ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

HEDEF TAKİBİ UYGULAMALARINDA TESPİT ÖNCESİ İZLEME YÖNTEMİ İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR GELİŞTİRİLMESİ

SERDAR TUĞAÇ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

ANKARA
2013

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

HEDEF TAKİBİ UYGULAMALARINDA TESPİT ÖNCESİ İZLEME YÖNTEMİ İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR GELİŞTİRİLMESİ

Serdar TUĞAÇ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat EFE

Tipik bir hedef takip süzgeci radarın sinyal işleme katı çıkışını bir eşik değeriyle karşılaştırarak tespitleri üretir. Bunun sonucunda düşük sinyal gürültü oranına sahip hedefler, eğer sinyal gücü tanımlanmış olan eşik değerinden düşük ise tespit edilemeyebilir. Tespit Öncesi İzleme (TÖİ) teknikleri tespit eşik değeri ihtiyacını ortadan kaldırarak düşük sinyal gürültü oranına sahip hedeflerin tespit ve izlenmesine olanak sağlayan bir yaklaşımdır. TÖİ yaklaşımları radar sinyal işleme katında eşik değeri kullanım ihtiyacını ortadan kaldırmakla birlikte, süzgeç katında ayarlama eşik değerlerini sıkça kullanmaktadır. Bu tezde TÖİ, yaklaşımlarında kullanılabilecek ve herhangi bir eşik değeri kullanımını ortadan kaldıran Saklı Markov Modeli (SMM) tabanlı 3 adet hedef tespit yöntemi önerilmektedir. Önerilen ilk yöntem sinyal güç seviyesinin en büyük olduğu menzil ve kerteriz değerlerinin değişimini kullanmaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı hedefin sinyal güç seviyesinin parazit yankıdan büyük olması gerekliliğidir. Bu dezavantajı ortadan kaldırabilmek için sürekli dalgacık dönüşümü ve SMM'yi birlikte kullanan ikinci bir yöntem önerilmektedir. Gerçek radar ölçümleri kullanıldığında önerilen yöntem hedef tespiti yapabilmektedir. İkinci yöntemin en büyük dezavantajı olarak da sistem performansının kullanılan ana dalgacığa bağımlı olmasıdır. Bu dezavantajı ortadan kaldırabilmek için de çoklu-fraktal ve SMM'yi birlikte kullanan bir hedef tespit yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntem deniz parazit yankısı içeren gerçek radar ölçümlerinde hedef tespiti yapabileceğini göstermektedir.

Nisan 2013, 131 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tespit öncesi izleme, saklı markov model, sürekli dalgacık dönüşümü, çoklu-fraktal, hedef tespiti

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DEVELOPMENT OF NOVEL APPROACHES FOR TRACK-BEFORE-DETECT TECHNIQUES IN TARGET TRACKING APPLICATIONS

Serdar TUĞAÇ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Murat EFE

A tracking filter using conventional methods perform target detection by setting a threshold at the output of the sensor's signal processor. Thresholding may result in not detecting targets with low signal-to-noise ratio (SNR) if the signal power is below the predetermined threshold. Track-before-detect (TBD) techniques avoid the usage of a detection threshold and provide detecting and tracking targets with lower signal-to-noise ratios. Although TBD techniques eliminate the need for detection threshold at sensor's signal processing stage, they often use tuning thresholds at the output of the filtering stage. This thesis presents three different Hidden Markov Model (HMM) based target detection methods for employing with TBD techniques which does not employ any thresholding. The first proposed method uses the range and bearing changes corresponding to the measurement which has the maximum signal level. The major disadvantage of this method is the requirement of the target signal level to be higher than the clutter level. To overcome this problem a HMM based detection method which employs continious wavelet transform is proposed. Using real radar measurements the second proposed method shows that it can be used for target detection. The major disadvantage of the second proposed method is the dependency on the choice of mother wavelet. To overcome this dependancy another HMM based target detection which employs multi-fractal formalism is proposed. Using real radar measurements under sea clutter, the proposed method shows that it can be used for target detection.

April 2013, 131 pages

Key Words: Track-before-detect, hidden Markov model, continuous wavelet transform, multi-fractal, target detection

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren danışmanım Doç.Dr. Murat EFE'ye (Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı) teşekkür ederim.

Tez çalışma süresince yapılan tez izleme toplantılarına katılan ve fikirleri ile katkıda bulunan Sayın Prof.Dr. Mustafa KUZUOĞLU (ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü) ve Sayın Doç.Dr. Asım Egemen YILMAZ'a (Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı) teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında beni hiç bıkmadan destekleyen, sonsuz sabır gösteren, bana daima güvenen eşim Asude Karlı TUĞAÇ'a ve varlığıyla hayatımıza mutluluk katan oğlum Yiğit TUĞAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Serdar TUĞAÇ
Ankara, Nisan 2013

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER 5
2.1 Radar Teorisi 5
2.2 Temel Radar Denklemi 6
2.3 Darbeli Radarlar 7
2.4 Mesafe ve Doppler Belirsizlikleri 10
2.5 Hedef Tespit Temelleri 12
2.5.1 Hipotez testi ile radar hedef tespiti 13
2.5.2 Neyman-Pearson tespit kriteri 14
2.5.3 Radar sinyallerinin eşik değeri kullanımıyla tespiti 16
2.5.4 Radar sinyallerinin birleştirilmesi 18
2.5.5 Sabit yanlış alarm oranlı tespit 20
3. TESPİT ÖNCESİ İZLEME (TÖİ) 22
3.1 Yığın Yöntemler 23
3.1.1 Hough dönüşümü 23
3.1.2 Dinamik programlama algoritması (DPA) 25
3.2 Özyineli Yöntemler 27
3.2.1 Parçacık süzgeci (PS) 27
4. SAKLI MARKOV MODEL TANIMI 32
4.1 Ayrık-zaman Markov Süreçleri 32
4.2 Saklı Markov Model 33
4.3 SMM Elemanları 33
4.4 SMM için Üç Temel Problem 34
4.4.1 Problem 1 için çözüm 35
4.4.2 İleri prosedürü (Forward Procedure) 36
4.4.3 Problem 2 için çözüm 37
4.4.4 Viterbi algoritması 38
4.4.5 Problem 3 için çözüm 39
4.4.6 Baum-Welch algoritması 39
5. SMM TABANLI HEDEF MANEVRA TESPİTİ 42
5.1 SMM Tabanlı Tespit Yöntemi 44
5.1.1 SMM eğitimi 47
5.1.2 Viterbi algoritması ile hedef tespiti 48
5.2 Ölçüm ve Manevra Modelleri 49
5.2.1 Ölçüm modeli 49
5.2.2 Beyaz gürültü hızlanma modeli 50
5.2.3 Wiener süreç hızlanma modeli 50
5.2.4 Koordineli dönüş modeli 51
5.3 SMM Yapısının Belirlenmesi 52
5.3.1 Ölçüm seti 52
5.4 Öznitelik Vektörünün Belirlenmesi 53
5.4.1 SMM topolojisinin belirlenmesi 54
5.5 Benzetim Sonuçları 55
5.6 Parçacık Süzgeç (PS) Tabanlı Tespit Yöntemi ile Karşılaştırma 66

6. SÜREKLİ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ-SAKLI MARKOV MODEL TABANLI HEDEF TESPİTİ 72
6.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü 73
6.2 Dalgacık Seçimi 75
6.3 Hedef Tespitinde Kullanılan Veritabanı 76
6.3.1 CSIR radar veri setinde kullanılan hedef türleri 78
6.3.1.1 MTU nadine gordimer 78
6.3.1.2 Rotary endeavour 79
6.3.1.3 SANParks RIB 79
6.3.1.4 Pencilduck 80
6.4 SMM Yapısının Belirlenmesi 81
6.5 Öznitelik Vektörünün Belirlenmesi 82
6.6 SMM Topolojisinin Belirlenmesi 84
6.7 Hedef Tespit Süreci 85
6.8 Benzetim Sonuçları 88
7. TÖİ YÖNTEMİ İÇİN KULLANILABİLECEK ÇOKLU-FRAKTAL VE SMM TABANLI HEDEF MANEVRA TESPİTİ 98
7.1 Dalgacık Dönüşümü Modulus Maxima ile Tekillik (Singularity) Tespiti 101
7.2 Çoklu-fraktal Biçimcilik (Multifractal Formalism) 103
7.3 Öznitelik Vektörünün Belirlenmesi 105
7.4 Hedef Tespit Süreci 107
7.5 Benzetim Sonuçları 110
8. TARTIŞMA VE SONUÇ 120
KAYNAKLAR 124
ÖZGEÇMİŞ 130

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Darbeli radar blok diyagramı. 10
Şekil 2.2 Gönderilen ve alınan dalga biçimlerinin çizgi spektrumu ve Doppler bankası 12
Şekil 2.3 Uyumlu süzgeç çıkışındaki radar sinyal zarfının zamana göre değişimi 17
Şekil 2.4 Hücre ortalamalı SYAO yöntemi blok diyagramı. 21
Şekil 3.1 Hough dönüşümü gösterimi. 24
Şekil 3.2 Gerçek ve PS ile kestirimi yapılmış ardıl olasılık yoğunluk fonksiyonu gösterimi. 28
Şekil 4.1 Beş durumlu bir Markov zinciri. 32
Şekil 5.1. SMM kullanarak hedef tespiti. 47
Şekil 5.2 SMM topolojisi. 55
Şekil 5.3 Ardışık radar tarama sayısının tespit performansına etkisi. 55
Şekil 5.4 Parazit yankı olarak tespit edilen 128x128'lik örnek bir ızgarada sinyal güç değişimi 59
Şekil 5.5 Hedef olarak tespit edilen 128x128x'lik ardışık ızgaralardaki sinyal güç değişimi. 59
Şekil 5.6 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle parazit yankı olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki sinyal güç değişimi 60
Şekil 5.7 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle parazit yankı olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki menzil değişimi 60
Şekil 5.8 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle parazit yankı olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki kerteriz değişimi 61
Şekil 5.9 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle hedef olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki sinyal güç değişimi 61
Şekil 5.10 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle hedef olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki menzil değişimi 62
Şekil 5.11 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle hedef olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki kerteriz değişimi 62
Şekil 5.12 Menzil değerleri için test senaryosunda kullanılan KD, WSH ve BGH modellerine göre hareket eden hedeflerden elde edilen ölçümlere ait 1., 2. ve 3. dereceden fark katsayılarının değişimi. 63
Şekil 5.13 Kerteriz değerleri için test senaryosunda kullanılan KD, WSH ve BGH modellerine göre hareket eden hedeflerden elde edilen ölçümlere ait 1., 2. ve 3. dereceden fark katsayılarının değişimi. 63
Şekil 5.14 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (100 parçacık için). 68
Şekil 5.15 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (64 parçacık için). 68
Şekil 5.16 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (128 parçacık için). 69
Şekil 5.17 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (200 parçacık için). 69
Şekil 5.18 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (256 parçacık için). 70

Şekil 5.19 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (300 parçacık için). 70
Şekil 5.20 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (356 parçacık için). 71
Şekil 6.1 Radar mevzisi 77
Şekil 6.2 Nadine Gordimer yandan görünüm 78
Şekil 6.3 Rotary Endeavour yandan görünüm 79
Şekil 6.4 SANParks RIB yandan görünüm. 80
Şekil 6.5 Pencilduck yandan görünüm. 81
Şekil 6.6. SMM kullanarak hedef tespiti. 82
Şekil 6.7 Radar alıcısındaki yankı sinyali. 83
Şekil 6.8 SDD'de kullanılan dalgacık. 84
Şekil 6.9 SDD katsayılarının enerji yüzdesi. 84
Şekil 6.10 SDD ölçek frekans ilişkisi 86
Şekil 6.11 Hedef tespit süreci 87
Şekil 6.12 Parazit yankı için zamana göre SDD katsayılarının menzil kapısı değişimi 91
Şekil 6.13 Hedefi için zamana göre SDD katsayılarının menzil kapısı değişimi 91
Şekil 6.14 MTU Nadime Gordimer teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller. 93
Şekil 6.15 MTU Nadime Gordimer teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark. 93
Şekil 6.16 Pencilduck teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller 94
Şekil 6.17 Pencilduck teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark. 94
Şekil 6.18 RIB_Rotary Endeavour teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller 95
Şekil 6.19 RIB_Rotary Endeavour teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark. 95
Şekil 6.20 SANParks RIB teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller 96
Şekil 6.21 SANParks RIB teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark. 96
Şekil 6.22 RIB_Rotary Endeavour teknesi için HO-SYAO yöntemi ile hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller 97
Şekil 7.1 Radar alıcısındaki deniz parazit yankılı ölçüm. 106
Şekil 7.2 Radar alıcısındaki hedef + deniz parazit yankılı ölçümler 107
Şekil 7.3 Parazit yankı ve hedef + parazit yankı ölçümleri için çoklu-fraktal spektrum. 107
Şekil 7.4 Hedef tespit süreci. 109
Şekil 7.5 Parazit yankılı ölçümlerden elde edilen SDD katsayılarının enerjisinin ölçeğe göre değişimi 113
Şekil 7.6 SDD Hedefin bulunduğu ölçümlerden elde edilen SDD katsayılarının enerjisinin ölçeğe göre değişimi 113
Şekil 7.7 Parazit yankı için zamana göre SDD katsayılarının menzil kapısı değişimi 114
Şekil 7.8 Hedefi için zamana göre SDD katsayılarının menzil kapısı değişimi 114

Şekil 7.9 MTU Nadime Gordimer teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller 115
Şekil 7.10 MTU Nadime Gordimer teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark. 115
Şekil 7.11 Pencilduck teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller 116
Şekil 7.12 Pencilduck teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark. 116
Şekil 7.13 RIB_Rotary Endeavour teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller 117
Şekil 7.14 RIB_Rotary Endeavour teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark 117
Şekil 7.15 SANParks RIB teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller 118
Şekil 7.16 SANParks RIB teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark. 118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 DYF seviyelerine göre mesafe ve Doppler belirsizlik durumları. 9
Çizelge 5.1 Radar parametreleri 53
Çizelge 5.2 SMM tabanlı yaklaşımın manevra tespit performansı 64
Çizelge 5.3 Gözlem vektörü içinde parazit yankılı ölçümler olması durumunda SMM tabanlı yaklaşımın manevra tespit performansı 64
Çizelge 6.1 Kullanılan radarın özellikleri 77
Çizelge 6.2 SMM tabanlı yaklaşımın manevra tespit performansı 90
Çizelge 7.1 Manevra tespit performanslarının karşılaştırılması 112

1. GİRİŞ

Parazit yankılı bir ortamda düşük Sinyal Gürültü Oranına (SGO) sahip hedeflerin tespiti radar sistem tasarımını en çok zorlayan problemlerden birisidir. Buna ek olarak, tespit edilmeye çalışılan hedef deniz parazit yankısı gibi Gauss tabanlı olmayan bir dinamik ortamda ve küçük bir Radar Kesit Alanına (RKA) sahip olduğu durumda tespit problemi iyice zorlaşmaktadır. Radar teorisinde, radarın tespit kapasitesi hedeften yansıyan enerji miktarı ile doğru orantılıdır. Geleneksel radar sinyal işleme teknikleri, menzil-azimut hücrelerindeki sinyal güç değerini ön tanımlı eşik değeriyle karşılaştırmakta ve tespit kararını bu karşılaştırma sonucuna göre belirlemektedir. Bu yöntemlerde geçmiş zamana ait veriler tespit sürecinde kullanılmamakta ve eşik değerinin altında kalan ama hedefe ait olabilecek veriler de ihmal edilebilmektedir. Eşik değerini kullanan sistemlerde tespit performansının iyileştirilmesi, genellikle yüksek menzil çözünürlüklü dalga biçimi ile yüksek hızlı tarama antenleri ile birlikte kullanılarak ve taramalar arası uyum yapılarak sağlanabilmektedir. Parazit yankılı ortamdan hedef tespiti, hedeften kaynaklanan ölçümlerde radar taramaları arası ilinti göstermesi ve parazit yankılı ölçümlerin ise gürültü benzeri bir yapıya sahip olması esasına dayanmaktadır. Doppler tabanlı spektral ayrıştırma teknikleri yavaş hareket eden hedefler için uygun olmayabilmektedir; çünkü hedef durağan olabilmekte veya (suüstü hedefi için) bölgesel ortalama dalga hızına göre sıfır hıza sahip olabilmektedir. Bu anlamda düşük RKA'ya sahip hedeflerin tespit performansının iyileştirilmesi radar ölçümlerinin kısa süreli kaydedilip işlenmesini gerektirmektedir.

Tespit Öncesi İzleme (TÖİ) yöntemi birden fazla radar taramasından elde edilen ölçümleri kullanarak başlangıç izleri oluşturmaktadır. İz gücü, kalitesi ve ihtiyaç duyulan diğer parametreler her bir başlangıç iz için üretilmekte ve tespit kararı bu parametrelerden uygun olan birine (veya daha fazlasına) uygulanacak eşik değeri ile karşılaştırma sonucu karar verilmektedir. Bu yöntemi kullanarak tespit performansının iyileştirilmesi erken eşiklemeden kaynaklanabilecek bilgi kaybının ve geçmiş zamana ait ölçüm bilgilerinin ihmal edilmesinin engellenmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu tezde önerilen yöntem, Saklı Markov Model'in (SMM) parazit yankılı ortamda hedef tespitinde kullanılmasını içermektedir. SMM tabanlı yöntemler, örüntü tanıma

uygulamalarında vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. SMM'nin en yaygın kullanım alanı konuşma, ses, el yazısı ve görüntü tanıma gibi örüntü tanıma uygulamalarıdır. Son yıllarda, SMM tabanlı yöntem ve algoritmalar hedef tespit ve tanıma uygulamalarında da başarıyla uygulanmaktadır. Literatürde TÖİ yöntemleri yığın ve özyinelemeli yöntemler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemler, radar sinyal işleme katında eşik değeri kullanım ihtiyacını ortadan kaldırmakla birlikte, süzgeç katında eşik değeri kullanmaktadır. Bu tezde herhangi bir eşik değeri kullanmadan TÖİ yaklaşımında kullanılabilecek SMM tabanlı hedef tespit yöntemleri önerilmektedir.

Tezin literatüre katkıları ve özgün yönleri aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir:

- Eşik değeri kullanımının ortadan kaldırılması: TÖİ yaklaşımında kullanılabilecek ve herhangi bir eşik değeri kullanmayan bir yöntem önerilmiştir.
- SMM kullanımı: TÖİ yaklaşımında hedef tespiti için kullanılabilecek değişik manevra ve hedef tiplerine uyum sağlayabilecek, öğrenen ve uyumlanabilir yöntem önerilmiştir.
- Sürekli dalgacık dönüşümü ile hedef tespiti: Hedefin sinyal güç değerinden bağımısız, hedefin radar yankı sinyalinde oluşturduğu süreksizliklerin sürekli dalgacık dönüşümü ile bulunarak hedef tespitinde kullanılabileceği gösterilmiştir.
- Çoklu-fraktal biçimcilik kullanarak hedef tespiti: Deniz yüzeyinin fraktal yapısının hedefin varlığı ile değiştiği gösterilmiş ve ortaya çıkan bu tekilliklerin hedef tespiti için kullanılabileceği gösterilmiştir.

Tez, sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tez çalışmasının amacı ve kapsamı belirtilerek konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

İkinci bölümde, tez çalışmasında temel oluşturan kavramları içeren kuramsal temeller anlatılmıştır. Bu bölümde temel radar teorisi ve denklemi verilmiş ve darbeli radarların temel mantığı ve bu tip radarlardaki mesafe ve doppler belirsizlikleri anlatılmıştır. Daha

sonra hedef tespit temellerine giriş yapılmış ve hedef tespitinde kullanılan temel algoritmalardan hipotez testi, Neyman-Pearson kriteri, eşik değeri kullanımı, radar sinyallerinin alıcıda birleştirilmesi ve Sabit Yanlış Oranlı Tespit yönteminden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, bu tez konusunun amacını oluşturan Tespit Öncesi İzleme (TÖİ) tekniğini ve literatürde bu teknik için kullanılan yöntemler detaylı olarak açıklanmıştır. Bu bölümde literatürde kullanılan Hough dönüşümü, Dinamik Programlama Algoritması ve Parçacık süzgeci açıklanmıştır. Ek olarak, bu yöntemlerin literatürde avantaj ve dezavantajları da belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde, tezde önerilen yöntemin temelini oluşturan Saklı Markov Model (SMM) yöntemi incelenmiştir. Bu amaç ile ayrık Markov süreci, SMM ve elemanları tanımlanarak, SMM için geçerli olan üç temel problem ve çözümleri verilmiştir.

Beşinci bölümde, hedef ve manevra tespiti için tezde önerilen SMM tabanlı yöntem anlatılmıştır. Geliştirilen algoritma sadece hedefin varlığını tespit etmekle kalmayıp aynı zamanda, hedef takip uygulamalarında önemli bir rol oynayan hedef manevra türünü de tespit edebilmektedir. Hedef manevrasının tespiti için ise, hedef modeli 3 alt modele ayrılmıştır: Koordineli Dönüş Modeli, Beyaz Gürültülü Hızlanma Modeli ve Wiener Süreç Hızlanma Modeli. Radar kapsama alanı 4096x4096'lık çözünürlük hücrelerinden oluştuğu kabul edilmiş ve bu çözünürlük hücrelerinin 128x128'lik bloklar halinde gruplandırılarak gözlem dizileri oluşturulmuştur. Blokların büyüklüğü hedefin ardışık 6 radar taraması boyunca aynı blokta kalacak şekilde seçilmiştir. Radar ölçümleri bilgisayar benzetimi ile oluşturulmuştur. Hedef tespitinde kullanılacak öznitelik kümesi olarak sinyal seviyesi, menzil ve kerteriz değerleri kullanılmıştır. Parazit yankı ve hedef modelleri yeterli miktarda gözlem verisi ile Baum-Welch algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Son olarak, radar gözlem verileri üzerinden tespit işlemi Viterbi algoritması ile yapılmıştır. Bu bölümde önerilen yöntemin performansını karşılaştırmak amacı ile TÖİ tekniğinde sıkça kullanılan Parçacık Süzgeci tabanlı tespit yöntemi de geliştirilmiş ve benzer ölçüm senaryosu için performans karşılaştırması yapılmıştır.

Altıncı bölümde, Sürekli Dalgacık Dönüşümü ile SMM birlikte kullanılarak deniz parazit yankılı ortamda gerçek radar ölçüm verileri ile suüstü hedeflerinin tespiti için bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen SMM tabanlı yöntemde hedef ve parazit yankılı modeller oluşturulmuştur. Radar verilerine darbe birleştirme uygulanarak daha yüksek seviyede bir sinyal genliği elde edilmeye çalışılmıştır. Her bir darbe aralığı içerisindeki sinyallerin sürekli dalgacık dönüşümü alınarak, en yüksek dalgacık katsayısına sahip sinyalin menzil değeri bulunmuştur. Ardışık 10 darbe aralığından elde edilen menzil değerleri SMM algoritması için gözlem verisi olarak kullanılmıştır. Parazit yankı ve hedef modelleri yeterli miktarda gözlem verisi ile Baum-Welch algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Son olarak, radar gözlem verileri üzerinden tespit işlemi Viterbi algoritması ile yapılmıştır.

Yedinci bölümde, tespit performansını iyileştirmek amacıyla Dalgacık Dönüşümü Modulus Maxima tabanlı Çoklu-fraktal Biçimcilik Yöntemi ve SMM kullanımı ile deniz parazit yankılı ortamda gerçek radar ölçüm verileri kullanılarak suüstü hedeflerinin tespiti için bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen SMM tabanlı yöntemde hedef ve parazit yankılı modeller oluşturulmuştur. Her bir darbe aralığı içerisindeki sinyallerin dalgacık dönüşümü modülüs maxima ile çoklu-fraktal analizi yapılarak, en yüksek fraktal katsayıya sahip sinyalin menzil değeri bulunmuştur. Ardışık 10 darbe aralığından elde edilen menzil değerleri SMM algoritması için gözlem verisi olarak kullanılmıştır. Parazit yankı ve hedef modelleri yeterli miktarda gözlem verisi ile Baum-Welch algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Son olarak, radar gözlem verileri üzerinden tespit işlemi Viterbi algoritması ile yapılmıştır.

Son bölümde ise çalışmalarda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Radar Teorisi

Radar, nesneleri tespit etme ve yerini belirlemeye yarayan elektromanyetik bir sistemdir. Belirli bir dalga biçimini (örnek: darbe kiplenimli sinüs dalgası) gönderip yansıyan sinyali tespit ederek çalışır. Radar temel olarak bir çeşit osilatör tarafından üretilen elektromanyetik ışınımı yayan bir iletim anteni, alıcı anten ve enerji tespiti yapan bir cihazdan (alıcı) oluşmaktadır. Ortama gönderilen sinyal bir hedefe çarptığında her yöne yansıma olmaktadır. Radar için önemli olan, bu yansıma sonucunda kendisine dönen "yankı" sinyalidir. Alıcı anten hedeften dönen sinyalleri toplar ve hedefin varlığını tespit etmek amacıyla alıcıya gönderir. Alıcıda hedef tespitine ek olarak pozisyonu ve bağıl hızı da hesaplanabilmektedir. Hedefe olan mesafe, radar sinyalinin hedefe ulaşma ve geri dönme zamanları hesaplanarak belirlenmektedir. Hedefin yönü veya açısal pozisyonu ise, alıcıya gelen yansımış dalga cephesinin yönünden bulunmaktadır. Alıcıya ulaşan sinyalin yönünü hesaplamanın en genel yolu dar anten demeti kullanmaktır. Eğer hedef ile radar arasında bağıl hareket mevcut ise, yansıyan sinyalin taşıyıcı frekansındaki kayma (doppler etkisi) hedefin bağıl hızının bir ölçüsü olmaktadır ve durağan nesneleri hareketli hedeflerden ayırt edebilmek için kullanılabilmektedir.

Radar hedefin varlığını belirleyen ve menzilini ölçen bir cihazdır. İlk zamanlar yaklaşmakta olan düşman uçaklarının tespiti ve uçaksavar silahlarının yönlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bununla birlikte modern radarlar genellikle hedeften yansıyan sinyalden menzil dışında birçok bilgi çıkarabilmekteyken, menzil hesabı hala radarlar için en önemli fonksiyonlarından biri olmaya devam etmektedir. Hedefe olan mesafe radar sinyalinin hedefe varması ve geri dönüşündeki T_R zamanının ölçülmesiyle belirlenmektedir. Elektromanyetik enerji ışık hızı, $c = 3x10^8\ m/s$, ile yayıldığından R menzili Eşitlik 2.1 deki gibi hesaplanmaktadır

$$R = \frac{cT_R}{2} \tag{2.1}$$

Radar iletilecek sinyali yaydığında, herhangi bir yankı sinyalini alabilmek ve bir sonraki sinyali gönderebilmek için yeterince süre beklemek zorundadır. Bu nedenle radar sinyalinin gönderim hızı, hedefin en uzak hangi menzilde tespit edilmek istemesiyle belirlenmektedir. Eğer sinyal gönderim hızı çok yüksek ise, hedeften yansıyan sinyaller bir sonra gönderilen radar sinyalinden sonra alıcıya ulaşabileceğinden mesafe ölçümünde belirsizlikler ortaya çıkabilmektedir.

Tipik bir radar darbe kiplenimli dalga biçimi gönderirken, diğer uygun kiplenim türleri de kullanılabilmektedir. Darbe taşıyıcısı alıcıda yankı sinyallerinin zamanda sıkıştırılmasına imkan sağlayan frekans veya faz kiplenimli olabilmektedir. Bu yöntemin faydası kısa darbeler kullanmadan yüksek menzil çözünürlüğü sağlamasıdır. Kısa darbe çözünürlüğüne sahip olmak için uzun, darbe kiplenimi kullanma tekniğine darbe sıkıştırma denmektedir. Doppler frekans kaymasının avantajını kullanarak durağan parazit yankısından, hedeften yankısını ayırt edebilmek için sürekli dalga biçimi de kullanılabilmektedir. Kiplenimsiz sürekli dalga biçimleri ile menzil ölçümü yapılamamaktadır, fakat frekans veya faz kiplenimi uygulanarak menzil hesaplanabilmektedir.

2.2 Temel Radar Denklemi

Radar denklemi radar menzili ile gönderici, alıcı, anten, hedef ve ortam karakteristikleri arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır (Skolnik 2001). Eğer radar vericisinin gücü P_t ile gösterilirse ve yönbağımsız bir anten kullanılıyorsa, R mesafedeki güç yoğunluğu Eşitlik 2.2 ile gösterilebilmektedir

$$Güç\ yoğunluğu = \frac{P_t}{4\pi R^2} \tag{2.2}$$

Radarlar yönlendirilmiş antenler kullanarak P_t sinyal gücünü belirli bir doğrultuya yönlendirebilmektedir.

$$Yönlendirilmiş\ anten\ ile\ güç\ yoğunluğu = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \tag{2.3}$$

G anten kazancını ifade etmektedir. Hedefe çarpan radar sinyali birçok yöne yansıma yapmaktadır. Hedeften yansıyıp radara ulaşan bu sinyal gücü miktarının ölçüsü σ Radar Kesit Alanı (RKA) ile gösterilmektedir.

$$Radar\ yankı\ sinyalinin\ güç\ yoğunluğu = \frac{P_t G}{4\pi R^2}\frac{\sigma}{4\pi R^2} \tag{2.4}$$

RKA hedefe özgü bir özellik olup radar tarafından görülebilen büyüklüğün ölçüsüdür. Radar anteni yankı sinyalinin bir kısmını almaktadır. Alıcı antenin etkin alanı A_e ile gösterildiğinde radar tarafından algılanan sinyalin gücü P_r Eşitlik 2.5 ile ifade edilebilmektedir.

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi R^2}\frac{\sigma}{4\pi R^2}A_e = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \tag{2.5}$$

Radarın azami menzili R_{max} hedefin tespit edilebileceği en uzak menzil olarak tanımlanmaktadır. Bu mesafede yankı sinyal gücü tespit edilebilecek en küçük S_{min} sinyali olmaktadır.

$$R_{max} = [\frac{P_t G A_e}{(4\pi)^2}\frac{\sigma}{S_{min}}]^{1/4} \tag{2.6}$$

Eşitlik 2.6 temel radar denklemini ifade etmektedir (Skolnik 2001).

2.3 Darbeli Radarlar

Darbeli radarlar kiplenimli darbe dizilerini göndermekte ve almaktadır. Hedefe olan mesafe gönderilen ve alınan darbe arasındaki zaman gecikmesinden hesaplanmaktadır. Doppler ölçümleri iki yol ile elde edilmektedir. Eğer mesafe ölçümleri ardışık darbeler arasında doğru olarak elde ediliyor ise, Doppler frekansı mesafe oranı $\dot{R} = \Delta R/\Delta t$ kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu yaklaşım Δt boyunca hedefe olan mesafenin sert bir şekilde değişmediği durumlar için geçerlidir. Aksi takdirde, darbeli radarlar Doppler süzgeç bankası kullanmaktadır (Mahafza 2000).

Darbeli radar dalga biçimleri aşağıdaki parametrelerle tanımlanabilmektedir:

- Taşıyıcı frekansı
- Darbe aralığı, bant genişliği ile yakından ilgilidir ve mesafe çözünürlüğünü tanımlamaktadır.
- Kiplenim
- Darbe Yineleme Frekansı (DYF).

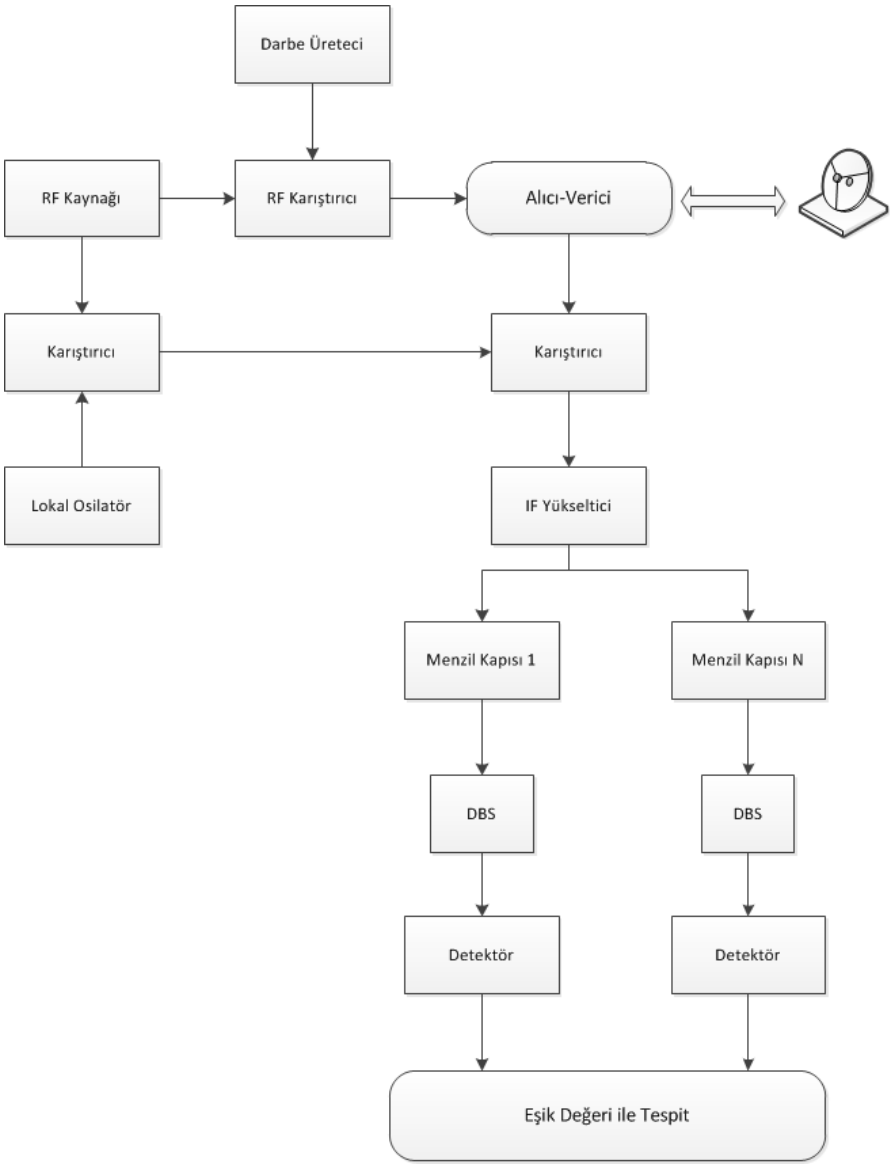
Radarın performansını artırmak için değişik kiplenim teknikleri kullanılmaktadır. DYF hem Doppler ve mesafe belirsizliklerini ortadan kaldıracak hem de gönderilen ortalama sinyal gücünü en büyük yapacak şekilde seçilmelidir.

Radar sistemleri düşük, orta ve yüksek DYF seviyelerini kullanmaktadır. Düşük seviye DYF kullanan radarlar genellikle hareketli hedef göstergesi (moving target indicator) olarak adlandırılmaktadır. Bu tip radarlar yüksek doğrulukta mesafe ölçümleri sağlarken, Doppler belirsizlikleri oluşturmaktadır. Orta seviye DYF kullanan radarlar hem mesafe hem de Doppler belirsizlikleri oluşturmaktadır. Yüksek seviye DYF kullanan radarlar ise parazit yankı önleme yeteneği sağlamakla birlikte yüksek derece mesafe belirsizlikleri içermektedir. Orta ve yüksek seviye DYF kullanan radar sistemleri genellikle Darbeli Doppler Radarı olarak da adlandırılırlar (Skolnik 1990). DYF seviyelerine göre mesafe ve Doppler belirsizlik durumları çizelge 2.1'de özetlenmektedir.

Çizelge 2.1 DYF seviyelerine göre mesafe ve Doppler belirsizlik durumları

DYF	Mesafe Belirsizliği	Doppler Belirsizliği
Düşük Seviye (< 3 KHz)	Yok	Var
Orta Seviye (3 – 30 KHz)	Var	Var
Yüksek Seviye (> 30 KHz)	Var	Yok

Şekil 2.1'de temel bir darbeli radar blok diyagramı verilmektedir. Mesafe kapıları tespit mesafesine karşılık gelen belirli zaman aralıklarında açık ve kapalı duruma gelen süzgeçler şeklinde gerçeklenebilmektedir. Bu zaman aralığı mesafe çözünürlüğüne karşılık gelmektedir. Radar alıcısı genellikle mesafe kapıları serisi şeklinde oluşturulmaktadır. Her bir menzil kapısının genişliği darbe genişliği ile uyumludur. Dar Bant Süzgeç (DBS) bankası Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) kullanılarak oluşturulmaktadır ve her bir süzgecin bant genişliği HFD frekans çözünürlüğüne karşılık gelmektedir.



Şekil 2.1 Darbeli radar blok diyagramı.

2.4 Mesafe ve Doppler Belirsizlikleri

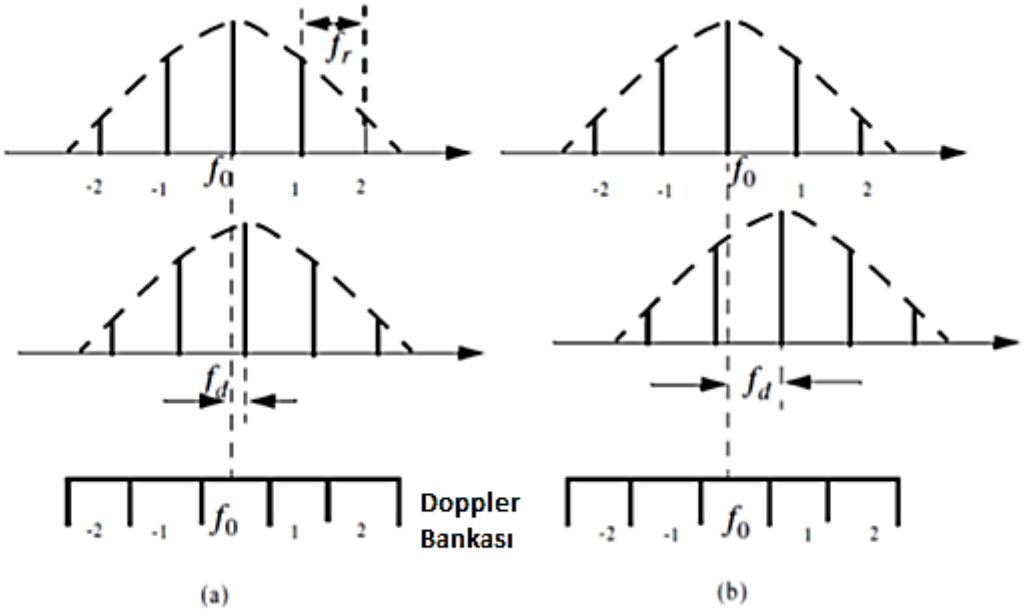
Darbeli radarlar eğer ikinci bir darbe ilk darbe alıcıya varmadan gönderilirse mesafe belirsizliğine sahip olabilmektedir. Genel olarak, radar DYF'si radarın operasyonel gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde seçilmektedir. Bu nedenle uzun mesafe arama radarları düşük DYF'leri tercih etmektedir.

Darbe dizilerinin çizgi spektrumu Şekil 2.2'de gösterildiği gibi $sin\,x\,/x$ zarfına sahiptir ve DYF, f_r kadar ayrılmıştır. Doppler süzgeç bankası hedefin Doppler bilgisiyle beraber algılanan Doppler kaymasını da hesaplayabilmektedir. Bu nedenle darbeli radarlar

$$f_r = 2f_{dmax} = \frac{2v_{rmax}}{\lambda} \tag{2.7}$$

olacak şekilde tasarlanmaktadır. Burada f_{dmax} algılanan en büyük Doppler frekansı, v_{rmax} algılanan en büyük hedef dairesel hız ve λ ise radar dalga boyudur.

Eğer hedefin Doppler frekansı DYF yakınına düşerse radar Doppler belirsiz olabilmektedir. Bu yüzden, Doppler belirsizlikleri önleyebilmek için radar sistemleri yüksek hızlı hedefler için yüksek DYF oranlarını kullanmaktadır. Uzun mesafe bir radar ile yüksek hızlı hedefler tespit edilmek istendiğinde hem mesafe hem de Doppler belirsizliklerinden kurtulmak mümkün olmayabilmektedir. Bu problem çoklu DYF'ler kullanımı ile çözülebilmektedir.



Şekil 2.2 Gönderilen ve alınan dalga biçimlerinin çizgi spektrumu ve Doppler bankası a. Doppler çözümlendiği durum. b. Spektral çizgilerin bir sonraki Doppler süzgecine kaydığı durum. Bunun sonucunda Doppler belirsizliği oluşmaktadır

2.5 Hedef Tespit Temelleri

Hedef tespiti radar sinyal işleyicinin en temel ve önemli görevleri arasında yer almaktadır. Radar açısından tespit işlemi, algılanan bir radar ölçümünün hedef kaynaklı mı veya ortam gürültüsünün bir etkisi mi olduğunun kararıdır. Eğer algılanan ölçümün hedefin varlığını gösterdiği kararı verilmiş ise ilave işlemler genellikle ölçüm üzerine uygulanmaktadır. Bu ek işlemler örnek olarak daha kesin menzil, açı veya Doppler ölçümleri kullanarak takip algoritmasının çalıştırılması gösterilebilir.

Radar alıcısındaki sinyal için tespit kararı radar sinyal işleme sürecinin değişik aşamalarında verilebilmektedir. Bu aşama, ham yankı sinyalinden Doppler spektrumu gibi işlenmiş verinin elde edildiği aşamaları da içerebilmektedir. En basit durumda, her bir menzil hücresindeki her bir radar darbesi kullanılarak hedefin varlığı kontrol edilebilmektedir. Menzil hücre sayısı yüzler, hatta binler mertebesinde ifade edilebilmekteyken radarın darbe yineleme frekansı birkaç KHz'den MHz mertebesine

kadar değişebilmektedir. Bu anlamda radarın saniye başına yaptığı işlem miktarı binler, hatta milyonlar seviyesine çıkabilmektedir.

Hem ortam gürültüsü hem de hedeften yansıyan yankı sinyalleri istatistiksel sinyal modelleri ile ifade edilebilmektedir. Bu nedenle, alıcıya ulaşan bir ölçümün hedeften ya da ortam gürültüsünden mi kaynak olduğunun kararı bir istatistiksel hipotez testi problemi olarak ifade edilebilmektedir.

2.5.1 Hipotez testi ile radar hedef tespiti

Hedefin varlığını test etmek amacı ile kullanılan herhangi bir radar ölçümü için aşağıda verilen iki hipotezden birinin doğru olduğu kabulü yapılmaktadır.

1. Ölçüm ortam gürültüsünden kaynaklanmaktadır.
2. Ölçüm ortam gürültüsü ve hedeften yansıyan yankıların birleşmesinden oluşmaktadır.

İlk hipotez boş hipotez H_0 , ikincisi ise H_1 olarak adlandırılmaktadır. Tespit süreci her radar ölçümünü test ederek, en uygun hipotezi seçmektedir. Eğer test edilen radar ölçümü için H_0 en uygun seçim ise, hedefin var olmadığını; eğer H_1 en uygun seçim ise hedefin varlığı ölçümün alındığı mesafe ve açıda sistem tarafından belirtilmektedir.

