ve K dağılımların her biri için olasılık yoğunluk fonksiyonu (pdf), birikimli dağılım fonksiyonu (cdf) ve moment ifadeleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Düzenlenmiş deneysel istenmeyen yankı genlik dağılımın, incelenen istenmeyen yankı modelleri ile karşılaştırmak için, her bir dağılım için, verilerden dağılım parametrelerini kestirmek gerekir. Rayleigh, Log-normal ve Weibull dağılımlarının parametreleri En Büyük Olabilirlik (ML) kestirim metodu ile K-dağılımının parametreleri ise moment-tabanlı metotlar ile kestirilmiştir.

Tablo 3.1: Tipik radar istenmeyen yankı dağılımlarının pdf, cdf ve momentleri.

	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu $p(x)$	Birikimli Yoğunluk Fonksiyonu $P(x)$	K 'ninci Dereceden Moment $M_x = E(X^K)$
Rayleigh	$\frac{x}{\beta^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\beta}\right)^2}$	$1 - e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\beta}\right)^2}$	$2^{K/2} \beta^K \Gamma\left[\frac{2+K}{2}\right]$
Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \frac{1}{x} e^{\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2\right)}$	$\frac{1}{2} [1 + \text{sign}(u) \text{erf}(u)],$ $u = \frac{\ln x - \mu}{\sqrt{2}\sigma}$	$e^{\frac{1}{2}K^2\sigma^2 + K\mu}$
Weibull	$\frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$	$1 - e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$	$b^K \Gamma\left[1 + \frac{K}{c}\right]$
K-dağılımı	$\frac{2}{c\Gamma(v+1)} \left(\frac{x}{2a}\right)^{v+1} K_v\left(\frac{x}{a}\right)$	$1 - \frac{2}{\Gamma(v+1)} \left(\frac{x}{2a}\right)^{v+1} K_{v+1}\left(\frac{x}{a}\right)$	$\frac{\Gamma(0.5K+1)\Gamma(v+1+0.5K)}{\Gamma(v+1)} (2a)^K$

Rayleigh dağılımın ML kestirimi : Olabilirlik (likelihood) fonksiyonu şu şekildedir;

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n f(x_i | \beta) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{x_i}{\beta^2} \exp\left(-\frac{x_i^2}{2\beta^2}\right) \right] = \frac{x_1 x_2 \dots x_n}{\beta^{2n}} \exp\left(-\frac{1}{2\beta^2} \sum_{i=1}^n x_i^2\right) \quad (3.2)$$

Log-olabilirlik fonksiyonunu maksimize etmek daha uygun olduğundan, log-olabilirlik fonksiyonu şu şekildedir;

$$\ln L(\beta) = \ln(x_1 x_2 \dots x_n) - 2n \ln \beta - \frac{1}{2\beta^2} \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (3.3)$$

β 'nın en büyük olabilirlik kestirimi, log-olabilirlik fonksiyonunu maksimize ederek bulunabilir. $\hat{\beta}$ olarak gösterilen β 'nın karşılık gelen değeri, $d(\ln L(\beta))/d\beta$ türevi sıfıra eşitlenerek bulunur;

$$\frac{d \ln L(\beta)}{d\beta} = -\frac{2n}{\hat{\beta}} + \frac{1}{\hat{\beta}^3} \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \quad (3.4)$$

Denklemleri $\hat{\beta}^3$ ile çarparak, n boyutlu gözlemlenen örnek için Rayleigh dağılımının β parametresinin en büyük olabilirlik kestirimi şu şekilde bulunur :

$$\hat{\beta} = \left(\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{1/2} \quad (3.5)$$

Log-normal dağılımın ML kestirimi : Benzer biçimde, log-olabilirlik fonksiyonunu maksimize ederek log-normal dağılımın ML kestirimi şu şekilde bulunur;

$$\begin{cases} \hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \\ \hat{s}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \hat{\mu})^2 \end{cases} \quad (3.6)$$

Weibull dağılımın ML kestirimi : Olabilirlik fonksiyonu şu şekildedir;

$$L(x_1, \dots, x_n; c, b) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{c}{b} \right) \left(\frac{x_i}{b} \right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x_i}{b} \right)^c} \quad (3.7)$$

(3.7)'nin logaritmasını alarak ve c ve b'ye göre türev alıp sıfıra eşitleyerek, kestirim denklemleri şu şekilde elde edilir;

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L}{\partial c} &= \frac{n}{\hat{c}} + \sum_{i=1}^n \ln x_i - \frac{1}{\hat{b}} \sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}} \ln x_i = 0 \\ \frac{\partial \ln L}{\partial b} &= -\frac{n}{\hat{b}} + \frac{1}{\hat{b}^2} \sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}} = 0 \end{aligned} \quad (3.8)$$

b'yi bu iki denklemde elimine ederek ve basitleştirerek :

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}} \ln x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}}} - \frac{1}{\hat{c}} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i = 0 \quad (3.9)$$

$\hat{c} = c$ kestirimini elde etmek için, (3.9) denklemi standart özyineli işlemler (i.e., Newton-Raphson metodu) kullanılarak çözülür. c belirlendikten sonra, b denklem (3.8) kullanılarak şu şekilde kestirilir;

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^c}{n} \quad (3.10)$$

K-dağılımı parametre kestirimi : K-dağılımlı radar istenmeyen yankının moment tabanlı parametre kestirim işlemi, radar sinyalinin x_i , $i=1, \dots, N$ bağımsız örnekleri verildiğinde, K-dağılımın ortalama ve biçim parametresini kestirmektir. Bu, Denklem (3.11) ile verilen teoriksel K-dağılım momentlerini, Denklem (3.12)'deki örnek momentleri ile kestirerek gerçekleştirilir.

$$\mu_k = E[X^k] = \frac{\Gamma(0.5k+1)\Gamma(v+1+0.5k)}{\Gamma(v+1)} (2a)^k \quad (3.11)$$

$$\hat{\mu}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^k, \quad k \geq 0 \quad (3.12)$$

Kolayca görüleceği gibi a ve v parametreleri, Denklem (3.11)'de verilen momentlerin herhangi iki kestirimi ile kestirilebilir. Hangi iki momentin seçileceği ise kestirilen değerlerin standart sapmaları ile nitelendirilen, yapılan kestirimlerdeki hata ile belirlenir.

