

176602

**YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (SAR) GÖRÜNTÜLERİNDE
İSTENMEYEN YANKILARIN GİDERİLMESİ**

ŞEVKET DEMİRCİ

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Caner ÖZDEMİR**

**MERSİN
Temmuz-2005**

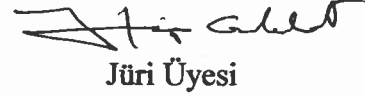
Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.



Tez Danışmanı
Doç. Dr. Caner ÖZDEMİR



Jüri Üyesi
Doç. Dr. Hanlar MEMEDOV



Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin CANBOLAT

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun 26/07/2005 tarih ve 2005-20 / 352 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar (SAR)) görüntüleri askeri gözetim uygulamalarında kullanılan en temel araçlardandır. SAR görüntülerindeki askeri hedeflerin, otomatik tanınması işleminde karşılaşılan önemli sorunlardan biri, hedef sinyalleri ile karışan istenmeyen yankı (clutter) sinyallerinin, hedef sinyallerinin yanında önemli bir enerjiye sahip olmasıdır.

Bu çalışmada, SAR görüntülerinde istenmeyen yankıları giderme teknikleri incelenmiş ve bu teknikler gerçek SAR verilerine uygulanmıştır. Sinyal modellemesi içermeyen, direkt eşikleme ve olasılık yoğunluk çarpıklığı kullanımı metotları ile adaptif dalgacık paket dönüşümüne (Adaptive Wavelet Packet Transform (AWPT)) ve istatistiksel modellemeye dayalı model tabanlı metotlar, SAR görüntülerinde denenmiş, performansları karşılaştırılmıştır. Gerçek SAR görüntüleri olarak MSTAR SAR veri kümesi kullanılmış ve hedef algılama için MSTAR hedef görüntülerine bu metotlar uygulanmıştır. Hedef özneliklerinin korunması ve istenmeyen yankıların giderilmesi performansı açısından, istatistiksel modellemeye dayalı metodun diğer metotlardan daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışma ile ayrıca istenmeyen yankıları modellemede en çok kullanılan olasılıksal dağılımların bir karşılaştırılması yapılmış ve Weibull ve K-dağılımların yüksek çözünürlüklü SAR yer istenmeyen yankıları için uygun modeller olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: SAR, istenmeyen yankı, CFAR, Weibull, K-dağılımı.

ABSTRACT

Synthetic Aperture Radar (SAR) images are one of the fundamental devices used in military reconnaissance. An important problem encountered in the process of automatic recognition of military targets in SAR images is that the clutter signals which interfere with target signals, have significant energy levels, beside target signals.

In this work, clutter cancellation techniques in SAR images were investigated and these techniques were applied to real SAR data. The methods that do not possess signal modelling, like direct thresholding and probability density skewness using and the model-based methods, like adaptive wavelet packet transform (AWPT) and statistical modelling based; were applied to SAR images and their performances were compared. As real SAR images, MSTAR SAR data set was used and these methods were applied to MSTAR target images for target detection. In terms of target features preserving and clutter cancellation performance, it was seen that the method based on statistical modelling gives better results than the other methods. Furthermore, by this work, a comparison of probabilistic models that are mostly used for modelling the clutter was done and it was seen that Weibull and K distributions are suitable models for high resolution SAR land clutter.

Key Words: SAR, clutter, CFAR, Weibull, K-distribution.

TEŐEKKŪR

Bu tezin hazırlanmasında emeği geen tez danıŐmanım Do. Dr. Caner ŐZDEMİR'e en iten teŐekkŪrlerimi sunarım.

Ayrıca bu tezin hazırlanmasında maddi ve manevi desteđini, en zor vakitlerimde anlayıŐ ve gŪler yŪzlerini esirgemeyen sevgili aileme, tŪm dostlarıma teŐekkŪrŪ bir bor bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. RADAR GÖRÜNTÜLEME VE YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (SAR)... 3	
2.1.1. Gerçek Açıklıklı Radar (Real Aperture Radar (RAR)) Görüntülemesi	3
2.1.2. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) Prensipleri	5
2.1.3. SAR Görüntüleme Tekniğinin Avantajları	8
2.1.4. İlgili SAR Terminolojisi	8
2.1.5. İstenmeyen Yankı (Clutter) Tanımı	10
2.1.6. SAR Görüntülemenin Otomatik Hedef Algılama ve Tanımada (OHA/T) Kullanımı	10
2.2. ALGILAMA STRATEJİLERİ	11
2.2.1. Global Eşikleme Algoritmaları	11
2.2.2. Adaptif Eşikleme Algoritmaları	12
2.3. İSTENMEYEN YANKILARIN MODELLENMESİ VE GİDERİLMESİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	16
2.3.1. Direkt Eşikleme	16
2.3.2. Olasılık Yoğunluk Çarpıklığı Kullanımı	16
2.3.2.1. Çarpıklık ölçevleri	16
2.3.3. Adaptif Dalgacık Paket Dönüşümü (AWPT) Kullanımı	18
2.3.3.1. Sinyal gösteriminde dalgacık paket temelleri	18
2.3.4. İstatistiksel Model Kullanımı	21
2.3.4.1. SAR istenmeyen yankıların olasılıksal modelleri	21
2.3.4.2. Parametre kestirimi	25
2.3.4.3. İstenmeyen yankı sınıfı belirlenmesi	28

3. MATERYAL VE METOT	29
3.1. KULLANILAN MATERYALLER.....	29
3.1.1. MSTAR Veri Kümesi.....	29
3.1.1.1. MSTAR veri diskleri içerikleri.....	30
3.1.1.2. MSTAR dosya biçimi.....	31
3.1.2. Kullanılan Yazılım.....	31
3.2. KULLANILAN METOTLAR.....	32
3.2.1. Direkt Eşikleme ile Giderme.....	32
3.2.2. Olasılık Yoğunluk Çarpıklığını Kullanarak Giderme.....	33
3.2.3. Adaptif Dalgacık Paket Dönüşümüne (AWPT) Dayalı Giderme....	34
3.2.3.1. SAR istatistiksel sinyal modeli.....	34
3.2.3.2. Sinyal-istenmeyen yankı oranının maksimizasyonu için en iyi dalgacık paket temelleri.....	35
3.2.3.3. Adaptif dalgacık paket dönüşümünün gerçekleştirimi.....	37
3.2.3.4. Dönüşüm bölgesinde ölçek bağımlı eşikleme.....	39
3.2.4. İstatistiksel Modele Dayalı Giderme.....	40
3.2.4.1. Genlik dağılımının modellenmesi.....	40
3.2.4.2. İstenmeyen yankı dağılımının yüksek dereceden istatistikler kombinasyonu (HOSC) ile tanınması.....	45
3.2.4.3. Uyum derecesi testi.....	46
3.2.4.4. Sabit yanlış alarm oranı (CFAR) algılama.....	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. ORJİNAL SAR HEDEF GÖRÜNTÜSÜ.....	49
4.2. DİREKT EŞİKLEME.....	49
4.3. ÇARPIKLIK ÖLÇEVİNE DAYALI GİDERME.....	51
4.4. ADAPTİF DALGACIK PAKET ANALİZİNE DAYALI GİDERME....	52
4.5. İSTATİSTİKSEL MODELE DAYALI GİDERME.....	54
4.5.1. İstenmeyen Yankı Görüntülerinin Analizi.....	54
4.5.1.1. K-dağılımı parametre kestirimi doğruluğu.....	58
4.5.2. Hedef Görüntülerinin Arkaplan İstenmeyen Yankı Verilerinin Analizi.....	59
4.5.2.1. Yüksek-dereceden istatistikler ile tanıma.....	59
4.5.2.2. Kolmogorov-Smirnov uyum derecesi testi.....	59
4.5.2.3. Sabit yanlış alarm oranı (CFAR) algılama.....	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

SAYFA

Çizelge 3.1. Tipik radar istenmeyen yankı dağılımlarının pdf, cdf ve momentleri.....	41
Çizelge 4.1. Üç dağılımın, yüksek dereceden momentleri içeren özellik vektörünün, istenmeyen yankı örnek verilerin özellik vektörüne olan vektörel uzaklıkları.....	61
Çizelge 4.2. Üç dağılımın Kolmogorov-Smirnov testi sonuçları.....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum.....	3
Şekil 2.2. SLAR görüntüleme geometrisi.....	4
Şekil 2.3. Görüntüleme için uygun mikrodalga frekans bantları.....	5
Şekil 2.4. SAR görüntü toplama mekanizması.....	7
Şekil 2.5. Otomatik Hedef Algılama/Tanıma (OHA/T) işlem akış diyagramı.....	10
Şekil 2.6. Adaptif eşikleme algılayıcısı için tipik pencere kurgusu.....	13
Şekil 2.7. Üçüncü momenti (çarpıklık), Normal (Gaussian) dağılımdan oldukça farklı olan bir dağılım.....	18
Şekil 3.1. [-1,1] aralığına düzgülenmiş giriş verili katı-eşikleme fonksiyonu.....	32
Şekil 3.2. Dördün ağaç ayrışım yapısı.....	38
Şekil 3.3. Dalgacık paket analizine dayalı istenmeyen yankı giderim şeması.....	40
Şekil 3.4. Kolmogorov-Simironov istatistiği D.....	47
Şekil 4.1. Orijinal SAR görüntüsü.....	49
Şekil 4.2. Arkaplan istenmeyen yankı sinyallerinin histogramı.....	50
Şekil 4.3. Direkt eşikleme sonucu.....	50
Şekil 4.4. Çarpıklık ölçevine dayanan algoritma sonucu.....	51
Şekil 4.5. En iyi dalgacık paket temellerine ayrıştırılmış görüntü.....	53
Şekil 4.6. Dönüşüm bölgesinde ölçek bağımlı eşikleme sonucu.....	53
Şekil 4.7. Eşikleme sonrası uzamsal bölgede tekrar oluşturulmuş görüntü.....	54
Şekil 4.8. SAR istenmeyen yankı görüntüsü.....	55
Şekil 4.9. İstenmeyen yankı görüntüsü birinci bölge istenmeyen yankı verilerinin, yoğunluk histogramına ve deneysel birikimli dağılım fonksiyonuna uyum edilen dağılımların (a)pdf, (b)cdf'leri.....	56
Şekil 4.10. İstenmeyen yankı görüntüsü ikinci bölge istenmeyen yankı verilerinin, yoğunluk histogramına ve deneysel birikimli dağılım fonksiyonuna uyum edilen dağılımların (a)pdf, (b)cdf'leri.....	57
Şekil 4.11. K-dağılımı parametre kestirimi metotlarının verilere uyum performansı.....	58
Şekil 4.12. Hedef görüntülerinin arkaplan istenmeyen yankı verilerinin yoğunluk histogramına ve deneysel birikimli dağılım fonksiyonuna uyum edilen dağılımların (a) pdf ve (b) cdf'leri.....	60

Şekil 4.13. İstenmeyen yankı verilerinin Weibull modeli ile adaptif CFAR algılayıcı çıkışı. ($P_{FA}=0.01$).....	62
Şekil 4.14. T62 ana savaş tankı hedef görüntüsünün (a) Orijinal SAR görüntüsü, (b) direkt eşikleme (c) dağılım çarpıklığı ile istenmeyen yankıları giderme sonuçları.....	63
Şekil 4.15. T62 ana savaş tankı hedef görüntüsünün (a) dalgacık paket analizi (b) istatistiksel modelleme metotları ile istenmeyen yankıları giderme sonuçları.....	64

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

λ	: Dalgaboyu	(M)
L	: Anten boyu	(M)
θ	: Düzlem açısı	(rad)
c	: Işık hızı	(MS ⁻¹)
BW	: Bant genişliği	(Hz)
f	: Frekans	(Hz)
w	: Açısal frekans	(radS ⁻¹)
RAR	: Gerçek açıklıklı radar	
SAR	: Yapay açıklıklı radar	
SLAR	: Yana bakan hava radarı	
OHA/T	: Otomatik hedef tanıma ve algılama	
P_{FA}	: Yanlış alarm olasılığı	
SCR	: Sinyalin istenmeyen yankıya oranı	
CFAR	: Sabit yanlış alarm oranı	
CA-CFAR	: Hücre ortalamalı-sabit yanlış alarm oranı	
ML	: En büyük olabilirlik	
MOM	: Momentler Metodu	
KS-test	: Kolmogorov-Smirnov testi	
pdf	: Olasılık yoğunluk fonksiyonu	
cdf	: Birikimli yoğunluk fonksiyonu	
$E[.]$: Beklenen değer	
$< >$: İstatistiksel ortalama	
μ	: Ortalama değer	
σ	: Standart sapma değeri	
c	: Weibull dağılımı biçim parametresi	
b	: Weibull dağılımı ölçek parametresi	
v	: K-dağılımı biçim parametresi	
a	: K-dağılımı ölçek parametresi	

$\Gamma(\cdot)$: Gamma işlevi
$\Psi(\cdot)$: Digamma fonksiyonu
$K_\nu(\cdot)$: ν derecesinden ikinci türden değiştirilmiş Bessel fonksiyonu
m_r	: r 'inci dereceden moment
α_3	: Çarpıklık katsayısı
s_{k_2}	: Pearson'un çarpıklığın ikinci katsayısı
T	: Eşik değeri
M_K	: K-dereceden orijin momentleri
V_K	: K-dereceden merkez momentleri
C_K	: K-dereceden logaritmik momentler
$\varphi_{j,k}^n$: 1-D dalgacık temel fonksiyonu
$U_{p,q}^j$: 2-D dalgacık temel fonksiyonu
$s(m,n)$: Uzamsal bölgedeki SAR görüntüsü
ξ	: Dalgacık paket dönüşümü katsayıları
δ	: Dirac fonksiyonu

GİRİŞ

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR), yüksek-çözünürlüklü yer görüntülerini çok çeşitli görüntüleme şartları altında alabilen bir görüntüleme algılayıcısıdır. SAR görüntüleri, uzaktan algılama ve askeri hedef algılama ve gözetim uygulamalarında yaygın biçimde kullanılır [1-13].

SAR görüntülemenin önemli uygulamalarından biri Otomatik Hedef Algılama/Tanıma (OHA/T) alanındadır [8-13]. Bu uygulamalarında karşılaşılan temel problemlerden biri, yapay açıklıklı radar (SAR) görüntülerinde, askeri gözetim uygulamaları açısından, hedef harici tüm sinyaller olarak tanımlanan istenmeyen yankılar (clutter) ortamındaki askeri hedeflerin algılanmasıdır. İstenmeyen yankı sinyalleri asıl hedef özellikleri ile karıştırdığından dolayı OHA/T işleminden önce giderilmelidir.

İstatistiksel ve kompleks bir yapıya sahip olan istenmeyen yankıların, SAR görüntülerinden giderilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. İstenmeyen yankıların karakteristiklerini belirlemek için birçok deneysel ölçümler yapılmıştır. Deneysel verilerden elde edilen bilgiler ile istenmeyen yankı sinyallerinin hedef sinyallerinden ayırt edici öznelikleri saptanmış ve istenmeyen yankıları gidermek teknikleri geliştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile, yer bilgisi olmadan genel olarak kabul edilen istenmeyen yankı modelinin olmayacağı anlaşılmıştır. Bu tecrübesel kanıt altında, istenmeyen yankıları gidermede başarılı yaklaşım, deneysel ve görüntülenen alan-spesifik olması gerektiği görülmüştür.

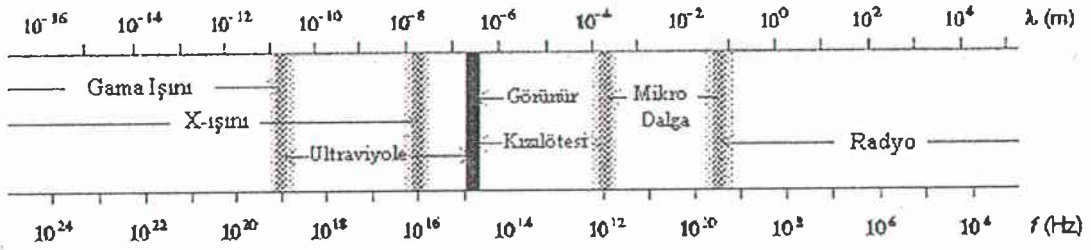
İstenmeyen yankıları gidermede en basit teknik, belirli bir piksel değerinin üstündeki değerleri hedef olarak kabul eden direkt eşikleme metodudur [24-27]. Ancak daha etkin ve kabul edilebilir metotlara gereksinim duyulduğundan, SAR istenmeyen yankıları giderme teknikleri çoğunlukla istenmeyen yankıların istatistiksel modellenmesine dayanır [37-51]. İstenmeyen yankı sinyalleri ile hedef sinyalleri arasındaki ayırt edici istatistiksel farklılığı kullanan olasılık yoğunluk fonksiyon çarpıklığına dayalı giderme metodu (clutter cancellation using probability density skewness) [31] ile ilinti farklılığını kullanan dalgacık analizine dayalı giderme metotları da (clutter cancellation based on adaptive wavelet packet transform) [32,33] önerilmiştir.

Bu çalışmada istenmeyen yankı sinyallerinin giderilmesinde kullanılan bu metotlar MSTAR gerçek SAR görüntülerine hedef algılama için uygulanmış ve metotların performansları karşılaştırılmıştır. İstenmeyen yankıları giderirken hedef özelliklerini korumada en iyi sonucu istatistiksel modele dayalı olan önerdiğimiz metot vermiştir. Hedefler etkili bir şekilde istenmeyen yankılardan ayırt edilmişlerdir. Bu çalışma ile ayrıca MSTAR SAR istenmeyen yankı verilerinin analizi yapılmış ve literatürde yüksek çözünürlüklü istenmeyen yankıların modellenmesinde en çok kullanılan Weibull ve K-dağılımların deneysel verilere uygun modeller olduğu görülmüştür.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. RADAR GÖRÜNTÜLEME VE YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (SAR)

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 algılayıcıdır. Mikrodalgalar, Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi elektromanyetik spektrumun yaklaşık olarak 1-1000 GHz bölgesindeki elektromanyetik dalgalarıdır.



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum.

