

**İKİ BOYUTLU MÜKEMMEL İLETKENLERİN RADAR KESİT ALANI  
HESABI**

**Turkam MOHAMMED**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2008  
ANKARA**

Turkam MOHAMMED tarafından hazırlanan İKİ BOYUTLU MÜKEMMEL İLETKENLERİN RADAR KESİT ALANI HESABI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ .....

Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Doç. Dr. Osman GÜRDAL .....

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, GÜ

Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ .....

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, GÜ

Yrd. Dr. Nursel AKÇAM .....

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, GÜ

Tarih: 09/10/2008

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

Prof. Dr. Nermin ERTAN .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Turkam Mohammed

**İKİ BOYUTLU MÜKEMMEL İLETKENLERİN RADAR KESİT ALANI****HESABI****(Yüksek Lisans Tezi)****Turkam MOHAMMED****GAZİ ÜNİVERSİTESİ****FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****Ekim 2008****ÖZET**

Genel anlamda radar, modüle edilmiş dalga formu ve anten ile hedef cisimleri tespit etmek için kullanılan elektromanyetik enerjinin iletilmesidir. Hedef cisim bir kısım enerjiyi radara yansıtmaktadır. Bu yansımalar radar alıcısı tarafından hedefin hız, açısal pozisyon ve diğer hedef tespit karakteristiklerinde kullanılır. Radar tarafından yayılan enerji cisme çarptığında hedef üzerinde indüklenen akım tüm yönlerde elektromanyetik enerjiyi yayar. Bu yayılan enerji hedefin boyutu, yönlendirme, fiziksel şekli, malzeme cinsi, tüm bunların beraber kabul edildiği hedef özel parametresine Radar Kesit Alanı RKA (Radar Cross Section RCS) denir. Radar kesit alanının hesaplanması, temel olarak hedeften dağılan elektrik alanının bulunması demektir. Gelen düzlemsel dalga tarafından hedefe indüklenen akım hesaplanabilirse, anten dizilerinde kullanılan aynı integraller, dağılan bu elektrik alanının hesaplanmasında uygulanabilir. Bu çalışmada, iki boyutlu mükemmel iletkenlerin radar kesit alanı hesaplanması incelenmiştir. Bu hesaplama fortran programı kullanılarak yapılmıştır.

**Bilim Kodu** : 905.1.034  
**Anahtar Kelimeler** : RKA, radar  
**Sayfa Adedi** : 138  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

**RCS OF PERFECTLY CONDUCTING TWO-DIMENSIONAL CONTOUR**  
**(M.Sc. Thesis)**

**Turkam MOHAMMED**

**GAZİ UNIVERSITY**  
**INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**October 2008**

**ABSTRACT**

**In general, radar systems use modulated waveforms and directive antennas to transmit electromagnetic energy into a specific volume in space to search for targets. Objects (targets) within a search volume will reflect portions of this energy (radar returns or echoes) back to the radar. These echoes are then processed by the radar receiver to extract target identifying characteristics. When the radar radiated energy impinges on a target, the induced surface currents on that target radiate electromagnetic energy in all directions. The amount of the radiated energy is proportional to the target size, orientation, physical shape, and material, which are all lumped together in one target-specific parameter called the Radar Cross Section (RCS). Radar cross section is a measure of power scattered in a given direction when a target is illuminated by an incident wave. In this thesis we investigated the computed of radar cross section (RCS) at perfectly conducting two-dimensional contour. This computation is completed by using fortran programs.**

**Science Code : 912.1.034**

**Key Words : RCS, radar**

**Page Number: 138**

**Adviser : Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ**

## TEŞEKKÜR

Tez alıőması boyunca çok değerli öneri ve yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ'e teşekkür ederim.

Tez çalıőmasının başından itibaren çok değerli görüş ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve bu tez konusu için gerekli temeli hazırlayan ve tez çalıőmasının gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayan Yrd. Doç. Nursel AKÇAM'a teşekkür ederim.

Sevgi, sabır ve fedakârlığıyla bu günlere ulaşmamı sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili anneme, yüksek lisans çalıőması sırasında anlayışı ve sabrından ötürü sevgili niőanlım Sayın Ziyne KENAN'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xv
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Radar Temel Bileşenleri .....	2
1.2. Radar Denklemi .....	4
1.3. Çevresel Faktörlerin Radara Etkisi .....	8
1.3.1. Atmosferik zayıflama .....	8
1.3.2. Parazit yankılar .....	9
2. RADARIN GENEL ÇALIŞMA PRENSİBİ .....	10
2.1. Elektromanyetik Dalga ve Yansıma .....	10
2.2. Temel Radar Parametreleri .....	11
2.2.1. Belirlenen radar menzili ve darbe tekrar aralığı (PRI) .....	11
2.2.2. Darbe tekrar frekansı (PRF_Pulse Repetition Frequency) .....	11
2.2.3. Yansıtıcı .....	11
2.2.4. Ana kulakçık ve yan kulakçık .....	12
2.2.5. Anten dönüş hızı ve etkileri .....	13
3. RADAR KESİT ALANI (RKA) .....	14

**Sayfa**

3.1. Radar Kesit Alanı Tanımı .....	14
3.2. Mono-statik ve Bi-statik Radar Saçılma Yüzeyleri .....	16
3.3. Elektromanyetik Dalga Tanımı ve Özellikleri .....	18
3.3.1. Frekans ve dalga doyu .....	23
3.3.2. Dalga tipleri .....	24
3.3.3. Polarizasyon .....	25
3.4. Frekans Bölgesi .....	27
3.5. Saçılma Mekanizmaları .....	28
3.6. Basit Objelerin Radar Kesit Alanı .....	30
3.6.1. Küre .....	31
3.6.2. Elipsoid .....	32
3.6.3. Dairesel düz plaka .....	34
3.6.4. Kesik koni .....	35
3.6.5. Silindir .....	38
3.6.6. Dikdörtgen levha .....	40
3.6.7. Üçgen levha .....	45
4. MOM, MOMENT METODU .....	47
4.1. MoM Yönteminin İnce Tel Antenlere Uygulanması .....	50
5. İKİ BOYUTLU KONTURLARDAN YAYILIM .....	59
5.1. İki Boyutlu Mükemmel İletkenin RKA ( Radar Kesit Alanı) Hesaplaması ....	59
5.1.1. TM polarizasyonu .....	59
5.1.2. TM saçılım için sayısal sonuçlar .....	63
5.1.3. TE polarizasyonu .....	66
5.1.4. TE durumunda RKA'nin hesaplanması .....	69



	<b>Sayfa</b>
5.1.5. Konturdan TE saçılımının sayısal sonuçları.....	71
5.2. Monostatik ve bistatik (RKA) radar kesit alanı .....	74
5.3. Fortran Programı .....	78
6. UYGULAMA .....	102
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	118
KAYNAKLAR .....	121
EKLER.....	123
ÖZGEÇMİŞ .....	138

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı yaygın hedefler için RKA değerleri.....	16
Çizelge 3.2. Eş ve çapraz polarizasyon.....	26

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Radar blok diyagramı.....	2
Şekil 1.2. Gürültü etkisi .....	8
Şekil 2.1. Reflektör kullanarak enerjinin dağılmasını önlemek.....	11
Şekil 2.2. Ana kulakçık ve yan kulakçık.....	12
Şekil 3.1. Bistatik ve Monostatik Radar.....	17
Şekil 3.2. Elektrik ve Manyetik Alanı.....	19
Şekil 3.3. Düzlemsel Kutuplanmış Dalga .....	21
Şekil 3.4. Elektromanyetik Dalgalar .....	22
Şekil 3.5. Elektromanyetik düzlemsel dalga bileşenleri .....	24
Şekil 3.6. Silindirik, küresel ve düzlem dalgalar .....	25
Şekil 3.7. Bir elektromanyetik dalganın bileşenleri.....	25
Şekil 3.8. Yatay ve Düşey polarizasyon .....	26
Şekil 3.9. Bir kürenin RKA üç frekans bölgesi için gösterilimi .....	27
Şekil 3.10. Bir uçağı oluşturan basit ana şekiller.....	29
Şekil 3.11. Saçılma mekanizmaları.....	30
Şekil 3.12. Radar Yönü .....	31
Şekil 3.13. Elipsoid .....	32
Şekil 3.14. Elipsoid için RKA, bakış açısı, $\varphi = 45^\circ$ .....	33
Şekil 3.15. Dairesel Düz plaka.....	34
Şekil 3.16. Dairesel düz bir plaka için RKA, $r = 0.25$ m .....	35
Şekil 3.17. Kesik Koni .....	36

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.18. Kesik Koninin Fizik optikle RKA .....	38
Şekil 3.19. Eliptik Silindir.....	39
Şekil 3.20. Silindir için RKA, $r = 0.125$ m, $H=1$ , frekans =9.5 GHz.....	40
Şekil 3.21. Kenar uzunlukları olan bir kare levhanın monostatik saçılım paterni ..	41
Şekil 3.22. Mükemmel iletken bir dikdörtgen levha için dikey polarizasyonlu RKA .....	44
Şekil 3.23. Mükemmel iletken bir dikdörtgen levha için yatay polarizasyonlu RKA .....	44
Şekil 3.24. Mükemmel iletken eşkenar üçgen levha.....	45
Şekil 3.25. Mükemmel iletken bir Üçgen levha için RKA .....	46
Şekil 4.1. $J$ akım yoğunluğuna sahip iletken tel.....	51
Şekil 4.2. Boşlukta $J_s$ eşdeğer yüzey akım yoğunluğuna sahip yüzey modeli.....	51
Şekil 4.3. EFIE, elektrik alan entegral denklemi çıkarılımı.....	53
Şekil 5.1. Sabit kesit alanın silindirik mükemmel iletken hesabında, $\pm z$ yönünde sonsuza ilerleyen gelen düzlemsel dalgaya sahip olan 2 boyutlu kontur çevresinde bir akım üretir .....	60
Şekil 5.2. TM yayılım durumunda iki farklı kontur incelenmiştir: dairesel kontur ve kare kontur.....	62
Şekil 5.3. Kare kontur ve dairesel kontur için açı-akım grafiği.....	63
Şekil 5.4. Yukarıdaki şekil $\phi_0 = 0^0$ değeri ile dairesel ve kare kontur akımlarının bistatik RKA hesaplamaları çizimidir.....	64
Şekil 5.5. Kare kontur ve dairesel kontur için açı-akım. TM dalgası $45^\circ$ de olur ...	65

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.6. $\phi_0 = 45^\circ$ ile dairesel ve kare kontur akımlarının bistatik RKA hesaplamaları çizimidir .....	65
Şekil 5.7. Sabit kesit alanın silindirik hesabında, $\pm z$ yönünde sonsuza ilerleyen gelen düzlem dalgasına sahip olan 2 boyutlu kontur çevresinde bir akım üretir .....	67
Şekil 5.8. $\chi - \gamma$ düzleminde türevsel bir akım elemanı .....	69
Şekil 5.9. TE düzlem dalgası olan kare ve dairesel kontur için açı-akım değişimi .....	71
Şekil 5.10. $\phi_0 = 0^\circ$ ile dairesel ve kare kontur akımlarının bistatik RKA hesaplamaları çizimidir .....	72
Şekil 5.11. TE düzlem dalgası $45^\circ$ olan kare kontur ve dairesel kontur için açı-akım değişimi .....	72
Şekil 5.12. $\phi_0 = 45^\circ$ ile dairesel ve kare kontur akımlarının bistatik RKA hesaplamaları çizimidir .....	73
Şekil 5.13. Kare ve dairesel konturların TM monostatik radar kesit alanları. Dairesel kontur sabit bir monostatik RKA'nın gösterir. Kare, kenarlarını ve köşelerini ortaya çıkarır.....	76
Şekil 5.14. Kare ve dairesel konturların TE monostatik radar kesit alanları .....	76
Şekil 5.15. TM monostatik RKA ve onu oluşturan bistatik RKA .....	77
Şekil 5.16. TE monostatik RKA ve onu oluşturan bistatik RKA.....	77
Şekil 6.1. TM saçılımda $M=4$ için değişik dalga boyları için RKA'nın çapa göre değişimi .....	103
Şekil 6.2. TM saçılımda $M=8$ için değişik dalga boylarında RKA'nın çapa göre değişimi .....	104

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.3. TM saçılımda $M=16$ için değişik dalga boyları için RKA'nın çapa göre değişimi. ....	105
Şekil 6.4. TM saçılımda $M= 4, 8,16$ için 0 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi. ....	106
Şekil 6.5. TM saçılımda $M= 4, 8,16$ için 45 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi. ....	107
Şekil 6.6. TM saçılımda $M= 4, 8,16$ için 90 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi. ....	108
Şekil 6.7. TM saçılımda $0^\circ, 45^\circ$ ve $90^\circ$ RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi. ....	109
Şekil 6.8. TE saçılımda $M=4$ için değişik dalga boyları için RKA'nın çapa göre değişimi. ....	111
Şekil 6.9. TE saçılımda $M=8$ için değişik dalga boylarında RKA'nın çapa göre değişimi. ....	112
Şekil 6.10. TE saçılımda $M=16$ için değişik dalga boyları için RKA'nın çapa göre değişimi. ....	113
Şekil 6.11. TE saçılımda $M= 4, 8,16$ için 0 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi. ....	114
Şekil 6.12. TE saçılımda $M= 4, 8,16$ için 45 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi. ....	115
Şekil 6.13. TE saçılımda $M= 4, 8,16$ için 90 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi. ....	116
Şekil 6.14. TM saçılımda $0^\circ, 45^\circ$ ve $90^\circ$ RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi. ....	117

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
$P_{kuresel}$	Güç yoğunluğu
$P_t$	Gönderilen darbe gücü
$R$	Hedef ve radar arasındaki mesafe
$G_t$	Antenin kazancı
$P_r$	Geri saçılan güç yoğunluğu
$S$	Sinyal gücü
$K$	Boltzman sabiti ( $1.38 \times 10^{-23} W/(Hz^{\circ}K)$ )
$T$	Standart sıcaklık ( $290^{\circ}K$ )
$B$	Alıcı bant genişliği
$F$	Alıcı gürültü katsayısı
$P_s$	Saçılan güç yoğunluğu
$P_i$	Gelen güç yoğunluğu
$\sigma$	Radar kesit alanı
$\Phi$	Manyetik akı
$t$	Zaman
$V$	Potansiyel fark
$v$	Hız
$d$	Çubuk boyu
$L$	U telin kapalı ucu ile çubuk arasındaki uzaklık
$\hat{E}$	Elektrik alan
$\lambda$	Dalga boyu
$f$	Frekans
$T$	Periyot

**Simgeler****Açıklama**

$h$	Planck sabiti = $6,626 \cdot 10^{-34}$ joule.saniye
$r$	Kürenin yarı çapı
$J_n$	n'nci dereceden küresel Bessel fonksiyonu
$h_n^{(1)}$	n'nci dereceden Hankel fonksiyonu
$L$	Bilinen doğrusal bir operatör
$u$	Bilinen bir kaynak fonksiyonu
$E_z^s$	Elektrik alanı
$E_i$	Gelen elektrik alan
$E_s$	Saçılan elektrik alan
$E_z^{inc}$	Gelen elektrik alan z-bileşeni
$E_z^{scat}$	Saçılan elektrik alan z-bileşeni

**Kısaltmalar****Açıklama**

<b>PSR</b>	Primary Surveillance Radar (Birincil radar)
<b>SSR</b>	Secondary Surveillance Radar (İkincil radar)
<b>PRI</b>	Pulse Repetition Interval (Darbe tekrarlar aralığı)
<b>PRF</b>	Pulse Repetition Frequency (Darbe tekrarlar frekansı)
<b>RCS</b>	Radar Cross Section (Radar kesit alanı-RKA)
<b>EFIE</b>	Electrical Field İntegral Equation (Elektrik alan integral eşitliği)
<b>MFIE</b>	Magnetic Field İntegral Equation (Manyetik alan integral eşitliği)
<b>MoM</b>	Moment of Method (Moment metodu)
<b>TM</b>	Transverse Magnetic ( Enine manyetik)
<b>TE</b>	Transverse Electric (Enine elektrik)



## 1. GİRİŞ

RADAR; RAdio Detection And Ranging kelimelerinin baş harflerinden oluşur. Cisimlerin mesafe, istikamet ve/veya yükseklikleri hakkında (elektromanyetik dalgalarla) bilgi sağlayan radyo tarama (hedef bulma) cihazıdır. Radar, hedef tespiti için anten vasıtasıyla elektromanyetik enerji iletir. Hedef üzerine gelen elektromanyetik dalganın bir kısmı, radara doğru geri yansıtılır. Bu yansımalar radar alıcı antenine gelir ve radar sinyal işleme bloğu tarafından hesaplamalar yapılarak cisme ait hız ve istenilen diğer özellikler elde edilir. Günümüzde RADAR terimi iki tip cihaz için kullanılmaktadır [1].