İki hipotez arasındaki karar istatistiksel karar teorileri yardımıyla belirlenebilmektedir. Bu problemin çözümü için genel yaklaşım, iki hipotezin testinde kullanılacak ölçümü tanımlayabilecek Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunu (OYF) belirleyerek başlamaktadır. Eğer test edilecek ölçüm y ile gösterilirse, aşağıdaki iki olasılık yoğunluk fonksiyonu tanımlanabilmektedir

$$p_y(y|H_0) = hedefin\ var\ olmadığı\ durumda\ y\ için\ OYF$$

$$p_y(y|H_1) = hedefin\ var\ olduğu\ durumda\ y\ için\ OYF$$

Tespit probleminin bir parçası yukarıda bahsedilen iki OYF için modeller geliştirilmesidir. Genellikle, tespit işlemi N örnekli y_n ölçüm kümesi üzerinden gerçekleştirilmektedir.

$$\boldsymbol{y} = [y_0 \cdots y_{N-1}] \tag{2.8}$$

Daha sonra ise birleşik OYF'ler $p_{\boldsymbol{y}}(\boldsymbol{y}|H_0)$ ve $p_{\boldsymbol{y}}(\boldsymbol{y}|H_1)$ kullanılır.

İki OYF'nin de doğru olarak modellenmesinden sonra aşağıdaki olasılıklar tanımlanabilmektedir.

Tespit Olasılığı P_D: Hedefin gerçekten var olduğu durumda, hedefin belirlenme olasılığı (H_1'in seçilmesi).

Yanlış Alarm Olasılığı, P_{FA}: Hedefin gerçekten var olmadığı durumda, hedefin belirlenme olasılığı (H_1'in seçilmesi).

Hata Olasılığı, P_M: Hedefin gerçekten var olduğu durumda, hedefin belirlenememe olasılığı (H_0'in seçilmesi).

Buna ek olarak $P_M = 1 - P_D$ olarak tanımlanmaktadır. Bu yüzden P_D ve P_{FA} istenen tüm olasılıkların tanımlanabilmesi için yeterli olmaktadır. Son iki tanımdan da anlaşılabileceği gibi, tüm kararların yanlış olabileceği belirli bir olasılık da bulunmaktadır.

2.5.2 Neyman-Pearson tespit kriteri

Tespit sürecinde karar vermenin bir sonraki adımı iki hipotez arasındaki en iyi seçimin yapılabilmesi için izlenmesi gereken kuralı belirlemektir. Bu problemin çözümü için birçok yöntem bulunmaktadır. Bayes eniyileme kriterinde güncel durumun (hedef var veya yok) ve tespit kararının (H_0 veya H_1'in seçilmesi) her bir muhtemel kombinasyonu

için maliyet ataması yapılmaktadır (Johnson ve Dudgeon, 1993, Kay, 1998). Bir diğer en bilinen yöntem ise özellikle radarlarda kullanılan ve Bayes yönteminin özel bir durumu olan Neyman-Pearson kriteridir. Bu kriter, tespit karar süreci yanlış alarm olasılığı P_{FA}'nın belirli bir değeri geçmediği durumda, $P_{FA} \leq \alpha$, tespit olasılığı P_D'yi en büyük yapacak karar sürecidir. Burada α izin verilen en büyük yanlış alarm olasılığıdır. Bu optimizasyon problemi Lagrange çarpanları yöntemi ile çözülebilmektedir (Richards 2005).

$$F \equiv P_D + \lambda(P_{FA} - \alpha) \tag{2.9}$$

Optimum çözümü bulabilmek için *F*'in en büyük olması ve $P_{FA} = \alpha$'yı sağlayacak λ değerinin seçilmesi gerekmektedir.

$$F = \int p_y(\boldsymbol{y}|H_1)d\boldsymbol{y} + \lambda(\int p_y(\boldsymbol{y}|H_0)d\boldsymbol{y} - \alpha)$$

$$= -\lambda\alpha + \int\{p_y(\boldsymbol{y}|H_1) + \lambda p_y(\boldsymbol{y}|H_0)\}d\boldsymbol{y} \tag{2.10}$$

F'in en büyük olabilmesi için Eşitlik 2.10'daki integralin en büyük olması gerekmektedir. λ negatif bir değere de sahip olabileceğinden integralin sonucu $p_y(\boldsymbol{y}|H_0)$, $p_y(\boldsymbol{y}|H_1)$ ve λ'nin alacakları değere göre pozitif veya negatif olabilmektedir. Bu durumda integral sonucunun en büyük olabilmesi için Eşitlik 2.11'de verilen şartın sağlanması gerekmektedir.

$$p_y(\boldsymbol{y}|H_1) + \lambda p_y(\boldsymbol{y}|H_0) > 0$$

$$p_y(\boldsymbol{y}|H_1) > -\lambda p_y(\boldsymbol{y}|H_0) \tag{2.11}$$

Eşitlik 2.11 kullanılarak Eşitlik 2.12'de verilen karar kuralı oluşturulmaktadır.

$$\frac{p(y|H_1)}{p(y|H_0)} \geq -\lambda \tag{2.12}$$

Hedef kararı Eşitlik 2.12'da verilen olabilirlik oranının bir eşik değerinin aşılması ile gerçekleştirilmektedir. Eşitlik 2.12 *olabilirlik oran testi* olarak bilinmektedir. Bu eşitlik iki OYF'nin oranını bir eşik değeri ile karşılaştırmaktadır. Eğer olabilirlik oranı eşik değerini aşarsa H_1 hipotezi seçilerek hedefin varlığı belirtilmektedir. Eğer eşik değeri aşılmamışsa H_0 seçilerek hedefin var olmadığı belirtilmektedir.

2.5.3 Radar sinyallerinin eşik değeri kullanımıyla tespiti

Tespit işlemi, radar alıcısının çıkışındaki sinyale eşik değeri uygulanması ile gerçekleştirilmektedir. Eğer çıkıştaki sinyal eşik değerini aşıyorsa bir hedefin varlığından bahsedilebilmektedir. Şekil 2.3'de tipik bir radar alıcısının çıkışındaki sinyalin zamana göre değişimi verilmektedir. Sinyalin zarfı ortam gürültüsünün etkisinden dolayı rasgele bir şekilde dalgalanmaktadır. Eğer hedef kaynaklı kuvvetli bir sinyal, *A*, kendini gösterirse, ortam gürültüsü kaynaklı sinyallerden daha yüksek bir genliğe sahip olacak ve genlik seviyesine bakılaraktan tespit edilebilecektir. Böylece, eğer yeterince yüksek seviyede bir eşik değeri seçildiği taktirde, gürültü kaynaklı sinyaller eşik değerini geçemeyecek, sadece hedefe ait sinyal çıkışta görülebilecektir. Bununla birlikte, eğer hedef kaynaklı sinyal zayıf ise bu durumda hedefin varlığını belirlemek daha güç olacaktır. Eşik değeri hedefe ait zayıf sinyalleri tespit edebilmek için düşük seviyede olmalı, fakat gürültü sinyallerinin eşik değerini geçerek yanlış alarma neden olmaması için de çok düşük olmamalıdır.

Şekil 2.3'deki sinyal genlik zarfı alıcıdaki uyumlu süzgeç çıkışını göstermektedir. Uyumlu süzgeç sinyal tepe değerini ortalama gürültü seviyesine göre en büyük yapacak şekilde tasarlanmaktadır. Dikdörtgen şeklinde darbe gönderen bir radar için uyumlu süzgeç bant genişliği *B* yaklaşık olarak darbe genişliği τ'nun tersi olarak ($B\tau \approx 1$) ifade edilmektedir (Skolnik 2001). Uyumlu süzgeç çıkışı, radar alıcısındaki dalga biçimi ve iletilen sinyalin kopyası arasındaki karşılıklı ilinti olmaktadır. Bu yüzden giriş dalga biçiminin şekli süzgeç çıkışında korunmamaktadır.

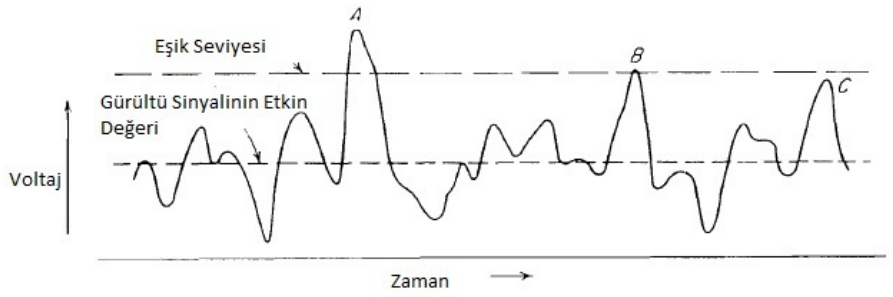
Şekil 2.3'de eşik seviyesi kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Hedef tespiti sinyal zarfının eşik seviyesini geçtiği noktalar için yapılmaktadır. Eğer sinyal seviyesi *A* noktası kadar

yüksek ise hedefin varlığını tespit etmek çok zor olmamaktadır. Bununla birlikte aynı sinyal seviyesine sahip iki hedefi gösteren *B* ve *C* sinyallerini ele alalım. *B* noktasındaki sinyale eşlik eden ortam gürültü seviyesi yeterince yüksek olduğundan, sinyal ve gürültü toplamı eşik seviyesini aşmaktadır. *C* noktasında ise ortam gürültü seviyesi yeterince yüksek olmadığından sinyal ve gürültü toplamı eşik seviyesinin altında kalmaktadır. Bu yüzden, ortam gürültüsünün varlığı bazen düşük sinyal seviyesine sahip hedeflerin tespit edilmesine neden olabilirken, diğer yandan hedef sinyalinin kaybedilmesine de neden olabilmektedir.

C'de olduğu gibi zayıf sinyallerin tespit edilebilmesi için eşik değerinin düşük seçilmesi gerekmektedir. Fakat eşik değerinin çok düşük seçilmesi gürültü veya parazit yankı sinyallerinin daha sıklıkla eşik seviyesine geçmesine ve hedef olarak tanımlanabilmesine neden olmaktadır. Bu tip tespit durumları yanlış alarm olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle, eşik seviyesi çok düşük seçilirse yanlış alarm olasılığı yükselmekte, çok yüksek seçilirse hedefin kaybedilmesine neden olabilmektedir. Uygun eşik seviyesinin seçimi

- Hedef varken tespit yapılamaması (kayıp olasılığı)
- Hedefin olmadığı durumda hedef tespiti yapılması (yanlış alarm olasılığı)

hatalarından hangisinin önemli olduğu konusundaki uzlaşma sonucunda belirlenmektedir (Skolnik 2001).



Şekil 2.3 Uyumlu süzgeç çıkışındaki radar sinyal zarfının zamana göre değişimi (A, B ve C hedef sinyalleri ve ortam gürültüsü toplamını göstermektedir.)

2.5.4 Radar sinyallerinin birleştirilmesi

Radar hedef tespitindeki en büyük problem gürültü ve parazit yankının varlığıdır. Bu bozucu etkenler rasgele süreç, hedefler ise sabit harekete sahip veya dalgalanan (Swerling) olarak modellenmektedir. Hedef tespit performansını yükseltmek için kullanılan en genel yöntem hedef ve gürültü veya parazit yankıya ait birden fazla radar yankı sinyalini birleştirmektir. Çünkü hedef radar huzmesi tarafından aydınlatıldığında, hedefe ait çok sayıda yankı sinyali oluşmaktadır. Bu yankı sinyallerinin birleştirilmesi hedefe ait SGO'yu alıcıda artırmaktadır. Bu sayede gürültü veya parazit yankı sinyalleri hedef sinyal ortalamasının altında kalabilmekte ve tespit olasılığı yükselmektedir.

Radar yankı sinyallerinin alıcıda birleştirilmesi üç farklı aşamada gerçekleştirilebilmektedir.

1. Demodülasyondan sonra uyumlu süzgeç çıkışındaki taban banttaki karmaşık sinyale uygulanabilmektedir. Bu işlem *uyumlu birleştirme* (coherent integration) olarak adlandırılmaktadır.
2. Zarf tespitinden sonra, sinyal genliğine uygulanabilmektedir. Faz bilgisi ihmal edilerek sinyal genlik bilgisi kullanılarak yapılan birleştirme işlemi *evre uyumsuz birleştirme* (noncoherent integration) olarak adlandırılmaktadır.
3. Eşik değeri kullanılarak tespit işleminden sonra, hedefin varlığı veya yokluğu kararı sırasında. Bu işlem *ikili birleştirme* (binary integration) olarak adlandırılmaktadır.

Sinyallerin alıcıda birleştirilmesi tekniğinin en büyük dezavantajı ise aynı menzil, Doppler veya kerteriz hücresine ait birden fazla örneği elde edebilmek için gerekli zaman ve enerji miktarı olmaktadır. Buna ek olarak birleştirme işlemi sinyal işleme sırasındaki hesap yükünü de artırmaktadır.

Uyumlu birleştirmede karmaşık radar (genlik ve faz) sinyal örnekleri y_n birleştirilerek yeni bir karmaşık sinyal y oluşturulmaktadır.

$$y = \sum_{n=0}^{N-1} y_n \qquad (2.13)$$

Tek bir örneğin SGO'sunu x_1 olarak düşündüğümüzde birleştirilmiş radar sinyal örneği y'nin SGO'su N kat artmaktadır ($x_N = Nx_1$). Böylece uyumlu birleştirmede N kat birleştirme kazancı elde edilmektedir.

Evre uyumsuz birleştirmede ise faz bilgisi ihmal edilmektedir. Bunun yerine, genlik (bazen logaritmik genlik de kullanılmaktadır) veya genliğin karesi alınmış yankı sinyalleri birleştirilmektedir.

$$z = \sum_{n=0}^{N-1} |y_n|^2 \qquad (2.14)$$

İkili birleştirme ilk tespit kararından sonra gerçekleştirilmektedir. İlk tespit kararı tek radar yankı sinyalinden olabileceği gibi uyumlu veya evre uyumsuz birleştirme sonucundaki sinyalden de olabilmektedir. Eşik detektörü öncesindeki işlem ne olursa olsun, detektör çıkışındaki sonuç hipotez H_0 , "hedef var", ve hipotez H_1, "hedef yok" arasındaki seçim olmaktadır. Eşik testi sonucunda her bir radar taraması için detektör çıkışında sadece iki ihtimal olduğundan, sonucun ikili formatta ifade edilebileceği söylenebilmektedir. Buna göre, eşik detektörü *N* kere çalıştığında, ilgilenilen menzil, Doppler veya kerteriz hücresi için *N* adet ikili formatta karar oluşmaktadır. Her bir "hedef var" kararı P_D olasılığında doğru, ve P_{FA} olasılığında da yanlış olabilmektedir. Tespit kararının güvenilirliğini artırabilmek için, *N* adet karardan *M* kadarında hedef tespit edilmiş kararı bulunma kuralı uygulanmaktadır. En son tespit kararı bu kural sonucuna göre verilmektedir. Bu işlem ikili birleştirme olarak adlandırılmaktadır (Skolnik 2001).

2.5.5 Sabit yanlış alarm oranlı tespit

Radar alıcısı çıkışındaki eşik değeri seçiminin istenen yanlış alarm oranına göre belirlendiği Bölüm 2.5.3'de anlatılmıştı. Bunun sonucu olarak yanlış alarm oranının eşik seviyesine çok duyarlı olduğu söylenebilmektedir. Özellikle otomatik tespit yapan sistemlerde aşırı yüksek yanlış alarmlar, bilgisayarın aşırı yüklenmesine neden olarak üretilen izlerin yanlış alarmlar ile ilişkilendirilmesine neden olabilmektedir. Bundan dolayı yanlış alarm oranının bir şekilde sabit tutulması gerekmektedir. Bu amaç ile Sabit Yanlış Alarm Oran (SYAO) yöntemi kullanılmaktadır.

SYAO hedefin bulunduğu yerdeki ortam gürültüsü veya parazit yankıyı gözlemleyerek eşik seviyesini ayarlayan bir yöntemdir. Literatürde farklı SYAO yöntemleri bulunmaktadır (Skolnik 2001). Bunların arasında en bilineni Hücre Ortalamalı SYAO'dur. (HO-SYAO). Şekil 2.4'de HO-SYAO yöntemi gösterilmektedir. Hücre ortalama bir dizi menzil veya Doppler hücresi üzerinden gerçekleştirilmektedir. Radar alıcısına ulaşan yankılar karesel algılayıcılar (square law detector) ile tespit edilmektedir. Test Altındaki Hücre (TAH) merkezde bulunan hücredir. TAH'nın komşuluğunda bulunan hücreler TAH'dan kaynaklanabilecek etkiden dolayı ortalama işleminde kullanılmamaktadır. Bu amaç ile TAH etrafında koruma hücreleri oluşturulmaktadır. HO-SYAO çıkışında M adet hücre için ortalama hesaplanmaktadır. Eşik seviyesi tüm referans hücrelerinin ortalamasının K_0 sabiti (ölçeklendirme için kullanılmaktadır) ile çarpılmasından elde edilmektedir. TAH için hedef tespiti Eşitlik 2.13'de verilen koşul ile sağlanmaktadır.

$$Y_1 \geq K_0 Z \tag{2.15}$$

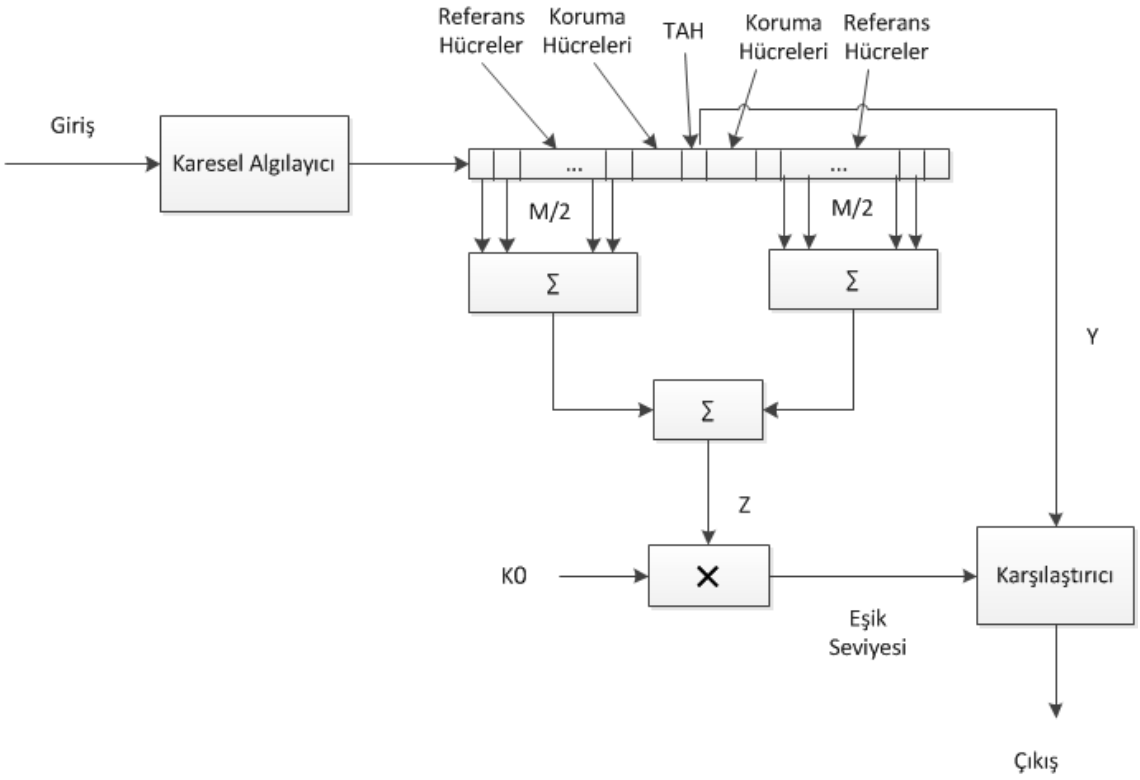
HO-SYAO hedefin TAH içinde olduğunu ve referans hücrelerin birbirinden bağımsız sıfır ortalamalı, ψ^2 değişintili Gauss gürültüsü içerdiğini kabul etmektedir. Bu yüzden, referans hücre ortalamaları, Z, gamma OYF'ye sahip rasgele bir değişkeni göstermektedir (Mahafza 2000).

$$f(z) = \frac{z^{\left(\frac{M}{2}\right)-1} e^{(-z/2\psi^2)}}{2^{M/2}\,\psi^M \Gamma(M/2)} \qquad z \geq 0 \tag{2.16}$$

Yanlış alarm olasılığı, P_{fa} ise Eşitlik 2.17' de verilmektedir.

$$P_{fa} = \frac{1}{(1+K_0)^M} \tag{2.17}$$

Eşitlikten de görülebileceği üzere, yanlış alarm olasılığı ortam gürültüsünden bağımsızdır.



Şekil 2.4 Hücre ortalamalı SYAO yöntemi blok diyagramı

3. TESPİT ÖNCESİ İZLEME (TÖİ)

Geleneksel takip algoritmaları, sensörün her bir tarama anı için bir set noktasal ölçüm sağladığı kabulü ile tasarlanmaktadır. Takip algoritmaları zaman boyunca ölçümleri işlemekte ve ilgilenilen parametrelerin kestirimini yapmaktadır. Bununla birlikte sensörler her bir pikselin belirli bir lokasyondaki (menzil ve açı hücreleri) alınan güç değerine karşılık geldiği, bir veri görüntüsü de sağlayabilmektedir. Bu durumda genel yaklaşım, veriye bir eşik değeri uygulamak ve eşik değerini geçen pikselleri tespit olarak kabul edilip noktasal ölçüm gibi davranmaktır. Bu yaklaşım SGO'nun yüksek olduğu durumlar için kabul edilebilmektedir (Davey vd. 2008). Düşük SGO'ya sahip hedefler için ise, eşik değeri yeterli tespit olasılığını sağlayacak şekilde düşük seviyede belirlenmelidir. Bu yöntem ile tüm ölçümler "tespit var" ve "tespit yok" olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Hedefin varlığını belirlemede eşik değerinin kullanılması iki temel hataya neden olmaktadır. İlk hata, yanlış alarm, hedef var olmadığı halde eşik değerinin aşılması ile oluşmaktadır. Yüksek gürültülü ölçümlerin hedef olarak algılanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Diğer hata, kayıp tespit, hedef var olduğu halde eşik değerinin aşılamamasından kaynaklanmaktadır. SGO'su düşük olan bir hedef algılanmayabilmektedir. Günümüzde kullanılan ileri teknoloji savaş uçakları ve füzeler gibi hayalet hedefleri bu tip yöntemler ile tespit etmek çok güçtür.

TÖİ yaklaşımı düşük SGO'ya sahip hedeflerin tespit ve takibinde yararlı olan bir tekniktir (Johnston ve Krishnamurthy 2001). TÖİ'de amaç, eşiklenmemiş ölçümleri kullanarak hedef tespitinin iyileştirilmesidir. Tespit yöntemleri kullanan hedef takip algoritmalarına kıyasla TÖİ, hedef rotasını tespit etmeye çalışan bir yaklaşımdır. Tespit yöntemleri kullanan hedef takip algoritmaları ise, hedeften dönen her bir sinyali ayrı ayrı tespit eder ve bu tespitleri birleştirerek rotayı oluştururlar. Geleneksel tespit yöntemlerinin aksine TÖİ yaklaşımında tespitler her bir radar taraması için belirlenmez. Bunun yerine, bir dizi radar taramasına ait veriler işlenir, daha sonra tespit kabulü yapıldığı zaman kestirimi yapılan hedef izi geri döndürülür.

TÖİ yaklaşımı hedef kinematik bilgisine dayanan bir yöntemdir. Basitçe, fiziksel olarak makul hedef geçişlerini kullanır, hedefin varlığını belirler ve neticede hedefin zaman ile

değişen iz bilgisini ortaya çıkarır. TÖİ yaklaşımının en temel problemi radar ölçümlerinin hedef kinematiğine yüksek oranda doğrusal olmayan bir şekilde bağımlı olmasıdır (Orlando vd. 2011). Bu problemin muhtemel bir çözümü parçacık süzgeci kullanımı ile mümkün olabilmektedir (Ristic vd. 2004). Parçacık süzgeci Monte Carlo tekniklerini kullanarak doğrusal olmayan kestirim problemini çözmeye çalışır. Literatürde parçacık süzgecini kullanan bir dizi TÖİ yaklaşımı bulunmaktadır (Bruno 2004, Driessen ve Boers 2004, Rutten vd. 2005). Bu yöntem rasgele üretilmiş örnekler, parçacıklar, kullanan sayısal bir tekniktir. Bu yöntemin detayı Bölüm 3.2.1'de verilmektedir. Diğer bir alternatif yöntem ise hedef durum uzayını ayrıklaştırmaktır. Aslında, durum ayrık olduğunda doğrusallık önemsiz olmakta ve Viterbi algoritması gibi kestirim teknikleri kullanılabilmektedir (Pohlig 1989, Barniv 1990, Tonissen ve Bar-Shalom 1998, Im ve Kim 1999, Johnston ve Krishnamurthy 2001, Davey vd. 2008). Bununla birlikte, ayrık-uzay zaman çözümü yüksek işlem yükü ve hafıza kullanımı gerektirmektedir (Orlando vd. 2011). Bu yöntemin detayları Bölüm 3.1.2'de verilmektedir.

Literatürde TÖİ, yığın (batch) ve özyinelemeli (recursive) yöntemler kullanarak gerçeklenmektedir (Blackman 1986).

3.1 Yığın Yöntemler

Yığın yöntemler çoklu radar taramalarına ait eşiklenmemiş verilerin işlenmesini içermektedir ve hücre tabanlıdır (hedef durum uzayı hücrelere bölünmüştür). Bu yöntemlere örnek olarak Hough dönüşümü ve dinamik programlama algoritması verilebilir.

3.1.1 Hough dönüşümü

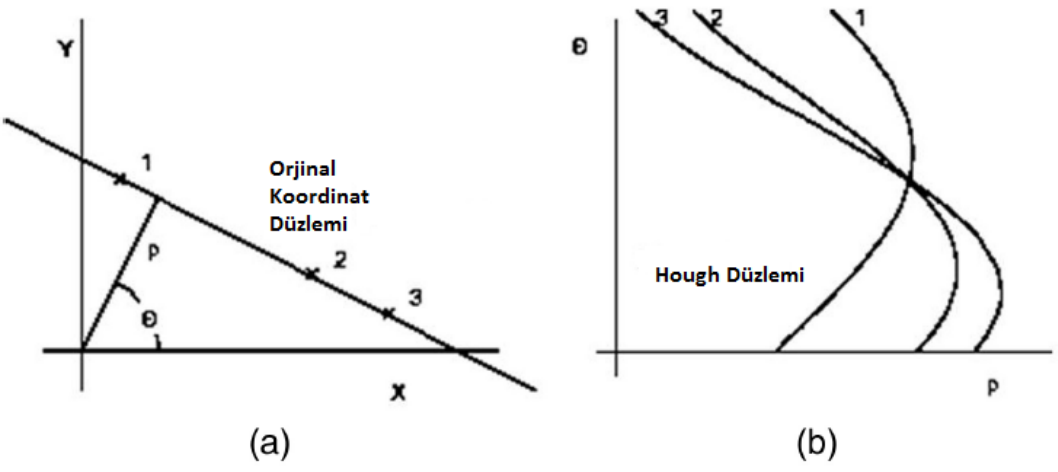
Hough dönüşümü 2-D görüntü ve verilerde düz çizgi özelliğini bulmak için kullanılan bir algoritmadır (Hough 1962). Literatürde bu yöntemin radar hedef tespitinde kullanıldığını (TÖİ yaklaşımları da dahil) gösteren örnekleri bulunmaktadır (Moyer vd.

2011, Carlson vd. 1994). Bununla birlikte, veri uzayının 3-D olarak genişletilmesi ile ilgili son yıllarda çalışmalar da yapılmaktadır (Bhattacharya vd. 2000, Moqiseh ve Nayebi 2008).

Hough dönüşümü, $y = Ax + B$ düz çizgisi üzerine düşen her bir (x, y) veri noktasının aynı zamanda Eşitlik 3.1'i de sağladığı gerçeğinden faydalanmaktadır.

$$\boldsymbol{\rho = x\,cos(\theta) + y\,sin(\theta)} \qquad (3.1)$$
$$= (x^2 + y^2)^{1/2} sin\big(\theta + \text{atan}(y/x)\big)$$

burada ρ ve θ sabitlerdir. Hough dönüşümü zaman-mesafe *(x,y)* uzayında alınmış ölçümlerini, Hough parametre uzayındaki (ρ,θ) sinüzoidal eğrilere dönüştürür. Bu ilişki şekil 3.1'de gösterilmektedir. Şekil 3.1.a düz bir çizgi üzerine düşen 3 noktayı göstermektedir. Şekil 3.1.b ise, her bir *(x,y)* noktası için θ değerine karşılık $(0 \leq \theta \leq \pi)$ tek bir ρ değerinin hesaplanabileceğini göstermektedir. Buna ek olarak, bu (ρ, θ) değerlerinin oluşturduğu eğrilerin kesişim noktası 3 noktanın üzerinde bulunduğu düz çizgiyi tanımlamaktadır.



Şekil 3.1 Hough dönüşümü gösterimi
a. Kartezyen koordinatlar. b. Hough dönüşüm alanı

TÖİ yaklaşımında Hough dönüşümü kullanımı, radar ölçümlerine ait sinyal güç değerlerinin başlangıç eşik değeriyle karşılaştırılmasıyla başlar. Başlangıç eşik değerinin amacı hücre sayısını azaltarak işlem yükünü en aza indirgemektir. Eşik değerini geçen ölçümlere Hough dönüşümü uygulanır ve her bir hücredeki sinüzoidal eğri segmentlerine karşılık gelen sinyal güçleri toplanarak toplam güç değeri elde edilir. Elde edilen toplam güç değeri, ikinci bir eşik değeriyle karşılaştırılarak hedef tespit kararı verilir. Bu yöntem, küçük hedefler ve genlik değerleri dalgalanmayan sinyal ölçümleri için iyi performans göstermektedir (Carlson vd. 1994). Buna ek olarak, düz bir hattı takip eden hedef rotaları için de uygundur.

3.1.2 Dinamik programlama algoritması (DPA)

Bu algoritmada hedefin x-y düzleminde hareket ettiği ve sensör ölçümlerinin her biri $\Delta x \times \Delta y$ büyüklüğündeki $(\Delta x = \Delta y = \Delta)$ $N \times N$'lik çözünürlük hücrelerinden oluştuğu kabul edilmektedir. Her bir k zaman anında her bir hücreye bir adet ölçüm kaydedilmektedir. Ölçümlerin k zaman anında kaydedilmesinden oluşan $N \times N$'lik matris Eşitlik 3.2'de verilmektedir.

$$\boldsymbol{Z(k) = \{z_{ij}(k)\}} \tag{3.2}$$

burada $1 \leq i,j \leq N$ ve $z_{ij}(k)$ çözünürlük hücresi (i,j)'ye kaydedilmiş ölçümdür ve Eşitlik 3.3 ile tanımlanmaktadır.

$$\boldsymbol{z_{ij}(k) = \begin{cases} w_{ij}(k) & hedef\ yok \\ A(k) + w_{ij}(k) & hedef\ var \end{cases}} \tag{3.3}$$

A(k) zamanla değişen hedef sinyal genliğini w_{ij} toplamsal gürültüyü göstermektedir.

Bir hedef iz bilgisi, zaman 1'den *K*'ya kadar hedefe ait ardışık durum dizisi, *x(k)*, olarak tanımlanmaktadır.

$$\boldsymbol{X_K} = \{\boldsymbol{x}(\mathbf{1}), \cdots, \boldsymbol{x}(\boldsymbol{K})\} \tag{3.4}$$

DPA ile çözülmeye çalışılan problem şöyle tanımlanmaktadır: Ölçüm dizisi Z_k

$$\boldsymbol{Z_k} = \{\boldsymbol{Z}(\mathbf{1}), \cdots, \boldsymbol{Z}(\boldsymbol{K})\} \tag{3.5}$$

verildiğinde asıl hedeften kaynaklanan X_K rotasının (durum dizisinin) bulunabilmesidir.

DPA hedef iz tahminleri Eşitlik 3.4'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\{\widehat{\boldsymbol{X_K}}\} = \{\boldsymbol{X_K}: \sum_{\boldsymbol{k=1}}^{\boldsymbol{K}} \boldsymbol{z_{ij}}(\boldsymbol{k}) > \boldsymbol{V_T}\} \tag{3.6}$$

burada hedef k çerçevesindeki (i, j) hücresinde bulunmaktadır ve bundan dolayı $(i-1)\Delta \leq x(k) \leq i\Delta$ ve $(j-1)\Delta \leq y(k) \leq j\Delta$ olmaktadır. V_T tespit ve yanlış alarm olasılıklarının belirlenmesi için kullanılan eşik değeridir.

DPA, Viterbi algoritmasının (Rabiner ve Juang 1986) değiştirilmiş bir versiyonunu kullanmaktadır. Viterbi algoritması bütün muhtemel durum dizileri üzerinden arama yaparak tek bir en iyi durum dizisi bulmaktadır. DPA'da kullanılan değiştirilmiş Viterbi algoritması ise ve son aşamada eşik değerini geçen başarım fonksiyonu $I(x_K)$'ya sahip tüm durum dizilerini dikkate almaktadır (Tonissen vd. 1996). Algoritma adımları şöyledir:

1. *Başlangıç*: Tüm x_1 durumları için

$$\boldsymbol{I}(\boldsymbol{x_1}) = \boldsymbol{z_{xy}}(\mathbf{1}) \tag{3.7}$$

$$\Psi_{x_k}(1) = 0 \tag{3.8}$$

2. *Yineleme*: Tüm x_k durumları için, $2 \leq k \leq K$

$$I(x_k) = max_{x_{k-1}}[I(x_{k-1})] + z_{xy}(k) \tag{3.9}$$

$$\Psi_{x_k}(k) = argmax_{x_{k-1}}[I(x_{k-1})] \tag{3.10}$$

Burada x_{k-1} üzerinden x_k durumuna muhtemel geçiş için enbüyültme yapılmaktadır.

3. *Sonlandırma*:

$$\{\hat{x}_k\} = \{x_K : I(x_K) > V_T\} \tag{3.11}$$

burada V_T eşik değeridir.

4. *Geri dönüş*: Her bir $\hat{x}_k$için $k = K-1, K-2, \ldots, 1$

$$\hat{x}_k = \Psi_{\hat{x}_{k+1}}(k+1) \tag{3.12}$$

burada x_k, $\boldsymbol{x}$(k) durum dizisini göstermektedir. Oluşturulan rota tahmini ise $\hat{X}_K = \{\hat{x}_1, \ldots, \hat{x}_K\}$ ile ifade edilmektedir.

DPA çözümü, her bir geçiş için başarım fonksiyonunu en büyük yapan veya belirli bir eşik değerini geçen hedef rotasıdır. Her bir geçiş için maliyet fonksiyonu, o hücreden geçen muhtemel tüm hedef rotaları boyunca elde edilen ölçümlerden hesaplanır. DPA'nın tespit performansının iyi olmasına rağmen, takip performansının kötü olduğu ve hedef ayrıştırma işleminin takip performansının kötü olmasındaki başlıca etkenlerden biri olduğu bilinmektedir (Tonissen vd. 1996). DPA'nın diğer bir dezavantajı da SGO'daki sınırlamadır. Zaman arttıkça, muhtemel hedef rotalarının sayısı da artmaktadır ve bu durum hedef tespitinde kullanılan eşik değerinin de artmasına neden olmaktadır. Eşik değeri yükseldikçe, düşük SGO'ya sahip hedeflerin tespiti mümkün olmamaktadır.

Tüm yığın yöntemlerinin dezavantajı, hedef uzayını bölümleme ihtiyacıdır. Gerçek hedef pozisyonu, hücrenin merkezinde kabul edilir. Bununla birlikte, hedef hareketi sürekli olduğundan bu kabul hatayı arttırmaktadır. Bu etki, hücre boyutlarının düşürülmesiyle azaltılabilir; diğer yandan bu işlem hesap yükünü arttırmaktadır.

3.2 Özyineli Yöntemler

3.2.1 Parçacık süzgeci (PS)

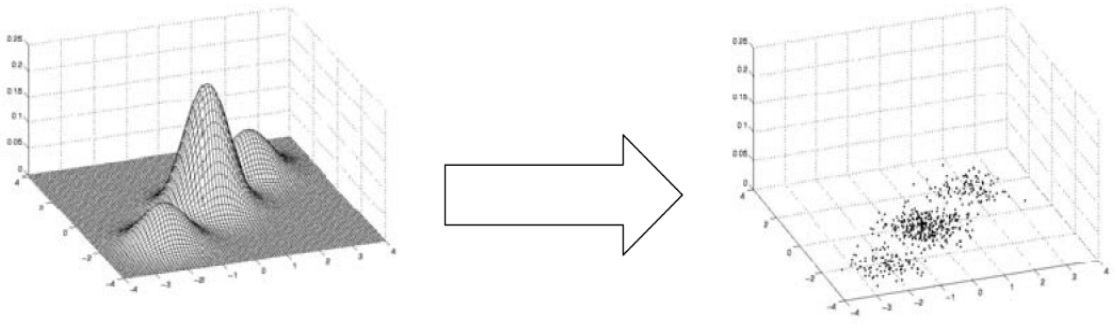
Parçacık süzgeci son yıllarda hedef takip alanında çok kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Parçacık süzgecindeki temel düşünce ilgilenilen ardıl olasılıksal yoğunluk

fonksiyonunu, rastlantısal örneklerin ağırlık değerleri kümesi olarak göstermek ve tahminleri bu ağırlık değerleri kümesinden hesaplamaktır (Doucet vd. 2001). Teorik olarak, çok yüksek miktarda parçacık kullanan bir parçacık süzgeciyle herhangi bir sistemi istenen doğrulukta tahmin edebilmek mümkündür, fakat pratik uygulamalarda bu mümkün olmamaktadır.

Bulunmak istenen ardıl olasılıksal fonksiyonu $p(x_k|Z^k)$ Eşitlik 3.13'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$p(x_k|Z^k) \approx \sum_{i=1}^{M} q^i \delta(x_k - x_k^i) \tag{3.13}$$

Burada $\{x^i\}_{i=1}^M$ parçacık kümesini, $\{q^i\}_{i=1}^M$ ise karşılık gelen ağırlıkları ve M ise parçacık sayısını göstermektedir. Şekil 3.2'de gerçek ve kestirimi yapılmış olasılıksal yoğunluk fonksiyonları verilmektedir.



Şekil 3.2 Gerçek ve PS ile kestirimi yapılmış ardıl olasılık yoğunluk fonksiyonu gösterimi

PS yöntemi kestirim yaparken sistem dinamik modelini kullanmaktadır. Eşitlik 3.14 ve 3.15'de sistem dinamik modeli olarak kabul edildiği durumda

$$x_k = f(x_{k-1}, w_k) \tag{3.14}$$

$$y_k = h(x_k, v_k) \tag{3.15}$$

PS tabanlı TÖİ algoritması şöyle tanımlanmaktadır (Boers ve Driessen 2001):

Adım 1. Sistemin Eşitlik 3.14'de verilen dinamik modeli kullanılarak $\{x^i\}_{i=1}^M$ hesaplanır.

Adım 2. Parçacık ağırlıkları Eşitlik 3.16 ile hesaplanır,

$$q^{*i} = p\left(y_k \middle| x_k^i\right) \quad i=1,\ldots,M$$

$$q_k^i = \frac{q^{*i}}{\sum_{i=1}^M q^{*i}} \tag{3.16}$$

Adım 3. $\hat{p}(x_k|Z^k) = \sum_{i=1}^M q_k^i \, \delta(x_k - x_k^i)$ kullanılarak M adet yeniden örnekleme ile $\{x_k^i\}_{i=1}^M$ elde edilir ve $\hat{p}(x_k|Z^k) = \sum_{i=1}^M \frac{1}{M}\delta(x_k - x_k^i)$ elde edilir.

Adım 4. Adım 1'e dönülür.

Hedef tespit işlemi, PS ağırlıkları ve Eşitlik (3.17)'daki olabilirlik fonksiyonu kullanılarak yapılmaktadır.

$$L(y_k) = \frac{p(y_k|H_1)}{p(y_k|H_0)} \tag{3.17}$$

$$p(y_k|H_1) \approx \frac{1}{M}\sum_{i=1}^M q_k^{*i} \tag{3.18}$$

H_0 ve H_1 sırasıyla hedef var olması ve olmaması hipotezlerini göstermektedir. $L(y_k)$ olabilirliği belirli bir eşik değerinden büyük olduğunda hedef tespiti yapılmış olur (Boers ve Driessen, 2001).

PS'in avantajları: 1. Birden fazla radar taraması kaydetmeye ve işlemeye ihtiyaç yoktur 2. Doğrusal olmayan hedef hareketleri için de kullanılabilir 3. Çoklu hedefler için de kullanılabilir.

PS'in dezavantajları 1. PS ağırlıklarının doğruluğu, ön tanımlı sistem dinamik fonksiyonunun doğruluğuna bağımlıdır. 2. Parçacık sayısı arttıkça işlem yükü de artmaktadır.

Literatürde tanımlanmış olan TÖİ yöntemleri, her ne kadar radar sinyal işleme katında eşik değeri kullanım ihtiyacını ortadan kaldırmış olsa da, süzgeç katında eşik değeri kullanmaktadır. Bu tezde herhangi bir eşik değeri kullanmadan TÖİ yaklaşımında kullanılabilecek SMM tabanlı 3 adet hedef tespit yöntemi önerilmektedir. Her yöntem kendisinden önce tanımlanmış olan yöntemin dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacı ile geliştirilmiştir. Bu amaç ile ilk aşamada TÖİ yaklaşımlarında kullanılabilecek SMM tabanlı hedef manevra tespit yöntemi oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritma ile sadece hedefin varlığı dışında aynı zamanda, hedef takip uygulamalarında önemli bir rol oynayan hedef manevra türünün de tespiti amaçlanmıştır. Manevra tespiti hareketli hedeflerin izlenmesinde kilit bir noktaya sahiptir, çünkü hedef manevrasının erken ve doğru olarak tespiti izleme aşamasında daha iyi sonuçlar alınmasına neden olmaktadır. Önerilen yöntemin performansı parazit yankı ve 3 değişik manevra türü (koordineli dönüş, wiener süreç hızlanma ve beyaz gürültülü hızlanma modelleri) ölçüm senaryoları ile test edilmiştir. Yapılan benzetimler sonucunda önerilen yöntemin parazit yankıyı hedeften ayırmakla birlikte hedef manevra türünü de tespit edebildiği de görülmüştür. Bununla birlikte, önerilen SMM tabanlı hedef manevra yöntemi her ne kadar hedef ve manevra tipi tespitini yapabilmiş olsa da, bu başarımı hedef sinyal güç seviyesinin parazit yankıdan büyük olduğu durum için verebilmektedir. Bu anlamda önerilen yöntemin en büyük dezavantajı hedefin sinyal güç seviyesine bağımlı kalmasıdır. SMM tabanlı hedef manevra tespit yöntemi ve benzetim sonuçları Bölüm 5'de detaylı olarak verilmiştir.

