

**UÇAKLARDAKİ DARBELİ DOPPLER RADARLARI İÇİN ELEKTRONİK  
KARIŞTIRMANIN ALGILAMA MENZİLİNE ETKİSİ**

**Ahmed Abdulkhaleq TAHA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2010  
ANKARA**

Ahmed Abdulkhaleq TAHA tarafından hazırlanan ‘‘UÇAKLARDAKİ DARBELİ DOPPLER RADARLARI İÇİN ELEKTRONİK KARIŞTIRMANIN ALGILAMA MENZİLİNE ETKİSİ’’ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Nursel AKÇAM

.....

Tez Danışmanı, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

.....

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM

.....

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Elif URAY AYDIN

.....

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Atılım Üniversitesi

Tarih: 14/01/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmed Adulkhaleq TAHA

**UÇAKLARDAKİ DARBELİ DOPPLER RADARLARI İÇİN ELEKTRONİK  
KARIŞTIRMANIN ALGILAMA MENZİLİNE ETKİSİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Ahmed Adulkhaleq TAHA**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
OCAK 2010**

**ÖZET**

Bu tezde temel olarak radar sistemleri, radar kelimesi, radarın uygulamaları, radarın temel çalışma prensibi, radarın frekans konuları incelenmiştir. Darbeli Doppler radarı tez kapsamında vericiye ve alıcıya ilişkin karakteristikleri incelenmiştir. Radar menzil bağıntısında bulunan parametreler ayrıntılı olarak incelenmiş ve radar menzil bağıntısının çıkarılışı verilmiştir. Elektronik harp, elektronik karıştırma konuları incelenmiştir. Daha sonra radar karıştırma modellenmesinde kullanılan parametreler açıklanmıştır. Bilgisayar yazılımı (MATLAB) kullanılarak uçaklardaki Darbeli Doppler radarlarının maksimum algılama hem karıştırmasız hem de karıştırmada menzili hesabı yapılmıştır. Bu çalışmada elektronik karıştırma ve meteorolojik durum algılama menzilini nasıl etkilediğini gösterilmiştir.

**Bilim Kodu : 905.1.034**  
**Anahtar Kelimeler : Darbeli doppler radarı, elektronik karıştırma**  
**Sayfa Adedi : 78**  
**Tez Yöneticisi : Yrd.Doç. Dr. Nursel AKÇAM**

**THE EFFECT OF ELECTRONIC JAMMING ON DETECTION RANGE  
FOR PULSE DOPPLER RADARS IN AIRCRAFTS**

**(M.Sc. Thesis)**

**Ahmed Adulkhaleq TAHA**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
JANUARY 2010**

**ABSTRACT**

**In this study, radar systems and also subjects as the word of radar, radar applications, fundamental working principle of radars and frequency of radar have been examined. Characteristics of Pulse Doppler radar regarding to transmitter and receiver have been studied within the context of the thesis. The parameters related to the radar – range formula have been analyzed in details and arising of the radar-range correlation has been given. The subjects of electronic warfare and electronic jamming have been examined. Then the parameters used in radar jamming modeling have been explained. Maximum detection range of Pulse Doppler radars in aircrafts have been calculated with jamming and also without jamming by using the computer software (MATLAB). In this researching it has been shown that how electronic jamming and meteorological conditions affect the detection range.**

**Code of science : 905.1.034  
Keywords : Pulse doppler radar, electronic jamming  
Pages : 78  
Thesis Advisor : Asst. Prof. Dr. Nursel AKÇAM**

## TEŞEKKÜRLER

En derin teşekkürlerimi, Yüksek Lisans öğrenimim süresince sabırlı rehberliği ve cesaretlendirmelerini benden esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç.Dr. Nursel AKÇAM' a sunmak isterim. Danışmanım olarak, kendisinin sezgi, gözlem ve tavsiyeleri, araştırmanın genel yöntemini belirlememe yardımcı oldu ve çalışmanın başarısına büyük katkıda bulundu.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana rahat bir çalışma ortamı sunmalarından ötürü tüm GAZİ ÜNİVERSİTESİ – ELEKTRİK VE ELEKTRONİK Mühendisliği bölüm üyelerine teşekkür etmek isterim.

Son olarak ömrüm boyunca sırtımda taşısam da haklarını ödeyemeyeceğim sevgili babam Abdulkhaleq TAHA, annem Hamdiyah KAREEM ve kardeşlerime sabırlı ve destekleri için teşekkür ederim

## İÇİNDEKİLER

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| ÖZET.....                                    | iv           |
| ABSTRACT.....                                | v            |
| TEŞEKKÜR.....                                | vi           |
| İÇİNDEKİLER.....                             | vii          |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                    | x            |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                      | xi           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                 | xiii         |
| 1. GİRİŞ.....                                | 1            |
| 2. RADAR.....                                | 6            |
| 2.1. Radarın Uygulamaları..                  | 8            |
| 2.2. Radarın Temel Çalışma Prensipleri.....  | 9            |
| 2.3. Radar Frekansları..                     | 11           |
| 3. DOPPLER RADAR FREKANSI.....               | 13           |
| 3.1. Darbeli Doppler Radarı..                | 17           |
| 3.1.1. Eşfazlılık..                          | 18           |
| 3.1.2. Uyumlu filtre..                       | 18           |
| 3.1.3. Sıfır ara frekans.....                | 19           |
| 3.1.4. Hızlı fourier dönüşümü.....           | 20           |
| 3.1.5. Darbe sıkıştırma.....                 | 20           |
| 3.2. Darbeli Doppler Radarında PRF Modları.. | 21           |
| 3.2.1. Alçak darbe tekrarlama frekansı.....  | 21           |

**Sayfa**

|  |    |
|--|----|
| 3.2.2. Orta darbe tekrarlama frekansı.....                           | 23 |
| 3.2.3. Yüksek darbe tekrarlama frekansı.....                         | 24 |
| 3.3. Darbeli Radarlarda Doppler Belirsizlikleri ve Kör Hızları ..... | 24 |
| 3.4. Darbeli Doppler İşaretlerinin Frekans Spektrumu.....            | 26 |
| 4. RADAR KESİT ALANI.....  | 29 |
| 4.1. Radar Menzil Bağıntısının Çıkarılması.....                      | 30 |
| 4.2. İşaret Gürültü Oranı.....                                       | 32 |
| 4.3. Karıştırma ve Girişim.....                                      | 37 |
| 4.4. Sistem Kayıplarının ve Atmosfer Etkisi.....                     | 42 |
| 4.4.1. Radar işaretlerinin atmosferik katsayısı.....                 | 43 |
| 4.5. Düzensiz Yankı İşaretlerinin Etkisi.....                        | 44 |
| 4.6. Swerling Durumları.....   | 48 |
| 5. ELEKTRONİK HARP.....  | 53 |
| 5.1. Elektronik Taarruz.....   | 53 |
| 4.1.1. Elektronik taarruzun radar üzerindeki etkisi.....             | 54 |
| 5.2. Elektronik Korunma.....   | 56 |
| 5.3. Elektronik Harp Desteği.....                                    | 56 |
| 5.4. Radarın Elektronik Karıştırılması.....                          | 58 |
| 5.4.1. Gürültü karıştırılması.....                                   | 58 |
| 5.4.2. Aldatma karıştırılması.....                                   | 58 |
| 5.4.3. Karıştırma yöntemlerinin harekatteki kullanım şekilleri.....  | 59 |
| 5.5. PD Radarlara Karşı Elektronik Taarruz.....                      | 60 |
| 6. RADAR KARIŞTIRMASININ MODELLENMESİ .....                          | 62 |



|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| 6.1. Karıştırmada Radar Menzil Bağıntısı..... | 63           |
| 6.2. Simülasyon Sonuçları.....                | 64           |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                     | 74           |
| KAYNAKLAR.....                                | 76           |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                 | 78           |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| <b>Çizelge</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Çizelge 2.1. IEEE standart radar frekansı harf-bandı adlar dizisi..... | 12           |
| Çizelge 6.1. Radar ve karıştırıcı parametreleri.....                   | 65           |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil  | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. Radar sistem genel gösterimi .....  | 10    |
| Şekil 2.2. Bir birincil radarın genel şeması .....   | 11    |
| Şekil 3.1. Gözlenen doppler kayması.....   | 13    |
| Şekil 3.2. Doppler radarının fonksiyonel diyagramı .....   | 18    |
| Şekil 3.3. Darbe sıkıştırmasının kör bölgelere etkisi .....  | 21    |
| Şekil 3.4. Yatay olarak hareket eden eşfazlı bir radarda frekans spektrumu .....   | 27    |
| Şekil 3.5. Katlanmamış spektrum (düzensiz yankı izlemesiz).....  | 28    |
| Şekil 4.1. Frekansa bağlı olarak yağmur radar işaretinin zayıflatması. ....  | 43    |
| Şekil 4.2. Radar için farkı Swerling durumları. ....   | 49    |
| Şekil 4.3. Durağan hedefler için algılanabilirlik faktörü.....   | 50    |
| Şekil 4.4. İşaret gürültü oranına göre algılayıcı kaybı .....  | 51    |
| Şekil 4.5. Hareketli hedefler için Swerling durum 1 'de tek darbe<br>algılanabilirlik faktörü.....                                 | 52    |
| Şekil 6.1. Karıştırmasız durumunda algılama menziline RKA'nına göre<br>değişimi ( $r = 0$ ve $L = 10$ dB).....                     | 66    |
| Şekil 6.2. Karıştırmasız durumundada algılama menziline RKA'nına göre<br>değişimi ( $r = 0$ ve $f = 2000$ MHz )......              | 67    |
| Şekil 6.3. Yağışlı hava şartlarında karıştırmasız algılama menziline<br>RKA'nına göre değişimi( $r = 2$ ve $L = 10$ dB).....       | 68    |
| Şekil 6.4. Yağışlı hava şartlarında karıştırmasız algılama menziline<br>RKA'nına göre değişimi ( $r = 2$ ve $f = 2000$ MHz )...... | 69    |
| Şekil 6.5. Koruma karıştırması için algılama menziline RKA'nına göre değişimi<br>( $r = 0$ ve $L_j = 10$ dB )......                | 70    |

| <b>Şekil</b>   | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Şekil 6.6. Koruma karıştırması için algılama menziline RKA'nına göre değişimi<br>( $r = 0$ ve $P_J = 50$ W ).....                          | 71           |
| Şekil 6.7. Yağışlı hava şartlarında koruma karıştırması için algılama<br>menziline RKA'nına göre değişimi( $r = 2$ ve $L_j = 10$ dB )..... | 72           |
| Şekil 6.8. Yağışlı hava şartlarında koruma karıştırması için algılama<br>menziline RKA'nına göre değişimi ( $r = 2$ ve $P_J = 50$ W )..... | 73           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| <b>Simgeler</b> | <b>Açıklama</b>   |
|-----------------|---|
| $A_r$           | Radar alıcı antenin etkin yüzeyi  |
| $B$             | Alıcının frekans bandı genişliği  |
| $B_j$           | Karıştırma işaretinin frekans bandı genişliği                           |
| $B_r$           | Alıcının etkin band genişliği   |
| $C$             | Düzensiz yankı işaretleri   |
| $c$             | Işık hızı (yaklaşık $c= 299.792.458$ (m/s))                             |
| $C_x(1)$        | Algılayıcı kaybı  |
| $D_c(1)$        | İdeal tek darbe algılanabilirlik faktörü                                |
| $D_c(1)$        | İdeal tek darbe algılanabilirlik faktörü                                |
| $D_f$           | Darbe-periyot oranı   |
| $D_o(1)$        | Durağan hedefler için tek darbe algılanabilirlik faktörü                |
| $e^{-\gamma^R}$ | Radar işaretinin R uzaklığı için iki yönlü atmosferik zayıflaması       |
| $E/N_o$         | İşaret enerjisinin gürültü enerjisine oranı                             |
| $E_1/N_o$       | İdeal uyumlu filtre için işaret enerjisinin gürültü enerjisine oranı    |
| $E_i$           | Belirli bir doğrultudan hedefe gelen düzlemsel elektrik alan şiddeti    |
| $E_r$           | Alıcı tarafından alınan enerji  |
| $E_s$           | Hedeften belirli bir doğrultuda saçılan düzlemsel elektrik alan şiddeti |
| $E_t$           | Vericiden yayınlanan işaretin enerjisi                                  |
| $F$             | Radar frekansı  |

| <b>Simgeler</b> | <b>Açıklama</b>  |
|-----------------|--|
| $f_d$           | Doppler frekansı   |
| $F_n$           | Alıcının gürültü faktörü                                       |
| $f_o$           | Radar vericisi taşıyıcı işaretin frekansı                      |
| $f_r$           | Darbe tekrarlama frekansı                                      |
| $f_y$           | Yerdeki hareketsiz hedeften yansıyan yankı işaretinin frekansı |
| $g_j$           | Karıştırma işaretinin alındığı yan ışın demetinin kazancının,  |
| $G_j$           | Karıştırma işaret kaynağının verici anten kazancı              |
| $G_{jr}$        | Radar alıcı antenin, karıştırma işareti için kazancı           |
| $G_r$           | Alıcı antenin kazancı  |
| $G_t$           | Verici antenin kazancı   |
| $I$             | Bozucu girişim işaret gücü                                     |
| $\dot{I}$       | Tam sayı   |
| $J$             | Karıştırma işaretinin spektral güç yoğunluğu                   |
| $K$             | Boltzman sabiti ( $1.38 \cdot 10^{23}$ watt/Hz-°K)             |
| $K$             | Bilinen değerlerin oluşturduğu çarpan                          |
| $L_a$           | Atmosferik zayıflama (dB)                                      |
| $L_d$           | Tarama dağılım kayıpları                                       |
| $L_f$           | Salınım kaybı  |
| $L_i(n)$        | Toplama kaybı  |
| $L_n$           | Anten kayıpları  |
| $L_o$           | Bunların dışındaki sistem kayıpları                            |
| $L_p$           | Demet şekillendirme kaybı                                      |
| $L_r$           | Alıcı hatlarının kaybı   |
| $L_s$           | Radar sisteminin kayıpları                                     |
| $L_t$           | Transmisyon hatlarındaki kayıplar                              |
| $L_x$           | Sinyal işleme kayıpları  |
| $M$             | Uyumlu filitre faktörü   |
| $N$             | Radar alıcısının ısı gürültüsü                                 |

| <b>Simgeler</b> | <b>Açıklama</b>   |
|-----------------|---|
| $N_g$           | Giriş gürültüsü   |
| $n_t$           | Menzil hücresi sayısı   |
| $P_j$           | Karıştırma işaret kaynağının gücü   |
| $P_{or}$        | Ortalama verici gücü  |
| $P_r$           | Radar alıcısının girişine gelen yankı işaretinin gücü                             |
| $P_t$           | Vericinin darbe gücü  |
| $R$             | Radarın bir hedefi algılayabileceği uzaklık                                       |
| $R(t)$          | Hedefin radara olan uzaklığının R zamana bağlı ifadesi (t)                        |
| $r_j$           | Radara göre, karıştırma işaret kaynağıyla hedef uzaklıklarının oranı              |
| $R_{max}$       | Radar menzil bağıntısı  |
| $R_r$           | Radar alıcısının hedefe olan uzaklığı   |
| $R_t$           | Radar vericisinin hedefe olan uzaklığı  |
| $R_u$           | Belirli olarak ölçülebilen uzaklık  |
| $S$             | Yankı işaretinin radar alıcısındaki gücü  |
| $S/C$           | İşaret gücünün düzensiz yankı gücüne oranı  |
| $S/J$           | İşaret karıştırma oranı   |
| $S_{min}$       | Alıcını girişine gelen ve alıcının algılayabileceği en küçük işaret gürültü oranı |
| $T$             | Darbe tekrarlama zaman  |
| $T_o$           | Radar vericisinin taşıyıcı işaret periyodu  |
| $t_o$           | Anten ışın demetinin hedefte kalma süresi   |
| $T_o$           | Alıcının mutlak sıcaklığı (290K°)   |
| $t_s$           | Anteninin gözetleme bölgesini tarama zamanı                                       |
| $T_t$           | Vericiden yayınlanan frekans veya faz modülasyonu                                 |
| $T_s$           | Sistemin etkin giriş gürültü sıcaklığı  |
| $T_t/\lambda$   | Darbe sıkıştırma oranı (pulse-compression ratio)                                  |
| $V_A$           | Uçak hızı   |

| <b>Simgeler</b>    | <b>Açıklama</b>   |
|--------------------|---|
| $V_r$              | Uçak hızının gözlem doğrultusundaki bileşeni (radyal/hız)         |
| $V_T$              | Hedef hızı  |
| $W$                | Ani açısal frekansı   |
| $w_0$              | Radar vericisi taşıyıcı işaret ani açısal frekansı                |
| $R_E$              | $\emptyset_c$ 'den hesaplanan menzil parametresi                  |
| $K_{aR}$           | Hava katsayısı (dB/km)  |
| $r$                | Yağmur birikme hızı (mm/saat)                                     |
| $R$                | İki yöllü atmosferik zayıflama faktörü                            |
| $\varphi$          | Hedefin hız vektörüyle hedefin radara los'u arasındaki açı        |
| $\emptyset(t)$     | İşaret hedefe gidip dönünce kadar oluşan faz farkı                |
| $T$                | Darbe genişliği   |
| $\eta$             | Geri dağılma sayısı   |
| $\gamma$           | Işınlandıran yüzey parçasının yansıtma sayısı                     |
| $\lambda$          | Yayınlanan elektromanyetik enerjinin dalga boyu                   |
| $\sigma$           | Radar kesit alanı   |
| $\Omega$           | Radarın gözetleme bölgesinin katı açısı                           |
| $\Omega_b$         | Anten ışın demetinin steradian olarak yarı değer genişliği        |
| $\varphi_0$        | Uçağın hız vektörüyle radarın hedefi görüş çizgisi arasındaki açı |
| $\sigma^0$         | Yer yüzey parçasının birim yüzölçümü başına düşen RKA değeri      |
| $\Delta R$         | Darbeler arasındaki uzaklık değişmesi                             |
| $\Delta t$         | İşaretin hedefe gidiş-dönüş zamanı                                |
| $\theta_{ya}$      | Antenin ışın demetinin yarı değer yatay açı genişliği             |
| $\Delta \emptyset$ | Darbeler arasındaki uzaklık değişimi                              |
| $\emptyset(t)$     | Derece olarak hedef irtifası                                      |
| $\varphi_T$        | Hedefin hız vektörüyle hedefin radara LOS'u açı                   |
| $\sigma_{av}$      | Hedefin ortalama radar kesit alanı değeri                         |



| <b>Simgeler</b>    | <b>Açıklama</b>   |
|--------------------|---|
| $\sigma_{av}$      | Hedefin ortalama radar kesit alanı değeri                       |
| $R_c(nm)$          | Karıştırmaz algılama menzili                                    |
| $R_o(nm)$          | Karıştırmaz algılama menzili                                    |
| $D_i(n)$           | Algılanabilirlik faktörü  |
| $R_{sso}$          | Kendi kendini gizleme, $S/J=1$ olduğunda ortaya çıkan menzildir |
| $L_j$              | Karıştırıcı kayıpları   |
| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklamalar</b>  |
| <b>ARM</b>         | Yayına yönelen füzeler  |
| <b>CW</b>          | Sürekli dalga   |
| <b>ECM</b>         | Elektronik karıştırma   |
| <b>ERPJ</b>        | Karıştırıcıdan yayınlanan etkin güç                             |
| <b>ERPR</b>        | Radar verici anteninden yayınlanan etkin güç                    |
| <b>ES</b>          | Elektronik destek   |
| <b>ET</b>          | Elektronik taarruz  |
| <b>EW</b>          | Elektronik harp   |
| <b>FFT</b>         | Hızlı fourier dönüşümü  |
| <b>FM</b>          | Frekans modülasyonu   |
| <b>HF</b>          | Yüksek frekans  |
| <b>HTK</b>         | Hava trafik kontrolü  |
| <b>I</b>           | Aynı faz (in-phase)   |
| <b>I</b>           | Bozucu girişim işaretleri (interference)                        |
| <b>IF</b>          | Ara frekans   |
| <b>J</b>           | Karıştırma işaretleri   |
| <b>LOS</b>         | Hedef görüş çizgisi   |
| <b>LPI</b>         | Zayıf olasılık ile algılanabilen                                |
| <b>LOS</b>         | Hedefi görüş çizgisi  |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| <b>LPI</b>         | Zayıf olasılık ile algılanabilen    |
| <b>MTI</b>         | Hareketli hedef gösterici           |
| <b>PD</b>          | Darbeli doppler                     |
| <b>PRF</b>         | Darbe tekrarlama frekansı           |
| <b>PRI</b>         | Darbe tekrarlama aralığı            |
| <b>RKA</b>         | Radar kesit alanı                   |
| <b>RF</b>          | Yüksek frekans                      |
| <b>SCR</b>         | İşaret düzensiz yankı oranı         |
| <b>SJR</b>         | İşaret karıştırma oranı             |
| <b>SNR</b>         | İşaret gürültü oranı                |
| <b>SOJ</b>         | Uzaktan karıştırma                  |
| <b>SSJ</b>         | Hedefin kendini koruma karıştırması |
| <b>VGPO</b>        | Hız kapısı çekme                    |
| <b>VHF</b>         | Çok yüksek frekans                  |
| <b>UHF</b>         | Ultra yüksek frekans                |
| <b>YKY</b>         | Yer trafik kontrolü                 |

## 1.GİRİŞ

Radar, II. Dünya Savaşı sırasında bulunması ile birlikte günümüze kadar gelen süreçte sivil ve askeri sistemler açısından önemli rol oynamıştır. Sivil dünyada radar seyrüsefer, hava trafik kontrolü, hava koşullarından sakınma ve altimetreler gibi birçok alanda kullanım yeri bulmuştur. Askeri açıdan ise radarlar gemi, uçak, uydu gibi askeri platformlarda keşif, saldırı, sakınma ve korunma amaçlı kullanım alanları bulmuştur. Askeri görevler açısından artan şekilde karmaşıklaşan algılama sistemlerinin tasarımı çoğu savaş platformunun görev yetkinliğini azaltmaktadır.

Hayalet hedeflerin uygulamaları yeni bir konu olmasının yanında hayalet hava araçlarının tasarımı başlanması 1960'lerden öncesine dayanmaktadır. Günümüze kadar uzanan bu süreçte hayalet terimi radara yakalanmamak ile birlikte anılmaktadır. Dünyadaki ilk ana hayalet projesi SR-71 casus uçaklarının geliştirilmesi olarak öne çıkmış ve bunu F-117A ve B-2 bombardıman uçakları takip etmiştir. Ancak hayalet platformların tasarımı açısından radar, algılamada kullanılan sensörlerden sadece biridir. Kızılötesi, optik ve akustik sensörler de algılamada kullanılabilecek diğer sensör tipleridir.

Basit ya da karmaşık olsun, metal olan her yapı radar sinyalleri için bir eko kaynağıdır. Diğer bir deyişle üzerlerine gelen elektromanyetik enerjiyi radar alıcısı yönünde yansıtırlar. Bu tür yüzeyler “saçılma yüzeyi” olarak adlandırılır. Saçılma yüzeylerinin karakteristikleri ise “saçılma mekanizması” olarak adlandırılmaktadır.

Basit yapılar ile kastedilen küre, dairesel silindir veya düz plaka gibi temel şekillere sahip metalik nesnelere. Basit yapılar yankının güç ve frekans bağılıklarına göre uygun bir hiyerarşide sıralanabilirler. Saçılma mekanizmalarının bu hiyerarşisi karmaşık yapılardan kaynaklı yankıların incelenmesi açısından yararlı olmaktadır.

Karmaşık yapılar ile kastedilen yüzeyleri mükemmel, iletken olmayan, bileşimleri homojen ya da düzgün olmayan, profilleri matematiksel olarak tanımlanamayan veya tüm bunların birleşimini içeren yapılardır. Füze, savaş uçakları, bombardıman uçakları, jet uçakları, gemiler, otomobiller, kamyonlar, kuşlar, böcekler ve ağaçlar

gibi tüm taktik, stratejik veya sivil nesnelere karmaşık yapılara verilebilecek örneklerdir. Bu tür karmaşık yapılar basit yapıların birleşimi şeklinde ifade edilebilirler. Böylece hedefin karmaşıklığından doğan baskın ekolar izole edilebilir ve karmaşık yapının tümü yerine sınırlı sayıda özgün yapı üzerinde çalışılabilir.

Radar Kesit Alanı (RKA), bir cismin veya platformun bir radardaki görünürlük miktarı veya elektromanyetik dalgalar olan radar sinyallerini, yansıtma miktarı olarak tanımlanabilir. Bir hedefin radar ekranındaki görüntüsüne, o hedefin radar kesiti denir. Hedefleri görünmez kılmanın başlıca yolu, radar vericileriyle gönderilen radyo dalgalarının hedeften sekerek alıcı antene dönmesini engellemektir. Radar kesit alanı, bir cismin çarptığı radar dalgalarını radar alıcısına ne oranda geri yansıtacağını ve dolayısıyla radarın fiziksel büyüklüğüne, hangi oranda bir sinyal göndereceğini belirleyen özelliktir. Hedeflerin RKA değerleri kullanılan frekansa, hedef geometrisi ve hedefin elektriksel özelliklerine bağlıdır. RKA, radar alıcısına yansıyan ve hedefe gelen güç yoğunluklarının oranı olarak verilmektedir.