- Primary Surveillance Radar (PSR) : Sadece yer cihazları yardımıyla çalışır.
- Secondary Surveillance Radar (SSR) : Hava ve yer cihazlarına ihtiyaç duyar.

20. Yüzyılın başlarında radyo dalgalarının özellikleri ve uygulama prensipleri konusunda çalışmalar başladı. Araştırmalar esnasında radyo dalgalarının bir kısmının objelere çarparak geri döndüğü fark edildi.

İki Dünya Savaşı arasında, ağır silahların ve uçaksavar bataryaları için hedef mesafelerinin ölçümünde kullanılması için çalışmalar yapıldı. 1939 yılında ilk radar ekranı yapıldı, 1940 yılında ilk radar istasyonu kuruldu. O yıllarda radar verici ve radar alıcı istasyonları farklı yerlerde kurulmaktaydı.

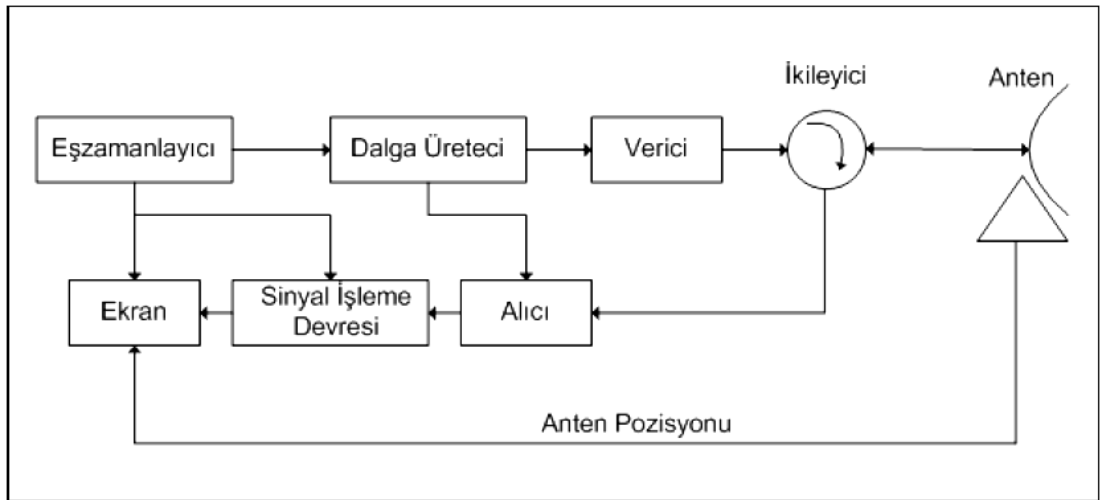
Radarın ilk olarak kullanılma amacı; düşman uçakları tespit edildiğinde, kendi uçaklarının acil olarak havalanması ve radar yardımıyla düşman uçaklarının gösterilmesiydi. II. Dünya Savaşından sonra birçok ülke radarı inişteki uçaklara yardımcı olmak maksadıyla kullanmaya başladı. Hava Trafik Kontrolörleri kötü hava şartlarında uçaklara yol gösteriyordu.

İlk sivil radar, meydan civarındaki iniş ve kalkışlara hizmet vermek maksadıyla kullanılmaya başlamıştır (ASR- Aerodrome Surveillance Radar). Daha sonra Standard manüel kontrol genel olarak devam etmesine rağmen 30-50nm

( $1m=1852nm$ ) gözetleme kapasitesine ulaşan radarlar sayesinde yaklaşma kontrol hizmetlerinde radar kullanılmaya başladı. Ancak, hava sahasında birbirine benzeyen birçok hedef karışıklık yaratmaya başlayınca ve onların takibi zorlaşınca; uçakları daha kolay tanımlama ve uçuş seviyelerini görebilme imkânları geliştirildi. PSR Radarına ek olarak SSR Radarı da geliştirilmeye başladı.

### 1.1. Radar Temel Bileşenleri

Basit bir darbe radarın blok diyagramı Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Diyagramda gösterilen alt sistemler aşağıdaki gibi tanımlanır [2]:



Şekil 1.1. Radar blok diyagramı.

a. *Anten Sistemi*: Vericinin ürettiği sinyali yönlendirerek yayar, hedeften yansıyan sinyali toplar ve en az kayıpla alıcıya iletir. Anten sistemi üç bölümünden oluşur

- Anten,
- Vericiden antene doğru olan dalga kılavuzu ve iletim hattı,
- Antenden alıcıya doğru olan dalga kılavuzu ve iletim hattı.

b. *Radar-kubbe (radar-Dome)*: Radar antenlerini rüzgâr, yağmur, kar, buz, toz, ışık, ısı, aşınma gibi çevresel etkilerden korur. İdeal bir radar-kubbe, antenin yaydığı ve aldığı RF (Radyo Frekansı) ışınımını doğrudan ve kayba yol açmadan iletir.

c. *İkileyici (Duplexer)*: ikileyici, tek bir anten kullanan radar sistemlerinde aynı antenin alıcı ve verici fonksiyonlarını yerine getirmesini sağlar.

Radar sistemi RF sinyali gönderirken, ikileyici, anteni verici konumuna getirir. Hedeften yansıyan sinyali alırken anteni alıcı konumuna getirir. Alıcı ve verici konumları arasındaki anahtarlama süresi, alıcı toparlama süresi (receiver recovery time) olarak tanımlanır.

Anahtarlama işleminin zamanlanması, radarın tespit edebileceği minimum menzili etkileyen kritik bir faktördür. İkileyicinin anahtarlama işlemi sırasında anten verici konumundan alıcı konuma geçemediği için, anahtarlama süresince hedeften yansıyan darbeler tespit edilemez. Bu nedenle radarın minimum tespit menzili, hedefe yollanan darbenin radar alıcısına ulaşabileceği en kısa hedef-radar uzaklığıdır. Yakın hedeflerin tespit edilebilmesi için bu anahtarlama süresinin çok kısa olması gerekir.

d. *Alıcı*: Alıcı, radar anten sistemine gelen zayıf RF sinyalleri alır, yükseltir ve sinyal işleme devresine gönderir.

Radyo frekansları çok yüksek olduğu için, yükseltme uygulaması zordur. Bu nedenle ara katlı alıcı (superheterodyne receiver) kullanarak radar sinyalleri ara frekansa (Intermediate Frequency-IF) düşürülür ve yükselteç için uygun hale getirilir.

e. *Sinyal İşleme Devresi*: İstenen eko sinyalini geçirir, gürültü ve parazit yansımaları gibi istenmeyen sinyalleri geçirmez.

f. *Gösterge*: Radar sistemleri hedef göstermek için genellikle CTR (Cathode Ray Tube) göstergeler kullanırlar. Hedef menzili ve yatay istikamet (azimut) bilgileri

gösterilir. Göstergeler, radar alıcısından aldığı verileri doğrudan gösterir veya sinyali işleyerek hedef simgelerini ve alfanumerik karakterleri de gösterir.

g. *Eşzamanlayıcı (Synchronizer)*: Vericinin, sinyal işleme devresinin ve ekranın çalışmasını senkronize eden tetikleme darbelerini üretir. Kendi kendine senkronize sistemlerde, tetikleme darbeleri radar vericisinde üretilir. Harici olarak senkronize edilen sistemlerde, osilatör (modülatör veya tiratron) zamanlayıcı sinyalleri üretip vericiye gönderir.

h. *Dalga Üretici*: İstenen frekans ve dalga biçiminde sinyaller üretir.

i. *Verici (Transmitter)*: Yüksek güçlü mikrodalga osilatörler (magnetron) veya düşük RF gücüyle beslenen mikrodalga yükselteçler (klistron) kullanarak elektromanyetik dalga üretir.

## 1.2. Radar Denklemi

Radarin hedefe gönderdiği ve hedeften radara yansıyan sinyalin gücünü etkileyen faktörler vardır; küresel anteniyle ışın yapan bir radarın tüm yönlerde eşit şekilde yaydığı güç yoğunluğu [3];

$$P_{k\u00fcresel} = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (1.1)$$

ile ifade edilir.

Form\u00fclde verilen  $P_t$ , gönderilen darbenin gücü ve  $R$ , hedef ile radar arasındaki mesafedir. Form\u00fclde atmosferik kayıplar ihmal edilmiştir.

Radarlar ürettikleri sinyal gücünü yönlü antenler kullanarak hedefe doğru yönlendirebilirler. Yönlü antenin kazancı ( $G$ );

$$G_t = \frac{\text{antenin maksimum ışıma yoğunluğu}}{\text{küresel antenin ışıma yoğunluğu}} \quad (1.2)$$

ile ifade edilir.

Buna göre yönlü anten kullanan radarlarının güç yoğunluğu,

$$P = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad (1.3)$$

olarak yazılabilir.

$P_t G_t$ , etkin ışıma gücü (ERP-Effective Radiated Power) olarak da tanımlanır.

Hedef, üzerine düşen güç yoğunluğunu ( $P_r$ ) radar kesit alanına RKA (Radar Cross Sectio-RCS) bağlı olarak radara geri yansıtır.

Hedefin radar kesit alanı üç faktörün çarpımı olarak ifade edilir;

$$\sigma = \text{Geometrik Kesit Alanı} \times \text{Yansıtma Katsayısı} \times \text{Yönleme Katsayısı}$$

Geomaetrik kesit alanı  $A$ , hedefin radar tarafından görülen kesit alanıdır. Bu alan hedefin ne kadar gücü yakaladığını belirler.

$$A = \frac{P_{\text{YakalananDa lga}}}{P_{\text{GelenDa lga}}} \quad (1.4)$$

Yansıtma katsayısı, hedeften geri yansıyan (saçılan) gücün, hedefe gelen güce orandır.

$$\text{Yansıtma Katsayısı} = \frac{P_{\text{SaçılanDa } l g a}}{P_{\text{GelenDa } l g a}} \quad (1.5)$$

Yönelme katsayısı, radar yönünde geri yansıyan gücün, tüm yönde eşit saçılan izotropik güce orandır.

$$\text{Yönelme Katsayısı} = \frac{P_{\text{SaçılanDa } l g a}}{P_{\text{İzotropikKaynak}}} \quad (1.6)$$

Hedeften radara geri saçılan güç yoğunluğu;

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \sigma \frac{1}{4\pi R^2} \quad (1.7)$$

ile ifade edilir.

Böylece, radar alıcısının aldığı sinyal gücü  $S$  ;

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \sigma \frac{1}{4\pi R^2} A_e \quad (1.8)$$

ile ifade edilir.

Burada  $A_e$  ;

$$A_e = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad (1.9)$$

olarak ifade edilen radar alıcısının etkin anten alanıdır.

$G_r$ , radar alıcı anten kazancı;  $\lambda$ , dalga boyudur. Buna göre  $S$  ;

$$S = \frac{P_t G_t G_r \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1.10)$$

olarak yazılır.

Radar alıcısı hedeften yansıyan sinyalle birlikte ısı enerjisi nedeniyle oluşan rasgele gürültü sinyalini de alır. Gürültü, hedeften yansıyan eko sinyallerini maskeleyebilir veya radar tarafından hedef olarak algılanabilir. Radar uygulamalarının başarılı olması için, hedef ekosunun gücü gürültünün gücünden fazla olmalıdır.

Radarın aldığı ısı gürültü büyüklüğü;

$$N = KTBF \quad (1.11)$$

ile ifade edilir. Burada,

$K$  : Boltzaman sabiti ( $1.38 \times 10^{-23} W/(Hz^{\circ}K)$ )

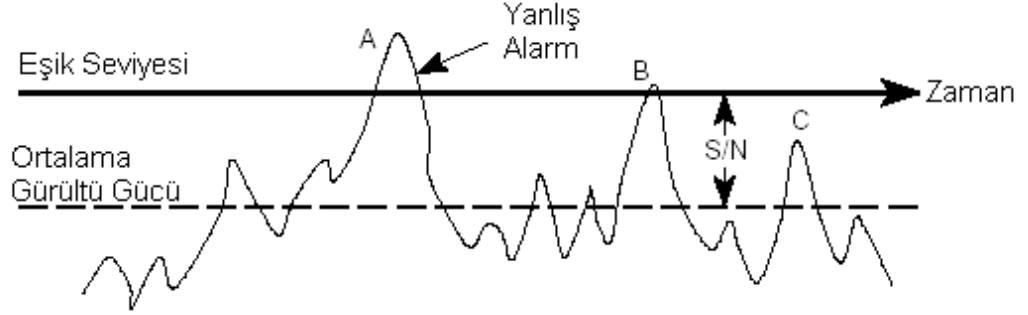
$T$  : Standart sıcaklık ( $290^{\circ}K$ )

$B$  : Alıcı bant genişliği

$F$  : Alıcı gürültü katsayısıdır.

Eko sinyalini tespit edebilmek için eko sinyalinin gücü ile gürültü sinyalinin gücü toplanır ve belirlenen eşik seviyesini aşmış olmadığına bakılır. Eşik seviyesi, ortalama gürültü seviyesinin yeteri kadar üstünde seçilir. Bu seviye belirlenirken eko sinyalinin gücünün ( $S$ ) gürültü sinyalinin gücüne ( $N$ ) olan oranı (SNR-Signal to Noise Ratio) dikkate alınmalıdır. Eğer  $N$  değeri yükselirse eşik seviyesini

koruyabilmek için S değeri de arttırılmalıdır. Şekil 1.2’de gürültü sinyalinin ve S/N seçiminin etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Gürültü etkisi.

Şekil 1.2’de A noktasında gösterildiği gibi gürültü sinyalinin rasgele oluşan tepe noktası eşik seviyesini geçebilir ve gürültü sinyali hedef sinyaliymiş gibi algılanabilir (false alarm). Gürültü B noktasında tam eşik seviyesindedir, C noktasında ise eşik seviyesinin altındadır. Eşik seviyesi çok yüksek seçilirse, hedeften yansıyan zayıf sinyaller eşik seviyesini geçemeyebilir ve radar gelen hedef ekosunu gürültü sinyali olarak değerlendirip hedefini ıskalayabilir (target miss) [3].

### 1.3. Çevresel Faktörlerin Radara Etkisi

Radara iletim ortamında oluşabilecek ve radar denklemini etkileyebilecek bazı çevresel faktörler aşağıda belirtilmiştir;

#### 1.3.1. Atmosferik zayıflama

Atmosferde bulunan oksijen ve su buharı molekülleri RF sinyallerinin soğurulmasına neden olurlar. Atmosferin RF sinyaller üzerindeki zayıflama etkisi  $L_{atm}$  ile gösterilir ve radar menzil hesaplamalarında kullanılır.



### 1.3.2. Parazit yankılar

Radarda istenen sinyallerin algılanmasını zayıflatan parazit sinyaller (clutter) olabilir. Parazit sinyaller yerden, denizden ve yağmurdan dolayı oluşur. Bu sinyalleri değerlendirmenin en etkin yolu, parazit sinyallerin etkisini radar kesit alanı cinsinden ifade etmek ve gerçek radar radar kesit alanı ile kıyaslamaktır [4].

Radardan hedefe sinyaller gönderilirken, bu sinyallerin bir kısmı yere yansyarak radara geri döner. Eğer yerden yansyan sinyal, hedefe ait eko sinyali ile aynı radar hücresi içindeyse eko sinyalini bastırabilir. Yerden yansyan sinyalin radar kesit alanı;

$$\sigma_g = \frac{c\tau}{2} \frac{V_B}{\sqrt{2}} Z_1 \gamma \quad (1.12)$$

olarak ifade edilir. Burada

$$\gamma = \frac{0.00032}{\lambda} \quad (1.13)$$

ve

formülde verilen  $\frac{c\tau}{2}$ , radar hücresinin menzil çözünürlüğü;  $V_B$ , anten ışın genişliği;  $Z_1$ , radar alıcı antenin yerden yüksekliği;  $\gamma$ , yansıtma katsayısı;  $\lambda$ , radar sinyalinin dalga boyudur.

