T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI

SU KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIM POTANSİYELİ VE İNOVASYON

CİHAN ÖZER ÖZYAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROF. DR. EKREM MUTLU

OCAK - 2026
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Cihan Özer ÖZYAMAN tarafından hazırlanan "**SU KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIM POTANSİYELİ VE İNOVASYON**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **07.01.2026** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Mühendislik Yönetimi Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Ekrem MUTLU Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Banu KUTLU Munzur Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Nusret ÖZALP Kastamonu Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Prof. Dr. Selahattin KAYMAKCI .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Cihan Özer ÖZYAMAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SU KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIM POTANSİYELİ VE İNOVASYON

CİHAN ÖZER ÖZYAMAN

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN:PROF. DR. EKREM MUTLU

Hızla artan küresel çevre sorunları ve endüstriyel baskı, temiz su kaynaklarının sürekli ve hassas izlenmesini hayati kılmaktadır. Geleneksel su kalitesi izleme metotları, geniş alanlarda mekânsal ve zamansal kapsama, maliyet etkinliği ve hızlı müdahale yeteneği açısından yetersiz kalmaktadır. Bu tez çalışması, İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerinin, su kirliliğinin tespiti, haritalanması ve yönetimi süreçlerine getireceği yenilikçi potansiyeli araştırmaktadır. Tezin temel amacı, İHA'lar üzerine entegre edilen modern uzaktan algılama sensörleri (multispektral, hiperspektral, termal) aracılığıyla elde edilen verilerin, çeşitli kirlilik türlerini ne kadar etkin belirleyebileceğini ortaya koymaktır.

Bu yeni uygulama alanı odaklanırken, tezin teknik altyapısı, yazarın daha önceki çalışmalarıyla ilişkilendirilmiştir. Bu bağlamda, İHA'ların çevresel izleme görevlerini gizlilik ve güvenlik içerisinde icra edebilme yetenekleri ön plana çıkarılmıştır. Tezin başlangıç aşamasında yapılan kapsamlı teknik çalışma, İHA'larda kullanılan farklı materyallerin Radar Kesit Alanı (RKA) değerlerinin CST MWS simülasyonlarında gerçekleştirilen kapsamlı ölçümlerle incelenmesini içermiştir. Bu deneysel veriler, İHA platformunun kendisinin çevresel olarak hassas ve erişimi kısıtlı bölgelerde, tespit edilme riskini en aza indirerek görev yapabilme yeteneğini garanti eden temel bir teknik yeterlilik olarak teze entegre edilmiştir.

Sonuç olarak tez, İHA teknolojisinin çevresel izleme alanında dönüştürücü bir potansiyele sahip olduğunu, RKA çalışmaları ile desteklenen platform güvenliğinin, kirlilik olaylarına karşı hızlı ve güvenli veri toplama imkânı sunduğunu göstermektedir. Bu çalışma, teknik altyapısı sağlam, yenilikçi ve maliyet-etkin İHA tabanlı su kalitesi izleme sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için bir model sunmayı hedeflemektedir.

ANAHTAR KELİMELER: İnsansız Hava Aracı (İHA), Su Kirliliği, Uzaktan Algılama, Radar Kesit Alanı (RKA), Çevresel İnovasyon

Ocak 2026, 129 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

THE POTENTIAL USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN DETERMINING WATER POLLUTION AND INNOVATION

CİHAN ÖZER ÖZYAMAN

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ENGINEERING MANAGEMENT
SUPERVISOR: PROF. DR. EKREM MUTLU

The rapid escalation of global environmental problems and industrial pressures necessitate continuous and precise monitoring of clean water resources. Traditional water quality monitoring methods are often insufficient in terms of spatial and temporal coverage, cost-effectiveness, and rapid response capability across large areas. This thesis investigates the innovative potential of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) systems in the processes of water pollution detection, mapping, and management. The primary objective is to demonstrate how effectively data acquired through advanced remote sensing sensors (multispectral, hyperspectral, thermal) integrated onto UAVs can determine various types of water contamination.

While the focus has shifted to this new application domain, the technical foundation of the thesis is connected to the author's prior research. In this context, the capability of UAVs to execute environmental monitoring missions with necessary discretion and security is highlighted. The initial comprehensive technical phase of this study involved examining the Radar Cross Section (RCS) values of various materials utilized in UAV construction through extensive CST MWS simulations. This core experimental data, covering different geometries and materials, is integrated as a fundamental technical competence that ensures the UAV platform's ability to operate in environmentally sensitive and restricted areas with minimized detection risk.

Ultimately, the thesis demonstrates the transformative potential of UAV technology in environmental monitoring, suggesting that platform security—supported by the author's extensive RCS work—facilitates quick and secure data acquisition in response to pollution events. This study aims to provide a model for the development and proliferation of technically sound, innovative, and cost-effective UAV-based water quality monitoring systems.

KEYWORDS: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Water Pollution, Remote Sensing, Radar Cross Section (RCS), Environmental Innovation

January 2026, 129 Page

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca birçok defa fedakarlık göstererek her zaman yanımda olan eşime, eğitim hayatım boyunca daima bana destek olan aileme ve çalışmalarıma yön veren, ufkumu her alanda genişleten, tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ekrem MUTLU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

CİHAN ÖZER ÖZYAMAN

Kastamonu, 2026

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **xi**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Küresel Çevre Sorunları ve Su Kalitesinin Kritik Önemi 1
1.2 Geleneksel Su İzleme Metotlarının Sınırlılıkları 1
1.3 İnsansız Hava Aracı (İHA) Teknolojisinin Çevresel İzlemedeki Yeni Rolü 2
1.4 Teknik Altyapı ve Kapsam Dönüşümü: Radar Kesit Alanı Çalışmalarının Rolü 2
1.5 İHA'ların Su Kirliliği Belirlemedeki Potansiyeli ve İnovasyon Alanları 3
1.6 Çalışmanın Amacı, Hipotezi ve Yeni Kapsamı 4
1.7 Tezin Yapısı 5
1.8 Su Kirliliğinin Türleri ve İzlenmesinde Kullanılan Temel Fiziksel ve Kimyasal Parametreler 5
1.8.1 Su Kirliliğinin Sınıflandırılması ve Ana Türleri 6
1.8.1.1 Kirletici kaynağına göre sınıflandırma 6
1.8.1.2 Kirleticinin doğasına göre sınıflandırma 6
1.8.2 Temel Fiziksel Su Kalitesi Parametreleri 7
1.8.2.1 Sıcaklık 7
1.8.2.2 Bulanıklık (Turbidity) ve askıda katı madde (AKM) 8
1.8.2.3 Renk ve koku 8
1.8.2.4 Elektriksel iletkenlik 8
1.8.3 Temel Kimyasal Su Kalitesi Parametreleri 9
1.8.3.1 Çözünmüş oksijen (ÇO) 9
1.8.3.2 Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 9
1.8.3.3 pH 10
1.8.3.4 Besin maddeleri (Azot ve fosfor) 10
1.8.4 İHA Teknolojisiyle İlişkisi 10
1.9 Radarlar 11
2. RADARIN TEMELLERİ **13**
2.1 Radar Tanımı ve Tarihsel Gelişimine Bakış 13
2.2 Radarların Çalışma Bant Aralıkları 15
2.3 Dalga Formuna Göre Radarlar 15
2.4 Mesafe ve Mesafe Çözünürlüğü 16
2.4.1 Mesafe 16
2.4.2 Mesafe Çözünürlüğü 19

2.5 Doppler Frekansı 21
2.6 Evreuyumluluk 30
2.7 Desibel Aritmetiği 31
3. RADAR KESİT ALANI TEMELLERİ 34
3.1 RKA Tanımı 34
3.2 RKA'nın Görüş Açısı ve Frekansa Bağımlılığı 37
3.3 Polarizasyona Karşı RKA Bağımlılığı 37
3.3.1 Normalleştirilmiş Elektrik Alanı 38
3.3.2 Polarizasyon 38
3.3.3 Hedef Saçılma Matrisi 42
3.4 Basit Nesnelerin RKA'sı 44
3.4.1 Giriş 44
3.4.2 Küre 45
3.4.3 Elipsoit 48
3.4.4 Dairesel Düz Levha 49
3.4.5 Kesik Koni 50
3.4.6 Silindir 53
3.4.7 Dikdörtgen Düz Levha 54
3.4.8 Üçgen Düz Levha 57
3.5 Karmaşık Nesnelerin RKA'sı 58
3.6 RKA Tahmin Yöntemleri 59
3.6.1 Hesaplamalı Elektromanyetik 60
3.6.2 Sonlu Farklar Zaman Tabanlı Yöntem 61
3.6.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi 66
3.6.4 İntegral Denklemler 66
3.6.5 Geometrik Optik 68
3.6.6 Fiziksel Optik 68
3.6.6.1 Dikdörtgen plaka 69
3.6.6.2 N kenarlı çokgen 70
3.6.7 Kenar Kırınımı 71
3.7 Çoklu Yansıma 72
3.8 RKA Azaltım Yöntemleri 72
3.8.1 Giriş 72
3.8.2 Geometrik Tasarım 73
3.8.3 Malzeme Kullanımı 74
3.8.4 Pasif Önleme 74
3.8.5 Aktif Önleme 75
4. İHA'LARIN SU KİRLİLİĞİ TESPİTİNDEKİ METODOLOJİLERİ, VERİ TOPLAMA STRATEJİLERİ VE ANALİZ 76
4.1 Su Kalitesi İzlemede İha'ların Operasyonel Metodolojileri 76
4.1.1 Mekânsal ve Zamansal Veri Toplama Stratejileri 76
4.1.2 Noktasal Kaynaklı Kirlilik İzleme Metotları 77
4.1.3 Yayılı Kaynaklı Kirlilik İzleme ve Haritalama 77
4.2 Uzaktan Algılama Teknikleri ile Spesifik Kirletici Tespiti 78
4.2.1 Ötrofikasyon ve Alg Patlamalarının Tespiti (Klorofil-a) 78
4.2.2 Askıda Katı Madde (AKM) ve Bulanıklık Belirlemesi 78
4.2.3 Termal Kirlilik (Sıcaklık Anomalileri) İzlemesi 78
4.3 İHA Tabanlı Yerinde (In-Sıtu) Ölçüm ve Analiz Entegrasyonu 79
4.4 Veri İşleme ve İnovatif Analiz Yöntemleri 79

4.4.1 Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi Entegrasyonu ... 79
4.4.2 RKA Çalışmalarının Operasyonel Güvenlik ve Tasarım Üzerindeki Rolü (Teknik Yeterlilik Bağlamı) ... 80
5. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TEMELLERİ ... 81
5.1 Giriş ... 81
5.2 Tarihçe ... 82
5.3 Avantajları ... 82
5.4 İHA'ların İşlevleri ... 83
5.4.1 Sivil İHA Sistemleri ... 83
5.4.2 Askeri İHA Sistemleri ... 83
5.5 Kullanımı Yaygın Olan Bazı İHA'lar ... 84
5.5.1 General Atomics MQ-1 Predator ... 84
5.5.1.1 Genel özellikler ... 84
5.5.1.2 Performans ... 85
5.5.2 IAI Heron ... 86
5.5.2.1 Genel özellikler ... 86
5.5.2.2 Performans ... 86
5.5.3 Kalebaykar Bayraktar (Bayraktar TB2) ... 87
5.5.3.1 Genel özellikler ... 87
5.5.3.2 Performans ... 87
5.5.4 Tusaş Anka ... 88
5.5.4.1 Genel özellikler ... 88
5.5.4.2 Performans ... 89
6. İHA YAPIMINA UYGUN OLAN BAZI MATERYALLERİN CST MWS SİMÜLASYON SONUÇLARI ... 90
6.1 Giriş ... 90
6.2 CST MWS Simülasyon Sonuçları ... 90
6.3 Manuel Hesaplama ile Farklı Şekillerin Farklı Frekanslarda RKA'sının Tespiti ... 111
6.3.1 Düz Plaka ... 111
6.3.2 Küre ... 113
6.3.3 Silindir ... 113
7. CST SİMÜLASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ... 115
KAYNAKLAR ... 127
ÖZGEÇMİŞ ... 129

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Basitleştirilmiş darbeli radar blok şeması 17
Şekil 2.2 İletilen ve alınan darbeler dizisi 18
Şekil 2.3 Mesafe belirsizliğinin gösterimi 19
Şekil 2.4 Hedeflerin çözümlenmesi 20
Şekil 2.5 Çözümlenmiş iki hedef - çözümlenmemiş iki hedef 21
Şekil 2.6 Yansıyan eş fazlı dalga formlarındaki hedef hareketinin etkisi 22
Şekil 2.7 Bir darbe üzerindeki hedef hızının etkisinin gösterimi 23
Şekil 2.8 Hedef hareketinin radar darbeleri üzerindeki etkisinin gösterimi 24
Şekil 2.9 v hızıyla yaklaşan hedef 27
Şekil 2.10 Alınan sinyalin doppler kayması 28
Şekil 2.11 Doppler kaymasının oluşumu 28
Şekil 2.12 Radyal hızın dikey ve yatay açılarla ilişkisi 29
Şekil 2.13 Ardışık darbeler arasındaki faz sürekliliği 30
Şekil 2.14 Ardışık darbeler 30
Şekil 3.1 Radar kesit alanı kavramı 34
Şekil 3.2 R mesafesinde saçılım yapan nesne 35
Şekil 3.3 Elektrik alanın bileşenleri 40
Şekil 3.4 Genel durumdaki polarizasyon elipsi 40
Şekil 3.5 Geri saçılan dalgaları tespit eden anten istikameti 45
Şekil 3.6 Mükemmel iletken için normalize edilmiş RKA 46
Şekil 3.7 Mükemmel iletken için normalize edilmiş RKA (-dB) 47
Şekil 3.8 Yarı logaritmik ölçek kullanılarak mükemmel iletken için normalize edilmiş RKA (-dB) 47
Şekil 3.9 Elipsoit 49
Şekil 3.10 Dairesel düz plaka 50
Şekil 3.11 Kesik koni 51
Şekil 3.12 Yarım koni açısı 52
Şekil 3.13 Eliptik silindir ve dairesel silindir 54
Şekil 3.14 Dikdörtgen düz plaka 56
Şekil 3.15 Mükemmel iletken ikizkenar üçgen plaka 57
Şekil 3.16 Düz plakalı silindirin geri saçılan RKA'sı 59
Şekil 3.17 t=0,2ns zamanındaki dalga önü 65
Şekil 3.18 t=3,36 ns zamanındaki dalga önü 65
Şekil 3.19 Dikdörtgen plakanın geri saçılan RKA'sı 70
Şekil 3.20 N kenarlı çokgenin geri saçılan RKA'sı 71
Şekil 5.1 General atomics MQ-1 predator 85
Şekil 5.2 IAI Heron 87
Şekil 5.3 Kalebaykar Bayraktar 88
Şekil 5.4 Tusaş Anka 89

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1 Bazı cisimlere ait RKA değerleri 12
Tablo 2.1 Kabul edilen frekans-bant aralıkları 15
Tablo 6.1 6mm x 6mm x 2mm ölçülere sahip olan plakaya ait RKA (CST Simülasyonu) sonuçları 91
Tablo 6.2 1cm x 1cm x 1mm ölçülere sahip olan plakaya ait RKA (CST Simülasyonu) sonuçları 96
Tablo 6.3 1cm yarıçapa sahip olan küre ait RKA (CST Simülasyonu) sonuçları 101
Tablo 6.4 5mm yarıçapa ve 1cm yüksekliğe sahip olan silindire ait RKA (CST Simülasyonu) sonuçları 106
Tablo 6.5 Düz plaka RKA değerleri 112
Tablo 6.6 Düz plaka RKA değerleri 112
Tablo 6.7 Küre RKA değerleri 113
Tablo 6.8 Silindir RKA değerleri 114

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\vec{A}$: Manyetik Vektör Potansiyeli
$\vec{B}$: Manyetik İndüksiyon Akısı
$\vec{D}$: Yer Değiştirme Akısı
$\vec{E}$: Elektrik Alanı Yoğunluğu
$\vec{H}$: Manyetik Alan Yoğunluğu
$\vec{J}$: Akım Yoğunluğu
B : Bant Genişliği
c : Işık Hızı ($3x10^8$ m/s)
d : Hedefin Dürtünün İçine Hareket Ettiği Mesafe
d_t : Duty Cycle (Radarın gönderme doluluk boşluk oranı)
E_H : Yatay Polarizasyona Sahip Elektrik
E_i : Faz Merkezli Elektrik Alanı
E_L : Sol Dairesel Polarize Elektrik Alan
E_P : Dürtü Enerjisi
E_R : Sağ Dairesel Polarize Elektrik Alan
E_s : Normalize Edilmiş Saçılım Alanı
E_V : Dikey Polarizasyona Sahip Elektrik
E_x : Dalganın *x* Elektrik Alan Bileşeni
E_y : Dalganın *y* Elektrik Alan Bileşeni
f_d : Doppler Frekansı
f_i : Anlık Frekans
f_o : Gelen Sinyalin Taşıyıcı Frekansı
f_r : Darbe Tekrarlama Frekansı
P_{av} : Radar Ortalama Gönderme Gücü
P_{Di} : Hedef Üzerine Gelen Dalganın Güç Yoğunluğu
P_{Dr} : Alıcı Antendeki Yansıyan Dalganın Güç Yoğunluğu
P_r : Hedeften Yansıyan Güç
P_t : Radar Tarafından Gönderilen Azami Güç
R_u : Belirli Mesafe
T : Darbeler Arası Süre
γ : Ölçeklendirme Faktörü
ε : Dielektrik Sabiti
λ : Dalga Boyu
μ : Geçirgenlik
σ : Radar Kesit Alanı
τ : Darbe Genişliği
Ψ_o : Faz Sabiti
ω_o : Radyan Cinsinden Radar Merkez Frekansı

Kısaltmalar

AR	**:** Axial Ratio (Eksenel Oran)
CEM	**:** Computational Electromagnetic (Hesaplamalı Elektromanyetik)
CST MWS	**:** Computer Simulation Technology Microwave Studio (Bilgisayar Benzetim Teknolojisi Mikrodalga Atölyesi) - Bilgisayar Uygulaması
dB	**:** Desibel
DTF	**:** Darbe Tekrarlama Frekansı
FDTD	**:** Finite Difference Time Domain (Sonlu Fark Zaman Tabanlı Yöntem)
FEM	**:** Finite Element Method (Sonlu Eleman Yöntemi)
GO	**:** Geometrical Optics (Geometrik Optik)
GTD	**:** Geometrical Theory of Diffraction (Geometrik Kırınım Teorisi)
HF	**:** High Frequency (Yüksek Frekans)
IEEE	**:** Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü), sonradan Institute of Engineers and Everyone Else (Mühendislerin ve Herkesin Enstitüsü)- Bilim Kulübü
IPP	**:** Inter Pulse Period (Darbeler Arası Süre)
İHA	**:** İnsansız Hava Aracı
LCP	**:** Left Circularly Polarized (Sol Dairesel Polarize)
MEC	**:** Method of Equivalent Currents (Eşdeğer Akımlar Yöntemi)
MMW	**:** Milimeter Wave (Milimetre Dalgası)
MoM	**:** Method of Moments (Momentler Yöntemi)
NB	**:** Narrow Band (Dar Bant)
OP	**:** Orthogonal Polarization (Dikey Polarizasyon)
PO	**:** Physical Optics (Fiziksel Optik)
PP	**:** Principal Polarization (Asıl Polarizasyon)
PRF	**:** Pulse Repetition Frequency (Darbe Tekrarlama Frekansı)
PRI	**:** Pulse Repetition Interval (Darbe Tekrarlama Sıklığı)
PTD	**:** Physical Theory of Diffraction (Fiziksel Kırınım Teorisi)
RAM	**:** Radar Absorbing Material (Radar Soğurucu Malzeme)
RCP	**:** Right Circularly Polarized (Sağ Dairesel Polarize)
RKA	**:** Radar Kesit Alanı
SBR	**:** Shooting and Bouncing Rays (Atış ve Sıçrama Işınları)
SİHA	**:** Silahlı İnsansız Hava Aracı
UHF	**:** Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans)
VHF	**:** Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)
WB	**:** Wide Band (Geniş Bant)

1. GİRİŞ

1.1 Küresel Çevre Sorunları ve Su Kalitesinin Kritik Önemi

Su, gezegenimizdeki yaşamın ve tüm sosyo-ekonomik sistemlerin sürdürülebilirliğinin temel direğidir. Ancak, modern çağın getirdiği yoğun sanayileşme, kontrolsüz kentleşme ve küresel iklim değişikliği etkileşimleri, dünya genelindeki su kaynaklarının kalitesini tehlikeli boyutlara taşımıştır. Endüstriyel atık sızıntıları, tarımsal kimyasalların yüzey akışları ve termal deşarjlar gibi kirlilik etkenleri, su ekosistemlerinin biyolojik dengesini bozmakta ve halk sağlığı üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu durum, su kirliliğini yerel bir problem olmaktan çıkarıp, uluslararası iş birliği gerektiren stratejik bir kriz haline getirmiştir. Etkin bir su yönetimi ve risk azaltımı, kirlilik olaylarının anlık ve güvenilir verilerle izlenmesine bağlıdır.

1.2 Geleneksel Su İzleme Metotlarının Sınırlılıkları

Geleneksel su kalitesi izleme uygulamaları, genellikle belirli noktalardan manuel su numunesi alımına ve bu numunelerin laboratuvarlarda analiz edilmesine dayanır. Bu metotlar, yüksek hassasiyette kimyasal sonuçlar sağlasa da, uygulama pratiğinde önemli kısıtlılıklar barındırır:

1. Sınırlı Mekânsal Kapsama: Geniş su kütlelerinde (göller, nehirler, kıyı bölgeleri) yeterli yoğunlukta numune noktası oluşturmak yüksek maliyetli ve lojistik açıdan zordur, bu da kirliliğin mekânsal yayılımının tam haritalanmasını engeller.

2. Zamansal Gecikme: Numune toplama, taşıma ve laboratuvar süreçleri nedeniyle gerçek zamanlı izleme yapılamaz. Bu gecikmeler, ani kirlilik olaylarına müdahale etme yeteneğini kısıtlar.

3. Operasyonel Riskler: Kirlilik kaynağının bulunduğu endüstriyel atık bölgeleri, sel basmış alanlar veya tehlikeli sızıntı noktaları gibi erişimi zor veya insan sağlığı için riskli yerlerde manuel izleme, personel güvenliğini tehlikeye atar.

Bu zorluklar, çevresel izlemede daha esnek, hızlı konuşlanabilen ve yüksek çözünürlüklü veriler sunabilen uzaktan algılama teknolojilerine olan ihtiyacı pekiştirmiştir.

1.3 İnsansız Hava Aracı (İHA) Teknolojisinin Çevresel İzlemedeki Yeni Rolü

İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemleri, sensör teknolojisindeki hızlı ilerlemeler ve platform otonomisi sayesinde çevresel izleme ve yönetim alanında devrim niteliğinde bir araç haline gelmiştir. İHA'lar, uyduların sınırlı çözünürlük ve esnekliği ile geleneksel saha ölçümlerinin noktasal kısıtlılıkları arasındaki boşluğu doldurmaktadır. Özellikle su kütlelerinin izlenmesinde, İHA'lar aşağıdaki kritik yetenekleri sunar:

- Yüksek Çözünürlük ve Detay: Düşük irtifadan uçuş imkânı sayesinde santimetre düzeyinde mekânsal çözünürlük elde edilebilir, bu da kirlilik sınırlarını ve yayılım desenlerini detaylıca haritalamayı mümkün kılar.

- Hızlı ve Esnek Konuşlanma: Kirlilik olaylarına saatler içinde tepki verme ve acil durumlarda anlık veri toplama yeteneği, müdahale ekiplerine kritik zaman avantajı sağlar.

- Çoklu Sensör Entegrasyonu: Multispektral, hiperspektral ve termal gibi çeşitli sensörleri taşıyabilme, suyun yüzey sıcaklığı, klorofil-a, askıda katı madde (AKM) ve bulanıklık gibi fiziksel ve biyokimyasal parametrelerin uzaktan ölçülmesine olanak tanır.

1.4 Teknik Altyapı ve Kapsam Dönüşümü: Radar Kesit Alanı Çalışmalarının Rolü

Bu tez çalışması, İHA teknolojisinin çevresel uygulamalarına odaklanırken, yazarın daha önceki çalışmalarıyla edinilmiş olan ileri düzey İHA platformu yeterliliğinden güç almaktadır. Tezin başlangıç aşaması, tamamen teknik bir perspektifle, İHA'ların operasyonel güvenilirliği ve gizliliğini etkileyen temel bir elektromanyetik parametre olan Radar Kesit Alanı (RKA) üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu kapsamda, İHA yapımında kullanılabilecek farklı geometrilere (plaka, küre, silindir) ait çeşitli materyallerin RKA değerleri, CST MWS gibi Hesaplamalı Elektromanyetik (CEM) simülasyon ortamında hassas ölçümlerle ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Bu deney ve simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler, farklı frekans bantlarında (1 GHz'den 20 GHz'e kadar) materyallerin radar görünürlüğünü nasıl etkilediği üzerine derinlemesine bilgi sağlamıştır.

Bu kapsamlı RKA çalışması, yeni tezin konusuna iki temel açıdan önemli bir teknik temel sağlamaktadır:

1. Operasyonel Güvenlik ve Gizlilik: Çevresel izleme misyonlarının bir kısmı, hassas endüstriyel tesislerin yakınında veya yetkili merciler için gizlilik gerektiren bölgelerde icra edilebilir. RKA'yı anlama ve yönetme yeteneği, İHA'nın bu tür ortamlarda minimum tespit riskiyle ve dolayısıyla maksimum görev güvenilirliğiyle çalışmasını mümkün kılar.

2. Yüksek Performanslı Platform Entegrasyonu: RKA değerlerini optimize edebilecek malzeme seçimi konusundaki uzmanlık, çevresel sensörleri taşıyan İHA'ların yapısal bütünlüğünü ve elektromanyetik uyumluluğunu en üst düzeye çıkararak, su kirliliği izleme sistemlerinin genel performansını dolaylı olarak artırır.

Bu nedenle, tezin odağı saf mühendislikten (RKA) Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı'nın gerektirdiği uygulamalı ve inovatif bir alana (Su Kirliliği İzleme) kaydırılmış olsa da, yazarın RKA ölçümleri konusundaki derin teknik yetkinliği, önerilen çevresel izleme çözümlerinin pratikliğini ve uygulanabilirliğini destekleyen temel bir teknik altyapı olarak konumlandırılmıştır.

1.5 İHA'ların Su Kirliliği Belirlemedeki Potansiyeli ve İnovasyon Alanları

İHA'lar, su kirliliğine özgü parametreleri uzaktan algılama yeteneği sayesinde büyük bir inovasyon potansiyeli taşır. Bu inovasyon, özellikle gelişmiş sensörlerin ve yapay zekâ destekli analizlerin entegrasyonuyla gerçekleşir:

- Alg Patlamalarının Erken Tespiti: Multispektral ve hiperspektral kameralar, klorofil-a'nın spektral yansıma karakteristiklerini analiz ederek ötrofikasyon olaylarını ve zararlı alg patlamalarını geleneksel yöntemlerden çok daha önce ve geniş ölçekte tespit edebilir.

- Termal Kirlilik Haritalaması: İHA'lar üzerindeki termal görüntüleyiciler, endüstriyel tesislerden veya enerji santrallerinden kaynaklanan sıcak su deşarjlarının (termal kirlilik) su yüzeyindeki anomali alanlarını yüksek hassasiyetle haritalayarak, yasa dışı veya kurallara aykırı deşarjların anlık takibini sağlar.

- Otomatik Numune Alma ve Yerinde Ölçüm: Bazı İHA sistemleri, kirlilik şüphesi olan noktalara inerek veya temas ederek pH, çözünmüş oksijen ve iletkenlik gibi parametreleri ölçen minyatür sensörleri taşıyabilir. Bu, uzaktan algılama verilerinin doğrulanması (ground truthing) sürecini hızlandırır ve personel riskini azaltır.

Bu potansiyelin hayata geçirilmesi, İHA platformunun kendisinin teknik olarak olgunlaşmış ve görev gereksinimlerine uygun bir yapıda olmasını gerektirir; bu olgunluk ise RKA gibi temel mühendislik çalışmalarından beslenir.

1.6 Çalışmanın Amacı, Hipotezi ve Yeni Kapsamı

Bu tezin temel amacı, su kirliliğinin izlenmesinde İHA sistemlerinin teknolojik ve operasyonel potansiyelini analiz etmek ve bu alandaki inovatif çözümlerin bilimsel zeminini oluşturmaktır. Tezin yeni kapsamı, çevresel uygulamaları merkeze alırken, yazarın platform teknolojileri konusundaki uzmanlığını da bir kaldıraç olarak kullanmaktadır.

Tezin Temel Hipotezi: İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemleri, uzaktan algılama ve yapay zekâ entegrasyonu sayesinde su kirliliğini geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı, daha kapsamlı ve daha maliyet-etkin bir şekilde belirleme potansiyeline sahiptir ve yazarın RKA ölçümleriyle sağladığı platform teknik bilgisi, bu potansiyelin hassas ortamlarda güvenli uygulanabilirliğini artırmaktadır.

1.7 Tezin Yapısı

Bu tez, belirlenen amaçlar ve yenilenen kapsam doğrultusunda konuyu sistematik olarak incelemek üzere altı ana bölümden oluşmaktadır:

- Birinci Bölüm: Giriş, tezin konusunu, amacını, küresel su kirliliği sorununu, geleneksel yöntemlerin sınırlılıklarını ve RKA ölçümlerine dayalı teknik altyapıdan yeni uygulama alanına geçişin gerekçesini sunmaktadır.

- İkinci Bölüm, su kirliliğinin türlerini ve izlenmesinde kullanılan temel fiziksel ve kimyasal parametreleri detaylandırmaktadır.

- Üçüncü Bölüm, İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerini, platform tiplerini, çevresel izlemede kullanılan uzaktan algılama sensör teknolojilerini (multispektral, termal vb.) açıklamaktadır.

- Dördüncü Bölüm, İHA'ların su kirliliği tespitindeki metodolojilerini, veri toplama stratejilerini ve toplanan yüksek çözünürlüklü verilerin işlenmesi, analizi ve yapay zekâ ile entegrasyonu konularını ele almaktadır.

- Beşinci Bölüm, İHA destekli su izleme sistemlerinin pratik uygulamalarını gösteren vaka çalışmalarını analiz etmekte, sistemlerin maliyet-etkinliğini değerlendirmekte ve RKA çalışmalarının operasyonel güvenlik ve tasarım üzerindeki etkilerini tartışmaktadır.

- Altıncı Bölüm: Sonuçlar ve Öneriler, tez çalışması boyunca elde edilen ana bulguları özetlemekte ve su kirliliği yönetiminde İHA teknolojisinin gelecekteki kullanımına yönelik somut önerilerde bulunmaktadır.

1.8 Su Kirliliğinin Türleri ve İzlenmesinde Kullanılan Temel Fiziksel ve Kimyasal Parametreler

Su kaynaklarının ekolojik ve ekonomik sürdürülebilirliği, mevcut su kalitesi durumunun doğru ve sürekli olarak anlaşılmasına bağlıdır. Kirlilik, suyun doğal

özelliklerini değiştiren ve onu amaçlanan kullanımlar (içme, tarım, endüstri, rekreasyon) için uygun olmaktan çıkaran her türlü fiziksel, kimyasal veya biyolojik etken olarak tanımlanır. Bu bölüm, İHA teknolojisi ile uzaktan algılama yoluyla tespit edilmeye çalışılan kirlilik türlerini ve bu tespitin temelini oluşturan kritik su kalitesi parametrelerini ayrıntılı olarak ele almaktadır.

1.8.1 Su Kirliliğinin Sınıflandırılması ve Ana Türleri

Su kirliliği, kirletici kaynağına veya kirleticinin doğasına göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Her bir kirlilik türü, suyun spektral yansıma özelliklerini (dolayısıyla İHA'lar tarafından algılanabilme şeklini) farklı şekillerde etkilemektedir.

1.8.1.1 Kirletici kaynağına göre sınıflandırma

1. Noktasal Kaynaklı Kirlilik (Point Source Pollution): Bu tür kirlilik, atığın belirlenebilir, tek bir noktadan doğrudan su kütlesine deşarj edildiği durumları ifade eder. Endüstriyel tesislerin deşarj boruları, kanalizasyon arıtma tesislerinin çıkış noktaları ve drenaj kanalları tipik noktasal kaynaklardır. Bu kaynaklar genellikle yüksek konsantrasyonda kirlilik içerir ve uzaktan algılama ile kirliliğin suya karıştığı alanların net sınırlarının belirlenmesi nispeten kolaydır.

2. Yayılı Kaynaklı Kirlilik (Non-Point Source Pollution): Bu kirlilik türü, büyük bir coğrafi alandan su kütlesine ulaşan ve kaynağı tek bir noktaya indirgenemeyen kirlilikleri kapsar. Yağmur suları ve yüzey akışları, tarım arazilerinden gübre ve pestisitleri, kentsel alanlardan ise yağ, tortu ve evsel kimyasalları beraberinde sürükleyerek su yollarına taşır. Yayılı kaynaklı kirliliğin yönetimi, doğası gereği daha zorlu olup, İHA'lar ile geniş alanların izlenmesi ve akış yollarının belirlenmesi bu alanda kritik rol oynamaktadır.

1.8.1.2 Kirleticinin doğasına göre sınıflandırma

1. Kimyasal Kirlilik: Sanayi tesislerinden, madencilik faaliyetlerinden veya tarımsal uygulamalardan kaynaklanan toksik maddelerden oluşur. Ağır metaller (cıva, kurşun, kadmiyum), organik bileşikler (pestisitler, petrol türevleri) ve sentetik

kimyasallar bu kategoriye girer. Bu kirlilikler, su canlıları ve insan sağlığı için en büyük tehdidi oluşturur.

2. Biyolojik Kirlilik: İnsan ve hayvan dışkılarından kaynaklanan patojen mikroorganizmalar (bakteriler, virüsler, parazitler) ile karakterizedir. Kirliliğin göstergesi olarak kullanılan koliform bakterileri ve aşırı fitoplankton (alg) çoğalması bu türdendir. Alg patlamaları, özellikle sudaki klorofil-a konsantrasyonunu artırarak İHA'ların multispektral kameraları tarafından kolaylıkla tespit edilebilir.

3. Fiziksel Kirlilik: Su sıcaklığı (termal kirlilik), bulanıklık (askıda katı madde) ve renk gibi suyun fiziksel özelliklerinin bozulmasıdır. Örneğin, inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan aşırı tortu birikimi suyun bulanıklığını artırarak ışığın su derinliklerine ulaşmasını engeller ve ekosisteme zarar verir.

4. Termal Kirlilik: Enerji santralleri veya bazı üretim tesisleri tarafından soğutma amaçlı kullanılan suyun, normal sıcaklığından daha yüksek bir ısıda su kütlesine geri bırakılması sonucu oluşur. Bu durum, sudaki çözünmüş oksijen miktarını azaltır ve sucul canlıların yaşam alanlarını olumsuz etkiler. Termal kirlilik, İHA'lar üzerindeki termal kameralar ile yüzey sıcaklık anormallikleri olarak yüksek hassasiyetle anında tespit edilebilir.

1.8.2 Temel Fiziksel Su Kalitesi Parametreleri

Fiziksel parametreler, suyun duyularla algılanabilen ve ekosistem sağlığını doğrudan etkileyen özellikleridir. Uzaktan algılama sistemleri, bu parametreleri doğrudan veya dolaylı olarak ölçme yeteneğine sahiptir.

1.8.2.1 Sıcaklık

Su sıcaklığı, sucul ekosistemlerin fizyolojisi üzerinde belirleyici bir faktördür. Suyun sıcaklığı, çözünmüş oksijenin suda kalma kapasitesini doğrudan etkiler (sıcaklık arttıkça oksijen çözünürlüğü azalır) ve aynı zamanda sucul organizmaların metabolizma hızını, üremesini ve toksik maddelere karşı toleransını belirler. Termal

kirlilik durumlarında sıcaklık artışı gözlenir. İHA'lar, termal kızılötesi kameralar (TIR) kullanarak su yüzeyi sıcaklığını uzaktan, yüksek mekânsal çözünürlükle ve temassız olarak hızlı bir şekilde haritalayabilir.

1.8.2.2 Bulanıklık (Turbidity) ve askıda katı madde (AKM)

Bulanıklık, su içinde asılı kalan çok küçük parçacıklar (kil, silt, organik madde, plankton vb.) nedeniyle ışığın saçılması ve emilmesi sonucu suyun saydamlığını kaybetme derecesidir. Askıda Katı Madde (AKM) ise bu parçacıkların ağırlıkça miktarını ifade eder. Yüksek bulanıklık, ışığın su derinliklerine nüfuzunu azaltarak su altı bitkilerinin fotosentezini engeller, bu da sucul besin zincirini olumsuz etkiler. Aynı zamanda kirlilik taşıyan partiküllerin sucul organizmaların solungaçlarına zarar vermesine neden olur. İHA'lar, optik sensörler (multispektral) aracılığıyla su yüzeyinden yansıyan görünür ışık spektrumunu analiz ederek, özellikle kırmızı ve yakın kızılötesi bantlardaki saçılma miktarını ölçerek yüksek AKM konsantrasyonunu tahmin edebilir.

1.8.2.3 Renk ve koku

Suyun rengi, genellikle çözünmüş organik maddeler, alg konsantrasyonları veya endüstriyel atıkların varlığı hakkında ilk ipuçlarını verir. Örneğin, aşırı fitoplankton çoğalması suya yeşil-mavi tonlar verirken, demir oksitler kırmızımsı-kahverengi bir renklenmeye yol açabilir. Koku ise genellikle organik maddenin ayrışması veya kimyasal deşarjların sonucudur. İHA'ların yüksek çözünürlüklü RGB kameraları, anormal renk değişimlerini hızla tespit etmekte ve kirlilik alanlarının görsel haritalanmasında temel rol oynamaktadır.

1.8.2.4 Elektriksel iletkenlik

Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını ne kadar iyi ilettiğini gösteren bir ölçüttür ve suda çözünmüş iyonların (tuzlar, inorganik kimyasallar) toplam konsantrasyonuyla doğru orantılıdır. Yüksek iletkenlik, genellikle endüstriyel deşarjlar, kanalizasyon sızıntıları veya deniz suyu girişi (tuzlanma) gibi durumları işaret eder. İletkenlik,

uzaktan algılama ile doğrudan ölçülemeyen bir parametre olsa da, İHA'ya entegre edilen temaslı prob sistemleri ile noktasal doğrulama amacıyla hızla ölçülebilir.

1.8.3 Temel Kimyasal Su Kalitesi Parametreleri

Kimyasal parametreler, suyun kimyasal bileşimini gösterir ve su kalitesinin biyolojik ve ekolojik potansiyelini belirler.

1.8.3.1 Çözünmüş oksijen (ÇO)

Çözünmüş Oksijen (ÇO), su kütlesinde serbest halde çözünmüş oksijen gazı miktarını ifade eder. Su yaşamı için en kritik parametrelerden biridir; balıklar ve diğer sucul canlılar hayatta kalmak için yeterli ÇO seviyesine ihtiyaç duyar. ÇO seviyesi, su sıcaklığı, atmosferik basınç, tuzluluk ve sudaki organik madde miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle atık su deşarjları veya alglerin gece solunumu gibi durumlarda, aşırı organik yükün ayrışması ÇO tüketimini artırarak anoksi (oksijensizlik) koşulları yaratabilir. ÇO, doğrudan uzaktan algılanamasa da, su sıcaklığı ve klorofil-a konsantrasyonu gibi dolaylı parametreler (İHA ile ölçülebilir) kullanılarak tahmini modeller geliştirilebilir.

1.8.3.2 Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

- Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ): Sudaki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak ayrıştırılması için gereken oksijen miktarıdır. Yüksek BOİ değeri, suda büyük miktarda biyolojik olarak ayrışabilir organik kirlilik bulunduğunu gösterir (örn. evsel atık sular).

- Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): Sudaki hem biyolojik olarak parçalanabilen hem de parçalanamayan tüm organik maddelerin kimyasal oksidasyonu için gereken oksijen miktarıdır. Bu iki parametre de geleneksel olarak laboratuvar testleri gerektirir. Ancak, kirliliğin suya karışma noktalarındaki yüksek AKM ve renk değişimleri gibi İHA ile tespit edilebilir fiziksel belirtiler, potansiyel yüksek BOİ/KOİ alanlarını hızla işaretleyebilir.

1.8.3.3 pH

pH, suyun asitlik veya bazlık derecesini gösteren logaritmik bir ölçektir. Çoğu sucul ekosistem, 6,5 ile 8,5 arasındaki nötr pH aralığında sağlıklı bir şekilde işler. Endüstriyel atıklar veya asit yağmurları, suyun pH dengesini bozarak canlılar için toksik hale getirebilir. İHA'lar, sensör probu taşıyarak hassas pH ölçümlerini uzaktan kumanda ile gerçekleştirebilir.

1.8.3.4 Besin maddeleri (Azot ve fosfor)

Azot (nitrat, amonyum) ve Fosfor (ortofosfat) bileşikleri, sucul ekosistemlerde alg ve bitki büyümesi için temel besin elementleridir. Tarımsal yüzey akışları, yetersiz arıtılmış atık sular ve atmosferik birikim sonucu bu besinlerin aşırı konsantrasyonu, ötrofikasyon olarak bilinen su kirliliği sorununa yol açar. Ötrofikasyon, alg patlamalarına ve dolayısıyla sudaki ÇO seviyesinin düşmesine neden olur. İHA'lar, bu besin maddelerini doğrudan ölçemez; ancak besin fazlalığının en önemli sonucu olan klorofil-a konsantrasyonunu (fitoplankton biyokütlesinin bir göstergesi) multispektral kameralar aracılığıyla belirleyerek besin kirliliğinin dolaylı izlenmesini sağlar.

1.8.4 İHA Teknolojisiyle İlişkisi

Bu bölümde detaylandırılan fiziksel ve kimyasal parametreler, İHA tabanlı izleme sistemlerinin uygulama alanını oluşturmaktadır. İHA'lar, özellikle sıcaklık, bulanıklık (AKM) ve klorofil-a gibi uzaktan algılama ile doğrudan tespit edilebilen parametrelerde geleneksel yöntemlere göre üstün bir mekânsal ve zamansal çözünürlük sunarak su kirliliğiyle mücadelede devrimci bir rol oynamaktadır. Diğer kimyasal parametreler için ise, İHA'lar noktasal izleme ve hızlı numune alma görevlerini insan müdahalesi olmaksızın yürüterek genel izleme verimliliğini maksimize etmektedir.

1.9 Radarlar

Radarlar, bir kişinin karşıdaki tepeye doğru bağırması sonrasında tepeye çarpan sesin geri yansıyıp sesi çıkaran kişinin duymasındaki sürece sahiptirler. Sesin geri gelme süresinin sesin hızıyla çarpılması sonucu tepenin kişiye olan mesafesi hesaplanabilir. Elektromanyetik dalgalarda da yukarıdaki örneğe benzer şekilde darbenin gönderilme anından itibaren ilk yankının geri dönmesine kadar geçecek süre ile elektromanyetik dalganın hızının hesaplanmasıyla radar ile hedef arasındaki mesafe ölçülebilir. Radarın belli bir bölgeye yoğunlaşması durumunda ise hedefin yönünü belirlemek de mümkün olacaktır.

Gelişigüzel şekilli tek katmanlı veya çok katmanlı nesnelerden saçılım yapan düzlem dalgalar, uzun zamandır yapılan çalışmaların konusunu oluşturmuştur. Bu da askeri ve uzay alanları gibi birçok konuda RKA uygulamalarının gelişmesini sağlamıştır (Rao vd., 1982).

Radar kesit alanı, bir hedefe gelen dalga ulaştıktan sonra verilen doğrultuda bu hedeften saçılan gücün ölçümüdür. Alıcının pozisyonunun bilinmesine gerek yoktur.

Radar kesit alanı, bir hedefin tüm özelliklerini tanımlar, karakteristiklerini içerir. Vericinin gücü, alıcının hassasiyeti, mesafe ve vericinin pozisyonu radar kesit alanını etkilemez.

Radar kesit alanı, gelen dalganın polarizasyonuna, gelen dalganın geliş açısına, gözlem açısına, gözlem açısına, hedefin geometrisine, hedefin elektriksel özelliklerine ve çalışma frekansına bağlıdır.

IEEE tarafından yapılan tanımda ise; radar kesit alanının hedeften saçılan elektrik alanın karesinin, hedeften gelen elektrik alanın karesiyle ilişkili olduğu belirtilmiş ve matematiksel olarak aşağıda olduğu gibi ifade edilmiştir: (Hess, 2008)

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{\left|E_{scat}\right|^2}{\left|E_{inc}\right|^2} \tag{1.1}$$

Yukarıda belirtildiği gibi RKA değeri, hedef hakkında bilgi veren bir kriterdir. RKA değerinin hesaplanması, tahmini vb. hususlar, ilerleyen başlıklarda incelenmişir. Bununla birlikte farklı nitelikte ve boyutlardaki bazı nesnelere ait RKA değerleri aşağıda sunulmuştur:

Tablo 1.1 Bazı cisimlere ait RKA değerleri

X- Bandında	RKA (m^2)	RKA(dBsm)
Otomobil	100	20
Jumbo jet	100	20
Savaş uçağı	6	7,78
Yetişkin erkek	1	0
Kuş	0,01	-20
Böcek	0,00001	-50
Taktik savaş uçağı	0,00001	-60

Teknolojinin hızla gelişmesi, insan hayatının artan önemi ile birleştiğinde; muharebe alanlarında insan zayiatı ihtimalini azaltmaya/ortadan kaldırmaya yönelik tedbirler alınması, bilim dünyasının ilgi alanının merkezine yerleşmiştir.

2. RADARIN TEMELLERİ

2.1 Radar Tanımı ve Tarihsel Gelişimine Bakış

Radar, radyo algılama ve menzil belirlemesi ifadesinin İngilizce karşılığının (Radio Detection And Ranging) baş harflerinden üretilmiş bir kelimedir (Skolnik, 2002).

Her ne kadar mikrodalga teknolojisi yaklaşık olarak 50 yıl öncesinden başlamış olsa da hava savunma radarlarının gerekliliği nedeniyle mikrodalgadaki hızlı gelişme 1940'lı yılların başında meydana geldi. 1880'lerin sonunda bu konudaki ilk tecrübeler aynı zamanda ilk radar bilim adamı olarak adlandırılan alman bilimci Heinrich Hertz tarafından sergilendi. Heinrich Hertz'in edinimleri J. C. Maxwell'in her biri aynı esaslara dayalı olan radyo dalgaları ve optik dalgalara ilişkin teorik yaklaşımlarını desteklemiştir. Hertz, radyo dalgalarının nesnelerden yansımasını göstermek maksadıyla bugün radar olarak adlandırılan cihazı kullanmıştır. Hertz'in radar benzeri cihazı, parabolik silindir anteni besleyen çift kutbu harekete geçiren kıvılcım aralığı jeneratörüne sahiptir. Radyasyon yoluyla yayılan enerji, 450 MHz frekans civarındadır. Hertz'in edinimleri 1890'lı yılların ortalarında ve daha yüksek frekanslarda J. S. Bose tarafından tekrarlandı (Skolnik, 2002).

Mikrodalga 1900'e kadar hem teorik hem de deneysel olarak açıklanmış olsa da 190-30'lara kadar başkaca bir gelişme yaşanmamıştır. Mikrodalga teknolojisinde yeterli güce sahip vericinin, hassas alıcının ve mikrodalga frekansta çalışacak uygulamanın eksikliği yaşanmıştır. 1930'ların sonunda süperheterodin alıcı, yüksek frekanslara uygun hale gelmiştir. Hava savunmanın önem kazanmasıyla mikrodalganın ilerleme hızı yükselmiştir (Skolnik, 2002).

1930'ların ortasında temel radar konsepti birbirinden bağımsız fakat neredeyse eş zamanlı olarak radyo teknikte dünyanın önde gelen sekiz ülkesi tarafından keşfedilmiştir. İlk radarlar VHF bandına yayın yapmışlardır. 1939 yılı Eylül ayında İkinci Dünya Savaşının başlamasıyla VHF bandında yayın yapan radarları geliştiren ülkelerin büyük bir çoğunluğu, dar hüzme genişliğine sahip daha küçük boyuttaki antenlere sahip olmak için çok daha yüksek frekanslara ihtiyaçları olduğunun farkına

varmışlardı. Küçük boyuttaki antenler, radarların mobil kullanımını ve hava araçlarının üzerine monte edilmelerini mümkün kılmaktaydı ve o tarihlerde frekans hedefi 3GHz idi. Bununla birlikte 1940 yılında kullanışlı bir radar elde etmenin önündeki en belirgin sınırlama yüksek güce sahip bir vericinin eksikliği olmuştur (Skolnik, 2002).

1930'lu yılların sonunda, Stanford Üniversitesinde fizik hocası olarak görev yapan W. W. Hansen, elektron demetini hızlandırabilmek amacıyla mikrodalga boşluk rezonatörlerinin özelliklerini incelemiştir. W. W. Hansen her ne kadar radarla ilgilenmemiş olsa da Russel ve Sigurd Varian, Hansen'in ilk klistron amplifikatörünün ilerlemesi için yaptığı araştırmaların sonuçlarından faydalanmışlardır. Varian kardeşler, hava araçlarının tespit edecek olan radarın icat edilmesi üzerine çalışmışlardır. Klistron yüksek güç mikrodalga vericisinin potansiyeli bulunmasına rağmen İkinci Dünya Savaşı sırasında pek ilgi duyulmamış, hiçbir radarda kullanılmamış ve geliştirilmesi çok uzun zaman almıştır. Çünkü klistron, magnetronun yarattığı heyecanın gölgesinde kalmıştı. Bugün klistron, yüksek güç ve dayanıklı sinyal gerektiren pek çok radar uygulamasında kullanılan önemli bir yüksek güç cihazıdır. Diğer taraftan günümüzde magneton, yalnızca yüksek güç gerektirmeyen radar tasarımında kullanılmaktadır (Skolnik, 2002).

Radarlar kara radarı, hava radarı, uzay radarı ve gemi konuşlu radarlar olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca radarlar karakteristiklerine göre frekans bandı, anten türü ve dalga formları gibi çok daha çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulabilirler. Sürekli dalga formlarını kullanan radarlar Sürekli Dalga Radarı olarak adlandırılırlar. Buna karşılık olarak zaman sınırlı darbe dalga formları ise Darbe Radarı olarak adlandırılırlar. Bir diğer radar sistemi sınıflandırması ise radarın görevi ve/veya işlevselliği ile ilgilidir. Buna göre hava tahmin, hedef arama ve tespiti, tarama, tarayarak arama, ateş kontrol, erken ikaz/uyarı, ufuk ötesi, arazi takibi ve engel ikaz gibi maksatlara hizmet eden ve bu masatlara göre adlandırılan radarlar bulunmaktadır. Faz dizili radarlar, faz dizili antenlerden yararlanırlar ve genel olarak çok fonksiyonlu (Çok modlu) radarlar olarak adlandırılırlar. Dizi antenleri, mekanik veya elektronik olarak yönlendirilmiş dar kırınımsız ışınları sentezlerler. Elektronik yönlendirme, dizi elemanlarını besleyen

elektrik akımının faz kontrolü ile yapılabilmektedir ve bu yüzden de faz dizili ismi benimsenmiştir (Mahafza, 2013).