Önerilen yöntemlerin başarımlarını tespit etmenin en iyi yolu gerçek radar ölçümleri kullanmaktır. Gerçek radar ölçümlerinde hedefe ait sinyal güç seviyesi parazit yankı seviyesinden daha az olabilmektedir. Deniz parazit yankılı ortamda küçük RKA'ya sahip bir suüstü hedefini Bölüm 5'de anlatın kabul ve yöntem ile tespit etmek çok güçtür. Bu dezavantajı ortadan kaldırabilmek için SMM tabanlı yönteme sürekli dalgacık dönüşümü entegre edilmiştir. Gerçek hayatta deniz parazit yankısı zamanla değişen ve Gauss olmayan bir yapıya sahiptir. Bu özellik hedef tespit algoritmaları için büyük problem yaratmaktadır. Dalgacık dönüşümünü radar hedef tespitinde kullanmanın temel amacı, radar yankı sinyalinde bulunan, hedeften kaynaklı, süreksizliklerin varlığıdır. Bu süreksizlikler gözle görülememekle birlikte, sinyalin

detay bilgisini içeren dalgacık katsayıları ile tespiti mümkün olmaktadır. Dalgacık dönüşümü iki boyutlu ilintilendirici olarak da düşünülebilmekte ve eğer tespit edilmek istenen sinyalin şekli önceden biliniyor ise bu şekle uygun bir ana dalgacık oluşturulabilmektedir. Bu özelliği sayesinde ve sinyali en iyi tanımlayan ana dalgacık seçimiyle dalgacık dönüşümü etkin bir sinyal tespit aracı haline gelmektedir. Önerilen yöntemin performansı gerçek radar ölçümlerini kullanarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Denemeler sonucunda önerilen yöntemin deniz parazit yankılı ortamda gerçek radar ölçümleri kullanarak suüstü hedeflerini tespit edebildiği görülmüştür. Bununla birlikte, önerilen yönteminin performansının seçilen ana dalgacığa çok bağımlı olduğu ortaya çıkmıştır. Sürekli dalgacık dönüşümü ve SMM tabanlı hedef tespit yöntemi ve benzetim sonuçları Bölüm 6'da detaylı olarak verilmiştir.

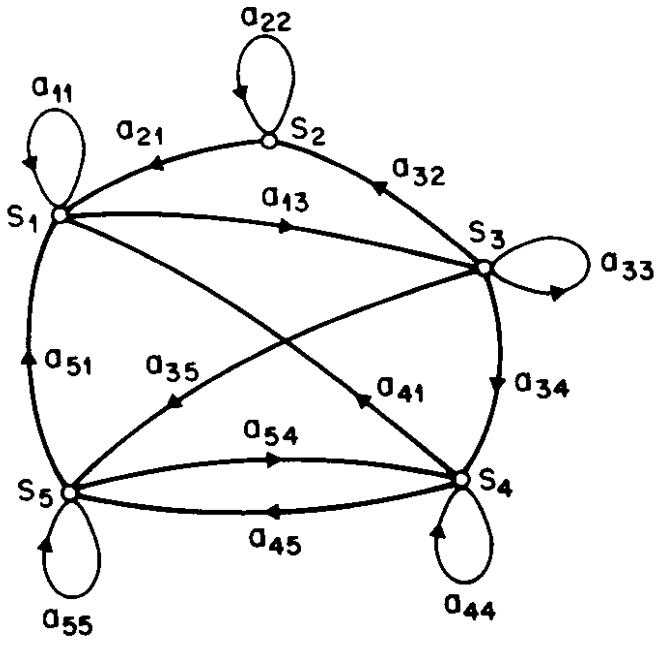
Bölüm 6'da önerilen yöntemin sahip orduğu dezavantaj hedef tespit probleminde performans düşürücü bir etkiye neden olmaktadır. Sürekli dalgacık dönüşümünün bir çeşit uyumlu süzgeç yapısı göstermesi, ana dalgacık fonksiyonunun iyi seçilmediği durumlar için hatalı tespitlere neden olabilmektedir. Bu dezavantajı ortadan kaldırabilmek için Bölüm 7'de SMM tabanlı yönteme çoklu-fraktal biçimcilik entgre edilmiştir. Çoklu-fraktal biçimcilik kullanımının temel amacı, deniz parazit yankısının fraktal yapısının hedefin varlığından etkilenmesidir. Diğer bir deyişle, hedefin varlığı fraktal geometriye sahip deniz yüzeyi üzerinde düzensizliğe veya tekilliğe neden olmaktadır. radar alıcısına ulaşan sinyalin çoklu-fraktal spektrumu dalgacık dönüşümü modülüs maxima ile yapılmaktadır. Bölüm 6'da önerilen yöntem de sürekli dalgacık dönüşümü kullanmakla birlikte aralarında fark bulunmaktadır. Bölüm 6'da hedef yüzeyinden yansıyan radar sinyali tespit edilmeye çalışılırken, Bölüm 7'de önerilen yöntem ise hedefin deniz yüzeyinin fraktal yapısı üzerinde oluşturduğu tekillikleri tespit etmeye çalışmaktadır. Denemeler sonucunda önerilen yöntemin deniz parazit yankılı ortamda gerçek radar ölçümleri kullanarak suüstü hedeflerini tespit edebildiği görülmüştür. Bölüm 6'da önerilen yöntem ile kıyaslandığında tespit yüzdesinin arttığı da görülmektedir.

4. SAKLI MARKOV MODEL TANIMI

Saklı Markov Modelin (SMM) altında yatan varsayım (veya herhangi diğer bir istatistiksel modelin), bir sinyalinin parametrik rastlantı süreci olarak sınıflandırılabilmesi ve bu olasılıksal süreç parametrelerinin iyi tanımlanmış bir yöntem ile doğru olarak tahmin edilebilmesidir (Rabiner ve Juang 1993).

4.1 Ayrık-zaman Markov Süreçleri

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, herhangi bir zamanda, N (gösterim açısından $N = 5$ alındı) adet farklı durum setinden birinde olan bir sistem düşünülsün. Eşit aralıklı, ayrık zamanlarda sistem, önceden tanımlanan bir olasılık setine göre, durum değişimi yapmaktadır (veya aynı duruma geri dönüş).



Şekil 4.1 Beş durumlu bir Markov zinciri

Sistem, herhangi bir t zamanda q_t durumunda bulunmaktadır. Yukarıdaki sistemin olasılıksal ifadesi, güncel durum (t zaman anındaki) ve kendisinden önceki tüm

durumlara bağımlıdır. Birinci dereceden bir Markov zinciri için olasılıksal bağımlılık, kendisinden bir önceki durumu içermektedir:

$$P\left[q_t = j \middle| q_{t-1} = i, q_{t-2} = k, \ldots\right] = P\left[q_t = j \middle| q_{t-1} = i\right] \tag{4.1}$$

Eşitliğin sağ tarafı durum geçiş olasılığını vermektedir,

$$a_{ij} = P\left[q_t = j \middle| q_{t-1} = i\right] \qquad 1 \le i, j \le N \tag{4.2}$$

$$a_{ij} \ge 0$$

$$\sum_{j=1}^{N} a_{ij} = 1$$

Yukarıdaki olasılıksal süreç, gözlemlenebilir Markov model olarak tanımlanabilir; çünkü sürecin çıkışı her bir zaman anındaki durumların kümesidir ve her bir durum gözlemlenebilir bir olaya karşılık gelmektedir.

4.2 Saklı Markov Model

Bölüm 3.1'de her bir durumun rastgele olmayan, gözlemlenebilir bir olaya karşılık geldiği Markov modeli üzerinde duruldu. Bu model, birçok probleme uygulanabilirlik açısından çok fazla sınırlayıcıdır. Markov model gözlemlenebilir olayları, durumun bir olasılıksal fonksiyonu olduğunu kabul etmektedir. Bunun anlamı, gerçek olasılıksal süreç doğrudan gözlemlenemez (saklıdır); fakat gözlem dizisi üreten başka bir olasılıksal süreç seti ile gözlemlenebilir.

4.3 SMM Elemanları

Ayrık sembol gözlemleri için SMM aşağıdaki gibi tanımlanır:

1. *N*, modeldeki durum sayısı.
2. *M,* durum başına gözlemlenen sembol sayısı (örnek olarak, hedef var veya yok). Gözlem sembolleri, modellenen sistemin fiziksel çıkışına karşılık gelmektedir. Semboller $S = \{s_1, s_2, ...s_m\}$ şeklinde gösterilmektedir.
3. Durum-geçiş olasılık dağılımı $A = \{a_{ij}\}$

$$a_{ij} = P[q_{t+1} = j | q_t = i], \qquad 1 \le i, j \le N. \tag{4.3}$$

4. Gözlem sembol olasılık dağılımı, $B = \{b_j(k)\}$

$$b_j(k) = P[o_t = s_k | q_t = j], \qquad 1 \le k \le M \tag{4.4}$$

$$j = 1,2,...N.$$

5. Başlangıç durum dağılımı $\pi = \{\pi_i\}$

$$\pi_i = P[q_1 = i], \qquad 1 \le i \le N \tag{4.5}$$

Yukarıdaki ifadelerden de anlaşılacağı gibi, tam bir SMM tanımı için iki model parametresinin (*M* ve *N*), gözlem sembollerinin ve olasılık ölçüm setlerinin (A, B ve π) tanımı gerekmektedir. Model parametrelerini göstermek için kullanılan gösterim Eşitlik 4.6'da belirtilmiştir.

$$\lambda = (A, B, \pi) \tag{4.6}$$

4.4 SMM için Üç Temel Problem

Problem 1

Gözlem dizisi $O = (o_1, o_2, ...o_T)$ ve model $\lambda = (A, B, \pi)$ verildiğinde, $P(O|\lambda)$, gözlem dizisinin olasılığı etkin biçimde nasıl hesaplanır?

Problem 2

Gözlem dizisi $O = (o_1, o_2, ...o_T)$ ve model $\lambda = (A, B, \pi)$ verildiğinde, en iyi durum dizisi $q = (q_1 q_2 ... q_T)$ nasıl hesaplanır?

Problem 3

Model parametreleri $\lambda = (A, B, \pi)$, $P(O|\lambda)$'yı en büyük yapacak şekilde nasıl ayarlanmalıdır?

4.4.1 Problem 1 için çözüm

$P(O|\lambda)$'yı hesaplamanın en temel yolu, T uzunluğundaki muhtemel bütün q durum dizilerinin hesaba katılmasıdır. Verilen bir durum dizisi $q = \{q_1, qx_2, ..., q_T)$ için gözlem dizisi O nun olasılığı,

$$P[O|q,\lambda] = \prod_{t=1}^{T} P[o_t|q_t,\lambda] = \prod_{t=1}^{T} b_{x_1}(o_t) \tag{4.7}$$

Durum dizisi X'in olasılığı,

$$P[q|\lambda] = \prod_{t=1}^{T} a_{q_{t-1}q_t} \tag{4.8}$$

O ve q'nün birleşik olasılığı Eşitlik 4.7 ve Eşitlik 4.8 de ifadelerin çarpımıyla elde edilir

$$P[O,q|\lambda] = P[O|q,\lambda]P[q|\lambda] \tag{4.9}$$

Model λ verildiğinde gözlem dizisi *O*'nun olasılığı, tüm muhtemel durum dizileri *q* kullanılarak Eşitlik 4.10'daki gibi hesaplanır.

$$P[O|\lambda] = \sum_{q} P[O,q|\lambda] = \sum_{q_1,q_2,\ldots,q_T} \prod_{t=1}^{T} a_{q_{t-1}q_t} b_{q_t}(o_t) \tag{4.10}$$

Eşitlik 4.10'daki $P[O|\lambda]$ 'nın tanımı $2TN^T$ işlem gerektirmektedir ki, bu işlem miktarı hesaplama açısından makul bir miktar değildir. "İleri prosedürü" (*forward procedure)* $P[O|\lambda]$'nın hesabı için çok daha etkin bir yol önermektedir.

4.4.2 İleri prosedürü (Forward Procedure)

İleri değişken, Eşitlik 4.11'de tanımlanmaktadır.

$$\alpha_t(i) = P(o_1 o_2 \ldots o_t, q_t = i|\lambda) \tag{4.11}$$

Eşitlik 4.11, model λ verildiğinde, kısmi gözlem dizisi $o_1 o_2 \ldots o_t$ nin (*t* anına kadar) ve *t* zaman anında durumun *i* olma olasılığını vermektedir. $\alpha_t(i)$'nin çözümü için kullanılan yöntem Eşitlik 4.12'de verilmektedir.

1. Başlangıç

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(o_i) \qquad 1 \le i \le N \tag{4.12}$$

2. Tümevarım

$$\alpha_{t+1}(j) = \left[\sum_{i=1}^{N} \alpha_t(i) a_{ij}\right] b_j(o_{t+1}) \qquad 1 \le t \le T-1 \qquad 1 \le j \le N \tag{4.13}$$

3. Bitirme

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_T(i) \tag{4.14}$$

4.4.3 Problem 2 için çözüm

Problem 2'nin çözümü "en iyi" tanımlanmasına dayanmaktadır. Örnek olarak muhtemel bir en iyi ölçüt, ayrı ayrı en olası q_t durumlarının seçimidir. Bu problemin çözümü için kullanılan olasılık değişkeninin tanımı:

$$\gamma_t(i) = P[q_t = i|O,\lambda] = \frac{P[q_t = i, O|\lambda]}{P[O|\lambda]} = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{\sum_{i=1}^{N} \alpha_t(i)\beta_t(i)} \tag{4.15}$$

t zaman anındaki en uygun q_t durumu, $\gamma_t(i)$ kullanılarak Eşitlik 4.16'daki gibi bulunur.

$$q_t = \arg \max_{1 \le i \le N} \gamma_t(i), \qquad 1 \le t \le T \tag{4.16}$$

Eşitlik 4.16, beklenen doğru durum sayısını en büyük yapmasına rağmen, ortaya çıkan durum dizisi geçerli bir dizi olmayabilir. Bu koşul, bazı durum geçişlerinin sıfır olasılığa sahip olması (bazı *i* ve *j* değerleri için $a_{ij} = 0$) nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

Bu problemden ötürü en çok kullanılan ölçüt, verilen bir $O = \{o_1, o_2, ...o_T\}$ gözlem dizisi için tek bir en iyi durum dizisi (rotası) bulmaktır. Bu, $P(q|O,\lambda)$ 'nın en büyük yapılması anlamına gelir. En iyi durum dizisini bulmak için kullanılan en etkin yöntem, dinamik programlama metoduna dayanan Viterbi algoritmasıdır.

4.4.4 Viterbi algoritması

Verilen bir gözlem dizisi $O = \{o_1, o_2, ...o_T\}$ için en iyi durum dizisini, $q = (q_1 q_2 ... q_T)$, hesabı:

$$\delta_t(i) = \max_{q_1, q_2, ... q_{t-1}} P\left[q_1 q_2 ... q_{t-1}, q_t = i, o_1 o_2 ... o_t \middle| \lambda\right] \tag{4.17}$$

$\delta_t(i)$ tek bir yol boyunca en iyi skoru (en yüksek olasılığı) göstermektedir.

En iyi durum dizisini bulmak için kullanılan yöntem aşağıda verilmektedir.

1. Başlangıç

$$\delta_1(i) = \pi_i b_i(o_1), \qquad 1 \le i \le N \tag{4.18}$$

$$\psi_1(i) = 0 \tag{4.19}$$

2. Yineleme

$$\delta_t(j) = \max_{1 \le i \le N}\left[\delta_{t-1}(i) a_{ij}\right] b_j(o_t) \qquad 2 \le t \le T, \quad 1 \le j \le N \tag{4.20}$$

$$\psi_t(j) = \arg\max_{1 \le i \le N}\left[\delta_{t-1}(i) a_{ij}\right] \qquad 2 \le t \le T, \quad 1 \le j \le N \tag{4.21}$$

3. Bitirme

$$P^* = \max_{1 \le i \le N}\left[\delta_T(i)\right] \tag{4.22}$$

$$q_T^* = \arg\max_{1 \le i \le N}\left[\delta_T(i)\right] \tag{4.23}$$

4. Yol (durum dizisi) geri izlemesi

$$q_t^* = \psi_{t+1}(q_{t+1}^*), \qquad t = T-1, T-2, ..., 1 \tag{4.24}$$

Viterbi algoritması, ileri prosedürüne oldukça benzemektedir (geri izleme basamağı dışında). En önemli fark Eşitlik 4.20 ve 4.21'deki enbüyültme işlemidir.

4.4.5 Problem 3 için çözüm

SMM'nin üçüncü ve en zor problemi, model parametreleri (A, B, π)'nin belirli bir optimizasyon kriterini sağlayacak biçimde ayarlanması için bir yöntemin belirlenmesidir. Gözlem dizisinin olasılığını en büyük yapacak model parametrelerinin, kapalı bir formda analitiksel çözümü için bilinen bir yol yoktur. Bununla birlikte, Baum-Welch gibi özyineli yöntemler gibi yöntemler kullanılarak $\lambda = (A, B, \pi)$ yerel olarak en büyük yapılabilir.

4.4.6 Baum-Welch algoritması

Model ve gözlem dizisi verildiğinde, *t* zamanında durumun *i*'de ve *t+1* zamanında durumun *j* ' de olma olasılığının tanımı , $\varepsilon_t(i, j)$, Eşitlik 4.25'de verilmektedir.

$$\varepsilon_t(i, j) = P(q_t = i, q_{t+1} = j, O|\lambda) \tag{4.25}$$

İleri ve geri değişkenler kullanılarak $\varepsilon_t(i, j)$ yeniden yazılırsa:

$$\varepsilon_t(i, j) = \frac{P(q_t = i, q_{t+1} = j, O|\lambda)}{P(O|\lambda)} = \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(o_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{P(O|\lambda)}$$

$$= \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(o_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \alpha_t(i) a_{ij} b_j(o_{t+1}) \beta_{t+1}(j)} \tag{4.26}$$

Eşitlik 4.15'de tanımlanan $\gamma_t(i)$ ile $\varepsilon_t(i,j)$ birbiriyle ilişkilendirilirse:

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^{N} \varepsilon_t(i,j) \tag{4.27}$$

Eğer $\gamma_t(i)$'yi zaman indisi üzerinden toplarsak, durum *i*'den yapılan geçişlerin beklenen sayısını elde edilmiş olur. Benzer şekilde $\varepsilon_t(i,j)$'yi tüm zaman indisi üzerinden toplarsak durum *i*'den durum *j*'ye geçişlerin beklenen sayısı elde edilmiş olur.

$$\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i) = \text{durum } i\text{'den yapılan geçişlerin beklenen sayısı} \tag{4.28}$$

$$\sum_{t=1}^{T-1} \varepsilon_t(i,j) = \text{durum } i\text{'den durum } j\text{'ye geçişlerin beklenen sayısı} \tag{4.29}$$

Yukarıdaki formülleri kullanarak SMM parametreleri π, *A* ve *B* için yeniden tahmin formülü:

$$\pi_j = (t=1) \text{ anında durum } i\text{'den yapılan geçişlerin beklenen sayısı} = \gamma_1(i) \tag{4.30}$$

$$a_{ij} = \frac{Durum\ i'den durum\ j'ye geçişlerin\ beklenen\ sayısı}{Durum\ i'den\ yapılan\ geçişlerin\ beklenen\ sayısı}$$

$$= \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \varepsilon_t(i,j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)} \tag{4.31}$$

$$\overline{b_j}(k) = \frac{Durum\ j'den\ yapılan\ geçişlerin\ beklenen\ sayısı\ ve\ sembol\ v_k'nın\ gözlenmesi}{Durum\ j'den\ yapılan\ geçişlerin\ beklenen\ sayısı}$$

$$= \frac{\sum_{t=1}^{T} \gamma_t(j)}{\sum_{t=1}^{T} \gamma_t(j)} \quad \text{s.t.} O_T = v_k \tag{4.32}$$

Şu anki modeli $\lambda = (A, B, \pi)$ olarak tanımlarsak ve Eşitlik 4.30-4.32 denklemlerinin sağ kısımlarının hesabında kullanırsak; yeniden tahmin edilmiş modeli $\bar{\lambda} = (\bar{A}, \bar{B}, \bar{\pi})$ olarak tanımlarsak ve denklemlerin sol kısımlarının hesabında kullanırsak:

- λ başlangıç modeli, olabilirlik fonksiyonunun kritik bir noktasını tanımlamaktadır, $\bar{\lambda} = \lambda$.

  veya,

- Model $\bar{\lambda}$, model λ'dan daha fazla olabilirliğe sahiptir ($P(O|\bar{\lambda}) > P(O|\lambda)$). Bir başka deyişle gözlem dizisinin daha yüksek olabilirlikte üretilebileceği yeni bir $\bar{\lambda}$ modeli bulunmuştur.

Yukarıda belirtilen yönteme dayanarak, eğer iteratif olarak $\bar{\lambda}$'yü λ'nın yerine kullanırsak ve yeniden tahmin hesabını tekrarlarsak *O*'nun modelden gözlemlenmesi olasılığı iyileştirilmiş olmaktadır.

5. SMM TABANLI HEDEF MANEVRA TESPİTİ

Hedef tespitinin amacı gözlem alanı içerisindeki tüm ilgilenilen nesnelerin belirlenmesidir. Eğer hedefler çok düşük veya gürültüsüz bir ortamda bulunsalardı hedef tespiti çok kolay bir görev haline gelirdi. Böyle bir senaryoda radar alıcısındaki hedeften yansıyan yankı sinyali sabit bir eşik değeriyle karşılaştırılır ve sinyal seviyesi eşik değerini geçtiği zaman hedef tespiti yapılmış olurdu. Gerçek hayatta ise, hedefler arka plan gürültüsü parazit yankı ile dolu bir ortam içinde bulunmakta ve buna ek olarak hedeften yansıyan radar yankı sinyal gücü zaman ve pozisyon değiştikçe değişime uğramaktadır. Bu yüzden sabit eşik değeri kullanımı sorunlara neden olmaktadır. Örneğin eğer eşik değeri çok düşük seçilirse yanlış alarm olasılığı yükselmekte, bunun sonucu olarak eşik değerini geçen parazit yankı sinyalleri hedef olarak algılanmaktadır. Diğer bir örnek ise eşik değerinin çok yüksek belirlenmesi durumda kayıp tespit oranının artmasıdır; bunun sonucunda ise eşik değerini geçemeyen hedef yankı sinyalleri tespit edilememektedir. Bu olgu, yerel parazit yankı durumuna göre değişen bir tespit eşik değerini kullanan adaptif sinyal işleme tekniklerini gerektirmektedir. Bununla birlikte yankı sinyal seviyesi yerel parazit yankı sinyal seviyesinden düşük olan hedefler için, değişken eşik değeri kullanımı dahi iyi sonuç vermeyebilmektedir. TÖİ teknikleri tespit eşik değeri kullanım ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve düşük SGO'ya sahip hedeflerin tespitini mümkün kılmaktadır.

Literatürde TÖİ yöntemlerini kullanan çok sayıda çalışma mevcuttur. Önerilen TÖİ algoritmalarının büyük çoğunluğu, yüksek miktarda parazit yankı içeren optik görüntülerde hareketli küçük nesnelerin tespit ve takibi konularında yoğunlaşmaktadır (Buzzi vd. 2008, Orlando vd. 2011). Detayları Bölüm 3'de verilen DPA ve PS tabanlı yöntemler en bilinen TÖİ uygulamaları olarak göze çarpmaktadır. Her ne kadar TÖİ yöntemleri radar sinyal işleme aşamasında tespit eşik değeri kullanımını ortadan kaldırsa da, bu yöntemler süzgeç aşamasında eşik değeri kullanımına devam etmektedir. Bu çalışmadaki amaç, herhangi bir aşamada eşik değeri kullanmayan yeni bir tespit yöntemi ortaya koymaktır. Bu amaç ile, sensor çıkışındaki işlenmemiş radar verisinden hedef tespiti yapabilen SMM tabanlı bir yöntem önerilmektedir. SMM, ayrık zamanda gözlemlenen veri örneklerini sınıflandırmada kullanılan güçlü bir istatistiksel metottur.

SMM'nin altında yatan varsayım, veri örneklerini parametrik rassal süreç olarak sınıflandırılabilmesinde ve bu stokastik süreç parametrelerini tahmin edilebilmesinde yatar. Yakın zamanda SMM tabanlı yöntemler, örüntü tanıma uygulamalarında vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. SMM'nin en yaygın kullanım alanı konuşma, ses, el yazısı ve görüntü tanıma gibi örüntü tanıma uygulamalarıdır. Aslında SMM kullanımı zaman ile değişen rassal gözlem dizilerini üreten karmaşık, durağan olmayan stokastik süreçler için en uygun çözüm olmaktadır. Birçok durum için sensör çıkışındaki ölçümler yukarıda verilen tanıma uymaktadır. Bu yüzden radar ve sonar gibi sensörlerden elde edilen ölçümleri kullanarak tespit ve takip yapan uygulamalarda SMM'nin kullanıldığı birçok örnek bulunmaktadır. Örnek olarak Streit vd. nin (1990) yaptığı çalışmada frekans çizgi takip problemi SMM kullanımıyla çözülmeye çalışılmış ve Xie vd. (1991)'nin çalışmasında bu problem çoklu frekans çizgi takibine genişletilerek SMM ve Viterbi algoritması kullanımı ile çözülmeye çalışılmıştır.

Bu bölüm kapsamında TÖİ tekniklerini kullanan SMM tabanlı bir hedef tespit yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma sadece hedefin varlığını tespit etmekle kalmayıp aynı zamanda, hedef takip uygulamalarında önemli bir rol oynayan hedef manevra türünü de tespit edebilmektedir. Manevra yapan hedeflerin izlenmesi hava gözetleme ve trafik kontrol uygulamalarında önemli bir problem olmakta ve uzun bir süreden bu yana üzerinde çalışılan bir konu haline gelmiştir (Bar-Shalom 1993, Li vd. 2002). Manevra tespiti hareketli hedeflerin izlenmesinde kilit bir noktaya sahiptir, çünkü hedef manevrasının erken ve doğru olarak tespiti izleme aşamasında daha iyi sonuçlar alınmasına neden olmaktadır. Önerilen SMM tabanlı yöntemde hedef ve parazit yankılı modeller oluşturulmuştur. Hedef manevrasının tespiti için ise, hedef modeli 3 alt modele ayrılmıştır: Koordineli Dönüş modeli, Beyaz Gürültülü Hızlanma modeli ve Wiener Süreç Hızlanma modeli. Radar kapsama alanı 4096x4096'lık çözünürlük hücrelerinden oluştuğu kabul edilmiş ve bu çözünürlük hücrelerinin 128x128'lik bloklar halinde gruplandırılarak gözlem dizileri oluşturulmuştur. Bu sayede işlenecek hücrelerin sayısı azalmakta ve tespit işlemi sadece seçilen blok üzerinde yapılmaktadır. Blokların büyüklüğü hedefin ardışık 6 radar taraması boyunca aynı blokta kalacak şekilde seçilmiştir. Parazit yankı ve hedef modelleri yeterli miktarda gözlem verisi ile Baum-

Welch algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Son olarak, radar gözlem verileri üzerinden tespit işlemi Viterbi algoritması ile yapılmıştır.

5.1 SMM Tabanlı Tespit Yöntemi

Bu çalışmada SMM, parazit yankılı ortamda sadece hedef tespitinde değil aynı zamanda hedef manevra tipinin de tespitinde kullanılmaktadır. Hem hedefin varlığı hem de manevra türünün tespiti, genellikle, sonrasında çalıştırılan takip mekanizması açısından önem taşımaktadır. Bu yüzden, önerilen yöntem sadece yüksek parazit yankılı ortamda hedefi ayırt etmekle kalmayıp takip algoritmasına da girdi sağlayarak tahmin hatalarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Her radar ölçümü gözlem vektörü veya ölçüm dizisi O ile Eşitlik 5.1'de verildiği gibi ifade edilsin.

$$O = o_1, o_{2,}..., o_T \tag{5.1}$$

Burada O_t, t zaman anında gözlemlenen hedef ölçümüdür. Bu durumda, hedef tespit problemi en basit anlamda Eşitlik 5.2 ile ifade edilebilmektedir.

$$\arg\max_i \left\{P(w_i|O)\right\} \tag{5.2}$$

Burada w_i, i. tespiti göstermektedir. Tespitler, parazit yankı ve hedef modelleri olarak iki temel başlık altında toplanabilmektedir. Hedef manevrasını tespit edebilmek amacı ile hedef modeli Beyaz Gürültü Hızlanma (BGH), Wiener Süreç Hızlanma (WSH) ve Koordineli Dönüş (KD) modelleri olarak 3 alt modele ayrılmıştır. Eğer ihtiyaç duyulursa bu modeller, alt modellere ayrıştırılıp özelleştirilebilmektedir. Eşitlik 5.2'nin çözümü Bayes kuralı ile mümkündür ve

$$P(w_i|O) = \frac{P(O|w_i)P(w_i)}{P(O)} \tag{5.3}$$

şeklinde verilir. Bu çözümde önsel olasılık seti $P(w_i)$, verildiğinde, en olası ölçüm modeli sadece $P(O|w_i)$ olabilirliğine bağımlıdır. Eşitlik 5.3.'den görülebilen diğer bir durum ise ölçüm dizisi *O*, *N* boyutlu uzaya dağılmış ise $P(O|w_i)$ 'nin pratik bir hesaplamasının mümkün olmadığıdır. Bununla birlikte, Markov modeli gibi ölçümleri üretebilen parametrik bir model tanımlayarak, $P(O|w_i)$'yi hesaplamak yerine daha kolay bir problem olan Markov model parametrelerinin tahmini yapılarak problemin çözümü kolaylaştırılabilir.

SMM tabanlı hedef tespitinde varsayılan, her bir tespite (parazit yankı veya hedef) karşılık gözlemlenen radar ölçüm dizisinin bir Markov modeli tarafından üretilebileceğidir. Markov modeli, her bir zaman anında durumunu değiştiren bir sınırlı durum makinesidir ve her *t* zamanında *j* durumuna geçildiğinde, $b_j(o_t)$ olasılık yoğunluğuna göre gözlem dizisi O_t'yi üretebilmektedir. Buna ek olarak durum *i*'den durum *j*'ye geçiş de olasılıksaldır ve ayrık olasılık a_{ij} ile ifade edilmektedir. *X* durum dizisini kullanan *M* modeli tarafından üretilen *O* radar gözlem dizisi, geçiş olasılıkları ile ölçüm olasılıklarının çarpımları ile hesaplanmaktadır. Sonuç olarak $P(O|w_i)$ olabilirliği yerine kullanılabilecek model parametrelerinin tahmini Eşitlik 5.4 ile verilmektedir.

$$P(O, X|M) = a_{12}b_2(o_1)a_{22}b_2(o_2)a_{23}b_3(o_3)... \tag{5.4}$$

Bununla birlikte pratikte sadece gözlem dizisi *O* bilinmektedir ve durum dizisi *X* saklıdır. Bu yüzden Saklı Markov Modeli olarak adlandırılmaktadır.

X bilinmediğinden, istenen olabilirlik tüm muhtemel durum dizilerinin toplamıyla hesaplanabilir (Bayesian yaklaşımı).

$$P(O|M) = \sum_{X} a_{x(0)x(1)} \prod_{t=1}^{T} b_{x(t)}(o_t) a_{x(t)x(t+1)} \tag{5.5}$$

Burada *x(0)* model başlangıç durumunu, *x(T+1)* model bitiş durumlarını göstermektedir.

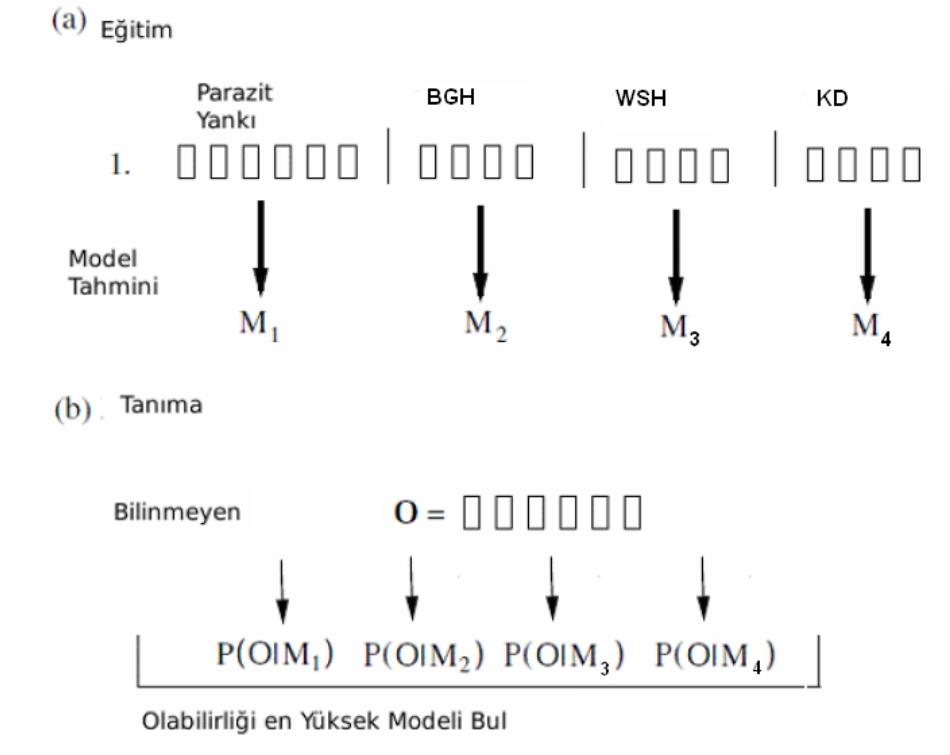
Eşitlik 5.5'e alternatif diğer bir yöntemde muhtemel tüm durum dizileri yerine, olabilirliği en yüksek durum dizisini kullanmaktır (Viterbi yaklaşımı):

$$\hat{P}(O|M) = \max_{X} \left\{ a_{x(0)x(1)} \prod_{t=1}^{T} b_{x(t)}(o_t) a_{x(t)x(t+1)} \right\} \tag{5.6}$$

Her w_i tespitine karşılık gelen M_i modeli verildiğinde Eşitlik 5.2'nin çözümünde kullanılan Eşitlik 5.3 için aşağıdaki kabul yapılmaktadır:

$$P(O|w_i) = P(O|M_i) \tag{5.7}$$

Sonuç olarak her bir tespit modeli M_i için $\{a_{ij}\}$ ve $\{b_j(o_t)\}$ parametrelerinin bilindiği kabul edilmektedir. Belirli bir modele karşılık gelen eğitim kümesi verildiğinde model parametreleri otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Böylece her bir tespit (parazit yankı ya da hedef) için yeterli sayıda örnek sağlandığında, tespitleri oluşturabilen tüm kaynakları modelleyen bir SMM yaratılabilmektedir. Şekil 5.1'de yukarıda bahsi geçen süreç gösterilmektedir. İlk olarak, SMM her bir tespit modeli için kendisine ait olan tespit örnekleriyle eğitilir. Bu amaç ile parazit yankı, BGH, WSH ve KD modelleri oluşturulmuştur. İkinci olarak, bilinmeyen bir radar ölçümünü sınıflandırabilmek için, her bir modelin bu ölçümü üretebilme olabilirliği hesaplanmakta ve olabilirliği en yüksek model tespiti belirlemektedir.



Şekil 5.1. SMM kullanarak hedef tespiti

5.1.1 SMM eğitimi

Eğitimindeki en önemli problem, SMM ortalama değer ve varyanslarının tahminidir. Her bir SMM durum çıkışındaki gözlem sembolü olasılık dağılımı Eşitlik 5.7'de verilmektedir.

$$b(o_t) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n |\Sigma_j|}} e^{-\frac{1}{2}(o_t-\mu_j)^2 \Sigma_j^{-1}} \tag{5.8}$$

Buna göre, SMM parametreleri μ_j ve Σ_j'nin en büyük olabilirlik kestirimi Eşitlikler 5.8 ve 5.9 'da verildiği şekilde hesaplanır.

$$\hat{\mu}_j = \frac{\sum_{t=1}^{T} L_j(t) o_t}{\sum_{t=1}^{T} L_j(t)} \tag{5.9}$$

$$\hat{\Sigma}_j = \frac{\sum_{t=1}^{T} L_j(t)(o_t - \mu_j)^2}{\sum_{t=1}^{T} L_j(t)} \tag{5.10}$$

Eşitlikler 5.8 ve 5.9 sırasıyla SMM ortalama değer ve ortak değişintiler için Baum-Welch tahmin formüllerini vermektedir. $L_j(t)$, t zaman anında j durumunda olma olasılığını vermektedir ve Forward-Backward algoritmasıyla Eşitlik 5.10'da görüldüğü şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} L_j(t) &= P(x(t) = j \mid O, M) \\ &= \frac{P(O, x(t) = j \mid M)}{P(O, M)} \\ &= \frac{1}{P}\alpha_j(t)\beta_j(t) \end{aligned} \tag{5.11}$$

$\alpha_j(t)$, t zaman anında radar ölçümlerini gözlemleme olasılığı ile j durumda olma olasılıklarının birleşik olasılığını göstermektedir ve İleri algoritmasıyla hesaplanmaktadır. $\beta_j(t)$ ise geri yöndeki olasılığı hesaplamaktadır.

5.1.2 Viterbi algoritması ile hedef tespiti

Hedef tespitinde amaç, model olasılıkları $P(O \mid M_i)$ içerisinden olabilirliği en yüksek olan modeli seçmektir. Olabilirlik fonksiyonunun hesabı, İleri algoritmasıyla aynı esasa dayanmakla birlikte, toplama işlemi yerine en büyük olanı seçme işlemi yapılır. Bir M modeli için, t radar taraması anında radar ölçümleri o_1'den o_t'ye kadar olan vektörü gözlemleme olasılığının en büyük olması ve j durumunda olması durumu $\phi_j(t)$ ile gösterilsin. Kısmi olabilirlik hesabı,

$$\phi_j(t) = \max_i \{\phi_i(t-1)a_{ij}\} b_j(o_t) \tag{5.12}$$

$$\phi_1(1) = 1 \tag{5.13}$$

$$\phi_j(1) = a_{1j} b_j(o_1) \tag{5.14}$$

$1<j<N$ için olabilirliği en yüksek model $\hat{P}(O|M)$ Eşitlik 5.14'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\phi_N(T) = \max_i \{\phi_i(T) a_{iN}\} \tag{5.15}$$

5.2 Ölçüm ve Manevra Modelleri

5.2.1 Ölçüm modeli

Her bir radar taramasında 4096x4096'lık çözünürlük hücrelerinde ölçümler oluşturmaktadır. Çözünürlük hücrelerinin sütunları kerteriz hücrelerine karşılık gelirken, satırlar ise menzil hücrelerine karşılık gelmektedir. Radar taraması sonucunda her bir hücrede parazit yankı veya hedeften kaynaklı bir adet ölçüm oluşmaktadır.

Her bir hücrede k zaman anında oluşan ölçümler, $z_k^{(i,j)}$, eğer hedef kaynaklı ise Ricean dağılımına, değilse Rayleigh dağılımına sahip olmaktadır. Bu yüzden hedef kaynaklı ölçümlerin olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 5.16'da verilmektedir.

$$p\left(z_k^{(i,j)} \middle|\ x_k\right) = \frac{2z_k^{(i,j)}}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{[z_k^{(i,j)}]^2 + h^{(i,j)}(x_k)^2}{\sigma^2}\right) \times I_0\left(\frac{2z_k^{(i,j)} h^{(i,j)}(x_k)}{\sigma^2}\right) \tag{5.16}$$

Hedef olmadığı durumda ise Eşitlik 5.17 kullanılmaktadır.

$$p\left(z_k^{(i,j)}\right) = \frac{2z_k^{(i,j)}}{\sigma^2} exp\left(-\frac{[z_k^{(i,j)}]^2}{\sigma^2}\right) \tag{5.17}$$

σ^2 ölçüm gürültüsünün varyansını göstermektedir. $h^{(i,j)}(x_k)$ terimi ise hedefin yeri, sinyal genliğine bağlı olarak i, j hücresine katkısını göstermektedir. I_0 ise değiştirilmiş Bessel fonksiyonudur (Davey vd. 2008).

5.2.2 Beyaz gürültü hızlanma modeli

Hedef manevrası için kullanılan en basit model, beyaz gürültü hızlanma modelidir. Bu modelde hedef ivmelenmesi ẍ(t)' nin, bağımsız bir süreç (beyaz gürültü) olduğu kabulü yapılır (Bar-Shalom 1993).

$$x_{k+1} = F\ x_k + G\ w_k \tag{5.18}$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5.19}$$

$$G = \begin{bmatrix} T^2/2 \\ T \end{bmatrix} \tag{5.20}$$

T, örnekleme periyodunu göstermektedir. w_k, k zaman anındaki sabit ivmelenmedir.

5.2.3 Wiener süreç hızlanma modeli

Bu modelde kabul edilen, ivmelenme bir Wiener sürecidir veya daha doğru olarak, ivmelenme bağımsız artışa sahip bir süreçtir. Sabit ivmeli veya yaklaşık sabit ivmeli model olarak bilinir. İvme artışı bağımsız bir süreç (beyaz gürültü) olarak kabul edilmektedir.

$$x_{k+1} = F\ x_k + G\ w_k \tag{5.21}$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5.22}$$

$$G = \begin{bmatrix} T^2/2 \\ T \\ 1 \end{bmatrix} \tag{5.23}$$

T, örnekleme periyodunu göstermektedir. w_k, k zaman anındaki ivmelenme artışıdır ve 0 ortalamalı beyaz gürültü olarak kabul edilir.

5.2.4 Koordineli dönüş modeli

Bu modelde hedef, sabit hız v ile hareket etmekte ve sabit bir açısal hız ω ile dönüş yapmaktadır. Kartezyen koordinatlardaki durum vektörü $\boldsymbol{x} = [x\ \dot{x}\ y\ \dot{y}]'$ ile gösterildiği durumda dönüş hareketi Eşitlik 5.24 ile tanımlanabilmektedir.

$$\boldsymbol{y}(t) = A(\omega)\boldsymbol{x}(t) + Bw(t) \tag{5.24}$$

$$A(\omega) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\omega \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \omega & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{5.25}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5.26}$$

Durum denklemini ayrık zamanda yazdığımızda Eşitlik 5.27 elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= F_{ct}(\omega)x_k + w_k \\ &= \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin\omega T}{\omega} & 0 & -\frac{1-\cos\omega T}{\omega} \\ 0 & \cos\omega T & 0 & -\sin\omega T \\ 0 & \frac{1-\cos\omega T}{\omega} & 1 & \frac{\sin\omega T}{\omega} \\ 0 & \sin\omega T & 0 & \cos\omega T \end{bmatrix} x_k + w_k \end{aligned} \tag{5.27}$$

5.3 SMM Yapısının Belirlenmesi

Ölçümler, öznitelik kümesi ve SMM yapısı tasarlanan tespit sisteminin performansını belirlemektedir. Hedefin sinyal gücü ile birlikte menzil ve kerteriz ölçümleri öznitelik kümesi olarak kullanılmıştır.

5.3.1 Ölçüm seti

SMM modellerini eğitebilmek için hedef ve parazit yankılı ölçümleri üretebilen bir radar modeli geliştirilmiştir. Çizelge 5.1'de kullanılan radar model parametreleri verilmektedir. Radar ölçümleri aşağıdaki yöntemle oluşturulmuştur:

- 50 radar taraması boyunca parazit yankılı ölçümler oluşturulmuştur.
- Ortalama parazit yankı seviyesinden yüksek sinyal seviyesine sahip hedef ölçümleri oluşturulmuştur. Eğitim amacıyla her bir manevra modeli için 300 değişik hedef hareketi oluşturulmuştur. 100 değişik hedef hareketi ise test amacıyla oluşturulmuştur.