Radar kesit alanı hesaplanması temel olarak hedeften dağılan elektrik alanının bulunması demektir. Gelen düzlemsel dalga tarafından hedefte endüklenen akım hesaplanabilirse, anten dizilerindeki aynı integraller dağılan alanın hesaplanmasına uygulanabilir. Hedefin uzak bölgelerinde, dağılan alanın mesafeye bağımlılığı ( $R$ ) (radar ile hedef arası uzaklık) ile ters orantılı olarak değişir ve bu yüzden RKA mesafeden bağımsızdır. Yine de, endüklenen akımın belirlenmesi zor bir problemdir. Çünkü Maxwell denklemlerinin karmaşık sınır değerleri için çözülmesi gerekmektedir. Birçok durumda sadece sayısal bir çözüm mümkündür.

Nicolaescu ve Oroian [1], uçak tasarımcıları tarafından yapılan duyarlılık düzenlemeleriyle radar alanının artmakta ve diğer askeri sistemler radar kesiti donanım tiplerini azaltmaya çalışmaktadırlar. Radar kesiti bir uçağın hayatta kalabilirliğinin nedenidir ve bundan dolayı, bu önemli parametreyi azaltmak için tasarlanan herhangi bir ölçümleme dikkate alınmak zorundadır. Bu makale radar kesiti tanımlamasıyla ilgilenmektedir ve çeşitli öz iletkenliğe sahip radar emme

maddelerinin özelliklerini analiz etme üzerine odaklanmaktadır ve azaltma için birkaç yöntem sunmaktadır.

Muth [2], Radar kesiti ölçüleri için standartlar NIST Ve Dod bilim adamları tarafından ortaklaşa olarak geliştirilmektedir. Bu çalışmanın kuruluşu olarak tanımlanan üç alan bulunmaktaydı: 1) monostatik tek-kanal ayarlaması 2) matris biçimciliğini dağıtma için kullanan tüm polarimetrik ayarlama 3) radar kesiti ayarlamasının analizi ve belirsiz ölçümlemesi. Yazarlar yapay standart olarak kullanılan silindir dizisinin, kesin bilgi değerlendirme sonuçlarını gözden geçirirler, polarimetrik ayarlama teorisini incelerler ve belirsiz radar kesiti analizinin gerekli alanlarını tartışır.

Migliaccio ve Colandrea [3], Denizbilimsel ve meteorolojik uygulamaların gereği için uzay dağıtıcı birimleri vasıtasıyla rüzgâr alanı gözlemleri bulunmaktadır. Rüzgâr alanı ve radar kesiti arasındaki ilişkiyi kapsayan böyle bir görevi en iyi şekilde sonuçlandırmak için jeofiziksel model işlevi tam anlamıyla ayarlanmalıdır. Böyle bir çerçeve içerisinde radar kesiti bilgi bütünlüğü genellikle başarılmakta ve bu da depolama olarak addedilmektedir. Yazarlar radar kesiti bilgi depolamasını, olasılıksal değer yöntemi adımı olarak tekrar gözden geçirmektedirler.

Blume ve Kahl [4], Fiziksel Optik yaklaşımlar ile yarı sonsuz metal eliptik koninin radar kesitini arka plan değerlendirmesi için kullanılmaktadır. Sonuçlanan formül direk olarak genelleme olarak yorumlanmaktadır. Dairesel koninin arka plan kesiti için en iyi bilinen formüldür. Eliptik koninin bistatik kesitine ek olarak hesaplanmaktadır.

Youssef [5], bir bilgisayar kodunun doğrulamaları ve gelişimin özeti, RECOTA'yı ( karmaşık amaçtan dönüş) karmaşık amaçlı radar kesiti hesaplaması olarak sunulan Boeing Aeroscope'da geliştirmiştir. Adı geçen kod, yüzey ve kama aracılığıyla geometri amacını model olarak vermek için bilgisayar yardım paketini faydalı kılmaktadır. Bu fiziksel optiklere, fiziksel kırılma teorisine, ışın izleme ve yarı

deneyimsel formüllere dayanmaktadır ve bu gölgelendirme, çoklu dağıtım ve monostatik hesapları durdurmak adına yapılmaktadır.

Wanzhao Cui, Jia Chen ve Enrang Zheng [6], Bu çalışmada, negatif yüklenebilirliği olan madde ötesi olağandışı radar kesitlerini ve radar kesitleri arasındaki bağlantıları tartışmaktayız. Madde ötesi şeylerin yüklenebilirlikleri ve kutuplaşabilirlikleri ayrı ayrı incelenmektedir. Bu sonuçlar göstermektedir ki kutuplaşabilirlik ve küresel maddenin radar kesiti, yüklenebilirliği daha az olan atomik maddelerden 2 kat daha büyük meta maddelerden (doğada hazır olarak bulunmayan) yapılmaktadır.

Pham, Harton ve Simhal [7], bazı durumlarda, radar ölçümleri için uzay ideal bir alandır. Ölçümlerde hataya sebep olabilecek duvar ya da arka plan objeleri yoktur. Standart küresel radar ayarlaması uzay alanında istemsiz amaçlar tarafından basitleştirilmektedir. Büyük amaçlar uzayda yerde olduğundan daha kolay elde edilmektedir. Kaldırma kuvveti yoktur. Amaç öğeleri, ağırlık olmayan bir ortamda ayırt edilmez. Çünkü kısıtlamalar vardır. Örneğin, bir hareketi kontrol etmek için önizleme yapılabilmesi doğal olarak olanaklı değildir. Bir uzay aracının radar kesiti, ölçümleri ve uzaydaki bir insan mekik radarı tarafından olasılıkları gösterilerek sunulmaktadır. Mekik radar ölçümleri operasyon çalışmaları süresince eş zamanlı olarak mevcuttur, çalışmanın başarılı olması için radar kesiti hesaplamalarının yapılmasına izin verir.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde, temel olarak radar sistemleri incelenerek, radarın tarihsel gelişim aşamaları, günümüzde kullanılmakta olan radar uygulamaları, radarın temel çalışma prensipleri ve radarın çalışma frekansları konuları araştırılmıştır.

Üçüncü bölümde ise, Doppler kayması, darbeleri Doppler radarı ve bu radarın PRF (Pulse Repetition Frequency-Darbe Tekrarlama Frekansı) modları araştırılmıştır; Doppler radarlarında ortaya çıkan Doppler belirsizlikleri, kör hızları ve bunların giderilme yöntemleri ile darbeleri radarın frekans spektrumu verilmektedir.

Dördüncü bölümde, radar menzil bağıntısında bulunan parametreler ayrıntılı olarak incelenmiş ve radar menzil bağıntısının çıkarılışı aşama aşama araştırılmıştır. Burada ki parametrelerden, hedefi karakterize eden tek parametre olarak RKA ayrıca araştırılmıştır. Daha sonra işaret gürültü oranının nasıl oluşturulduğu konusu incelenmiş ve radar menzil bağıntısında kullanılması araştırılmıştır. Buna göre, radar menzil bağıntısı üzerinde karıştırma ve girişim etkisi araştırılmıştır. Daha sonra algılama ve yanlış alarm olasılıklarına bağlı olarak, işaret gürültü oranının bulunması ve hareketli hedeflere ilişkin Swerling modları araştırılmıştır.

Beşinci bölüm ise, Elektronik harp olarak isimlendirdiğimiz konu ile başlamış ve bu konunun alt başlıkları olarak; elektronik taarruz, elektronik korunma ve elektronik destek konuları araştırılmıştır. Daha sonra, radarların elektronik karıştırılması konusu açıklanmış, elektronik karıştırma yöntemleri üzerinde durulmuş ve bu yöntemlerin harekâтта kullanım şekilleri açıklanmıştır. Bu bölümün son kısmında ise (Darbeli Doppler- Pulse Doppler) radarlarına elektronik taarruz konusu araştırılmıştır.

Tezin altıncı ve son bölümünde ise uygulamaya yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın başında karıştırmada radar menzil bağıntısı gösterilmiştir. Daha sonra radar karıştırma modellenmesinde kullanılan parametreler açıklanmıştır. Altıncı bölümün son kısmında bilgisayar yazılımı (MATLAB) kullanarak uçaklardaki darbeli Doppler radarlarının hem karıştırmasız hem de karıştırmada maksimum algılama menzili hesabı yapılmıştır. Burada algılama menziline elektronik karıştırmadan ve meteorolojik durumdan nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

## 2. RADAR

Radar kelimesi "ışınlandırma ile algılama ve uzaklık ölçme" anlamına gelen "Radio detection and ranging" kelimesinin baş harflerinden türetilmiştir [8]. Tarihteki ilk savaşlarda insanlar ses ve ışıktan yararlanıyordu. Ancak kötü hava koşullarında bu tip haberleşme olanaksızlaşıyordu.

Radar cisimlerin mesafe, istikamet ve yükseklikleri hakkında bilgi sağlayan radyo tarama (hedef bulma) cihazıdır. Uçakların savaşlarda kullanılmaya başlanmasından sonra, hareketli hedeflerin sezilebilmesi ve konumlarının saptanması önemli olmaya başlamıştır. Bu konuda çeşitli yöntemler denenmiş ise de en uygunu eko ilkesi olduğu zamanla kabul edilmiştir.

Radarlar çok yüksek frekanslarda sinyaller yayarlar ve bunların hedeflerden yansıyor geri gelenlerini toplayıp değerlendirerek, hedeflerin yön, yükseklik, boyut ve uzaklıkları hakkında bilgi edinilmesini sağlarlar.

Radarın icadı ve geliştirilmesi, her hangi bir ülkeye ya da kişiye mal edilemez. Radarın gelişmesine değişik ülkelerden çok sayıda bilim insanının katkısı olmuştur.

Radarın tarihçesinde ki önemli temel bilgiler ve buluşlar kısaca şöyle sıralanabilir:

1865'te İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaları ve bunların yayılmasını açıklayan elektromanyetik ışık kuramını ortaya attı.

Temel radar kavramı ilk olarak Alman fizikçi Heinrich Rodulf Hertz tarafından 1885 ile 1888 yılları arasında yapılan klasik deneylerle gösterildi. Aynı yıllarda Heinrich Rodulf Hertz elektromanyetik dalgaları keşfetti ve Maxwell'in kuramını kanıtladı [9].

1904 yılında Alman yüksek frekans teknisyeni Christian Hulsmeyer su üzerindeki trafiği denetlemek için "telemobiloskopu" icat etti.



1921 yılında Albert Wallace Hull tarafından güçlü gönderici tüpü magnetron icat edildi.

1922 yılında ABD donanma araştırma laboratuvarında A.H.Taylor ve L.C. Young ilk kez bir tahtadan gemiyi algılamayı başardılar.

1930 yılında yine ABD Donanma Laburatuvarından L.A. Hyland bir uçağı algıladı.

1931 yılında bir gemiye radar takıldı. Alıcı ve verici anteni olarak boynuz ışın yayıcı bulunan parabolik anten kullanıldı.

1936 yılında Metcalf ve Hanhn tarafından yükselteç veya osilatör olarak kullanılan klistron bulundu.

1939 yılında İngiltere Birmingham Üniversitesinden John Randall ve Henry Boot adlı iki fizikçi hafif fakat güçlü mikrodalga radarını geliştirdi.

1940 yılında ABD, Rusya, Almanya ve Japonya'da muhtelif radar tesisleri geliştirilmiştir.

İkinci Dünya Savaşı sırasında silah sistemlerinin gelişmesi radar teknolojisinde olağanüstü gelişmelere yol açtı ve özellikle bu gelişmelere bağlı olarak hava savunma sistemleri kurulmaya başlandı. Savaş sonrasında NATO ve Varşova Paktı ülkelerinin ortak sınırlarına birçok radar sistemi yerleştirildi.

İkinci Dünya Savaşından sonra radarlar " barışçıl kullanım" olarak adlandırılan bir yönde kullanılmaya başlandı.

## 2.1. Radarın Uygulamaları

Radarları yerde, havada, denizde ve uzayda kullanılmaktadır. Yere yerleştirilen radar esas olarak uçakların ya da uzaydaki hedeflerin tespit edilmesi, yerlerinin saptanması ve izlenmesinde uygulama alanı bulmuştur. Gemilerde bulunan radarlar şamandıraların, sahil şeritlerinin ve diğer gemilerin yerini tespit etmenin yanında uçakların gözetlenmesi içinde kullanılan bir seyir yardımcısı ve emniyet aracıdır. Uçaklara yerleştirilen radarlar diğer uçakları, gemileri ve kara araçlarını tespit etmek için ya da arazi haritasının çıkarılması, fırtınalardan korunma, karadan korunma ve seyir amacıyla kullanılabilir. Uzayda, radar uzay gemisinin kontrolünde, kara ve denizin uzaktan algılanmasında faydalı olmaktadır [9].

Özellikle denizde ve havada seyir amaçlı olmak üzere sayısı giderek artan önemli sivil uygulamalar olsa da, radarın en önemli kullanıcısı ve geliştirilmesinin neredeyse tüm maliyetini karşılayan ordudur. Radarın belli başlı kullanım alanları kısaca aşağıda açıklanmıştır:

**Hava Trafik Kontrolü (HTK):** Radarlar tüm dünya genelinde seyir halindeki uçaklar ve hava limanları yakınındaki hava trafiğinin güvenli bir şekilde kontrol edilmesi amacıyla kullanılır. Büyük hava limanlarındaki uçak ve yerdeki araç trafiği yüksek çözünürlüklü radarlar vasıtasıyla izlenir. Radar kötü hava şartlarında uçağın güvenli iniş yapmasına kılavuzluk etmek için YKY (Yer Kontrol Yöntemi) sistemleri ile birlikte kullanılırlar.

**Uçaklarda Seyir:** Uçaklarda yağış bölgelerinin yerini pilota göstermek için kullanılan rüzgârdan korunma radarı, radarın klasik bir şeklidir. Bu radar, ayrıca karadan korunma ve karayı izlemek için de kullanılır [9].

**Gemi Güvenliği:** Radar diğer gemilerle çarpışma ihtimali konusunda uyarıda bulunmak suretiyle gemi yolculuğunun güvenliğini arttırmak ve özellikle görüşün zayıf olduğu yerlerde seyir şamandıralarını tespit etmek için kullanılır. Sayı

bakımından bu, radarın en geniş kullanım alanlarından biridir; ancak fiziki boyut ve maliyet açısından en az kullanım alanlarından biridir.

**Uzay:** Uzay araçlarında buluşma, kenetlenmeler ve aya iniş yapmak için radarlar kullanılır. En büyük yer merkezli radarların bir kısmı uyduların tespit edilmesi ve izlenmesi için kullanılır. Uydular üzerinde bulunan radarlar da aşağıda belirtildiği gibi uzaktan algılamak için kullanılır.

**Uzaktan Algılama:** Tüm radarlar uzaktan algılama yapan cihazlardır: Bununla birlikte, bu terim jeofiziksel cisimlerin ya da “çevrenin” algılanmasını ima eder. Radar belli bir süre boyunca rüzgârın uzaktan algılanması için kullanılır. Geçmişte ayı ve gezegenleri araştırmak için de kullanılmıştır. Radarla uzaktan algılama yeryüzü kaynakları ile de ilgilidir, denizdeki koşulların, su kaynaklarının, buz tabakasının, tarımın, ormancılık koşullarının, jeolojik oluşumların, çevre kirliliğinin ölçümü ve haritalarının çıkarılmasını kapsar.

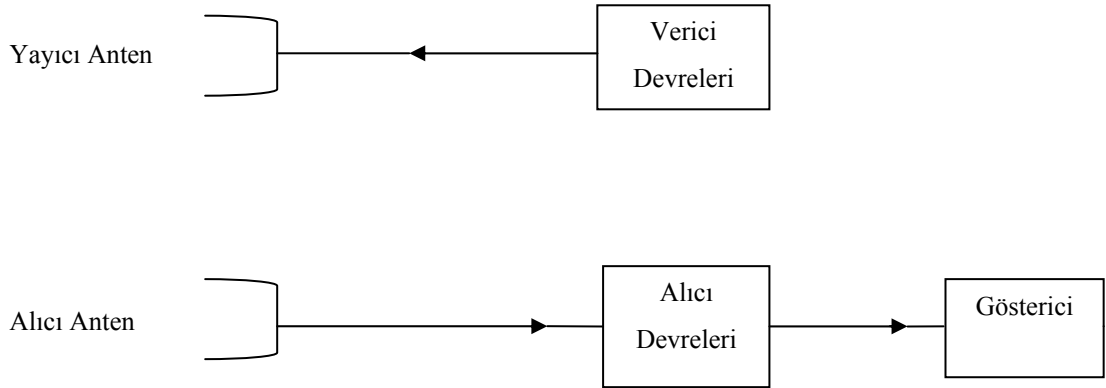
**Kanun Uygulaması:** Radar karayollarında polisler tarafından otomobil trafiğinin hızını ölçmek için yaygın bir şekilde kullanılmasının yanında, kaçak giriş yapanların tespit edilmesi için de kullanılır.

**Ordu:** Sivil amaçlı birçok radar uygulaması ordu tarafından da kullanılır. Askeri amaçlı kullanımda radarın geleneksel rolü gözetleme, seyir ve silahların kontrolü ve yönlendirilmesi olmuştur. Bu, radarın en geniş kullanımını temsil eder [9].

## **2.2. Radarın Temel Çalışma Prensibi**

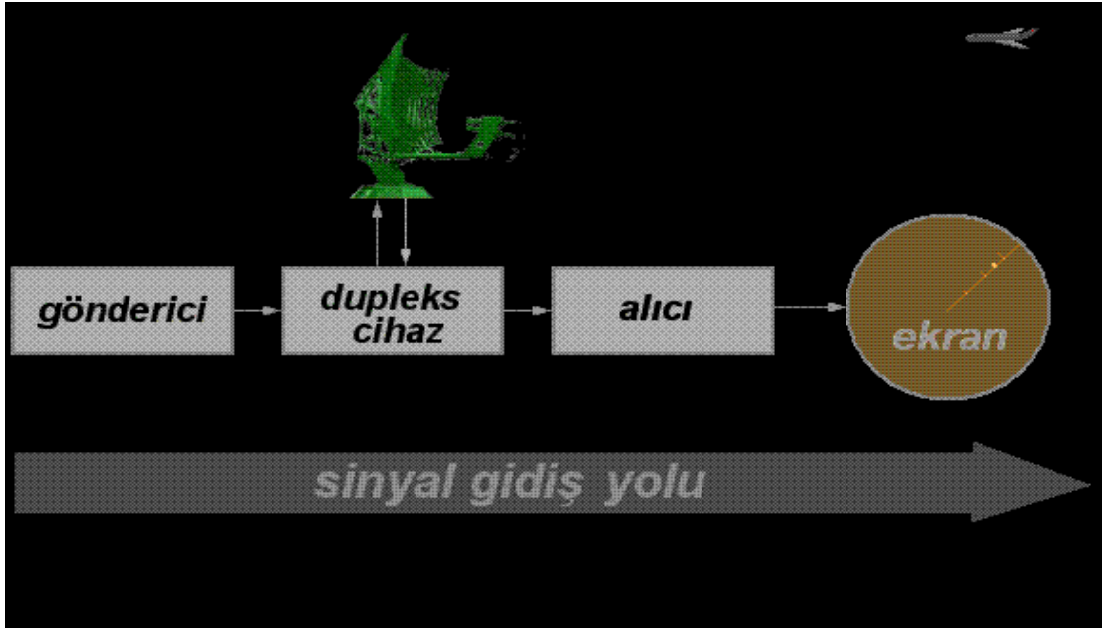
Radarın çalışma prensibi ses dalgası yansıma prensibine çok benzer. Sesi yansıtan bir nesneye doğru bağırılması halinde (örneğin bir kayalık vadide veya mağarada) bir yankı işitilir. En basit biçimde bir radarın genel gösterimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Radar, alıcı ve verici birimleri ile bunların antenlerini içerir. Vericide osilatör tarafından üretilen elektromanyetik dalgalar, verici anten aracılığı ile boşluğa yayılır. Bu dalgaların, bir kısmı (eğer varsa) hedefe çarparak geri yansır ve yeniden radara

ulaşır. Radara ulaşan dalgalar alıcı anten tarafından toplanarak alıcı devrelerine iletilir. Burada gerçekleştirilen işlemler sonucunda hedefin varlığı sezilir ve bir gösterici ekranda gözlenir [10].



Şekil 2.1. Radar sistem genel gösterimi [10]

Gönderme ve alma için iki ayrı anten yerine tek anten kullanılır. Anten belirli bir süre dalga yayar, sonra kendisine ulaşılabilecek eko sinyallerini toplamak için dalga yaymaya ara verir. İşlem bu Şekilde yinelenir. Böylece anten maliyeti azaltılmış olur. Anten özellikleri ve alıcı-verici devreleri, radarın türüne göre değişiklikler gösterir. Hedefin uzaklığı, verici antenden yayılan dalganın hedefe çarparak yeniden alıcıya ulaşabilmesine kadar geçen sureden bulunur [10].



Şekil 2.2. Bir birincil radarın genel şeması

Şekil 2.2'de gönderici yüksek frekanslı sinyalleri yollar. Bu sinyaller bir duplexer cihazı (gönderici veya alıcıya yönlendirme yapan bir anahtarlama cihazı) vasıtasıyla antene aktarılır. Eğer radar ışını bir uçağa isabet ederse, yüksek frekanslı sinyaller yansımaya uğrar, yansıyan enerjinin yankı denen küçük bölümü antene döner. Duplexer cihazı bu gelen sinyalleri alıcıya aktarır. Alıcı bu sinyalleri bir video sinyaline dönüştürür ve ekranda görüntülenir.

### 2.3. Radar Frekansları

Radar çalışma frekansının temel bir çalışma sınırlaması yoktur. Genel olarak konvansiyonel radarlar mikrodalga bölgesi olarak adlandırdığımız bölgede çalışırlar.

İkinci Dünya Savaşı sırasında, mikrodalga radarların geliştirildiği ayrı frekans bantlarını tanımlamak için orijinal kod harfleri P, L, S, X ve K kabul edilmiştir. Daha sonra c, ku, ka sembolleri eklenmiştir. Çizelge 2.1'de IEEE standardı olarak kabul edilmiş radar frekans harf-bant tanımları verilmiştir.

Çizelge 2.1. IEEE standart radar frekansı harf bandları [9].

| İsim | Frekans Aralığı | Çalışma Frekansları                                      |
|------|-----------------|--|
| HF   | 3-30 MHz        |  |
| VHF  | 30-300 MHz      | 138-144 MHz<br>216-225 MHz                               |
| UHF  | 300-1000 MHz    | 420-450 MHz<br>850-942 MHz                               |
| L    | 1-2 GHz         | 1215-1400 MHz  |
| S    | 2-41 GHz        | 2300-2500 MHz  |
| C    | 4-8 GHz         | 5250-5925 MHz  |
| X    | 8-12 GHz        | 8500-10680 MHz   |
| Ku   | 12-18 GHz       | 13.4-14.0 GHz<br>15.7-17.7 GHz                           |
| K    | 18-27 GHz       | 24.05-24.25 GHz  |
| Ka   | 27-40 GHz       | 33.4-36 GHz  |
| V    | 40-75 GHz       | 59-64 GHz  |
| W    | 75-110 GHz      | 76-81 GHz<br>92-100 GHz                                  |
| Mm   | 110-300 GHz     | 126-142 GHz<br>144-149 GHz<br>231-235 GHz<br>238-248 GHz |

Dikkate alınması gereken ayrıntılar olmakla beraber temelde herhangi bir frekans bandında çalışma ilkeleri aynıdır. Frekans seçimini etkileyen başlıca etkenler; radarın kullanım amacı, maliyeti, anten boyutları, çıkış gücünün elde edilme zorlukları vb. olarak sıralanabilir [10].