2.2 Radarların Çalışma Bant Aralıkları

Tablo 2.1 Kabul edilen frekans-bant aralıkları

HARF TEMSİLİ	GHz MERTEBESİNDE FREKAS ARALIĞI (IEEE Standardı)	GHz MERTEBESİNDE FREKAS ARALIĞI (NATO Standardı)
HF	0,003-0,003	A
VHF	0,03-0,3	A<0,25; B>0,25
UHF	0,3-1,0	B<0,5; C>0,5
L-bant	1,0-2,0	D
S-bant	2,0-4,0	E<3,0; F>3,0
C-bant	4,0-8,0	G<6,0; H>6,0
X-bant	8,0-12,5	I<10,0; J>10,0
Ku-bant	12,5-18,0	J
K-bant	18,0-26,5	J<20,0; K>20,0
Ka-bant	26,5-40,0	K
V & W veya Milimetre Dalgası (MMW)	Normal olarak > 34,0	L<60,0; M>60,0

2.3 Dalga Formuna Göre Radarlar

Dalga formuna göre sınıflandırma yapılmak istendiğinde iki tür radardan bahsetmek mümkündür. Bunlar darbe radarları ve sürekli dalga radarlarıdır. Sürekli dalga radarları sürekli elektromanyetik enerji yayını yapan ve ayrı alıcı ve verici anten kullanan radarlardır. Moduleli olmayan sürekli dalga radarları hedefin radyal hızını (Doppler kayması) ve açısal konumunu yüksek doğrulukla ölçerler. Sürekli dalga formları, yalnız $\cos 2\pi f_0 t$ formundaki sinüs dalgası olarak görünebilirler. Sabit hedeften yansıyan radar yankı spektrumları ve parazit yankıları f_0 etrafında yoğunlaşacaklardır. Hareketli hedeflerin yankılarının merkez frekansı, f_d doppler frekansı tarafından değiştirilecektir. Böylelikle Sürekli Dalga Radarları, bu frekans değişiminin ölçümlenmesiyle hedefin radyal hızını kesin olarak tespit edebilecektir. Sürekli Dalga yayınının süreklilik arz eden niteliği sebebiyle radar işleyişinde ve dalga formlarında bir takım değişiklikler yapmadan mesafe ölçümü yapmak imkânsızdır. Basitçe ifade

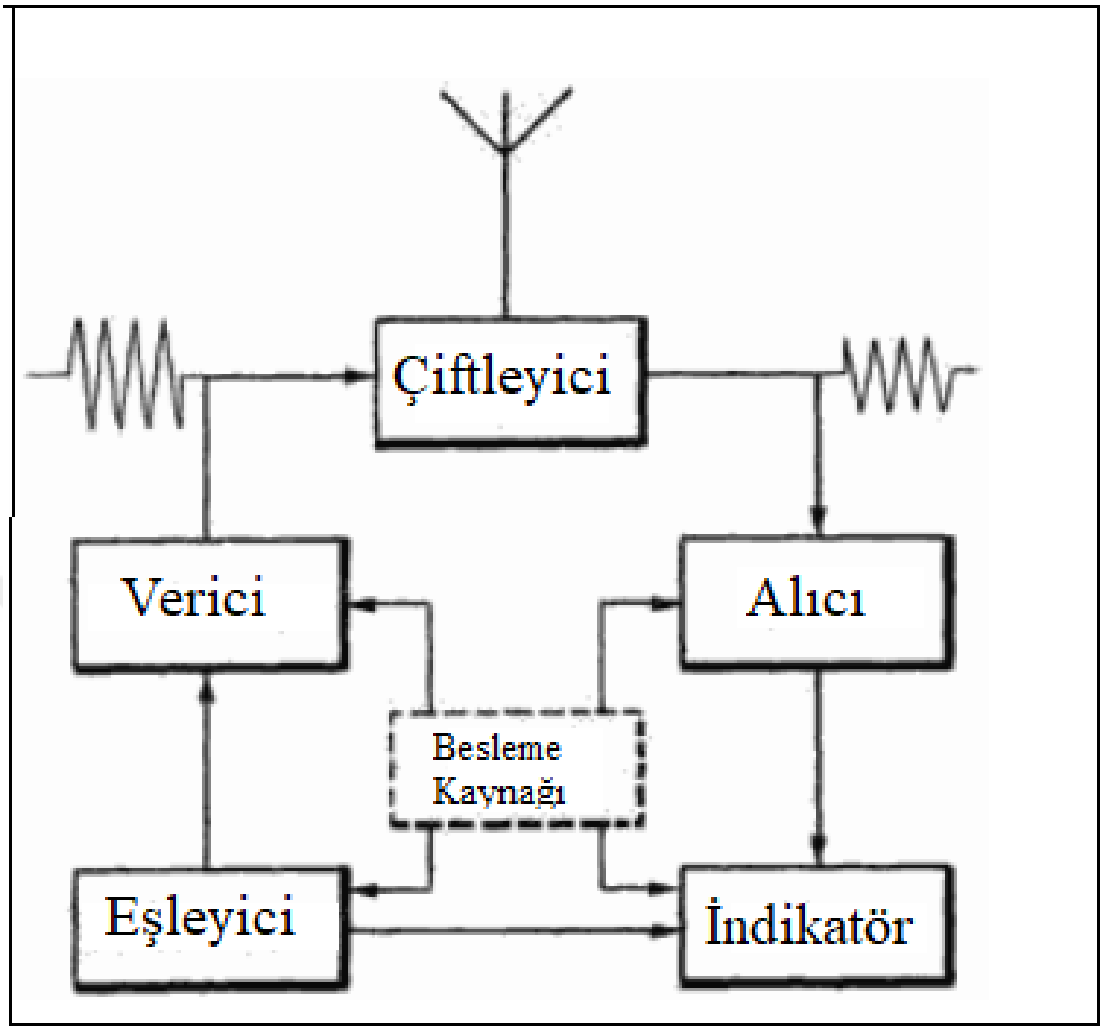
etmek gerekirse, bazı modülasyon formlarından yararlanmadan hedef mesafe bilgisi çıkarılamaz.

Darbe Radarları, bir takım darbe dalga formlarını (Daha ziyade modüleli) kullanırlar. Bu kategoride radar sistemleri, Darbe Tekrarlama Frekansı (DTF) temelinde düşük DTF, orta DTF, yüksek DTF radarları olarak sınıflandırılabilirler. Düşük DTF radarları, özellikle hedef hızının (Doppler değişikliğinin) önemsenmediği mesafe tahminlerinde kullanılır. Yüksek DTF radarları ise özellikle hedef hızının ölçümlenmesinde kullanılmaktadır. Sürekli dalga radarları, darbe radarları gibi farklı modülasyon planlarından faydalanarak hem hedef hızını hem de radyal hızı ölçümleyebilirler.

2.4 Mesafe ve Mesafe Çözünürlüğü

2.4.1 Mesafe

Şekil 2.1'de basitleştirilmiş darbe radar blok diyagramını görülmektedir. Zaman kontrol kutusu, sistem boyunca gerekli olan zaman senkronizasyon sinyalleri üretir. Bir modüleli sinyal modülatör/verici blok tarafından üretilir ve antene gönderilir. Antenin alıcı ve verici modlar arasındaki geçişi, çiftleyici tarafından kontrol edilir. Çiftleyici antenin hem gönderme hem de alma işlevi görmesini sağlar. Çiftleyici, iletim boyunca radarın elektromanyetik enerjisini antene yönlendirir. Buna karşılık sinyal alımında çiftleyici, alınan radar yankılarını alıcıya yönlendirir. Alıcı, dönen radar sinyallerini kuvvetlendirir ve onları sinyal işleme için hazırlar. Hedef bilgilerinin belirlenmesi, sinyal işleyici blok tarafından yapılır. Hedef mesafesi R, zaman gecikmesinin Δt (Dürtünün hedefle radar arasında çift yönlü yolculuğunda geçecek süre) ölçülmesiyle hesaplanır.



Şekil 2.1 Basitleştirilmiş darbeli radar blok şeması (Sloan ve Cote, 1998)

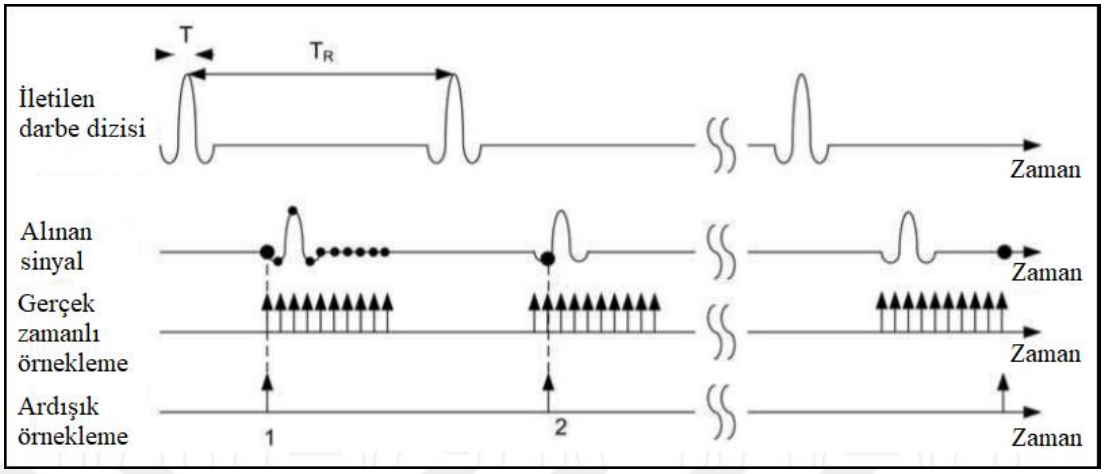
Elektromanyetik dalgalar ışık hızında c=3x10^8 m/s hızında ilerlediklerinden

$$R = (c\Delta t)/2 \tag{2.1}$$

Burada R'nin birimi metre, Δt'nin birimi ise saniyedir. İki yönlü zaman gecikmesini hesaba katmak için 1/2 kullanılır.

Genel olarak bir darbe radarı Şekil 2.2'de görüldüğü üzere bir dizi dürtüyü gönderir ve alır. Darbeler Arası Süre (Inter Pulse Period-IPP) T, Darbe Genişliği τ, IPP daha ziyade Darbe Tekrarlama Sıklığı (Pulse Repetition Interval-PRI) olarak anılmaktadır. Darbe Tekrarlama Sıklığının (PRI) tersi ise f_r ile temsil edilen Darbe Tekrarlama Frekansıdır (PRF).

$$f_r = 1/PRI = 1/T \tag{2.2}$$



Şekil 2.2 İletilen ve alınan darbeler dizisi (Hamran, 2010)

Her PRI boyunca radar τ saniye boyunca enerji yayını yapar ve geri kalan PRI süresi boyunca hedeften dönüşleri dinler. Radarın gönderme doluluk boşluk oranı (Duty cycle, d_t) $d_t = \tau/T$ olarak tanımlanır. Radar ortalama gönderme gücü ise

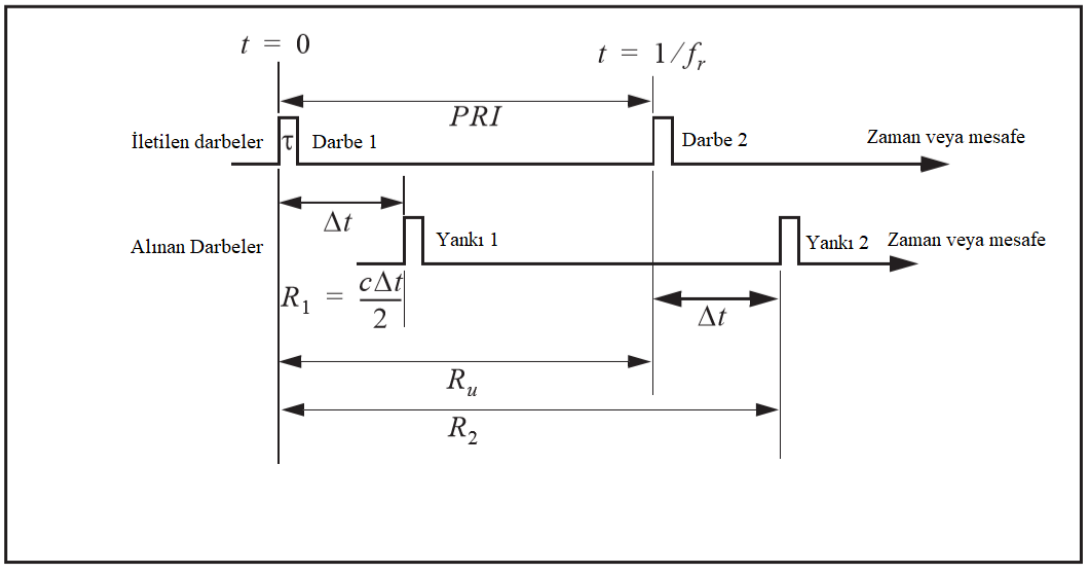
$$P_{av} = P_t x\, d_t \tag{2.3}$$

P_t, gönderilen azami gücü ifade etmektedir. Darbe enerjisi ise

$$E_{p=} P_t \tau = P_{av} T = P_{av} / f_r \tag{2.4}$$

Çift yönlü gecikme zamanı T ile ilgili olan mesafe, Belirli Mesafe (Unambiguous range, R_u) olarak adlandırılır. Şekil 2.3 değerlendirildiğinde Yankı1, Dürtü1'den dolayı $R_1 = (c\Delta t)/2$ mesafesindeki hedeften dönen radar yankısını temsil eder. Yankı2, Dürtü2'den dolayı aynı hedeften dönen radar yankısını temsil eder veya Dürtü1'den dolayı R_2 mesafesindeki hedeften dönen radar yankısını temsil eder.

$$R_2 = \frac{c\Delta t}{2} \qquad \text{veya} \qquad R_2 = \frac{c(T + \Delta t)}{2} \tag{2.5}$$



Şekil 2.3 Mesafe belirsizliğinin gösterimi (Douidar vd., 2017)

Esasen mesafe belirsizliği, Yankı2 ile alakalıdır. Bu yüzden radar tarafından gönderilecek sinyal gönderilmeden önce yeterli bir süre beklemelidir ki, azami mesafedeki hedeften yansıyan, bir sonraki sinyalden daha önce radara dönebilsin. Buradan çıkan sonuç şudur: azami belirli mesafe PRI süresinin yarısı ile orantılı olmalıdır.

$$R_u = (cT)/2 = c/(2f_r) \tag{2.6}$$

2.4.2 Mesafe Çözünürlüğü

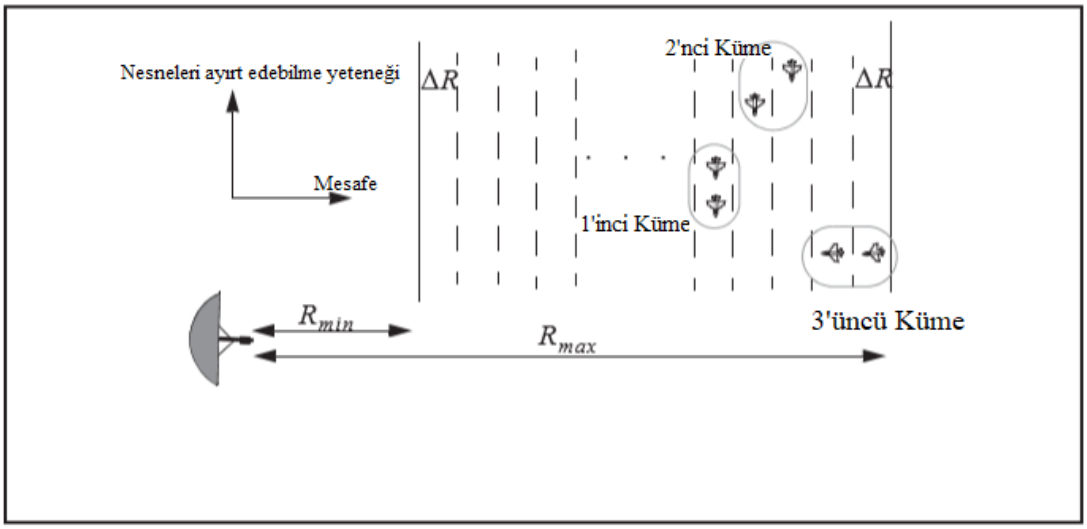
ΔR ile temsil edilen Mesafe Çözünürlüğü, birbirine çok yakın hedefleri farklı hedefler olarak tespit edebilme yeteneğini ifade eden bir radar ölçütüdür. Radar sistemleri normalde minimum Rmin aralığı ile maksimum Rmax aralığı arasında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Rmax ve Rmin arasındaki mesafe, her biri ΔR genişliğinde olan aralık kutularına (kapılar) ayrılmıştır.

$$R_2 = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{2\Delta t} \tag{2.7}$$

En az ΔR ile ayrılmış hedefler, Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, menzil içinde tamamen çözülecektir. Aynı aralık bölmesindeki hedefler, sinyal işleme teknikleri kullanılarak çapraz aralıkta (azimut) çözülebilir.

t_1 ve t_2 zaman gecikmelerine karşılık gelen R_1 ve R_2 aralıklarında bulunan iki hedefi düşünün, bu iki aralık arasındaki farkı ΔR, aşağıdaki gibi ifade edilir:

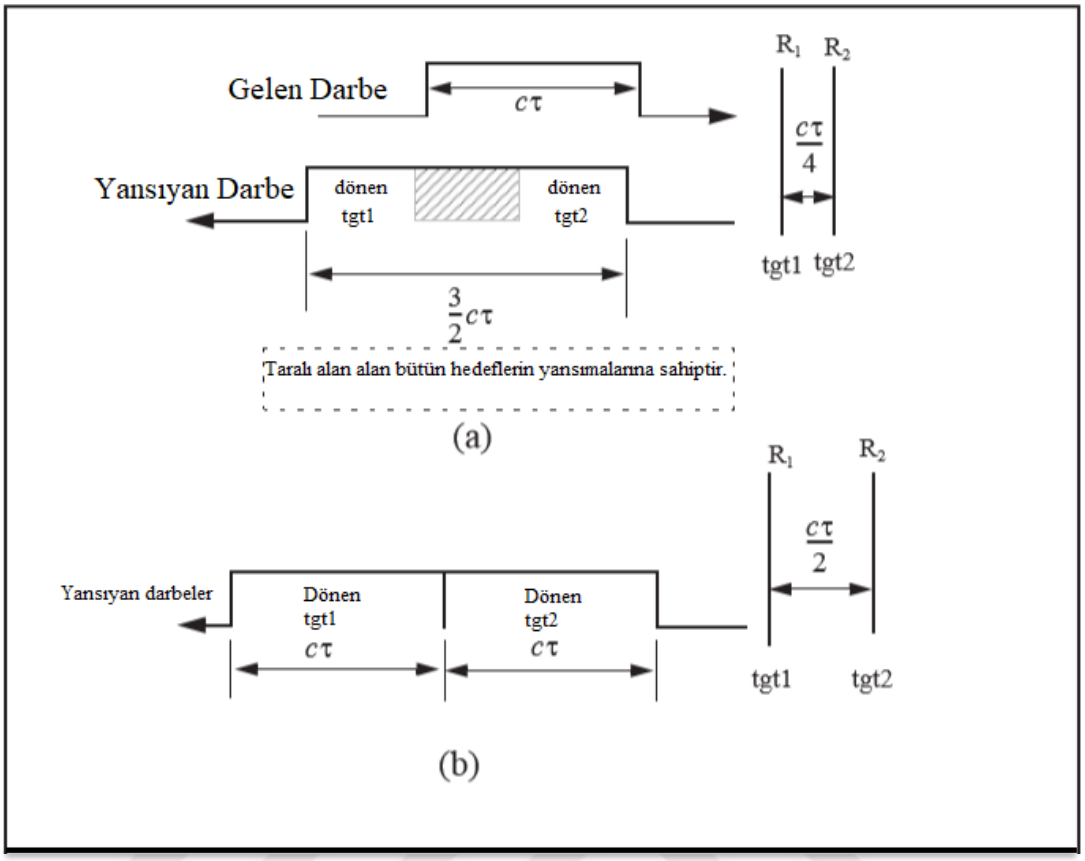
$$\Delta R = R_2 - R_1 = \frac{c(t_2 - t_1)}{2} = \frac{\delta t}{2} \tag{2.8}$$



Şekil 2.4 Hedeflerin çözümlenmesi (Mahafza, 2013)

İlk olarak, iki hedefin cτ/4 ile ayrıldığını varsayalım, τ darbe genişliğidir. Bu durumda, darbe takip kenarı hedef 2'ye çarptığında, ön kenar cτ mesafesini geriye doğru hareket ettirirdi ve geri dönen darbe, Şekil 2.5a'da gösterildiği gibi her iki hedefin getirilerinden (yani, çözülmemiş geri dönüş) oluşur. Bununla birlikte, iki hedef en az cτ/2 aralıklıysa, pals arka kenarı birinci hedefe çarptığında, ön kenar hedef 2'den geri dönmeye başlar ve Şek. 2.5b. Bu nedenle, ΔR cτ/2'ye eşit veya daha büyük olmalıdır. Radar bant genişliği B, 1/τ 'ye eşit olduğundan aşağıdaki denkleme ulaşılır.

$$\Delta R = \frac{c\tau}{2} = \frac{c}{2B} \tag{2.9}$$



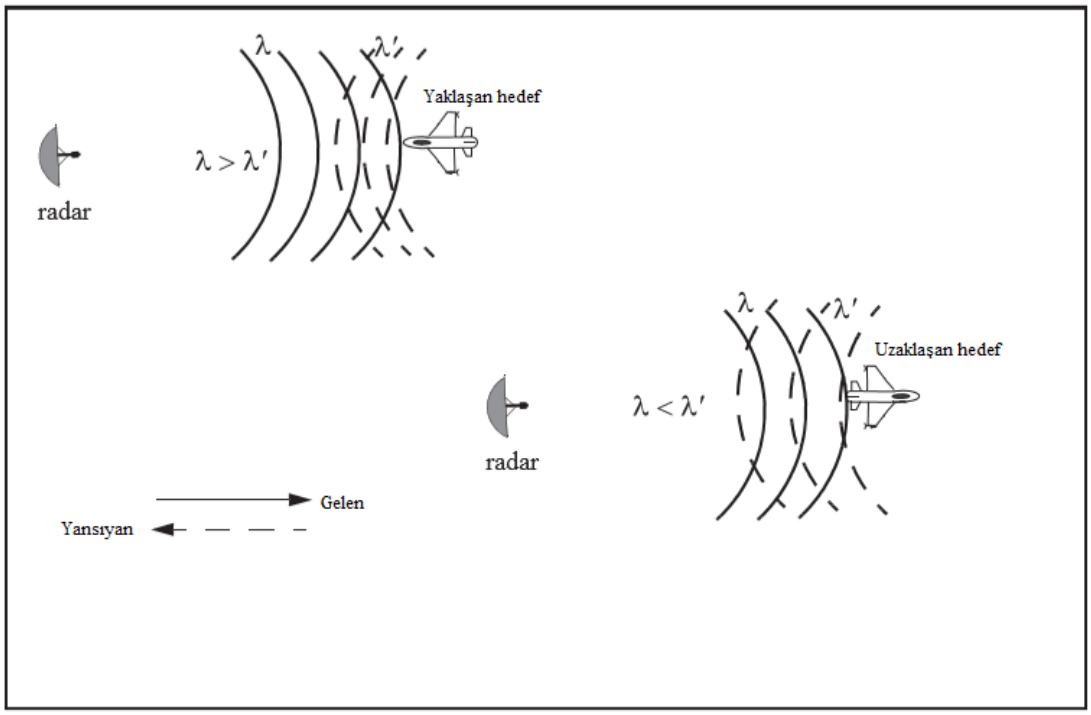
Şekil 2.5 Çözümlenmiş iki hedef - çözümlenmemiş iki hedef (Mahafza, 2013)

Genel olarak, radar kullanıcıları ve tasarımcıları, radar performansını artırmak için ΔR'yi en aza indirmeye çalışırlar. Denk. (2.9), hassas mesafe çözünürlüğü elde etmek için darbe genişliğini en aza indirmelidir. Ancak, bu ortalama aktarılan gücü azaltacak ve çalışma bant genişliğini artıracaktır. Yeterli ortalama iletilen güç korunurken kaliteli mesafe çözünürlüğü elde etmek, darbe sıkıştırma teknikleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

2.5 Doppler Frekansı

Radarlar, hedef radyal hızını (aralık hızı) çıkarmak ve hareketli ve sabit hedefleri veya parazit yankılar gibi nesneleri birbirinden ayırmak için Doppler frekansını kullanır. Doppler, radyasyon kaynağına göre hedef hareketi nedeniyle bir gelen dalga formunun merkez frekansındaki kaymayı açıklar. Hedefin hareketinin yönüne bağlı olarak, bu frekans kayması pozitif veya negatif olabilir. Hedefe gelen bir dalga formu, dalga boyu λ ile ayrılmış eş fazlı dalga yüzlerine sahiptir. Yaklaşan bir hedef, yansıtılan eş fazlı dalga yüzlerinin sıkıştırılmasına ve birbirine yaklaşmasına neden olup yansıtılan dalga

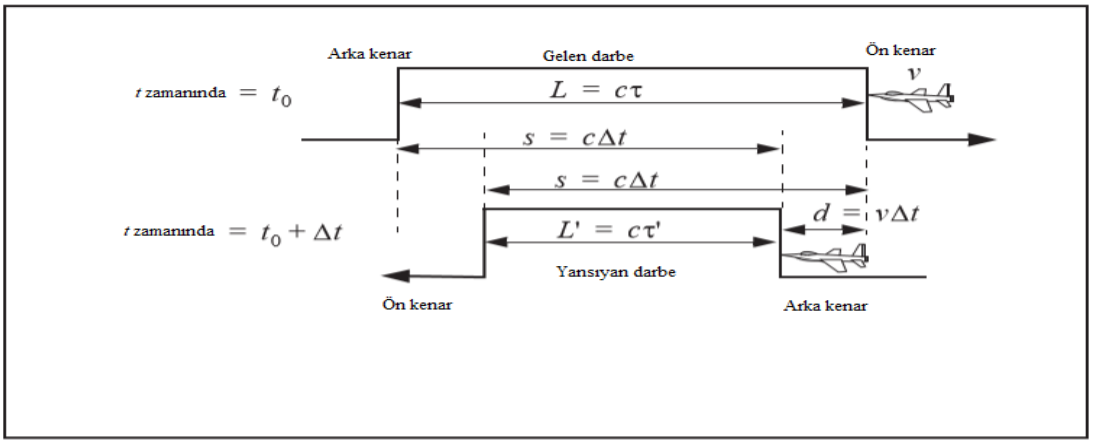
formunun daha kısa dalga boyuna sebep olur. Alternatif olarak, yaklaşan veya uzaklaşan bir hedef (radardan uzaklaşarak) yansıyan eş fazlı dalga yüzlerinin genişlemesine neden olup yansıyan dalga formunun daha uzun dalga boyuna ulaşmasına sebep olur. Bu, Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Yansıyan eş fazlı dalga formlarındaki hedef hareketinin etkisi (Assaf, 2014)

Şekil 2.7'de gösterildiği gibi v hızında radara doğru hareket eden bir hedefe gelen τ (saniye) genişliğe sahip darbeyi düşünün. d'yi, Δt aralığı sırasında hedefin dürtünün içine hareket ettiği mesafe (metre cinsinden) olarak tanımladığımda;

$$d = v\Delta t \tag{2.10}$$



Şekil 2.7 Bir darbe üzerindeki hedef hızının etkisinin gösterimi (Mahafza, 2013)

Δt, Darbenin ön kenarının hedefe vurması ile darbenin arka kenarının hedefe vurması arasında geçen süreye eşittir. Darbe ışık hızında hareket ettiğinden ve arka kenar cτ-d mesafesinde hareket ettiğinden;

$$c\tau = c\Delta t + v\Delta t \tag{2.11}$$

$$c\tau' = c\Delta t - v\Delta t \tag{2.12}$$

Denk. (2.12)'yi Denk. (2.11)'e böldüğümüzde;

$$\frac{c\tau'}{c\tau} = \frac{c\Delta t - v\Delta t}{c\Delta t + v\Delta t} \tag{2.13}$$

c ve Δt terimlerini Denk. (2.13)'ün sol ve sağ tarafından iptal ettikten sonra sırasıyla gelen ve yansıyan darbe genişlikleri arasındaki ilişkiyi Denk. (2.14) olarak belirlenir.

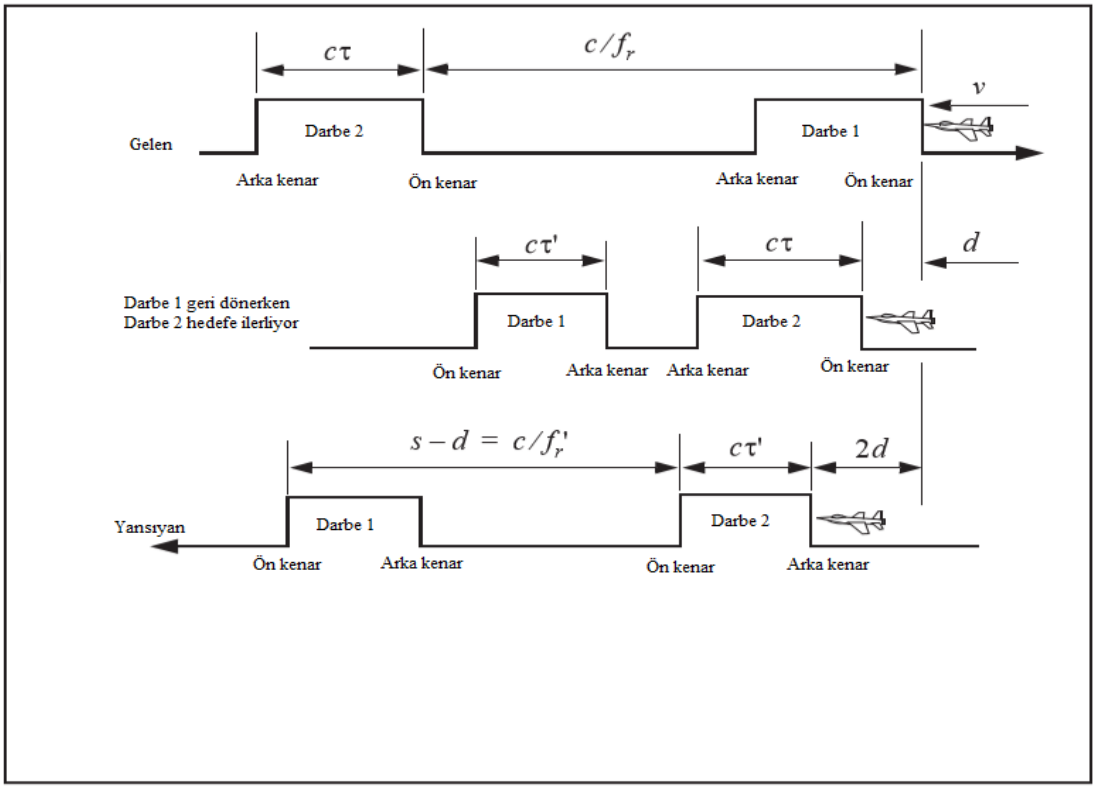
$$\tau' = \frac{c - v}{c + v}\tau \tag{2.14}$$

$(c - v)/(c + v)'$ye genellikle zaman genişleme faktörü denir. c=0 olduğunda τ'=τ olur. Benzer şekilde, bir gelen hedef için τ hesaplanabilir. Bu durumda;

$$\tau' = \frac{c + v}{c - v}\tau \tag{2.15}$$

Doppler frekansı için bir ifade türetmek üzere, Şekil 2.8 göz önünde alındığında Darbe 2'nin ön kenarının hedefe çarpması için (c/f_r)-d mesafesine gitmesi Δt saniye alır. Aynı zaman aralığında, Darbe 1'in ön kenarı aynı mesafe $c\Delta t$ 'ye gider. Daha doğrusu;

$$d = v\Delta t \tag{2.16}$$



Şekil 2.8 Hedef hareketinin radar darbeleri üzerindeki etkisinin gösterimi (Mahafza, 2013)

$$\frac{c}{f_r} - d = c\Delta t \tag{2.17}$$

Δt 'yi çektiğimizde

$$\Delta t = \frac{c\,/\,f_r}{c+v} \tag{2.18}$$

$$d = \frac{cv\,/\,f_r}{c+v} \tag{2.19}$$

Yansıyan darbe aralığı s-d ve yeni PRF f_r' olur;

$$s-d=\frac{c}{f_r'}=\frac{cv/f_r}{c+v} \tag{2.20}$$

Yeni PRF'nin Denk. (2.21) tarafından orijinal PRF ile ilişkili olduğu anlaşılıyor.

$$f_r'=\frac{c+v}{c-v}f_r \tag{2.21}$$

Bununla birlikte, döngü sayısı değişmediğinden, yansıtılan sinyalin frekansı aynı faktör kadar artacaktır. Yeni frekansı f_o' ile ifade ederek, Denk. (2.22)'yi takip eder:

$$f_o'=\frac{c+v}{c-v}f_o \tag{2.22}$$

f_o, gelen sinyalin taşıyıcı frekansı olduğunda Doppler frekansı f_d, f_o' - f_o farkına eşit olur (Mahafza, 2013). Daha açık şekilde yazmak gerekirse;

$$f_d=f_o'-f_o=\frac{c+v}{c-v}f_o-f_o=\frac{2v}{c-v}f_o \tag{2.23}$$

Fakat $v \ll c$ ve $c=\lambda f_o$ olduğundan;

$$f_d\approx\frac{2v}{c}f_o=\frac{2v}{\lambda} \tag{2.24}$$

Denk. (2.24), Doppler kaymasının hedef hızı ile orantılı olduğunun göstergesidir ve dolayısıyla f_d'yi mesafe oranından çıkarabilir ya da tam tersi olabilir.

Denk. (2.24) aşağıdaki yaklaşım kullanılarak da türetilebilir: Şekil 2.9, v hızında bir yaklaşan hedefi gösterir. R_o, t_o zaman aralığına (zaman referansı) baktığında; o zaman t ;

$$R(t)=R_o-v(t-t_o) \tag{2.25}$$

Radar tarafından alınan sinyal;

$$x_r(t) = x(t - \psi(t)) \tag{2.26}$$

x(t) gönderilen sinyal olduğunda;

$$\psi(t) = \frac{2}{c}(R_o - v(t - t_0)) \tag{2.27}$$

Denk. (2.26) ve Denk. (2.27) birleştirildiğinde

$$x_r(t) = x((1 + \frac{2v}{c})t - \psi_o) \tag{2.28}$$

Faz sabiti Ψ_o;

$$\psi_o = \frac{2R_o}{c} + \frac{2v}{c}t_o \tag{2.29}$$

Ölçeklendirme faktörü γ;

$$\gamma = 1 + \frac{2v}{c} \tag{2.30}$$

Uzaklaşan hedef için ölçeklendirme faktörü γ = 1-(2v/c) olur. Bu durumda Denk. (2.28) ve Denk. (2.30) birlikte ele alındığında;

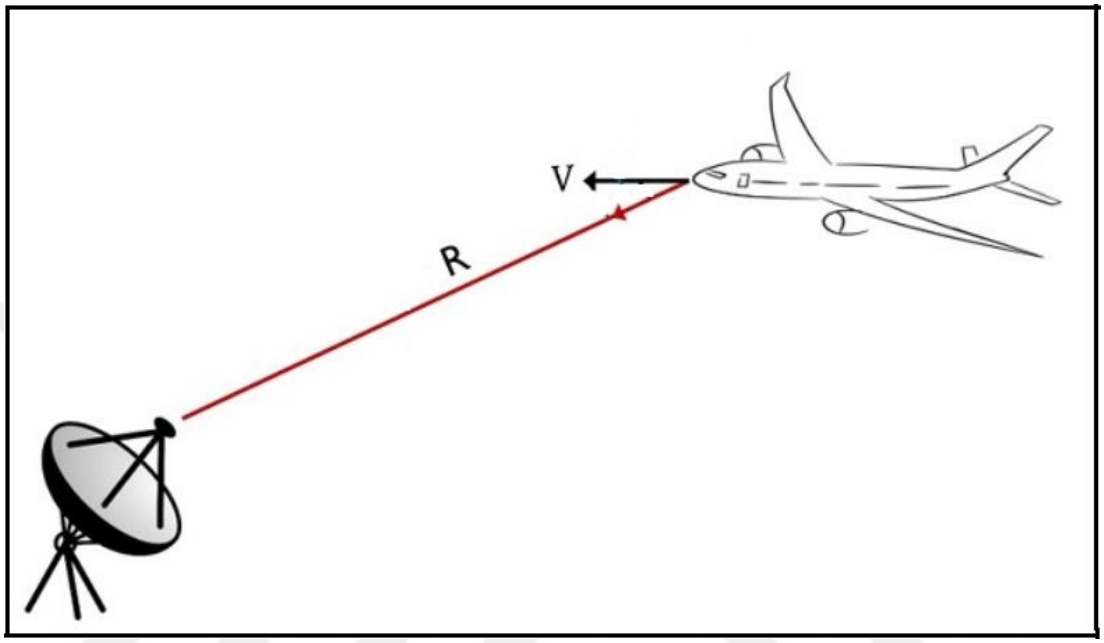
$$x_r(t) = x(\gamma t - \psi_o) \tag{2.31}$$

Denk. (2.31), sabit bir hedeften geri dönüş sinyalinin zaman sıkıştırmalı bir versiyonunu temsil eder (v = 0). Bu nedenle, Fourier dönüşümünün ölçeklendirme özelliğine dayanarak, alınan sinyalin spektrumu frekans olarak γ faktörüne genişletilecektir.

$$x(t) = y(t)\cos\omega_o t \tag{2.32}$$

ω_o bir saniyedeki radyan cinsinden radar merkez frekansıdır. Radar tarafından alınan sinyal $x_r(t)$ ise;

$$x_r(t) = y(\gamma t - \psi_o)\cos(\gamma\omega_o t - \psi_o) \tag{2.33}$$



Şekil 2.9 v hızıyla yaklaşan hedef (Doppler effect in radar, 2020)

Denk. (2.33)'ün Fourier transformu;

$$X_r(\omega) = \frac{1}{2\gamma}(Y(\frac{\omega}{\gamma} - \omega_o) + Y(\frac{\omega}{\gamma} + \omega_o) \tag{2.34}$$

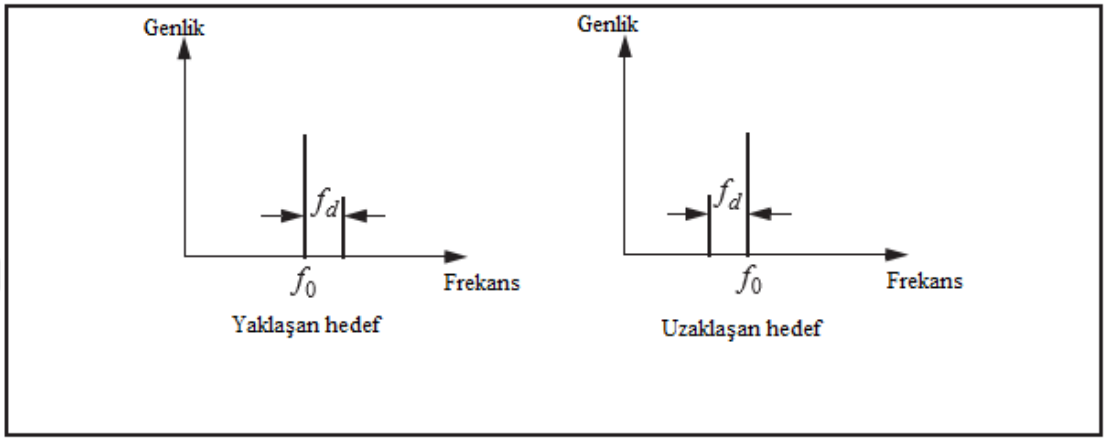
Basitlik açısından Denk.(2.34)'te sabit faz Ψ_o'nin etkileri göz ardı edilmiştir. Bu nedenle, alınan sinyalin bant geçiren spektrumu $\gamma\omega_o$ yerine ω_o'de ortalanmıştır. İki değer arasındaki fark, hedef hareketi nedeniyle oluşan Doppler kayması miktarına karşılık gelir.

$$\omega_d = \omega_o - \gamma\omega_o \leftrightarrow f_d = f_o - \gamma f_o \tag{2.35}$$

ω_d ve f_d sırasıyla saniye başına radyan ve Hz cinsinden Doppler frekansıdır. Denklemdeki γ değerini değiştirince;

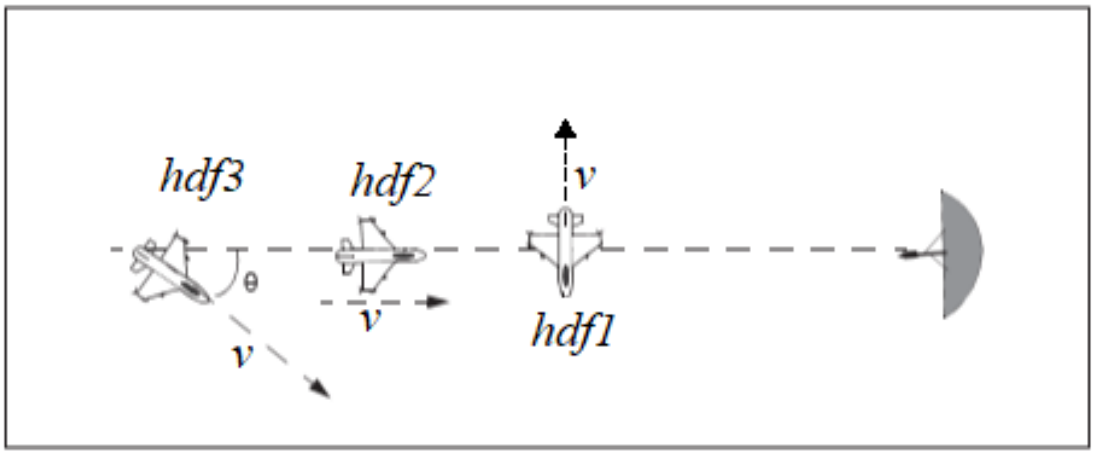
$$f_d = \frac{2v}{c} f_0 = \frac{2v}{\lambda} \tag{2.36}$$

Bu denklem Denk. (2.35) ile aynıdır. Uzaklaşan bir hedef için Doppler kaymasının $f_d = -2v/\lambda$ olduğu gösterilebilir. Bu durum Şek.2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Alınan sinyalin doppler kayması (Mahafza, 2013)

Hem Denk. (2.35)'da hem de Denk. (2.33)'te radara göre hedefin radyal hızı v'ye eşittir, ancak bu her zaman böyle değildir. Aslında, Doppler frekansının miktarı, radar yönünde hedef hız bileşenine (radyal hız) bağlıdır. Şekil 2.11, hepsi v hızına sahip üç hedefi göstermektedir: Hedef1 sıfır Doppler kaymasına sahiptir; Hedef 2, Denk. (2.35)'da tanımlandığı gibi maksimum Doppler frekansına sahiptir.



Şekil 2.11 Doppler kaymasının oluşumu (Mahafza, 2013)

Yukarıdaki şekli inceleyecek olursak; Hedef 1'de Doppler kayması oluşmaz, Hedef 2'de azami Doppler kayması meydana gelir, Hedef 3'te ise Hedef 1 ve Hedef 2 deki Doppler kayması arasında bir değer oluşur.

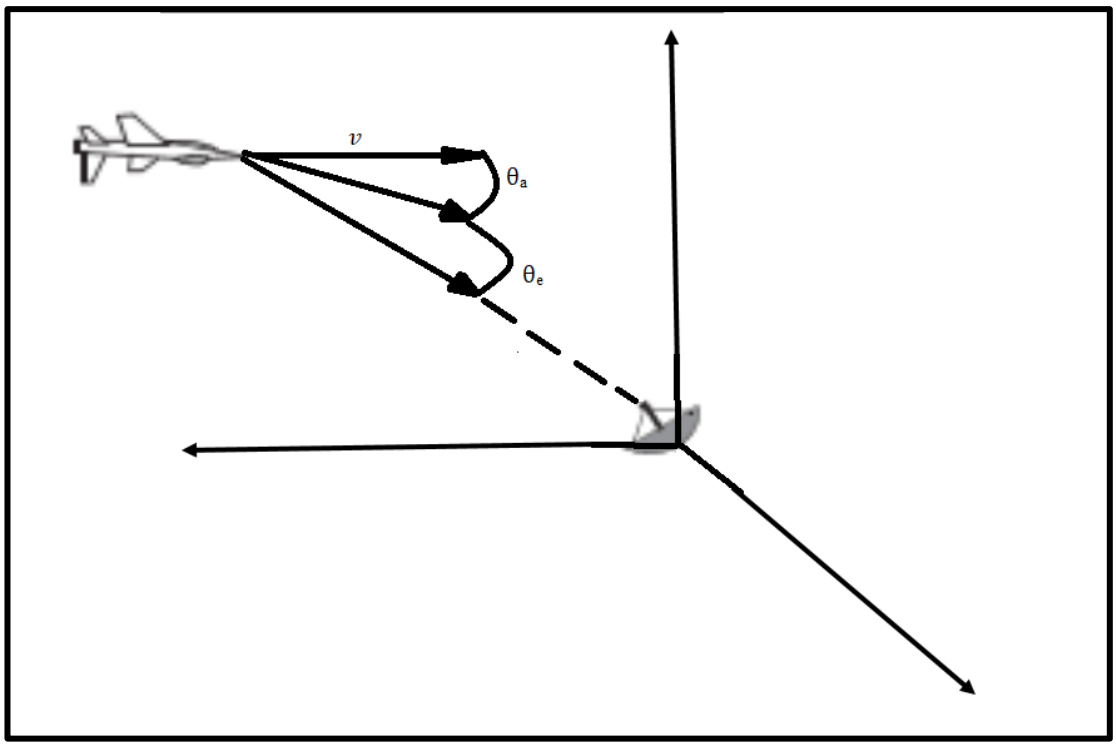
Hedef 3'ün Doppler frekansı miktarı, vcosθ'nın radyal hız olduğu $f_d = 2v\cos\theta/\lambda$ 'dir ve θ radar görüş hattı ile hedef arasındaki toplam açıdır. Böylece, radar ile hedef arasındaki toplam açıyı açıklayan f_d için daha genel bir ifade;

$$f_d = \frac{2v}{\lambda}\cos\theta \tag{2.37}$$

Uzaklaşan hedef için;

$$f_d = \frac{-2v}{\lambda}\cos\theta \tag{2.38}$$

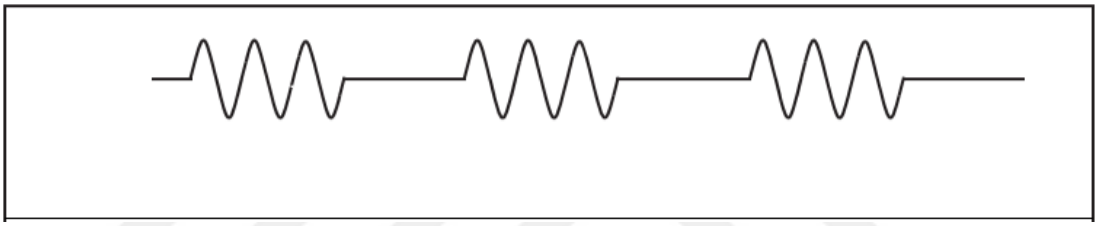
$\cos\theta = \cos\theta_e \cos\theta_a$ olduğunda Şekil 2.12'de görüldüğü üzere θ_e ve θ_a sırasıyla dikey ve yatay açılardır.



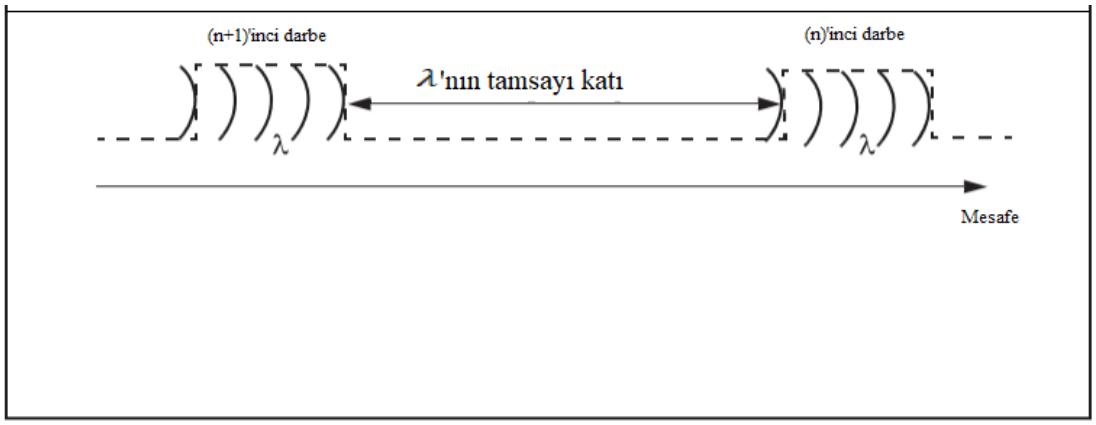
Şekil 2.12 Radyal hızın dikey ve yatay açılarla ilişkisi

2.6 Evreuyumluluk

Bir radarın, iletilen herhangi iki darbenin fazının tutarlı olması halinde tutarlı olduğu söylenir, yani, Şekil 2.13'te gösterildiği gibi bir darbeden bir sonraki darbeye, sinyal fazında bir süreklilik vardır. Evreuyumluluk, Şekil 2.14'te gösterildiği gibi, radarın bir darbenin sonundan eş fazlı dalga önü ile bir sonraki darbenin başlangıcında eş fazlı dalga önü arasındaki dalga boylarının tamsayı katlarını koruma kabiliyeti olarak görülebilir. Evreuyumluluk, bir Sabit Yerel Osilatör (STALO- STAble Local Oscillator) kullanılarak elde edilebilir. İletilen tüm darbelerin fazlarının bir kaydını hafızasında saklarsa, radarın uyumlu veya yarı uyumlu olduğu söylenebilir. Bu durumda, alıcı faz referansı normalde en son iletilen darbenin fazıdır.



Şekil 2.13 Ardışık darbeler arasındaki faz sürekliliği



Şekil 2.14 Ardışık darbeler (Mahafza, 2013)

Evreuyumluluk, ayrıca radarın alınan sinyal fazını doğru bir şekilde ölçme (çıkarma) yeteneğini de ifade eder. Doppler alınan sinyaldeki bir frekans kaymasını temsil ettiğinden, sadece uyumlu veya alındığında uyumlu radarlar Doppler bilgilerini çıkarabilir. Bunun nedeni, bir sinyalin anlık frekansının, sinyal fazının zaman türeviyle orantılı olmasıdır.

$$f_i = \frac{1}{2\pi}\frac{d}{dt}\psi(t) \tag{2.39}$$

f_i, anlık frekanstır, $\Psi(t)$ ise sinyal fazıdır.

Örneğin;

$$x(t) = \cos(\gamma\omega_o t - \psi_o) \tag{2.40}$$

γ ölçeği, Denk. (2.40)'ta tanımlanmış olup Ψ_o ise sabit fazdır. x(t)'nin anlık frekansı ise;

$$f_i = \gamma f_o \tag{2.41}$$

$\omega_o = 2\pi f_o$ olduğunda Denk. (2.29)'u Denk. (2.41) ile değiştirdiğimizde;

$$f_i = f_o(1+\frac{2v}{c}) = f_o + \frac{2v}{\lambda} \tag{2.42}$$

$c = \lambda f$ ilişkisi kullanılır. Denk. (2.42)'nin en sağ tarafının ikinci terimi, bir Doppler kaymasıdır.

2.7 Desibel Aritmetiği

Desibel (dB), fiziksel bir miktarın (voltaj, güç veya anten kazancı gibi) aynı tipteki belirli bir referans miktarına oranını temsil eden logaritmik bir ölçüm birimidir. dB birimi adını telefon hatlarındaki güç zayıflamasının bir ölçüsü olarak oluşturan Alexander Graham Bell'den almıştır. Bell'in tanımına göre, Bell'in kazanç birimi:

$$\log(\frac{P_o}{P_i}) \tag{2.43}$$

Logaritma işlemi 10 bazlıdır. P_o, yaklaşık bir mil uzunluğundaki standart bir telefon hattının çıkış gücüdür ve P_i, hatta giriş gücüdür. Güç oranı yerine voltaj (veya akım) oranları kullanılırsa, birim Bell kazancı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\log(\frac{V_o}{V_i})^2 \text{ veya } \log(\frac{I_o}{I_i})^2 \tag{2.44}$$

Bir desibel (dB) Bell'in 1/10'una eşittir. dB aşağıdaki olduğu gibi de ifade edilebilir:

$$10\log(\frac{P_o}{P_i}) = 10\log(\frac{V_o}{V_i})^2 = 10\log(\frac{I_o}{I_i})^2 \tag{2.45}$$

Ters dB aşağıdaki ilişkilerden hesaplanır:

$$P_o / P_i = 10^{dB/10}$$

$$V_o / V_i = 10^{dB/20} \tag{2.46}$$

$$I_o / I_i = 10^{dB/20}$$

Desibel isimlendirmesi radar tasarımcıları ve kullanıcıları tarafından çeşitli nedenlerle yaygın olarak kullanılmaktadır ve belki de en önemlisi, dB'leri kullanmanın faydalarından en önemlisi, bir tasarımcının veya kullanıcının radarla ilgili fiziksel miktarları temsil etmekte kullanması gereken dinamik aralığı önemli ölçüde azaltmasıdır. Örneğin, gelen bir radar sinyali $1x10^{-9}$ V kadar zayıf olabilir ve dB mertebesinde $10\log(1x10^{-9})$ = -90 dB olarak ifade edilebilir. Radar tasarımı ve analizinde dB kullanmanın bir diğer avantajı, farklı radar parametrelerinin hesaplanmasıyla ilişkili aritmetiği kolaylaştırmaktır. 10 tabanlı aritmetikteki çarpma dB-aritmetiğinde ekleme anlamına gelir ve bölme de çıkarma anlamına gelir. Örneğin:

$$\frac{250\times0,0001}{455} = [[10 \log (250) + 10 \log (0,0001) - 10 \log (455)]\ dB = -42,6 dB \tag{2.47}$$

Genel olarak:

$$10\log(\frac{AxB}{C}) = 10\log A + 10\log B - 10\log C \tag{2.48}$$

$$10\log A^q = q10\log A \tag{2.49}$$

Radar analizinde sıklıkla kullanılan diğer dB oranları arasında dBsm (dB, metrekare) bulunur. Bu tanım, birimleri metrekare olan hedef RKA'sına atıfta bulunurken çok önemlidir. Başka bir ifadeyle RKA'sı σ m^2 olan bir hedef dBsm olarak ifade edilmesi için 10 log (σ m^2) hesabının yapılması gerekmektedir. Örneğin 10 m^2 alana sahip hedefin alanı 10dBsm şeklinde ifade edilebileceği gibi hedefin 0,01m^2'lik RKA'sı da -20dBsm olarak ifade edilebilir.