Hedeflerin başlangıç pozisyonları menzilde 1-120 km ve kerterizde 0-359º arasından rastgele seçilmiştir. Hedeflerin x ve y doğrultusundaki hızları -500 ile 500 m/sn arasındaki değerlerden rastgele seçilmiştir. WSH modeli için ivme değeri 0.01-0.05 m/sn^2 arasından rasgele olarak seçilmiştir. KD, WSH ve BGH kinematik modellerde kullanılan süreç gürültüleri sırasıyla 0.1, 1 ve 0.01 olarak belirlenmiştir. KD hareketi yapan hedefler için açısal hız değeri $0\text{-}5^0$/sn arasından rastgele olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.1 Radar parametreleri

Parametre	**Birim**	**Değer**
Menzil	*Km*	*0.5-463*
Radar tepe gücü	*KW*	*360*
Radar çalışma frekansı	*MHz*	*850-942*
Bant genişliği	*MHz*	*30*
Etkin gürültü sıcaklığı	*Kelvin*	*290*
Gürültü kalitesi	*dB*	*6*
Radar kayıpları	*dB*	*8*
Anten kazancı	*dB*	*28.5*
Radar dönüş hızı	*Saniye*	*5*

5.4 Öznitelik Vektörünün Belirlenmesi

Öznitelik vektörü SMM tespit algoritmasının en önemli parçasıdır. Hedef sinyal güç, menzil ve kerteriz değerlerinin tek başlarına hedef ve parazit yankı ayrımını yapmaya yeterli olduğu daha önce yapılan çalışmalar sonucu bilinmektedir (Tuğaç ve Efe 2010). Bununla birlikte hedef hareket tespiti için bu değerler öznitelik vektörü olarak kullanıldığında başarım %45 olmaktadır. Viterbi algoritması çıktılarına bakıldığında tespit algoritması parazit yankıyı hedeften %100 doğrulukla ayırt edebilirken, hareket modellerini tespit etmekte başarısız olmaktadır. Bu sonucun temel nedeni, SMM eğitim sırasında hedef hareket değişiminin tam olarak yansıtılamamasından kaynaklanmaktadır. Bu amaç ile, öznitelik vektörü hedef sinyal güç, menzil ve kerteriz değerlerine ek olarak fark, ivmelenme ve 3'üncü dereceden fark katsayıları da eklenmiştir. Fark katsayıları, öznitelik vektörünün zamana bağlı değişimlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu katsayılarının hesaplanmasında Eşitlik 5.28 kullanılmıştır.

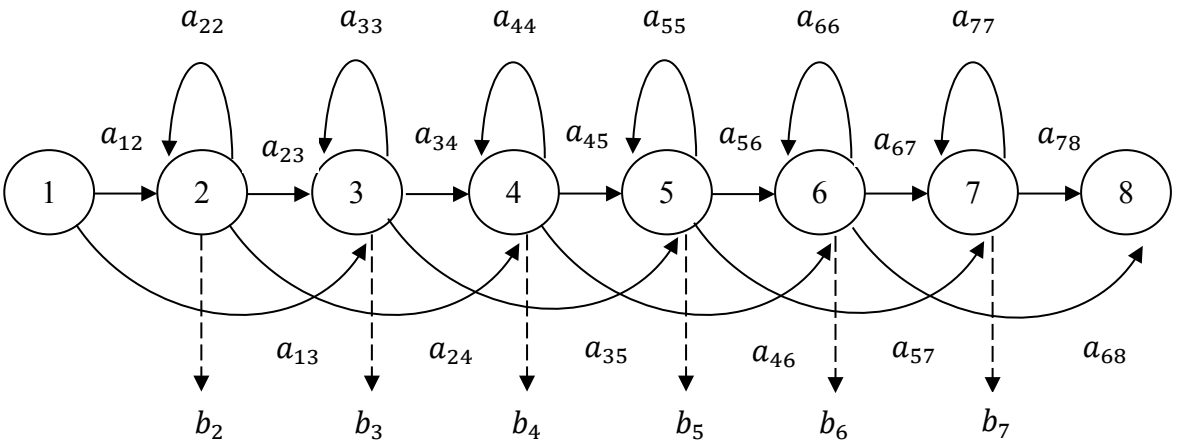
$$d_t = \frac{\sum_{\theta=1}^{\Theta} \theta(c_{t+\theta} - c_{t-\theta})}{2\sum_{\theta=1}^{\Theta} \theta^2} \tag{5.28}$$

Burada d_t , t zaman anındaki fark katsayısına, θ ise pencere büyüklüğüne karşılık gelmektedir. Hedef sinyal güç, menzil ve kerteriz değerlerinin Eşitlik 5.28'e uygulanmasıyla fark katsayıları elde edilmektedir. ivmelenme katsayılar ise fark katsayılarından, 3. dereceden fark katsayıları ise ivmelenme katsayılardan elde edilmektedir.

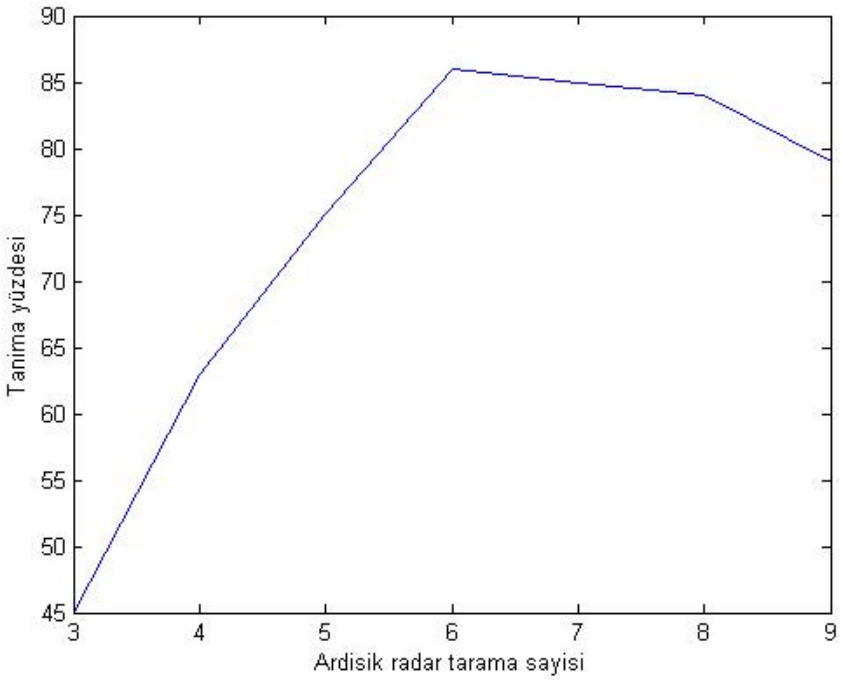
5.4.1 SMM topolojisinin belirlenmesi

SMM durum sayısının belirlenebilmesi için birçok deneme yapılmış ve durum sayısının, kullanılan ardışık radar tarama sayısıyla yakından ilgili olduğu bulunmuştur. Şekil 5.3'de kullanılan ardışık radar tarama sayısının tespit performansına etkisini göstermektedir. Şekil 5.3'den de görülebildiği üzere, hedef hareketinin Viterbi algoritması tarafından en iyi tespit edildiği ardışık radar tarama sayısı 6 olmaktadır. Bu amaç ile her bir parazit yankı ve hedef manevra tipi, şekil 5.2'de görüldüğü gibi, 8 durumlu SMM ile modellenmiştir. Durum 1 SMM başlangıç, durum 8 ise çıkış durumlarını göstermektedir. 2-7 SMM durumları ise ardışık radar taramalarındaki ölçümlere karşılık gelmektedir.

Radar ölçümleri, öznitelik kümesi ve SMM yapısı, tasarlanan tespit sisteminin performansını belirlemektedir. Parazit yankı ve hedef modelleri ayrı ayrı eğitilmiştir. Eğitim sırasında kullanılan modeller test sırasında kullanılmamıştır. SMM eğitim ve test aşamalarında HTK aracı kullanılmıştır (Young 2000).



Şekil 5.2 SMM topolojisi



Şekil 5.3 Ardışık radar tarama sayısının tespit performansına etkisi

5.5 Benzetim Sonuçları

Tespit işlemi ardışık 6 radar taramasından gözlem dizisi oluşturularak başlamaktadır. Gözlem dizisinde hedef hareketinin hangi kısmının örneklendiği ile ilgili bir kabul yapılmamaktadır. SMM tespit yönteminin amacı gözlem verisinden hedef manevra

tipini algılamaya çalışmaktır. Her bir radar taramasının menzil ve kerteriz çözünürlüğüne göre büyüklüğü belirlenebilen 4096x4096 adet menzil ve kerteriz hücresinden oluştuğu kabul edilmektedir. Arama alanını daraltmak amacıyla her bir radar taramasında elde edilen 4096x4096'lık çözünürlük hücreleri, 128x128'lik ızgara oluşturacak şekilde gruplanmıştır. Böylece her bir gözlem dizisi 6 adet 128x128'lik ızgaralardan oluşmaktadır. Izgara büyüklüğü, hedef ölçümlerinin ardışık 6 radar taraması boyunca aynı ızgarada kalacak şekilde seçilmiştir. Buna ek olarak, ızgara büyüklüğü değişik hedefler için de ayarlanabilmektedir, örnek olarak bir savaş uçağı için daha büyük bir ızgara gerekebilirken bir yolcu uçağı için daha küçük bir ızgara yeterli olabilmektedir. Bu sayede, 4096x4096 adet hücre üzerinden yapılabilecek hedef hareket araması çok daha küçük bir alana indirgenmiş ve sadece ilgili ızgaralar içindeki ardışık radar taramaları işlenmiştir.

Gözlem dizisindeki her bir hücrenin bilgi içerdiği kabul edilmiştir, bu nedenle her bir ızgara içinde 16384 ölçüm oluşmaktadır ve tek bir hedefin tespiti yapılmaya çalışıldığından, sadece bir ölçüm hedef kaynaklı olabilmektedir. Parazit yankılı ölçümlerin çok büyük sayıda olması ölçüm sayısının azaltılması ihtiyacını doğurmaktadır. Şekil 5.4-5.5'de 128x128'lük ızgara için sırasıyla parazit yankı ve hedef bulunan ölçümler gösterilmektedir. Bu çalışmada hedef kaynaklı ölçümlere ait sinyal seviyeleri, ortalama parazit yankı seviyesinden büyük olduğu kabulü yapılmıştır. Bu kabul her bir ızgara içerisindeki ölçüm sayısının azaltılması için bir fırsat oluşturmuştur. Bu sayede her bir radar taramasında ızgara içerisindeki sadece en yüksek sinyal seviyesine sahip ölçüm dikkate alınmıştır. Daha sonra bu ızgaralara ardışık radar taramaları üzerinden SMM tespit yöntemi uygulanmıştır. Tespit işlemi ızgaralardan elde edilen gözlem dizisi üzerine Viterbi algoritması uygulanarak olabilirliği en yüksek modelin bulunmasıyla yapılmaktadır. Tespit işleminin sonucunda her bir ızgara parazit yankı, BGH, WSH ve KD manevralı hedef seçeneklerinden biriyle işaretlenmektedir.

Eğitim aşamasında kullanılmayan, manevra yapan 100 farklı hedefe ait ölçümler test amacı ile seçilmiştir. Her bir ızgara içindeki en yüksek sinyal seviyesine sahip ölçümlerin oluşturduğu gözlem dizisi belirlenmiş ve Viterbi algoritması uygulanarak parazit yankı veya hedef kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.4-5.5'den de

görülebildiği gibi hedef ve parazit yankıya ait ölçümler arasında belirgin bir ayrım vardır. Bu ayrım, benzetim sırasında hedef tespit performansını etkileyen en büyük etken haline gelmektedir. Şekil 5.6-5.8'de bu kriterin uygulandığı 6 ardışık radar taramasına ait parazit yankılı ızgaralardan elde edilen sinyal gücü, menzil ve kerteriz ölçümleri görülmektedir. Parazit yankılı ızgaralar sinyal gücü, menzil ve kerteriz ölçümlerinde gürültü benzeri bir yapıya sahiptir. Diğer bir deyişle, 6 ardışık radar taramasına boyunca ölçümler arasında belirgin bir ilişki bulunmamaktadır. Şekil 5.9-5.11'de ise en büyük sinyal güç değer seçimi kriterinin uygulandığı 6 ardışık radar taramasına ait BGH modeline uygun hareket eden bir hedefe ait ızgaralardan elde edilmiş sinyal gücü, menzil ve kerteriz ölçümleri görülmektedir. Hedefe ait ardışık gelen ölçümler arasında gözle görülebilir bir ilişki bulunmaktadır. Şekil 5.10-5.11'de görülebileceği üzere hedefe ait menzil ve kerteriz ölçümleri ardışık radar taramaları boyunca doğrusal değişim göstermektedir ve menzil azaldıkça (hedef radara yaklaştıkça) sinyal gücü şekil 5.9'da görüldüğü üzere artmaktadır. Bu sayede tespit edilen hedefin belirli bir rotayı izlediği söylenebilmektedir.

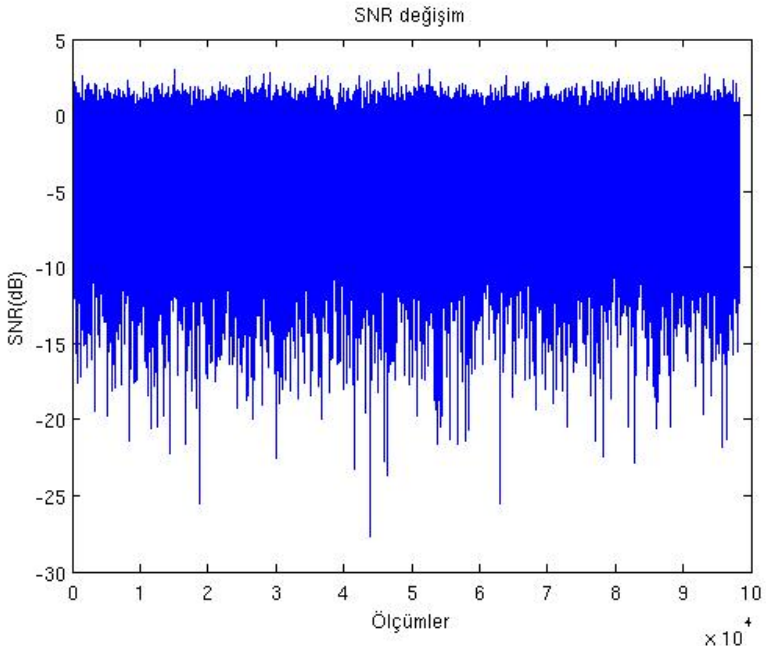
Hedef manevra tespitinde ise fark, ivmelenme ve 3'üncü dereceden fark katsayılarının değişiminin etkili olduğu görülmektedir. Şekil 5.12-5.13'de sırasıyla menzil ve kerteriz değerleri için test senaryosunda kullanılan KD, WSH ve BGH modellerine göre hareket eden hedeflerden elde edilen ölçümlere ait bu katsayılarının değişimi verilmektedir. BGH sabit hızlanmalı bir model olduğu için fark, ivmelenme ve 3'üncü dereceden fark katsayıları arasındaki değişim en küçük olmaktadır. KD modeli ise hem menzil hem de kerterizde değişime sahip olduğundan, bu katsayılar arasındaki değişim en büyük olmaktadır. Özellikle ivmelenme ve 3'üncü dereceden fark katsayılarında bu değişim daha belirgin bir şekilde görülmektedir.

SMM tabanlı yöntemin güvenilirliğini test etmek amacıyla sadece parazit yankılı ölçümlerden oluşan gözlem dizileri de kullanılmıştır. Bunun sonucunda, önerilen yöntem her bir ölçümü parazit yankı olarak belirlemiştir. Benzetim sonuçları SMM tabanlı tespit yönteminin hedefi, parazit yankılı ortamda herhangi bir eşik değeri kullanmadan başarıyla ayırt edebildiğini göstermektedir. Buna ek olarak, önerilen yöntem, ham radar verisi kullanarak, sadece parazit yankılı ortamda hedefi tespit

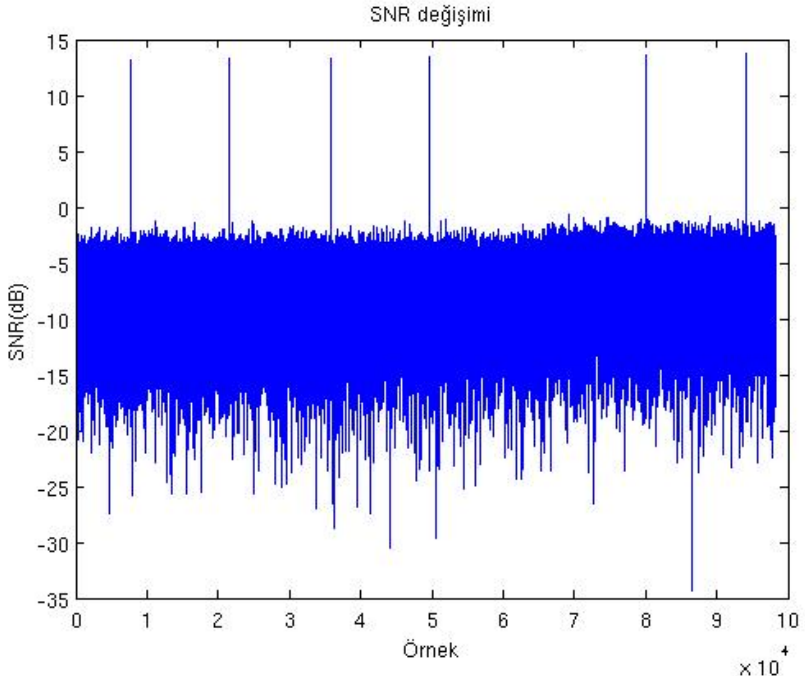
etmekle kalmayıp, tespit anında hedefin manevra bilgisini de sağlamaktadır. Çizelge 5.2 önerilen yöntemin manevra tespit performansını özetlemektedir.

Çizelge 5.2'den de görülebileceği üzere önerilen yöntem parazit yankılı ve düşük manevraya sahip ölçümleri (BGH modeline ait) tam olarak belirleyebilmektedir. Bununla birlikte yöntem WSH modeline ait ölçümleri KD modeline ait ölçümlerden ayırmakta güçlük çekmektedir. Bununla birlikte manevranın tespiti göz önüne alındığında bu durumun bir problem yaratacağı düşünülmemektedir.

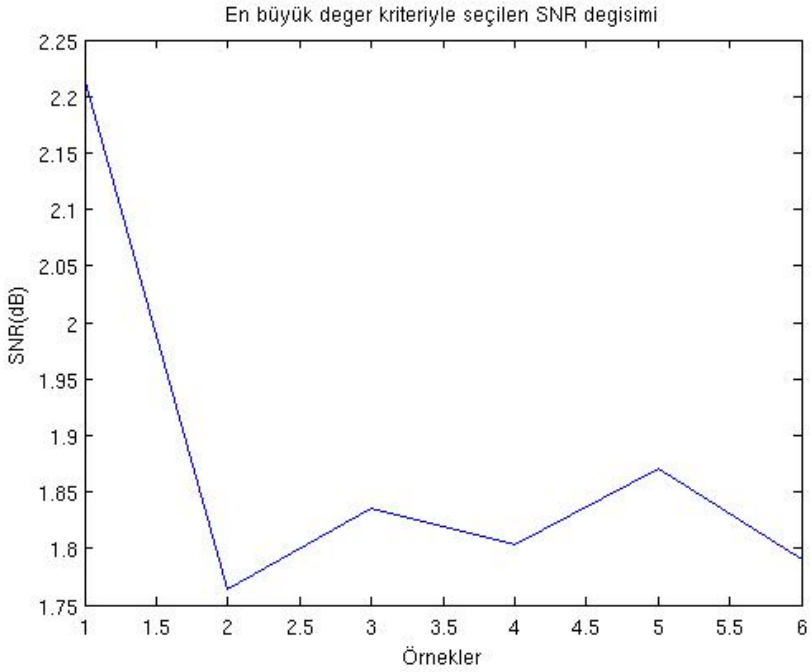
Çizelge 5.2 hedefe ait sinyal güç seviyesinin parazit yankıdan daha yüksek olduğu durumlar için SMM tabanlı yöntemin peformansını vermektedir. Bununla birlikte, gerçek hayatta hedef sinyal seviyesi parazit yankıdan daha düşük olduğu durumlar da olmaktadır. Bu amaç ile önerilen yöntemin performansı yukarıda bahsedilen koşul geçerli olduğu durumda da test edilmiştir. Gözlem vektörü olarak seçilen ardışık 6 radar taraması içinde hedef kaynaklı ölçümlerin sırasıyla 1, 2 ve 3 tanesinin parazit yankıdan daha düşük seviyede bir sinyal genliğine sahip olduğu durumlar yaratılmıştır. Böylece, gözlem verisi içerisinde parazit yankılı ölçümlere ait sinyal seviyesi, menzil ve kerteriz değerleri girdiğinde SMM tabanlı hedef tespit yönteminin performansı da ölçülebilecektir. Ardışık 6 radar taraması içinde hangi taramaların parazit yankılı ölçüme ait olduğu ise rassal olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.3'den de görülebileceği üzere gözlem vektörü içinde sadece 1 parazit yankılı ölçüm bulunduğu durumda bile SMM tabanlı yöntem ölçümleri parazit yankı olarak tanımlamaktadır. Bunun sonucunda önerilen yöntemin performansının hedef sinyal seviyesine bağımlı olduğu ortaya çıkmıştır. SMM tabanlı yöntem ardışık ölçümler arasındaki değişimleri modellemekte ve hedefin bir rotayı izlediği kabulünü yaparak, menzil ve kerteriz değerlerinin ardışık ölçümler içinde belirli bir düzende değiştiğini, önsel eğitim seti kullanarak, modellemektedir. Şekil 5.14'de gösterildiği gibi gözlem verisinde oluşabilecek parazit yankılı ölçümler yukarıdaki tanımı bozmakta, menzil ve kerteriz ölçümleri arasında rassal değişen değerler oluşturmaktadır. Oluşan bu rassallık özellikle fark katsayılarını etkilemekte ve öznitelik uzayında parazit yankılı ölçümlere yaklaştırmaktadır.



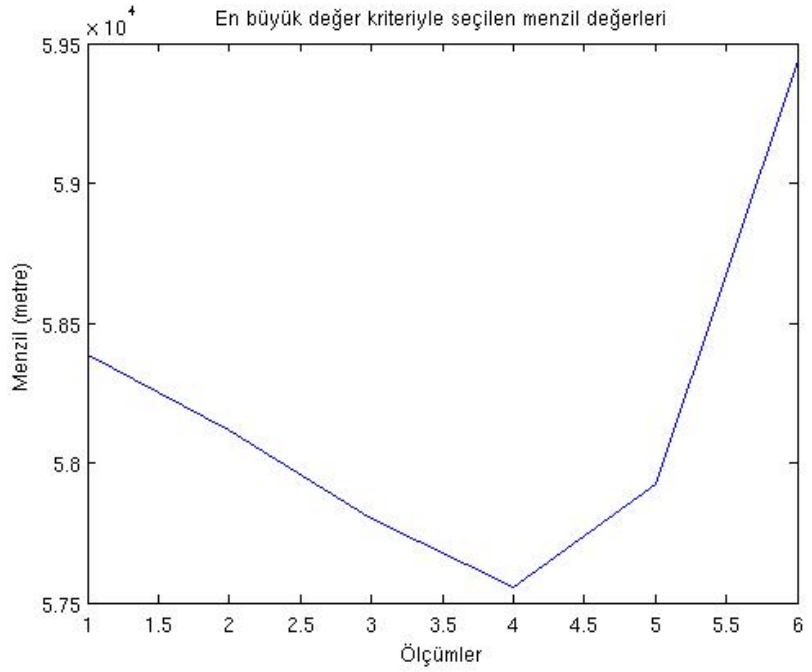
Şekil 5.4 Parazit yankı olarak tespit edilen 128x128'lik örnek bir ızgarada sinyal güç değişimi



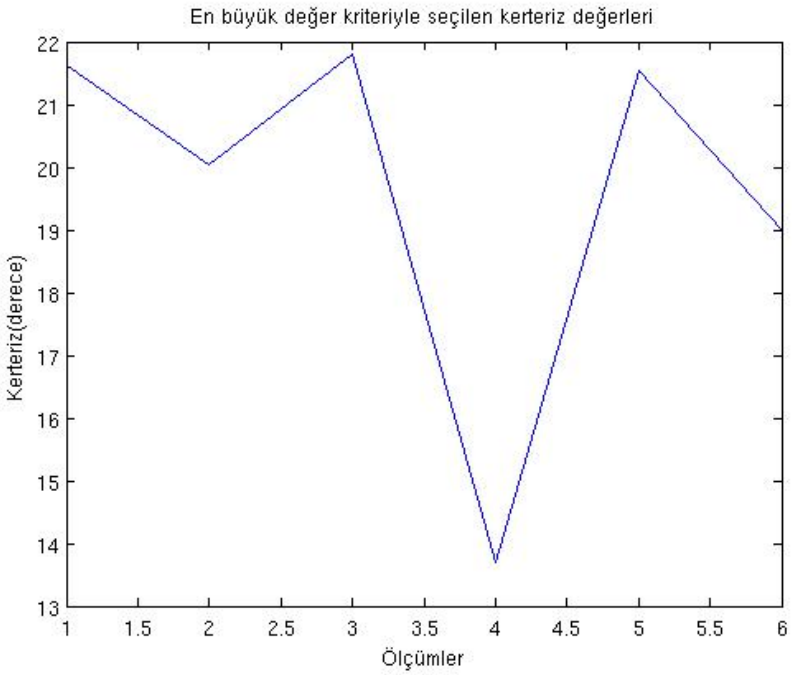
Şekil 5.5 Hedef olarak tespit edilen 128x128x'lik ardışık ızgaralardaki sinyal güç değişimi



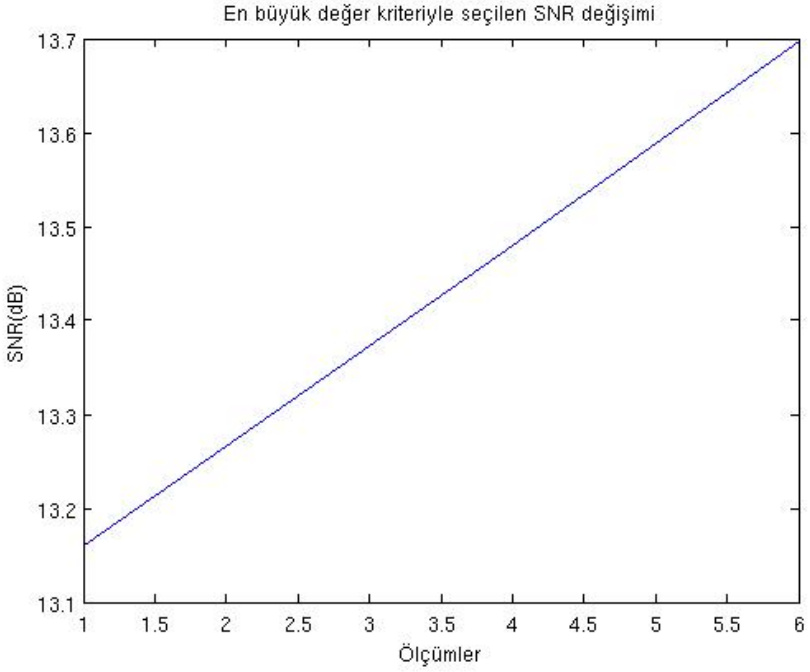
Şekil 5.6 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle parazit yankı olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki sinyal güç değişimi



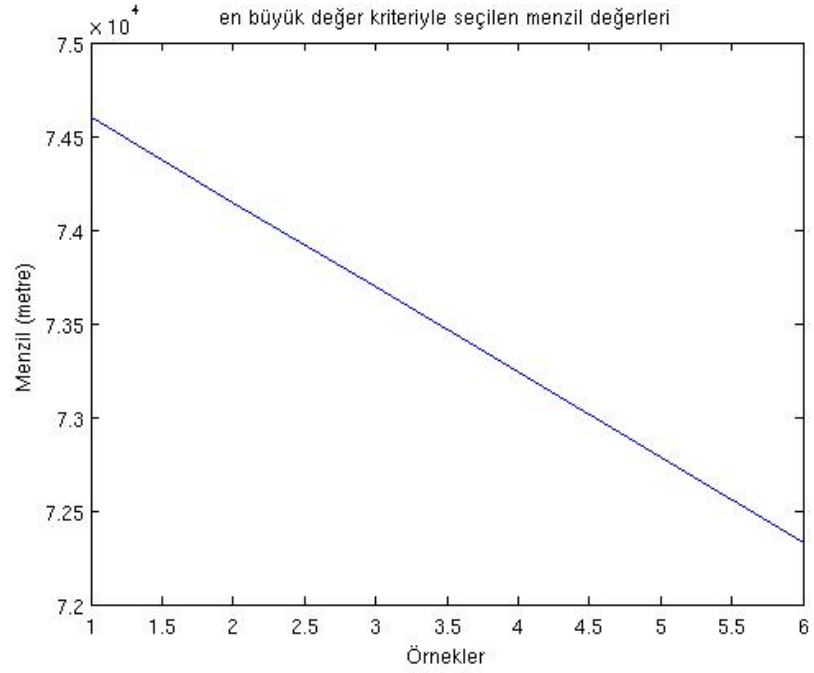
Şekil 5.7 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle parazit yankı olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki menzil değişimi



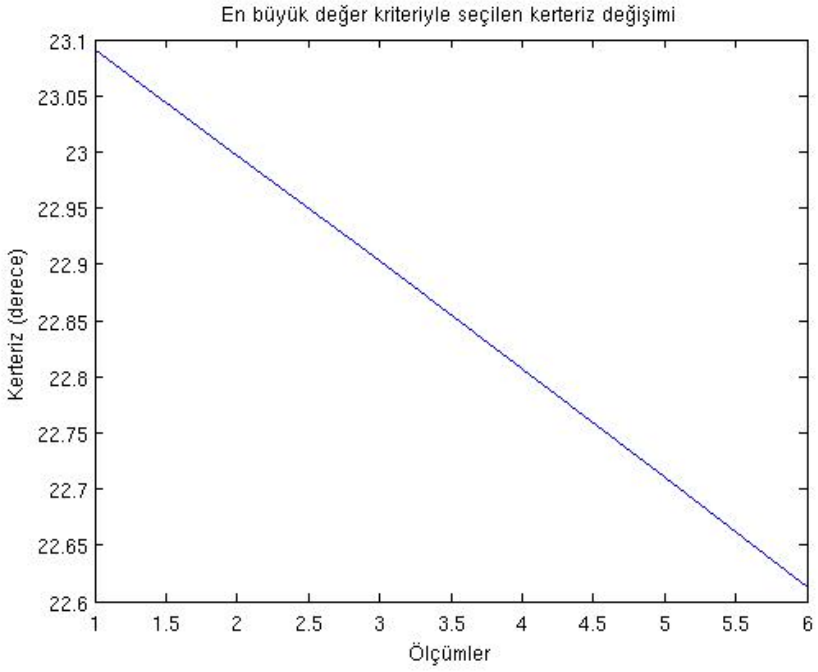
Şekil 5.8 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle parazit yankı olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki kerteriz değişimi



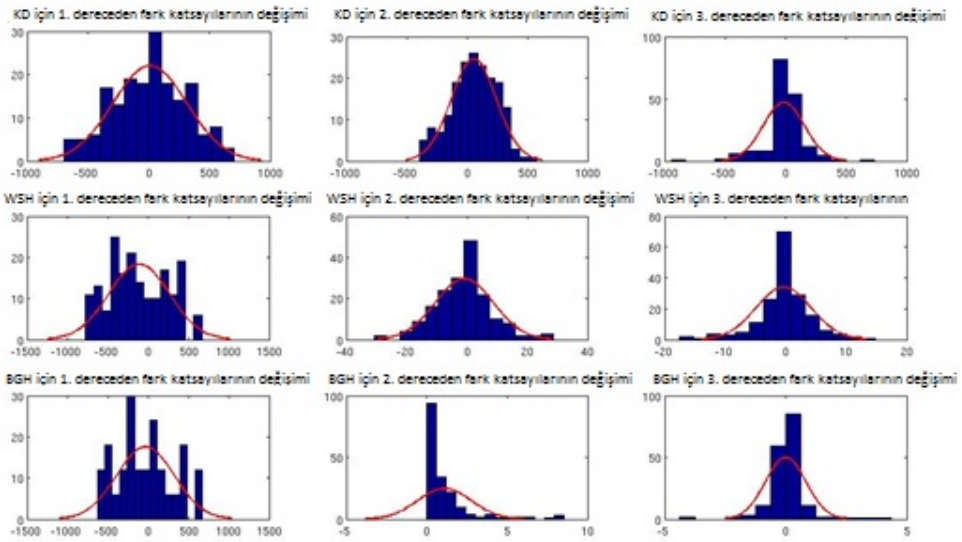
Şekil 5.9 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle hedef olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki sinyal güç değişimi



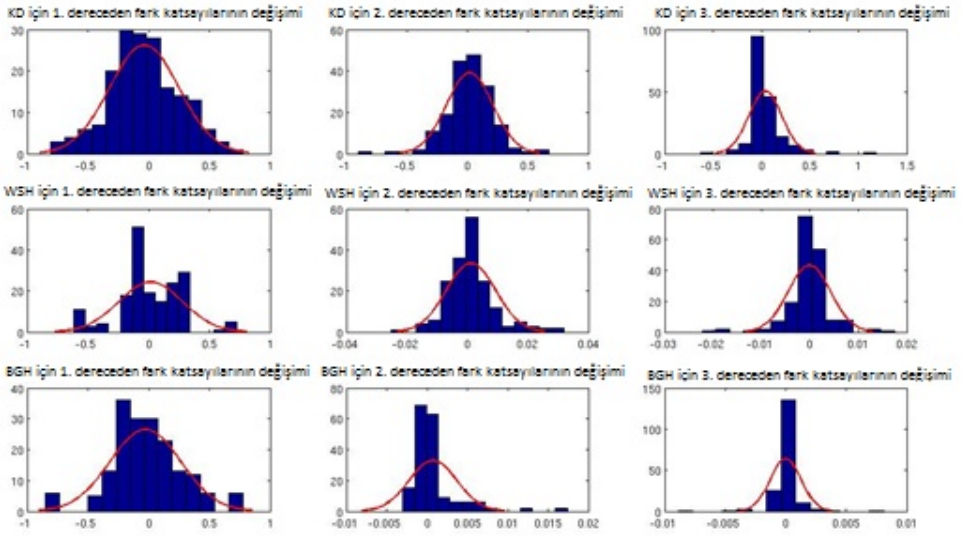
Şekil 5.10 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle hedef olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki menzil değişimi



Şekil 5.11 En büyük sinyal güç seviyesinin seçilmesiyle hedef olarak tespit edilen 128x128'lik ardışık ızgaralardaki kerteriz değişimi



Şekil 5.12 Menzil değerleri için test senaryosunda kullanılan KD, WSH ve BGH modellerine göre hareket eden hedeflerden elde edilen ölçümlere ait 1. 2. ve 3. dereceden fark katsayılarının değişimi



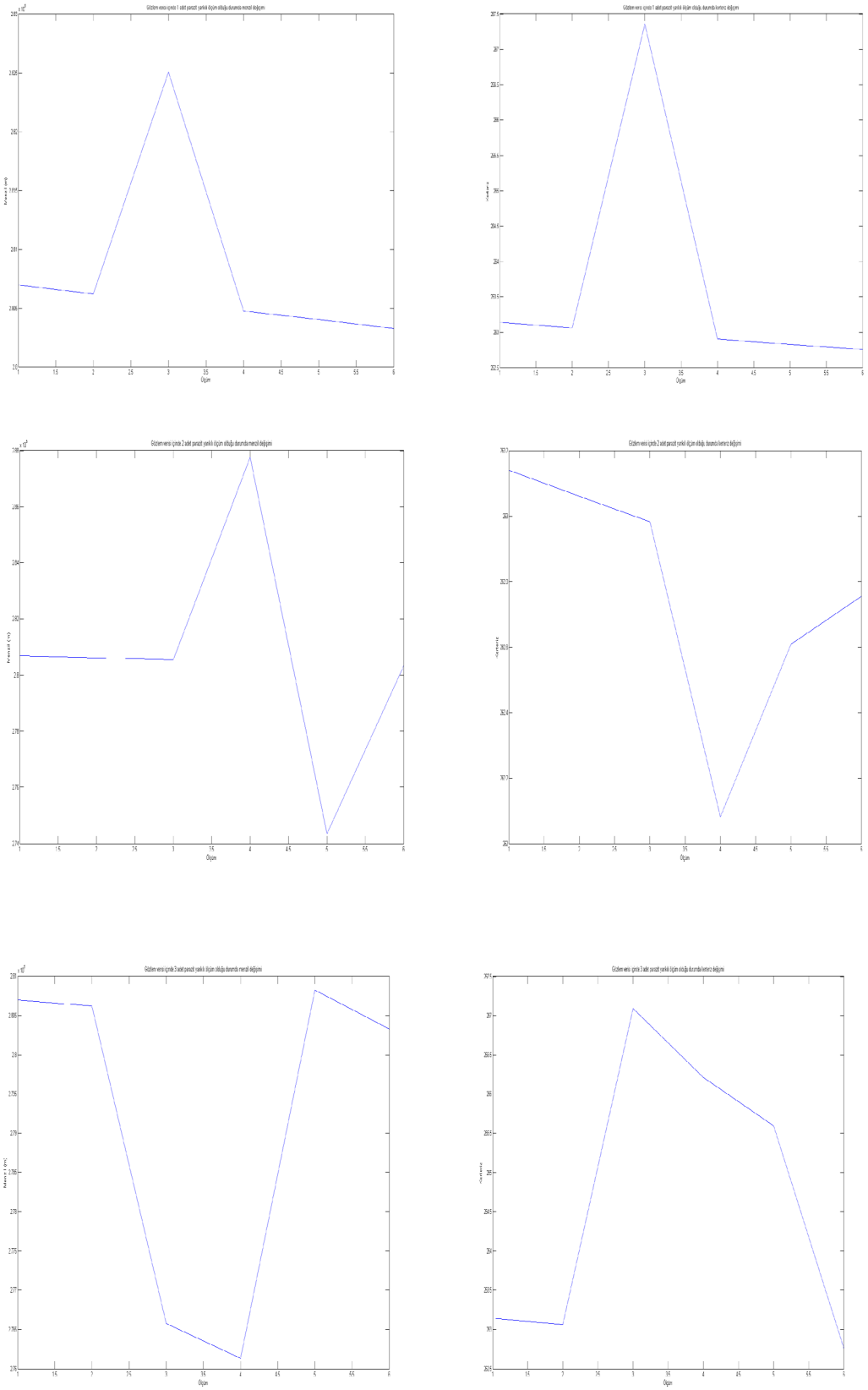
Şekil 5.13 Kerteriz değerleri için test senaryosunda kullanılan KD, WSH ve BGH modellerine göre hareket eden hedeflerden elde edilen ölçümlere ait 1., 2. ve 3. dereceden fark katsayılarının değişimi

Çizelge 5.2 SMM tabanlı yaklaşımın manevra tespit performansı

Model	Parazit Yankı	BGH	WSH	KD
Parazit Yankı	100 %	0	0	0
BGH	0	100 %	0	0
WSH	0	0	56.66 %	43.34 %
KD	0	0	0	100 %

Çizelge 5.3 Gözlem vektörü içinde parazit yankılı ölçümler olması durumunda SMM tabanlı yaklaşımın manevra tespit performansı

Parazit yankılı ölçüm sayısı	Parazit Yankı	BGH	WSH	KD
1 parazit yankılı ölçüm	100 %	0	0	0
2 parazit yankılı ölçüm	100 %	0	0	0
3 parazit yankılı ölçüm	100 %	0	0	0



Şekil 5.14 Gözlem verisi içinde sırasıyla 1, 2 ve 3 adet parazit yankılı ölçüm olduğu durumda menzil ve kerteriz değerlerinin değişimi

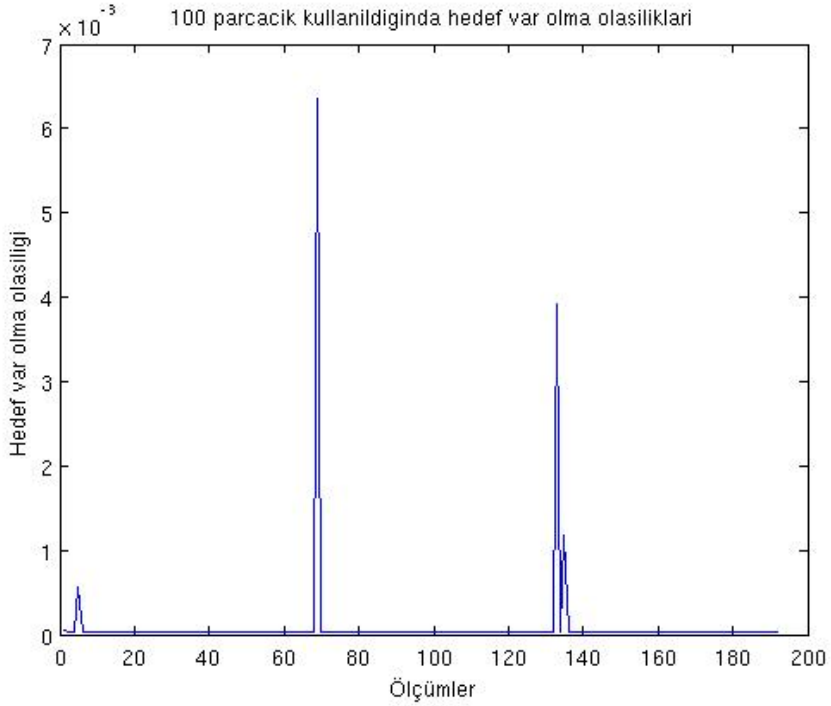
5.6 Parçacık Süzgeç (PS) Tabanlı Tespit Yöntemi ile Karşılaştırma

PS radar uygulamalarında hedef tespit ve takip amacıyla kullanılan bir yöntemdir. PS de, önerilen yöntem gibi, ham radar verisi kullanarak tespit yapmaktadır. Bu amaç ile önerilen yöntemin performansının karşılaştırılmasında kullanılabilecek uygun bir aday haline gelmektedir. PS gerçeklenmesi sırasında izlenen yöntem Bölüm 3.2.1'de verilmiştir.

