ELEKTRONİK HARP VE SİNYAL KARIŞTIRMASI

MURAT ÖZÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 2006

ANKARA

Murat ÖZÇELİK tarafından hazırlanan ELEKTRONİK HARP VE SİNYAL KARIŞTIRMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr.Erkan AFACAN
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr.Erdem YAZGAN

Üye : Yrd.Doç.Dr.Erkan AFACAN

Üye : Öğr.Gör.Dr.Nursel AKÇAM

Tarih : 22 / 09 / 2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu çalışmadaki bütün bilgilerin etik ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Murat ÖZÇELİK

ELEKTRONİK HARP VE SİNYAL KARIŞTIRMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Murat ÖZÇELİK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006

ÖZET

İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana radarlar ve elektronik savaş sistemleri, elektronik alanındaki gelişmelere paralel olarak büyük bir değişim geçirmiş, ileri elektronik tekniklerin uygulanmasıyla yüksek performans değerlerine ulaşmıştır. Modern savunma sistemleri büyük ölçüde elektronik cihazlardan oluşmakta, gözetleme, iletişim ve silah kontrolü gibi askeri görevler de elektromanyetik bir ortamda gerçekleştirilmektedir. Bunun doğal sonucu olarak taarruz ve savunma operasyonları sırasında elektromanyetik spektrumun etkili kullanımı büyük önem kazanmıştır.

Bu tezin birinci bölümünde, Sinyal İstihbaratı (SIGINT-Signal Intelligence), Elektronik Destek Tedbirleri (ESM-Electronics Support Measure), Elektronik Taarruz Tedbirleri (ECM-Electronic Counter Measure) ve Elektronik Korunma Tedbirleri (ECCM-Electronic Counter Counter Measure) gibi kavramlar tanıtılmış ve elektronik harp sistemleri hakkında genel bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, gürültü karıştırması ve aldatma tekniklerine dayanan elektronik taarruz sistemleri incelenmiştir. Son bölümde farklı kırılma indisine sahip hedeflerden farklı açılarda yansıyan sinyaller ile bir veri tabanı

oluşturulmuştur. Gürültü karıştırmasının etkisini incelemek üzere MATLAB programı kullanılarak çeşitli uygulamalar yapılmıştır.

Bilim Kodu : 905.1.034
Anahtar Kelimeler : Elektronik Harp, Gürültü Karıştırması
Sayfa Adedi : 74
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr. Erkan AFACAN

ELECTRONIC WARFARE AND SIGNAL JAMMING
(Ms.Sc.Thesis)

Murat ÖZÇELİK

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECNOLOGY
September 2006

ABSTRACT

Radars and electronic warfare systems have drastically changed since World War II in parallel with the development of electronics area and have reached high performance levels with the application of advanced electronic techniques. Modern defense systems largely consist of electronic equipments and military missions such as reconnaissance, communications and weapon control take place in an electromagnetic medium. As a result of this, the effective usage of the electromagnetic spectrum during attack and defense operations has gained considerable importance.

In the first section of this thesis, the concepts such as Signal Intelligence (SIGINT), Electronics Support Measures (ESM), Electronic Counter Measures (ECM), Electronic Counter Counter Measures (ECCM) are introduced and a general knowledge is given about electronic warfare systems. In the second section, Electronic Counter Measure systems which depend on noise jamming and deception tecniques are investigated. In the last section, a database which contains reflected signals at different angles from several targets having different refraction indexes is constructed. For the

Investigation of the effect of noise jamming several applications are realized by using MATLAB program .

Science Code : 905.1.034
Key Words : Electronic Warfare, Noise Jamming
Page Number : 74
Adviser : Asst.Prof.Dr. Erkan AFACAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd.Doç.Dr. Erkan AFACAN'a ve gösterdiği destek ve sabırdan dolayı eşim Özlem ÖZÇELİK ve biricik kızım Zeynep'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……... iv

ABSTRACT……..…… vi

TEŞEKKÜR……..…… viii

İÇİNDEKİLER…….……. ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ…….……. xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ…… xii

SIMGELER VE KISALTMALAR…….…….. xiv

1. GİRİŞ…….……..……. 1

2. ELEKTRONİK HARP…..……..……... 3

2.1. Elektronik Harp Tanımı ve Kapsamı.....……... 3

2.2. Sinyal İstihbaratı-SIGINT……..……..….. 5

2.3. Elektronik Destek Tedbirleri-ESM……..…….. 7

2.4. Elektronik Taarruz-ECM…….……... 9

2.5. Elektronik Korunma Tedbirleri-ECCM……..……... 16

3. ELEKTRONİK TAARRUZ…..……..……... 21

3.1. Kendini Korumalı ECM Sistemlerinin Çalışma Prensipleri…..….. 21

3.2. Radar İkaz Alıcısı (RWR)……..….. 23

3.3. Elektronik Taarruz (ECM)……..... 27

3.3.1. Gürültü karıştırması……. 29

3.3.2. Aldatma ……..…….. 33

4. SİNYAL TANIMA VE GÜRÜLTÜ KARIŞTIRMA UYGULAMASI…….. 46

4.1. Wigner-Ville Dağılımı Kullanılarak Özellik Çıkarım İşlemi …..... 46

Sayfa

4.2. Geç Zaman Özellik Vektörünün Kullanılması (LTFV-Late Time Feature Vector ……..... 49

4.3. Özellik Çıkarmada Esas Bileşenler Analizinin (PCA- Principal Component Analysis) Kullanılması……..……..... 51

4.4. ESM Programının Gürültüsüz Sinyaller İle Test Edilmesi…..…. 54

4.5. Gürültü Eklenmesi ve ESM Programının Gürültülü Sinyaller ile Test Edilmesi…..…….. 62

5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 71

KAYNAKLAR……..... 73

ÖZGEÇMİŞ……..... 74

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Tipik bir RWR alt-sisteminin bazı performans parametreleri..... 27

Çizelge 3.2. Karıştırma Stratejisi..... 29

Çizelge 3.3. Tipik bir ECM alt-sisteminin bazı performans parametreleri..... 35

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Elektronik harp kategori ve alt kategorileri…..... 4

Şekil 2.2. Radar parametreleri……..... 6

Şekil 2.3. Elektronik taarruz alt grupları……..... 10

Şekil 2.4. Karıştırma yöntemleri……..... 12

Şekil 2.5. Karıştırma geometrisi……..... 14

Şekil 3.1 Kendini korumalı bir EH sisteminin blok şeması……..... 23

Şekil 3.2. RWR alt-sisteminin sinyal işleme işlemi……..26

Şekil 3.3. RWR/ECM sistemi arasındaki ilişki……..28

Şekil 3.4. Baraj gürültüsüyle bastırma…….. 30

Şekil 3.5. Dar bantlı gürültüyle bastırma……..... 31

Şekil 3.6. Taramalı bastırma..... 31

Şekil 3.7. Güç tasarruflu bastırma……..... 32

Şekil 3.8. Gürültü “noise” konfigürasyonu blok şeması……..... 32

Şekil.3.9. Tekrarlayıcı “repeater” konfigürasyonu blok şeması……..... 33

Şekil.3.10. Çevirici “transponder” konfigürasyonu blok şeması……..... 34

Şekil 3.11. Açısal kazancın tersine gönderilmesi……..... 39

Şekil 3.12. Menzil kapısının taşınması……..... 40

Şekil.3.13. Hız kapısının taşınması…… 41

Şekil 3.14 Şaşı-Göz geometrisi…… 44

Şekil 4.1 Farklı frekans ve zaman aralığında x(t) sinyali……..... 48

Şekil 4.2 x(t) sinyalinin Wigner-Ville dağılımı…… 48

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.3 x(t) sinyalinin Wigner-Ville dağılımının pozitif kısmı……. 49

Şekil 4.4. En uygun zaman indeksinde doğru sınıflandırma faktörü…….... 51

Şekil 4.5 Yarıçapı 10 cm olan hedeften (dielektrik küre) saçılan sinyalllerin gözlenmesi ……. 55

Şekil 4.6. Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 5º olan sinyal testi…..…. 56

Şekil 4.7. Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 90º olan sinyal testi…… 57

Şekil 4.8. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º olan sinyal testi…….. 58

Şekil 4.9. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º olan sinyal testi…… 59

Şekil 4.10. Kırılma indisi (ε) 6, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º olan sinyal testi …… 60

Şekil 4.11. Kırılma indisi (ε) 6, kırılma açısı (θ_{ref}) 179º olan sinyal testi….. 61

Şekil 4.12. Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º ve Gürültü (SNR=20 dB) eklenmiş olan test sinyali……..... 62

Şekil 4.13. Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º ve Gürültü (SNR=10 dB) eklenmiş olan test sinyali…… 63

Şekil 4.14 Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º ve Gürültü (SNR=5 dB)……..…… 64

Şekil 4.15. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º ve gürültü (SNR=10dB) eklenmiş olan test sinyali……..... 65

Şekil 4.16. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º ve gürültü (SNR=5 dB) eklenmiş olan test sinyali…….. 66

Şekil 4.17. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º ve gürültü (SNR=2 dB) eklenmiş olan test sinyali……..... 67

Şekil 4.18 Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º ve gürültü (SNR=-5 dB) eklenmiş olan test sinyali…… 68

Şekil 4.19 Kırılma indisi (ε) 6, kırılma açısı (θref) 179º ve gürültü (SNR=-5 dB) eklenmiş olan test sinyali ……. 69

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.20. Kırılma indisi (ε) 6, kırılma açısı (θ_{ref}) 179º ve gürültü (SNR=-5 dB) eklenmiş olan test sinyali…….. 70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
C4ISR	Komuta Kontrol Haberleşme Bilgisayar İstihbarat Keşif
CCF	Doğru Sınıflandırma Faktörü (Correct Classification Factor)
COMINT	Communication Intelligence (Haberleşme İstihbaratı)
CW	Continuous Wave (Sürekli Dalga)
ECCM	Electronic Counter Countermeasure (Elektronik Savunma Tedbirleri)
ECM	Electronic Countermeasure (Elektronik Taarruz)
EH	Elektronik Harp
ELINT	Electronic Intelligence (Elektronik İstihbarat)
ESM	Electronic Support Measure (Elektronik Destek Tedbirleri)
EW	Electronic Warfare (Elektronik Harp)
FFV	Fused Feature Vector (Birleşik Özellik Vektörü)
LTFV	Late Time Feature Vector (Geç Zaman Özellik Vektörü)
PRF	Pulse Repetition Frequency (Darbe Tekrarlama Frekansı)
PCA	Principal Component Analysis (Esas Bileşenler Analizi)
PRI	Pulse Repetition Interval (Darbe Tekrarlama Aralığı)
PW	Pulse Width (Darbe Genişliği)
RGPO	Range Gate Pull-off (Mesafe Kapısı Çekme)
RF	Radio Frequency (Radyo Frekansı)
RINT	Radiation Intelligence (Radyasyon İstihbaratı)
RWR	Radar Warning Receiver (Radar İkaz Alıcısı)

Kısaltmalar	Açıklama
SIGINT	Signal Intelligence (Sinyal İstihbaratı)
VGPO	Velocity Gate Pull-off (Hız Kapısı Çekme)
WD	Wigner-Ville Distribution (Wigner-Ville Dağılımı)

1. GİRİŞ

İkinci Dünya Savaşı sırasında hava savunma amacı ile radar sistemlerinin kullanılmaya başlanması, elektromanyetik yayılma ile ilgili teknolojilerde günümüze kadar devam eden büyük bir yarışın başlamasına yol açmıştır. Radar güdümlü füze sistemlerinin Vietnam harbi sırasında kabul edilemez boyutlarda uçak kaybına sebep olmaları ile hızlanan bu yarış, radar tasarımcıları ile, radar sistemlerinin etkinliğini azaltmak amacı ile geliştirilen elektronik harp sistemleri arasında teknolojinin itici gücü olarak devam etmektedir. Körfez harbi sırasında uçak kayıplarının normal bir askeri tatbikatta kaybedilecek uçak sayısını pek fazla aşmamış olmasının en önemli etkeni, elektronik harp sistemlerinin hava savunma sistemlerine açık bir üstünlük sağlamış olmalarıdır. 1974 yılında Sovyet Amirali Gorshkov'un ifade ettiği "Elektromanyetik spektrumu kontrol eden taraf bir sonraki harbi kazanacaktır" sözünü bu açıdan doğru bir tespit olarak değerlendirebiliriz [1].

Radar sisteminin doğru bilgi almasını engellemeye ve yanıltmaya çalışan elektronik harp sisteminin başarısı, büyük ölçüde radar sistemi ve radar sisteminin yayınladığı sinyalin teknik özellikleri hakkında sahip olduğu bilgi seviyesi ile doğrudan doğruya bağlantılıdır. Çok temel bir örnek vermek gerekirse, radarın çalıştığı frekans bilgisine sahip olmayan bir elektronik harp sisteminin etkinliği ancak tesadüflere bağlı olacak ve tahmini bir frekans bilgisi kullanarak geniş bantta baraj gürültü uygulamaya çalıştığında, kullanabileceği gücü geniş banda yaydığından, radar almaç antenindeki karıştırma-sinyal oranı ("Jamming to Signal Ratio", J/S) yetersiz kalacaktır. Bu sebeple, elektronik harbin elektronik istihbarattan bağımsız düşünülmesi mümkün değildir. Elektronik harp unsurları daha geniş bir yelpazede C4ISR; Komuta, Kontrol, Haberleşme, Bilgisayar, İstihbarat, Gözlem/keşif unsurlarının tüm işlevsel elektronik alt yapılarını ve düşmanın da benzer sistemlerinin tamamını içerir. Geleceğin savaşları; meydanlarda yüz yüze ve sayısal fazlalık yerine gelişmiş teknolojiye sahip ve onun etkinliğini artıracak

sistem ve yeteneklere bir bütün olarak sahip olma ihtiyacını gösterecektir.Aynı şekilde düşman da kendi elindeki sistemlerin etkinliğini arttırmak isteyeceğinden bunun bir aşaması da düşmanın bu etkinliğinin önlenmesi olacaktır.

Elektronik harp (EH) alanında gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme faaliyetleri, özellikle son on-yirmi senede büyük çapta ilerleme göstermiş, savunma sektöründe gelişmiş olan ülkelere tabi silahlı kuvvetler son derece modern ve etkin elektronik harp cihazları ile donatılmıştır. Bu durum, özellikle Türkiye gibi savunma alanında henüz gelişmekte olan ülkelerin elektronik harp sahasında gelişmiş olan diğer ülkeler seviyesine erişebilmek amacıyla bir takım girişimlerde bulunmaları konusunda zorlayıcı bir faktör olmuştur. Nitekim, gerek Türkiye ve gerekse gelişmekte olan diğer ülkeler tarafından savunma alanında gerçekleştirilen faaliyetlere bir göz atıldığında, bu ülkelerin gelişmiş olan diğer ülkeler tarafından tasarlanan EH sistemlerinin tedariği kapsamında projelere adım attıkları ve bu kapsamda hem EH alanında teknoloji transferi yapmayı, hem de silahlı kuvvetlerini modernize etmeyi hedefledikleri görülmektedir. EH teknolojisi alanındaki gelişmelerin giderek artan bir hızla ilerleme kaydettiği dikkate alındığında, gerek yabancı kaynaklı EH sistemlerinin tedariğine, gerekse bu tür sistemlerin milli olarak üretilmeleri amacına yönelik olarak başlatılan projelerin sayılarının da gün geçtikçe artış olacaktır.

Elektronik harp çeşitli şekillerde günlük yaşamımızın içine de girmiştir. Büyük şirketler veya kurumlar cep telefonu, sim kartlı avuç içi bilgisayarlar gibi cihazlarla bilgi çalınmasını engellemek için elektromanyetik dalgaları önleyici sistemleri kullanmaktadırlar. Geçmiş yıllarda ünlü bir iş adamının katilinin yerinin cep telefonu sinyalleri takip edilerek polis tarafından tespit edildiğini bilmeyen yoktur. Bu tür uygulamalar bir çeşit elektronik harp metodudur.

2. ELEKTRONİK HARP

2.1 Elektronik Harp Tanımı ve Kapsamı

Elektronik olarak kontrol edilebilen savaş sistemlerine yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetleri, "Elektronik harp" (EH) olarak adlandırılan önemli bir bilim alanını oluşturmaktadır. Bu alan, elektronik sektörünün askeri operasyonlara büyük çapta girdiği ilk dönem olarak nitelendirilen II.Dünya Savaşı'ndan günümüze dek oldukça ileri düzey bir statüye ulaşmış bulunmaktadır. Elektronik harp kavramı, temel olarak, potansiyel düşman elektronik savaş sistemlerinin kabiliyetleri hakkında istihbarat bilgisi toplamak amacıyla bu sistemlerden yayılan elektromanyetik sinyalleri toplama ve analiz etme; mevcut düşman elektronik savaş sistemlerinden yayılan elektromanyetik sinyalleri algılama ve tanıma ile elektronik iletişim ve silah sistemlerinin düşmanlar tarafından etkin bir şekilde kullanılmasını engellemek amacıyla elektromanyetik sinyaller üretme ve gönderme faaliyetlerini kapsamaktadır [2]. Elektronik harp faaliyetleri, mevcut ve/veya potansiyel düşman elektronik savaş sistemlerine yönelik olarak yukarıda değinilen faaliyetlerin yanısıra, düşman sistemleri ile aynı frekans spektrumunu kullanan dost sistemlerin operasyonlarının olumsuz yönde etkilenmemelerini sağlama konusunda gerçekleştirilen çalışmaları da içermektedir [3].

Yukarıda verilen açıklamaların ışığı altında, elektronik harp kapsamına giren faaliyetler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

1. Potansiyel düşman elektronik harp sistemlerinden yayınlanan sinyallerin aranması, algılanması ve analiz edilmesi,

2. Düşman elektronik harp sistemlerinden yayılan sinyallerin aranması, algılanması, lokasyonunun belirlenmesi ve tanımlanması,

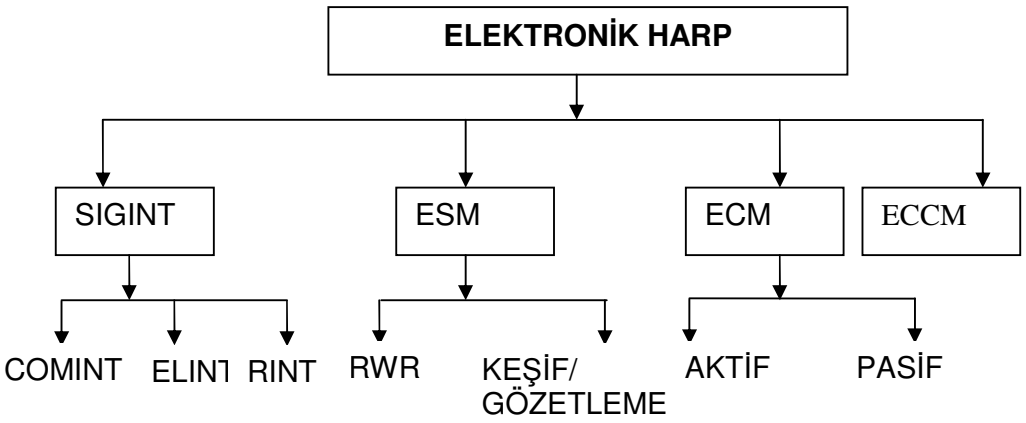
3. Konvansiyonel silahlara başvurmaya gerek kalmaksızın elektromanyetik sinyaller göndererek düşman elektronik harp sistemlerinin doğru çalışmalarının engellenmesi ve

4. Dost elektronik harp sistemlerinin, düşman elektronik harp sistemlerinin mevcut olduğu ortamlarda doğru çalışmalarının sağlanması.

Elektronik harp genel olarak yukarıda belirtilen faaliyetleri kapsamak üzere dört ana katagoriye ayrılmaktadırlar;

1. Sinyal İstihbaratı (SIGINT),
2. Elektronik Destek Tedbirleri (ESM),
3. Elektronik Taarruz (ECM),
4. Elektronik Koruma Tedbirler (ECCM)

Elektronik harp kategori ve alt kategorileri Şekil 2.1'de verilmekte ve herbir kategori altında ne gibi faaliyetlerin yürütüldüğü izleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanmaktadır.



Şekil 2.1. Elektronik harp kategori ve alt kategorileri

2.2. Sinyal İstihbaratı – SIGINT (Signal intelligence)

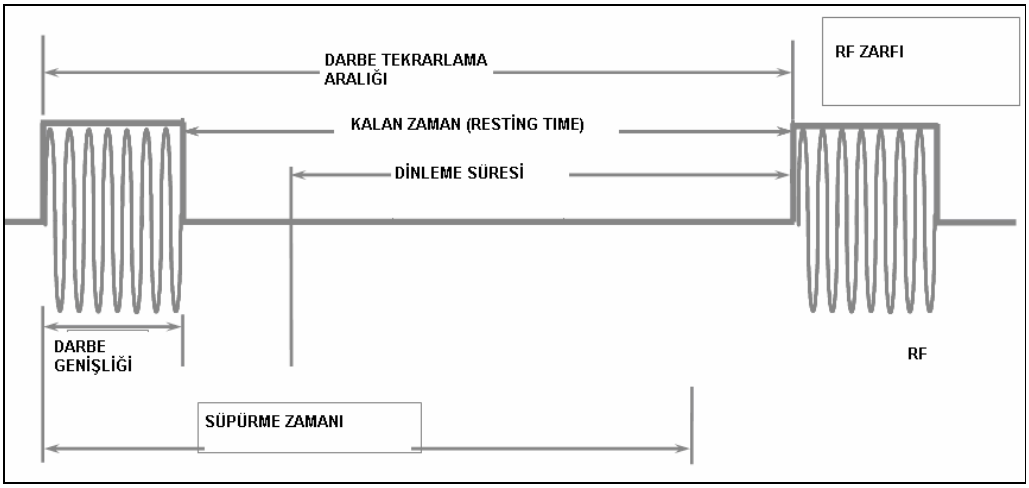
Sinyal istihbaratı (SIGINT), potansiyel düşman elektronik harp sistemlerinden yayınlanan sinyallerin toplanması ve analiz edilmesi faaliyetlerini kapsaması itibariyle elektronik harbin önemli bir alanını oluşturmaktadır. SIGINT sistemlerinin temel misyonları, tehdit unsuru oluşturma olasılığı mevcut olan elektronik harp sistemlerinden yayınlanan sinyallerin savaş zamanlarında olduğu kadar barış zamanlarında da mümkün olduğu kadar çok toplanması ve bu verilerin analiz edilmeleri neticesinde mevcut tehdit bilgilerinin güncelleştirilmesi ve etkin elektronik harp taktik ve tekniklerinin geliştirilmesi hizmetlerinin verilmesidir. bu alan da kendi içerisinde, istihbarat bilgilerinin toplandığı elektronik harp sistemlerin çeşitleri itibariyle üç gruba ayrılmaktadır;

- Haberleşme İstihbaratı (COMINT-Communication Intelligent)
- Elektronik İstihbarat (ELINT-Elektronic Intelligent) ve
- Radyasyon İstihbaratı (RINT-Radiation Intelligent) [4].

COMINT, potansiyel düşman haberleşme sistemlerinden yayılan istihbarat bilgilerinin toplanması olarak tanımlanmaktadır. Bu alanda hizmet veren sistemler, radar sistemlerinde olduğu gibi maksatlı yayınları değil, potansiyel tehdit olarak kabul edilen ülkelerin telsiz, telefon gibi telekominükasyon cihazlarından yayılan bilgilerinin toplanması ve bunların analiz edilerek bu bilgilerinin toplandığı iletişim cihazları ve ağlarının yapıları ve çalışma prensipleri hakkında bilgi edinilmesine yönelik faaliyetleri yerine getirmektedir.

ELINT, COMINT alanından farklı olarak, potansiyel radar düşman radar sistemlerinden yayınlanan istihbarat bilgilerinin toplanması işlemlerini kapsamaktadır. ELINT sistemleri tarafından toplanan bilgiler, operasyon frekansı (RF), darbe tekrarlama frekansı (PRF), darbe genişliği (PW), RF ve

PRF değiştirme özellikleri, çalışma modları gibi, Şekil 2.2'de gösterilen radar sistemlerinin karakteristiklerini belirleyen parametre bilgilerini içermektedir. Bu nedenle ELINT sistemleri, ileriki bölümlerde değinilecek olan elektronik destek tedbirleri (ESM-Electronic Support Measure) elektronik taarruz (ECM-Electronic Counter Measure) sistemlerinin tasarımları için ihtiyaç duyulan verileri sağlamaktadır [5].



Şekil 2.2. Radar parametreleri

SIGINT'in üçüncü alt alanını oluşturan RINT ise, potansiyel düşman radar ve iletişim sistemlerinden istenmeden yayınlanan (harmonikler, sahte sinyaleri gibi) istihbarat bilgilerinin toplanması ve analizi işlemlerini kapsamaktadır [2].

SIGINT kapsamında yürütülen faaliyetlerin, bir ülkede gerçekleştirilen diğer askeri faaliyetler ile karşılaştırıldığında oldukça önemli bir stratejik role sahip olduğu gözlenmektedir. Bu faaliyetler aracılığı ile, tehdit unsuru oluşturma olasılığı bulunan ülkelerin sahip olduğu elektronik harp sistemlerinin tipleri, karakteristikleri, sayıları ve lokasyonları tesbit edilebildiği gibi, bu ülkelerin teknolojik durumları, askeri açıdan güç, maksat ve yöntemleri de belirlenebilmektedir. Örnek olarak, SIGINT sistemleri tarafından sınır bölgelerinde beklenmedik yoğunlukta elektromanyetik yayılımların

algılanması durumunda, bu konuya açıklık getirilmesi maksadıyla bu bölgeye yönelik bazı politik girişimlerde bulunulması gerekli görülebilir.

SIGINT faaliyetleri, stratejik açıdan olduğu kadar taktik açıdan da büyük öneme sahip aktivitelerdir. SIGINT sistemleri tarfından toplanan istihbarat bilgilerinin değerlendirilmesi neticesinde, potansiyel düşman elektronik harp sistemlerinin özellikleri saptanabilmekte ve tipik operasyonel savaş koşullarında düşman elektronik harp sistemlerine karşı en etkin neticenin alınabilmesi maksadıyla dost elektronik harp sistemlerinin nasıl bir savunma/hücum taktiği izleyecekleri, lokasyon olarak hangi pozisyonlara yerleştirilecekleri problemlerine çözüm getirilebilmektedir.