Son olarak, dBm (dB, milliwatt) ve dBW (dB, Watt) birimleri, sırasıyla bir miliwatt ve bir Watt'ın dB cinsinden güç oranlarıdır:

$$dBm = 10\log\left(\frac{P}{1mW}\right) \tag{2.50}$$

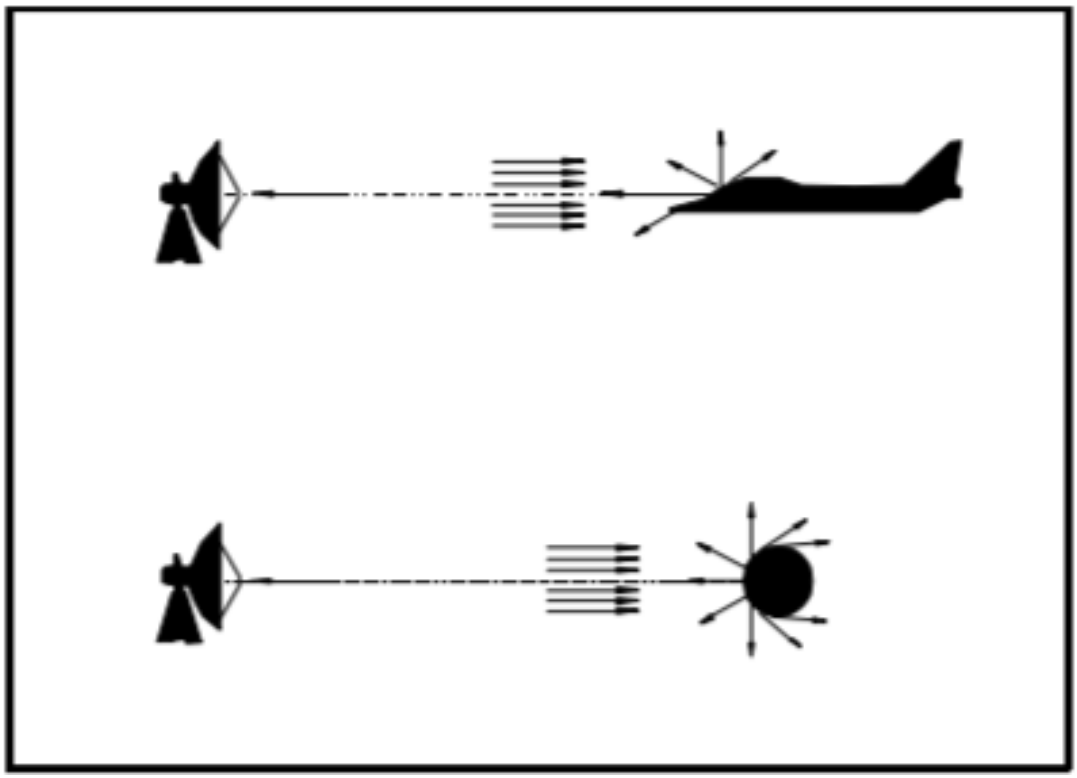
$$dBW = 10\log\left(\frac{P}{1W}\right) \tag{2.51}$$

dBW'den dBm'yi bulmak için 30dB ekleyin ve dBm'den dBW'yi bulmak için 30dB'yi çıkarın. Diğer yaygın dB birimleri arasında dBz ve dBi bulunur.

3. RADAR KESİT ALANI TEMELLERİ

3.1 RKA Tanımı

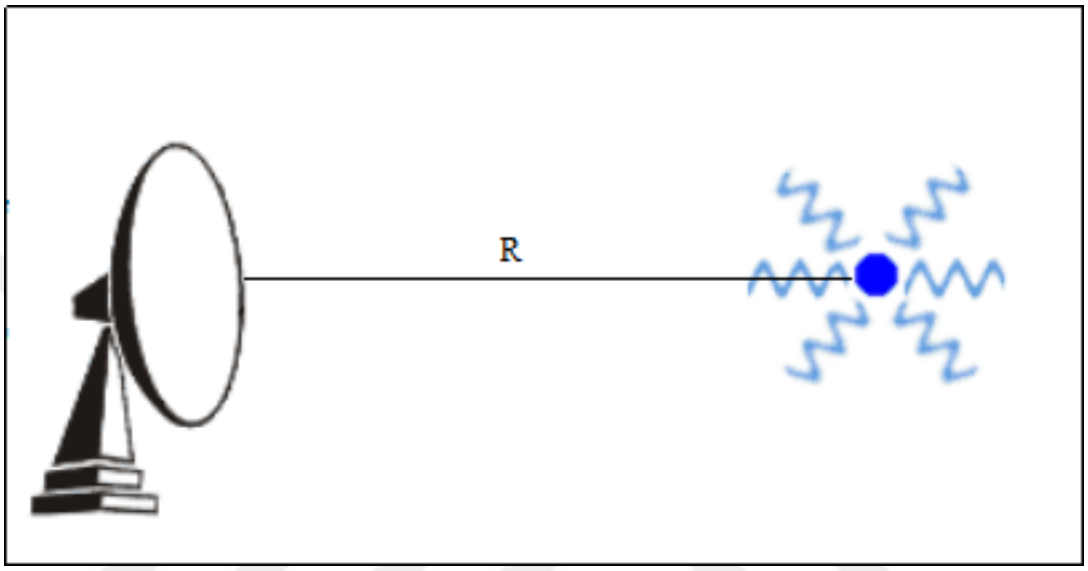
Radar kesit alanı (RKA) bir hedefin radar sinyallerini radar alıcısının yönünde yansıtma yeteneğinin ölçüsüdür. Bir başka deyişle hedeften radar yönünde geri saçılma gücünün, hedef tarafından kesilen güç yoğunluğuna oranının bir ölçüsüdür. Bir hedefin RKA'sı iki radar sinyal gücünün karşılaştırması olarak tanımlayabilir. Biri bir hedeften yansıyan sinyalin gücüdür, diğeri ise Şekil 3.1'de gösterildiği gibi hedeften yansıyan sinyalin gücüdür (Avionics Department of the Naval Air Warfare Center Weapons Division, 2003).



Şekil 3.1 Radar kesit alanı kavramı

Elektromanyetik dalgalar, hedefe vardığında kırınıma uğrar veya saçılır. Saçılan dalgalar iki parçaya ayrılır. İlk grup saçılan dalgalar alıcı antenle aynı polarizasyona sahip olanlardır. Diğer grup ise alıcı antende karşılık bulamayacak olan farklı polarizasyona sahip dalgalardır. İki polarizasyon birbirine dik olup bunlardan biri "Asıl Polarizasyon" (PP) diğer "Dikey Polarizasyon" (OP) olarak anılacaktır. Alıcı

radar anteniyle aynı polarizasyona sahip yansıyan enerjinin yoğunluğu hedef RKA'sını tanımlamak için kullanılır. Hedef bir RF enerji tarafından aydınlatıldığında anten gibi davranır ve yakın ve uzak saçılım alanlarına sahip olur. Yakın alanda yansıyan dalgalar genel olarak küre şeklindedir. Buna karşın uzak alandaki dalga yüzeyleri, düzlem dalgaların lineer kombinasyonlarına ayrışmıştır.



Şekil 3.2 R mesafesinde saçılım yapan nesne (Using and Understanding Doppler Radar, 2008)

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi radardan R kadar uzakta bulunan hedef üzerine gelen dalga yoğunluğu P_{Di} olduğunu kabul edelim. Bu durumda hedeften yansıyan gücün büyüklüğü şu şekilde olur:

$$P_r = \sigma P_{Di} \tag{3.1}$$

σ hedefe ait RKA'yı temsil eder. P_{Dr}, alıcı antendeki yansıyan dalgaların güç yoğunluğunu temsil eder. Sonrasında şu denkleme ulaşılır.

$$P_{Dr} = \frac{P_r}{4\pi R^2} \tag{3.2}$$

Yukarıdaki iki denklemden aşağıdaki denkleme ulaşılır:

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{P_{Dr}}{P_{Di}} \tag{3.3}$$

Bununla birlikte radar alıcı antenin uzakta olmasını sağlamak için (yani, anten tarafından alınan dağınık dalgalar düzlemseldir), Denk. (3.3), Denk. (3.4) olarak güncellenebilir:

$$\sigma = 4\pi R^2 \lim_{n\to\infty}\left(\frac{P_{Dr}}{P_{Di}}\right) \tag{3.4}$$

Bu denklemdeki RKA çoğu kez mono statik radar RKA'sı, geri yansıma RKA'sı veya hedef RKA'sı olarak adlandırılır.

Geri yansıma RKA'sı, radar istikametinde yansıyan ve alıcı antenle aynı polarizasyona sahip dalgalar ile ölçülebilir. Bu da hedefin toplam RKS'sının bir kısmını temsil eder ve buna göre $\sigma t > \sigma$ eşitliği geçerlidir. Küresel koordinat sistemine göre (ρ, θ, φ) tanımladığımızda ρ hedef, RKA ise θ,φ'nin fonksiyonudur. θi ve φi açılarını hedefe gelen dalgaların; θs ve φs açılarını yayılımlarının istikametlerini tanımlamak için kullanacağız. Özel bir durum olarak ise $\theta i = \theta s$ ve $\varphi i = \varphi s$ olması mono statik RKA olduğunu gösterir. $\theta i \neq \theta s$ ve $\varphi i \neq \varphi s$ olması ise bistatik radar olduğunu gösterir. Hedeften yansıyan toplam RKA şu şekildedir:

$$\sigma_t = \frac{1}{4\pi} \int_{\varphi_s=0}^{2\pi} \int_{\theta_s=0}^{\pi} \sigma(\theta_s, \varphi_s) \sin\theta_s \, d\theta \, d\varphi_s \tag{3.5}$$

Hedeften geri yansıyan dalgaların büyüklüğü, hedefin boyutunun hedefe gelen dalgaların boyuna olan oranıyla orantılıdır. Aslında radar, dalga boyundan küçük boyuttaki hedefleri tespit edemez. Örneğin yağmur damlacıkları dalga boyuna göre çok daha küçük boyutta olduklarından L-band frekansta yayın yapan hava radarlarında neredeyse görünmez olurlar. Hedef boyutu ile dalga boyu birbirine benzer olduğunda frekans bölgesi Rayleigh bölgesi olarak adlandırılır. Eğer hedef boyu dalga boyuna göre çok büyükse frekans bölgesi, Optik bölge olarak adlandırılır. Pratikte radar uygulamalarının çoğunluğu optik bölgede gerçekleşir.

Tezimizin bu kısmında sunulan analiz, temel olarak optik bölgede uzak alan mono statik RKA ölçümlerini varsaymaktadır. Rayleigh bölgesindeki yakın alan RKA, bistatik RKA ve RKA ölçümleri dikkate alınmayacaktır. Ek olarak, bu bölümdeki RKA çözümlemesi esas olarak Dar Bant (NB) vakaları ile ilgilidir. Başka bir deyişle, hedefin kapsamı radarın tek bir menzil alanına düşmektedir. Geniş bant (WB) RKA ölçümleri daha sonraki bir bölümde kısaca ele alınacaktır.

3.2 RKA'nın Görüş Açısı ve Frekansa Bağımlılığı

Radar kesit alanı, radar görüş açısının ve frekansının bir fonksiyonu olarak değişiklik gösterir. Örneklemenin amacı için izotropik nokta saçıcıları göz önünde bulundurulur. İzotropik bir saçılma, gelen dalgaları her yöne eşit olarak saçan saçılımdır. İki adet (1 m^2) izotropik yansıtıcı hizalanır ve radar görüş hattı boyunca R mesafesinde konumlanır. İki saçılımcı arasındaki boşluk 1 metredir. Radar görüş açısı daha sonra sıfırdan 180 dereceye değiştirilir ve radar tarafından ölçülen iki saçılımcının karma RKA'sı hesaplanır.

Bu karma RKA, iki ayrı radar kesitinin üst üste koyulmasıyla oluşur. Sıfır görüş açısında, karma RKA 2 m^2'dir. Saçılma-1 bir faz referansı olarak alındığında, görüş açısı değiştiğinde, karma RKA, iki saçılma arasındaki elektriksel boşluğa karşılık gelen faz tarafından değiştirilir. Örneğin, görüş açısı 10^o olduğunda, iki saçıcı arasındaki elektriksel boşluk;

$$\text{Elektriksel boşluk} = \frac{2x(1,0)x\cos 10^\circ}{\lambda} \tag{3.6}$$

λ, radar dalga boyunu temsil etmektedir.

3.3 Polarizasyona Karşı RKA Bağımlılığı

Bu bölümdeki materyal iki konuyu kapsamaktadır. İlk olarak, kutuplaşma temellerinin bir incelemesi sunulmuştur. İkinci olarak, hedef saçılma matrisi kavramı tanıtılmıştır.

3.3.1 Normalleştirilmiş Elektrik Alanı

Çoğu radar simülasyonunda, radarda hedef tarafından dağıtılan karmaşık değerli elektrik alanının elde edilmesi arzu edilir. Bu gibi durumlarda normalize elektrik alanı denilen bir miktarın kullanılması yararlıdır. Gelen elektrik alanının bir büyüklük birliğine sahip olduğu ve hedefteki bir noktada (genellikle ağırlık merkezinin) faz merkezli olduğu varsayılmaktadır. Daha açık olarak,

$$E_i = e^{jk(\vec{r}_i.\vec{r})} \tag{3.7}$$

Burada $\vec{r}_i$ *ve* $\vec{r}$ gelen dalganın sırasıyla faz merkezine olan istikameti ve konumunu göstermektedir. Normalleştirilmiş saçılım alanı ise;

$$E_s = \sigma E_i \tag{3.8}$$

3.3.2 Polarizasyon

Pozitif *z* istikameti boyunca ilerleyen dalganın *x* ve *y* elektrik alan bileşenleri,

$$E_x = E_1 \sin(\omega t - kz) \tag{3.9}$$

$$E_y = E_2 \sin(\omega t - kz + \delta) \tag{3.10}$$

k = 2π/λ denkleminde, ω dalga frekansını, δ açısı ise Ey'nin Ex'in önünde bulunduğu andaki zaman faz açısını, E_1 ve E_2 ise x ve y düzlemlerindeki dalga genliklerini ifade eder. İki veya daha fazla elektromanyetik dalga birleştiğinde, elektrik alanları belirli bir süre boyunca uzayda her noktada vektörel olarak birleştirilir. Genel olarak, birleştirilmiş vektör, x-y düzleminde gözlendiğinde bir elipse benzer. Bu, Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

Polarizasyon elipsinin büyük eksenlerinin küçük eksenlerine oranı Eksenel Oran (AR) olarak adlandırılır. AR birlik olduğunda, polarizasyon elipsi bir daire haline gelir ve

elde edilen dalga daha sonra dairesel polarize olarak adlandırılır. Alternatif olarak, $E_1 = 0$ ve AR = ∞ olduğunda, dalga doğrusal olarak polarize olur.

Denk. (3.9) ve (3.10) anlık toplam elektrik alanını vermek için birleştirilebilir,

$$\vec{E} = a_x E_1 \sin(\omega t - kz) + a_y E_2 \sin(\omega t - kz + \delta) \tag{3.11}$$

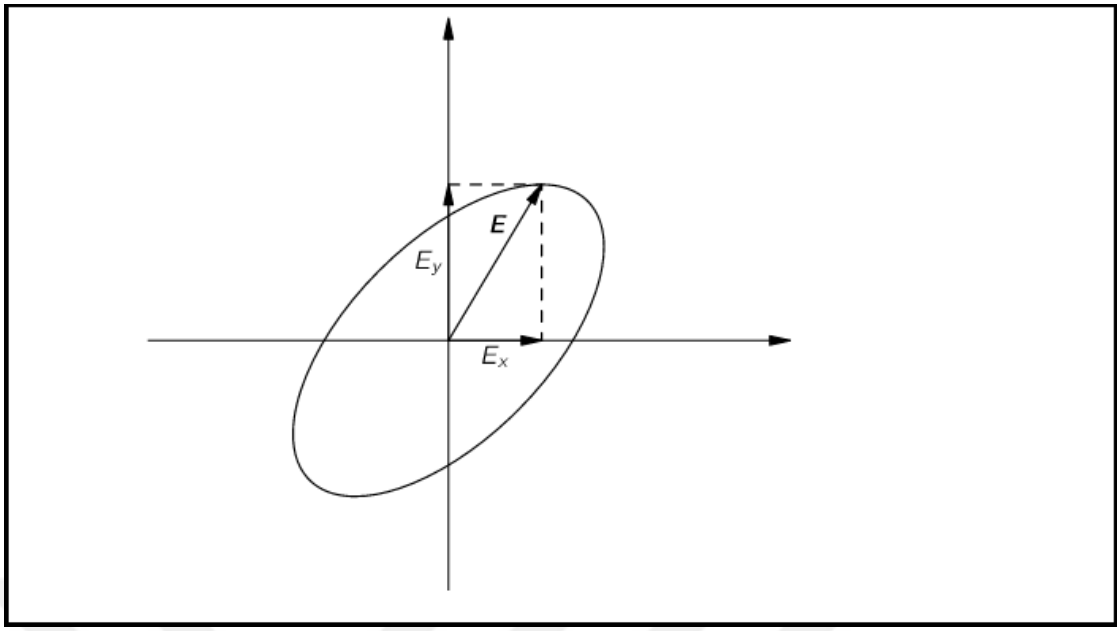
a_x ve a_y, sırasıyla x ve y doğrultularında birim vektör olarak ifade edilmiştir. z = 0 olduğunda,

$E_X = E_1 \sin(\omega t)$ ve $E_y = E_2 \sin(\omega t+\delta)$ olur, daha sonra E_X / E_1 oranı ile ve trigonometri özellikleri denklem kullanılarak sin (ωt) yer değiştirildiğinde Denk. (3.11) yeniden aşağıdaki şekilde yazılabilir.

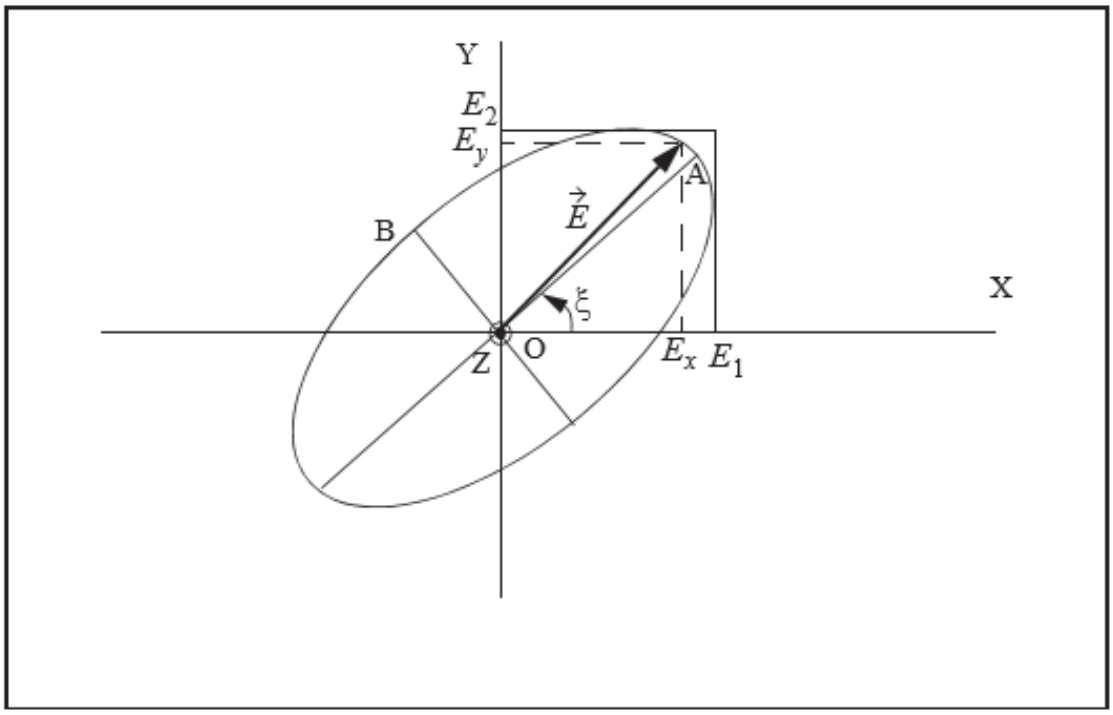
$$\frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_x E_y \cos\delta}{E_1 E_2} + \frac{E_y^2}{E_z^2} = \left(\sin\delta\right)^2 \tag{3.12}$$

Denk. (3.12) ωt'ye bağımlı değildir. En genel durumda, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi polarizasyon elipsinin herhangi bir yönü olabilir. ξ açısı elipsin eğim açısı olarak adlandırılır. Bu durumda, AR Denk (3.13) ile elde edilebilir

$$AR = OA / OB \quad (1 \leq \mathrm{AR} \leq \infty) \tag{3.13}$$



Şekil 3.3 Elektrik alanın bileşenleri (polarization - What is the significance of 'energy ellipsoid'?, 2015)



Şekil 3.4 Genel durumdaki polarizasyon elipsi (Mahafza, 2013)

$E_1 = 0$ olduğunda dalganın y yönünde doğrusal polarize olduğu; $E_2 = 0$, olduğunda dalganın x yönünde doğrusal polarize söylenebilir. Ayrıca 45º açıyla $E_1 = E_2$ ve $\xi = 45^o$ olduğunda polarizasyon doğrusal olabilir. $E_1 = E_2$ ve $\delta = 90^o$ halinde dalganın sol dairesel polarize (LCP) olduğu; $\delta = -90^o$ durumunda ise dalganın sağ dairesel polarize

(RCP) olduğu söylenebilir. Sırasıyla, x ve y yönlerinde doğrusal polarizasyonları sırasıyla yatay ve dikey polarizasyon olarak adlandırmak yaygın bir gösterimdir.

Genel olarak, isteğe bağlı olarak polarize bir elektrik alanı, iki dairesel polarize alanın toplamı olarak da yazılabilir.

$$\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_R} + \overrightarrow{E_L} \tag{3.14}$$

Burada E_R ve E_L sırasıyla RCP ve LCP alanlarıdır. Benzer şekilde, RCP ve LCP dalgaları şöyle yazılabilir:

$$\overrightarrow{E_L} = \overrightarrow{E_V} + j\overrightarrow{E_H} \tag{3.15}$$

$$\overrightarrow{E_L} = \overrightarrow{E_V} - j\overrightarrow{E_H} \tag{3.16}$$

Burada E_V ve E_H, sırasıyla dikey ve yatay polarizasyona sahip elektrik alanlardır.

$$E_R = \frac{E_H - jE_V}{\sqrt{2}} \tag{3.17}$$

$$E_L = \frac{E_H + jE_V}{\sqrt{2}} \tag{3.18}$$

Denk. (3.17) ve Denk. (3.18) denklemlerini matrisle ifade edecek olursak;

$$\begin{bmatrix} E_R \\ E_L \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -j \\ 1 & j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_H \\ E_V \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} E_H \\ E_V \end{bmatrix} \tag{3.19}$$

$$\begin{bmatrix} E_H \\ E_V \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R \\ E_L \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} E_H \\ E_V \end{bmatrix} \tag{3.20}$$

Birçok hedef için, saçılan dalgalar, gelen dalgalarından farklı kutuplaşmaya sahip olacaktır. Bu olgu depolarizasyon veya çapraz polarizasyon olarak bilinir. Bununla birlikte, mükemmel yansıtıcılar, yatay polarizasyona sahip bir gelen dalganın yatay

kalacağı ve dikey polarizasyona sahip bir gelen dalganın dikey kalacağı ancak fazın 180 ^{o} kaydırıldığı şekilde dalgaları yansıtır. Buna ek olarak, RCP olan bir gelen dalga yansıtıldığında LCP olur ve LCP olan bir dalga mükemmel bir yansıtıcıdan yansıtıldıktan sonra RCP olur. Bu nedenle, bir radar iletim için LCP dalgalarını kullandığında, alıcı antenin PP RKA'yı yakalamak için RCP polarize edilmesi ve OP RKA'yı ölçmek için LCP'nin olması gerekir.

3.3.3 Hedef Saçılma Matrisi

Hedeften yansıyan RKA genellikle saçılım matrisi olarak bilinen bir matris ile tanımlanır ve $[S]$ ile gösterilir. İsteğe bağlı doğrusal polarize bir dalga hedef üzerine geldiğinde, geri saçılan alan aşağıdaki denklemde olduğu gibi ifade edilir (Mahafza, 2013).

$$\begin{bmatrix} E_1^S \\ E_2^S \end{bmatrix} = [S] \begin{bmatrix} E_1^i \\ E_2^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1^S \\ E_2^S \end{bmatrix} \tag{3.21}$$

İ ve s üst indisleri hedefe gelen ve hedeften saçılan alanları ifade eder. s_{ij} miktarları dağınık alanları gösterir. 1 ve 2 alt indisleri ise dikey polarizasyonların herhangi bir kombinasyonunu temsil eder. Daha açık olarak, 1 = H, R ve 2 = V, L . Denk. (3.3), geri saçılmış RKA, saçılma aşağıdaki matris bileşenleriyle ilgilidir:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \end{bmatrix} = 4\pi R^2 \begin{bmatrix} |S_{11}|^2 & |S_{12}|^2 \\ |S_{21}|^2 & |S_{22}|^2 \end{bmatrix} \tag{3.22}$$

Bir saçılma matrisi belirlendiğinde, hedeften geri saçılan RKA, herhangi bir iletme ve alma polarizasyonu kombinasyonu ile hesaplanabilir.

Farklı olası ortogonal polarizasyonlar ile Denk. (3.22) aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} E_H^S \\ E_V^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_H^i \\ E_V^i \end{bmatrix} \tag{3.23}$$

$$\begin{bmatrix} E_R^S \\ E_L^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{RR} & S_{RL} \\ S_{LR} & S_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_R^i \\ E_{VL}^i \end{bmatrix} \tag{3.24}$$

Denklem (1.19)'daki dönüşüm matrisini [T] kullanarak dairesel saçılma elementleri doğrusal saçılma elementleri ile hesaplanabilir.

$$\begin{bmatrix} S_{RR} & S_{RL} \\ S_{LR} & S_{LL} \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} [T]^{-1} \tag{3.25}$$

Ve bireysel bileşenler aşağıya çıkarılmıştır:

$$\begin{aligned} S_{RR} &= -\frac{S_{VV} + S_{HH} - j(S_{HV} - S_{VH})}{2} \\ S_{RL} &= -\frac{S_{VV} + S_{HH} + j(S_{HV} - S_{VH})}{2} \\ S_{LR} &= -\frac{S_{VV} + S_{HH} + j(S_{HV} + S_{VH})}{2} \\ S_{LL} &= \frac{-S_{VV} + S_{HH} + j(S_{HV} + S_{VH})}{2} \end{aligned} \tag{3.26}$$

Yine benzer şekilde doğrusal saçılım elemanları aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} S_{RR} & S_{RL} \\ S_{LR} & S_{LL} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} [T] \tag{3.27}$$

Yukarıdaki denklemin de bireysel bileşenleri aşağıdaki gibi olur:

$$\begin{aligned} S_{HH} &= \frac{S_{RR} - S_{RL} - S_{LR} - S_{LL}}{2} \\ S_{VH} &= \frac{j(S_{RR} - S_{RL} - S_{LR} + S_{LL})}{2} \end{aligned} \tag{3.28}$$

$$S_{HV} = \frac{-j(S_{RR} + S_{RL} + S_{LR} + S_{LL})}{2}$$

$$S_{VV} = \frac{S_{RR} + S_{LL} - S_{RL} + S_{LR}}{2}$$

3.4 Basit Nesnelerin RKA'sı

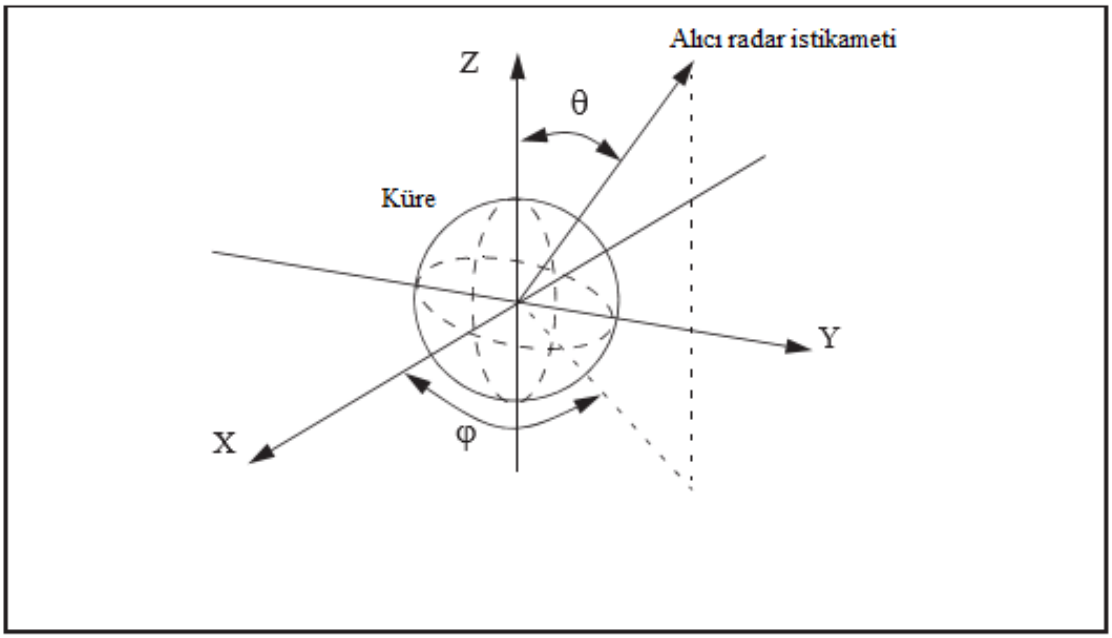
3.4.1 Giriş

Saçılım alanları sıklıkla türetilebildiğinden, basit nesnelerden yayılan elektromanyetik dalgalar, analitik ifadeler olarak dikkat çekici olmuştur. Bu basit nesneler arasında küreler, elipsler, iki boyutlu silindirler, yarım düzlemler ve kamalar gibi nesneler bulunur. Gerçek dünyadaki nesnelerle dalga etkileşimlerinde bulunan önemli saçılma mekanizmaları hakkında fikir vermelerinden ötürü bu tür şekillerin incelenmesi çok değerlidir. Bu analitik saçılma denklemleri, Hesaplamalı Elektromanyetik (CEM-Computational Electromagnetic) yazılım kodlarını test etmek ve doğrulamak için de kullanılır.

Nesnenin boyu dalga boyuna kıyasla büyük olduğunda sunulan ifadelerin çoğu, nesnenin radar kesitini temsil eder. Bunlar, ölçümleri sadeleştirmek maksadıyla dalga boyu için asimptotik sınırlar ya da deneysel uyumlar kullanarak, genellikle seri ya da karmaşık düzlemli birleşimler olmak üzere analitik ifadelerden türetilir. Bu yaklaşımların "yüksek frekanslı" veya "optik" saçılma rejiminde çalıştığı kabul edilir. Diğer durumlarda ise, "düşük frekanslı" veya "rezonans" rejimindeki yöntemler RKA'yı hesaplamak için kullanılır.

Bu kısımda, çok sayıda basit şekilli nesne için geriye saçılmış radar kesiti örneklerinden bahsedilecektir. Mükemmel iletken küre hariç olmak üzere her durumda, sadece optik bölge yaklaşımları sunulmaktadır. Radar tasarımcıları ve RKA mühendisleri, mükemmel iletken alanı, incelenecek en basit hedef olarak görmektedirler. Bu durumda bile, kesin çözümün karmaşıklığı, optik bölge yaklaşımı ile karşılaştırıldığında çok kuvvetlidir. Sunulan formüllerin çoğu, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi (θ, φ) istikametindeki bir uzak alan radarı tarafından ölçülen geri

saçılmış RKA için Fiziksel Optik (PO- Physical Optics) yaklaşımıdır. Bu bölümde, radarın her zaman pozitif z yönünden bir nesneyi aydınlattığı varsayılmaktadır.



Şekil 3.5 Geri saçılan dalgaları tespit eden anten istikameti (Mahafza, 2013)

3.4.2 Küre

Simetri nedeniyle, mükemmel iletken bir küreden saçılan dalgalar, gelen dalgalarla birlikte polarize edilir (aynı polarizasyona sahiptir). Bu, çapraz polarize geri saçılan dalgaların pratik olarak sıfır olduğu anlamına gelir. Örneğin, eğer gelen dalgaları Sol Dairesel Polarize (LCP) ise, o zaman geri saçılan dalgalar da Sol Dairesel Polarize olacaktır. Bununla birlikte, geri saçılan dalgaların yayılma yönünün tersi yönünden dolayı, alıcı anten tarafından Sağ Dairesel Polarize (RCP) olduğu kabul edilir. Bu nedenle, bir küre kaynaklı PP geri saçılan dalgalar Sol Dairesel Polarize iken, OP geri saçılan dalgalar önemsizdir.

Mükemmel iletken bir küre için normalize edilmiş tam saçılan RKA, tarafından verilen bir Mie serisidir:

$$\frac{\sigma}{\pi r^2} = \left(\frac{j}{kr}\right)\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^2(2n+1)\left[\left(\frac{krJ_n(kr)-nJ_n(kr)}{krH_{n-1}(kr)-nH_n^{(1)}(kr)}\right)-\left(\frac{J_n(kr)}{H_n^{(1)}(kr)}\right)\right] \qquad (3.29)$$

Burada r, kürenin yarı çapı, k = 2π/λ , λ dalga boyu olduğu, J_n birinci dereceden n'nin küresel Bessel fonksiyonudur ve $H^{(1)}{}_n$ ise n'nin Hankel fonksiyonudur ve aşağıdaki gibidir:

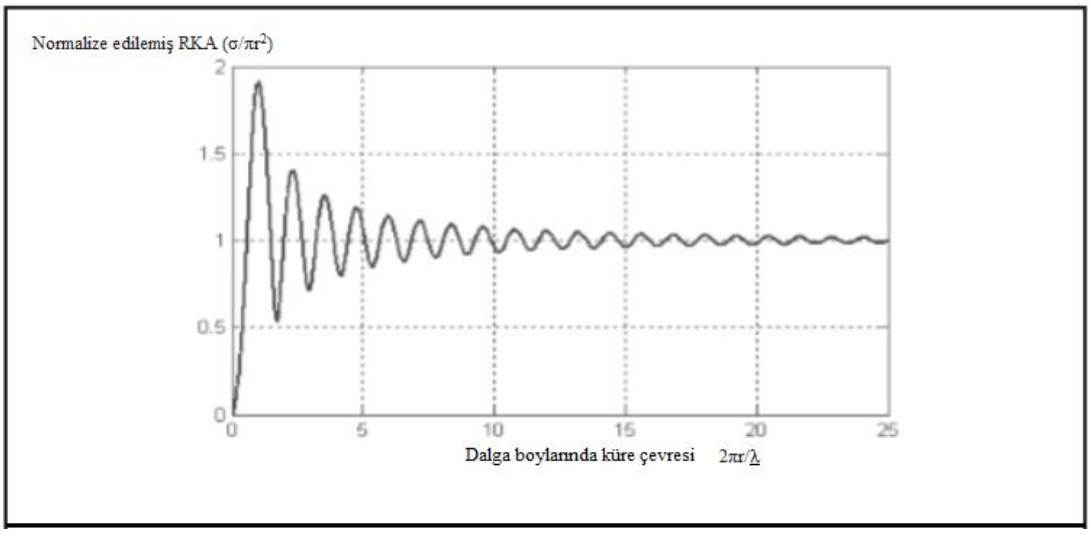
$$H_n^{(1)}(kr) = J_n(kr) + jY_n(kr) \tag{3.30}$$

Y_n, n düzeninde ikinci türden küresel Bessel işlevidir. Dalga boyu birimlerindeki çevresinin bir fonksiyonu olarak normalize edilmiş mükemmel iletken kürenin RKA çizimleri, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 ile gösterilmiştir. Şekil 3.8'de üç bölge tanımlanmıştır. Birincisi, optik bölgedir (büyük bir küreye karşılık gelir). Bu durumda,

$$\sigma = \pi r^2 \qquad r \square \lambda \tag{3.31}$$

İkincisi, Rayleigh bölgesidir (küçük küre). Bu durumda,

$$\sigma \approx 9\pi r^2 (kr)^2 \qquad R \square \lambda \tag{3.32}$$

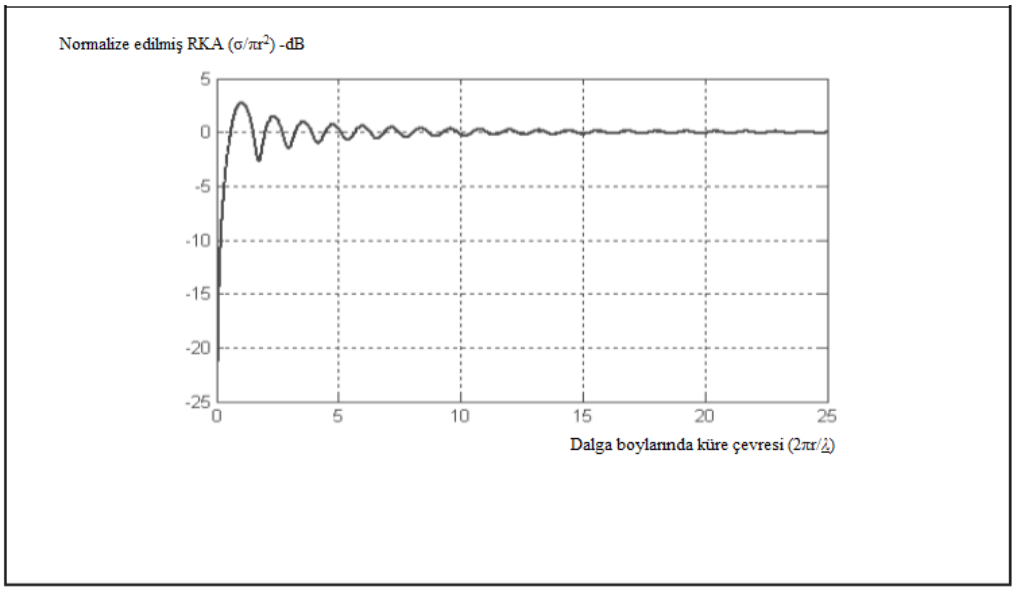


Şekil 3.6 Mükemmel iletken için normalize edilmiş RKA (Sefer, 2018)

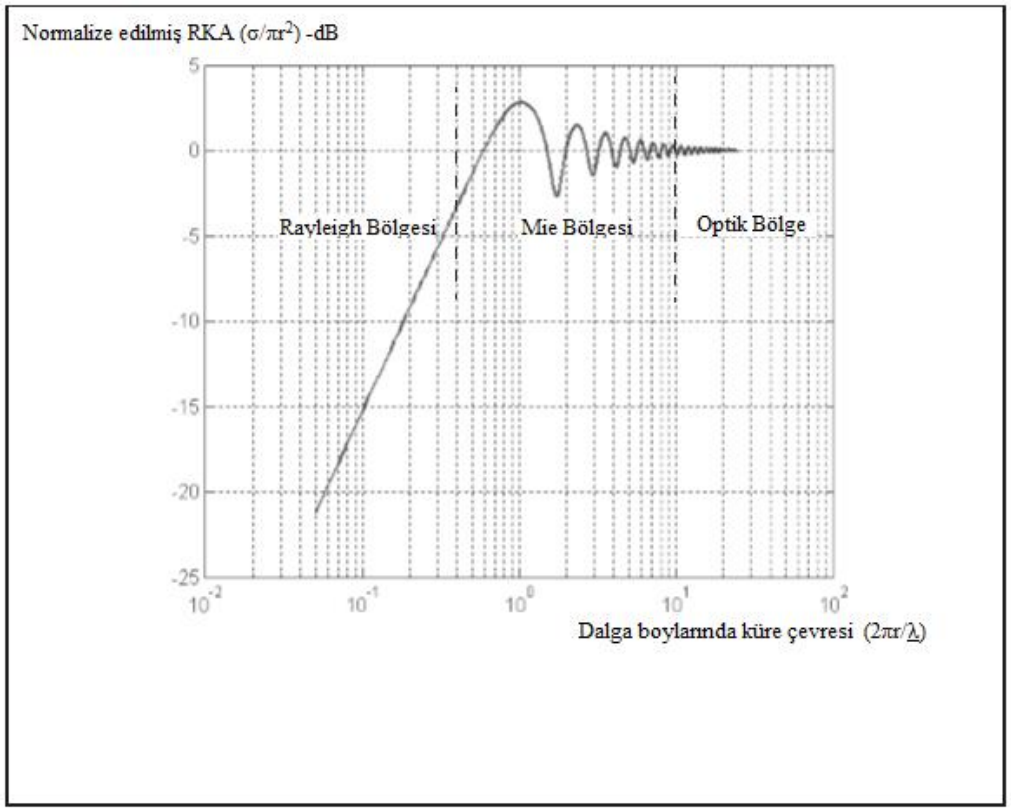
Optik ve Rayleigh bölgeleri arasındaki bölge doğada salınımlıdır ve Mie veya rezonans bölgesi olarak adlandırılır.

Mükemmel iletken bir küre için geri saçılan RKA, optik bölgede sabittir. Bu nedenle, radar tasarımcıları tipik olarak radar sistemlerini deneysel olarak kalibre etmek için

bilinen enine kesit alanlarını kullanır. Bu amaçla, küreler balonlara tutturulur. Doppler kaymasını elde etmek için, bilinen RKA küreleri bir uçaktan atılır ve hızı radar tarafından bilinen uçağın arkasına çekilir.



Şekil 3.7 Mükemmel iletken için normalize edilmiş RKA (-dB)



Şekil 3.8 Yarı logaritmik ölçek kullanılarak mükemmel iletken için normalize edilmiş RKA (-dB) (Miacci ve Rezende, 2012)

3.4.3 Elipsoit

(0; 0; 0) merkezli bir elipsoit, Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Aşağıdaki denklem ile tanımlanır:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2+\left(\frac{y}{b}\right)^2+\left(\frac{z}{c}\right)^2=1 \tag{3.33}$$

Elipsoit geri saçılmış RKA için yaygın olarak kabul edilen yaklaşım aşağıdadır:

$$\sigma=\frac{\pi a^2b^2c^2}{\left(a^2\left(\sin\theta\right)^2\left(\cos\varphi\right)^2+b^2\left(\sin\theta\right)^2\left(\sin\varphi\right)^2+c^2\left(\cos\theta\right)^2\right)^2} \tag{3.34}$$

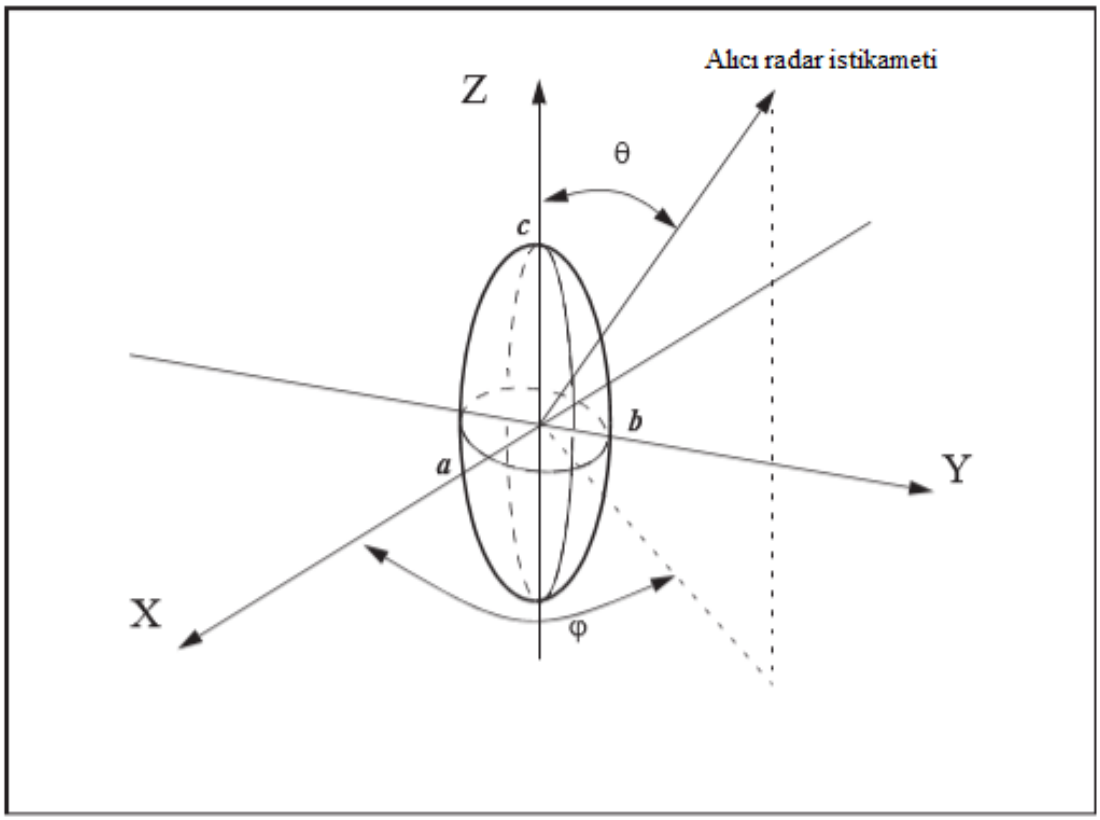
a = b olduğunda, elipsoid rulo simetrik olur. Böylece, RKA, φ'den bağımsız olur ve aşağıdaki şekilde indirgenebilir:

$$\sigma=\frac{\pi b^4c^2}{\left(a^2\left(\sin\theta\right)^2+c^2\left(\cos\theta\right)^2\right)^2} \tag{3.35}$$

$a=b=c$ olduğunda da

$$\sigma=\pi c^2 \tag{3.36}$$

Denk. (3.36) bir kürenin geriye saçılan RKA'sını tanımlar. Çünkü a = b = c koşulu altında elipsoid bir küre haline gelir.



Şekil 3.9 Elipsoit (Sharkawy vd., 2006)

3.4.4 Dairesel Düz Levha

Şekil 3.10 r yarıçapındaki dairesel bir düz plakanın orijin merkezli olduğunu göstermektedir. Dairesel simetri nedeniyle, dairesel düz levhanın geriye saçılan RKA'sının φ'ye bağımlılığı yoktur. RKA sadece görünüş açısına bağlıdır. Normal üzerindeki gelen dalga için (Yani, görünüş açısı=0 olduğunda), dairesel düz levha için geri saçılan RKA aşağıdaki gibidir:

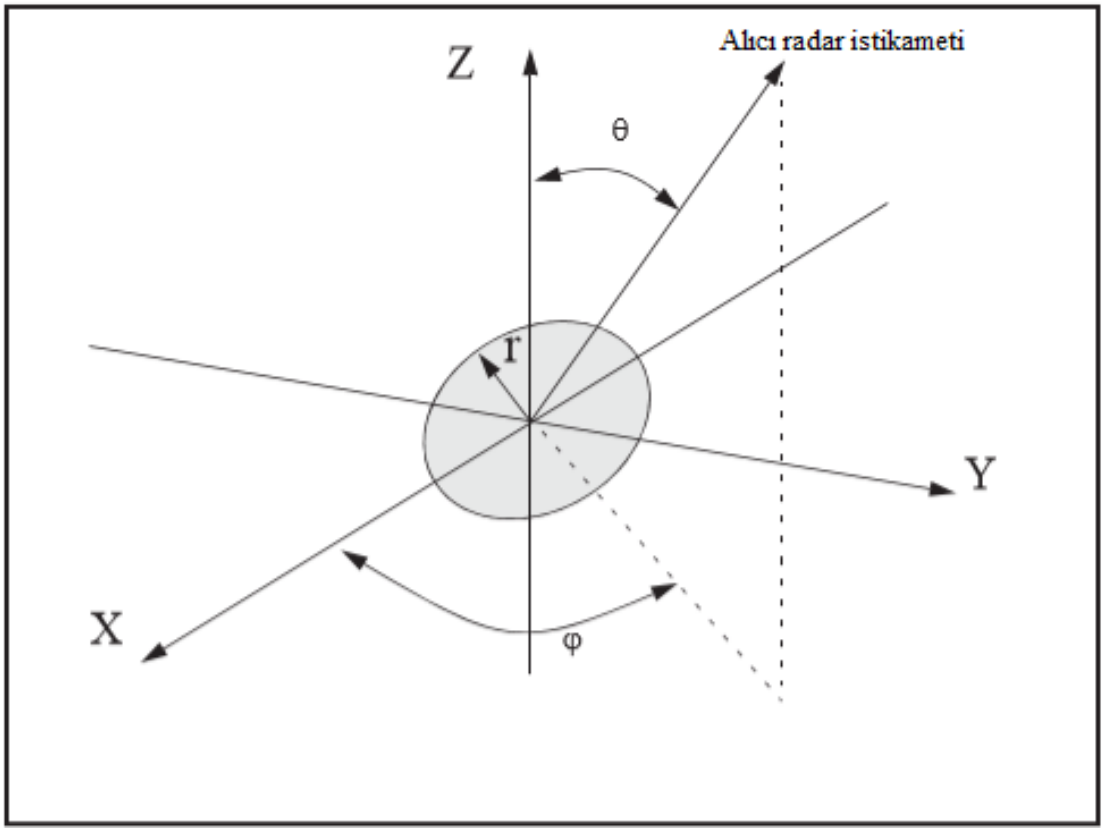
$$\sigma = \frac{4\pi^3 r^4}{\lambda^2} \qquad \theta = 0^o \tag{3.37}$$

Normal üzerinde olmayan gelen dalga için iki yaklaşım söz konusudur:

$$\sigma = \frac{\lambda r}{8\pi \sin\theta\left(\tan\left(\theta\right)\right)^2} \tag{3.38}$$

$$\sigma = \pi k^2 r^4 \left(\frac{2J_1(2kr\sin\theta)}{2kr\sin\theta} \right)^2 (\cos\theta)^2 \tag{3.39}$$

Burada k = 2 π / λ ve J_1 birinci dereceden küresel Bessel fonksiyonudur (Mahafza, 2013).



Şekil 3.10 Dairesel düz plaka (Sharkawy vd., 2006)

3.4.5 Kesik Koni

Şekil 3.11, bir kesik koni ile ilişkili geometriyi göstermektedir. Yarım koni açısı α aşağıdaki denklemde olduğu gibidir:

$$\tan\alpha = \frac{(r_2 - r_1)}{H} = \frac{r_2}{L} \tag{3.40}$$

Görünüş açısı θ_n, kesik koninin geniş kenarlı yüzeyine gelen normal geliş açısıyla tanımlanır. Böylece bir kesik koni, kendisinin küçük ucuyla aynı tarafta bulunan bir radar tarafından aydınlatıldığında, açısı θ_n açısı aşağıdaki gibi olur:

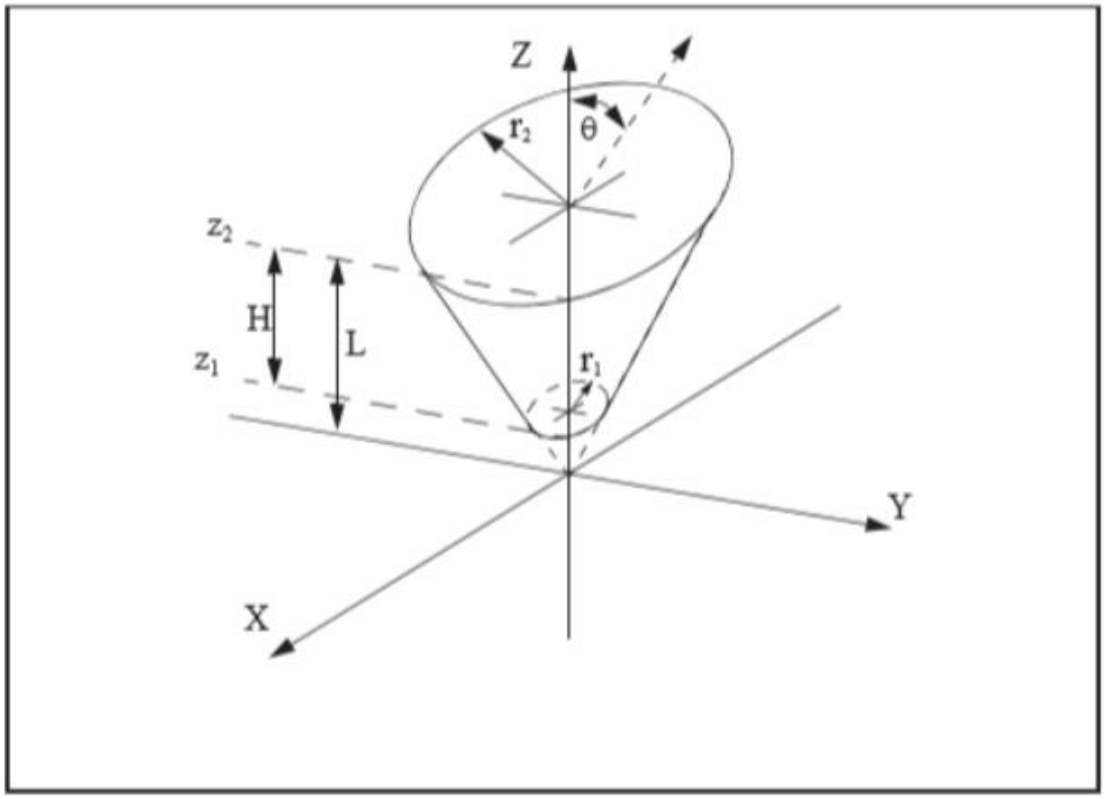
$$\theta_n = 90^o - \alpha \tag{3.41}$$

Alternatif olarak normal geliş açısı aşağıdaki gibi olur:

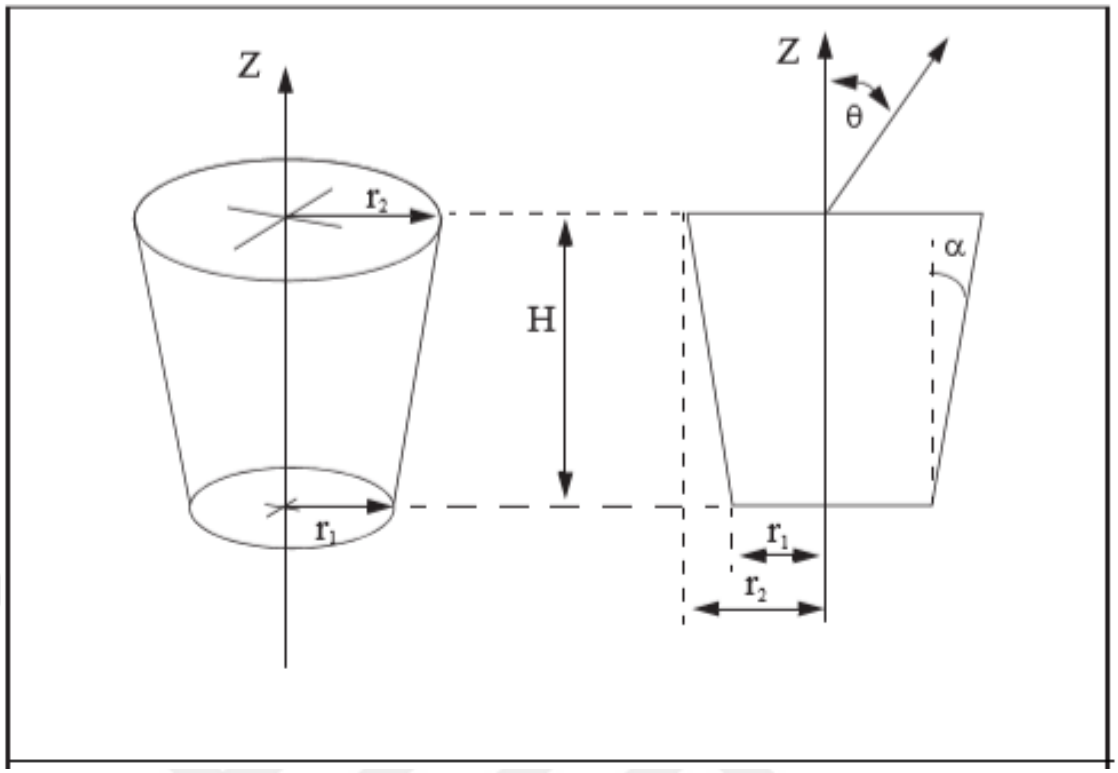
$$\theta_n = 90^o + \alpha \tag{3.42}$$

Normal geliş açısında, doğrusal olarak polarize bir gelen dalgaya bağlı olarak kesik bir koninin geri saçılan RKA'sı için bir yaklaşım aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_{\theta_n} = \frac{8\pi\left(z_2^{3/2} - z_1^{3/2}\right)^2}{9\lambda \sin\theta_n} \tan\alpha\left(\sin\theta_n - \cos\theta_n \tan\alpha\right)^2 \tag{3.43}$$



Şekil 3.11 Kesik koni (Sharkawy vd., 2006)



Şekil 3.12 Yarım koni açısı (Mahafza, 2013)

$$\sigma_{\theta_n} = \frac{8\pi\left(z_2^{3/2} - z_1^{3/2}\right)^2}{9\lambda} \frac{\sin\alpha}{\left(\cos\alpha\right)^4} \tag{3.44}$$

Normal olmayan gelen açı için, doğrusal polarize bir gelen dalgaya bağlı olarak geri saçılan RKA:

$$\sigma = \frac{\lambda z \tan\alpha}{8\pi \sin\theta}\left(\frac{\sin\theta - \cos\theta\tan\alpha}{\sin\theta\tan\alpha + \cos\theta}\right)^2 \tag{3.45}$$

Burada z, RKA katkısının koninin küçük veya büyük kenarından olmasına göre ya z_1'e veya z_2'ye eşittir. Yine, Denk. (3.45)'teki trigonometrik tanımlamaları kullanarak (radarın büyük uçtan başlayarak kesik komiyi aydınlattığını varsayarsak),

$$\sigma = \frac{\lambda z \tan\alpha}{8\pi \sin\theta}\left(\tan(\theta - \alpha)\right)^2 \tag{3.46}$$

Burada λ dalga boyu olarak; bir z_1, z_2 ise Şekil 3.10'da tanımlanmıştır.