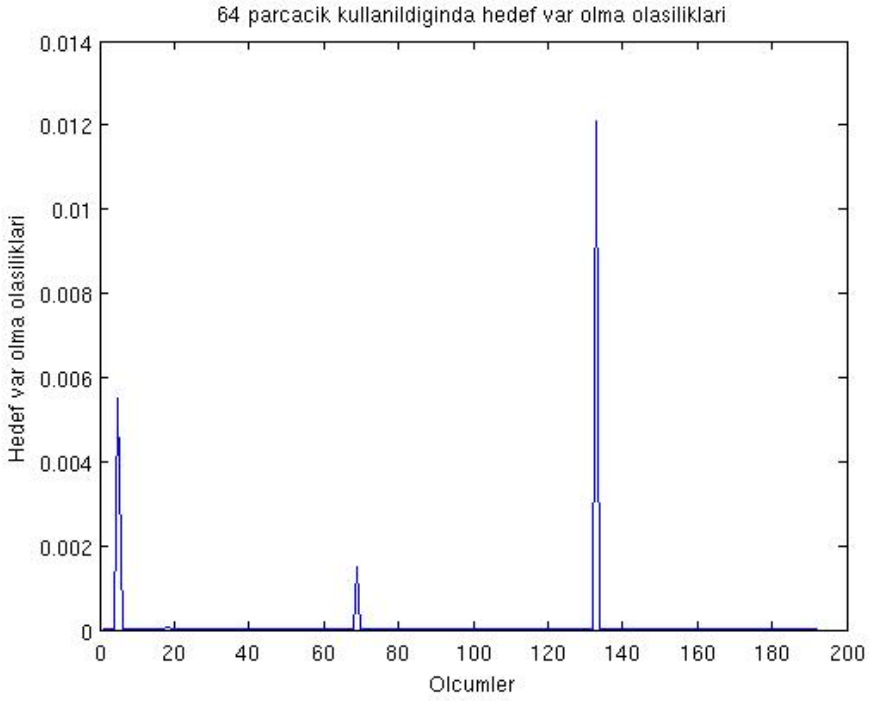
PS tabanlı tespit yönteminin performansını ölçmek amacıyla, Bölüm 5.5'de üretilen hedef ölçümleri içinden beyaz gürültülü hızlanma modeline uygun olarak hareket eden tek hedeften oluşan bir senaryo kullanılmıştır. Hesaplama kolaylığı açısından çözünürlük alanı 8x8 seçilmiştir. Tespit işlemi sırasında PS için başlangıç aşamasında 100 parçacık kullanılmıştır. Şekil 5.15 ardışık 3 radar taraması boyunca hedef bulunma olasılıklarını göstermektedir. Bölüm 3.2.1'de anlatıldığı üzere $p(y_k|H_0)$ ölçüm gürültüsünün olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermekte ve değerinin bilinmekte olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda olabilirlik fonksiyonu sadece $p(y_k|H_1)$'e bağılmlı olmaktadır.

PS tabanlı tespit işlemindeki en önemli nokta, olabilirlik oranı testi için uygun eşik değerinin seçilmesidir. Olabilirlik fonksiyonu sadece $p(y_k|H_1)$'e bağımlı olduğundan, parçacık ağırlıklarının hesabı tespit işlemi için en önemli faktör haline gelmektedir. Olabilirlik fonksiyonu çıkışındaki değerin eşiklenmesi, eşik değeri kullanan tüm tespit yöntemleri için ortak olan 2 temel problemin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ilk problem, eşik değerinin çok düşük seçilmesi sonucu hedeften olmayan radar dönüşlerinin de eşik değerinin üzerine çıkması ile hedef var olmadığı halde hedef varmış gibi tespit yapılması ile yanlış alarm olasılığının artmasıdır. İkinci problem ise, eşik değerinin çok yüksek seçilmesi ile düşük sinyal güç oranına sahip hedeflerin eşiği geçememelerinden dolayı, kayıp tespit oranının artmasıdır. Şekil 5.15'den de görülebileceği gibi eşik değerinin 0.001'den büyük seçilmesi durumunda PS tabanlı yöntem birinci radar taramasında hedefi tespit edememekle birlikte üçüncü radar taramasında 2 adet hedef tespit etmektedir. $p(y_k|H_1)$ hesabı sonucunda elde edilen değerlerin radar taramaları boyunca değişken olması, uygun bir eşik değerinin

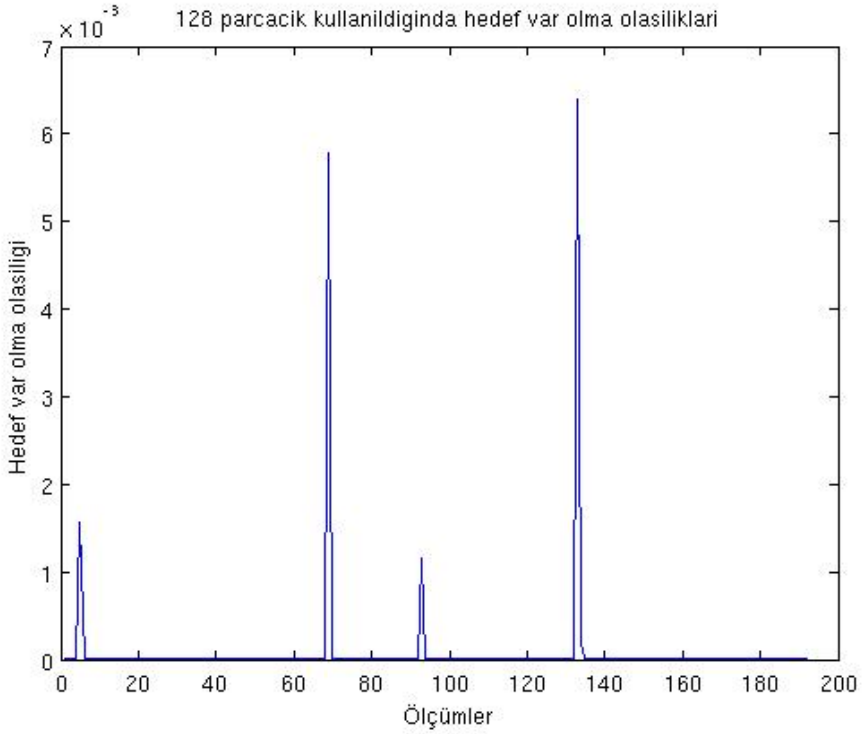
seçilmesini zorlaştırmaktadır. Parçacık sayısının tespit performansına etkisini görebilmek için, aynı hedef senaryosu 64, 128, 200, 256, 300 ve 356 parçacık kullanan PS ile denenmiştir. Şekil 5.16-5.21 değişik parçacık sayıları için hedef var olma olasılıklarını göstermektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere eşik değeri, kullanılan parçacık sayısına göre değişmektedir. Buna ek olarak, seçilen eşik değerleri parçacık sayısı aynı kalsa bile diğer radar taramalı için uygun olmayabilmektedir. Diğer yandan, SMM tabanlı hedef tespit yöntemi Viterbi algoritması kullanarak ardışık radar taramalarından elde dilen ölçüm değerleri için en uygun modeli bulmakta; böylece eşik değeri kullanımını elemektedir. PS tabanlı tespit algoritması, öntanımlı sistem dinamik modeli kullanılarak hesaplanan parçacık ağırlıklarının doğruluğuna bağımlıdır. Doğruluk derecesi düşük sistem dinamik modellerinin kullanımı, düşük doğruluktaki parçacık ağırlıklarına neden olmaktadır. Düşük doğruluktaki sistem dinamik model kullanımı, hedef manevrası sırasında PS performansını düşürmekte, bunun sonucunda parazit yankılı ölçümler için süzgeç ağırlık değerlerinin artmasına ve yanlış alarm olasılığının yükselmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, SMM tabanlı yöntem herhangi bir ön tanımlı sistem dinamik modeli kullanmamakta, ölçüm verilerinin eğitim kümesi olarak kullanarak sistem dinamiklerini kendisi oluşturmaktadır. Buna ek olarak bu çalışmada temel bir PS gerçeklenmesi yapılmış olup, performans iyileştirmeleri Boers ve Driessen (2003)'in yaptığı çalışmada önerilmektedir. Buna rağmen, geliştirilmiş PS yöntemi de eşik değeri kullanımına ihtiyaç duymakta ve eşik değeri kullanımı kaynaklı problemler hala geçerli olmaktadır.



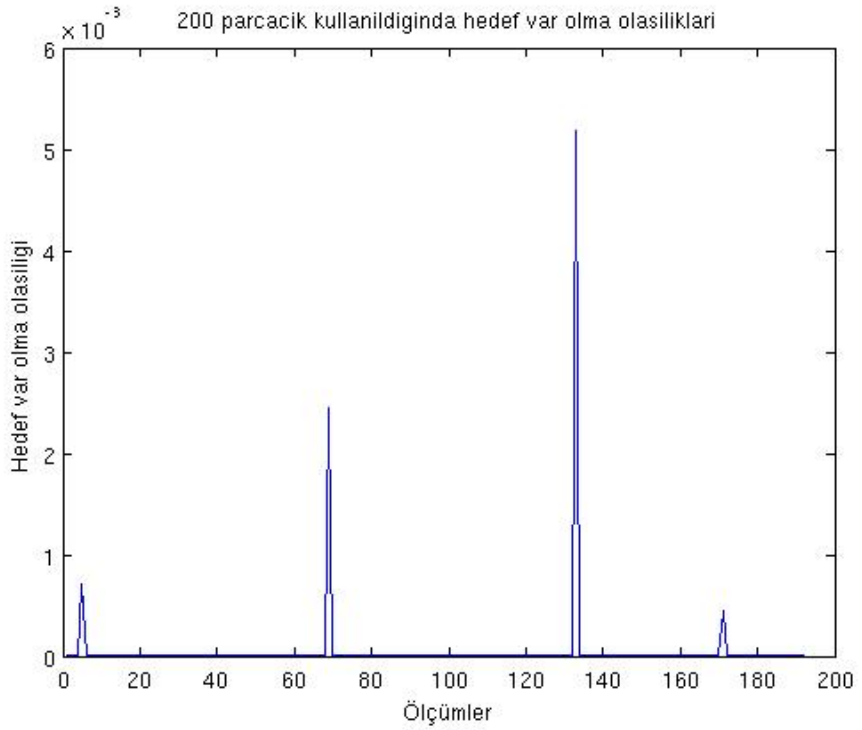
Şekil 5.15 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (100 parçacık için)



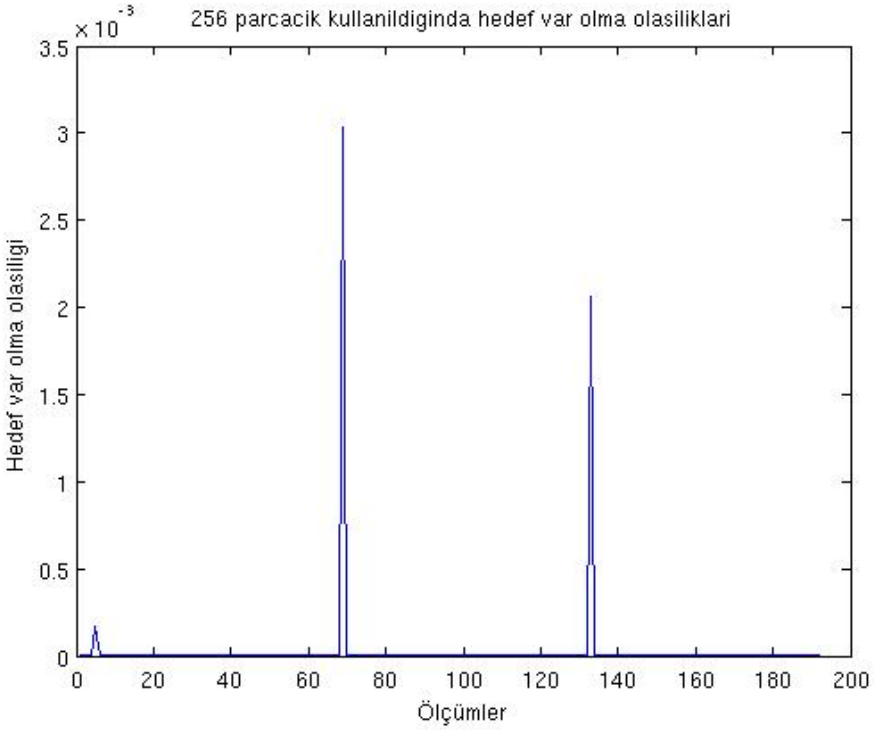
Şekil 5.16 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (64 parçacık için)



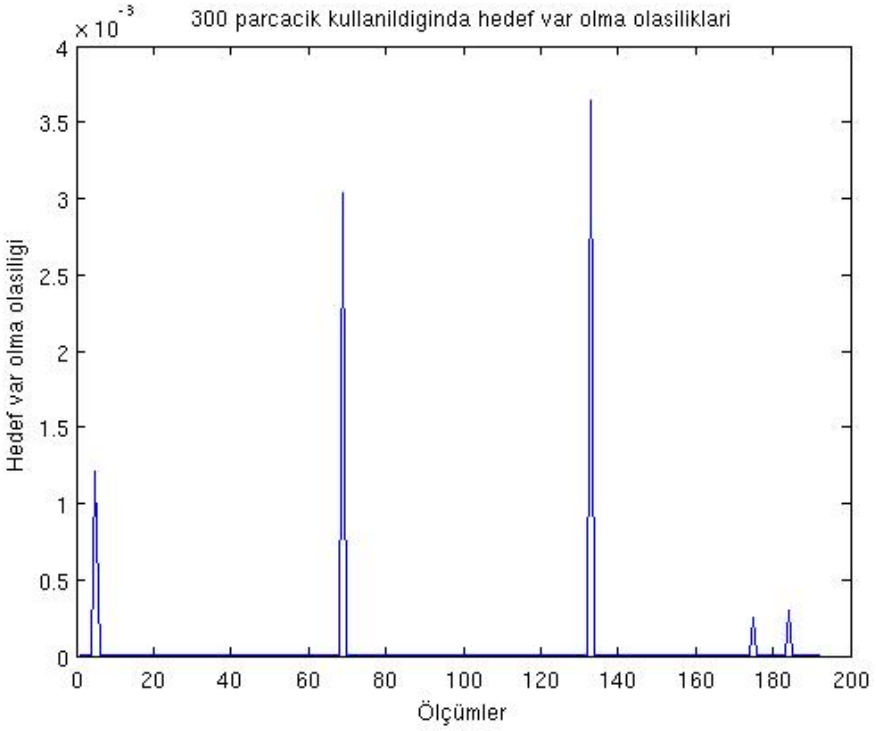
Şekil 5.17 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (128 parçacık için)



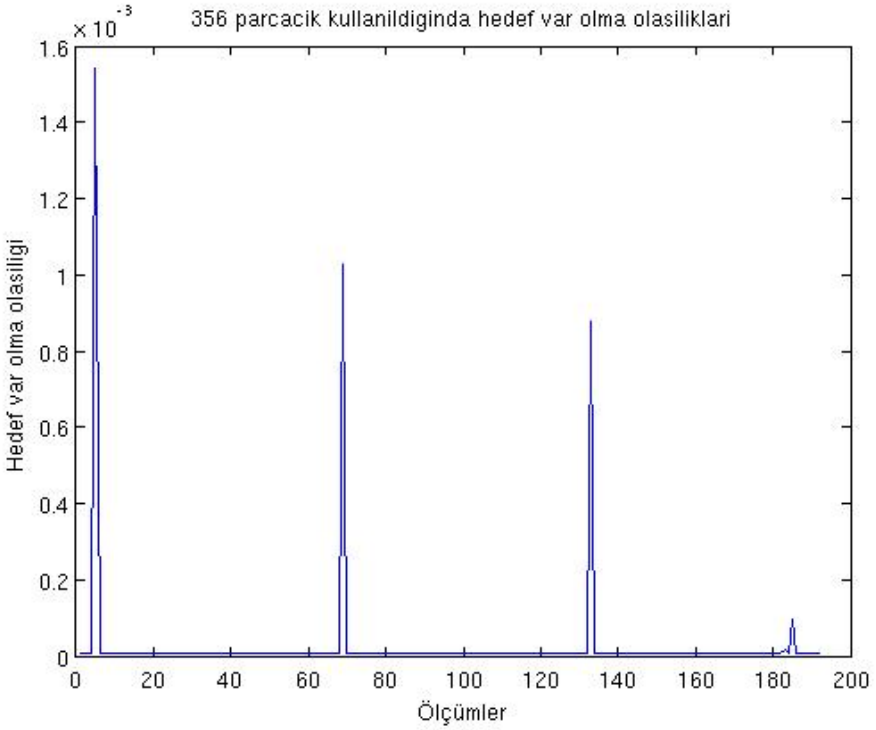
Şekil 5.18 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (200 parçacık için)



Şekil 5.19 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (256 parçacık için)



Şekil 5.20 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (300 parçacık için)



Şekil 5.21 Ardışık 3 radar taraması boyunca hedef var olma olasılıkları (356 parçacık için)

6. SÜREKLİ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ-SAKLI MARKOV MODEL TABANLI HEDEF TESPİTİ

Radar hedef tespitinde en önemli problem parazit yankının varlığında hedef tespiti yapabilmektir. Radar uygulamalarında gürültünün önsel olasılığını bilmek çok zor olduğundan, Neyman-Pearson kriteri belirlenen bir yanlış alarm olasılığına göre tespit olasılığını en büyük yapmayı önermektedir. Fakat, bu tipteki tespit yöntemlerinde hedefi parazit yankıdan ayırt edebilmek için eşik değerinin uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Diğer yandan parazit yankının istatistiksel parametreleri genellikle tam olarak bilinemediğinden mevcut tespit yöntemleri genel olarak Neyman-Pearson kriterini esas alan adaptif eşikleme teknikleri kullanarak sabit bir yanlış alarm oranı sağlamaya çalışmaktadır.

Deniz parazit yankısının değişken bir yapıda olması hedef tespit algoritmaları için büyük problem yaratmaktadır. Özellikle düşük sıyırma açılarında çalışan yüksek çözünürlüklü radarlarda deniz parazit yankısının yüksek oranda Gauss olmayan bir davranış gösterdiği bulunmuştur (Sayama ve Sekine 2002, Gini vd. 2002). Deniz parazit yankısı sinyal genlik değerini, çeşitli istatistiksel dağılımlara uyumlandırmaya çalışan çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanlar Weibull (Fay vd. 1977), log-normal (Nathanson 1969), K (Jakeman ve Pusey 1976, Sayama ve Sekine 2002) ve compound Gaussian (Gini vd. 2002) dağılımlarıdır. Bununla birlikte, bu dağılımları gerçek parazit yankı verisi ile uyumlama çalışmaları yeterine başarılı sonuçlar verememiş ve bu dağılımlarından elde edilen parametrelerin kullanılması ile deniz parazit yankılı ortamda hedef tespiti etkin olarak gerçekleştirilememiştir (Hu vd. 2006). Çünkü bu algoritmalar parazit yankıyı genellikle durağan bir süreç olarak modellemektedir. Gerçekte ise, parazit yankı zamanla değişen bir yapıya sahiptir ve bu yapısı nedeniyle mevcut yöntemlerde kullanılan analizler bu değişkenliğe hızlı bir şekilde uyum sağlamaya çalışırken daha da karmaşık bir hale gelmektedir.

Son yıllarda dalgacık dönüşümü literatürde çok yaygın olarak kullanılan bir araç haline gelmiştir. Fourier dönüşümünün aksine, dalgacık dönüşümü zaman bölgesinde analiz

yapmakta ve bu özelliği sayesinde veri sıkıştırma, örüntü tanıma, radar, sayısal görüntü işleme ve sinyalden gürültü ayrıştırma gibi uygulamalar için çok kullanışlı olmaktadır. Bununla birlikte uygun ana dalgacık seçimindeki esneklik dalgacık dönüşümünün temel avantajı haline gelmektedir, çünkü belirli bir problem için seçilen ana dalgacık sinyal işleme yeteneğini daha da artırabilmektedir. Dalgacık dönüşümü iki boyutlu ilintilendirici olarak da düşünülebilmekte ve eğer tespit edilmek istenen sinyalin şekli önceden biliniyor ise bu şekle uygun bir ana dalgacık oluşturulabilmektedir. Bu anlamda dalgacık dönüşümü uyumlu süzgeç bankası olarak çalışmaktadır. Bu özelliği sayesinde ve sinyali en iyi tanımlayan ana dalgacık seçimiyle dalgacık dönüşümü etkin bir sinyal tespit aracı haline gelmektedir.

Bu bölüm kapsamında Dalgacık dönüşümü ile SMM birlikte kullanılarak deniz parazit yankılı ortamda gerçek radar ölçüm verileri kullanılarak suüstü hedeflerinin tespiti için bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen SMM tabanlı yöntemde hedef ve parazit yankılı modeller oluşturulmuştur. Radar verilerine darbe birleştirme uygulanarak daha yüksek seviyede bir sinyal genliği elde edilmeye çalışılmıştır. Her bir darbe aralığı içerisindeki sinyallerin sürekli dalgacık dönüşümü alınarak, en yüksek dalgacık katsayısına sahip sinyalin menzil değeri bulunmuştur. Ardışık 10 darbe aralığından elde edilen menzil değerleri SMM algoritması için gözlem verisi olarak kullanılmıştır. Parazit yankı ve hedef modelleri yeterli miktarda gözlem verisi ile Baum-Welch algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Son olarak, radar gözlem verileri üzerinden tespit işlemi Viterbi algoritması ile yapılmıştır.

6.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü

Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD), zaman sinyali *f(t)*'nin, dalgacık fonksiyonu ψ'nin ölçeklendirilmiş ve kaydırılmış versiyonları ile çarpılıp sinyal zamanının tümü üzerinden toplanmasıyla ifade edilmektedir.

$$\boldsymbol{C}(\text{ö}\boldsymbol{lçek}, \boldsymbol{kaydırma}) = \int_{-\infty}^{\infty} \boldsymbol{f}(\boldsymbol{t})\boldsymbol{\psi}(\text{ö}\boldsymbol{lçek}, \boldsymbol{kaydırma}, \boldsymbol{t})\boldsymbol{dt} \qquad (6.1)$$

SDD matematiksel olarak, dalgacık ailesi $\psi_{\sigma,\tau}(t)$ ile *f(t)* sinyalinin iç çarpımıyla ifade edilir.

$$C(\sigma,\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sigma}\overline{\psi}\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) f(t)dt \tag{6.2}$$

Burada σ ve τ sırasıyla ölçek ve kaydırma parametrelerini, $\overline{\psi}$ ise ψ'nin karmaşık eşleniğini göstermektedir. SDD'nin sonucu, ölçek ve kaydırmanın bir fonksiyonu olan çok sayıda *C* dalgacık katsayısıdır. Her bir katsayının uygun olarak ölçeklendirilmiş ve kaydırılmış dalgacık ile çarpılması, orijinal sinyalin dalgacık bileşenlerini ortaya çıkarır. Bu nedenle, toplanırlık (superposition) ilkesi göz önüne alındığında, giriş sinyalinin frekans spektrumu sinyali oluşturan dalgacıkların frekans spektrumu toplamıdır. Bu açıklamaya dayanarak, sonuçta oluşan zaman-ölçek eşlemesi sözde frekansları ölçek ile ilişkilendirilerek zaman frekans spektrumu eşlemesine dönüştürülebilir. Sözde frekans hesaplama yöntemi Eşitlik 6.3'de verilmektedir.

$$f_\sigma = f_c/\sigma\Delta \tag{6.3}$$

Burada f_c dalgacığın merkez frekansını, σ ölçeği ve Δ ise sinyalin örnekleme periyodunu göstermektedir. Dalgacık fonksiyonu, her ölçekte kendi f_c frekansına sahiptir ve σ ölçeği ile bu frekans ters orantılıdır. Yüksek ölçek, düşük frekanslara karşılık gelmekte ve sinyalin global bilgisini vermektedir. Düşük ölçek ise, yüksek frekanslara karşılık gelmekte ve sinyal hakkındaki detay bilgiyi içermektedir.

Literatürde dalgacık dönüşümü radar hedef tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Dalgacık dönüşümü, hedefin varlığının yanı sıra zamanının ve yerinin de tespitinde kullanılmaktadır. Dalgacık dönüşümünü radar hedef tespitinde kullanmanın temel amacı, radar yankı sinyalinde bulunan, hedeften kaynaklı, süreksizliklerin varlığıdır. Bu süreksizlikler gözle görülememekle birlikte, sinyalin detay bilgisini içeren dalgacık katsayıları ile tespiti mümkün olmaktadır (Lo vd. 1993, Martorella vd. 2004, Grossmann ve Morlet 1984, Mallat ve Hwang 1992, Teolis 1998 ve Meyer 1992).

6.2 Dalgacık Seçimi

Radar hedef tespitinde kullanılan ana dalgacık Grossmann ve Morlet'in önerdiği karmaşık Morlet dalgacığıdır. Karmaşık Morlet dalgacığı 2 parametreye sahiptir:

1. Merkez frekansı γ_c
2. Varyans (bant genişliği) γ_b

Bununla birlikte, Morlet dalgacığının frekans tepkisi sınırlı bir aralık değil, tüm frekans eksenidir. Aslında, Morlet dalgacığı modüle edilmiş Gauss fonksiyonudur. Bu durumda, bant genişliği Morlet dalgacığının Fourier dönüşümünün varyansı olarak tanımlanır.

$$\gamma_b = \int \gamma^2 g_{\widehat{Morlet}}(\gamma) d\gamma \tag{6.4}$$

Tam olarak Morlet dalgacığı ifadesi Eşitlik (6.5)'da verilmektedir

$$g_{Morlet}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi\gamma_b}} e^{j2\pi\gamma_c t - (t^2/\gamma_b)} \tag{6.5}$$

Morlet fonksiyonu (L^1) normalizedir

$$\|g\|_1 \triangleq \int |g_{Morlet}| = 1 \tag{6.6}$$

Morlet fonksiyonunun Fourier dönüşümü $\hat{g}_{\text{Morlet}}$ maksimum değeri 1 dir. Buna ek olarak, maksimum değer γ_c'de oluşmaktadır, böylece $\hat{g}_{\text{Morlet}}(\gamma_c) = 1$. Morlet fonksiyonunun Fourier dönüşümü Eşitlik (6.7)'de verilmektedir

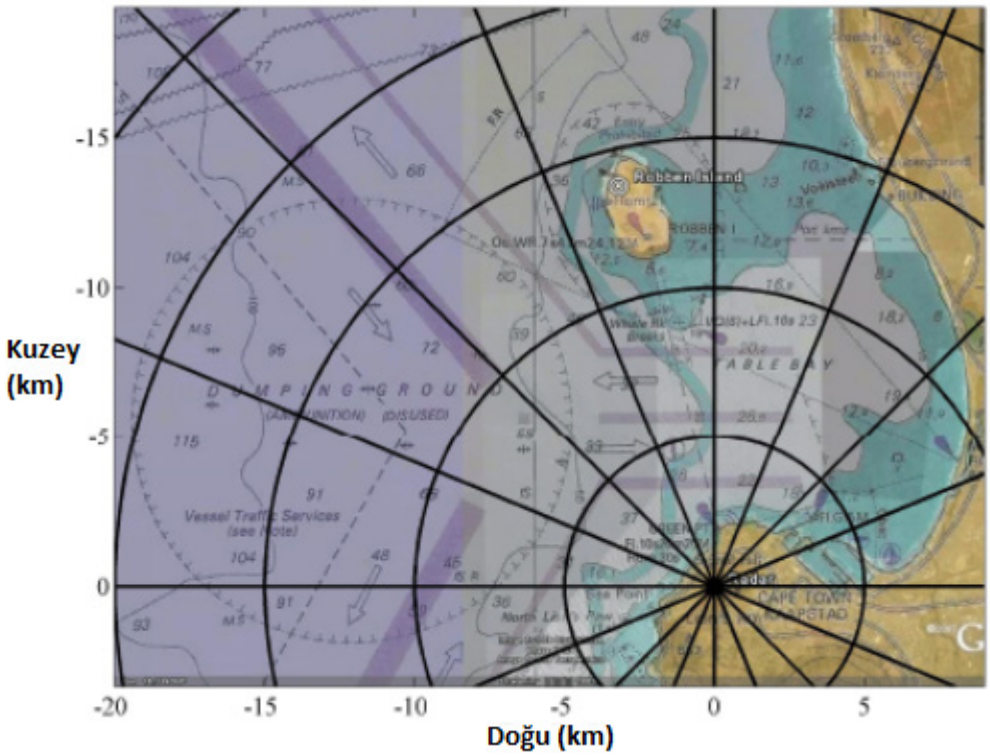
$$\hat{g}_{Morlet}(\gamma) = e^{-\pi^2\gamma_b(\gamma-\gamma_c)^2} \tag{6.7}$$

Morlet dalgacığı sonar veya radar uygulaması gibi sinyallerde kullanım için daha uygun olduğu literatürde belirtilmektedir (Meyer 1992). Dalgacık parametreleri tespit edilmek istenen sinyale bağımlı olmaktadır, bu yüzden denemeler sonucunda en iyi performansı veren parametreler seçilmiştir. Bu tez kapsamında Morlet dalgacık parametreleri olarak merkez frekans 1 Hz ve bant genişliği 0.5 Hz seçilmiştir.

6.3 Hedef Tespitinde Kullanılan Veritabanı

Bu bölümde hedef tespitinde kullanılan veritabanı hakkında bilgi verilmektedir. Hedef tespit benzetimlerinde merkezi Güney Afrika'da bulunan "Council for Scientific and Industrial Research" (CSIR) tarafından oluşturulan radar verisi kullanılmıştır.

Veritabanı oluşturulurken kullanılan radar, Güney Afrika'da Cape Town yakınlarında, deniz yüzeyinden 294 m yükseklikte konuşlu darbeli Doppler X-bant radardır. Radar mevzisi şekil 6.1'de verilmektedir. Radar mevzisi 140°'lik azimut kapsama alanına sahiptir. Sıyırma açısı kıyı şeridinde 10° ile 0.3° arasında değişmektedir. Ortalama rüzgar hızı 0 - 40 *kts* arasında değişmektedir. Dalga yüksekliği ise 1 - 4.5 *m* arasında değişmektedir. Radar özellikleri çizelge 6.1'de verilmektedir.



Şekil 6.1 Radar mevzisi

Çizelge 6.1 Kullanılan radarın özellikleri

Gönderici	
Frekans bandı	X-bant
Darbe Yineleme Frekans (DYF) aralığı	Programlanabilir, düşük ve orta DYF
Dalga biçimleri	Programlanabilir sayısal darbe üretimi
Çevik bant genişliği	En az 140 MHz
Darbe bant genişliği	10 MHz
Anten	
Huzme genişliği	Kalem huzme
Tip	Bileşik dual-offset Gregorian yansıtıcı
Alıcı	
Menzil	60 km
İşlem	Programlanabilir sayısal darbe sıkıştırma, Programlanabilir Doppler işleme

Radar yankıları 3-B bir matris içinde saklanmaktadır. Birinci boyut zamanı, ikinci boyut menzil hücrelerini ve üçüncü boyut ise darbe bilgisini içermektedir.

6.3.1 CSIR radar veri setinde kullanılan hedef türleri

6.3.1.1 MTU nadine gordimer

MTU Nadine Gordimer RNLI Brede sınıfı, 10 m'lik açık deniz kurtarma gemisidir. 2 adet MTU 1000 turbo dizel motoru ve haberleşme antenlerine sahiptir. Güney Afrika ulusal deniz kurtarma enstitüsü (National Sea Rescue Institute – NSRI) tarafından kullanılmaktadır. 4 Kasım 2007 tarihinden itibaren radar veri tabanı oluşturma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Tekne için önceden tanımlı manevralar oluşturulmuş ve çok sayıda yansıma ölçümleri alınmıştır. Ölçümler sırasında radar personeli ile tekne kaptanı arasında radyo iletişimi kurulmuştur.



Şekil 6.2 Nadine Gordimer yandan görünüm

6.3.1.2 Rotary endeavour

Rotary Endeavour, NSRI tarafından kullanılan 5.5 m'lik sabit şişirilebilir bir bottur (rigid inflatable boat RIB). İki adet 60 hp Yamaha motora ve tek bir VHF antene sahiptir. 4 Kasım 2007 tarihinden itibaren radar veri tabanı oluşturma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Tekne için önceden tanımlı manevralar oluşturulmuş ve çok sayıda yansıma ölçümleri alınmıştır.



Şekil 6.3 Rotary Endeavour yandan görünüm

6.3.1.3 SANParks RIB

SANParks RIB Güney Afrika ulusal parkı tarafından kullanılan, 4.8m'lik sabit şişirilebilir bir bottur. Tek bir 60 hp Yamaha motora ve radyo antene sahiptir. 8 – 13 Kasım 2007 tarihlerinde radar veri tabanı oluşturma amacıyla kullanılmıştır. Tekne için önceden tanımlı manevralar oluşturulmuş ve çok sayıda yansıma ölçümleri alınmıştır.



Şekil 6.4 SANParks RIB yandan görünüm

6.3.1.4 Pencilduck

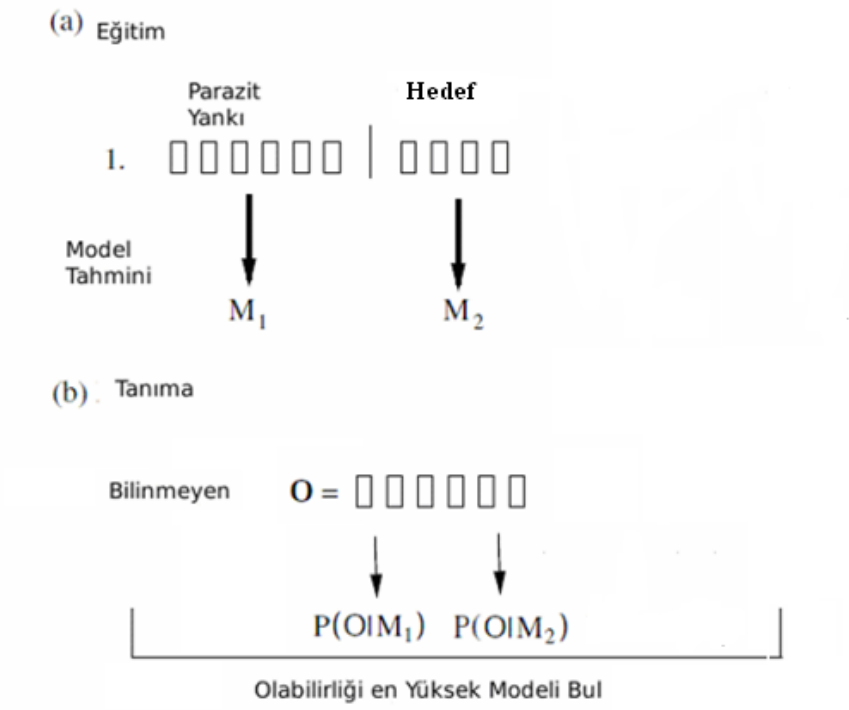
4.2 m'lik şişme kauçuk bir bottur. Tek bir 50 hp motora sahiptir ve genellikle su sporları için kullanılmaktadır. 14 Kasım 2007 tarihinden itibaren radar veri tabanı oluşturma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır ve özellikle çok küçük ve yüksek manevralı botların radar yankılarının kaydetmek için kullanılmıştır



Şekil 6.5 Pencilduck yandan görünüm

6.4 SMM Yapısının Belirlenmesi

SMM tespit aşamaları Bölüm 5’ de kullanılan yönteme benzerdir. Bu amaç ile, parazit yankı ve hedef olmak üzere toplam 2 SMM modeli oluşturulmuştur. Şekil 6.6’da kullanılan SMM tespit süreci gösterilmektedir. İlk olarak, SMM her bir tespit modeli için kendisine ait olan tespit örnekleriyle eğitilmiştir. Bu amaç ile parazit yankı ve hedef modelleri oluşturulmuştur. İkinci olarak, bilinmeyen bir radar ölçümünü sınıflandırabilmek için, her bir modelin bu ölçümü üretebilme olabilirliği hesaplanmakta ve olabilirliği en yüksek model tespiti belirlemektedir.

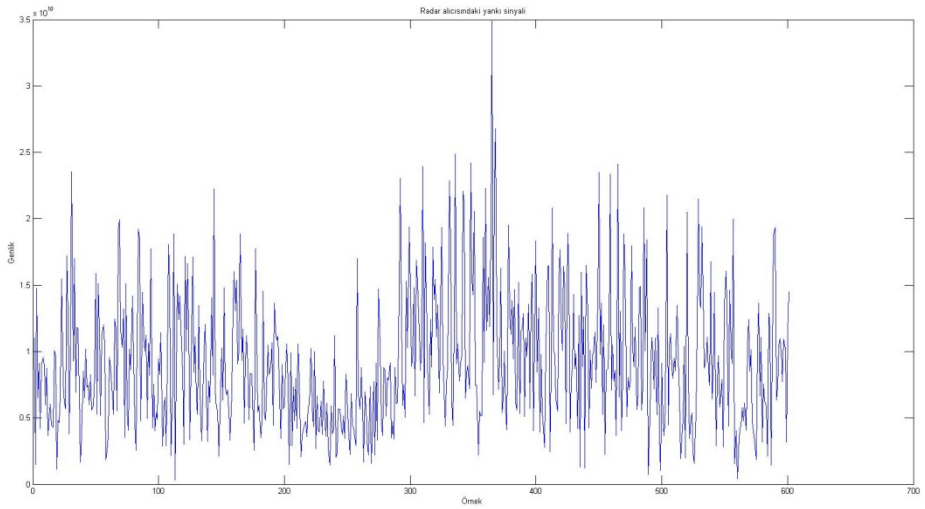


Şekil 6.6 SMM kullanarak hedef tespiti

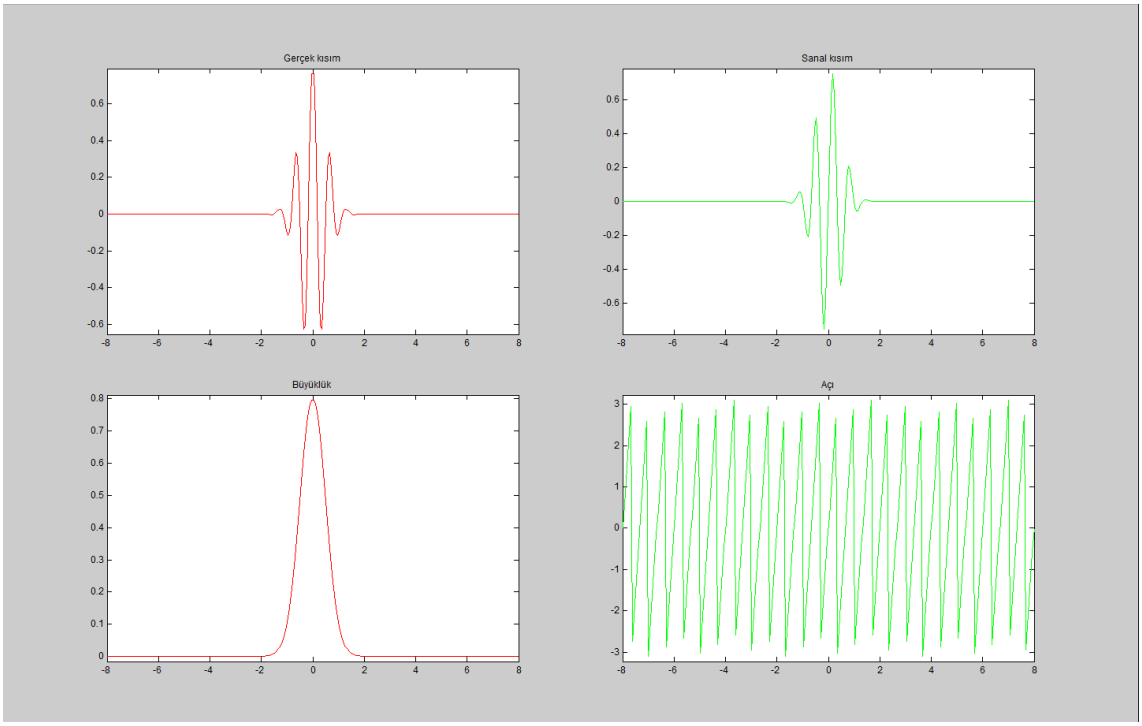
6.5 Öznitelik Vektörünün Belirlenmesi

Öznitelik vektörü SMM tespit algoritmasının en önemli parçasıdır. Parazit yankılı ortamda hedeften dönen sinyali tespit etmenin en iyi yolu, sinyali kendisi ile ilintileyerek radar alıcısındaki SGO'yu en büyük yapmaktır. Bu anlamda SDD iki boyutlu ilintileyici veya uyumlu süzgeç bankası olarak nitelendirilebilmektedir. Eğer tespit edilmek istenen sinyalin şekli önceden bilinebilirse, bu sinyal ana dalgacık fonksiyonunu modellemek için kullanılabilmektedir. SDD sırasında, merkez frekansları farklı örtüşmeli bant geçiren süzgeçler kullanılarak sinyalin frekans spektrumu ayrıştırılmaktadır. Burada amaç, farklı çözünürlükteki süzgeçler kullanarak hedef sinyalinin frekans bileşenlerindeki değişkenliklere uyum sağlayabilmektir. Bu tez kapsamında SDD ana dalgacığı olarak Bölüm 6.2'de anlatılan karmaşık Morlet dalgacığı kullanılmıştır. Karmaşık Morlet dalgacığının gürültü sinyali içindeki geçici sinüzoidalleri etkin bir şekilde tespit edebilme özelliği sayesinde, hedeften dönen yankı sinyalleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 6.7'de CSIR veritabanından alınmış hedef ve parazit yankı içeren örnek bir radar alıcısındaki yankı sinyali verilmektedir. Şekil

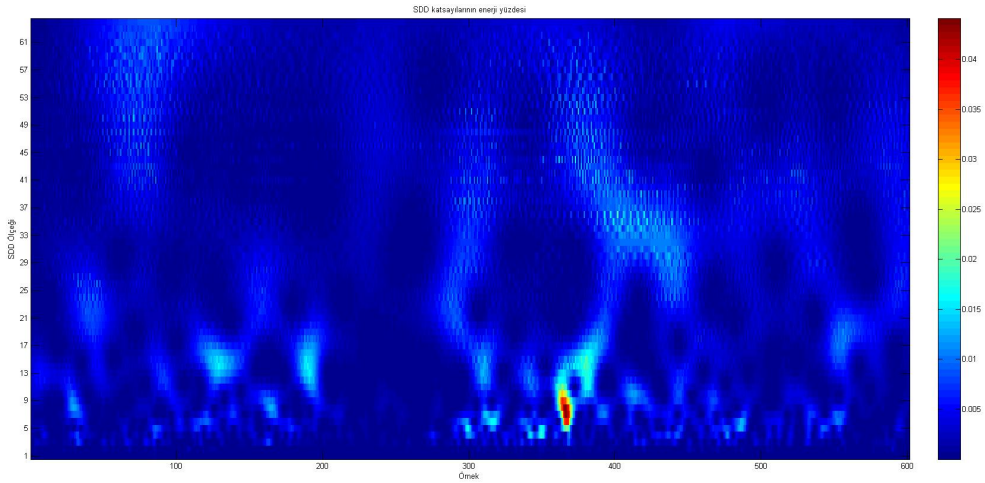
6.8'de ise SDD'de hedef tespitinde kullanılan ana dalgacık görülmektedir. Şekil 6.8'deki ana dalgacığı kullanarak şekil 6.7'daki sinyalin SDD sonucunda oluşan dalgacık katsayılarının, ölçeğe göre enerji yüzdeleri ise şekil 6.9'da verilmektedir. Şekil 6.9'da görüldüğü üzere enerjinin en yüksek olduğu noktalar radar sinyali ile ana dalgacık arasındaki ilintinin en yüksek olduğu yerlerdir. Seçilen ana dalgacığın tespit edilmek istenen hedef sinyaline uygun tasarlandığı göz önüne alındığında, bu noktalar hedefin varlığını göstermektedir. Bu amaç ile öznitelik vektörü olarak SDD katsayılarının en büyük olduğu menzil kapısı ve kerteriz değerlerine ek olarak, bu değerlerin 1, 2 ve 3'üncü dereceden fark katsayıları da eklenmiştir. Fark katsayılarının hesabında Eşitlik 5.28 kullanılmıştır.