2.1.1. 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 kısıtlıdır. 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 2.2.'de görüldüğü gibi, boylamasına eksenini 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. Menzil, uçağın uçuş yönüne dik olan yöndür ve menzil yönündeki çözünürlük, iletilen radar darbesinin frekans bant genişliği artırılarak iyileştirilebilir. Çapraz-menzil (azimut) ise uçağın uçuş yönüne

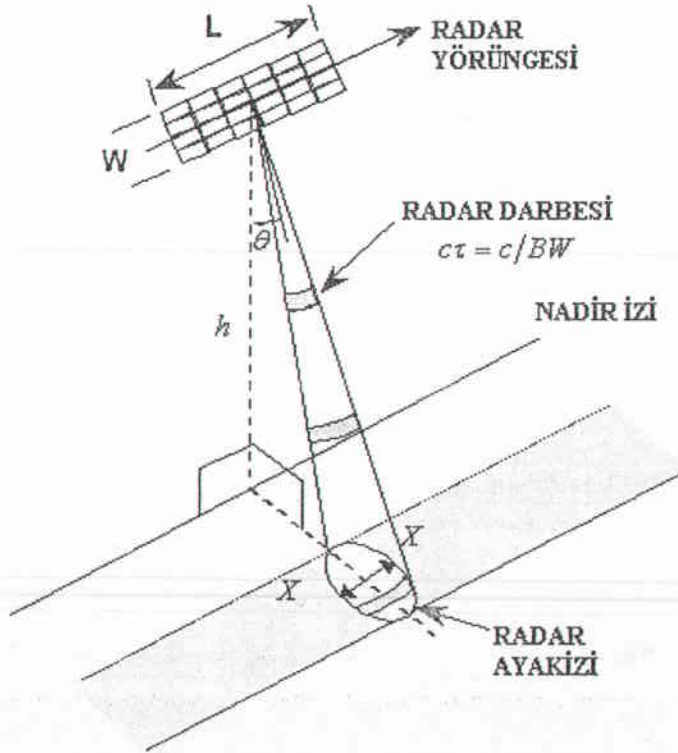
paralel olan yöndür. Çapraz-menzil yönündeki radar ışının açısai yayılımı, λ iletilen ışının dalga boyu ve L radar anteninin çapraz-menzil yönündeki boyu olmak üzere $\theta = \lambda/L$ 'dır. Bu açısai yayılım, açıklık boyu arttıkça azalır. c ışık hızı, BW iletilen dalganın bant genişliği, h radarın yere dik yüksekliği ve çapraz-menzil yönündeki açısai yayılım olmak üzere, menzil ve çapraz-menzil çözünürlükleri řu şekilde ifade edilir;

Menzil çözünürlüğü :

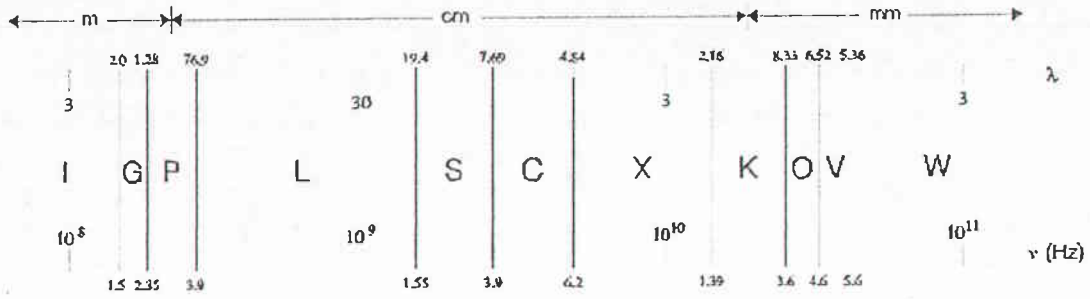
$$X_r = \frac{c\tau}{2 \sin \theta} = \frac{c}{2BW \sin \theta} \quad (2.1)$$

Çapraz-menzil çözünürlüğü :

$$X_a = \frac{h\lambda}{L \cos \theta} \quad (2.2)$$



Şekil 2.2. SLAR görüntüleme geometrisi.



Şekil 2.3. Görüntüleme için uygun mikrodalga frekans bantları.

Mikrodalgaların atmosfer ve yer ile etkileşme biçiminden dolayı, yalnız birkaç frekans bandı görüntüleme için uygundur. Bunlar Şekil 2.3.'de 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 algılayıcısının 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 [14].

2.1.2. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) Prensipleri

Yapay Açıklıklı Radar (SAR), yüksek-çözünürlüklü yer görüntülerini çok çeşitli görüntüleme şartları altında alabilen bir görüntüleme algılayıcısıdır. SAR görüntüleri, uzaktan algılama ve askeri hedef algılama ve gözetim uygulamalarında yer alırlar [1-13].

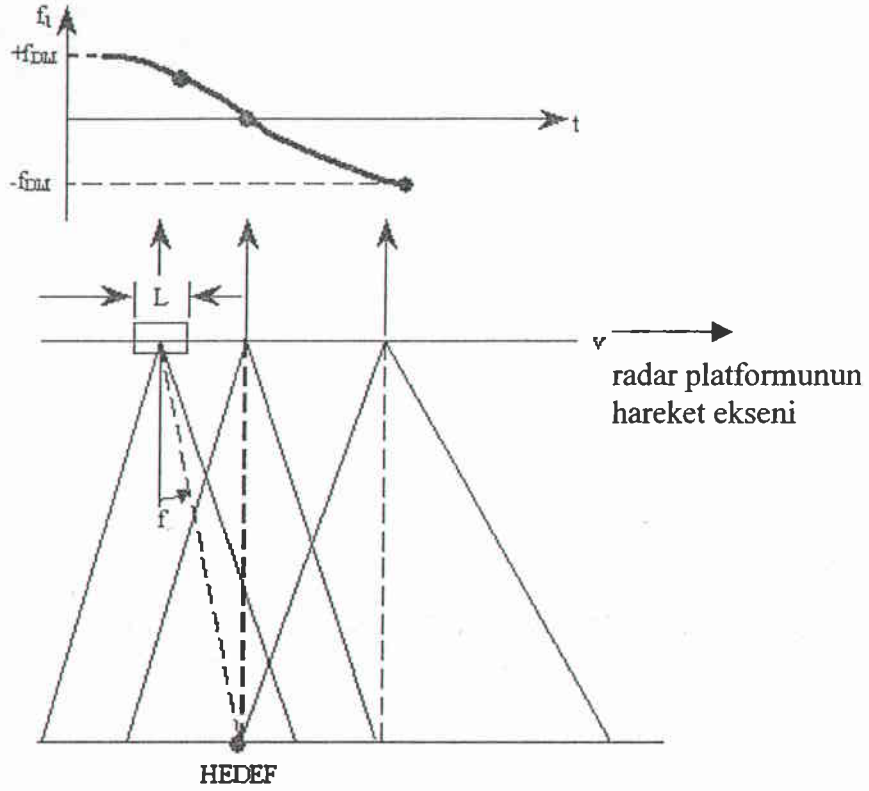
Yapay açıklıklı radar (SAR), yana bakan hava tabanlı radarın (Side-looking Airborne Radar-SLAR) gelişmişidir. Radar, sabit hız ve yükseklikte hareket eden bir hava veya uzay platformunda taşınır. Radar platformu hareket ettikçe, bir veya birkaç aşağı doğru yönlü antenler, genellikle uçuş yönüne dik olarak elektromanyetik enerji yayarlar. Yerdeki nesnelere veya öznelitlikler bu elektromanyetik enerjinin bir kısmını

SAR platformu üzerindeki bir veya birkaç alıcı antenlere geri yansıtırlar. İleri yöndeki hareket, yol boyunca (çapraz-menziel) yöndeki taramayı sağlar. Işın, menziel yönünde genişletir ve bu yüzden Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi, uzun eksen karşı-yol (menziel) yönünde olacak şekilde yüzeyi oval biçimde keser.

Radyo frekansı tabanlı tek sabit-antenli SLAR sistemin ana kısıtlaması, dalga boyu ve açıklığın büyüklüğü ile belirlenen uzamsal çözünürlüktür. Anten uzunluğu, radar sinyallerini toplayacağı alanı kısmi olarak belirler; bu yüzden antenin uzunluğu onun açıklığı olarak kabul edilebilir. Büyük bir anten ile, görüntülenen özel bir nesne hakkında, nesnenin daha iyi (geliştirilmiş çözünürlük) görüntüsünü oluşturmayı sağlayacak şekilde daha fazla bilgi toplanabilir. Çözünürlük görüntüleri oluşturmaya yetecek değere yükseldiğinde, anten, uçak veya uydu ile taşınmaya göre çok büyük hale gelir. İyi çözünürlük elde etmenin bir yolu, açıklığın veya anten boyutunun teknik veya fiziksel kısıtlamalarının üstesinden gelmek için radarı SAR modunda kullanmaktır.

SAR ile çok daha büyük bir anten uzunluğunu, radar platformunun hareketini dijital sinyal işleme ile kullanarak, daha büyük, yapay açıklığın etkisini verecek şekilde benzetim yapmak mümkündür. Eğer radar hareket eden platform üzerine yerleştirilirse, çok uzun bir anteni sentezlemek için, uçuş yönü boyunca yansıtılan sinyalleri birleştirmek mümkündür. Yapay açıklık, hedef ışın ile aydınlatılırken, platformun kat ettiği mesafedir.

Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi platformun ileri hareketi, dönen yankıların frekansında Doppler kaymasına yol açar. Radar hedefe göre hareket ettiğinden dolayı, dönen sinyalin frekansında, iletilen frekansa göre kayma olacaktır. Hareket yönünde radara göre ileri durumda olan hedefler pozitif, radara göre geri durumda olanlar negatif Doppler kaymalara sahip olurlar. Bu yüzden, eğer alıcı, dönen sinyalin frekansı ile birlikte zamanını da ayırt edebilirse, ve platformun hızı tam olarak bilinirse, platform ileri yönde hareket ederken özel bir hedef hakkında, birçok bakış açılarından bilgi toplamak mümkün olacaktır.



Şekil 2.4. SAR görüntü toplama mekanizması.

Menzil çözünürlüğü :

$$X_r = \frac{c}{2BW \sin \theta} \quad (2.3)$$

Karşı-menzil çözünürlüğü :

$$X_a = \frac{v}{2f_{DM}} = \frac{L}{2} \quad (2.4)$$

SAR görüntüleme hem menzil hem de karşı-menzil çözünürlükleri hedefe olan mesafeden bağımsız hale gelirler. Ayrıntılı çıkarım SAR hakkındaki kitaplardan elde edilebilir [15-18]. Halihazırdaki uzay-tabanlı radarlar, genellikle her bir pikselin onlarca metre karelik bir alanı gösterdiği, düşük çözünürlüklü görüntüler oluştururlar. Hava-tabanlı sistemler daha yüksek çözünürlüklü (bir foot kare veya daha düşük) veriler üretebilirler.

2.1.3. SAR Görüntüleme Tekniğinin Avantajları

SAR, elektro-optik (EO) ve kızılötesi kameralar gibi diğer hava görüntüleme algılayıcılarına göre avantajlara sahiptir. EO kameraları gece görüntülemesi sağlayamazlar ve bulut örtüsü, duman veya sise nüfuz edemezler. Kızılötesi algılayıcılar, gece görüntüleme yapabilirler fakat bulut örtüsü veya dumana nüfuz edemezler. SAR sistemi kendi elektromanyetik enerjisini yaydığından dolayı, çevre aydınlanmasından bağımsız olarak çalışırlar. Ayrıca, eğer uygun frekansta çalışmak üzere tasarlanırsa, değişik hava şartları ve atmosferik kirlenici maddeler altında da görüntüleme yapabilir. Ayrıca SAR, bitkiler ile gizlenen nesnelere ve özel durumlarda yer altındaki özniteliklerin görüntülenmesi için de tasarlanabilir [6,12]. Bundan başka, SAR görüntü oluşturmanın eşzamanlı algılama mekanizması, arazi yükseklik çıkarımı için karışimsal (interferometric) tekniklerin kullanımını kolaylaştırır. Ancak, SAR sistemlerinin benzersiz algılayıcı geometri ve veri toplama mekanizması [20], geleneksel hava görüntüleri için kullanılanlardan çok farklı olarak komplike görüntü analiz algoritmalarına ihtiyaç duyar.

2.1.4. İlgili SAR Terminolojisi

Bu bölümde, daha çok veri formatları, kargaşa (speckle) ve radar polarimetri konularına yoğunlaşarak SAR görüntüleme ile ilgili bazı kavramlara değineceğiz. Algılayıcı geometrisi, görüntü oluşturma ve SAR olaybilimi ile ilgili daha ayrıntılı bilgiler, SAR hakkındaki birçok kaynaklarda bulunabilir [15-23].

SAR verileri, farklı bilgi içeriklerini içerecek şekilde birçok farklı formatlarda toplanırlar. Her bir görüntü pikselindeki sinyal, kompleks bir nicelik veya bir gerçek genlik (veya şiddet) verisi olabilir. Modern SAR sistemleri genellikle, saçılan alanın hem şiddetindeki hem de evresindeki uzamsal ve zamansal değişimleri ölçebilme yeteneği olarak tanımlanan evre uyumludur (eşzamanlı); ve her bir pikselde kompleks bir sinyali oluşturacak şekilde geri saçılan enerjinin, hem genlik hem de fazını kaydederler. Ancak, bazı durumlarda, kullanıcılar sadece bu kompleks sinyalden çıkarılan genlik veya şiddet verisine sahip olabilir.

Bütün SAR görüntüleri, donanıma veya diğer kaynaklardan oluşan yansımalara veya kargaşa olarak bilinen olgudan dolayı, içyapısal olarak gürültü içerirler. Kargaşa, görüntüde kendisini göze çarpan parlak veya koyu rasgele yerleşimli pikseller olarak gösterir. Bu, SAR görüntüsünün Doppler çözünürlüğünü sağlayan radar, yani evre uyumlu radar kullanılarak oluşturulması gereksiniminden kaynaklanır. Doğal yüzeylerin çoğunluğu, santimetre derecelerindeki tipik radar çalışma dalga boylarında pürüzlüdür. Görüntülenen nesne veya öznelikteki her bir çözünürlük elemanı, eşzamanlı elektromanyetik ışınım altında, dağınık saçılım oluşturan çok fazla sayıda bağımsız saçılım merkezlerinden oluşur. Alıcı antende bu saçılan bileşenlerin eşzamanlı toplanması, yapıcı ve bozucu girişimlere yol açar ve bu da SAR görüntülerinde kargaşayı oluşturur. Görüntülenen nesnelerin dielektrik özellikleri hakkındaki eksik bilgi ve görüntülenen yüzeylerin mikro-yapısı, kargaşalı görüntülerin istatistiksel tanımlanmalarını gerektirir. Kargaşa olgusunun kapsamlı bir incelenmesi Dainty'nin kitabından elde edilebilir [16].

Veriler, tek veya çoklu polarizasyondan oluşabilir ve kargaşayı azaltmak için çoklu-bakış işleminden geçirilmiş olabilir. Çoklu-bakış işlemi, kargaşayı azaltmak için, bağımsız görüntülerin eşzamanlı olmayan toplanmasını içerir ve sinyal çözünürlüğünde azalmaya ve veri istatistiklerinin değişmesine yol açar.

Elektromanyetik dalganın polarizasyon durumu, uzayda yayılması boyunca, elektrik alan vektörünün nominal referans düzlemine göreceli hareketini ifade eder. Birçok doğal ve insan-yapımı nesnelere gelen ışınımın polarizasyon durumunu değiştirme eğilimindedir. Geleneksel radarlar, tek polarizasyonlu elektromanyetik sinyali yaymak ve almak için tek anten kullanırlar. Tam polarize olmuş veya polarimetrik SAR her biri, ortogonal olarak polarize olmuş iki sinyalden birini yayabilen ve alabilen iki antene sahiptir. Mesela, bir polarimetrik radar hem yatay olarak (H) hem de dikey olarak polarize olmuş sinyalleri yayabilir (iletebilir) ve iki eş-polarize olmuş (HH ve VV) ve iki karşı-polarize olmuş (HV ve VH) dönüş sinyallerini ölçebilir. Polarimetrik radarlar görüntülenen özneliklerin, polarizasyon özelliklerini içererek daha zengin ifadelerini oluştururlar.

2.1.5. İstenmeyen Yankı (Clutter) Tanımı

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.

2.1.6. 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 2.5.'de görüldüğü gibi 5 aşamadan oluşur. Bunlar algılama, ayırma, sınıflandırma, tanıma ve belirlemedir.



Şekil 2.5. 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 T-72 tankını otomatik olarak tanımak olarak tanımlanır. En son aşama olan hedef belirleme, hedefi tam doğrulukla ve bütün özellikleriyle (mesela seri numarası) belirleme anlamına gelir.

2.2. ALGILAMA STRATEJİLERİ

Yüksek-çözünürlüklü SAR görüntülerindeki güçlü gerisaçılım, 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 stratejilerini inceleyeceğiz.

2.2.1. Global Eşikleme Algoritmaları

Eğer sinyal şiddet değişkenliğine katkıda bulunan tek faktör, ısıl (termal) gürültü ise, istenmeyen yankıları gidermede ve parlak pikselleri algılamada geleneksel yöntem, global bir eşik belirlemek ve bunu SAR görüntüsüne direkt olarak uygulamaktır [24-27]. Ancak bu yaklaşım hedef sinyalinin istenmeyen yankı

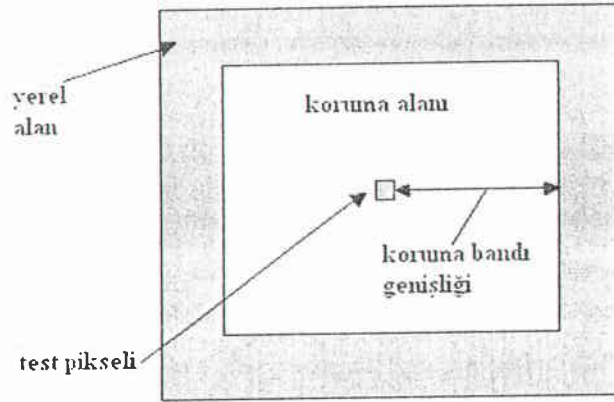
sinyaline oranının (SCR), hedef görüntüsünden çok az özellik gidecek şekilde büyük olduğu varsayımına dayanır. Bu varsayım doğru olmadığında ya hedef özellik kaybı ya da büyük istenmeyen yankı sinyalleri oluşur. Gerçekte, hedefler ortalama gücü uzamsal olarak değişen arkaplan istenmeyen yankılar ile tümleşiktir

2.2.2. 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 2.6.'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 arkaplan istatistikleri arasındaki tam bağıntı, hangi adaptif eşikleme algoritmasının incelendiğine bağlıdır.



Şekil 2.6. 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 algılamının 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 arkaplan örneklerini kullanmak daha makuldür.