### 3. DOPPLER RADAR FREKANSI

Doppler kayması, ışınlandırılan taşıyıcı yüksek frekansıyla (RF) hareketli hedeflerden yansıyan yankı işaretlerinin frekansları arasındaki frekans kaymasıdır. Bu frekans, frekans kayması olayını fark eden fizikçi Chirstian Johann Doppler (1803-1853)'in adıyla anılmaktadır [11]. Şekil 3.1'de gözetleyici tarafından alınan, relativite teorisyle önceden kestirilen (predicated)  $f_y$  frekansı

$$f_y = f_o \cdot \frac{c + V_r}{\sqrt{c^2 - V_r^2}} \quad (3.1)$$

ile verilir [11]. Burada;

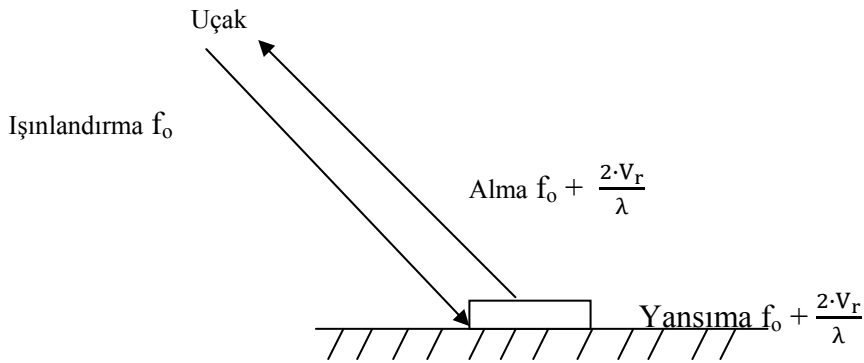
$f_y$ : Yerdeki hareketsiz hedeften yansıyan yankı işaretinin frekansı

$f_o$ : Radar vericisi taşıyıcı işaretinin frekansı,

$V_r$ : Uçak hızının gözlem doğrultusundaki bileşeni (radyal/hız)

$c$ : Işık hızı (yaklaşık  $c=299.792.458$  m/s),

$\lambda$ : Radar vericisi taşıyıcı işaretin dalga boyu



Şekil 3.1. Gözlenen doppler kayması

Doppler kaymasını  $f_d = f_y - f_o$  ve uçağın hızının ışık hızına göre çok küçük olması gereğini uygulayarak Eş. 3.2'de elde edilir:

$$f_d = f_y - f_o = f_o \cdot \frac{c + v_r}{\sqrt{c^2 - v_r^2}} - f_o = f_o \cdot \frac{v_r}{c} \quad (3.2)$$

Yerden yansıyan yankı işareti,  $f_y$  frekanslı bir ışınlandırma olarak görülebilir. Eş. 3.1 veya doğru bir yaklaşım olan Eş. 3.2 uçakta gözlenen Doppler kaymasını hesap etmek için kullanılabilir. Gözlenen toplam Doppler kayması bir yöllü kaymanın iki katı olup aşağıdaki bilinen biçimlerde verilir:

$$f_d = \frac{2 \cdot f_o \cdot v_r}{c} = \frac{2 \cdot v_r}{\lambda} \quad (3.3)$$

$$f_o \lambda = c \quad (3.3a)$$

Bu eşitliğin başka bir yolla da türetilmesi aşağıda gösterilmektedir. Radar anteninin giriş kapısında ölçülen, verici çıkış işaretine ilişkin elektrik alanının fazı referans olarak alınırsa,

$$E_t \propto \sin w_o \cdot t \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilir. Buna göre, hedeften dönen yankı işaretinin eşitliği,

$$E_r \propto \sin[w_o \cdot t + \phi(t)] \quad (3.5)$$

olur, Bu eşitlikteki  $\phi(t)$ , işaret hedefe gidip dönünceye kadar oluşan faz farkını göstermektedir. Eşitlik

$$\phi(t) = -2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T_o} = -2\pi \cdot f_o \cdot \frac{2 \cdot R(t)}{c} = -\frac{2 \cdot w_o \cdot R(t)}{c} \quad (3.6)$$

$R(t)$ : Hedefin radara alan uzaklığının ( $R$ ), zamana bağlı derece ifadesidir.



$$\Delta t = \frac{2 \cdot R(t)}{c} \quad (3.6a)$$

$\Delta t$  : İşaretin hedefe gidiş-dönüş zamanı,

$$T_o = \frac{1}{f_o} \quad (3.6b)$$

$T_o$ : Radar vericisinin taşıyıcı işaret periyodu.

$$w_o = 2\pi \cdot f_o \quad (3.6c)$$

$w_o$ : Radar vericisinin taşıyıcı işaretinin ani açısal frekansı,

şeklinde yazılır. Eş. 3.6'daki eksi işareti, faz gecikmesini gösterir. Ani açısal frekansın ( $w$ ) tanım bağıntısından çıkarılan frekans bağıntısı

$$w = 2\pi \cdot f = \frac{d\phi}{dt} \quad (3.7)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \left( \frac{d\phi}{dt} \right) \quad (3.7a)$$

kullanılarak, hedeften dönen yankı işareti için,

$$f_y = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d}{dt} [w_o \cdot t + \phi(t)] = \frac{1}{2\pi} \left[ w_o + \frac{d\phi}{dt} \right] \quad (3.8)$$

bağıntısı yazılır. EŞ. 3.6 zamana göre türevi ile EŞ. 3.6(c), EŞ. 3.8'e yerleştirilirse, EŞ. 3.9

$$f_y = \frac{1}{2\pi} \left[ w_o \cdot - \frac{2 \cdot w_o}{c} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \right] = f_o \cdot \left( 1 - \frac{2}{c} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \right) \quad (3.9)$$

elde edilir. Doppler frekansının ( $f_d$ ) bağıntısı; hedeften dönen yankı işaretinin frekansından ( $f_y$ ), radar vericisinin taşıyıcı işaret frekansının ( $f_o$ ) çıkarılmasıyla, Eş. 3.10

$$f_d = f_y - f_o = \left(1 - \frac{2}{c} \cdot \frac{dR(t)}{dt}\right) \cdot f_o = \frac{2 \cdot f_o}{c} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (3.10)$$

elde edilir. Eş. 3.3(a) ve Eş. 3.10'dan Doppler frekansı,

$$f_d = -\frac{2}{\lambda} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (3.11)$$

olarak bulunur. Yukarıdaki bağıntıdan da görüleceği gibi; eğer hedef radara yaklaşıyorsa ( $dR/dt$  eksi işaretli olacağından), Doppler kayması artı işaretli olur ve radarda gözlenen yankı frekansı artar. Tam tersi olarak, hedef radardan uzaklaşıyorsa ( $dR/dt$  artı işaretli olacağından), Doppler kayması eksi işaretli olur ve radarda gözlenen yankı frekansı azalır [11].

Radarla hedef arasındaki uzaklık değişiminin, zamana göre türevi ( $dR/dt$ ); radar ile hedef arasındaki hayali doğru uzantısındaki bağıl hızdır. Bu hıza radyal hız da denir. Radyal hızını " $V_r$ " ile gösterirsek Eş. 3.12

$$f_d = -\frac{2 \cdot V_r}{\lambda} \quad (3.12)$$

şeklinde yazılabilir. Radarla hedef arasındaki uzaklığın değişiminden kaynaklanan Doppler frekansında, radyal hızın bağıl hız olmasından dolayı, radarın veya hedefin hangisinin hareket ettiği bir farklılık yaratmaz. Burada hızın yönü önemlidir. Yukarıdaki Eş. 3.12 radarla hedefin uzaklaştığı ( $dR/dt$ 'nin artı işaretli olduğu) durumlar için geçerlidir. Radarla hedefin yaklaştığı ( $dR/dt$ 'nin eksi işaretli olduğu), durumlar için Eş. 3.12

$$f_d = \frac{2 \cdot V_r}{\lambda} \quad (3.13)$$

olarak gösterilir [11].

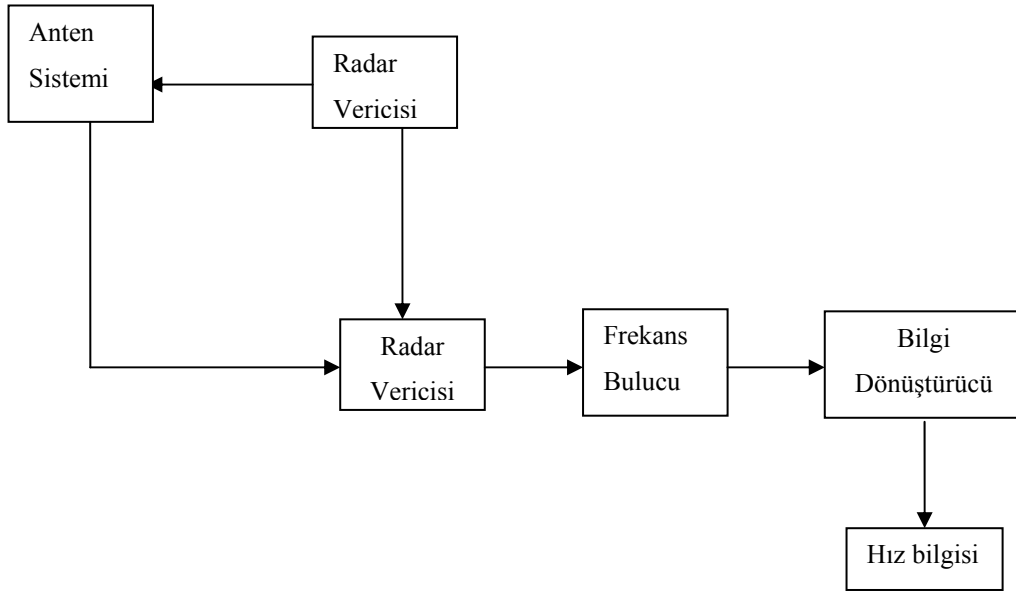
### 3.1. Darbeli Doppler Radarı

Radarlardan yayılan elektromanyetik işaret sürekli ise, hedeften alınan yankı işareti de sürekli olur. Bu tür radarlara Sürekli Dalga Radarı denir.

Radar vericisinden ışınlandırılan dalga frekansıyla hedeflerden yansıyor alıcıya gelen yankı işaretlerinin frekansı arasındaki frekans kaymasını ölçen her radara Doppler radarı denir. Doppler radarları, çok defa istenen bir hedeften gelen yankı işaretlerini istenmeyen cisimlerden gelen yankı işaretlerinden (bu yankı işaretleri, genel olarak, düzensiz yankı işaretleridir) ayırmak için kullanılır [12].

Doppler frekansını ölçen darbeli radarlara ise, Darbeli Doppler radarları denir. Uçaklarda yaygın olarak kullanılan, Darbeli Doppler radarlarının belli başlı amaçları; Havadan-havaya ve havadan-yere füzelerin güdümü, durum mahkemesi, hedef tanımlama ve sınıflandırma, arazi takibi ve araziden kaçınma, seyrüsefer, irtifa tespiti, arazi ve hedefin görüntülenmesidir.

Tipik bir Doppler radarı olmak üzere dört ana fonksiyona sahiptir: anten, verici, alıcı ve frekans bulucu. Verici, anten sisteminden yere doğru yayılacak olan sinyali üretir. Daha sonra sinyal, yer yüzeyi tarafından geri yansıtılır ve anten sistemi tarafından geri alınır (aynı anten veya başka bir anten) ve radar alıcısına iletilir. Alınan sinyal, verilen sinyal ile veya osilatör sinyali ile birleştirilir ve sonuçta ortaya çıkan Doppler değişimi, radar alıcısı içinde yükseltilir. Bu sinyal akışına ait şema Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Değişik sinyal demetlerinden Doppler spektrumları üretilir ve bunlar frekans bulununcaya kadar iletilir [12].



Şekil 3.2. Doppler radarının fonksiyonel diyagramı [12].

### 3.1.1. Eşfazlılık

Vericiden yayımlanan darbeler RF'li sürekli bir işaretin kapıyla kesilmiş (gated) parçalarıymış gibidir. Darbeler bir faz sürekliliğine sahiplerse, eşfazlı darbe dizileri olarak isimlendirilirler. Eşfazlı darbeler alçak seviyeli yüksek frekanslı sürekli bir işaret olarak üretilir ve darbeleri kuvvetlendirici ile oluşturulurlar.

Darbeleri osilatörlerle üretilen darbe dizileri ise; sürekli dalga frekansı ile üretilmediklerinden, rastgele başlangıç fazlarına sahiptirler. Bu nedenle, bu tür darbe dizileri eşfazlı olmayan darbe dizileri olarak isimlendirilir.

Alçak seviyeli sürekli dalga osilatörü ve darbeleri güç kuvvetlendiricisinden oluşan radar vericisi için; tam eşfazlı veya Mopa (Master Oscillator Power Amplifier) terimleri de kullanılır [11].

### 3.1.2. Uyumlu filitre

Radarı alıcısında, sinyal gürültü oranı (SNR) çok önemli bir parametredir. Bu durumda, giden işaret belirli bir frekans bandı içindedir. Hedef hareketli ise, Doppler

frekansını, yansıyan işaretin frekansını artırır veya azaltır. Böylece, hedeften dönen yankı işareti de, sınırları kesin olarak bilinmeyen, fakat tahmin edilebilen bir frekans içindedir.

Radar alıcısında, dönen yankı işaretinin bandının dışındaki bütün gürültüleri süzerek, gürültü gücünün minimuma indirmek mümkün olur. Böylece, SNR maksimum olabilir. Dönen yankı işaretinin frekans bandının tamamı alınmalıdır. Aksi halde işaret kaybedebileceğinden SNR düşer. Diğer yandan, işaretin bandından daha geniş bir bant da, gürültünün lüzumsuz yere çoğalmasına sebep olacağından SNR yine düşecektir.

Alıcının frekans bandının, tam olarak dönen yankı işaretinin frekans bandına eşit olmasını sağlayan filtreye Uyumlu Filtre adı verilir. Bu filtreye sahip alıcıya da Eşbağlantılı Alıcı denir.

### 3.1.3. Sıfır ara frekansı

Eş. 3.11 bağıntısı gösteriyor ki, eğer hedef radara yaklaşıyorsa ( $dR/dt$  eksi işaretli) ve doppler kayması artı işaretli olursa, radarda gözlenen yankı frekansı azalır. Yaklaşan ve uzaklaşan hedefleri ayırabilmek, hava aracı radarlarında, çoğu kez, önemli bir özelliktir. Radarların çoğu, ışınlandırılan dalgayla yankı olarak alınan dalganın karşılaştırmasını, doğrudan yüksek frekans yapmaz ve alınan işaretin frekansını uygun bir ara frekansa dönüştürür. Modern radar sistemlerinde, spektral analiz fonksiyonu veren geçerli kural, bir hızlı Fourier dönüşümü yapan sinyal bir işaret işleyicisi ile yapılır. Analizde, alınan sinyalin spektrumu, sıfır Doppler kaymasının sıfır frekansına (temel band) karşılık olacak biçimde çevrilir. Benzer şekilde hava aracı radarlarında ortak olan bir seçenektir. Frekansı, ana ışın demeti düzensiz yankısıyla ilgili sıfır frekansına çevirmektedir [11].

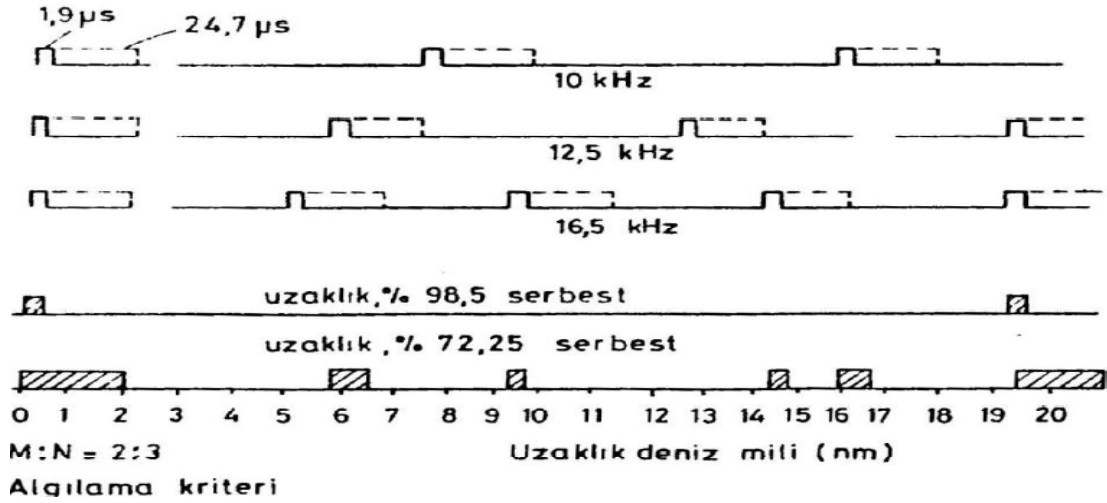
### 3.1.4. Hızlı fourier dönüşümü

Birçok modern radar, spektrum analizi fonksiyonunu, bir FFT (Hızlı fourier dönüşümü) kullanarak, sayısal bir işaret işleyicisinde yapar. FFT'nin öteki sinyal spektrum analizi yöntemlerine göre daha hızlı olduğu kapsamlı olarak gösterilebilir. Ancak burada bu kapsama girmeden, bazı önemli özellikler verecektir. Bir FFT yapmak için, her birinin faydalı ve faydasız tarafları olan birçok farklı yazılım ve donanım yapıları geliştirilmektedir.

Doppler filitrelerinin sayısı yalnız zaman örneklerinin sayısına bağlı olduğundan, eğer, kör hızları yok etmek veya Doppler belirsizliklerini (ambiguities) çözmek için PRF değiştirilirse, filitrelerin band genişliği ve frekans aralıkları (frequency spacing) otomatik olarak ayarlanır. Böylece, hedef yankısı, Doppler frekansı belirli (unambiguous) olsa da, PRF değişirken bir filtreden ötekine hareket eder [11].

### 3.1.5. Darbe sıkıştırma

Darbe sıkıştırması, menzil sorunu yaratmadan ortalama gücü arttırmak için uygulanabilen bir tekniktir. Çok modlu radarlarda, yüksek-PRF mod gereksinimleri; yüksek darbe-periyot oranlı (örneğin 0.5) fakat göreceli olarak alçak tepe güçlü bir vericinin seçilmesi zorunluluğunu doğurur. Böyle vericiler darbe-periyot oranı 0.02 boyutlu orta-PRF modda kullanılırsa, ortalama güç yetersiz olur. Bu tür durumlarda, sorunu çözmek için, darbe sıkıştırma kullanılır.



Şekil 3.3. Darbe sıkıştırmasının kör bölgelere etkisi

Vericinin darbe-periyot oranının artırılması nedeniyle, darbe sıkıştırması, uzaklık kör bölgelerini artırır. Şekil 3.3'teki örnekte, üç PRF'nin ve bir üçten iki algılama kriteri kullanılmaktadır. Üç PRF'in her biriyle, 1,9 µs'lık sabit bir ışınlandırma darbe genişliği kullanıldığı zaman, uzaklık bölgesinin 0,985'i serbest olur. Eğer, 13:1 Barker darbe sıkıştırma kodu uygulanırsa, 24,7 µs 'lik bir ışınlandırma darbe genişliği elde edilir ve serbest bölge, uzaklık bölgesinin 0.7225'ine düşer [11].

### 3.2. Darbeli Doppler Radarlarında PRF Modları

Uçak radarlarında dalga formu tasarımı kritiktir. Darbeli Doppler tipindeki bu radarların performansını belirleyici parametre PRF'dır. PD radarlarında, darbe tekrarlama frekansına bağlı olarak; alçak-PRF; orta-PRF ve yüksek-PRF modları vardır.

#### 3.2.1. Alçak darbe tekrarlama frekansı

Alçak darbe tekrarlama frekanslı (LOW-PRF) radarlar; uzaklığın belirgin olarak (unambiguously) ölçülmesini sağlayacak şekilde, darbe tekrarlama frekansı alçak olan radarlar olarak tanımlanır. Radar vericisi tarafından yayınlanan darbe; darbe

tekrarlama zaman aralığı içinde, belirgin olarak ölçülebilen uzaklıktaki bir hedefe gider ve döner. Bu uzaklığın hesabında aşağıdaki bağıntılar kullanılır.

$$R_u = \frac{c \cdot T}{2} \quad (3.14)$$

$$R_u = \frac{c}{2 \cdot f_r} \quad (3.14a)$$

$$T = \frac{1}{f_r} \quad (3.14b)$$

Burada,

$R_u$  : Belirgin olarak ölçülebilen uzaklık,

$C$  : Işık hızı,

$f_r$  : Darbe Tekrarlama Frekansı,

$T$  : Darbe Tekrarlama Zamanı'dır.

Alçak-PRF'li radar, bir darbe ışınlandırır ve alıcısını, elektromanyetik darbenin ilgili en büyük uzaklığa ( $R_{max}$ ) gidiş-dönüş (round trip) sürecinden biraz daha büyük olan bir süre için devreye sokar. Darbe genişliğinin darbe tekrarlama frekansına oranı, darbe periyot oranıdır (duty cycle), bağıntı olarak

$$D_f = \frac{\tau}{T} \quad (3.15)$$

biçiminde verilir.

Burada,

$D_f$ : Darbe-periyot oranı (duty factor),

$\tau$  : Darbe genişliği,



T: Darbe tekrarlama frekansı'dır.

Birçok darbenin yankıları osilografda toplandığı zaman, sabit hedef yankıları üst üste gelir. Eğer bir sabit ( hareketsiz) hedef ve bir hareketli hedef aynı uzaklıkta ise, (propagasyon zamanları arasındaki fark, bir darbe genişliğinden küçük), alıcıdaki video iki yankının vektörel toplamıdır.

Arkadan gelen darbelerde, hedef, verici dalga uzunluğunun küçük bir parçası kadar bile hareket etse, hareketsiz ve hareketli hedef yankılarının vektörel toplamı değişir. Hedef hareket ederken, bileşke yankı, göreceli maksimum arasında salınır ve üstüne toplanan salınımlarının hedef uzaklığında üst üste gelmemesine neden olur. Hareketli bir hedefin video genliğinin uzaklığa göre gösterilmesinde ortaya çıkan şekle soğan veya kelebek adı verilir.

Hareketsiz hedef girişimi hareketli hedeften daha fazla büyük değildir. Sonuç olarak, hareketli hedef osiloskopta kolayca fark edilebilir [11].

### **3.2.2. Orta darbe tekrarlama frekansı**

Alçak darbe tekrarlama frekansı ile orta darbe tekrarlama frekansını (Medium-PRF) ayıran belirgin bir değer yoktur. Ayırımı sağlayan değer, radarların uygulama alanlarına bağlıdır.

Orta darbe tekrarlama frekanslı radarda zaman dalga biçimleri ve spektrumu, daha önce, alçak PRF'li radar için gösterilenlere benzer. Orta PRF'li radar, yüksek-PRF'li ve alçak-PRF'li radarlar arasında, her birinden arzu edilen özellikleri alarak yapılan bir uzlaşmadır. Darbe aralığı, alçak –PRF'dan daha kısa olduğundan, genel olarak daha az uzaklık kapısı vardır. Darbe tekrarlama frekansı, uzaklık belirsizlikleri olacak kadar yüksektir, fakat yüksek-PRF'li radara göre daha az sayıdadır. Doppler belirsizlikleri de vardır, fakat yine alçak-PRF'de olduğundan daha azdır [11].

### 3.2.3. Yüksek darbe tekrarlama frekansı

Yüksek darbe tekrarlama frekanslı (High-PRF) radarlar; darbe tekrarlama frekansı, istenen tüm hedef hızlarının belirgin olarak ölçülmesini sağlayacak kadar yüksek olan radarlar olarak tanımlanır.

Belirgin olarak ölçülebilen Doppler kaymasının, darbe tekrarlama frekansına eşit olduğu ve bu değer, radyal hıza bağlı olarak ifade edildiği Eş. 3.11'i düzenlenerek; Maksimum Doppler kaymasının, darbe tekrarlama frekansına eşit olduğunu ve bu değer maksimum radyal hıza bağlı olarak ifade edildiği bağıntı,

$$f_{dmax} = PRF = \frac{2 \cdot V_{rmax}}{\lambda} \quad (3.16)$$

şeklinde yazılabilir.

Yüksek-PRF'li bir Darbeli Doppler radarında verici devredeyken alıcı kapıyla kapatılır. Aynı şekilde, alıcı devredeyken verici kapıyla kapatılır. Böylece, alıcı ve verici için tek bir anten kullanılabilir. Gerçekte, yüksek PRF'li radarın gelişmesi; sürekli dalga radarının Doppler algılama ve yüksek ortalama güç etkinliklerine, bir uçağa iki anten yerleştirmeksizin erişmek arzusuyla doğdu. Yüksek PRF'li PD radarının, CW radarla; belirgin Doppler ölçmesi, belirgin uzaklık ölçümü için ikinci bir modülasyon gereksinimi ve işaret işleme yöntemleri gibi birçok ortak yönü vardır.

Yüksek -PRF'li radarda, düzensiz yankı spektrumunun biçimi; her PRF için tekrar edilmesinin dışında, temel olarak, sürekli dalga spektrumunun aynısıdır [11].

### 3.3. Darbeli Radarlarda Doppler Belirsizlikleri ve Kör Hızları

Eş. 3.13 hedef hızının ölçülebilir olduğunu göstermektedir. Bununla beraber, bilinen Nyquist kriterine göre, bir işaretin frekans içeriğini doğru yakalamak için gerekli olan minimum örnekleme (sampling) frekansı, işaretin band genişliğinin iki katına

eşittir. Örnekleyen ve sayısal spektrum analizi uygulayan bir sürekli dalga radarı, aynı örnekleme düşüncelerine uyar.