2.3. Elektronik Destek Tedbirleri - ESM (Electronic Support Measure)

Elektronik harbin diğer bir alanını oluşturan elektronik destek tedbirleri (ESM), düşman elektronik harp sistemlerinden yayınlanan sinyallerin aranması, algılanması, lokasyonlarının tespit edilmesi ve tanımlanması faaliyetlerini teşkil etmektedir. Her ne kadar ESM faaliyetleri, SIGINT kapsamı içinde gerçekleştirilen aktiviteler ile benzerlik gösterse de, bu iki alan birbirleriyle zaman parametresinin önemi açısından ayrılık göstermektedir. Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse, ESM faaliyetleri gerçek zamanlı veya yakın-gerçek zamanlı aktiviteleri içermektedir. Ancak, SIGINT faaliyetleri açısından zaman, kritik bir öneme sahip olmayıp, bu faaliyetler kapsamında toplanan veriler anında analiz edilmeyi gerektirmemektedir. Operasyonel ortamda mevcut olan tehdit elektronik harp sistemlerinden yayılan elektromanyetik sinyaller ESM sistemi tarafından gerçek veya yakın-gerçek zamanlı olarak toplanmakta, analiz edilmekte, tanımlanmakta ve bunlarla birlikte pilotun uyarılmasını ve elektronik taarruz (ECM), füze kontrol, pasif karşı tedbir (örneğin çaf) sistemleri gibi hava platformuna entegre edilen diğer karşı tedbir amaçlı

aviyonik sistemlerin çalışmaya başlamalarını sağlamak amacıyla, görüntülü, sesli, sayısal veya diğer formlarda ikaz sinyalleri üretmektedir [6].

ESM sistemleri, genel olarak iki alt kategoride toplanmaktadır. Birinci kategori, genellikle uçak, helikopter, gemi gibi platformlara kendini koruma kabiliyeti kazandırma amacıyla entegre edilen ve gerçek zamanlı olarak çalışan radar ikaz alıcılarını (RWR) içermektedir. İkinci grubu teşkil eden keşif/gözetleme alıcıları ise, genellikle RWR'lardan daha karmaşık alıcılar olup, düşman radar sistemlerinin sinyallerini yakın-gerçek zamanlı olarak algılayıp analiz etme ve bu analiz neticesinde elde edilen veriler ile birlikte çalıştığı diğer sensörlerden gelen bilgiler ışığında lokal olarak tehdit bilgilerini güncelleştirme, ECM sistemlerini harekete geçirme ve tehditlerin yaklaştığına dair erken uyarı mesajları verme görevlerini görmektedir [2].

RWR sistemleri özellikle uçak helikopter gibi hava platformlarına entegre edilmekte ve tehdit tarama, kilitleme radarları ile havadan havaya, yerden havaya fırlatılabilen füze ve uçaksavar mermi türü silahların varlığını tespit ederek ikaz mesajları üretmektedir. Bu tür ESM sistemlerinin temel özellikleri, diğer alıcı sistemlere kıyasla daha az karmaşık yapıya sahip olmalarıdır. Dolayısıyla RWR alıcıları, daha ucuz sistemleri oluşturmaktadır.

Genel olarak, misyonun gerçekleştirileceği operasyonel ortamda mevcut olması beklenen tehditlerin sinyal parametreleri, göreve başlamadan önce RWR sisteminin yazılımı içerisindeki tehdit kütüphanesine yazılır ve sistem yazılımı bu özelliklerde olan sinyalleri algılayacak şekilde programlanır. RWR tarafından, algılanan sinyallerin parametreleri ölçülür ve bu parametreler sistemin tehdit kütüphanesinde daha önceden tanımlanan gerçek tehdit sinyal parametreleri ile karşılaştırılarak algılanan sinyallerin gerçek tehditlere ait olup olmadığı ve ait ise hangi tehditler tarafından yayınlanan sinyaller olduğu tespit edilir.

Keşif ve gözetleme türü ESM sistemleri ise genellikle RWR'lardan çok daha karmaşık alıcı sistemlerini oluşturmaktadır. Bu sistemler her ne kadar RWR'lar ile benzer fonksiyonları yerine getiriyor olsalar da, keşif/gözetleme alıcıları düşman EH sistemlerini çok daha uzak mesafelerden (hatta radarların yan kulakçık yayınlarını da tespit edecek şekilde) algılama kabiliyetine sahip çok daha duyarlı sistemlerdir. Bunun yanısıra, keşif/gözetleme radarları RWR'lardan daha çok sayıda sinyal parametresini ölçebilmekte (koherentlik ve polarizasyon gibi) ve daha yüksek doğrulukta açı tespiti yapabilmektedir.

ESM sistemlerinde aranan en temel özelliklerden biri, ESM sistemlerinin entegre edildiği platformlar düşman EH sistemleri tarafından algılanmadan çok önce, bu sistemlerin sözkonusu düşman EH sistemlerini algılama kabiliyetine sahip olmalarıdır. ESM sistemlerini karakterize eden diğer bazı önemli özellikleri de, düşman EH sistemlerinin hangi parametrelerinin ölçülebildiği ve bu parametrelerin ölçümlerinin ne kadar doğruluk dereceleri ile yapılabildiği hususları oluşturmaktadır.

2.4. Elektronik Taarruz- ECM (Electronic Counter Measure)

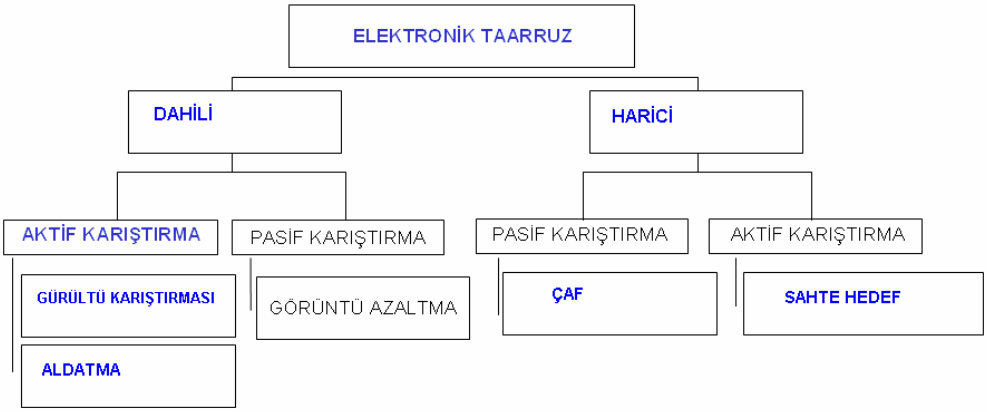
Elektronik harbin üçüncü alt-alanını elektronik taarruz (ECM) teşkil etmektedir. ECM faaliyetlerinin temel amacı, eletromanyetik spektrumun düşman elektronik harp sistemleri tarafından etkin bir şekilde kullanılmasının engellenmesidir. Başka bir deyişle ECM, düşman elektronik harp sistemlerini, dost elektronik harp sistemleri tarafından konvansiyonel silah kullanımına gerek duyulmaksızın, olumsuz yönde etkilemek veya etkisiz hale getirmek amacı ile gerçekleştirilen faaliyetlerdir. Bu alanda faaliyet gösteren sistemler, düşman elektronik harp sistemleri tarafından dost elektronik harp sistemleriyle ilgili olarak ölçülen bilgileri saptırarak aldatma veya dost platformdan yansıyan ekoyu pek çok yanlış eko ile çevreleyerek karıştırma amaçları ile belirli formlarda elektromanyetik sinyaller üretmekte

ve bunları düşman elektronik harp sistemlerinin algılayabileceği şekillerde göndermektedirler.

ECM, kendi içerisinde pek çok alt gruba ayrılan geniş kapsamlı bir elektronik harp alanını teşkil etmektedir. ECM teknik ve taktiklerini aşağıda sıralanan konu başlıkları altında çeşitli şekillerde gruplandırmak mümkündür [6].

1. ECM'in türü (aktif/pasif),
2. Taktik,
3. Platformun türü, ve
4. Platform üzerine takılma şekli

Şekil 2.3'de Elektronik Taarruz'un alt başlıkları verilmiştir



Şekil 2.3. Elektronik taarruz alt grupları.

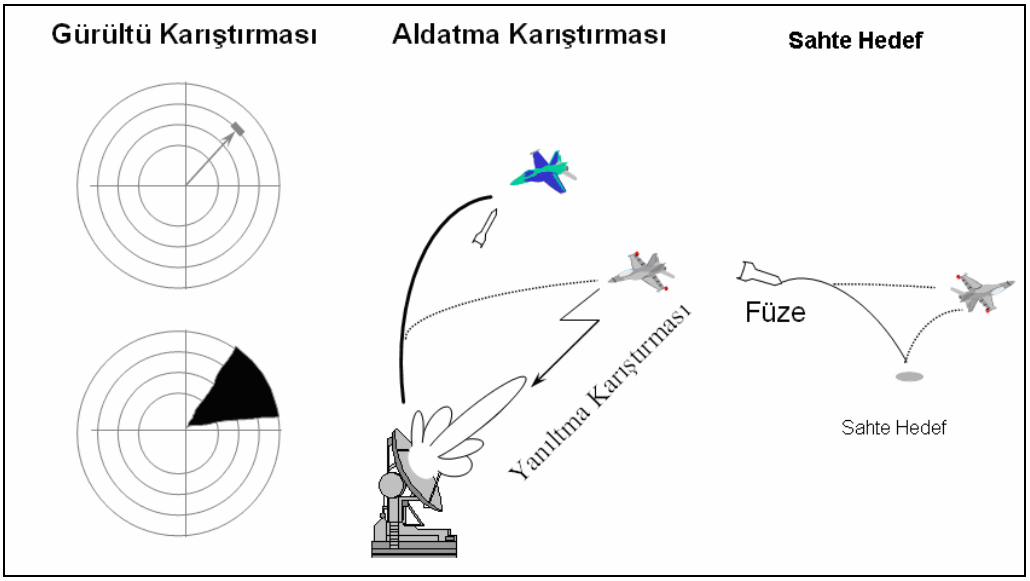
ECM'in türü açısından aktif ECM ve pasif ECM olarak iki farklı grup mevcuttur. Aktif ECM, düşman elektronik harp sistemleri tarafından, dost elektronik harp sistemlerinin tip ve lokasyon bilgilerinin edinilmesi maksadıyla kullanılan sinyallere benzer şekillerde sinyaller üretme ve bunları düşman elektronik harp sistemlerini aldatma veya karıştırma amaçları ile

gönderme faaliyetlerini kapsamaktadır. Aktif ECM sistemleri tarafından gönderilen sinyaller, genlik, frekans, faz modülasyonlu veya diğer bir şekilde modüleli elektromanyetik sinyaller olup, bu sinyallerin üretiminde ECM sisteminde bulunan sinyal üretme kaynaklarından yararlanılabileceği gibi, doğrudan doğruya düşman elektronik harp sistemi tarafından dost platforma gönderilen sinyaller de kullanılabilmektedir. Yukarıda verilen açıklamalardan da anlaşılabileceği gibi, aktif ECM de kendi içerisinde karıştırma yöntemleri olarak başlıca iki alt grupta toplanmaktadır:

1. Gürültü Karıştırması,
2. Aldatma Karıştırması,

Karıştırma ve Aldatma. Karıştırma türü ECM'in amacı, dost EH sistemlerinin özellik ve lokasyonlarının düşman EH sistemleri tarafından tespit edilmesini sağlayan eko sinyallerini, benzer pek çok sayıda sinyal ile kaplamak ve böylelikle gerçek eko sinyallerinin düşman EH sistemleri tarafından oldukları gibi algılanmalarını güçleştirmektir. Bu şekilde gerçekleştirilen bir aktif ECM tekniği ile düşman EH sistemi, antenine ulaşan bir çok sinyal arasından gerçek ekoyu seçmekte güçlük çekeceği için, dost platformun hagi mesafe ve açıda olduğunu da belirleyemeyecektir [6]. Aktif ECM'in diğer bir alt grubu olan aldatma ise, düşman sistemlerin dost platform ile ilgili yanlış çıkarımlar yapmasını, başka bir deyişle, mesafe ve açı bilgisinin olduğundan farklı bir değerde algılanmasını sağlamak maksadı ile uygulanan teknikleri içermektedir. Şekil 2.4'da karıştırma yöntemleri görülmektedir.

ECM'in diğer bir türünü pasif ECM alanı teşkil etmektedir. Pasif ECM teknikleri, tehdit radarlarından yayılan elektromanyetik sinyallerin dost platformdan yansıyan gerçek eko sinyaller ile ayırt edilemeyecek bir biçimde yansıtılması ile ilgili teknikleri içermektedir [6]. Bu amaçla genel olarak çaf ve dekoylar kullanılmaktadır.



Şekil 2.4 Karıştırma yöntemleri

Çaf, pasif ECM uygulanacak tehdit radarının çalışma frekansına bağlı olarak çeşitli uzunluklarda kesilen çok miktardaki dipol yansıtıcıdan oluşur. Radar kesit alanları gerçek bir uçağınki ile karşılaştırılabilecek kadar yüksek olan bu dipoller, korunmak istenen platformdan fırlatılır ve atmosfere yayılarak açılırlar. Böylelikle dost platformdan yansıyan eko, dipollerden yansıyan eko ile karışarak tehdit radarı tarafından ayırt edilememektedir. Çaf ölçüleri arzu edilen frekanslara bağlı olarak değişen ve değişik iletkenlere sahip olan çok ince metal şeritlerdir. İki türlü çaf yapısı vardır;

1. Düşük frekanslı radarlara karşı kullanılan (<300 MHz) halat çaflar, uzunluğu metrelerce olan çaflardir.

2. Belirli frekanslar için kesilmiş çaflar. Şu anda savaş uçaklarında kullanılan çafler bu türdendir. Yüksek frekanslı radarlara karşı kullanılır (>300 MHz) Değişik uzunluklarda kesilmiş çaflerden oluşur. 0.028mm çapında aliminyum kaplı fiberglass'tır.

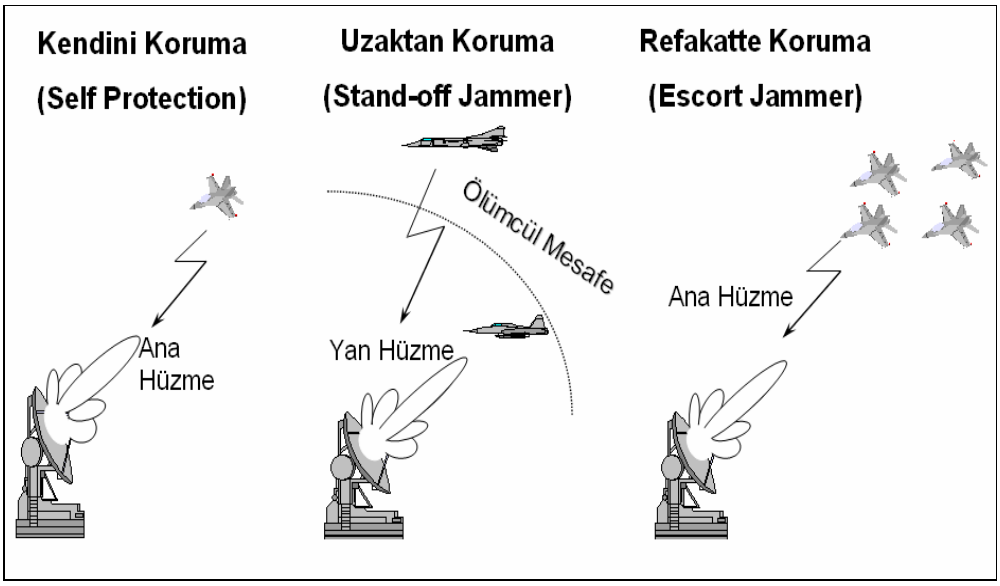
Pasif ECM uygulamalarının diğer bir çeşidi olan dekoylar ise, fiziksel olarak uçaktan küçük uçak benzeri hedeflerdir. Bunlar, radar kesit alanlarının büyüklüğü itibariyle tehdit radarlarına gerçek bir savaş veya bombardıman uçağı gibi görünebilmektedir.

ECM, taktik açıdan ele alındığında, genel olarak beş alt grupta değerlendirilebilir. Birinci grubu teşkil eden "stand-off" türü ECM uygulamalarında ECM sistemi oldukça büyük, güçlü vericilere sahip olup, tehdit radarlarının öldürme mesafeleri yakınında, ancak dışarısında görev alan platformlara entegre edilmektedir. Bu çeşit ECM sistemleri, tehdit radarlarının öldürme mesafeleri içerisinde görev yapan hücum platformlarını korumak amacıyla tehdit radarlarına karşı aldatma/karıştırma ECM tekniklerini uygularlar. Diğer bir grubu içeren "escort" ECM taktiği, "stand-off" ECM taktiği ile benzer olmakla beraber, ECM sistemini taşıyan platformun hücum platformu ile birlikte tehdit radarlarının öldürme mesafeleri içerisinde görev yapmaları açısından farklılık gösterirler.

"Karşılıklı destek (mutual support)" veya diğer adıyla "işbirliği (cooperative)" ECM taktiğinde, tehdit radarlarına karşı birden fazla platform tarafından koordineli bir şekilde ECM teknikleri uygulanmaktadır. Bu tür uygulamalar, ECM sistemi taşıyan yalnızca bir platformun mevcut olması durumu ile karşılaştırıldığında, daha büyük efektif yayılma gücü (ERP) avantajını sağlamaktadır. "Stand-forward" türü ECM taktiğinde ise, ECM sistemini taşıyan platform, "escort" ECM durumunda olduğu gibi tehdit radarlarının öldürme mesafeleri içerisinde yer almakta, ancak sözkonusu uçakların korunulan platform ile silah sistemi arasında belirli bir zaman süreci içerisinde görev yapmaları gerektiğinden, bu tür ECM sistemleri uzaktan kontrol edilen insansız hava araçlarına entegre edilmektedir. Son grubu teşkil eden ve en yaygın olarak kullanılan ECM taktiği, "self-protection" (kendini korumalı) ECM uygulamalarını içermektedir. Bu grup altında yer alan ECM sistemleri ve teknikleri, Bölüm 3'de detaylı olarak açıklanmaktadır.

Şekil 2.5'de Kendini Koruma, Uzaktan Koruma ve Refakatta Koruma olarak karıştırma geometrisi gösterilmektedir.

ECM alanı altında, ECM sistemlerinin entegre edildiği platformlar ile bu sistemlerin platformlara entegre edilme şekilleri açılarından da çeşitli sınıflandırmalar yapılması mümkündür. ECM sistemleri, hava, yer, deniz,füze veya uzay platformlarına entegre edilebileceği gibi, bu platformların iç kısımlarına ayrı ayrı üniteler olarak veya dış yüzeyinde uygun bir bölüme harici (pod) olarak da takılabilmektedir.



Şekil 2.5 Karıştırma geometrisi.

Operasyon yönünden bakıldığında, uçakların ve gemilerin kendini koruma gereksinimleri önemli ölçüde farklıdır. Çoğu savaş uçağı; baştan bakıldığında 1 metrekareden 10 metrekareye kadar, yandan bakıldığında 10 metrekareden 100 metrekareye kadar olan düşük radar kesitine (RCS) sahiptir. Savaş uçaklarında, hacmin ve taşınacak ağırlığın sınırlı olması nedeniyle bütün radar bandını kapsayacak (0.5-18 GHz) bir ECM karıştırma vericisini yerleştirmek bir problemdir. Bu problem için özel görevlerde

frekans bandları bilinen tehditlere karşı uygun harici karıştırma podu kullanmak bir çözümdür. Alternatif bir diğer çözümde sadece terminal tehdit bandlarını (E/F,G/H,I/J bandları) kapsayan dahili bir ECM sistemidir [2]. Dinamik olarak değişim gösteren operasyonel misyon ve tehdit ortamlarında etkin bir şekilde kullanılabilecek ECM taktik ve tekniklerinin geliştirilmesine yönelik faaliyetler, elektronik harp alanında hem teknik uzmanların hem de harekat uzmanlarının katılım gösterdiği, kritik önemi bulunan çalışmaları içermektedir. Etkin ECM taktik ve tekniklerinin geliştirilebilmesi, özet olarak aşağıdaki işlemlerin tamamlanmasını gerektirmektedir:

1. Operasyonel misyonun tanımlanması,
2. Misyon gerçekleştirilirken, ECM sisteminin çalışacağı operasyonel koşullarda mevcut olan tehditlerin listesi, çalışma prensipleri ve performans parametrelerinin tanımlanması,
3. Tehditlerin öldürme mesafelerine bağlı olarak, hangi mesafeden itibaren algılanmaları ve hangi mesafeden itibaren ECM tekniklerinin uygulanmasının gerekli olduğunun belirlenmesi,
4. Tehditlerin tipik bir operasyonel ortamda parametre, çalışma zamanları ve yerleşim itibariyle hangi kombinasyonlarda bulunabileceklerinin, başka bir deyişle gerçek operasyonel koşulları yansıtan tipik senaryoların belirlenmesi,
5. Tehditlerin önemlerine göre sıralanması,
6. Tehditlerin çalışma prensipleri ve faaliyet gösterdikleri operasyonel ortamlar itibariyle zayıflıklarının belirlenmesi,
7. Yukarıda belirlenen tehdit bilgileri ışığında, bu tehditlere karşı uygulanabilecek ECM tekniklerinin belirlenmesi ve bu teknikleri uygulayabilecek ECM sistemlerinin tasarlanması,
8. Tasarlanan ECM sistemlerinin operasyonel testlerden geçirilerek, etkinliklerinin doğrulanması [6].

Elektronik harp alanında araştırma ve geliştirme çalışmaları yürüten mühendislik ve harekat uzmanları, bir yandan tehdit elektronik harp sistemlerini etkisiz kılmak maksadıyla yukarıda belirtilen işlemler doğrultusunda ECM teknik ve taktiklerini geliştirirken, diğer yandan da tehdit ECM sistemleri tarafından uygulanan ECM teknik ve taktiklerini etkisiz kılacak elektronik harp sistemleri geliştirmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu çalışmalar, elektronik harp alanının Elektronik Korunma Tedbirler (ECCM) olarak adlandırılan ve aşağıda açıklanan bir diğer alt alanını oluşturmaktadır.

2.5. Elekronik Korunma Tedbirleri – ECCM (Electronic Counter Counter Measure)

Düşman kuvvetlerce geliştirilen ECM sistemleri tarafından uygulanan teknik ve taktiklerin, dost elektronik harp sistemlerinin çalışmalarını olumsuz yönde etkilemeye başladıklarının gözlenmesi üzerine, ECM etkinliğini mümkün olduğu ölçüde azaltmak veya gidermek amacıyla, dost elektronik harp sistemlerinin ECM'e karşı tedbir olarak bir takım ilave elektronik donanımlar/kabiliyetler eklenerek geliştirilmeleri gereği doğmuştur. Bu konu ile ilgili çalışmalar elektronik harp alanının son grubu olan Elektronik Korunma Tedbir (ECCM) alanını teşkil etmektedir. ECCM, genel olarak elektromanyetik spektrumun dost elektronik harp sistemleri tarafından kullanımını temin etmek maksadıyla yürütülen faaliyetler olarak tanımlanmaktadır.

ECCM sistemlerinden beklenen fonksiyonlar, genel olarak, Bölüm 2.4.'de açıklandığı üzere çeşitli şekillerde ECM teknikleri uygulayabilen ECM sistemlerinin mevcut olduğu operasyonel koşullar altında, tehdit elektronik harp sistemlerine ait sinyalleri ECM sinyallerinden ayırt edebilme, ECM sinyallerini göz ardı ederek gerçek tehdit sinyalleri üzerine kilitlenebilme, dolayısıyla tehdit elektronik harp sistemlerinin mesafe, açı ve hız gibi

parametrelerini doğru bir şekilde ölçerek bu sistemleri etkisiz kılabilme maksadıyla gereken tedbirlerin zamanında alınabilmesini sağlamaktır. Bu amaçla, ECM sistemleri tarafından etkisiz kılınmaya çalışılan elektronik harp sistemleri, çalışma frekansı (RF), darbe tekrarlama frekansı (PRF) gibi bazı parametrelerini hızlı bir şekilde (örneğin darbeden darbeye) değiştirerek ECM sistemlerinin yakın RF ve PRF'lerde sinyaller göndermelerini ve böylelikle bu sinyallerin gerçek tehdit sinyalleri ile karışmalarını önleyebilmektedir. RF ve PRF değiştirme tekniğinin yanısıra elektronik harp sistemleri tarafından kullanılan diğer bir ECCM özelliği de, algılanan sinyallerin faz özelliklerinin gönderilen sinyallerinki ile karşılaştırılarak farklı fazda algılanan sinyallerin işlenmesinin engellenmesidir. Ancak bu ECCM tekniği, yalnızca sinyalleri eşevreli bir şekilde saklama kabiliyeti olmayan ECM sistemlerine karşı etkili olabilecek bir yöntemdir. Bazı ECM sistemlerinin sinyal saklama devreleri de, darbelerin başlangıç ucundaki fazı örnekleyerek, diğer kısımlarında herhangi bir faz değişimi olmayacağı prensipinden hareketle işlem yapmaktadır. Bu tür ECM sistemlerine karşı, darbe içi faz veya frekans değişimi şeklinde uygulanan ECCM teknikleri kullanılabilmektedir. Başka bir ECCM uygulamasında, elektronik harp radar sistemlerinin yan kulakçıklarına sinyal göndererek karıştırma yapma amaçlı ECM tekniklerine karşı, yan kulakçıkladan algılanan sinyaller tespit edilerek atılmakta ve işlenmeleri engellenebilmektedir. Aynı tür ECM tekniklerine karşı etkili olan diğer bir ECCM özelliği de, radar örüntüsünün ana kulakçık ile yan kulakçıkları arasındaki güç farkının büyük olması ve böylece ECM sisteminin gücü yetersiz kılınarak yan kulakçıklara sinyal gönderme kabiliyetinin zayıf bırakılmasıdır. Bunlardan farklı olarak, "monopulse" ve "LORO (lobe on receieve only)" olarak adlandirilan çalışma prensiplerini kullanan radar sistemleri de ECM sistemlerinin kabiliyetlerini zorlayıcı sistemler olarak değerlendirilmektedir. Yukarıda belirtilen konular, ECCM alanında kullanılan uygulamalardan yalnızca bir kaçına yönelik örnekleri teşkil etmektedir.