İki moment için en basit seçim, verilerden elde edilen örnek ortalaması ve örnek değişintisini kullanmaktır. Bu nicelikler Denklem (3.13) ile verilen K-dağılımı ortalama ve değişintisine uyum edilebilir.

$$E[X] = \frac{\Gamma(1.5)\Gamma(v+1.5)}{\Gamma(v+1)} 2a \quad (3.13)$$

$$\text{Var}[X] = 4a^2(v+1) - E[X]^2$$

Bu metot v veya a 'nın Denklem (3.13)'dan çıkarımında lineer olmayan denklem çözümü içerdiğinden sayısal olarak etkili değildir. En büyük olabilirlik metoduna yakın yaklaşım yapan başka bir metotta, v şu şekilde kestirilir (Blacknell, 1994);

$$\langle \ln(x) \rangle = \ln(\langle x \rangle) + \ln\left(\frac{\Gamma(v+1)}{\Gamma(v+1.5)\Gamma(1.5)}\right) + \frac{\Psi(1) + \Psi(v+1)}{2} \quad (3.14)$$

burada $\langle x \rangle$ istatistiksel ortalama ve $\Psi()$ ise digamma fonksiyonudur. Bu metot da aşkın (transcendental) denklem çözümü gerektirir. Bu nümerik problemlerden dolayı, radar sistemlerinde K-dağılım parametreleri genellikle ikinci ve dördüncü momentler cinsinden tanımlanır. Bu durumda, biçim parametresi ν şu şekilde elde edilir;

$$\nu = \frac{4 - \frac{\mu_4}{\mu_2^2}}{\frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 2} \quad (3.15)$$

ν , Denklem (3.15)'den hesaplandıktan sonra, a basitçe herhangi bir momenti, mesela X'in birinci momentini kullanarak şu şekilde elde edilir;

$$a = \frac{\mu_1 \Gamma(\nu + 1)}{\sqrt{\pi} \Gamma(\nu + 1.5)} \quad (3.16)$$

Denklem (3.15) ve Denklem (3.16)'deki bilinmeyen momentlerin yerine, kestirimleri konularak ν ve a kestirimleri elde edilir.

K-dağılımının biçim parametresi ν ölçek parametresinden bağımsız biçimde ve yüksek dereceden kesirli momentler kullanarak Denklem (3.17) ile de kestirilebilir (Iskander ve Zoubir, 1999).

$$\nu = \frac{(p + 2/\frac{1}{2})^2 - \beta_p}{\beta_p - (p + 2/\frac{1}{2})}, \quad \beta_p = \frac{m_{p+2}}{m_p m_2}, \quad p > 0 \quad (3.17)$$

Örnek olarak $p = 1/2$ seçilirse, ν şu şekilde elde edilebilir;

$$\nu = \frac{\frac{25}{16} - \frac{\mu_{5/2}}{\mu_{1/2} \mu_2}}{\frac{\mu_{5/2}}{\mu_{1/2} \mu_2} - \frac{5}{4}} \quad (3.18)$$

3.2.2.2 İstenmeyen yankı dağılımının yüksek-dereceden istatistikler kombinasyonu (HOSC) ile tanınması

İstenmeyen yankıların etkin biçimde giderilmesi, modelinin doğruluğuna bağlıdır. Elimizdeki ölçülen istenmeyen yankı sinyalinin genliğinin olası dağılımlardan hangi dağılım sınıfı ile daha iyi modellenebileceğini bulmak için, yüksek-dereceden istatistikler kombinasyonu (HOSC) kullanılmıştır (Xiaoyan ve diğerleri, 2000). Yüksek dereceden istatistikler kombinasyonu (HOSC), yüksek-derecen orijin momentleri, yüksek-dereceden merkez momentleri ve yüksek-dereceden logaritmik momentleri içeren bir özellik vektörü olarak hem örnek verileri hem de olası istenmeyen yankı dağılımları için ayrı ayrı hesaplanır ve örnek veriler vektörüne minimum uzaklığa sahip dağılım istenmeyen yankı sınıfı olarak tanınır.

K-dereceden orijin momentleri M_k bilindiğinde, K-dereceden merkez momentleri V_k şu şekilde hesaplanabilir;

$$V_k = \sum_{i=0}^k \binom{K}{i} (-M_1)^{k-i} M_i \quad (3.19)$$

K-dereceden logaritmik momentler de M-C (momentten logaritmik momente) ile elde edilebilir. M-C formülü çok kompleks olduğundan alternatif olarak şu şekilde bulunur; ilk olarak birinci karakteristik fonksiyonu (FCF) yaklaşık olarak şu şekilde hesaplanır;

$$\Phi(w) \approx 1 + \sum_{k=1}^K M_k \frac{(jw)^k}{k!} \quad (3.20)$$

Sonra, K-dereceden logaritmik momentler C_k şu şekilde hesaplanır;

$$C_k = (-j)^k \left. \frac{d^k \ln \Phi(w)}{dw^k} \right|_{w=0} \quad (3.21)$$

Metot şu şekilde özetlenebilir :

- Örnek verilerden, en büyük olabilirlik metodu veya momentler metodu ile olası dağılımların (Rayleigh, Log-normal, Weibull, K) parametreleri kestirilir.

- Dağılımların K-dereceden momentleri M_K dan (Tablo.1), K-dereceden merkez momentleri V_K (Denklem 3.19) ve logaritmik momentleri C_K (Denklem 3.21) hesaplanarak, özellik vektörleri :

$$F_i = [M_1, M_2, \dots, M_K, V_1, V_2, \dots, V_K, C_1, C_2, \dots, C_K], \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (3.22)$$

oluşturulur.