Her darbe tekrarlama aralığında, iki örnek, (örneğin, bir I bir de Q örneği ) çıkartan radar, darbe tekrarlama frekansının iki katına eşit olan bir etkin örnekleme hızına (sampling rate) sahip olup, PRF büyüklüğünde belirli bir frekans aralığı sağlar. Eş. 3.6 gönderilen (transmitted) ve alınan (recieved) dalga biçimleri arasındaki toplam faz gecikmesini göstermektedir.

$$\Delta\phi = 2\pi \left( \frac{2\Delta R}{\lambda} \right) \quad (3.17)$$

Burada,

$\Delta R$ : Darbeler arasındaki uzaklık değişimidir.

Genellikle sıfır frekansında büyük bir yer yankısının olması nedeniyle, kör hızlardaki hedefler algılanamaz. Eğer faz değişimi  $2\pi$ 'den büyükse, hedefler gerçek olarak algılanabilir. Fakat gözlenen Doppler kayması, hedefin hızını doğru olarak göstermez. Gözlenen Doppler frekansında belirsizlik vardır. Kör hızları yok etmek için çok sayıda darbe tekrarlama frekansı değiştirilerek kullanılır,

Bir darbeli Doppler radar tarafından gözlenen Doppler kayması için, Eş. 3.13'ü değiştirilerek, aşağıdaki gibi elde edilir [11]:

$$f_d = \left( \frac{2 \cdot V_r}{\lambda} \right) \cdot A \quad (3.18)$$

Burada,

A : Module edilmiş PRF.

### 3.5. Darbe Doppler İşaretlerinin Frekans Spektrumu

Bir darbe Doppler radarının ışınlandırma spektrumu,  $f_0$  taşıyıcı frekansında ayrık frekans çizgilerinden (lines) ve yan band frekansından ibarettir. Yan band frekansları,

$$f_i = f_0 \pm (i \cdot f_r) \quad (3.19)$$

olarak verilir.

Burada,

$f_r$  : Darbe tekrarlama frekansı (PRF),

$i$  : Tam sayı'dır.

Spektrumun zarfı ise darbe biçimiyle belirlenir. Dikköşeli (rectangular) darbeler için, birçok kez uygulanır, bir  $\text{sinc}/x$  spektrumu elde edilir.

Uçaklardaki darbeli Doppler radarının alıcı tarafından, hareketsiz (duran) bir hedeften alınan spektrum, bakış çizgisiyle veya radar platformuyla hedef arasındaki radyal hızla orantılı Doppler kaydırılmış çizgilere sahiptir. Hareketsiz bir hedef için, iki yönlü (gidiş- dönüş) Doppler kayması, uçak hızına bağlı olarak,

$$f_d = \frac{2 \cdot V_A}{\lambda} \cdot \cos\phi_0 \quad (3.20)$$

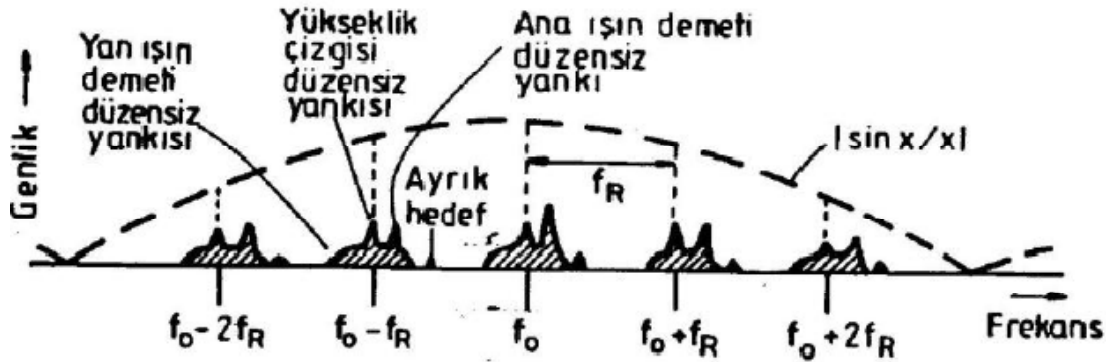
bağıntısıyla ifade edilir.

Burada,

$V_A$  : Uçağın hızı

$\varphi_0$  : Uçağın hız vektörü ile radarın hedefi görüş çizgisi (Line of Sight) arasındaki açı'dır.

Şekil 3.5'te, yer veya bulut gibi cisimlerden gelen sürekli düzensiz yankılar ve uçak, araba, tank gibi ayırık hedeflerden gelen yankılardan alınan darbeli spektrumu gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Yatay olarak hareket eden eşfazlı bir radarda frekans spektrumu

Şekil 3.6'da, uçağın  $V_A$  hızıyla yatay hareketli durumunda, katlanmamış spektrumu gösterilmektedir. Burada, bitişik komşu PRF çizgilerinden gelen spektral katlanma yoktur. Düzensiz yankı serbest bölgesi (clutter-free region), yer yankısının olmayacağı spektrum bölgesi olarak tanımlanır.

Orta-PRF'lerde, genel olarak, düzensiz yankı (clutter) serbest bölgesi yoktur. Yan ışın demeti düzensiz yankı spektrum bölgesi, her ne kadar düzensiz yankı gücü, bölgenin bir kısmında ışııl gürültü gücünden küçük olabilirse de, antenin yan ışın demetlerinden giren yeryüzü düzensiz yankı gücünü içerir. Bu bölgenin genişliği  $4V_A/\lambda$  ile gösterilir.

Frekans boyutunda,  $f_0 + (2 \cdot V_A/\lambda) \cdot \cos \varphi_0$  olarak ifade edilen ana ışın demeti bölgesi,  $\varphi_0$  tarama açısından yeri ışınlandıran antenin ana ışın demetinden gelen kuvvetli yankıyı içerir. Yağmur ve çaf en eski ve hala çok yaygın olarak kullanılan radar karşı tedbirlerdir. Çaf genellikle taktik uçak, stratejik uçak ve bir koridor boyunca-boyunca uzanan ya da kendi kendini-koruyan moda bulunan gemilerin

korunması için kullanılır [13]. Düzensiz yankısı, ana ışın demeti yağmur veya çaf bulutunu ışlandırdığı durumlarda büyük olur. Rüzgâr nedeniyle meydana gelen hareket, düzensiz yankının frekansını değiştirebilir.

Yükseklik çizgisinin düzensiz yankısı, uçağın tam olarak altında, radara yaklaşık düşey olarak giren yer düzensiz yankısı nedeniyle oluşur. Uçak hızının düşey bileşeni yoksa yükseklik çizgisinin düzensiz yankısı sıfır Doppler frekansıdır. Ana ışın demetindeki, bir ayrık (discrete) hedef yankısı için frekans bağıntısı,

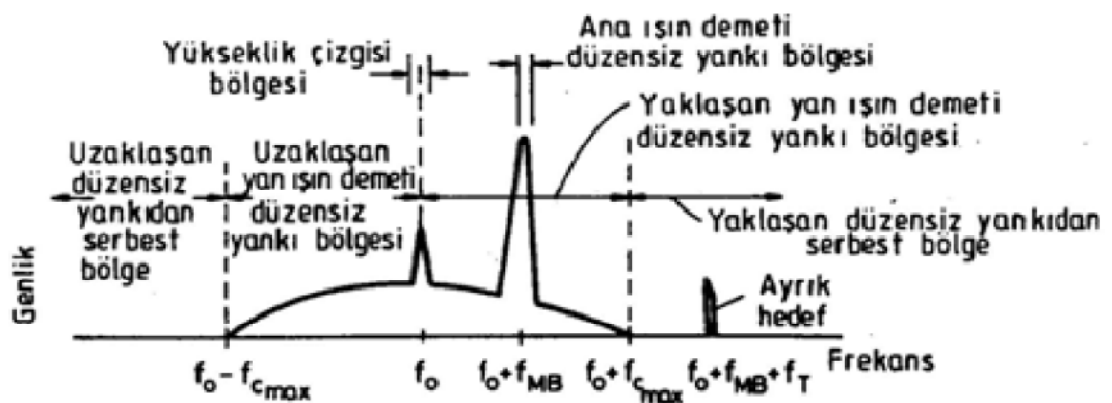
$$f_y = f_o + \left(\frac{2 \cdot V_A}{\lambda}\right) \cdot \cos\varphi_o + \left(\frac{2 \cdot V_T}{\lambda}\right) \cdot \cos\varphi_T \quad (3.20)$$

olarak yazılır [11].

Burada,

$V_T$ : Hedef hızı,

$\varphi_T$  : Hedefin vektörel ile hedef gören çizgisi (LOS'u) arasındaki açıdır.



Şekil 3.5. Katlanmamış spektrum (düzensiz yankı izlemesiz) [11].

#### 4. RADAR KESİT ALANI

Radar kesit alanı (RKA), hedefin radar işaretini radarın alıcısı yönünde yansıtma yeteneğinin bir ölçüsü olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre, bir cisim gelen radar işaretini, ne kadar az radarın alıcısı yönünde yansıtıyorsa, radara yakalanmama şansında o kadar artar. Bu nedenle tasarım aşamasında, özellikle askeri hedeflerin (uçak, gemi vs.) RKA'larının güvenilir olarak hesaplanabilmesi, uzun zamandır üzerinde çalışılan bir konudur. Radar saçılma yüzeyiyle yapılan çalışmaların ortak amacı, RKA olarak bilinen ve hedefin radar performansını belirleyen büyüklüğün, mümkün olduğunca, düşük tutulmasıdır. Çünkü genelde radar, hedeften geri yansıyan işareti arka plandaki gürültülerden (örneğin atmosferik kırılma ve yansımalar, denizden olan yansıma, hedefin etrafındaki diğer engellerden olan yansımayı) ayırmak zorundadır. Söz konusu hedefin radara geri yansıttığı enerji, bu gürültü seviyesine kadar düşürüldüğü takdirde, o zamana radar hedefi algılayamayacak, dolayısıyla hedef radara yakalanmayacaktır. RKA'nın IEEE tarafından yapılan tanımı Eş. 4.1'de verilmiştir [14].

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \left| \frac{E_s}{E_i} \right|^2 \quad (4.1)$$

Burada,

- $E_s$  : Hedeften belirli bir doğrultuda saçılan ve R mesafesindeki ölçülen düzelmesi elektrik alan şiddeti,
- $E_i$  : Belirli bir doğrultudan hedefe gelen elektrik alan şiddeti,
- R :  $E_s$ 'nin ölçüldüğü engelin radara olan uzaklığı,
- $R \rightarrow \infty$  : Uygulamada hedeften saçılan dalganın düzlemsel sayılabilmesi için gereken asgari uzaklık, ( $R \gg \lambda$ ).

Basit yapıdaki hedeflerin RKA tek bir değer olarak tanımlanır ve radar menzil hesabında kullanılır. Kompleks yapıdaki hedeflerin, RKA ise; duran hedefler için tek bir  $\sigma$  değeriyle tanımlanmasına karşın, hareketli hedefler için zamanla değişim

gösterir [9]. Hareketli hedeflerin zamanla değişen RKA'ların Bölüm 4.6'de görüleceği üzere, Swerling RKA modelleme tekniği ile tek bir  $\sigma$  değeriyle tanımlamak mümkün olabilmektedir.

Eş. 4.1'den elde edilen RKA'nın birimi  $m^2$ 'dir. Ancak genellikle RKA verirken  $dBm^2$  olarak elde edilebilmesi için Eş. 4.2'nin kullanılması gerekir. RKA'nın  $dBm^2$  olarak verilmesinin nedeni çok hızlı değişmesi ve çok geniş bir değişim aralığına sahip olmasıdır.

$$\sigma[dBm^2] = 10 \cdot \log_{10}\sigma[m^2] \quad (4.2)$$

#### 4.1. Radar Menzil Bağıntısının Çıkarılması

Radar Menzil Bağıntısı, radarın bir hedefi algılayabileceği en büyük uzaklığın ( $R_{max}$ ), radarın karakteristik parametreleriyle tanımlanmasıdır.

Radar verici anteninden yayınlanan elektromanyetik enerji ışını, radar kesiti alanı (Radar Cross Section)  $\sigma$  ( $m^2$ ) olan bir hedeften yansıyor radar alıcısının girişine gelen yankı işaretinin gücü ( $P_r$ ):

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t}{4\pi \cdot R_t^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi \cdot R_r^2} \cdot A_r \quad (4.3)$$

olmaktadır.

Burada,

$P_r$ : Radar alıcısının girişine gelen yankı işaretinin gücü,

$P_t$ : Vericinin darbe gücü,

$R_t$ : Radar vericisinin hedefe olan uzaklığı,

$R_r$ : Radar alıcısının hedefe olan uzaklığı,

$\sigma$ : Radar kesit alanı ( $m^2$ ),



$A_r$ : Radarın alıcı antenin etkin yüzeyi,

$G_t$ : Verici antenin kazancı'dır.

Yukarıdaki bağıntıda görüldüğü gibi radar alıcısının girişine gelen yankı işaretinin gücü  $P_r$ , üç faktörün çarpılmasıyla elde ediliyor.

Birinci faktör Eş. 4.3(a)'da gösterilmiştir. Birinci faktör Watt olarak verici gücünü, kazancı olan anteniyle ışınlandıran bir radardan (R) metre uzaklıktaki güç yoğunluğudur.

$$P_d = \frac{P_t \cdot G_t}{4\pi \cdot R_t^2} \quad (4.3a)$$

İkinci faktörün ise Eş. 4.3(b)'de görüldüğü gibi payındaki  $\sigma$ , yukarıda belirtildiği gibi, nokta hedefin metrekare olarak radar kesitini gösterir. Bu faktörün paydası, birinci faktörün paydası gibi elektromanyetik gücün uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak dağıldığını göstermektedir.

$$\frac{1}{4\pi \cdot R_r^2} \quad (4.3b)$$

Birinci ve ikinci faktörün çarpılmasıyla, radara dönebilen radar yankı işaretinin ( $m^2$ ) başına düşen güç yoğunluğu (Watt/metrekare) olarak bulunur.

Üçüncü faktör radarın alıcı antenin etkin yüzeyi olup, antenin bu etkin yüzeyiyle, hedeften geriye dağılan radar yankı işaretinin gücü yoğunluğunun, bir bölümünün toplandığını ifade eder. Böylece bu üç faktörün çarpılmasıyla radar alıcısının giren yankı işaretinin gücü  $P_r$  bulunur. Radar alıcısının algılayabileceği en küçük yankı işaretinin gücü ( $S_{min}$ ) Eş. 4.3'ta radar yankı işaretinin yerine konular ve bağıntı uzaklığa göre çözülürse en büyük radar uzaklığının ( $R_{max}$ ) bağıntısı,

$$R_{\max}^4 = \frac{P_t \cdot G_t \cdot \sigma \cdot A_r}{(4\pi)^2 \cdot S_{\min}} \quad (4.4)$$

bulunur. Verici anten kazancı  $G_t$ ,  $\lambda$  dalga boyu ve etkin anten açıklığı  $A_r$  ile

$$G_t = \frac{4\pi \cdot A_r}{\lambda^2} \quad (4.5)$$

olarak verilir.

Bu sayede radar menzil bağıntısı iki ayrı biçimde yazılabilir.

$$R_{\max}^4 = \frac{P_t \cdot G_t \cdot \sigma \cdot A_r}{(4\pi)^3 \cdot S_{\min}} \quad (4.6)$$

$$R_{\max}^4 = \frac{P_t \cdot \sigma \cdot A_r^2}{(4\pi) \cdot \lambda^2 \cdot S_{\min}} \quad (4.7)$$

Bu bağıntılarda; doğanın elektromanyetik enerjiye etkisi, sistem kayıpları ve işaret-işleme göz önüne alınmamıştır. Bu etkilerde hesaba katılırsa, elbette radarın alıcı antenine ve oradan da radar alıcısının girişine gelen yankı işaretinin gücü daha küçük olacaktır. Bunun sonucunda da radarın menzili azalır.  $S_{\min}$ , alıcının girişine gelen ve alıcının algılayabileceği en küçük yankı işareti gücüdür. Bu yankı işareti, alıcının girişinde birlikte bulunduğu gürültü gücüne göre belirli bir seviyede olmak zorundadır. Gürültü işaretinin, hedefin radar saçılma yüzeyinin ve elektromanyetik enerjinin ışımlandığı ortamın olasılık doğasından dolayı  $S_{\min}$  yankı işaretinin de bir olasılık doğası vardır [8].

#### 4.2. İşaret Gürültü Oranı

İşaret gürültü oranındaki; işaret (S) radar yankı işaretinin gücünü, gürültü (N) ise alıcının asıl gürültü gücünü ifade eder. S yankı işareti, alıcının asıl gürültüsü, yanı sıra, doğanın düzensiz yankı (C) işaretleri ve varsa ortamdaki bozucu girişim(I)

işaretleriyle de karışmış olarak radara gelir. Bu durumlarda hedeflerin algılanması için algılama eşiği önündeki  $S/(N+C+I)$  oranı hesap edilmelidir.

Alıcının girişindeki tüm bu gürültüler, her kuvvetlendirici katında kuvvetlendirilir. Böylece; alıcının girişindeki gürültü, cihazın çıkışına kadar, cihazın kazancı oranında büyür. Bunun yanı sıra, ara katlarda da asıl gürültüler eklendiğinden; çıkış gürültüsü, giriş gürültüsünün kazançla çarpımından daha büyük olur. Çıkıştaki yankı işareti ise, girişteki yankı işaretinin kazançla çarpımına eşittir. Böylece, cihazın girişteki işaret gürültü oranı, çıkıştaki işaret gürültü oranından daha büyüktür [8]. Bu değişiklik aşağıdaki gibi verilir.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{giriş}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{çıkış}} \cdot F_n \quad (4.8)$$

Burada,

$F_n$ : Alıcının  $T_0 = 290^\circ \text{K}$  referans sıcaklığına göre belirlenen gürültü faktörü,  
 $F_n > 1$ 'dir.

Giriş gürültüsü ( $N_g$ ) ısı gürültüden ibaret kabul edilirse, ısı gürültü gücü olarak  $N_g$ ,

$$N_g = k \cdot T_0 \cdot B \quad (4.8a)$$

şeklinde yazılır.

Burada,

$k$ : Boltzman sabiti ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  watt/Hz- $^\circ\text{K}$ ),

$T_0$ :  $290^\circ\text{K}$  (Alıcının mutlak sıcaklığı),

$B$ : Alıcının frekans band genişliği'dir,

B, genel olarak algılama eşiğinin önündeki, son ara frekans bandı veya hedefin bulunduğu, Doppler frekans band genişliğidir. Radar yankı işareti yalnız alıcının ısı gürültüsü ile karışmış ise,

$$S_{\text{giriş}} = N_{\text{giriş}} \cdot F_n \cdot \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{çıkış}} \quad (4.8b)$$

$$S_{\text{giriş}} = k \cdot T_o \cdot B \cdot F_n \cdot \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{çıkış}} \quad (4.8c)$$

olarak bulunur.

Burada,

$(S/N)_{\text{çıkış}}$ : Kabul edebileceğimiz eşiği  $S_{\text{min}}$  bağıntısı,

$$S_{\text{min}} = k \cdot T_o \cdot B \cdot F_n \cdot (SNR)_{\text{o}_{\text{min}}} \quad (4.9)$$

olarak verilir. Pratik uygulamalarda, doğru bir algılama kararı için, radar alıcısında algılama kararı verildiği yerde, algılama eşiğindeki işaret gürültü oranının  $(S/N)$ , 10 ile 20 dB arasında veya daha büyük olması gerekir.

Yukarıdaki radar bağıntılarında radar işaret güç birimi Watt olarak alınır. Ancak radar işaretinin bütün enerjisinin göz önüne alınması, dalga biçiminin algılanması bakımından daha uygun bir ölçü olacaktır. İşaret enerjisinin gürültü enerjisine oranı  $(E/N_o)$ , işaret gücünün gürültü gücüne oranına göre, (olasılık algılama teorisine dayanan) teorik radar analizinde daha temel bir parametredir.

Uyumlu filireli (matched filter) bir alıcı için, radar işaretinin işaret gürültü (enerji veya güç) oranı, alıcının çıkışında, ideal olarak  $(E/N_o)$  maksimum değerine ulaşır. Alıcının algılama eşiği önündeki filitrenin frekans band genişliği (B),

$$B = \frac{1}{\tau} \quad (4.10)$$

Burada,

$\tau$ : Darbe genişliği

olarak kabul edilir. Algılama eşiği olarak,  $S_{\min}$  bağıntısı,

$$S_{\min} = k \cdot T_o \cdot F_n \cdot \frac{(E/N_o)}{\tau} \quad (4.11)$$

şeklinde yazılır. Verici dalga biçiminin enerjisi  $E_t$ ,

$$E_t = P_t \cdot \tau \quad (4.12)$$

bağıntısıyla yazılabilir. Yukarıdaki bağıntıları kullanılarak, Radar menzil bağıntısı yeniden düzenlenirse,

$$R_{\max} = \left( \frac{E_t \cdot G_t \cdot \sigma \cdot A_r}{(4\pi)^3 \cdot K \cdot T_o \cdot B \cdot F_n \cdot (SNR)_{\min}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4.13)$$

şeklini alır. Radarın birden fazla hedefi, taramaya devam ederken izlemesinde (Track White Scan, TWS); radarın hedefi ışınlama enerjisinin ( $E_t$ ) bağıntısı,

$$E_t = P_{or} \cdot t_o \quad (4.14)$$

Burada,

$P_{or}$  : Ortalama verici gücü,

$t_o$  : Anten ışın demetinin hedefte kalma süresi (Dwell time, time on target),  
olarak yazılabilir. Böylece radar menzil bağıntısını yeniden düzenlersek,

$$R_{\max}^4 = \frac{P_{\text{or}} \cdot G_t \cdot t_o \cdot \sigma \cdot A_r}{(4\pi)^2 \cdot k \cdot T_o \cdot F_n \cdot \left(\frac{E}{N_o}\right)} \quad (4.15)$$

şeklini alır. Eş. 4.5'i kullanılarak Radar Menzil Bağıntısı iki ayrı şekilde yazılabilir. Bunlar,

$$R_{\max}^4 = \frac{P_{\text{or}} \cdot G_t^2 \cdot t_o \cdot \sigma \cdot \lambda}{(4\pi)^2 \cdot k \cdot T_o \cdot F_n \cdot \left(\frac{E}{N_o}\right)} \quad (4.16)$$

$$R_{\max}^4 = \frac{P_{\text{or}} \cdot t_o \cdot \sigma \cdot A_r^2}{4\pi \cdot k \cdot T_o \cdot F_n \cdot (\lambda)^2 \cdot \left(\frac{E}{N_o}\right)} \quad (4.17)$$

bağıntılardır. Anten kazancı,

$$G_t = \frac{4\pi}{\Omega_b} \quad (4.18)$$

olarak yazılabilir.

Burada,

$\Omega_b$  : Anten ışın demetinin (anten kazanç diyagramının) steradyan olarak yarı değer genişliğidir.

Anten ışın demeti tarama yaparken; her doğrultuda aynı  $t_o$  süresi kadar kalıyorsa, antenin ilgilenilen bölgeyi tarama zamanı ( $t_s$ ),

$$t_s = t_o \cdot \frac{\Omega}{\Omega_b} \quad (4.19)$$

$\Omega$ : Radarın gözetleme bölgesinin (hacmi) katı açısı,

şeklinde yazılır. Bu bağıntıdan  $t_0$  çekilerek, Eş. 4.14'te yerleştirilirse,

$$E_t = P_{or} \cdot t_s \cdot \frac{\Omega}{\Omega_b} \quad (4.20)$$

olarak bulunur. Radar Menzil bağıntısı yeniden düzenlenirse,

$$R_{max}^4 = \frac{P_{or} \cdot A_r \cdot \sigma}{4\pi \cdot K \cdot T_o \cdot F_n \cdot \left(\frac{E}{N_o}\right)} \cdot \frac{t_s}{\Omega} \quad (4.21)$$

şeklini alır [8].

### 4.3. Karıştırma ve Girişim

Radar işaretlerinin, karıştırma (Jamming) veya girişim (Interference) işaretlerinden etkilenmesi durumunda; radarın tespit uzaklığı, sinyal işleme tekniği kadar, alınan yankı işaret gücünün karıştırma ve girişim işaret gücü oranına da bağlıdır.

Yankı işareti ile birlikte alınan karıştırma işaretinin, sinyal işleme sonucunda radarın menziline nasıl etkileyeceğinin kolay bir bağıntısı yoktur. Ancak hedef ve karıştırıcı mesafeleri ile yankı karıştırma işaret güçlerinin farklarına bağlı olarak temel radar menzil bağıntısı kurulabilir. Bu bağıntıda karıştırma gücü, gürültü olarak kabul edilir. Sistem kayıplarıyla işaret işleme kayıplarının ihmal edildiği, temel radar bağıntısı,

$$S = \frac{P_t \cdot G_t \cdot \sigma \cdot G_r \cdot (\lambda)^2}{(4\pi)^3 \cdot (R)^4 \cdot B_r} \quad (4.22)$$

olarak yazılır. Burada,

$B_r$ : Alıcının etkin band genişliği,

Bağıntıda  $B_r$  kullanılarak, alınan işaretin spektral güç yoğunluğu (band genişliğinin birim Hertz'i başına düşen işaret gücü) bulunmaktadır. İşaret gürültü oranı için bağıntı düzenlenirse,

$$\frac{S}{N} = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot B_r \cdot N} \quad (4.23)$$

şeklini alır. Bu bağıntının ifade ettiği gürültüde, band genişliğinin birimi hertz başına düşen gürültü gücüdür.