Gözetleme radarında uygulanan ECCM teknikleri alıcı, verici ve antende kullanılan teknikler olmak üzere üç ayrı grupta yer almaktadır.

Vericide kullanılan eccm teknikleri

Vericide kullanılan ECCM teknikleri gönderilen sinyalin gücü, frekansı ve dalga şeklinin kullanımı ve kontrolü ile ilgilidir. Darbe göndermeli doppler radarında periyodik olarak kare dalga gönderilmektedir. Bu dalganın frekans spektrumuna transferi örneklenmiş sinüs fonksiyonu şeklindedir. Taşıyıcı dalga ile modüle edilmiş bir periyodik dalganın frekans spektrumuna transferinde ise örneklenmiş sinüs fonksiyonu taşıyıcı dalganın frekans değeri kadar frekans spektrumunda kaydırılır. Karıştırıcının radar alıcısını karıştırabilmesi için radarın yayın yaptığı taşıyıcı frekansı üzerinden yayın yapması gerekmektedir. Yanıltıcı karıştırmada ise yayılan radar yayın örneğine benzer sinyalin karıştırıcı tarafından üretilmesi gerekmektedir. Darbe tekrarlama hızı, frekans değeri, sinyalin niteliği değiştirilerek bu tür karıştırmanın zorlaştırılması sağlanır. Vericide kullanılan elektronik savunma tedbirleri aşağıda verilen başlıklar altında sayılabilir;

a. Frekans Atlaması
b. Frekans Çeşitliliği
c. Kodlu Darbe Gönderme (Darbe Sıkıştırması)
d. Geniş Yayın Bandının Kullanılması
e. Darbe Tekrarlama Frekansının Değiştirilmesi [7].

Alıcıda kullanılan eccm teknikleri

Alıcıda kullanılan ECCM tekniklerinin amacı karıştıcının radarı doyuma sokmasını önlemektir. Çünkü doyuma girmiş bir radarda hedeflerle ilgili bilgiler kaybolur ve denetleme gerçekleştirilemez. Ayrıca karıştırmanın hangi frekansta yapıldığının belirlenmesi amacıyla uygulanan teknikler de vardır.

Otomatik frekans seçimi dışındaki teknikler ECCM'den başka amaçlar için de kullanıldığı için tek başlarına ECCM tekniği olarak adlandırılmazlar. Ancak amaçlarından biri de karıştırıcı yoluyla gelen sinyallerin radarı etkilemesini önlemektir. Otomatik frekans seçimi ise tek başına bir ECCM tekniği olup karıştırma analizi yapma amacıyla uygulanmaktadır. Alıcıda uygulanan elektronik savunma tedbirleri aşağıda verilen başlıklar altında sayılabilir;

a. Karıştırma Analizi ve Otomatik Frekans Seçimi
b. Otomatik Kazanç Kontrolü
c. Hassasiyet Zaman Kontrolü
d. Sabit Sahte Alarm Sınırlaması
e. Logaritmik ve Doğrusal Logaritmik Alıcı
f. Darbe Entegrasyonu
g. Hareketli Hedef Tespit Devresi.

Antende kullanılan eccm teknikleri

Anten, radar ile operasyonel ortam arasındaki ilk basamak olması nedeniyle elektronik taarruz tedbirlerine karşı korunmak için de ön bastırıcı faktör rolündedır. Gürültü, radar performansını etkileyen önemli bir faktördür. Radar alıcısındaki elektronik devrelerin oluşturduğu gürültü ile doğal ortamdan gelen gürültü dışında radarın performansını etkilemek amacıyla karıştırıcı tarafından üretilen gürültü vardır ki bunun bastınlması için özel teknikler kullanılmaktadır. Eğer karıştırıcı radar anteninin ana huzmesi içerisinde ise yaratılan gürültü antene ana huzme yoluyla girer ve PPI Radar göstergesi üzerinde karıştırıcı yönündeki sektör üzerinde radyal bir parlama (strobe) görülür. Bu durumda karıştırıcının yönü PPI göstergesi üzerinden belirlenebilir ancak karıştırıcının mesafesi ve bu yöndeki sektör içerisinde yer alan hedeflerin mesafesinin tespit edilmesi mümkün değildir. Eğer karıştırıcının ürettiği gürültü radar anteninin yan kulakçıkları üzerinden

gelirse radar göstergesi tamamen çalışmaz duruma gelir ve hiç bir hedef bilgisi elde edilemez. Bu durum daha tehlikelidir ve karıştırıcı tarafından üretilen gürültünün radarın yan kulakçıkları üzerinden girmesinin özellikle engellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla anten tasarımında kullanılan teknikler aşağıda sıralanmıştır;

a. Yan Kulakçık Bastırması
b. Yan Kulakçık İptalcisi
c. Dar Anten Huzme Genişliği ve Düşük Yan Kulakçık Seviyesi
d. Anten Faz Taraması ve Adaptif Anten Dizileri [7].

3. ELEKTRONİK TAARRUZ

3.1. Kendini Korumalı ECM Sistemlerinin Temel Çalışma Prensipleri

Bundan önceki bölümlerde elektronik harp kavramına açıklık getirilmiş, elektronik harbin alt-alanları olan SIGINT, ESM, ECM ve ECCM faaliyetlerine bir giriş yapılarak bu alanlara hizmet veren sistemlerin fonksiyonlarına kısaca değinilmişti. Bu bölümün amacı, yukarıda belirtilen ön bilgiler ışığında, "kendini korumalı hava elektronik harp sistemleri"nin çalışma prensipleri hakkında genel bilgiler vermektir.

Günümüzde modern taktik platformların önemli bir parçası haline gelmiş olan kendini korumalı elektronik harp sistemleri, entegre edildikleri platformların elektronik savaş koşullarında korunmalarını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Kendini korumalı elektronik harp sistemlerinin takıldıkları platformlar hakkında yapılan araştırmalar neticesinde, bu tür sistemlerin % 65'inin hava, % 25'inin gemi ve % 10'unun ise yer platformlarına entegre edildikleri belirlenmiştir [2]. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere, kendini korumalı elektronik harp sistemlerinin daha çok hava platformlarını korumak amacıyla kullanılmakta olduğu görülmektedir. Bu sistemler, takıldıkları uçağa tehdit olan, geniş bir frekans bandı içerisine yayılmış radar sistemlerini algılamakta ve bu sistemlere karşı aktif ECM teknikleri uygulayarak bunların uçağın üzerine kilitlenmelerini, kilitlenmiş radarların kilitlerini kırmayı ve füze, mermi gibi silahların uçağa ulaşmalarını engelleyerek, uçağın yaşama olasılığını artırma görevlerini üstlenmektedir. Ne var ki, uçaklara entegre edilen kendini korumalı elektronik harp sistemleri, uçağa karşı tehdit olarak kabul edilen bütün elektronik harp sistemlerine elektronik taarruz uygulamak için gerekli olan güç kapasitesine genellikle sahip olamamaktadır. Bu sınırlama, tehditlerin önemlerine (öldürme güçlerine) göre sıralandırılması ve bu sıra göz önünde bulundurularak, algılanan tehditlere karşı en uygun ECM kaynağının tahsis edilmesi, başka bir deyişle ECM güç ve kaynaklarının

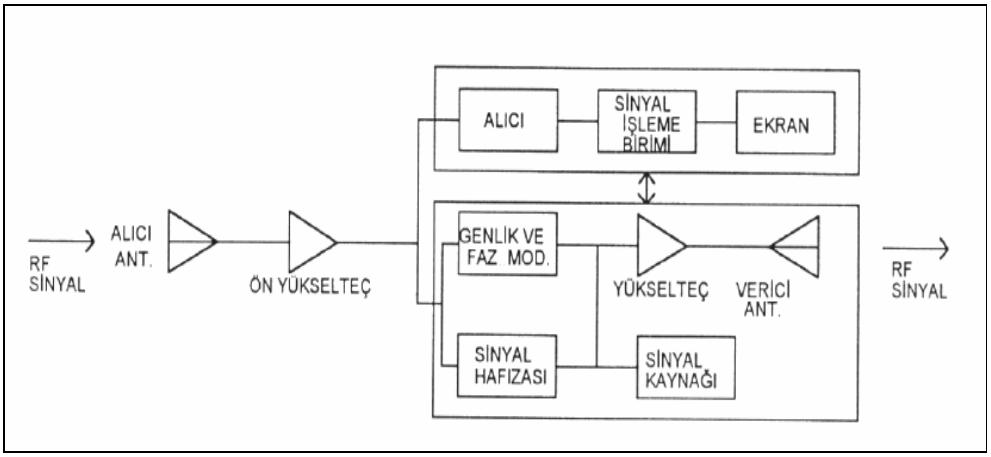
akıllı bir biçimde kullanılmasının sağlanması ("resource management") gereğini doğurmaktadır [9]. Genel olarak hava platformlarına karşı tehdit olarak kabul edilen elektronik harp sistemleri, önemlerine göre aşağıdaki şekilde sıralandırılmaktadır:

1. Tehdit kilitleme radarlarının füze güdüm veya ilüminatör modları. (Bu tip bir yayıcıdan algılanan sinyaller, büyük bir olasılıkla bu yayıcının bağlı olduğu tehdit elektronik harp sistemi tarafından bir füzenin fırlatılmış olduğunun ve uçağa doğru yaklaşmakta olduğunun göstergesidir.)
2. Tehdit kilitleme radarları. (Bu tip radarlar, silah sistemleri ile entegre edilmiş olmaları sebebiyle silah fırlatma kabiliyetlerine sahip olup, ikinci derecede öldürücü tehdit elektronik harp sistemlerini oluşturur.)
3. Tarama radarları. (Tehdit kilitleme radarları genel olarak bu tip radarlardan aldıkları uçak pozisyon bilgisi ile çalışmaya başlamaktadır.)

Kendini korumalı bir hava elektronik harp sistemi temel olarak iki alt-sistemden oluşmaktadır : Radar ikaz alıcısı (RWR) alt-sistemi ve ecm alt-sistemi. Bu entegre sistemi taşıyan uçağa tehdit olan elektronik harp sistemlerinin çalışma frekansı (RF), darbe tekrarlama aralığı (PRF), darbe genişliği (PW) gibi sinyal parametreleri, sistem yazılımı içerisine, uçak göreve başlamadan önce yazılmaktadır. RWR, uçuş esnasında bu tehdit sinyalleri ile aynı (veya belirli bir tolerans aralığında benzer) sinyaller algılar algılamaz, gerekli korunma işlemlerinin başlatılması amacıyla ortamda bu tehditlerin mevcut olduklarına dair bir çeşit uyarı alarmı üretmektedir. Bunun üzerine sistem yazılımı ECM alt-sistemini aktive ederek, algılanan tehditlere karşı yazılım içerisine önceden tanımlanmış olan en etkin aktif ECM tekniklerini otomatik bir şekilde uygulamak üzere çalışmaya başlamaktadır. Bununla birlikte pilot, RWR ikazını algılar algılamaz, var olan tehditlere karşı önceden belirlenmiş en etkin manevralı uçuş tekniklerini uygulayabilmektedir. ECM alt-sistemi tarafından ortamda mevcut olan tehdit elektronik harp sistemlerine karşı uygulanan aktif ECM teknikleri ile, uçaktan

yansıyan sinyallerden uçak pozisyon bilgisini çıkaran tehdit radarlarının elektromanyetik olarak aldatılması ve karıştırılması hedeflenmektedir [8].

Genel bir blok şeması Şekil 3.1'de verilen yazılım kontrollü bir kendini korumalı hava elektronik harp sistemine ait RWR ve ECM alt-sistemlerinin çalışma prensipleri, aşağıdaki bölümlerde genel olarak açıklanmaktadır.



Şekil 3.1 Kendini korumalı bir eh sisteminin blok şeması [6]

3.2. Radar İkaz Alıcısı (RWR) Alt-Sistemi

Daha önce Bölüm 2.3.'de açıklandığı üzere radar ikaz alıcıları (RWR), elektronik destek tedbirleri (ESM) sistemlerinin bir alt-grubunu teşkil etmektedir. Genel fonksiyonları tehdit radarlarını algılamak, pozisyonlarını belirlemek ve gerçek zamanlı olarak uyarı alarmları üretmek olan RWR'lar, ESM alıcılarının donanım yönünden en basit türlerini oluşturmaktadır. Ortamda mevcut olan tehdit radar sistemleri RWR alt-sistemi tarafından belirlenir belirlenmez, bu radarlara ilişkin olarak RWR tarafından belirlenen tehdit tipleri ve ölçülen sinyal parametreleri sistem yazılımı kontrolü altında ECM alt-sistemine iletilir ve ECM alt-sistemi algılanan tehditlere karşı sistem yazılımına önceden tanımlanmış olan aktif ECM tekniklerini uygulamak üzere aktive edilir.

RWR alt-sistemi tarafından üretilen uyarı alarmları, ECM alt-sisteminin aktivasyonuna ilave olarak farklı bir takım işlemlerin de başlatılmasını sağlamaktadır. Pilotun daha güvenli alanlara ulaşmak veya radar kilidini kırmak amacı ile manevralı uçuşlara başlaması; pasif ECM alt-sisteminin (eğer uçak üzerinde mevcut ise) aktivasyonu (örneğin çaf atılması); füze veya mermi (eğer uçak üzerinde mevcut ise) fırlatılması, bu işlemlere örnek olarak gösterilebilir.

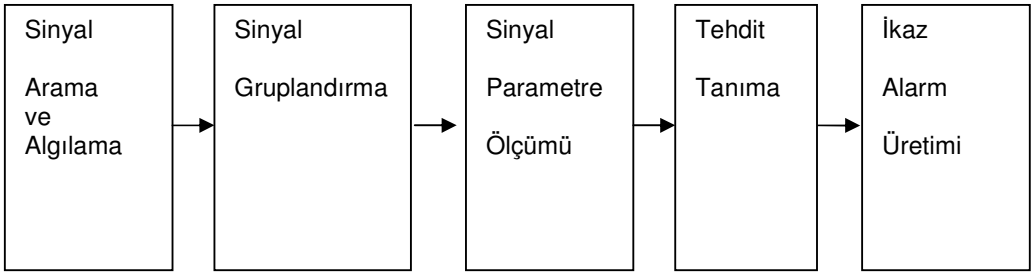
RWR alt-sistemlerinin en önemli performans özelliklerinden biri, bu sistemlerin tehdit radarlarını, kendilerini taşıyan uçakların bu radarlara ait öldürücü mesafeye erişmelerinden önce algılama kabiliyetlerine sahip olmalarıdır. Bir radarın öldürücü mesafesi, genel olarak bu radarın füze atması için gereken minimum mesafe şeklinde tanımlanmaktadır. Bu nedenle, uçak bir tehdit radarının öldürücü alanı üzerinde uçmaya başlamadan önce en etkin ECM tekniğinin aktivasyonu için yeterli zamana sahip olmak amacıyla, RWR'ın bu mesafeye ulaşmadan önce tehdit radarını tanıma kabiliyetine sahip olması gerekmektedir. Bununla birlikte tehdit radarlarının yalnızca algılanmaları yeterli olmayıp, özellikle yoğun CW ve darbeli sinyal ortamlarında bu tehditlere ilişkin sinyal parametrelerinin doğru olarak ölçülebilmesi de önemli diğer bir performans özelliğini teşkil etmektedir [8].

Tipik bir operasyonel ortamda, genel olarak çok fazla sayıda sinyal kaynağı mevcuttur. Bu sinyal kaynakları, hem düşman hem de dost EH sistemlerini kapsamaktadır. Dolayısıyla, RWR alt-sisteminin antenine zamanda birbiri ile iç içe girmiş bir şekilde pek çok sayıda darbe ve CW sinyaller ulaşmaktadır. RWR alt-sistemi, antenlerine ulaşan bu sinyaller içerisinden birbiri ile benzer sinyal parametrelerine sahip olanları yalnızca bir kaç saniye gibi kısa bir süre içerisinde ayırt edebilmekte ve tehdit radar sistemlerine ait olanları tanımlayarak gerekli uyarı alarmları üretebilmektedir. RWR antenlerine zamanda karışarak giren milyonlarca darbe ve CW sinyallerinin, sistem

içerisinde ne tür bir işlemden geçirildiğini kısa bir şekilde özetlemek maksadıyla, yazılım kontrollü bir kendini korumalı hava elektronik harp sisteminin sinyal işleme yapısı aşağıda özetlenmektedir.

Şekil 3.2'de görülebileceği gibi, bir RWR alt-sisteminin sinyal işleme işleminin ilk adımı, sinyal arama ve algılama işlemidir. Bu işlemde RWR, çalışma frekans spektrumunu belirli genişlikteki aralıklar ile adım adım tarayarak, RWR'ın frekans ve duyarlılık (minimum algılanabilecek sinyal gücü seviyesi) alanı içerisine giren radar sistemlerinin ana kulakçıklarından yayınlanan sinyalleri belirli zaman aralıkları ile örnekler. Tarama frekansı aralıkları ile sinyal örnekleme zaman aralıkları, sistem yazılımı içerisinde daha önceden tanımlanmış değerlerdir. RWR antenlerinden algılanan bu sinyallerin zamanda birbiri ile iç içe girmiş olmaları sebebiyle, sinyal işleme işleminin ikinci işlemini, birbirleri ile aynı veya belirli bir tolerans aralığında benzer sinyal parametrelerine sahip olan darbelerin ve CW sinyallerin diğerlerinden ayırt edilmesi ve gruplandırılması oluşturur. Daha sonra, her bir darbe grubu karakterize edilir, başka bir deyişle sinyal parametreleri ölçülür. RWR tarafından ölçülen sinyal parametreleri, genel olarak çalışma frekansı (RF), RF değiştirme özelliği, darbe tekrarlama frekansı (PRF), PRF değiştirme özelliği, darbe genişliği (PW), genlik, tarama periyodu, geliş açısı ve geliş zamanı gibi parametreleri içerir. Ölçülen parametre değerleri, işlem içerisinde ileride kullanılmak üzere sistem yazılımına kayıt edilir. Parametre ölçüm işlemini takip eden adım, oluşturulan darbe gruplarının gerçek tehdit radarlarına ait olup olmadığının tespiti, diğer bir deyişle tehdit tanıma işlemidir. Bu işlemde, RWR tarafından ölçülen her bir darbe grubuna ait sinyal parametreleri, sistem yazılımı içerisinde tehdit kütüphanesi olarak adlandırılan bölüme daha önceden kayıt edilmiş olan, bilinen gerçek tehdit parametreleri ile karşılaştırılır. Gerçek ve ölçülen sinyal parametreleri arasında bir uyuşma tespit edilmesi durumunda, tehdit tanıma işlemi gerçekleştirilmiş olur ve tespit edilen tehdide bir öncelik değeri verilir. Tehditlerin öncelik değerleri, daha önce yapılan çalışmalar neticesinde bu

sistemlerin öldürme güçleri esas alınarak belirlenmiş ve sistem yazılımına kayıt edilmiş değerlerdir. RWR tarafından ortamda birden fazla tehdidin mevcut olduğunun belirlenmesi durumunda, bu tehditler ile ilgili olarak RWR'dan aldığı tehdit tipi ve sinyal parametre bilgileri doğrultusunda aktif ECM teknikleri uygulayacak olan ECM alt-sistemi, sözkonusu tehditlere verilen öncelik değerlerini dikkate alarak kaynak tahsisi yapmaktadır. Başka bir deyişle, ECM kaynakları öncelikle algılanan tehditler arasında en tehlikeli olarak belirlenmiş tehdide karşı aktif ECM uygulayacaktır. RWR antenlerinden algılanan sinyaller içerisinde, tehdit kütüphanesinde kayıtlı olan tehdit radarları haricindeki kaynaklardan yayılan sinyaller işlem dışı bırakılır [9].



Şekil 3.2. RWR alt-sisteminin sinyal işleme işlemi.

Operasyonel ortamda çalışmakta olan ve sistemin tehdit kütüphanesinde yer alan tehdit radarlarının RWR alt-sistemi tarafından tanınması üzerine, küçük bir ekran üzerinde ortamda bu tehditlerin mevcut olduğuna ilişkin bir uyarı alarmı üretilir. Bu alarm, genel olarak RWR tarafından ilk tehdit darbelerinin algılanmasını takiben saniyenin onda biri kadar bir süre içerisinde ekrana iletilir [1]. Bu olay, RWR alt-sisteminin sinyal işleme işleminin son adımı olarak düşünülebilir. Ekranda beliren görüntü, genellikle tehdit veya silah tipi, bunların uçağa göre mesafesi ve uçağın baktığı doğrultuya göre açısı ile ilgili bilgileri içerir.

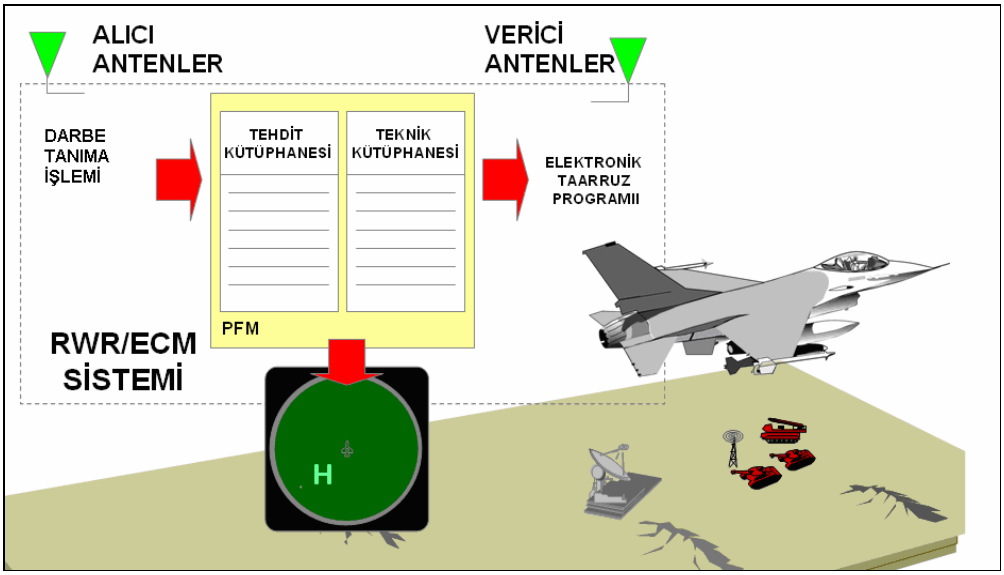
Jenerik bir RWR alt-sistemine ait bazı performans parametreleri Çizelge 3.1'de verilmektedir [1].

Çizelge 3.1. Tipik Bir RWR Alt-Sisteminin Bazı Performans Parametreleri [6].

Tipik Bir RWR Alt-Sisteminin Bazı Performans Parametreleri	
Frekans Kaplaması	0,7-18 GHZ.
Hassasiyet	- 70 dBm
Dinamik bölge (işleyebileceği en büyük sinyal seviyesi ile hassasiyet arasındaki oran)	50 dB.
Maksimum darbe yoğunluğu	100.000 darbe/sn.
Yön Bulma ölçüm doğruluğu (azimuth)	+/-10 degrees (2 sigma)
Yanlış alarm hızı	5/saat (maks.)

3.3. Elektronik Tarruz (ECM) Alt-Sistemi

ECM alt-sistemi, RWR alt-sistemi tarafından tespit edilen tehdit radarlarına karşı aktif ECM teknikleri uygulayarak bu radarları etkisiz kılmak, böylelikle sistemi taşıyan uçağın yaşama olasılığını ("probability of survival") artırmak amacıyla tasarlanmış sistemlerdir. ECM alt-sistemi bu görevi yerine getirmek maksadıyla, sistemi taşıyan uçak ile ilgili olarak tehdit radar sistemleri tarafından ölçülen bilgileri saptırarak aldatma veya uçaktan yansıyan ekoyu pek çok yanlış eko ile çevreleyerek karıştırma amaçları ile belirli formlarda elektromanyetik sinyaller üretmekte ve bunları düşman Elektronik Harp sistemlerinin algılayabileceği şekillerde göndermektedir. Aşağıdaki Şekil 3.3'de RWR ile ECM arasındaki mantık anlatılmaktadır.



Şekil 3.3. RWR/ECM sistemi arasındaki ilişki.

ECM alt-sistemi tarafından uygulanan teknikler, daha önce Bölüm 2.4'de "aldatma" ve "karıştırma" olarak tanımladığımız aktif ECM tekniklerini kapsamaktadır. Sözkonusu aktif ECM tekniklerini, kendini korumalı hava elektronik harp sistemlerine yönelik olarak kısaca özetlemek gerekirse, karıştırma türü ECM'in amacı uçağın ve üzerine takılan kendini korumalı elektronik harp sisteminin özellik ve lokasyonlarının düşman radarları tarafından tespit edilmesini sağlayan eko sinyalleri, benzer pek çok sayıdaki sinyal ile kaplamak ve böylelikle gerçek eko sinyallerin düşman radar sistemleri tarafından oldukları gibi algılanmalarını güçleştirmektir. Dolayısıyla düşman radar sistemi, antenine ulaşan bir çok sinyal arasında uçaktan yansıyan gerçek ekoyu seçmekte güçlük çekeceği için, uçağın hangi mesafe ve açıda olduğunu da belirleyemeyecektir. ECM alt-sistemi, karıştırmanın yanısıra aldatma tekniği de uygulayabilmekte ve bu teknik ile düşman radarlarının uçak ile ilgili yanlış bilgiler edinmesini, başka bir deyişle, mesafe ve açı bilgisinin olduğundan farklı bir değerde algılanmasını sağlamak amacını gütmektedir. Sistemin tehdit kütüphanesinde mevcut olan tehdit radar sistemlerine karşı yukarıda açıklanan ECM teknikleri içerisinde

hangisinin daha etkili olabileceği hususu, daha önce gerçekleştirilen aktif ECM teknik parametrelerinin optimizasyonu amaçlı denemeler neticesinde belirlenmekte ve her bir tehdit radarına karşı uygulanacak teknik, ECM kaynaklarının mevcut kullanım durumlarına göre birinci öncelikli ve ikinci öncelikli teknik olarak sistem yazılımı içerisine kayıt edilmektedir [9].