Deniz yüzeyinden yansyan sinyallerin etkisi, yerden yansıtma durumu için kullanılan formülle ifade edilebilir. Yansıtma katsayısı, denizin durumuna, sinyalin deniz yüzeyiyle yaptığı açıya ve dalga boyuna bağlıdır [4-5].

## 2. RADARIN GENEL ÇALIŞMA PRENSİBİ

### 2.1. Elektromanyetik Dalga ve Yansıma

Bütün radar sistemlerinin temel çalışma prensibi cisimlerin radar istasyonuna olan mesafesini ve konumunu radyo sinyallerinin (elektromanyetik dalga) cisme çarpıp geri dönmesiyle hesaplanarak bulunmasıdır. Işık hızı ile hareket eden radyo dalgalarının hızı 162 000 NM/sn. (300 000 Km./sn) dir. Pratik olarak 160 NM/milisaneye kabul edilir. Bir radyo dalgası istasyon ile hedef arasındaki mesafeyi gidip geleceğinden Hedefin Mesafesi=(Radyo Dalgasının Sürati)×(Gidiş-Dönüş Zamanı/2) olacaktır. Antenin o andaki yönü de uçağın istikametinin belirlenmesine yardımcı olur [6].

Radar sistemlerinin görevlerini anlatmak için, bir kişinin dağın önünde durarak yüksek sesle bağırması ve sesin dağdan yansiyarak geri dönmesi örneğini verebiliriz;

- Bir kişi dağın önünde durur, avuç içleriyle ağız kenarında koni yaparak yüksek sesle bağırır. Sesinin azalarak dönen ekosunu (mesafeye bağlı olarak) bir süre sonra duyar,
- Bir kişi sesin çıktığı zamanla, dağdan dönen ekonun arasındaki zamanı hesaplar, bu zamanı ikiye böler ve sesin hızı ile çarparak dağların mesafesini bulabilir.

Radar Sistemleri de basit olarak bu yöntemle çalışır:

- Transmitter (Gönderici) : Çok yüksek güçte elektromanyetik dalgalar göndererek en uzak mesafelerdeki, en küçük hedeflere dahi ulaşmaya çalışır.
- Receiver (Alıcı) : Geri dönen eko'ları denetler.
- Yansıtıcı: Elektromanyetik dalganın gönderildiği ve alındığı o an taranan yönü belirler.
- Triggering (Tetikleme) : Daha güvenli bir sonuç almak için gönderme ve alma arasındaki dinleme sürecini belirler

## 2.2. Temel Radar Parametreleri

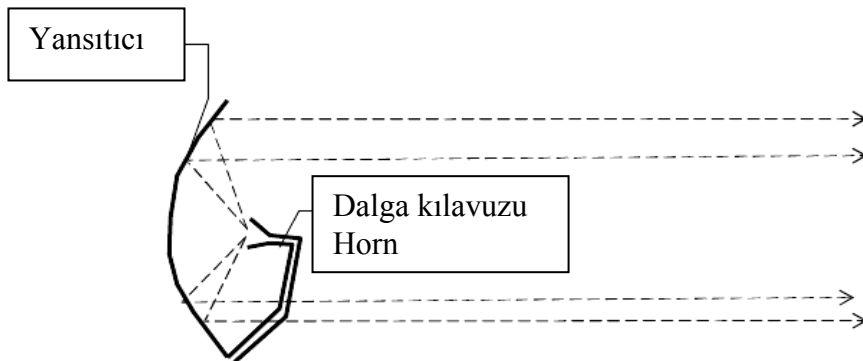
### 2.2.1. Belirlenen radar menzili ve darbe tekrar aralığı (PRI-Pulse Repetation Interval)

Mühendisler yeni bir radar kuracakları zaman taranması istenen menzile ilgili olarak bir limit belirlerler. Bu menzile Belirlenen Radar Menzili (Unambiguous Range) olarak adlandırılır. Radar dalgalarının hızı (160 NM/msn) anten ile hedef arasındaki gidiş-geliş zamanına göre ihtiyaç duyulan zamanı belirler. Bir darbenin azami mesafedeki hedefe çarpıp geri dönmesi kadar geçecek zaman sonra yeni bir darbe gönderir. 60 NM tarayan bir anten için, gönderilen darbenin 60 NM'daki bir hedeften yansırarak tekrar radar antenine dönmesiyle (120NM) bir sonraki darbeyi gönderir. Bu zaman aralığına Darbe Tekrar Aralığı (PRI\_Pulse Repetition Interval) denir [6].

### 2.2.2. Darbe tekrar frekansı (PRF\_Pulse Repetition Frequency)

Frekans: Belli bir zaman diliminde gönderilen dalga boylarının sayısına frekans denir. Ölçü birimi Hertz'dir. PRF ile PRI ters orantılıdır.  $PRF=1/PRI$  Eğer PRI 1 msn. ise;  $PRF=1/1msn= 1000$  Hz. Ya da her saniye 100 adet darbe gönderilmiş olur. Eğer PRI=2 msn. ise;  $PRF=500$  Hz. olur.

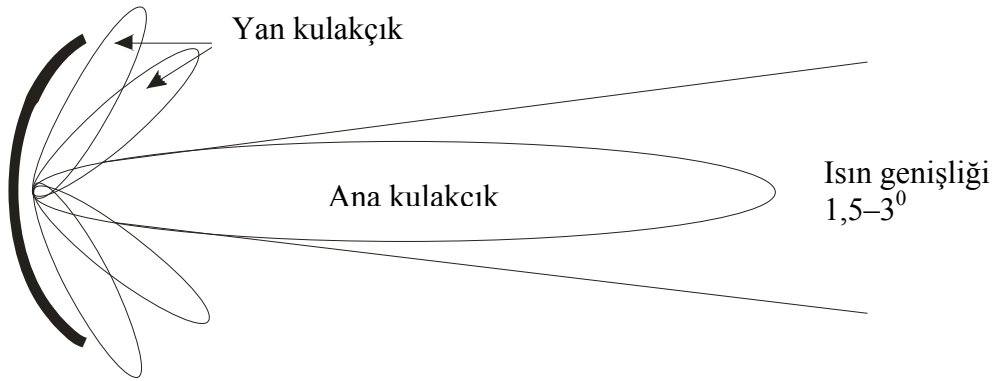
### 2.2.3. Yansıtıcı:



Şekil 2.1. Enerjinin dağıtılmasını önleyen reflektör.

Enerjinin direkt olarak yayılması yerine hedeflerin pozisyonunun daha güvenli olarak belirlenebilmesi ve enerjinin dağılmasını mümkün olduğunca önlemek amacıyla reflektör kullanılmaktadır (Şekil 2.1).

#### 2.2.4. Ana kulakçık ve yan kulakçık:



Şekil 2.2. Ana kulakçık ve yan kulakçık.

Enerjinin yansıtıcılardan yansması ile ince bir kulakçık oluşur, açısı 1.5-3 derece arasında değişir. Bu açığa ışın genişliği denir. Genel olarak ışın genişliği 2 derece olarak kabul edilir. Bütün alan ana kulakçık alanı olarak adlandırılır. Bu sahannın sağında ve solunda yan kulakçılıklar oluşur. Ana enerji ana kulakçılıktadır. Enerjinin küçük parçaları da yan kulakçılıklarda oluşur. Yan kulakçılıklar uçakları farklı yerlerde gösterebilir. Bu ise istenen bir durum değildir. Mümkün mertebe yan kulakçılıkların oluşması önlenmeye çalışılır (şekil 2.2).

#### 2.2.5. Anten dönüş hızı ve etkileri:

Radar anteninin, darbeleri göndermesi ve alması esnasında, radar anteni dönüş yaptığı için, alınan darbeler hedefleri az da olsa farklı yerlerde gösterir.

Örneğin 10 rpm dönüş hızı olan bir antenin PRI=2 msn olduğunda; anten 1 dk.da 10 dönüş yapar yada 10x360 derece yapar. 1 sn.de 60 derece döner yada 1msn.de 0.06 derece döner. Sonuç olarak; istikamette (azimuth) ortalama 0.1drecelik fark oluşur.

Ancak bütün hedefler için bu sapma söz konusu olduğundan, uçaklar arasındaki radar ayırması etkilenmez.

Radar antenlerinin dönüş hızları tarayacağı alana göre ayarlanır. Yani büyük bir saha (200–250 NM) taranıyorsa anten yavaş dönmeli, küçük bir saha taranıyorsa (60–80 NM) anten daha hızlı dönmelidir. 50-60 NM'lik alanı tarayan antenin hızı = 10-12 RPM 200-220 NM'lik alanı tarayan antenin hızı = 6-7 RPM. (1 dk.daki dönüş hızı) (Rotation per minute). Bir radar anteninin hızı 12 RPM ise o uçak hakkında 1 dk. içerisinde 12 kez pozisyon bilgisi alabiliriz. Bu dönüşler arasında radar anteni darbeleri belli bir aralıkla gönderir [6].

### 3. RADAR KESİT ALANI (RKA)

#### 3.1. Radar Kesit Alanı Tanımı

Radar kesit alanı (RKA) (Radar Cross Section-RCS), tanım olarak, hedeflerin üzerine gelen elektromanyetik enerjiyi radar alıcısı yönünde yansıtma kabiliyetlerinin bir ölçüsüdür. Hedeften geri dönen enerji; aydınlatılan alanın dalga boyu, hedef geometrisi, hedefin konumu ve iletkenliği gibi birçok parametre ile değişir.

Radar tarafından iletilen elektromanyetik dalga hedefe çarptığında hedef üzerinde bir akım oluşur ve bu akım, hedeften tüm yönlerde dalgaların yayılmasını sağlar. Yayılan bu dalgaları radar işleyerek hedefin boyutu, fiziksel şekli, hedefi oluşturan maddenin cinsi gibi hedefe ait bazı parametreleri tespit eder. Hedefe ait olan tüm parametreler RKA olarak adlandırılan radar parametresi ile ifade edilebilir.

Radar uygulamalarında radarları karşılaştırırken RKA parametresi kullanılır. Bu parametreyi önceden tanımlamak ve tahmin etmek önemli ve gereklidir. RKA değeri ne kadar kesin tahmin edilirse, hedef hakkındaki bilgiler o kadar sağlıklı olur.

Bir radar vericisinden gönderilen işaret, hedef tarafından yansıtılarak tekrar radar alıcısına eriştiğinde, işarettaki zayıflamalar radar uzaklık denkleminde göz önüne alınır ve hedefin yansımaları tek bir  $\sigma$  fonksiyonuyla tanımlanır. Bu  $\sigma$  fonksiyonuna yansıtan hedefin Radar Kesit Alanı ( RKA ya da RCS: Radar Cross Section ) denir.

RKA hedefin görünür kısmını tarif eder ve hedef tarafından gücünün ne kadarının tutulmuş olduğunu ve de ne kadarının radar alıcısına yansımış olduğunu ölçer. RKA hedefi karakterize etmede oldukça faydalıdır ve yaygın olarak kullanılır. Verici gücünden, alıcı duyarlılığından ve alıcı ile vericinin hedefe uzaklığından bağımsızdır. Hedeflerin RKA değerleri kullanılan frekansa, hedef geometrisi ve hedefin elektriksel özelliklerine bağlıdır. RKA, radar alıcısına yansıyan ve hedefe gelen güç yoğunluklarının oranı olarak verilmektedir [7].

$$\sigma = \frac{\text{Birim katı açıda radar alıcısına yansıyan güç}}{\text{Hedefeye gelen güç yoğunluğu} / 4\pi} \quad [m^2] \quad (3.1)$$

Elektrik ve elektronik terimlerin bulunduğu IEEE sözlüğü RKA'yi aşağıdaki gibi formüle edilmektedir [7].

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\bar{P}_s|^2}{|\bar{P}_i|^2} [m^2] \quad (3.2)$$

Ya da RKA, saçılan  $P_s$  ve gelen güç yoğunlukları  $P_i$  yerine, alıcı yönünde saçılan ve hedefeye gelen elektrik alanlar sırasıyla  $E_s$  ve  $E_i$  cinsinden de yazılabilir.

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{E}_s|^2}{|\vec{E}_i|^2} [m^2] \quad (3.3)$$

Radar kesit alanının hesaplanması temel olarak hedeften dağılan elektrik alanının bulunması demektir. Gelen düzlemsel dalga tarafından hedefeye endüklenen akım hesaplanırsa, anten dizilerinde kullanılan aynı integraller dağılan bu elektrik alanının hesaplanmasına uygulanabilir.

Hedefin uzak bölgelerinde, dağılan alanın mesafeye bağımlılığı  $R$  (radar ile hedef arası uzaklık) ile ters orantılı olarak değişir ve bu yüzden  $\sigma$  mesafeden bağımsızdır. Yine de, endüklenen akımın belirlenmesi zor bir problemdir. Çünkü Maxwell denklemlerinin karmaşık sınır değerleri için çözülmesi gerekir. Birçok durumda sadece sayısal bir çözüm mümkün olur [7].

Radar kesit alanı birimi sıklıkla desibel [dB] metre kare [ $m^2$ ] olarak kullanılır, yani [dB  $m^2$ ];

$$\sigma[\text{dB m}^2] = 10 \text{ Log } (\sigma[\text{m}^2]) \quad (3.4)$$

Çizelge 3.1. Bazı yaygın hedefler için RKA değerleri

Hedef	RKA(ondalık ölçekte)	RKA(logarimik ölçekte)
Kuş	0,001 m <sup>2</sup>	-30 dB m <sup>2</sup>
Cruise Füzesi	0,01 m <sup>2</sup>	-20 dB m <sup>2</sup>
İnsan Küçük Bot Küçük Uçak	1 m <sup>2</sup>	0 dB m <sup>2</sup>
Büyük Füze Savaş-Bombardman Uçağı	10 m <sup>2</sup>	10 dB m <sup>2</sup>
Yoldaki Trafik Büyük Uçak	100 m <sup>2</sup>	20 dB m <sup>2</sup>
Tanker Büyük Yolcu Gemisi	1000 m <sup>2</sup>	30 dB m <sup>2</sup>

Çizelge 3.1’de çeşitli hedefler için radar saçılma değerleri örnek olarak verilmiştir. Büyük yolcu uçakları için tipik radar kesit alanı değeri 20 dBm<sup>2</sup> (100 m<sup>2</sup>), kuşlar için ise sadece -30 dBm<sup>2</sup> (0,001 m<sup>2</sup>) dir. Modern radarlar kuş sürülerini ve hatta böcek topluluklarını dahi algılayabilmektedir [7].

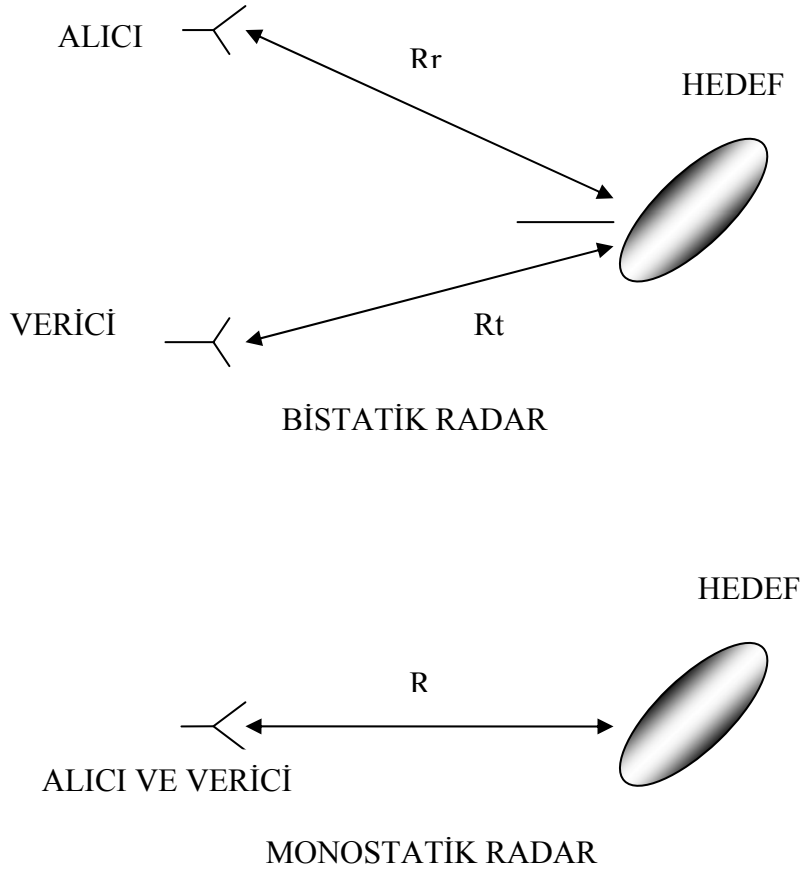
Radar bilgisayarı tüm algılamaları inceler, hedefleri ve hızları yörüngelerine göre ayıklar. Yine de, ilgilenmediğimiz düşük radar kesit alanına sahip hedefler de algılanabilir ve yüzden RKA hesaplamaları mühendislik açısından zor bir konudur.