Gürültü gücü olarak, yalnızca karıştırma işaret gücü düşünüldüğü için (diğer gürültüler, bu hesaplama için ihmal edilecek kadar küçük kabul edilmiştir); işaret gürültü oranı (Signal to Noise Ratio, SNR) olarak, işaret karıştırma oranı (Signal to Jamming Ratio, SJR) alınır. İşaret karıştırma oranı için, radar alıcısı tarafından alınan karıştırma işaretinin spektral güç yoğunluğunun bağıntısı,

$$J = \frac{P_j \cdot G_j \cdot G_{jr} \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot R_j^2 \cdot B_j} = \frac{P_j \cdot G_j \cdot g_j \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot r_j^2 \cdot R^2 \cdot B_j} \quad (4.24)$$

olarak verilir. Burada,

- $P_j$  : Karıştırma işaret kaynağının gücü,
- $G_j$  : Karıştırma işaret kaynağının verici anten kazancı,
- $G_j$  : Karıştırma işareti için radar alıcı antenin kazancı'dır.

$$G_{jr} = g_j \cdot G_r \quad (4.24a)$$

- $g_j$  : Karıştırma işaretinin alındığı yan ışın demetinin kazancının, yankı işaretinin alındığı ana ışın demetinin kazancına göre oranıdır,
- $R_j$  : İşaret kaynağının radardan olan uzaklığı,



$$R_j = r_j \cdot R \quad (4.24b)$$

$r_j$ : Radara göre, karıştırma işaret kaynağı ile hedef uzaklıklarının oranı,

$B_j$ : karıştırma işaretinin frekans band genişliği,

şeklinde ifade edilebilir. Eş. 4.22 ve Eş. 4.24'ü kullanılarak işaret karıştırma oranı,

$$\frac{S}{J} = \left( \frac{1}{4\pi} \right) \cdot \left( \frac{P_t}{P_j} \right) \cdot \left( \frac{G_t \cdot G_r}{G_j \cdot G_{jr}} \right) \cdot \left( \frac{B_j}{B_r} \right) \cdot \left( \frac{R_j^2 \cdot \sigma}{R^4} \right) \quad (4.25)$$

olarak bulunur. Radar Menzil Bağıntısı,

$$R_{\text{maks}}^4 = \left( \frac{P_t}{P_j} \right) \cdot \left( \frac{G_t \cdot G_r}{G_j \cdot G_{jr}} \right) \cdot \left( \frac{B_j}{B_r} \right) \cdot \left( \frac{R_j^2 \cdot \sigma}{4\pi} \right) \cdot \left( \frac{S}{J} \right)_{\text{min}}^{-1} \quad (4.26)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

$(S/J)_{\text{min}}$ : Minimum işaret karıştırma oranı (MSJR),

Radara, bozucu işaretinin varlığına rağmen (karıştırma ortamında) hedefi arayıp tespit edebilmesine, delip-geçme (Burnthrough) denir [8]. Radara bu işlemi yapabileceği maksimum karıştırma uzaklığı da delip-geçme menzili (Burnthrough range) denir (delip-geçme menzili, karıştırma ortamındaki radar menziline, farklı bir ifade şeklidir).

Karıştırma ortamındaki radar menzil bağıntısında, radar verici anteninden yayınlanan etkin güç (Effective Radiated Power of Radar, ERPR),

$$ERPR = P_t \cdot G_t \quad (4.27)$$

arttıkça radar menzili de artar. Ancak, bu şekilde menzilin arttırılması, yabancı elektronik destek (Electronic Warfare Support-ES) alıcılarının ve karıştırma kaynaklarının (Jammers) uyarılma mesafesini artırır. Bu durum, elektronik koruma destek (Electronic Protection-EP) bakımından uygun değildir. İyi uygulanan elektronik destek ve verici gücün denetimiyle, işaretleri yabancı alıcılar tarafından zayıf olasılık ile algılanabilen (Low Probability Of Intercept-LPI) çok güçlü radarlar yapılabilmektedir.

Karıştırma ortamındaki radarın menzil bağıntısı, Eş. 4.24 (a) kazançlar oranı ( $g_j$ ) ve Eş. 4.24(b) uzaklıklar oranı ( $r_j$ ) bağıntıları kullanılarak, yeniden düzenlenirse,

$$\frac{S}{J} = \left(\frac{1}{4\pi}\right) \cdot \left(\frac{P_t}{P_j}\right) \cdot \left(\frac{G_t}{G_j \cdot G_{jr}}\right) \cdot \left(\frac{B_j}{B_r}\right) \cdot \left(\frac{R_j^2 \cdot \sigma}{R^4}\right) \quad (4.28)$$

$$R_{\text{maks}}^4 = \left(\frac{R_j^2 \cdot \sigma}{R^4}\right) \cdot \left(\frac{P_t}{P_j}\right) \cdot \left(\frac{G_t}{G_j \cdot G_{jr}}\right) \cdot \left(\frac{B_j}{B_r}\right) \cdot \left(\frac{S}{J}\right)_{\text{min}}^{-1} \quad (4.29)$$

olarak bulunur. Parametreleri bilinen bir radar ve bir karıştırıcı için; bu menzil bağıntısını inceleyelim. Bu durumda, Radardan yayılan etkin gücün (ERPR), karıştırıcıdan yayılan etkin güce (Effective Radiated Power of Jammer-ERPJ) oranı bilinmektedir. Bu oran,

$$\frac{ERPR}{ERPJ} = \left(\frac{P_t \cdot G_t}{P_j \cdot G_j}\right) \quad (4.30)$$

şeklinde gösterilir. Karıştırıcının band genişliğinin, radar alıcısının etkin band genişliğine oranı ( $B_j/B_r$ ) da bilinmektedir. Minimum işaret karıştırma oranının, Swerling eğrilerinden bulunmuş olduğunu kabul edersek; RCS değeri ( $\sigma$ ) bilinen bir hedef için menzil bağıntısı,

$$R_{\text{maks}}^2 = K \cdot \frac{r_j^2}{g_j} \quad (4.31)$$

$$K = \left(\frac{\sigma}{4\pi}\right) \cdot \left(\frac{P_t}{P_j}\right) \cdot \left(\frac{G_t}{G_j}\right) \cdot \left(\frac{B_j}{B_r}\right) \cdot \left(\frac{S}{J}\right)_{\text{min}}^{-1} \quad (4.32)$$

Burada,

K: Bilinen tüm oran, değer ve sayılar çarpılarak elde edilen bir sabit,

olarak yazılabilir. Bu bağıntıdan, radarın maksimum menziline; karıştırıcının radara olan uzaklığının, hedefin radara olan uzaklığına oranı ( $r_j$ ) ile doğru; karıştırmanın geldiği ışın demetinin kazancının, ana ışın demetinin kazancına oranı ( $g_j$ ) ile ters orantılı olduğu kolaylıkla görülebilir.

Radar açısından bakıldığında; karıştırıcı yan demette ise, yan demet seviyesini düşürerek menzili arttırır. Hedef ve karıştırıcı açısından bakıldığında; EH taarruz görevi yapan karıştırıcının, kendisi için gelip geçme menziline dışında kalmak üzere, radara mümkün olduğu kadar yaklaşması gerekir. Böylece radarın menzili minimum olur.

Karıştırma işaret kaynağı hedef ise (Self Screening Jamming-SSJ) ya da hedefle aynı uzaklıkta ve radarın ana ışın demetinin içinde devam ediyor (Escort Jamming-EJ) ise;  $g_j = 1$  ve  $r_j = 1$  olur. Bu durumda radar menzil bağıntısı;

$$\frac{S}{J} = \left(\frac{1}{4\pi}\right) \cdot \left(\frac{P_t}{P_j}\right) \cdot \left(\frac{G_t}{G_j}\right) \cdot \left(\frac{B_j}{B_r}\right) \cdot \left(\frac{\sigma}{R^2}\right) \quad (4.33)$$

$$R_{\text{maks}}^2 = \left(\frac{\sigma}{4\pi}\right) \cdot \left(\frac{P_t}{P_j}\right) \cdot \left(\frac{G_t}{G_j}\right) \cdot \left(\frac{B_j}{B_r}\right) \cdot \left(\frac{S}{J}\right)_{\text{min}}^{-1} \quad (4.34)$$

şeklini alır [8].

#### 4.4. Sistem Kayıplarının ve Atmosferin Etkisi

Sistem kayıpları ve Atmosfer etkileri göz önüne alınarak, alıcıya ulaşan yankı işareti (S) bağıntısı,

$$S = \frac{P_t \cdot G_t \cdot \lambda^2 \cdot e^{-\gamma R}}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L_s} \cdot \frac{T_t}{\tau} \quad (4.35)$$

olarak verilir.

Burada,

$P_t$  : Vericinin (verici anten girişine giren) darbe gücü,

$G_t$ : Verici antenin kazancı (verici ve alıcı için ayrı anten kullanıldığı kabul edilirse),

$\lambda$  : Yayınlanan elektromanyetik enerjinin dalga boyu

$L_s$ : radar sistemlerinin kayıpları,

$$L_s = L_t + L_x + L_n + L_r + L_p + M + L_i + L_f + L_d + L_o$$

$L_t$  : Transmisyon hatlarındaki kayıplar,

$L_x$  : Sinyal işleme kayıpları,

$L_n$  : Anten kayıpları,

$L_r$ : Alıcı hatlarının kaybı,

$L_p$ : Demet şekillendirme kaybı,

$M$ : Uyumlu filtre faktörü,

$L_i$ : Toplama kaybı,

$L_f$ : Vericiden yayınlanan frekans veya faz modülasyonlu genişletilmiş darbe genişliği,

$\tau$  : Sıkıştırma darbe genişliği

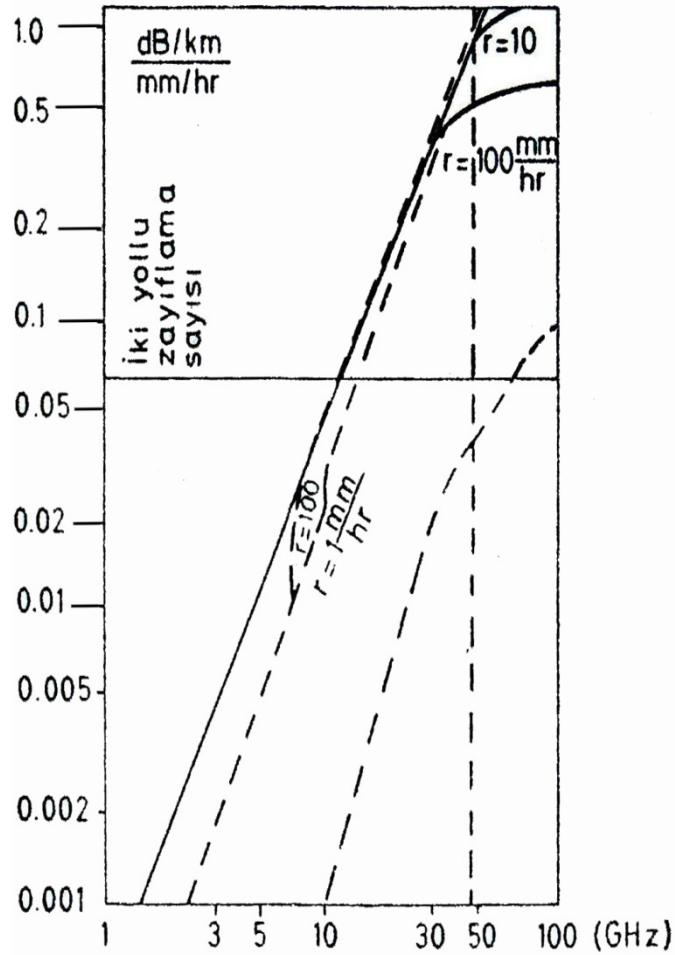
$(T_t/\tau)$  : Darbe sıkıştırma oranı (Pulse-compression ratio),

$e^{-\gamma R}$ : Radar işaretinin R uzaklığı için iki yollu atmosferik zayıflaması'dır [8].

#### 4.4.1. Radar işaretlerinin atmosferik katsayısı

Atmosferik ortamın yoğunluğuna göre, Örneğin, kuru, sisli, yağmurlu ve karlı oluşu veya atmosfer tabakalarının yüksekliğine bağlı olarak, elektromanyetik dalga enerjisi giderken (iki yönlü) atmosfer tarafından yutulularak zayıflatılır.

Atmosferde yağmur ortamında, radar işaretinin zayıflaması zaman birimi olarak saatteki yağmur birikme yüksekliği veya hız için kilometre başına yağmurun radar işaretlerinin zayıflama sayısıdır.



Şekil 4.1. Frekansa bağlı olarak yağmur radar işaretinin zayıflatması [8].

Atmosferdeki yağmur taneciklerinin radar işaretlerini yutması dolayısıyla iki yönlü yağmur zayıflatmasıdır [8]. Işınlandırma frekansı ve yağmur birikme hızına bağlı olarak atmosferik ve yağış azalmasına bağlı azalma,

$$L_a = 10^{L_{dB}/20} \quad (4.36)$$

$$L_{dB} = K_a \cdot R_E \cdot (1 - e^{-R/R_E}) + r \cdot K_{aR} \cdot R \quad (4.37)$$

$R_E$  :  $\phi_c$  'den hesaplanan menzil parametresi,

$K_{aR}$  : Hava katsayısı (dB/km),

$r$  : Yağmur birikme hızı (mm/saat),

$R$  : İki yönlü atmosferik zayıflama faktörü'dür.

$$\phi_c = \phi_t + \frac{2.5 \cdot 10^{-4}}{\phi_t + 0.028} \quad (4.38)$$

$$R_E = \frac{3}{\sin(\phi_c)} \quad (4.39)$$

bağıntısıyla verilir [13].

#### 4.5. Düzensiz Yankı İşaretlerinin Etkisi

Hedefler, daima deniz ve kara yüzeyinde veya hava ve uzayda bulunacağından hedeflerin radar alıcısına gelen yankı işaretleri buldukları ortamların düzensiz yankı işaretleriyle karışmış olarak alıcının girişine ulaşır. Bu durum, radar ölçme uzaklığını oldukça sınırlar. Bozucu işaretlerinin olmadığı ve düzensiz yankı işaretlerinin (Clutter) alıcının ısısal gürültüsünden çok daha büyük olduğu durumlarda, işaret düzensiz yankı oranı (Signal to Clutter ratio-SCR) radarın maksimum ölçme uzaklığını ( $R_{maks}$ ) belirler. İşaret düzensiz yankı oranı; hedeften gelen yankı işareti gücünün, düzensiz yankı işaret gücü ile orantılıdır [14].

Bölüm 4.4'te radar alıcısına ulaşan yankı işareti Eş. 4.35'te gösterilmişti. Aynı radar ile yer yüzey parçası ışınlandırılırsa, yer yüzeyinden yansiyıp radar alıcısına gelen düzensiz yankı (C),

$$C = \frac{P_t \cdot G_t^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma^0 \cdot \frac{\theta_{ya}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{c \cdot \tau}{2} \cdot e^{-\gamma R}}{(4\pi)^3 \cdot R^3 \cdot L_s} \cdot \frac{T_t}{\tau} \quad (4.40)$$

şeklinde yazılır [8].

Burada,

$\sigma^0$ : Yer yüzey parçasının birim yüzey ölçümü başına düşen radar kadar saçılma yüzeyi.

$$\sigma^0 = \gamma \cdot \sin\emptyset \quad (4.41)$$

Burada,

$\gamma$  : Işınlandıran yüzey parçasının yansıtma sayısı,

$\emptyset$  : Anten ışın demetinin yeryüzünü sıyırma (grazing) açısı,

$\theta_{ya}$ : Anten ışın demetinin (iki yönlü) yarı değer etkin yatay genişliğidir' dir.

Eğer düzensiz yankı yaklaşık olarak düzgün (uniform) dağılmış ise, düzensiz yankı işareti, radar çözüm hücresiyle ışınlandırılan yüzeyin alanına bağlıdır. Kara veya deniz yüzeysel düzensiz yankı işareti gücünün radarın ışınlandığı alana oranı ( $\sigma^0$ ) ortamın düzensiz yankı işareti dağılma sayısı veya ortamın radar kesiti olarak tanımlanır. Darbe radarının, hedefi ve ortamın yüzeyini alçak bir sıyırma açısıyla  $\emptyset$  ışınlandığı durum için, Eş. 4.35 ve Eş. 4.40'ı kullanarak (S/C) bağıntısı,

$$\frac{S}{C} = \frac{\sigma}{\sigma^0 \cdot R^2 \cdot \theta_{ya} \cdot c \cdot \left(\frac{\tau}{2}\right)} \quad (4.42)$$

olarak bulunur. Buradan Radar Menzil Bağıntısı,

$$R_{\text{maks}}^2 = \frac{\sigma}{\left(\frac{S}{C}\right)_{\text{min}} \cdot \sigma^0 \cdot \theta_{ya} \cdot c \cdot \left(\frac{\tau}{2}\right)} \quad (4.43)$$

şeklinde yazılır. Eş. 4.43'te maksimum radar menzili için, işaretin düzensiz yankı oranının minimum değerini kullanmak gerekirken, güvenilir bir radar algılaması için işaretin düzensiz yankı oranının yeteri kadar büyük olması gerekir.

Düzensiz yankı işareti, alıcı tarafından, tarama (scan) başına düşen darbe toplamıdır. Eğer, darbeden darbeye düzensiz yankı işaretleri birbiriyle korelasyonlu ise, darbe toplama ile düzensiz yankı işareti değerinde bir artış olmaz. Darbe toplama sonunda düzensiz yankı işareti artma elde edebilmek için, düzensiz yankı işaretlerinin darbeden darbeye korelasyonunu bozmak gerekir. Bu nedenle, vericinin taşıyıcı yüksek frekansı kaydırılır. Bu kaydırma, en az alıcının son ara frekansının band genişliği (alıcının band genişliği) kadar olmalıdır. Verici frekansının bu şekilde kaydırılmasına, frekansın hızlı değişmesi (frequency agility) veya frekansın atlaması (frequency hopping) denir.

Düzensiz yankı ortamındaki bir hedefi, güvenilir biçimde algılayabilmek için; anten ışın demetinin ( $\theta_{ya}$ ) dar ve radar ışınlandırma darbelerinin kısa olması gerekir.

Bir darbe radarının, hedefi ve ortamın yüzeyini  $90^\circ$ 'ye yakın bir sıyırma ( $\emptyset$ ) ışınlandırıldığını düşünürsek, işaret düzensiz-yankı oranı (S/C) bağıntısı yeniden düzenlenerek,

$$\frac{S}{C} = \frac{\sigma \cdot \sin \emptyset}{\sigma^0 \cdot R^2 \cdot \Omega_b} \quad (4.44)$$



şeklini alır.

Burada,

$\Omega_b$ : Anten ışın demetinin steradyan olarak yarı değer genişliği,

Bu bağıntıdan, Eş. 4.18'i kullanarak; Radar Menzil Bağıntısı,

$$R_{\max}^2 = \frac{\sigma \cdot G_t \cdot \sin \emptyset}{\sigma^0 \cdot 4\pi \cdot \left(\frac{S}{C}\right)_{\min}} \quad (4.45)$$

şeklinde yazılır.

Eğer düzensiz yankı (clutter echo), yağmur veya radar çözüm hücresi hacmi (volume of the radar resolution cell) boyunca düzgün dağılımlı küçük meteorolojik parçalardan oluşuyorsa ve radar vericisiyle ışınlandırılan birim hacimdeki düzensiz yankı radar kesiti (clutter echo cross section per unit volume)  $\eta$  ise, buna geri dağılıma sayısı ile işaret düzensiz-yankı oranı (S/C) bağıntısı,

$$\frac{S}{C_r} = \frac{\sigma}{\eta \cdot R^2 \cdot \Omega_b \cdot \left(c \cdot \frac{\tau}{2}\right)} \quad (4.46)$$

şeklinde yazılır ve bu bağıntıya, Eş. 4.18'i katarak da radarın maksimum ölçme uzaklığı,

$$R_{\max}^2 = \frac{\sigma}{\eta \cdot 4\pi \cdot \Omega_b \cdot \left(c \cdot \frac{\tau}{2}\right) \cdot \left(\frac{S}{C}\right)_{\min}} \quad (4.47)$$

elde edilir [8].

#### 4.6. Swerling Durumları

Kompleks yapıdaki cisimler için ise, RKA değeri bakış istikametine göre farklı değerler alabilir. Bu yapıdaki bir hedefin, radara göre duruş konumu RKA değerini belirler. Kompleks yapıdaki hedefin, radara göre konumunun RKA değerini tayin etmesi, hareketli hedefler için radar menziline hesaplanmasında, RKA nasıl alınacağı sorusunu gündeme getirir. Bunun çözümü de Swerling RKA Modelleri kullanılarak yapılmaktadır.

Swerling, hedeflerin radar kesitlerinin olası dalgalanması durumunu, dört ayrı Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonlarıyla tanımlanır [9]. Bu fonksiyonlar;

Swerling durum (case) 1: Bu tip dalgalanmada, RKA değeri bir tarama süresince tüm darbelerde aynı olup, taramadan taramaya değişen hedefleri modeller, değişim yavaştır. Olasılık yoğunluk fonksiyonun bağıntısı ise aşağıdaki gibidir,

$$p(\sigma) = \frac{1}{\sigma_{av}} \exp\left(-\frac{\sigma}{\sigma_{av}}\right), \quad \sigma \geq 0 \quad (4.48)$$

$\sigma_{av}$  : hedefin ortalama RKA değeri,

Swerling Durum (Case) 2: Bu tip dalgalanmada, RKA değeri darbeden darbeye değişen hedefleri modeller. Değişim hızlıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun bağıntısı durum 1 ile aynıdır.