Genel donanım yapısı Şekil 3.1'de verilen kendini korumalı hava elektronik harp sistemi, aktif ECM tekniklerini uygulamak maksadıyla genel olarak aşağıda verilen iki değişik konfigürasyonda çalışmaktadır.

1. Gürültü ("Noise")
2. Aldatma

a. Tekrarlayıcı ("Repeater")
b. Çevirici ("Transponder")

ECM alt-sistemi tarafından aldatma tekniklerinin uygulanması tekrarlayıcı ve çevirici tipi konfigürasyonlar ile, karıştırma tekniklerinin uygulanması ise gürültü tipi konfigürasyon ile mümkün olmaktadır. Çizelge 3.2.de gürültü engelleme amacını güden karıştırma stratejisi görülmektedir.

Çizelge 3.2. Karıştırma stratejisi.

Frekansta	Zamanda	Sektörde
Geniş bantlı	Devamlı	Her yöne
Dar bantlı	Aralıklı	Belirli yöne

3.3.1.Gürültü karıştırması

Genel olarak gürültü kaynaklı teknikler, radar alıcısına yüksek güçte gürültü sinyali basıp gerçek ekonun bu gürültü sinyali içinde kaybolmasını sağlayarak, radar alıcı devrelerinin gerçek ekoyu işleyip hedefi takip etmesini önleyen karıştırma teknikleridir. Alıcı sisteminin “ısıl gürültü” olarak

tanımlanan bir gürültüsü vardır. Bunun benzeri oluşturulabilirse radar sistemi hedefi ve karıştırmayı tespit edemez. Arama ve hedef takip radarlarına (TTR) gürültü karıştırması uygulanır.

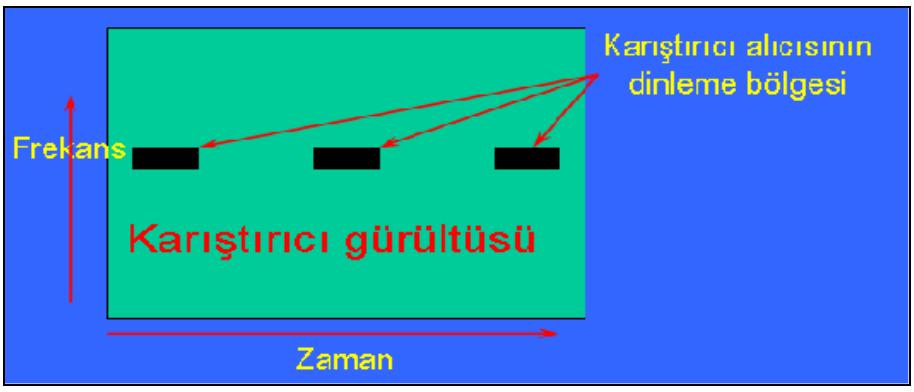
Arama ve hedef takip radarlarına (TTR) yapılan karıştırmanın amaçları;

- Takip radarlarının izlemesini engellemek veya geciktirmek,
- Hedef bilgilerinin hesaplanmasını engellemek,
- Hedef takip hatalarını artırmak,
- Hedef kilidini kırmaktır.

Gürültü bastırması aktif bir bastırmadır . Türleri;

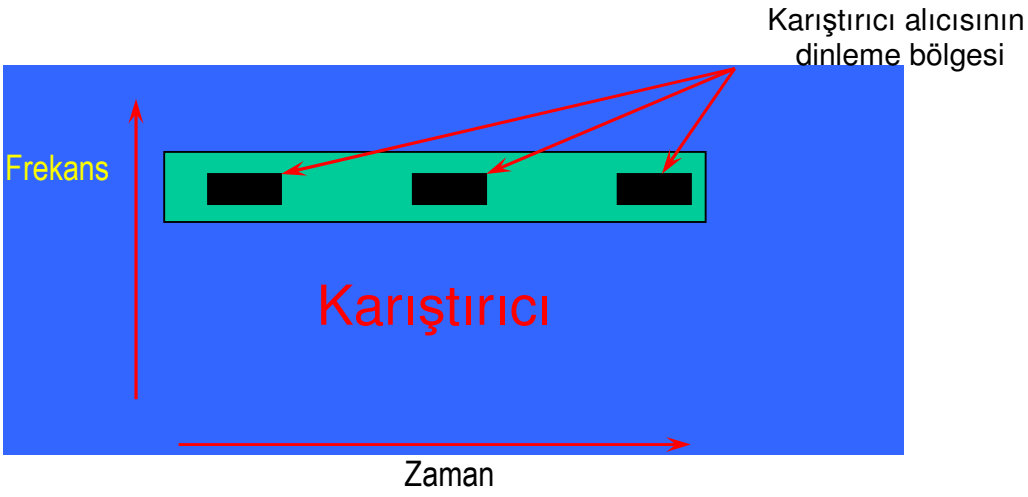
a. Baraj Gürültüsüyle Bastırma
b. Dar Bantlı Gürültüyle Bastırma
c. Taramalı Bastırma ve
d. Güç Tasarruflu Bastırmadır.

a. Baraj Gürültüsüyle Bastırma : Şekil 3.4 de görüldüğü gibi geniş bir spektrumda, tüm zaman ve açılarda gürültü yayını yapılır. Genelde güç ziyan olur. Ancak istihbaratın yetersiz olduğu, karıştırılan radar hakkında çok az bilgi ihtiyacı gerektiren durumlarda ve çoklu ortamlarda etkilidir.



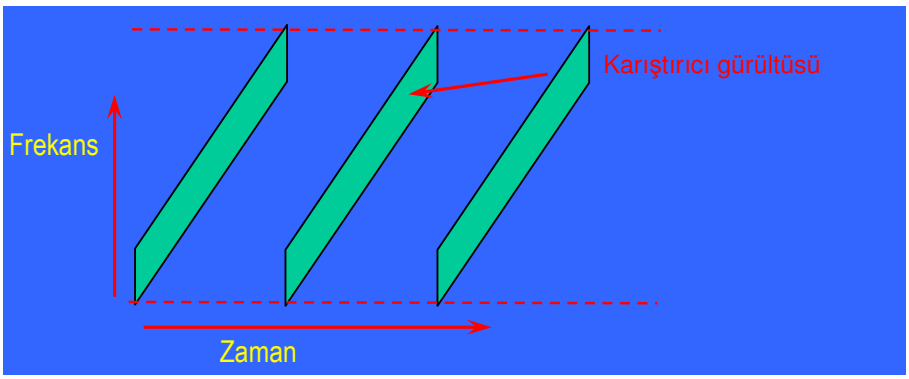
Şekil 3.4 Baraj gürültüsüyle bastırma

b. Dar Bantlı Gürültüyle Bastırma **:** Şekil 3.5'de görüldüğü üzere tehdit radarının dinleme durumunda, radarın çalışma frekansında gürültü yayını yapılır. Baraj gürültüsüyle bastırmaya göre daha az güç yeterlidir. Radar frekansı ve dinleme bölgeleri hakkında bilgi gerekir.



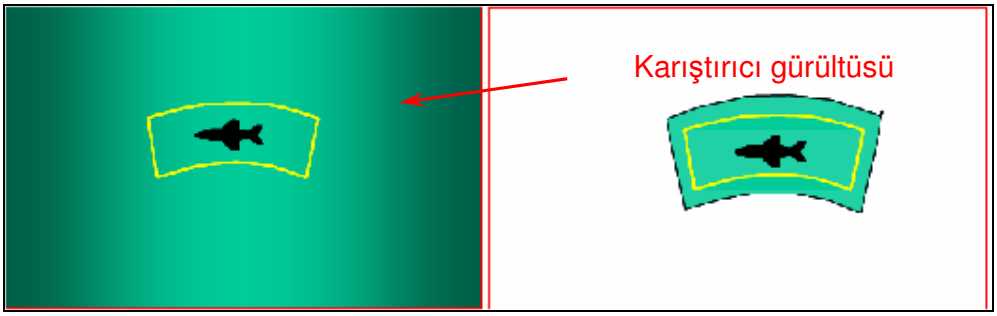
Şekil 3.5. Dar bantlı gürültüyle bastırma

c. Taramalı Bastırma : Taramalı bastırmada amaç zamana bağlı olarak tüm spektrumu tarayan gürültü yayını yapmaktır. Şekil 3.6'da görülmektedir. Baraj bastırmasına göre daha verimlidir, ancak bir miktar 'darbe' sinyali radara etkilenmeden geri dönebilir.



Şekil 3.6. Taramalı bastırma

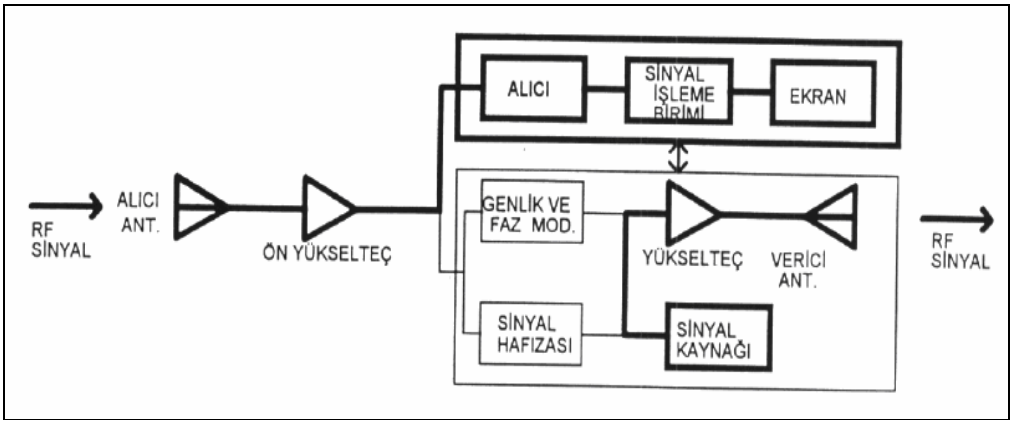
d. Güç Tasarruflu Bastırma : Gürültü tasarruflu bastırmada amaç radarla senkronize olarak, dost birimin bulunduğu yere ve açıya bağlı şekilde verimli bir şekilde gürültü yayını yapmaktır. Şekil 3.7'de görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 3.7 Güç tasarruflu bastırma (a) Baraj Karıştırması (b) Açısal ve Konumsal Güç Tasarrufu.

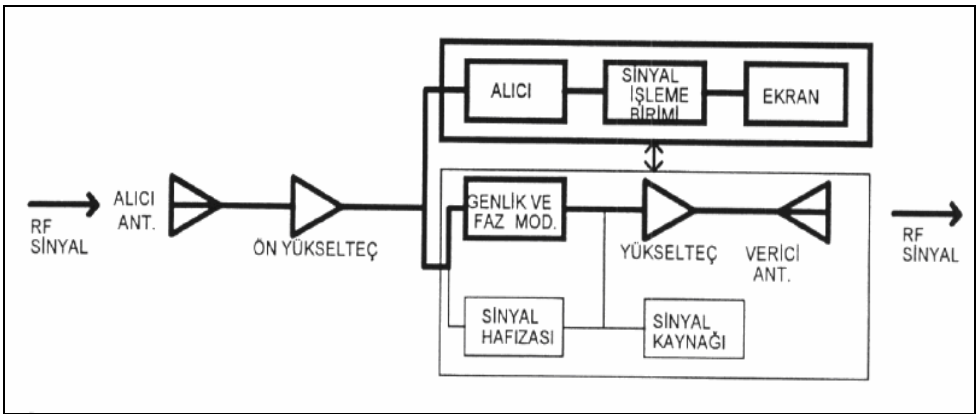
ECM alt-sistemi tarafından tehdit radarlarına karşı gürültü kaynağı kullanılarak karıştırma tekniğinin uygulanması durumunda, genel bir şeması Şekil 3.8'de verilen gürültü tipi konfigürasyon kullanılmaktadır. Bu tip çalışma modunda verici çıkışları, çevirici tip çalışma modunda olduğu gibi maksimum gücü verecek şekilde ayarlanır. Ancak bu ayarlama, gürültü kaynağı tarafından üretilen sinyallerin üzerine genlik modülasyonu yaratılmak istendiği durumlarda yapılmaz.



Şekil 3.8 Gürültü (noise) konfigürasyonu blok şeması

3.3.2. Aldatma

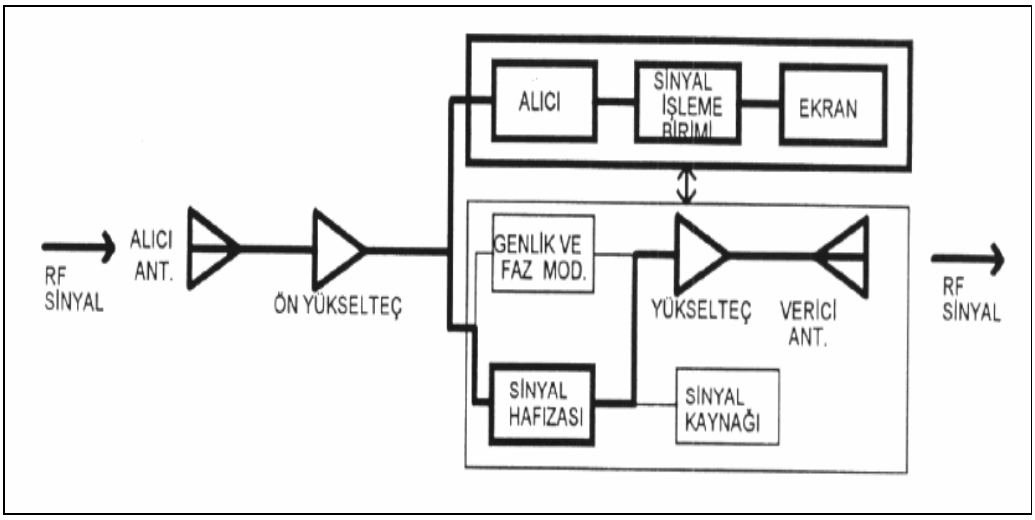
ECM alt-sisteminin tekrarlayıcı tipi konfigürasyon ile çalışması durumunda, ECM vericilerinden gönderilen sinyaller RWR antenlerinden alınan sinyallerin gerçek bir kopyası niteliğinde olmaktadır. Şekil 3.9'da görüldüğü üzere, RWR antenlerinden alınan sinyaller öncelikle bir ön-yükselticiden, daha sonra da amaca uygun bir şekilde modüle edilmek maksadıyla genlik ve faz modülasyonu biriminden geçirilmektedir. Bu birimin çıkışında yine bir yükseltici bulunmakta, burada gücü artırılan sinyal verici antenler vasıtasıyla tehdit radarlarına yöneltilmektedir. Tekrarlayıcı çalışma modunda, vericilerin çıkışları maksimum seviyeye ayarlanmamakta, çıkış değerleri doğrudan doğruya sinyallerin algılandığı güç seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Bunun sebebi, sistemin alınan sinyalleri yükseltme değerinin (sistem kazancının), alıcı ve verici antenler arasındaki izolasyon değerinden ("geri besleme" zayıflama değeri) küçük olması gerekliliğidir. Aksi takdirde, "geri besleme" sinyali alınan sinyalden daha büyük olmakta ve bu durum, alıcı ve verici antenlerin birbirleri ile eş zamanlı olarak çalışmaları sebebiyle, yükseltici sistemde bir osilasyon durumunun oluşmasına yol açmaktadır.



Şekil 3.9 Tekrarlayıcı (repeater) konfigürasyonu blok şeması.

ECM alt-sisteminin, basit bir donanım konfigürasyonu Şekil 3.10'da verilen çevirici türü çalışma modunda ise, RWR antenlerinden alınan sinyaller

zamanda belirli bir süre geciktirilerek gönderilmektedir. Bu konfigürasyonda, alınan sinyaller belirli bir süre sonra gönderilmek üzere, bir şekilde muhafaza edilmektedir. Genel olarak, sinyalleri muhafaza eden birimin, sinyallerin tam olarak alındıkları gibi korunabilmeleri açısından eşevreli olması istenir. Eşevreli olma özelliği, genel olarak, alınan sinyallerin içerisindeki faz modülasyonunun olduğu gibi saklanabilmesi anlamında olup, eşevreli çalışma prensipine sahip (eko sinyallerin gönderdikleri sinyaller ile aynı fazda olup olmadıklarını kontrol eden) tehdit radarlarına karşı ECM alt-sistemi tarafından sahip olunması gereken bir özelliktir. Çevirici çalışma modunda verici gücü, alınan sinyallerin güç seviyelerinden bağımsiz olarak maksimum seviyeye ayarlanır. Bu durum, vericiler tarafından ECM sinyalinin gönderilmesi esnasında alıcıların devre dışı bırakılması nedeniyle, tekrarlayıcı çalışma modunda olduğu gibi osilasyon problemi yaratmayacaktır[6].



Şekil 3.10 Çevirici (transponder) konfigürasyonu blok şeması.

Kendini korumalı bir hava elektronik harp sisteminin ECM alt-sistemi ile ilgili jenerik bazı performans parametreleri, bir örnek teşkil etmesi açısından Çizelge 3.3'de verilmektedir [1].

Çizelge 3.3. Tipik bir ecm alt-sisteminin bazı performans parametreleri.

Tipik Bir ECM Alt-Sisteminin Bazı Performans Parametreleri	
Maksimum güç seviyesi	60 dBm.
Frekans ayar (set-on) doğruluğu	+/- 0,5 ile 20 MHz.
ECM sinyallerinin darbe genişliğinin darbe tekrarlama aralığına oranı ("duty cycle")	% 5 ile % 10
ECM sinyal kapasitesi	16 ile 30 sinyal
ECM modları	Karıştırma, aldatma

Temel olarak, ECM alt-sistemi tarafından karşı tedbir uygulanmasını gerektiren iki çeşit tehdit radar tipi mevcuttur. Bunlardan biri, hedefi geniş bir alan parçasını arayarak bulan tarama radarlarıdır. Diğeri ise, hedef pozisyon bilgisini tarama radarlarına oranla çok daha doğru bir şekilde tespit edebilen kilitleme radarlarıdır ki, bu tip radarlar hedef üzerine füze ve mermi türü silah fırlatma yetenekleri ile donatılmış olmaları sebebiyle kendini korumalı hava elektonik harp sistemleri için öncelikli öneme sahip tehdit radarlarını teşkil etmektedir. Bir tehdit radar sistemine karşı hangi tür aktif ECM tekniğinin kullanılacağı hususu, tehdit radarının tipine bağlı olduğu gibi, ECM ile mesafede mi, açıda mı, yoksa başka bir parametrede mi aldatma veya karıştırma yapılması hedefi ile de ilgilidir. Tarama ve kilitleme radarlarının çalışma prensipleri farklı olduğu gibi, bu tip radarların da kendi içlerinde değişik şekillerde çalışan türleri bulunmaktadır. Bu nedenle, bir tip radara karşı etkin olduğu belirlenen bir aldatma veya karıştırma tekniği, diğer bir tip radara karşı etkisiz olabilmektedir. Bunun yanısıra, radarların mesafe ölçüm yöntemlerinin açı ölçüm yöntemlerinden farklı olması sebebiyle, mesafede ve açıda aldatma/karıştırma yapılması tekniklerinin de aynı olmayacağı aşikardır. Bir tehdit radarına karşı hatalı ECM tekniğinin uygulanması durumunda, tehdit radarının aldatılması veya karıştırılması mümkün olamayacağı gibi, bu tekniklerinin negatif yönde bir etki ("beaconing") yapması da mümkün olabilmektedir [2]. Başka bir deyişle, hatalı bir ECM

tekniği uygulanan tehdit radarı, uçağın posizyon bilgisini, ECM alt-sistemi tarafından herhangi bir ECM tekniğinin uygulanmaması durumunda olacağından daha erken tespit edebilecektir. Bu bölümün ilerleyen kısımlarında, kendini korumalı hava EH sistemlerine tehdit oluşturan tarama ve kilitleme radarlarının, mesafe ve açı ölçümlerine yönelik olarak uygulanan belli başlı aktif ECM teknikleri hakkında genel bilgiler verilmektedir.

Tarama radarları tarafından uçağın mesafe bilgisi, sinyallerin gönderildiği an ile uçaktan yansıyan ekonun algılandığı an arasında geçen süre ölçülerek hesaplanmaktadır. Tarama radarlarının mesafe ölçüm yeteneklerinin etkisiz hale getirilmesi amacıyla kullanılan aktif ECM tekniklerinden birini, gürültü karıştırma tekniği oluşturmaktadır. Bu teknik, uçaktan yansıyan gerçek eko sinyalinin tehdit radarının antenine ulaşma anı ile bu ana çok yakın anlar esnasında, en az gerçek eko sinyal gücü seviyesinde gürültü sinyalleri üreterek, bu sinyalleri tehdit radarının antenlerine ulaşacak şekilde gönderme prensipine dayanmaktadır [3]. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için, ECM alt-sistemi tarafından eko sinyallerin tehdit radarının antenlerine ulaşma anının (TOA) hesaplanması gerekmektedir. Gürültü karıştırma tekniğinin en yaygın türlerini, nokta ve baraj türü gürültü teknikleri oluşturmaktadır. Nokta türü gürültü tekniği, çalışma merkez frekansı ile bant genişliği bilinen ve bant genişliği dar bir frekans bölgesi ile sınırlanmış tehdit radarlarına karşı uygulanmaktadır. Ancak bazı radarlar, bu tür ECM tekniklerine karşı bir ECCM özelliği olarak, çalışma frekansını hızlı bir biçimde (hatta darbeden darbeye) değiştirme yeteneği ile donatılmıştır. Eğer bu tür radarların frekans değiştirme hızları bir ölçüde yavaş ise, ECM alt-sistemi bu frekans değişimlerini takip edebilmekte ve nokta gürültü tekniğini uygulayabilmektedir. ECM alt-sisteminin radar frekans değişimini takip edememesi durumunda ise, yukarıda değinilen baraj tipi gürültü karıştırma tekniğine başvurulmaktadır. Baraj gürültü tekniğinde, tehdit radarının çalışabileceği frekans değerlerini içine alan daha geniş bir frekans bölgesinde gürültü sinyali gönderilerek etkin olunabilmektedir. Ancak bu tür

gürültü tekniklerinin bir dezavantajı, gönderilen sinyal gücünün geniş bir frekans alanına yayılarak azalması sebebiyle, daha büyük bir efektif yayılım gücüne (ERP) gereksinim duyulmasıdır [9].

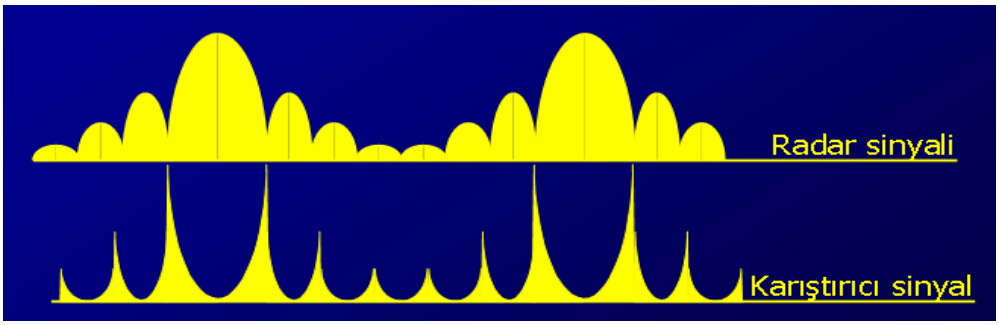
Tarama radarlarını mesafe ölçümünde etkisiz kılabilmek maksadıyla kullanılan diğer bir aktif ECM tekniği ise, tehdit radarı tarafından uçağın gerçek mesafesine yakın ancak farklı mesafelerde pek çok yalancı hedeften yansıyormuş gibi algılanabilecek şekilde, elektromanyetik sinyaller üretilmesidir. Bu teknik, gerçek eko sinyalinin tehdit radar antenine ulaştığı anın biraz öncesinde ve biraz sonrasında radar antenine ulaşacak şekilde, eko ile aynı güç seviyelerinde gürültü sinyalleri gönderilerek gerçekleştirilir.

Böylelikle tehdit radarı, işlemesi gereken gerçek eko ile yalancı hedefleri birbirinden ayıramamaktadır. Bu tür teknikler, yalnızca darbeli Doppler radarları gibi sabit frekanslarda çalışan tarama radarlarına karşı etkin olabilmektedir. Bunun sebebi, radarın frekans değiştirdiği andan sonra gönderilen ECM sinyallerinin, radar ekranının merkeze yakın iç bölgelerinde gözlenememesi ve parlak alanın başladığı bölgenin, uçağın mesafesine karşılık gelmesidir.

Doppler türü tarama radarlarında, algılanan sinyallerin Doppler kayma değerlerinin (radar ile hedefi arasındaki göreli hızın göstergesi) sinyal işleme işlemi içerisinde en temel parametreyi teşkil ettiği göz önünde bulundurulduğunda, bu tür radarların mesafe ölçüm yeteneklerinin etkisiz kılınması amacıyla uygulanabilecek en etkin ECM tekniğinin, radar antenlerine gerçek eko sinyalinin içerdiği Doppler kayma değerine yakın ancak farklı değerlerde pek çok yalancı hedef sinyali göndermek olduğu tahmin edilebilir. Bu tür teknikler, daha önce ECM alt-sisteminin çevirici tipi çalışma modunda anlatıldığı şekilde, alınan sinyaller muhafaza edilip zamanda gecikmeli olarak gönderilmeden önce, frekansda modüle edilerek uygulanabileceği gibi, basit olarak, alınan sinyallerden belirli bir değerde

daha küçük PRF değerine sahip sinyaller (frekans modülasyonu yapılmasına gerek olmadan) gönderilmesi ile de uygulanmaları mümkün olabilmektedir.