Radar küçük uçtan başlayarak kesik koniyi aydınlattığında (yani radar, Şekil 3.10'daki negatif z yönündedir), Denk. (3.46) aşağıdaki gibi güncellenebilir:

$$\sigma = \frac{\lambda z \tan\alpha}{8\pi \sin\theta}\left(\tan(\theta+\alpha)\right)^2 \tag{3.47}$$

3.4.6 Silindir

Şekil 3.13, sonlu uzunlukta bir iletken silindir ile ilişkili geometriyi göstermektedir. İki durum sunulmuştur: ilk olarak, eliptik bir enine kesit silindirinin genel durumu; ikincisi, dairesel bir enine kesitli silindir durumudur. Sırasıyla küçük ve büyük olmak üzere r_1 ve r_2 yarıçaplarına sahip eliptik silindirden gelen dalgaya bağlı olarak normal ve normal olmayan gelen dalganın RKA'sı aşağıda hesaplanmıştır:

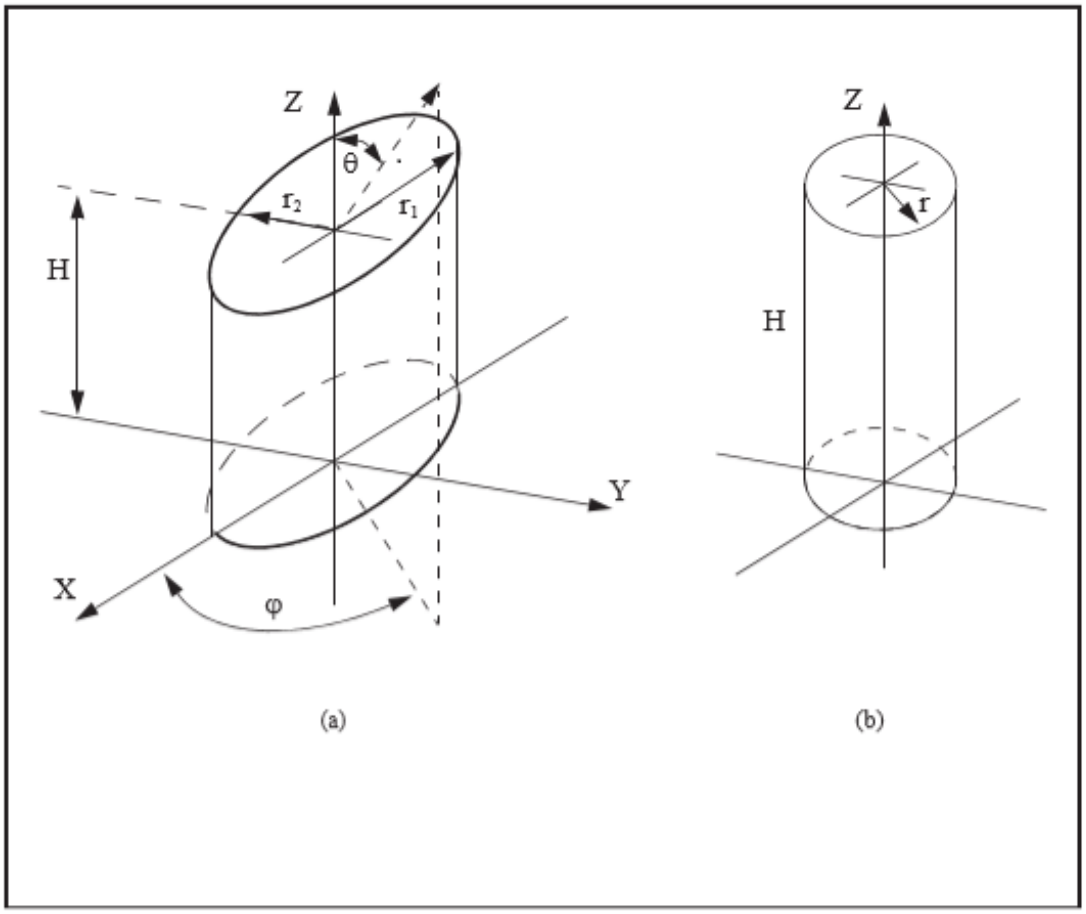
$$\sigma_{\theta_n} = \frac{2\pi H^2 r_2^2 r_1^2}{\lambda\left(\cos\theta\right)^2\left[r_1^2\left(\cos\varphi\right)^2 + r_2^2\left(\sin\varphi\right)^2\right]^{1.5}} \tag{3.48}$$

$$\sigma = \frac{\lambda r_2^2 r_1^2 \sin\theta}{8\pi\left(\cos\theta\right)^2\left[r_1^2\left(\cos\varphi\right)^2 + r_2^2\left(\sin\varphi\right)^2\right]^{1.5}} \tag{3.49}$$

Simetri nedeniyle r yarıçapına sahip dairesel silindir için, Denk. (3.48) ve (3.49) sırasıyla aşağıdaki şekilde yeniden ifade edilebilir:

$$\sigma_{\theta_n} = \frac{2\pi H^2 r}{\lambda} \tag{3.50}$$

$$\sigma = \frac{\lambda r \sin\theta}{8\pi\left(\cos\theta\right)^2} \tag{3.51}$$



Şekil 3.13 Eliptik silindir ve dairesel silindir (Mahafza, 2013)

3.4.7 Dikdörtgen Düz Levha

Şekil 3.14'te gösterildiği gibi, x-y düzleminde mükemmel iletken bir dikdörtgen ince düz plaka değerlendirildiğinde plakanın iki tarafı 2a ve 2b ile gösterilmektedir. x-z düzleminde doğrusal olarak polarize gelen dalga için, sırasıyla yatay ve dikey geri saçılan RKA;

$$\sigma_V = \frac{b^2}{\pi}\left\{\sigma_{1V} - \sigma_{2V}\left[\frac{1}{\cos\theta} + \frac{\sigma_{2V}}{4}\left(\sigma_{3V} - \sigma_{4V}\right)\right] - \sigma_{5V}^{-1}\right\}^2 \tag{3.52}$$

$$\sigma_H = \frac{b^2}{\pi}\left\{\sigma_{1H} - \sigma_{2H}\left[\frac{1}{\cos\theta} + \frac{\sigma_{2H}}{4}\left(\sigma_{3H} - \sigma_{4H}\right)\right] - \sigma_{5H}^{-1}\right\}^2 \tag{3.53}$$

Burada $k = 2\pi / \lambda$ ve

$$\sigma_{1V} = \cos\left(ka\sin\theta\right) - J\,\frac{\sin\left(ka\sin\theta\right)}{\sin\theta} = \left(\sigma_{1H}\right)^{*} \tag{3.54}$$

$$\sigma_{2V} = \frac{e^{j\left(ka-\pi/4\right)}}{\sqrt{2\pi}ka^{3/2}} \tag{3.55}$$

$$\sigma_{3V} = \frac{\left(1+\sin\theta\right)e^{-jk\sin\theta}}{\left(1-\sin\theta\right)^{2}} \tag{3.56}$$

$$\sigma_{4V} = \frac{\left(1-\sin\theta\right)e^{jk\sin\theta}}{\left(1+\sin\theta\right)^{2}} \tag{3.57}$$

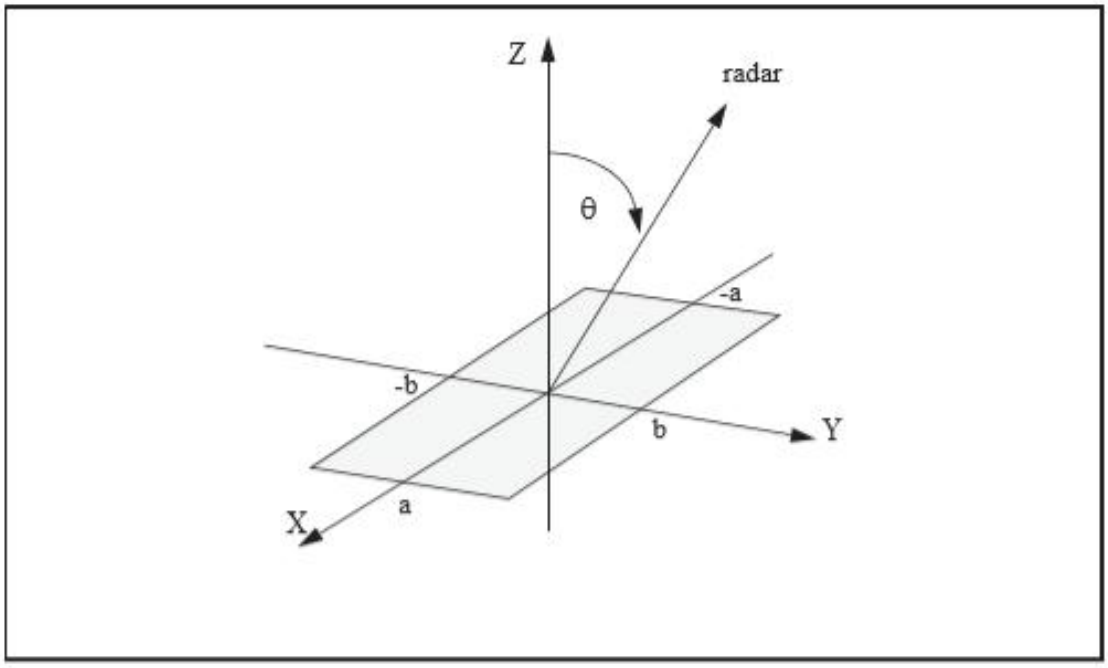
$$\sigma_{5V} = 1 - \frac{e^{\left(2ka-\pi/2\right)}}{8\pi\left(ka\right)^{3}} \tag{3.58}$$

$$\sigma_{2H} = \frac{e^{j\left(ka+\pi/4\right)}}{\sqrt{2\pi}ka^{1/2}} \tag{3.59}$$

$$\sigma_{3H} = \frac{e^{-jk\sin\theta}}{1-\sin\theta} \tag{3.60}$$

$$\sigma_{4H} = \frac{e^{jk\sin\theta}}{1+\sin\theta} \tag{3.61}$$

$$\sigma_{5H} = 1 - \frac{e^{j\left(2ka+\pi/2\right)}}{2\pi\left(ka\right)} \tag{3.62}$$



Şekil 3.14 Dikdörtgen düz plaka (Mahafza, 2013)

Görünüş açısının $0^o \leq \theta \leq 80^o$ olduğu durumlar için (3.52) ve (3.53) numaralı denklemler geçerlidir. 90^o civarındaki görünüş açıları içinse RKA için aşağıdaki deneysel ifade oluşturulmuştur (Ross, 1996).

$$\sigma_V = \frac{ab^2}{\lambda}\left\{\left[1+\frac{\pi}{2\left(2a/\lambda\right)^2}\right]+\left[1-\frac{\pi}{2\left(2a/\lambda\right)^2}\right]\cos\left(2ka-\frac{3\pi}{5}\right)\right\} \tag{3.63}$$

Gelen dalga açıya ait açılar θ ve φ olduğunda mükemmel iletken ince dikdörtgen plaka için geri saçılan RKA aşağıda olduğu şekilde yaklaşık olarak hesaplanabilir:

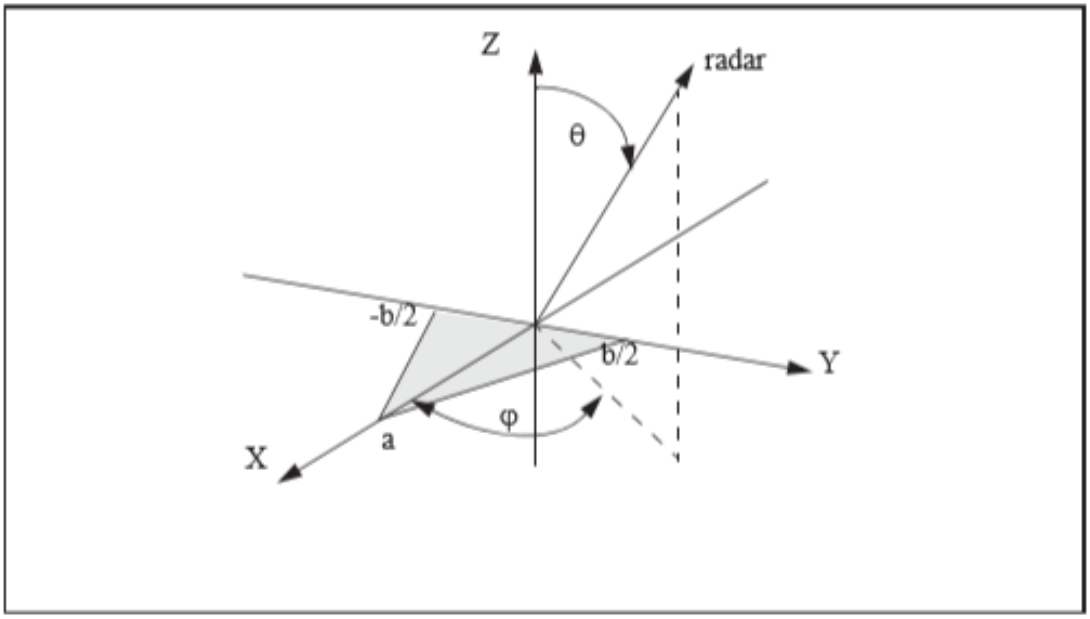
$$\sigma = \frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda^2}\left(\frac{\sin\left(ak\sin\theta\cos\varphi\right)}{ak\sin\theta\cos\varphi}\frac{\sin\left(bk\sin\theta\cos\varphi\right)}{bk\sin\theta\cos\varphi}\right)^2\left(\cos\theta\right)^2 \tag{3.64}$$

Bununla birlikte Denk. (3. 64) polarizasyondan bağımsızdır ve geçerlidir görünüş açısı $\theta \leq 20^o$ olduğunda geçerlidir.

3.4.8 Üçgen Düz Levha

Üçgen düz levhayı Şekil 3.15'te gösterilen ikizkenar üçgen gibi değerlendirmek gerekir. Geri saçılan RKA, küçük görünüş açıları için ($\theta \leq 30^{o}$) yaklaşık olarak:

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2}\left(\cos\theta\right)^2 \sigma_0 \tag{3.65}$$



Şekil 3.15 Mükemmel iletken ikizkenar üçgen plaka (Sharkawy vd., 2006)

$$\sigma_0 = \frac{\left[\left(\sin\alpha\right)^2 - \left(\sin\left(\beta/2\right)\right)^2\right]^2 + \sigma_{01}}{a^2 - \left(\beta/2\right)^2} \tag{3.66}$$

$$\sigma_{01} = 0.25\left(\cos\theta\right)^2\left[\left(2a/b\right)\cos\varphi\sin\beta - \sin\varphi\sin 2\alpha\right]^2 \tag{3.67}$$

Burada α = kasinθcosφ, $\beta = kb\sin\theta\sin\varphi$, A= ab/2 ve gelen dalga için $\varphi = 0$ olduğunda RKA:

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2}\left(\cos\theta\right)^2\left[\frac{\sin\alpha^4}{\alpha^4} + \frac{\left(\sin\alpha - 2\alpha\right)^2}{4\alpha^4}\right] \tag{3.68}$$

Gelen dalga için $\varphi = \pi/2$ olduğunda RKA:

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2}\left(\cos\theta\right)^2\left[\frac{\sin\alpha^4}{\alpha^4} + \frac{\left(\sin\beta/2\right)^2}{\left(\beta/4\right)^4}\right] \tag{3.68}$$

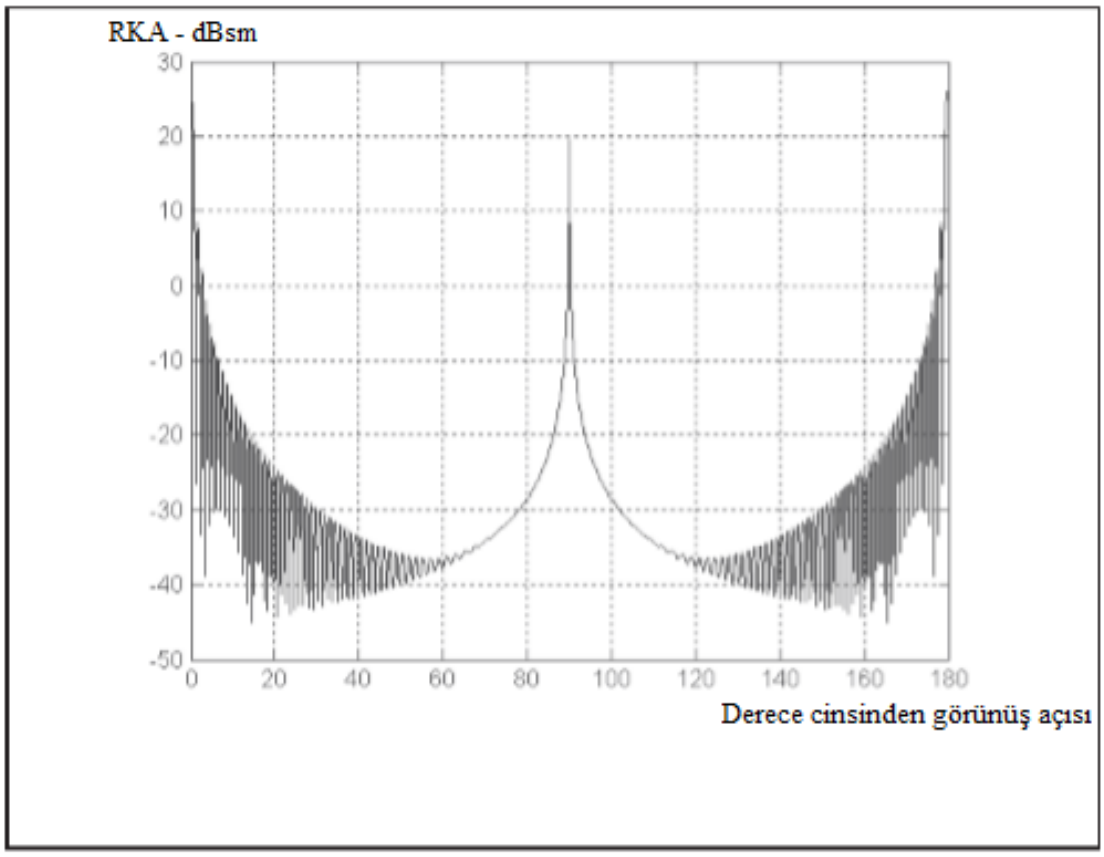
3.5 Karmaşık Nesnelerin RKA'sı

Karmaşık bir hedefin RKA'sı normalde, bu hedefi oluşturan basit şekillerin kesitlerinin birleştirilmesiyle hesaplanır. Genel olarak, karmaşık bir hedefin RKA'sı, hedef üzerine dağıtılmış bireysel saçılma merkezleri grubu olarak modellenebilir. Saçılma merkezleri, izotropik nokta saçıcıları (N-nokta modeli) veya basit şekilli saçıcıları (N-şekil modeli) olarak modellenebilir. Her durumda, saçılma merkezlerinin konumlarını ve dayanıklılıklarını bilmek, karmaşık hedef RKA'sının belirlenmesinde kritik öneme sahiptir. Bu doğrudur, çünkü "Polarizasyona Karşı RCS Bağımlılığı" konu başlığında da görüldüğü gibi, tek tek saçılma merkezlerinin nispi boşlukları ve görünüş açıları, genel hedef RKA'sını büyük ölçüde etkiler. Birçok eşit saçılma merkezi tarafından modellenebilen karmaşık hedeflere genellikle Swerling 1 veya 2 hedef modeli denir. Alternatif olarak, bir baskın saçılma merkezine ve diğer birçok küçük saçılma merkezine sahip olan hedefler, Swerling 3 veya 4 hedef modeli olarak bilinir.

Dar bant (NB) radar uygulamalarında, tüm saçılma merkezlerinden gelen katkılar, her yön açısında hedef RKA'sı için tek bir değer üretmek üzere tutarlı bir şekilde birleştirilir. Bununla birlikte, geniş bantlı (WB) uygulamalarda, bir hedef birçok aralıklı bölmeye sıkışabilir. Her menzil kutusu için, radar tarafından çıkartılan ortalama RKA, o menzil kutusuna giren tüm saçılma merkezlerinin katkılarını temsil eder.

Örnek olarak, her iki ucunda iki mükemmel iletken dairesel düz plaka bulunan dairesel bir silindiri ele aldığımızda doğrusal polarizasyon olduğunu; H = 1m, r = 0,125m olduğunu varsayarak. Bu nesnenin RKA'sına karşı görünüş açısı Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Görünüş açısı 0º ve 180º'ye yakın olduğunda RKA ağırlıklı olarak

dairesel levhaların hâkimiyeti altında iken ve görünüş açısı normal gelene çok yakın olduğunda ise RKA silindirin geniş yüzeyinden yansımanın hâkimiyeti altındadır.



Şekil 3.16 Düz plakalı silindirin geri saçılan RKA'sı (Mahafza, 2013)

3.6 RKA Tahmin Yöntemleri

Farklı RKA hesaplama yöntemlerini sunmadan önce, RKA tahmininin önemini anlamak önemlidir. Çoğu radar sistemi, ayırt etme aracı olarak RKA kullanır. Bu nedenle, sağlam ayırt etme algoritmaları tasarlamak ve geliştirmek için hedef RKA'sının doğru tahmin edilmesi kritik öneme sahiptir. Buna ilave olarak, RKA azaltma tekniklerinin geliştirilmesinde belirli bir hedef için saçılma merkezlerinin (kaynakların) ölçülmesi ve tanımlanması büyük önem arz eder. Daha az önem arz eden bir başka sebep de, RKA hesaplamalarının geniş ve kapsamlı teknik bilgi gerektirmesidir; böylece bilimle ilgilenen birçok kişi konuyu zorlayıcı ve entelektüel olarak motive edici buluyor. İki RKA tahmin yöntemi kategorisi mevcuttur: kesin ve yaklaşık.

Kesin RKA tahmini yöntemleri, basit şekilli nesneler için bile çok karmaşıktır. Bunun nedeni, uygun sınır koşulları altında saçılma problemini tanımlayan diferansiyel veya integral denklemleri çözmeyi gerektirmeleridir. Bu sınır şartları, Maxwell denklemleriyle yönetilir. Kesin çözümler elde edilse bile, dijital bilgisayarları kullanarak yorumlanmaları ve programlanmaları genellikle zordur.

Kesin RKA hesaplamasının zorlukları nedeniyle, yaklaşık yöntemler uygulanabilir bir alternatif haline gelir. Yaklaşık yöntemlerin çoğunluğu optik bölgede geçerlidir ve her bir yaklaşık yöntemin kendine özgü güçlü yönleri ve sınırlamaları vardır. Çoğu yaklaşık yöntemler birkaç dB doğruluk payı içinde RKA tahmini yapabilir. Genel olarak, böyle bir sapma oldukça kabul edilebilir sayılır. Yaklaşık yöntemler genellikle uçaklar, gemiler ve füzeler gibi karmaşık ve genişletilmiş hedeflerin RKA'sını tahmin etmek için ana kaynaktır. Deneysel sonuçlar mevcut olduğunda, yaklaşımları doğrulamak için kullanılabilirler.

En sık kullanılan yaklaşık yöntemlerden bazıları Geometrik Optik (Geometrical Optics-GO), Fiziksel Optik (Physical Optics-PO), Geometrik Kırınım Teorisi (Geometrical Theory of Diffraction-GTD), Fiziksel Kırınım Teorisi (Physical Theory of Diffraction-PTD) ve Eşdeğer Akımlar Yöntemi'dir (Method of Equivalent Currents-MEC).

3.6.1 Hesaplamalı Elektromanyetik

Saçılma problemlerinin çoğu, çok karmaşık şekillere sahip olan radar hedeflerini içerir. Bunlar arasında kamyon, tank ve topçu gibi yer temelli hedefler; uçaklar, helikopterler ve füzeler gibi hava hedefleri ile atmosfere dönüş araçları ve uydular gibi uzay tabanlı hedefler yer almaktadır. Böyle bir nesne için, radar kesitini tahmin etmek için genellikle herhangi bir analitik yöntem yoktur. Hesaplamalı Elektromanyetik (CEM) alanı, Maxwell Denklemlerini uygulamak ve bu problemleri çözmek için bilgisayarın gücünü kullanır. CEM, antenler ve dalga kılavuzu tasarımı, dalga yayılımı ve tıbbi görüntüleme gibi diğer alanlarda da uygulamalara sahiptir.

Saçılma problemlerini çözmek için her biri farklı bir sayısal analiz tekniği kullanan birçok CEM tekniği vardır. Kullanılan en popüler yöntemler arasında Sonlu Fark

Zaman Tabanlı (FDTD-Finite Difference Time Domain) yöntem, Sonlu Eleman Yöntemi (FEM- Finite Element Method), Momentler Yöntemi (MoM-Method of Moments) gibi integral denklem yöntemleri ve Fiziksel Optik (PO-Physical Optics) gibi sonlu olmayan teknikler; Fiziksel Kırınım Teorisi (PTD-Physical Theory of Diffraction) ve Atış ve Sıçrama Işınları (SBR-Shooting and Bouncing Rays).

3.6.2 Sonlu Farklar Zaman Tabanlı Yöntem

Sonlu Fark Zaman Tabanlı (FDTD) yöntem, karmaşık nesneler içeren saçılma problemlerini çözmek için kullanışlıdır. Zaman tabanlı Maxwell denklemlerini ayrıklaştırmak için sonlu farklılık şeması kullanılır. Bu, geniş bant genişliğine sahip dalga formlarının uyarma olarak kullanılmasına izin verme avantajına sahiptir.

Sonlu Fark Zaman Tabanlı Yönteminin ana eksiklikleri, özellikle üç boyutlu durumlarda, hedef geometri ve yüksek bellek gereksinimlerinin kötü şekilde ayrılmasıyla sonuçlanan, grid ölçülerini ve uyumlu olmayan grid şeklindeki gereksinimleri içerir. Nesne ve bitişiğindeki bölge ayrıklaştırılmalıdır ve sınırlandırılmamış bir alanı simüle etmek maksadıyla gridi kesmek için kullanılan yapay bir emici tabaka kullanılır. Bu tür simülasyonlarda tamamen düzlemsel bir dalga oluşturmak da zordur.

Fark Zaman Tabanlı Yöntemi, Maxwell'in zaman tabanlı denklemlerini doğrudan ayrıştırmak için sonlu fark yaklaşımlarından yararlanır. İlk türev için “ileri fark” yaklaşımını göz önünde bulundurmak gerekir:

$$\dot{f}\left(x_0\right) \approx \frac{f\left(x_0+\Delta x\right)-f\left(x_0\right)}{\Delta x} \tag{3.70}$$

Geriye doğru fark yaklaşımı:

$$\dot{f}\left(x_0\right) \approx \frac{f\left(x_0\right)-f\left(x_0-\Delta x\right)}{\Delta x} \tag{3.71}$$

Merkezi fark yaklaşımı

$$\dot{f}(x_0) \approx \frac{f(x_0+\Delta x)-f(x_0-\Delta x)}{2\Delta x} \tag{3.72}$$

İkinci türevler benzer bir işlemle yaklaştırılabilir

$$\ddot{f}(x_0) \approx \frac{\left[f(x_0+\Delta x)-f(x_0)\right]-\left[f(x_0)-f(x_0)-\Delta x\right]}{(\Delta x)^2} \tag{3.73}$$

İkinci mertebeden türev, ileri ve geri birinci türevlerden yararlanır.

Sonrasında, iki boyutlu simülasyonu uygulamak için Fark Zaman Tabanlı Yöntemi kullanmanın bir örneği ele alındığında ilk olarak, bir denklemin yüksüz ve iletken olmayan bir bölgede Maxwell denklemlerinin zaman bölgesi formu değerlendirilmelidir:

$$\nabla x\vec{E} = \mu\frac{d}{dt}\vec{H} \tag{3.74}$$

$$\nabla x\vec{H} = -\varepsilon\frac{d}{dt}\vec{E} + \vec{J} \tag{3.75}$$

$$\nabla x\vec{D} = 0 \tag{3.76}$$

$$\nabla x\vec{B} = 0 \tag{3.77}$$

burada $\vec{E}$, volt/metre biriminde elektrik alanı yoğunluğunu; $\vec{H}$, amper/metre^2 biriminde manyetik alan yoğunluğunu; $\vec{J}$, coulomb/metre^3 biriminde akım yoğunluğunu; $\vec{D}$, coulomb/metre^2 biriminde yer değiştirme akısını; $\vec{B}$ ise Tesla veya Weber/metre^2 biriminde manyetik indüksiyon akısını; μ, geçirgenliği; ε dielektrik sabitini ifade eder. Bununla birlikte bölge, her biri kendi μ ve ε 'a sahip çeşitli homojen alanlar içerebilmektedir.

Dikdörtgen koordinatlarda, bu denklemler şöyle yazılabilir:

$$\mu \frac{dH_x}{dt} = \frac{dE_y}{dz} - \frac{dE_z}{dy} \tag{3.78}$$

$$\mu \frac{dH_y}{dt} = \frac{dE_z}{dx} - \frac{dE_x}{dz} \tag{3.79}$$

$$\mu \frac{dH_z}{dt} = \frac{dE_x}{dy} - \frac{dE_y}{dx} \tag{3.80}$$

$$\varepsilon \frac{dE_x}{dt} = \frac{dH_z}{dy} - \frac{dH_y}{dz} - \vec{J}_x \tag{3.81}$$

$$\varepsilon \frac{dE_y}{dt} = \frac{dH_x}{dz} - \frac{dH_z}{dx} - \vec{J}_y \tag{3.82}$$

$$\varepsilon \frac{dE_z}{dt} = \frac{dH_y}{dx} - \frac{dH_x}{dy} - \vec{J}_z \tag{3.83}$$

$\hat{z}$ yönünde ipliksi akım kaynağı $\vec{J}$ ele alındığında yukarıdaki üç denklem daha sonra aşağıda olduğu gibi güncellenir:

$$\varepsilon \frac{dE_z}{dt} = \frac{dH_y}{dx} - \frac{dH_x}{dy} - \vec{J}_z \tag{3.84}$$

$$\mu \frac{dH_x}{dt} = -\frac{dE_z}{dy} \tag{3.85}$$

$$\mu \frac{dH_y}{dt} = -\frac{dE_x}{dz} \tag{3.86}$$

Bu ifadeler 2-D Yee Algoritması kullanılarak ayrılabilir. Bu şemada, elektrik ve manyetik alanlar, birbirinden yarım birimlik (gridler üzerinde) mesafe ve zaman uzaklığında düzenlenmiştir (Taflove, 1995).

Birinci dereceden türevler bu zaman ve grid noktalarında değerler elde etmek için yukarıdaki denklemlere uygulanabilir:

$$E_{z,i,j}^{t+1/2} = E_{z,i,j}^{t-1/2} + \frac{\Delta t}{\varepsilon_{i,j}} \left\{ \left(\frac{1}{\Delta x} \left[H_{y,i+1/2,j}^{t} - H_{y,i-1/2,j}^{t} \right] \right) - \frac{1}{\Delta y} \left[H_{x,i+1/2,j}^{t} - H_{x,i-1/2,j}^{t} \right] \right\} - J_{z,i,j}^{t} \quad (3.87)$$

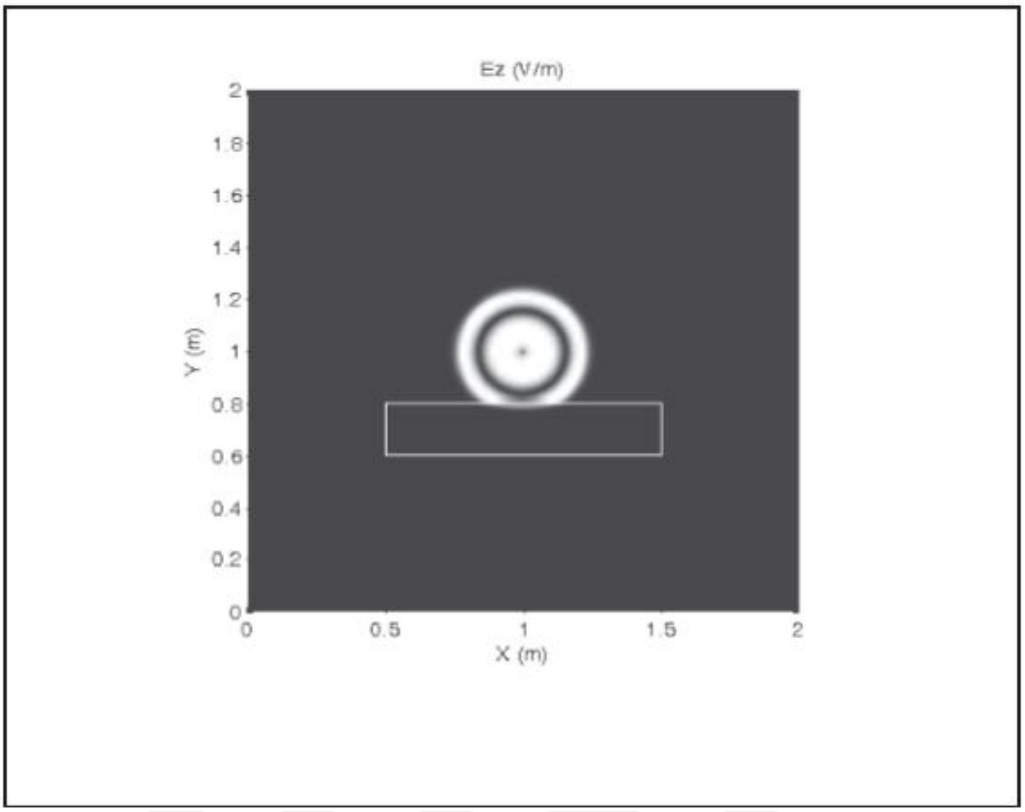
$$H_{x,i,j+1/2}^{t+1} = H_{x,i,j+1/2}^{t} + \frac{\Delta t}{\mu_{i,j+1/2^{\Delta y}}} \left[E_{z,i,j+1}^{t+1/2} - E_{z,i,j}^{t+1/2} \right] \quad (3.88)$$

$$H_{y,i,j+1/2}^{t+1} = H_{y,i+1/2,j}^{t} + \frac{\Delta t}{\mu_{i,j^{\Delta x}}} \left[E_{z,i+1,j}^{t+1/2} - E_{z,i,j}^{t+1/2} \right] \quad (3.89)$$

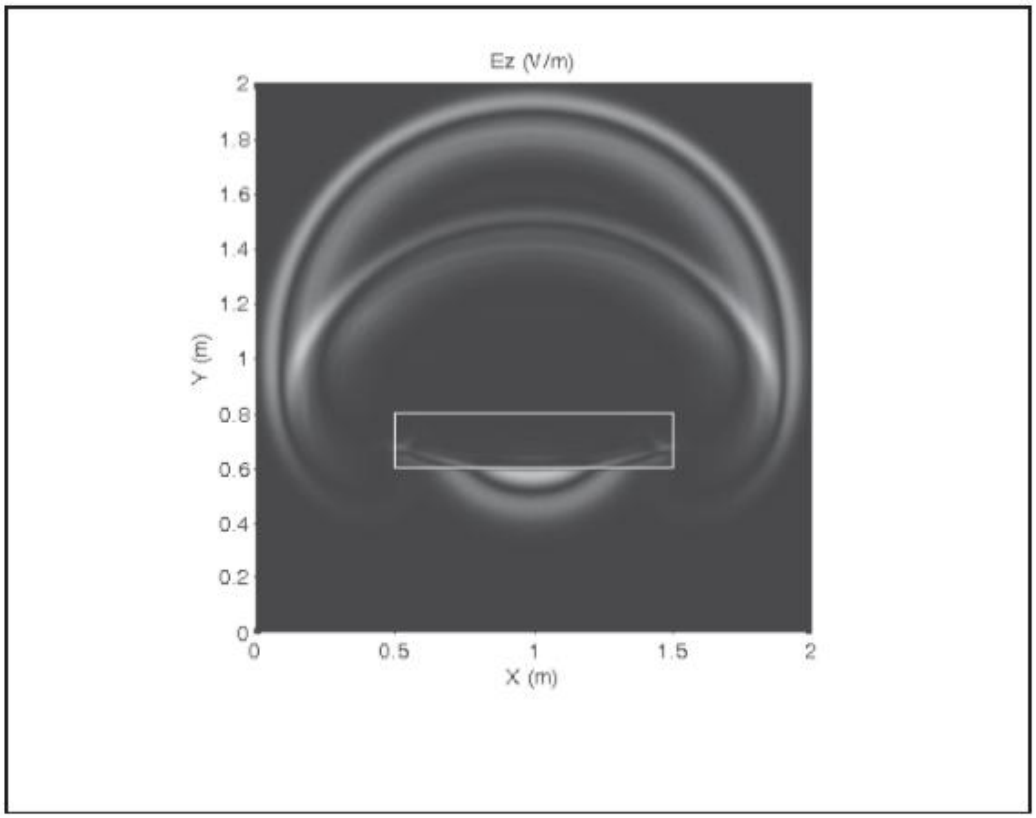
Örnek olarak, 2 metre genişlik ve yüksekliğe sahip iki boyutlu bir kutu ele alındığında ve uyarma fonksiyonu tanımlandığında;

$$J(t) = \left(4 \left(\frac{t}{\tau} \right)^{3} - \left(\frac{t}{\tau} \right)^{4} \right) - e^{-t/\tau} \quad (3.90)$$

Burada $\tau = 1/(4\pi f_o)$ ve $f_o = 600$ MHz. Yayılan dalga cephesine bir engel tanımlamak için $\varepsilon = 8\varepsilon_o$ dielektrik sabitine sahip 1 x 0,2 metre boyutlarında dielektrik bir levha yerleştirildiğinde J_z sahip akım, Şekil 3.17 ve 3.18 ile gösterilmiştir. Dalga levha içinde $\sqrt{8}$ katı ile yavaşlar ve bu nedenle dalga boyu sıkıştırılır. Dalga cephesi $t = 2\eta s$ zamanında plakaya nüfuz etmeye başlar. $t = 3{,}36\ \eta s$ zamanında, dalga dielektrik levhadan ayrılmaya başlar ve engellenmemiş dalga cepheleri kutunun duvarlarına ulaşır.



Şekil 3.17 t=0,2ns zamanındaki dalga önü (Mahafza, 2013)



Şekil 3.18 t=3,36 ns zamanındaki dalga önü (Mahafza, 2013)

3.6.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM), sınır değerli sorunları çözmek için popüler bir Hesaplamalı Elektromanyetik tekniğidir. Bu yöntemde, problem, verilen sınır koşullarında geçerli diferansiyel denklemine karşılık gelen minimum olan bir değişken ifade veya işlevsel olarak formüle edilir. Ağırlıklı temel fonksiyonlardan oluşan bir deneme fonksiyonu, elektrik veya manyetik alan dağılımlarında olduğu gibi çalışma bölgesindeki bilinmeyen miktara atanır. Bilinmeyen katsayılar için çözülebilen bir matris denklemi oluşturulur. Sonlu Elemanlar Yönteminde, temel fonksiyonlar üçgen veya üçgen piramitler gibi yüzey veya hacim elemanlarına atanır. Katsayılar genellikle köşeleri tanımlamak için kullanılır.

Sonlu Elemanlar Yöntemi, statik ve zaman harmonikli elektromanyetik problemlerin yanı sıra, rastgele kesit alanının dalga kılavuzunda temel modların belirlenmesi gibi özdeğer problemlerinin çözümü için de çekicidir. Çoğu bölge, sınırlara ve dielektrik arayüzlere çok iyi uyum sağlayan üçgen veya dörtgen elemanlara kolayca ayrılabilir. Bununla birlikte, Sonlu Fark Zaman Tabanlı yöntemi gibi sınırlandırılmamış bir radyasyon problemi üzerinde çalışılacaksa, sonlandırma sınırında uygulanan emici bir sınır koşulu gerektiren nesne ve bitişik alan, ayrıklaştırılmalıdır.

3.6.4 İntegral Denklemler

Sınırsız bölgelerde saçılma problemlerinin çözümüne yardımcı olan bir dizi yardımcı saçılma denklemi bulunmaktadır. En yaygın kullanılanlardan biri, Maxwell denklemlerinden elde edilmiş $\vec{A}$ frekans bölgesi manyetik vektör potansiyelidir:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int\int_s \vec{J} \frac{e^{-jkR}}{R} ds \tag{3.91}$$

$\vec{J}$ 'nin bir elektrik yüzey akımı olduğu ve S, akımın bulunduğu boş alandaki yüzeydir. Bu tanımı kullanarak, uzayda tüm noktalardaki saçılan elektrik alan, bilinen Elektrik Alan İntegral Denklemi (EFIE- Electric Field Integral Equation) tarafından verilmektedir.

$$\vec{E}_s = -j\omega\vec{A} - \frac{1}{\varepsilon\mu\omega}\nabla\nabla.\vec{A} \tag{3.92}$$

Bu denklem saçılan alan $\vec{E}_s$'yi bilinen bir akım $\vec{J}$ ile ilişkilendirir. Genel bir saçılma probleminde, genel olarak gelen elektrik alanı bilinir ve yüzey akımı ve saçılan alan bilinmez. Akımlar için iletken bir yüzey varsayarsak, teğet elektrik alanı ortadan kalkmalıdır:

$$\vec{E}_i^{\tan} = -\vec{E}_s^{\tan} \tag{3.93}$$

Elektrik Alan İntegral Denklemi, bilinen gelen elektrik alanını kullanarak yeniden yazılabilir $\vec{E}_i$

$$-\vec{E}_s^{\tan} = \left(-j\omega\vec{A} - \frac{1}{\varepsilon\mu\omega}\nabla\nabla.\vec{A} \right)^{\tan} \tag{3.94}$$

Bu, bilinmeyen akım $\vec{J}$ için bir integral denklemini ifade eder.

Momentler Yöntemi (MoM), bu tür integral denklemleri çözmek için kullanılan bir tekniktir ve son 30 yılda çok dikkat çekmiştir. Elektrik Alan İntegral Denklemini çözmek için Momentler Yöntemi kullanılırken, Maxwell denklemleri tam olarak temsil edilir ve çözüm "kesin" veya "tam dalga" olarak tanımlanır. Bu, sonuçta tüm elektromanyetik etkilerin ve baskın saçılma mekanizmalarının temsil edildiği anlamına gelir. Elektrik Alan İntegral Denklemini çözmek için, akım genellikle aşağıdaki denkleme göre ayrıştırılır:

$$\vec{J} = \sum_{n=1}^{N} I_n \vec{f}_n(\vec{r}) \tag{3.95}$$

$\vec{f}_n(\vec{r})$, I_n akımının davranışını ve bilinmeyen katsayıları temsil etmek için seçilen temel fonksiyonlardır. Hedef yüzey tipik olarak küçük alt alanlara ve her birine atanmış bir temel fonksiyona bölünür. Denk. (1.95) numaralı denkleminin, Denk.

(1.93) numaralı denklemin içine eklenmesiyle N bilinmeyenlerinde tek bir denklem verir.

N bilinmeyenlerinde N denklemleri oluşturmak için Elektrik Alan İntegral Denklemi, bir test fonksiyonları seti tarafından Denk. (1.93) elemanları kullanılarak tüm alt alanlar üzerinde test edilir veya uygulanır. Çoğu zaman, $\vec{f}_n(\vec{r})$temel fonksiyonları, kullanılır (Galerkin yöntemi). Sonuçta ortaya çıkan sistem, bilinmeyen katsayılar için Gauss yok etme yöntemi veya bir yinelemeli teknik ile çözülebilir.

3.6.5 Geometrik Optik

Geometrik Optik (GO-Geometrical Optics) yöntemi, radar enerjisini Fermat Prensibi'ne göre yayılan küçük ışın tüpleri olarak görür. Hedef üzerindeki dik açılı yansıma noktaları bulunur ve yansıma noktalarındaki eğrilik yarıçapları analiz edilerek enerjinin ayrışması ve yayılması açıklanır. Geometrik Optik, sert noktalardaki uygulanabilirliği ile sınırlıdır; uçlardan ve kenarlardan gelen kırınımlarla başa çıkmaz ya da sürünen dalgaları açıklar. Keller, kırınım etkilerini ele almak için Geometrik Kırınım Teorisini (GTD-Geometrical Theory of Diffraction) tanıttı (Keller, 1962).

3.6.6 Fiziksel Optik

Fiziksel Optik (PO), yerel olarak, hedef yüzeyinin düz ve düzlemsel olarak kabul edilebileceğini varsayarak, hedefin aydınlatılmış kısmındaki yüzey akımına $\vec{J}$ yaklaşan bir tekniktir. Her noktada, yüzey sonsuz bir yarım düzlem olarak kabul edilirse, görüntü teorisi, yüzey akımının doğrudan gelen manyetik alan ve yerel yüzey normali cinsinden doğrudan yazılmasını sağlar;

$$\vec{J} = 2\hat{n} \times \vec{H}_i \tag{3.96}$$

Buna fiziksel optik yaklaşımı denir. Saçılan elektrik alan, bilinen akımla birlikte Denk. (3.91) kullanılarak doğrudan elde edilir.

Fiziksel Optik yöntemi, yüksek frekanslı Hesaplamalı Elektromanyetik hesaplamalarında yaygın olarak kullanılmasına rağmen, yakın yansıtıcı gözlemlerle doğruluğu sınırlıdır. Bu durum kırınımları, ilerleyen veya sürünen dalgaları, çoklu sıçramaları veya diğer saçılma olaylarını tedavi etmez. Bu mekanizmalar, Fiziksel Optik çözümlere ilave edilir.

3.6.6.1 Dikdörtgen plaka

xy –düzleminde, b uzunluğunda ve a genişliğinde bir dikdörtgen plaka ele alındığında plaka üzerindeki $\hat{\theta}$ kutuplanmış elektrik ve manyetik alanlar, aşağıda verilmiştir:

$$\vec{E}_i = \hat{\theta} e^{-jk(\vec{r}_i.\vec{r})} \tag{3.97}$$

$$\vec{H}_i = -\frac{\vec{r}_i}{z_0} \times \vec{E}_i = \left(-\frac{2}{z_0} \right) \hat{\phi} e^{jk(\vec{r}_i.\vec{r})} \tag{3.98}$$

Burada $\vec{r}_i$ geliş istikameti ve z_o boş alan özdirencidir. Bu alan, akımı üretir:

$$\vec{J} = \frac{2}{z_0} \hat{\phi} \times \hat{n} e^{jk(\vec{r}_i.\vec{r})} \tag{3.99}$$

Aşağıda verilen manyetik vektör potansiyeli ile sonuçlanır:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{2\pi z_0} \frac{e^{-jkR_s}}{R_s} \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \vec{J} e^{jk(\vec{r}_i.\vec{r})} = \frac{\mu}{2\pi z_0} \frac{e^{-jkR_s}}{R_s} \hat{\phi} \times \hat{n} \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} \vec{J} e^{2jk(\vec{r}_i.\vec{r})} dxdy \tag{3.100}$$

$\vec{r}$ = x$\vec{x}$ + y$\vec{y}$ olduğunda ve faz değişimi için R_s mesafesi, yaklaşık olarak aşağıda olduğu gibi ifade edilebilir:

$$R_s - \left(\vec{r}_i.\vec{r} \right) \tag{3.101}$$

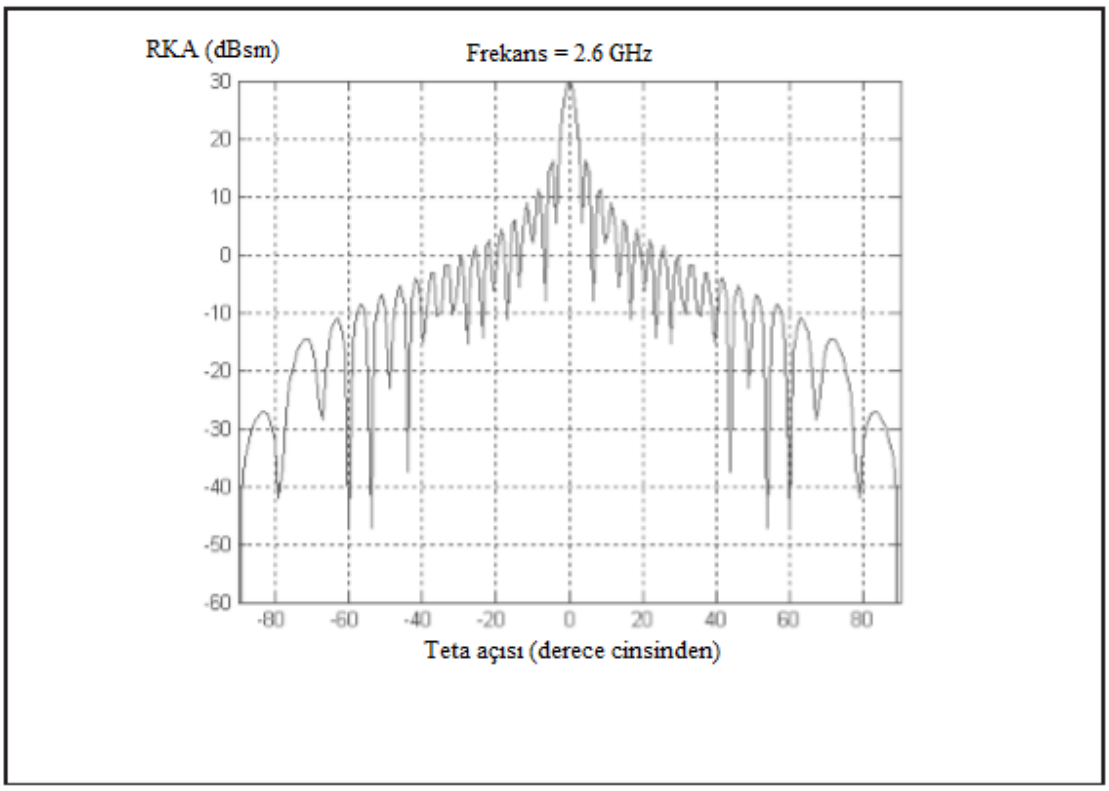
Denk. (1.100) analitik olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki denkleme ulaşılır:

$$\vec{A} = \frac{\mu}{2\pi z_0} \frac{e^{-jkR_s}}{R_s} \hat{\phi} \times \hat{n} ab \frac{\sin\left(k \sin\theta \cos\phi\right)}{ak \sin\theta \cos\phi} \frac{\sin\left(k \sin\theta \cos\phi\right)}{bk \sin\theta \cos\phi} \tag{3.102}$$

Uzak alanda, $\hat{\theta}$ kutuplanmış saçılım alanı:

$$\vec{E}_s = -j\omega\left(\hat{\theta}.\vec{A}\right) \tag{3.103}$$

Şekil 3.19, bu bölümde sunulan tekniği kullanarak, geliş açısına karşı gelen bir dikdörtgen plaka için geri saçılan RKA'yı göstermektedir.