### 3.2. Mono-statik ve Bi-statik Radar Saçılma Yüzeyleri

RKA, hedefe göre alıcı ve vericinin aynı yerde ya da farklı yerlerde olmasına bağlı olarak, sırasıyla, mono-statik ve bi-statik RKA olarak ikiye ayrılır. Her iki durumda da hedeften çok uzaklarda (uzaklık dalga boyuna göre sonsuza giderken) saçılan alan



genliğinin gelen alan genliği ile (karesel olarak) ortalaması olarak elde edilir. Aşağıda Şekil 3.1' te mono-statik ve bi-statik radar gösterilmiştir [8].



Şekil 3.1. Bistatik ve Monostatik Radar.

RKA, Bistatik RKA ve Monostatik RKA olmak üzere iki farklı terimle ifade edilir. Radar terminolojisindeki RKA, verici ile alıcı konumlarının farklı olması durumunda kullanılır. Yani hedef üzerine elektromanyetik dalganın gönderiliş yeri ile saçılan alının ölçülme yeri farklıdır [8].

Monostatik RKA'de ise verici ile alıcı konumları aynıdır. Radarların çoğunluğu, monostatik radardır. Bu nedenle RKA denildiğinde genellikle monostatik RKA anlaşılır.

### 3.3. Elektromanyetik Dalga Tanımı ve Özellikleri

Elektromanyetik dalgalar, enerjiyi uzayda bir noktadan diğer bir noktaya iletirler. Bu dalgalar, uzayda zamana göre elektrik ve manyetik alan vektörlerinin yönleri ve polarizasyon doğrultuları ile tarif edilirler. Bir elektromanyetik dalga için önemli özellikler; dalga tipi, yayılım frekansı, polarizasyonu ve dalganın yayıldığı alanın empedansı veya admitansdır.

Elektromanyetik dalgayı şöyle tanıtabiliriz; ivmeli hareket eden elektrik yükleri, elektrik ve manyetik alanların oluşumuna yol açar. Manyetik alandaki değişim, elektrik alanda bir değişimi, elektrik alandaki değişim de manyetik alan değişimine yol açar. Eğer bir noktada periyodik olarak bu alan değişimleri varsa, bu alan değişimleri elektromanyetik dalgayı oluşturur [8].

Elektrik ve manyetik alan vektörleri, daima ivmeli hareket eden yüklü taneciğin doğrultusunda dik olacak biçimde değişir.

Örnek olarak U biçimindeki bir teli, H şiddetindeki manyetik alana, U şeklindeki telin düzlemi, manyetik alan kuvvet çizgilerine dik gelecek şekilde getirelim. U telin, üzerine d uzunluğunda bir iletken çubuk bırakalım, bu çubuğu U telin üzerinde v sabit hızı ile hareket ettirelim. Bu durumda ikili tel-çubuk sistemi çevresinden geçen manyetik akının zamana bağlı değişimi (indüksiyon motor kuvveti) şöyle olur:

$\Phi$  = manyetik akı,

$t$  = zaman,

$V$  = potansiyel fark,

$v$  = hız,

$d$  = çubuğun boyu,

$L$  = U telin kapalı ucu ile çubuk arasındaki uzaklık olmak üzere

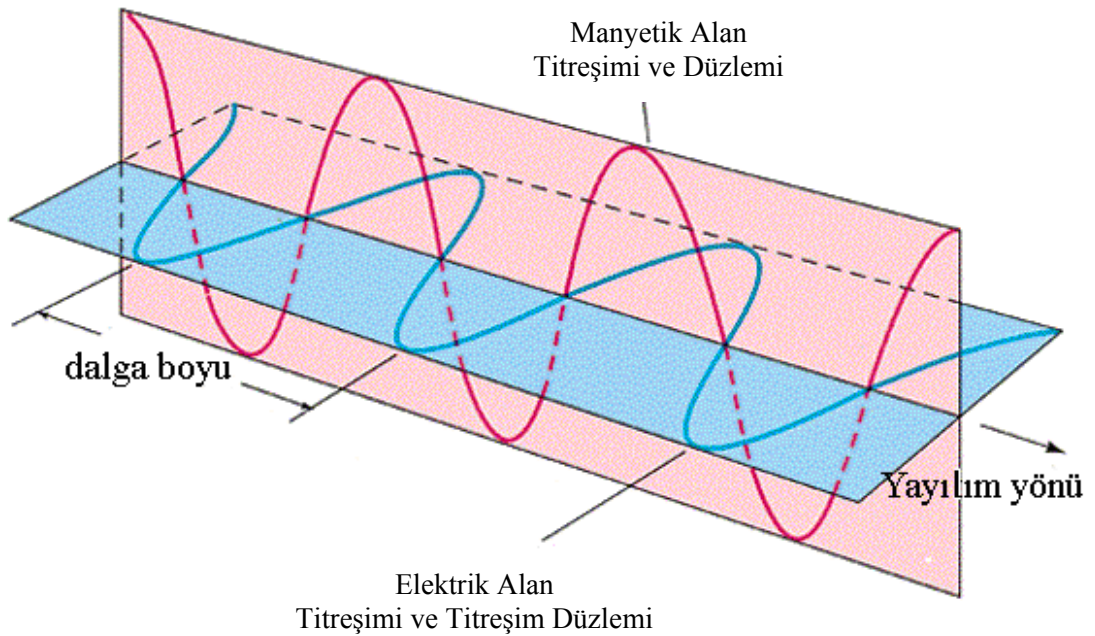
$$V \text{ (indüksiyon motor kuvveti)} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\hat{H}Ld}{dt} = \hat{H}d \frac{dL}{dt} = Hd v \quad (3.5)$$

Elektrik alan,  $\hat{E} = \frac{V}{d}$  ise yukarıdaki ifadeden

$$\hat{E} = \hat{H}v \quad (3.6)$$

Eşitliğin iki tarafındaki  $\hat{E}$  ve  $\hat{H}$ , bize elektrik alandaki değişimin manyetik alan değişimine, manyetik alan değişiminin de elektrik alanın değişimine yol açtığını gösterir.

Bu durumda  $\hat{E}$  ve  $\hat{H}$  alan bileşenleri birbirine dik kalacak şekilde  $v$  hızı ile yayılmaya başlar. Bu iki alan birbirine dik kalmak koşulu ile elektromanyetik dalga herhangi doğrultuda yayılabilir (Şekil 3.2), [9].



Şekil 3.2. Elektrik ve Manyetik Alanı.

Elektromanyetik dalgaların yayılımında değişen tek şey, birbirlerine ve yayılma doğrultusunda dik doğrultuda değişen elektrik ve manyetik dalga bileşenidir. Bu yüzden elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır.

Elektromanyetik dalgaların yayılma ortamının elektrik ve manyetik geçirgenliğine bağlıdır. Bir önceki denklemde gördüğümüz  $\hat{E} = \hat{H}v$ , aslında,

$$c\hat{E} = \mu\hat{H}v$$

ve

$c\hat{H} = k\hat{E}v$  şeklinde yazmak doğrudur.

Burada:  $\mu$ , manyetik geçirgenlik,  $k$ , elektriksel geçirgenlik ve  $c$ , ışık hızıdır. Bu durumda hız;

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu k}} \quad (3.7)$$

olur.

Boşluk için  $\mu=1$  ve  $k=1$  olduğu için  $v=c$  çıkar.

Elektromanyetik dalgalar, boşlukta ışık hızı ( $2,997925 \cdot 10^8 \text{ m/sn} \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/sn}$ ) ile yayılan enine dalga hareketidir.

Alan değişimine yol açan ivmeli yüklü tanecik, örneğin bir elektronun elektrik ve manyetik alan vektörleri:

$$\hat{E} = \hat{H} = \frac{ae}{rc^2} \sin \varphi \quad (3.8)$$

ile bulunur.

$r$  = noktanın dalga kaynağına olan uzaklığı,

$a$  = ivme,

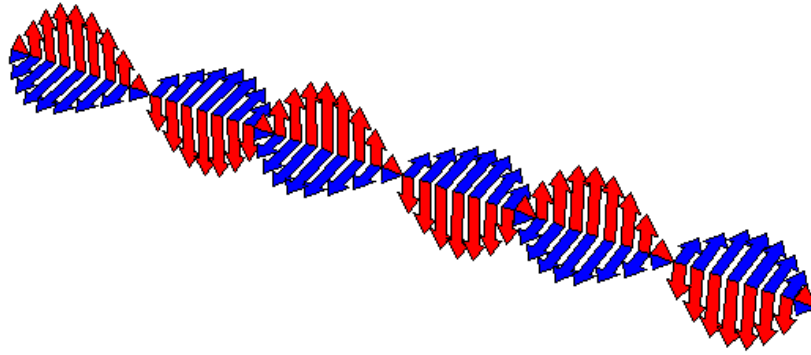
$e$  = elektron yükü,

$\varphi$  =  $a$  ve  $r$  vektörleri arasındaki açıdır.

Eğer  $\varphi = 0$  olursa  $E = H = 0$  olacağından, yüklü tanecikler hareketleri doğrultusunda elektromanyetik dalga yayınlamaz. Eğer  $\varphi = n/2$  olursa  $E$  ve  $H$  genlikleri maksimuma ulaşır.

$$E_{\max} = H_{\max} = \frac{ae}{rc^2} \quad (3.9)$$

Elektromanyetik dalgaların bileşenleri olan  $\hat{E}$  ve  $\hat{H}$ , her doğrultuda sıfır ile maksimum bir değer arasında aynı fazda değişimler gösterirken, birbirlerine ve yayılma doğrultusunda dik kalır.  $E$  alan vektörü dalganın titreşim doğrultusu ise, bu doğrultu uzaydaki herhangi bir doğrultu olabilir. Ancak, bazen elektrik alan vektörünün doğrultusu belirli bir düzlem içerisinde kalabilir. Bu dalgalara Düzlemsel ya da Çizgisel Kutuplanmış Dalga adı verilir (Şekil 3.3).

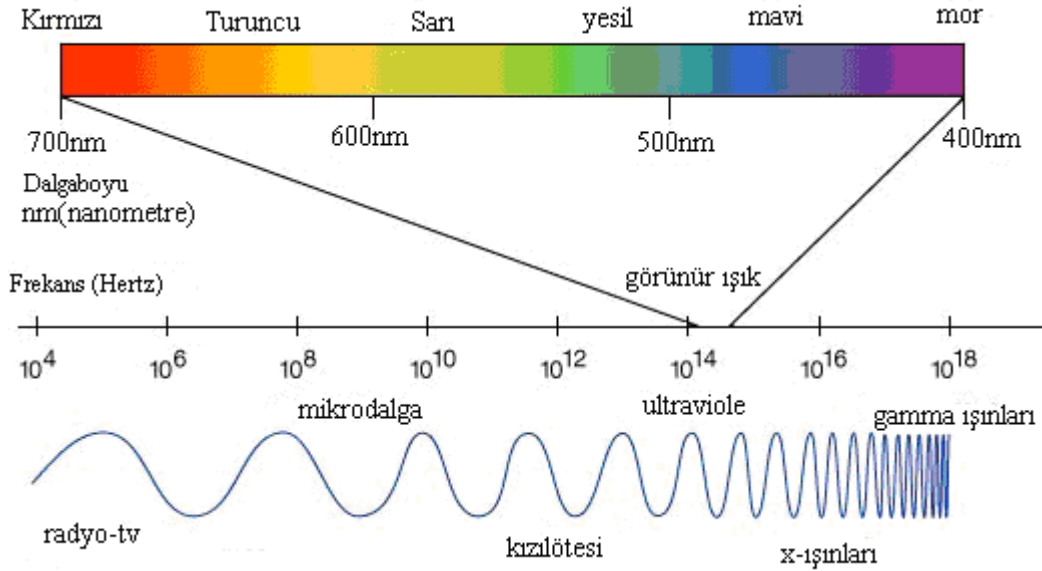


Şekil 3.3. Düzlemsel Kutuplanmış Dalga.

Kutuplanma, ışığın çift kırıcı (polaroid) bir levhadan geçirilmesi, daha yoğun bir ortamdan belirli bir açı (Brewster açısı) ile yansıtılması gibi yöntemlerle sağlanabilir. Elektrik alan vektörünün ucu uzayda bir elips ya da daire çizecek şekilde kutuplanmış ise bu dalgalara Eliptik ya da Dairesel Kutuplanmış dalga denir. Aralarında 90 derecelik bir faz farklı olan iki doğrusal titreşimin bileşkesi dairesel kutuplanmayı sağlar. Çizgisel kutuplanmış bir ışığı, çift kırıcı bir levhadan geçirerek dairesel kutuplanmış ışık elde edilebilir [9].

Elektromanyetik dalgaları birbirlerinden ayıran özellikleri ya dalga boyları ve ya frekanslarıdır. Uzun dalga boyları bölgesinde dalga boyları kilometreleri bulan radyo dalgaları ile bir angstromun binde biri dalga boyuna sahip gamma ışınları içerir Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir. Görebildiğimiz ışık ise 4200 angstrom dalga boyuna sahip mor ışık ile 6600 angstrom dalga boyuna sahip kırmızı ışık arasındadır. Frekansları ve

dalga boylarından bağımsız olarak tüm elektromanyetik dalgaların boşlukta yayılım hızı  $c \cong 3 \cdot 10^8$  m/sn'e eşittir.



Şekil 3.4. Elektromanyetik Dalgalar.

Yayılım hızını değiştiren faktör ortamdır. Belirli ortam içerisinde hız,

$$v = \lambda \cdot f \quad (3.10)$$

biçiminde ifade edilir. Burada;

$v$  = hız

$\lambda$  = dalga boyu

$f$  = frekans 'dır.

Frekans, saniyedeki titreşim sayısını verir ve  $f = \frac{1}{T}$ ,  $T$  = periyot.

Elektromanyetik ışınma enerjisi, uzun dalga boylarında daha çok dalga, kısa dalga boylarında ise daha çok tanecik karakterini hissettirmektedir.

Kısa dalga boylarında daha yüksek enerjiye, örneğin gamma ışınları en yüksek enerjiye, radyo dalgaları ise en düşük enerjiye sahiptir.

$$E = hf \quad (3.11)$$

Burada:  $f$  , frekans,  $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  joule.sn. (Planck sabiti)

$f$  = frekans,

$h$  = Planck sabiti =  $6,626 \cdot 10^{-34}$  joule.saniye.

Sıcaklığı mutlak sıfırdan yüksek her cisim elektromanyetik dalga ışıması yapar.

### 3.3.1. Frekans ve dalga doyu

Tüm elektromanyetik dalgalar, mükemmel bir vakum tüpün içinde yaklaşık olarak ışık hızında ( $3 \times 10^8$  m/sn) yayılırlar. Bu yayılım hızı deniz seviyesinin hemen üzerindeki bir yükseklikte vakum tüpe nazaran ihmal edilebilecek derecede düşüktür. O yüzden radar işaretleri için, elektromanyetik dalgaların yayılım hızı ışık hızı olarak kabul edilir. Bilindiği gibi ışık hızı [8];

$$c = f \times \lambda \text{ [m/s]} \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $f$ , frekansı (Hz),  $\lambda$  ise dalga boyunu [m] göstermektedir. Günümüzde radarlar kullanım alanları ve tipleri itibariyle çok farklı dalga boyları ve frekanslarda çalışmaktadırlar.