Arkaplan 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 :

$$P_{FA} = 1 - \int_{-\infty}^T f(x)dx = \int_T^{\infty} f(x)dx \quad (2.5)$$

Böylece, CFAR algılayıcı tasarlamak, belirtilen P_{FA} ve $f(x)$ pdf'si kestirilen parametreleri cinsinden (2.5) denklemini T eşiği için çözmektir. Bu problemin analitik çözümü her zaman olmayabilir ve sayısal yöntemler gerekebilir. CFAR algılayıcısı, x_i test altındaki piksel olarak;

$$x_i > T \Leftrightarrow hedef \quad (2.6)$$

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

$$\int_{x_i}^{\infty} f(x)dx < P_{FA} \Leftrightarrow hedef \quad (2.7)$$

Her iki yaklaşımda da $\int_{x_i}^{\infty} f(x)dx$ veya eşdeğer olarak $\int_{-\infty}^{x_i} f(x)dx$ 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;

$$x_i > \mu_b + \sigma_b t \Leftrightarrow hedef \quad (2.8)$$

formundaki algılayıcıyı oluşturur. Burada x_i 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 [28], bu testi SAR için uygulamış ve iki parametrelili CFAR algılayıcı olarak adlandırmıştır. İstenilen P_{FA} değeri verildiğinde, buna karşılık gelen algılayıcı tasarım parametresi t , (2.5)'den sayısal olarak çözümlenmelidir. Goldstein [39],

(2.8)'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;

$$x_i > \mu_b t \Leftrightarrow \text{hedef} \quad (2.9)$$

Referans istenmeyen yankı piksellerinden adaptif eşiği elde etmedeki değişik metodlar, farklı CFAR algılayıcılarını oluşturur. Finn ve Johnson [29], *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 adayı 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 [30].

2.3. İSTENMEYEN YANKILARIN MODELLENMESİ VE GİDERİLMESİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

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

2.3.1. Direkt Eşikleme

İstenmeyen yankıları gidermede en basit teknik, belirli bir piksel değerinin üstündeki değerleri hedef olarak kabul eden direkt eşikleme metodudur [24,25]. En ilkel olan bu metot diğer metotlara referans teşkil eder. Bu yaklaşım, Lin ve diğerleri [26,27] tarafından SAR görüntülerinde gemi algılanması için kullanılmıştır.

2.3.2. Olasılık Yoğunluk Çarpıklığı Kullanımı

Bu metot istenmeyen yankı sinyalleri ile hedef sinyalleri arasındaki ayırt edici bir istatistiksel farklılığı kullanmaya dayanır. Fogler [31], 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.

2.3.2.1. Çarpıklık ölçevleri

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 ölçevler 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;

$$\alpha_3 = \frac{m_3}{(m_2)^{3/2}} \quad (2.10)$$

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

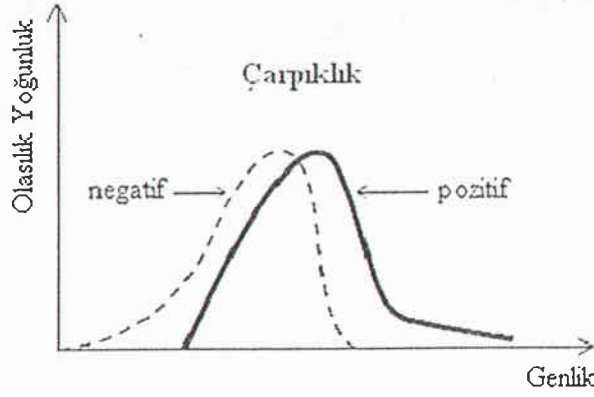
$$m_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^r \quad (2.11)$$

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

$$s_{k_2} = \frac{3(\bar{X} - M_d)}{\bar{\sigma}} \quad (2.12)$$

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 (2.10) ve (2.12)'ün kareleri olarak tanımlanır. İstenmeyen yankı giderilmesinde, uygun ölçeklendirme ile bu çarpıklık ölçevlerinin herhangi biri kullanılabilir.

Normal dağılımının çarpıklığı sıfırdır ve herhangi bir simetrik veri sifira 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 2.7.'de çarpıklığı Normal dağılımdan farklı olan bir dağılım görülmektedir.



Şekil 2.7. 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.

2.3.3. Adaptif Dalgacık Paket Dönüşümü (AWPT) Kullanımı

Son yıllarda sinyal işleme alanında oldukça popüler olan dalgacık analizi, hedeflerin istenmeyen yankı görüntülerinden algılanması için de uygulanmışlardır [32-33]. 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 öznitelikleri 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.

2.3.3.1 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, kısa-zaman Fourier dönüşüm (STFT) temelleri ile birlikte geleneksel dalgacık temellerini de içerirler. Uzamsal bölgedeki bir dalgacık paket temel fonksiyonu şu şekilde ifade edilir;

$$\varphi_{j,k}^n(x) = 2^{-j/2} \psi_n(2^{-j}x - k), \quad k \in Z, \quad j \in Z, \quad n \in Z_+ \quad (2.13)$$

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 [34,35]. 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 $I_{j,n} \subset \mathfrak{R}$ [35, 36]’deki gibi şu şekilde tanımlanır;

$$I_{j,n} = [2^{-j}n, \quad 2^{-j}(n+1)) \quad (2.14)$$

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;

$$\bigcap_{j,n} I_{j,n} = [\emptyset] \quad (2.15)$$

ve

$$\bigcup_{j,n} I_{j,n} = [0,1) \quad (2.16)$$

Bu yüzden , dalgacık paket temel fonksiyonu φ_j^n , $2^{-j}(n+1/2)$, merkezi frekanslı ve 2^{-j} düzgelenmiş (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;

$$U_{p,q}^j(m,n) = \psi_{j,m}^p \psi_{j,n}^p \quad (2.17)$$

(2.17)'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, (2.17)'deki iki 1-D temel fonksiyonları, ayrıca (2.15) ve (2.16)'deki 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;

$$\{U_{p,q}^j(k,l) \mid 0 \leq j < J, 0 \leq p, q < 2^j, 0 \leq k, l < N2^{-j}\} \quad (2.18)$$

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;

$$\tilde{S}_{p,q}^j(k,l) = \sum_m \sum_n s(m,n) U_{p,q}^j(k - 2^j m, l - 2^j n) \quad (2.19)$$

Uzamsal bölgede periyodik olarak genişletilen görüntü ile (2.19)'daki dönüşüm ile toplam katsayılar sayısı tam olarak N^2 dir. Kolaylık için, katsayıları j, p ve q 'nun belirtik 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. İstatistiksel Model Kullanımı

Hedeflerin etkili biçimde algılanması, istenmeyen yankıların karakteristik özniteliklerinin belirlenmesi ve bunların sinyal işlemede kullanılmasıyla sağlanır. Bunu yapmak için istenmeyen yankıların gerçekçi ve çözülebilir modeli gerekir. Yer yüzeyinden kaynaklanan mikrodalga gerisaçılımı, o yüzeyin yapısı ve dinamiği cinsinden karakterize etme ve elektromanyetik alanları ifade eden Maxwell denklemlerinin uygun çözümlerini bulma çabaları bu bağlamda pek kullanışlı değildir. Karşılaşılan temel problemler, başarılı gerçekçi bir çözüm olasılığı çok düşüktür ve böyle bir çözüm ayrıca pratik veri işlemede kullanma açısından çok ayrıntılı ve komplekstir. 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. Literatürde istenmeyen yankıların olasılıksal modelleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [37-51]. Bu bölümde bu çalışmalar ile ilgili konuları gözden geçireceğiz.

2.3.4.1. SAR istenmeyen yankıların olasılıksal modelleri

Bu bölümde tek polarizasyonlu SAR istenmeyen yankı verilerini modellemede kullanılan popüler 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;

$$s(t) = \text{Re} \left\{ A e^{j\omega_0 t} \right\} \quad (2.20)$$

burada $\text{Re}\{\cdot\}$ ifadenin gerçerk kısmını alma işlemi, ω_0 iletim veya merkez frekansı ve A yankı sinyalinin kompleks genliğidir. Hücrede N adet saçıcının olduğunu varsayılırsa;

$$A = \sum_{k=1}^N A_k e^{j\theta_k} \quad (2.21)$$

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

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2} \quad (2.22)$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{I}\right) \quad (2.23)$$

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 bulunduğunda (büyük N); ve herhangi bir çözünürlük hücresinde baskın saçıcılar olmadığında. Tamamıyla gelişmiş kargaşa varsayımı altında, bir pikseldeki kompleks gerisaçılım, dairesel simetrik Gauss rasgele değişkeni ile modellenebilir. 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;

$$f_I(i) = \frac{1}{\bar{X}} \exp\left(\frac{-i}{\bar{X}}\right) \quad (2.24)$$

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;

$$p(x) = \frac{x}{\sigma} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma}\right], \quad x > 0 \quad (2.25)$$

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 bağlıdır.

Kompleks gerisaçınım için geleneksel dairesel Gauss varsayımı, düşük bakış (grazing) açılarda ve yüksek-çözünürlüklü radarlardan elde edilen verilerde iyi uyum sağlamazlar [38]. 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 [39], Weibull [40], ve K [43] 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;

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \frac{1}{x} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2\right), \quad x > 0 \quad (2.26)$$

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 [40,41,42]. Weibull pdf ile modellenen X rasgele değişkeni şu şekilde ifade edilir;

$$p(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right], \quad x > 0 \quad (2.27)$$

burada c ve b sırasıyla Weibull biçim ve ölçek parametreleridir.

Deneysel SAR yer istenmeyen yankı [44,45] ve deniz istenmeyen yankı [46,47,48] 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 [43,48]. K pdf ile modellenen X rasgele değışkeni şu şekilde ifade edilir;

$$p(x) = \frac{2}{a\Gamma(v+1)} \left(\frac{x}{2a}\right)^{v+1} K_v\left(\frac{x}{a}\right), \quad x > 0, v > -1 \quad (2.28)$$

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.

İstenmeyen yankıların uzamsal dağılımı komplekstir ve uygulamadan uygulamaya değışiklik 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 [49,50,51].

2.3.4.2. 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 [52,53,54].

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.

$$L = f(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) \quad (2.29)$$

(2.29)'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;

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \theta_1} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \theta_2} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \theta_3} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = 0 \end{cases} \quad (2.30)$$

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

$$m_k = E(X^k) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k p(x) dx \quad (2.31)$$

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

$$\hat{m}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^k \quad (2.32)$$

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;

$$\theta_1 = f_1(m_1, m_2) \quad \theta_2 = f_2(m_1, m_2) \quad (2.33)$$

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

$$\hat{\theta}_1 = f_1(\hat{m}_1, \hat{m}_2) \quad \hat{\theta}_2 = f_2(\hat{m}_1, \hat{m}_2) \quad (2.34)$$

İki parametrelili bir dağılımın parametre kestiriminde, iki moment için en basit seçim genellikle, verilerden elde edilen örnek ortalaması ve örnek değişintisini kullanmaktır. Bu nicelikler dağılımın ortalama ve değişintisine uyum edilerek iki parametre kestirim değerleri 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 sınırı ile hesaplanabilen en küçük hataları oluştururlar [59]. Fakat, ML kestirimleri ortalama ve değişinti (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 ν 'yi kestirmek için birkaç yöntem denenmiş ve önerilmiştir [55-60].

Değiştirilmiş ikinci türden Bessel fonksiyonunun, ν 'ye göre türevi kapalı formda olmadığından (ν sadece değişkenin bir bölümü değil aynı zamanda fonksiyonun derecesidir ve bu da türevi daha da zor yapar), K-dağılımının ML kestirimini bulmak, denklem (2.30)'u kullanarak özyineli biçimde de yapılırsa çok zor veya imkansızdır. Joughin [55], K-dağılımının ML kestirimi için, log-olabilirlik fonksiyonunu, parametrelerin kestirimlerini değiştirerek (optimize ederek) nümerik olarak maksimize etmiştir. ML metodu [55] asimptotik olarak etkili kestirimler verse de hesaplamasal olarak çok maliyetlidir.

Önerilen moment-tabanlı metotlardan [56,57,58], Raghavan [56] K-dağılımının 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 boyutları için standart momentler metoduna göre daha iyi sonuçlar verir. Oliver [58], Mellin dönüşümünü kullanarak, K-dağılımı 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 [59], diğer araştırmacıların [56,58], 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 [55]. Alternatif olarak ikinci ve dördüncü dereceden momente dayalı metoda göre daha düşük parametre kestirim değişintisini gösteren yüksek-dereceli ve kesirli momentler kullanarak kestirim metodu da önerilmiştir [60]. Bu teknik kolaydır ve lineer olmayan denklemler sisteminin çözümüne gerek duymaz.

2.3.4.3. İstenmeyen yankı sınıfı belirlenmesi

İstenmeyen yankı verilerinin yüksek dereceden momentleri ve istatistikleri, istenmeyen yankı sinyalinin muhtemel dağılımlardan hangi sınıfa daha iyi uyduğunu bulmada da kullanılabilir [61]. Yüksek çözünürlüklü SAR görüntülerindeki istenmeyen yankılara modellemede kullanılan Rayleigh, Log-normal, Weibull ve K dağılımlarının yüksek dereceden momentleri ve logaritmik momentleri istenmeyen yankı örnek verilerinin yüksek derece momentleri ve logaritmik momentleri ile karşılaştırılarak, istenmeyen yankı sınıfı belirlenebilir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. KULLANILAN MATERYALLER

3.1.1. MSTAR Veri Kümesi

Bu çalışmada SAR görüntüleri olarak MSTAR veri kümesi [64] 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. Veda Inc. ile Internet üzerinden temas kurulmuş, veriler talep edilmiş ve "MSTAR Hedefler", "MSTAR/IU Karışık Hedefler" ve "MSTAR İstenmeyen Yankı" veri diskleri temin edilmiştir. Veriler Sandia National Laboratory (SNL) tarafından STARLOS algılayıcısı kullanılarak toplanmıştır.

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’ü; parçası olarak toplanmıştır. Bu diskteki, genel toplama parametreleri “MSTAR Hedefler” disklerindeki ek olarak 30° ve 45° bakış açıları 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.afri.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

Tez çalışmasında, tüm hesaplamalar, algoritmalar, veri analizleri ve grafikler için MATLAB [65] yazılım paketi kullanılmıştır. Spesifik olarak istatistik ve dalgacık araç kutularının m-dosyaları, çalışmalarda yararlı olmuştur.

MATLAB teknik hesaplamalar yapabilen yüksek-performanslı bir dildir. MATLAB, hesaplama, görüntüleme ve programlamayı, problemlerin ve çözümlerin benzer matematiksel gösterimler ile ifade edildiği kolay kullanılabilir bir ortama tümleştirir. Çeşitli kullanım alanları şunlardır :

- Matematik ve hesaplama
- Algoritma geliştirimi
- Veri edinme
- Modelleme, benzetim, ve prototiplendirme
- Veri analizi, açınısama, ve görüntüleme
- Bilimsel ve mühendislik tabanlı grafikler

MATLAB, temel veri elemanı, boyutlandırmaya gerek duymayan dizi olan, bir enteraktif sistemdir. Bu, birçok teknik hesaplama problemlerini, özellikle matris ve vektör formüllü olanları çok az bir zamanda çözmeyi sağlar.

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.

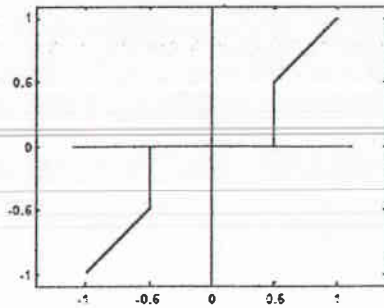
MATLAB, *araç kutuları* olarak adlandırılan eklenebilir uygulama-spesifik çözümler ailesi özelliğine sahiptir. MATLAB kullanıcıların birçoğu için çok önemli olan araç kutuları, spesifik teknolojiyi öğrenme ve uygulamaya olanak tanır. Araç kutuları, MATLAB ortamını, hususi problem sınıflarını çözmek için 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 METOTLAR

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;

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



Şekil 3.1. [-1,1] aralığına düzgülenmiş giriş verili katı-eşikleme fonksiyonu.

3.2.2. Olasılık Yoğunluk Çarpıklığını Kullanarak Giderme

Radar yankılarındaki istenmeyen yankılardan hedefleri bölütleme için genel teknik, sabit yanlış-alarm oranı (CFAR) algoritmasıdır. CFAR algoritmasının en basit biçimi test istatistiği olarak;

$$\frac{x - \bar{X}}{\bar{\sigma}} \geq T \quad (3.2)$$

kullanan hücre-ortalama (CA) CFAR'dır. Burada x test altındaki örnek ve \bar{X} , $\bar{\sigma}$ test altındaki örneği çevreleyen bir kayan pencere bölgesinin sırasıyla ortalama ve standart sapma kestirimleridir. T test istatistiği olarak çarpıklık ölçevleri kullanılır. Test istatistiği sabit bir T eşliğini aştığı durumda hedef pikseli rapor edilir. Çevreleyen bölgedeki veriler istatistiksel olarak homojen ise ve varsayılan olasılık dağılıma uyuyorsa, T eşliği CFAR oluşturur. Eğer çevreleyen bölge, içindeki parazit hedeflerden veya yansıtırlıktaki değişimlerden dolayı homojen değilse CA_CFAR algoritma performansı azalır.