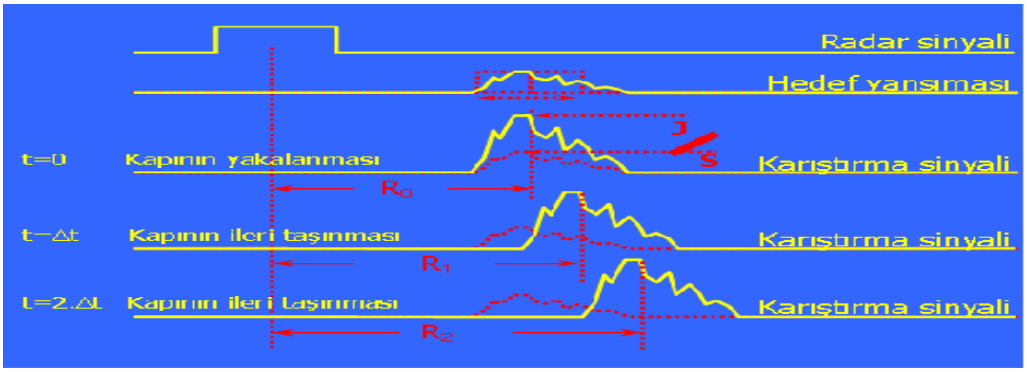
Tarama radarlarının açı bilgisini doğru ölçmesini engellemek amacıyla uygulanan aktif ECM tekniklerinden biri, ters güç karıştırma tekniği olarak adlandırılan teknik türüdür. Bu teknik, tehdit radarının verici anten örüntüsünün (uçağı tararkenki güç değişimleri) RWR tarafından ölçülmesini veya önceden bilinmesini gerektirmekte ve ECM tarafından üretilen gürültü sinyallerinin genlikleri üzerinde, radar verici anten örüntüsündeki güç değişimlerinin tersi şeklinde genlik modülasyonu yapılması ile uygulanmakta olup, şekil 3.11'de görülmektedir. Başka bir deyişle, tehdit radarının gönderdiği sinyal güç seviyesinin düşük olduğu bölgelerde, ECM alt-sistemi tarafından yüksek güçte sinyal gönderilerek, tehdit radarı tarafından algılanan sinyaller üzerinde herhangi bir genlik değişimi gözlenmemesi sağlanmaktadır. Bu ise, açı ölçümünü alıcı anten örüntüsünün (bu genellikle verici anten örüntü ile hemen hemen aynıdır) ana kulakçıktan gelen en yüksek güç seviyeli sinyali algılayarak yapan tarama radarlarının, alıcı antenlerinde hiç bir güç değişimi gözleyememesi sebebiyle açı ölçümü yapamamalarını sağlamaktadır. Ancak bu teknik, ECM alt-sisteminin, özellikle ana kulakçık-yan kulakçık güç farkının yüksek olduğu tehdit radarlarına karşı oldukça yüksek bir etkin yayılım gücüne (ERP) sahip olmasını gerektirmektedir. Ters güç karıştırma tekniğine alternatif olarak düşünülebilecek bir teknik, tehdit radarının yan kulakçıklarına, bazıları ana kulakçıktan algılanan sinyal gücü seviyesine eşit olmak kaydıyla güç seviyeleri değişen sinyaller göndermektir. Bu sinyaller tehdit radarının alıcı antenlerinde, ters güç karıştırma tekniğinde olduğu gibi sabit güç seviyesinde sinyaller algılamasını sağlamamakla birlikte, radarın algılama eşiğini geçen değişik güç seviyelerinde sinyaller algılayarak uçaktan yansıyan gerçek ekoyu belirleyememesini sağlamaktadır.



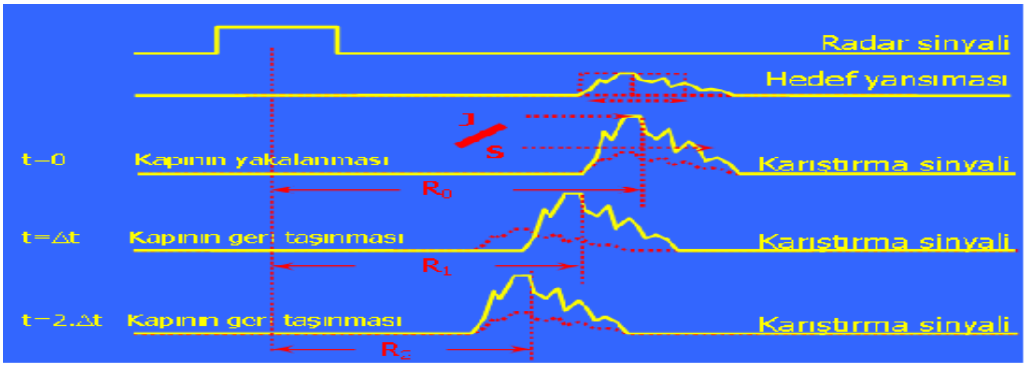
Şekil 3.11. Açısal kazancın tersine gönderilmesi

Kendini korumalı hava elektronik harp sistemlerine karşı öncelikli tehdit tiplerinden biri olarak kabul edilen kilitleme radarları, hedeflerinin pozisyon bilgilerini tarama radarlarından çok daha dar bir alan içerisinde tarayabilme ve çok daha doğru bir şekilde ölçme kabiliyetine sahiptir. Bu tip radarlar, kendilerine bağlı olarak çalışan füze ve mermi gibi silahları hedef üzerine fırlatabilmekte ve bunların hedefe ulaşmasını sağlamak üzere yönlendirebilmektedir. Bu nedenle kilitleme radarları, ECM alt-sistemlerinin ECM teknik uygulamaları açısından tarama radarlarına oranla çok daha öncelikli tehdit sistemlerini teşkil etmektedir. Kilitleme radarlarının mesafe ölçümlerine karşı uygulanan aktif ECM tekniklerine geçmeden önce, bu tür radarların hedeflerinin mesafe bilgisini nasıl hesapladıkları veya başka bir deyişle hedeflerinin mesafelerine nasıl kilitlediklendikleri kısaca şu şekilde açıklanabilir : Kilitleme radarları, hedeften yansıyan sinyallerin geliş zamanına yakın zamanlarda alıcı sisteminlerini aktive etmektedir. Başka bir deyişle, alıcı sistem yalnızca eko sinyalin geliş anına yakın zamanlarda gelen sinyalleri algılamakta, diğer zamanlarda antenlere ulaşan sinyalleri algılamamaktadır. Alıcı sistemin aktivasyon süresi, toplam uzunlukları radar tarafından gönderilen darbenin genişliğinden biraz büyük olan iki darbe genişliği kadardır. Şekil 3.12'de görülen birbiri ile ardışık olan bu iki darbeye, mesafe kapıları ("range gate") adı verilir [9]. Bunlardan birincisi erken, diğeri ise geç mesafe kapısı olarak adlandırılmaktadır. Radar, erken mesafe kapısına ulaşan eko sinyal gücünü, bu sinyalin geç mesafe kapısına ulaşan diğer bölümünün gücü ile karşılaştırarak, bu iki kapıdaki güç farkını sıfıra

indirmek, başka bir deyişle her iki kapıdan aldığı sinyal gücünü eşitlemek amacına yönelik olarak mesafe kapılarını hareket ettirmektedir. Kilitleme radarlarının mesafe ölçüm yeteneklerini etkisiz kılmak amacıyla, gerçek eko sinyalinin radar antenine ulaşma anına yakın zamanlarda ve eko sinyalinden belirli bir seviye daha yüksek güçte gürültü sinyalleri göndermek, uygulanabilecek bir ECM tekniğidir. Gönderilen gürültü sinyalleri, radarın mesafe kapılarını güç eşitliğini sağlamak amacıyla hatalı yönlerde hareket ettirmesine ve en sonunda gerçek eko sinyalinden uzaklaşarak gürültü sinyallerinin başladığı veya bittiği uç noktalardan birinde hareketini sonlandırmasına yol açmaktadır. Menzil Kapısı Taşınması: Radar sinyali geciktirilerek veya erkenden gönderilerek hedef menzilinin şaşırtılmasıdır. İki şekilde yapılır.



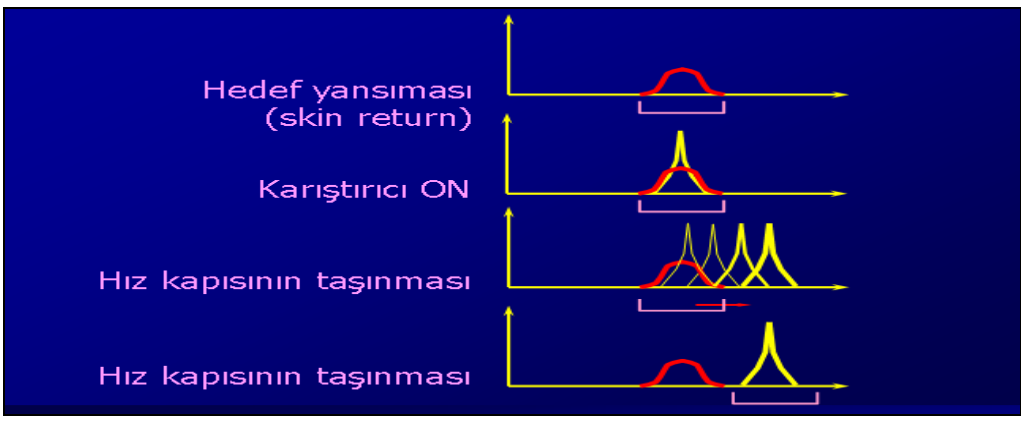
(a)



(b)

Şekil 3.12. Menzil kapısının taşınması a) Menzil kapısı çekme (RGPO) b) Menzil kapısı öteleme (RGPI)

Kilitleme radarlarının mesafe ölçümlerine karşı uygulanan diğer bir aktif ECM tekniği, tehdit radarının mesafe kapılarını gerçek eko sinyalinden uzaklaştırarak ECM sinyali üzerinde kilitlenmelerini sağlamaktır. Bu olayı gerçekleştirmek için ECM sinyal gücünün gerçek eko sinyalinkinden yaklaşık olarak 3 dB daha kuvvetli olması gerekmektedir. Bu durumda radar alıcısı, sinyal algılama eşiğini eko sinyalini algılayamayacak kadar yukarı çekmekte ve yalnızca ECM sinyaline kilitlenebilmektedir. Daha sonra ECM sinyali, artık üzerine kilitlenmiş olan radar mesafe kapılarını gerçek uçak mesafesi üzerinden uzaklaştırmak amacıyla zamanda hareket ettirilmektedir. Bu ECM tekniği, mesafe kapısı çekilmesi (“range gate pull-off” RGPO) olarak adlandırılmaktadır. RGPO tekniğinin frekans bazında benzeri, Doppler kilitleme radarlarına karşı uygulanmaktadır. Bu tür radarlarda, erken ve geç mesafe kapıları yerine erken ve geç filtreler mevcut olup, radar tarafından bu filtreler hareket ettirilerek her iki filtrenin kapsadıkları frekans bölgesi içerisine düşen toplam güç seviyelerinin eşitlenmesi hedeflenir. Bu tür radarlarda, RGPO'daki duruma benzer şekilde, filtrelerin içlerine girecek frekanslarda belirli yükseklikteki güç seviyelerinde sinyaller gönderilerek, filtrelerin ECM sinyalleri üzerine kilitlenmeleri sağlanır ve ECM sinyal frekansları yavaş bir şekilde değiştirilerek filtreler gerçek eko Doppler kayma değerlerinden uzaklaştırılır. Şekil 3.13’de görülen bu teknik, hız kapısı çekilmesi ("velocity gate pull-off", VGPO) olarak adlandırılmaktadır [6].



Şekil 3.13 Hız kapısının taşınması

Hız Kapısı Taşınması (VGPO/VGPI): Radar sinyaline göre sürekli artan bir Doppler kayması uygulanarak sanal bir hızlanma yaratılabilir (veya tersi bir durumda olabilir).

Hız ve Menzil Kapısı Taşınması (RGPO/RGPI + VGPO/VGPI) : İki tür taşınma birlikte kullanılarak daha gerçekçi bir sahte hedef görüntüsü oluşur. Yalnızca menzil veya hız kapılarının taşınmaları aldatmak için yeterli olmayabilir.

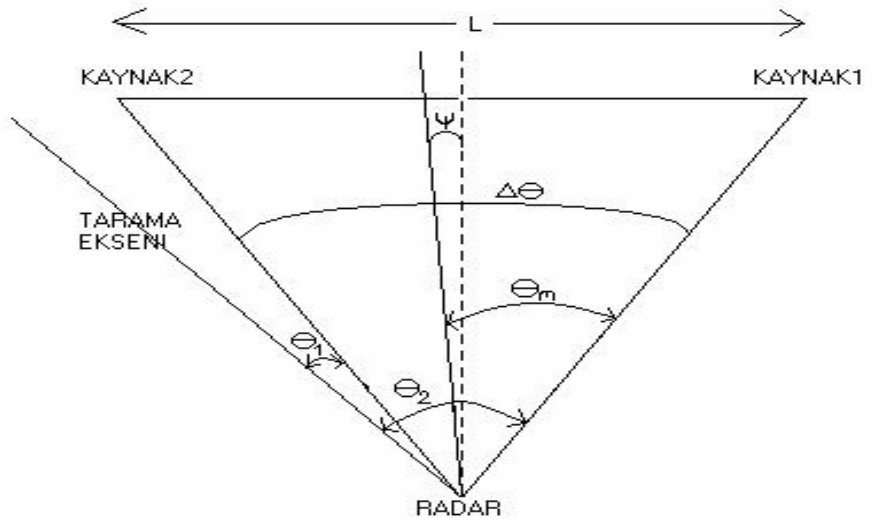
Kilitleme radarlarının hedeflerini izlerken kullandıkları en önemli parametrelerden diğerini, hedeflerinin açı bilgisi oluşturmaktadır. Aktif ECM teknik tasarımcıları tarafından, radarların açı ölçüm yöntemlerini etkisiz kılabilen tekniklerin geliştirilmesi üzerinde oldukça fazla emek sarfedilmiştir. Açı ölçümünde değişik yöntemler izleyen kilitleme radarları mevcut bulunmaktadır. Bu yöntemlerden belli başlı iki tanesi, sırayla kulakçık ("sequential lobbing") ve tekdarbe ("monopulse") tekniklerini içermektedir. Sırayla kulakçık tekniğinde radar, hedef üzerine sinyal gönderdikten sonra ana kulakçığını belirli bir sayıda tam bir dönüş tamamlayacak şekilde hareket ettirir. Bu hareket esnasında algıladığı sinyaller üzerinde bir genlik değişimi olacaktır. Herhangi bir genlik değişiminin algılanmaması, hedefin radar anteninin kulakçığını hareket ettirdiği dairesel bölgenin tam merkezinde olduğunu belirtmektedir. Radar aldığı bu genlik değişimini kendi referans genlik değişimi ile karşılaştırarak, aldığı genlik değişimini sıfırlamak, başka bir deyişle hedefi merkezde tutabilmek amacıyla antenlerini ne yönde ve ne kadar bir açı değeri kadar hareket ettirmesi gerektiğini hesaplamaktadır. Bu bilgiler ışığında, sırayla kulakçık (lob) tekniğini uygulayan kilitleme radarlarının açı ölçüm döngülerine karşı uygulanan aktif ECM tekniklerinden biri şu şekilde açıklanabilir : Herşeyden önce ECM sinyalinin radarın mesafe ve hız kapılarından geçeceğinden emin olunmalıdır. Daha sonra bu ECM sinyali üzerine, radar tarafından gerçek eko sinyallerinden elde edilecek genlik değişimlerinden farklı olacak şekilde

ve radarın açı kilitleme döngüsü içerisinde işlenebilecek değerde bir genlik modülasyonu verilir. Bu modülasyon radar anten kulakçığının dönme frekansında bir kare dalga olabilir. Bu durumda radar, hatalı bir genlik değişimi elde edeceğinden, buna bağlı olarak antenini hatalı yön ve açıda hareket ettirecektir. Eğer sözkonusu tehdit radarının kulakçık döndürme frekansı daha önceden bilinmiyorsa ve RWR alt-sistemi bu frekansı algılama ve ölçme kabiliyetine sahip değilse yukarıdaki tekniğin uygulanması mümkün olamayacaktır [10]. Bu durumda, tarama kare dalga ("swept square wave") tekniği olarak adlandırılan başka bir ECM tekniği uygulamak mümkündür. Bu teknikte, ECM sinyalleri üzerine verilecek genlik modülasyonunun frekansı, tehdit radar anteninin sahip olması muhtemel olan dönme frekanslarını kapsayan bir frekans bölgesi içerisinde sürekli olarak değiştirilir. Ancak bu tekniğin etkin olabilmesi için, ECM alt-sisteminin bu frekans bölgesi içerisinde genlik modülasyonunu değiştirme hızının, tarama esnasında doğru frekansa gelindiği an radarın açıda yanılmasını sağlayabilecek kadar yavaş olması gerekmektedir.

Tek darbe kilitleme radarları, sırayla kulakçık türü kilitleme radarlarının aksine, hedef pozisyon bilgilerini teorik olarak yalnızca bir tek eko darbesinden çıkarabilmektedir. Ancak bu çeşit radarların da pratikte yanıltılmalarını mümkün kılabilen ECM teknikleri tasarlanmıştır. Tek darbe kilitleme radarları, hedeften yansıyan eko darbelerinin her bir radar antenine düşen genlik veya faz farklılıklarını hesaplayarak hedef pozisyon bilgisini ölçmektedir. Çapraz polarizasyon ("cross polarization") tekniği, bu çeşit radarlara karşı uygulanabilecek aktif ECM teknikleri arasında yer almaktadır. Bu teknik, tehdit radarının anten polarizasyonuna ortogonal (90 derece ters) polarizasyonda sinyal üretebilecek bir sinyal kaynağı gerektirmektedir. Çapraz polarizasyon uygulanmış tek darbe radarların anten örüntülerindeki maksimum noktaların pozisyonları değişmekte, öyle ki eko darbesinin antenlere düşen genlik farkını hesaplayan tek darbe radarı, bu farkı ECM'siz şartlarda ölçeceğinden 180 derecelik bir faz farkı ile ölçmekte ve genlik

farkını hatalı olarak ölçmesi sebebiyle antenlerini yanlış yönlerde ve açılarda hareket ettirebilmektedir.

ECM alt-sistemi tarafından tek darbe kilitleme radarlarına karşı uygulanabilen aktif ECM tekniklerinden bir diğeri de çapraz-göz ("cross-eye") adı verilen tekniktir. Bu tekniğin uygulanabilmesi, donanım açısından RWR ve ECM alt-sistemlerinin uçak üzerinde birbirinden uzak lokasyonlara yerleştirilmiş antenlerinin bulunmasını gerektirmektedir. Alıcı antenlerin birinden algılanan sinyaller, diğer uçta bulunan verici anten tarafından herhangi bir değişikliğe uğratılmaksızın gönderilir. Alıcı antenlerin diğerinden algılanan sinyaller ise, fazda 180 derece değişiklik yapıldıktan sonra diğer uçtaki verici antenden gönderilir. Her iki verici antenden gönderilen sinyaller, tehdit radarının alıcı antenine tamamiyle aynı anda ulaşmakta ve gönderilen sinyallerin 180 derece faz farkı taşımaları sebebiyle birbirlerini yok ederek, tehdit radarının herhangi bir sinyal algılamasına engel olunabilmektedir. Şekilde Şaşı-Göz geometrisi görülmektedir.



Şekil 3.14 Şaşı-Göz geometrisi.

$$\theta_{miss} = \left[\frac{L\cos(\psi)}{2R} \frac{1-a^2}{1+2a\cos\phi+a^2} \right] \qquad r_{miss} = \left[\frac{L\cos\psi}{2} \right] . \left[\frac{1-a^2}{1+2a\cos\phi+a^2} \right]$$

Formüllerde;

L; Karıştırıcı kaynakların arasındaki mesafe,

R; Menzil

ψ ; Radar ekseni ile karıştırıcıları birleştiren doğru arasındaki açı,

ϕ ; Karıştırıcı kaynakların faz farkı,

a; Karıştırıcı kaynakların genlik oranıdır.

Formülün payından net olarak görüldüğü gibi kaynaklar arası mesafe (L) arttıkça daha fazla açı aldatması sağlanmış olur. Uçakta kullanılacak şaşı-göz karıştırıcı kaynakları uçağın kanat uçlarına, gemide kullanılacak şaşı-göz karıştırıcı kaynakları ise geminin iskele ve sancak taraflarına ya da geminin ön ve arka uçlarına yerleştirilir.

Formülün payında görüldüğü gibi ψ açısı ile karıştırma miktarı sinüssel bir ilişki içerisindedir. $\psi = 0^o$ olduğu zaman $\cos(\psi)$ en yüksek değerini alır ve 1 olur. $\psi = 90^o$ olduğu zaman ise 0 olur.

Formülün paydasında görüldüğü gibi menzil ile açı aldatması ters orantılıdır. Menzil arttıkça karıştırma miktarı azalır.

4. SİNYAL TANIMA VE GÜRÜLTÜ KARIŞTIRMASI UYGULAMASI

Bu bölümde, dielektrikler için bir hedeften saçılan sinyallerin geç zamanlarındaki doğal salınımlarını kullanan elektromanyetik hedef sınıflandırıcıları tasarlamak için bir elektromanyetik hedef özellik çıkarım tekniği kullanılmıştır. Sınıflandırıcı veri bankaları her muhtemel hedefin sadece bir kaç açıdaki saçılım verilerini içerir. Hedefler büyüklükleri ve kırılma indeksleri farklı dielektrik kürelerdir. Uygulanan sınıflandırıcı tasarım tekniği özellik çıkarım ve karar verme yaklaşımları verimliliği sebebiyle gerçek zamanlı sınıflandırma için uygundur. Bu çalışmada, hedeflerin geç zaman tepkilerinden özelliklerini çıkarmak amacıyla Wigner-Ville Dağılımı (WD) hedeflerin geç zaman Esas Bileşenler Analizi (PCA-Principal Component Analysis) tekniğine ilave olarak kullanılmıştır. WD değişik açılardan gelen geri saçılan tepkilere uygulanmıştır. Açısal bağımlılığı azaltmak maksadıyla, özellik vektörleri WD çıktılarının doğal rezonanslarla ilgili bilgileri içeren seçilmiş geç zaman bölümlerinden çıkartılmıştır. Esas Bileşenler Analizi tekniği, açısal bağımlılığı daha da düşürmek amacıyla, her bir hedef için referans açılarında üretilmiş özellik vektörlerinin ve/veya geç zaman hedef tepkilerinin, hedefi tanımlayan tek bir özellik vektöründe toplanmasında kullanılmıştır. Bu teknik Turhan Sayan tarafından sunulmuş olup dielektirik hedeflere uygulanmıştır [11].

4.1. Wigner-Ville Dağılımı Kullanılarak Özellik Çıkarım İşlemi

Wigner-Ville dağılımı daha önce belirlenen açıdaki hedeften yansıyan sinyalin, seçilen geç zaman bölümündeki enerji ile ilgili bilgi elde etmek için kullanılır. Sınflandırma işlemi için nitelik özçıkarım vektörlerinde ortak bir zaman aralığı ve ortak bir frekans bandı kullanılması bütün test edilecek hedeflerin tüm görünümlerinde önemlidir.

Değişmeyen bir sınıflandırma elde etmek için, nitelik özçıkarım işlemi başlangıcında bütün sinyallerin toplam enerjileri normalleştirilerek birleştirilir.

Normalleşen bu sinyallerin zaman-frekans analizleri her bir sinyalin Wigner-Ville dağılımlarının değerlendirilmesiyle yapılır. $x(t)$ zaman sinyalinin Wigner-Ville dağılımı aşağıdaki denklemde olduğu şekilde tanımlanır:

$$W_x(t,f) = \int_\tau x(t+\frac{\tau}{2}) x^*(t-\frac{\tau}{2}) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \tag{4.1}$$

Wigner-Ville dağılımı istenilen özellikleri karşılar.

$$\int_f W_x(t,f)df = p_x(t) = \left|x(t)\right|^2 \tag{4.2}$$

$$\int_t W_x(t,f)dt = P_x(f) = \left|X(f)\right|^2 \tag{4.3}$$

Burada X(f), x(t) sinyalinin Fourier dönüşümü, $p_x(t)$ ve $P_x(f)$ sinyalin anlık güç ve enerji yoğunluğunu göstermektedir.Wigner-Ville dağılımı çıkışı zaman frekans düzleminde tanımlanan her noktadaki zaman frekans enerji yoğunluğunu verir.