Şekil 3.19 Dikdörtgen plakanın geri saçılan RKA'sı (Mahafza, 2013)

3.6.6.2 N kenarlı çokgen

Denk. (3.100)'deki integral, dikdörtgen plakanın düzlemsel boyutunda bir Fourier dönüşümü şeklindedir. Genel olarak, bu iki boyutlu Fourier dönüşümü aşağıdaki şekildedir:

$$S\left(u,v\right) = e^{j(\vec{\omega}\vec{\gamma})} dxdy \tag{3.104}$$

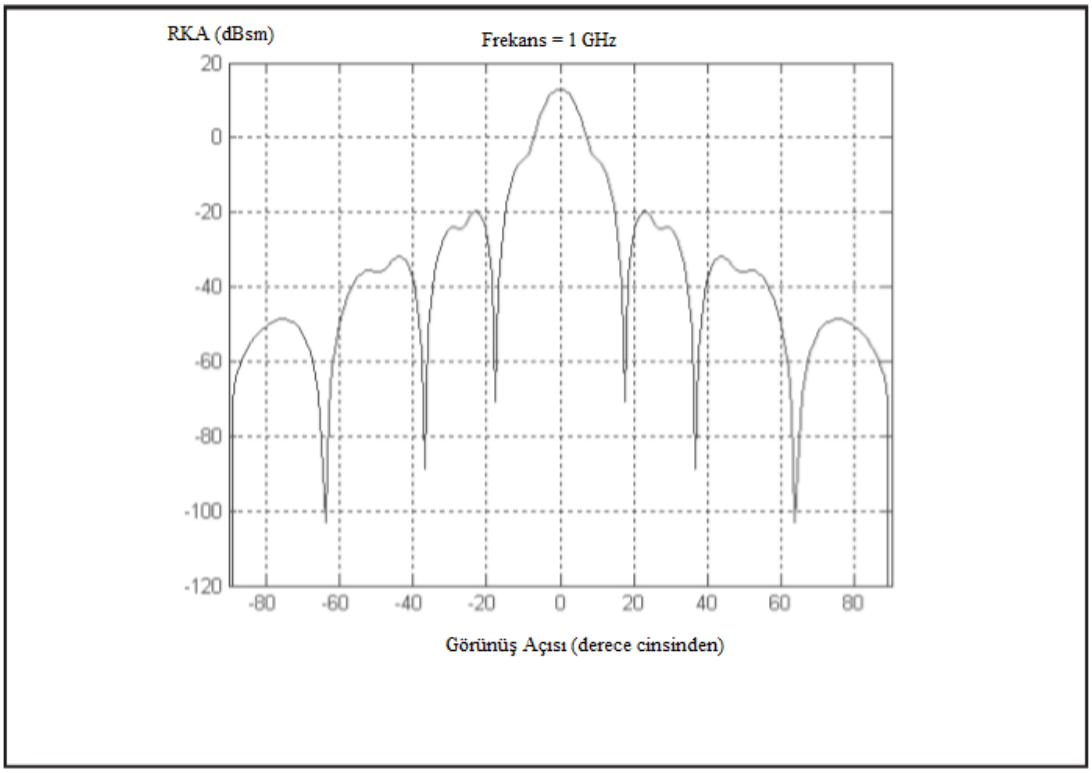
Yerel bir koordinat sisteminde rastgele N kenarlı bir çokgenin ifadesi, analitik olarak değerlendirildiğinde:

$$S(u,v)=\sum_{n=1}^{N} e^{j(\vec{\omega}\vec{\gamma})}\left[\frac{\hat{n}\times\hat{a}_n.\hat{a}_{n-1}}{(\vec{\omega}.\hat{a}_n)(\vec{\omega}.\hat{a}_{n-1})}\right] \tag{3.105}$$

Burada $\vec{\gamma}_n$ çokgen köşeleri ve α_n kenar vektörleri aşağıda çıkarılmıştır:

$$\hat{a}_n=\frac{\vec{\gamma}_{n+1}-\vec{\gamma}_n}{\left|\vec{\gamma}_{n+1}-\vec{\gamma}_n\right|} \tag{3.106}$$

ve $\vec{\omega}=u\hat{x}+v\hat{y}$ Yukarıdakinin toplamı olarak $\hat{\alpha}_0=\hat{\alpha}_N$.



Şekil 3.20 N kenarlı çokgenin geri saçılan RKA'sı (Mahafza, 2013)

3.6.7 Kenar Kırınımı

Fiziksel Optik, kenarlardaki dalgaların kırınımını işlemez. 1950'lerin sonlarında, Rus fizikçi P. Ufimtsev, Kırınımın Fiziksel Teorisi olarak bilinen bir teknik hakkında bir

makale yayınladı. Bu yazıda Ufimtsev, rastgele gelen dalgadaki ve Fiziksel Optiği tamamlayan saçılma açılarındaki kenar kırınımı için ifadeler tanımlamıştır. Bu yöntem, Fiziksel Kırınım Teorisi'ni üç boyuttaki artan uzunluk kenarlarına uygulayan Northrop'taki K. Mitzer tarafından genişletildi. Fiziksel Kırınım Teorisi, Northrop (MISCAT) gibi kodlarda kullanıldı ve Lockheed's F-117 Hayalet Uçak gibi düşük kesit alana sahip uçak tasarımında kullanıldı.

3.7 Çoklu Yansıma

Çoklu yansımalar, bazı karmaşık hedeflerde çok önemli bir saçılma mekanizmasıdır. Birçok gerçek dünya hedefinde, enerjinin birkaç kez yansıtılıp dağılabildiği boşluklar veya içbükey alanlar bulunur. Örnekler, enjektörlü ve yakıt tanklı roket güçlendiriciler ve derin motor girişlerine sahip hava araçlarıdır. Bu saçılma türü çoğu zaman belirli yön açılarında yüksek RKA ile sonuçlanır ve hedefin gerçekte olduğundan daha aşağı yönde daha uzun görünmesine neden olabilecek önemli ölçüde gecikmiş geri dönüşler sağlar.

Bu etkileşimleri modellemek için popüler bir yöntem, gelen düzlem dalgasını, Geometrik Optik teorisinde olduğu gibi, etkileri ve ışın tüpü yayılması ve ayrışmasıyla birlikte bir "ışın tüpü" demeti olarak ele almaktır. Işın demetinin çıkış açıklığında, ışın tüpü ayak izi üzerinde bir PO-tipi integral gerçekleştirilir. Bu teknik Atılan ve Seken Işınlar (SBR- Shooting and Bouncing Rays) olarak bilinir ve 1980'lerin sonunda Illinois Üniversitesi'nde geliştirilmiştir (Ling vd., 1989).

3.8 RKA Azaltım Yöntemleri

3.8.1 Giriş

Hedefin tespit edilmesinde önemli bir etken olan RKA değeri ne kadar düşük olursa hedefin tespit edilme ihtimali o kadar düşük olacaktır. Bu sebeple RKA'nın düşürülmesi hava aracını kullanan unsurlar için büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle RKA'nın azaltımı için bir takım teknikler geliştirilmiştir.

RKA azaltımı için dört temel teknik bulunmaktadır (Knott vd., 2004).

Bunlar:

Geometrik Tasarım

Radar Soğurucu Malzeme (RAM - Radar Absorbing Material) veya Farklı Malzeme Kullanımı

Pasif Önleme

Aktif Önleme

3.8.2 Geometrik Tasarım

Askeri bir aracın, geminin veya uçağın toplam boyutu, operasyonel yeteneklerin sınırları dâhilinde çok fazla değiştirilemez. Böylece geometrik kesit kolayca azaltılamaz. Şekillendirmenin amacı, dağınık enerjiyi radardan uzak yönlere saptırmak için hedef yüzeyleri ve kenarları yönlendirmektir. Şekillendirmenin başarısı, düşük radar kesitinin diğerlerine göre daha az önemli olduğu açısal bölümlerin varlığına bağlıdır (Uçar, 2013).

Şekillerin kullanımı genellikle zordur veya hâlihazırda üretimde olan araçlar veya nesneler için uygulanması pahalıdır. Bunun nedeni, araç konfigürasyonu ve profilinin belirli görev hedefleri için seçilmesi ve optimize edilmesidir; konfigürasyondaki değişikliklerin muhtemelen aracın görev yeteneklerini bozması muhtemeldir. Ayrıca, elektriksel olarak büyük olmayan gövdeler için şekillendirme çok etkili değildir (Uçar, 2013).

Geometrik tasarımla ilgili en önemli husus, hedefin tasarımının/şeklinin mono statik radarlara karşı etkili olabileceği; bistatik radarlarda mono statik radarlara göre işlevinin daha düşük olacağıdır.

3.8.3 Malzeme Kullanımı

Radar frekanslarında, bir yapıdan yansımaları azaltmak için iki temel yaklaşım vardır: soğurma ve önleme (Jenn, 2005).

Radar enerjisi, malzemenin dielektrik veya manyetik özelliklerini içerebilen birkaç kayıp mekanizmasından biri veya daha fazlası tarafından soğurulur. Kayıp aslında radyo frekansı enerjisinin ısıya dönüştürülmesidir (Knott vd., 2004).

Çoğu soğurucu, metalik yüzeylerden yansımaları azaltmak için tasarlanmıştır, ancak bazıları spesifik olmayan saçılma için tasarlanmıştır. RKA, yaygın olarak yüzeyin üzerine dirençli bir film ilave edilerek veya bir dielektrik ile kaplanarak indirgenebilir. Bunlar sırasıyla Salisbury Ekranı ve Dallenbach Katmanı olarak adlandırılır (Uçar, 2013).

Tezimizde ise İHA'ların yapımında kullanılabilecek ve CST MWS programının materyal kütüphanesinde bulunan bazı materyaller incelenecektir. Yapılan simülasyon testleri sonucunda öne çıkan materyaller tespit edilecektir.

3.8.4 Pasif Önleme

Önleme işleminde temel kavram, genliği ve fazı başka bir yankı kaynağını önleyecek şekilde ayarlanabilen bir yankı kaynağı sunmaktır. Saçılma elemanına sahip hedef, yüksüz gövde olan çıplak hedefin aksine yüklü gövde olarak adlandırılır. Bu yöntem aynı zamanda direnç yüklemesi olarak bilinir (Jenn, 2005).

Bu teknik sadece dar bir frekans bandında etkilidir ve genellikle küçük bir bölgeyle sınırlıdır. Ancak basit cisimler için bile, bu yerleşik direnç için gerekli frekans bağımlılığını oluşturmak son derece zordur ve spektrumda bir frekans için elde edilen azalma, frekans değiştikçe hızla kaybolur (Uçar, 2013).

3.8.5 Aktif Önleme

Aktif önleme veya aktif yükleme, pasif önlemeye göre daha etkilidir (Knott vd., 2004) Aktif iptal işleminde, bir hedef, radarın alacağı yankıyı taklit eden bir sinyal iletir, böylece radar gönderdiği sinyale ait hiç geri dönüş görmez. Bu tekniğin avantajı, çok düşük güç kullanması ve hedefin varlığına dair hiçbir ipucu vermemesidir. Tekniğin dezavantajı ise, çok hızlı bir işlem gerektirmesi ve kötü yürütülen aktif önlemenin, hedefi radar tarafından daha az değil, daha fazla görünür hale getirebilmesidir (Uçar, 2013).

4. İHA'LARIN SU KİRLİLİĞİ TESPİTİNDEKİ METODOLOJİLERİ, VERİ TOPLAMA STRATEJİLERİ VE ANALİZ

İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemleri, sensör teknolojisindeki hızlı ilerlemeler ve platform otonomisi sayesinde çevresel izleme ve yönetim alanında devrim niteliğinde bir araç haline gelmiştir. Bu bölüm, su kirliliğinin tespiti, haritalanması ve yönetimi süreçlerinde İHA'ların sağladığı yenilikçi potansiyeli detaylandıran operasyonel metodolojilere odaklanmaktadır. Bu metodolojiler, uydu sistemlerinin sınırlı çözünürlük ve esnekliği ile geleneksel saha ölçümlerinin noktasal kısıtlılıkları arasındaki boşluğu doldurmaktadır.

İHA'lar, kirlilik olaylarına saatler içinde tepki verme ve acil durumlarda anlık veri toplama yeteneği sunarak müdahale ekiplerine kritik zaman avantajı sağlar.

4.1 Su Kalitesi İzlemede İha'ların Operasyonel Metodolojileri

İHA tabanlı izleme, su kütlelerinin ekolojik ve ekonomik sürdürülebilirliği için gerekli olan doğru ve sürekli bilgi akışını sağlamayı amaçlar.

4.1.1 Mekânsal ve Zamansal Veri Toplama Stratejileri

İHA'lar, düşük irtifadan uçuş imkânı sayesinde santimetre düzeyinde mekânsal çözünürlük elde edebilir. Bu yüksek çözünürlük, kirlilik sınırlarını ve yayılım desenlerini detaylıca haritalamayı mümkün kılar.

Veri toplama stratejileri, belirlenen amaca göre farklılık gösterir:

- Rutin İzleme: Belirli su kütlelerinin (göller, rezervuarlar) periyodik olarak, genellikle kirlilik göstergelerinin mevsimsel değişimlerini takip etmek amacıyla izlenmesi.

- Acil Durum Müdahalesi: Endüstriyel atık sızıntıları veya tehlikeli alg patlamaları gibi kirlilik olaylarına hızlı bir şekilde tepki verilmesi ve kirliliğin anlık yayılımının tespit edilmesi.

4.1.2 Noktasal Kaynaklı Kirlilik İzleme Metotları

Noktasal kaynaklı kirlilik, atığın belirlenebilir, tek bir noktadan doğrudan su kütlesine deşarj edildiği durumları ifade eder (örn. endüstriyel tesislerin deşarj boruları). Bu kaynaklar genellikle yüksek konsantrasyonda kirlilik içerir ve uzaktan algılama ile kirliliğin suya karıştığı alanların net sınırlarının belirlenmesi nispeten kolaydır.

- Termal Kirlilik Tespiti: Termal kirlilik (sıcak su deşarjları), İHA'lar üzerindeki termal kameralar ile yüzey sıcaklık anormallikleri olarak yüksek hassasiyetle anında tespit edilebilir.

- Yoğun Örnekleme: Noktasal kaynakların hemen çıkışında ve etki alanında yoğun veri toplama misyonları planlanarak, yüksek konsantrasyonda kirlilik içeren alanların hızlı tespiti sağlanır.

4.1.3 Yayılı Kaynaklı Kirlilik İzleme ve Haritalama

Yayılı kaynaklı kirlilik, kaynağı tek bir noktaya indirgenemeyen ve tarımsal akışlar, yüzey suları gibi geniş bir coğrafi alandan su kütlesine ulaşan kirlilikleri kapsar.

- Geniş Alan Haritalaması: İHA'lar, geniş alanların izlenmesi ve özellikle yüzey akış yollarının belirlenmesi konusunda kritik rol oynar. Yüksek çözünürlüklü optik sensörler, aşırı tortu birikimi (yüksek bulanıklık) ve besin maddesi akışının neden olduğu anormal renk değişimlerini hızla tespit eder.

4.2 Uzaktan Algılama Teknikleri ile Spesifik Kirletici Tespiti

İHA'lar; multispektral, hiperspektral ve termal gibi çeşitli sensörleri taşıyarak, suyun yüzey sıcaklığı, klorofil-a ve askıda katı madde (AKM) gibi fiziksel ve biyokimyasal parametrelerin uzaktan ölçülmesine olanak tanır.

4.2.1 Ötrofikasyon ve Alg Patlamalarının Tespiti (Klorofil-a)

Ötrofikasyon, Azot ve Fosfor gibi besin maddelerinin aşırı konsantrasyonu sonucu oluşan ve alg patlamalarına yol açan bir su kirliliği sorunudur. Bu patlamaların en önemli göstergesi, klorofil-a konsantrasyonudur.

- Multispektral/Hiperspektral Analiz: Bu kameralar, klorofil-a'nın spektral yansıma karakteristiklerini analiz ederek ötrofikasyon olaylarını ve zararlı alg patlamalarını geleneksel yöntemlerden çok daha önce ve geniş ölçekte tespit edebilir.

4.2.2 Askıda Katı Madde (AKM) ve Bulanıklık Belirlemesi

Askıda Katı Madde (AKM) ve Bulanıklık, su içinde asılı kalan çok küçük parçacıklar nedeniyle suyun saydamlığını kaybetme derecesini ifade eder.

- Optik Spektrum Analizi: İHA’lar, multispektral sensörler aracılığıyla su yüzeyinden yansıyan görünür ışık spektrumunu analiz ederek, özellikle kırmızı ve yakın kızılötesi bantlardaki saçılma miktarını ölçerek yüksek AKM konsantrasyonunu tahmin edebilir.

4.2.3 Termal Kirlilik (Sıcaklık Anomalileri) İzlemesi

Termal kirlilik; enerji santralleri veya endüstriyel tesislerden kaynaklanan ve sudaki çözünmüş oksijen (ÇO) miktarını azaltan sıcak su deşarjlarıdır.

- Termal Görüntüleme: İHA'lar üzerindeki termal görüntüleyiciler (termal kızılötesi kameralar - TIR), su yüzeyi sıcaklığını uzaktan, yüksek mekânsal çözünürlükle ve

temassız olarak hızlı bir şekilde haritalayarak, yasa dışı veya kurallara aykırı sıcak su deşarjlarının anlık takibini sağlar.

4.3 İHA Tabanlı Yerinde (In-Sıtu) Ölçüm ve Analiz Entegrasyonu

Çözünmüş Oksijen (ÇO), Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) gibi bazı kimyasal parametreler, uzaktan algılama ile doğrudan ölçülemez; bu nedenle İHA'lar, dolaylı veya yerinde ölçümde kritik roller üstlenir.

- Otomatik Numune Alma ve Prob Taşıma: Bazı İHA sistemleri, kirlilik şüphesi olan noktalara inerek veya temas ederek pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik gibi kimyasal parametreleri ölçen minyatür sensörleri (prob) taşıyabilir. Bu yetenek, uzaktan algılama verilerinin doğrulanması (ground truthing) sürecini hızlandırır ve personel riskini azaltır.

- Dolaylı Tahmin: ÇO, doğrudan uzaktan algılanamasa da, İHA ile ölçülebilen su sıcaklığı ve klorofil-a konsantrasyonu gibi dolaylı parametreler kullanılarak tahmini modeller geliştirilebilir. Ayrıca, kirliliğin suya karışma noktalarındaki yüksek AKM ve renk değişimleri gibi İHA ile tespit edilebilir fiziksel belirtiler, potansiyel yüksek BOİ/KOİ alanlarını hızla işaretleyebilir.

4.4 Veri İşleme ve İnovatif Analiz Yöntemleri

İHA'lar ile toplanan verilerin çevresel izleme alanında dönüştürücü potansiyeli, yapay zekâ (YZ) destekli analizlerin entegrasyonuyla maksimize edilir.

4.4.1 Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi Entegrasyonu

Yapay zekâ (YZ) algoritmaları (örneğin derin öğrenme), multispektral ve termal sensörlerden elde edilen büyük hacimli verileri analiz ederek, İHA tabanlı izleme sistemlerinin inovatif potansiyelini maksimize eder. Bu algoritmalar:

- Otomatik Kirletici Sınıflandırması: Kirletici türleri arasındaki ince spektral farklılıkları ayırt edebilir ve kirlilik olaylarının mekânsal ve zamansal olarak

gelişimini tahmin edebilir. YZ, özellikle klorofil-a (alg patlaması) ve AKM konsantrasyonları gibi dolaylı olarak ölçülen parametreler için tahmini modeller geliştirerek manuel insan analizine olan ihtiyacı azaltır.

- Kaynak Tespiti: Kirlilik kaynaklarını (örneğin yasa dışı deşarj borularını) otomatik olarak tespit edip sınıflandırabilir.

4.4.2 RKA Çalışmalarının Operasyonel Güvenlik ve Tasarım Üzerindeki Rolü (Teknik Yeterlilik Bağlamı)

Bu tezin konusunu destekleyen RKA (Radar Kesit Alanı) çalışmaları, İHA platformunun kendisinin çevresel izleme görevlerindeki operasyonel güvenilirliğini dolaylı olarak destekleyen temel bir teknik yeterlilik sağlar. RKA'yı anlama ve yönetme yeteneği, İHA'nın hassas veya erişimi kısıtlı bölgelerde, minimum tespit riskiyle ve dolayısıyla maksimum görev güvenilirliğiyle su kirliliği izleme görevlerini icra edebilmesi için operasyonel bir temel sunar.

RKA değerlerini optimize edebilecek malzeme seçimi uzmanlığı (örneğin Wood ve Rogers RT5880LZ gibi düşük RKA değerine sahip materyaller), çevresel sensörleri taşıyan İHA'ların yapısal bütünlüğünü ve elektromanyetik uyumluluğunu en üst düzeye çıkararak, su kirliliği izleme sistemlerinin genel performansını dolaylı olarak artırır.

5. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ TEMELLERİ

5.1 Giriş

Günümüzde kullanım alanı oldukça genişleyen İnsansız Hava Aracı (İHA), kısaltması olan "İHA" veya İngilizce karşılığının (Drone: Erkek arı.) telaffuzu olarak "Dron" olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte silahlı olarak kullanılan İHA'lar ise SİHA (Silahlı İnsansız Hava Aracı) olarak adlandırılabilmektedir. İHA'ların en temel özelliği üzerinde herhangi bir kullanıcıya veya pilota ihtiyaç duyulmaksızın uzaktan komuta edilebilmeleridir. İHA teknolojisinin gelişmesine paralel olarak İHA'ların kullanım alanlarında ve çeşitlerinde son dönemde büyük bir artış yaşanmıştır. İHA'lar dünya ordularından terörist gruplara, lojistik amaçlı kullanımdan turistik amaçlı kullanıma, kayıp kişi aramalarından yangın söndürmeye kadar çeşitli alanlarda yerlerini almışlardır.

İHA'lar uzaktan komuta edilenler ve önceden planlanmış uçuş güzergâhı boyunca ilerleyenler olmak üzere ikiye ayrılabilirler (Axe, 2009).

İHA'lar iki zamanlı motor veya jet motoru yardımıyla uçabilirler. İHA'ları füzelerden ayıran en büyük fark ise füzelerin kullanılmakla tükenmesine karşın İHA'ların müteaddit defalar kullanılabilen araçlar olmalarıdır.

İHA'lar günümüzde çok çeşitli ebat, tasarım, ağırlık ve niteliklerde üretilmektedirler. Son dönemde etkinliklerini artırmaya yönelik en büyük hamle ise İHA'ların silahlı şekilde kullanımına başlanması olmuştur. Silahlı İnsansız Hava Aracı (SİHA) olarak adlandırılan bu cihazlar, orduların etkinliğini artırmış, zayiat sayısının azalmasını sağlamıştır. Her ne kadar SİHA'lar kadar profesyonel kullanıma sahip olmasalar da teröristler tarafından üzerine kamera ile birlikte el bombası, havan mermisi monte edilmiş amatör İHA'lar da düzenli ordular için büyük tehdit haline gelmiş; terörist gruplar tarafından çeşitli sivil saldırılarda da kullanılmışlardır (Shah, 2009).

5.2 Tarihçe

İHA'lar ilk olarak A. M. Low tarafından geliştirilmiş ve 1'inci Dünya Savaşı'nda kullanılmışlardır. İlk ölçekli uzaktan komutalı araç ise model uçak tasarımcısı Reginald Denny tarafından 1935 yılında geliştirilmiştir. Teledyne Ryan firmasının 1951 yılında ürettiği Firebee I ise jet motoruna sahip ilk İHA'dır (William ve Taylor, 1977)

İHA'lara ilginin arttığı yıllar ise 1980'lerin sonu olmuştur. Mürettebat/personel kaybını ortadan kaldırması, hemen hemen uçakla aynı vazifeyi icra edecek olmasına rağmen çok daha ucuz olması iHA'lara karşı olan bu ilginin temelini oluşturmuştur.

İlk olarak kefiş ve gözetleme maksatlarıyla üretilen İHA'lar yukarıda da belirtildiği gibi günümüzde silahlandırılmaktadırlar.

5.3 Avantajları

Mürettebatlı hava araçlarının getirdiği yaşamsal sistemler, kokpit ve mürettebat ağırlığı gibi olumsuz zorunluluklarının ortadan kalkması, mürettebatlı hava araçlarının manevra imkan ve kabiliyetlerinin mürettebatın yeteneğiyle sınırlı olması (yorgunluk, yetenek, dalgınlık, G kuvveti vb.) mürettebatlı hava araçlarının İHA'lara göre tespit edilme ve vurulma olasılıklarının yüksek olması İHA'ların uçaklara nazaran avantajları olarak sayılabilir. Fakat İHA'ların en büyük avantajı maliyetlerinin düşük olmasıdır. Zira pilotlar yetiştirilmesi en maliyetli olan meslek grubudur. Keza uçaklar da en maliyetli araçlar arasında bulunmaktadır. İHA'ların hem çok daha ucuz olması hem de pilota ihtiyaç duymaması en önemli tercih edilme sebepleridir. İHA'lar tarihte birçok kez düşman hava savunma unsurlarının oyalanmasında, asıl taarruz unsurlarının ateş hattını geçebilmesi için yem olarak kullanılmasında çok büyük rol oynamışlardır (Uyar, 2010).

5.4 İHA'ların İşlevleri

5.4.1 Sivil İHA Sistemleri

- Sivil Taşımacılık

- Bilimsel/Arazi İzleme (Jeolojik Araştırmalar, Toprak Kayması Tahmini, Hava Durumu Tahmini, Atmosferik Araştırma, Okyanus Gözetlemeleri, Kasırga Oluşum İncelemesi, Volkanik Çalışmalar)

- Keşif/Gözetleme (Sel İzleme, Deniz Karakol, Kasırga İzleme, Volkanik İzleme, Orman Yangını Tespiti, Yağ Kaçağı Gözlemleme, Deprem İzleme, Yasal İzlemeler, Sahil Gözetleme, Uluslararası Sınır Devriyesi, Uyuşturucu Trafiği Kontrolü, Çevresel Gözetleme, Nükleer ve Zehirli Gaz Radyasyonu İzleme, Ekin ve Harman İzleme, Yüksek Doğruluklu Arazi Haritalama, Boru Hattı İzleme)

- Uydu Görevlerini Bütünleyicilik (Haberleşme Desteği, Seyrüsefer Desteği, Röle Servisi)

- Acil Durumlar (Arama-Kurtarma, Yangınla Mücadele, Afet Durum Farkındalığı, Afet Operasyon Yönetimi)

5.4.2 Askeri İHA Sistemleri

- Keşif/Gözetleme Desteği Görevi

- Taarruz Görevi

- Hedef Benzetimi Görevi (Hava savunma sistemlerine tehdit oluşturan ve benzetimi yapılacak sistemlerin radar kesit alanı, ısıl/görsel izi gibi özelliklerinin Hedef Uçak Görevi'ni gerçekleştiren bir İHA ile "taklit" edilmesi, bu tehditlerin uçuş zarfları ile manevra kabiliyetlerinin İHA tarafından benzetilmesiyle insan sağlığını riske atmayan, çok daha ekonomik bir işletime olanak tanır.)

- Elektronik Harp Görevi (İstihbaratı ile radar ve/veya haberleşme yayınlarının dinlenmesi, Radar Elektronik Harbi ile düşman hava savunma sistemlerinin radarlarının karıştırılması, Muhabere Elektronik Harbi ile düşman haberleşme sistemleri ve Küresel Konumlandırma Sistemlerinin karıştırılması, Önleyici Elektronik Harp ile uzaktan kumandalı patlayıcıların etkisizleştirilmesi)

- Özel Görevler (Mayın/Patlayıcı Tespiti, Deniz Karakol, Arama – Kurtarma/Lojistik, Haberleşme Desteği gibi görevler)

5.5 Kullanımı Yaygın Olan Bazı İHA'lar

Bu bölümde Türkiye tarafından kullanılan MQ-1 Predator, IAI Heron ve KaleBaykar BAYRAKTAR, Tusaş ANKA İHA'ları incelenecektir.

5.5.1 General Atomics MQ-1 Predator

1990'lı yılların başında ABD tarafından ileri keşif ve gözlem maksadıyla tasarlanan MQ-1 Predator, ilerleyen yıllarda modifiye edilmiş ve üzerine kamera ve silah sistemleri monte edilmiştir. ABD, Birleşik Krallık, İtalya, Türkiye, Birleşik Arap Emirlikleri ve Fas tarafından kullanılan MQ-1 Predator'ait özellikler aşağıda çıkarılmıştır.

5.5.1.1 Genel özellikler

Mürettebat: yok

Uzunluk: 27 ft (8,22 m)

Kanat açıklığı : 48,7 ft (14,8 m) (Block 10/15 MQ-1B olan 55,25 ft (16,84 m))

Yükseklik: 6,9 ft (2,1 m)

Kanat alanı: 123,3 m² (11,5 m²)

Boş ağırlık : 1,130 £ (512 kg)

Yüklü ağırlık: 2,250 £ (1.020 kg)

Maksimum kalkış ağırlığı: 2,250 £ (1.020 kg)

Motor: 1 × Rotax 914 F turbo Dört silindirli motor, 115 hp (86 kW)

5.5.1.2 Performans

Maksimum hız: 135 mph (117 deniz mili, 217 km / h)

Seyir hızı: 81-103 mil (70-90 knot, 130–165 km / h)

Stall hızı: 62 mil (54 knot (uçağın ağırlık bağlı olarak), 100 km / saat)

Aralığı : > 2.000 nm (3.704 km, 2.302 mil (3.705 km))

Dayanıklılık: 24 saat

Servis tavanı: 25.000 feet (7620 m)



Şekil 5.1 General atomics MQ-1 predator

5.5.2 IAI Heron

İsrail tarafından tasarlanan IAI Heron (veya Machatz-1) 24 saat havada kalma yeteneğine sahiptir.

5.5.2.1 Genel özellikler

Uzunluk: 8,94 m (29 ft 4 in)

Kanat açıklığı: 16,60 m (54 ft 5 in)

Maksimum kalkış ağırlığı: 1,150 kg (2,530 lb)

Güç ünitesi: 1× Rotax 914; 86 kW (115 hp)

5.5.2.2 Performans

Maksimum hız: 207 km/h (113 knots, 130 mph)

Menzil: 350 km (189 nm, 217 mi)

Servis tavanı: 10,000 m (32,800 ft)

Tırmanma oranı: 150 m/min (492 ft/min)

Kanat yüklemesi: 200 kg/m² (40,9 lb/ft²)



Şekil 5.2 IAI Heron

5.5.3 Kalebaykar Bayraktar (Bayraktar TB2)

Baykar tarafından üretilen BAYRAKTAR TB2 Türk Silahlı Kuvvetlerinin envanterine 2015 yılında girmiştir.

5.5.3.1 Genel özellikler

Gövde uzunluğu: 6,5 m

Kanat açıklığı: 12 m

Toplam Kalkış Ağırlığı: 650 kg

Faydali Yük Ağırlığı: 55 kg

Motor: 1× Rotax 912 İçten Yanmalı Enjeksiyonlu Motor, 100 Beygir

5.5.3.2 Performans

Azami hız: 135 Knot

Olağan Seyir Hızı: > 70 knot

Servis irtifası: 27,000 feet

Havada Kalış Süresi: > 24 Saat

Harekât yarıçapı: 150 km



Şekil 5.3 Kalebaykar Bayraktar

5.5.4 Tusaş Anka

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ tarafından üretilen ANKA (TAI Anka, TUSAŞ Anka) 2017 yılında Türk Silahlı Kuvvetlerinin envanterine girmiştir.

5.5.4.1 Genel özellikler

Gövde uzunluğu: 8 m

Kanat açıklığı: 17 m

Kanat alanı: 13,6 m²

Toplam Kalkış Ağırlığı: 1.500 kg

Yakıt ağırlığı: 250 kg

Yararlı Yük Ağırlığı: 200 kg

Motor: 1× Thielert Centurion 2.0 dört-silindirli, turbo dizel, 155 hp (114 kW)

5.5.4.2 Performans

Azami hız: 217 km/s (117 knot,135 mph)

Olağan Seyir Hızı: > 75 knot

Servis irtifası: 30,000 ft

Havada Kalış Süresi: 24 - 32 saat

Harekât yarıçapı: 200 km (124 mi) Uydu kontrolü ile sınırsız (Anka-S)



Şekil 5.4 Tusaş Anka

6. İHA YAPIMINA UYGUN OLAN BAZI MATERYALLERİN CST MWS SİMÜLASYON SONUÇLARI

6.1 Giriş

Radar kesit alanının belirlenmesindeki etkenlerden birinin hedefin mamul olduğu malzeme olduğu önceki bölümlerde belirtilmişti. CST MWS programı materyal kütüphanesinde yer alan 139 çeşit materyal ele alınmıştır. Bu materyallerin düz plaka, eliptik silindir ve küre şekillerinde 1 GHz'ten 20 GHz'e kadar tam sayı frekanslarında RKA ölçümleri yapılmıştır. Belirtilen materyallerin yukarıda belirtilen şekil ve frekanslarda yapılan RKA ölçümler tablo şeklinde çıkarılmıştır. Öne çıkan materyaller ileride sıralanmıştır.

6.2 CST MWS Simülasyon Sonuçları

Her ne kadar gerçek İHA ölçülerine yakın geometrik şekiller ele alınmak istenmişse de eldeki mevcut imkanlar daha küçük boyutlarda çalışmayı zorunlu kılmıştır. Örneğin 1mx1mx10cm ölçülerine sahip düz plaka ile başlatılan bir simülasyon çalışmasının yaklaşık olarak 2 tb kadar bir hafızaya ihtiyaç duyduğu tecrübe edilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi 139 adet materyal ve farklı geometrik şekillerden oluşacak gerçek boyutlu bir çalışma ihtiyaç duyacağı alan karşılanabilecek boyutta değildir. Maksadımız RKA değerinin en düşük olduğu materyallerin belirlenmesidir. Çok daha küçük boyutlarda da olsa aynı boyutlardaki materyallerin simülasyon sonuçlarının söz konusu amaca hizmet edeceği, hangi materyalin diğerine göre öne çıkacağının belirlenebileceği değerlendirilmektedir.

Yapılan simülasyon çalışması sonucunda elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur.

Tablo 6.1 6mm x 6mm x 2mm ölçülere sahip olan plakaya ait RKA (CST Simülasyonu) sonuçları

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
1	Arlon AD 250C (Loss Free)	-99,53	-87,48	-80,39	-75,34	-71,42	-68,22	-65,5	-63,09	-60,94	-58,99	-57,2	-55,56	-54,03	-52,61	-51,31	-50,1	-48,99	-47,98	-47,05	-46,2	-62,096
2	Arlon AD 250C (Lossy)	-99,61	-87,55	-80,48	-75,43	-71,48	-68,24	-65,47	-63,05	-60,89	-58,95	-57,17	-55,54	-54,03	-52,63	-51,33	-50,12	-49	-47,96	-46,99	-46,1	-62,101
3	Arlon AD 255C (Loss Free)	-99,12	-86,97	-79,84	-74,71	-70,74	-67,51	-64,83	-62,56	-60,48	-58,53	-56,74	-55,09	-53,56	-52,15	-50,83	-49,63	-48,53	-47,52	-46,6	-45,76	-61,585
4	Arlon AD 255C (Lossy)	-99,1	-86,96	-79,83	-74,7	-70,73	-67,5	-64,82	-62,55	-60,48	-58,53	-56,74	-55,09	-53,56	-52,14	-50,83	-49,63	-48,52	-47,51	-46,59	-45,75	-61,578
5	Arlon AD 260A (Loss Free)	-99,12	-86,97	-79,84	-74,71	-70,74	-67,51	-64,83	-62,56	-60,48	-58,53	-56,74	-55,09	-53,56	-52,15	-50,83	-49,63	-48,53	-47,52	-46,6	-45,76	-61,581
6	Arlon AD 260A (Lossy)	-99,09	-86,96	-79,83	-74,7	-70,73	-67,5	-64,82	-62,56	-60,48	-58,53	-56,74	-55,09	-53,56	-52,14	-50,83	-49,63	-48,52	-47,52	-46,6	-45,75	-61,579
7	Arlon AD 300C (Loss Free)	-97,68	-85,57	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,95	-56,98	-55,16	-53,49	-51,93	-50,48	-49,16	-47,94	-46,84	-45,85	-44,96	-44,15	-60,046
8	Arlon AD 300C (Lossy)	-97,68	-85,56	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,95	-56,98	-55,16	-53,49	-51,93	-50,49	-49,16	-47,94	-46,84	-45,85	-44,96	-44,16	-60,046
9	Arlon AD 300D (Loss Free)	-97,68	-85,57	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,95	-56,98	-55,16	-53,49	-51,93	-50,48	-49,16	-47,94	-46,84	-45,85	-44,96	-44,15	-60,046
10	Arlon AD 300D (Lossy)	-97,68	-85,56	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,95	-56,98	-55,16	-53,49	-51,93	-50,49	-49,16	-47,94	-46,84	-45,85	-44,96	-44,16	-60,046
11	Arlon AD 320A (Loss Free)	-97,01	-84,89	-77,76	-72,65	-68,68	-65,44	-62,74	-60,41	-58,22	-56,23	-54,4	-52,71	-51,13	-49,67	-48,33	-47,11	-46,01	-45,03	-44,14	-43,36	-59,296
12	Arlon AD 320A (Lossy)	-97,02	-84,88	-77,76	-72,65	-68,68	-65,44	-62,74	-60,41	-58,22	-56,23	-54,4	-52,71	-51,14	-49,68	-48,34	-47,12	-46,02	-45,03	-44,15	-43,37	-59,299
13	Arlon AD 350A (Loss Free)	-92,61	-84,09	-76,96	-71,86	-67,89	-64,65	-61,93	-59,55	-57,35	-55,34	-53,49	-51,77	-50,18	-48,7	-47,35	-46,12	-45,02	-44,05	-43,19	-42,43	-58,226
14	Arlon AD 350A (Lossy)	-96,21	-84,09	-76,96	-71,86	-67,89	-64,65	-61,93	-59,56	-57,35	-55,35	-53,5	-51,78	-50,19	-48,71	-47,36	-46,14	-45,04	-44,07	-43,21	-42,45	-58,415
15	Arlon AD 410 (Loss Free)	-94,92	-82,82	-75,69	-70,58	-66,61	-63,35	-60,61	-58,18	-55,94	-53,9	-52,01	-50,26	-48,63	-47,12	-45,75	-44,52	-43,44	-42,5	-41,7	-41,01	-56,977
16	Arlon AD 410 (Lossy)	-94,91	-82,81	-75,69	-70,58	-66,6	-63,35	-60,62	-58,17	-55,94	-53,9	-52,01	-50,26	-48,63	-47,12	-45,75	-44,53	-43,45	-42,52	-41,72	-41,03	-56,979
17	Arlon AD 430 (Loss Free)	-94,57	-82,45	-75,33	-70,22	-66,25	-62,99	-60,25	-57,78	-55,54	-53,49	-51,59	-49,82	-48,18	-46,66	-45,28	-44,05	-42,98	-42,06	-41,28	-40,61	-56,569
18	Arlon AD 430 (Lossy)	-94,57	-82,46	-75,33	-70,23	-66,25	-62,99	-60,25	-57,79	-55,54	-53,49	-51,59	-49,83	-48,18	-46,67	-45,29	-44,06	-42,99	-42,07	-41,29	-40,62	-56,574
19	Arlon AD 450 (Loss Free)	-94,23	-82,11	-74,99	-69,89	-65,91	-62,65	-59,9	-57,42	-55,16	-53,1	-51,19	-49,41	-47,76	-46,24	-44,85	-43,63	-42,57	-41,66	-40,9	-40,26	-56,191
20	Arlon AD 450 (Lossy)	-94,21	-82,12	-75	-69,9	-65,92	-62,66	-59,91	-57,42	-55,17	-53,11	-51,2	-49,42	-47,77	-46,24	-44,86	-43,64	-42,58	-41,68	-40,92	-40,28	-56,2
21	Arlon AD 600 (Loss Free)	-92,21	-80,12	-72,99	-67,88	-63,89	-60,6	-57,75	-55,2	-52,89	-50,75	-48,76	-46,9	-45,16	-43,58	-42,18	-41	-40,04	-39,29	-38,73	-38,32	-53,912
22	Arlon AD 600 (Lossy)	-92,21	-80,12	-72,99	-67,88	-63,89	-60,6	-57,75	-55,2	-52,89	-50,75	-48,76	-46,9	-45,17	-43,59	-42,2	-41,02	-40,06	-39,32	-38,76	-38,35	-53,92
23	Arlon AD 1000 (Loss Free)	-89,74	-77,66	-70,52	-65,39	-61,36	-57,97	-55,02	-52,38	-49,55	-47,68	-45,55	-43,54	-41,68	-40,03	-38,69	-37,73	-37,17	-36,99	-37,2	-38	-51,192
24	Arlon AD 1000 (Lossy)	-89,76	-77,66	-70,52	-65,39	-61,36	-57,97	-55,02	-52,38	-49,95	-47,69	-45,55	-43,54	-41,68	-40,04	-38,7	-37,74	-37,17	-36,99	-37,2	-37,99	-51,215
25	Arlon CLTE (Loss Free)	-97,68	-85,57	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,95	-56,98	-55,16	-53,49	-51,93	-50,48	-49,16	-47,94	-46,84	-45,85	-44,96	-44,15	-60,046
26	Arlon CLTE (Lossy)	-97,68	-85,56	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,95	-56,98	-55,16	-53,49	-51,93	-50,49	-49,16	-47,95	-46,85	-45,85	-44,96	-44,16	-60,047
27	Arlon CLTE-AT (Loss Free)	-97,59	-85,5	-78,37	-73,26	-69,29	-66,06	-63,36	-61,07	-58,89	-56,91	-55,1	-53,41	-51,85	-50,41	-49,08	-47,86	-46,76	-45,76	-44,87	-44,06	-59,973
28	Arlon CLTE-AT (Lossy)	-97,61	-85,5	-78,37	-73,26	-69,29	-66,06	-63,36	-61,06	-58,89	-56,91	-55,1	-53,42	-51,86	-50,41	-49,08	-47,86	-46,76	-45,76	-44,87	-44,06	-59,974

Tablo 6.1'in devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
29	Arlon CLTE-XT (Loss Free)	-97,82	-85,69	-78,55	-73,44	-69,46	-66,23	-63,54	-61,25	-59,11	-57,13	-55,32	-53,64	-52,09	-50,65	-49,32	-48,1	-47	-46	-45,1	-44,29	-60,186
30	Arlon CLTE-XT (Lossy)	-97,81	-85,7	-78,56	-73,45	-69,47	-66,24	-63,55	-61,26	-59,11	-57,14	-55,32	-53,65	-52,09	-50,65	-49,32	-48,11	-47,01	-46,01	-45,12	-44,31	-60,194
31	Arlon CuClad 217 (Loss Free)	-101,1	-88,97	-81,81	-76,66	-72,68	-69,45	-66,79	-64,55	-62,61	-60,69	-58,93	-57,31	-55,82	-54,43	-53,15	-51,96	-50,86	-49,86	-48,93	-47,9	-63,723
32	Arlon CuClad 217 (Lossy)	-101,1	-88,97	-81,81	-76,65	-72,66	-69,43	-66,76	-64,52	-62,59	-60,68	-58,92	-57,3	-55,81	-54,42	-53,13	-51,94	-50,85	-49,84	-48,9	-47,87	-63,707
33	Arlon CuClad 233 (Loss Free)	-100,4	-88,23	-81,07	-75,94	-71,96	-68,74	-66,07	-63,82	-61,82	-59,89	-58,13	-56,5	-54,99	-53,59	-52,3	-51,1	-50	-48,99	-48,06	-47,14	-62,937
34	Arlon CuClad 233 (Lossy)	-100,4	-88,23	-81,08	-75,94	-71,96	-68,74	-66,07	-63,82	-61,82	-59,89	-58,13	-56,5	-54,99	-53,59	-52,3	-51,1	-50	-48,99	-48,06	-47,14	-62,937
35	Arlon CuClad 250 (Loss Free)	-99,59	-87,42	-80,28	-75,15	-71,17	-67,94	-65,26	-63	-60,96	-59,02	-57,24	-55,59	-54,07	-52,66	-51,35	-50,15	-49,05	-48,04	-47,11	-46,27	-62,066
36	Arlon CuClad 250 (Lossy)	-99,55	-87,4	-80,26	-75,14	-71,16	-67,94	-65,26	-63	-60,95	-59	-57,22	-55,58	-54,06	-52,65	-51,34	-50,14	-49,04	-48,03	-47,11	-46,27	-62,055
37	Arlon DiClad 527 (Loss Free)	-99,59	-87,42	-80,28	-75,15	-71,17	-67,94	-65,26	-63	-60,96	-59,02	-57,24	-55,59	-54,07	-52,66	-51,35	-50,15	-49,05	-48,04	-47,11	-46,27	-62,066
38	Arlon DiClad 527 (Lossy)	-99,55	-87,4	-80,26	-75,14	-71,16	-67,94	-65,26	-63	-60,95	-59	-57,22	-55,58	-54,06	-52,65	-51,34	-50,14	-49,04	-48,03	-47,11	-46,27	-62,055
39	Arlon DiClad 870 (Loss Free)	-100,4	-88,23	-81,07	-75,94	-71,96	-68,74	-66,07	-63,82	-61,82	-59,89	-58,13	-56,5	-54,99	-53,59	-52,3	-51,1	-50	-48,99	-48,06	-47,14	-62,937
40	Arlon DiClad 870 (Lossy)	-100,4	-88,23	-81,08	-75,94	-71,96	-68,74	-66,07	-63,82	-61,82	-59,89	-58,13	-56,5	-54,99	-53,59	-52,3	-51,1	-50	-48,99	-48,06	-47,14	-62,937
41	Arlon DiClad 880 (Loss Free)	-101,1	-88,97	-81,81	-76,66	-72,68	-69,45	-66,79	-64,55	-62,61	-60,69	-58,93	-57,31	-55,82	-54,43	-53,15	-51,96	-50,86	-49,86	-48,93	-47,9	-63,723
42	Arlon DiClad 880 (Lossy)	-101,1	-88,97	-81,81	-76,65	-72,66	-69,43	-66,76	-64,52	-62,59	-60,68	-58,92	-57,3	-55,81	-54,42	-53,13	-51,94	-50,85	-49,84	-48,9	-47,87	-63,707
43	Arlon IsoClad 917 (Loss Free)	-101,3	-89,15	-81,98	-76,83	-72,84	-69,61	-66,95	-64,72	-62,79	-60,87	-59,12	-57,5	-56,01	-54,62	-53,34	-52,15	-51,05	-50,04	-49,1	-48,04	-63,9
44	Arlon IsoClad 917 (Lossy)	-101,3	-89,14	-81,99	-76,84	-72,86	-69,64	-66,97	-64,73	-62,79	-60,87	-59,11	-57,49	-56	-54,61	-53,33	-52,14	-51,04	-50,03	-49,09	-48,09	-63,903
45	Arlon IsoClad 933 (Loss Free)	-100,4	-88,23	-81,07	-75,94	-71,96	-68,74	-66,07	-63,82	-61,82	-59,89	-58,13	-56,5	-54,99	-53,59	-52,3	-51,1	-50	-48,99	-48,06	-47,14	-62,937
46	Arlon IsoClad 933 (Lossy)	-100,4	-88,23	-81,08	-75,94	-71,96	-68,74	-66,07	-63,82	-61,82	-59,89	-58,13	-56,5	-54,99	-53,59	-52,3	-51,1	-50	-48,99	-48,06	-47,14	-62,937
47	Rogers RO3003 (Loss Free)	-97,59	-85,5	-78,37	-73,26	-69,29	-66,06	-63,36	-61,07	-58,89	-56,91	-55,1	-53,41	-51,85	-50,41	-49,08	-47,86	-46,76	-45,76	-44,87	-44,06	-59,973
48	Rogers RO3003 (Lossy)	-97,6	-85,5	-78,37	-73,26	-69,29	-66,06	-63,36	-61,06	-58,89	-56,91	-55,09	-53,41	-51,85	-50,41	-49,07	-47,86	-46,75	-45,76	-44,86	-44,05	-59,97
49	Rogers RO3006 (Loss Free)	-91,91	-79,81	-72,68	-67,57	-63,56	-60,27	-57,41	-54,85	-52,52	-50,38	-48,37	-46,49	-44,74	-43,15	-41,76	-40,58	-39,65	-38,94	-38,43	-38,07	-53,557
50	Rogers RO3006 (Lossy)	-91,9	-79,81	-72,68	-67,57	-63,56	-60,27	-57,41	-54,85	-52,53	-50,38	-48,37	-46,49	-44,75	-43,16	-41,77	-40,6	-39,67	-38,96	-38,45	-38,1	-53,564
51	Rogers RO3010 (Loss Free)	-89,38	-77,28	-70,14	-65	-60,96	-57,57	-54,6	-51,94	-49,49	-47,2	-45,04	-42,99	-41,11	-39,46	-38,15	-37,26	-36,83	-36,88	-37,58	-38,53	-50,869
52	Rogers RO3010 (Lossy)	-89,39	-77,29	-70,15	-65,01	-60,97	-57,57	-54,61	-51,94	-49,5	-47,2	-45,04	-43	-41,11	-39,46	-38,15	-37,26	-36,84	-36,89	-37,59	-38,6	-50,878
53	Rogers RO3035 (Loss Free)	-95,99	-83,85	-76,72	-71,61	-67,64	-64,39	-61,67	-59,3	-57,09	-55,08	-53,22	-51,5	-49,89	-48,41	-47,05	-45,82	-44,73	-43,77	-42,91	-42,16	-58,14
54	Rogers RO3035 (Lossy)	-95,96	-83,85	-76,72	-71,61	-67,64	-64,4	-61,68	-59,3	-57,09	-55,08	-53,22	-51,5	-49,9	-48,42	-47,06	-45,84	-44,74	-43,78	-42,93	-42,18	-58,145
55	Rogers RO3203 (Loss Free)	-97,52	-85,43	-78,3	-73,19	-69,22	-65,99	-63,29	-60,99	-58,81	-56,83	-55,01	-53,33	-51,77	-50,32	-48,99	-47,77	-46,67	-45,67	-44,78	-43,97	-59,892
56	Rogers RO3203 (Lossy)	-97,54	-85,43	-78,29	-73,18	-69,21	-65,98	-63,28	-60,98	-58,81	-56,83	-55,01	-53,33	-51,77	-50,33	-48,99	-47,78	-46,68	-45,68	-44,79	-43,98	-59,893