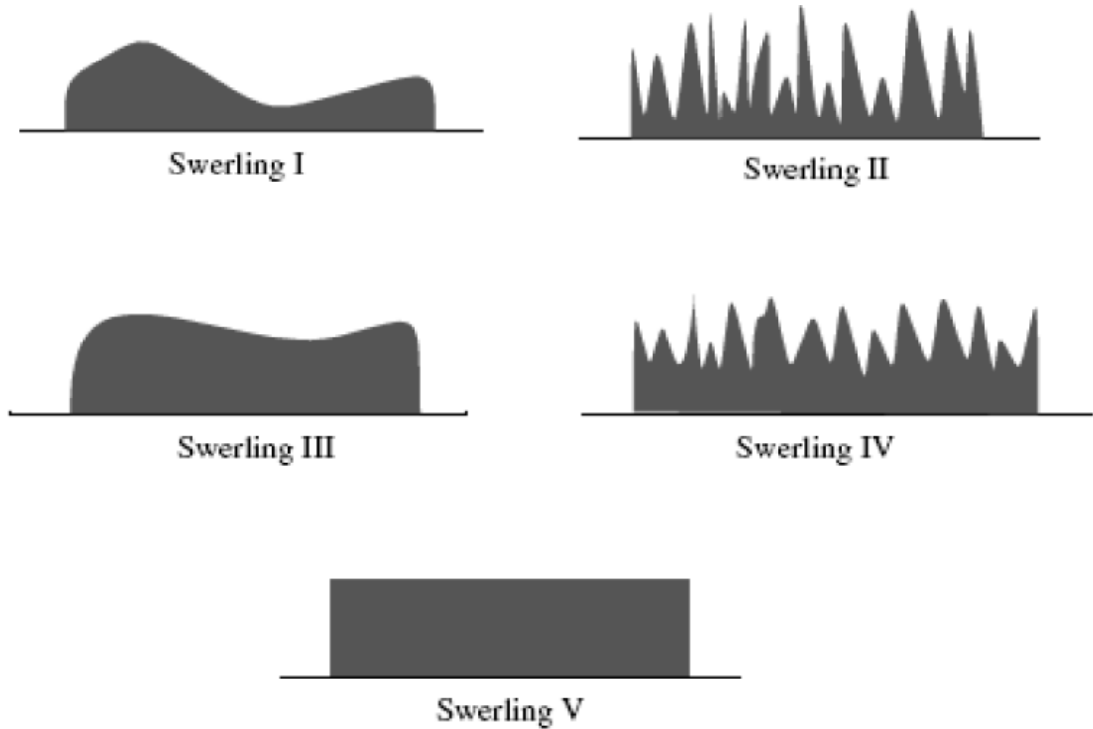
Swerling Durum (Case) 3: Durum 1'deki gibi RKA değeri taramadan taramaya değişir. Olasılık yoğunluk fonksiyonun bağıntısı ise aşağıdaki gibidir [9].

$$p(\sigma) = \frac{4\sigma}{\sigma_{av}^2} \exp\left(-\frac{2\sigma}{\sigma_{av}}\right) \quad (4.49)$$

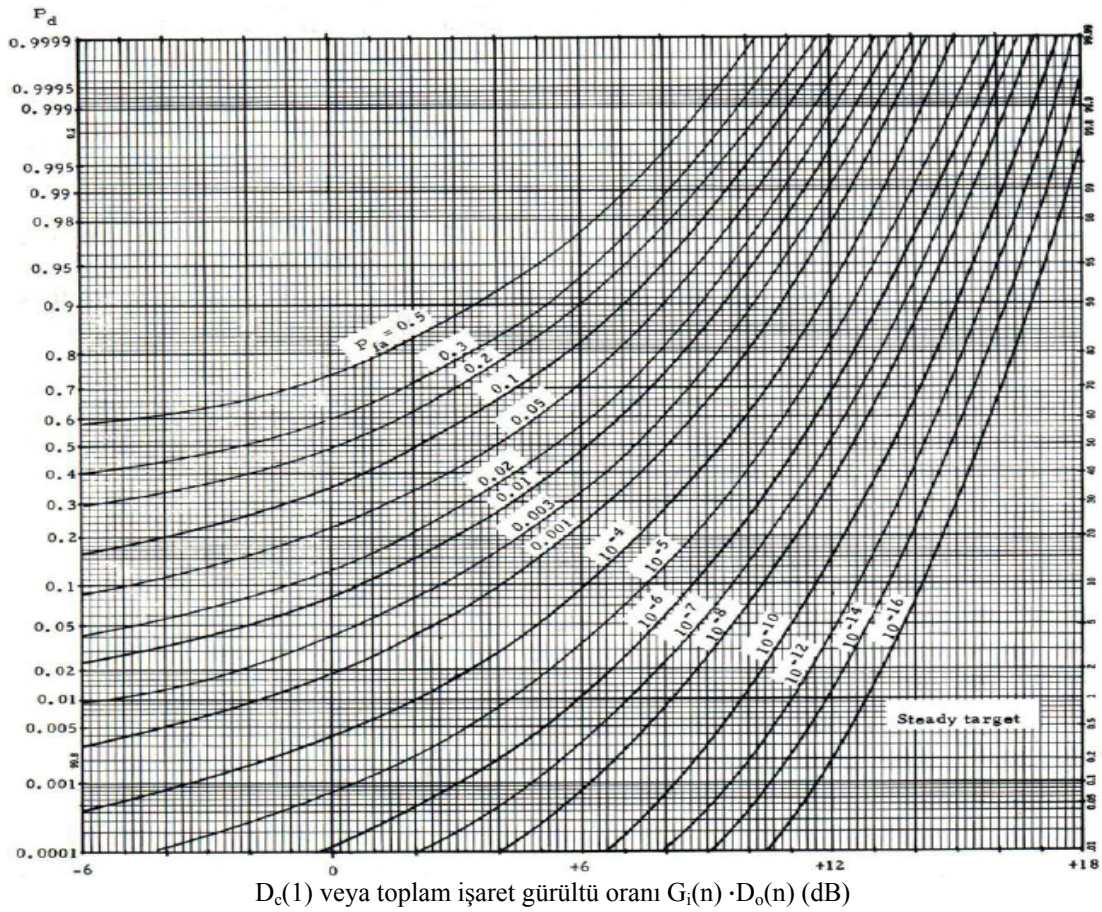
Swerling Durum (Case) 4: Durum 2'deki gibi, RKA değeri darbeden darbeye değişir. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun bağıntısı ise, durum 3 ile aynıdır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonunda da görüldüğü gibi; Swerling 1 ve 2 durumları, eşit değerli saçıcı yüzeylerden oluşan karmaşık hedefleri modellemekte kullanılır. Swerling 3 ve 4 durumları ise, bir büyük RKA'nına saçıcı yanında daha küçük RKA'li saçıcılardan oluşan karmaşık hedeflerin modellenmesinde kullanılır [9]. Bu dört duruma ilave olarak beşinci bir Swerling durumu vardır.

Swerling Durum (Case) 5: RKA değeri değişmeyen hedefleri modeller. Bu hedeflere durağan (steady) hedefler de denir. Şekil 4.2'de farklı Swerling durumları gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Radar için farklı Swerling durumları [15].



Şekil 4.3. Durağan hedefler için algılanabilirlik faktörü [16].

Durağan hedefler ve hareketli hedefler için işaret gürültü oranı bulunabilir, tüm Swerling durumları için, istenilen algılama olasılığı ve yanlış-alarm olasılığına göre, işaret gürültü oranı ve algılanabilirlik faktörle bulunabilir.

Örnek olarak algılama olasılığı 0.9 olsun ve yanlış alarm olasılığı  $10^{-6}$  olsun ve toplanan darbe sayısı 24 olsun. Şekil 4.3'ten durağan hedefler için tek darbe algılanabilirlik faktörünü 13.2dB olarak bulunur [16].

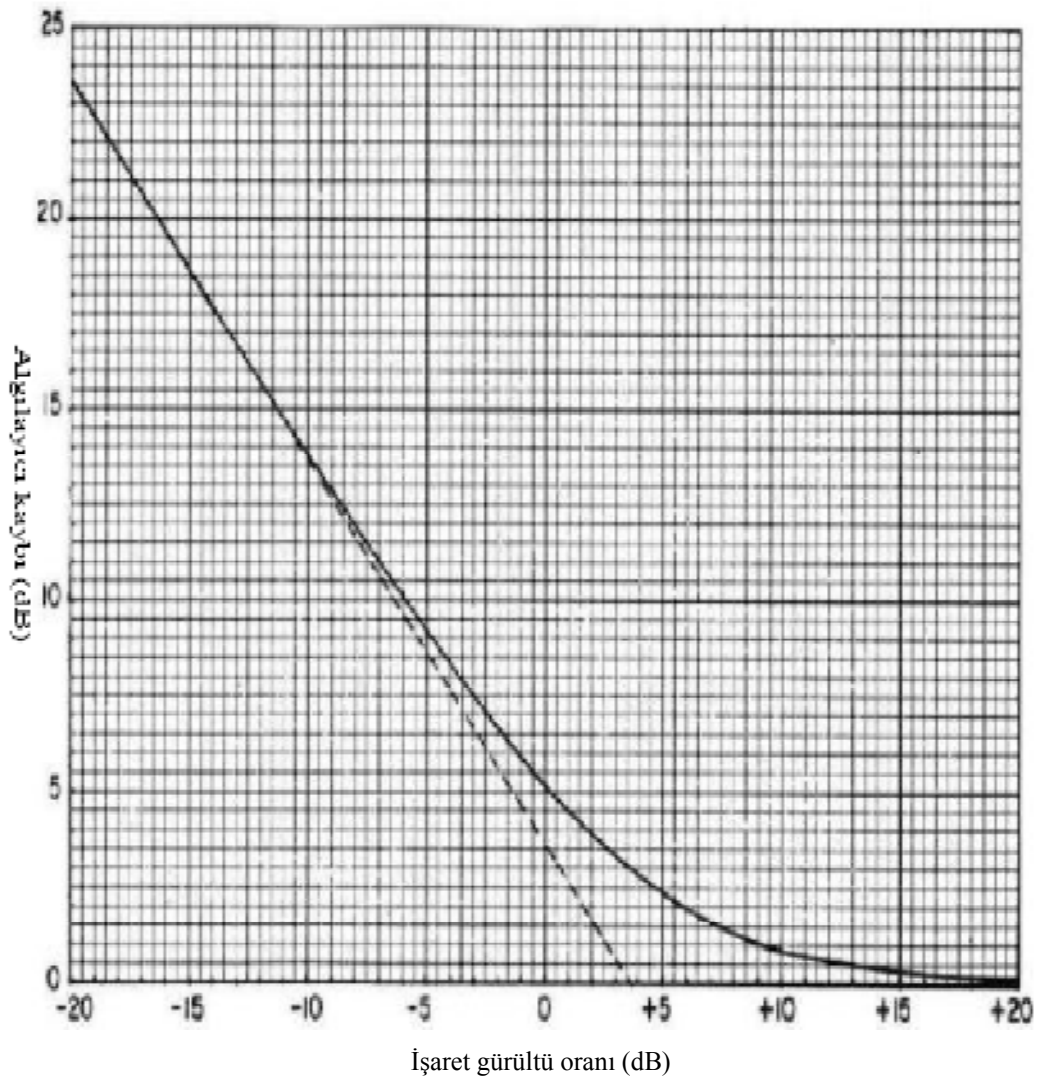
Algılayıcı kaybı ise Eş. 4.50

$$C_x(1) \equiv \frac{D_o(1)}{D_c(1)} \approx \frac{\left(\frac{S}{N}\right) + 2.3}{\left(\frac{S}{N}\right)} \quad (4.50a)$$

veya

$$C_x(1) \equiv \frac{D_o(1)}{D_c(1)} \approx \frac{D_o(1) + 2.3}{D_o(1)} \quad (4.50b)$$

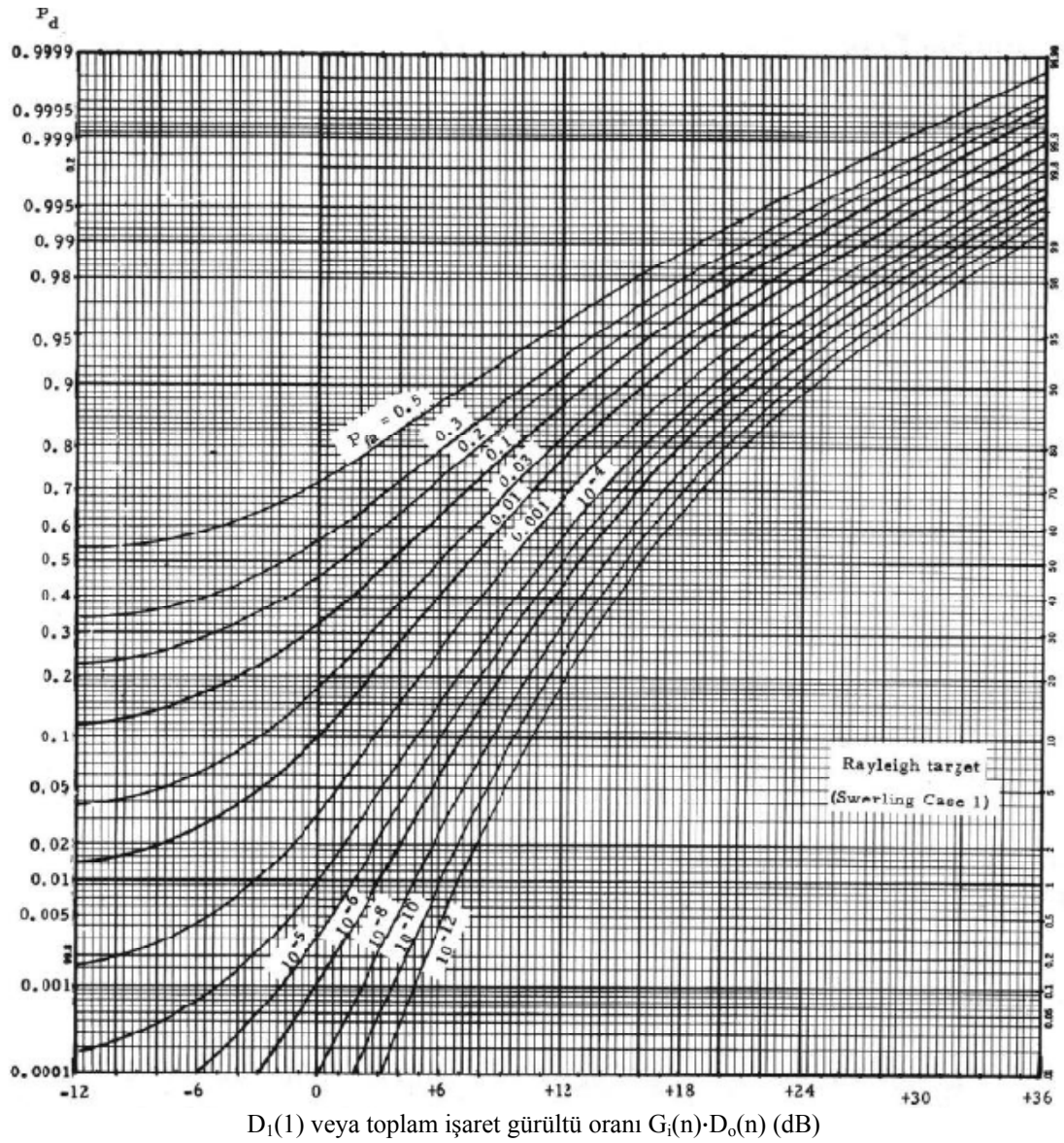
biçiminde bulunabilir.



Şekil 4.4. İşaret gürültü oranına göre algılayıcı kaybı [16]

Şekil 4.4'ten toplam algılayıcı kaybı  $C_x(1)$  0.4 dB olarak bulunur. Hareketli hedefler için algılanabilirlik faktörü Şekil 4.5'da gösterilmektedir. Tipik bir radar, algılama olasılığı ( $P_d = 10^{-6}$ ), yanlış alarm olasılığı milyonda bir ( $P_{fa} = 10^{-6}$ ) ve toplanan darbe

sayısı 24 olsun. Hareketli hedefler için işaret gürültü oranını, Swerling durum 1'i inceleyerek şekil 4.5'te tek darbe algılanabilirlik faktörü  $D_1(1)$  değeri 21.3 dB olarak bulunur[16].



Şekil 4.5. Hareketli hedefler için Swerling durum 1'de tek darbe algılanabilirlik faktörü [16].

## 5. ELEKTRONİK HARP

Elektronik harp, amacı elektromanyetik spektrumu kontrol etmek olan askeri bir faaliyettir. Bu amaca ulaşmak için hem taarruz olarak hem de savunmaya yönelik elektronik korunma faaliyetlerine gereksinim duyulur. Elektronik Harp sahasının kapsadığı başlıca üç alt dal elektronik taarruz, elektronik korunma ve elektronik harp desteğidir [13].

### 5.1. Elektronik Taarruz

Elektromanyetik spektrumu kontrol etmek maksadıyla EM yayınların aranması, tespit edilmesi, teşhis edilmesi, EM spektrumunun düşman tarafından kullanılması önlenmesi veya azaltılması, EM ve yönlendirilmiş enerji kullanılarak taarruz edilmesi ve kendi kuvvetlerimiz tarafından EM spektrumunun en iyi şekilde kullanılmasını sağlayan bir faaliyettir. Elektronik taarruz, doğrudan düşmanın savaş gücüne hücum etmek için elektromanyetik spektrum ya da yönlendirilmiş enerjinin doğrudan doğruya taarruza ait kullanımı üzerinde yoğunlaşır. Elektronik taarruz, anti-radyasyon füzeleri ve yönlendirilmiş enerji silahlarının imha yetenekleri (imha- 'hard kill') ile düşman silahlarını indirgemek ya da etkisiz hale getirmek için elektronik karıştırma ve aldatma gibi yıkıcı olmayan faaliyetleri (etkisiz bırakma- 'soft kill') bir araya getirir. Karıştırma, düşmanın elektromanyetik spektrumu kullanımını tahrip etmek, kesintiye uğratmak ya da ona zarar vermek amacıyla elektromanyetik enerjinin kasti olarak yayılması, tekrar yayılması ya da yansıtılması olarak tanımlanmıştır; aldatma ise kasti olarak yanıltıcı bilgi aktarmak ya da düşmanın elektronik altyapıya sahip silahlarının kullanımında yararlı olacak geçerli bilgiyi kullandırtmamak amacıyla elektromanyetik enerjisinin kasti olarak yayılması, tekrar yayılması, değiştirilmesi, baskı altına alınması, absorbe edilmesi, reddedilmesi, arttırılması ya da yansıtılması olarak ifade edilmiştir. Bir taktik ortamında ise karıştırma sinyalleri düşman faaliyetlerine maruz bırakılır.

Elektronik taarruzun tahrip gücü elektronik harp alanında diğer konulara nazaran daha yeni bir kavramdır. ARM'ler son zamanlarda görülen uyuşmazlıklarda etkili

olmuştur ve tahrip edici elektronik taarruz alanında en gelişmiş yöntemdir. Yönlendirilmiş enerji silahları elektronik teçhizatı imha etmek ya da kullanılmaz hale getirmek için lazer ya da yüksek taktikli mikrodalga vericiler kullanır [13].

### **5.1.1. Elektronik taarruzun radar üzerindeki etkisi**

Radarlara elektronik taarruz olarak, tahrip amaçlı ARM veya yönlendirilmiş enerjiyi, tesirsiz hale getirmek amacıyla da elektronik karıştırma kullanılabilir.

Radara uygulanan gürültü karıştırmasında, radar anteninin tarama örtüsüyle uyumlu olarak ters kazanç fonksiyonu kullanan rastgele darbe karıştırması ile, karıştırılan sektörde düzgün karıştırma örtüsü sağlanır. Karıştırma radarın darbe yayını ile de uyumlu yapılarak, karıştırma sektöründe tehditlerin örtüsünün de tespiti engellenir. Bu durumda radarın, karıştırma işaretini işleme tabi tutmadan hedefleri tespiti güçleşir.

Arama radarlarına karşı kullanılan üç yaygın ET yöntemi vardır. Bunlardan ilki korunma karıştırmasıdır. Korunma karıştırması Bölüm 5.4.3'te açıklanmıştır.

İkinci en yaygın ET yöntemi çaf'tır. Çaf radar işaretinin dalga boyunun yarısı uzunluğunda, çok sayıda dipol'den oluşur. Hedefin perdelenmesi amacıyla kullanılır. Uzun süre etkileri devam ettiği için, kullanımları ekonomiktir. Rüzgârdan çok etkilenmeleri sebebiyle hassas planlamaya ihtiyaç duyulur. Ancak yine de Elektronik taarruz planlayıcıları için çaf etkin bir yöntemdir. Üçüncü en yaygın elektronik taarruz yöntemi uzaktan karıştırma'dır. Bu yöntem ise daha sonra verilmektedir.

### Elektronik taarruzun gözetleme radarına etkisi

Gözetleme ya da arama radarları, hem askeri hem de sivil uygulamalarda kullanılan en yaygın radar türüdür. Bu radarların görevi, geniş bir hava sahasını taramak ve arama için ayrılan bölge dâhilindeki hedeflerin konumunu belirlemektir. Gözetleme radarları tarafından üretilen hedef raporları hedef izleri oluşturmak için işlenebilir.



Arama esnasında hedef izleyebilen bu radarlar tarafından oluşturulan söz konusu hedef-takip vektörleri, belirlenmesi gereken hedeflerin kesin hareket özelliklerini mümkün kılar. Hedefin hareket özellikleri bu aşamadan sonra hedefin sunduğu bağlantılı tehdidi belirlemek ve hedefin gelecekteki konumunu tahmin etmek için kullanılır.

Gözetleme radarıyla bağlantısı olan radar veri-işlem fonksiyonu genel olarak radarın hedefi denemesi gereken veri oranını belirler. Tek bir radar veri işlemcisi uzamsal olarak dağıtılan birkaç radar tarafından ya da radar vericisini tamamlayıcı diğer algılayıcılarla (elektro-optik, IR-kızılötesi) birleştirmek için kullanılabilir [13].

#### Elektronik taarruzun izleme radarına etkisi

İzleme radarının geleneksel yapısı tek bir hedefin yolunu takip etmeye ve bu hedefin konumunu küresel koordinat sisteminde değerlendirmeye dayalıdır. Hedefin konumu, radar antenini azimut ve yükselti şeklinde hareket eden servo kontrol döngüler kullanan açı ile izlenir. İzleme radarı hareket eden bir platform üzerinde bulunduğundan (örn. Gemi, uçak yada güdümlü mermi), gyro engelleyici döngüler aynı zamanda azimut ve yükseltelerde de araç hareketini ortadan kaldırmak için kullanılır. Çoğu durumda, izleme radarı değerlendirilen konum bilgilerini ayırt ederek elde edilen hız bilgilerini temin eder. Uygun başlangıç açısının belirlenmesinde yararlı olan hız bilgileri, hedefin daha sonraki konumunun belirlenmesi için kullanılır [13].

#### Elektronik taarruzun muharebe üzerindeki etkisi

Muharebe sistemleri, modern askeri stratejide hayati bir rol oynar. Bu sistemler öncelikli olarak komutanın kuvvetleri üzerinde kontrol sahibi olduğu bir geniş hat oluşturur. Daha da fazlası bu sistemler, hareket alanı bilgisinin tüm kademelere gönderilmesini mümkün kılarak, kuvvet kullanımı ve ilerlemeyle ilgili olarak uygun zamanlı ve etkili karar verilmesini sağlar. Son işlevi genel olarak ‘durumdan haberdar olma’ (situational awareness) olarak adlandırılan bir alanın temel

bileşenidir. Bu, ortamda bilginin tespit edilmesi, bilginin mevcut durumun bileşik resmini oluşturmak için ilgili bilgiyle işleme sokulması ve bir karar vermek ya da daha ileri bir keşif gerçekleştirmek için bu resme göre hareket edilmesi olarak tanımlanabilir [13].

## **5.2. Elektronik Korunma**

Elektronik harbin bu bölümü personeli, tesisleri ve teçhizatı dostça savaş gücünü indirgeyen, etkisiz hale getiren ya da yok eden elektronik harbin, dost ya da düşmanca kullanımın tüm etkilerinden korumak için yapılan hareketleri içerir.

## **5.3. Elektronik Harp Desteği**

İstihbarat sağlamak ve tehdit değerlendirmesine yardımcı olmak amacıyla yürütülen faaliyetler, Elektronik Destek (Electronic Warfare Support, ES) olarak isimlendirilir. Bu faaliyetler hem elektronik taarruz hem de elektronik savunmayı destekler.

Elektronik harp sisteminin edilgen bölümü olan elektronik destek, askeri operasyonları desteklemek amacıyla, karşı tarafın ışınladığı magnetik enerjiyi kesip yakalayıp, yönünü ve mümkünse konumunu belirlemek, kayda geçirmek ve analiz etmek gibi işlemleri içerir.

Elektronik Destek, enerjiyi kesip alan veya uyarıcı alıcılara uygulanmasına dayanır ve çoğu zaman, taktik ve stratejik duyuların bilgilerine güvenilir.

Kendi radar sistemiyle uyumlu çalışmak zorunda olan Elektronik destek sistemi, karşı tarafın radar ve karıştırma işaretlerini algılayıp analiz eder. Elektronik Destek ölçümlerinin yapıldığı ortamda, çok yüklü radar darbeleri bulur. Elektronik destek alıcısı, algıladığı her darbe için, taşıyıcı merkez frekansı, genliği, darbe genişliğini geliş zamanını ve yönünü belirler. Belirlenen değerler darbe ayırt eden ve düzene sokan bir işleyici verir. Bu işleyici, gelen darbeleri kaynaklarına göre, darbe

tekrarlama aralıklı darbeler biçiminde düzenler. Bundan sonra, bellekte depo edilmiş olan radar tipleriyle karıştırılarak, taktik önemlerine göre sınıflandırılan tehdit listesinin hazırlanmasına olanak sağlar.

Alınan tek bir radar darbesi, ölçülebilen parametrelerle sınıflandırılır. Yukarıda sözü edilen ayırt eden, dizen, düzenleyen sistemin tasarımında bu ölçmelerin doğruluğu, çözümü ve elde edilmesi göz önüne alınmalıdır. Ölçmeler ne kadar doğru ve çözüm ne kadar yüksek olursa işleyici sistemin işi de o derecede kolay olur. Ayrıca, ölçme işleminde, Elektronik Destek sisteminin dışından (örneğin, çok yol), sistemin içinden (örneğin, zamanlama sınırlamaları, alırken ölü zaman) ve masraf düşüncelerinden gelen sınırlamalar vardır. Darbeden darbeye hedefin yönü değişmediğinden, enerjinin geliş açısı, ayırt etme ve dizme işlemi için elde edilen en iyi ayırma ve dizme parametresidir.

Ayrıca, ayırt edilecek en önemli parametre gelen enerjinin taşıyıcı frekansıdır. Frekansı ölçmek için uygulanan ortak bir yöntem, yüksek duyarlılık ve iyi frekans çözümüne sahip olan, taşıyan bir superheterodin alıcı kullanılır. Bu durumda gelen enerjiyi yakalama olasılığı düşer. Eğer Elektronik Karıştırıcı ışınlandırıcısı, rastgele hızlı frekans değişmesi veya frekans atlama uyguluyorsa, durum daha da kötü olur. Bu sorunun üstesinden gelmek için, bir dizi komşu alıcı kanalı kullanılabilir.

Darbe geliş zamanı, bir eşiği atlama zamanı olarak belirlenebilir. Fakat bu ölçme, darbenin bozulmuş olmasından ve gürültünün varlığından çok değişik olur. Ayrıca, darbenin genliği, tepe değeri olarak alınır. Işınlandırıcının tarama yönlendirilmesini çıkartmak için darbe geliş zamanı ile birlikte genlik ölçmesi uygulanır [17].

Radar işaretlerini yakalayan alıcılar birçok karmaşıklıkta yapılmaktadır. En basiti, uçağa yerleştirilmiş radar uyarı alıcısıdır. Bu alıcı, bir füze radarı gibi tehditlerin uçağa göre yönünü kokpitteki bir ekrana vererek tehdidin varlığından pilotu haber eder.