Şekil 6.7 Radar alıcısındaki yankı sinyali



Şekil 6.8 SDD'de kullanılan dalgacık



Şekil 6.9 SDD katsayılarının enerji yüzdesi

6.6 SMM Topolojisinin Belirlenmesi

SMM durum sayısının belirlenebilmesi için bir çok deneme yapılmış ve durum sayısının, kullanılan ardışık radar tarama sayısıyla yakından ilgili olduğu bulunmuştur. Denemeler sonucunda, hedef hareketinin Viterbi algoritması tarafından en iyi tespit

edildiği ardışık radar tarama sayısı 10 olmaktadır. Bu amaç ile her bir parazit yankı ve hedef ölçümleri, 12 durumlu SMM ile modellenmiştir. Durum 1 SMM başlangıç, durum 12 ise çıkış durumlarını göstermektedir. 2-11 SMM durumları ise ardışık radar taramalarındaki ölçümlere karşılık gelmektedir.

Radar ölçümleri, öznitelik kümesi ve SMM yapısı, tasarlanan tespit sisteminin performansını belirlemektedir. Parazit yankı ve hedef modelleri ayrı ayrı eğitilmiştir. Eğitim sırasında kullanılan modeller test sırasında kullanılmamıştır. SMM eğitim ve test aşamalarında HTK aracı kullanılmıştır (Young 2000).

6.7 Hedef Tespit Süreci

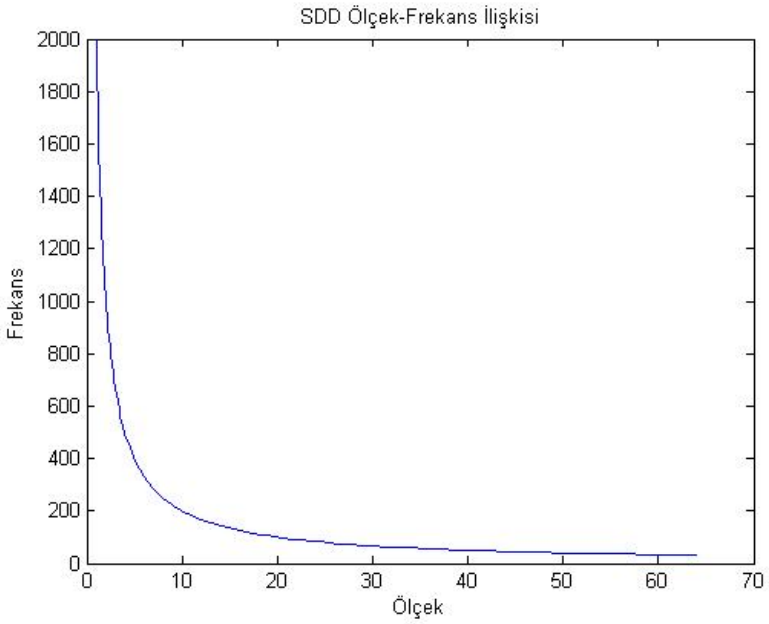
Hedef radar huzmesi içinde bulunduğunda çok sayıda radar sinyali yansıtmaktadır. Hedeften dönen tüm sinyalleri ekleyerek radar alıcısındaki sinyal güç oranı iyileştirilebilmektedir. Yansıyan sinyallerin toplanması işlemine darbe birleştirmesi adı verilmektedir. Darbe birleştirmesi dördün bileşenleri (quadrature components) üzerinde zarf detektöründen önce yapılabilmektedir. Bu işleme faz uyumlu birleştirme denmektedir. Faz uyumlu birleştirme radar alıcısındaki darbe sinyalleri arasındaki faz ilişkisini korumaktadır. Böylece daha yüksek seviyede bir sinyal genliği elde edilebilmektedir. Bu amaç ile darbe birleştirmesi için benzetimlerde en uygun sonucu veren 500 ms'lik darbe aralığı seçilmiştir.

Hedef tespiti ardışık radar taramaları üzerinden yapılmaktadır. Şekil 6.11'de hedef tespit süreci verilmektedir.

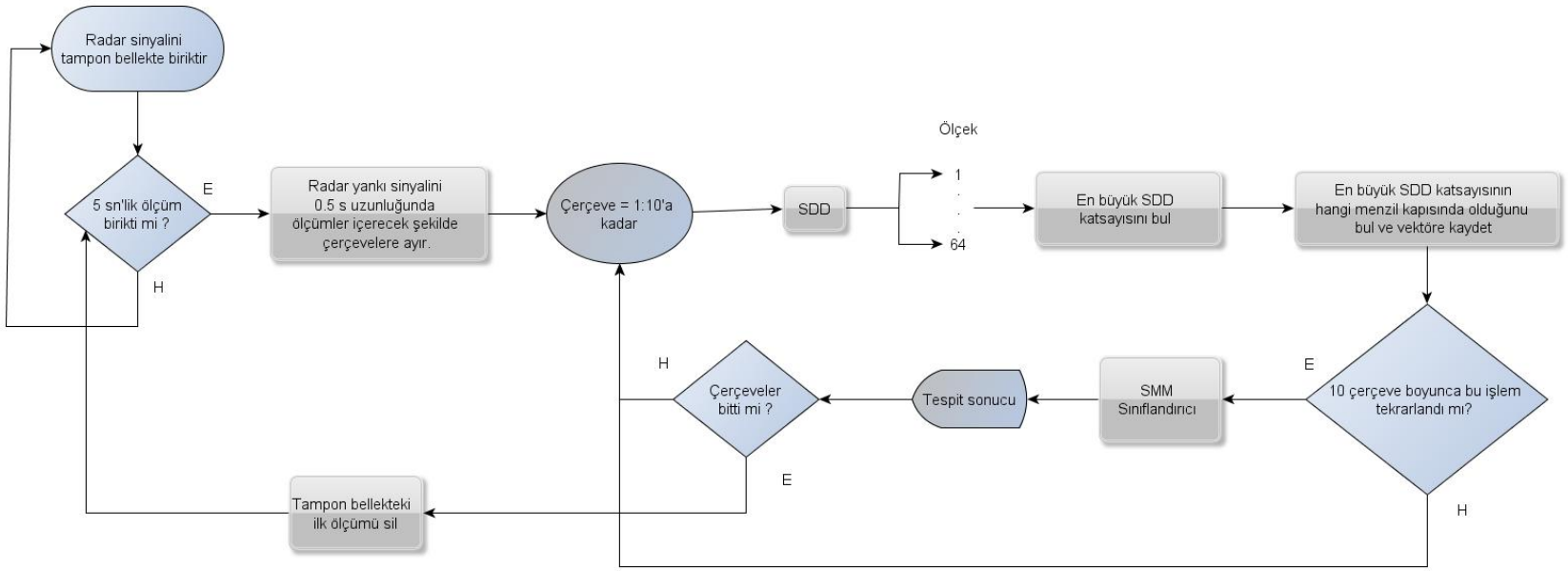
1. İlk adım her bir menzil kapısındaki darbe aralığı içindeki radara gelen sinyallere SDD uygulanmasıdır. SDD katsayılarını belirleyen parametreler dalgacık bant genişliği, merkez frekansı ve ölçektir. Şekil 6.10 ölçeğe göre dalgacık sözde frekans değişimini vermektedir. Şekilden de görülebildiği üzere küçük ölçeklerdeki dalgacık dönüşümü sinyalin yüksek, büyük ölçekler ise düşük frekanslı bileşenlerini ortaya çıkartmaktadır. SDD için 1-64 arası ölçek seçilmiş

ve bu aralık 100 eşit parçaya bölünerek daha yüksek bir zaman-frekans çözünürlüğü sağlanmaya çalışılmıştır.

2. İkinci adımda hesaplanan SDD katsayıları içinden en büyük olan seçilerek hedefin bulunabileceği muhtemel menzil kapıları tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu amaç ile her bir menzil kapısı içindeki ölçümlerin SDD katsayıları hesaplanır. En büyük SDD katsayısı bulunur ve bu katsayının hangi menzil kapısında olduğu hesaplanır.
3. Adım 1 ve 2, *N* zaman adımı kadar tekrarlanır, sonuçta bulunan menzil kapıları biriktirilir.
4. Üçüncü adım SMM ile menzil kapılarının değişiminden hedef tespiti yapılmasıdır.



Şekil 6.10 SDD ölçek frekans ilişkisi



Şekil 6.11 Hedef tespit süreci

6.8 Benzetim Sonuçları

SMM tespit yönteminin amacı gözlem verisinin değişiminden hedef tespiti yapmaya çalışmaktır. Bu amaç ile hedef tespiti ardışık zaman adımları üzerinden yapılmaktadır. Bölüm6.7'de anlatılan prosedür kullanılarak her darbe aralığı için SDD katsayılarının en büyük olduğu menzil kapısı SMM modelleri için gözlem dizisine karşılık gelmektedir.

Tespit işlemi ardışık 10 darbe aralığı (5 sn) elde edilen menzil kapılarının değişiminden gerçekleştirilmektedir. Oluşturulan 5 sn'lik çerçeve kayan pencere şeklinde gözlem dizisine karşılık gelen radar sinyali üzerinde hareket ettirilmektedir. Bunun sonucu olarak önerilen yöntem sadece başlangıçta tampon bellek dolana kadar 5 sn'lik bir gecikmeye sahip olmaktadır. Tespit işleminin sonucunda parazit yankı, ve hedef seçeneklerinden biri işaretlenmektedir. Şekil 6.12-6.13'den de görülebildiği gibi, hedef ve parazit yankıya ait menzil kapısının zamana göre değişimleri arasında belirgin bir ayrım vardır. Bu ayrım, hedef tespit performansını etkileyen en büyük etken haline gelmektedir.

Şekil 6.14'de Bölüm 5'de anlatılan en yüksek sinyal seçim kriteri ile hedef tespit performansı verilmektedir. Şekilden de görülebildiği üzere hedeften yansıyan radar yankı sinyal güç seviyesi parazit yankı seviyesinden daha düşük olmaktadır. Bu durum, gerçek radar ölçümlerinde karşılaşılan tipik bir olaydır. Bunun sonucunda sinyal genlik seviyesine bakılarak yapılan tespit yöntemleri başarısız olmaktadır. SDD'nin etkin bir zaman-frekans çözünürlüğüne sahip olması hedef tespit başarımını yükseltmektedir. SDD'nin temel amacı, radar yankısı içindeki hedefe karşılık gelen geçici sinüzoidalleri tespit etmektir. Bununla birlikte hedef manevrası, süreksizliğin bulunduğu frekans aralığının değişimine neden olmaktadır. Bu neden ile, 1 ile 64 arası ölçek kullanılmakla birlikte, bu aralık 100 eşit parçaya bölünmüştür. Buradaki amaç zaman frekans çözünürlüğünü etkin biçimde kullanarak, hedeften kaynaklanan geçici sinüzoidallerin değişimine en uygun şekilde uyum sağlamaktır. Şekil 6.15 sadece parazit yankı içeren ölçümler için SDD-SMM yönteminin tespit sonucunu göstermektedir. Şekilden de görülebileceği üzere ardışık ölçümler arası değişim gürültü benzeri bir yapıya sahip olmaktadır. Bu durumda, radar ölçümlerinde herhangi bir rotayı takip eden bir hedef

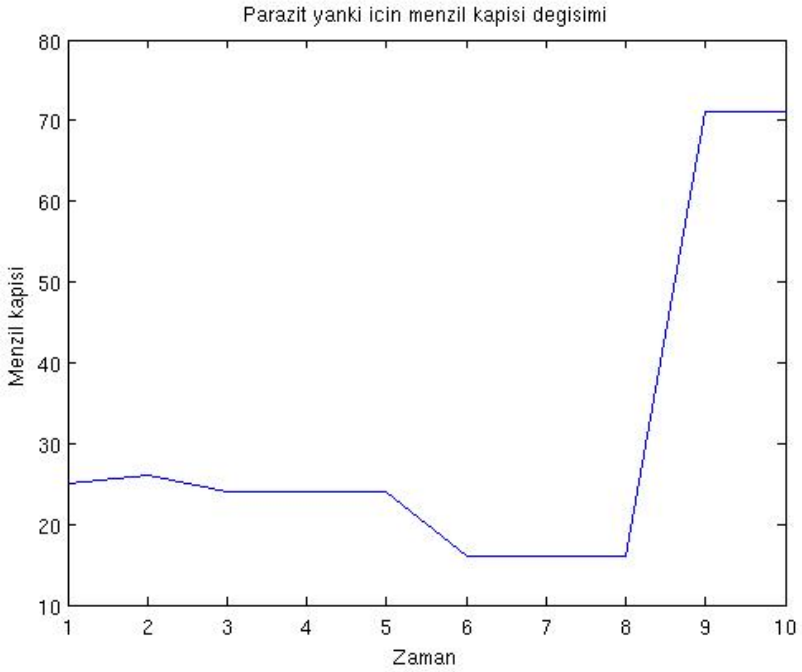
bulunmadığı sonucu kolayca çıkmaktadır. Şekil 6.16-6.22 veritabanında kullanılan hedef türleri için tespit performansını gerçek ölçümlerle karşılaştırmaktadır. Şekillerde ilk önce hedefin rotasını göstermek amacı ile gerçek ve tespit edilen menzil değerleri, sonra da menzil farkları çizdirilmiştir. SDD-SMM yöntemi hedefin hangi menzil kapısında bulunduğunu tespit etmektedir. Bu yüzden hedefin yeri, tespit edildiği menzil hücresinin ortası olarak kabul edilmiştir. Her bir menzil kapısı 15 m büyüklüğünde olduğundan, bu kabul sonucunda doğru menzil kapısında tespit edilen hedefin gerçek menzilinden sapma miktarı $\pm 7.5\, m$ aralığındadır. Yanlış menzil kapısında yapılan tespitler içinse bu fark daha da yüksek olmaktadır.

Denemeler sonucunda SDD tabanlı yöntemin daha çok, yavaş hareket eden ve büyük hedefler için iyi çalıştığı görülmüştür. Diğer yandan yüksek manevralı küçük hedeflerde başarım yüzdesi düşük kalmıştır. Bu problemin sonucu tespit edilen menzil kapı değerlerinde ani artış veya azalış olarak kendini göstermektedir. Bu problemin kaynağı olarak SDD-SMM yönteminin performansının seçilen ana dalgacığa çok bağımlı olması olarak gösterilebilmektedir. SDD iki boyutlu bir ilintileyici fonksiyonu gibi çalıştığından, hedef kaynaklı radar yankısını temsil eden ana dalgacık fonksiyonunun çok iyi tanımlanması gerekmektedir. Özellikle manevra yapan hedeflerde, manevra sırasında radar alıcısına ulaşan yankı sinyalinin karakteristiğinde değişim olmaktadır. Bu yüzden yüksek manevralı hedeflerde başarım yüzdesinin düşük kaldığı düşünülmektedir. Şekil 6.24'de farklı ana dalgacıklar (Haar, Mexican Hat ve Meyer) kullanılarak SDD-SMM yönteminin tespit performansı verilmektedir. Şekilden de görülebildiği üzere, seçilen ana dalgacık tespit performansını direkt olarak etkilemektedir. Şekil 6.24'de görüldüğü üzere hedeften yansıyan radar sinyaline en çok benzeyen ana dalgacık karmaşık Morlet dalgacığıdır. Bu yüzden hedefin bulunduğu menzil hücrelerinde SDD katsayıları en büyük olmakta ve hedef rotasını takip etmektedir. CSIR veritabanı kullanılarak yapılan denemelerde, SDD-SMM yöntemi hedefi rotası boyunca rüzgar hızının 11.3 kts (Deniz durumu = 2.1) ve dalga yüksekliğinin 2.62 m (Deniz durumu = 4.7) olduğu koşullara kadar hedef tespit doğruluk yüzdesi hedef türlerine göre çizelge 6.2'de verilmektedir.

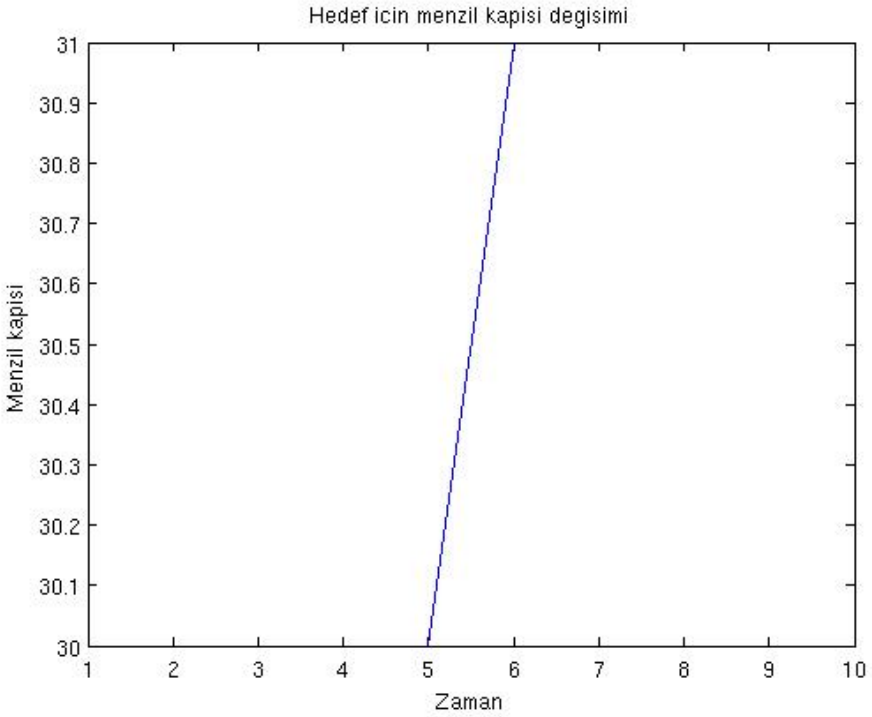
HO-SYAO radar uygulamalarında hedef tespit amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem de, önerilen yöntem gibi, ham radar verisi kullanarak tespit yapmaktadır. Bu amaç ile SDD-SMM yöntemin performansının karşılaştırılmasında kullanılabilecek uygun bir aday haline gelmektedir. HO-SYAO gerçeklenmesi sırasında izlenen yöntem Bölüm 2.5.5'de verilmiştir. HO-SYAO yöntemindeki en önemli husus kullanılacak referans ve koruma hücre sayılarının uygun olarak belirlenmesidir. Benzetimlerde referans hücre sayısı 20, koruma hücre sayısı 2 ve eşik değeri çarpım faktörü 1.5 seçilmiştir. Şekil 6.25'de HO-SYAO yönteminin performansı gösterilmektedir. HO-SYAO'nun en büyük dezavantajı referans hücreler içindeki parazit yankının durağan olduğu durum için en iyi sonucu vermesidir (Gandhi ve Kassam 1988). Deniz parazit yankısı gibi doğrusal olmayan bir yapıya sahip ortamda bu durum performansın düşmesine neden olmaktadır. Örnek olarak TAH içindeki parazit yankı seviyesinin referans hücrelerden daha yüksek olduğu durumda, eşik seviyesi azalmakta ve bunun sonucu olarak yanlış alarm olasılığı artmaktadır. Benzer olarak referans hücrelerdeki sinyal seviyelerinin TAH içindeki seviyeden yüksek olduğu durumda ise, hesaplanan eşik seviyesi gereğinden yüksek çıkmakta bunun sonucu olarak tespit olasılığının düşmektedir. SDD-SMM yönteminin en büyük avantajı herhangi bir eşik değeri kullanmamasıdır. Hedefin bulunabileceği frekans bandına karşılık gelen zaman sinyalleri üzerinde işlem yapmaktadır. Bu sayede, parazit yankı sinyalinin etkisi en aza indirilmiş olmaktadır. Bununla birlikte, SDD-SMM yöntemi ardışık zaman adımlarını işleyerek hedef rotasını tespit etmeye çalışmaktadır. Bunun sonucunda yanlış alarm olasılığı da azalmaktadır.

Çizelge 6.2 SMM tabanlı yaklaşımın manevra tespit performansı

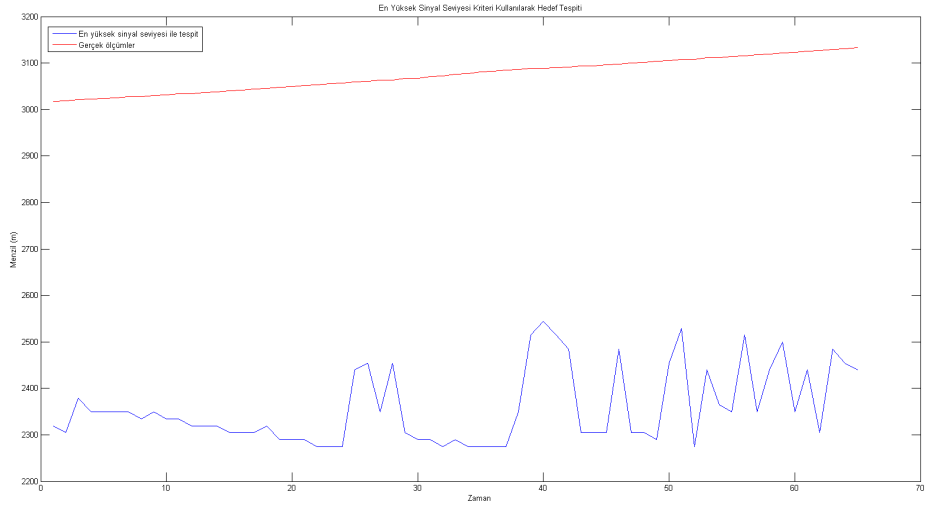
	MTU Tespit Olasılığı	Pencilduck Tespit Olasılığı	Rib_Rotary Tespit Olasılığı	SANParks Tespit Olasılığı
SDD-SMM	86 %	84 %	86 %	63 %



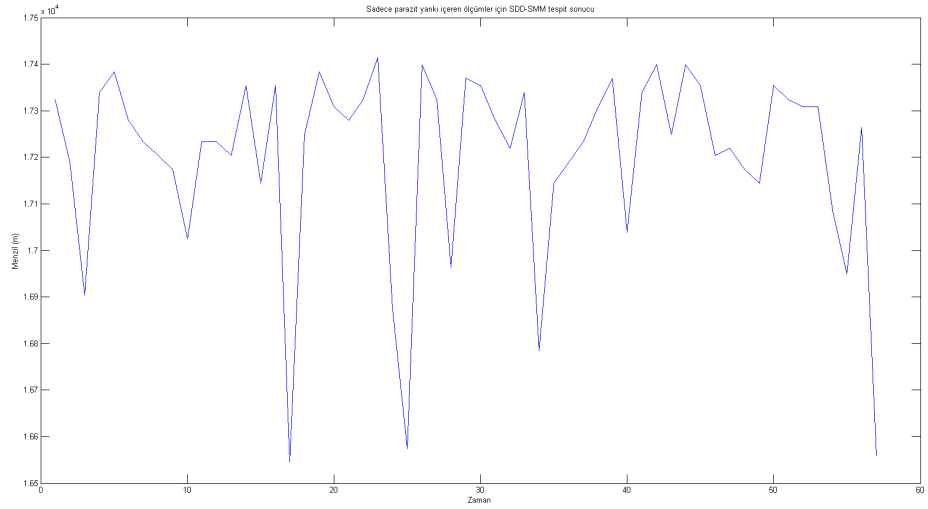
Şekil 6.12 Parazit yankı için zamana göre SDD katsayılarının menzil kapısı değişimi



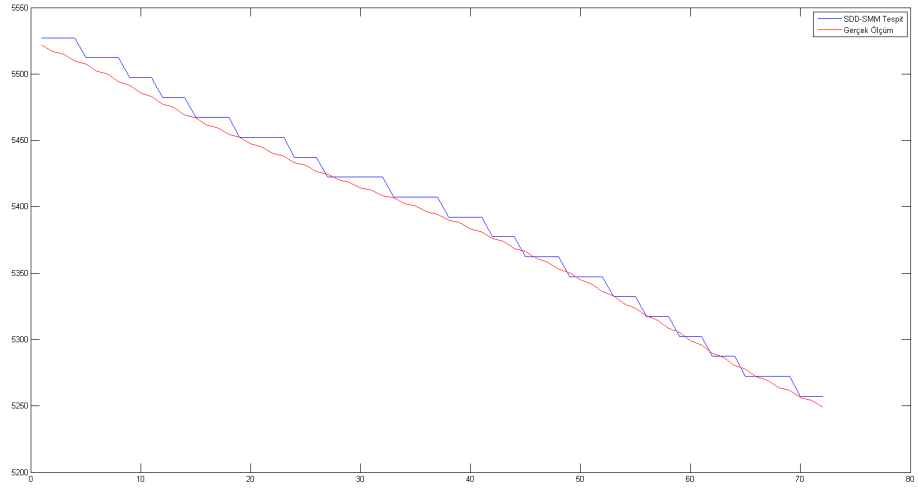
Şekil 6.13 Hedefı için zamana göre SDD katsayılarının menzil kapısı değişimi



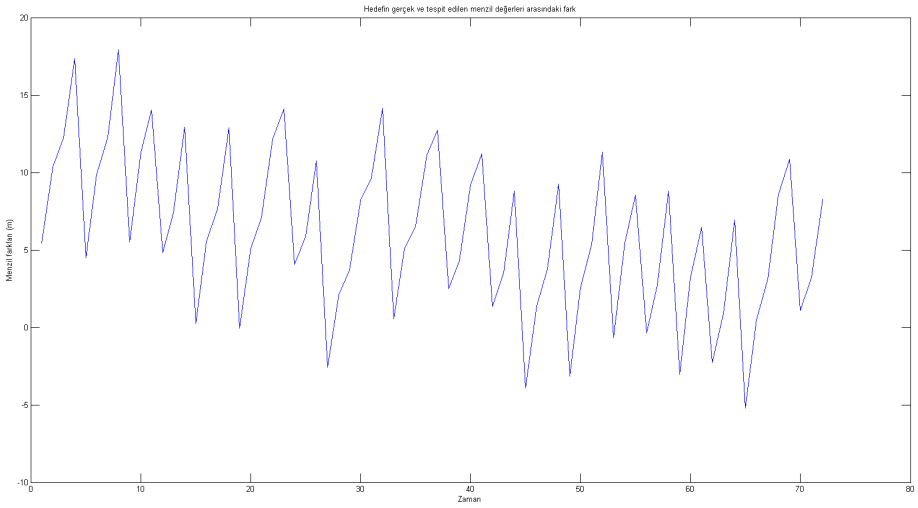
Şekil 6.14 En yüksek sinyal seviyesi seçim kriteri kullanılarak hedef tespit performansı



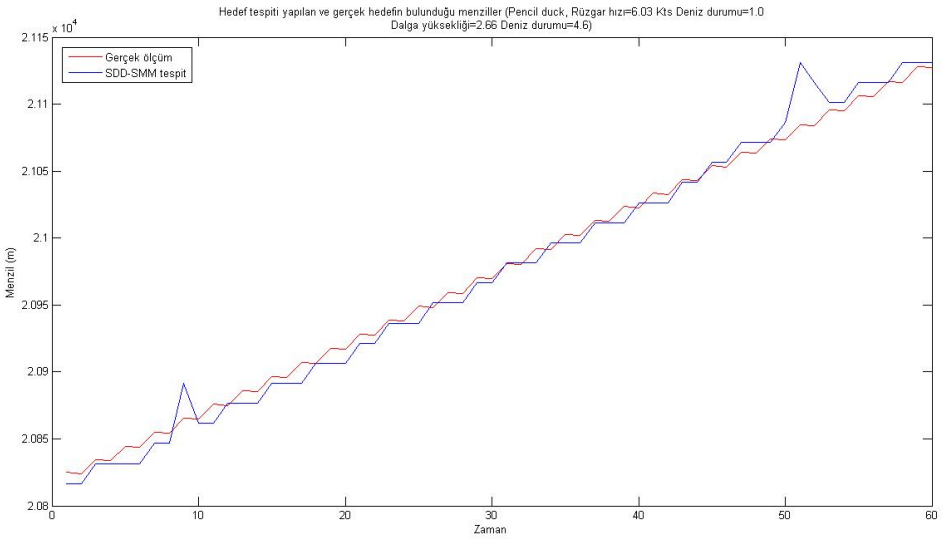
Şekil 6.15 Sadece parazit yankı içeren ölçümler için SDD-SMM tespit sonucu



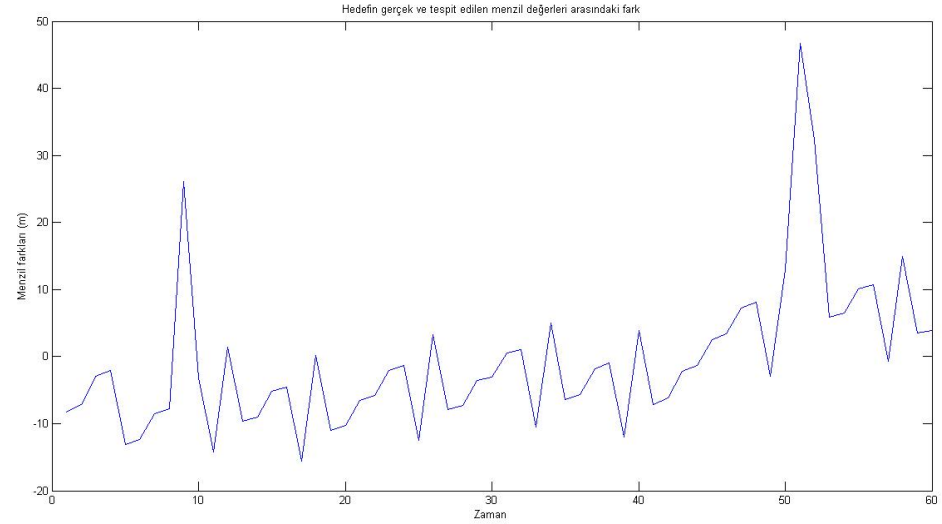
Şekil 6.16 MTU Nadime Gordimer teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller



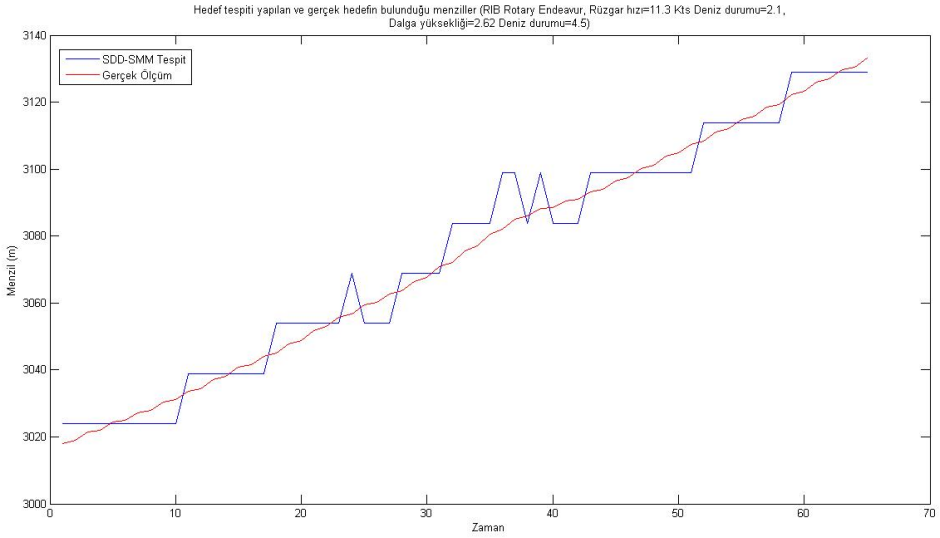
Şekil 6.17 MTU Nadime Gordimer teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark



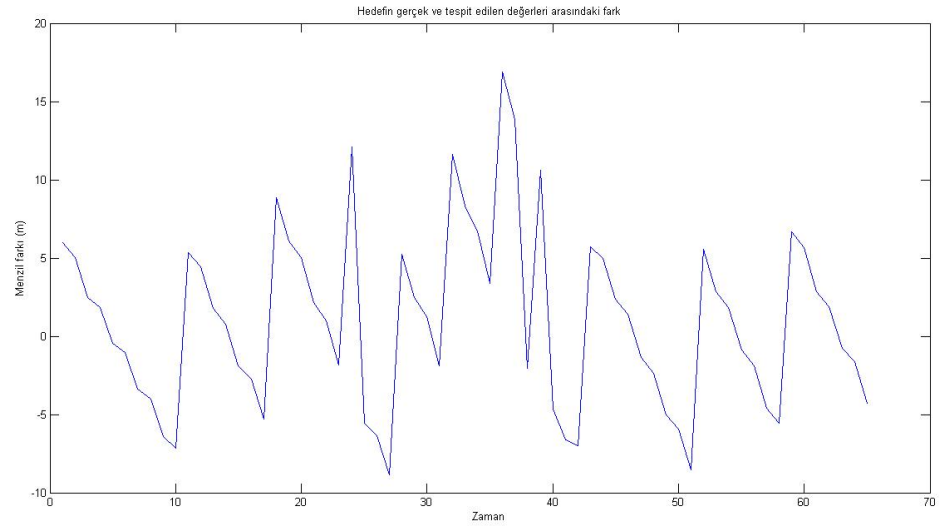
Şekil 6.18 Pencilduck teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller



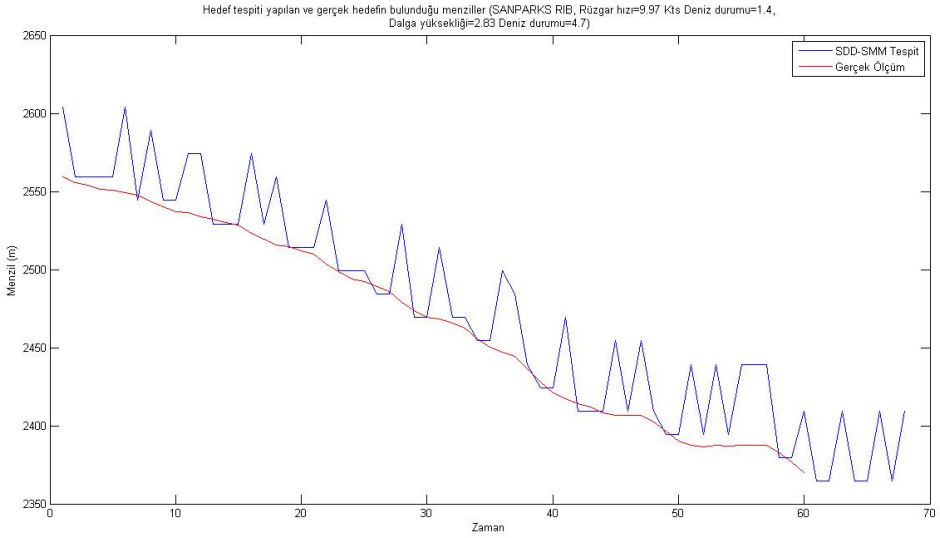
Şekil 6.19 Pencilduck teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark



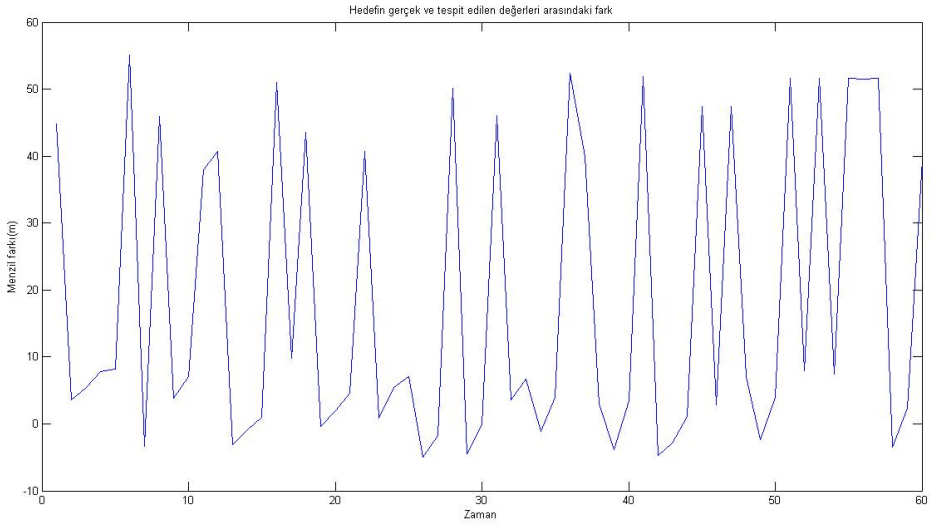
Şekil 6.20 RIB_Rotary Endeavour teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller



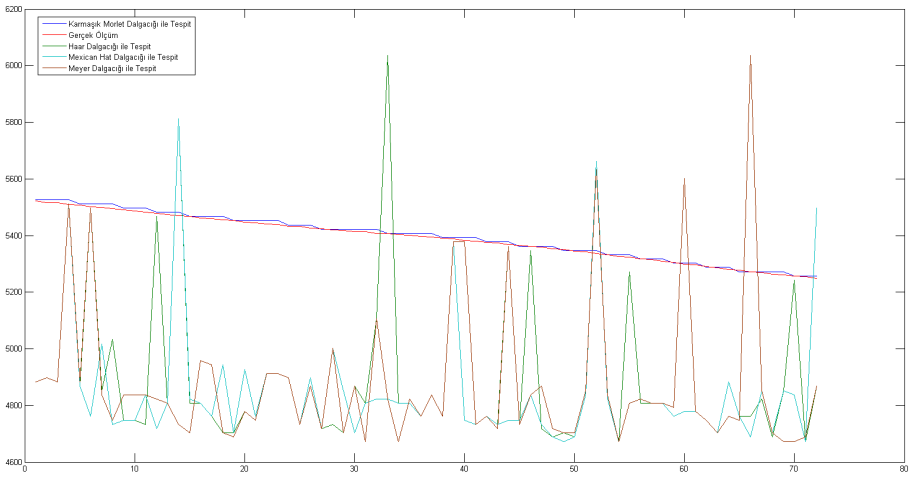
Şekil 6.21 RIB_Rotary Endeavour teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark



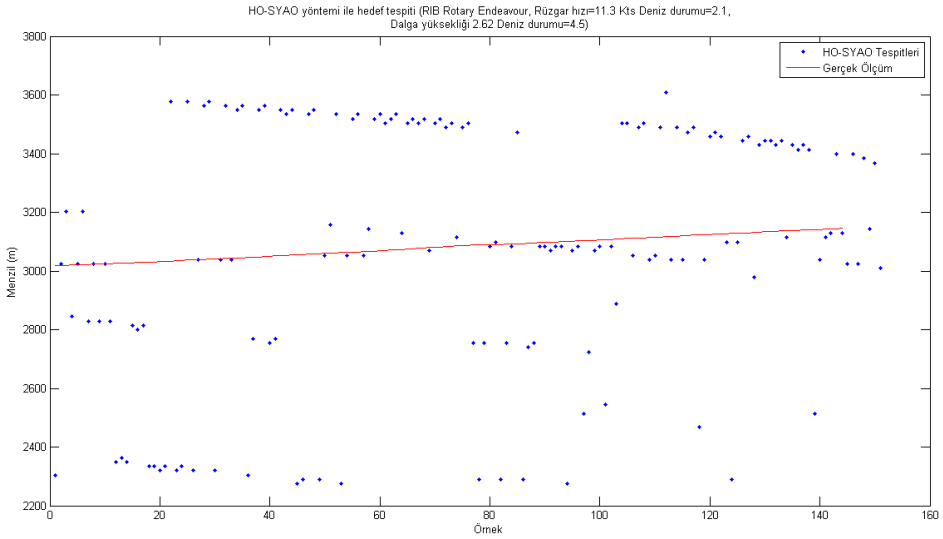
Şekil 6.22 SANParks RIB teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller



Şekil 6.23 SANParks RIB teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark



Şekil 6.24 SDD-SMM yönteminin farklı ana dalgacık kullanılarak tespit performansı



Şekil 6.25 RIB_Rotary Endeavour teknesi için HO-SYAO yöntemi ile hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller

7. TÖİ YÖNTEMİ İÇİN KULLANILABİLECEK ÇOKLU-FRAKTAL ve SMM TABANLI HEDEF MANEVRA TESPİTİ

Deniz parazit yankısı radar darbesinin deniz yüzeyinden geri saçılması sonucunda radar alıcısında elde edilen sinyallerdir. Parazit yankılı ortamda düşük sinyal-güç oranına sahip hedeflerin etkin bir şekilde tespiti kıyı gözetleme, navigasyon, v.b. radar uygulamaları için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Denizdeki dalgaların çok sayıda olması ve neredeyse sonsuz sayıda yansıma açısına sahip olmaları nedeniyle, deniz parazit yankısı, özellikle ağır deniz koşullarında, yüksek miktarda Gauss olmayan bir karakteristiğe sahip olmaktadır. Bundan dolayı, deniz parazit yankısının modellenmesi zor bir problem olmuş ve literatürde üstünde çok fazla çalışma yapılan bir konu haline gelmiştir. Geleneksel yöntemler deniz parazit yankısını, temel istatistiksel yöntemler kullanarak ifade etmeye çalışmıştır. Deniz parazit yankısını karakterize etmeye çalışan bu istatistiksel yöntemlerin güvenilirliği hem tespit algoritmasının optimal tasarımı hem de performans ölçümleri açısından önem taşımaktadır. Deniz parazit yankısının Gauss olmayan yapısı araştırmacıları Weibull, log-normal, K vb. dağılımlar ile modellemeye yöneltmiştir (Schileher 1976, Sekine vd. 1980, Ward 1981, Nohara ve Haykin 1994, Hu vd. 2009, Roy ve Kumar 2010, Rosenberg vd. 2010). Bu dağılımlar aynı zamanda yapay sinir ağları veya parazit yankı süzgeçleri ile birleştirilerek deniz parazit yankısında hedef tespiti için de kullanılmıştır (Vicen-Bueno vd. 2011, Shi ve Shui 2011). Bu istatistiksel modellerin en temel dezavantajı parazit yankıyı oluşturan ortam koşullarını dikkate almamasıdır. Buna ek olarak, bu dağılımlar ile gerçek parazit yankı verileri arasındaki uyum yeterli olmadığından bu tip istatistiksel modellerin kullanımı parazit yankının analitik ve fiziksel olarak anlaşılabilmesinde eksik kalmaktadır. Bahsi geçen istatistiksel modellerdeki kısıtlamaların üstesinden gelebilmek için kaos ve fraktal teoriyi kullanan alternatif yaklaşımlar kullanılmaktadır. Haykin ve Leung (1990)'un çalışması deniz parazit yankısının analizi için kaos teorisini uygulayan ilk çalışma olmuş ve deniz parazit yankısının kaotik yapıda olduğunu ortaya koymuştur. Daha sonra yapılan çalışmalarda deniz parazit yankısının kaotik yapısı üzerinde daha detaylı durulmuş ve hedef tespit problemine uygulanabilirliği test edilmiştir (Nan ve Haykin 1992, Leung 1995, Haykin ve Puthusserypady 1997). Bu alandaki araştırmalar ilerledikçe ve daha geniş gerçek radar veri kümesi kullanıldıkça, aslında deniz parazit

yankısının belirli bir kaotik olgudan üretilemediği sonucuna varılmıştır (Haykin vd. 2002, Unsworth vd. 2002, McDonald ve Damini 2004, Haykin 2007).