Log-genlik bölgesindeki SAR görüntüsü boyunca, kayan bir pencere içinde olasılık yoğunluk çarpıklığını ölçerek ve pozitif çarpıklıklı bölgelere oranla negatif çarpıklığa sahip bölgeleri yok ederek, istenmeyen yankıların giderilmesi gerçekleştirilmiştir. Çarpıklık ölçütü, Pearson'ın çarpıklığın ikinci katsayısının biraz değiştirilmiş şekli olan (3.3) ile hesaplanmıştır;

$$s(x) = \frac{(\bar{X} - \max(M_d, M_{min}))}{\bar{\sigma}} \quad (3.3)$$

burada \bar{X} ve $\bar{\sigma}$ her bir piksel x 'i çevreleyen küçük bölgeden kestirilen sırasıyla örnek ortalama değeri ve standart sapması, M_d aynı bölgenin ortanca değeri ve M_{min} gölge bölgelerinin ortanca değerinden büyük fakat bitkisel bölgenin değerinden küçük bir sabittir. İnsan-yapımı nesnelere belirli bir sabit eşik değeri T , (3.4)'e göre aşıldığı durumda algılanmıştır.

$$y = \begin{cases} 1 & s(x) \geq T \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3.4)$$

3.2.3. Adaptif Dalgacık Paket Dönüşümüne (AWPT) Dayalı Giderme

3.2.3.1. SAR istatistiksel sinyal modeli

Görüntüdeki toplanır gürültüyü ve olası çarpımsal kargaşa gürültüsünü ihmal ederek, yalnız hedef görüntüsünden ve arkaplan saçılımdan kaynaklanan istenmeyen yankılardan oluşan ve bunların birbirleriyle örtüşmediği varsayılan SAR görüntüsü şu şekilde ele alınır;

$$s(m,n) = \begin{cases} t(m,n), & (m,n) \text{ hedef bölgesinde} \\ c(m,n), & (m,n) \text{ idtenmeyen yankı bölgesinde} \end{cases} \quad 0 \leq m,n < N \quad (3.5)$$

$c(m,n)$ istenmeyen yankı pikseli, bu çözünürlük hücresindeki çok küçük saçıcılardan kaynaklanan yankıları içerir. Dördün alıcılı modern eşzamanlı görüntüleme radarı için, şu şekilde ifade edilebilir;

$$c(m,n) = \sum_{k=1}^K a_k \exp(j2\pi f_c \tau_k) = c_r + jc_i \quad (3.6)$$

burada a_k ve t_k genlik ve bu istenmeyen yankı çözünürlük hücresindeki k 'nci saçıcıdan kaynaklanan yansımanın bağıl iki-yol yayılım gecikmesidir. SAR istenmeyen yankıları hakkında diğer bir önemli varsayım, farklı piksellerdeki istenmeyen yankıların istatistiksel olarak bağımsız olduğudur [38,62]. Bu yüzden, σ_c istenmeyen yankı standart sapması ve δ Dirac fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$E[c(m,n)c^*(p,q)] = \sigma_c^2 \delta(p-m)\delta(q-n) \quad (3.7)$$

Bağımsız özdeş rasgele değişkenlerin ergodik karakteristiklerini kullanarak, (3.7)'deki istatistiksel ortalama değere aşağıdaki şekilde uzamsal ortalama ile yaklaşım yapılabilir;

$$E[c(m,n)c^*(p,q)] \cong \sum_k \sum_l c(k,l)c^*(k+p-m,l+q-n) \quad (3.8)$$

$$\cong \sigma_c^2 \delta(p-m)\delta(q-n)$$

Bu yüzden, hedef sinyalden ayırt edici öznelikleri olarak istenmeyen yankılar, uzamsal olarak ilintisizdir. Fakat, SAR istenmeyen yankıları için bazı zayıf ilintiler vardır.

Genellikle hedef bölgesi SAR görüntüsünün merkez kısmındadır ve istenmeyen yankılar çevreleyen kısımlarda yerleşirler. İstenmeyen yankı bölgesinde hedef sinyalinin sıfır olduğunu ve hedef bölgesinde de istenmeyen yankının sıfır olduğunu kabul ederek ve (3.5)'i dikkate alarak, SAR görüntüsünün toplanır modeli şu şekilde olur;

$$s(m,n) = t(m,n) + c(m,n) \quad 0 \leq m, n < N \quad (3.9)$$

SAR görüntüsü için (3.9)'daki toplanır model ile, dönüşüm düzleminde sinyal-istenmeyen yankı oranını maksimize etmek için en iyi dalgacık paket temeli aranılacaktır.

3.2.3.2. Sinyal-istenmeyen yankı oranının maksimizasyonu için en iyi dalgacık paket temelleri

Dalgacık paket temelini $s(m,n)$ SAR görüntüsüne uygulanırsa, dönüşüm katsayıları şu şekilde bulunur;

$$\tilde{S}_{p,q}^j(k,l) = \sum_m \sum_n s(m,n) U_{p,q}^j(k-2^j m, l-2^j n) \quad (3.10)$$

$$= \tilde{T}_{p,q}^j(k,l) + \tilde{C}_{p,q}^j(k,l)$$

burada ;

$$\tilde{T}_{p,q}^j(k,l) = \sum_m \sum_n t(m,n) U_{p,q}^j(k-2^j m, l-2^j n) \quad (3.11)$$

$$\tilde{C}_{p,q}^j(k,l) = \sum_m \sum_n c(m,n) U_{p,q}^j(k-2^j m, l-2^j n) \quad (3.12)$$

sırasıyla hedef görüntüsü ve istenmeyen yankılar için katsayılarıdır. Bağımsız Gauss rasgele değişkeninin doğrusal kombinasyonu olduğundan, istenmeyen yankılar katsayıları Gauss dağılımlıdır. (3.10)'u kullanarak ve dalgacık paket temellerini ortonormal olduğunu dikkate alarak;

$$E \left[\tilde{C}(k,l) \tilde{C}^*(i,j) \right] = \sigma_c \delta(i-k) \delta(j-l) \quad (3.13)$$

olduğu çıkarılır. Bu yüzden , istenmeyen yankılar katsayıları ilintisizdirler ve böylece uzamsal bölgedeki istenmeyen yankılar ile aynı ortalama ve değışinti değeri bağımsız Gauss istatistiksel değışkenlerdir.

SAR görüntüsünün istatistiksel karakteristiklerinin, dalgacık paket temelleri dönüşümünden sonra değışmediği gösterilmiş oldu. Fakat hedef görüntüsü kendisine ilintilidir. Dönüşüm hedef görüntüsünü daha da konsantre edecek ve dönüşüm bölgesinde sinyal-istenmeyen yankı oranını arttıracak dalgacık paket temellerinin bulunması gerekir. Dönüşüm sinyalinin seyrekliğini (sparsity) ölçmek için bir maliyet fonksiyonu gerekir, böylece belirli bir görüntü için, dönüşüm görüntüsünde maksimum seyrekliği elde etmek için en iyi dalgacık paket temelleri bulunabilir. Seyreklik için tipik bir maliyet fonksiyonu, entropi fonksiyonudur. Fakat entropi fonksiyonunun kendisi toplanır maliyet fonksiyonu değildir, bu da hızlı global en iyi temeller arama algoritması için uygulanamaz. Alternatif olarak, maliyet fonksiyonu olarak l^p enerji konsantrasyon fonksiyonu kullanılabilir. Bir veri dizisi $\{x(k), k=1,2,\dots,K\}$ 'nin l^p enerji konsantrasyon fonksiyonu şu şekilde tanımlanır;

$$C = \sum_{k=1}^K |x(k)|^p \quad 0 < p < 2 \quad (3.14)$$

$[\tilde{S}]$ katsayı matrisli, dönüşüm SAR görüntüsü için, maliyet fonksiyonu ise şu şekildedir;

$$C = \sum_k \sum_l |\tilde{S}(k,l)|^p \quad 0 < p < 2 \quad (3.15)$$

(3.14)'de genellikle basitlik ve etkinlik için $p=1$ seçilir. (3.14)'deki maliyet fonksiyonunu kullanarak dalgacık paket temelleri ile bir $\{x_1, x_2, \dots, x_L\}$ dizisini başka bir $\{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_L\}$ 'ye dönüştürdüğümüzü varsayarak, dönüşüm dizisi 1'den başka diğer hepsi sıfır ise en seyrek ve bu durumda maliyet minimumdur.

Uzamsal bölgede hedef ve istenmeyen yankılar örtüşmediğinden, genellikle dönüşüm bölgesindeki daha ince ölçeklerde de hedef ve istenmeyen yankı katsayıları ayrılmıştır. Böylece (3.10)'daki dönüşüm SAR görüntülerinin toplam maliyeti yaklaşık olarak dönüşüm hedef görüntülerinin ve istenmeyen yankıların maliyetlerinin toplamına eşittir, yani;

$$\text{Maliyet}([\tilde{S}]) \cong \text{Maliyet}([\tilde{T}]) + \text{Maliyet}([\tilde{C}]) \quad (3.16)$$

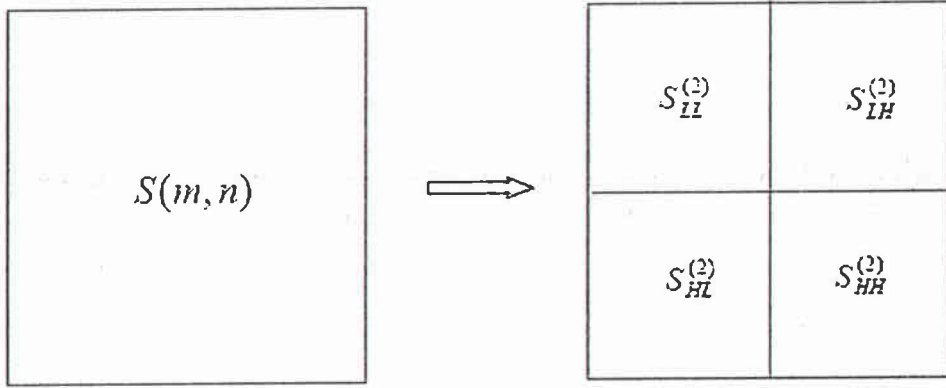
burada $[\tilde{S}]$, $[\tilde{T}]$ ve $[\tilde{C}]$, sırasıyla tüm SAR görüntüsünün, hedef görüntüsünün ve istenmeyen yankıların dönüşüm katsayı matrisleridir. Dönüşüm istenmeyen yankıların maliyeti değişmez çünkü, uzamsal bölgedeki orijinal istenmeyen yankılar ile tam olarak aynı dağılımlı rasgele değişkenlerdir. Tüm dönüşüm SAR görüntüsünün maliyetinin minimizasyonu, dönüşüm hedef görüntüsünün minimizasyonuna ve böylece dönüşüm bölgesinde hedef sinyali-istenmeyen yankı oranının maksimizasyonuna denktir.

3.2.3.3. Adaptif dalgacık paket dönüşümünün gerçekleştirimi

Teorik olarak SAR görüntüsüne mümkün her dalgacık paket temellerini uygulanabilir, her bir dönüşüm görüntüsünün maliyeti hesaplanabilir, ve en az maliyetli en iyi dalgacık paket temelleri bulunabilir. Fakat spesifik bir uygulama için

birçok seçilebilir dalgacık paket temelleri vardır ve (3.10)'daki direkt katlama (convolution) hesaplama açısından çok maliyetlidir. [63]'de veri dizisi için toplanır maliyet fonksiyonuna dayalı en iyi dalgacık paketi bulmak için hızlı ayrışım algoritması önerilmiştir ve 2-D SAR görüntü işlemeye kolayca uyarlanabilir.

Genellikle orijinal SAR görüntüsü, darbe temelli kullanılarak ayrıklaştırılmış örneklerdir, ve en yüksek uzamsal çözünürlüklü yani en iyi ölçekteki dalgacık paket temellerinin katsayıları olarak yaklaşım yapılabilir. Bir sonraki ölçekteki ayrışım katsayıları o anki ölçektekilere $\{h(n)\}$ ve $\{g(n)\}$ dördün filtre çifti kullanımı ile "2-ölçek denklemleri" ile bağıntılıdır.



Şekil 3.2. Dördün ağaç ayrışım yapısı.

İlk görüntü örneklerinin $[S]$ matrisi ile gösterildiğini varsayarak, bir sonraki ölçekteki ayrışım katsayıları, $[S]$ ve dördün filtre dürtü yanıtları $\{h(n)\}$ ve $\{g(n)\}$ 'in katlaması ve aşağı örnekleme (downsampling) yoluyla elde edilebilirler;

$$\begin{aligned}
 S_{HH}^2(m, n) &= \sum_k \sum_l s(k, l) g(2m - k) g(2n - l) \\
 S_{LH}^2(m, n) &= \sum_k \sum_l s(k, l) h(2m - k) g(2n - l) \\
 S_{HL}^2(m, n) &= \sum_k \sum_l s(k, l) g(2m - k) h(2n - l) \\
 S_{LL}^2(m, n) &= \sum_k \sum_l s(k, l) h(2m - k) h(2n - l)
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

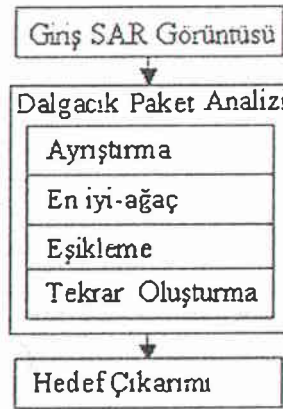
burada $\{h(n)\}$ ve $\{g(n)\}$ sırasıyla alçak ve yüksek geçiren dördün filtreler (QFs) dürtü yanıtlarını belirtir. (3.17)'deki ayrışım Şekil 3.2.'de anlatıldığı gibi genellikle dördün ağaç ayrışımı olarak adlandırılır. Dördün ağaç ayrışimleri, en kaba ölçek elde edilinceye kadar özyineli uygulanabilir. Her bir ölçekteki ayrışımı $O(N^2)$ işlem gerektirdiği açıktır ve toplam ölçek sayısı $\log_2(N)$ civarındadır. Bu yüzden, dördün ağaç ayrışım metodunu kullanarak, uzamsal bölgeden frekans bölgesine tam ayrışım gerçekleştirmenin toplam hesaplama maliyeti $O(N^2 \log_2 N)$ civarındadır. Maliyet fonksiyonu toplanır olduğundan, en iyi dalgacık paket temelleri ve karşılık gelen dönüşüm katsayıları, tam dördün ağaç ayrışım sonucundan etkin bir biçimde bulunabilir. SAR görüntüsü bakımından, en iyi dalgacık paket temellerini ve dönüşüm katsayılarını bulmada uygulanan işlemler şu şekildedir;

1. Başlangıç görüntüsünü dördün ağaç ayrışımını kullanarak frekans bölgesine tam ayrıştır.
2. En son ölçekteki dalgacık temellerini en iyi başlangıç temelleri ve maliyetini de en iyi başlangıç maliyeti olarak kullan.
3. En son ölçekten geriye doğru yol izleyerek, her bir düğümdeki maliyeti düğümden ayrıştırılan tüm dallardaki (branşlardaki) en düşük maliyet ile karşılaştır. Eğer maliyet azalmışsa, bu düğümü kullanarak en iyi temelleri ve karşılık gelen maliyeti güncelle; aksi halde en iyi temeller için geri yönlü aramaya devam et.
4. En iyi temeller ve onun dönüşüm katsayıları arama birinci ölçeğe yani başlangıç uzamsal örnekleme verisine geldiğinde bulunmuş olur.

3.2.3.4. Dönüşüm bölgesinde ölçek bağımlı eşikleme

Dönüşüm bölgesinde istenmeyen yankıları gidermek için, SAR görüntülerinin dönüşüm katsayılarına bir eşik seviyesi uygulanır. Eğer uzamsal istenmeyen yankılar beyaz ve Gauss dağılımlıysa, daha önce belirtildiği gibi dönüştürülen istenmeyen yankılar da beyazdır ve Gauss dağılımlıdır. Neyman-Pearson kriterine dayanarak [38], en iyi eşik seviyesi, yanlış-alarm ve hedef algılama olasılıkları için

gereksinimleri sağladığı sürece, sabit bir değerdir. Fakat SAR görüntüleri için, bir piksel komşu pikselleri ile bazı zayıf ilintiye sahiptir. Bu yüzden, SAR görüntüsündeki istenmeyen yankılar gerçekte beyaz değildir ve güç spektrumu düşük frekanslarda daha güçlüdür. Bu yüzden dönüşüm görüntüsüne ölçek bağımlı eşikleme uygulanarak istenmeyen yankılar giderilmiştir. Ölçek arttıkça, eşik seviyesi de artırılmıştır. Adaptif Dalgacık Paket Dönüşümü'ne (AWPT) dayalı istenmeyen yankıları giderme metodu Şekil 3.3.'de özetlenmiştir.



Şekil 3.3. Dalgacık paket analizine dayalı istenmeyen yankı giderim şeması.

3.2.4. İstatistiksel Modele Dayalı Giderme

3.2.4.1. 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 Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Düzgülenmiş 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.

	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu $p(x)$	Birikimli Yoğunluk Fonksiyonu $P(x)$	K ' nıncı 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	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \frac{1}{x} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2}$	$\frac{1}{2} [1 + \text{sign}(u) \text{erf}(u)]$ $u = \frac{\ln x - \mu}{\sqrt{2}\sigma}$	$e^{\frac{1}{2}K^2\sigma^2 + K\mu}$
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	$\frac{2}{c\Gamma(\nu+1)} \left(\frac{x}{2a}\right)^{\nu+1} K_\nu\left(\frac{x}{a}\right)$	$1 - \frac{2}{\Gamma(\nu+1)} \left(\frac{x}{2a}\right)^{\nu+1} K_{\nu+1}\left(\frac{x}{a}\right)$	$\frac{\Gamma(0.5K+1)\Gamma(\nu+1+0.5K)}{\Gamma(\nu+1)} (2a)^K$

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

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

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n f(x_i | \beta) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{x_i}{\beta^2} \exp\left(-\frac{x_i^2}{2\beta^2}\right) \right] = \frac{x_1 x_2 \dots x_n}{\beta^{2n}} \exp\left(-\frac{1}{2\beta^2} \sum_{i=1}^n x_i^2\right) \quad (3.18)$$

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

$$\ln L(\beta) = \ln(x_1 x_2 \dots x_n) - 2n \ln \beta - \frac{1}{2\beta^2} \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (3.19)$$

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

$$\frac{d \ln L(\beta)}{d\beta} = -\frac{2n}{\hat{\beta}} + \frac{1}{\hat{\beta}^3} \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \quad (3.20)$$

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

$$\hat{\beta} = \left(\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{1/2} \quad (3.21)$$

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

$$\begin{cases} \hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \\ \hat{s}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \hat{\mu})^2 \end{cases} \quad (3.22)$$

Weibull dağılımın ML kestirimi : Olasılık fonksiyonu şu şekildedir;

$$L(x_1, \dots, x_n; c, b) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{c}{b} \right) \left(\frac{x_i}{b} \right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x_i}{b} \right)^c} \quad (3.23)$$

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L}{\partial c} &= \frac{n}{c} + \sum_{i=1}^n \ln x_i - \frac{1}{b} \sum_{i=1}^n x_i^c \ln x_i = 0 \\ \frac{\partial \ln L}{\partial b} &= -\frac{n}{b} + \frac{1}{b^2} \sum_{i=1}^n x_i^c = 0 \end{aligned} \quad (3.24)$$

b 'yi bu iki denklemde elimine ederek ve basitleştirerek :

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i^c \ln x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^c} - \frac{1}{c} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i = 0 \quad (3.25)$$

$\hat{c} = c$ kestirimini elde etmek için, (3.25) denklemi standart özyineli işlemler (i.e., Newton-Raphson metodu) kullanılarak çözülür. c belirlendikten sonra, b denklem (3.24) kullanılarak şu şekilde kestirilir;

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^c}{n} \quad (3.26)$$

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 (3.27) ile verilen teoriksel K-dağılım momentlerini, Denklem (3.28)'deki örnek momentleri ile kestirerek gerçekleştirilir.

$$\mu_k = E[X^k] = \frac{\Gamma(0.5k+1)\Gamma(v+1+0.5k)}{\Gamma(v+1)}(2a)^k \quad (3.27)$$

$$\hat{\mu}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^k, \quad k \geq 0 \quad (3.28)$$