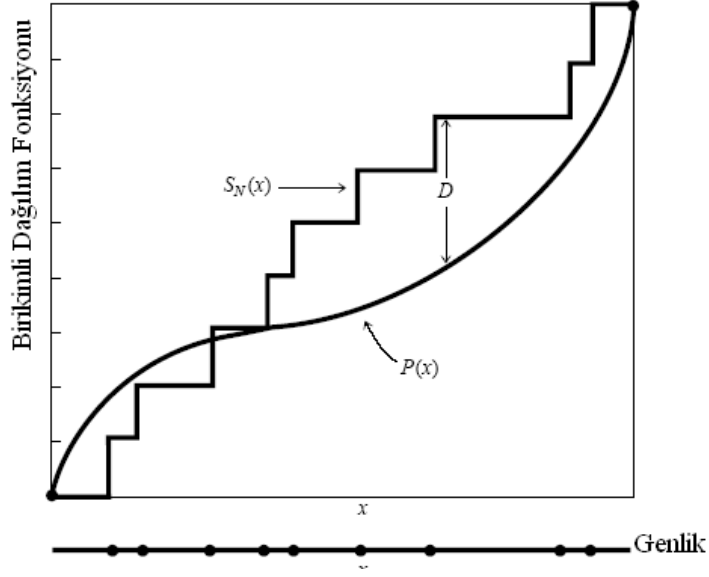
- Örnek verilerin de aynı şekilde F_0 özellik vektörü hesaplanır.
- $D_i = \|F_i - F_0\|$ özellik uzaklığı minimum olan dağılım istenmeyen yankı sınıfı olarak belirlenir.

3.2.2.3. Uyum derecesi testi

İstenmeyen yankı verilerinin, yüksek dereceden istatistikler ile hangi dağılım sınıfına uyduğu belirlendikten sonra, bu dağılım varsayımının doğruluğu, uyum derecesi (goodness of fit) testleri ile kontrol edilebilir. Bu testler, deneysel ve grafiksel işlemlere göre sayısal işlem olarak daha yoğundurlar fakat sonuçları, deneysel işlemlere göre daha güvenilirlerdir. Bu testlerden, özellikle küçük boyutlu örnekler için iyi sonuçlar verebilen ve en önemlilerden biri Kolmogorov-Smirnov (KS) testleridir. Uyum derecesi testleri, temel olarak iki dağılım elemanından birine dayanır; birikimli dağılım fonksiyonu (cdf) veya olasılık yoğunluk fonksiyonu (pdf).

KS uyum derecesi testi birikimli dağılım fonksiyonu (cdf) yaklaşımını kullanır ve bu yüzden “uzaklık testleri” sınıfına girerler.

Uzaklık testlerinde, kabul edilen dağılım doğru olduğunda, teoriksel (kabul edilen) cdf ($P(x)$ olarak gösterilen), deneysel cdf ($S_N(x)$ olarak gösterilen) adım fonksiyonunu yakın olarak takip eder. Bu kavramsal olarak Şekil 3.4.’de anlatılmıştır. Veriler $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_N$ olarak sıralı verilir ve kabul edilen (hipotez edilen) teoriksel dağılım $P(x)$ cdf’ye sahiptir. Son olarak, teoriksel ve deneysel sonuçlar karşılaştırılır. Eğer iki cdf arasındaki maksimum uzaklık, uyum derecesini belirten istenilen değerden düşükse, o zaman veriler kabul edilen dağılımı destekler. Eğer bu sağlanmazsa, dağılım varsayımı reddedilir.



Şekil 3.1 : Kolmogorov-Smirnov istatistiği : D, iki birikimli dağılım arasındaki en büyük uzaklıktır.

3.2.2.4. Sabit yanlış alarm oranı (CFAR) algılama

Log-normal dağılım için, μ istenmeyen yankı dağılımının teoriksel ortalama değeri olmak üzere, algılayıcıda kullanılacak $t = \mu T$ değerini hesaplamak için T şu şekilde hesaplanır;

$$\begin{aligned}
 P_{FA} &= 1 - P(T) \\
 &= 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^T \frac{e^{-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{t} dt
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

Weibull dağılımı için ifade daha basittir ve şu şekildedir;

$$T = \left(\ln \frac{1}{P_{FA}} \right)^{1/b} a \tag{3.24}$$

K-dağılımı için P_{FA} ve T arasındaki ilişki de şu şekildedir;

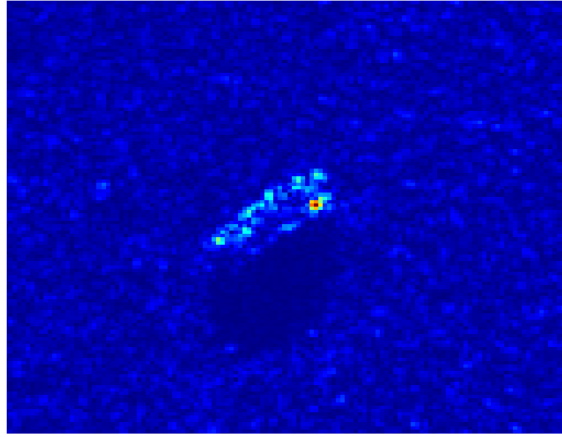
$$P_{FA} = \frac{2}{\Gamma(v+1)} \left(\frac{T}{2a}\right)^{v+1} K_{v+1}\left(\frac{T}{a}\right) \quad (3.25)$$

Bu denklemin çözümü ile T değeri hesaplanır.

4. BULGULAR

4.1. HEDEFİ İÇEREN ORJİNAL SAR GÖRÜNTÜSÜ

MSTAR radar görüntüleri, mevcut formatlarından, genlik ve faz değerlerini içeren veriler haline dönüştürülmüştür. Logaritmik bölgede görüntülenen bir BMP-2 zırhlı personel taşıyıcı hedefinin görüntüsü Şekil 4.1.'de görülmektedir. Görüntü 128 x 128 piksel boyutundadır. Görüntü verisi genliği, [0.0000 4.1802] menzil ve 0.0501 ortalama ve 0.0101 değişinti değerlerine sahiptir.