Tablo 6.1'in devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
57	Rogers RO3206 (Loss Free)	-91,82	-79,73	-72,6	-67,49	-63,49	-60,19	-57,32	-54,75	-52,42	-50,27	-48,26	-46,38	-44,63	-43,04	-41,64	-40,47	-39,55	-38,86	-38,36	-38,02	-53,464
58	Rogers RO3206 (Lossy)	-91,82	-79,73	-72,59	-67,48	-63,48	-60,18	-57,32	-54,76	-52,43	-50,27	-48,27	-46,38	-44,64	-43,05	-41,65	-40,48	-39,56	-38,87	-38,37	-38,03	-53,468
59	Rogers RO3210 (Loss Free)	-89,53	-77,43	-70,29	-65,16	-61,12	-57,72	-54,77	-52,11	-49,67	-47,39	-45,23	-43,2	-41,33	-39,68	-38,35	-37,44	-36,95	-36,89	-37,36	-38,3	-50,996
60	Rogers RO3210 (Lossy)	-89,53	-77,43	-70,29	-65,16	-61,12	-57,72	-54,77	-52,11	-49,67	-47,39	-45,24	-43,21	-41,33	-39,69	-38,36	-37,45	-36,96	-36,91	-37,38	-38,39	-51,005
61	Rogers RO4003C (Loss Free)	-96,07	-83,97	-76,84	-71,74	-67,77	-64,53	-61,81	-59,43	-57,22	-55,21	-53,35	-51,63	-50,04	-48,56	-47,2	-45,98	-44,88	-43,91	-43,05	-42,3	-58,274
62	Rogers RO4003C (Lossy)	-96,07	-83,97	-76,83	-71,74	-67,77	-64,53	-61,81	-59,43	-57,22	-55,21	-53,36	-51,64	-50,04	-48,56	-47,21	-45,98	-44,89	-43,92	-43,06	-42,31	-58,277
63	Rogers RO4003C LoPro (Loss Free)	-96,21	-84,09	-76,96	-71,86	-67,89	-64,64	-61,93	-59,56	-57,35	-55,35	-53,49	-51,78	-50,18	-48,7	-47,35	-46,12	-45,02	-44,05	-43,19	-42,43	-58,407
64	Rogers RO4003C LoPro (Lossy)	-96,2	-84,09	-76,96	-71,86	-67,89	-64,65	-61,93	-59,55	-57,35	-55,34	-53,5	-51,77	-50,18	-48,71	-47,35	-46,13	-45,03	-44,06	-43,2	-42,45	-58,41
65	Rogers RO4350B (Loss Free)	-95,79	-83,71	-76,58	-71,48	-67,5	-64,26	-61,53	-59,15	-56,94	-54,92	-53,06	-51,33	-49,73	-48,24	-46,88	-45,66	-44,56	-43,6	-42,76	-42,02	-57,985
66	Rogers RO4350B (Lossy)	-95,83	-83,72	-76,58	-71,48	-65,71	-64,26	-61,54	-59,16	-56,95	-54,93	-53,07	-51,34	-49,74	-48,26	-46,9	-45,67	-44,59	-43,63	-42,78	-42,05	-57,909
67	Rogers RO4350B LoPro (Loss Free)	-96,07	-83,97	-76,84	-71,74	-67,77	-64,53	-61,81	-59,43	-57,22	-55,21	-53,36	-51,63	-50,04	-48,56	-47,2	-45,97	-44,88	-43,91	-43,05	-42,3	-58,274
68	Rogers RO4350B LoPro (Lossy)	-96,08	-83,97	-76,84	-71,73	-67,75	-64,52	-61,8	-59,43	-57,23	-55,22	-53,36	-51,64	-50,05	-48,57	-47,21	-45,99	-44,9	-43,93	-43,08	-42,32	-58,281
69	Rogers RO4360G2 (Loss Free)	-92	-79,9	-72,77	-67,66	-63,66	-60,36	-57,51	-54,95	-52,63	-50,48	-48,48	-46,6	-44,86	-43,28	-41,88	-40,7	-39,76	-39,04	-38,52	-38,15	-53,659
70	Rogers RRO4360G2 (Lossy)	-91,99	-79,89	-72,76	-67,65	-63,65	-60,36	-57,5	-54,94	-52,62	-50,48	-48,48	-46,61	-44,87	-43,28	-41,89	-40,72	-39,78	-39,07	-38,54	-38,18	-53,663
71	Rogers RO4450B (Loss Free)	-95,74	-83,63	-76,5	-71,4	-67,42	-64,18	-61,46	-59,05	-56,84	-54,82	-52,96	-51,23	-49,62	-48,13	-46,77	-45,54	-44,45	-43,49	-42,64	-41,91	-57,889
72	Rogers RO4450B (Lossy)	-95,74	-83,63	-76,5	-71,4	-67,43	-64,18	-61,46	-59,05	-56,84	-54,82	-52,96	-51,23	-49,62	-48,14	-46,78	-45,55	-44,46	-43,5	-42,66	-41,92	-57,893
73	Rogers RO4450F (Loss Free)	-95,74	-83,63	-76,5	-71,4	-67,42	-64,18	-61,46	-59,05	-56,84	-54,82	-52,96	-51,23	-49,62	-48,13	-46,77	-45,54	-44,45	-43,49	-42,64	-41,91	-57,889
74	Rogers RO4450F (Lossy)	-95,74	-83,63	-76,5	-71,4	-67,43	-64,18	-61,46	-59,05	-56,84	-54,82	-52,96	-51,23	-49,62	-48,14	-46,78	-45,55	-44,46	-43,5	-42,66	-41,92	-57,893
75	Rogers RO4533 (Loss Free)	-96,35	-84,22	-77,09	-71,99	-68,02	-64,78	-62,06	-59,7	-57,49	-55,49	-53,64	-51,93	-50,34	-48,86	-47,51	-46,28	-45,19	-44,21	-43,35	-42,58	-58,554
76	Rogers RO4533 (Lossy)	-96,32	-84,21	-77,09	-71,98	-68,01	-64,78	-62,06	-59,69	-57,49	-55,48	-53,64	-51,92	-50,33	-48,86	-47,5	-46,28	-45,18	-44,21	-43,34	-42,58	-58,547
77	Rogers RO4534 (Loss Free)	-96,07	-83,97	-76,84	-71,74	-67,77	-64,53	-61,81	-59,43	-57,22	-55,21	-53,35	-51,63	-50,04	-48,56	-47,2	-45,97	-44,88	-43,91	-43,05	-42,3	-58,274
78	Rogers RO4534 (Lossy)	-96,07	-83,97	-76,85	-71,74	-67,77	-64,53	-61,81	-59,43	-57,22	-55,21	-53,36	-51,64	-50,04	-48,56	-47,21	-45,98	-44,89	-43,92	-43,06	-42,31	-58,278
79	Rogers RO4535 (Loss Free)	-95,79	-83,71	-76,58	-71,48	-67,5	-64,26	-61,53	-59,15	-56,94	-54,92	-53,06	-51,33	-49,73	-48,24	-46,88	-45,66	-44,56	-43,6	-42,76	-42,02	-57,985
80	Rogers RO4535 (Lossy)	-95,83	-83,72	-76,59	-71,48	-67,51	-64,26	-61,54	-59,15	-56,94	-54,93	-53,07	-51,34	-49,74	-48,26	-46,9	-45,68	-44,59	-43,63	-42,79	-42,05	-58
81	Rogers RO4725JWR (Loss Free)	-98,94	-86,81	-79,67	-74,55	-70,57	-67,35	-64,66	-62,39	-60,31	-58,35	-56,56	-54,91	-53,37	-51,95	-50,64	-49,43	-48,33	-47,32	-46,4	-45,56	-61,403
82	Rogers RO4725JWR (Lossy)	-98,94	-86,81	-79,66	-74,54	-70,57	-67,34	-64,66	-62,39	-60,3	-58,35	-56,56	-54,91	-53,38	-51,96	-50,65	-49,44	-48,34	-47,34	-46,42	-45,59	-61,407
83	Rogers RO4730G3 (Loss Free)	-97,68	-85,57	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,95	-56,98	-55,16	-53,49	-51,93	-50,48	-49,16	-47,94	-46,84	-45,85	-44,96	-44,15	-60,046
84	Rogers RO4730G3 (Lossy)	-97,68	-85,56	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,96	-56,98	-55,17	-53,49	-51,93	-50,49	-49,16	-47,95	-46,85	-45,86	-44,96	-44,16	-60,049

Tablo 6.1'in devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
85	Rogers RO4730JWR (Loss Free)	-97,68	-85,57	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,95	-56,98	-55,16	-53,49	-51,93	-50,48	-49,16	-47,94	-46,84	-45,85	-44,96	-44,15	-60,046
86	Rogers RO4730JWR (Lossy)	-97,68	-85,56	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,96	-56,98	-55,17	-53,49	-51,93	-50,49	-49,16	-47,95	-46,85	-45,86	-44,96	-44,16	-60,049
87	Rogers RO4830 (Loss Free)	-97,01	-84,89	-77,76	-72,65	-68,68	-65,44	-62,74	-60,41	-58,22	-56,23	-54,4	-52,71	-51,13	-49,67	-48,33	-47,11	-46,01	-45,03	-44,14	-43,36	-59,296
88	Rogers RO4830 (Lossy)	-97,02	-84,89	-77,76	-72,65	-68,68	-65,44	-62,74	-60,41	-58,22	-56,23	-54,4	-52,71	-51,14	-49,68	-48,34	-47,12	-46,02	-45,04	-44,16	-43,37	-59,301
89	Rogers RO4835 (Loss Free)	-95,79	-83,71	-76,58	-71,48	-67,5	-64,26	-61,53	-59,15	-56,94	-54,92	-53,06	-51,33	-49,73	-48,24	-46,88	-45,66	-44,56	-43,6	-42,76	-42,02	-57,985
90	Rogers RO4835 (Lossy)	-95,83	-83,72	-76,59	-71,48	-67,51	-64,26	-61,54	-59,15	-56,94	-54,93	-53,07	-51,34	-49,74	-48,26	-46,9	-45,68	-44,59	-43,63	-42,79	-42,05	-58
91	Rogers RT4835 LoPro (Loss Free)	-96,07	-83,97	-76,84	-71,74	-67,77	-64,53	-61,81	-59,43	-57,22	-55,21	-53,35	-51,63	-50,04	-48,56	-47,2	-45,98	-44,88	-43,91	-43,05	-42,3	-58,274
92	Rogers RT4835 LoPro (Lossy)	-96,08	-83,97	-76,84	-71,73	-67,76	-64,52	-61,8	-59,43	-57,22	-55,22	-53,36	-51,64	-50,04	-48,57	-47,21	-45,99	-44,9	-43,93	-43,08	-42,32	-58,28
93	Rogers RT5870 (Loss Free)	-100,4	-88,23	-81,07	-75,94	-71,96	-68,74	-66,07	-63,82	-61,82	-59,89	-58,13	-56,5	-54,99	-53,59	-52,3	-51,1	-50	-48,99	-48,06	-47,14	-62,937
94	Rogers RT5870 (Lossy)	-100,4	-88,23	-81,08	-75,94	-71,96	-68,74	-66,07	-63,82	-61,82	-59,89	-58,13	-56,5	-54,99	-53,59	-52,29	-51,1	-50	-48,99	-48,06	-47,14	-62,937
95	Rogers RT5880 (Loss Free)	-101,1	-88,97	-81,81	-76,66	-72,68	-69,45	-66,79	-64,55	-62,61	-60,69	-58,93	-57,31	-55,82	-54,43	-53,15	-51,96	-50,87	-49,86	-48,93	-47,9	-63,723
96	Rogers RT5880 (Lossy)	-101,1	-88,97	-81,81	-76,65	-72,66	-69,43	-66,76	-64,52	-62,59	-60,68	-58,92	-57,3	-55,81	-54,42	-53,13	-51,94	-50,85	-49,84	-48,9	-47,87	-63,707
97	Rogers RT5880LZ (Loss Free)	-102,4	-90,28	-83,1	-77,94	-73,95	-70,72	-68,07	-65,85	-63,95	-62,07	-60,33	-58,73	-57,25	-55,87	-54,61	-53,43	-52,34	-51,33	-50,39	-49,19	-65,09
98	Rogers RT5880LZ (Lossy)	-102,5	-90,29	-83,12	-77,95	-73,96	-70,74	-68,08	-65,86	-63,95	-62,08	-60,34	-58,74	-57,26	-55,89	-54,62	-53,44	-52,35	-51,35	-50,41	-49,25	-65,109
99	Rogers RT6002 (Loss Free)	-97,82	-85,69	-78,55	-73,44	-69,46	-66,23	-63,54	-61,25	-59,11	-57,13	-55,32	-53,64	-52,09	-50,65	-49,32	-48,1	-47	-46	-45,1	-44,29	-60,186
100	Rogers RT6002 (Lossy)	-97,81	-85,7	-78,56	-73,45	-69,47	-66,24	-63,55	-61,26	-59,11	-57,13	-55,32	-53,65	-52,09	-50,65	-49,32	-48,11	-47,01	-46,01	-45,12	-44,31	-60,193
101	Rogers RT6006 (Loss Free)	-91,93	-79,85	-72,72	-67,61	-63,61	-60,32	-57,45	-54,9	-52,57	-50,42	-48,42	-46,54	-44,8	-43,21	-41,82	-40,64	-39,71	-39	-38,48	-38,12	-53,606
102	Rogers RT6006 (Lossy)	-91,93	-79,85	-72,72	-67,61	-63,6	-60,32	-57,46	-54,9	-52,57	-50,43	-48,42	-46,55	-44,81	-43,22	-41,83	-40,66	-39,73	-39,02	-38,5	-38,14	-53,613
103	Rogers RT6010LM (Loss Free)	-89,56	-77,46	-70,32	-65,19	-61,15	-57,76	-54,8	-52,15	-49,71	-47,43	-45,28	-43,25	-41,38	-39,73	-38,41	-37,48	-36,98	-36,9	-37,32	-38,28	-51,027
104	Rogers RT6010LM (Lossy)	-89,56	-77,47	-70,32	-65,19	-61,15	-57,76	-54,81	-52,15	-49,71	-47,44	-45,28	-43,26	-41,39	-39,74	-38,42	-37,49	-37	-36,92	-37,34	-38,85	-51,062
105	Rogers RT6035HTC (Loss Free)	-95,99	-83,85	-76,72	-71,61	-67,64	-64,39	-61,67	-59,3	-57,09	-55,08	-53,22	-51,5	-49,9	-48,41	-47,06	-45,83	-44,73	-43,77	-42,91	-42,16	-58,141
106	Rogers RT6035HTC (Lossy)	-95,96	-83,85	-76,72	-71,61	-67,64	-64,4	-61,68	-59,3	-57,09	55,08	-53,22	-51,5	-49,9	-48,42	-47,06	-45,83	-44,74	-43,78	-42,93	-42,18	-52,636
107	Rogers RT6202 (Loss Free)	-97,82	-85,69	-78,55	-73,43	-69,46	-66,23	-63,54	-61,25	-59,11	-57,13	-55,32	-53,64	-52,09	-50,65	-49,32	-48,1	-47	-46	-45,1	-44,29	-60,186
108	Rogers RT6202 (Lossy)	-97,8	-85,7	-78,56	-73,44	-69,47	-66,24	-63,54	-61,26	-59,1	-57,13	-55,32	-53,64	-52,09	-50,64	-49,32	-48,1	-47	-46	-45,1	-44,29	-60,187
109	Rogers RT6202PR (Loss Free)	-97,68	-85,57	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,13	-58,95	-56,98	-55,16	-53,48	-51,93	-50,49	-49,16	-47,94	-46,84	-45,85	-44,96	-44,15	-60,046
110	Rogers RT6202PR (Lossy)	-97,68	-85,56	-78,43	-73,32	-69,35	-66,12	-63,43	-61,12	-58,96	-56,98	-55,16	-53,49	-51,93	-50,49	-49,16	-47,95	-46,85	-45,85	-44,96	-44,26	-60,052
111	Rogers TC350 (Loss Free)	-95,99	-83,85	-76,72	-71,61	-67,64	-64,39	-61,67	-59,3	-57,09	-55,08	-53,22	-51,5	-49,89	-48,41	-47,06	-45,83	-44,73	-43,77	-42,91	-42,16	-58,141
112	Rogers TC350 (Lossy)	-95,95	-83,85	-76,72	-71,61	-67,64	-64,4	-61,68	-59,3	-57,09	-55,07	-53,22	-51,5	-49,9	-48,42	-47,06	-45,83	-44,74	-43,78	-42,93	-42,18	-58,143

Tablo 6.1'in devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
113	Rogers TC600 (Loss Free)	-92,91	-80,12	-72,99	-67,88	-63,89	-60,6	-57,75	-55,2	-52,89	-50,75	-48,76	-46,9	-45,16	-43,58	-42,18	-41	-40,04	-39,29	-38,73	-38,32	-53,947
114	Rogers TC600 (Lossy)	-92,22	-80,12	-72,99	-67,88	-63,88	-60,6	-57,75	-55,2	-52,89	-50,75	-48,76	-46,9	-45,17	-43,59	-42,19	-41,01	-40,05	-39,31	-38,75	-38,34	-53,917
115	Rogers TMM 3 (Loss Free)	-96,35	-84,22	-77,09	-71,99	-68,02	-64,78	-62,06	-59,7	-57,49	-55,49	-53,64	-51,93	-50,34	-48,86	-47,51	-46,28	-45,18	-44,21	-43,35	-42,58	-58,553
116	Rogers TMM 3 (Lossy)	-96,32	-84,22	-77,09	-71,98	-68,01	-64,78	-62,06	-59,69	-57,49	-55,48	-53,64	-51,92	-50,33	-48,86	-47,51	-46,28	-45,18	-44,21	-43,34	-42,58	-58,548
117	Rogers TMM 4 (Loss Free)	-93,93	-81,82	-74,7	-69,59	-65,61	-62,35	-59,59	-57,09	-54,83	-52,76	-50,84	-49,05	-47,38	-45,85	-44,46	-43,24	-42,19	-41,3	-40,56	-39,94	-55,854
118	Rogers TMM 4 (Lossy)	-93,91	-81,82	-74,69	-69,59	-65,61	-62,34	-59,59	-57,09	-54,83	-52,76	-50,84	-49,05	-47,38	-45,85	-44,47	-43,24	-42,19	-41,31	-40,57	-39,96	-55,854
119	Rogers TMM 6 (Loss Free)	-92,06	-79,98	-72,85	-67,74	-63,74	-60,45	-57,6	-55,05	-52,73	-50,58	-48,59	-46,72	-44,98	-43,4	-42	-40,82	-77,22	-39,14	-38,6	-38,22	-55,623
120	Rogers TMM 6 (Lossy)	-92,07	-79,98	-72,85	-67,74	-63,74	-60,45	-57,6	-55,05	-52,73	-50,59	-48,59	-46,72	-44,98	-43,4	-42	-40,82	-39,88	-39,15	-38,61	-38,23	-53,759
121	Rogers TMM 10 (Loss Free)	-89,91	-77,82	-70,68	-65,55	-61,53	-58,15	-55,2	-52,27	-50,15	-47,9	-45,77	-43,77	-41,93	-40,29	-38,94	-37,95	-37,34	-37,09	-37,18	-37,72	-51,357
122	Rogers TMM 10 (Lossy)	-89,92	-77,82	-70,68	-65,55	-61,53	-58,15	-55,21	-52,57	-50,16	-47,9	-45,78	-43,78	-41,93	-40,29	-38,95	-37,96	-37,35	-37,09	-37,18	-37,72	-51,376
123	Rogers TMM 10i (Loss Free)	-89,88	-77,78	-70,64	-65,52	-61,49	-58,11	-55,16	-52,52	-50,1	-47,85	-45,72	-43,72	-41,87	-40,23	-38,88	-37,9	-37,3	-37,06	-37,18	-37,77	-51,334
124	Rogers TMM 10i (Lossy)	-89,87	-77,78	-70,64	-65,52	-61,49	-58,11	-55,16	-52,52	-50,1	-47,85	-45,72	-43,72	-41,87	-40,23	-38,88	-37,9	-37,3	-37,06	-37,18	-37,77	-51,333
125	Rogers TMM 13i (Loss Free)	-89,07	-76,96	-69,82	-64,68	-60,63	-57,22	-54,24	-51,56	-49,09	-46,77	-44,58	-42,5	-40,6	-38,94	-37,65	-36,85	-36,59	-37,02	-37,89	-40,44	-50,655
126	Rogers TMM 13i (Lossy)	-89,07	-76,97	-69,82	-64,69	-60,63	-57,22	-54,24	-51,57	-49,1	-46,78	-44,58	-42,51	-40,6	-38,95	-37,66	-36,86	-36,61	-37,04	-37,96	-40,58	-50,672
127	Rogers XT8000 (Loss Free)	-96,71	-84,6	-77,47	-72,36	-68,38	-65,15	-62,44	-60,11	-57,92	-55,92	-54,08	-52,38	-50,8	-49,33	-47,99	-46,77	-45,67	-44,68	-43,81	-43,03	-58,98
128	Rogers XT8000 (Lossy)	-96,71	-84,61	-77,48	-72,37	-68,39	-65,16	-62,45	-60,11	-57,92	-55,93	-54,09	-52,39	-50,81	-49,34	-48	-46,78	-45,68	-44,7	-43,83	-43,05	-58,99
129	Rogers XT8100 (Loss Free)	-96,21	-84,09	-76,96	-71,86	-67,89	-64,65	-61,93	-59,55	-57,35	-55,34	-53,49	-51,77	-50,18	-48,7	-47,35	-46,12	-45,02	-44,05	-43,19	-42,43	-58,406
130	Rogers XT8100 (Lossy)	-96,2	-84,09	-76,96	-71,85	-67,88	-64,64	-61,93	-59,56	-57,35	-55,34	-53,5	-51,78	-50,19	-48,71	-47,36	-46,14	-45,05	-44,08	-43,22	-42,46	-58,414
131	Lead Glass	-92,35	-80,26	-73,13	-68,02	-64,03	-60,74	-57,91	-55,36	-53,05	-50,92	-48,94	-47,08	-45,36	-43,78	-42,38	-41,19	-40,22	-39,46	-38,88	-38,45	-54,075
132	Mica (Glass Bonded)	-92,35	-80,26	-73,13	-68,02	-64,03	-60,74	-57,91	-55,36	-53,05	-50,92	-48,94	-47,08	-45,36	-43,78	-42,38	-41,19	-40,22	-39,46	-38,88	-38,45	-54,075
133	Schott FOTURAN II (Glass)	-91,99	-79,89	-72,76	-67,65	-63,65	-60,36	-57,51	-54,95	-52,63	-50,48	-48,49	-46,62	-44,88	-43,3	-41,91	-40,74	-39,81	-39,1	-38,58	-38,22	-53,676
134	Wood	-102,1	-90,66	-84,99	-80,31	-76,99	-73,78	-71,16	-68,99	-67,16	-65,45	-63,76	-62,22	-60,8	-59,5	-58,29	-57,18	-56,14	-55,18	-54,19	-52,66	-68,075
135	FR-4 (Loss Free)	-94,57	-82,45	-75,33	-70,22	-66,25	-62,99	-60,25	-57,78	-55,54	-53,49	-51,59	-49,82	-48,18	-46,66	-45,28	-44,05	-42,98	-42,06	-41,28	-40,61	-56,569
136	FR-4 (Lossy)	-94,56	-82,45	-75,33	-70,23	-66,25	-62,99	-60,25	-57,79	-55,55	-53,5	-51,61	-49,85	-48,21	-46,71	-45,34	-44,13	-43,08	-42,17	-41,4	-40,74	-56,607
137	FR-4 (Lossy-thermal anisotropic)	-94,56	-82,45	-75,33	-70,23	-66,25	-62,99	-60,25	-57,79	-55,55	-53,5	-51,61	-49,85	-48,21	-46,71	-45,34	-44,13	-43,08	-42,17	-41,4	-40,74	-56,607
138	copper (annealed)	-83,27	-71,17	-64,03	-58,9	-54,86	-51,5	-48,6	-46,03	-43,7	-41,57	-39,64	-37,94	-36,57	-35,61	-35,07	-34,86	-34,84	-34,88	-34,91	-34,92	-46,143
139	copper (pure)	-83,27	-71,17	-64,03	-58,9	-54,86	-51,5	-48,6	-46,03	-43,7	-41,57	-39,64	-37,94	-36,57	-35,61	-35,07	-34,86	-34,84	-34,88	-34,91	-34,92	-46,143

Tablo 6.2 1cm x 1cm x 1mm ölçülere sahip olan plakaya ait RKA (CST Simülasyonu) sonuçları

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
1	Arlon AD 250C (Loss Free)	-95,6	-83,46	-76,28	-71,14	-67,13	-63,87	-61,16	-58,88	-56,94	-55,15	-53,42	-51,84	-50,4	-49,08	-47,89	-46,8	-45,8	-44,89	-44,06	-42,88	-58,333
2	Arlon AD 250C (Lossy)	Gelen düzlem dalgası, simetri düzlemleriyle çakışıyor.																				
3	Arlon AD 255C (Loss Free)	-95,09	-82,96	-75,81	-70,65	-66,64	-63,38	-60,66	-58,37	-56,42	-54,63	-52,89	-51,3	-49,86	-48,55	-47,35	-46,27	-45,28	-44,38	-43,56	-42,41	-57,823
4	Arlon AD 255C (Lossy)	-95,08	-82,97	-75,8	-70,64	-66,64	-63,39	-60,66	-58,37	-56,42	-54,62	-52,88	-51,3	-49,85	-48,54	-47,35	-46,26	-45,27	-44,38	-43,55	-42,43	-57,82
5	Arlon AD 260A (Loss Free)	-95,09	-82,96	-75,81	-70,65	-66,64	-63,38	-60,66	-58,37	-56,42	-54,63	-52,89	-51,3	-49,86	-48,55	-47,35	-46,27	-45,28	-44,38	-43,56	-42,41	-57,823
6	Arlon AD 260A (Lossy)	-95,08	-82,97	-75,8	-70,64	-66,64	-63,38	-60,66	-58,37	-56,42	-54,62	-52,88	-51,3	-49,85	-48,54	-47,35	-46,26	-45,27	-44,38	-43,55	-42,42	-57,819
7	Arlon AD 300C (Loss Free)	-93,46	-81,34	-74,19	-69,04	-65,05	-61,78	-59,04	-56,71	-54,71	-52,86	-51,1	-49,5	-48,04	-46,73	-45,54	-44,47	-43,5	-42,64	-41,86	-40,87	-56,121
8	Arlon AD 300C (Lossy)	-93,48	-81,34	-74,19	-69,04	-65,04	-61,77	-59,03	-56,71	-54,71	-52,86	-51,1	-49,5	-48,05	-46,73	-45,54	-44,47	-43,51	-42,64	-41,86	-40,86	-56,121
9	Arlon AD 300D (Loss Free)	-93,46	-81,34	-74,19	-69,04	-65,05	-61,78	-59,04	-56,71	-54,71	-52,86	-51,1	-49,5	-48,04	-46,73	-45,54	-44,47	-43,5	-42,64	-41,86	-40,87	-56,121
10	Arlon AD 300D (Lossy)	-93,48	-81,34	-74,19	-69,04	-65,04	-61,77	-59,03	-56,71	-54,71	-52,86	-51,1	-49,5	-48,05	-46,73	-45,54	44,47	-43,51	-42,64	-41,86	-40,86	-51,674
11	Arlon AD 320A (Loss Free)	-92,67	-80,56	-73,41	-68,27	-64,28	-61,01	-58,26	-55,91	-53,88	-51,99	-50,22	-48,61	-47,15	-45,83	-44,64	-43,58	-42,63	-41,79	-41,03	-40,14	-55,293
12	Arlon AD 320A (Lossy)	-92,66	-80,56	-73,41	-68,27	-64,28	-61,01	-58,26	-55,91	-53,88	-51,99	-50,22	-48,61	-47,15	-45,83	-44,65	-43,59	-42,64	-41,79	-41,04	-40,14	-55,294
13	Arlon AD 350A (Loss Free)	-91,74	-79,62	-72,47	-67,34	-63,34	-60,06	-57,29	-54,92	-52,87	-50,95	-49,17	-47,54	-46,08	-44,76	-43,58	-42,54	-41,62	-40,81	-40,09	-39,29	-54,304
14	Arlon AD 350A (Lossy)	-91,72	-79,61	-72,47	-67,33	-63,33	-60,05	-57,28	-54,92	-52,87	-50,96	-49,17	-47,55	-46,08	-44,77	-43,59	-42,55	-41,64	-40,83	-40,11	-39,3	-54,306
15	Arlon AD 410 (Loss Free)	-90,17	-78,06	-70,92	-65,79	-61,77	-58,48	-55,69	-53,28	-51,18	-49,22	-47,41	-45,76	-44,28	-42,97	-41,82	-40,82	-39,96	-39,23	-38,6	-37,97	-52,669
16	Arlon AD 410 (Lossy)	-90,17	-78,07	-70,92	-65,79	-61,78	-58,48	-55,69	-53,29	-51,19	-49,23	-47,41	-45,77	-44,29	-42,98	-41,84	-40,84	-39,99	-39,25	-38,63	-37,99	-52,68
17	Arlon AD 430 (Loss Free)	-89,73	-77,62	-70,48	-65,34	-61,33	-58,03	-55,23	-52,81	-50,7	-48,72	-46,9	-45,25	-43,77	-42,47	-41,33	-40,35	-39,52	-38,82	-38,23	-37,65	-52,214
18	Arlon AD 430 (Lossy)	-89,74	-77,62	-70,48	-65,34	-61,33	-58,03	-55,23	-52,82	-50,7	-48,73	-46,9	-45,26	-43,78	-42,47	-41,34	-40,36	-39,53	-38,82	-38,23	-37,65	-52,218
19	Arlon AD 450 (Loss Free)	-89,3	-77,21	-70,07	-64,93	-60,91	-57,61	-54,8	-52,37	-50,25	-48,26	-46,43	-44,77	-43,29	-41,99	-40,86	-39,9	-39,1	-38,43	-37,87	-37,35	-51,785
20	Arlon AD 450 (Lossy)	-89,32	-77,21	-70,07	-64,93	-60,91	-57,6	-54,8	-52,37	-50,25	-48,26	-46,43	-44,78	-43,3	-42,01	-40,88	-39,93	-39,12	-38,45	-37,9	-37,36	-51,794
21	Arlon AD 600 (Loss Free)	-86,74	-74,62	-67,47	-62,32	-58,27	-54,92	-52,06	-49,55	-47,33	-45,25	-43,36	-41,67	-40,21	-38,98	-37,99	-37,23	-36,69	-36,34	-36,16	-36,06	-49,161
22	Arlon AD 600 (Lossy)	-86,74	-74,62	-67,46	-62,31	-58,27	-54,92	-52,06	-49,55	-47,33	-45,25	-43,36	-41,68	-40,21	-38,99	-38	-37,25	-36,71	-36,36	-36,17	-36,07	-49,165
23	Arlon AD 1000 (Loss Free)	-83,29	-71,17	-63,98	-58,79	-54,68	-51,24	-48,26	-45,62	-43,22	-41	-39,04	-37,38	-36,11	-35,29	-34,94	-35,13	-36,04	-37,34	-34,32	-30,87	-45,885
24	Arlon AD 1000 (Lossy)	-83,29	-71,16	-63,98	-58,79	-54,68	-51,24	-48,27	-45,62	-43,22	-41,01	-39,04	-37,39	-36,12	-35,29	-34,94	-35,13	-36,03	-37,27	-34,3	-30,9	-45,883
25	Arlon CLTE (Loss Free)	-93,46	-81,34	-74,19	-69,04	-65,05	-61,78	-59,04	-56,71	-54,71	-52,86	-51,1	-49,5	-48,04	-46,73	-45,54	-44,47	-43,5	-42,64	-41,86	-40,87	-56,121
26	Arlon CLTE (Lossy)	-93,47	-81,34	-74,2	-69,05	-65,05	-61,78	-59,04	-56,71	-54,72	-52,87	-51,11	-49,51	-48,05	-46,73	-45,55	-44,48	-43,51	-42,65	-41,87	-40,89	-56,129
27	Arlon CLTE-AT (Loss Free)	-93,41	-81,27	-74,11	-68,97	-64,96	-61,69	-58,95	-56,62	-54,62	-52,78	-51,02	-49,42	-47,96	-46,64	-45,45	-44,39	-43,42	-42,56	-41,78	-40,79	-56,04
28	Arlon CLTE-AT (Lossy)	-93,42	-81,27	-74,12	-68,97	-64,97	-61,7	-58,96	-56,63	-54,63	-52,78	-51,02	-49,42	-47,96	-46,64	-45,46	-44,39	-43,43	-42,56	-41,78	-40,8	-56,045

Tablo 6.2’nin devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
29	Arlon CLTE-XT (Loss Free)	-93,61	-81,49	-74,34	-69,2	-65,2	-61,93	-59,2	-56,87	-54,88	-53,03	-51,27	-49,67	-48,22	-46,9	-45,71	-44,64	-43,67	-42,8	-42,01	-41,02	-56,283
30	Arlon CLTE-XT (Lossy)	-93,64	-81,49	-74,34	-69,19	-65,19	-61,92	-59,19	-56,86	-54,87	-53,03	-51,27	-49,67	-48,22	-46,9	-45,71	-44,64	-43,68	-42,81	-42,02	-41,03	-56,238
31	Arlon CuClad 217 (Loss Free)	-97,32	-85,18	-78,01	-72,82	-68,82	-65,56	-62,87	-60,62	-58,75	-57,02	-55,3	-53,74	-52,31	-51,01	-49,81	-48,71	-47,71	-46,78	-45,93	-44,56	-60,141
32	Arlon CuClad 217 (Lossy)	-97,31	-85,18	-78,01	-72,82	-68,82	-65,57	-62,87	-60,63	-58,75	-57,02	-55,3	-53,74	-52,31	-51,01	-49,81	-48,72	-47,71	-46,78	-45,93	-44,56	-60,142
33	Arlon CuClad 233 (Loss Free)	-96,53	-84,38	-77,23	-72,06	-68,06	-64,8	-62,1	-59,84	-57,92	-56,15	-54,43	-52,86	-51,42	-50,12	-48,92	-47,83	-46,82	-45,9	-45,06	-43,8	-59,311
34	Arlon CuClad 233 (Lossy)	-96,55	-84,38	-77,22	-72,05	-68,05	-64,79	-62,09	-59,83	-57,92	-56,15	-54,43	-52,86	-51,42	-50,12	-48,92	-47,83	-46,82	-45,91	-45,06	-43,8	-59,31
35	Arlon CuClad 250 (Loss Free)	-95,59	-83,46	-76,3	-71,13	-67,13	-63,87	-61,16	-58,87	-56,94	-55,15	-53,42	-51,84	-50,4	-49,08	-47,89	-46,8	-45,8	-44,9	-44,07	-42,88	-58,334
36	Arlon CuClad 250 (Lossy)	-95,6	-83,46	-76,29	-71,13	-67,13	-63,88	-61,16	-58,88	-56,94	-55,15	-53,42	-51,84	-50,4	-49,09	-47,89	-46,81	-45,81	-44,9	-44,07	-42,89	-58,337
37	Arlon DiClad 527 (Loss Free)	-95,59	-83,46	-76,3	-71,13	-67,13	-63,87	-61,16	-58,87	-56,94	-55,15	-53,42	-51,84	-50,4	-49,08	-47,89	-46,8	-45,8	-44,9	-44,07	-42,88	-58,334
38	Arlon DiClad 527 (Lossy)	-95,6	-83,46	-76,29	-71,13	-67,13	-63,88	-61,16	-58,88	-56,94	-55,15	-53,42	-51,84	-50,4	-49,09	-47,89	-46,81	-45,81	-44,9	-44,07	-42,89	-58,337
39	Arlon DiClad 870 (Loss Free)	-96,53	-84,38	-77,23	-72,06	-68,06	-64,8	-62,1	-59,84	-57,92	-56,15	-54,43	-52,86	-51,42	-50,12	-48,92	-47,83	-46,82	-45,9	-45,06	-43,8	-59,311
40	Arlon DiClad 870 (Lossy)	-96,55	-84,38	-77,22	-72,05	-68,05	-64,79	-62,09	-59,83	-57,92	-56,15	-54,43	-52,86	-51,42	-50,12	-48,92	-47,83	-46,82	-45,91	-45,06	-43,8	-59,31
41	Arlon DiClad 880 (Loss Free)	-97,32	-85,18	-78,01	-72,82	-68,82	-65,56	-62,87	-60,62	-58,75	-57,02	-55,3	-53,74	-52,31	-51,01	-49,81	-48,71	-47,71	-46,78	-45,93	-44,56	-60,141
42	Arlon DiClad 880 (Lossy)	-97,31	-85,18	-78,01	-72,82	-68,82	-65,57	-62,87	-60,63	-58,75	-57,02	-55,3	-53,74	-52,31	-51,01	-49,81	-48,72	-47,71	-46,78	-45,93	-44,56	-60,142
43	Arlon IsoClad 917 (Loss Free)	-97,54	-85,37	-78,2	-73,01	-68,99	-65,73	-63,04	-60,81	-58,94	-57,23	-55,52	-53,96	-52,53	-51,23	-50,03	-48,94	-47,93	-47,01	-46,15	-44,74	-60,345
44	Arlon IsoClad 917 (Lossy)	-97,52	-85,37	-78,2	-73,01	-69	-65,73	-63,04	-60,81	-58,94	-57,23	-55,52	-53,96	-52,54	-51,23	-50,04	-48,94	-47,94	-47,01	-46,16	-44,74	-60,346
45	Arlon IsoClad 933 (Loss Free)	-96,53	-84,38	-77,23	-72,06	-68,06	-64,8	-62,1	-59,84	-57,92	-56,15	-54,43	-52,86	-51,42	-50,12	-48,92	-47,83	-46,82	-45,9	-45,06	-43,8	-59,311
46	Arlon IsoClad 933 (Lossy)	-96,53	-84,38	-77,23	-72,06	-68,06	-64,8	-62,1	-59,84	-57,93	-56,15	-54,43	-52,86	-51,42	-50,11	-48,92	-47,83	-46,82	-45,91	-45,06	-43,8	-59,312
47	Rogers RO3003 (Loss Free)	-93,42	-81,27	-74,12	-68,97	-64,96	-61,69	-58,95	-56,62	-54,63	-52,78	-51,02	-49,42	-47,96	-46,65	-45,46	-44,39	-43,43	-42,56	-41,79	-40,79	-56,044
48	Rogers RO3003 (Lossy)	-93,42	-81,27	-74,12	-68,97	-64,97	-61,7	-58,96	-56,63	-54,63	-52,78	-51,02	-49,42	-47,97	-46,65	-45,46	-44,39	-43,43	-42,57	-41,79	-40,8	-56,047
49	Rogers RO3006 (Loss Free)	-86,32	-74,2	-67,05	-61,89	-57,84	-54,49	-51,61	-49,09	-46,85	-44,75	-42,84	-41,15	-39,7	-38,49	-37,54	-36,84	-36,37	-36,1	-36,02	-36	-48,757
50	Rogers RO3006 (Lossy)	-86,31	-74,2	-67,05	-61,9	-57,85	-54,49	-51,62	-49,09	-46,85	-44,75	-42,85	-41,16	-39,71	-38,5	-37,56	-36,86	-36,39	-36,12	-36,04	-36,01	-48,765
51	Rogers RO3010 (Loss Free)	-82,74	-70,61	-63,42	-58,22	-54,1	-50,64	-47,63	-44,96	-42,53	-40,29	-38,32	-36,69	-35,5	-34,83	-34,73	-35,4	-37,06	-36,3	-31,42	-30,04	-45,271
52	Rogers RO3010 (Lossy)	-82,74	-70,61	-63,42	-58,22	-54,1	-50,64	-47,64	-44,97	-42,53	-40,3	-38,32	-36,7	-35,51	-34,84	-34,74	-35,4	-37,13	-36,23	-31,45	-30,06	-45,277
53	Rogers RO3035 (Loss Free)	-91,44	-79,33	-72,18	-67,05	-63,04	-59,75	-56,99	-54,62	-52,56	-50,64	-48,85	-47,22	-45,75	-44,44	-43,26	-42,23	-41,32	-40,52	-39,82	-39,04	-54,002
54	Rogers RO3035 (Lossy)	-91,45	-79,32	-72,18	-67,05	-63,04	-59,76	-56,99	-54,62	-52,56	-50,64	-48,85	-47,22	-45,75	-44,44	-43,26	-42,23	-41,32	-40,52	-39,82	-39,05	-54,003
55	Rogers RO3203 (Loss Free)	-93,31	-81,19	-74,04	-68,9	-64,89	-61,63	-58,88	-56,55	-54,55	-52,7	-50,94	-49,33	-47,88	-46,56	-45,37	-44,3	-43,33	-42,47	-41,69	-40,71	-55,961
56	Rogers RO3203 (Lossy)	-93,31	-81,19	-74,04	-68,89	-64,89	-61,62	-58,88	-56,55	-54,55	-52,7	-50,94	-49,34	-47,88	-46,56	-45,37	-44,3	-43,34	-42,48	-41,7	-40,72	-55,962

Tablo 6.2'nin devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
57	Rogers RO3206 (Loss Free)	-86,2	-74,09	-66,93	-61,78	-57,73	-54,37	-51,49	-48,96	-46,72	-44,61	-42,7	-41,01	-39,56	-38,36	-37,42	-36,73	-36,27	-36,04	-35,98	-35,99	-48,647
58	Rogers RO3206 (Lossy)	-86,21	-74,09	-66,93	-61,78	-57,73	-54,37	-51,49	-48,96	-46,72	-44,61	-42,71	-41,02	-39,57	-38,37	-37,43	-36,75	-36,29	-36,05	-36	-35,99	-48,653
59	Rogers RO3210 (Loss Free)	-82,95	-70,82	-63,63	-58,44	-54,32	-50,87	-47,88	-45,21	-42,79	-40,56	-38,59	-36,95	-35,73	-34,99	-34,78	-35,22	-36,63	-37,18	-32,37	-30,21	-46,506
60	Rogers RO3210 (Lossy)	-82,94	-70,82	-63,64	-58,44	-54,32	-50,87	-47,88	-45,22	-42,8	-40,57	-38,6	-36,96	-35,74	-35	-34,8	-35,24	-36,63	-37,1	-32,41	-30,27	-45,512
61	Rogers RO4003C (Loss Free)	-91,6	-79,47	-72,33	-67,19	-63,19	-59,9	-57,14	-54,77	-52,71	-50,8	-49,01	-47,38	-45,91	-44,59	-43,42	-42,38	-41,47	-40,67	-39,96	-39,17	-54,153
62	Rogers RO4003C (Lossy)	-91,58	-79,47	-72,33	-67,19	-63,18	-59,9	-57,13	-54,76	-52,71	-50,8	-49,01	-47,39	-45,92	-44,61	-43,43	-42,4	-41,48	-40,68	-39,97	-39,17	-54,155
63	Rogers RO4003C LoPro (Loss Free)	-91,74	-79,62	-72,47	-67,34	-63,34	-60,06	-57,29	-54,92	-52,87	-50,95	-49,17	-47,54	-46,08	-44,76	-43,58	-42,54	-41,62	-40,81	-40,09	-39,29	-54,304
64	Rogers RO4003C LoPro (Lossy)	-91,71	-79,61	-72,47	-67,33	-63,33	-60,04	-57,28	-54,92	-52,87	-50,96	-49,17	-47,55	-46,08	-44,77	-43,59	-42,55	-41,63	-40,83	-40,11	-39,3	-54,305
65	Rogers RO4350B (Loss Free)	-91,27	-79,16	-72,03	-66,89	-62,88	-59,59	-56,82	-54,44	-52,38	-50,46	-48,66	-47,03	-45,56	-44,25	-43,08	-42,05	-41,14	-40,35	-39,66	-38,89	-53,829
66	Rogers RO4350B (Lossy)	-91,29	-79,17	-72,02	-66,88	-62,87	-59,58	-56,82	-54,44	-52,38	-50,47	-48,67	-47,05	-45,58	-44,27	-43,1	-42,07	-41,17	-40,38	-39,69	-38,92	-53,841
67	Rogers RO4350B LoPro (Loss Free)	-91,6	-79,47	-72,33	-67,19	-63,19	-59,9	-57,14	-54,77	-52,71	-50,8	-49,01	-47,38	-45,91	-44,59	-43,42	-42,38	-41,47	-40,67	-39,96	-39,17	-54,153
68	Rogers RO4350B LoPro (Lossy)	-91,55	-79,46	-72,32	-67,18	-63,17	-59,89	-57,13	-54,76	-52,71	-50,8	-49,01	-47,39	-45,92	-44,61	-43,44	-42,4	-41,49	-40,69	-39,98	-39,17	-54,153
69	Rogers RO4360G2 (Loss Free)	-86,43	-74,32	-67,16	-62,01	-57,96	-54,6	-51,73	-49,22	-46,98	-44,89	-42,99	-41,3	-39,84	-38,63	-37,67	-36,95	-36,45	-36,17	-36,05	-36,2	-48,877
70	Rogers RRO4360G2 (Lossy)	-86,44	-74,32	-67,16	-62,01	-57,96	-54,61	-51,73	-49,22	-46,98	-44,89	-43	-41,31	-39,85	-38,64	-37,68	-36,96	-36,47	-36,18	-36,06	-36,01	-48,874
71	Rogers RO4450B (Loss Free)	-91,16	-79,05	-71,91	-66,77	-62,76	-59,47	-56,7	-54,32	-52,26	-50,34	-48,54	-46,91	-45,44	-44,12	-42,95	-41,92	-41,02	-40,24	-39,55	-38,78	-53,71
72	Rogers RO4450B (Lossy)	-91,13	-79,05	-71,92	-66,78	-62,78	-59,49	-56,72	-54,34	-52,27	-50,34	-48,54	-46,91	-45,44	-44,13	-42,96	-41,94	-41,04	-40,25	-39,57	-38,83	-53,721
73	Rogers RO4450F (Loss Free)	-91,16	-79,05	-71,91	-66,77	-62,76	-59,47	-56,7	-54,32	-52,26	-50,34	-48,54	-46,91	-45,44	-44,12	-42,95	-41,92	-41,02	-40,24	-39,55	-38,78	-53,71
74	Rogers RO4450F (Lossy)	-91,13	-79,05	-71,92	-66,78	-62,78	-59,49	-56,72	-54,34	-52,27	-50,34	-48,54	-46,91	-45,44	-44,13	-42,96	-41,94	-41,04	-40,25	-39,57	-38,83	-53,721
75	Rogers RO4533 (Loss Free)	-91,89	-79,76	-72,61	-67,47	-63,47	-60,19	-57,43	-55,07	-53,02	-51,12	-49,34	-47,72	-46,25	-44,94	-43,76	-42,72	-41,79	-40,98	-40,26	-39,43	-54,461
76	Rogers RO4533 (Lossy)	-91,87	-79,76	-72,62	-67,48	-63,48	-60,19	-57,43	-55,07	-53,02	-51,13	-49,34	-47,72	-46,25	-44,94	-43,76	-42,71	-41,79	-40,97	-40,25	-39,42	-54,46
77	Rogers RO4534 (Loss Free)	-91,6	-79,47	-72,33	-67,19	-63,19	-59,9	-57,14	-54,77	-52,71	-50,8	-49,01	-47,38	-45,91	-44,59	-43,42	-42,38	-41,47	-40,67	-39,96	-39,17	-54,153
78	Rogers RO4534 (Lossy)	-91,58	-79,47	-72,33	-67,19	-63,18	-59,9	-57,13	-54,76	-52,71	-50,8	-49,01	-47,39	-45,92	-44,61	-43,43	-42,4	-41,48	-40,68	-39,97	-39,17	-54,155
79	Rogers RO4535 (Loss Free)	-91,27	-79,16	-72,03	-66,89	-62,88	-59,59	-56,82	-54,44	-52,38	-50,46	-48,66	-47,03	-45,56	-44,25	-43,08	-42,05	-41,14	-40,35	-39,66	-38,89	-53,829
80	Rogers RO4535 (Lossy)	-91,29	-79,17	-72,02	-66,88	-62,87	-59,58	-56,82	-54,44	-52,38	-50,47	-48,67	-47,05	-45,58	-44,27	-43,1	-42,07	-41,17	-40,38	-39,69	-38,92	-53,841
81	Rogers RO4725JWR (Loss Free)	-94,92	-82,78	-75,61	-70,45	-66,46	-63,2	-60,47	-58,17	-56,22	-54,42	-52,68	-51,09	-49,64	-48,33	-47,13	-46,04	-45,06	-44,16	-43,34	-42,21	-57,619
82	Rogers RO4725JWR (Lossy)	-94,9	-82,76	-75,6	-70,44	-66,43	-63,16	-60,45	-58,15	-56,21	-54,42	-52,68	-51,1	-49,65	-48,34	-47,15	-46,06	-45,08	-44,19	-43,37	-42,22	-57,618
83	Rogers RO4730G3 (Loss Free)	-93,46	-81,34	-74,19	-69,04	-65,05	-61,78	-59,04	-56,71	-54,71	-52,86	-51,1	-49,5	-48,04	-46,73	-45,54	-44,47	-43,5	-42,64	-41,86	-40,87	-56,121
84	Rogers RO4730G3 (Lossy)	-93,46	-81,34	-74,19	-69,05	-65,04	-61,77	-59,04	-56,71	-54,71	-52,87	-51,11	-49,51	-48,05	-46,74	-45,55	-44,48	-43,52	-42,65	-41,87	-40,88	-56,127

Tablo 6.2’nin devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
85	Rogers RO4730JWR (Loss Free)	-93,46	-81,34	-74,19	-69,04	-65,05	-61,78	-59,04	-56,71	-54,71	-52,86	-51,1	-49,5	-48,04	-46,73	-45,54	-44,47	-43,5	-42,64	-41,86	-40,87	-56,121
86	Rogers RO4730JWR (Lossy)	-93,48	-81,34	-74,19	-69,05	-65,04	-61,77	-59,04	-56,71	-54,71	-52,87	-51,11	-49,51	-48,05	-46,74	-45,55	-44,48	-43,52	-42,65	-41,87	-40,89	-56,128
87	Rogers RO4830 (Loss Free)	-92,67	-80,56	-73,41	-68,27	-64,28	-61,01	-58,26	-55,91	-53,88	-51,99	-50,22	-48,61	-47,15	-45,83	-44,64	-43,58	-42,63	-41,79	-41,03	-40,14	-55,293
88	Rogers RO4830 (Lossy)	-92,65	-80,55	-73,42	-68,28	-64,28	-61,02	-58,26	-55,91	-53,89	-52	-50,23	-48,62	-47,16	-45,84	-44,65	-43,59	-42,65	-41,8	-41,04	-40,15	-55,299
89	Rogers RO4835 (Loss Free)	-91,27	-79,16	-72,03	-66,89	-62,88	-59,59	-56,82	-54,44	-52,38	-50,46	-48,66	-47,03	-45,56	-44,25	-43,08	-42,05	-41,14	-40,35	-39,66	-38,89	-53,829
90	Rogers RO4835 (Lossy)	-91,29	-79,16	-72,02	-66,88	-62,87	-59,58	-56,82	-54,44	-52,38	-50,47	-48,67	-47,05	-45,58	-44,27	-43,1	-42,07	-41,17	-40,38	-39,69	-38,92	-53,84
91	Rogers RT4835 LoPro (Loss Free)	-91,6	-79,51	-72,35	-67,21	-63,2	-59,92	-57,15	-54,78	-52,72	-50,8	-49,01	-47,38	-45,91	-44,6	-43,43	-42,38	-41,46	-40,66	-39,95	-39,16	-54,159
92	Rogers RT4835 LoPro (Lossy)	-91,55	-79,46	-72,32	-67,18	-63,17	-59,89	-57,13	-54,76	-52,71	-50,8	-49,01	-47,39	-45,92	-44,61	-43,44	-42,4	-41,49	-40,69	-39,98	-39,17	-54,153
93	Rogers RT5870 (Loss Free)	-96,53	-84,38	-77,23	-72,06	-68,06	-64,8	-62,1	-59,84	-57,92	-56,15	-54,43	-52,86	-51,42	-50,12	-48,92	-47,83	-46,82	-45,9	-45,06	-43,8	-59,311
94	Rogers RT5870 (Lossy)	-96,55	-84,38	-77,22	-72,05	-68,05	-64,79	-62,09	-59,83	-57,92	-56,15	-54,43	-52,86	-51,42	-50,12	-48,92	-47,83	-46,82	-45,91	-45,06	-43,8	-59,31
95	Rogers RT5880 (Loss Free)	-97,32	-85,18	-78,01	-72,82	-68,82	-65,56	-62,87	-60,62	-58,75	-57,02	-55,3	-53,74	-52,31	-51,01	-49,81	-48,71	-47,71	-46,78	-45,93	-44,56	-60,141
96	Rogers RT5880 (Lossy)	-97,31	-85,18	-78,01	-72,82	-68,82	-65,57	-62,87	-60,63	-58,75	-57,02	-55,3	-53,74	-52,31	-51,01	-49,81	-48,72	-47,71	-46,78	-45,93	-44,56	-60,142
97	Rogers RT5880LZ (Loss Free)	-98,77	-86,61	-79,41	-74,21	-70,19	-66,93	-64,25	-62,04	-60,23	-58,55	-56,85	-55,3	-53,88	-52,58	-51,39	-50,3	-49,28	-48,35	-47,49	-45,93	-61,627
98	Rogers RT5880LZ (Lossy)	-98,77	-86,61	-79,41	-74,21	-70,19	-66,93	-64,25	-62,04	-60,23	-58,55	-56,85	-55,3	-53,88	-52,59	-51,4	-50,3	-49,29	-48,36	-47,49	-45,93	-61,629
99	Rogers RT6002 (Loss Free)	-93,61	-81,49	-74,34	-69,2	-65,2	-61,93	-59,2	-56,87	-54,88	-53,03	-51,27	-49,67	-48,22	-46,9	-45,71	-44,64	-43,67	-42,8	-42,01	-41,02	-56,283
100	Rogers RT6002 (Lossy)	-93,63	-81,49	-74,35	-69,2	-65,2	-61,93	-59,19	-56,87	-54,88	-53,03	-51,27	-49,67	-48,22	-46,9	-45,71	-44,64	-43,68	-42,81	-42,02	-41,03	-56,286
101	Rogers RT6006 (Loss Free)	-86,39	-74,26	-67,11	-61,95	-57,9	-54,55	-51,67	-49,15	-46,91	-44,82	-42,92	-41,23	-39,77	-38,56	-37,6	-36,89	-36,41	-36,14	-36,04	36,01	-45,213
102	Rogers RT6006 (Lossy)	-86,39	-74,26	-67,1	-61,95	-57,89	-54,54	-51,66	-49,15	-46,91	-44,82	-42,92	-41,23	-39,78	-38,57	-37,62	-36,91	-36,42	-36,14	-36,04	36,01	-45,214
103	Rogers RT6010LM (Loss Free)	-83	-70,88	-63,69	-58,49	-54,37	-50,93	-47,94	-45,27	-42,86	-40,64	-38,67	-37,02	-35,79	-35,04	-34,81	-35,21	-36,53	-37,32	-32,67	-30,3	-45,571
104	Rogers RT6010LM (Lossy)	-83	-70,88	-63,69	-58,5	-54,38	-50,94	-47,95	-45,28	-42,86	-40,64	-38,67	-37,03	-35,8	-35,05	-34,81	-35,21	-36,51	-37,22	-32,69	-30,33	-45,572
105	Rogers RT6035HTC (Loss Free)	-91,44	-79,33	-72,18	-67,05	-63,04	-59,75	-56,99	-54,62	-52,56	-50,64	-48,85	-47,22	-45,75	-44,44	-43,26	-42,23	-41,32	-40,52	-39,82	-39,04	-54,002
106	Rogers RT6035HTC (Lossy)	-91,45	-79,32	-72,18	-67,05	-63,04	-59,76	-56,99	-54,62	-52,56	-50,64	-48,85	-47,22	-45,75	-44,43	-43,26	-42,23	-41,32	-40,52	-39,82	-39,05	-54,003
107	Rogers RT6202 (Loss Free)	-93,64	-81,49	-74,35	-69,2	-65,2	-61,93	-59,2	-56,88	-54,88	-53,03	-51,27	-49,67	-48,21	-46,9	-45,71	-44,63	-43,67	-42,8	-42,01	-41,03	-56,285
108	Rogers RT6202 (Lossy)	-93,64	-81,49	-74,34	-69,2	-65,2	-61,93	-59,19	-56,87	-54,88	-53,03	-51,27	-49,67	-48,22	-46,9	-45,71	-44,64	-43,67	-42,81	-42,02	-41,02	-56,285
109	Rogers RT6202PR (Loss Free)	-93,46	-81,34	-74,19	-69,04	-65,05	-61,78	-59,04	-56,71	-54,71	-52,86	-51,1	-49,5	-48,04	-46,73	-45,54	-44,47	-43,5	-42,64	-41,86	-40,87	-56,121
110	Rogers RT6202PR (Lossy)	-93,48	-81,34	-74,19	-69,04	-65,04	-61,77	-59,03	-56,71	-54,71	-52,86	-51,1	-49,5	-48,05	-46,73	-45,54	-44,47	-43,51	-42,64	-41,86	-40,86	-56,121
111	Rogers TC350 (Loss Free)	-91,44	-79,33	-72,18	-67,05	-63,04	-59,75	-56,99	-54,62	-52,56	-50,64	-48,85	-47,22	-45,75	-44,44	-43,26	-42,23	-41,32	-40,52	-39,82	-39,04	-54,002
112	Rogers TC350 (Lossy)	-91,43	-79,33	-72,19	-67,06	-63,05	-59,77	-57	-54,62	-52,56	-50,64	-48,85	-47,2	-45,76	-44,44	-43,27	-42,24	-41,33	-40,53	-39,83	-39,06	-54,008