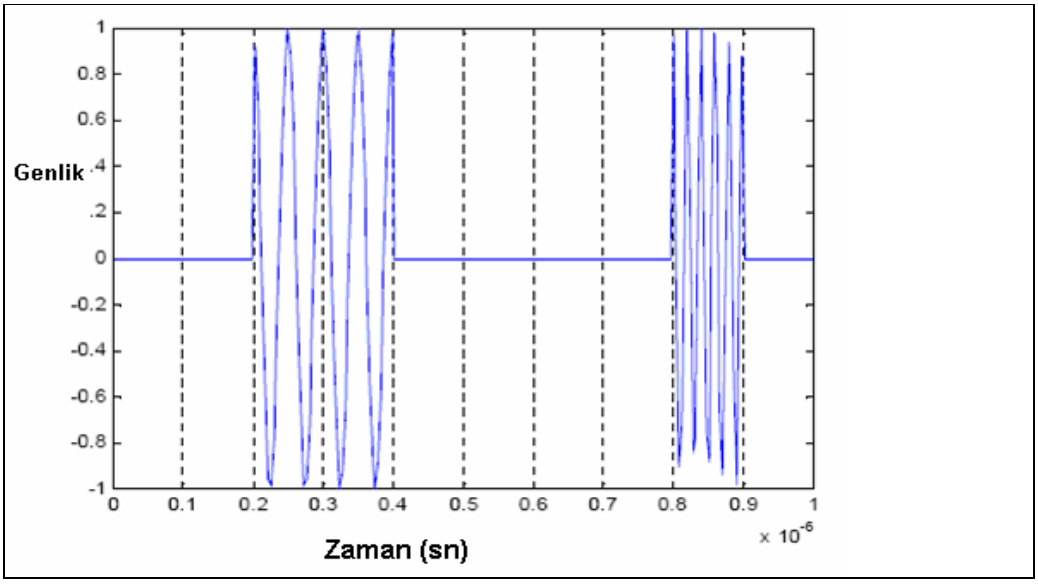
Gerçek dünyada negatif enerji olmadığından, Wigner-Ville dağılımının negatif bölümü zaman frekans düzleminde karışıklığa neden olabileceğinden sadece Wigner-Ville dağılımın pozitif kısmı alınır.

$$\tilde{W}_x(t,f) = \frac{W_x(t,f) + abs(W_x(t,f))}{2} \tag{4.4}$$

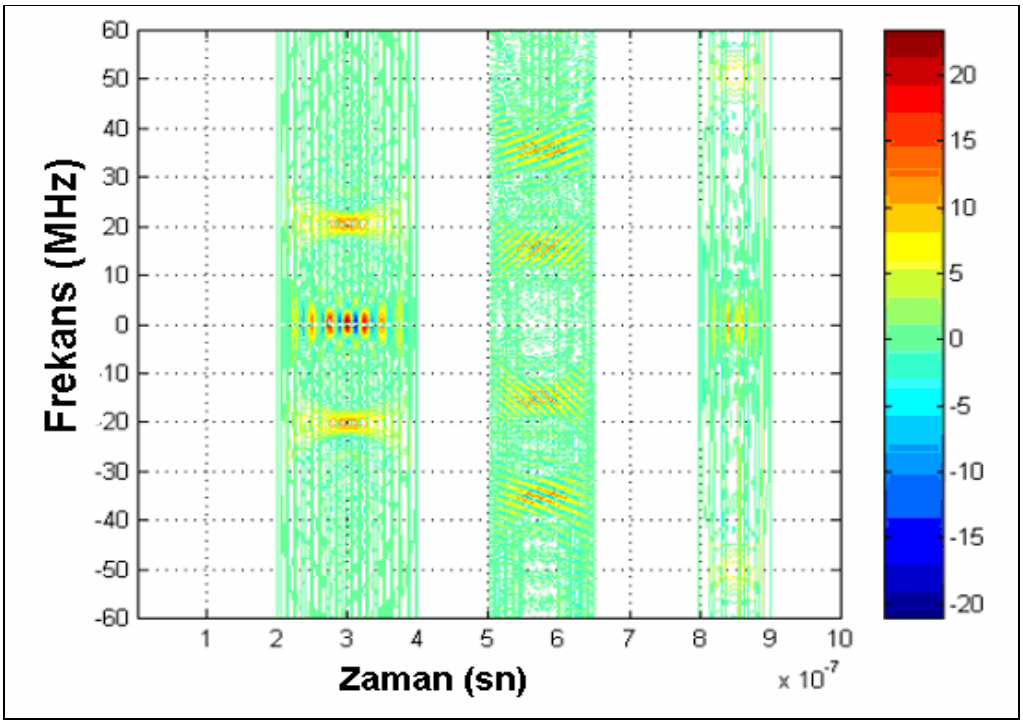
Wigner-Ville dağılımının negatif değerlerinin atılması sonrası bile, ayrık Wigner-Ville dağılımı çıkışı matris formda sınıflandırma için yeterli değildir.

Aşağıda frekansı 200 MHz ve zaman aralığı [0.2,.0.4] mikro saniye ile frekansı 50 MHz ve zaman aralığı [0.8,0.9] mikro saniye olan Şekil 4.1 deki

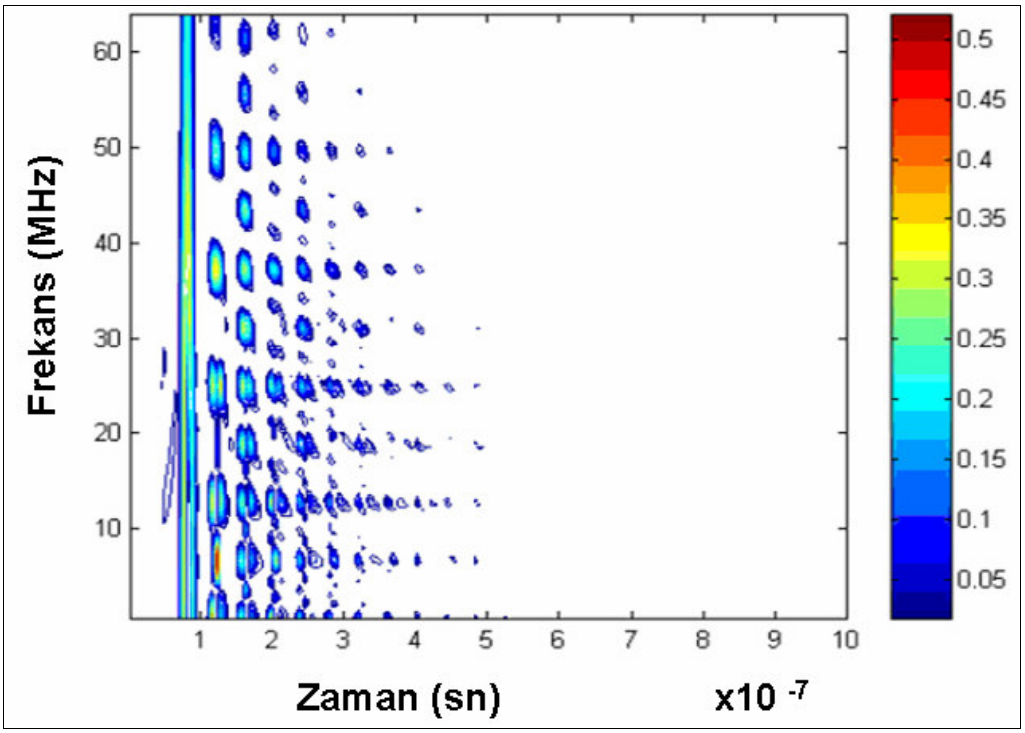
sinyalin Wigner-Ville dağılımı Şekil 4.2 de, pozitif Wigner-Ville dağılımı ise Şekil 4.3 de verilmiştir.



Şekil 4.1 Farklı frekans ve zaman aralığında x(t) sinyali.



Şekil 4.2 x(t) sinyalinin Wigner-Ville dağılımı.



Şekil 4.3 x(t) sinyalinin Wigner-Ville dağılımının pozitif kısmı [11].

4.2. Geç Zaman Özellik Vektörünün Kullanılması (LTFV-Lead Time Feature Vector)

Hedefi daha iyi tanımlayabilmek için Wigner-Ville dağılımı değerleri için bölümlenmiş enerji yoğunluk vektörlerinin elde edilmesine ihtiyaç vardır. Gerçek değerli sinyaller için, Wigner-Ville dağılımı çıkış matrisi frekansa göre simetriktir. Boyutu (N/2 x N) olan pozitif frekans bölümündeki Wigner-Ville dağılımı matrisini almak yeterlidir.

Wigner-Ville dağılımı hesaplamasından önce, zaman eksenindeki x(t) sinyalinin toplam enerjisinin birleştirilmesiyle eşit şekilde normalleştirilmesi gerekir. Sonra toplam zaman bölümü T_0, T_0/Q saniye olan Q zaman bantlarına bölünür. q zaman bantlarında oluşan toplam enerji aşağıdaki deklemle ifade edilir:

$$E_q(f_m) = \int_{(q-1)\Delta}^{q\Delta} W_x(t, f_m)dt \qquad \text{q=1,2,3,.....Q için} \qquad (4.5)$$

Burada $\Delta = T_0/Q$, m =1,2,....,N/2 ve $f_m = (m-1)/(2T_0)$ (4.6)

Her bir f_m spektrumundaki enerjiyi vektörel formda ifade edersek

$$\overline{E_q} = [E_q(f_1) \quad E_q(f_2) \ldots\ldots\ldots E_q(f_{N/2})] \qquad (4.7)$$

bulunur. Uzunluğu N/2 x Q olan $\overline{E}$ enerji yoğunluk vektörü aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\overline{E} = [\overline{E_1} \quad \overline{E_2} \ldots\ldots\ldots \overline{E_Q}] \qquad (4.8)$$

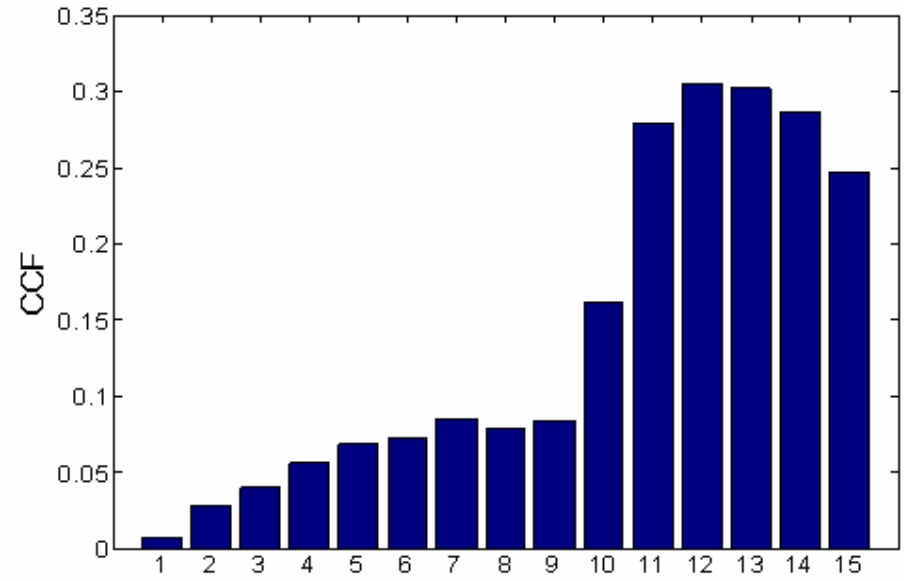
Bu işlem bütün zaman aralıklarında yapılır. Verinin geç zaman bölgesinde görünen doğal rezonans öğelerini elde etmek için, doğal rezonans frekansının gerçek bölümleri hakkında bazı ayırt edici bilgileri içeren ardışık iki zaman bandı (q* ve q*+1) özellik vektörleri çok uygundur. Bu işlemde, referans 11'de belirtiği şekilde toplam zaman bandı Q= 16 eşit bölüme ayrılarak, ayırt edici özellik içeren q*=11'inci zaman bandı incelemeye alınmıştır.

Uygun Q ve q* değerleri seçildikten sonra doğru sınıflandırma faktörü (Correct Classification Factor-CCF) aşağıdaki denklemle tanımlanır.

$$CCF(q^*) = \frac{1}{M_{hed} K^2} \sum_{i,j} r_{i,j}^{benzer} - \frac{1}{(M_{hed}^2 - M_{hed}) K^2} \sum_{i,j} r_{i,j}^{benzemez} \ldots \qquad (4.9)$$

Burada, M_{hed} hedef sayısı, K referans alınan görünüş sayısı, $r_{i,j}^{benzer}$ aynı hedefin farklı yönlerden benzer iki LTFV arasındaki uygunluk katsayıları

(benzer durumda), $r_{i,j}^{benzemez}$ iki farklı hedefin herhangi bir iki LTFV arasındaki uygunluk katsayılarıdır (benzemez durumunda). Burada işlemin başarılı olması için $r_{i,j}^{benzer}$ değerinin yüksek, $r_{i,j}^{benzemez}$ değerinin ise düşük olması beklenir. Şekil 4.4'de verilen doğru sınıflandırma faktöründe (CCF) en fazla sıçrama 11. barda olduğundan ve aynı seviye koruduğundan q*=11 alınmıştır. Erken zamanda güç yüksek olduğundan ayırt edici bilgileri elde etmek mümkün değildir. Aynı şekilde geç zamanın sonlarına doğru sinyaldeki bozulma artacağından bu bölümde de ayırt edici özellik bilgileri aranmaz [11].



Şekil 4.4. En uygun zaman indeksinde doğru sınıflandırma faktörü

4.3. Özellik Çıkarmada Esas Bileşenler Analizinin (PCA- Principal Component Analysis) Kullanılması

Esas bileşenler analizi (PCA) bir istatistiksel metod olup, veri analizi, veri sıkıştırma, veri azaltma, boyut azaltma ve özellik çıkarma amacıyla kullanılır. Açısal bağımlılığı azaltmak için esas bileşenler analizi kullanılarak referans

açıda geç zaman özellik vektöründen her bir hedef için tek bir karakteristik özellik elde edilir.

Geç zaman özellik vektörü (LTFV) çıkarıldıktan sonra, esas bileşenler analizi kullanılarak, hesaplama zamanı düşürülür ve sınıflandırma doğruluğu artırılır.

Esas bileşenler analizi sayesinde, bir hedef için her açıdan referans geç zaman özellik vektörleri, birleşik özellik vektörü (FFV-Fused Feature Vector) olarak tek bir vektör haline dönüştürülür. Test işlemi, test açısındaki LTFV ile her bir hedefin FFV ile karşılaştırılması sonucu yapılır.

Esas bileşenler analizi yöntemiyle, birleşik özellik çıkarım işlemi aşağıda kısaca anlatılmıştır.

F, K x N boyutunda gerçel değerli bir matris olsun. Farklı açılardan K'ya ait herbirinin boyutu 1 x N olan geç zaman vektörlerinin satırları

$$F^T = [\overline{e}_1^T \quad \overline{e}_2^T \quad \cdots \quad \overline{e}_K^T] \tag{4.10}$$

ile verilir. T burada devrik matrisi (transpose) göstermektedir. F özellik matrisinin simetrik S_F alt değer matrisi,

$$S_F = \begin{bmatrix} s_1^2 & s_{12} & \cdots & s_{1K} \\ s_{21} & s_2^2 & \cdots & s_{2K} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ s_{K1} & s_{K2} & \cdots & s_K^2 \end{bmatrix} \tag{4.11}$$

ile verilir. Köşegen üzerindeki girişler $s_{ij} = s_{ji}$ özellik vektörü arasındaki alt değişkenleri ($\overline{e}_i$ ve $\overline{e}_j$) gösterir. $\overline{e}_i$ özellik vektörünün değerini köşegen üzerindeki s_i^2 gösterir. Buna göre $\overline{e}_i$ ve $\overline{e}_j$ özellik vektörleri arasındaki uygunluk katsayıları $r_{i,j}$ aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$r_{i,j} = \frac{s_{i,j}}{\sqrt{s_i s_i}} \tag{4.12}$$

S_F alt değer matrisi simetrik ve pozitif sınırlı olduğu için köşegen matrise dönüştürülür.

$$\Lambda = U^T S_F U = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ . & . & & . \\ . & . & & . \\ . & . & & . \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_K \end{bmatrix} \tag{4.13}$$

Burada U model matrisi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$U = [u_1 \quad u_2 \dots\dots\dots u_K] \tag{4.14}$$

u_i normalleştirilerek özvektörleri S_F alt değer matrisinin özdeğerlerine karşılık gelir.

$$\det(S_F - \lambda I) = 0 \tag{4.15}$$

denkleminden λ_i özdeğeri çözülür. Burada I KxK boyutunda özdeşlik matrisidir. λ_i özdeğerleri en yüksekten en düşüğe doğru sıralanır. Özvektör karşılığı t_i aşağıdaki denklemden bulunur:

$$[S_F - \lambda_i I]t_i = 0 \qquad \text{i =1, 2,.....M} \tag{4.16}$$

$$u_i = \frac{t_i}{\sqrt{t_i t_i^T}} = \frac{t_i}{|t_i|} \tag{4.17}$$

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_K \end{bmatrix} = U^T \begin{bmatrix} \overline{e_1} - mean\ (\overline{e_1}) I_N \\ \overline{e_2} - mean\ (\overline{e_2}) I_N \\ \vdots \\ \overline{e_K} - mean\ (\overline{e_K}) I_N \end{bmatrix} \tag{4.18}$$

Burada I_N uzunluğu N olan vektörün birim sırasıdır ve F özellik matrisi ile aynı boyutta KxN boyutuna sahip Z matris sonucudur. z_i F özellik matrisinin esas bileşenleridir (PC). Esas bileşenlerin vektörünün herbiri λ_i değerine sahiptir. Birleşik özellik vektörü (FFV) aşağıdaki formülle tanımlanır [11]:

$$FFV = \sum_{i=1}^{K} \overline{\lambda_i} z_i \tag{4.19}$$

Burada ;

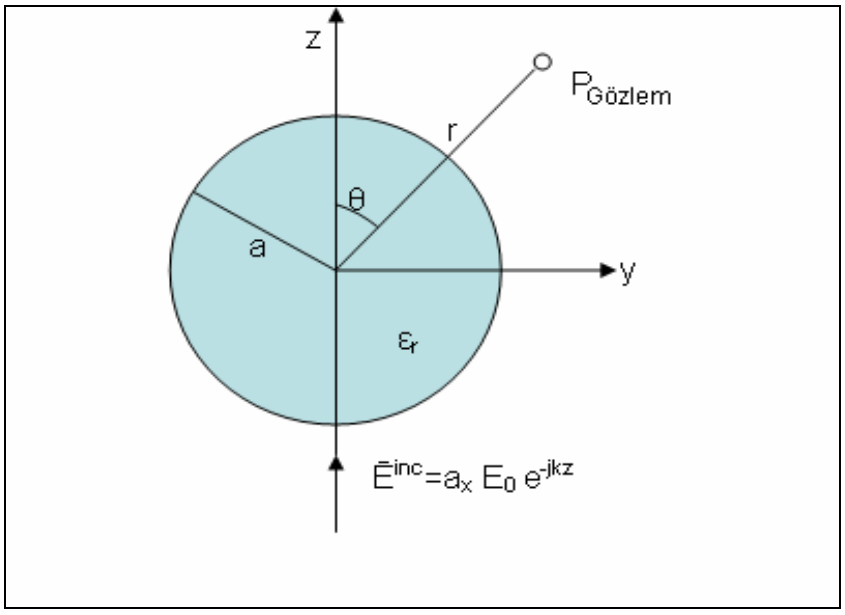
$$\overline{\lambda_i} = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{K} \lambda_i} \tag{4.20}$$

olarak verilmektedir.

4.4. ESM Programının Gürültüsüz Sinyaller İle Test Edilmesi

Bu bölümde, ilk kez Turhan Sayan tarafından geliştirilen yönteme göre yazılan “ESM” adlı Matlab programı sayesinde, küre yarıçapı 10 cm olan, kırılma indisleri farklı (ε1=4,ε2=5, ε3=6) dielektrik maddelerden saçılan farklı

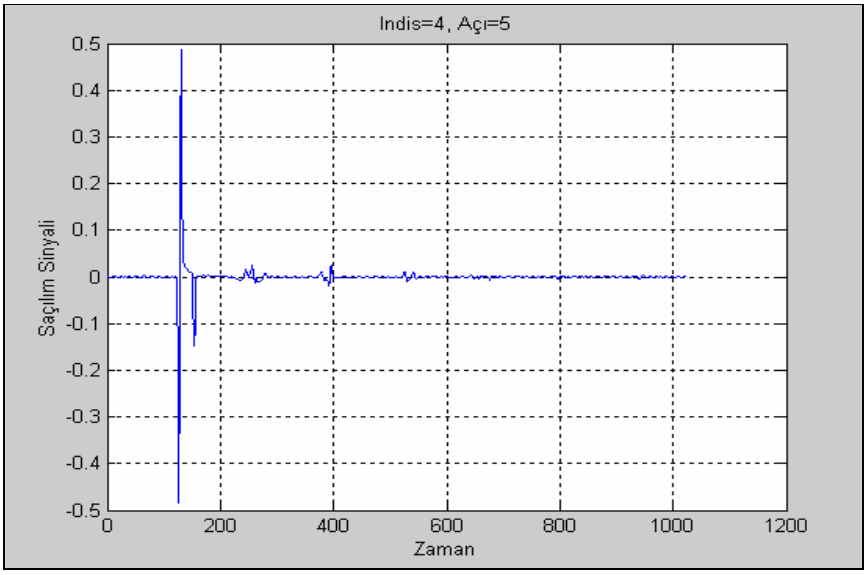
açılardaki (θ_{ref}=5º, 45º, 90º, 135º, 179º) sinyaller 1 m uzaklıktaki gözlem yerinden toplanarak, veri tabanı oluşturulmuştur. Referans 11'deki değerler (Q, q* vb) ve yöntem kullanılarak, bunun elektronik harp yönünden incelemesi yapılmıştır.



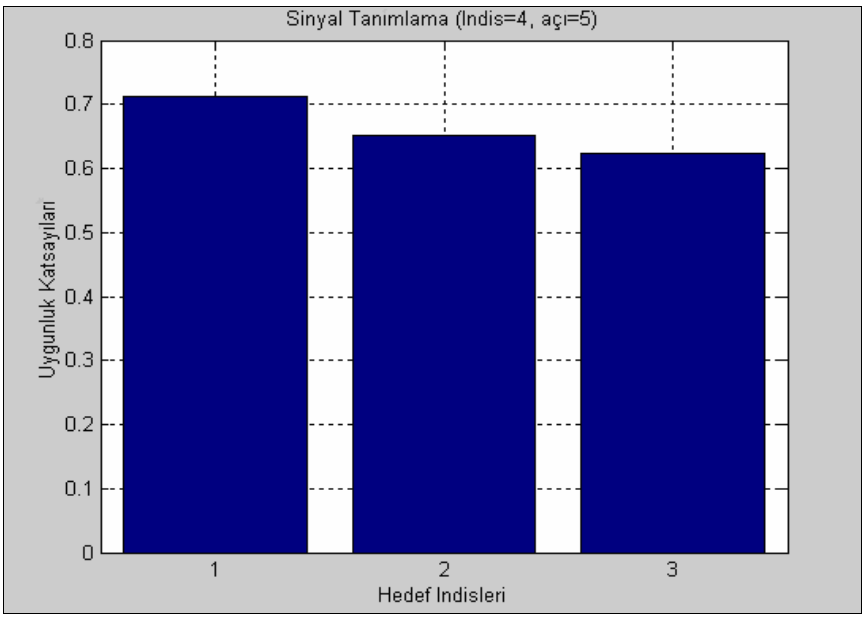
Şekil 4.5 Yarıçapı 10 cm olan hedeften (dielektrik küre) saçılan sinyalllerin gözlenmesi [11].

ESM programı once oluşturulan veri bankasındaki farklı kırılma indisi ve farklı açılardaki gürültü karıştırılmamış sinyaller ile daha sonrada bu sinyallere belirli SNR değerinde gürültü eklenmiş sinyaller ile test edilmiştir. ESM programının çalışması için MATLAB programında Wigner-Ville fonksiyonunun yüklenmesi gerekmektedir. Test sonuçları aşağıda görülmektedir:

Burada ESM programı ile kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θref) 5º olan hedeften yansıyan sinyali test ettiğimizde uygunluk katsayıları (ε) 4 için 0.7124, (ε) 5 için 0.6518 , (ε) 6 için ise 0.6227 değerleri bulunmuştur.



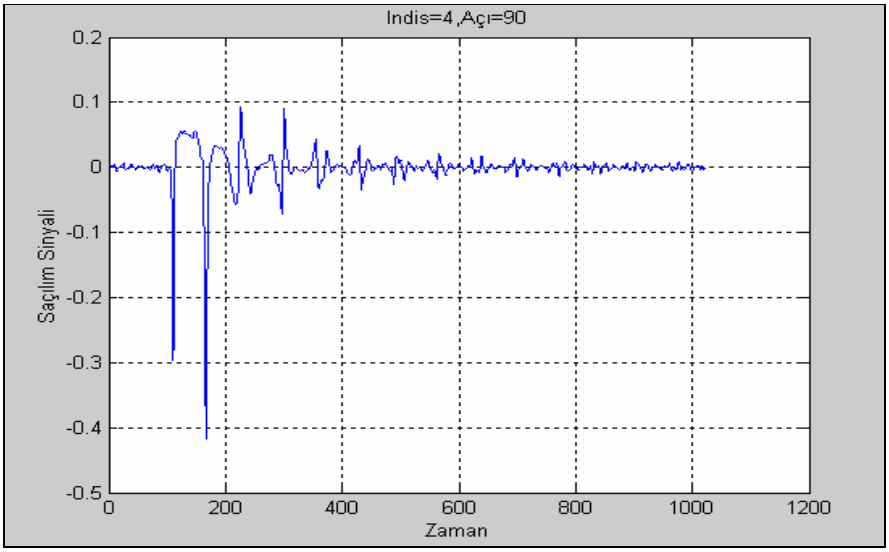
(a)



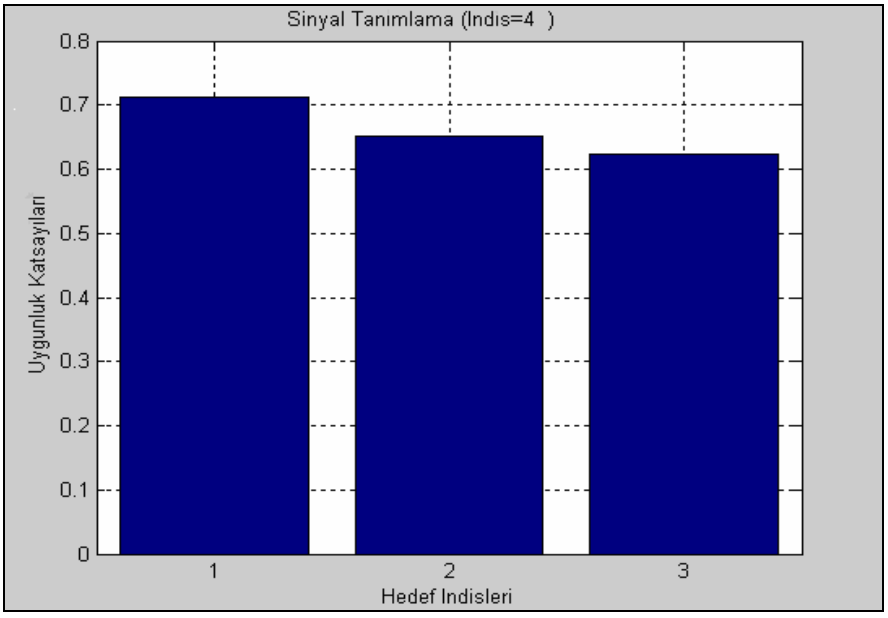
(b)

Şekil 4.6 Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 5º olan sinyal testi
a) Test sinyali b) Test sonucu

Uygunluk katsayısı en yüksek değer kırılma indisi (ε) 4 olan küreyi gösterdiğinden ESM adlı program hedefi doğru şekilde tanımlamıştır.