Fraktal teorisi karmaşık grafikleri tanımlamak ve işlemek amacıyla Mandelbrot tarafından ortaya konulmuş bir yöntemdir (Mandelbrot 1982). Fraktal teori, pürüzlü ve düzensiz geometrik nesneleri incelemektedir. Bu yöntem rassal süreçlerde ve gerçek sistemlerde oldukça bulunan kendine benzerlik ve ölçek değişimsizliği ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Fraktal bir nesne alt parçalarına ayrıldığında, her bir alt parça bütünün küçük bir kopyası olmaktadır. Fraktal geometrisi fraktal boyut ile ifade edilmektedir ve ilgilenilen nesnenin yapısal karmaşıklığını göstermektedir. Fraktal teori özellikle görüntü, akustik ve radar sinyal işleme gibi alanlarda kullanılan bir yöntem haline gelmiştir (Lo vd. 1993, Germain vd. 2003, Summers vd. 2005, Berizzi vd. 2006, Dimoulasa vd. 2007). Lo vd. (1993) deniz parazit yankısı içinde hedef tespitinde tekli-fraktal boyutu kullanan ilk araştırmacı olmuştur. Salmasi ve Modarres-Hashemi (2009) radar ölçümlerini kullanarak elde edilen fraktal boyutların Gauss dağılımına yakınsadığını ortaya çıkararak, yüksek çözünürlüklü radarlar için fraktal boyut tabanlı CFAR hedef tespit yöntemi geliştirmişlerdir. Savaidis ve Frangos (1995)'un çalışmaları ise deniz yüzeyinden saçılan elektromanyetik sinyallerin fraktal özellik taşıyabileceğini bir başka deyişle, saçılan sinyallerin fraktal özelliğinin deniz yüzeyinin fiziksel yapısında bulunan kendine benzerlikleri yansıtabileceğini göstermiştir. Araştırmalar ilerledikçe, tekli-fraktal boyutun parazit yankının yerel yapısını iyi ifade edemediği saptanmıştır. Özellikle sert deniz koşullarında hedef ve parazit yankının tekli-fraktal boyut yöntemiyle birbirinden ayırt edilemediği görülmüştür. Deniz parazit yankı sinyal seviyelerinin istatistiksel dağılımı ve zamansal ilintileri incelendiğinde, çoklu-fraktal teorinin parazit yankı genliklerini daha iyi ifade edebileceği görülmüştür (Hu vd. 2009). Bunun nedeni olarak tekli-fraktal boyutun deniz parazit yankısının sadece global özellikleri hakkında bilgi verdiği, yerel değişimleri ise ihmal etmesi olarak düşünülebilir. Çoklu-fraktal yapı, çoklu ölçek fraktal olarak da adlandırılabilmektedir; bütün bir fraktal yapıyı oluşturan kendisinden küçük ve farklı fraktal boyutlara sahip alt kümelerden oluşmaktadır. Çoklu-fraktal analiz, ilgilenilen sinyali fraktal kümelerin hiyerarşisine ayrıştırarak, karmaşıklık yayılımını değişik oranlarda karakterize etmektedir. Bu anlamda, deniz yüzeyi türbülanslı bir yapıya sahip olduğundan ve bu

türbülansın deniz yüzeyinde farklı oranlarda yayılım göstermesinden parazit yankının çoklu-fraktal bir yapıya sahip olabileceği söylenebilmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar, deniz parazit yankısının fraktal yapısının hedefin varlığından etkilendiğini göstermektedir (Lo vd. 1993). Diğer bir deyişle, hedefin varlığı fraktal geometriye sahip deniz yüzeyi üzerinde düzensizliğe veya tekilliğe neden olmaktadır. Tekillikler sinyal içerisinde önemli bilgiler içerebilmektedir. Düzenli bir fraktal yapıya sahip bir sinyal üzerinde tekilliklerden oluşan tepe değerleri gibi geçici sinyaller hedef tespiti açısından önemli bir öznitelik olabilmektedir. Fourier dönüşümü uzun bir süre tekillikleri tespit edebilmek amacı ile kullanılan temel araç olmuştur. Bununla birlikte Fourier dönüşümü sinyalleri global anlamda analiz etmekte ve yerel düzensizlikleri tespit etmekte yetersiz kalmaktadır. Dalgacık Dönüşümü Modulus Maxima (DDMM) literatürde düzensizliklerin etkin ve doğru olarak tespitinde kullanılan bir yöntem olarak bilinmektedir. Dalgacık dönüşümü kullanmanın en önemli avantajı belirlenen bir noktada bulunan fonksiyonun tekilliğini karakterize edebilmesidir (Mallat ve Hwang 1992). Dalgacık dönüşümü ilgilenilen sinyali hem zaman hem de frekans bölgesinde temel yapıtaşlarına ayrıştırarak, yerel tekillikleri daha etkin olarak belirleyebilmektedir. Dalgacık dönüşüm katsayılarının yerel olarak en büyük olduğu noktalar tekilliklerin analizi için yeterli bilgi sağlamaktadır.

Bölüm 6'da önerilen yöntemin sahip orduğu dezavantaj hedef tespit probleminde performans düşürücü bir etkiye neden olmaktadır. Sürekli dalgacık dönüşümünün bir çeşit uyumlu süzgeç yapısı göstermesi, ana dalgacık fonksiyonunun iyi seçilmediği durumlar için hatalı tespitlere neden olabilmektedir. Bu bölümde tespit performansını iyileştirmek amacıyla Dalgacık Dönüşümü Modulus Maxima tabanlı Çoklu-fraktal Biçimcilik yöntemi ve SMM kullanımı ile deniz parazit yankılı ortamda gerçek radar ölçüm verileri kullanılarak suüstü hedeflerinin tespiti için bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen SMM tabanlı yöntemde hedef ve parazit yankılı modeller oluşturulmuştur. Her bir darbe aralığı içerisindeki sinyallerin dalgacık dönüşümü modülüs maxima ile çoklu-fraktal analizi yapılarak, en yüksek fraktal katsayıya sahip sinyalin menzil değeri bulunmuştur. Ardışık 10 darbe aralığından elde edilen menzil değerleri SMM algoritması için gözlem verisi olarak kullanılmıştır. Parazit yankı ve hedef modelleri

yeterli miktarda gözlem verisi ile Baum-Welch algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Son olarak, radar gözlem verileri üzerinden tespit işlemi Viterbi algoritması ile yapılmıştır.

7.1 Dalgacık Dönüşümü Modulus Maxima ile Tekillik (Singularity) Tespiti

Doppler radar sistemlerinde darbe şeklindeki elektromanyetik enerji hedefe doğru gönderilir. Hedeften dönen elektromanyetik darbe radar alıcısı çıkışındaki sinyalde keskin bir değişime neden olmaktadır. Matematiksel olarak, bu değişim tekillik olarak bilinmektedir.

Sinyal hakkındaki bilginin çoğu tekillik olarak tanımlanan, sinyal içindeki düzensiz ve geçici yapılar içerisinde bulunmaktadır. Bu tekillikleri bulmanın en bilinen yolu dalgacık dönüşümüdür (Mallat 1997). Dalgacık dönüşümü sinyali hem zaman hem de frekansta iyi lokalize olmuş temel yapıtaşlarına çözümleme yeteneği sayesinde, sinyal içerisindeki düzensizlikleri tespit edebilmektedir.

Sinyalin çok-çözünürlüklü (multiresolution) gösterimini sağlamak için dalgacık dönüşümü kullanılması literatürde bilinen bir yöntemdir. Dalgacık Dönüşümü Modulus Maxima (DDMM) kavramı ise ilk olarak Mallat ve Zhong (Mallat ve Zhong 1992) tarafından literatüre kazandırılmış daha sonra Muzy vd. (1991) tarafından türbülanslı akış analizinde bazı problemleri çözmek amacıyla kullanılmıştır. DDMM'deki temel fikir, sinyalin çok-çözünürlüklü iskeletini oluşturarak sinyalin tam bir tanımını sağlamak ve her ölçeğin etkilediği yapıları birbirinden ayırmaktır (Muzy vd. 1991, Bacry 1993 ve Struzik 2000). Çok-çözünürlüklü iskelet DDMM'in çizgileri olup, SDD'nin yerel olarak en büyük olduğu noktaların birleşmesinden oluşmaktadır. Literatürde ölçek-uzay düzlemindeki bu çizgilerin tanımladığı iskeletin, tekilliklerin hiyerarşik yapısını ortaya çıkardığı belirtilmiştir (Muzy vd. 1991).

Literatürde yerel tekillik derecesi genellikle Hölder üsteli (h) (Lipschitz üsteli olarak da bilinir) ile ifade edilmektedir. Derecesi $n < h$ olan bir P_n polinomunu ele alalım.

$$|f(x) - P_n(x - x_0)| \leq C|x - x_0|^h \tag{7.1}$$

Eşitlik 7.1'ü sağlayan tüm *h* değerleri x_0'daki tekilliğinin Hölder üsteli, $h(x_0) \in (n, n+1)$, olarak adlandırılmaktadır. P_n sıkça *f(x)*'in x_0 etrafındaki Taylor açılımı ile de ilişkilendirilmektedir, fakat Eşitlik (7.1) bu açılım sağlanmasa da geçerli olmaktadır. Bu bakımdan Hölder üsteli her bir *f* noktası için tanımlanan bir fonksiyon olmakta ve yerel düzenliliği ifade etmektedir.

Fonksiyon *f(x)"*in $x = x_0$ olduğu durumdaki dalgacık dönüşümü $W^{(n)}f(x)$ ile gösterilsin ve dalgacığın en az *n* adet sıfırlanan momenti olsun (*n* dereceye kadar olan polinomlar ile ortogonal).

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^m \psi(x) dx = 0 \qquad \forall m, 0 \leq m < n \tag{7.2}$$

Gösterim açısından, *f(x)* fonksiyonunun x_0'da Hölder üsteli $h(x_0)$ ile gösterilebildiği kabulu yapılsın.

$$f(x)_{x_0} = c_0 + c_1(x - x_0) + \cdots + c_n(x - x_0)^n + C|x - x_0|^{h(x_0)} \tag{7.3}$$

Bu durumda, en az *n* adet sıfırlanan momente sahip dalgacık dönüşümü $W^{(n)}f(x)$ Eşitlik 7.4 ile tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} W^{(n)}f(s, x_0) &= \frac{1}{s}\int C|x - x_0|^{h(x_0)} \psi\left(\frac{x - x_0}{s}\right) dx \\ &= C|s|^{h(x_0)} \int |x'|^{h(x_0)} \psi(x') dx' \end{aligned} \tag{7.4}$$

Bu durumda, $f(x_0)$ tekilliğinin dalgacık dönüşümünde Eşitlik 7.5'deki ilişki söz konusudur.

$$W^{(n)}f(s, x_0) \sim |s|^{h(x_0)} \tag{7.5}$$

Ayrıca literatürde Holder üsteli, dalgacık dönüşümü ile her bir ölçekteki yerel modulus maxima bulunarak da hesaplanabilmektedir. Dalgacık Dönüşümü Modulus Maxima (DDMM) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

- $\frac{d(Wf(x))}{dx}$ 'in x değiştiğinde $x = x_0$'da sahip olduğu sıfır geçişi yerel en uç nokta olarak tanımlanmaktadır.
- x_0 modulus maxima noktasıdır öyle ki;
  $|Wf(x)| < |Wf(x_0)|$

  Burada x, x_0'ın sağ ya da sol komşuluğunda olabilir; veya

  $|Wf(x)| \leq |Wf(x_0)|$

  Burada x, x_0'ın zıt komşuluğundadır.
- Tüm modulus maxima noktalarını birleştiren eğriye maxima çizgisi adı verilmektedir.

7.2 Çoklu-fraktal Biçimcilik (Multifractal Formalism)

Medikal ve finansal zaman serileri ve türbülanslı sinyaller çok fazla düzensizlik içeren gerçek hayat sinyalleridir. Doğada gözlemlenen bir çok yapı fraktaldır. Bu yapılar, kendine benzer ölçekleme özelliğine sahip özyinelemeli hiyerarşik yapılardır. Fraktal analiz, tekilliklerin noktasal ölçümlerini kullanmaktadır. Çoklu-fraktal sinyallerde tekillik, noktadan noktaya değişmektedir. Bu tekilliklerin dağılımı bilmek, bu tip sinyalleri anlamak için önem taşımaktadır (Mallat ve Hwang 1992).

Noktasal tekilliklerin matematiksel olarak Lipschitz (veya Hölder) üsteli ile ifade edilebildiği Bölüm 7.1'de anlatılmıştı. Bununla birlikte, bu noktadaki dağılımın gücü ise literatürde Hausdroff boyutu (aynı zamanda kapasite boyutu olarak da bilinir) ile ifade edilmekte ve kutu sayma (box-counting) yöntemiyle hesaplanmaktadır. Diğer yandan noktasal analiz yönteminin kullanımı, mevcut olan verilerin sonlu çözünürlükte olmasından dolayı pek mümkün olmamaktadır. Bu yüzden tekillik dağılımı global ölçümlerden üretilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, DDMM kullanılarak fraktal boyut hesaplanabilmektedir (Mallat 1997).

Dalgacık dönüşümü tekillikleri tespit etme konusunda etkin bir yöntemdir. Uygun bir dalgacık seçilerek dalgacık dönüşümü tekillik davranışını tahmin ederken, sinyalin düzenli davranışından etkilenmeyen matematiksel bir mikroskop haline gelebilmektedir.

Çoklu-fraktal bir sinyali analiz edebilmek için bölüm fonksiyon tabanlı çoklu-fraktal biçimcilik tanımlanmıştır. Eğer bir sinyal *s* ölçeğinde *n* adet modulus maxima ya sahipse, bölüm fonksiyonu *Z(q,s)* tüm maxima noktaları üzerinden aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$Z(q,s) = \sum_p |Wf(u_p, s)|^q \tag{7.6}$$

q büyük olduğu durumda yoğun bölgeler (büyük ölçekte sinyal değişimi), negatif olduğu durumda ise yumuşak bölgeleri (küçük ölçekte sinyal değişimleri) vurgulamaktadır. Ölçekleme üsteli $\tau(q)$ her q momenti için hesaplanmaktadır

$$\tau(q) = \lim_{s\to 0} inf \frac{\log Z(q,s)}{\log s} \tag{7.7}$$

Bunun anlamı,

$$Z(q,s) \sim s^{\tau(q)} \tag{7.8}$$

Bu nedenle,

$$\tau(q) = \frac{\log Z}{\log s} \tag{7.9}$$

Sinyal çoklu-fraktal olduğu zaman $\tau(q)$ Legendre dönüşümü ile Eşitlik 7.10'daki gibi ifade edilmektedir.

$$\tau(q) = \min(q\left(\alpha + \frac{1}{2}\right) - D(\alpha)) \tag{7.10}$$

DDMM-ÇFB prosedürü:

1. *SDD katsayılarını hesapla:* Uygun bir dalgacık seçildikten sonra Eşitlik 6.1 kullanılarak katsayılar hesaplanır.
2. *Modulus maxima ile yerel en büyük SDD katsayılarını bul:* Her ölçek için dalgacık katsayılarının mutlak değerinin yerel en büyük olduğu noktalar bulunur.
3. *Maxima çizgilerini birleştir:* Verilen bir ölçekteki yerel en büyük noktaların daha küçük ölçeklerdeki en büyük noktalara olan yakınlığı kontrol edilir. Böylece ölçek uzayında, tüm noktaları modulus maxima olan maxima çigileri oluşturulmuş olur.
4. *Bölüm fonksiyonu hesaplanır:* Maxima çizgileri boyunca SDD katsayılarının en büyük olduğu değerler toplanarak *Z(r,p)* Eşitlik 9'e göre oluşturulur.
5. *Ölçekleme üsteli oluşturulur.* $\tau(q)$ Eşitlik 7.10'a göre oluşturulur.
6. *Çoklu-fraktal spektrum hesaplanır*

$$D(\alpha) = \min_{q\in\mathbb{R}}(q\left(\alpha + \frac{1}{2}\right) - \tau(q)) \qquad (7.11)$$

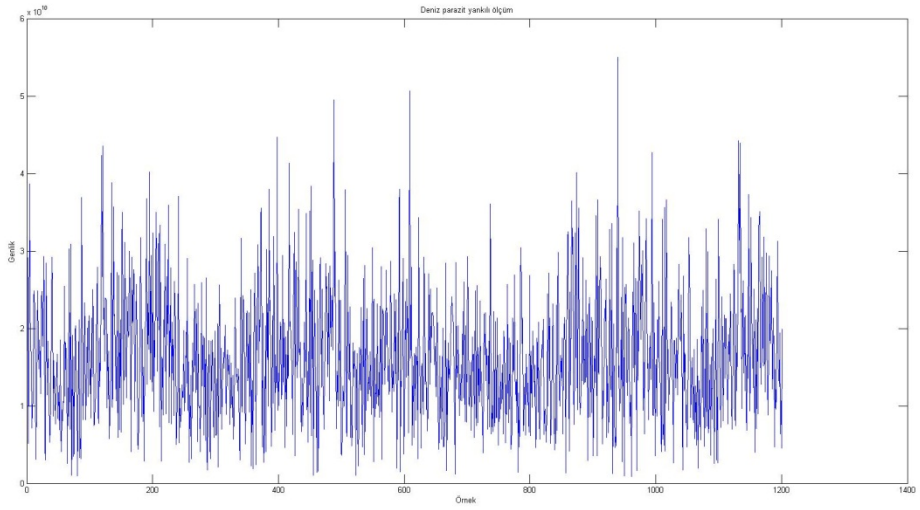
$D(\alpha)$ tekillik spektrumu olarak adlandırılmaktadır ve α Lipschitz tekilliğinin değişik ölçeklerdeki oranını göstermektedir.

Literatürde deniz parazit yankısının fraktal yapıda olduğunu belirten çalışmalar bulunmaktadır (Morrison ve Srokosz 1993, Martorella vd. 2004). Buna ek olarak, deniz parazit yankısının muhtemel karmakarışık (chaotic) davranışı üzerine de çalışmalar yapılmıştır (Haykin 1999, Haykin ve Puthusserypady 1997).

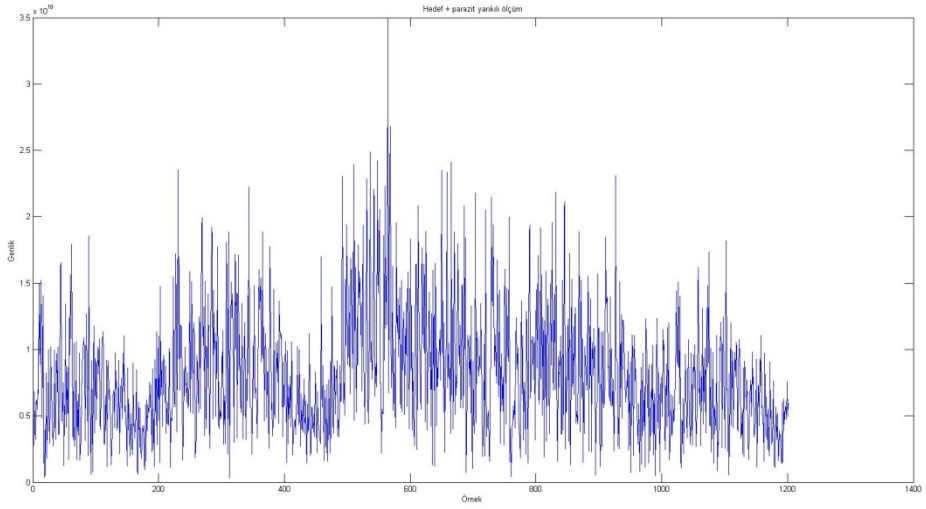
7.3 Öznitelik Vektörünün Belirlenmesi

Öznitelik vektörü SMM tespit algoritmasının en önemli parçasıdır. Hedefin varlığı fraktal geometriye sahip deniz yüzeyi üzerinde düzensizliğe veya tekilliğe neden olmaktadır. Burada amaç, düzenli bir fraktal yapıya sahip bir sinyal üzerinde hedefin

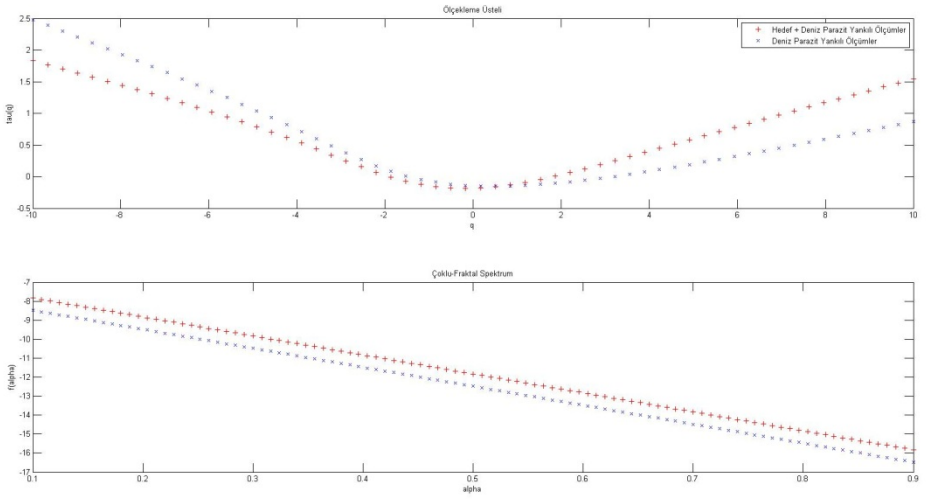
varlığı sonucu oluşan tepe değerlerini (tekillikleri) tespit edebilmektir. DDMM bu düzensizliklerin etkin ve doğru olarak tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Bu tez kapsamında SDD ana dalgacığı olarak Bölüm 6.2'de anlatılan karmaşık Morlet dalgacığı kullanılmıştır. Şekil 7.1'de CSIR veritabanından alınmış deniz parazit yankılı, şekil 7.2 ise deniz parazit yankılı ortamda hedef içeren ölçümler verilmektedir. Şekil 7.3'de ise, şekil 7.1-7.2'de verilen ölçümlerin çoklu-fraktal spektrumu gösterilmektedir. Şekil 7.3'de görüldüğü üzere deniz parazit yankısı çoklu-fraktal bir yapıya sahiptir, bunun nedeni olarak $\tau(q)$'nun q'ya göre doğrusal olarak değişmemesi gösterilebilmektedir (Hu vd. 2006). Şekil 7.3'de görülen bir diğer özellik ise çoklu-fraktal spektrumun değişimidir. Şekilden de görülebildiği üzere, hedefin varlığı çoklu-fraktal yapıyı daha da artırmaktadır. Bu amaç ile, öznitelik vektörü olarak fraktal boyutun en büyük olduğu menzil kapısı ve kerteriz değerlerine ek olarak, bu değerlerin 1, 2 ve 3'üncü dereceden fark katsayıları da eklenmiştir. Fark katsayılarının hesabında Eşitlik 5.28 kullanılmıştır.



Şekil 7.1 Radar alıcısındaki deniz parazit yankılı ölçüm



Şekil 7.2 Radar alıcısındaki hedef + deniz parazit yankılı ölçümler



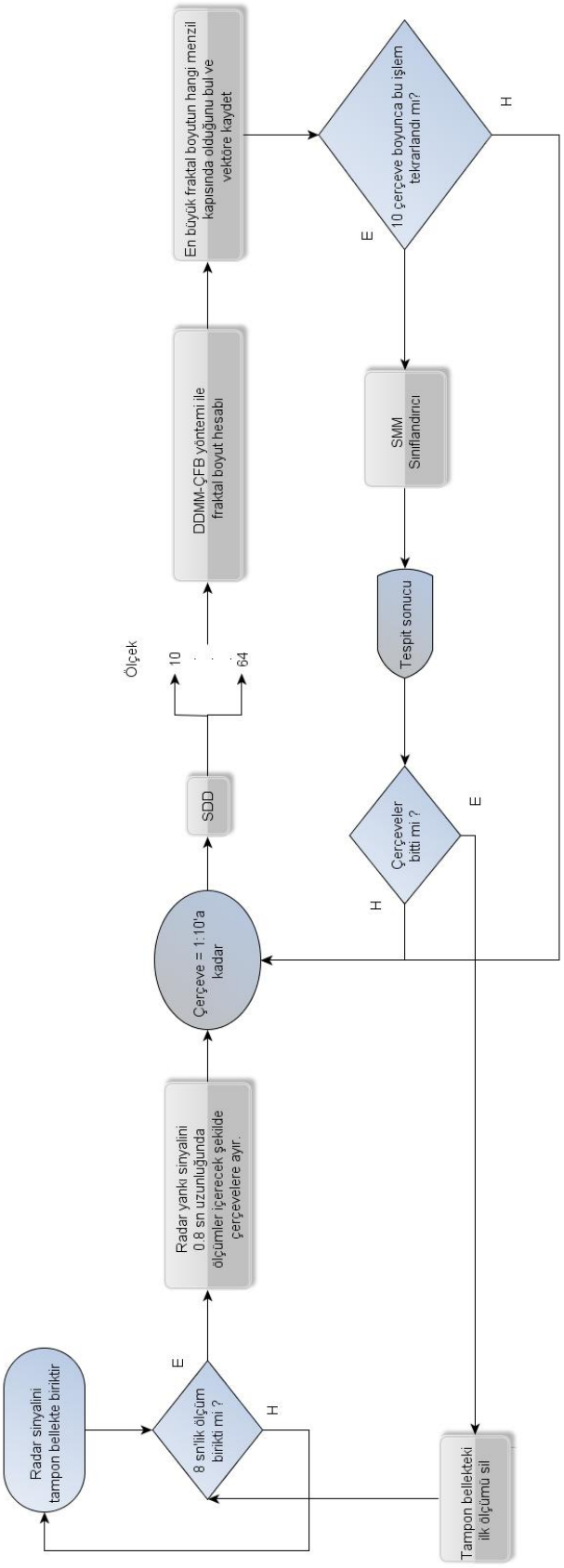
Şekil 7.3 Parazit yankı ve hedef + parazit yankı ölçümleri için çoklu-fraktal spektrum

7.4 Hedef Tespit Süreci

Hedef radar huzmesi içinde bulunduğunda çok sayıda radar sinyali yansıtmaktadır. Hedeften dönen tüm sinyalleri ekleyerek radar alıcısındaki sinyal güç oranı iyileştirilebilmektedir. Yansıyan sinyallerin toplanması işlemine darbe birleştirmesi adı verilmektedir. Bu amaç ile darbe birleştirmesi için benzetimlerde en uygun sonucu veren 800 ms'lik darbe aralığı seçilmiştir. SMM topolojisi olarak ise Bölüm 6.6'da kullanılan yapı alınmıştır.

Hedef tespiti ardışık radar taramaları üzerinden yapılmaktadır. Şekil 7.4'de hedef tespit süreci verilmektedir.

1. İlk adım her bir menzil kapısındaki darbe aralığı içindeki radara gelen sinyallere SDD uygulanmasıdır. SDD katsayılarını belirleyen parametreler dalgacık bant genişliği, merkez frekansı ve ölçektir. Benzetimlerde karmaşık Morlet dalgacığı kullanılmıştır. Hedeften yansıyan darbeler düşük frekanslı bileşenleri içerdiğinden 11-64 arası ölçek seçilmiş ve bu aralık 100 eşit parçaya bölünerek daha yüksek bir zaman-frekans çözünürlüğü sağlanmaya çalışılmıştır .
2. İkinci adımda DDMM-ÇFB yöntemi kullanılarak hedefin bulunabileceği muhtemel menzil kapıları tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu amaç ile SDD katsayıları kullanılarak Bölüm 7.2'de anlatılan prosedür kullanılarak her bir menzil kapısı için fraktal boyut hesaplanmaktadır. Sonuçta hesaplanan fraktal boyutlar içerisinden en büyük katsayı seçilir ve bu katsayıların hangi menzil kapısında olduğu hesaplanır.
3. Adım 1 ve 2, *N* zaman adımı kadar tekrarlanır, sonuçta bulunan menzil kapıları biriktirilir.
4. Üçüncü adım SMM ile menzil kapılarının değişiminden hedef tespiti yapılmasıdır.



Şekil 7.4 Hedef tespit süreci

7.5 Benzetim Sonuçları

SMM tespit yönteminin amacı gözlem verisinin değişiminden hedef tespiti yapmaya çalışmaktır. Bu amaç ile hedef tespiti ardışık zaman adımları üzerinden yapılmaktadır. Bölüm 7.4'de anlatılan prosedür kullanılarak her darbe aralığı için DDMM yöntemi kullanılarak hesaplanan fraktal boyutun en büyük olduğu menzil kapısı SMM modelleri için gözlem dizisine karşılık gelmektedir.

Tespit işlemi ardışık 10 darbe aralığı (8 sn) elde edilen menzil kapılarının değişiminden gerçekleştirilmektedir. Oluşturulan 8 sn'lik çerçeve kayan pencere şeklinde gözlem dizisine karşılık gelen radar sinyali üzerinde hareket ettirilmektedir. Bunun sonucu olarak önerilen yöntem sadece başlangıçta tampon bellek dolana kadar 8 sn'lik bir gecikmeye sahip olmaktadır. Tespit işleminin sonucunda parazit yankı, ve hedef seçeneklerinden biri işaretlenmektedir. Şekil 7.7-7.8'den de görülebildiği gibi, hedef ve parazit yankıya ait menzil kapısının zamana göre değişimleri arasında belirgin bir ayrım vardır. Bu ayrım, hedef tespit performansını etkileyen en büyük etken haline gelmektedir.

Deniz yüzeyindeki düzensizlik rüzgar ve suyun etkileşiminden kaynaklanmaktadır ve bu etkileşim doğrusal değildir. Buna ek olarak deniz parazit yankı sinyali hedefe kıyasla daha hızlı dalgalanmaya sahiptir. Hedeften yansıyan sinyal ise daha kalıcı ve sabittir. SDD'nin etkin bir zaman-frekans çözünürlüğüne sahip olması hedef tespit başarımını yükseltmektedir. Şekil 7.5-7.6'da sırasıyla parazit yankı ve hedef+parazit yankı içeren örnek ölçümlere ait her bir dalgacık katsayısının enerji yüzdeleri gösterilmektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere hedeften yansıyan sinyaller düşük frekanslı, deniz parazit yankı ise daha çok yüksek frekanslı bileşenler içermektedir. Hedeften yansıyan radar sinyalinin alıcıda düşük frekans bileşenlerini etki etmesi, sadece yüksek seviyedeki ölçeklere ait SDD katsayılarının analizini yeterli kılmaktadır. Bu amaç ile dalgacık dönüşümünde 10-64 ölçek aralığı kullanılmıştır.

Şekil 7.6'den de görülebileceği üzere yüksek ölçekteki SDD katsayılarında, rüzgar-deniz etkileşiminden kaynaklı düzensizlikler en az olmaktadır. Bu durum düşük

frekanslarda, rüzgarın deniz yüzeyindeki etkisi az olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuç, hedef kaynaklı düzensizliklerin yüksek ölçekteki SDD katsayılarında daha baskın olabileceği anlamına gelmektedir. Burada kullanılan yöntemin temel amacı DDMM tabanlı Çoklu-fraktal Biçimcilik kullanılarak radar yankısı içindeki düşük frekanslarda bulunan, hedeften kaynaklı tekillikleri tespit etmektir.

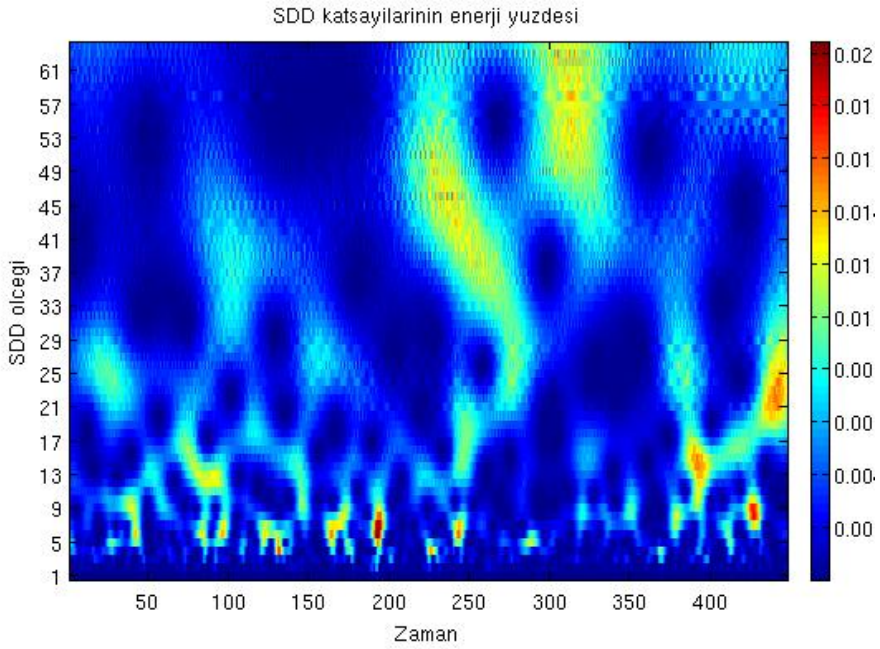
Şekil 7.9-7.16 veritabanında kullanılan hedef türleri için tespit performansını gerçek ölçümlerle karşılaştırmaktadır. Şekillerde ilk önce hedefin rotasını göstermek amacı ile gerçek ve tespit edilen menzil değerleri, sonra da menzil farkları çizdirilmiştir. DDMM-ÇFB-SMM yöntemi hedefin hangi menzil kapısında bulunduğunu tespit etmektedir. Bu yüzden hedefin yeri, tespit edildiği menzil hücresinin ortası olarak kabul edilmiştir. Her bir menzil kapısı 15 m büyüklüğünde olduğundan, bu kabul sonucunda doğru menzil kapısında tespit edilen hedefin gerçek menzilinden sapma miktarı $\pm 7.5\ m$ aralığındadır. Yanlış menzil kapısında yapılan tespitler içinse bu fark daha da yüksek olmaktadır.

Denemeler sonucunda DDMM-ÇFB-SMM yönteminin SDD-SMM yönteminden daha iyi çalıştığı görülmüştür. Özellikle analiz aralığını yüksek ölçeklerdeki SDD katsayıları üzerinde daraltılması yüksek frekanslı bileşenlerden (deniz parazit yankısına ait olabilecek) kaynaklanan etkiyi en aza indirgemektedir. Diğer bir performans artırıcı etmen ise SDD-SMM yönteminde olduğu gibi sadece tek ölçek bazında SDD katsayılarının ilinti değeri ile sınırlı kalmayıp, modulus maxima çizgilerini oluşturarak ölçekler arası ilişkiyi de ortaya koymasıdır. Bu sayede hedeften kaynaklı tekillikler dalgacık ölçekleri arasında ilişki kurularak daha net tespit edilebilmektedir. DDMM-ÇFB-SMM yöntemi çoklu-fraktal radar sinyalinin çoklu-fraktal spektrumunu oluştururlen SDD-SMM yöntemi gibi sürekli dalgacık dönüşümü kullanmakla birlikte aralarında fark bulunmaktadır. SDD-SMM yöntemi hedef yüzeyinden yansıyan radar sinyalini tespit etmeye çalışırken, DDMM-ÇFB-SMM yöntemi ise hedefin deniz yüzeyinin fraktal yapısı üzerinde oluşturduğu tekillikleri tespit etmeye çalışmaktadır. Bu anlamda her iki yöntem de tespit yaparken SDD'nin uyumlu süzgeç yapısından yararlanırken, tespit etmeye çalıştıkları sinyal karakteristikleri bakımından farklıdır. SDD-SMM yöntemi hedef yüzeyinden yansıyan radar sinyalini tespit etmeye çalışmaktadır, bu yüzden de hedef yüzeyinin fiziksel yapısının iyi bilinip buna uygun

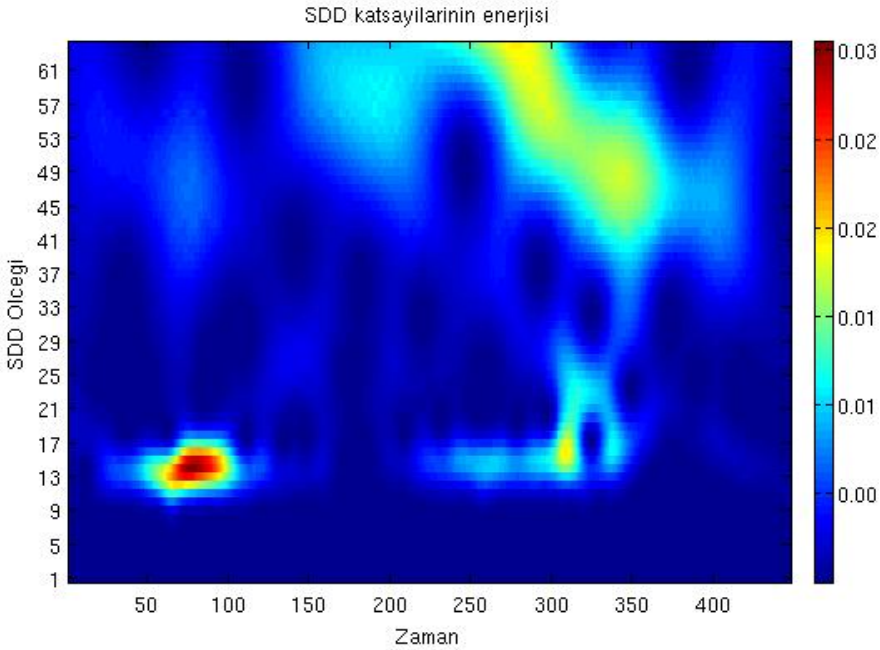
ana dalgacık tasarlanması gerekmektedir. Buna ek olarak hedef yüzeyinin karakteristiği yüzey boyunca değişime uğradığından tek bir ana dalgacık ile hedef tespiti yapılabilmesi mümkün gözükmemektedir. Bununla birlikte DDMM-ÇFB-SMM yönteminde de SDD-SMM yönteminde olduğu gibi, ana dalgacık fonksiyonunun tespit edilmek istenen sinyale göre tasarlanması gerekmektedir. Buna rağmen DDMM-ÇFB-SMM yöntem daha yüksek tespit yüzdesine sahiptir. Bunun nedeni olarak tespit edilmek istenen sinyalin bir suüstü gemisinin yüzeyi gibi özelleşmiş bir yapı yerine, deniz yüzeyi gibi daha genel bir karakteristiğe sahip olmasıdır. Şekil 7.17'de farklı ana dalgacıklar (Haar, Mexican Hat ve Meyer) kullanılarak DDMM-ÇFB-SMM yönteminin tespit performansı verilmektedir. Şekilden de görülebildiği üzere, seçilen ana dalgacık tespit performansını direkt olarak etkilemektedir. Şekil 17'de görüldüğü üzere deniz yüzeyinde oluşan hedef kaynaklı düzensizlikleri (tekillikler) en iyi tespit eden ana dalgacık karmaşık Morlet dalgacığıdır. Bu yüzden hedefin bulunduğu menzil hücrelerinde çoklu fraktal spektrumdaki değişimler en büyük olmakta ve hedef rotasını takip etmektedir. CSIR veritabanı kullanılarak yapılan denemelerde, DDMM-ÇFB-SMM yöntemi hedefi rotası boyunca rüzgar hızının 11.3 kts (Deniz durumu = 2.1) ve dalga yüksekliğinin 2.62 m (Deniz durumu = 4.7) olduğu koşullara kadar hedef tespit yüzdesi hedef türlerine göre çizelge 7.1'de verilmektedir.