Kolayca görüleceği gibi a ve v parametreleri, Denklem (3.27)'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 (3.29) ile verilen K-dağılımı ortalama ve değişintisine uyum edilebilir.

$$E[X] = \frac{\Gamma(1.5)\Gamma(v+1.5)}{\Gamma(v+1)} 2a \quad (3.29)$$

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

Bu metot ν veya a 'nın Denklem (3.29)'dan çıkarımında lineer olmayan denklem çözümü içerdiğinden sayısal olarak etkili değildir. En büyük olabilirlik metoduna yakın yaklaşım yapan başka bir metotta, ν şu şekilde kestirilir [59];

$$\langle \ln(x) \rangle = \ln(\langle x \rangle) + \ln\left(\frac{\Gamma(\nu+1)}{\Gamma(\nu+1.5)\Gamma(1.5)}\right) + \frac{\Psi(1) + \Psi(\nu+1)}{2} \quad (3.30)$$

burada $\langle \rangle$ 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;

$$\nu = \frac{4 - \frac{\mu_4}{\mu_2^2}}{\frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 2} \quad (3.31)$$

ν , Denklem (3.31)'den hesaplandıktan sonra, a basitçe herhangi bir momenti, mesela X 'in birinci momentini kullanarak şu şekilde elde edilir;

$$a = \frac{\mu_1 \Gamma(\nu+1)}{\sqrt{\pi} \Gamma(\nu+1.5)} \quad (3.32)$$

Denklem (3.31) ve Denklem (3.32)'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 (3.33) ile de kestirilebilir [60].

$$\nu = \frac{\left(\frac{p+2}{2}\right)^2 - \beta_p}{\beta_p - \left(\frac{p+2}{2}\right)}, \quad \beta_p = \frac{m_{p+2}}{m_p m_2}, \quad p > 0 \quad (3.33)$$

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

$$v = \frac{\frac{25}{16} \frac{\mu_{5/2}}{\mu_{1/2}\mu_2}}{\frac{\mu_{5/2}}{\mu_{1/2}\mu_2} - \frac{5}{4}} \quad (3.34)$$

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

İstenmeyen yankıların etkin biçimde giderilmesi, modelinin doğruluğuna bağlıdır. Elimizdeki ölçülen istenmeyen yankı sinyalinin genişliğinin olası dağılımlardan hangi dağılım sınıfı ile daha iyi modellenebileceğini bulmak için, yüksek-dereceden istatistikler kombinasyonu (HOSC) kullanılmıştır [61]. Yüksek dereceden istatistikler kombinasyonu (HOSC), yüksek-derecen orijin momentleri, yüksek-dereceden merkez momentleri ve yüksek-dereceden logaritmik momentleri (cumulant) 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;

$$V_K = \sum_{i=0}^K \binom{K}{i} (-M_1)^{K-i} M_i \quad (3.35)$$

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;

$$\Phi(w) \approx 1 + \sum_{k=1}^K M_k \frac{(jw)^k}{k!} \quad (3.36)$$

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

$$C_K = (-j)^K \left. \frac{d^K \ln \Phi(w)}{dw^K} \right|_{w=0} \quad (3.37)$$

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 3.35) ve logaritmik momentleri C_K (Denklem 3.37) hesaplanarak, özellik vektörleri :

$$F_i = [M_1, M_2, \dots, M_K, V_1, V_2, \dots, V_K, C_1, C_2, \dots, C_K], \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (3.38)$$

oluşturulur.

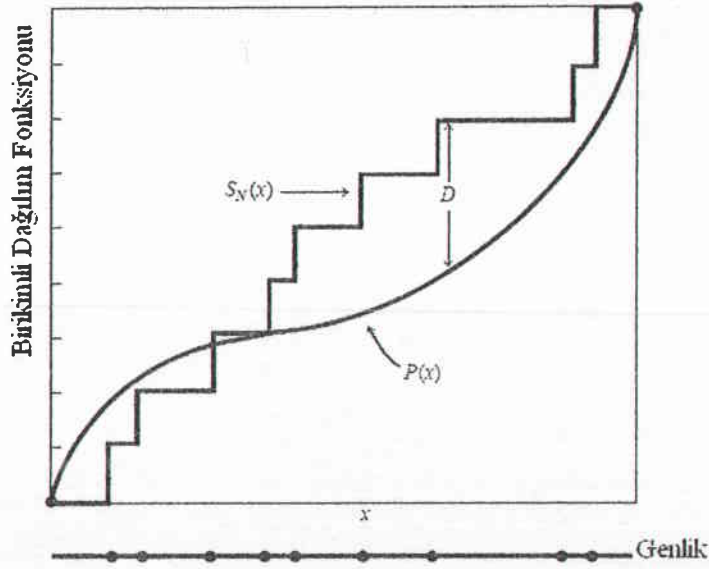
- Örnek verilerin de aynı şekilde F_0 özellik vektörü hesaplanır.
- $D_i = \|F_i - F_0\|$ özellik uzaklığı minimum olan dağılım istenmeyen yankı sınıfı olarak belirlenir.

3.2.4.3. 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 yoğunurlar 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 3.4. Kolmogorov-Smirnov istatistiği D . D , iki birikimli dağılım arasındaki en büyük uzaklıktır.

3.2.4.4. Sabit yanlış alarm oranı (CFAR) algılama

Algılama stratejileri bölümünde verilen ve Log-normal ve Weibull dağılımları için CFAR algılayıcı oluşturan (2.8)'deki testi, Log-normal ve Weibull istenmeyen yankı dağılım varsayımı altında SAR görüntüsüne uygulamak için, belirli bir P_{FA} değeri için eşik değeri Denklem (2.5)'den iki dağılım için hesaplanmalıdır. Log-

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

$$P_{FA} = 1 - P(T) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^T \frac{e^{-\frac{(\ln(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{t} dt \quad (3.39)$$

Weibull dağılımı için ifade daha basittir ve şu şekildedir;

$$T = \left(\ln \frac{1}{P_{FA}} \right)^{1/b} a \quad (3.40)$$

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

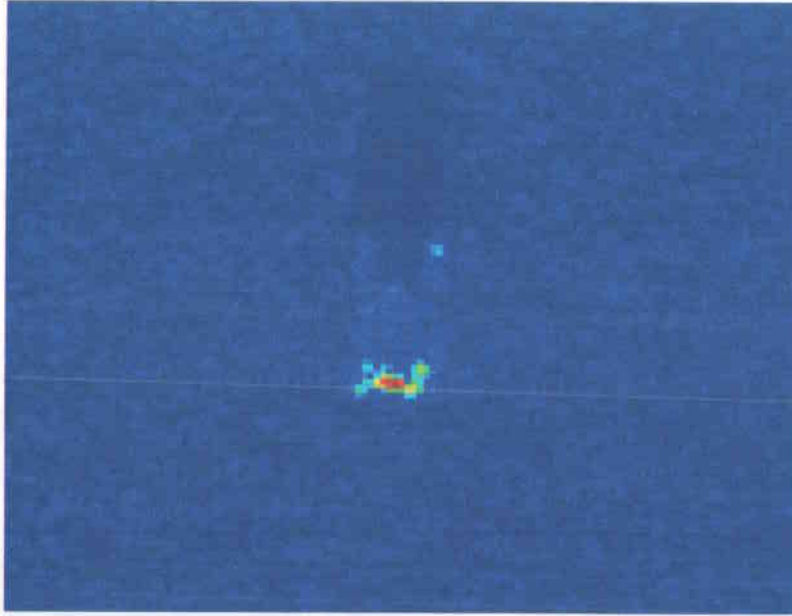
$$P_{FA} = \frac{2}{\Gamma(v+1)} \left(\frac{T}{2a} \right)^{v+1} K_{v+1} \left(\frac{T}{a} \right) \quad (3.41)$$

Bu aşkın denklemin çözümü ile T değeri hesaplanır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. ORİJİNAL SAR HEDEF GÖRÜNTÜSÜ

MSTAR SAR verilerinin hedef görüntüleri, orijinal formatlarından, genlik ve faz kısımlarını ifade eden saf veriler haline dönüştürülmüştür. Logaritmik bölgede görüntülenen bir BTR-70 zırhlı personel taşıyıcı hedefinin SAR 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 değişim değeriyle sahiptir.

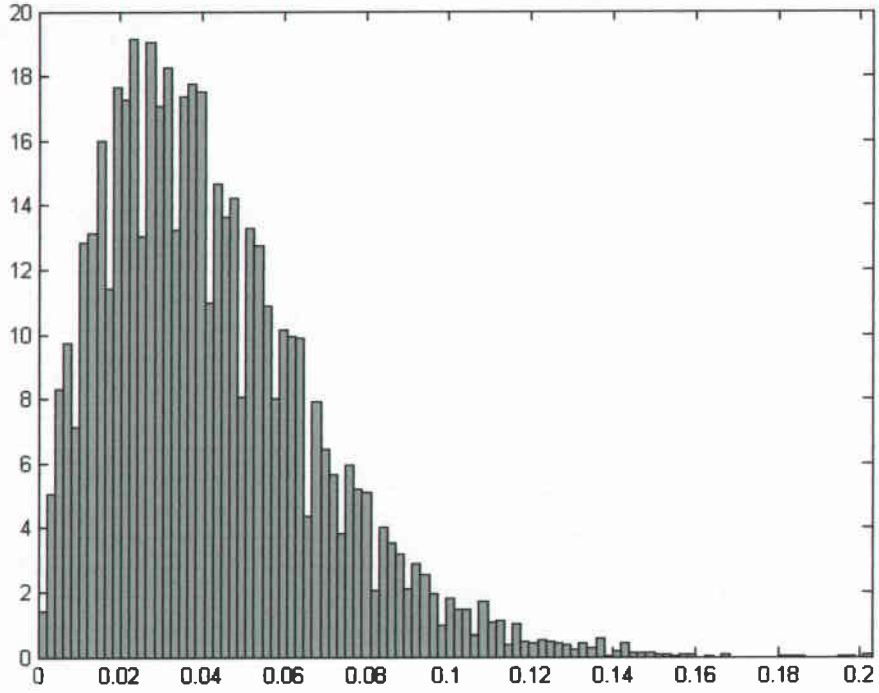


Şekil 4.1. Orijinal SAR görüntüsü

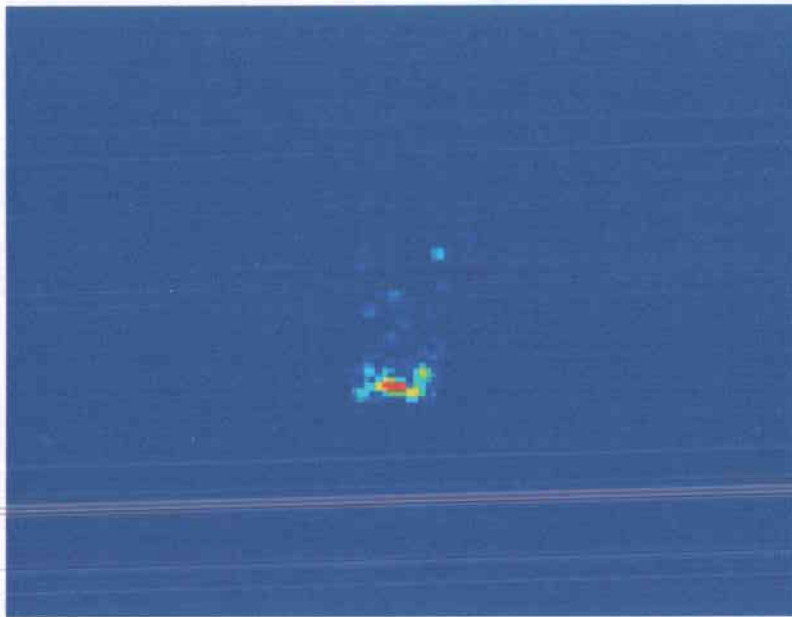
4.2. DİREKT EŞİKLEME

Orijinal SAR görüntüsünün, arkaplan istenmeyen yankı sinyallerinin, Şekil 4.2.'de görülen histogramından belirlenen bir eşik seviyesi, direkt eşikleme ile uygulandığında Şekil 4.3'deki SAR görüntüsü elde edilmiştir. İstenmeyen yankı sinyallerinin önemli bir bölümü giderilmiş olsa da, hedef özneliklerinden de büyük kayıplar görülmüştür. T eşik değeri olarak 0.14 seçilmiştir. İstenmeyen yankıların iyice giderilmesi için eşik değeri artırıldığında, hedef sinyalleri, özellikle de güçsüz

yansımalara sahip hedef bölümleri kaybedilmiştir. Bu metodun çıkış görüntüsü olan Şekil 4.3.'deki görüntü diğer metotların çıkış görüntülerini karşılaştırmada referans olarak kullanılacaktır.



Şekil 4.2. Arka plan istenmeyen yankı sinyallerinin histogramı.

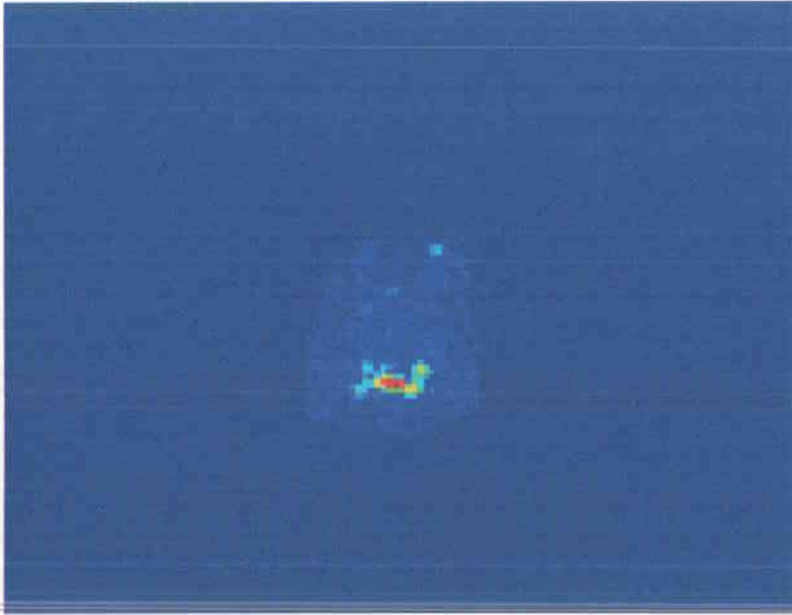


Şekil 4.3. Direkt eşikleme sonucu.

4.3. ÇARPIKLIK ÖLÇEVİNE DAYALI GİDERME

İstenmeyen yankı örneklerinin çarpıklık değeri, ele alınan örnek verilerine göre değişiklik göstermekle birlikte hedef bölgesi verilerinin çarpıklığından daha düşük olduğu görülmüştür. Tipik olarak istenmeyen yankı çarpıklığı 0.9502 hesaplanırken, hedef bölgelerinin çarpıklığı 4.1294 olarak hesaplanmıştır. Log-genlik bölgesine dönüştürülmüş SAR görüntüsüne, 21 x 21 piksel boyutunda kayan bir pencere uygulanmış ve bu penceredeki çarpıklık ölçü hesaplanmıştır. Bu test istatistiği, belirli bir eşik değerini aştığında, pencere merkezindeki piksel hedef pikseli olarak algılanmıştır. Minimum ortanca değer 0.0125 ve T sabit eşik değeri 0.25 alınmıştır. Şekil 4.4.'de bu işlem sonucu görülmektedir.

Bu metot hızlı ve etkili şekilde istenmeyen yankıları gidermesine rağmen, hedef çevresindeki istenmeyen yankıları giderememiştir. Hedef sınırları, hedefin tanınmasında çok önemli olduğundan bu metot kullanışlı değildir. Ayrıca hedefin sol üst bölgesinden görüleceği gibi, test istatistiğinin eşik değerinden aşağı düştüğü hedef bölgelerinde delikler oluşmuştur.



Şekil 4.4. Çarpıklık ölçevine dayanan algoritma sonucu.

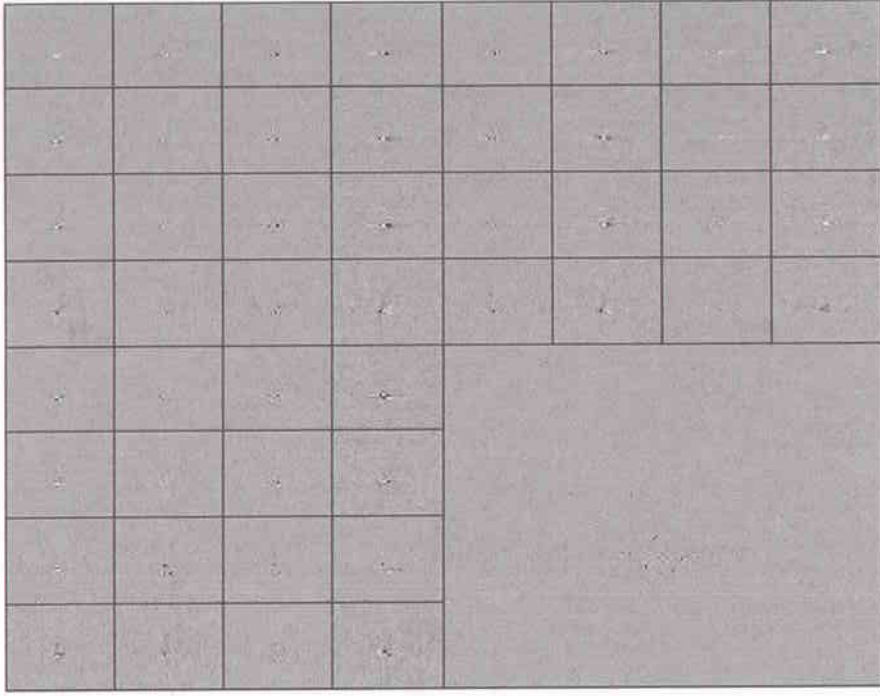
4.4. ADAPTİF DALGACIK PAKET DÖNÜŞÜMÜNE DAYALI GİDERME

İlk olarak uzamsal bölgedeki orijinal SAR görüntüsünü daha yumuşatmak için uzamsal bölgede örnekleme oranı arttırılmıştır (aradeğerleme). Bu, görüntünün Fourier dönüşümüne, sıfır-dolgulaması (zero-padding) yapılarak ve ters-Fourier dönüşümü alınarak gerçekleştirilmiştir. Oluşan yeni görüntü 528 x 528 boyutundadır.