RKA hesabı gibi, sayısal hesaplamalarda da, elektromanyetik dalgaların boşlukta yayıldığı kabul edilir ve dalgaların yayıldığı ortamın empedansı olarak boşluğun karakteristik empedansını kullanılır. Bulduğumuz ortamın empedansı,

$$z = \frac{|E|}{|H|} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (3.13)$$

olarak verilir. Boşlukta ise bu hesaplama,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  [H/m] boşluğun manyetik

geçirgenlik sabiti ve  $\epsilon_0 = \frac{1}{c^2 \mu_0} \approx \frac{1}{36\pi \times 10^9}$  [F/m] boşluğun dielektrik sabiti olmak

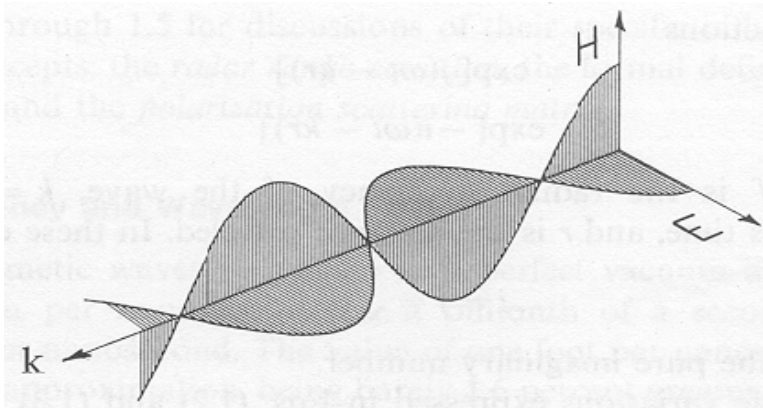
üzere,

$$z = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 120\pi = 377 \text{ } [\Omega] \quad (3.14)$$

olarak verilmektedir.

### 3.3.2. Dalga tipleri

Bir elektromanyetik dalganın yayınına ait gösterim Şekil 3.5' teki gibidir. Şekilde elektromanyetik dalganın elektrik alanının,  $k$  birim vektörü ile gösterilen yayının doğrultusu ile zamana göre nasıl değiştiği gösterilmektedir. Elektrik alan vektörü  $E$  manyetik alan vektörü  $H'$  ye diktir ve her ikisi de  $k$  yayının doğrultusu vektörüne diktirler [8].



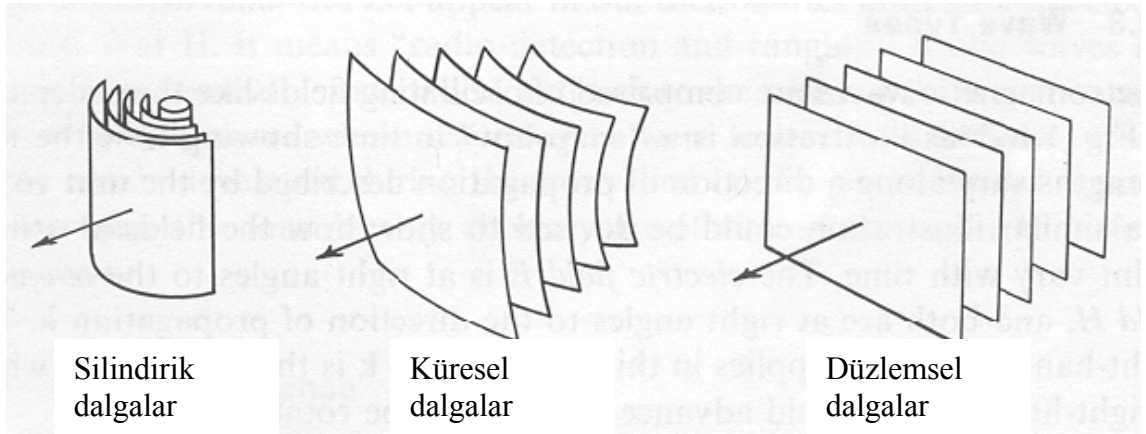
Şekil 3.5. Elektromanyetik düzlemsel dalga bileşenleri.

Şekil 3.5'te mesafe arttıkça dalganın genliğinde azalma olmamaktadır. İşte bu düzlemsel dalgadır. Bir düzlemsel dalga adından da anlaşılacağı üzere sabit fazlardaki düzlemlerden oluşur. Düzlemsel dalgalar doğada nadiren bulunurlar. Bir örnek olarak yıldızlardan gelen ışıklar düzlemsel dalgalar şeklinde yayılırlar.

Sabit faz yüzeyi küresel olan dalgalar ise küresel dalgalar olarak adlandırılırlar. Bu tür dalgalar, doğaları gereği noktasal kaynaklardan yayılırlar. Diğer bir tip ise silindirik dalgalardır. Bu tipte ise sabit faz yüzeyleri silindirik yapıdadır. Şekil 3.6' da silindirik, küresel ve düzlemsel dalgalar birlikte gösterilmiştir. Silindirik bir dalga



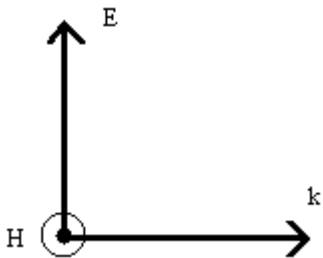
sonsuz uzunluktaki doğrusal bir kaynaktan yayılır. Silindirik dalgalar, doğada düzlemsel ve küresel dalgalara nazaran daha az görülürler. Fakat teorik uygulamalarda sıklıkla kullanılır. Bunların dışında birçok dalga şekilleri bulunur. Fakat radar uygulamalarında kullanılan elektromanyetik dalgalar bahsedildiği gibi ayrılmaktadır.



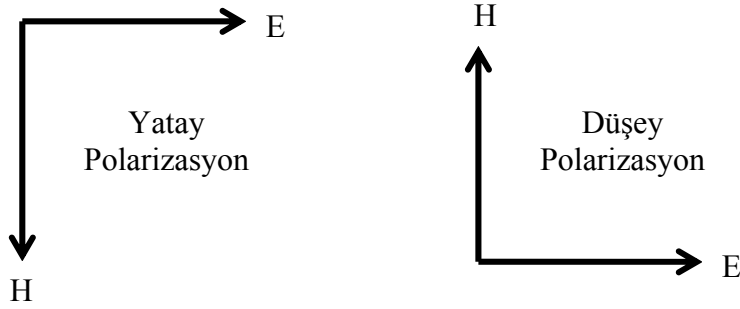
Şekil 3.6. Silindirik, küresel ve düzlem dalgalar.

### 3.3.3. Polarizasyon

Tüm elektromanyetik dalgalarda elektrik alan ve manyetik alan vektörleri yayınım doğrultusuna diktirler. Bunu, Şekil 3.7’ de gösterildiği gibi sağ-el kuralını kullanarak kolayca görmek mümkündür [8].



Şekil 3.7. Bir elektromanyetik dalganın bileşenleri.



Şekil 3.8. Yatay ve Düşey polarizasyon.

Hedeften saçılan alan hedefe gelen dalğanın polarizasyonuna bağlıdır. Polarizasyon kabaca elektrik alan vektörünün ucunun uzayda zamanla çizdiği şekildir. Bu şekil,

- Lineer,
- Eliptik,
- Dairesel.

şekillerde olabilir. Ayrıca Şekil 3.8’de gösterildiği gibi lineer polarizasyonu, elektrik alan vektörünün doğrultusuna göre, yatay veya düşey polarizasyon olarak ikiye ayırmakta mümkündür.

Kullandığımız radar antenine göre, radar dalgası ve hedefin tipine göre de yansıyan dalga bu polarizasyonlardan birini yapıyor olabilir. Polarizasyonu gelen ve saçılan alana göre eş polarizasyonlu ve çapraz polarizasyonlu olarak ayırabiliriz. Tablo 3.2’de eş ve çapraz polarizasyon durumları gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Eş ve çapraz polarizasyon

Gelen alan	Saçılan alan	Polarizasyon
Düşey	Düşey	Eş
Yatay	Yatay	Eş
Düşey	Yatay	Çapraz
Yatay	Düşey	Çapraz

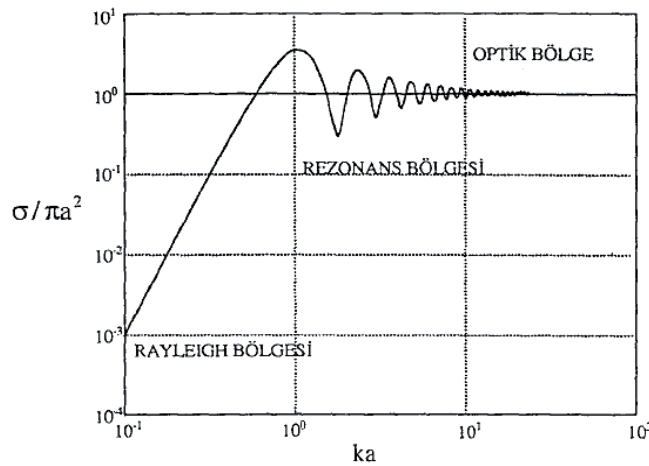
Polarizasyon daima bir referansa göre tanımlanır. RKA hesabında referans, hedefin koordinat sistemidir. Genellikle, hedefe gelen radar dalgasının polarizasyonu hedef koordinat sistemiyle uyumlu değildir. Bu yüzden gelen dalğanın polarizasyonu hedef koordinat sisteminin bileşenleri cinsinden ayrıştırılması gerekir [8].

### 3.4. Frekans Bölgesi

Bir hedefin saçılma karakteristiği büyük ölçüde gelen dalganın frekansına bağlıdır. Buradaki değişimden dolayı hedeflerin boyutlarına göre 3 frekans bölgesi tanımlanmıştır (Şekil 3.9);

a. *Yüksek Frekans Bölgesi (Optik Bölge)*: Hedef boyu  $\gg \lambda$ , bu bölgede hedefin boyutları kullanılan radarın dalga boyundan oldukça büyüktür. Bu yüzden gemi, uçak vb. gibi büyük ve karmaşık cisimlerden saçılmalarının incelenmesi bu bölge içinde yapılır. RKA hedefin alanıyla aynı büyüklüktedir. Bu bölge Optik Bölge olarak anılır çünkü RKA optik değere yaklaşır. Bu bölgede hedefe parça parça bakılır.

b. *Rezonans Bölgesi*: Hedef boyu  $\approx \lambda$ , bu bölgede hedefin boyutları yaklaşık olarak dalga boyu civarında değişmektedir. Dalga boyundaki değişikliklere bağlı olarak RKA geniş bir alanda değer alır. Bu değer optik değerden büyük ya da küçük olabilir.



Şekil 3.9. Bir kürenin RKA'sının üç frekans bölgeside gösterilimi.

c. *Alçak Frekans Bölgesi (Rayleigh Bölgesi)*: Hedef boyu  $\ll \lambda$ , hedef boyutu dalga boyundan çok küçük ise bu bölge *Rayleigh bölgesi* olarak anılır. Bu bölgede hedef noktasal hedef olarak davranır.

Burada  $a$  yarıçap,  $k = 2\pi/\lambda$  dalga sayısı olmak üzere,  $ka < 0,5$  için çizgi yaklaşık olarak lineerdir fakat 0,5'in üzerinde salınım yapmaya başlar. Bu bölge rezonans bölgesidir. Bu salınım yaklaşık  $ka = 10$  gibi yüksek değerlerde son bulur.

Algılanmak istenen hedeflerin saçılma karakteristikleri, bir radarın çalışma frekansının seçimindeki etkenlerden sadece bir tanesidir. Diğerleri ise; boyut kısıtlamaları, anten kazancı, demet genişliği, verici gücü, çevre gürültüsü, Doppler kayması ve atmosferik zayıflatmalardır [10–11].

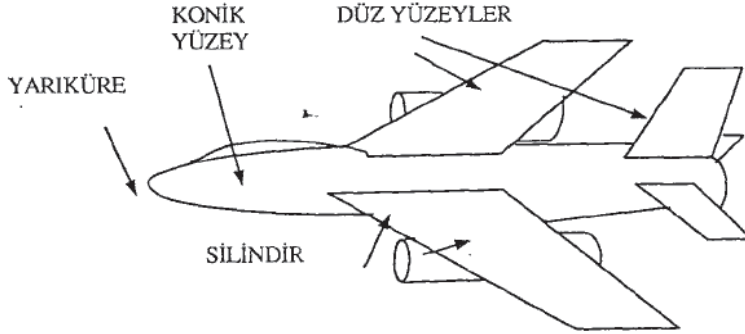
Radar frekansları konusunda geleneksel bir sınırlama yoktur. Çalıştığı frekans ne olursa olsun, elektromanyetik enerji yayarak hedeflerden yansıyan elektromanyetik enerjiyi toplayan ve sınıflandırabilen cihazlar radar olarak adlandırılabilir. Günümüzde birkaç megahertzlik spektrumdan ultraviyole bölgelerde kadar çalışan radarlar bulunmaktadır. Temel çalışma prensipleri tüm frekanslarda aynı olmasına karşın pratikteki uygulamaları oldukça farklı olabilmektedir. Pratikte radarların çoğu mikrodalga frekanslarında çalışmasına karşın bu konuda da herhangi bir sınırlama yoktur.

### 3.5. Saçılma Mekanizmaları

Saçılma karakteristikleri; biyomedikal düzenlemeler, haberleşme sistemleri, askeri uygulamalar ve RKA hesaplanması gibi pek çok sahada uygulama alanı bulmuşlardır. Bu uygulamaların hepsinde de hedeflerin tanınması ve sınıflandırılması için saçılma karakteristiklerinden yararlanılır [7–8].

RKA hesaplamalarında öncelikle, levha, küre, silindir ve tel gibi temel şekiller ele alınır. Karmaşık yapılarda ise hedef olabildiğince bu temel şekillerden oluşan alt bölgelere ayrılır. Bu sayede bütününde karmaşık bir yapıya sahip olan uçak, gemi vs. gibi gerçek hedeflerin RKA tahmini daha gerçekçi bir şekilde yapılabilir. Şekil 3.10'da bir savaş uçağı için bu indirgeme gösterilmiştir. Elbette temel şekillerden oluşan bu alt bölgeler tek tek ele alındığında RKA hesaplaması kolay olmaktadır.

Fakat bu alt bölgelerden olan saçılmaların birbirleriyle olan etkileşimleri, ardışıl yansımalar ve hedeflerin geometrilerinden kaynaklanan hesaplama zorlukları gibi nedenler bizleri farklı hedefler için farklı frekans bölgelerinde farklı hesaplama yöntemlerini kullanmaya zorlamaktadır.



Şekil 3.10. Bir uçağı oluşturan basit ana şekiller.

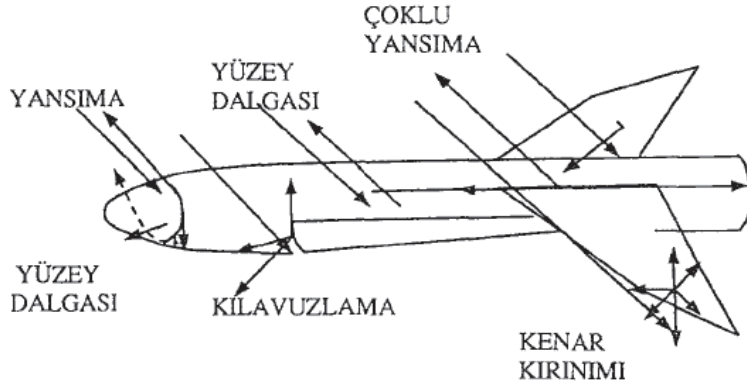
RKA hesaplamalarında aşağıdaki saçılma mekanizmaları göz önüne alınmaktadır. Hedef geometrilerine göre bu saçılma mekanizmalarının etkinliği de değişebilir. Bu mekanizmalar Şekil 3.11’de bir roket üzerinde gösterilmiştir.

*Yansıma:* Bu saçılma mekanizması, RKA’ın en yüksek düzeyde etkileyen mekanizmalardır. Yüzeylerin eğrilik yarıçaplarının gelen dalga boyuna göre çok büyük olduğu durumlarda geçerli olur. Işınlara Snell yasalarına uyarlar. Fakat çok yüzeyli yapılarda çoklu yansımaların oluşabileceği ve gelen düzlemsel dalganın çok farklı şekilde yansıyabileceği durumların olması kaçınılmazdır.