(a)

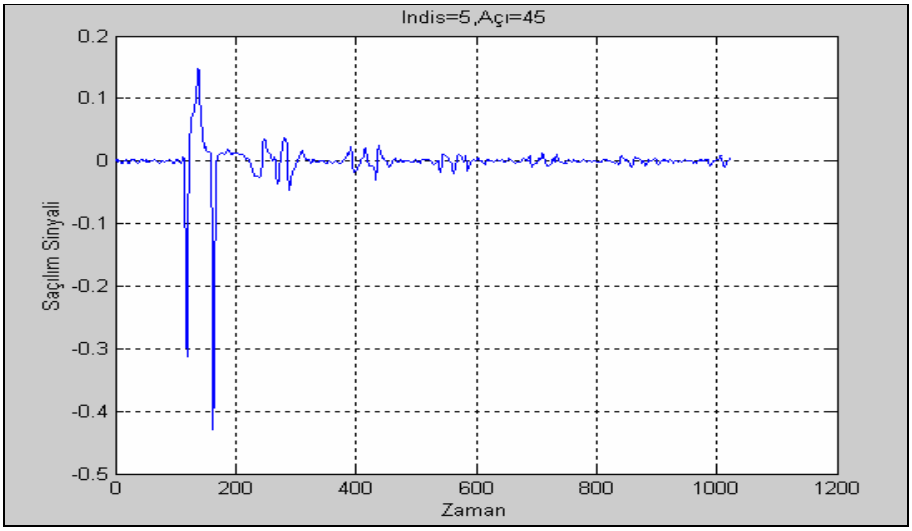


(b)

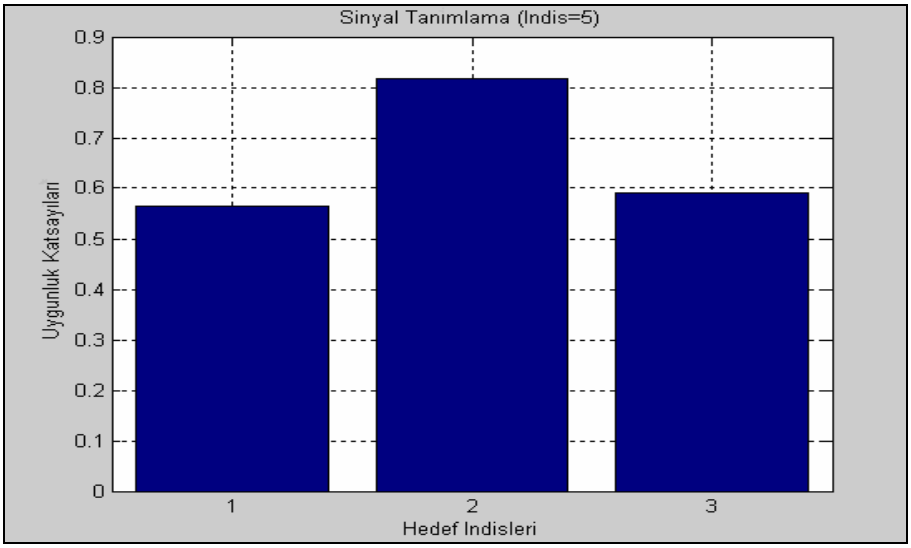
Şekil 4.7 Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 90º olan sinyal testi.
a) Test sinyali b) Test sonucu

ESM programı ile sinyalin açı değerini artırarak test işlemine devam ettiğimizde; uygunluk katsayıları (ε) 4 için 0.8176, (ε) 5 için 0.5610 , (ε) 6 için ise 0.5164 değerleri bulunmuştur. Uygunluk katsayısı en yüksek değer

kırılma indisi (ε) 4 olan küreyi gösterdiğinden ESM adlı program hedefi doğru şekilde tanımlamıştır.



(a)

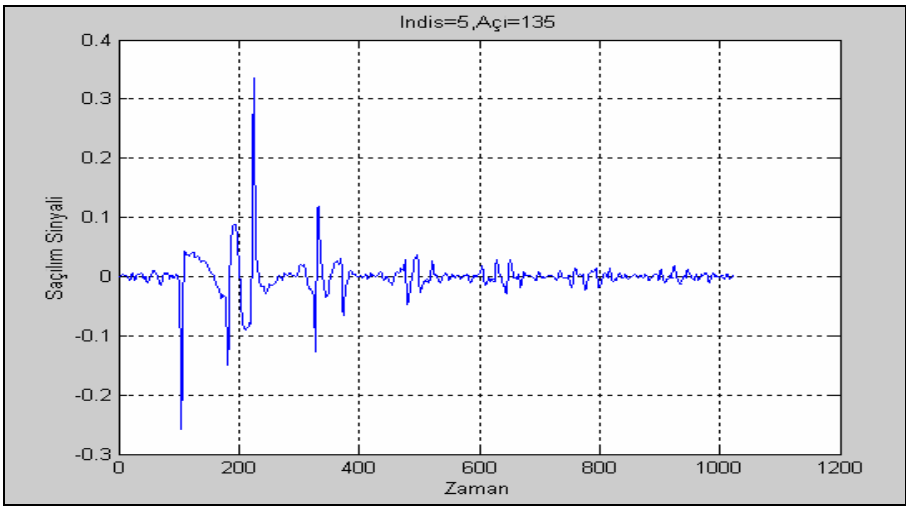


(b)

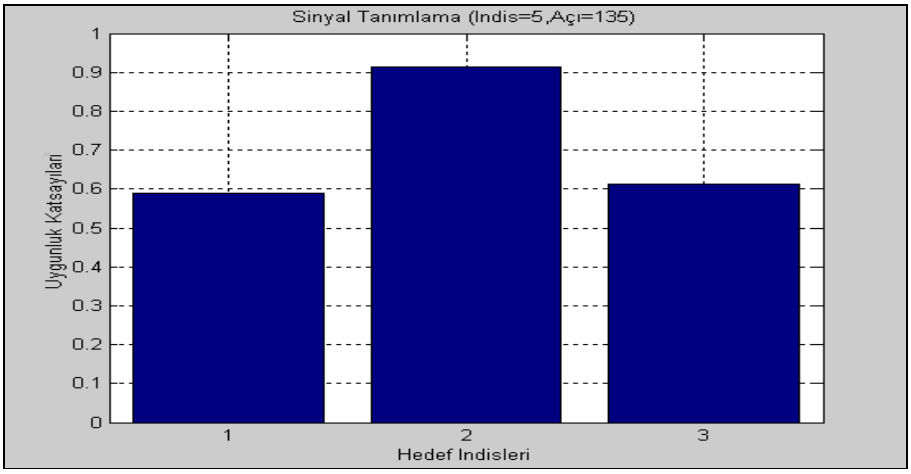
Şekil 4.8. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º olan sinyal testi.
a) Test sinyali b) Test sonucu

Bu kez farklı bir hedefi yani kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º olan sinyali ESM programı ile test ettiğimizde; uygunluk katsayıları (ε) 4 için 0.5637, (ε) 5 için 0.8160 , (ε) 6 için ise 0.5915 değerleri bulunmuştur.

Uygunluk katsayısı bu kez (ε) 5 için en yüksek çıktığından ESM programı kırılma indisi (ε) 5 olan hedefi doğru şekilde tanımlamıştır.



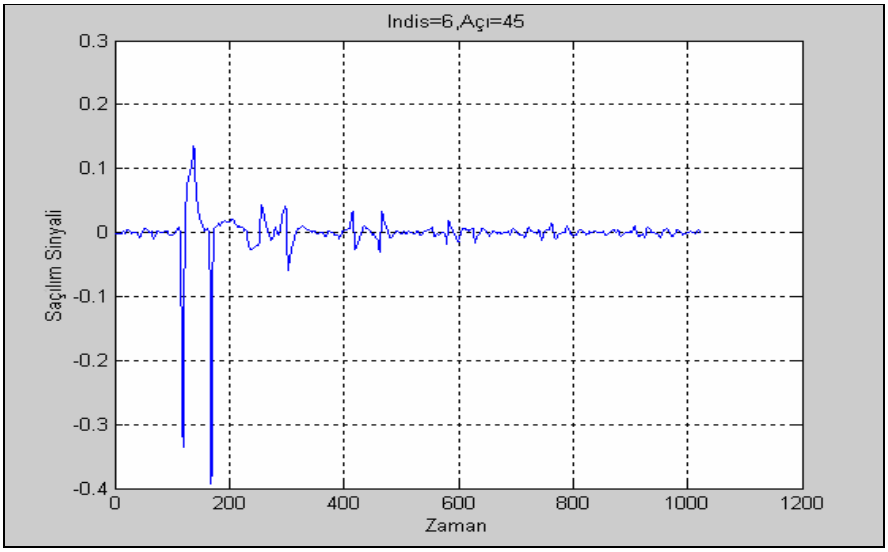
(a)



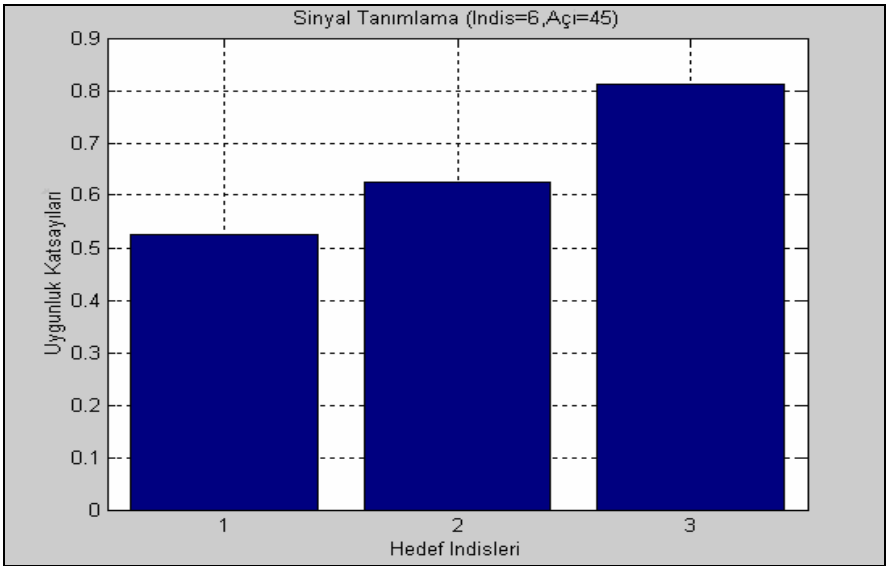
(b)

Şekil 4.9. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º olan sinyal testi.
a) Test sinyali b) Test sonucu

ESM programı ile test işlemine açıyı daha da artırarak devam ettiğimizde kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º olan sinyal için uygunluk katsayıları (ε) 4 için 0.5883, (ε) 5 için 0.9128 , (ε) 6 için ise 0.6113 olarak bulunmuştur Açı büyüdükçe doğru hedefin uygunluk katsayısının arttığı, sinyali tanıma işleminin daha başarılı olarak gerçekleştiği gözlenmiştir.



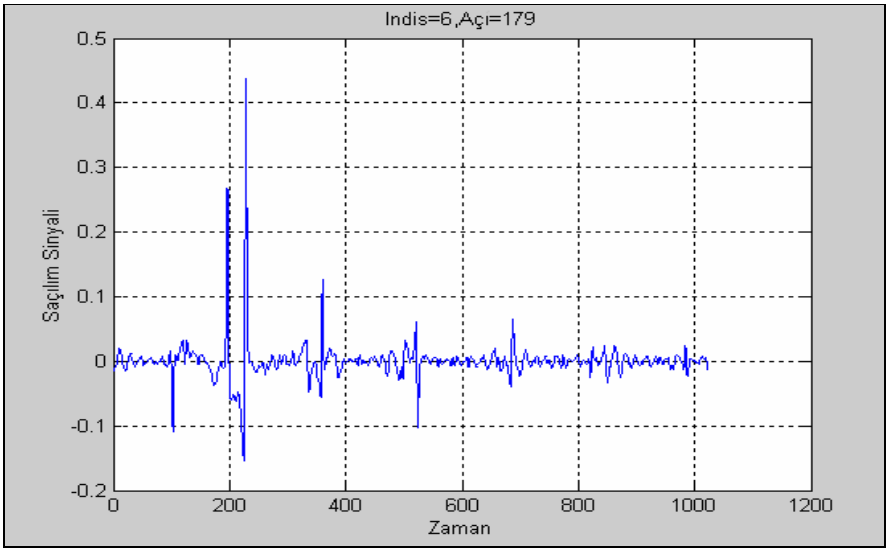
(a)



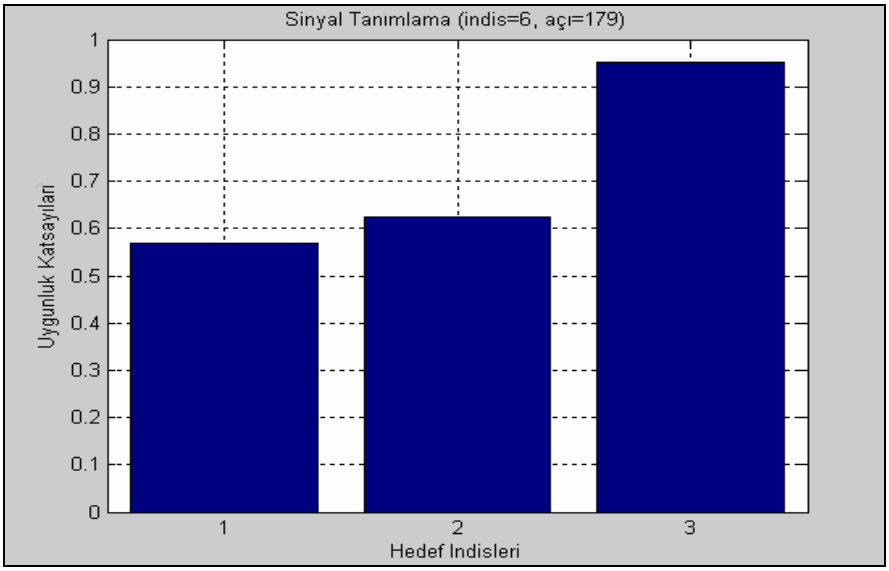
(b)

Şekil 4.10. Kırılma indisi (ε) 6, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º olan sinyal testi.
a) Test sinyali b) Test sonucu

Test işlemini kırılma indisi (ε) 6 olan sinyal için de tekrarladığımızda kırılma açısı (θ_{ref}) 45º için uygunluk katsayıları (ε) 4 için 0.5249, (ε) 5 için 0.6250, (ε) 6 için ise 0.8106 olarak bulunmuş, hedef doğru tespit edilmiştir.



(a)



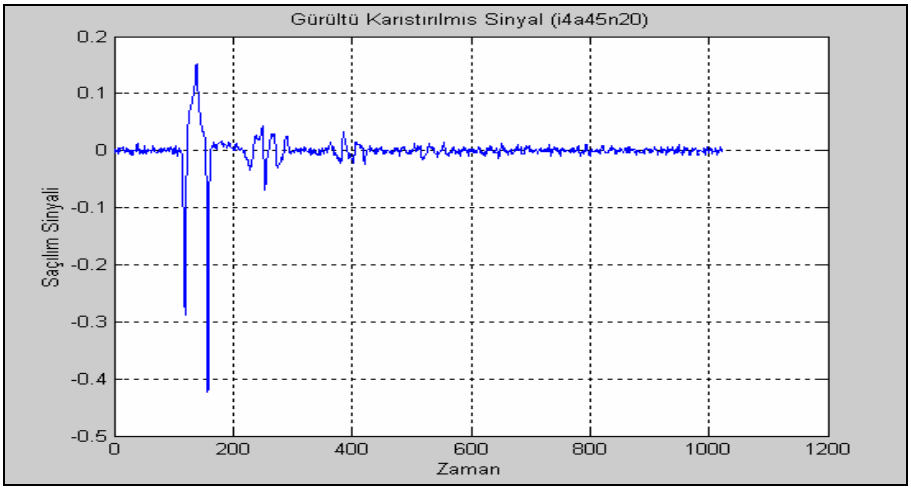
(b)

Şekil 4.11. Kırılma indisi (ε) 6, kırılma açısı (θ_{ref}) 179º olan sinyal testi.
a) Test sinyali b) Test sonucu

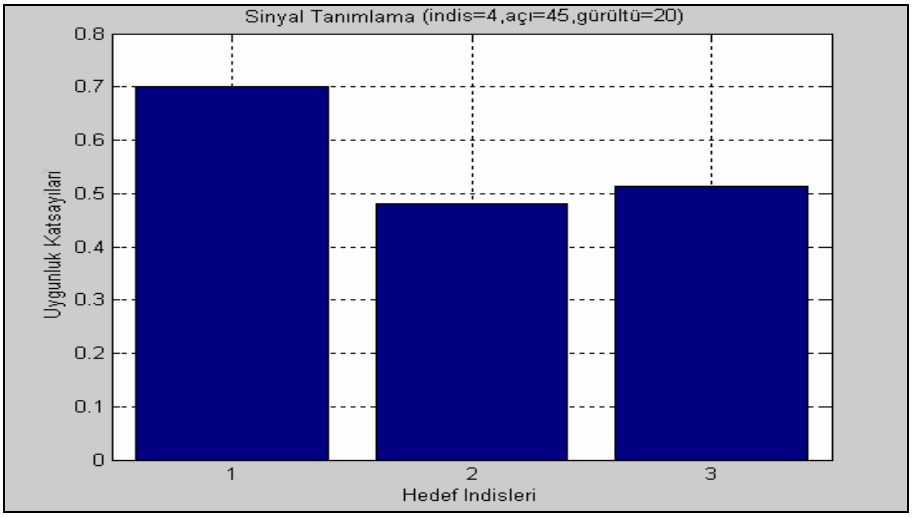
Son olarak kırılma açısı (θ_{ref}) 179º olan sinyali test ettğimizde; uygunluk katsayıları (ε) 4 için 0.5696, (ε) 5 için 0.6233 , (ε) 6 için ise 0.9508 bulunmuş olup uygunluk katsayısı daha önceki test işlemlerine en yüksek değerle hedefi tanımlamıştır.

4.5.Gürültü Eklenmesi ve ESM Programının Gürültülü Sinyaller ile Test Edilmesi

Oluşturulan veri bankasındaki sinyaller farklı oranlarda gürültü sinyali ile karıştırılarak ESM programı ile tekrar test edilmiştir. Sonuçlar aşağıda görülmektedir:



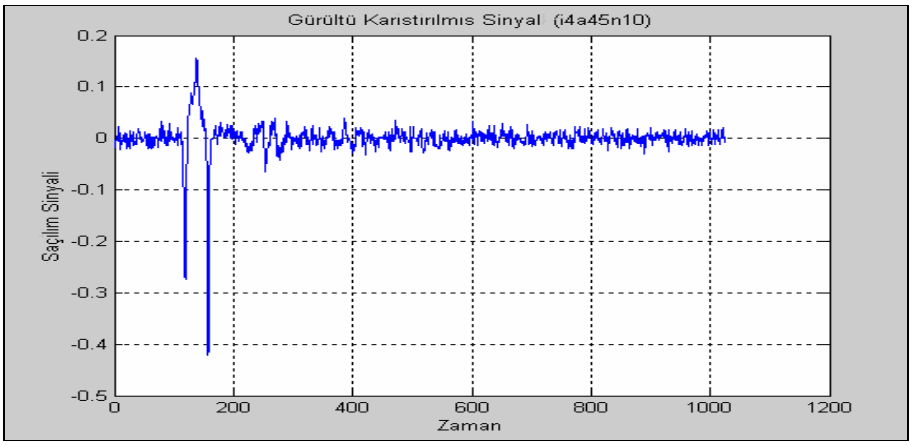
(a)



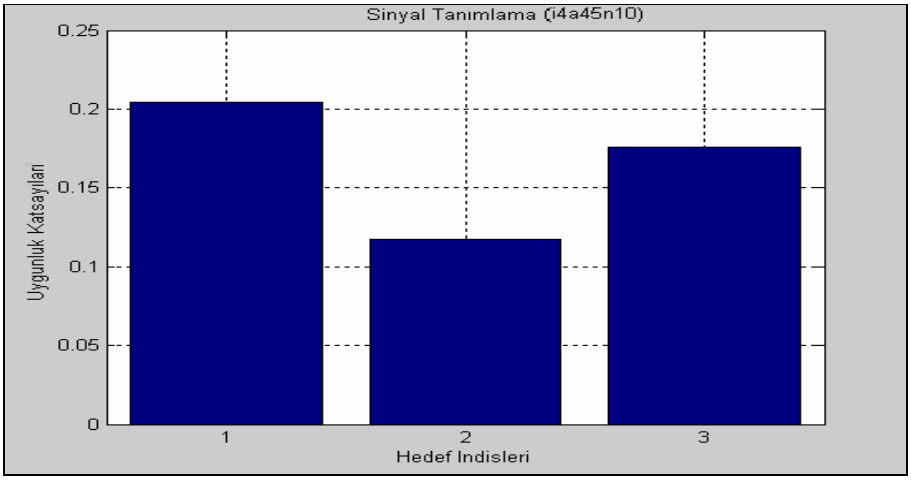
(b)

Şekil 4.12. Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º ve Gürültü (SNR=20 dB) eklenmiş olan test sinyali a) Gürültülü sinyal b) Test sonucu

Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º olan sinyale SNR=20 dB oranında bir gürültü eklendiğinde uygunluk katsayıları; (ε) 4 için 0.7030, (ε) 5 için 0.4862 , (ε) 6 için ise 0.5158 olarak bulunmuştur. En yüksek uygunluk sayısı (ε) 4 hedefine ait olduğu için ESM programı test sinyalini 20 dB oranındaki gürültüye rağmen başarılı olarak tanımıştır.



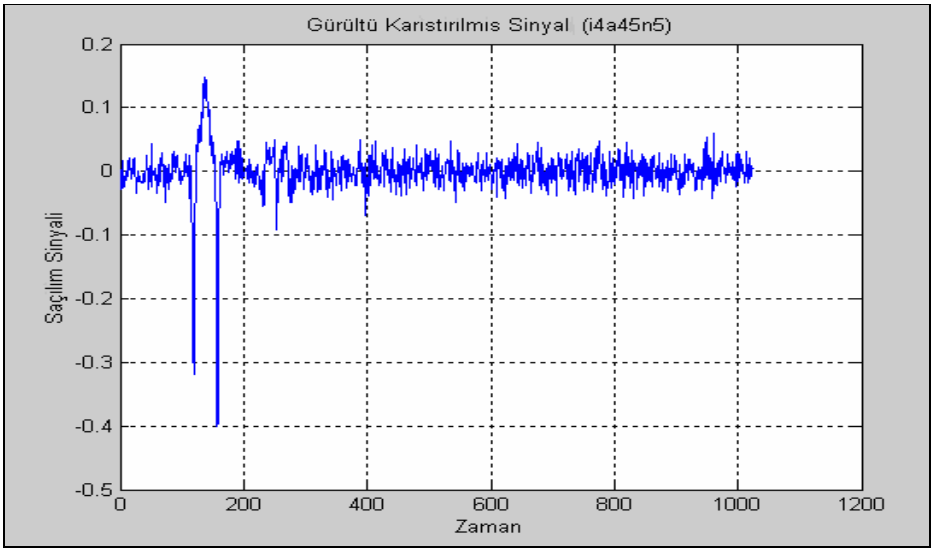
(a)



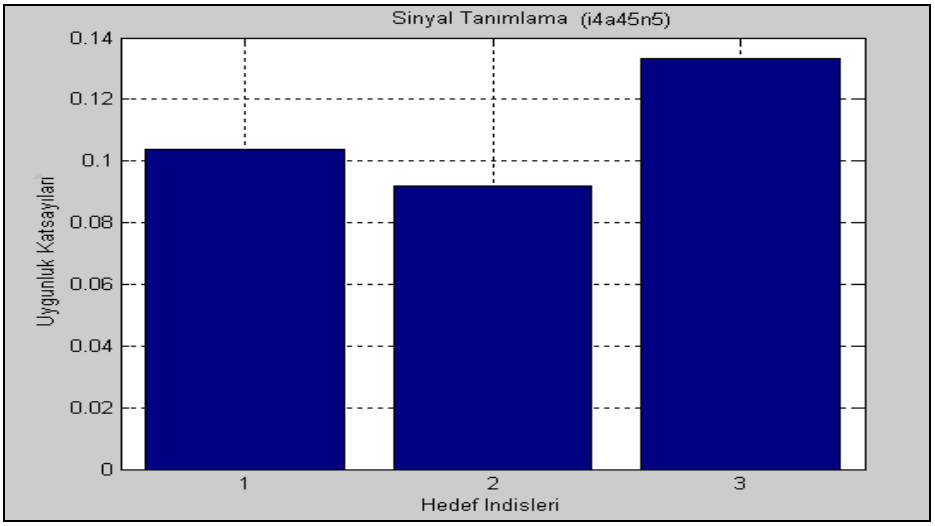
(b)

Şekil 4.13. Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º ve Gürültü (SNR=10 dB) eklenmiş olan test sinyali a) Gürültülü sinyal b) Test sonucu

Başka bir ifade ile gürültü karıştırması başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Gürültü oranını 10 dB oranında artırdığımızda uygunluk katsayı değerleri birbirine yaklaşmasına rağmen karıştırma başarısız olmuştur.