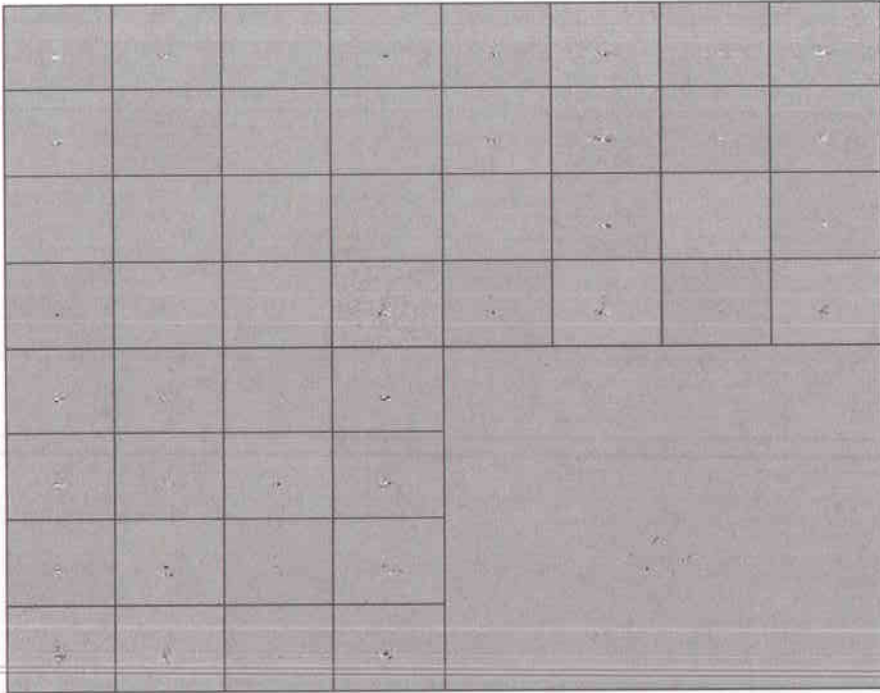
Uzamsal bölgedeki orijinal SAR görüntüsü, dalgacık paket dönüşüm bölgesine ayrıştırılmış, dördün ağaç budama (pruning) algoritması (Coifman-Wickerhauser algorithm [63]) ve toplanır maliyet ölçümü ile en iyi dalgacık paket temelleri seçilmiştir. Dalgacık paket dönüşümüne ayrıştırmada dalgacık filtreleri olarak altıncı dereceden *Daubechies* filtresi kullanılmıştır. En iyi temeller seçiminde, toplanır maliyet fonksiyonu olarak l^p enerji konsantrasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.5.'de en iyi dalgacık paket temellerine ayrıştırılmış hedef görüntüsü görülmektedir. Uzamsal bölgedeki orijinal görüntünün maliyeti 822.039 iken, dönüşümün maliyeti 184.646 değerine düşmüştür. Bu, hedef sinyallerinin iyice konsantre edilerek, dönüşüm bölgesinde maksimum seyrekliğin (sparsity) sağlandığını gösterir.

İstenmeyen yankı sinyalleri tam olarak beyaz olmadığından ve güç spektrumu düşük frekanslarda daha düşük olduğundan ölçüğe bağımlı olarak eşik uygulanmıştır. Dönüşüm düzleminde eşikleme sonucu Şekil 4.6.'da görülmektedir. İstenmeyen yankıların büyük bir bölümü dönüşüm bölgesinde giderilmiştir.

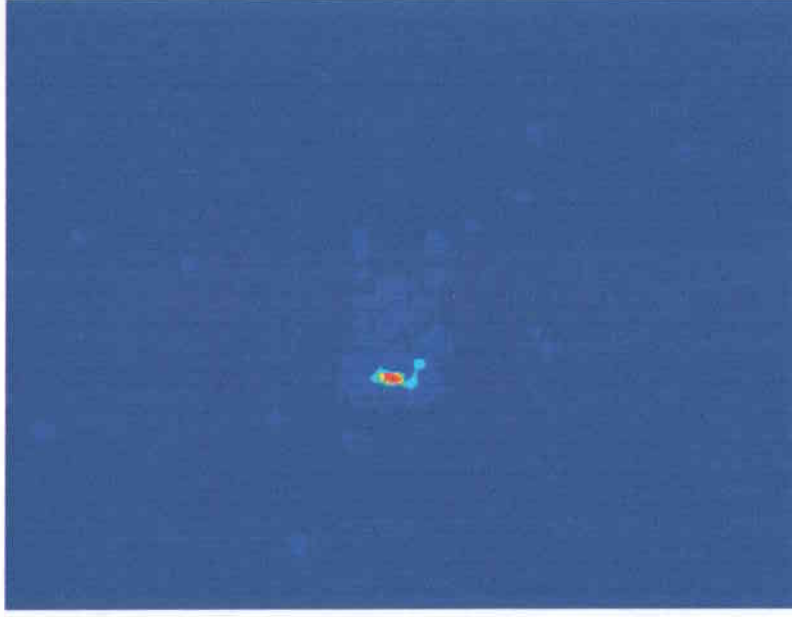
Dalgacık bölgesindeki görüntünün, ayrıştırmadaki aynı ağaç ile uzamsal bölgeye tekrar dönüştürülmesi sonucu elde edilen görüntü Şekil 4.7.'de görülmektedir. Şekil 4.7.'den görüleceği gibi, bu metot ile istenmeyen yankıların hepsini gidermek mümkün olamamıştır. Ayrıca hedef özniteliklerden de bazı kayıplar gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5. En iyi dalgacık paket temellerine ayrıştırılmış görüntü.



Şekil 4.6. Dönüşüm bölgesinde ölçek bağımlı eşikleme işlemi sonucu.



Şekil 4.7. Eşikleme sonrası uzamsal bölgede tekrar oluşturulmuş görüntü.

4.5. İSTATİSTİKSEL MODELE DAYALI GİDERME

4.5.1. İstenmeyen Yankı Görüntülerinin Analizi

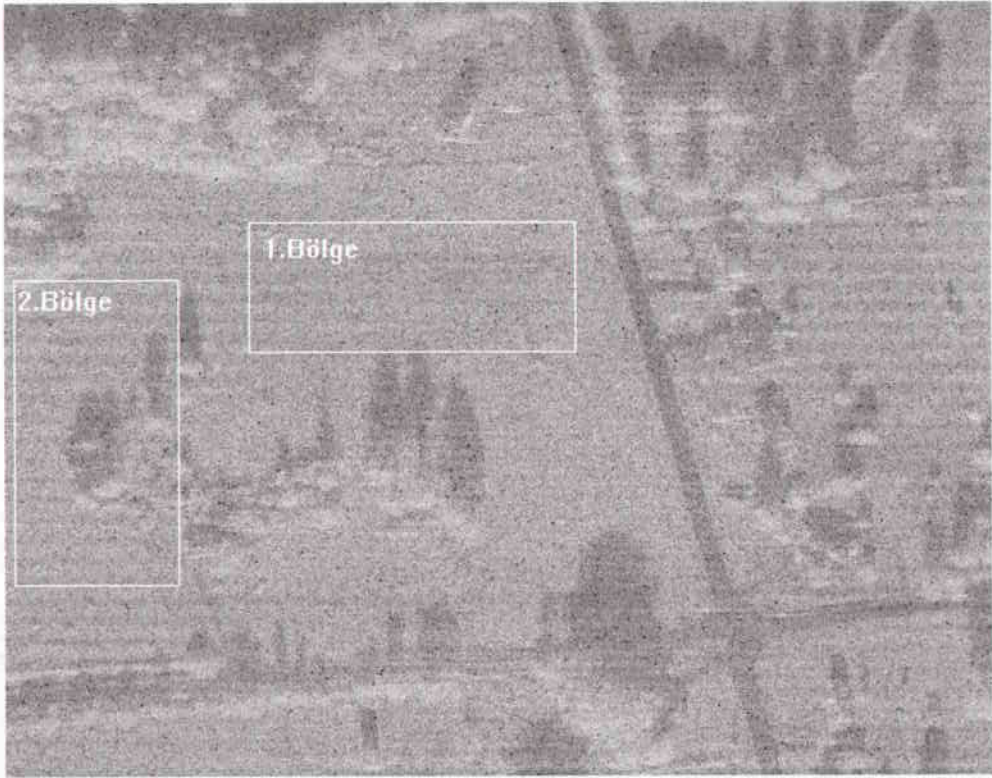
MSTAR hedef görüntülerinin arkaplan istenmeyen yankılarını gidermek için istenmeyen yankı sinyallerinin detaylı analizi yapılmıştır. MSTAR veri kümeleri ile temin edilen, istenmeyen yankı diskindeki SAR görüntülerinin değişik alanlarının, olasılıksal modeli çıkartılmaya çalışılmış ve bu sinyallerin hangi dağılıma uyduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

Tarımsal, ormanlık ve küçük yerleşim yerleri içeren bir SAR istenmeyen yankı görüntüsü Şekil 4.8.'de görülmektedir. Görüntü, 1784 x 1476 piksel boyutundadır.

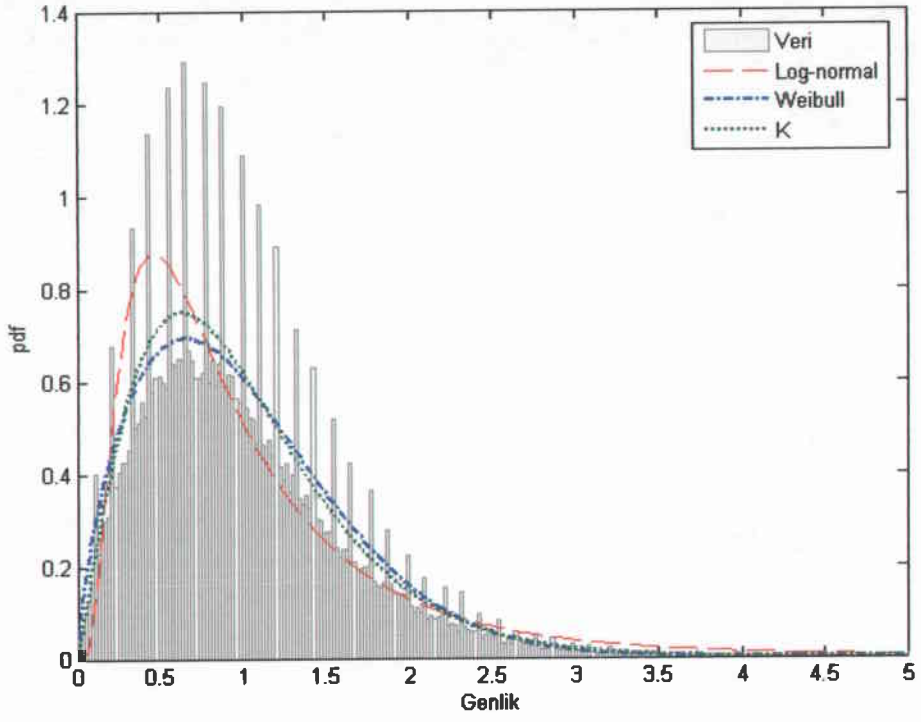
Homojen bitkisel arazi yapısına sahip olan birinci bölgenin, istenmeyen yankı verilerinin, hangi dağılıma en iyi uyduğunu belirlemek için muhtemel üç dağılımın (Log-normal, Weibull ve K) parametreleri verilerden kestirilmiş ve bu parametrelere sahip teoriksel üç dağılımın olasılık yoğunluk (pdf) ve birikimli dağılım (cdf) fonksiyonları, verilerin histogramı ve verilerden kestirilen deneysel birikimli dağılım fonksiyonları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.9.'da görülmektedir. Homojen

olan bitkisel tarım arazili birinci bölge için en iyi uyum edilen dağılım Weibull dağılımıdır. K-dağılımı da verilerin dağılımına iyi uyum sağlamaktadır.

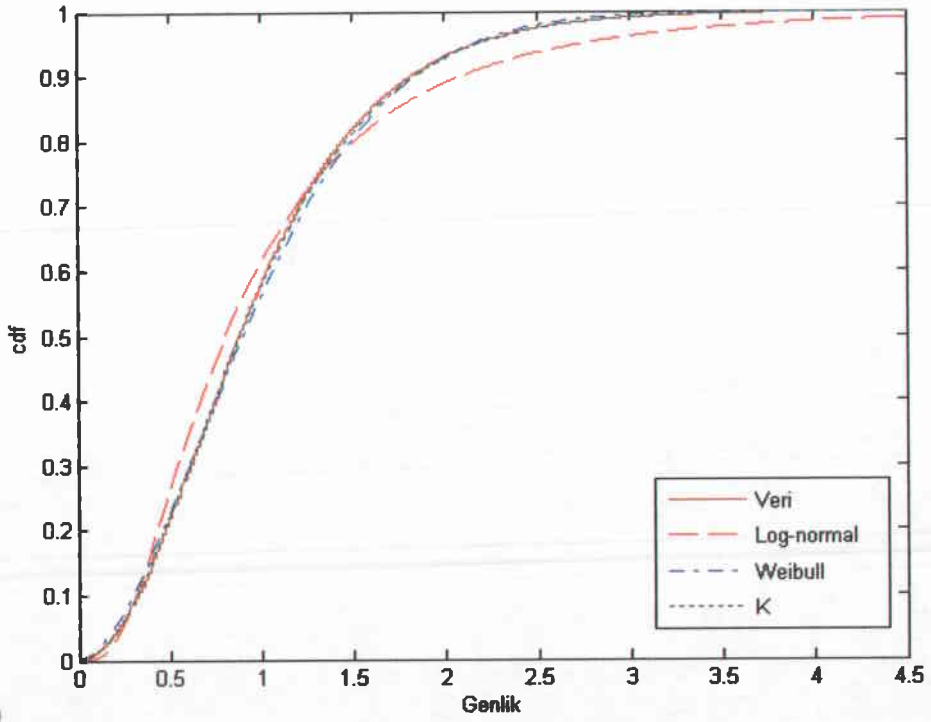
Ormanlık alanları da içeren ikinci bölge için de aynı analizler yapıldığında çıkan sonuçlar Şekil 4.10.'da görülmektedir. Daha az homojenliğe sahip bu bölge istenmeyen yankı verilerinin dağılımına ise en iyi K-dağılımı uyum edilmiştir. Bu bölge verilerinin histogramından görüleceği gibi ormanlık veya şehirsal alanlar gibi heterojen bölgelerin SAR verileri daha uzun kuyruklu dağılımlıdır ve verilere K-dağılımı daha iyi uyum sağlamaktadır.



Şekil 4.8. SAR istenmeyen yankı görüntüsü.

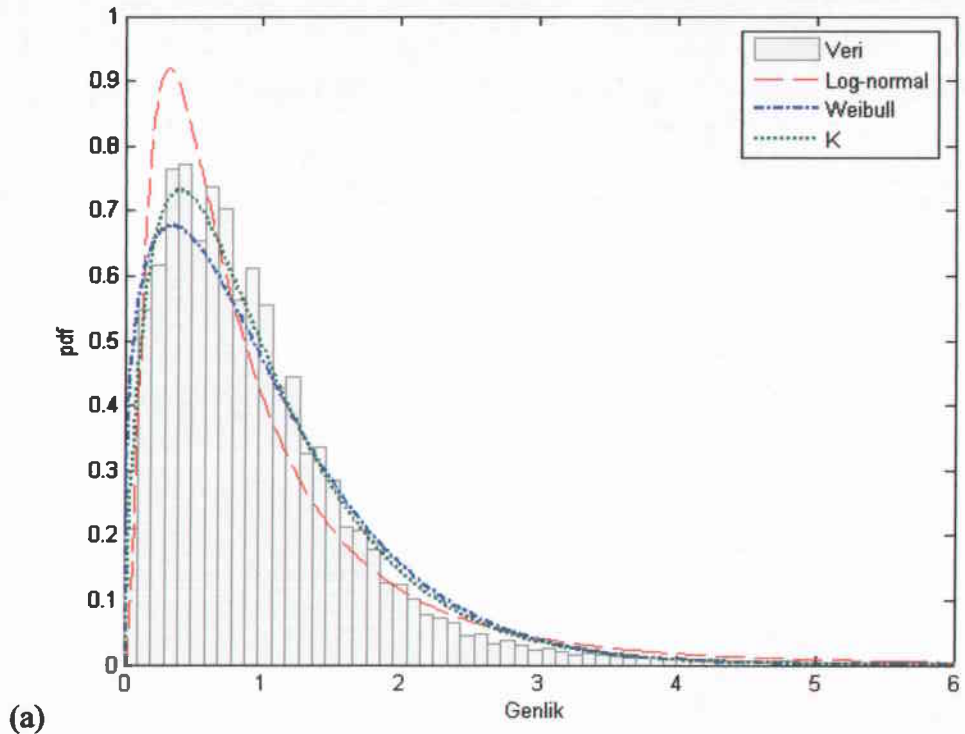


(a)



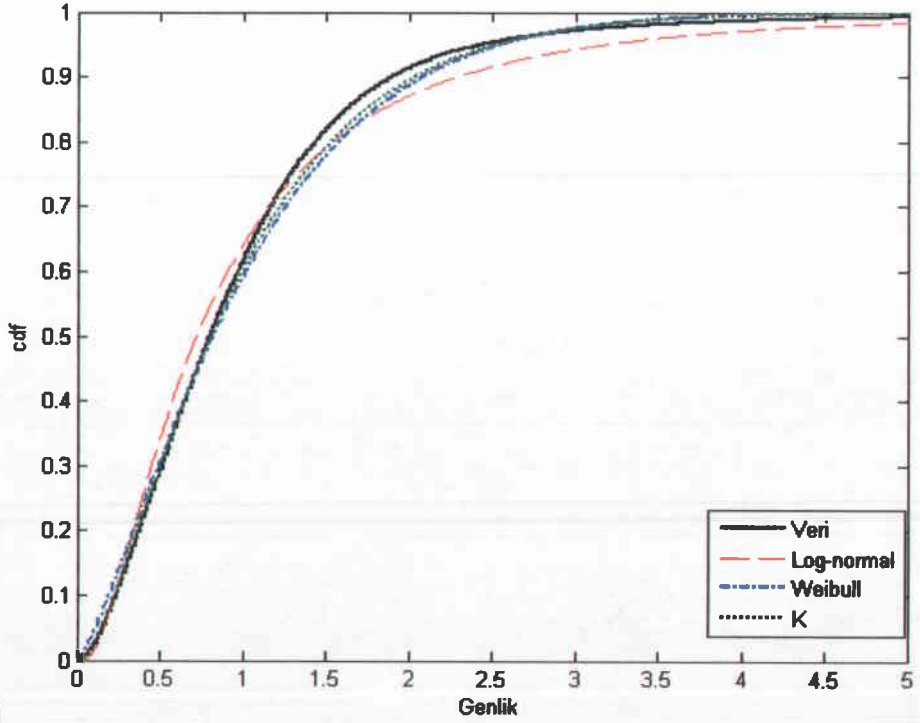
(b)

Şekil 4.9. İstenmeyen yankı görüntüsü birinci bölge istenmeyen yankı verilerinin, yoğunluk histogramına ve deneysel birikimli dağılım fonksiyonuna uyum edilen dağılımların (a) pdf ve (b) cdf'leri.