*Kırınım:* Uç ve kenar gibi süreksizlik gösteren yüzeylerden olan saçılmalardır. Bu tür geometrilerde temel ışın-optik yöntemler yerine kırınım teorilerini içeren geometrik kırınım teorisi veya fiziksel kırınım teorisi kullanılır.

*Yüzey dalgaları:* Yüzey dalgası terimi pek çok dalga biçimini içeren ve bir gövde boyunca yol alan akımı ifade eder. Yüzey dalgaları, iç bükey yüzeylerde yüzeyi yalayarak gelen dalgalardır. Bu dalgalar dış bükey yüzeylerde zayıflayarak yol alırlar ki, buna da sürünen dalga denir.

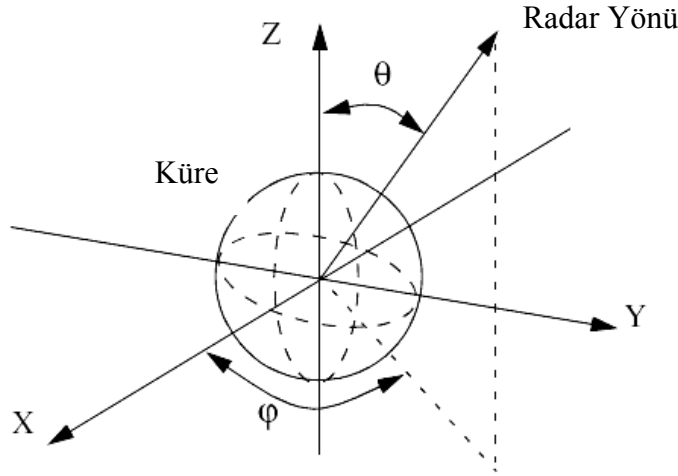
*Kılavuzlama:* Dalga kılavuzu olarak da adlandırılan bu tür saçılmalar dalga kısmen kapalı bir yüzeye hapsedildiğinde oluşur. Örnek olarak jetlerin hava giriş ağızı verilebilir.



Şekil 3.11. Saçılma mekanizmaları.

### 3.6. Basit Objelerin Radar Kesit Alanı

Bu bölümde, temel basit şekilli objelerin radar kesit alan örnekleri sunulur. Mükemmel iletken küre hariç tüm objeler için yalnızca optik bölge yaklaşımları ele alınır. Radar tasarımcı ve RKA mühendisleri, mükemmel iletken küreyi test edilebilecek en basit hedef olarak kabul edilir. Ama bu hedef için yapılan kesin çözümün karmaşıklığı optik bölge yaklaşımı ile karşılaştırılmayacak kadar büyüktür. Burada sunulacak olan tüm formülasyonlar,  $(\theta, \varphi)$  yönünde uzak alan çalışan bir radar için geri saçılan RKA'nı fiziksel optik ile kestirilir, (Şekil 3.12) [12].



Şekil 3.12. Radar Yönü.

### 3.6.1. Küre

Simetriye bağlı olarak, mükemmel iletken bir küreden geri saçılan dalgalar gelen dalgalarla aynı polarizasyona sahiptir. Bu da çapraz polarizasyonlu dalgaların pratikte sıfır olduğu anlamına gelir. Örneğin eğer gelen dalga sola dairesel polarizeli ise geri saçılan dalga da sola polarizeli olacaktır [5].

$$\frac{\sigma}{\pi r^2} = \left(\frac{j}{kr}\right) \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n (2n+1) \left[ \left( \frac{krj_{n-1}(kr) - nj_n(kr)}{krh_{n-1}^{(1)}(kr) - nh_n^{(1)}(kr)} \right) - \left( \frac{j_n(kr)}{h_n^{(1)}(kr)} \right) \right] \quad (3.15)$$

Burada

$r$  : kürenin yarı çapı

$j_n$  : n. Dereceden küresel Bessel fonksiyonu

$h_n^{(1)}$  : n. Dereceden Hankel fonksiyonu

Şekil 3.9'da belirtilen üç bölgeden ilk olarak optik bölgeyi ele alındığında bu dalga boyuna göre çok büyük bir küreye aittir. Bu durumda,

$$\sigma = \pi r^2 \quad r \gg \lambda \quad (3.16)$$

İkinci olarak dalga boyuna göre daha küçük bir küreye ait olan Rayleigh bölgesi gelir. Bu durumda,

$$\sigma = 9\pi r^2 (kr)^4 \quad r \ll \lambda \quad (3.17)$$

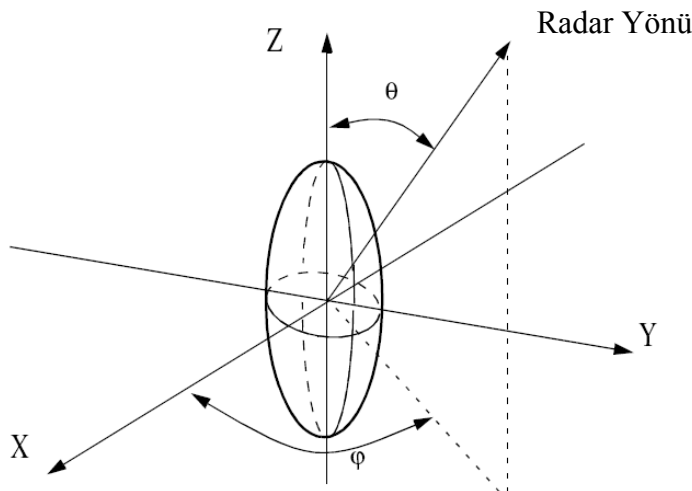
şeklinde gösterilir.

Optik bölgeyle Rayleigh bölgesi arasında ise kürenin boyutu, dalga boyuyla hemen hemen aynıdır ve doğada Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi rezonans halindedir. Bu bölgeye bundan dolayı rezonans veya Mie bölgesi adı verilir.

Mükemmel iletken bir kürenin geri saçılan RKA'nı optik bölgede, sabittir. Bu yüzden radar tasarımcıları, kesit alanları belli küreleri radar sistemlerini kalibre etmekte kullanırlar. Küreler bu amaçla Doppler değişimini de elimine etmek için hızlı bilinen bir uçağın arkasına yedeklenerek ölçüm yapılır [12].

### 3.6.2. Elipsoid

(0,0,0) noktasına merkezlenmiş bir elipsoid Şekil 3.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Elipsoid.



Elipsoid için genel olarak kabul edilmiş geri saçılan radar kesit alanı yaklaşımı;

$$\sigma = \frac{\pi a^2 b^2 c^2}{\left(a^2 (\sin \theta)^2 (\cos \varphi)^2 + b^2 (\sin \theta)^2 (\sin \varphi)^2 + c^2 (\cos \theta)^2\right)^2} \quad (3.17)$$

$a = b$  olduğu zaman, elipsoid simetrik olur ve RKA  $\varphi$ 'dan bağımsız hale gelir [12].

Bu durumda Eş. 3.17 aşağıdaki gibi elde edilir.

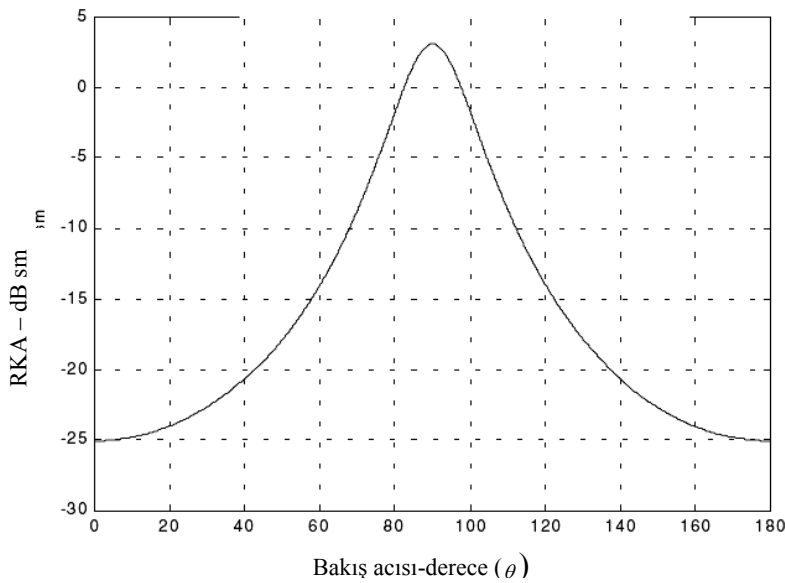
$$\sigma = \frac{\pi b^4 c^2}{\left(a^2 (\sin \theta)^2 + c^2 (\cos \theta)^2\right)^2} \quad (3.18)$$

$a = b = c$  durumunda ise

$$\sigma = \pi c^2 \quad (3.19)$$

olur.

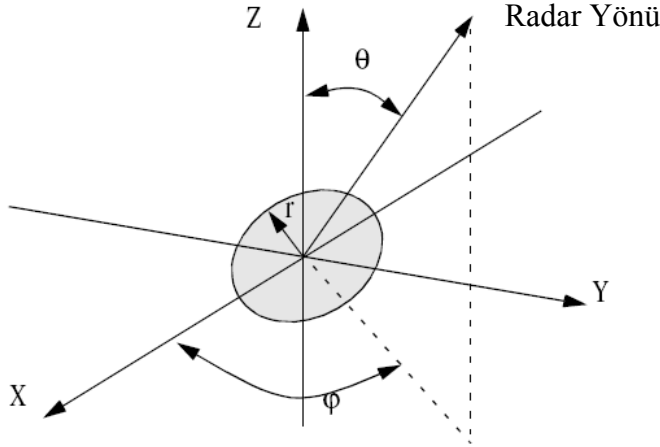
Aynı zamanda bu son denklem bir kürenin geri saçılan radar kesit alanını da tanımlar. Şekil 3.14'te Eş. 3.17 ve 3.18 kullanılarak elipsoid için RKA çizimi gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Elipsoid için RKA, bakış açısı,  $\varphi = 45^\circ$  [12].

### 3.6.3. Dairesel düz plaka

Dairesel simetriden dolayı Şekil 3.14'te de görüldüğü gibi, daireSEL düz bir plakanın geri saçılan RKA  $\varphi$ 'den bağımsızdır. RKA sadece görüş açısına bağlıdır [12].



Şekil 3.15. Dairesel Düz plaka.

$\theta = 0^\circ$  görüş açısı için daireSEL düz bir plakanın geri saçılan RKA,

$$\sigma = \frac{4\pi^3 r^4}{\lambda^2} \quad \theta = 0^\circ \quad (3.20)$$

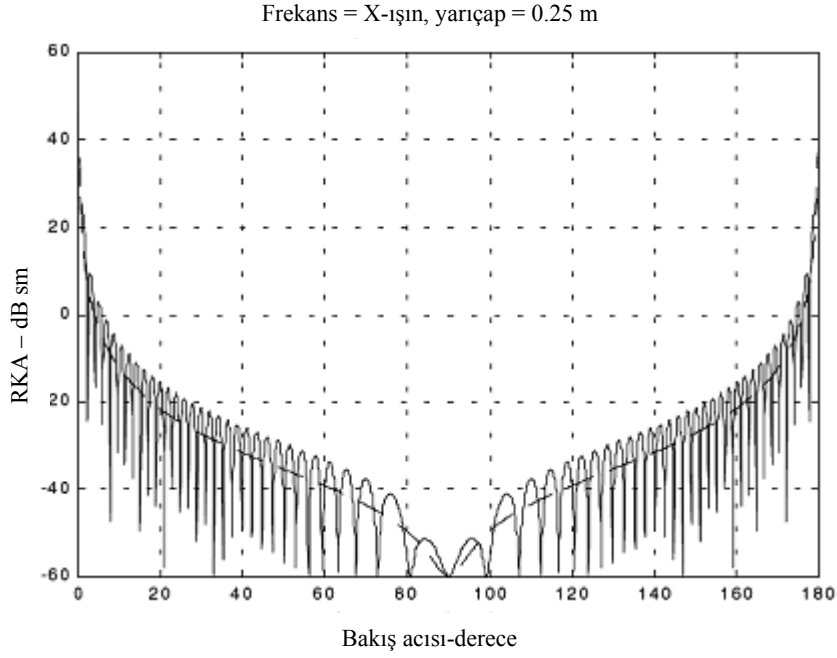
Normalin dışındaki görüş açıları için ise, herhangi bir lineer polarizeli dalga için iki yaklaşım vardır.

$$\sigma = \frac{\lambda r}{8\pi \sin \theta (\tan(\theta))^2} \quad (3.21)$$

$$\sigma = \pi k^2 r^4 \left( \frac{2j_1(2kr \sin \theta)}{2kr \sin \theta} \right)^2 (\cos \theta)^2 \quad (3.22)$$

$j_1(\beta)$  :  $\beta$ 'da 1.dereceden küresel Bessel fonksiyonu.

Şekil 3.16'de Eş. 3.21 ve 3.22 için  $\theta$ 'ya göre RKA gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Dairesel düz bir plaka için RKA,  $r = 0.25$  m [12].

### 3.6.4. Kesik koni

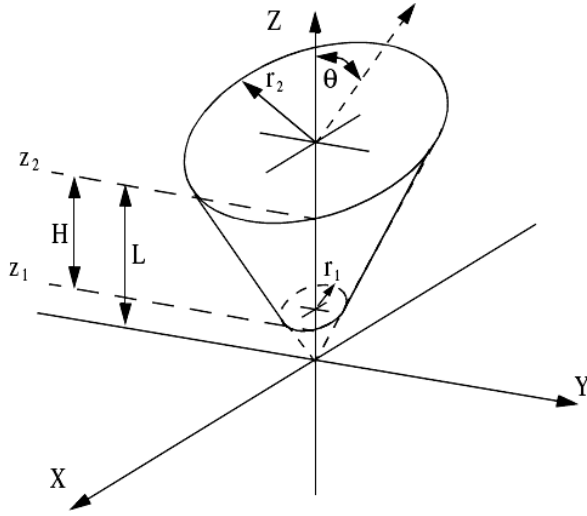
Normal geliş açısında, lineer polarizeli gelen bir dalga için kesik bir koninin geri saçılan RKA'nı için bir yaklaşım,

$$\sigma = \frac{8\pi(z_2^{3/2} - z_1^{3/2})^2}{9\lambda \sin \theta_n} \tan \alpha (\sin \theta_n - \cos \theta_n \tan \alpha)^2 \quad (3.23)$$

Yarım koni açısı  $\alpha$ ,

$$\tan \alpha = \frac{(r_2 - r_1)}{H} = \frac{r_2}{L} \quad (3.24)$$

$\theta_n$  : normal görüş açısı



Şekil 3.17. Kesik Koni.