Çizelge 7.1 Manevra tespit performanslarının karşılaştırılması

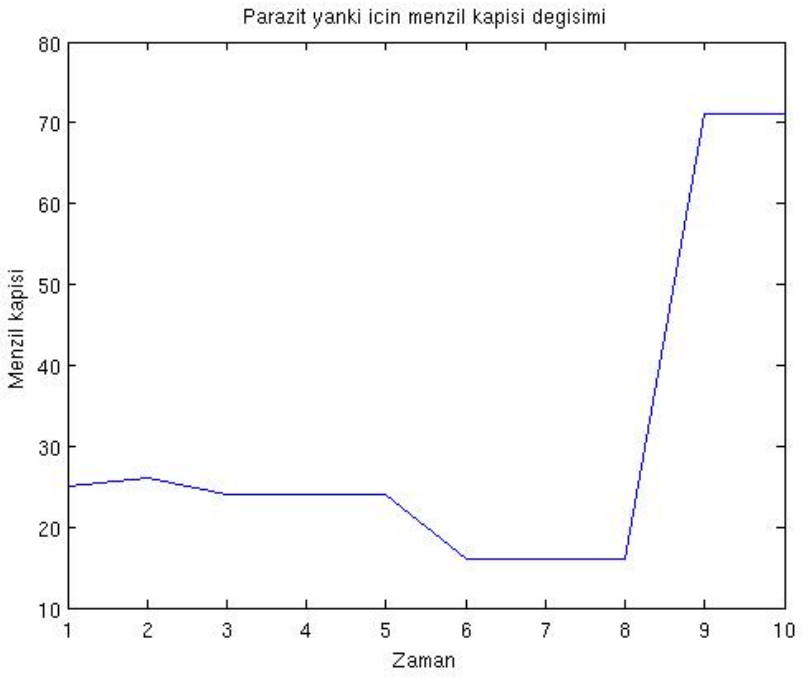
	MTU Tespit Olasılığı	Pencilduck Tespit Olasılığı	Rib_Rotary Tespit Olasılığı	SANParks Tespit Olasılığı
SDD-SMM	86 %	84 %	86 %	63 %
DDM-ÇFB-SMM	95%	89%	92%	91%



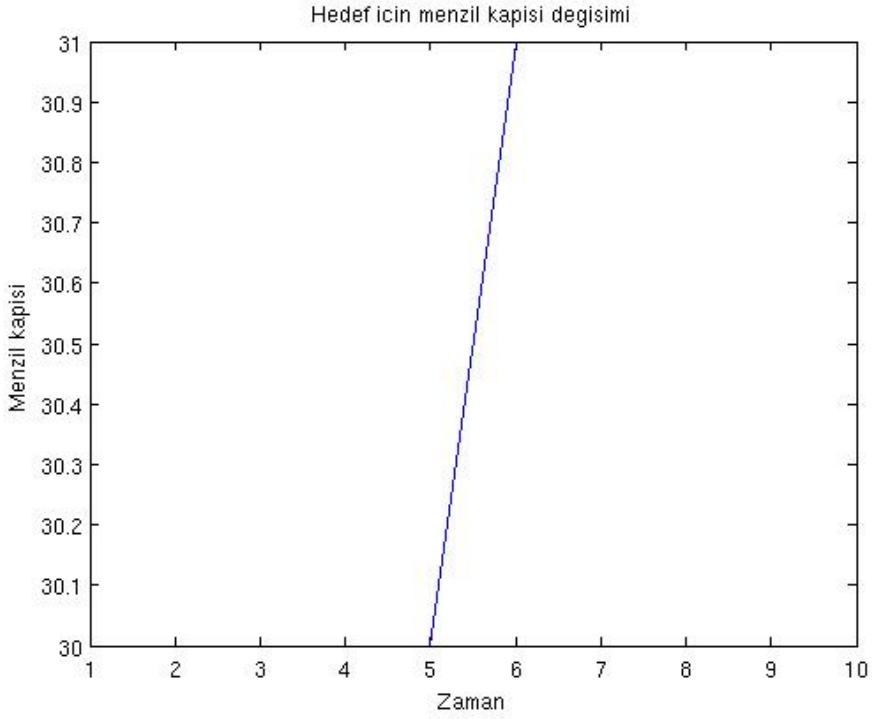
Şekil 7.5 Parazit yankılı ölçümlerden elde edilen SDD katsayılarının enerjisinin ölçeğe göre değişimi



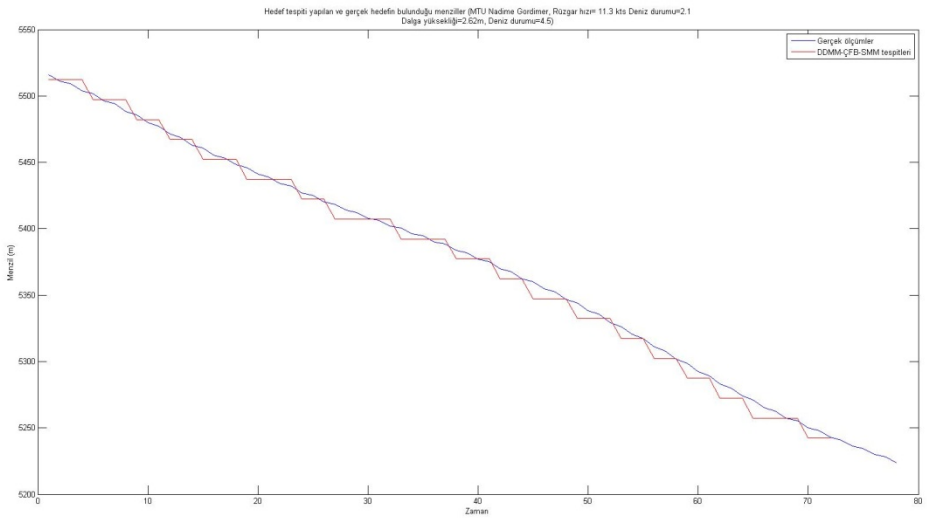
Şekil 7.6 SDD Hedefin bulunduğu ölçümlerden elde edilen SDD katsayılarının enerjisinin ölçeğe göre değişimi



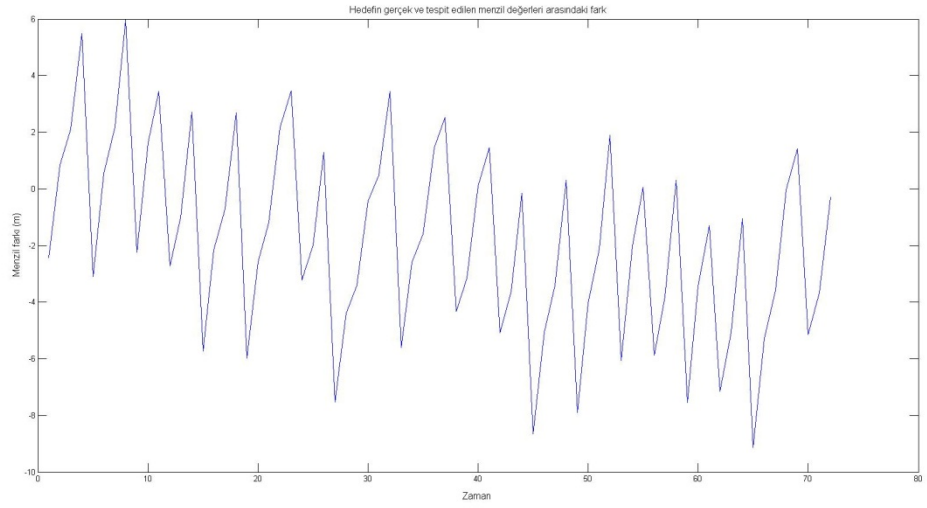
Şekil 7.7 Parazit yankı için zamana göre SDD katsayılarının menzil kapısı değişimi



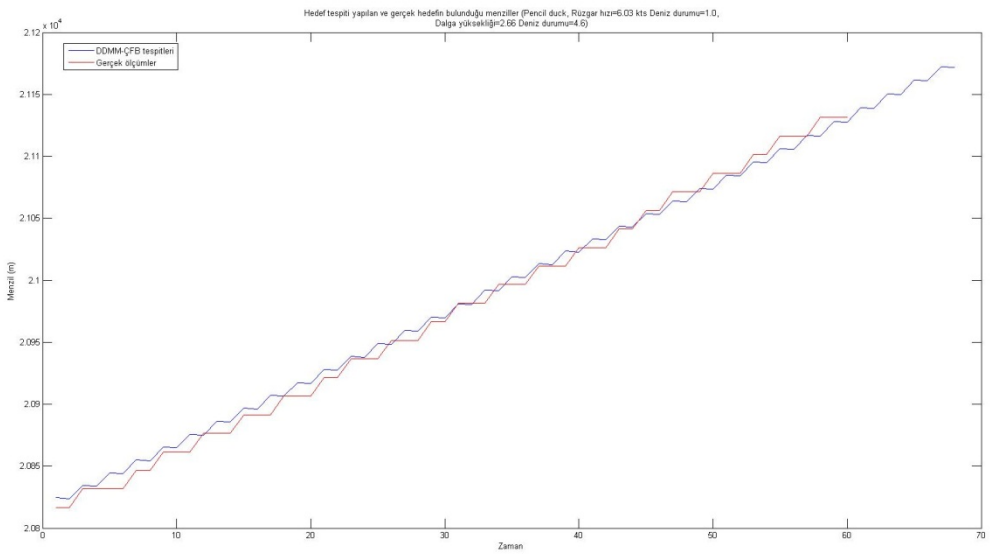
Şekil 7.8 Hedefı için zamana göre SDD katsayılarının menzil kapısı değişimi



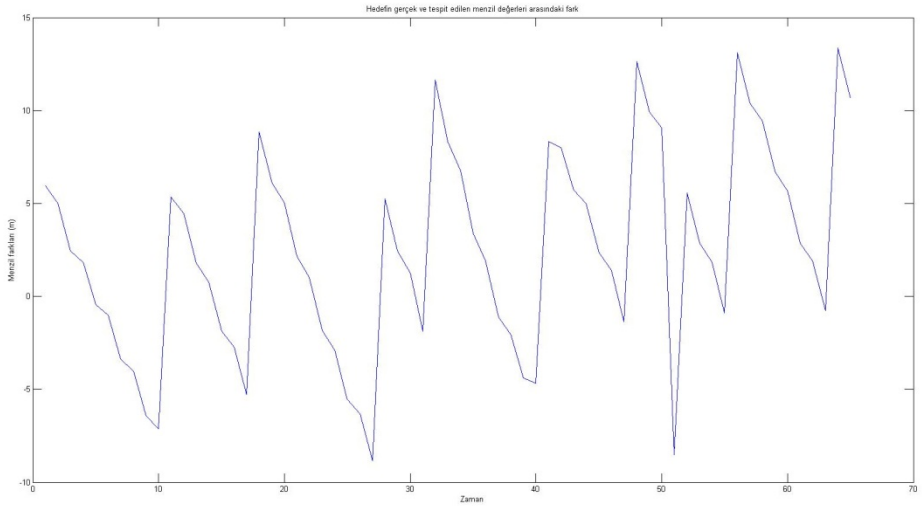
Şekil 7.9 MTU Nadime Gordimer teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller



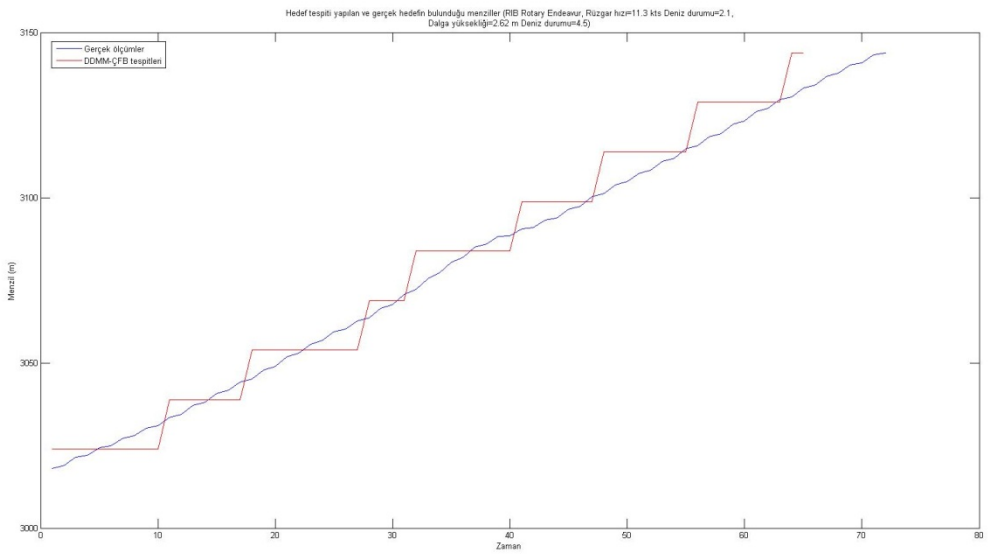
Şekil 7.10 MTU Nadime Gordimer teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark



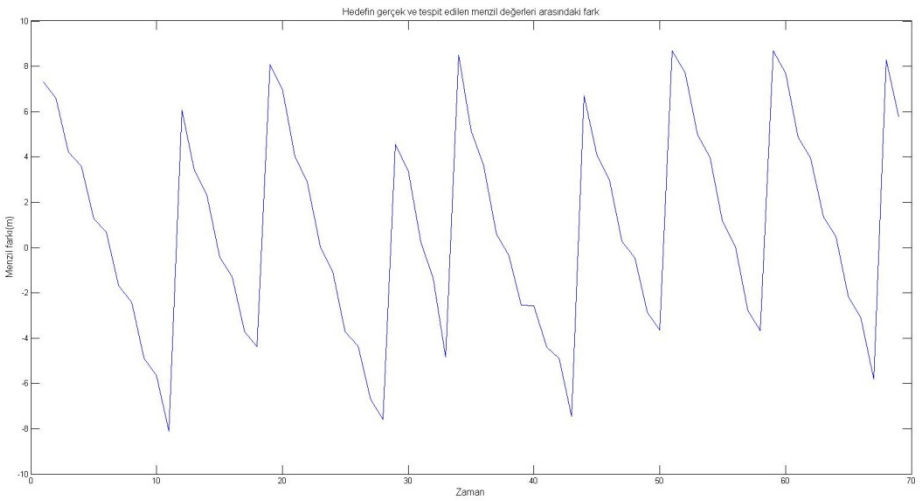
Şekil 7.11 Pencilduck teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller



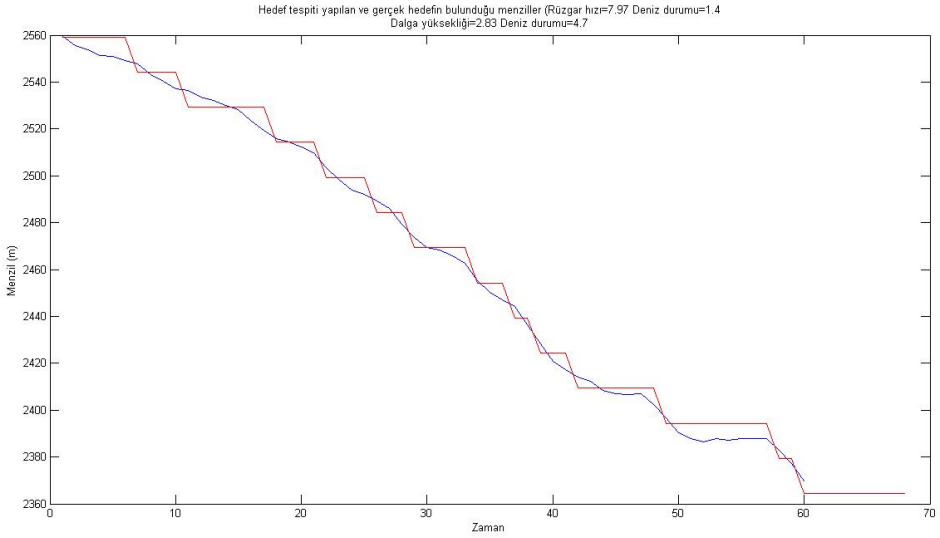
Şekil 7.12 Pencilduck teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark



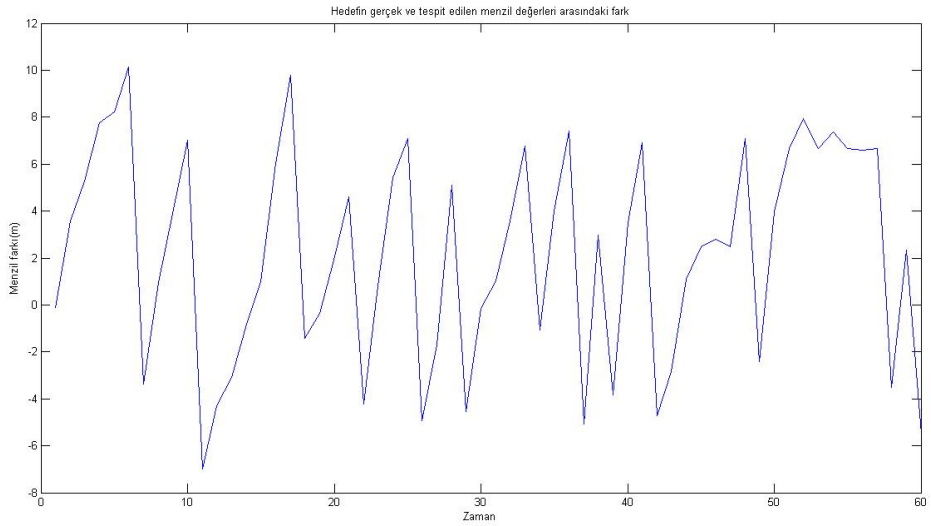
Şekil 7.13 RIB_Rotary Endeavour teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller



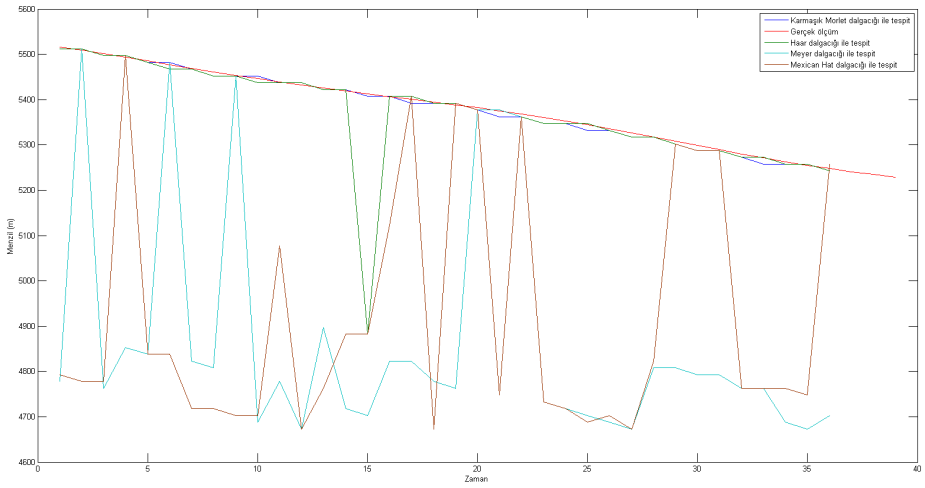
Şekil 7.14 RIB_Rotary Endeavour teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark



Şekil 7.15 SANParks RIB teknesi için hedef tespiti yapılan ve gerçek ölçümlerin bulunduğu menziller



Şekil 7.16 SANParks RIB teknesi için hedefin gerçek ve tespit edilen menzil değerleri arasındaki fark



Şekil 7.17 DDMM-ÇFB-SMM yönteminin farklı ana dalgacık kullanılarak tespit performansı

8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Parazit yankılı bir ortamda düşük Sinyal Gürültü Oranına (SGO) sahip hedeflerin tespiti radar sistem tasarımını en çok zorlayan problemlerden biridir. Geleneksel radar sinyal işleme teknikleri, menzil-azimut hücrelerindeki sinyal güç değerini ön tanımlı eşik değeriyle karşılaştırmakta ve tespit kararını bu karşılaştırma sonucuna göre belirlemektedir. Eğer sinyal güç değeri, ön tanımlı bir eşik değerinden yüksek ise tespit yapılmış olur. Bu yöntem ile tüm ölçümler "tespit var" ve "tespit yok" olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Hedefin varlığını belirlemede eşik değerinin kullanılması iki temel hataya neden olmaktadır. İlk hata, yanlış alarm, hedef var olmadığı halde eşik değerinin aşılması ile oluşmaktadır. Bunun sonucunda, yüksek gürültülü ölçümleri hedef olarak algılanabilmektedir. Diğer hata, kayıp tespit, hedef var olduğu halde eşik değerinin aşılamamasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda ise, sinyal gürültü oranı düşük olan bir hedef algılanmayabilmektedir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için TÖİ yaklaşımı önerilmektedir. TÖİ'de amaç, hedef tespitinin iyileştirilmesidir. Tespit yöntemleri kullanan hedef takip algoritmalarından farklı olarak TÖİ, hedef rotasını tespit etmeye çalışan bir yaklaşımdır. Her ne kadar TÖİ yöntemleri radar sinyal işleme aşamasında tespit eşik değeri kullanımını ortadan kaldırsa da, bu yöntemler süzgeç aşamasında eşik değeri kullanımına devam etmektedir. Bu tezde, düşük SGO'ya sahip hedefleri gürültülü ve yoğun parazit yankılı ortamda herhangi bir eşik değeri kullanmadan hedef tespit edebilmek için TÖİ yaklaşımında kullanılabilecek yeni yöntemler önerilmektedir.

Tez kapsamında TÖİ yaklaşımında kullanılabilecek 3 ayrı yöntem önerilmiştir. Bölüm 5'de önerilen yöntem 4096x4096 menzil-açı çözünürlük hücrelerinden oluşan radar ölçümlerinde enerji seviyelerini kullanarak hedef tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Geliştirilen algoritma sadece hedefin varlığını tespit etmekle kalmayıp aynı zamanda, hedef takip uygulamalarında önemli bir rol oynayan hedef manevra türünü de tespit edebilmektedir. Hedef manevrasının tespiti için, hedef modeli 3 alt modele ayrılmıştır: Koordineli Dönüş modeli, Beyaz Gürültülü Hızlanma modeli ve Wiener Süreç Hızlanma modeli. Radar kapsama alanı 4096x4096'lık çözünürlük hücrelerinden oluştuğu kabul edilmiş ve bu çözünürlük hücrelerinin 128x128'lik bloklar halinde

gruplandırılarak gözlem dizileri oluşturulmuştur. Blokların büyüklüğü hedefin ardışık 6 radar taraması boyunca aynı blokta kalacak şekilde seçilmiştir. Parazit yankı ve hedef modelleri yeterli miktarda gözlem verisi ile Baum-Welch algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Son olarak, radar gözlem verileri üzerinden tespit işlemi Viterbi algoritması ile yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sırasında parazit yankılı ölçümlerin çok büyük sayıda olması ölçüm sayısının azaltılması ihtiyacını doğurduğu görülmüştür. Bu yüzden, her bir radar taramasında 128x128'lik bloklar içerisindeki sadece en yüksek sinyal seviyesine sahip ölçüm dikkate alınmıştır. Denemeler sonucunda önerilen yöntem hedefi parazit yankıdan başarı ile ayırt edebildiği görülmüştür. Parazit yankılı ızgaralar sinyal gücü, menzil ve kerteriz ölçümlerinde gürültü benzeri bir yapıya sahip olması önerilen yöntem açısından önemli bir kriter olduğu görülmüştür. Hedefe ait ardışık gelen ölçümler arasında ise izlediği rotadan dolayı gözle görülebilir bir ilişki bulunduğu görülmüştür. Hedef manevra tespitinde ise fark, ivmelenme ve 3'üncü dereceden fark katsayılarının değişiminin etkili olduğu görülmüştür. Özellikle ivmelenme ve 3'üncü dereceden fark katsayılarında bu değişim daha belirgin bir şekilde görülmüştür. Önerilen yöntem düşük manevraya sahip ölçümleri (BGH modeline ait) tam olarak belirleyebildiği görülmüştür. Bununla birlikte yöntem WSH modeline ait ölçümleri KD modeline ait ölçümlerden ayırmakta güçlük çekmiştir. Bununla birlikte manevranın tespiti göz önüne alındığında bu durumun bir problem yaratacağı düşünülmemektedir. Bu çalışmalara ek olarak önerilen yöntemin performansını karşılaştırabilmek amacı ile PS tabanlı tespit yöntemi de gerçeklenmiştir. PS tabanlı tespit algoritması, öntanımlı sistem dinamik modeli kullanılarak hesaplanan parçacık ağırlıklarının doğruluğuna bağımlı olduğu görülmüştür. Doğruluk derecesi düşük sistem dinamik modellerinin kullanımı, düşük doğruluktaki parçacık ağırlıklarına neden olmuş ve bunun sonucunda parazit yankılı ölçümler için süzgeç ağırlık değerlerinin artmasına ve yanlış alarm olasılığının yükselmesine neden olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, SMM tabanlı yöntem herhangi bir ön tanımlı sistem dinamik modeli kullanmadığı, ölçüm verilerinin eğitim kümesi olarak kullanarak sistem dinamiklerini kendisi oluşturduğu görülmüştür.

Bölüm 6'da, SDD ile SMM'yi birlikte kullanılarak, deniz parazit yankılı ortamda gerçek radar ölçüm verileri kullanılarak suüstü hedeflerinin tespiti için bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen SMM tabanlı yöntemde hedef ve parazit yankılı modeller

oluşturulmuştur. Her bir darbe aralığı içerisindeki sinyallerin sürekli dalgacık dönüşümü alınarak, en yüksek dalgacık katsayısına sahip sinyalin menzil değeri bulunmuştur. Ardışık 10 darbe aralığından elde edilen menzil değerleri SMM algoritması için gözlem verisi olarak kullanılmıştır. Parazit yankı ve hedef modelleri yeterli miktarda gözlem verisi ile Baum-Welch algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Son olarak, radar gözlem verileri üzerinden tespit işlemi Viterbi algoritması ile yapılmıştır. SDD'nin etkin bir zaman-frekans çözünürlüğüne sahip olması ve radar yankısı içindeki hedefe karşılık gelen geçici sinüzoidalleri belirleyebilmesi, hedef tespit başarımını yükselttiği görülmüştür. Denemeler sonucunda SDD tabanlı yöntemin daha çok, yavaş hareket eden ve büyük hedefler için iyi çalıştığı görülmüştür. Diğer yandan yüksek manevralı küçük hedeflerde başarım yüzdesi düşük kalmıştır. Bunun nedeni olarak, küçük hedeflerin SDD katsayı değerlerinin düşük seviyede olmasından, diğer bir deyişle parazit yankıya ait SDD katsayı değerlerinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu problemin sonucu tespit edilen menzil kapı değerlerinde ani artış veya azalış olarak kendini göstermektedir. Buna ek olarak, önerilen yöntemin performansın seçilen ana dalgacığa çok bağımlı olduğu görülmüştür. SDD iki boyutlu bir ilintileyici fonksiyonu gibi çalıştığından, hedef kaynaklı radar yankısını temsil eden ana dalgacık fonksiyonunun çok iyi tanımlanması gerektiği görülmüştür. Özellikle manevra yapan hedeflerde, manevra sırasında radar alıcısına ulaşan yankı sinyalinin karakteristiğinde değişim dolayı bu tip hedeflerde başarım yüzdesinin düşük kaldığı görülmüştür. SDD-SMM yönteminin performansını karşılaştırmak amacı ile HO-SYAO yöntem geliştirilmiştir. HO-SYAO yönteminin en büyük dezavantajı, referans hücreler içindeki parazit yankının durağan olduğu durum için en iyi sonucu vermesidir. Deniz parazit yankısı gibi doğrusal olmayan bir yapıya sahip ortamda, bu durumun yanlış alarm olasılığının artmasına neden olduğu görülmüştür.

Bölüm 7'de ise Bölüm 6'da önerilen yöntemin tespit performansını iyileştirmek amacıyla DDMM tabanlı ÇFB yöntemi ve SMM kullanımı ile deniz parazit yankılı ortamda gerçek radar ölçüm verileri kullanılarak suüstü hedeflerinin tespiti için bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen SMM tabanlı yöntemde hedef ve parazit yankılı modeller oluşturulmuştur. Her bir darbe aralığı içerisindeki sinyallerin dalgacık dönüşümü modülüs maxima ile çoklu-fraktal analizi yapılarak, en yüksek fraktal

katsayıya sahip sinyalin menzil değeri bulunmuştur. Ardışık 10 darbe aralığından elde edilen menzil değerleri SMM algoritması için gözlem verisi olarak kullanılmıştır. Parazit yankı ve hedef modelleri yeterli miktarda gözlem verisi ile Baum-Welch algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Son olarak, radar gözlem verileri üzerinden tespit işlemi Viterbi algoritması ile yapılmıştır. Denemeler sonucunda deniz parazit yankısının çoklu-fraktal bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, hedefin varlığının fraktal geometriye sahip deniz yüzeyi üzerinde düzensizliklere neden olarak çoklu-fraktal yapıyı daha da artırdığı görülmüştür. Denemeler sırasında hedeften yansıyan sinyaller düşük frekanslı, deniz parazit yankı ise daha çok yüksek frekanslı bileşenler içerdiği görülmüştür. Bunun sonucunda sadece yüksek seviyedeki SDD ölçeklerine (10-64) ait SDD katsayılarının analizinin yeterli olduğu görülmüştür. Denemeler sonucunda DDMM-ÇFB-SMM yönteminin SDD-SMM yönteminden daha iyi çalıştığı görülmüştür. Özellikle analiz aralığını yüksek ölçeklerdeki SDD katsayıları üzerinde daraltılması yüksek frekanslı bileşenlerden (deniz parazit yankısına ait olabilecek) kaynaklanan etkiyi en aza indirgemektedir. Diğer bir performans artırıcı etmen ise SDD-SMM yönteminde olduğu gibi sadece tek ölçek bazında SDD katsayılarının ilinti değeri ile sınırlı kalmayıp, modulus maxima çizgilerini oluşturarak ölçekler arası ilişkiyi de ortaya koymasıdır.

KAYNAKLAR

Bacry, E., Muzy, J.F., Arneodo, and A., 1993. Singularity spectrum of fractal signals from wavelet analysis: exact results. J. Stat. Phys., pp. 635–673.

Bar-Shalom, Y. and Li, X. R., 1993. Estimation and Tracking:Principles, Techniques and Software, Artech House.

Barniv, Y., 1990. Dynamic programming algorithm for detecting dim moving targets. In Y. Bar-Shalom (Ed.), Multitarget-Multisensor Tracking: Advanced Applications, Norwood, MA: Artech House, ch. 4.

Berizzi, F., Dalle Mese, E., Pinelli, G., 1999. One-dimensional fractal model of the sea surface. *IEE Proc*. *Radar*, *Sonar*, *Navig*, Vol. 146.

Berizzi, F., Dalle Mese, E., Martorella, M., 2004. A sea surface fractal model for ocean remote sensing. *Int. Journal of Remote Sensing*, Vol.25, pp. 1265-1270.

Berizzi, F., Bertini, G., Martorella, M., 2006. Two-dimensional variation algorithm for fractal analysis of sea SAR images. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 44, (9), pp. 2361–2373.

Bharadwaj, P. K., Runkle, P. R. ve Carin, L., 1999. Target identification with wave based matched pursuits and hidden markov models. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 47, No. 10, pp. 1543-1554.

Bhattacharya, P., Liu, H., Rosenfeld, A. and Thompson, S., 2000. Hough transform detection of lines in 3-D space. Pattern Recognition Letters, 21, 9, pp. 843-849.

Blackman, S., 1986. Multiple Target Tracking with Radar Applications, Artech House, MA.

Boers, Y., Driessen, J.N., 2001. Particle Filter Based Detection for Tracking. Proc. of American Control Conference, pp. 3755-3760.

Boers, Y. and Driessen, J.N., 2003. A Particle Filter Based Detection Scheme. In IEEE Signal Processing Letters, Vol. 10, no. 10, pp. 300-302.

Bruno, M.G.S., July 2004. Bayesian methods for multiaspect target tracking in image sequences. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, pp. 1848-1861.

Buzzi, S., Lops, M., Venturino, L. ve Ferri, M., 2008. Track-before-detect procedures in a multi-target environment. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 44, pp. 1135-1150.

Carlson, B.D., Evans, E.D., Wilson, S.I., January 1994. Search radar detection and track with the Hough Transform. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems-Part I; Systems Concept. Vol.30, No.1, pp. 102-108.

Curry, G.R., 2005. Radar System Performance Modelling. 2nd ed., Artech House.

Davey, S.J., Rutten, M.G., Cheung, B., 2008. A Comparison of Detection Performance for Several Track-Before-Detect Algorithms. 11th International Conference on Information Fusion.

Dimoulasa, C., Kallirisb, G., Papanikolaou, G., 2007. Long-term signal detection, segmentation and summarization using wavelets and fractal dimension: a bioacoustics application in gastrointestinal-motility monitoring. Comput. Biol. Med., 37, (4), pp. 438–462.

Doucet, A., Freitas, J.F.G., Gordon, N.J., 2001. An Introduction to Sequential Monte Carlo Methods in Sequential Monte Carlo Methods in Practice. NY, Springer-Verlag.

Driessen, H., and Boers, Y., March 2004. An efficient particle filter for nonlinear jump Markov systems. In Proceedings ofthe lEE Seminar on Target Tracking: Algorithms and Applications, Sussex, UK.

Fay, F. A., Clarke, J., and Peters, R. S., 1977. Weibull distribution applied to sea-clutter. in Proc. IEE Conf. Radar'77, London, U.K., pp. 101–103.

Gandhi, P. P. and Kassam S. A. 1988. Analysis of CFAR processors in nonhomogeneous background. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 24, no. 4, pp. 427-445.

Germain, M., Be´nie´, G.B., Boucher, J.M., 2003. Contribution of the fractal dimension to multiscale adaptive filtering of SAR imagery. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 41, (8), pp. 1765–1772.

Gini, F., Farina, A. and Montanari, M., 2002. Vector subspace detection in compound-Gaussian clutter, Part II: Performance analysis. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. 38, no. 4, pp. 1312–1323.

Grossmann, A. and Morlet, J., 1984. Decomposition of hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. SIAM J. Math. Anal., vol. 15, no. 4, pp. 723–736.

Haykin, S. and Puthusserypady, S., 1997. Chaotic dynamics of sea clutter. Chaos, 7, 777-802.

Haykin, S., 1999. Chaotic dynamics of sea clutter. John Wiley.

Haykin, S., Bakker, R. and Currie, B.W., May 2002. Uncovering Nonlinear Dynamics-The Case Study of Sea Clutter, IEEE Proc., Vol. 90, pp. 860-881.

Haykin, S., 2007. Adaptive radar signal processing. John Wiley & Sons, New Jersey, pp. 91–192.

Hough, P.V.C., 1962. Methods and means for recognizing complex patterns. U.S. Patent 3,069,654.

Hu, J., Tung, W. W. and Gao, J. B., 2006. Detection of low observable targets within sea clutter by structure function based multifractal analysis. IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 54, no. 1, pp. 136–143.

Hu, J., Tung, W.W., Gao, J.B., 2009. A new way to model nonstationary sea clutter. IEEE Signal Process. Lett., 16, (2), pp. 129–132

Hu, J., Tung, W.W., Gao, J.B., Blasch, E., Chen, G.S., 2009. Multiscale modeling of sea clutter to facilitate detection of low observable targets within sea clutter. SPIE Defense & Security Symp., Orlando, FL, pp. 13–17.

Im, H. and Kim, T., Jan. 1999. Optimization of multiframe target detection schemes. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 176—186.

Jakeman, E. and Pusey, P. N., 1976. A model for non-Rayleigh sea echo. IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. AP-24, no. 6, pp. 806–814.

Johnston, A.L., Krishnamurthy, V., January 2002. Performance analysis of a Dynamic Programming Track Before Detect Algorithm. IEEE Trans. On Aerospace and Electronics Systems, Vol. 38, No 1.

Johnson, D. H., and Dudgeon, D. E., 1993. Array Signal Processing. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Kay, S. M., 1998. Fundamentals of Statistical Signal Processing, Vol. II: Detection Theory. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Leung, H., Haykin, S., 1990. Is there a radar clutter attractor?. Appl. Phys. Lett., 1990, 56, (6), pp. 593–595.

Leung, H., 1995. Applying chaos to radar detection in an ocean experimental study: an experimental study. IEEE J. Ocean Eng., 20, (1), pp. 56–64.

Li, X. R. ve Jilkov, V., 2002. A survey of maneuvering target tracking - Part IV: Decision-based methods. Proceedings of SPIE Conference Signal and Data Processing of Small Targets, Vol. 4728, Orlando, Florida.

Lo, T., Leung, H., Litva, J. and Haykin S., 1993. Fractal Characterisation of Sea-scattered Signals and Detection of Sea-surface Targets. Radar and Signal Processing, IEE Proceedings F, 140(4), pp.243-250.

Mahafza, B.R., 2000. Radar Systems Analysis and Design Using Matlab. Chapman & Hall/CRC.

Mallat, S. and Hwang, W.L., 1992. Singularity Detection and Processing with Wavelets. IEEE Trans. on Information Theory 38, pp. 617–643.

Mallat, S. ve Zhong, S., 1992. Characterization of signals from multiscale edges. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence, 710–732.

Mallat, S., 1997. A Wavelet tour of signal processing. Academic Press, San Diego, California.

Mandelbrot, B.B., 1982. The fractal geometry of nature. Freeman, San Francisco.

Muzy, J.F., Bacry, E., Arneodo, A., 1991. Wavelets and multifractal formalism for singular signals: application to turbulence data, Phys. Rev.Lett., 3515–3518.

Martinerie, F., 1997. Data fusion and tracking using HMMs in a distributed sensor network. IEEE Transaction on Aerospace andElectronic Systems, Vol. 33, No. 1, 11-28.

Martorella, M., Berizzi, F. and Mese, E.D., 2004. On The Fractal Dimension of Sea Surface Backscattered Signal at Low Grazing Angle. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 52(5), pp. 1193-1204.

McDonald, M., Damini, A., 2004. Limitations of nonlinear chaotic dynamics in predicting sea clutter returns. IEE Proc. Radar Sonar Navig., 151, (2), pp. 105–113.

Meyer Y., 1992. Wavelets and operators:Vol.37(Cambridge Studies in Advanced Mathematics). Cambridge:Cambridge University Press.

Moqiseh, A. and Nayebi, M. M., 2008. Combinational Hough transform for surveillance radar target detection in a 3-D data map. Proc. IEEE Radar Conf.

Morrison, A.I. and Srokosz, M.A., 1993. Estimating the fractal dimension of the sea-surface – a 1st attempt. Annales Geophysicae-Atmospheres HYdrospheres and Space Sci. 11, pp. 648-658.

Moyer, L.R., Spak, J., Lamanna, P., 2011. A Multi-Dimensional Hough Transform-Based Track-Before-Detect Technique for Detecting Weak Targets in Strong Clutter Backgrounds. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol.47, No.4, pp. 3062-3068.

Nan, H., Haykin, S., 1992. Chaotic modeling of sea clutter. Electron. Lett., 28, (22), pp. 2076–2077.

Nathanson, F. E., 1969. Radar Design Principles. New York, McGraw-Hill, pp. 254–256.

Nohara, T.J., Haykin, S., 1994. Growler detection in sea clutter using Gaussian spectrum models. IEE Proc. Radar Sonar Navig., 141, (5), pp. 285–292

Orlando, D., Ricci, G., Bar-Shalom Y., July 2011. Track-Before-Detect Algorithms for Targets with Kinematic Constraints. IEEE Trans. On Aerospace and Electronics Systems, Vol. 47, No 3.

Pohlig, S. C., Jan. 1989. An algorithm for detection of moving optical targets. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, pp. 56—63.

Rabiner, L.R. ve Juang, B.H., 1986. An introduction to Hidden Markov Models. IEEE ASSP Magazine, 4-16.

Rabiner, L., Juang, B.H., 1993. Fundamentals of Speech Recognition, Prentice – Hall International Editions.

Richards, M. A, 2005. Fundamentals of Radar Signal Processing. McGraw-Hill, pp. 295–346.

Ristic, B., Arulampalam, S., and Gordon, N. J., 2004. Beyond the Kalman Filter: Particle Filters for Tracking Applications. Norwood, MA: Artech House.

Rosenberg, L., Crisp, D.J., Stacy, N.J., 2010. Analysis of the KK-distribution with medium grazing angle sea-clutter. IET Radar Sonar Navig., 4, (2), pp. 209–222

Roy, L.P., Kumar, R.V.R., 2010. Accurate K-distributed clutter model for scanning radar application. IET Radar Sonar Navig., 4, (2), pp. 158–167

Rutten, M.G., Gordon, N.J. and Maskell, S., 2005. Recursive track-before-detect with target amplitude fluctuations. lEE Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, Vol. 152(5), pp. 345-352.

Salmasi, M., Modarres-Hashemi, M., 2009. Design and analysis of fractal detector for high resolution radars. Chaos Solitons Fractals, 2009, 40, (5), pp. 2133–2145.

Savaidis, S., Frangos, Y., 1995. Scattering from fractally corrugated surface:an exact approach. Opt. Lett., 20, (23), pp. 2357–2359.

Sayama, S. and Sekine, M., 2002. Log-normal, log-Weibull and K-distributed sea clutter. IEICE Trans. Commun., vol. E85-B, pp. 1375–1381.

Schileher, D.C., 1976. Radar detection in Weibull clutter. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 12, (6), pp. 82–88

Sekine, M., Musha, T., Tomita, Y., Irabu, T., Kiuchi, E., 1980. Log-Weibull distributed sea clutter', IEE Proc.-F, 127, (3), pp. 225–228

Shi, Y.L., Shui, P.L., 2011. Target detection in high-resolution sea clutter via block-adaptive clutter suppression. IET Radar Sonar Navig., 5, (1), pp. 48–57.

Skolnik, M.I., 1990. Radar Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill, NY.

Skolnik, M.I., 2001. Introduction to Radar Systems, 3rd ed. McGraw-Hill, NY.

Streit, R. L. and Barrett, R. F., 1990. Frequency line tracking using hidden markov models. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 38, No. 4, pp. 586-598.

Struzik, Z.R., 2000. Determining local singularity strengths and their spectra with the wavelet transform. Fractals 8 (2), pp. 163–179.

Summers, J.E., Soukup, R.J., Gragg, R.F., 2005. Characterization and fabrication of synthetic rough surfaces for acoustical scale-model experiments. Memorandum Report, NRL/MR-MM/7140–05–8871, Naval Research Laboratory, Washington, DC, pp. 1–48.

Teolis, A., 1998. Computational signal processing with wavelets, Birkhauser, p. 65.

Tonissen, S. M. , and Evans, R.J., October 1996. Performance of dynamic programming techniques for track-before-detect. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, pp. 1440—1451.

Tonissen, S. M. and Bar-Shalom, Y., July 1998. Maximum likelihood track-before-detect with fluctuating target amplitude. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, pp. 796—809.

Tuğaç, S., Efe, M., 2010. Hidden Markov Model Based Target Detection. 13th International Conference on Information Fusion.

Unsworth, C.P., Cowper, M.R., McLaughlin, S., and Mulgrew, B., 2002. Reexamining the nature of radar sea clutter. *IEE Proc*. *Radar*, *Sonar*, *Navig*, Vol. 149, pp. 105-114.

Xie, X. and Evans, R. J., 1991. Multiple target tracking and multiple frequency line tracking using hidden Markov models. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 39, No. 12, pp. 2659-2676.

Vicen-Bueno, R., Carrasco-A´lvarez, R., Jarabo-Amores, M.P., Nieto-Borge, J.C. and Rosa-Zurera, M., 2011. Ship detection by different data selection templates and multilayer perceptrons from incoherent maritime radar data. IET Radar Sonar Navig., 5, (2), pp. 144–154

Ward, K.D., 1981. Compound representation of high resolution sea clutter. Electron. Lett., 17, (16), pp. 561–563

Young, S., Kershaw, D., Odell, J., Ollason, D., Caltchev, V. ve Woodland, P., 2000. The HTK Book, Version 3.0.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serdar TUĞAÇ
Doğum Yeri : Ankara
Doğum Tarihi : 03-06-1976
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Özel Yükseliş Koleji, 1994.
Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü (1999).
Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (2001).

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

- Ankara Üniversitesi Elektronik Müh. Bölümü, Araştırma Görevlisi, 1999-2004.
- Aydın Yazılım ve Elektronik Sanayii, Kıdemli Yazılım Mühendisi, 2004-2007.
- Meteksan Savunma, Kıdemli Yazılım Mühendisi, 2008-2011.
- Koç Bilgi ve Savunma Teknolojileri, Kıdemli Yazılım Geliştirme Uzmanı, 2011-devam ediyor.

Yayınları

- **Tuğaç, S**., Efe, M., "Radar Target Detection Using Hidden Markov Models", Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 44, 241-259, 2012.
- Özkaymak S., Bekkine A., **Tuğaç S.**, Zorba O., "Simülasyon Sistemleri İçin Milli Bir Birlikte Çalışabilirlik Altyapısı: SimBA", 4. Ulusal Simülasyon ve Modelleme Sempozyumu (USMOS 2011), Ankara 2011.
- **Tuğaç, S.**, Efe, M., "Hidden Markov Model Based Target Detection", Fusion Conf., 2010.
- **Tuğaç, S.**, Efe, M., "Tespit Öncesi İzleme İçin Saklı Markov Model Tabanlı Hedef Tespiti", IEEE Sinyal İşleme ve Uygulama Kurultayı, 2010.

- İlk, H.G., **Tuğaç, S.**, "Channel and source considerations of a bit-rate reduction technique for a possible wireless communications system's performance enhancement", Wireless Communications, IEEE Transactions on, January 2005.
- İlk, H.G., **Tuğaç, S.**, "Bit stream based wireless speech recognition using mixed excitation linear prediction (MELP) vocoder", Signal Processing and Communications Applications Conference, 2004.
- Özkaymak S., **Tuğaç S.**, Zorba O., "Uzaktan Telsiz Kontrolü", Savunma Teknolojileri Kongresi (SAVTEK 2004), Ankara 2004.
- İlk, H.G., **Tuğaç, S.**, "Prototype Waveform Interpolation for ECG Compression", Biomedical Engineering, 2004.
- İlk, H.G., **Tuğaç, S.**, "Channel and source considerations of a MELP derived vocoder operating at reduced bit rates" , Digital Signal Processing Elsevier, May 2003.
- Akbulut A., Efe M., Ceylan A. M., Arı F., Telatar Z., İlk H. G., **Tuğaç S.**, "An Experimental Hybrid System FSO/RF Communication System", Proceedings of the IASTED International Conference on Communication System and Networks, pp. 406-411, Benalmadena-Spain, 2003
- İlk H.G., **Tuğaç S.**, Akbulut A., Telatar Z., "A Bit Rate Reduction Technique for Standard Melp Vocoder for a Possible Wireless Communications System's Performance Enhancement", Proceedings of the IASTED International Conference Wireless and Optical Communications, pp. 611-616, Banf-Canada, 2002.
- Akbulut A., Zorba O., Demir M., **Tuğaç S.**, Yılmaz M., "Low Bit Rate Video Transmission in a Rayleigh Fading Channel", The IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC2001 Spring), Rhodos-Greece 2001.
- Zorba O., Akbulut A., **Tuğaç S.**, Yılmaz M., "Kablosuz Video İletimi İçin Eşit Olmayan Bir Hata Koruma Yapısı", IEEE 9. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı (SİU'2001), Kıbrıs 2001.
- Zorba O., Akbulut A., **Tuğaç S.**, Demir M., Yılmaz M., "Yayılı İzge Teknikleri Kullanılan Kablosuz Bir Yerel Alan Ağında Alt Band Kodlanmış Görüntü ve Video Bilgisinin İletilmesi", IEEE 8. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı (SİU'2000), Antalya 2000.