(a)

(a)

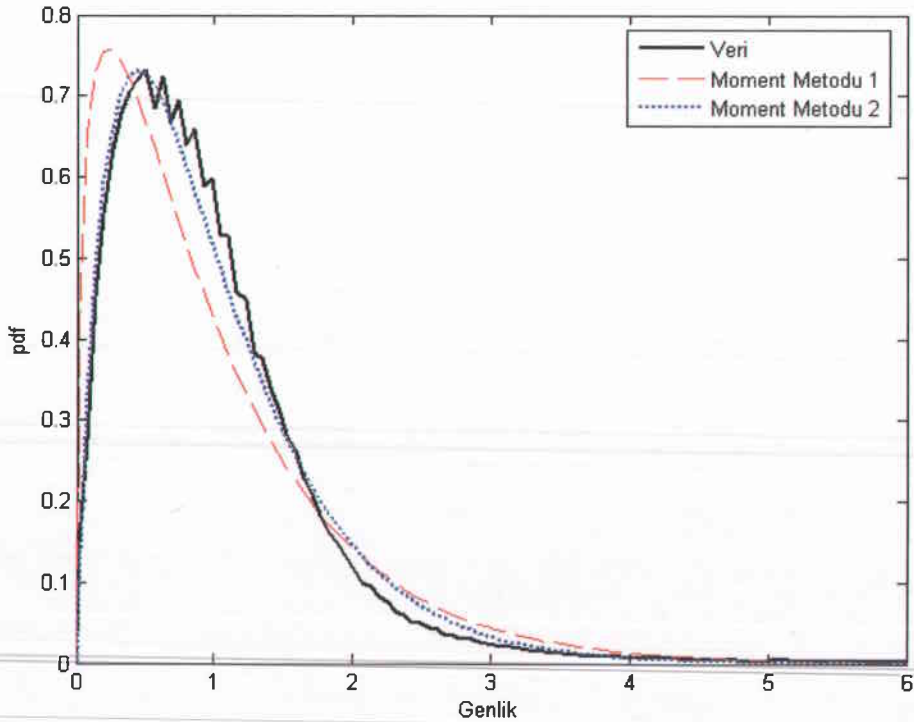


(b)

Şekil 4.10. İstenmeyen yankı görüntüsü ikinci bölge istenmeyen yankı verilerinin yoğunluk histogramına ve deneysel birikimli dağılım fonksiyonuna uyum edilen dağılımların (a) pdf ve (b) cdf'leri.

4.5.1.1. K-dağılımı parametre kestirimi doğruluğu

Hangi dağılımın daha uygun olduğunu belirlemede en önemli konulardan biri parametre kestiriminin doğruluğudur. Log-normal ve Weibull dağılımlarının parametre kestirimleri en büyük olabilirlik metodu ile yapıldığından optimal olarak kabul edilir. K-dağılımı için literatürde önerilen parametre kestirim metotlarını karşılaştırmak gerekir. Birinci metot olarak kesirli momentleri kullanarak biçim parametresi ν 'nin, ikinci bölge verilerinden kestirilen değeri -0.2972 olarak bulunurken, ikinci metot olarak Blacknell'in [59] önerdiği log-kestirimi ile 0.2116 değeri hesaplanmıştır. Verilerin kestirilen yoğunluk fonksiyonuna, bu metotlar ile kestirilen biçim parametrelili K-dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonları Şekil 4.11.'de görülmektedir. İkinci metot ile kestirilen ν parametrelili dağılım daha iyi uyum sağlamaktadır. Yapılan analizlerde, çok daha heterojen özelliğe sahip bölgelerde Blacknell'in metodu biçim parametresini çok daha doğrulukla kestirdiği görülmüştür.



Şekil 4.11. K-dağılımı parametre kestirimi metotlarının verilere uyum performansı.

4.5.2. Hedef Görüntülerinin Arkaplan İstenmeyen Yankı Verilerinin Analizi

İstenmeyen yankıların analizlerinden sonra hedef görüntülerindeki arkaplan istenmeyen yankıların modellenmesi yapılmıştır. Bu bölgedeki yankılar bitkisel araziden kaynaklanmaktadır. Hedef görüntülerindeki arkaplan istenmeyen yankı verilerinin, hangi dağılıma en iyi uyduğunu belirlemek için önceki çalışmalara benzer biçimde, 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 4.12.'de verilmiştir. İstenmeyen yankı verilerinin dağılımına en iyi uyum edilen dağılımın K-dağılımı olduğu şekilden görülmektedir.

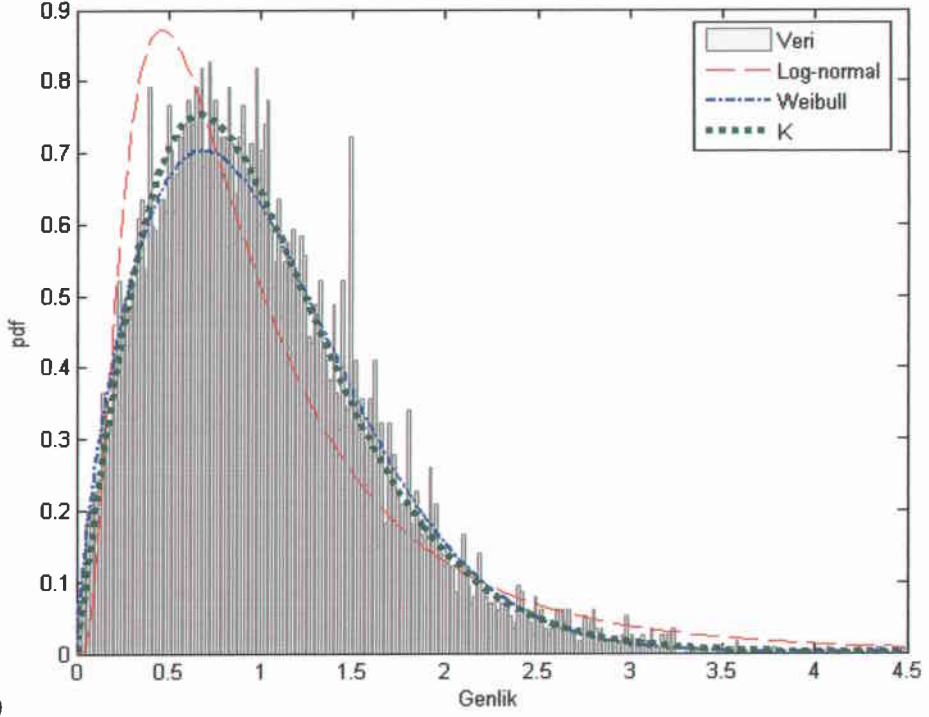
4.5.2.1. Yüksek dereceden istatistikler ile tanıma

Grafiksel metodun haricinde, hangi dağılımın daha iyi uyduğunu belirlemek için, örnek verilerin ve dağılımların yüksek-dereceden momentleri hesaplanarak (HOSC) verilere minimum uzaklığa sahip özellik vektörünün hangi dağılıma ait olduğu belirlenmiştir. Momentler, dördüncü dereceye kadar hesaplanmıştır. Veriler birim ortalamaya düzgülenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.1.'de görülmektedir. Minimum uzaklığa sahip K-dağılımı olmasıyla birlikte Weibull dağılımının da uzaklığının az olduğu görülmektedir.

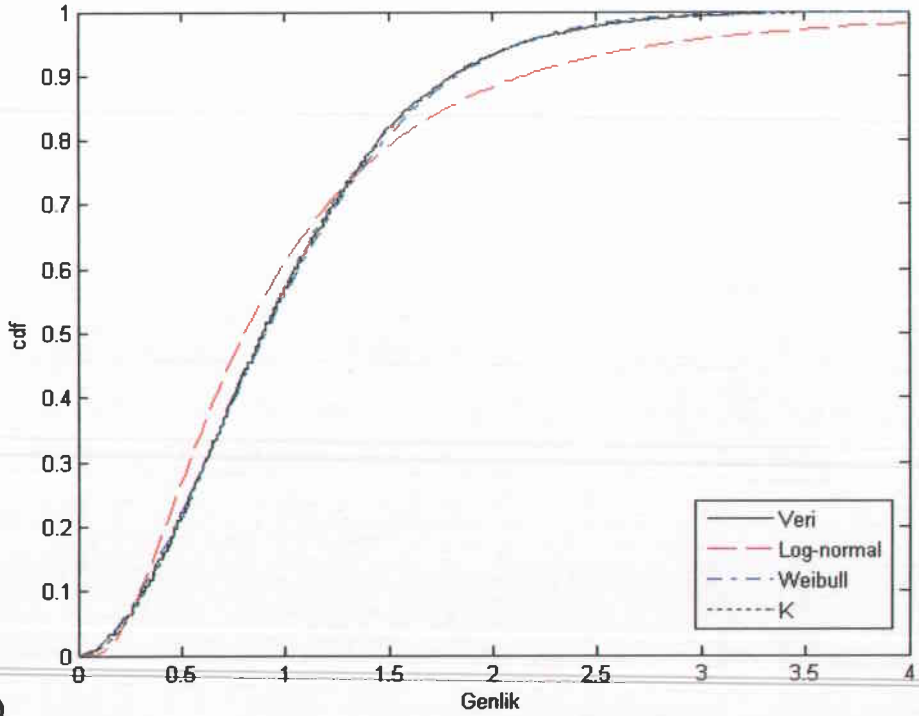
4.5.2.2. Kolmogorov-Smirnov uyum derecesi testi

Ayrıca, verilerden kestirilen deneysel birikimli dağılım fonksiyonuna, Log-normal, Weibull ve K dağılımlarının kestirilen parametreleri ile hesaplanan birikimli dağılım fonksiyonlarının uzaklıkları Kolmogorov-Smirnov testi ile ölçülmüştür. Bu testin sonuçları Çizelge 4.2.'de görülmektedir. Alfa önem derecesi 0.05 olarak alınmıştır. q KS-test değeri, c karşılaştırılan değerden büyükse, yani $q > c$, o zaman "karşılaştırılan iki dağılım en azından 0.95 olasılıkla birbirlerinden farklıdır" diyebiliriz.

Çizelge 4.2.'deki sonuçlardan da, K ve Weibull dağılımlarının, istenmeyen yankı verilerinin dağılımlarını 0.05 güvenlik aralığında sağladığını görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.12. Hedef görüntülerinin arkaplan istenmeyen yankı verilerinin yoğunluk histogramına ve deneysel birikimli dağılım fonksiyonuna uyum edilen dağılımların (a) pdf ve (b) cdf'leri.

	Örnek verilerin özellik vektörüne olan D uzaklığı
Log-normal	77.3499
Weibull	0.6912
K-dağılımı	0.0221

Çizelge 4.1. Üç dağılımın, yüksek dereceden momentleri içeren özellik vektörünün, istenmeyen yankı örnek verilerin özellik vektörüne olan vektörel uzaklıkları.

	KS-testinin test değeri q	Karşılaştırılan değer c
Log-normal	0.0719	0.0642
Weibull	0.0256	0.0642
K-dağılımı	0.0182	0.0642

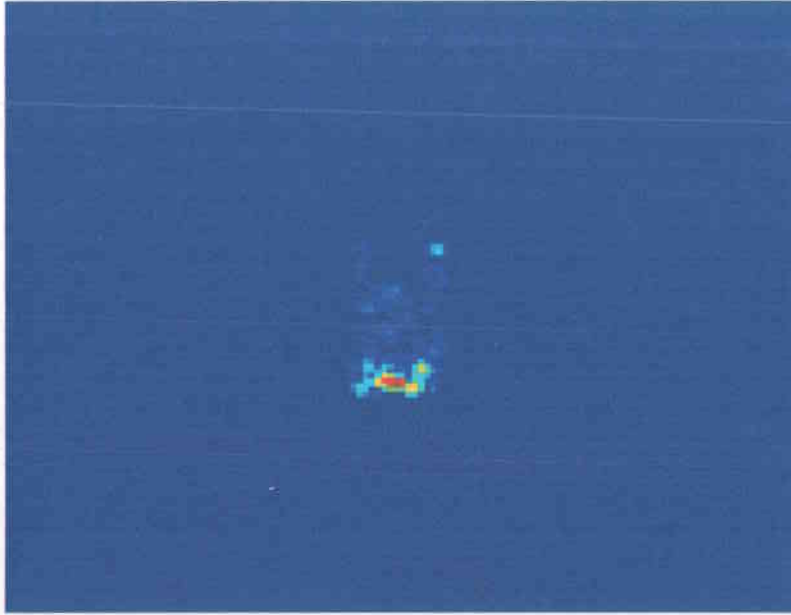
Çizelge 4.2. Üç dağılımın Kolmogorov-Smirnov testi sonuçları.

4.5.2.3. Sabit yanlış alarm oranı (CFAR) algılama

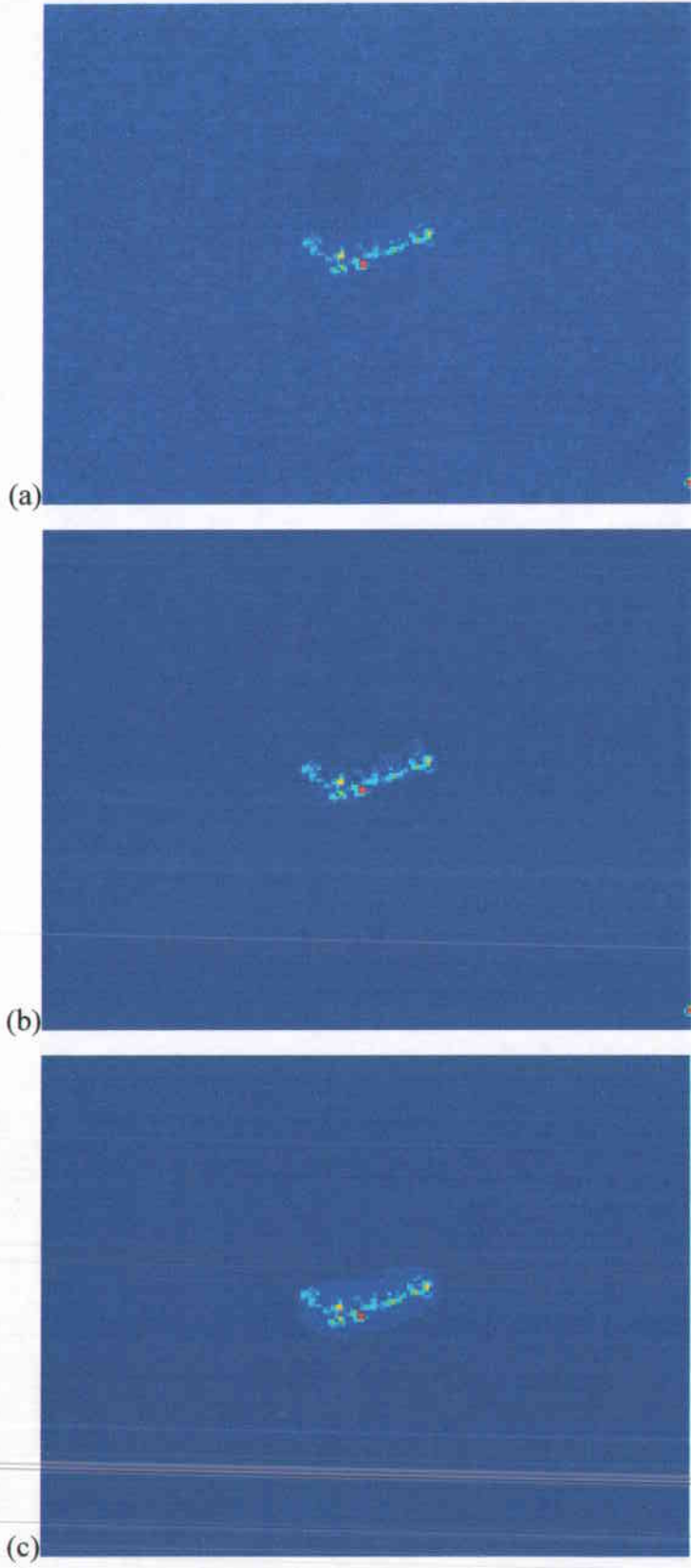
Hedef görüntülerinin arkaplan istenmeyen yankı verilerinin dağılımını, K-dağılımı ile modelleyerek CFAR algılaması yapmak için, SAR görüntüsü boyunca kayan bir pencereden, çevreleyen bölgesinden (Şekil 2.6.) parametrelerin kestirimini yapmak, istenilen yanlış alarm olasılığı P_{FA} ve eşik değeri T arasındaki aşkın (transcendental) denklemini (3.41)'den çözmek ve merkezdeki test pikseli ile bu eşik değerini karşılaştırmak gerekir. Bu işlem her piksel için tekrarlanır. Bu işlemlerde karşılaşılan zorluklardan biri çevreleyen bölgedeki verilerden K-dağılımı parametrelerinin yeterli hassasiyetle kestirilememesi ve P_{FA} ve T arasında optimizasyon gerektiren aşkın denklemin çözümüdür. İstenmeyen yankıları K-dağılımı ile modellemedeki sayısal bu zorluklardan ve Weibull dağılımının da istenmeyen yankı verilerinin dağılımına yakın yaklaşım yapmasından dolayı alternatif olarak Weibull dağılımı da model olarak kullanılabilir. Weibull dağılımının P_{FA} ve T arasındaki denklemi çok basittir (3.40) ve parametre kestirimi az sayılı örneklerden daha hassas yapılabilir.

Hedef görüntülerinin arkaplan istenmeyen yankılarının genliklerinin dağılımının, Weibull dağılımı ile modellenmesi ve (2.8)'deki adaptif CFAR algılayıcının SAR görüntüsüne uygulanması işlemi sonucu Şekil 4.13.'de görülmektedir. İstenmeyen yankıların hemen hemen tamamı giderilirken, hedef öznelikleri de çok büyük oranda korunmuştur. İstatistiksel modele dayalı istenmeyen yankıları giderme metodu ile, diğer metotlara göre, hedefin arkaplan istenmeyen yankılardan daha iyi ayırt edildiği görülmektedir.