#### **5.4. Radarın Elektronik Karıştırılması**

Karıştırma genel olarak, tehdidin elektromanyetik spektrumu kullanmasına engel olmak, zarar vermek veya kısaltmak amacıyla, elektromanyetik enerjinin yayınlanması, yeniden yayınlanması veya yansıtılması olarak tanımlanır.

Radara karşı uygulanan elektronik karıştırmanın genel olarak amacı, algılama etkinliklerini ortadan kaldırmak veya azaltmaktır. Elektronik karıştırma, elektronik taarruz kapsamında, gürültü karıştırılması ve adatıcı karıştırma olarak gerçekleştirilir.

##### **5.4.1. Gürültü karıştırılması**

Gürültü karıştırılmasının amacı, düşmanın elektronik teçhizatına bir parazit sinyali sokarak gerçek sinyalin tamamen, bu parazit ile yok edilmesini sağlamaktır. Bu tür karıştırmaya, ret karıştırması ya da belirsizleştirme karıştırması da denilebilir. Prensipte optimal karıştırma sinyali alıcı gürültüsünün özelliklerine sahiptir.

Gürültü karıştırmanın başlıca avantajı düşman teçhizatı hakkında sadece çok az ayrıntının bilinmesi gerekmektedir. Gürültü karıştırmasının uygun bir sınıflandırması, karıştırma sinyal bant genişliğinin hedef teçhizatının band genişliğine kabulüne oranıdır. Bu orana büyük olduğunda sinyale baraj karıştırması; oran küçük olduğunda da nokta karıştırması adı verilir [13].

##### **5.4.2. Aldatma karıştırması**

Bir radara karşı kullanılan biçimde aldatma ET (DECM) sisteminin amacı, hedef sisteme gerçek sinyalin uygun biçimde değiştirilmiş kopyalarının gönderilmesi yoluyla gerçek hedefi gizlemektir. DECM hem arama, hem de izleme radarlarına karşı kullanılabilir. Bu ET türünün başlıca avantajı, tüm karıştırma gücünün hedef radar tarafından absorbe edilmesi ve radarın işlem kazancının kısmen ya da tamamen tersine çevrilmesidir (negated). DECM sinyali radarın sinyal işlemcisine nüfuz

ettiğinden, bu durum bu radar fonksiyonuna yapılan doğrudan bir saldırı olarak değerlendirilebilir.

Aldatma türü karıştırma dalga şekillerinin karıştırma enerjisinin arama radarlarına karşı dâhil etkili kullanım potansiyeli bulunmaktadır. Arama radarlarına karşı, tekrarlayıcı ya da aldatma ET sisteminin radar dalga şeklinin temel spektral ve geçici özelliklerini saklaması gerekir. Bu aşamadan sonra sistemin, radarı şaşırtmak için yeterli düzeyde sahte hedefler oluşturulması için radar, radarın tarama ve dalga biçimi ile senkronize olan sentetik hedefler üretmesi gerekir. Gürültü karıştırıcılarına geldiğinde bu faaliyetler, en kolay şekilde karıştırma sinyalleri radar anten yapısının ana lobuna enjekte edildiğinde uygulanır. Ancak yan lob, aldatma karıştırıcının yönünde yanıp sönmeyi engellemek için büyük oranda tercih edilirler [13].

#### **5.4.3. Karıştırma yöntemlerinin harekâttaki kullanım şekilleri**

Karıştırma yöntemleri harekâtta üç temel şekilde kullanılır.

##### Korunma karıştırması (SSJ)

Bir radarın hedefi durumundaki uçağın, kendisinin algılanmasını engellemek amacıyla, bu radara karşı yaptığı karıştırma işlemine Korunma Karıştırması denir. Korunma karıştırması amacıyla, gürültü veya aldatma karıştırması kullanılabilir.

##### Eskort karıştırması

Bir radarın hedefi durumundaki uçağın algılanmasını engellemek amacıyla, hedefin yakın kolunda uçan diğer bir uçak tarafından, radara karşı yapılan karıştırma işlemine Eskort Karıştırması denir. Eskort Karıştırma amacıyla, gürültü veya aldatma karıştırması kullanılabilir.

##### Uzaktan karıştırma (SOJ)

Hedef durumunda bulunan uçakları destekleyen EH taarruz uçaklarının destekledikleri uçakların bir radara uyguladıkları karıştırma işlemine Uzaktan

Karıştırma denir. Uzaktan karıştırma amacıyla, genellikle gürültü karıştırması kullanılır. Bunun nedeni, uzaktan karıştırmanın genellikle yan demetten yapılmasıdır.

#### **5.4. PD Radarlarına Karşı Elektronik Taarruz**

PD radarı ET'a karşı genellikle iyi bir direnişe sahiptir. Doppler frekansındaki hedefleri çözebilme yeteneği, Çaf ve hedef yansımasından bir Doppler filtre band genişliğinden daha fazla ayrılan diğer doğrulanan müdahalenin geri çevrilmesini mümkün kılar. PD uygulamasının eşleştirilen filtre açısı gürültü karıştırması sırasında hedef karıştırma oranını en iyi şekilde kullanan uyumlu entegrasyonun etkisi sağlar. Bir PD radarının doğrudan Doppler ölçme yoluyla ve menzil ölçümlerini ayırt etmesiyle radyal hedef hızı çıkarabilmesi, bir aldatma karıştırıcısının taklit edilen hedef yansıması üzerinde gerçekçi bir Doppler parmak izi oluşturmasını gerekli hale getirir. Bir PD radarının ürettiği çok sayıdaki pals tehdit radarını tanımlamak için pals dizilerinin aralara sokulmasının durdurulmasına dayanan birçok EW tespit alıcı türleri için sorun yaratmaktadır.

ET'a karşı en önemli dezavantaj dengeli bir verici frekansının ve Doppler filtre band genişliğinin tersine eşit olan bir zaman için PRF'nin tutulabilmesidir. Bu durum bir karıştırıcıya gönderilen ilk palsın ayarlanabilmesi için ve daha sonra bir nokta karıştırma ya da aldatma modundaki arkadan gelen palsları karıştırmak için yeterli zaman sağlar. Bu modun zayıflığı genellikle ana huzme karıştırıcılarına karşı ortaya çıkmaktadır. Çünkü uygun yan lob azalımı ve kapatması yan lob karıştırıcılarının etkisini azaltmak için kullanılabilir. Ayrıca bir lob kaplama modu, ana radar palsının yayınıyla aynı zamanda bir tali anten yoluyla yan lob yönünde yayılan çoklu sahte frekanslar vasıtasıyla kullanılabilir.

PD radarları güdümlü füze sistemleri için hedeflemeyi sağlamak amacıyla atış kontrol sistemlerin PD radarı güdümlü mermiye (örn. AMRAAM) yerleştirilir ve doğrudan füze kontrol sistemine giden güdümlü bilgiyi sağlamak için çalışır. Yarı aktif PD radarları kullanan diğer sistemler hedefi izleyen aktif PD radarının füzeye yerleştirilen bistatik bir alıcı için bir aydınlatıcı olarak çalışmasını sağlar. Her iki

durumda da hedefi izlemek için, radar da dar 'hız kapıları' (Doppler izleme filitreleri) kullanılır. Aldatma ET sisteminin amacı bu durumda hız kapılarını yakalamak, güdümlü füzenin güdüm bilgisini kaybetmesine neden olmaktadır. Bu VGPO prosedürü PD izleme radarı ve güdümlü mermi arayıcılarına karşı kullanılan klasik bir tekniktir [13].

## 6. RADAR KARIŞTIRMASININ MODELLENEBİLMESİ

Kariőtirmanın analizinin kolay bir Şekilde yapılması amacıyla, literatür tarama çalıŐması yapılarak, bu konuda mevcut bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir.

Yazılımın ana çantasını, giriş parametre değerleri ile yazılım içerisinde bu değerlere göre bulunan, algılanabilirlik faktörü ve atmosferik zayıflama değerleri kullanılarak, incelenen radarın maksimum algılama menzilinın hesabı hem kariőtirmsız hem de kariőtirmada oluŐmaktadır.

Meteorolojik parametre olarak, yağmur yoğunluğuna dayanan yağış oranı istenmektedir. Yazılım radarın verici frekansı, yağış oranı ve zayıflama değerlerine göre, atmosferik ve meteorolojik zayıflamayı hesaplar.

İncelenen radarın algılama performansını belirleyen parametreler radarın çalışma parametreleri, hedef parametreleri, meteorolojik parametre, hedefin korunma kariőtirması parametreleri ve EH taarruz uçaklarının uzaktan kariőtirma parametresidir.

1-Radarın Çalışma Parametresi;

- Vericinin maksimum gücü,
- Vericinin frekansı,
- Vericinin anten kazancı,
- Alıcının anten kazancı,
- Darbe genişliği,
- Gürültü faktörü,
- Radar sistemlerinin kayıpları.



2- Hedef Parametreleri;

- Radar saçılma yüzeyi,
- Yağmur oranı.

4- Karıştırma Parametresi

- Karıştırıcının maksimum gücü,
- Karıştırıcının anten kazancı,
- Karıştırıcının band genişliği,
- Karıştırıcının toplam radar kayıpları.

### 6.1. Karıştırmada Radar Menzil Bağıntısı

Daha önce 4.bölümde karıştırmaz ortamdaki radar menzil bağıntısı sabit değerler Blake tarafından sabit değerler birleştirilirse Eş. 6.1'i elde etmiş oluruz.

$$R_c \text{ (nm)} = 129.2 \cdot \left[ \frac{P_t \text{ (kW)} \cdot \tau_{(\mu\text{sn})} \cdot G_t \cdot G_r \cdot \sigma}{f_{(\text{MHz})}^2 \cdot T_s \cdot \text{SNR} \cdot L_s \cdot L_a} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (6.1)$$

Burada,

$T_s$ : Sistemin etkin giriş gürültü sıcaklığı.

Özel hal olarak  $S/N=1$  alınırsa Eş. 6.1'den Eş. 6.2'yi elde etmiş oluruz,

$$R_o \text{ (nm)} = 129.2 \cdot \left[ \frac{P_t \text{ (kW)} \cdot \tau_{(\mu\text{sn})} \cdot G_t \cdot G_r \cdot \sigma}{f_{(\text{MHz})}^2 \cdot T_s \cdot L_s \cdot L_a} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (6.2)$$

Yukarıdaki Eş. 6.1 ve Eş. 6.2'i birleştirilirse Eş.6.3'ü elde etmiş oluruz,

$$R_{c(nm)} = R_{o(nm)} \cdot 10^{-D_{i(n)}/40} \quad (6.3)$$

Radarın yalnızca hedefin kendi kendini korumasından etkilendiği durumlar için Eş. 6.4 kullanılmaktadır,

$R_{SSO}$  ise sadece kendi kendini koruma karıştırması ve  $S/J = 1$  durumunda ortaya çıkan menzildir,

$$R_{SSO(nm)} = 4.8116 \times 10^{-3} \cdot \left[ \frac{P_t(kW) \cdot \tau_{(\mu sn)} \cdot G_t \cdot B_{jss} \cdot \sigma}{P_{jss}(W) \cdot G_{jss} \cdot L_{sj} \cdot L_a} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6.4)$$

$R_{SSO}$  :Koruma karıştırması için algılama menzili,

$P_{jss}$  : Karıştırıcı gürültü spektral yoğunluk(W/Hz),

$G_{jss}$  : Radar yönünde karıştırıcı anten kazancı,

$L_{sj}$  : Karıştırıcı vericinin gücünün olduğunu nokta ile radar anten terminalleri arasındaki azalmadan kaynaklanan kayıp,

$D_{i(n)}$  : algılanabilirlik faktörü [18].

## 6.2. Simülasyon Sonuçları

Daha önce Eş. 6.2'de karıştırmasız algılama menzili ve kendi kendini koruma karıştırması Eş. 6.4'ü kullanarak radarın maksimum algılama menzil hesabının hem karıştırmasız hem de karıştırmada hesap edilmiştir.

Radar çalışma parametreleri, Hedef parametreleri, Meteorolojik parametreleri ve karıştırma parametrelerini kullanarak radarın maksimum algılama menzili bulunur.

Karıştırmasız ve karıştırma radar menzil bağıntısının birçok işlemi takiben yapılmaktadır. Ancak her hangi bir parametre değiştirildiğinde, buna bağlı olan tüm hesaplamaların sırasıyla yenilenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, karıştırma

analizinin kolay bir şekilde yapılmasında, bu amaçla geliştirilmiş bir bilgisayar yazılımı kullanılmasının sağlayacağı yarar tartışılmaz.

Harekât ortamında kullanılan PD radarının performans bilgisinin planlama açısından büyük önemi vardır. Taktik planlamalar ile harekât planlamalarında taarruz, savunma ve destek amaçlı kullanılan radarların algılama menzil bilgisine ihtiyaç duyulur.

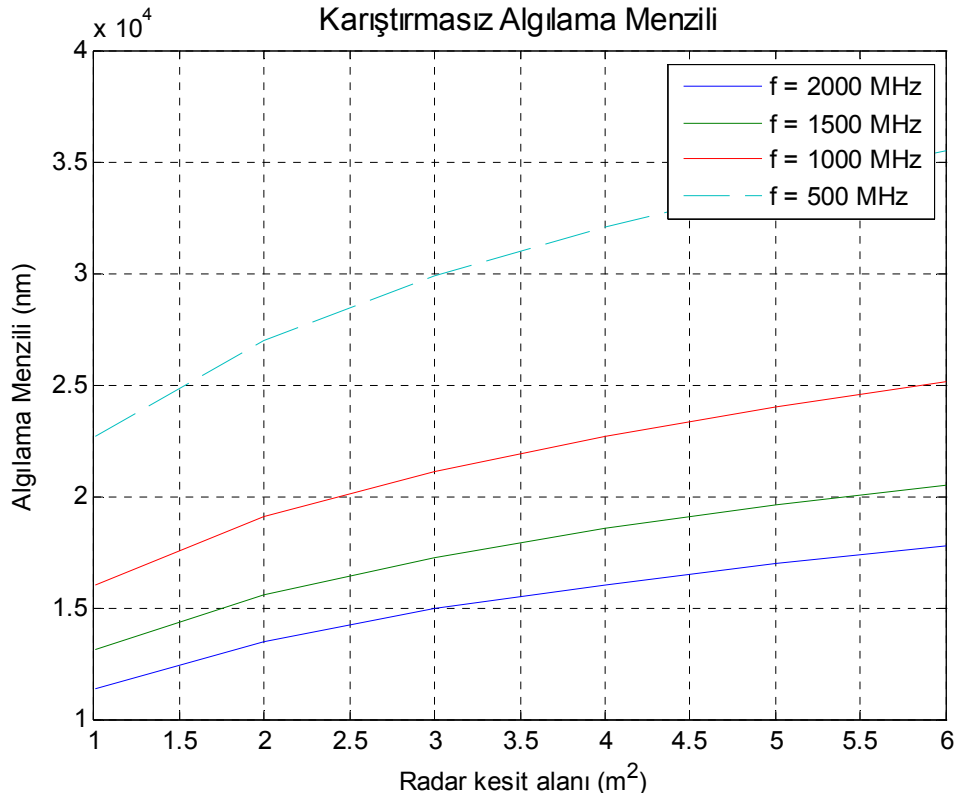
Bir radarın algılama menzilinın hangi parametrelere bağılı olarak, nasıl hesap edildiğı göstermek ve bu uygulama Yazılımına giriş parametrelerinin değerlerini girerek, radarın harekât koşullarında uçaklardaki darbeli Doppler radarları için maksimum algılama menzilinı hem karıştırmada hem de karıştırmasız durumda hesap edilmiştir.

Radar ve karıştırıcı parametreleri gizli bilgi olduğundan, burada kullanacağımız uygulamalarda da örnek olarak seğilen değerler kullanacağız. Radar ve karıştırıcı parametreleri değerleriyle aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.2. Radar ve karıştırıcı parametreleri

| Radar Parametreleri           |           |
|-------------------------------|-----------|
| Vericinin maksimum gücü       | 4000 KW   |
| Vericinin frekansı            | 2000 MHz  |
| Verici anten kazancı          | 30 dB     |
| Alıcı anten kazancı           | 35 dB     |
| Gürültü faktörü               | 10 dB     |
| Darbe genişliği               | 7 $\mu$ s |
| Toplam kayıp                  | 10 dB     |
| Karıştırıcı parametreleri     |           |
| Karıştırıcının maksimum gücü  | 50 W      |
| Karıştırıcının anten kazancı  | 100 dB    |
| Karıştırıcının band genişliği | 100 dB    |
| Karıştırıcının kayıpları      | 10 dB     |

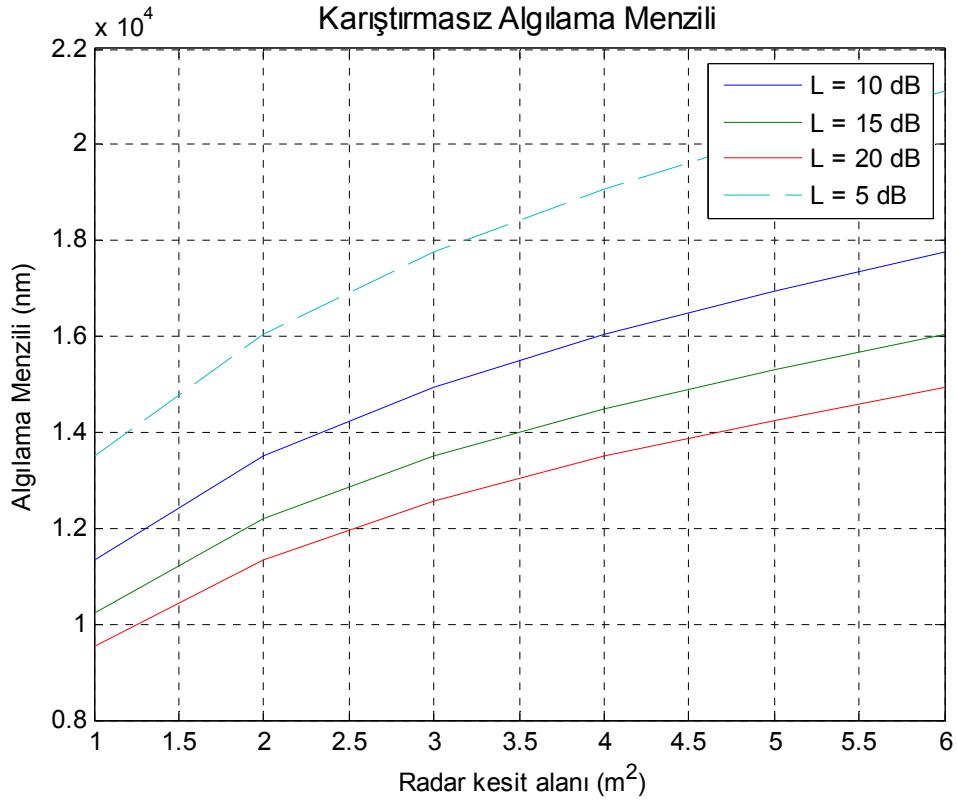
Öncelikle meteorolojik durumu göz önüne almadan ( $r = 0$ ) karıştırmaz ortamındaki Eş. 6.2'deki radar menzil bağıntısında, dört farklı frekans değeri ( 2000 MHz, 1500 MHz, 1000 MHz, 500 MHz) için, algılama menzili, RKA'nına göre değişimi elde edilmiştir (şekil 6.1).



Şekil 6.1. Karıştırmaz durumda algılama menzili RKA'nına göre değişimi ( $r = 0$  ve  $L = 10$  dB sabit)

Algılama menzili şekil 6.1'de  $RKA = 2$  olduğunda ( $f = 2000$  MHz) için  $1,3488 \times 10^4$  (nm), ( $f = 1500$  MHz) için  $1,5574 \times 10^4$  (nm), ( $f = 1000$  MHz) için  $1,9074 \times 10^4$  (nm) ve ( $f = 500$  MHz) için  $2,6975 \times 10^4$  (nm), olarak elde edilmiştir. Frekans arttıkça, algılama menziline azalma olduğu görülmektedir. RKA'nın diğer durumları için benzer durumlar söz konusudur.

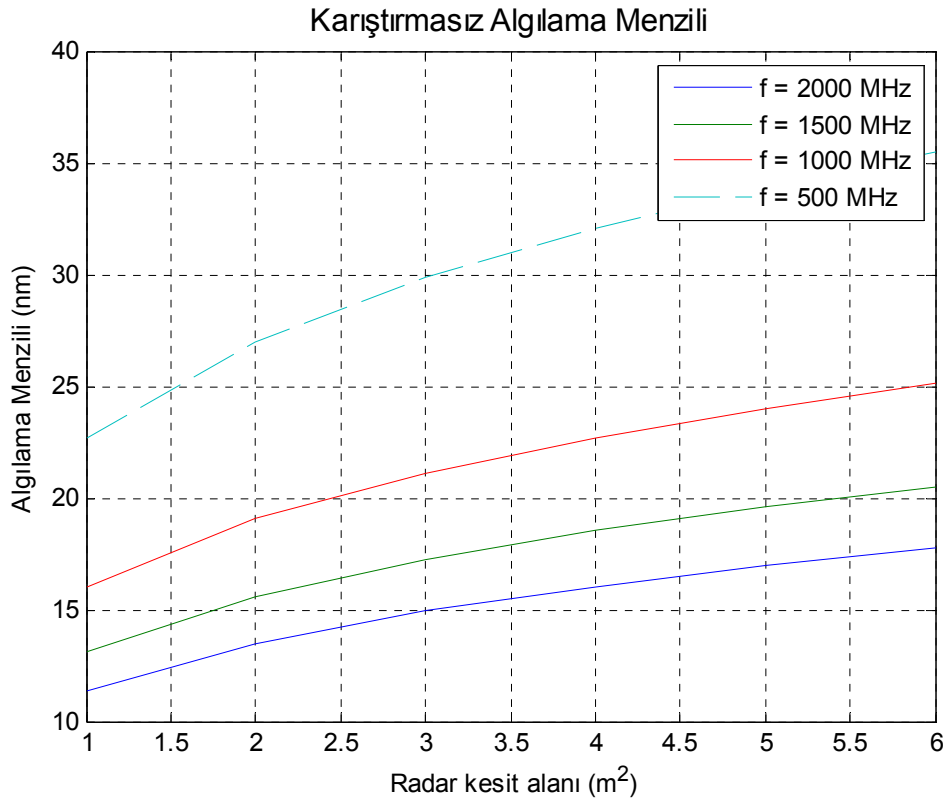
Karıştırmasız ortamında, Eş. 6.2'deki radar menzili bağıntısında dört farklı kayıp değerleri ( $L = 10$  dB,  $L = 15$  dB,  $L = 20$  dB,  $L = 5$  dB) ve meteorolojik durumu göz önüne almadan ( $r = 0$ ,  $f = 2000$  MHz) için, algılama menzili yeniden hesap edilmiştir (şekil 6.2).



Şekil 6.2. Karıştırmasız durumda algılama menzilinin RKA'nına göre değişimi ( $r = 0$  ve  $f = 2000$  MHz sabit).

Algılama menzili şekil 6.2'de  $RKA = 2$  olduğunda ( $L = 10$  dB) için  $1,3488 \times 10^4$  (nm), ( $L = 15$  dB) için  $1,2187 \times 10^4$  (nm), ( $L = 20$  dB) için  $1,1342 \times 10^4$  (nm) ve ( $L = 5$  dB) için  $1,6039 \times 10^4$  (nm), olarak elde edilmiştir. Kayıplar arttıkça, algılama menziline azalma olduğu görülmektedir. RKA'nın diğer durumları için benzer durumlar söz konusudur.