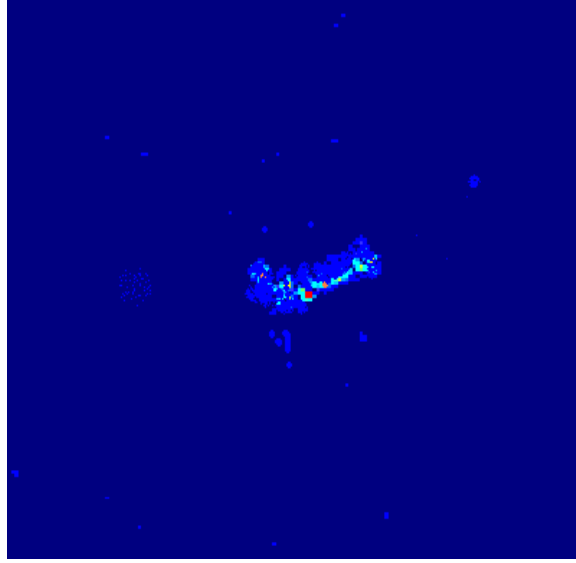


Şekil 4.1: Orjinal SAR görüntüsü

4.2. DİREKT EŞİKLEME

Orjinal SAR görüntüsüne, direkt eşikleme metodu uygulandığında Şekil 4.2'deki SAR görüntüsü elde edilmiştir. İstenmeyen yankı sinyallerinin önemli bir bölümü giderilmiş olsa da, hedef özneliklerinden de büyük kayıplar görülmüştür. T eşik değeri olarak

0.138 seçilmiştir. İstenmeyen yankıların iyice giderilmesi için eşik değeri artırıldığında, hedef sinyalleri, özellikle de güçsüz yansımalara sahip hedef bölümleri kaybedilmiştir.



Şekil 4.2: Direkt eşikleme sonucu.

4.3. İSTATİSTİKSEL MODELE DAYALI GİDERME

4.3.1. İstenmeyen Yankı Görüntülerinin Analizi

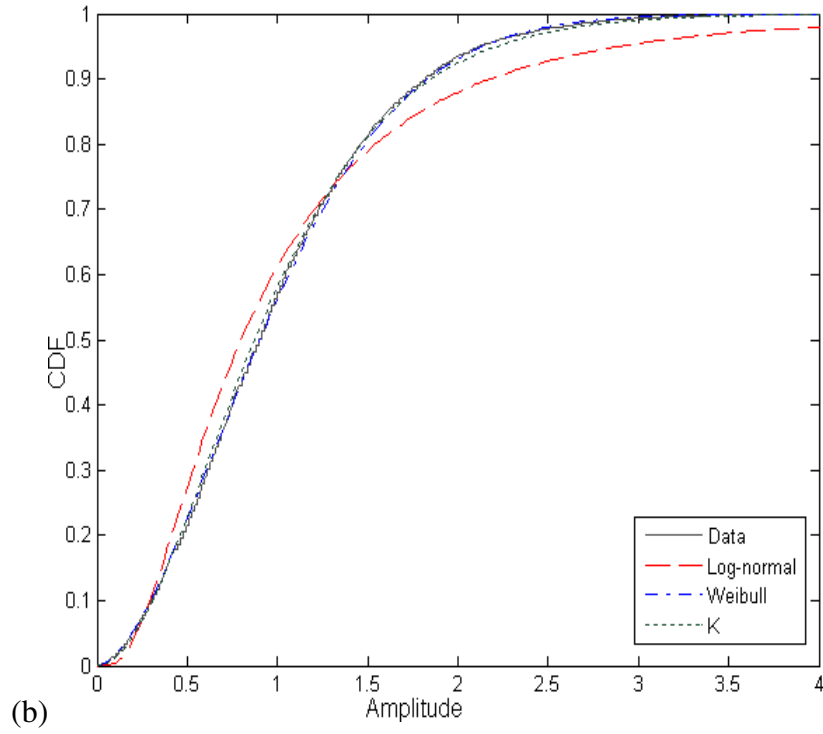
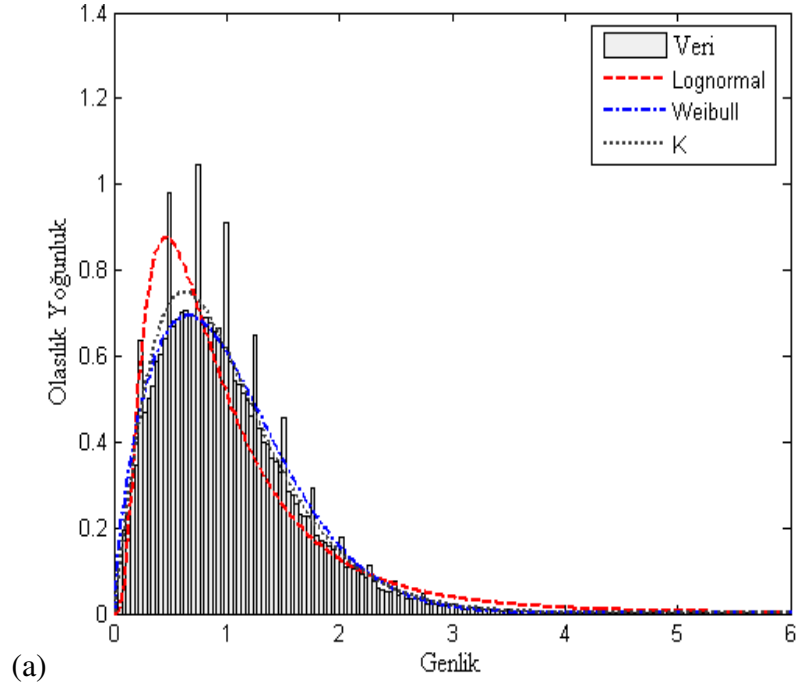
MSTAR hedef görüntülerinin arka plan istenmeyen yankılarını gidermek için istenmeyen yankı sinyallerinin detaylı analizi yapılmıştır.

Tarımsal, ormanlık ve küçük yerleşim yerleri içeren bir SAR istenmeyen yankı görüntüsü Şekil 4.3’de görülmektedir. Görüntü, 1784 x 1476 piksel boyutundadır.