Kesik bir koni, koninin dar bölgesi tarafına yerleştirilmiş bir radar tarafından aydınlatıldığında

$$\theta_n = 90^\circ - \alpha \quad (3.25)$$

Tam tersi olarak normal açıda ise

$$\theta_n = 90^\circ + \alpha \quad (3.26)$$

Trigonometrik özelliklerden faydalanarak eşitlik 3.23'ü,

$$\sigma = \frac{8\pi(z_2^{3/2} - z_1^{3/2})^2}{9\lambda} \frac{\sin \alpha}{(\cos \alpha)^4} \quad (3.27)$$

Normalin dışındaki görüş açıları için ise RKA yaklaşımı,

$$\sigma = \frac{\lambda z \tan \alpha}{8\pi \sin \theta} \left( \frac{\sin \theta - \cos \theta \tan \alpha}{\sin \theta \tan \alpha + \cos \theta} \right)^2 \quad (3.28)$$

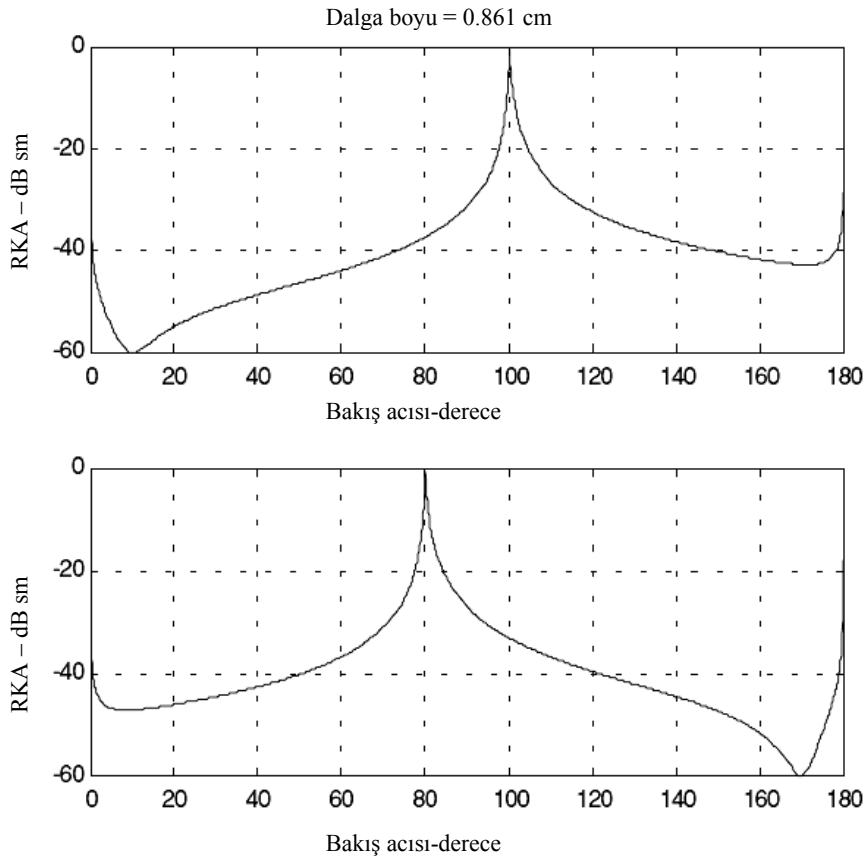
Burada,  $z$  : radarın koninin dar veya geniş ağzına yakın olmasına bağlı olarak  $z_1$  veya  $z_2$  olabilir.

Yine trigonometrik özelliklerden faydalanarak radarın koniyi geniş ağzı tarafından başlayarak aydınlattığını düşünürsek Eş. 3.28,

$$\sigma = \frac{\lambda z \tan \alpha}{8\pi \sin \theta} (\tan(\theta - \alpha))^2 \quad (3.29)$$

Denklemine indirgeyebiliriz. Radarın koniyi dar ağız tarafından aydınlattığı durumunu ele aldığımızda ise, aşağıdaki denkleme indirgenebilir.

$$\sigma = \frac{\lambda z \tan \alpha}{8\pi \sin \theta} (\tan(\theta + \alpha))^2 \quad (3.30)$$



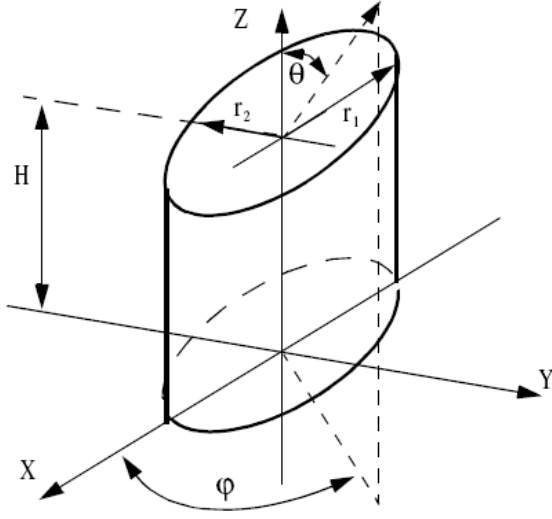
Şekil 3.18. Kesik Koninin Fizik optikle RKA [12].

### 3.6.5. Silindir

Silindir geometrisini ele aldığımızda iki farklı yapı söz konusudur. Birincisi, eliptik silindir, ikincisi ise dairesel silindir. Eliptik silindir (Şekil 3.19) için normal ve normal olmayan geri saçılan radar kesit alanı ifadeleri sırasıyla [12].

$$\sigma_{\theta_n} = \frac{2\pi H^2 r_2^2 r_1^2}{\lambda(r_1^2 (\cos \varphi)^2 + r_2^2 (\sin \varphi)^2)^{1.5}} \quad (3.31)$$

$$\sigma_{\theta_n} = \frac{2\pi H^2 r_2^2 r_1^2}{8\pi (\cos \theta)^2 (r_1^2 (\cos \varphi)^2 + r_2^2 (\sin \varphi)^2)^{1.5}} \quad (3.32)$$



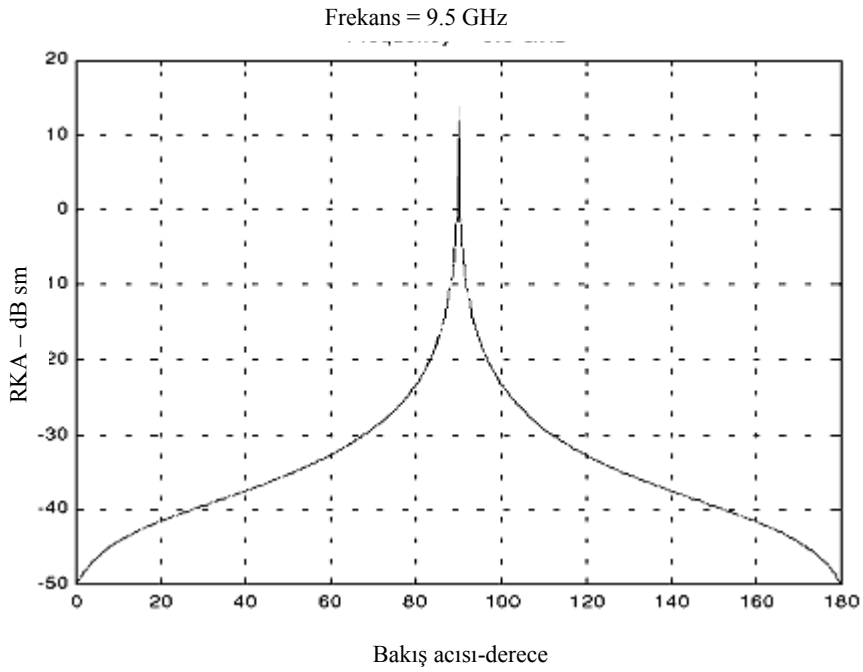
Şekil 3.19. Eliptik Silindir.

Yarıçapı  $r$  olan dairesel bir silindir için denklemler simetriden dolayı sırasıyla

$$\sigma_{\theta_n} = \frac{2\pi H^2 r}{\lambda} \quad (3.33)$$

$$\sigma = \frac{\lambda r \sin \theta}{8\pi (\cos \theta)^2} \quad (3.34)$$

Olarak elde edilir. Şekil 3.20 dairesel bir silindirin Eş. 3.33 ve 3.34 için çizilen RKA gösterilmektedir.

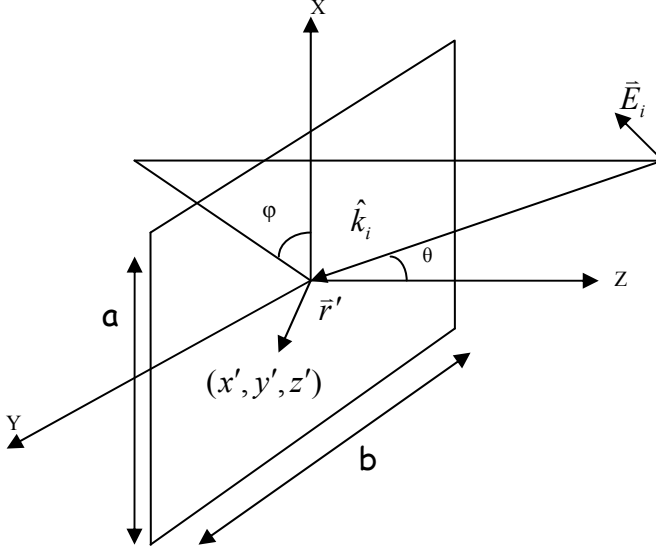


Şekil 3.20. Silindir için RKA,  $r = 0.125$  m,  $H=1$ , frekans =9.5 GHz [12].

### 3.6.6. Dikdörtgen levha

Şekil 3.21’de gösterildiği gibi kenar uzunlukları  $a$  ve  $b$  olan bir dikdörtgen levhayı ele alalım. Rastgele polarizasyonlu bir düzlem dalgayla bu cisim  $(\theta, \Phi)$  geliş açılarıyla aydınlatalım. Dalga polarizasyonu  $E_{0\theta}$  ve  $E_{0\phi}$  sabitleriyle Eş. 3.35 ile belirlensin [7-12]. Burada  $E_{0\theta}$  elektrik alanın  $\theta$  bileşeni,  $E_{0\phi}$  ise elektrik alanın  $\Phi$  bileşenidir.





Şekil 3.21. Kenar uzunlukları  $5\lambda$  olan bir kare levhanın monostatik saçılımı.

$E_i$ , gelen elektrik alanı

$$\vec{E}_i = (E_{0\theta}\hat{\theta} + E_{0\phi}\hat{\phi})e^{-jk_i\cdot\vec{r}} \quad (3.35)$$

olarak elde edilir.  $\hat{\theta}$  ve  $\hat{\phi}$ , sırasıyla  $\theta$  ve  $\phi$  yerlerindeki birim vektörlerdir. Eğer dalga merkeze doğru geliyorsa  $\hat{k}_i = -\hat{r}$ , ve bu dalga düzlemsel bir dalga olduğu için manyetik alan şiddeti  $H_i$ .

$$\vec{H}_i = \frac{-\vec{r} \times \vec{E}_i}{\eta} = -(E_{0\phi}\hat{\phi} - E_{0\theta}\hat{\theta})\frac{e^{-jk_i\cdot\vec{r}}}{\eta} \quad (3.36)$$

Manyetik alanın dalganın empedansı  $\eta$  olan bir ortamda yayıldığı kabul edilmiştir.

Plaka olarak üzerindeki akım yoğunluğu ( $\vec{J}_s$ ) yaklaşık olarak

$$\vec{J}_s \approx -2\hat{z} \times (E_{0\phi}\hat{\phi} - E_{0\theta}\hat{\theta})\frac{e^{-jk_i\cdot\vec{r}}}{\eta} \quad (3.37)$$

bağlantısı ile hesaplanır.

Levhanın alanını,  $A=ab$ , şeklinde hesaba katarak radar kesit alanı hesabı;

$$\sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|\bar{E}_s|^2}{|\bar{E}_i|^2} = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|\bar{E}(r, \theta, \phi)|^2}{|\bar{E}_{0\theta}|^2} \quad (3.38)$$

olarak ifade edilir.

$$\sigma_{0\theta}(0, \phi) = 4\pi r^2 \left[ \frac{A^2 k^2}{4\pi^2 r^2} \cos^2 \theta \right] \sin^2 c^2(ka u) \sin^2 c^2(kb v) \quad (3.39)$$

Genellikle çizimlerde frekanstan bağımsız  $\sigma / \lambda^2$  birimi tercih edilir. Şekil 3.21'deki gibi mükemmel iletken 2a ve 2b ebatlarında bir dikdörtgen levhayı ele aldığımızda, x-z düzleminde lineer polarizeli bir dalga için dikey ve yatay RKA,

Dikey RKA

$$\sigma_V = \frac{b^2}{\pi} \left| \sigma_{1V} - \sigma_{2V} \left[ \frac{1}{\cos \theta} + \frac{\sigma_{2V}}{4} (\sigma_{3V} + \sigma_{4V}) \right] \sigma_{5V}^{-1} \right|^2 \quad (3.40)$$

Yatay RKA

$$\sigma_H = \frac{b^2}{\pi} \left| \sigma_{1H} - \sigma_{2H} \left[ \frac{1}{\cos \theta} + \frac{\sigma_{2H}}{4} (\sigma_{3H} + \sigma_{4H}) \right] \sigma_{5H}^{-1} \right|^2 \quad (3.41)$$

Burada,

$$\sigma_{1V} = \cos(ka \sin \theta) - j \frac{\sin(ka \sin \theta)}{\sin \theta} = (\sigma_{1H})^* \quad (3.42)$$

$$\sigma_{2V} = \frac{e^{j(ka-\pi/4)}}{\sqrt{2\pi}(ka)^{3/2}} \quad \sigma_{2H} = \frac{e^{j(ka-\pi/4)}}{\sqrt{2\pi}(ka)^{3/2}} \quad (3.43)$$

$$\sigma_{3V} = \frac{(1 + \sin \theta)e^{-jka \sin \theta}}{(1 - \sin \theta)^2} \quad \sigma_{3H} = \frac{e^{-jka \sin \theta}}{(1 - \sin \theta)} \quad (3.44)$$

$$\sigma_{4V} = \frac{(1 - \sin \theta)e^{jka \sin \theta}}{(1 + \sin \theta)^2} \quad \sigma_{4H} = \frac{e^{jka \sin \theta}}{(1 + \sin \theta)} \quad (3.45)$$

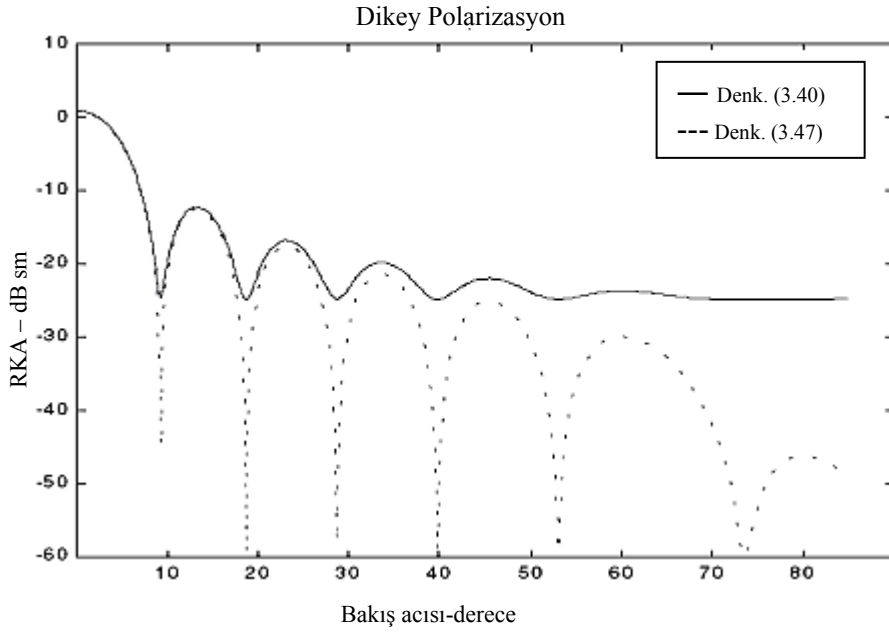
$$\sigma_{5V} = 1 - \frac{e^{j(2ka-\pi/2)}}{8\pi(ka)^3} \quad \sigma_{5H} = 1 + \frac{e^{j(2ka+\pi/2)}}{2\pi(ka)} \quad (3.46)$$

olmaktadır.