Tablo 6.2’nin devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
113	Rogers TC600 (Loss Free)	-86,74	-74,62	-67,47	-62,32	-58,27	-54,92	-52,06	-49,55	-47,33	-45,25	-43,36	-41,67	-40,21	-38,98	-37,99	-37,23	-36,69	-36,34	-36,16	-36,06	-49,161
114	Rogers TC600 (Lossy)	-86,75	-74,62	-67,47	-62,32	-58,28	-54,93	-52,07	-49,56	-47,34	-45,25	-43,36	-41,67	-40,2	-38,98	-37,99	-37,23	-36,69	-36,34	-36,15	-36,05	-49,162
115	Rogers TMM 3 (Loss Free)	-91,89	-79,76	-72,61	-67,47	-63,47	-60,19	-57,43	-55,07	-53,02	-51,12	-49,34	-47,72	-46,25	-44,94	-43,76	-42,72	-41,79	-40,98	-40,26	-39,43	-54,461
116	Rogers TMM 3 (Lossy)	-91,86	-79,75	-72,61	-67,47	-63,47	-60,19	-57,43	-55,07	-53,03	-51,12	-49,33	-47,71	-46,25	-44,93	-43,75	-42,71	-41,78	-40,97	-40,25	-39,42	-54,455
117	Rogers TMM 4 (Loss Free)	-88,93	-76,83	-69,68	-64,54	-60,52	-57,2	-54,39	-51,96	-49,81	-47,82	-45,98	-44,32	-42,84	-41,54	-40,43	-39,49	-38,71	-38,07	-37,56	-37,09	-51,385
118	Rogers TMM 4 (Lossy)	-88,94	-76,83	-69,68	-64,54	-60,52	-57,21	-54,4	-51,96	-49,82	-47,82	-45,98	-44,32	-42,85	-41,55	-40,44	-39,5	-38,73	-38,09	-37,57	-37,1	-51,392
119	Rogers TMM 6 (Loss Free)	-86,57	-74,44	-67,28	-62,13	-58,09	-54,73	-51,86	-49,35	-47,12	-45,03	-43,13	-41,44	-39,98	-38,76	-37,79	-37,05	-36,54	-36,22	-36,08	-36,02	-48,98
120	Rogers TMM 6 (Lossy)	-86,55	-74,44	-67,28	-62,13	-58,09	-54,73	-51,87	-49,35	-47,12	-45,03	-43,14	-41,45	-39,99	-38,77	-37,8	-37,07	-36,55	-36,24	-36,09	-36,02	-48,985
121	Rogers TMM 10 (Loss Free)	-83,53	-71,41	-64,22	-59,04	-54,93	-51,5	-48,53	-45,9	-43,52	-41,31	-39,35	-37,68	-36,38	-35,5	-35,06	-35,11	-35,75	-36,97	-35,56	-31,62	-46,143
122	Rogers TMM 10 (Lossy)	-83,53	-71,41	-64,23	-59,04	-54,93	-51,5	-48,53	-45,9	-43,52	-41,32	-39,36	-37,69	-36,39	-35,51	-35,08	-35,12	-35,76	-36,94	-35,52	-31,65	-46,146
123	Rogers TMM 10i (Loss Free)	-81,47	-71,35	-64,17	-58,98	-54,87	-51,44	-48,47	-45,83	-43,44	-41,23	-39,27	-37,6	-36,31	-35,44	-35,02	-35,1	-35,81	-37,06	-35,28	-31,4	-45,977
124	Rogers TMM 10i (Lossy)	-81,47	-71,35	-64,16	-58,98	-54,87	-51,44	-48,47	-45,83	-43,44	-41,23	-39,27	-37,61	-36,32	-35,45	-35,03	-35,11	-35,81	-37,02	-35,24	-31,43	-45,976
125	Rogers TMM 13i (Loss Free)	-82,26	-70,13	-62,93	-57,73	-53,59	-50,12	-47,09	-44,39	-41,92	-39,66	-37,69	-36,1	-35,01	-34,51	-34,75	-36,19	-37,25	-32,76	-30,26	-29,93	-44,713
126	Rogers TMM 13i (Lossy)	-82,26	-70,13	-62,94	-57,73	-53,59	-50,12	-47,09	-44,39	-41,92	-39,67	-37,69	-36,11	-35,02	-34,53	-34,77	-36,2	-37,35	-32,79	-30,3	-29,95	-44,727
127	Rogers XT8000 (Loss Free)	-92,33	-80,23	-73,08	-67,95	-63,94	-60,67	-57,91	-55,56	-53,53	-51,63	-49,86	-48,24	-46,78	-45,46	-44,27	-43,22	-42,28	-41,45	-40,71	-39,84	-54,947
128	Rogers XT8000 (Lossy)	-92,34	-80,23	-73,08	-67,95	-63,94	-60,66	-57,91	-55,56	-53,52	-51,64	-49,86	-48,25	-46,79	-45,47	-44,29	-43,23	-42,3	-41,46	-40,72	-39,85	-54,952
129	Rogers XT8100 (Loss Free)	-91,74	-79,62	-72,47	-67,34	-63,34	-60,06	-57,29	-54,92	-52,87	-50,95	-49,17	-47,54	-46,08	-44,76	-43,58	-42,54	-41,62	-40,81	-40,09	-39,29	-54,304
130	Rogers XT8100 (Lossy)	-91,72	-79,61	-72,47	-67,33	-63,33	-60,05	-57,29	-54,92	-52,87	-50,96	-49,18	-47,56	-46,09	-44,77	-43,6	-42,56	-41,64	-40,83	-40,12	-39,3	-54,31
131	Lead Glass	-86,93	-74,81	-67,66	-62,51	-58,47	-55,12	-52,26	-49,76	-47,55	-45,48	-43,59	-41,91	-40,44	-39,2	-38,2	-37,42	-36,85	-36,47	-36,25	-36,11	-49,349
132	Mica (Glass Bonded)	-86,93	-74,81	-67,66	-62,51	-58,47	-55,12	-52,26	-49,76	-47,55	-45,48	-43,59	-41,91	-40,44	-39,2	-38,2	-37,42	-36,85	-36,47	-36,25	-36,11	-49,349
133	Schott FOTURAN II (Glass)	-86,45	-74,32	-67,16	-62,01	-57,96	-54,61	-51,74	-49,22	-46,99	-44,9	-43,01	-41,33	-39,88	-38,68	-37,72	-37,01	-36,52	-36,23	-36,1	-36,03	-48,893
134	Wood	-98,45	-87,08	-81,5	-76,8	-73,48	-70,23	-67,59	-65,47	-63,8	-62,3	-60,65	-59,15	-57,79	-56,54	-55,39	-54,32	-53,34	-52,42	-51,54	-49,65	-64,874
135	FR-4 (Loss Free)	-89,73	-77,62	-70,48	-65,34	-61,33	-58,03	-55,23	-52,81	-50,7	-48,72	-46,9	-45,25	-43,77	-42,47	-41,33	-40,35	-39,52	-38,82	-38,23	-37,65	-52,214
136	FR-4 (Lossy)	-89,73	-77,62	-70,47	-65,34	-61,32	-58,02	-55,23	-52,82	-50,72	-48,75	-46,93	-45,3	-43,83	-42,54	-41,42	-40,45	-39,63	-38,94	-38,35	-37,77	-52,259
137	FR-4 (Lossy-thermal anisotropic)	-89,73	-77,62	-70,47	-65,34	-61,32	-58,02	-55,23	-52,82	-50,72	-48,75	-46,93	-45,3	-43,83	-42,54	-41,42	-40,45	-39,63	-38,94	-38,35	-37,77	-52,259
138	copper (annealed)	-73,91	-61,72	-54,43	-49,08	-44,76	-41,04	-37,77	-34,89	-32,51	-30,84	-29,98	-29,74	-29,84	-30,02	-30,08	-30,08	-30,02	-29,91	-29,76	-29,61	-37,999
139	copper (pure)	-74,61	-62,35	-54,93	-49,42	-44,89	-40,98	-37,56	-34,71	-32,57	-31,24	-30,58	-30,33	-30,27	-30,27	-30,24	-30,14	-30,03	-29,9	-29,77	-29,63	-38,221

Tablo 6.3 1cm yarıçapa sahip olan küre ait RKA (CST Simülasyonu) sonuçları

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
1	Arlon AD 250C (Loss Free)	-65,29	-53,12	-45,85	-40,53	-36,23	-32,57	-29,31	-26,46	-24,83	-23,95	-22,32	-20,39	-19,78	-19,55	-18,33	-17,15	-17,28	-17,3	-16,33	-15,99	-28,128
2	Arlon AD 250C (Lossy)	Gelen düzlem dalgası, simetri düzlemleriyle çakışıyor.																				
3	Arlon AD 255C (Loss Free)	-64,9	-52,72	-45,44	-40,11	-35,78	-32,08	-28,75	-25,89	-24,5	-23,69	-21,85	-19,96	-19,7	-19,49	-17,94	-17,07	-17,51	-17,45	-16,2	-16,41	-27,872
4	Arlon AD 255C (Lossy)	-64,9	-52,72	-45,45	-40,11	-35,79	-32,08	-28,76	-25,9	-24,52	-23,7	-21,87	-19,98	-19,72	-19,5	-17,96	-17,09	-17,53	-17,46	-16,23	-16,43	-27,885
5	Arlon AD 260A (Loss Free)	-64,9	-52,72	-45,44	-40,11	-35,78	-32,08	-28,75	-25,89	-24,5	-23,69	-21,85	-19,96	-19,7	-19,49	-17,94	-17,07	-17,51	-17,45	-16,2	-16,41	-27,872
6	Arlon AD 260A (Lossy)	-64,9	-52,72	-45,45	-40,11	-35,79	-32,08	-28,76	-25,91	-24,52	-23,7	-21,87	-19,99	-19,72	-19,5	-17,96	-17,1	-17,53	-17,46	-16,24	-16,44	-27,887
7	Arlon AD 300C (Loss Free)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,74	-34,31	-30,43	-26,81	-24,21	-23,9	-22,75	-20,01	-19,38	-20,04	-18,9	-17,07	-18,08	-19,08	-16,96	-17,79	-19,34	-27,354
8	Arlon AD 300C (Lossy)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,75	-34,32	-30,44	-26,82	-24,24	-23,91	-22,75	-20,04	-19,42	-20,06	-18,92	-17,12	-18,12	-19,08	-17,02	-17,82	-19,35	-27,373
9	Arlon AD 300D (Loss Free)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,74	-34,31	-30,43	-26,81	-24,21	-23,9	-22,75	-20,01	-19,38	-20,04	-18,9	-17,07	-18,08	-19,08	-16,96	-17,79	-19,34	-27,354
10	Arlon AD 300D (Lossy)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,75	-34,32	-30,44	-26,82	-24,24	-23,91	-22,75	-20,04	-19,42	-20,06	-18,92	-17,12	-18,12	-19,08	-17,02	-17,82	-19,35	-27,373
11	Arlon AD 320A (Loss Free)	-63,1	-50,89	-43,54	-38,09	-33,6	-29,59	-25,76	-23,68	-23,78	-22,08	-19,18	-19,7	-20,4	-17,86	-17,71	-19,28	-19,26	-18,12	-19,51	-21,96	-27,354
12	Arlon AD 320A (Lossy)	-63,1	-50,89	-43,54	-38,1	-33,6	-29,6	-25,79	-23,73	-23,8	-22,1	-19,25	-19,74	-20,41	-17,92	-17,78	-19,31	-19,24	-18,17	-19,54	-21,82	-27,371
13	Arlon AD 350A (Loss Free)	-62,43	-50,2	-42,83	-37,32	-32,73	-28,51	-24,46	-23,49	-23,64	-20,9	-19,07	-20,42	-20,52	-17,69	-19,11	-21,44	-18,62	-20,4	-23,3	-20,57	-27,382
14	Arlon AD 350A (Lossy)	-62,43	-50,21	-42,83	-37,33	-32,74	-28,53	-24,5	-23,53	-23,66	-20,93	-19,14	-20,46	-20,51	-17,78	-19,16	-21,4	-18,74	-20,42	-23,21	-20,71	-27,411
15	Arlon AD 410 (Loss Free)	-61,39	-49,13	-41,69	-36,07	-31,24	-26,46	-22,79	-23,93	-22,9	-18,91	-20,62	-22,04	-18,76	-20,64	-23,67	-21,84	-23,34	-25,74	-24,72	-20,63	-27,825
16	Arlon AD 410 (Lossy)	-61,39	-49,13	-41,69	-36,07	-31,24	-26,47	-22,85	-23,95	-22,9	-19	-20,65	-22,03	-18,88	-20,66	-23,59	-21,88	-23,28	-25,46	-24,52	-20,7	-27,817
17	Arlon AD 430 (Loss Free)	-61,11	-48,84	-41,37	-35,71	-30,79	-25,77	-22,69	-24,08	-22,38	-19,37	-21,14	-22,27	-20,61	-21,52	-24,5	-23,72	-23,27	-20,5	-24,62	-19,93	-27,709
18	Arlon AD 430 (Lossy)	-61,11	-48,84	-41,37	-35,71	-30,79	-25,79	-22,75	-24,09	-22,39	-19,44	-21,16	-22,23	-20,64	-21,54	-24,26	-23,91	-23,26	-20,79	-24,42	-19,93	-27,721
19	Arlon AD 450 (Loss Free)	-60,85	-48,56	-41,08	-35,37	-30,35	-25,07	-22,82	-24,18	-21,64	-20,15	-21,63	-21,38	-22,36	-22,58	-19,57	-24,34	-24,41	-23,42	-22,62	-19,74	-27,606
20	Arlon AD 450 (Lossy)	-60,85	-48,57	-41,08	-35,38	-30,36	-25,1	-22,88	-24,19	-21,66	-20,2	-21,65	-21,37	-22,34	-22,59	-20,15	-24,56	-24,26	-23,18	-22,49	-19,68	-27,627
21	Arlon AD 600 (Loss Free)	-59,32	-46,96	-39,29	-33,15	-26,77	-22,64	-24,64	-21,91	-24,67	-23,25	-24,82	-25,48	-21,01	-27,48	-21,4	-22,1	-17,86	-19,18	-19,86	-18,22	-27
22	Arlon AD 600 (Lossy)	-59,32	-46,96	-39,29	-33,15	-26,78	-22,7	-24,65	-21,96	-24,62	-23,29	-24,87	-25,49	-21,83	-27,42	-21,3	-22,04	-17,91	-19,19	-19,79	-18,24	-27,04
23	Arlon AD 1000 (Loss Free)	-57,59	-45,02	-36,74	-28,08	-26,02	-24,75	-29,26	-23,08	-30,66	-20,72	-23,28	-22,58	-22,83	-25,14	-24,27	-27,17	-21,48	-20,68	-19,64	-19,09	-27,404
24	Arlon AD 1000 (Lossy)	-57,59	-45,02	-36,74	-28,09	-26,09	-24,78	-29,28	-23,31	-30,71	-21,27	-23,26	-22,44	-22,76	-24,93	-24,16	-26,92	-21,35	-20,66	-19,48	-19,09	-27,396
25	Arlon CLTE (Loss Free)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,74	-34,31	-30,43	-26,81	-24,21	-23,9	-22,75	-20,01	-19,38	-20,04	-18,9	-17,07	-18,08	-19,08	-16,96	-17,79	-19,34	-27,354
26	Arlon CLTE (Lossy)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,75	-34,32	-30,44	-26,82	-24,24	-23,92	-22,76	-20,04	-19,43	-20,06	-18,92	-17,13	-18,12	-19,08	-17,03	-17,83	-19,35	-27,376
27	Arlon CLTE-AT (Loss Free)	-63,61	-51,42	-44,09	-38,68	-34,25	-30,35	-26,71	-24,15	-23,88	-22,69	-19,91	-19,4	-20,07	-18,83	-17,1	-18,18	-19,6	-16,97	-17,93	-19,56	-27,369
28	Arlon CLTE-AT (Lossy)	-63,61	-51,42	-44,09	-38,68	-34,25	-30,36	-26,72	-24,17	-23,89	-22,7	-19,93	-19,42	-20,08	-18,84	-17,13	-18,2	-19,15	-17,01	-17,95	-19,56	-27,358

Tablo 6.3'ün devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
29	Arlon CLTE-XT (Loss Free)	-63,78	-51,59	-44,27	-38,87	-34,45	-30,59	-27	-24,34	-23,93	-22,85	-20,19	-19,37	-19,98	-19,04	-17,03	-17,91	-18,91	-17	-17,51	-18,92	-27,376
30	Arlon CLTE-XT (Lossy)	-63,78	-51,59	-44,27	-38,87	-34,46	-30,6	-27,01	-24,36	-23,94	-22,86	-20,21	-19,39	-19,99	-19,04	-17,06	-17,93	-18,91	-17,03	-17,53	-18,93	-27,388
31	Arlon CuClad 217 (Loss Free)	-66,68	-54,54	-47,31	-42,04	-37,82	-34,27	-31,17	-28,45	-26,34	-25,05	-23,75	-22,1	-20,75	-20,06	-19,29	-18,2	-17,42	-17,07	-16,63	-15,97	-29,245
32	Arlon CuClad 217 (Lossy)	-66,68	-54,54	-47,31	-42,05	-37,83	-34,27	-31,17	-28,45	-26,35	-25,06	-23,75	-22,11	-20,77	-20,07	-19,3	-18,21	-17,44	-17,09	-16,64	-15,99	-29,254
33	Arlon CuClad 233 (Loss Free)	-66,03	-53,87	-46,63	-41,34	-37,09	-33,48	-30,32	-27,54	-25,58	-24,5	-23,11	-21,31	-20,19	-19,75	-18,89	-17,64	-17,18	-17,07	-16,53	-15,79	-28,692
34	Arlon CuClad 233 (Lossy)	-66,03	-53,87	-46,63	-41,34	-37,09	-33,49	-30,33	-27,55	-25,6	-24,52	-23,12	-21,33	-20,21	-19,77	-18,91	-17,67	-17,21	-17,1	-16,56	-15,83	-28,708
35	Arlon CuClad 250 (Loss Free)	-65,28	-53,12	-45,85	-40,53	-36,23	-32,57	-29,31	-26,46	-24,83	-23,95	-22,32	-20,39	-19,78	-19,55	-18,33	-17,15	-17,28	-17,3	-16,33	-15,99	-28,127
36	Arlon CuClad 250 (Lossy)	-65,28	-53,12	-45,85	-40,53	-36,23	-32,57	-29,32	-26,48	-24,85	-23,97	-22,34	-20,42	-19,81	-19,57	-18,35	-17,18	-17,31	-17,32	-16,36	-16,03	-28,144
37	Arlon DiClad 527 (Loss Free)	-65,28	-53,12	-45,85	-40,53	-36,24	-32,57	-29,31	-26,46	-24,83	-23,96	-22,32	-20,39	-19,78	-19,55	-18,33	-17,15	-17,28	-17,3	-16,33	-15,99	-28,128
38	Arlon DiClad 527 (Lossy)	-65,28	-53,12	-45,85	-40,53	-36,23	-32,57	-29,32	-26,48	-24,85	-23,97	-22,34	-20,42	-19,81	-19,57	-18,35	-17,18	-17,31	-17,32	-16,36	-16,03	-28,144
39	Arlon DiClad 870 (Loss Free)	-66,03	-53,87	-46,63	-41,34	-37,09	-33,48	-30,32	-27,54	-25,58	-24,5	-23,11	-21,31	-20,19	-19,75	-18,89	-17,64	-17,18	-17,07	-16,53	-15,79	-28,692
40	Arlon DiClad 870 (Lossy)	-66,03	-53,87	-46,63	-41,34	-37,09	-33,49	-30,33	-27,55	-25,6	-24,52	-23,12	-21,33	-20,21	-19,77	-18,91	-17,67	-17,21	-17,1	-16,56	-15,83	-28,708
41	Arlon DiClad 880 (Loss Free)	-66,68	-54,54	-47,31	-42,04	-37,82	-34,27	-31,17	-28,45	-26,34	-25,05	-23,75	-22,1	-20,75	-20,06	-19,29	-18,2	-17,42	-17,07	-16,63	-15,97	-29,245
42	Arlon DiClad 880 (Lossy)	-66,68	-54,54	-47,31	-42,05	-37,83	-34,27	-31,17	-28,45	-26,35	-25,06	-23,75	-22,11	-20,77	-20,07	-19,3	-18,21	-17,44	-17,09	-16,64	-15,99	-29,254
43	Arlon IsoClad 917 (Loss Free)	-66,85	-54,7	-47,48	-42,22	-38,01	-34,46	-31,38	-28,67	-26,54	-25,2	-23,9	-22,29	-20,91	-20,16	-19,39	-18,33	-17,51	-17,1	-16,65	-16,02	-29,388
44	Arlon IsoClad 917 (Lossy)	-66,85	-54,7	-47,48	-42,22	-38,01	-34,46	-31,38	-28,68	-26,55	-25,21	-23,91	-22,3	-20,93	-20,18	-19,41	-18,35	-17,53	-17,13	-16,67	-16,05	-29,4
45	Arlon IsoClad 933 (Loss Free)	-66,03	-53,87	-46,63	-41,34	-37,09	-33,48	-30,32	-27,54	-25,58	-24,5	-23,11	-21,31	-20,19	-19,75	-18,89	-17,64	-17,18	-17,07	-16,53	-15,79	-28,692
46	Arlon IsoClad 933 (Lossy)	-66,03	-53,87	-46,63	-41,34	-37,09	-33,49	-30,33	-27,55	-25,6	-24,52	-23,12	-21,33	-20,21	-19,77	-18,91	-17,67	-17,21	-17,09	-16,56	-15,83	-28,707
47	Rogers RO3003 (Loss Free)	-63,61	-51,42	-44,09	-38,68	-34,25	-30,35	-26,71	-24,15	-23,88	-22,69	-19,91	-19,4	-20,07	-18,83	-17,1	-18,18	-19,16	-16,97	-17,93	-19,56	-27,347
48	Rogers RO3003 (Lossy)	-63,61	-51,42	-44,09	-38,68	-34,25	-30,36	-26,72	-24,16	-23,89	-22,69	-19,93	-19,42	-20,08	-18,83	-17,12	-18,19	-19,15	-17	-17,94	-19,55	-27,354
49	Rogers RO3006 (Loss Free)	-59,09	-46,71	-39	-32,74	-25,91	-23,44	-24,69	-20,01	-25,38	-24,8	-28,3	-21,5	-27,97	-22,69	-18,76	-21,14	-18,2	-20,57	-14,2	-21,36	-26,823
50	Rogers RO3006 (Lossy)	-59,09	-46,71	-39	-32,74	-25,92	-23,46	-24,7	-20,15	-25,33	-24,79	-28,4	-21,7	-28,14	-22,72	-19,12	-21,11	-18,22	-20,53	-16,13	-21,29	-26,962
51	Rogers RO3010 (Loss Free)	-57,34	-44,71	-36,24	-26,23	-26,19	-25,44	-30,37	-25,15	-26,48	-26,63	-20,7	-23,38	-23,73	-22,45	-28,03	-18,01	-21,91	-17,19	-20,37	-23,43	-27,199
52	Rogers RO3010 (Lossy)	-57,34	-44,71	-36,24	-26,26	-26,23	-25,44	-30,39	-25,65	-26,56	-26,54	-20,79	-23,38	-23,66	-22,54	-28,28	-18,35	-21,81	-17,62	-20,31	-23,03	-27,256
53	Rogers RO3035 (Loss Free)	-62,24	-50	-42,61	37,09	-32,46	-28,17	-24,07	-23,52	-23,58	-20,43	-19,26	-20,7	-20,26	-18,19	-19,69	-21,97	-19,87	-21,11	-24,68	-22,88	23,93
54	Rogers RO3035 (Lossy)	-62,24	-50	-42,61	37,09	-32,46	-28,17	-24,09	-23,54	-23,58	-20,45	-19,29	-20,71	-20,26	-18,23	-19,71	-21,92	-19,89	-21,12	-24,56	-22,83	-23,928
55	Rogers RO3203 (Loss Free)	-63,56	-51,36	-44,03	-38,62	-34,18	-30,28	-26,61	-24,09	-23,87	-22,63	-19,82	-19,42	-20,11	27,74	-17,13	-18,27	-19,23	-17,01	-18,07	-19,78	-25,016
56	Rogers RO3203 (Lossy)	-63,56	-51,36	-44,04	-38,62	-34,18	-30,28	-26,62	-24,11	-23,88	-22,64	-19,85	-19,44	-20,12	-18,76	-17,17	-18,29	-19,22	-17,05	-18,09	-19,77	-27,352

Tablo 6.3'ün devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
57	Rogers RO3206 (Loss Free)	-59,03	-46,65	-38,92	-32,63	-25,65	-23,67	-24,7	-19,96	-25,37	-25,4	-29,15	-21,63	-28,41	-21,59	-21,84	-20,61	-18,55	-20,78	-17,87	-22,23	-27,232
58	Rogers RO3206 (Lossy)	-59,03	-46,65	-38,92	-32,63	-25,68	-23,7	-24,71	-20,16	-25,32	-25,33	-29,27	-21,89	-28,51	-21,66	-21,66	-20,59	-18,45	-20,74	-17,98	-22,1	-27,249
59	Rogers RO3210 (Loss Free)	-57,44	-44,83	-36,44	-27,02	-26,14	-25	-30,22	-26,38	-27,64	-22,72	-19,78	-23,26	-19,41	-23,51	-23,72	-20,35	-22,72	-18,69	-20,86	-20,15	-26,814
60	Rogers RO3210 (Lossy)	-57,44	-44,83	-36,44	-27,04	-26,2	-25,04	-30,24	-26,65	-27,77	-23,8	-20,02	-23,24	-19,79	-23,52	-23,8	-20,47	-22,53	-18,76	-20,79	-20,14	-26,925
61	Rogers RO4003C (Loss Free)	-62,33	-50,1	-42,72	-37,2	-32,59	-28,34	-24,26	-23,5	-23,61	-20,67	-19,15	-20,56	-20,42	-17,93	-19,4	-21,76	-19,22	-20,76	-24,07	-21,75	-27,517
62	Rogers RO4003C (Lossy)	-62,33	-50,1	-42,72	-37,21	-32,6	-28,35	-24,3	-23,54	-23,62	-20,7	-19,21	-20,59	-20,41	-18	-19,43	-21,69	-19,28	-20,76	-23,91	-21,74	-27,524
63	Rogers RO4003C LoPro (Loss Free)	-62,43	-50,2	-42,83	-37,32	-32,73	-28,51	-24,46	-23,49	-23,64	-20,9	-19,07	-20,42	-20,52	-17,69	-19,11	-21,44	-18,62	-20,4	-23,3	-20,57	-27,382
64	Rogers RO4003C LoPro (Lossy)	-62,43	-50,2	-42,83	-37,32	-32,73	-28,52	-24,49	-23,53	-23,65	-20,93	-19,13	-20,45	-20,51	-17,77	-19,16	-21,4	-18,73	-20,41	-23,21	-20,69	-27,404
65	Rogers RO4350B (Loss Free)	-62,12	-49,89	-42,49	-36,96	-32,31	-27,96	-23,85	-23,56	-23,53	-20,14	-19,4	-20,87	-19,98	-18,52	-20,07	-21,98	-20,64	-21,57	-24,87	-23,38	-27,704
66	Rogers RO4350B (Lossy)	-62,12	-49,89	-42,49	-36,96	-32,31	-27,97	-23,91	-23,6	-23,54	-20,2	-19,47	-20,89	-19,98	-18,59	-20,11	-21,85	-20,66	-21,59	-24,51	-23,69	-27,716
67	Rogers RO4350B LoPro (Loss Free)	-62,33	-50,1	-42,72	-37,2	-32,59	-28,34	-24,26	-23,5	-23,61	-20,67	-19,15	-20,56	-20,42	-17,93	-19,4	-21,76	-19,22	-20,75	-24,07	-21,75	-27,516
68	Rogers RO4350B LoPro (Lossy)	-62,33	-50,1	-42,72	-37,21	-32,6	-28,35	-24,31	-23,55	-23,62	-20,71	-19,23	-20,6	-20,4	-18,02	-19,44	-21,66	-19,31	-20,76	-23,85	-21,74	-27,525
69	Rogers RO4360G2 (Loss Free)	-59,16	-46,78	-39,08	-32,86	-26,16	-23,2	-24,68	-20,39	-25,29	-24,25	-27,47	-22,11	-26,6	-23,96	-20,95	-21,52	-17,75	-20,25	-18,27	-20,35	-27,054
70	Rogers RRO4360G2 (Lossy)	-59,16	-46,78	-39,08	-32,86	-26,19	-23,25	-24,7	-20,6	-25,21	-24,26	-27,66	-22,4	-26,84	-23,97	-20,7	-21,46	-17,75	-20,21	-18,3	-20,35	-27,086
71	Rogers RO4450B (Loss Free)	-62,05	-49,81	-42,41	-36,87	-32,2	-27,82	-23,71	-23,59	-23,49	-19,95	-19,5	-20,98	-19,73	-18,74	-20,34	-21,78	-21,14	-21,92	-24,44	-23,59	-27,703
72	Rogers RO4450B (Lossy)	-62,05	-49,81	-42,41	-36,87	-32,21	-27,84	-23,78	-23,63	-23,5	-20,02	-19,57	-21	-19,75	-18,8	-20,38	-21,64	-21,11	-21,92	-24,06	-23,89	-27,712
73	Rogers RO4450F (Loss Free)	-62,05	-49,81	-42,41	-36,87	-32,2	-27,82	-23,71	-23,59	-23,49	-19,95	-19,5	-20,98	-19,73	-18,74	-20,34	-21,78	-21,14	-21,92	-24,44	-23,59	-27,703
74	Rogers RO4450F (Lossy)	-62,05	-49,81	-42,41	-36,87	-32,21	-27,84	-23,78	-23,63	-23,5	-20,02	-19,57	-21	-19,75	-18,8	-20,38	-21,64	-21,11	-21,92	-24,06	-23,89	-27,712
75	Rogers RO4533 (Loss Free)	-62,54	-50,31	-42,94	-37,44	-32,87	-28,69	-24,66	-23,49	-23,67	-21,12	-19	-20,29	-20,57	-17,5	-18,85	-21,08	-18,19	-20,06	-22,52	-19,79	-27,279
76	Rogers RO4533 (Lossy)	-62,54	-50,31	-42,94	-37,45	-32,87	-28,7	-24,69	-23,52	-23,68	-21,14	-19,06	-20,32	-20,57	-17,59	-18,89	-21,07	-18,32	-20,07	-22,49	-20,01	-27,311
77	Rogers RO4534 (Loss Free)	-62,33	-50,1	-42,72	-37,2	-32,59	-28,34	-24,26	-23,5	-23,61	-20,67	-19,15	-20,56	-20,42	-17,93	-19,4	-21,76	-19,22	-20,76	-24,07	-21,75	-27,517
78	Rogers RO4534 (Lossy)	-62,33	-50,1	-42,72	-37,21	-32,6	-28,35	-24,3	-23,54	-23,62	-20,7	-19,21	-20,59	-20,41	-18	-19,43	-21,69	-19,28	-20,76	-23,91	-21,74	-27,524
79	Rogers RO4535 (Loss Free)	-62,12	-49,89	-42,49	-36,96	-32,31	-27,96	-23,85	-23,56	-23,53	-20,14	-19,4	-20,87	-19,98	-18,52	-20,07	-21,98	-20,64	-21,57	-24,87	-23,38	-27,704
80	Rogers RO4535 (Lossy)	-62,12	-49,89	-42,49	-36,96	-32,31	-27,97	-23,91	-23,6	-23,54	-20,2	-19,47	-20,89	-19,98	-18,59	-20,11	-21,85	-20,66	-21,59	-24,51	-23,69	-27,716
81	Rogers RO4725JWR (Loss Free)	-64,75	-52,57	-45,29	-39,94	-35,61	-31,89	-28,54	-25,67	-24,4	-23,59	-21,66	-19,81	-19,69	-19,47	-17,78	-17,08	-17,63	-17,5	-16,19	-16,63	-27,784
82	Rogers RO4725JWR (Lossy)	-64,75	-52,57	-45,29	-39,95	-35,61	-31,9	-28,55	-25,7	-24,43	-23,6	-21,69	-19,86	-19,73	-19,49	-17,82	-17,14	-17,67	-17,52	-16,26	-16,68	-27,81
83	Rogers RO4730G3 (Loss Free)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,74	-34,32	-30,43	-26,81	-24,21	-23,9	-22,75	-20,01	-19,38	-20,04	-18,91	-17,07	-18,08	-19,08	-16,96	-17,79	-19,34	-27,355
84	Rogers RO4730G3 (Lossy)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,75	-34,32	-30,44	-26,83	-24,25	-23,92	-22,76	-20,05	-19,44	-20,07	-18,92	-17,14	-18,13	-19,08	-17,05	-17,83	-19,35	-27,381

Tablo 6.3'ün devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
85	Rogers RO4730JWR (Loss Free)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,74	-34,31	-30,43	-26,81	-24,21	-23,9	-22,75	-20,01	-19,38	-20,04	-18,9	-17,07	-18,08	-19,08	-16,96	-17,79	-19,34	-27,354
86	Rogers RO4730JWR (Lossy)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,75	-34,32	-30,44	-26,82	-24,25	-23,92	-22,76	-20,05	-19,43	-20,06	-18,92	-17,14	-18,13	-19,07	-17,04	-17,83	-19,34	-27,378
87	Rogers RO4830 (Loss Free)	-63,1	-50,89	-43,54	-38,09	-33,6	-29,59	-25,76	-23,68	-23,78	-22,08	-19,18	-19,7	-20,4	-17,86	-17,71	-19,28	-19,26	-18,12	-19,51	-21,96	-27,354
88	Rogers RO4830 (Lossy)	-63,1	-50,89	-43,54	-38,1	-33,6	-29,6	-25,79	-23,73	-23,8	-22,1	-19,26	-19,75	-20,42	-17,93	-17,78	-19,32	-19,24	-18,18	-19,55	-21,83	-27,375
89	Rogers RO4835 (Loss Free)	-62,12	-49,89	-42,49	-36,96	-32,31	-27,96	-23,85	-23,56	-23,53	-20,14	-19,4	-20,87	-19,98	-18,52	-20,07	-21,98	-20,64	-21,57	-24,87	-23,38	-27,704
90	Rogers RO4835 (Lossy)	-62,12	-49,89	-42,49	-36,96	-32,31	-27,97	-23,91	-23,6	-23,54	-20,2	-19,47	-20,89	-19,98	-18,59	-20,11	-21,85	-20,66	-21,59	-24,51	-23,69	-27,716
91	Rogers RT4835 LoPro (Loss Free)	-62,33	-50,1	-42,72	-37,2	-32,59	-28,34	-24,26	-23,5	-23,61	-20,67	-19,15	-20,56	-20,42	-17,93	-19,4	-21,76	-19,22	-20,75	-24,07	-21,75	-27,516
92	Rogers RT4835 LoPro (Lossy)	-62,33	-50,1	-42,72	-37,21	-32,6	-28,35	-24,31	-23,545	-23,62	-20,71	-19,23	-20,59	-20,4	-18,02	-19,44	-21,66	-19,31	-20,76	-23,85	-21,74	-27,525
93	Rogers RT5870 (Loss Free)	-66,03	-53,87	-46,63	-41,34	-37,09	-33,48	-30,32	-27,54	-25,58	-24,5	-23,11	-21,31	-20,19	-19,75	-18,89	-17,64	-17,18	-17,07	-16,53	-15,79	-28,692
94	Rogers RT5870 (Lossy)	-66,03	-53,87	-46,63	-41,34	-37,09	-33,49	-30,33	-27,55	-25,6	-24,51	-23,12	-21,33	-20,21	-19,76	-18,9	-17,66	-17,2	-17,09	-16,55	-15,82	-28,704
95	Rogers RT5880 (Loss Free)	-66,68	-54,54	-47,31	-42,04	-37,82	-34,27	-31,17	-28,45	-26,34	-25,05	-23,75	-22,1	-20,75	-20,06	-19,29	-18,2	-17,42	-17,07	-16,63	-15,97	-29,245
96	Rogers RT5880 (Lossy)	-66,68	-54,54	-47,31	-42,05	-37,83	-34,27	-31,17	-28,45	-26,35	-25,06	-23,75	-22,11	-20,77	-20,07	-19,3	-18,21	-17,44	-17,09	-16,64	-15,99	-29,254
97	Rogers RT5880LZ (Loss Free)	-67,89	-55,76	-48,56	-43,33	-39,16	-35,67	-32,66	-30,03	-27,82	-26,22	-24,89	-23,43	-22,01	-20,95	-20,09	-19,16	-18,27	-17,56	-16,98	-16,43	-30,343
98	Rogers RT5880LZ (Lossy)	-67,89	-55,76	-48,56	-43,33	-39,16	-35,67	-32,66	-30,04	-27,84	-26,24	-24,91	-23,45	-22,04	-20,98	-20,12	-19,19	-18,3	-17,6	-17,01	-16,46	-30,36
99	Rogers RT6002 (Loss Free)	-63,78	-51,59	-44,27	-38,87	-34,45	-30,59	-27	-24,34	-23,93	-22,85	-20,19	-19,37	-19,98	-19,04	-17,03	-17,91	-18,91	-17	-17,51	-18,92	-27,376
100	Rogers RT6002 (Lossy)	-63,78	-51,59	-44,27	-38,87	-34,46	-30,6	-27,01	-24,36	-23,94	-22,86	-20,21	-19,39	-19,99	-19,04	-17,06	-17,93	-18,91	-17,03	-17,53	-18,93	-27,388
101	Rogers RT6006 (Loss Free)	-59,13	-46,74	-39,04	-32,8	-26,04	-23,32	-24,69	-20,16	-25,34	-24,51	-27,89	-21,73	-27,34	-23,3	-18,52	-21,34	-18,01	-20,41	-17,77	-20,85	-26,946
102	Rogers RT6006 (Lossy)	-59,13	-46,75	-39,04	-32,8	-26,06	-23,35	-24,7	-20,34	-25,29	-24,51	-28,02	-21,97	-27,61	-23,34	-19,1	-21,3	-18,03	-20,39	-17,73	-20,82	-27,014
103	Rogers RT6010LM (Loss Free)	-57,46	-44,86	-36,49	-27,21	-26,12	-24,92	-30,11	-25,99	-28,17	-25,22	-19,99	-23,2	-18,89	-23,94	-21,51	-20,99	-22,52	-18,48	-20,82	-19,23	-26,806
104	Rogers RT6010LM (Lossy)	-57,46	-44,86	-36,49	-27,23	-26,17	-24,95	-30,13	-26,07	-28,29	-25,01	-20,19	-23,17	-19,33	-23,91	-21,82	-21,08	-22,31	-18,6	-20,75	-19,32	-26,857
105	Rogers RT6035HTC (Loss Free)	-62,24	-50	-42,61	37,09	-32,46	-28,17	-24,07	-23,52	-23,58	-20,43	-19,26	-20,7	-20,26	-18,19	-19,69	-21,97	-19,87	-21,11	-24,67	-22,88	-23,929
106	Rogers RT6035HTC (Lossy)	-62,24	-50	-42,61	37,09	-32,46	-28,17	-24,09	-23,54	-23,58	-20,45	-19,28	-20,71	-20,25	-18,22	-19,71	-21,07	-23,68	-21,12	-24,57	-22,83	-24,074
107	Rogers RT6202 (Loss Free)	-63,78	-51,59	-44,27	-38,87	-34,45	-30,59	-27	-24,34	-23,93	-22,85	-20,19	-19,37	-19,98	-19,04	-17,03	-17,91	-18,91	-17	-17,51	-18,92	-27,376
108	Rogers RT6202 (Lossy)	-63,78	-51,59	-44,27	-38,87	-34,46	-30,6	-27,01	-24,36	-23,94	-22,86	-20,22	-19,39	-19,99	-19,04	-17,07	-17,93	-18,9	-17,03	-17,53	-18,93	-27,388
109	Rogers RT6202PR (Loss Free)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,74	-34,31	-30,43	-26,81	-24,21	-23,9	-22,75	-20,01	-19,38	-20,04	-18,9	-17,07	-18,08	-19,08	-16,96	-17,79	-19,34	-27,354
110	Rogers RT6202PR (Lossy)	-63,67	-51,47	-44,15	-38,75	-34,32	-30,44	-26,82	-24,24	-23,91	-22,76	-20,04	-19,42	-20,06	-18,92	-17,12	-18,12	-19,08	-17,02	-17,82	-19,35	-27,374
111	Rogers TC350 (Loss Free)	-62,24	-50	-42,61	37,09	-32,46	-28,17	-24,07	-23,52	-23,58	-20,43	-19,26	-20,7	-20,26	-18,2	-19,7	-21,97	-19,89	-21,12	-24,67	-22,88	-23,932
112	Rogers TC350 (Lossy)	-62,24	-50	-42,61	37,09	-32,47	-28,18	-24,1	-23,55	-23,58	-20,46	-19,3	-20,72	-20,26	-18,24	-19,72	-21,91	-19,9	-21,12	-24,53	-22,82	-23,931

Tablo 6.3'ün devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
113	Rogers TC600 (Loss Free)	-59,33	-46,96	-39,29	-33,15	-26,77	-22,64	-24,64	-21,91	-24,67	-23,25	-24,82	-25,48	-21,01	-27,49	-21,4	-22,1	-17,87	-19,18	-19,87	-18,23	-27,003
114	Rogers TC600 (Lossy)	-59,33	-46,96	-39,29	-33,15	-26,78	-22,68	-24,64	-21,94	-24,63	-23,28	-24,85	-25,49	-21,58	-27,45	-21,33	-22,06	-17,89	-19,18	-19,82	-18,23	-27,028
115	Rogers TMM 3 (Loss Free)	-62,54	-50,31	-42,94	-37,44	-32,87	-28,69	-24,66	-23,49	-23,67	-21,12	-19	-20,29	-20,57	-17,52	-18,86	-21,1	-18,21	-20,08	-22,54	-19,79	-27,284
116	Rogers TMM 3 (Lossy)	-62,54	-50,31	-42,94	-37,44	-32,87	-28,7	-24,69	-23,52	-23,68	-21,14	-19,05	-20,32	-20,57	-17,58	-18,89	-21,09	-18,32	-20,1	-22,52	-19,96	-27,311
117	Rogers TMM 4 (Loss Free)	-60,61	-48,32	-40,81	-35,06	-29,93	-24,38	-23,09	-24,24	-20,66	-20,92	-22,12	-19,07	-23,68	-24,02	-22,72	-24,12	-24,28	-24,03	-18,72	-14,87	-27,282
118	Rogers TMM 4 (Lossy)	-60,61	-48,32	-40,81	-35,06	-29,93	-24,4	-23,12	-24,24	-20,7	-20,94	-22,13	-19,24	-23,63	-24	-22,95	-24,33	-24,15	-23,94	-18,8	-15,83	-27,356
119	Rogers TMM 6 (Loss Free)	-59,22	-46,85	-39,16	-32,97	-26,41	-22,96	-24,67	-20,97	-25,11	-23,78	-26,61	-23,24	-24,16	-25,4	-21,63	-21,8	-15,24	-19,85	-19,15	-19,44	-26,931
120	Rogers TMM 6 (Lossy)	-59,22	-46,85	-39,16	-32,97	-26,42	-23	-24,68	-21,06	-25,06	-23,81	-26,73	-23,35	-24,18	-25,35	-21,54	-21,76	-15,82	-19,84	-19,13	-19,47	-26,97
121	Rogers TMM 10 (Loss Free)	-57,7	-45,15	-36,95	-28,71	-25,95	-24,83	-27,78	-24,67	-31,83	-24,04	-25,31	-20,94	-22,97	-22,37	-23,06	-23,08	-19,23	-23,23	-16,22	-20,34	-27,218
122	Rogers TMM 10 (Lossy)	-57,7	-45,15	-36,95	-28,72	-26,02	-24,86	-27,82	-24,76	-31,86	-24,03	-25,26	-20,78	-22,95	-22,32	-23,09	-26,33	-19,42	-23,07	-16,5	-20,29	-27,394
123	Rogers TMM 10i (Loss Free)	-57,67	-45,11	-36,9	-28,56	-25,96	-24,8	-28,25	-24,11	-31,64	-22,88	-24,88	-16,96	-22,97	-23,31	-23,22	-26,93	-19,58	-22,96	-15,71	-20,29	-27,134
124	Rogers TMM 10i (Lossy)	-57,67	-45,12	-36,9	-28,57	-26,03	-24,82	-28,28	-24,22	-31,67	-22,94	-24,84	-18,57	-22,95	-23,16	-23,23	-27,15	-19,7	-22,81	-16,17	-20,22	-27,251
125	Rogers TMM 13i (Loss Free)	-57,13	-44,45	-35,75	-24,1	-26,16	-21,82	-29,81	-31,39	-26,18	-24,29	-23,63	-23,99	-27,06	-19,79	-21,62	-22,48	-19,69	-21,63	-24,48	-21,39	-27,342
126	Rogers TMM 13i (Lossy)	-57,13	-44,45	-35,75	-24,18	-26,19	-22,12	-29,84	-31,41	-26,14	-24,26	-23,52	-23,88	-26,99	-20,86	-21,68	-22,35	-19,73	-21,57	-23,7	-21,35	-27,335
127	Rogers XT8000 (Loss Free)	-62,86	-50,64	-43,29	-37,82	-33,3	-29,22	-25,31	-23,56	-23,74	-21,73	-19	-19,92	-20,53	-17,46	-18,14	-19,97	-18,54	-18,95	-20,53	-21,98	-27,324
128	Rogers XT8000 (Lossy)	-62,86	-50,65	-43,29	-37,83	-33,3	-29,24	-25,35	-23,61	-23,74	-21,75	-19,09	-19,96	-20,53	-17,57	-18,2	-19,99	-18,62	-18,98	-20,55	-21,8	-27,345
129	Rogers XT8100 (Loss Free)	-62,43	-50,2	-42,83	-37,32	-32,73	-28,51	-24,46	-23,49	-23,64	-20,9	-19,07	-20,42	-20,52	-17,698	-19,11	-21,44	-18,62	-20,4	-23,3	-20,57	-27,383
130	Rogers XT8100 (Lossy)	-62,43	-50,21	-42,83	-37,33	-32,74	-28,53	-24,52	-23,56	-23,66	-20,95	-19,18	-20,47	-20,5	-17,83	-19,19	-21,37	-18,81	-20,42	-23,14	-20,78	-27,422
131	Lead Glass	-59,43	-47,07	-39,42	-33,32	-27,12	-22,37	-24,59	-22,7	-24,05	-22,9	-22,47	-27,28	-27,16	-28,6	-19,5	-22,29	-19,32	-18,49	-19,96	-17,48	-27,276
132	Mica (Glass Bonded)	-59,43	-47,07	-39,42	-33,32	-27,12	-22,37	-24,59	-22,7	-24,05	-22,9	-22,47	-27,28	-27,15	-28,6	-19,5	-22,29	-19,32	-18,49	-19,96	-17,48	-27,275
133	Schott FOTURAN II (Glass)	-59,16	-46,78	-39,08	-32,87	-26,24	-23,36	-24,72	-20,97	-25,08	-24,29	-28	-22,88	-26,4	-23,98	-20,73	-21,36	-17,9	-20,16	-18,49	-20,33	-27,139
134	Wood	-67,58	-56,19	-50,51	-45,9	-42,65	-39,39	-36,65	-34,35	-32,4	-30,74	-29,27	-27,93	-26,72	-25,63	-24,62	-23,68	-22,85	-22,09	-21,36	-20,69	-34,06
135	FR-4 (Loss Free)	-61,11	-48,84	-41,37	-35,71	-30,79	-25,77	-22,69	-24,08	-22,38	-19,37	-21,14	-22,27	-20,61	-21,52	-24,5	-23,72	-23,27	-20,5	-24,62	-19,93	-27,709
136	FR-4 (Lossy)	-61,11	-48,84	-41,39	-35,73	-30,83	-25,95	-23,17	-24,19	-22,46	-19,96	-21,35	-22,03	-20,9	-21,68	-23,29	-24,5	-23,13	-22,06	-23,36	-20,07	-27,8
137	FR-4 (Lossy-thermal anisotropic)	-61,11	-48,84	-41,39	-35,73	-30,83	-25,95	-23,17	-24,19	-22,46	-19,96	-21,35	-22,03	-20,9	-21,68	-23,29	-24,5	-23,13	-22,06	-23,36	-20,07	-27,8
138	copper (annealed)	-52,18	-40,71	-34,68	-31,28	-29,84	-29,94	-30,35	-29,97	-28,9	-27,73	-26,88	-26,28	-25,59	-24,69	-23,99	-23,59	-23,23	-22,76	-22,36	-22,06	-28,85
139	copper (pure)	-52,96	-41,04	-34,38	-30,62	-29,52	-30,18	-30,73	-29,88	-28,73	-27,73	-27,02	-26,44	-25,82	-25,16	-24,58	-24,09	-23,64	-23,18	-22,74	-22,34	-29,039

Tablo 6.4 5mm yarıçapa ve 1cm yüksekliğe sahip olan silindire ait RKA (CST Simülasyonu) sonuçları