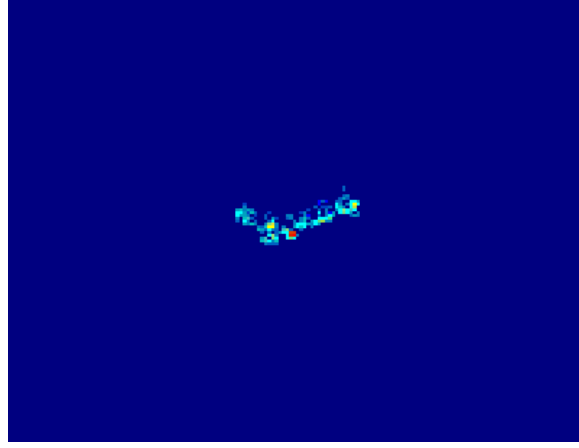
Homojen bitkisel arazi yapısına sahip olan seçili bölgenin, istenmeyen yankı verilerinin, hangi dağılıma en iyi uyduğunu belirlemek için muhtemel üç dağılımın (Log-normal, Weibull ve K) parametreleri verilerden kestirilmiş ve bu parametrelere sahip teoriksel üç dağılımın olasılık yoğunluk (pdf) ve birikimli dağılım (cdf) fonksiyonları, verilerin histogramı ve verilerden kestirilen deneysel birikimli dağılım fonksiyonları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.4’de görülmektedir. Homojen olan bitkisel tarım arazili seçili bölge için en iyi uyum edilen dağılım K dağılımıdır.



Şekil 4.3: SAR istenmeyen yankı görüntüsü.



Şekil 4.4: Seçili bölge için pdf ve cdf' ler : İstenmeyen yankı görüntüsü seçili bölge istenmeyen yankı verilerinin, yoğunluk histogramına ve deneysel birikimli dağılım fonksiyonuna uyum edilen dağılımların (a) pdf ve (b) cdf'leri.



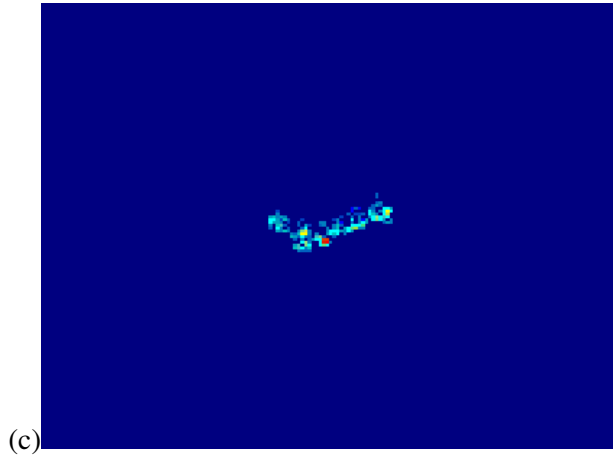
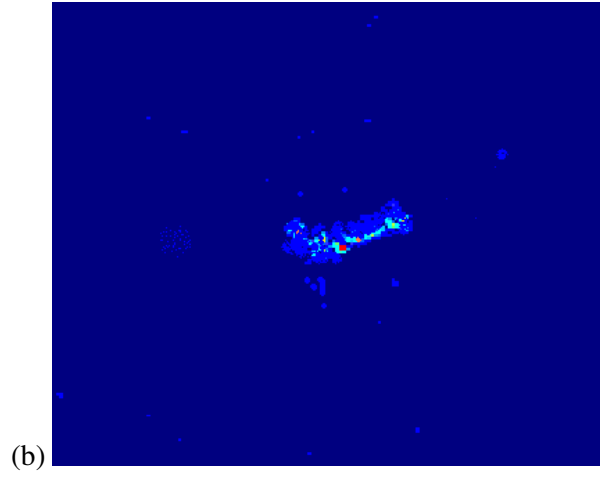
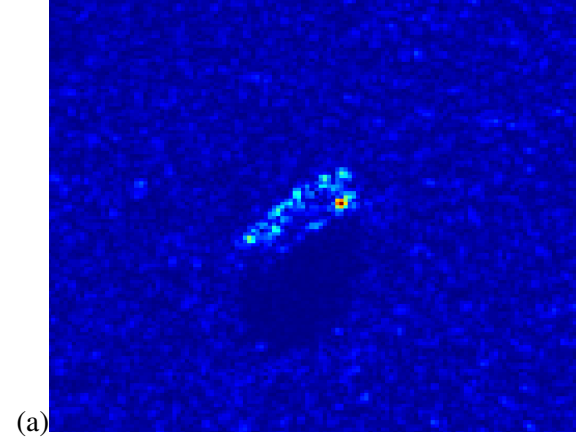
Şekil 4.5 : Yankı verilerinin K dağılımı ile adaptif CFAR algılayıcı çıkışı. ($P_{FA}=0.009$)

Şekil 4.5’ te coğrafik bitkisel arazide bulunan bir askeri hedefe istatistiksel modele dayalı metod uygulanmış ve bunun K dağılımı ile adaptif CFAR çıkışı görülmektedir.

K dağılımı çözünürlük hücresindeki istenmeyen yankı genliği, değışintisi gamma dağılımı ile yavaş uzamsal değışime sahip, hızlı Rayleigh dalgalanmalar gösterdiğinde oluşur.

$$p(x) = \frac{2}{a\Gamma(v+1)} \left(\frac{x}{2a}\right)^{v+1} K_v\left(\frac{x}{a}\right), \quad x > 0, v > -1$$

burada $\Gamma(\cdot)$ Gamma işlevi, $K_v(\cdot)$, v derecesinden ikinci türden değıştirilmiş Bessel fonksiyonu, v biçim, a ise ölçek parametresidir. $b=1$ değerli Weibull dağılımı, $v = \infty$ değerli K-dağılımına denk ve her iki dağılım da Rayleigh dağılımı ile özdeştir. Biçim parametresi, düşük değerleri daha sivri istenmeyen yankıyı modellemekle birlikte, istenmeyen yankının sivriliğini kontrol eder.