Ayrıca bu çalışma ile yüksek çözünürlüklü SAR istenmeyen yankı verilerini modellemede kullanılan Log-normal, Weibull ve K-dağılımlarının bir karşılaştırılması da deneysel gerçek SAR görüntüleri ile yapılmıştır. Bu üç dağılımdan Log-normal dağılımın istenmeyen yankı verilerine iyi uyum sağlamadığı görülmüştür. Weibull ve K dağılımlarının ikisi de istenmeyen yankı verilerinin genliğine iyi uyum sağlarken, bu iki dağılım arasındaki farkın, özellikle de biçim parametresi belli bir aralıkta iken, çok az olduğu görülmüştür. Çok fazla heterojenliğe sahip bölgelerde K-dağılımın bu alandan kaynaklanan verileri daha iyi modellediği görülmüştür.



Şekil 4.13. İstenmeyen yankı verilerinin Weibull modeli ile adaptif CFAR algılayıcı çıkışı. ($P_{FA}=0.01$)



Şekil 4.14. T62 ana savaş tankı hedef görüntüsünün (a) Orijinal SAR görüntüsü, (b) direkt eşikleme (c) dağılım çarpıklığı ile istenmeyen yankıları giderme sonuçları.



Şekil 4.15. T-62 ana savaş tankı hedef görüntüsünün (a) dalgacık paket analizi (b) istatistiksel modelleme metotları ile istenmeyen yankıları giderme sonuçları.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, askeri hedefleri içeren gerçek MSTAR SAR görüntülerine, istenmeyen yankıları giderme teknikleri hedef algılama için uygulanmış ve bu metotların performansları karşılaştırılmıştır.

Direkt eşikleme metodu birçok istenmeyen yankıyı gidermesine rağmen hedef özelliklerden de oldukça büyük ve hedefin önemli özelliklerinde kayıplar vermiştir. Bu metot en ilkel olandır ve sadece hedeflerin geri yansıma şiddetlerinin istenmeyen yankılarından daha güçlü olduğu bilgisine dayanır. Pratikte durum daha karmaşıktır ve sinyalin istenmeyen yankıya oranının (SCR) çok düşük olduğu durumlar yaygındır. MSTAR hedef görüntülerinde de hedefin bazı bölümleri güçlü yansımalara sahip olmakla birlikte büyük bölümü genellikle güçsüz yansıma şiddetlerine sahiptir. Belirli bir eşik değerinin üstündeki değerleri algılama ile, hedefin bu bölümlerinde çok fazla kayıplar oluşmuştur, bu da hedef tanımayı ve sınıflandırmayı elverişsiz hale getirir. Bu metodun çıkış görüntüsü diğer algoritmalar için referans olarak alınmıştır.

Çarpıklık ölçevi ile istenmeyen yankıları giderme, çok basit ve hızlı bir algoritmadır. Bu metot ile SAR görüntüsündeki hedefin, yakın çevresindeki istenmeyen yankılar hariç diğer yankılar etkili biçimde giderilmiştir. Fakat, hedef kendisini çevreleyen istenmeyen yankılardan ayırt edilememiş ve sınırları çıkartılamamıştır. Çeşitli kayan pencere boyutları ve farklı eşik değerleri denenmiştir. Çarpıklık ölçevi kayan bir pencere üzerinden hesaplanmış ve daha büyük boyutlu pencerelerin performansı iyileştirmede, hatta hedefte daha çok kayıplar oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca test istatistiğinin hedef bölgelerinde eşik değerinden aşağı düştüğü yerlerde delikler gözlemlenmiştir. Direkt eşikleme ve çarpıklık ölçevi metotları hedef yerlerini belirlemede hızlı metotlar olarak kullanılabilirler, fakat hedef tanıma için model tabanlı metotlara gereksinim vardır.

Dalgacık analizine dayalı giderme metodu, hedef ve istenmeyen yankıların farklı ilinti özellikleri göstermesine, yani hedef özelliklerinin kendilerine ilintili olduğu, istenmeyen yankıların ise büyük oranda ilintisiz olduğu varsayımına dayanır. Bu ilinti farklılığını frekans düzleminde en iyi biçimde modelleyerek, yani temel fonksiyonlara ayrıştırarak, istenmeyen yankıları gidermeye dayanır. Bu metot ile de,

istenmeyen yankılar belirli bir oranda giderilirken hedeften de kayıplar verildiği görülmüştür. Metot çıkışındaki istenmeyen yankılar son-işlem ile giderilmeye çalışılmış fakat hedeften de aynı oranda kayıplar verilmiştir. Bu metodun çıkışı diğer metotlardan iyi olmakla birlikte, hedef tanımada hedefin özniteliklerinin iyice korunması gerektiği şartlarda, literatürde de en yaygın metot olan istenmeyen yankıların istatistiksel modellemesine dayalı metotlar, çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

İstatistiksel modellemeye dayalı metot, hedef özniteliklerini koruma ve istenmeyen yankıları giderme performansı açısından diğer metotlardan çok daha başarılı sonuçlar vermiştir. Hedef özniteliklerinden çok az kayıp verilmiştir ve bu da yanlış alarm olasılığı ile kontrol edilmiştir. Bu metodun tek dezavantajı işlem yoğunluğudur. İstenmeyen yankıların uzamsal dağılımı karışıktır ve uygulamadan uygulamaya değişmektedir. Rasgele saçılımlardan başka; radar çözünürlüğü, aydınlatma geometrisi, radar frekansı ve polarizasyonu gibi birçok etkene bağlı olduğundan, bu çalışma ile MSTAR hedef görüntülerinin yüksek çözünürlüklü (30 cm x 30 cm) yer istenmeyen yankılarının Weibull ve K dağılımları için uygun modeller olduğu görülmüştür. İki dağılım arasındaki fark, özellikle homojen bölgelerde çok azdır ve hangi dağılımın kullanılacağında hesaplamasal faktörler devreye girmektedir.

Bu çalışmada, istenmeyen yankı analizi konusundaki çalışmalarının deneysel verilere bir uygulaması ve bu analizler ile hedef görüntülerindeki istenmeyen yankıların giderilmesi başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir.

KAYNAKLAR :

- [1] Graham,L.C. "Synthetic interferometer radar for topographic mapping", Proc. IEEE, Vol. 62, pp. 763-768, (1974).
- [2] Tomiyasu,K. "Tutorial review of synthetic-aperture radar (SAR) with applications to imaging of the ocean surface", Proceedings of the IEEE, 66(5):563-583, May (1978).
- [3] Beal,R.C., DeLeonibus,P.S., ve Katz, I. "Spaceborne Synthetic Aperture Radar for Oceanography", Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, ISBN: 0801826683, 216 pp, (1981).
- [4] Curlander,J.C., Holt,B. ve Hussey,K.J. "Determination of sea ice motion using digital SAR imagery", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. OE-10, no. 4, pp. 358-367, (1985).
- [5] Zebker,H.A., van Zyl,J.J. ve Elachi,C. "Polarimetric SAR Applications: in Radar polarimetry for geoscience applications", F. T. Ulaby and C. Elachi editors, Artech House, Inc, 364 pp, (1990).
- [6] Carin,L., Kapoor,R., ve Baum,C.E. "Polarimetric SAR imaging of buried landmines," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, pp. 1985-1988, Nov. (1998).
- [7] Burgmann,R., Rosen,P.A., ve Fielding,E.J. "Synthetic Aperture Radar Interferometry to Measure Earth's Surface Topography and its Deformation", Ann. Rev. Earth Plant. Sci, Vol. 28, pp. 169 – 209, (2000).
- [8] Novak,L.M., Owirika,G.J. ve Netishen,C.M. "Performance of a high-resolution polarimetric SAR automatic target recognition system", Lincoln Laboratory Journal, Vol. 6, No. 1, pp. 11-24, (1993).
- [9] Kuttikad,S. ve Chellappa,R. "Non-Gaussian CFAR Techniques for Target Detection in High Resolution SAR Images", First Intl. Conf. on Image Processing, Austin, Texas, Nov, (1994).
- [10] Mecocci,A., Benelli,G., Garzelli,A. ve Bottalico,S. "Radar image processing for ship traffic control", Image and Vision Computing, Vol. 13, number 2, pp. 119-128, (1995).

- [11] O'Sullivan J., DeVore M., Kedia V. "Performance Analysis of ATR from SAR Imagery", Proceedings of the 33rd Annual Conference on Information Science and Systems, Baltimore, MD, April, (1999).
- [12] Jones,G. ve Bhanu,B. "Recognition of Articulated and Occluded Objects", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 21, number 7, pp. 603-613, (1999).
- [13] Runkle,P., Nguyen,L., McClellan,J ve Carin,L. "Multi-aspect target detection for SAR imagery using hidden Markov models", IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, pp. 46-55, Jan. (2001).
- [14] Wiley,C.A. "Pulsed Doppler Radar Method and Means", U.S.Patent, No.3196436, August, (1954).
- [15] Harger,R.O. "Synthetic Aperture Radar Systems Theory and Design", Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 0123250501, 240 pp, (1969).
- [16] Dainty,J.C. "Laser speckle and related phenomena", Springer-Verlag New York, LLC, ISBN: 0387074988, 286 pp, (1975).
- [17] Kovaly,J.J. "Synthetic Aperture Radar", Artech House Incorporated, ISBN: 0890060568, 360 pp, (1976).
- [18] Fitch,J.P. ve Burrus,C.S. "Synthetic Aperture Radar", Springer-Verlag New York, LLC, ISBN: 038796665X, 170 pp, (1988).
- [19] Oliver,C.J. "Synthetic-aperture radar imaging", Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 22, pp. 871-890, (1989).
- [20] Curlander,J. ve McDonough,R. "Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing", John Wiley & Sons, ISBN: 0-471-85770-X, 672 pp, (1991).
- [21] Mensa,D.L. "High Resolution Radar Cross-Section Imaging", Artech House Incorporated, ISBN: 0890063893, 284 pp, (1991).
- [22] Oliver,C.J.ve Quegan,S. "Understanding Synthetic Aperture Radar Images", Artech House Incorporated, ISBN: 089006850X, 512 pp, (1998).
- [23] Posa,F. "SAR Image Analysis, Modeling, and Techniques V", SPIE-The International Society for Optical Engineering, ISBN: 0819446653, 242 pp, (2003).

- [24] Pham,D.H., Ezekel,A., Campbell, M. T. ve Smith, M. J. T. "A New End-to-End SAR ATR System", Proceedings of SPIE: Algorithms SAR Imagery VI, Vol. 3721, 292–301, Orlando, Florida, April, (1999).
- [25] Luo,D. "Pattern Recognition and Image Processing", Horwood Publishing Limited, Chichester, England, ISBN: 1898563527, 245 pp, (1998).
- [26] Lin, I-I. ve Khoo, V. "Computer-based algorithm for ship detection from ERS-XSAR Imagery", In Proceedings of the 3rd ERS Scientific Symposium, Florence, Italy, 17-21 March, (1997).
- [27] Lin, I-I., Kwoh, L.K., Lin, Y.C. ve Khoo, V. "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, (1997).
- [28] Burl, M. C., Owirka, G. J. ve Novak, L. M. "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, (1989).
- [29] Finn, H.M. ve Johnson, R.S. "Adaptive Detection Mode with Threshold Control as a Function of Spatially Sampled Clutter-Level Estimates", RCA Review 29(3): 414–464, (1968).
- [30] Rohling,H. "Radar CFAR Thresholding in clutter and Multiple Target Situations", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems , AES-19, 4 (July 1983), 608-621, (1983).
- [31] Fogler, R.J., Hostetler, L.D. ve Hush, D.R. "SAR Clutter Suppression Using Probability Density Skewness", IEEE Transactions on Aerospace and Electronics, Vol. 30, No. 2, pp. 621-625, April, (1994).
- [32] Deng,H. ve Ling,H. "Clutter Reduction for Synthetic Aperture Radar Imagery Based on Adaptive Wavelet Packet Transform", Journal of Electromagnetic Waves and Applications 14.6: 855 – 856, (2000).
- [33] Kim,H., Liang,P. "Target extraction from clutter images using wavelet packet analysis", Radar Conference,1998.RADARCON 98. Proceedings of the 1998 IEEE, pp.195-200.
- [34] Chui,C.K. "An Introduction to Wavelets", Academic Press, NewYork, 280 pp, (1992).

- [35] Wickerhauser, M.V. "Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software", A. K. Peters, Wellesley, Mass., 486 pp, (1994).
- [36] Deng, H. ve Ling, H. "Fast solution of electromagnetic integral equations using adaptive wavelet packet transform", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 47, 674–682, April (1999).
- [37] Goodman, J.W. "Some Fundamental Properties of Speckle", *Journal of the Optical Society of America*, 66(11): 1145–1150, (1976).
- [38] Skolnik, M.I. "Introduction to Radar Systems", 3rd edition, McGraw-Hill, New York, ISBN: 0072881380, 672 pp, (2002).
- [39] Goldstein, G.B. "False Alarm Regulation in Log-normal and Weibull Clutter", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-9(1): 84–92, (1973).
- [40] Schleher, D.C. "Radar Detection in Weibull Clutter", *IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems*, AES-12(6): 736–743, (1976).
- [41] Sekine, M., Ohtani, S., Musha, T., Irabu, T., Kiuchi, E., Hagiwara, T. ve Tomita, Y. "Weibull Distributed Ground Clutter", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-17: 596–598, (1981).
- [42] Sekine, M. ve Mao, Y. "Weibull Radar Clutter", Institution of Electrical Engineers (IEE), ISBN: 0863411916, 190 pp, (1990).
- [43] Jakeman, E. ve Pusey, P.N. "A Model for Non-Rayleigh Sea Echo", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, AP-24(6): 806–814, (1976).
- [44] Jao, J.K. "Amplitude Distribution of Composite Terrain Radar Clutter and the K-distribution", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 32(10): 1049–1062, (1984).
- [45] Yueh, S.H., Kong, J.A., Jao, J.K., Shin, R.T. ve Novak, L.M. "K-distribution and Polarimetric Terrain Radar Clutter", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 3: 747–768, (1989).
- [46] Oliver, C.J. "Representation of Radar Sea Clutter", *IEE Proceedings, F, Radar and Signal Processing*, 135(6): 497–506, (1988).
- [47] Ward, K.D. "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, Tokyo, (1989).

- [48] Ward,K.D., Baker,C.J. ve Watts,S. "Maritime Surveillance Radar Part 1: Radar Scattering from the Ocean Surface", IEE Proceedings F, Radar and Signal Processing, 137 (2): 51-62, (1990).
- [49] Long,M.W. "Radar Reflectivity of Land and Sea", 3rd Edition, Artech House, ISBN: 1580531539, 560 pp, (2001).
- [50] Billingsley,J.B. "Low-Angle Land Clutter Measurements and Empirical Models", SciTech Publishing, Incorporated, ISBN: 1891121162, 700 pp, (2002).
- [51] Davidson,G., Griffiths,H.D. ve Ablett,A. "Statistical analysis of high resolution land clutter", Proceedings of International Conference on Radar 2002, 15-17 Oct 2002, Edinburgh, UK. (2002).
- [52] Harter,H.L. ve Moore,A.H. "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, August, (1965).
- [53] Harter,H.L. ve Moore,A.H. "Maximum likelihood estimation of the parameters of Gamma and Weibull populations from complete and from censored samples", Technometrics, Vol. 7, No. 4, November, (1965).
- [54] Cohen,A.C. "Maximum likelihood estimation in the Weibull distribution based on complete and on censored samples", Technometrics, Vol. 7, No. 4, November, (1965).
- [55] Joughin,I.R., Percival,D.B. ve Winebrenner,D.P. "Maximum likelihood estimation of K distribution parameters for SAR data", IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 31, no. 5, pp 989-999, (1993).
- [56] Raghavan,R.S. "A method for estimating parameters of K-distributed clutter", IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 27, no. 2, pp. 238-246, (1991).
- [57] Yueh,S.H., Kong,J.A., Jao,J.K., Shin,R.T. ve Novak, L.M. "K-distribution and polarimetric terrain radar clutter", J.Electromag. Waves Appl., Vol. 3, no. 8, pp. 747-768, (1989).
- [58] Oliver,C.J. "Optimum texture estimators for SAR clutter", Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 26, pp. 1824-1835, (1993).

- [59] Blacknell,D. “Comparison of parameter estimators for K-distribution”, IEE Proc~ Radar, Sonar and Navigation, Vol. 141, no. 1, pp. 45-52, (1994).
- [60] Iskander,D.R. ve Zoubir,A.M. “Estimation of the parameters of the K-distribution using higher order and fractional moments”, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. 35, pp. 1453–1457, Apr. (1999).
- [61] Xiaoyan,AS.M., Xueli,F., Ronghua,Z. ve Jiabin,X. “An Approach of Radar Clutter Recognition Based on Higher-Order Statistics Combination”, Signal Processing Proceedings, WCCC-ICSP 2000. 5th International Conference on, (2000).
- [62] Van Trees,H.L. “Detection, Estimation, and Modulation Theory Part III : Radar-Sonar Signal Processing and Gaussian Signals in Noise”, John Wiley & Sons, New York, ISBN: 047110793X, 648 pp, (2001).
- [63] Coifman,R.R. ve Wickerhauser,M.V. “Entropy-based algorithmsfor best basis selection”, IEEE Trans. Info. Theory, Vol. 38, 713–718, March (1992).
- [64] *MSTAR SAR Data Set, Clutter and Targets*, collected by Sandia National Lab, released by DARPA, MSTAR Data Collection #1-2 , September 1995.
- [65] User reference for MATLAB, ver.7.0.0 (R14), May 2004.

ÖZGEÇMİŞ

ŞEVKET DEMİRCİ

E-mail: sdemirci@mersin.edu.tr
Tel : 0542 7201750 (GSM)

Üniversite Cad. Kızılırmak Sitesi
B Blok No :14 Mersin

KARİYER PROFİLİ

Araştırma Görevlisi

- Radar sinyal işleme
- İstatistiksel sinyal işleme

PROFESYONEL DENEYİM

MERSİN ÜNİVERSİTESİ - URL: <http://www.mersin.edu.tr/>, Mersin, Türkiye

Araştırma Görevlisi, 27.12.2001

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ - URL: <http://www.cu.edu.tr/>, Adana, Türkiye

Araştırma Görevlisi, 1998-1999

EĞİTİM

MS, Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mersin (Devam ediyor)

BS, Çukurova Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Adana, Haziran 1998
GPA: 2.82

Seminerler: Yapay Açıklıklı Radar (SAR) Görüntülerinde İstenmeyen Yankıların Giderilmesi

YABANCI DİL BİLGİSİ

İleri düzeyde İngilizce

Temel düzeyde Almanca

BİLGİSAYAR BİLGİSİ

İşletim Sistemleri: Windows Family

Programlama Dilleri: 80x86 Assembly, BASIC, C, C++,

Diğer: MATLAB, FrontPage, Adobe Premiere, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Tarihi : 24 Ocak, 1976

Askerlik Hizmeti : Tamamlandı