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
1	Arlon AD 250C (Loss Free)	-80,03	67,94	-60,8	-55,66	-51,6	-48,2	-45,25	-42,63	-40,26	-38,11	-36,16	-34,37	-32,7	-31,24	-30,08	-29,21	-28,51	-27,85	-27,16	-26,4	-34,914
2	Arlon AD 250C (Lossy)	Gelen düzlem dalgası, simetri düzlemleriyle çakışıyor.																				
3	Arlon AD 255C (Loss Free)	-79,65	-67,55	-60,4	-55,26	-51,19	-47,78	-44,82	-42,17	-39,78	-37,62	-35,64	-33,82	-32,13	-30,69	-29,62	-28,85	-28,18	-27,51	-26,78	-26	-41,272
4	Arlon AD 255C (Lossy)	-79,65	-67,55	-60,41	-55,26	-51,19	-47,78	-44,82	-42,17	-39,79	-37,62	-35,65	-33,82	-32,14	-30,7	-29,64	-28,86	-28,2	-27,52	-26,8	-26,01	-41,279
5	Arlon AD 260A (Loss Free)	-79,65	-67,55	-60,4	-55,26	-51,19	-47,78	-44,82	-42,17	-39,78	-37,62	-35,64	-33,82	-32,13	-30,69	-29,62	-28,85	-28,18	-27,51	-26,78	-26	-41,272
6	Arlon AD 260A (Lossy)	-79,65	-67,55	-60,41	-55,26	-51,19	-47,78	-44,82	-42,18	-39,79	-37,62	-35,65	-33,83	-32,14	-30,7	-29,64	-28,87	-28,2	-27,53	-26,8	-26,02	-41,281
7	Arlon AD 300C (Loss Free)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,98	-33,89	-31,92	-30,21	-29,07	-28,47	-27,94	-27,23	-26,38	-25,48	-24,74	-39,897
8	Arlon AD 300C (Lossy)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,99	-33,9	-31,93	-30,23	-29,1	-28,49	-27,95	-27,24	-26,39	-25,5	-24,77	-39,906
9	Arlon AD 300D (Loss Free)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,98	-33,89	-31,92	-30,21	-29,07	-28,47	-27,94	-27,23	-26,38	-25,48	-24,74	-39,987
10	Arlon AD 300D (Lossy)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,99	-33,9	-31,93	-30,23	-29,1	-28,49	-27,95	-27,24	-26,39	-25,5	-24,77	-39,906
11	Arlon AD 320A (Loss Free)	-77,88	-65,76	-58,59	-53,4	-49,28	-45,8	-42,75	-40	-37,48	-35,16	-32,98	-30,93	-29,3	-28,51	-28,15	-27,59	-26,74	-25,75	-24,83	-24,39	-39,313
12	Arlon AD 320A (Lossy)	-77,87	-65,76	-58,59	-53,4	-49,28	-45,8	-42,75	-40	-37,49	-35,17	-33	-30,95	-29,34	-28,56	-28,19	-27,62	-26,77	-25,79	-24,89	-24,46	-39,329
13	Arlon AD 350A (Loss Free)	-77,22	-65,1	-57,91	-52,71	-48,56	-45,04	-41,95	-39,14	-36,56	-34,14	-31,81	-29,67	-28,39	-28,17	-27,93	-27,16	-26,05	-24,92	-24,31	-24,63	-38,568
14	Arlon AD 350A (Lossy)	-77,22	-65,1	-57,91	-52,71	-48,56	-45,05	-41,95	-39,15	-36,56	-34,15	-31,83	-29,71	-28,44	-28,2	-27,96	-27,19	-26,08	-24,97	-24,37	-24,69	-38,59
15	Arlon AD 410 (Loss Free)	-76,19	-64,05	-56,84	-51,61	-47,41	-43,83	-40,64	-37,72	-34,96	-32,27	-29,59	-27,79	-27,94	-28,23	-27,53	-26,11	-24,61	-24,2	-25,37	-26,93	-37,691
16	Arlon AD 410 (Lossy)	-76,19	-64,05	-56,84	-51,61	-47,41	-43,83	-40,64	-37,72	-34,97	-32,28	-29,62	-27,82	-27,98	-28,25	-27,54	-26,14	-24,67	-24,28	-25,42	-26,95	-37,71
17	Arlon AD 430 (Loss Free)	-75,91	-63,77	-56,55	-51,3	-47,09	-43,49	-40,27	-37,3	-34,48	-31,67	-28,89	-27,5	-28,09	-28,27	-27,32	-25,7	-24,24	-24,57	-26,18	-28,13	-37,536
18	Arlon AD 430 (Lossy)	-75,91	-63,77	-56,55	-51,3	-47,09	-43,49	-40,27	-37,31	-34,49	-31,69	-28,92	-27,56	-28,12	-28,29	-27,34	-25,74	-24,31	-24,65	-26,23	-28,14	-37,558
19	Arlon AD 450 (Loss Free)	-75,65	-63,51	-56,28	-51,02	-46,79	-43,17	-39,92	-36,91	-34,01	-31,07	-28,22	-27,41	-28,28	-28,28	-27,08	-25,29	-24,09	-25,21	-27,15	-29,6	-37,447
20	Arlon AD 450 (Lossy)	-75,65	-63,51	-56,28	-51,02	-46,79	-43,17	-39,93	-36,91	-34,02	-31,09	-28,28	-27,47	-28,31	-28,29	-27,1	-25,33	-24,18	-25,27	-27,19	-29,52	-37,465
21	Arlon AD 600 (Loss Free)	-74,14	-61,96	-54,68	-49,34	-44,98	-41,17	-37,63	-34,09	-30,14	-26,41	-28,02	-29,17	-28,91	-27,37	-25,16	-27,05	-30,64	-32,97	-24,23	-31,06	-36,956
22	Arlon AD 600 (Lossy)	-74,14	-61,96	-54,68	-49,34	-44,98	-41,17	-37,63	-34,1	-30,16	-26,5	-28,06	-29,19	-28,93	-27,39	-25,26	-27,1	-30,68	-33,06	-24,49	-31,96	-37,039
23	Arlon AD 1000 (Loss Free)	-72,41	-60,17	-52,78	-47,23	-42,52	-38,04	-32,86	-26,01	-30,72	-29,27	-32,23	-31,56	-30,35	-35,15	-23,93	-31,97	-29,17	-20,45	-30,29	-28,17	-36,264
24	Arlon AD 1000 (Lossy)	-72,41	-60,17	-52,78	-47,23	-42,52	-38,04	-32,87	-26,13	-30,71	-29,3	-32,28	-32,05	-30,46	-35,27	-24,3	-32,08	-29,19	-20,89	-30,13	-28,23	-36,352
25	Arlon CLTE (Loss Free)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,98	-33,89	-31,92	-30,21	-29,07	-28,47	-27,94	-27,23	-26,38	-25,48	-24,74	-39,897
26	Arlon CLTE (Lossy)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,99	-33,9	-31,94	-30,23	-29,1	-28,5	-27,96	-27,25	-26,4	-25,51	-24,78	-39,91
27	Arlon CLTE-AT (Loss Free)	-78,38	-66,28	-59,11	-53,94	-49,83	-46,38	-43,35	-40,64	-38,17	-35,9	-33,8	-31,83	-30,12	-29,01	-28,43	-27,9	-27,18	-26,32	-25,41	-24,69	-39,833
28	Arlon CLTE-AT (Lossy)	-78,39	-66,28	-59,11	-53,94	-49,83	-46,38	-43,35	-40,64	-38,17	-35,91	-33,81	-31,84	-30,13	-29,03	-28,45	-27,92	-27,19	-26,33	-25,43	-24,71	-39,842

Tablo 6.4'ün devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
29	Arlon CLTE-XT (Loss Free)	-78,55	-66,44	-59,28	-54,12	-50,01	-46,56	-43,55	-40,85	-38,39	-36,14	-34,06	-32,11	-30,39	-29,21	-28,55	-28,01	-27,32	-26,49	-25,61	-24,84	-40,024
30	Arlon CLTE-XT (Lossy)	-78,55	-66,45	-59,28	-54,12	-50,02	-46,57	-43,55	-40,85	-38,39	-36,14	-34,07	-32,12	-30,4	-29,22	-28,57	-28,02	-27,33	-26,5	-25,62	-24,86	-40,031
31	Arlon CuClad 217 (Loss Free)	-81,41	-69,32	-62,2	-57,08	-53,05	-49,7	-46,79	-44,22	-41,91	-39,82	-37,94	-36,23	-34,64	-33,17	-31,87	-30,76	-29,87	-29,12	-28,46	-27,79	-43,267
32	Arlon CuClad 217 (Lossy)	-81,41	-69,32	-62,2	-57,08	-53,05	-49,7	-46,79	-44,22	-41,91	-39,83	-37,94	-36,23	-34,65	-33,18	-31,87	-30,77	-29,87	-29,13	-28,46	-27,8	-43,27
33	Arlon CuClad 233 (Loss Free)	-80,76	-68,67	-61,54	-56,42	-52,37	-49	-46,08	-43,48	-41,14	-39,03	-37,12	-35,38	-33,76	-32,28	-31,02	-30	-29,2	-28,51	-27,85	-27,16	-42,538
34	Arlon CuClad 233 (Lossy)	-80,76	-68,67	-61,54	-56,42	-52,37	-49	-46,08	-43,48	-41,15	-39,04	-37,13	-35,38	-33,77	-32,29	-31,03	-30,02	-29,21	-28,52	-27,86	-27,17	-42,544
35	Arlon CuClad 250 (Loss Free)	-80,04	67,94	-60,8	-55,66	-51,6	-48,2	-45,25	-42,63	-40,26	-38,11	-36,16	-34,37	-32,7	-31,24	-30,08	-29,21	-28,51	-27,85	-27,16	-26,4	-34,914
36	Arlon CuClad 250 (Lossy)	-80,03	67,94	-60,8	-55,66	-51,6	-48,2	-45,25	-42,63	-40,26	-38,11	-36,17	-34,38	-32,71	-31,25	-30,1	-29,23	-28,53	-27,86	-27,17	-26,42	-34,921
37	Arlon DiClad 527 (Loss Free)	-80,04	67,94	-60,8	-55,66	-51,6	-48,2	-45,25	-42,63	-40,26	-38,11	-36,16	-34,37	-32,7	-31,24	-30,08	-29,21	-28,51	-27,85	-27,16	-26,4	-34,914
38	Arlon DiClad 527 (Lossy)	-80,03	67,94	-60,8	-55,66	-51,6	-48,2	-45,25	-42,63	-40,26	-38,11	-36,17	-34,38	-32,71	-31,25	-30,1	-29,23	-28,53	-27,86	-27,17	-26,42	-34,921
39	Arlon DiClad 870 (Loss Free)	-80,76	-68,67	-61,54	-56,42	-52,37	-49	-46,08	-43,48	-41,14	-39,03	-37,12	-35,38	-33,76	-32,28	-31,02	-30	-29,2	-28,51	-27,85	-27,16	-42,538
40	Arlon DiClad 870 (Lossy)	-80,76	-68,67	-61,54	-56,42	-52,37	-49	-46,08	-43,48	-41,15	-39,04	-37,13	-35,38	-33,77	-32,29	-31,03	-30,02	-29,21	-28,52	-27,86	-27,17	-42,544
41	Arlon DiClad 880 (Loss Free)	-81,41	-69,32	-62,2	-57,08	-53,05	-49,7	-46,79	-44,22	-41,91	-39,82	-37,94	-36,23	-34,64	-33,17	-31,87	-30,76	-29,87	-29,12	-28,46	-27,79	-43,267
42	Arlon DiClad 880 (Lossy)	-81,41	-69,32	-62,2	-57,08	-53,05	-49,7	-46,79	-44,22	-41,91	-39,83	-37,94	-36,23	-34,65	-33,18	-31,87	-30,77	-29,87	-29,13	-28,46	-27,8	-43,27
43	Arlon IsoClad 917 (Loss Free)	-81,57	-69,49	-62,36	-57,25	-53,22	-49,87	-46,97	-44,41	-42,1	-40,02	-38,14	-36,44	-34,86	-33,39	-32,08	-30,96	-30,04	-29,28	-28,61	-27,95	-43,45
44	Arlon IsoClad 917 (Lossy)	-81,57	-69,49	-62,37	-57,25	-53,23	-49,87	-46,98	-44,41	-42,1	-40,03	-38,15	-36,44	-34,87	-33,4	-32,09	-30,98	-30,06	-29,3	-28,63	-27,97	-43,459
45	Arlon IsoClad 933 (Loss Free)	-80,76	-68,67	-61,54	-56,42	-52,37	-49	-46,08	-43,48	-41,14	-39,03	-37,12	-35,38	-33,76	-32,28	-31,02	-30	-29,2	-28,51	-27,85	-27,16	-42,538
46	Arlon IsoClad 933 (Lossy)	-80,77	-68,68	-61,54	-56,42	-52,38	-49	-46,08	-43,48	-41,15	-39,04	-37,13	-35,39	-33,77	-32,29	-31,03	-30,02	-29,22	-28,52	-27,87	-27,17	-42,547
47	Rogers RO3003 (Loss Free)	-78,38	-66,28	-59,11	-53,94	-49,83	-46,38	-43,35	-40,64	-38,17	-35,9	-33,8	-31,83	-30,12	-29,01	-28,43	-27,9	-27,18	-26,32	-25,41	-24,69	-39,833
48	Rogers RO3003 (Lossy)	-78,38	-66,28	-59,11	-53,94	-49,83	-46,38	-43,35	-40,64	-38,17	-35,91	-33,81	-31,84	-30,13	-29,03	-28,45	-27,91	-27,19	-26,33	-25,43	-24,71	-39,841
49	Rogers RO3006 (Loss Free)	-73,91	-61,73	-54,44	-49,08	-44,69	-40,84	-37,22	-33,52	-29,21	-26,29	-28,63	-29,31	-28,92	-27,14	-26,22	-28,31	-33,66	-26,92	-27,22	-33,59	-37,042
50	Rogers RO3006 (Lossy)	-73,91	-61,73	-54,44	-49,08	-44,69	-40,84	-37,22	-33,53	-29,22	-26,35	-28,64	-29,32	-28,93	-27,16	-26,25	-28,34	-33,77	-27,09	-27,31	-33,65	-37,073
51	Rogers RO3010 (Loss Free)	-72,17	-59,92	-52,49	-46,89	-42,08	-37,33	-31,23	-28,49	-30,8	-29,08	-34,16	-32,61	-33,13	-29,76	-32,78	-29,48	-25,25	-30,22	-27,44	-26,16	-36,573
52	Rogers RO3010 (Lossy)	-72,17	-59,92	-52,49	-46,89	-42,08	-37,34	-31,24	-28,54	-30,79	-29,14	-34,19	-32,65	-33,39	-29,84	-32,88	-29,49	-25,27	-30,01	-27,52	-26,48	-36,616
53	Rogers RO3035 (Loss Free)	-77,02	-64,9	-57,71	-52,5	-48,34	-44,82	-41,71	-38,88	-36,27	-33,82	-31,44	-29,29	-28,2	-28,14	-27,88	-27,02	-25,82	-24,68	-24,29	-24,89	-38,381
54	Rogers RO3035 (Lossy)	-77,02	-64,9	-57,71	-52,5	-48,34	-44,82	-41,71	-38,88	-36,27	-33,82	-31,44	-29,31	-28,2	-28,15	-27,89	-27,02	-25,83	-24,7	-24,31	-24,91	-38,386
55	Rogers RO3203 (Loss Free)	-78,33	-66,22	-59,06	-53,88	-49,77	-46,32	-43,29	-40,57	-38,1	-35,83	-33,72	-31,74	-30,03	-28,95	-28,4	-27,87	-27,14	-26,27	-25,35	-24,65	-39,774
56	Rogers RO3203 (Lossy)	-78,33	-66,22	-59,06	-53,88	-49,78	-46,32	-43,29	-40,57	-38,1	-35,83	-33,73	-31,75	-30,04	-28,97	-28,42	-27,88	-27,15	-26,28	-25,37	-24,67	-39,782

Tablo 6.4'ün devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
57	Rogers RO3206 (Loss Free)	-73,85	-61,67	-54,37	-49,01	-44,61	-40,75	-37,1	-33,36	-28,93	-26,37	-28,76	-29,33	-28,93	-27,06	-26,58	-28,72	-33,77	-25,47	-28,66	-33,17	-37,023
58	Rogers RO3206 (Lossy)	-73,85	-61,67	-54,38	-49,01	-44,62	-40,75	-37,11	-33,37	-28,96	-26,45	-28,78	-29,35	-28,95	-27,1	-26,62	-28,77	-33,91	-25,73	-28,75	-33	-37,056
59	Rogers RO3210 (Loss Free)	-72,26	-60,02	-52,6	-47,02	-42,25	-37,62	-31,93	-27,01	-30,86	-29,06	-33,34	-32,73	-30,76	-33,88	-30,38	-29,43	-27,8	-27,42	-28,3	-25,01	-36,484
60	Rogers RO3210 (Lossy)	-72,26	-60,02	-52,6	-47,02	-42,25	-37,62	-31,95	-27,12	-30,89	-29,12	-33,4	-32,77	-31,02	-33,9	-30,44	-29,49	-27,74	-27,27	-28,31	-25,36	-36,527
61	Rogers RO4003C (Loss Free)	-77,12	-64,99	-57,81	-52,6	-48,45	-44,93	-41,82	-39,01	-36,41	-33,97	-31,62	-29,48	-28,29	-28,14	-27,91	-27,09	-25,93	-24,79	-24,28	-24,75	-38,469
62	Rogers RO4003C (Lossy)	-77,12	-65	-57,81	-52,6	-48,45	-44,93	-41,83	-39,02	-36,42	-33,98	-31,64	-29,51	-28,33	-28,18	-27,93	-27,11	-25,96	-24,83	-24,34	-24,8	-38,489
63	Rogers RO4003C LoPro (Loss Free)	-77,22	-65,1	-57,91	-52,71	-48,56	-45,04	-41,95	-39,14	-36,56	-34,14	-31,81	-29,67	-28,39	-28,17	-27,93	-27,16	-26,05	-24,92	-24,31	-24,63	-38,568
64	Rogers RO4003C LoPro (Lossy)	-77,22	-65,1	-57,91	-52,71	-48,56	-45,05	-41,95	-39,15	-36,56	-34,15	-31,83	-29,7	-28,44	-28,2	-27,96	-27,19	-26,08	-24,96	-24,37	-24,69	-38,589
65	Rogers RO4350B (Loss Free)	-76,91	-64,79	-57,59	-52,38	-48,22	-44,69	-41,57	-38,73	-36,11	-33,62	-31,21	-29,07	-28,1	-28,13	-27,85	-26,91	-25,67	-24,54	-24,31	-25,06	-38,273
66	Rogers RO4350B (Lossy)	-76,91	-64,79	-57,59	-52,38	-48,22	-44,69	-41,57	-38,74	-36,11	-33,64	-31,23	-29,11	-28,16	-28,17	-27,87	-26,94	-25,7	-24,6	-24,39	-25,12	-38,296
67	Rogers RO4350B LoPro (Loss Free)	-77,12	-64,99	-57,81	-52,6	-48,45	-44,93	-41,82	-39,01	-36,41	-33,97	-31,62	-29,48	-28,29	-28,14	-27,91	-27,09	-25,93	-24,79	-24,28	-24,75	-38,469
68	Rogers RO4350B LoPro (Lossy)	-77,12	-65	-57,81	-52,6	-48,45	-44,93	-41,83	-39,02	-36,42	-33,99	-31,64	-29,52	-28,35	-28,19	-27,93	-27,11	-25,97	-24,85	-24,36	-24,82	-38,495
69	Rogers RO4360G2 (Loss Free)	-73,97	-61,79	-54,51	-49,15	-44,77	-40,93	-37,33	-33,69	-29,48	-26,25	-28,47	-29,28	-28,91	-27,22	-25,85	-27,92	-33,34	-28,33	-26,02	-33,66	-37,043
70	Rogers RRO4360G2 (Lossy)	-73,97	-61,79	-54,51	-49,15	-44,78	-40,93	-37,34	-33,7	-29,51	-26,37	-28,5	-29,3	-28,94	-27,26	-25,94	-27,98	-33,32	-28,67	-26,25	-33,54	-37,087
71	Rogers RO4450B (Loss Free)	-76,84	-64,71	-57,52	-52,3	-48,14	-44,6	-41,48	-38,63	-36	-33,5	-31,06	-28,93	-28,05	-28,13	-27,83	-26,85	-25,57	-24,46	-24,35	-25,19	-38,207
72	Rogers RO4450B (Lossy)	-76,84	-64,71	-57,52	-52,3	-48,14	-44,6	-41,48	-38,64	-36	-33,51	-31,09	-28,98	-28,11	-28,17	-27,85	-26,87	-25,61	-24,53	-24,43	-25,25	-38,231
73	Rogers RO4450F (Loss Free)	-76,84	-64,71	-57,52	-52,3	-48,14	-44,6	-41,48	-38,63	-36	-33,5	-31,06	-28,93	-28,05	-28,13	-27,83	-26,85	-25,57	-24,46	-24,35	-25,19	-38,207
74	Rogers RO4450F (Lossy)	-76,84	-64,71	-57,52	-52,3	-48,14	-44,6	-41,48	-38,64	-36	-33,51	-31,09	-28,98	-28,11	-28,17	-27,85	-26,87	-25,61	-24,53	-24,43	-25,25	-38,231
75	Rogers RO4533 (Loss Free)	-77,32	-65,2	-58,02	-52,82	-48,67	-45,16	-42,07	-39,28	-36,7	-34,3	-32	-29,87	-28,51	-28,19	-27,96	-27,24	-26,17	-25,05	-24,35	-24,54	-38,671
76	Rogers RO4533 (Lossy)	-77,32	-65,2	-58,02	-52,82	-48,67	-45,16	-42,07	-39,28	-36,71	-34,31	-32,02	-29,9	-28,55	-28,23	-27,98	-27,26	-26,19	-25,09	-24,4	-24,59	-38,688
77	Rogers RO4534 (Loss Free)	-77,12	-64,99	-57,81	-52,6	-48,45	-44,93	-41,82	-39,01	-36,41	-33,97	-31,62	-29,48	-28,29	-28,14	-27,91	-27,09	-25,93	-24,79	-24,28	-24,75	-38,469
78	Rogers RO4534 (Lossy)	-77,12	-65	-57,81	-52,6	-48,45	-44,93	-41,83	-39,02	-36,42	-33,98	-31,64	-29,51	-28,33	-28,18	-27,93	-27,11	-25,96	-24,83	-24,34	-24,8	-38,489
79	Rogers RO4535 (Loss Free)	-76,91	-64,79	-57,59	-52,38	-48,22	-44,69	-41,57	-38,73	-36,11	-33,62	-31,21	-29,07	-28,1	-28,13	-27,85	-26,91	-25,67	-24,54	-24,31	-25,06	-38,273
80	Rogers RO4535 (Lossy)	-76,91	-64,79	-57,59	-52,38	-48,22	-44,69	-41,57	-38,74	-36,11	-33,64	-31,23	-29,11	-28,16	-28,17	-27,87	-26,94	-25,7	-24,6	-24,39	-25,12	-38,296
81	Rogers RO4725JWR (Loss Free)	-79,51	-67,41	-60,26	-55,11	-51,04	-47,62	-44,65	-42	-39,61	-37,43	-35,44	-33,6	-31,91	-30,48	-29,46	-28,72	-28,07	-27,39	-36,64	-25,84	-41,609
82	Rogers RO4725JWR (Lossy)	-79,5	-67,4	-60,26	-55,11	-51,04	-47,62	-44,65	-42	-39,61	-37,43	-35,45	-33,62	-31,92	-30,51	-29,49	-28,75	-28,09	-27,41	-36,67	-25,87	-41,62
83	Rogers RO4730G3 (Loss Free)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,98	-33,89	-31,92	-30,21	-29,07	-28,47	-27,94	-27,23	-26,38	-25,48	-24,74	-39,897
84	Rogers RO4730G3 (Lossy)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,98	-33,89	-31,92	-30,21	-29,07	-28,47	-27,94	-27,23	-26,38	-25,48	-24,74	-39,897

Tablo 6.4'ün devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
85	Rogers RO4730JWR (Loss Free)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,98	-33,89	-31,92	-30,21	-29,07	-28,47	-27,94	-27,23	-26,38	-25,48	-24,74	-39,897
86	Rogers RO4730JWR (Lossy)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,25	-35,99	-33,9	-31,94	-30,23	-29,11	-28,5	-27,96	-27,24	-26,4	-25,51	-24,78	-39,91
87	Rogers RO4830 (Loss Free)	-77,88	-65,76	-58,59	-53,4	-49,28	-45,8	-42,75	-40	-37,48	-35,16	-32,98	-30,93	-29,3	-28,51	-28,15	-27,59	-26,74	-25,75	-24,83	-24,39	-39,263
88	Rogers RO4830 (Lossy)	-77,88	-65,76	-58,59	-53,4	-49,28	-45,8	-42,75	-40	-37,49	-35,17	-33	-30,95	-29,34	-28,56	-28,19	-27,63	-26,77	-25,79	-24,89	-24,47	-39,285
89	Rogers RO4835 (Loss Free)	-76,91	-64,79	-57,59	-52,38	-48,22	-44,69	-41,57	-38,73	-36,11	-33,62	-31,21	-29,07	-28,1	-28,13	-27,85	-26,91	-25,67	-24,54	-24,31	-25,06	-38,273
90	Rogers RO4835 (Lossy)	-76,91	-64,79	-57,59	-52,38	-48,22	-44,69	-41,57	-38,74	-36,11	-33,64	-31,23	-29,11	-28,16	-28,17	-27,87	-26,94	-25,7	-24,6	-24,39	-25,12	-38,296
91	Rogers RT4835 LoPro (Loss Free)	-77,12	-64,99	-57,81	-52,6	-48,45	-44,93	-41,82	-39,01	-36,41	-33,97	-31,62	-29,48	-28,29	-28,14	-27,91	-27,09	-25,93	-24,79	-24,28	-24,75	-38,469
92	Rogers RT4835 LoPro (Lossy)	-77,12	-65	-57,81	-52,6	-48,45	-44,93	-41,83	-39,02	-36,42	-33,99	-31,64	-29,52	-28,34	-28,19	-27,93	-27,11	-25,97	-24,85	-24,36	-24,82	-38,495
93	Rogers RT5870 (Loss Free)	-80,76	-68,67	-61,54	-56,42	-52,37	-49	-46,08	-43,48	-41,14	-39,03	-37,12	-35,38	-33,76	-32,28	-31,02	-30	-29,2	-28,51	-27,85	-27,16	-42,538
94	Rogers RT5870 (Lossy)	-80,76	-68,67	-61,54	-56,42	-52,37	-49	-46,08	-43,48	-41,15	-39,03	-37,13	-35,38	-33,76	-32,29	-31,03	-30,02	-29,21	-28,52	-27,86	-27,17	-42,534
95	Rogers RT5880 (Loss Free)	-81,41	-69,32	-62,2	-57,08	-53,05	-49,7	-46,79	-44,22	-41,91	-39,82	-37,94	-36,23	-34,64	-33,17	-31,87	-30,76	-29,87	-29,12	-28,46	-27,79	-43,267
96	Rogers RT5880 (Lossy)	-81,41	-69,32	-62,2	-57,08	-53,05	-49,7	-46,79	-44,22	-41,91	-39,83	-37,94	-36,23	-34,65	-33,18	-31,87	-30,77	-29,87	-29,13	-28,46	-27,8	-43,27
97	Rogers RT5880LZ (Loss Free)	-82,6	-70,52	-63,41	-58,31	-54,3	-50,97	-48,1	-45,56	-43,29	-41,24	-39,4	-37,73	-36,19	-34,75	-33,42	-32,24	-31,21	-30,35	-29,62	-28,96	-44,608
98	Rogers RT5880LZ (Lossy)	-82,6	-70,52	-63,41	-58,31	-54,3	-50,97	-48,1	-45,56	-43,29	-41,25	-39,4	-37,73	-36,19	-34,76	-33,44	-32,25	-31,23	-30,37	-29,64	-28,97	-44,614
99	Rogers RT6002 (Loss Free)	-78,55	-66,44	-59,28	-54,12	-50,01	-46,56	-43,55	-40,85	-38,39	-36,14	-34,06	-32,11	-30,39	-29,21	-28,55	-28,01	-27,32	-26,49	-25,61	-24,84	-40,024
100	Rogers RT6002 (Lossy)	-78,55	-66,45	-59,28	-54,12	-50,02	-46,57	-43,55	-40,85	-38,39	-36,14	-34,07	-32,12	-30,4	-29,22	-28,57	-28,02	-27,33	-26,5	-25,62	-24,86	-40,31
101	Rogers RT6006 (Loss Free)	-73,94	-61,76	-54,47	-49,11	-44,73	-40,88	-37,27	-33,61	-29,34	-26,26	-28,55	-29,3	-28,9	-27,18	-26,04	-28,11	-33,63	-27,59	-26,59	-33,72	-37,049
102	Rogers RT6006 (Lossy)	-73,94	-61,76	-54,47	-49,11	-44,73	-40,88	-37,28	-33,61	-29,37	-26,35	-28,57	-29,31	-28,93	-27,21	-26,09	-28,16	-33,76	-27,86	-26,73	-33,71	-37,091
103	Rogers RT6010LM (Loss Free)	-72,29	-60,04	-52,63	-47,06	-42,3	-37,69	-32,1	-26,71	-30,87	-29,08	-33,01	-32,71	-30,51	-35,23	-28,29	-29,64	-28,16	-25,86	-28,73	-25,31	-36,411
104	Rogers RT6010LM (Lossy)	-72,29	-60,04	-52,63	-47,06	-42,3	-37,69	-32,11	-26,81	-30,9	-29,13	-33,03	-32,75	-30,71	-35,24	-28,43	-29,7	-28,12	-25,83	-28,71	-25,73	-36,46
105	Rogers RT6035HTC (Loss Free)	-77,02	-64,9	-57,71	-52,5	-48,34	-44,82	-41,71	-38,88	-36,27	-33,81	-31,44	-29,29	-28,2	-28,14	-27,88	-27,01	-25,82	-24,68	-24,29	-24,89	-38,38
106	Rogers RT6035HTC (Lossy)	-77,02	-64,9	-57,71	-52,5	-48,34	-44,82	-41,71	-38,88	-36,27	-33,82	-31,44	-29,3	-28,21	-28,15	-27,89	-27,02	-25,83	-24,69	-24,31	-24,9	-38,385
107	Rogers RT6202 (Loss Free)	-78,55	-66,44	-59,28	-54,12	-50,01	-46,56	-43,55	-40,85	-38,39	-36,14	-34,06	-32,11	-30,39	-29,21	-28,55	-28,01	-27,32	-26,49	-25,61	-24,84	-40,024
108	Rogers RT6202 (Lossy)	-78,55	-66,44	-59,28	-54,12	-50,01	-46,57	-43,55	-40,85	-38,39	-36,14	-34,07	-32,12	-30,4	-29,22	-28,57	-28,02	-27,33	-26,5	-25,62	-24,86	-40,03
109	Rogers RT6202PR (Loss Free)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,98	-33,89	-31,92	-30,21	-29,07	-28,47	-27,94	-27,23	-26,38	-25,48	-24,74	-39,897
110	Rogers RT6202PR (Lossy)	-78,44	-66,33	-59,17	-54	-49,89	-46,44	-43,42	-40,71	-38,24	-35,99	-33,9	-31,93	-30,23	-29,1	-28,49	-27,95	-27,24	-26,39	-25,5	-24,77	-39,906
111	Rogers TC350 (Loss Free)	-77,02	-64,9	-57,71	-52,5	-48,34	-44,82	-41,71	-38,88	-36,27	-33,81	-31,44	-29,29	-28,2	-28,14	-27,88	-27,01	-25,82	-24,68	-24,29	-24,89	-38,38
112	Rogers TC350 (Lossy)	-77,02	-64,9	-57,71	-52,5	-48,34	-44,82	-41,71	-38,88	-36,28	-33,82	-31,45	-29,31	-28,22	-28,16	-27,89	-27,02	-25,83	-24,7	-24,32	-24,91	-38,389

Tablo 6.4'ün devamı

	Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORTALAMA
	Materyal	RKA Değeri (dBm^2)																				
113	Rogers TC600 (Loss Free)	-74,14	-61,96	-54,68	-49,34	-44,98	-41,17	-37,63	-34,09	-30,14	-26,41	-28,02	-29,17	-28,91	-27,37	-25,16	-27,05	-30,64	-32,97	-24,23	-31,06	-36,956
114	Rogers TC600 (Lossy)	-74,14	-61,96	-54,68	-49,34	-44,98	-41,17	-37,63	-34,1	-30,15	-26,47	-28,04	-29,18	-28,92	-27,38	-25,22	-27,08	-30,66	-33,03	-24,4	-30,99	-36,976
115	Rogers TMM 3 (Loss Free)	-77,32	-65,2	-58,02	-52,82	-48,67	-45,16	-42,07	-39,28	-36,7	-34,3	-32	-29,87	-28,51	-28,19	-27,96	-27,24	-26,17	-25,05	-24,35	-24,54	-38,671
116	Rogers TMM 3 (Lossy)	-77,32	-65,2	-58,02	-52,82	-48,67	-45,16	-42,07	-39,28	-36,71	-34,31	-32,01	-29,89	-28,54	-28,22	-27,98	-27,25	-26,19	-25,08	-24,39	-24,58	-38,684
117	Rogers TMM 4 (Loss Free)	-75,41	-63,26	-56,03	-50,76	-46,52	-42,87	-39,59	-36,53	-33,55	-30,46	-27,63	-27,5	-28,48	-28,25	-26,8	-24,88	-24,26	-25,98	-28,33	-30,79	-37,394
118	Rogers TMM 4 (Lossy)	-75,41	-63,27	-56,04	-50,76	-46,52	-42,87	-39,6	-36,54	-33,56	-30,4	-27,67	-27,53	-28,49	-28,25	-26,81	-24,91	-24,31	-26,01	-28,34	-30,66	-37,397
119	Rogers TMM 6 (Loss Free)	-74,04	-61,86	-54,58	-49,22	-44,86	-41,02	-37,45	-33,85	-29,75	-26,28	-28,3	-29,25	-28,91	-27,28	-25,52	-27,57	-32,1	-30,01	-25,08	-33,21	-37,007
120	Rogers TMM 6 (Lossy)	-74,04	-61,86	-54,58	-49,22	-44,86	-41,03	-37,45	-33,85	-29,76	-26,34	-28,32	-29,25	-28,92	-27,3	-25,58	-27,6	-32,11	-30,18	-25,25	-32,99	-37,024
121	Rogers TMM 10 (Loss Free)	-72,52	-60,29	-52,9	-47,38	-42,71	-38,31	-33,42	-26,45	-30,25	-29,47	-30,31	-32,19	-30,68	-33,69	-27,21	-33,76	-30,09	-25,6	-28,64	-28,68	-36,727
122	Rogers TMM 10 (Lossy)	-72,52	-60,29	-52,9	-47,38	-42,71	-38,31	-33,42	-26,54	-30,24	-29,49	-30,37	-32,48	-30,76	-33,84	-27,38	-33,89	-30,1	-25,6	-28,51	-28,7	-36,771
123	Rogers TMM 10i (Loss Free)	-72,49	-60,26	-52,87	-47,34	-42,66	-38,25	-33,28	-26,27	-30,4	-29,42	-30,5	-31,75	-30,59	-34,02	-26,19	-33,35	-30,03	-24,56	-29,43	-28,34	-36,6
124	Rogers TMM 10i (Lossy)	-72,49	-60,26	-52,87	-47,34	-42,66	-38,25	-33,29	-26,36	-30,39	-29,44	-30,55	-32,07	-30,66	-34,17	-26,37	-33,45	-30	-24,6	-29,28	-28,37	-36,643
125	Rogers TMM 13i (Loss Free)	-71,96	-59,69	-52,24	-46,59	-41,65	-36,58	-29,08	-29,93	-30,02	-30,33	-31,95	-31,64	-36,54	-25,19	-28,29	-28,49	-28,65	-27,22	-25,88	-28,95	-36,043
126	Rogers TMM 13i (Lossy)	-71,96	-59,69	-52,24	-46,59	-41,65	-36,59	-29,12	-30	-30,04	-30,4	-32,46	-31,71	-36,62	-25,56	-28,38	-28,46	-28,48	-27,3	-26,09	-29	-36,117
127	Rogers XT8000 (Loss Free)	-77,64	-65,53	-58,35	-53,16	-49,02	-45,53	-42,47	-39,7	-37,16	-34,81	-32,59	-30,5	-28,95	-28,35	-28,07	-27,46	-26,52	-25,47	-24,6	-24,39	-39,013
128	Rogers XT8000 (Lossy)	-77,64	-65,53	-58,35	-53,16	-49,03	-45,53	-42,47	-39,7	-37,17	-34,82	-32,6	-30,52	-29	-28,4	-28,1	-27,48	-26,55	-25,51	-24,66	-24,46	-39,034
129	Rogers XT8100 (Loss Free)	-77,22	-65,1	-57,91	-52,71	-48,56	-45,04	-41,95	-39,14	-36,56	-34,14	-31,81	-29,67	-28,39	-28,17	-27,93	-27,16	-26,05	-24,92	-24,31	-24,63	-38,568
130	Rogers XT8100 (Lossy)	-77,22	-65,1	-57,91	-52,71	-48,56	-45,05	-41,95	-39,15	-36,57	-34,15	-31,84	-29,72	-28,47	-28,23	-27,97	-27,2	-26,1	-24,99	-24,41	-24,73	-38,601
131	Lead Glass	-74,24	-62,07	-54,8	-49,46	-45,11	-41,32	-37,81	-34,34	-30,52	-26,65	-27,74	-29,09	-28,92	-27,46	-25,04	-26,55	-29,54	-33,84	-24,24	-28,76	-36,875
132	Mica (Glass Bonded)	-74,24	-62,07	-54,8	-49,46	-45,11	-41,32	-37,81	-34,34	-30,52	-26,65	-27,74	-29,09	-28,92	-27,46	-25,04	-26,55	-29,54	-33,84	-24,24	-28,76	-36,875
133	Schott FOTURAN II (Glass)	-73,97	-61,79	-54,51	-49,15	-44,78	-40,94	-37,34	-33,71	-29,57	-26,58	-28,55	-29,33	-28,99	-27,33	-26,1	-28,09	-33,23	-29,24	-26,65	-32,86	-37,135
134	Wood	-82,26	-70,88	-65,21	-60,65	-57,41	-54,17	-51,4	-48,99	-46,86	-44,97	-43,27	-41,76	-40,38	-39,12	-37,95	-36,88	-35,89	-35	-34,19	-33,45	-48,034
135	FR-4 (Loss Free)	-75,91	-63,77	-56,55	-51,3	-47,09	-43,49	-40,27	-37,3	-34,48	-31,67	-28,89	-27,5	-28,09	-28,27	-27,32	-25,7	-24,24	-24,57	-26,18	-28,13	-37,536
136	FR-4 (Lossy)	-75,91	-63,77	-56,55	-51,31	-47,1	-43,5	-40,29	-37,34	-34,54	-31,79	-29,18	-27,96	-28,36	-28,4	-27,45	-25,97	-24,78	-25,12	-26,52	-28,07	-37,695
137	FR-4 (Lossy-thermal anisotropic)	-75,91	-63,77	-56,55	-51,31	-47,1	-43,5	-40,29	-37,34	-34,54	-31,79	-29,18	-27,96	-28,36	-28,4	-27,45	-25,97	-24,78	-25,12	-26,52	-28,07	-37,695
138	copper (annealed)	-66,44	-54,59	-47,87	-43,35	-40,15	-37,9	-36,5	-35,7	-35,28	-35,14	-34,8	-33,55	-32,35	-30,84	-29,64	-29,13	-29,06	-29,13	-29,16	-29,05	-36,981
139	copper (pure)	-66,96	-55	-48,12	-43,39	-39,97	-37,6	-36,24	-35,66	-35,54	-35,58	-35,09	-33,87	-32,88	-31,51	-30,55	-30,02	-29,78	-29,67	-29,58	-29,46	-37,323

6.3 Manuel Hesaplama ile Farklı Şekillerin Farklı Frekanslarda RKA'sının Tespiti

6.3.1 Düz Plaka

$$\sigma_{maks} = \frac{4\pi w^2 h^2}{\lambda^2} \tag{6.1}$$

Çalışmamızda iki farklı ölçüde plakadan faydalanılmıştır. Bunlardan ilki 6mmx6mmx2mm; diğeri ise 1cmx1cmx0,1cm ölçülere sahip plakalardır.

$$c = \lambda f \tag{6.2}$$

Denk. 6.1 ile Denk. 6.2 birlikte ele alındığında Denk. 6.1 aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\sigma_{maks} = \frac{4\pi w^2 h^2 f^2}{c^2} \tag{6.3}$$

6mmx6mmx2mm ölçülerine sahip plaka için MATLAB'da oluşturulan kod ise;

f =1*10^9

w=0,0006

h= 0,0002

dalga_boyu= 3*(10^8) / f

sigma = 4*π*(*w*^2)*(*h*^2) / (*dalga_boyu*)^2

$$RCS = 10*\log10(sigma) \tag{6.4}$$

Tablo 6.5 Düz plaka RKA değerleri

Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MATLAB ile hesaplama sonucu (dBm2)	-116,96	-110,94	-107,42	-104,92	-102,98	-101,4	-100,06	-98,9	-97,88	-96,96
Frekans değeri (GHz)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
MATLAB ile hesaplama sonucu (dBm2)	-96,13	-95,38	-94,68	-94,04	-93,44	-92,88	-92,35	-91,86	-91,39	-90,94

1cm x 1cm x 0,1cm ölçülerine sahip plaka için MATLAB'da oluşturulan kod ise;

$f = 1*10\text{^}9$

w= 0,001

h= 0,0001

$dalga_boyu = 3*(10\text{^}8) / f$

$$sigma = 4*\pi*(w\text{^}2)*(h\text{^}2) / (dalga_boyu)\text{^}2$$

$$RCS = 10*\log10(sigma) \quad (6.5)$$

Tablo 6.6 Düz plaka RKA değerleri

Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MATLAB ile hesaplama sonucu (dBm2)	-118,55	-112,52	-109	-106,5	-104,57	-102,98	-101,64	-100,48	-99,46	-98,55
Frekans değeri (GHz)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
MATLAB ile hesaplama sonucu (dBm2)	-97,72	-96,96	-96,27	-95,62	-95,02	-94,46	-93,94	-93,44	-92,97	-92,52

6.3.2 Küre

$$\sigma_{maks} = \pi r^2 \tag{6.6}$$

r= 0,01

$$sigma = pi*(r\text{^}2)$$

$$RCS = 10*\log10(sigma) \tag{6.7}$$

Tablo 6.7 Küre RKA değerleri

Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MATLAB ile hesaplama sonucu (dBm2)	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02
Frekans değeri (GHz)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
MATLAB ile hesaplama sonucu (dBm2)	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02	-35,02

6.3.3 Silindir

$$\sigma_{maks} = \frac{2\pi r h^2}{\lambda} \tag{6.8}$$

Denk. 6.8 ile Denk. 6.2 birlikte ele alındığında Denk. 6.8 aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\sigma_{maks} = \frac{2\pi r h^2 f}{c} \tag{6.9}$$

$$f = 1*10\text{^}9$$

r = 0,0005

h = 0,001

$dalga_boyu = 3*(10\,\hat{}\,8) / f$

$$sigma = 2*\pi*r*\left(h\hat{}2\right) / (dalga_boyu)$$

$$RCS = 10*\log10\left(sigma\right) \tag{6.10}$$

Tablo 6.8 Silindir RKA değerleri

Frekans değeri (GHz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MATLAB ile hesaplama sonucu (dBm2)	-79,79	-76,78	-75,02	-73,77	-72,81	-72,01	-71,34	-70,76	-70,25	-69,79
Frekans değeri (GHz)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
MATLAB ile hesaplama sonucu (dBm2)	-69,38	-69	-68,66	-68,33	-68,03	-67,75	-67,49	-67,24	-67,01	-66,78

7. CST SİMÜLASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Elde edilen CST MWS simülasyon sonuçlarına göre aşağıdaki geometrilerde en düşük RKA değerine sahip materyaller sırasıyla belirtilmiştir.

PLAKA 6MM

Wood

Rogers RT5880LZ (Lossy)

Rogers RT5880LZ (Loss Free)

Arlon IsoClad 917 (Lossy)

Arlon IsoClad 917 (Loss Free)

Arlon CuClad 217 (Loss Free)

Arlon DiClad 880 (Loss Free)

Rogers RT5880 (Loss Free)

Arlon CuClad 217 (Lossy)

Arlon DiClad 880 (Lossy)

Rogers RT5880 (Lossy)

PLAKA 1CM

Wood

Rogers RT5880LZ (Lossy)

Rogers RT5880LZ (Loss Free)

Arlon IsoClad 917 (Lossy)

Arlon IsoClad 917 (Loss Free)

Arlon CuClad 217 (Lossy)

Arlon DiClad 880 (Lossy)

Rogers RT5880 (Lossy)

Arlon CuClad 217 (Loss Free)

Arlon DiClad 880 (Loss Free)

Rogers RT5880 (Loss Free)

KÜRE

Wood

Rogers RT5880LZ (Lossy)

Rogers RT5880LZ (Loss Free)

Arlon IsoClad 917 (Lossy)

Arlon IsoClad 917 (Loss Free)

Arlon CuClad 217 (Lossy)

Arlon DiClad 880 (Lossy)

Rogers RT5880 (Lossy)

Arlon CuClad 217 (Loss Free)

Arlon DiClad 880 (Loss Free)

Rogers RT5880 (Loss Free)

SİLİNDİR

Wood

Rogers RT5880LZ (Lossy)

Rogers RT5880LZ (Loss Free)

Arlon IsoClad 917 (Lossy)

Arlon IsoClad 917 (Loss Free)

Arlon CuClad 217 (Lossy)

Arlon DiClad 880 (Lossy)

Rogers RT5880 (Lossy)

Arlon CuClad 217 (Loss Free)

Arlon DiClad 880 (Loss Free)

Rogers RT5880 (Loss Free)

Görüldüğü üzere geometrik şekil veya boyut fark etmeksizin 11 adet materyal öne çıkmıştır. Dolayısıyla diğer bir takım özellikleri de ele alındıktan sonra İHA yapımına en uygun materyaller belirlenecektir.

Her ne kadar geometrik şeklin boyutları büyüdükçe aradaki RKA farkı açılsa da; yaptığımız simülasyon değerlerindeki ölçü ve geometrik şekillerde neredeyse aynı RKA değerlerine sahip materyal grupları :

A

Arlon AD 250C (Loss Free)

Arlon AD 250C (Lossy)

Arlon CuClad 250 (Loss Free)

Arlon CuClad 250 (Lossy)

Arlon DiClad 527 (Loss Free)

Arlon DiClad 527 (Lossy)

B

Arlon AD 255C (Loss Free)

Arlon AD 255C (Lossy)

Arlon AD 260A (Loss Free)

Arlon AD 260A (Lossy)

C

Arlon AD 300C (Loss Free)

Arlon AD 300C (Lossy)

Arlon AD 300D (Loss Free)

Arlon AD 300D (Lossy)

Arlon CLTE (Loss Free)

Arlon CLTE (Lossy)

Rogers RO4730G3 (Loss Free)

Rogers RO4730G3 (Lossy)

Rogers RO4730JXR (Loss Free)

Rogers RO4730JXR (Lossy)

Rogers RT6202PR (Loss Free)

D

Arlon AD 320A (Loss Free)

Arlon AD 320A (Lossy)

Rogers RO4830 (Loss Free)

Rogers RO4830 (Lossy)

E

Arlon AD 350A (Loss Free)

Arlon AD 350A (Lossy)

Rogers RO4003C LoPro (Loss Free)

Rogers RO4003C LoPro (Lossy)

Rogers XT8100 (Loss Free)

Rogers XT8100 (Lossy)

F

Arlon AD 430 (Loss Free)

Arlon AD 430 (Lossy)

FR-4 (Loss Free)

FR-4 (Lossy)

FR-4 (Lossy-thermal anisotropic)

G

Arlon AD 600 (Loss Free)

Arlon AD 600 (Lossy)

Rogers TC600 (Loss Free)

Rogers TC600 (Lossy)

H

Arlon CLTE-AT (Loss Free)

Arlon CLTE-AT (Lossy)

Rogers RO3003 (Loss Free)

Rogers RO3003 (Lossy)

I

Arlon CLTE-XT (Loss Free)

Arlon CLTE-XT (Lossy)

Rogers RT6002 (Loss Free)

Rogers RT6002 (Lossy)

Rogers RT6202 (Loss Free)

Rogers RT6202 (Lossy)

J

Arlon CuClad 217 (Loss Free)

Arlon CuClad 217 (Lossy)

Arlon DiClad 880 (Loss Free)

Arlon DiClad 880 (Lossy)

Rogers RT5880 (Loss Free)

Rogers RT5880 (Lossy)

K

Arlon CuClad 233 (Loss Free)

Arlon CuClad 233 (Lossy)

Arlon DiClad 870 (Loss Free)

Arlon DiClad 870 (Lossy)

Arlon IsoClad 933 (Loss Free)

Arlon IsoClad 933 (Lossy)

Rogers RT5870 (Loss Free)

Rogers RT5870 (Lossy)

L

Rogers RO3035 (Loss Free)

Rogers RO3035 (Lossy)

Rogers RT6035HTC (Loss Free)

Rogers RT6035HTC (Lossy)

Rogers TC350 (Loss Free)

Rogers TC350 (Lossy)

N

Rogers RO4350B (Loss Free)

Rogers RO4350B (Lossy)

Rogers RO4535 (Loss Free)

Rogers RO4535 (Lossy)

Rogers RO4835 (Loss Free)

Rogers RO4835 (Lossy)

O

Rogers RO4360G2 (Loss Free)

Rogers RRO4360G2 (Lossy)

Schott FOTURAN II (Glass)

P

Rogers RO4450B (Loss Free)

Rogers RO4450B (Lossy)

Rogers RO4450F (Loss Free)

Rogers RO4450F (Lossy)

R

Rogers RO4533 (Loss Free)

Rogers RO4533 (Lossy)

Rogers TMM 3 (Loss Free)

S (Kısmen benzerlik)

Rogers RT5880LZ (Loss Free)

Rogers RT5880LZ (Lossy)

Wood

T

Rogers RO3006 (Loss Free)

Rogers RO3006 (Lossy)

Rogers RT6006 (Loss Free)

Rogers RT6006 (Lossy)

U

Rogers RO3210 (Loss Free)

Rogers RO3210 (Lossy)

Rogers RT6010LM (Loss Free)

Rogers RT6010LM (Lossy)

V

Rogers TMM 10 (Loss Free)

Rogers TMM 10 (Lossy)

Rogers TMM 10i (Loss Free)

Rogers TMM 10i (Lossy)

Rogers RT4835 LoPro (Lossy)

Aşağıdaki ürünler ise diğer ürünlere göre daha özgün RKA değerlerine sahiptir:

Arlon AD 410 (Loss Free)

Arlon AD 410 (Lossy)

Arlon AD 450 (Loss Free)

Arlon AD 450 (Lossy)

Arlon AD 1000 (Loss Free)

Arlon AD 1000 (Lossy)

Arlon IsoClad 917 (Loss Free)

Arlon IsoClad 917 (Lossy)

Rogers RO3003 (Loss Free)

Rogers RO3003 (Lossy)

Rogers RO3010 (Loss Free)

Rogers RO3010 (Lossy)

Rogers RO3203 (Loss Free)

Rogers RO3203 (Lossy)

Rogers RO3206 (Loss Free)

Rogers RO3206 (Lossy)

Rogers RO3210 (Loss Free)

Rogers RO3210 (Lossy)

Rogers RO4725JXR (Loss Free)

Rogers RO4725JXR (Lossy)

Rogers XT8000 (Loss Free)

Rogers XT8000 (Lossy)

Rogers TMM 4 (Loss Free)

Rogers TMM 4 (Lossy)

Rogers TMM 6 (Loss Free)

Rogers TMM 6 (Lossy)

Rogers TMM 13i (Loss Free)

Rogers TMM 13i (Lossy)

Lead Glass

Mica (Glass Bonded)

copper (annealed)

copper (pure)

KAYNAKLAR

Anka. (2017). Tusaş, https://www.tusas.com/urun/anka, Erişim Tarihi: 10.05.2024.

Assaf, R. (2014). https://www.slideshare.net/. https://www.slideshare.net/rimaassaf?utm_campaign=profiletracking&utm_medium=sssite&utm_source=ssslideview, Erişim Tarihi: 01.10.2024.

Axe, D. (2009). Strategist: Killer Drones Level Extremists' Advantage. Wired: https://www.wired.com/2009/06/strategist-killer-drones-level-extremists-advantage/, Erişim Tarihi: 17.06.2009.

Bayraktar TB2. (2019). Baykar Savunma: https://www.baykarsavunma.com/iha-15.html, Erişim Tarihi: 11.05.2024.

Doppler effect in radar. (2020). Electronics Desk: https://electronicsdesk.com/doppler-effect-in-radar.html, Erişim Tarihi: 13.05.2024.

Douidar, I., Safy, M., & Saleh, A. (2017). Parametric Evaluation of PRF Availability for a Space Borne SAR. Cairo.

Hamran, S. E. (2010). Radar Performance of Ultra Wideband Waveforms. Radar Technology. In G. Kouemou (Ed.), Radar Technology (pp. 1-19). http://dx.doi.org/10.5772/7171

Hess, D. W. (2008). Introduction to RCS measurements. Propagation Conference (LAPC) (s. 37-44). Loughborough, UK: IEEE.

IAI. (2017). https://www.iai.co.il/p/heron, Erişim Tarihi: 24.01.2024.

Jenn, D. J. (2005). Radar and Laser Cross Section Engineering. Ohia: AIAA.

Keller, J. B. (1962). Geometrical Theory of Diffraction. *Journal of the Optical Society of America, 52*(2), 116–130. https://doi.org/10.1364/JOSA.52.000116

Knott, E. F., Shaeffer, J. F., & Tuley, M. T. (2004). *Radar Cross Section*. SciTech Publishing.

Ling, H., Chou, R., & Lee, S. (1989). Shooting and bouncing rays: calculating the RCS of an arbitrarily shaped cavity. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 37 (2), 194-205.

Mahafza, B. R. (2013). Radar systems analysis and design using matlab® third edition. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.

Miacci M.A.S. & Rezende, M.C. (2012). Basics on Radar Cross Section Reduction Measurements of Simple and Complex Targets Using Microwave Absorbers. In, Z. Haq (Ed.), *Applied Measurement Systems* (pp.351-376). In Tech.

MQ-1 Predator. (2017). Deagal: http://www.deagel.com/Combat-Aircraft/MQ-1-Predator_a000517002.aspx, Erişim Tarihi: 7.04.2017.

Naval Air Warfare Center Weapons Division (2003). Electronic Warfare and Radar System, Engineering handbook. Naval Air Systems Command.

polarization - What is the significance of 'energy ellipsoid'? (2015). Physics Stack Exchange: https://physics.stackexchange.com/questions/225246/what-is-the-significance-of-energy-ellipsoid, Erişim Tarihi: 20.05.2024.

Rao, S., Wilton, D., & Glisson, A. (1982). Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape. *IEEE Trans. A.tennas Propagat*, 30, 409-418.

Ross, R. (1996). Radar cross section of rectangular flat plates as a function of aspect angle. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 14 (3), 329-335.

Sefer, A. (2018). Küresel Elektromanyetik Saçılma: Mie Teorisi. *EMO Bilimsel Dergi*, 8 (2), 105-112.

Shah, P. Z. (2009). Pakistan Says U.S. Drone Kills 13. The New York Times: https://www.nytimes.com/2009/06/19/world/asia/19pstan.html, Erişim Tarihi: 27.04.2024.

Sharkawy, M. A., Demir, V., Elsherbeni, A., & Mahafza, B. (2006). A graphical user interface (GUI) for electromagnetic scattering from two- and three-dimensional canonical and non-canonical objects [EM Programmer's Notebook]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 48, 135-141.

Skolnik, M. (2002). Role of radar in microwaves. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50, 625-632.

Sloan, F. E., & Cote, G. J. (1998). Radar Principles. Navy Electricity and Electronics Training Series. Naval Educatıon And Traınıng Professıonal Development And Technology Center.

Taflove, A. (1995). Reinventing electromagnetics: emerging applications for FD-TD computation. *IEEE Computational Science and Engineering*, 2 (4), 24-34.

Uçar, H. (2013). Radar Kesit Alanı Azaltımı. *Journal of Naval Science and Engineering*, 9 (2), 72-87.

Using and Understanding Doppler Radar. (2008). National Weather Service: https://www.weather.gov/mkx/using-radar, Erişim Tarihi: 11.08.2024.

Uyar, T. (2010). ANKA Başarısı ve İnsansız Hava Araçları. http://www.tevfikuyar.com/2010/blog/mesleki-yazilar/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari.html, Erişim Tarihi: 14.09.2024.

William, J., & Taylor, R. (1977). Jane's pocket book of remotely piloted vehicles. Collier Books.