Şekil 4.6 : BMP-2 ana savaş tankı hedef görüntüsünün (a) Orijinal SAR görüntüsü, (b) direkt eşikleme (c) istatistiksel modelleme metotları ile istenmeyen yankıları giderme sonuçları.

Şekil 4.6’te orjinal görüntüye uygulanan metodların genel çıkışı görülmektedir. Orjinal hedef olarak BMP-2 savaş aracı seçilmiş, direk eşikleme ve istatistiksel metoda dayalı yöntemler bu hedefe uygulanmıştır.

Sonuç olarak direk eşikleme metodu hedefin özelliklerini korumada başarılı bir sonuç vermemiştir. Buna karşılık istatistiksel metoda dayalı yöntem daha başarılı olmuştur.

Hedef özniteliklerinden çok az kayıp verilmiştir ve bu da yanlış alarm olasılığı ile kontrol edilmiştir. Coğrafik bitkisel tarım arazili seçili bölge için en iyi uyum gösteren dağılımın K dağılımı olduğu görülmüştür. Arazinin coğrafik yapısına göre hangi dağılımın uyum göstereceği, rasgele saçılımlardan başka; radar çözünürlüğü, aydınlatma geometrisi, radar frekansı ve polarizasyonu gibi birçok etkene bağlıdır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan bu tez çalışmasında, gerçek hedefleri kapsayan MSTAR görüntüleri incelenmiş ve bu orjinal görüntülere istenmeyen yankıları giderme teknikleri uygulanarak bu tekniklerin performansları karşılaştırılmıştır.

İlk olarak orjinal görüntüye direkt eşikleme metodu uygulanmıştır. Bu metod istenmeyen yankıları giderme teknikleri arasında en basit olanıdır ve hedeften yansıyan sinyallerin, yankı sinyallerinin şiddetinden daha güçlü olduğu bilgisine dayanır. Orjinal hedefler içeren MSTAR görüntülerinde arazinin coğrafik yapısına göre, hedef sinyalleri bazen güçlü yansıma şiddetlerine sahiptir. Fakat genel itibariyle geri dönen sinyalleri incelediğimizde özellikle dağlık alanda veya çalılık ve ormanlık alanlardaki hedefler, düşük değerde yansıma şiddetlerine sahiptir. Bu durumda hedefin etrafından yansıyan istenmeyen sinyallerin şiddetleri daha fazladır. Direk eşikleme metodunu uyguladığımızda bu durumda belirlenmiş eşik değerinin üstündeki değerlerde, hedefin özelliklerinden kayıplar verilmektedir. Bunun sonucu olarak da hedefin tanınması sırasında problemler yaşanmaktadır. Direk eşikleme metodu daha önce de söz ettiğimiz gibi aşağıdaki eşikleme işlemcisi ile çalışmaktadır.

$$\rho_T(x) = \begin{cases} x, & \text{eğer } |x| > T \\ 0, & \text{eğer } |x| \leq T \end{cases}$$

$$x_i > T \quad \Leftrightarrow \quad \text{hedef}$$

Burada x_i test altındaki pikseldir. Bu durumda direk eşikleme metodunda karşılaştırma yapılan sinyal için T eşik değeri 0.138 olarak alınmıştır.

Yankıları yok etme metodlarından istatistiksel modelleme tekniği ile direkt eşikleme metoduna göre daha iyi sonuçlar alınmıştır. Bu metod ile hedefin özellikleri daha net olarak algılanmıştır. Hedef özneliklerinden çok az kayıp verilmiştir ve bu da yanlış alarm olasılığı ile kontrol edilmiştir. Bu metodun tek dezavantajı işlem yoğunluğudur. Coğrafik bitkisel tarım arazili seçili bölge için en iyi uyum gösteren dağılımın K dağılımı

olduğu görülmüştür. Arazinin coğrafik yapısına göre hangi dağılımın uyum göstereceği, rasgele saçılımlardan başka; radar çözünürlüğü, aydınlatma geometrisi, radar frekansı ve polarizasyonu gibi birçok etkene bağlıdır.

Daha önce 2.50 denkleminde söz ettiğimiz, Log-normal pdf ile modellenen X rasgele değişkeni şu şekilde ifade edilir;

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \frac{1}{x} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} (\ln x - \mu)^2\right), \quad x > 0$$

Daha önce 2.51 denkleminde söz ettiğimiz, Weibull pdf ile modellenen X rasgele değişkeni şu şekilde ifade edilir;

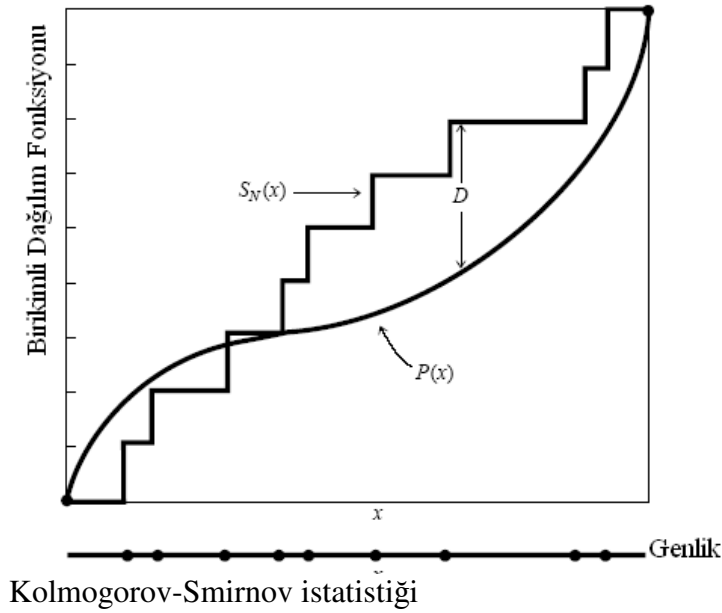
$$p(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right], \quad x > 0$$

Daha önce 2.52 denkleminde söz ettiğimiz, K pdf ile modellenen X rasgele değişkeni şu şekilde ifade edilir;

$$p(x) = \frac{2}{a\Gamma(v+1)} \left(\frac{x}{2a}\right)^{v+1} K_v\left(\frac{x}{a}\right), \quad x > 0, v > -1$$

Her bir dağılım için, verilerden dağılım parametreleri kestirilmiştir. Log-normal ve Weibull dağılımlarının parametreleri En Büyük Olabilirlik (ML) kestirim metodu ile K-dağılımının parametreleri ise moment-tabanlı metotlar ile kestirilmiştir.