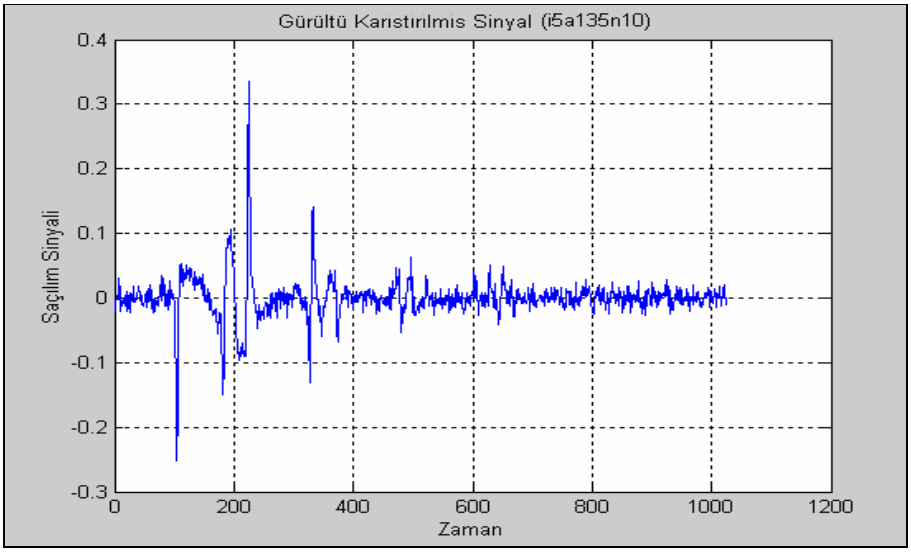
(a)



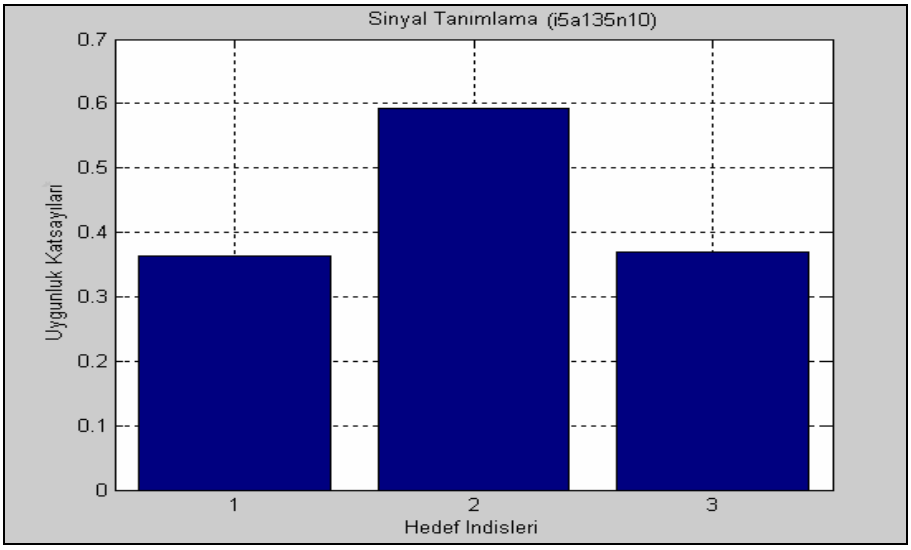
(b)

Şekil 4.14. Kırılma indisi (ε) 4, kırılma açısı (θ_{ref}) 45º ve Gürültü (SNR=5 dB) eklenmiş olan test sinyali a) Gürültülü sinyal b) Test sonucu

Aynı sinyal için gürültü oranını SNR=5 dB'ye çıkardığımızda uygunluk katsayıları (ε) 4 için 0.1152, (ε) 5 için 0.085, (ε) 6 için ise 0.1372 olarak bulunur. ESM programı kırılma indisi (ε) 4 olan hedef yerine kırılma indisi (ε) 6 olan hedefi seçmiştir. ESM programı test sinyalini tanıyamamış ve SNR=5 dB'lik karıştırma oranında başarısız olmuştur.



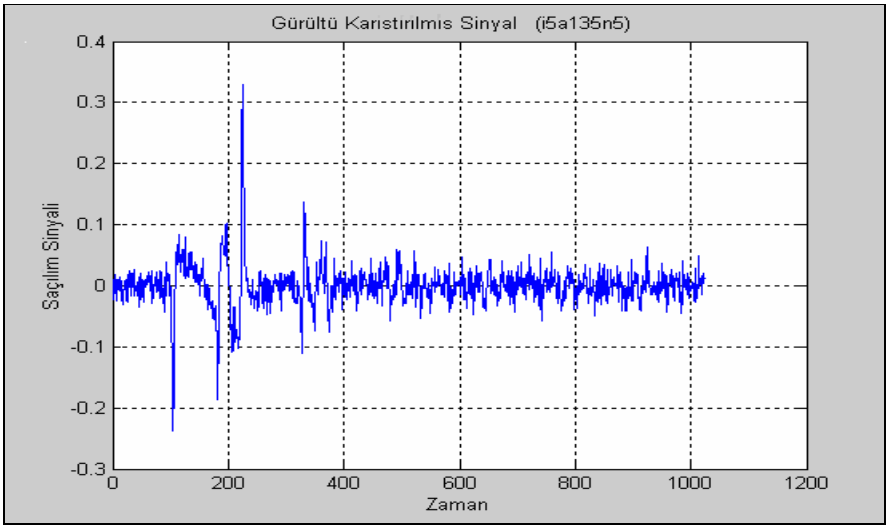
(a)



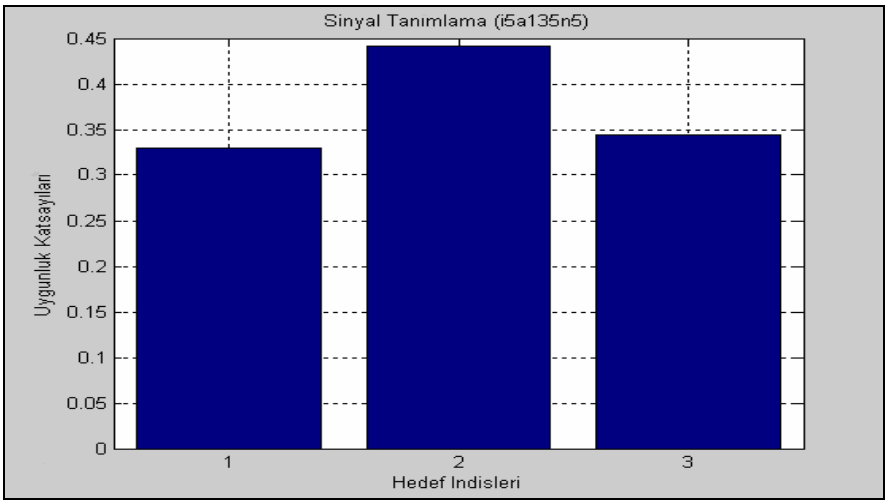
(b)

Şekil 4.15.Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º ve gürültü(SNR=10dB) eklenmiş olan test sinyali a) Gürültülü sinyal b) Test sonucu

Gürültüsüz sinyallerin test işleminde açı arttıkça hedefi tanıma işlemi daha da başarılı şekilde gerçekleşmiştir. Buradaki test işleminde de açının karıştırmaya etkisini görmek için farklı hedef için geniş açıda hedef test edildiğinde uygunluk katsayı değerleri (ε) 4 için 0.3742, (ε) 5 için 0.5985, (ε) 6 için ise 0.3812 olarak bulunmuştur. ESM programı test sinyalini başarılı olarak tanımıştır.



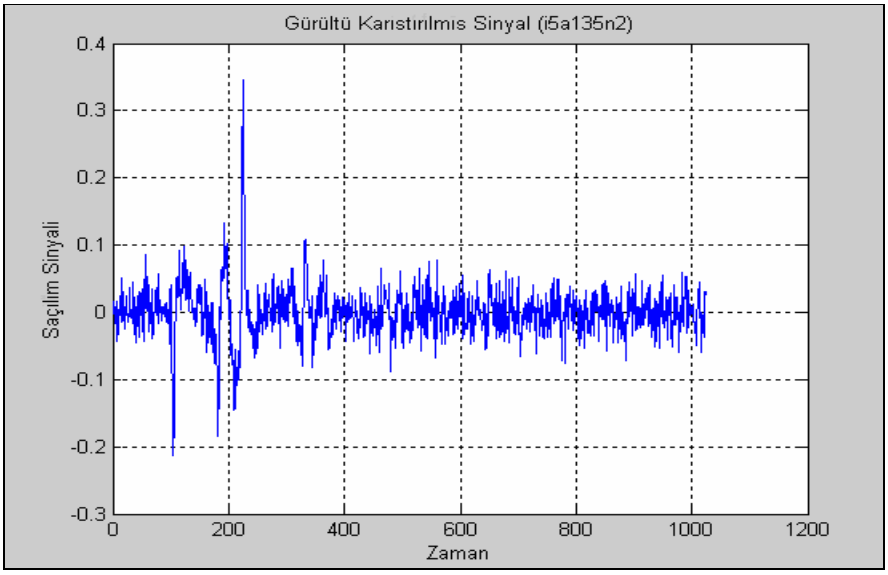
(a)



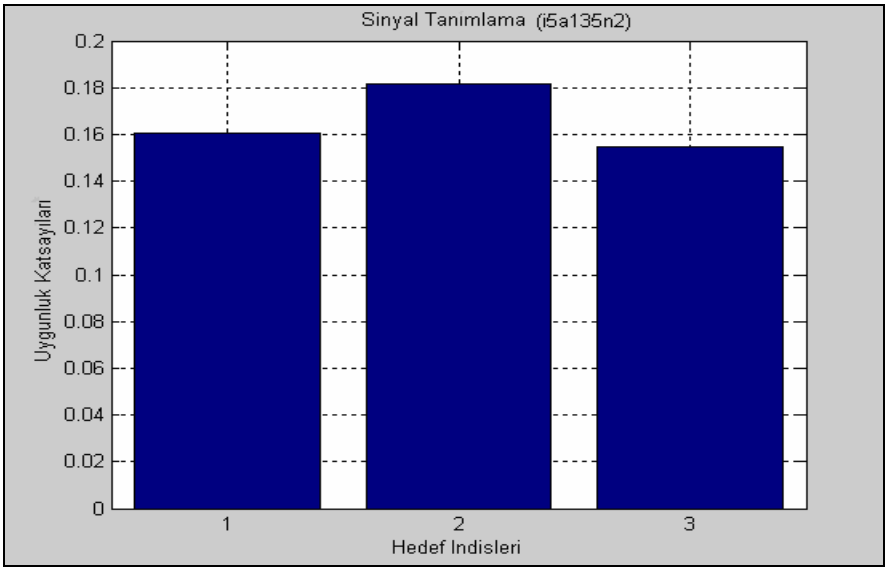
(b)

Şekil 4.16. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º ve gürültü (SNR=5 dB) eklenmiş olan test sinyali a) Gürültülü sinyal b) Test sonucu

Aynı açı değerindeki sinyal için gürültü oranı 5 dB oranında artırıldığında uygunluk katsayıları; (ε) 4 için 0.3687, (ε) 5 için 0.4463 , (ε) 6 için ise 0.3490 olarak bulunmuştur. ESM programı test sinyalini başarılı olarak tanımıştır. Daha önce açı değeri 45º olan sinyali karıştırmak için SNR=5 değeri yeterli olmuşken (Şekil 4.12) açı büyüdükçe bu oranın yeterli olmadığı görülmüştür. Karıştırmanın başarılı olması için gürültüyü artırmak gerekmektedir.



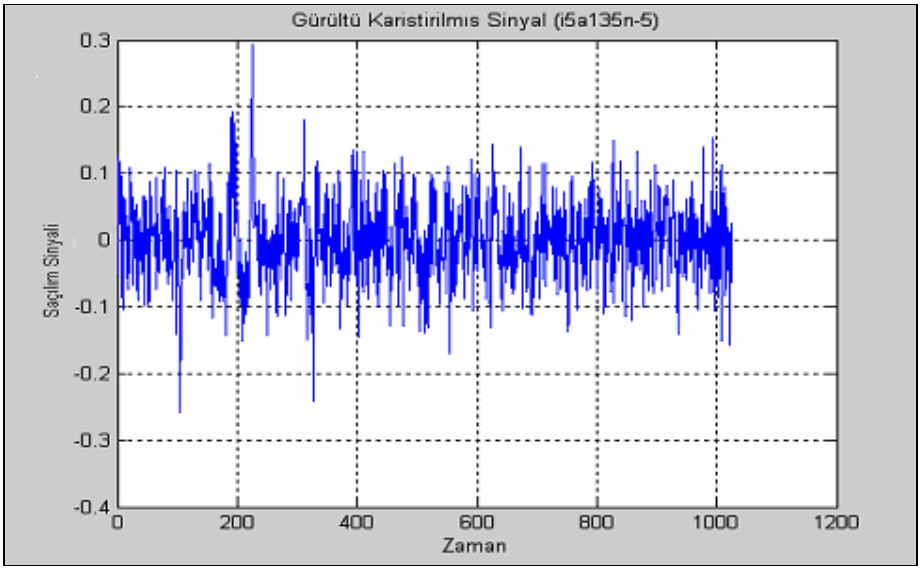
(a)



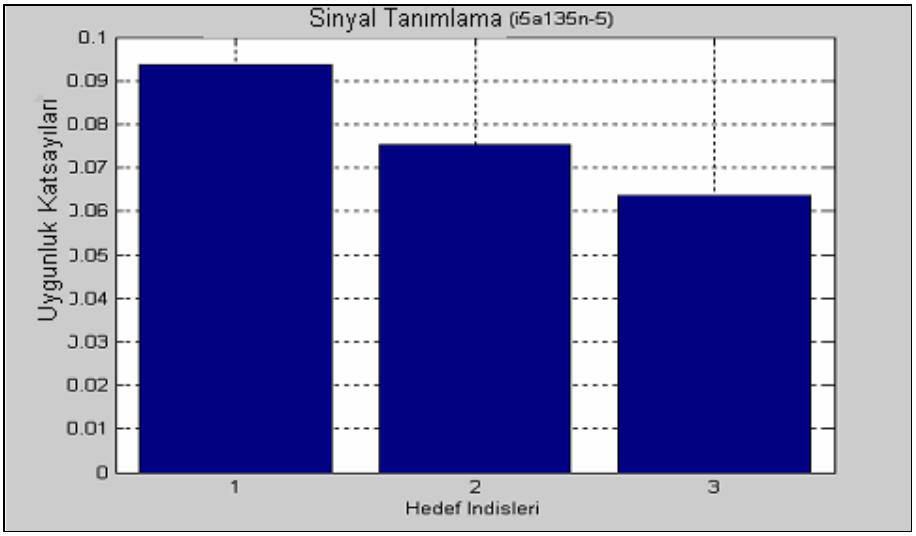
(b)

Şekil 4.17. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º ve gürültü (SNR=2 dB) eklenmiş olan test sinyali a) Gürültülü sinyal b) Test sonucu

ESM programı test sinyalini başarılı olarak tanımıştır. Karıştırmak için SNR=2 değerinin de yeterli olmadığı görülmüştür. Karıştırmanın başarılı olması için gürültüyü daha da artırmak gerekmektedir.



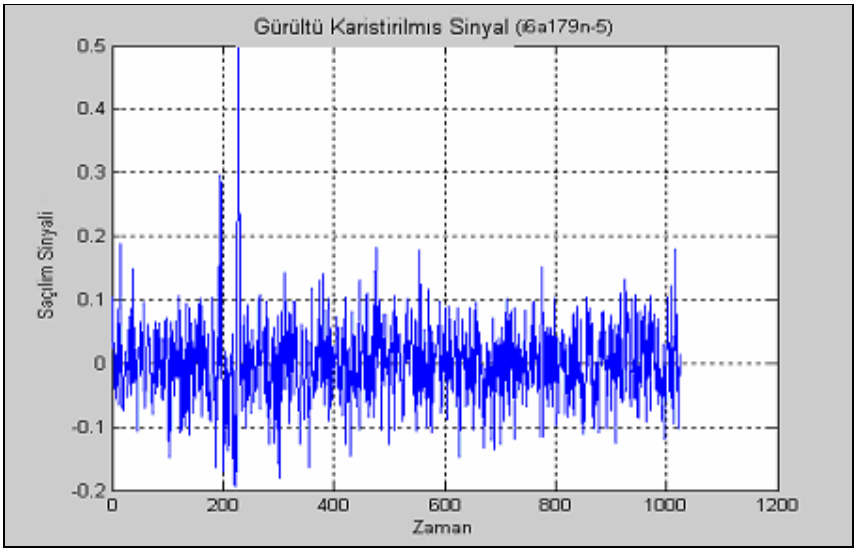
(a)



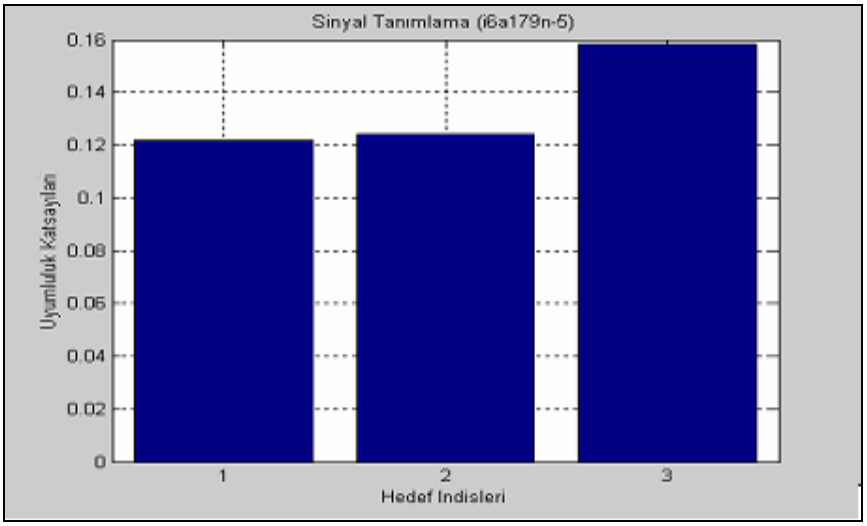
(b)

Şekil 4.18. Kırılma indisi (ε) 5, kırılma açısı (θ_{ref}) 135º ve gürültü (SNR=-5 dB) eklenmiş olan test sinyali a) Gürültülü sinyal b) Test sonucu

SNR=-5 dB oranında gürültü artırıldığında uygunluk katsayıları; (ε) 4 için 0.0938, (ε) 5 için 0.0754 , (ε) 6 için ise 0.0633 olarak bulunmuş ve karıştırma işlemi 135º açıda ancak -5 dB oranında gürültü karıştırmasıyla başarılı olmuştur. ESM programı kırılma indisi (ε) 5 olan hedef yerine, kırılma indisi (ε) 4 olan hedefi tespit etmiştir.



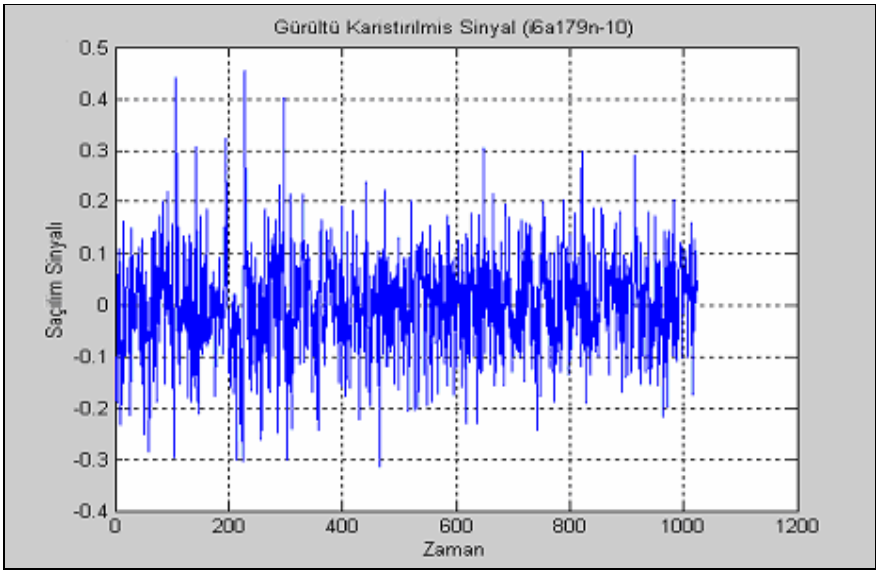
(a)



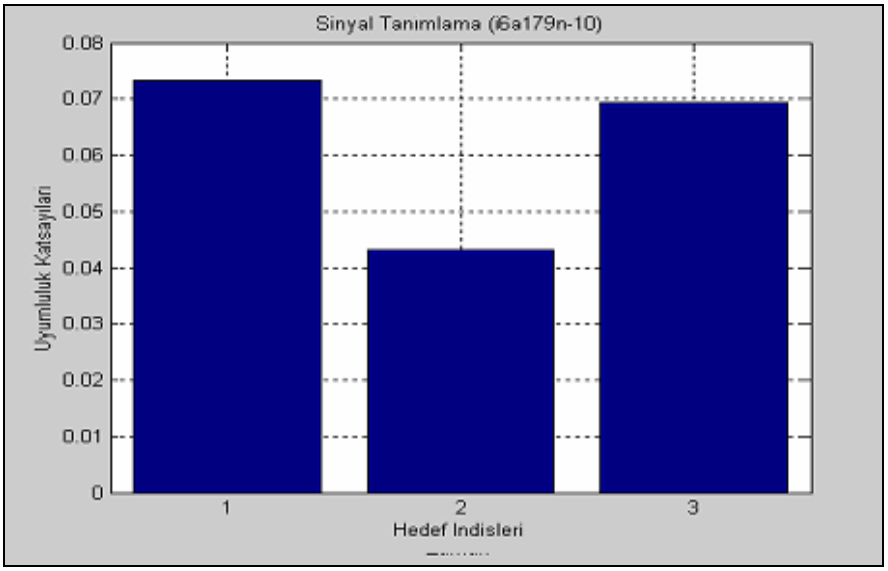
(b)

Şekil 4.19. Kırılma indisi (ε) 6, kırılma açısı (θ_{ref}) 179º ve gürültü (SNR=-5 dB) eklenmiş olan test sinyali a) Gürültülü sinyal b) Test sonucu

Açı daha da artırıldığında uygunluk katsayıları (ε) 4 için 0.1214, (ε) 5 için 0.1228 , (ε) 6 için ise 0.1592 olarak bulunmuştur. Hedef tespit edilmiş, karıştırma SNR=-5 dB oranındaki gürültü karıştırmasına rağmen başarılı olmamıştır. Karıştırmanın başarılı olması için gürültüyü daha da artırmak gerekmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.20. Kırılma indisi (ε) 6, kırılma açısı (θ_{ref}) 179º ve gürültü (SNR=-10 dB) eklenmiş olan test sinyali a) Gürültülü sinyal b) Test sonucu

Gürültü SNR=-10 oranında artırıldığında uygunluk katsayıları; (ε) 4 için 0.0738, (ε) 5 için 0.0431, (ε) 6 için ise 0.0594 olarak bulunmuştur. Karıştırma başarılı olmuştur. ESM programı kırılma indisi (ε) 6 olan hedef yerine, kırılma indisi (ε) 4 olan hedefi tespit etmiştir. Açı büyüdükçe daha fazla gürültünün gerekli olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; savunma sanayiinde önemli bir yere ulaşan elektronik harp kavramının alt başlıklarına değinilerek gündelik hayatımıza kadar giren elektronik karıştırma (elektronik taarruz) konusu detaylandırılmıştır. Elektronik taarruz sadece savaş uçaklarından radarlara karşı yapılan bir uygulama olmaktan çıkıp, gündelik hayatta büyük şirketlerin ticari sırlarını gizlemek amacıyla oluşturduğu cep telefonlarının erişime engellendiği güvenli alanlara kadar uzanmaktadır.

Elektonik harp konusunda durağanlık yoktur. Donanım aynı güce sahip olsa bile yeni teknikler ile büyük başarılar kazanmak mümkündür. Bu çalışmanın dördüncü bölümünde aynı sinyalin farklı açılarda yansımasını karıştırabilmek için farklı gürültü karıştırması uygulanması gerektiği görülmüştür. Açı değeri arttıkça gürültü karıştırmasının başarılı olması için daha yüksek gürültü uygulamasının gerekli olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla her sistemde aynı tekniğin başarılı olacağını beklemek yerine daha küçük güçler ile daha başarılı olacak teknikler geliştirme yolları aranmalıdır. Elektronik sistemler geliştikçe bunlara karşı uygulanan elektronik taarruz teknikleri de gelişmektedir. Elektronik taarruzun çeşitlenmesi ve değişime uğraması elektronik koruma sistemlerinin de bunlara paralel olarak değişmesi ve gelişmesini gerektirmektedir. Görüldüğü gibi bu döngü sonucu elektronik harp sistemleri sürekli bir değişim ve gelişme içerisindedir. Bu durum sürekli artan miktarda kaynak, işgücü ve bilgi ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Elektronik harp, bugün ve gelecekte sonucu dikte ettirici en etkin ve en hızlı gelişen bir kuvvet çarpanı olmaya devam etmektedir. Elektronik harp teknolojisi alanındaki gelişmelerin giderek artan bir hızla ilerleme kaydettiği görülmektedir. Gerek yabancı kaynaklı elektronik harp sistemlerinin tedariği, gerekse bu tür sistemlerin milli olarak üretilmeleri amacıyla başlatılan proje sayıları gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum elektronik harp alanındaki

akademik çalışmaların önemini daha da artırmakta olup, Savunma Sanayii pastasından daha büyük pay alabilmek için, bu alandaki akademik çalışmaları uygulamalar ile birleştirmenin yolları aranmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Bayar M., “Elektronik İstihbarat”, Uzmanlık Tezi, ***MSB SSM.lığı***, Ankara,7-9,(1992).

2. Schleher,D. C., "Introduction to Electronic Warfare", ***Artech House***, Norwood, 109-183 (1993).

3. Schlesinger, R. J., "Principles of Electronic Warfare", ***Peninsula Publishing***, California, 154-170 (1961).

4. Wiley,R. G., "Electronic Intelligence The Analysis of Radar Signals", ***Artech House***, 122-131 (1982).

5. Wiegand R. G., "Radar Electronic Countermeasures System Design", ***Artech House***, 103-111 (1991).

6. Mavioğlu, D., ”Kendini Korumalı Elektronik Hava Elektronik Harp Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi”, Uzmanlık Tezi, ***MSB SSM.lığı***, Ankara,11-16 (1995).

7. Kın,Z., “Gözetleme Radarlarında Kullanılan Elektronik Karşı Karşı Tedbirler”, Uzmanlık Tezi, ***MSB SSM.lığı***,Ankara,12-29 (1996).

8. Neri, F., “Introduction to Electronic Defence Systems 2nd ed” , ***Artech House***, 374-462 (1991).

9. Adamy D., “EW 101:A First Course in Electronic Warfare”, **Artech House**, 177-219 (2002).

10. Van Brunt, L. B., “Applied ECM 1st ed”, ***Artech House***, 321-356 (1982).

11. Sayan, G. T., “Natural resonance-based feature extraction with reduced aspect sensivity for electromagnetic target classification”, ***Pattern Recognition***, 36(7): 1449-1466 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZÇELİK, Murat
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 19.11.1973 Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 360 04 53
e-mail : muratozcelik@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	İst.Üni./ Elektronik Müh. Bölümü	1996
Lise	Yenimahalle Teknik Lisesi	1991

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1997-2006	Hv.K.K.lığı	Mühendis Subay

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Basketbol, Formula izlemek, Kızımla vakit geçirmek.