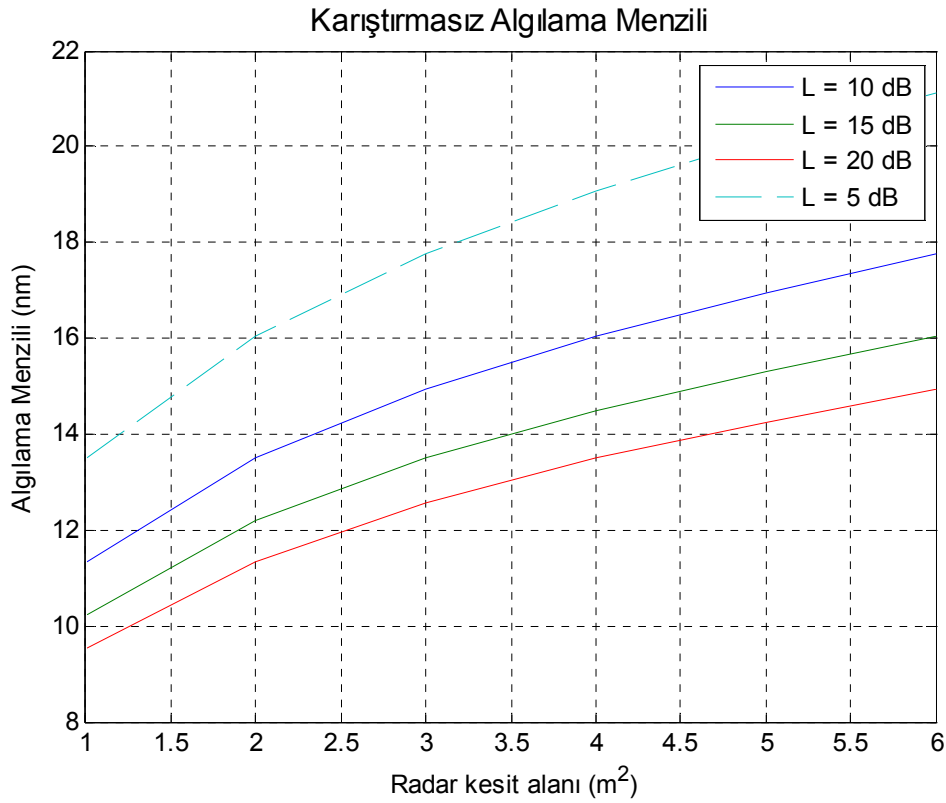
Meteorolojik durumu göz önüne alarak ( $r = 2$  mm/saat), karıştırmazsız ortamındaki Eş. 6.2'deki radar menzil bağıntısında dört farklı frekans değeri ( 2000MHz, 1500MHz, 1000MHz, 500MHz) için, algılama menzili elde edilmiştir (şekil 6.3).



Şekil 6.3. Yağışlı hava şartlarında karıştırmazsız algılama menzilin RKA'nına göre değişimi ( $r = 2$  (mm/saat) ve  $L = 10$  dB sabit).

Algılama menzili şekil 6.3'te  $RKA = 2$  olduğunda ( $f = 2000$  MHz) 13,4875 (nm), ( $f = 1500$  MHz) için 15,5740 (nm), ( $f = 1000$  MHz) için 19,0742 (nm) ve ( $f = 500$  MHz) için 26,9750 (nm), olarak elde edilmiştir. Frekans arttıkça algılama menziline  $r = 0$  olduğu gibi azalma görülmektedir. Ancak yağışlı hava koşullarında algılama menzilineki azalmanın çok daha fazla olduğu görülmektedir. Örneğin  $r = 0$  için;  $RKA = 2$ 'de algılama menzili  $1,3488 \times 10^4$  (nm) iken  $r = 2$  için; aynı RKA değerinde algılama menzili 13,4875 (nm) olmuştur. RKA'nın diğer durumları için benzer durumlar söz konusudur.

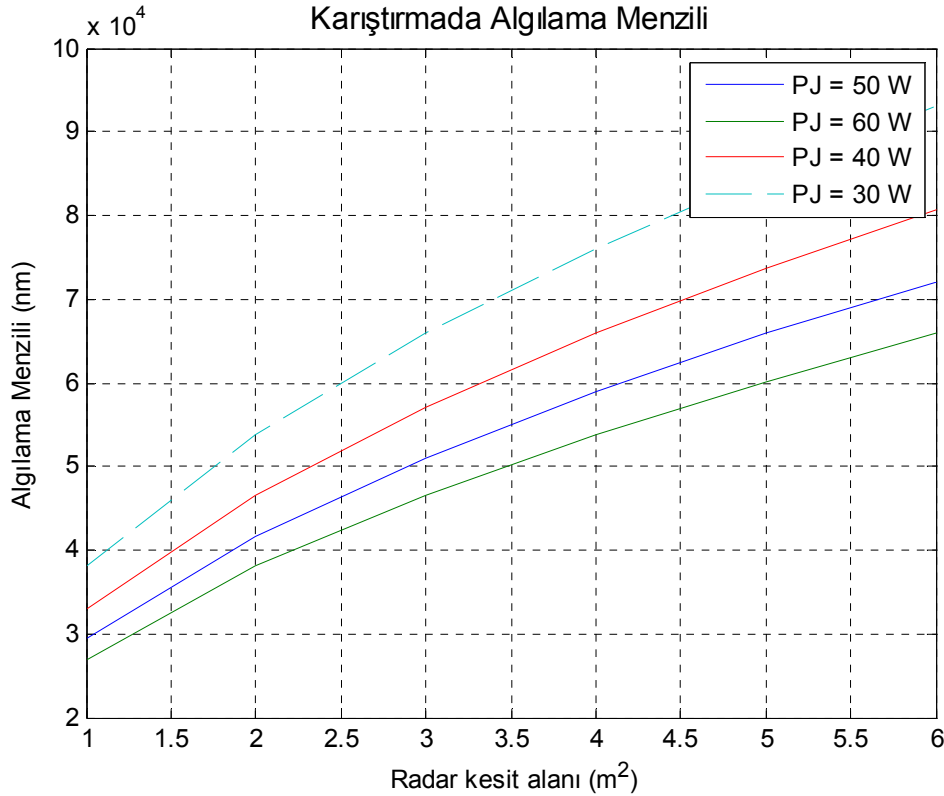
Daha sonra meteorolojik durumu göz önüne alarak ( $r = 2$  mm/saat) dört farklı kayıp değeri ( $L = 10$  dB,  $L = 15$  dB,  $L = 20$  dB,  $L = 5$  dB) için karıştırmasız algılama menzili, yeniden hesap edilmiştir (şekil 6.4).



Şekil 6.4. Yağışlı hava şartlarında karıştırmasız algılama menzilin RKA'nına göre değişimi ( $r = 2$  (mm/saat) ve  $f = 2000$  MHz sabit).

Algılama menzili şekil 6.4'te  $RKA = 2$  olduğunda ( $L = 10$  dB) için 13,4875 (nm), ( $L = 15$  dB) için 12,1873 (nm), ( $L = 20$  dB) için 11,3416 (nm) ve ( $L = 5$  dB) için 16,0395 (nm), olarak elde edilmiştir. Kayıplar arttıkça, algılama menziline azalma olduğu görülmektedir. RKA'nın diğer durumları için benzer durumlar söz konusudur.

İkinci aşamadaki hesaplamalar için, karıştırmalı ortamdaki meteorolojik durumu göz önüne almadan (  $r = 0$  ) algılama menzili, koruma karıştırması için, Eş. 6.4'ü kullanarak dört farklı karıştırıcı gücüne (  $P_J = 50$  W,  $P_J = 60$  W,  $P_J = 40$  W,  $P_J = 30$  ) göre, elde edilmiştir (Şekil 6.5).

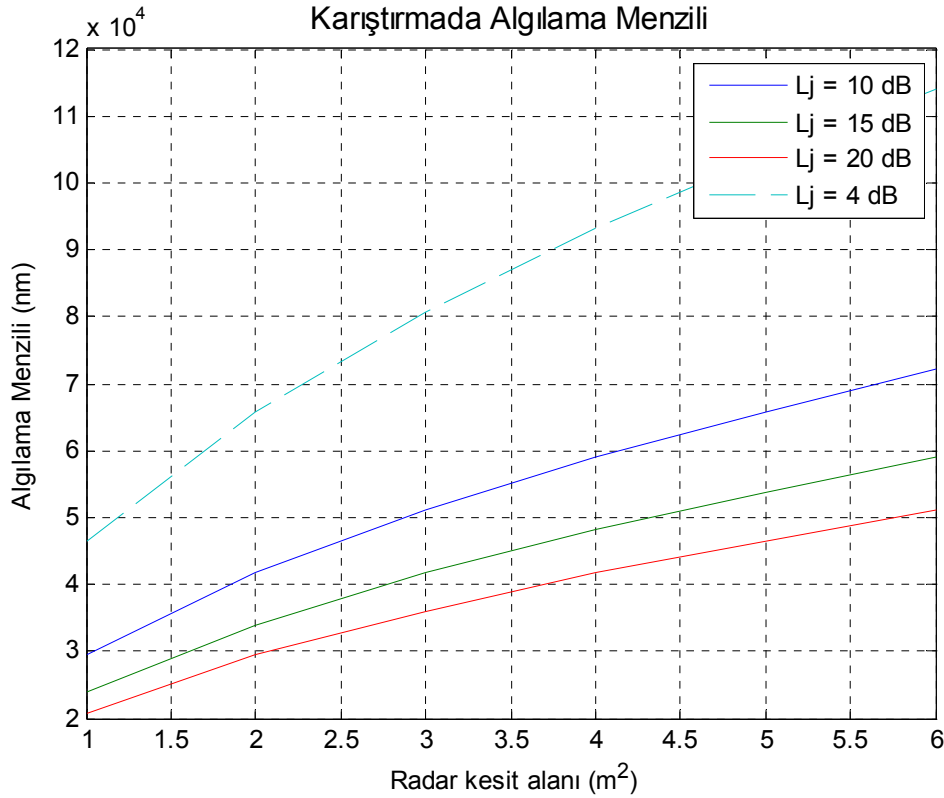


Şekil 6.5. Koruma karıştırması için algılama menzili RKA'nına göre değişimi (  $r = 0$  ve  $L_J = 10$  dB sabit ).

Algılama menzili Şekil 6.5'te  $RKA = 2$  olduğunda (  $P_J = 50$  W ) için  $4,1648 \times 10^4$  (nm), (  $P_J = 60$  W ) için  $3,8019 \times 10^4$  (nm), (  $P_J = 40$  W ) için  $4,6564 \times 10^4$  (nm) ve (  $P_J = 30$  W ) için  $5,3767 \times 10^4$  (nm), olarak elde edilmiştir. Karıştırıcı gücü arttıkça algılama menzili azalmanın olduğu görülmektedir. RKA'nın diğer durumları için benzer durumlar söz konusudur.



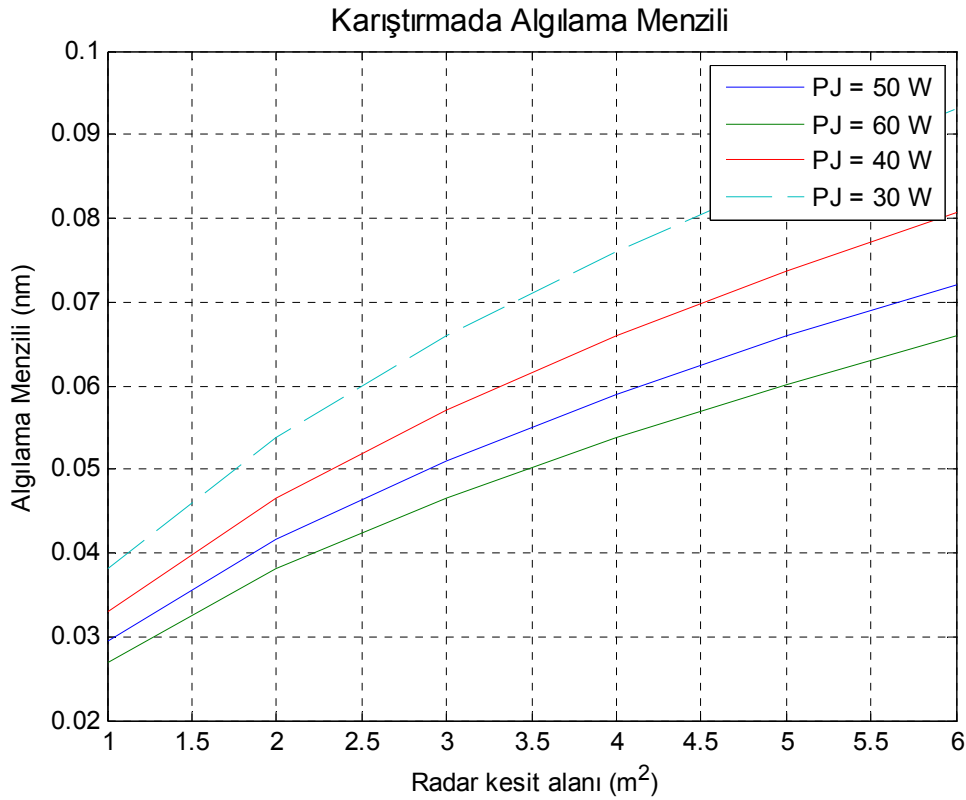
Karıştırmalı durumda, ortamdaki meteorolojik durumu göz önüne almadan ( $r = 0$ ) algılama menzilini bulmak için, (koruma karıştırması için) Eş. 6.4'ü kullanarak dört farklı karıştırıcı gücü ( $L_j = 10$  dB,  $L_j = 15$  dB,  $L_j = 20$  dB,  $L_j = 4$  dB) vererek, algılama menzili elde edilmiştir (şekil 6.6).



Şekil 6.6. Koruma karıştırması için algılama menzilinin RKA'nına göre değişimi ( $r = 0$  ve  $P_j = 50$  W sabit).

Şekil 6.6'da RKA = 2 olduğunda ( $L_j = 10$  dB) için  $4,1648 \times 10^4$  (nm), ( $L_j = 15$  dB) için  $3,4005 \times 10^4$  (nm), ( $L_j = 20$  dB) için  $2,9450 \times 10^4$  (nm) ve ( $L_j = 4$  dB) için  $0,6585 \times 10^5$  (nm) olduğu gösterilmektedir. Karıştırıcı kayıpları arttıkça algılama menzilineki azalma grafiklerde görülmektedir. RKA'nın diğer durumları için benzer durumlar söz konusudur.

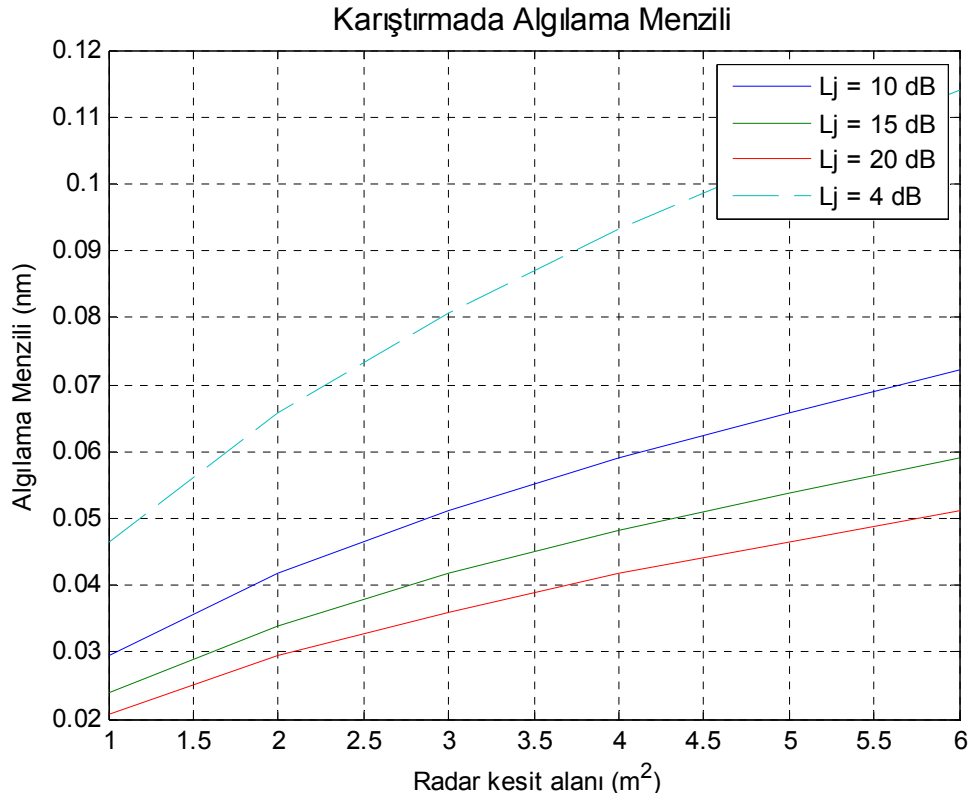
Karıştırmalı ortamdaki meteorolojik durumu göz önüne alarak ( $r = 2$  mm/saat) algılama menzili hesaplanmıştır. Burada koruma karıştırması için dört farklı karıştırıcı gücü ( $P_J = 50$  W,  $P_J = 60$  W,  $P_J = 40$  W,  $P_J = 30$  W) alınmıştır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Yağışlı hava şartlarında koruma karıştırması için algılama menzilinin RKA'nına göre değişimi ( $r = 2$  ve  $L_j = 10$  dB sabit).

Algılama menzili Şekil 6.5'te  $RKA = 2$  olduğunda ( $P_J = 50$  W) için 0,0416 (nm), ( $P_J = 60$  W) için 0,0380 (nm), ( $P_J = 40$  W) için 0,0466 (nm) ve ( $P_J = 30$  W) için 0,0538 (nm)'dir, olarak elde edilmiştir. Karıştırıcı gücüne meteorolojik durumu eklenince algılama menzilerindeki azalmanın oldukça fazla olduğu gözlemlenmektedir. RKA'nın diğer durumları için benzer durumlar söz konusudur.

Karıştırmalı ortamdaki meteorolojik durumu göz önüne alarak ( $r = 2$  mm/saat) algılama menzili bulalım burada koruma karıştırması için Eş. 6.4'ü kullanarak dört farklı karıştırıcı gücü ( $L_j = 10$  dB,  $L_j = 15$  dB,  $L_j = 20$  dB,  $L_j = 4$  dB) vererek, algılama menzili elde edilmiştir (şekil 6.8).



Şekil 6.8. Yağışlı hava şartlarında koruma karıştırması için algılama menzili RKA'nına göre değişimi ( $r = 2$  mm/saat ve  $P_j = 50$  W sabit).

Algılama menzili şekil 6.8'de RKA = 2 olduğunda ( $L_j = 10$  dB) için 0,0416 (nm), ( $L_j = 15$  dB) için 0,0340 (nm), ( $L_j = 20$  dB) için 0,0294 (nm) ve ( $L_j = 4$  dB) için 0,0659 (nm), olarak elde edilmiştir. Karıştırıcı kayıplarına meteorolojik durumu eklenince algılama menziliindeki azalma grafiklerde görüldüğü gibi oldukça fazladır. RKA'nın diğer durumları için benzer durumlar söz konusudur.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde deniz, hava ve kara araçlarının hareketleri, uzak mesafelerden modern radar sistemleri ile kontrol edilmekte, böylece sınır güvenliği sağlanmaktadır. Askeri unsurların hareketlerinin gizlenmesi ise, söz konusu radarlara karşı görünmezlik tedbirlerinin alınması ile mümkün olabilmektedir. Ancak radar gibi kendi yolladığı sinyalin ekolarına göre tespit yapan aktif sensörlere karşı görünmezlik sadece bu sensörlere kendi sinyallerini geri yansıtmayarak mümkündür. Hayalet hedeflerin radarlardan tümü ile gizlenebildiği söylenemez. Bunun sebebi, en küçük cisimlerin bile sensöre yeterince yaklaştıklarında mutlaka tespit edilebilmeleridir. Algılanmamak için yapılması gerekli tek şey hedefin RKA değerinin kaynak radarın algılama eşiğinin altında olmasıdır. Diğer bir deyişle hedefi olabildiğince küçük göstermektir. Buradaki büyüklük veya küçüklüğün tanımı metrekaresi cinsinden ölçülen RKA ile belirtilir. RKA azaltma teknikleri radarlara karşı geliştirilen bir yöntem olmakla birlikte günümüzde radarlar düşük RKA'ya sahip hedefleri algılayacak hassasiyette geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ancak yansıyan sinyali azaltmanın en kolay yolu RKA değerinin azaltılmasıdır. Karmaşık hedefteki güçlü saçılma kaynakları elendikten sonra geriye kalan RKA öncelikli kaynağı çok sayıdaki küçük saçıcılarıdır. Bu saçıcıların engellenmesi oldukça güçtür ve maliyet sorununu da beraberinde getirmektedir. Günümüzde düşük algılanmaya maliyet ve performansı da optimum bir seviyede dengede tutmaya yönelik bir bakış açısı getirilmektedir.

Algılama menziline tayini radarlar için oldukça önemlidir. Özellikle askeri alanda daha uzun menziller istenir. Ayrıca karıştırma yapıldığında sistemin nasıl etkilendiğini bilmek çok önemlidir.

Bu çalışmada, RKA ve elektronik harp ile ilgili bilgiler verilmiştir. Karıştırmalı ve karıştırmaz durumlar için RKA'nına göre algılama menzili bulunmuştur. Hesaplamalarda frekans ( $f$ ), kayıplar ( $L$ ) Karıştırıcı gücü ( $P_j$ ), karıştırıcı kayıpları ( $L_j$ ) ve yağmur oranı ( $r$ ) olmak üzere algılama menzili hesap edilmiştir. İlk başta meteorolojik durumunu göz önüne almadan algılama menzili hesap edilmiştir.

Karıştırmasız durumda frekans ve kayıplar arttıkça algılama menziline azaldığı görülmüştür. Karıştırma durumunda ise, karıştırıcı gücü ( $P_j$ ) ve karıştırıcı kayıpları ( $L_j$ ) azaldıkça algılama menziline arttığı görülmüştür. Daha sonra hesaplamalara meteorolojik durumu da katarak, algılama menziline hem karıştırmalı hem de karıştırmasız durumda nasıl etkilendiği incelenmiştir. Yağışlı hava şartlarında hem karıştırmalı hem de karıştırmasız durumda algılama menzili azaldığı görülmüştür.

Bu çalışma için geliştirilen programda, algılama menziline farklı parametreler için ve karıştırmalı, karıştırmasız durumlar için ayrı ayrı çeşitli analizler yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Nicolaescu, L., Oroian,T., “Radar cross section”, *Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service, TELSIKS. 5th International Conference on*, Nis, 1: 65-68 (2001).
2. Muth, L. A., “Calibration standard and uncertainties in radar cross section measurements” , *Radar Conference, The Record of the 1999 IEEE.*, Waltham, MA, 1: 326-331 (1999).
3. Migliaccio, M., Colandrea P., “On radar cross section binning”, *Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, IGARSS '98. 1998 IEEE International*, Seattle, WA, 2: 974 – 976 (1998).
4. Blume, S., Kahl, G., “The physical optics radar cross section of an elliptic cone”, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik.*, 35(4): 457-460 (1987).
5. Youssef N. N., “ Radar cross section of complex targets”, *Proceedings of the IEEE*, 77 (5): 722-734 (1989).
6. Wanzhao Cui., Jia Chen., Enrang Zheng., “Peculiar radar cross section properties of metamaterials with negative permittivity”, *Metamaterials, 2008 International Workshop on*, Nanjing, 95-97 (2008).
7. Pham, C., Harton P. L., Simhal. S. K., “Radar cross section measurements in space”, *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Hamamatsu, 1: 44-47 (1994).
8. Kayserilioğlu, C., “Modern Radar Sistemleri 1.Cilt.”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi*, İstanbul,Turkey, 1, 36-53 (1997).
9. Merrill, I.Skolink., “Introduction to Radar Systems 3<sup>th</sup> ed.”, *Mc Graw Hill* , New Delhi, India, 12-13 (2001).

10. Kulaç, S., “Radar sistemlerinin incelenmesi ve bıçak-kenarlı engellerden saçılmanın modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, Turkey, 5-8 (2002).
11. Kayserilioğlu, C., “Modern Radar Sistemleri 2.Cilt”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi*, İstanbul, Turkey, 274-283,301-309,350-352,399-400(1997).
12. Akgün, O., “Hava verileri sistemi ile doppler radarının kalman süzgeci temelinde türetilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, Turkey, 15-36 (1988).
13. SCHLEHER, D, C., “ Bilgi Çağında Elektronik Harp”, *Doruk*, İstanbul, 19,32-62, 207,325-331,701-709 (2004).
14. Yapanel, Ü., Can, S., “Radar yakalanmayan cemilerin radar saçılma yüzeylerinin hesabında Mmonte carlo tekniğinin kullanımı”, *Gemi İnşaatı Ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi–Bildiri Kitabı*, İstanbul, Turkey, 401-403 (1999).
15. Mahafza,R,B.,"Radar Systems Analysis and Design Using Matlab", *Chapman &Hall/CRC*, Huntsville, Alabama, 119-120(2000).
16. BARTON,D, K.,”Modern Radar Systems Analysis”, *Artech House*, Norwood, 61-84 (1988)
17. Kayserilioğlu, C., “Modern Radar Sistemleri 3.Cilt.”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi*, İstanbul, Turkey, 467-470 (1997).
18. Curtis Schleher, D., “ Introduction to Electronik Warefare”, *Artec House*, Norwood, 363,419 (1986).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TAHA, Ahmed Abdulkhaleq  
Uyruğu : IRAK  
Doğum tarihi ve yeri : 12.11.1982 Slahuddin  
Medeni hali : Bekâr  
Medeni Hali : Ahmet\_bastamli@hotmail.com

### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi  | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|--|------------------|
| Yüksek Lisans | Gazi Üniversitesi<br>Elektrik ve Elektronik Müh.<br>Bölümü | 2010             |
| Lisans        | Tikrit Üniversitesi<br>Elektrik Müh. Bölümü                | 2005             |
| Lise          | El- Walid Fen Lisesi/ Kerkük                               | 2001             |

### Yabancı Dil

Arapça : Çok iyi  
İngilizce : Orta

### Hobiler

Bilgisayar Teknolojileri, Futbol, Voleybol, Kitap Okuma, Tenis, İnternet