Hangi dağılımın yankı sinyallerine uyum sağladığını bulmak için uyum testi yapılmıştır. Bunun için Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır. Log-normal, Weibull ve K dağılımları için kestirilen parametreler ile hesaplanan birikimli dağılım fonksiyonlarının uzaklıkları Kolmogorov-Smirnov testi ile ölçülmüştür. Aşağıdaki çizelgede karşılaştırma sonuçları görülmektedir.



Dağılımlar	Log-normal	Weibull	K-dağılımı
D uzaklığı	76.878	0.712	0.209

Çizelge: Test Sonuçları

Burada D uzaklığı minimum olan dağılım istenmeyen yankı sınıfı olarak belirlenir. D uzaklığı Kolmogorov-Smirnov istatistiği'nde belirtilen $S_N(x)$ ile $P(x)$ fonksiyonları arasındaki uzaklıktır. Burada en iyi uyumun K-dağılımı olduğu görülmektedir.

Çalışmada istatistiksel modellemeye dayalı metodun, direkt eşikleme metodundan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Graham, L.C., 1974, Synthetic interferometer radar for topographic mapping, Proc. IEEE, Vol. 62, pp. 763-768.
2. Runkle, P., Nguyen, L., McClellan, J. and Carin, L., 2001, Multi-aspect target detection for SAR imagery using hidden Markov models, IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, pp. 46-55.
3. Novak, L.M., Owirika, G.J. and Netishen, C.M., 1993, Performance of a high-resolution polarimetric SAR automatic target recognition system, Lincoln Laboratory Journal, Vol. 6, No. 1, pp. 11-24.
4. Pham, D.H., Ezekel, A., Campbell, M. T., Smith, M. J. T., 1999, A New End-to-End SAR ATR System, Proceedings of SPIE: Algorithms SAR Imagery VI, Vol. 3721, 292–301, Orlando, Florida.
5. Lin, I-I., Kwoh, L.K., Lin, Y.C. Khoo, V., 1997, Ship and ship wake detection in the ERS SAR imagery using computer-based algorithm, IEEE 1997 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'97), pp. 151–3.
6. Goodman, J.W., 1976, Some Fundamental Properties of Speckle, Journal of the Optical Society of America, 66(11): 1145–1150.
7. Davidson, G., Griffiths, H. D., Ablett, A., 2002, Statistical analysis of high resolution land clutter, Proceedings of International Conference on Radar 2002, 15-17 Oct 2002, Edinburgh, UK.
8. Annan, A. P., 1996, Transmission dispersion and GPR. The Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2, 125-136.
9. Annan, A. P., 2001, Ground Penetrating Radar Workshop Notes, Sensors and Software Inc., Mississauga, Ontario.
10. Von Hippel, A. R., 1954, Dielectric Materials and Applications, John Wiley and Sons.
11. Wiley, C.A., 1954, Pulsed Doppler Radar Method and Means, U.S.Patent, No.3196436.

12. Avdan, U., 2005, ERS-2 Verisi ile Eskişehir Yerleşim Bölgesinin Kentsel Gelişiminin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
13. Sarti, F., 2005, SAR Interferometry, Lecture at the ISPRS WG VI/5 Summer School, İTÜ, İstanbul.
14. Ouarzeddine, M., 2002, Generation of Digital Terrain Models Using Polarimetric SAR Interferometry, Master of Science in Geoinformatics, International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
15. Griffin, S., Pipet, T., 2002, Ground Penetrating Radar, Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration, 144, 80-89.
16. Daniels, D. J., Gunton, D. J., Scott, H. F., 1988, Introduction to Subsurface Radar, IEE PROC., Vol 135, pp 278-320.
17. Peters L. J., Daniels D. J., Young, J. D., 1994, Ground Penetrating Radar as a Subsurface Environmental Sensing Tool, PROC. IEEE, Vol 82, No 12, pp 1802-1822.
18. Last, W. M., Smol, P., 2001, Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Physical and Chemical Techniques. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
19. Ulriksen, C.P.F., 1982, Application of İmpulse Radar to Civil Engineering, Ph.D. Thesis, University Technology, Lund, Sweden.
20. Bristow, C.S., Jol, H.M., 2003, Ground Penetrating Radar in Sediments, Geological Society Special Publications, London, 211, 191-198.
21. Weeds, R. D., 1994, Geophysical Characterization of Sites. Rotterdam: AA. Balkema, p.69-79.
22. Lin, I-I., Khoo, V., 1997, Computer-based algorithm for ship detection from ERS-XSAR Imagery, In Proceedings of the 3rd ERS Scientific Symposium, Florence, Italy, 17-21 March.
23. Novak, L. M., Burl, M. C., Owirka, G. J., 1989, Texture Discrimination in Synthetic Aperture Radar Imagery, 23rd Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers, Pacific Cove, CA, 30 Oct.-1 Nov., pp. 399-404.
24. Goldstein, G. B., 1973, False Alarm Regulation in Log-normal and Weibull Clutter, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, AES-9(1): 84-92.

25. Finn, H.M., Johnson, R.S., 1968, Adaptive Detection Mode with Threshold Control as a Function of Spatially Sampled Clutter-Level Estimates, *RCA Review* 29(3): 414–464.
26. Rohling, H., 1983, Radar CFAR Thresholding in clutter and Multiple Target Situations, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, AES-19, 4 (July 1983), 608-621.
27. Luo, D., 1998, *Pattern Recognition and Image Processing*, Horwood Publishing Limited, Chichester, England, ISBN: 1898563527, 245 pp.
28. Fogler, R.J., Hostetler, L.D., Hush, D.R., 1994, SAR Clutter Suppression Using Probability Density Skewness, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics*, Vol. 30, No. 2, pp. 621-625.
29. Deng, H., Ling, H., 2000, Clutter Reduction for Synthetic Aperture Radar Imagery Based on Adaptive Wavelet Packet Transform, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 14.6: 855 – 856.
30. Kim, H., Liang, P., 1998, Target extraction from clutter images using wavelet packet analysis, *Radar Conference, 1998.RADARCON 98. Proceedings of the 1998 IEEE*, pp.195-200.
31. Chui, C. K., 1992, *An Introduction to Wavelets*”, Academic Press, NewYork, 280 pp.
32. Wickerhauser, M. V., 1994, *Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software*, A. K. Peters, Wellesley, Mass., 486 pp.
33. Deng, H., Ling, H., 1999, Fast solution of electromagnetic integral equations using adaptive wavelet packet transform, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 47, 674–682.
34. Skolnik, M. I., 2002, *Introduction to Radar Systems*, 3rd edition, McGraw-Hill, New York, ISBN: 0072881380, 672 pp.
35. Schleher, D. C., 1976, Radar Detection in Weibull Clutter, *IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems*, AES-12(6): 736–743.
36. Jakeman, E., Pusey, P. N., 1976, A Model for Non-Rayleigh Sea Echo, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, AP-24(6): 806–814.

37. Sekine, M., Ohtani, S., Musha, T., Irabu, T., Kiuchi, E., Hagsiawa, T. and Tomita, Y., 1981, Weibull Distributed Ground Clutter, *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-17: 596–598.
38. Sekine, M., Mao, Y., 1990, *Weibull Radar Clutter*, Institution of Electrical Engineers (IEE), ISBN: 0863411916, 190 pp
39. Irabu, T., Kiuchi, E., Hagsiawa, T., Tomita, Y., 1981, Weibull Distributed Ground Clutter, *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-17: 596–598.
40. Jao, J. K., 1984, Amplitude Distribution of Composite Terrain Radar Clutter and the K-distribution, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 32(10): 1049–1062.
41. Yueh, S. H., Kong, J. A., Jao, J. K., Shin, R. T., Novak, L. M., 1989, K-distribution and Polarimetric Terrain Radar Clutter, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 3: 747–768.
42. Oliver, C. J., 1988, Representation of Radar Sea Clutter, *IEE Proceedings, F, Radar and Signal Processing*, 135(6): 497–506.
43. Ward, K. D., 1989, Application of the K-distribution to radar clutter—A review, *Proc. Internat. Symp. on Noise and Clutter Rejection in Radars and Imaging Sensors*, pp. 15–21, IEICE.
44. Ward, K. D., Baker, C. J., Watts, S., 1990, Maritime Surveillance Radar Part 1: Radar Scattering from the Ocean Surface, *IEE Proceedings F, Radar and Signal Processing*, 137 (2): 51–62.
45. Long, M. W., 2001, *Radar Reflectivity of Land and Sea*, 3rd Edition, Artech House, ISBN: 1580531539, 560 pp.
46. Billingsley, J. B., 2002, *Low-Angle Land Clutter Measurements and Empirical Models*, SciTech Publishing, Incorporated, ISBN: 1891121162, 700 pp.
47. Harter, H. L., Moore, A. H., 1965, Point and interval estimators based on order statistics, for the scale parameter of a Weibull population with known shape parameter, *Technometrics*, Vol. 7, No. 3.
48. Harter, H. L., Moore, A. H., 1965, Maximum likelihood estimation of the parameters of Gamma and Weibull populations from complete and from censored samples, *Technometrics*, Vol. 7, No. 4.
49. Cohen, A. C., 1965, Maximum likelihood estimation in the Weibull distribution based on complete and on censored samples, *Technometrics*, Vol. 7, No. 4.

50. Joughin, I. R., Percival, D. B. Winebrenner, D. P., 1993, Maximum likelihood estimation of K distribution parameters for SAR data, IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 31, no. 5, pp 989-999.
51. Iskander, D. R., Zoubir, A. M., 1999, Estimation of the parameters of the K-distribution using higher order and fractional moments, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. 35, pp. 1453–1457.
52. Raghavan, R. S., 1991, A method for estimating parameters of K-distributed clutter, IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 27, no. 2, pp. 238-246.
53. Oliver, C. J., 1993, Optimum texture estimators for SAR clutter”, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 26, pp. 1824-1835.
54. Blacknell, D., 1994, Comparison of parameter estimators for K-distribution, IEE Proc Radar, Sonar and Navigation, Vol. 141, no. 1, pp. 45-52.
55. MSTAR SAR Data Set, Clutter and Targets, collected by Sandia National Lab, released by DARPA, MSTAR Data Collection.
56. MATLAB, ver.7.0.0

ÖZGEÇMİŞ

Tuncay EREN, 15 Eylül 1981 tarihinde Samsun ilinin Çarşamba ilçesinde dünyaya geldi. İlköğrenimini 1994 yılında Damlataş İlköğretim Okulu'nda tamamladıktan sonra 2000 yılında Çarşamba Dikbıyık Lisesi'nden mezun oldu. 1999-2000 Eğitim ve Öğretim yılında üniversite giriş sınavını kazanarak, aynı yıl Mersin Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2003-2004 Eğitim ve Öğretim yılı Haziran döneminde Mersin Üniversitesi'nden Elektrik Elektronik Mühendisi ünvanını alarak mezun oldu.

2005-2006 Eğitim ve Öğretim yılı güz döneminde İstanbul Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

Ocak/2005-Şubat/2007 döneminde Furuno-Özsay A.Ş.'de profesyonel iş hayatına başladı. Buradaki çalışma dönemi süresince birçok geminin haberleşme sistemlerinin projesinde, proje mühendisi olarak yer aldı. Şubat/2007'de Nortel-Netaş'ta uzman mühendis olarak VoIP sistemleri üzerine çalışmaya başladı ve halen bu kurumda çalışmaya devam etmektedir.