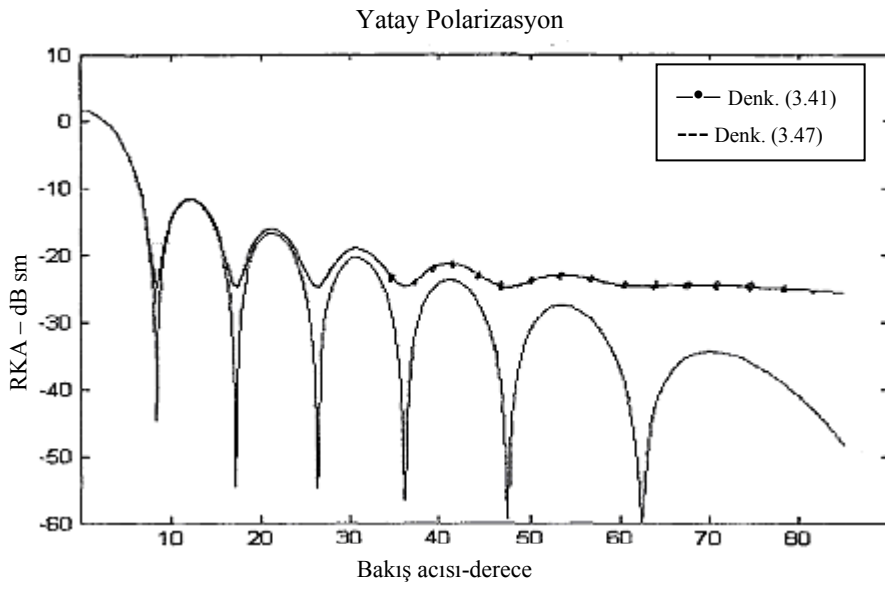
Eş. 3.40 ve 3.41 eşitlikleri  $0^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$  koşulundaki bakış açılarında gerçekleşir ve doğruya yakın bir sonuç verir. Herhangi bir  $\theta, \phi$  açısı için RKA ise,

$$\sigma = \frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda^2} \left( \frac{\sin(ak \sin \theta \cos \varphi)}{ak \sin \theta \cos \varphi} \frac{\sin(bk \sin \theta \sin \varphi)}{bk \sin \theta \sin \varphi} \right)^2 (\cos \theta)^2 \quad (3.47)$$

olmaktadır. Eş. 3.47 eşitliği polarizasyondan bağımsızdır ve  $\theta \leq 20^\circ$  koşullu bakış açılarında çalışır. Mükemmel iletken bir dikdörtgen levha için dikey polarizasyonlu RKA çizimi, Şekil 3.22'de, yatay polarizasyonlu RKA çizimi ise Şekil 3.23'de gösterilmektedir.



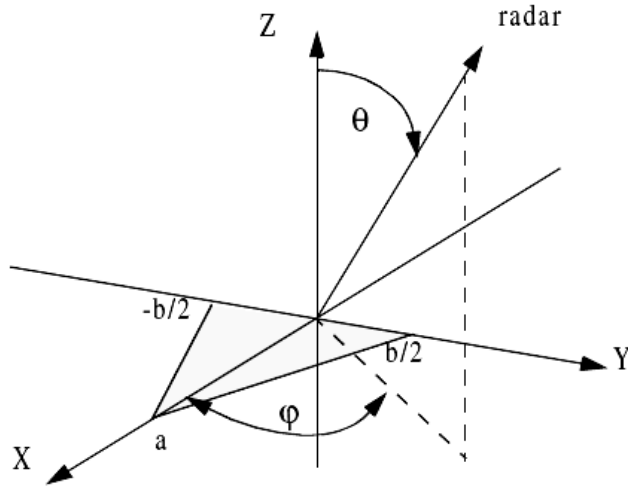
Şekil 3.22. Mükemmel iletken bir dikdörtgen levha için dikey polarizasyonlu RKA [12].



Şekil 3.23. Mükemmel iletken bir dikdörtgen levha için yatay polarizasyonlu RKA [12].

### 3.6.7. Üçgen levha

Şekil 3.24'teki gibi eşkenar bir üçgeni ele aldığımızda, küçük bakış açılarından ( $30^\circ$ 'den daha az) kestirilen RKA;



Şekil 3.24. Mükemmel iletken eşkenar üçgen levha.

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} (\cos \theta)^2 \sigma_0 \quad (3.48)$$

$$\sigma_0 = \frac{[(\sin \alpha)^2 - (\sin(\beta/2))^2]^2 + \sigma_{01}}{\alpha^2 - (\beta/2)^2} \quad (3.49)$$

$$\sigma_{01} = 0.25(\sin \varphi)^2 [(2a/b) \cos \varphi \sin \beta - \sin \varphi \sin 2\alpha]^2 \quad (3.50)$$

bağlantıları ile formüle edilir. Burada;

$$\alpha = ka \sin \theta \cos \varphi$$

$$\beta = kb \sin \theta \sin \varphi$$

$$A = ab/2$$

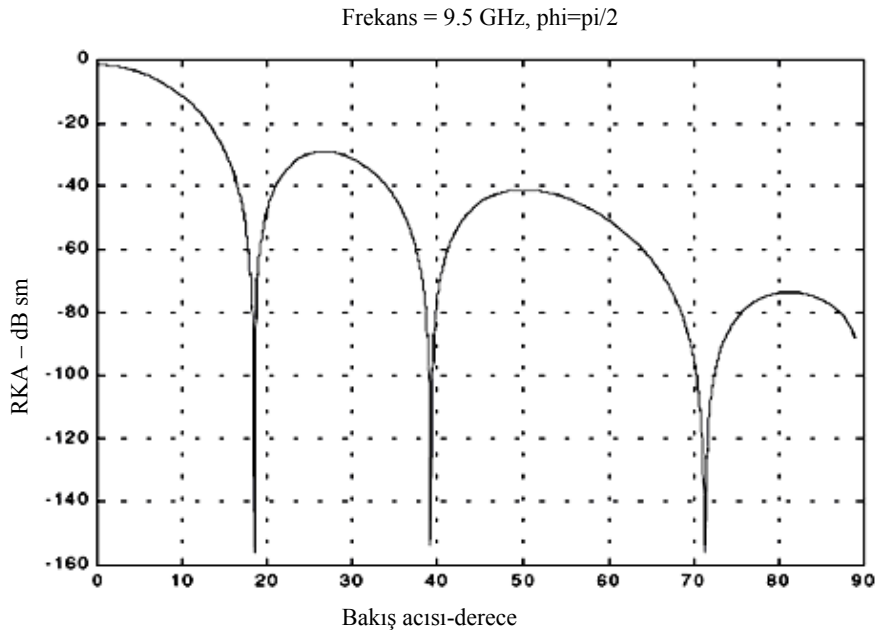
Bu eşitlikler  $\varphi = 0$  düzleminde gelen dalgalar için aşağıdaki eşitliklerle indirgenir.

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} (\cos \theta)^2 \left[ \frac{(\sin \alpha)^4}{\alpha^4} + \frac{(\sin 2\alpha - 2\alpha)^2}{4\alpha^4} \right] \quad (3.51)$$

ve  $\varphi = \pi/2$  düzleminde gelen dalga için,

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} (\cos \theta)^2 \left[ \frac{(\sin(\beta/2))^4}{(\beta/2)^4} \right] \quad (3.52)$$

Şekil 3.35'te mükemmel iletken bir üçgen levha için RKA çizimi gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Mükemmel iletken bir Üçgen levha için RKA [12].

#### 4. MOM, MOMENT METODU

Moment Metodu (MoM, Method of Moments), 1968 yılında Harrington [13] tarafından geliştirilmiş ve günümüzde de elektromanyetik problemin çözülmesinde başarıyla kullanılan bir frekans domeni yöntemidir. Moment metodu, frekans domeninde integral denklemlerini temel alan bir sayısal yöntemdir. Yöntemin ana formülasyonu, Green fonksiyonlarını kullanarak elde edilen integral denklemdir. Yöntemin genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir [8-14];

- a. MoM, bir uyarma problemidir. Sağ tarafında dürtü fonksiyonu şeklinde bir terim bulunan Green fonksiyonu problemidir.
- b. Öncelikle ele alınan yapıya ait Green fonksiyonunun analitik olarak bulunması gerekir.
- c. İkinci olarak ele alınan yapı üzerinde oluşan yüzey akımlarının sayısal olarak hesaplanmasına dayanır.
- d. Ele alınan yapının küçük parçalara ayrılması ve yüzey akımlarının matris sistemi şeklinde yazılıp çözülmesine dayanır.
- e. Matris sisteminin boyutu parçalar sayısına bağlıdır. Parça sayısı arttıkça matris tersi almadaki sayısal zorluklar nedeniyle hesap hacmi ve süresi üstel olarak artmaktadır.

Moment metodu aşağıdaki denklemden yola çıkılarak özetlenebilir [8-15],

$$L\phi = u \quad (4.1)$$

bu denklemde  $L$  bilinen doğrusal bir operatör,  $u$  ise bilinen bir kaynak fonksiyonudur.  $\phi$  ' yi elde etmek için;

$$\int_a^b K(x, x') \phi(x') dx' = u(x) \quad (4.2)$$

ifadesi verilir. Bu denklemde  $K(x, x')$  ve  $u(x)$  bilinmektedir. MoM yönteminde ilk olarak  $\phi$ , seçilen  $f_n$  temel fonksiyonları cinsinden gösterilir.

$$\phi = \sum_{n=1} a_n f_n \quad (4.3)$$

$a_n$  Genişletme katsayıları bilinmemektedir ancak sonradan belirlenecektir. Eş. 4.2 ve 4.1 kullanılarak,

$$\sum_{n=1} a_n \int_a^b K(x, x') f_n(x') dx' = u(x) \quad (4.4)$$

elde edilir. Böylece integrasyon analitik veya sayısal olarak uygulanabilir. Tanım olarak;

$$k_n(x) \stackrel{\Delta}{=} \int_a^b K(x, x') f_n(x') dx' \stackrel{\Delta}{=} \langle K(x, x') f_n(x') \rangle \quad (4.5)$$

seçilir ve eşitlik (4.3)'ten,

$$\sum_{n=1} a_n k_n(x) \cong u(x) \quad (4.6)$$

elde edilir. Eş. 4.4 ile n üst limiti tamamlanmış olur. Denklemin her iki tarafı da seçilmiş uygun ağırlık veya test fonksiyonları  $w_m(x)$  ile çarpılır ve  $(a, b)$  aralığında integralleri alındığında;

$$\sum_{n=1}^N a_n \int_a^b k_n(x) w_m(x) dx = \int_a^b u(x) w_m(x) dx \quad (4.7)$$

elde edilir, tanım olarak,

$$A_{mn} \stackrel{\Delta}{=} \langle k_n, w_m \rangle \quad (4.8)$$



$$u_m = \langle u, w_n \rangle \quad (4.9)$$

seçilirse,

$$\sum_{n=1}^N A_{mn} a_n = u_m \quad (4.10)$$

elde edilir. ( $m = 1, 2, 3, \dots, N$ ) olmak bu işlem tüm  $w_n$  serisine uygulanırsa;

$$[A][a] = [u] \Rightarrow [a] = [A]^{-1}[u] \quad (4.11)$$

Eş. 4.2 ve 4.10' dan

$$\phi = [a][f'] = [A]^{-1}[u][f'] \quad (4.12)$$

çözümüne ulaşılır. Bu yöntemde  $f$  ve  $w$  fonksiyonlarının hesaplamaları kolaylaştıracak ve  $\sum a_n f_n$  serisinin yakınsayacak şekilde seçilmesi gerekir. Fonksiyonların özel durumları için, eğer,  $f_n = w_n$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$  ise “Galerkin Metodu” ve  $w_i = \delta(x - x_i)$   $i = 1, 2, \dots, N$   $i \in (a, b)$  ise “Point Matching Metodu” denir.

MoM yöntemi ile çözülen denklemler ya elektrik alan integral eşitliği (EFIE:Electrical Field İntegral Equation) ya da manyetik alan integral eşitliğidir (MFIE:Magnetic Field İntegral Equation). Her iki denklem de Maxwell denklemlerinin mükemmel iletken ya da kayıpsız dielektrikten saçılması durumunda çözülmesi ile elde edilirler. Bu denklemler;

$$EFIE \Rightarrow E_i = fe(J) \quad (4.13)$$

$$MFIE \Rightarrow H_i = fm(J) \quad (4.14)$$

şeklindedir. Burada, sol taraftaki terimler gelen alanlar,  $J$  ise endüklenen akım yoğunluğudur. Denklemlerde, gelen alanlar bilinenler olup, akım yoğunluğu

bilinmeyen terimdir. Ele alınan yapıya uygun olarak bu iki integral denklemden birisi kullanılır. Örneğin, EFIE sistemi tel iletkenlerden oluşan yapılar için uygunken, MFIE iletken düzlemsel yapılarda daha uygun olmaktadır [8-14].

Ele alınan integral denkleme bağlı olarak MoM yöntemi;

- Sadece iletken yapılara,
- Homojen kayıpsız dielektriklere, ya da
- Çok özel iletken-kayıpsız dielektrik yapılara uygulanır.

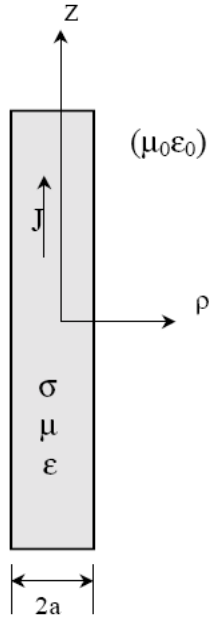
İntegral denklemleri şeklinde uygulanan MoM yöntemi karmaşık ve çok malzemeli yapılarda etkili olarak uygulanamamaktadır. Yine de MoM yöntemi özellikle iletken tellerden oluşmuş üç boyutlu yapıların anten olarak tasarımında ya da bu yapılardan saçılan alanların modellenmesinde son derece başarılıdır [8-14]. Bu nedenle bu aşamada MoM yönteminin ince tel antenlerde uygulanması incelenecektir.

#### 4.1. MoM Yönteminin İnce Tel Antenlere Uygulanması

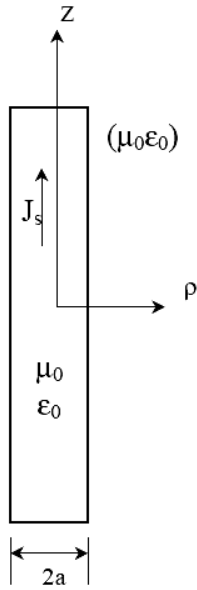
Şekil 4.1' de z-ekseninde yerleştirilmiş ince bir tel anten gösterilmektedir. Bu tip bir anten en genel halde;

$$-\int I(z')K(z, z')dz' = E^i(z) \quad (4.15)$$

integraliyle gösterilmektedir [4].  $K(z, z')$  çekirdeği, kullanılan integral formülasyonuna göre belirlenmektedir.



Şekil 4.1.  $J$  akım yoğunluğuna sahip iletken tel.



Şekil 4.2. Boşlukta  $J_s$  eşdeğer yüzey akım yoğunluğuna sahip yüzey modeli.

Elektromanyetik ışıma problemleri her zaman (4.15) şeklinde ifade edilebilir. Denklemde sağında homojen olmayan bir kaynak ve integral içinde de bilinmeyen bulunmaktadır. Hızlı bilgisayarlar ortaya çıkmadan önce bu tip problemlerin

çözülmesi pekte mümkün değildi. 1960' ların ortalarından itibaren birçok MoM kodu ve prosedürü ortaya çıktı.

MoM yöntemi, doğrusal denklemlerden oluşan bir sistem ile (4.15) integral denkleminde, bilinmeyen  $I(z')$  akımı için çözüm üretmektir. Akım bulunduğundan sonra ışın diyagramı ve empedans hesaplamaları kolaylıkla yapılabilmektedir.

Tel antenlerin davranışlarıyla ilgili en sık kullanılan integral denklemlerden biri Pocklington tarafından 1897 yılında çıkarılmıştır [16]. Bu denklemleri elde etmek için, Şekil 4.1.' de gösterilmiş olan tel antendeki  $\sigma$  iletkenliğinin mükemmel olduğu varsayılır ve akımın yüzeyden aktığı düşünülür. Eşdeğer anten modeli Şekil 4.2.' de gösterilmektedir. Bu model boşluktaki yüzey akımlarını gösterir (yani anten malzemesini kaldırır). Böylece boşluktaki Green fonksiyonu ve ilgili vektör potansiyel kullanılabilir.

Telin çapı dalga boyundan çok küçük olduğu sürece sadece  $z$  yönündeki akımların var olacağı söylenebilir. Maxwell denklemlerinin açılımındaki basitleştirme sonucu ortaya konan Lorentz kanunu;

$$\frac{\partial A_z}{\partial z} = -j\omega\mu_0\varepsilon_0\Phi \quad (4.16)$$

denkleminde verilmektedir [16]. Bu denklemde  $A_z$  ve  $\Phi$  skaler potansiyel ve manyetik vektör potansiyelin  $z$  yönündeki bileşenleridir,  $\mu_0$  boşluğun geri genliği,  $\varepsilon_0$  ise boşluğun elektrik sabitidir. Aynı şekilde Maxwell denklemlerinden elde edilen vektör elektrik alan denklemlerin  $z$  yönündeki skaler hali,

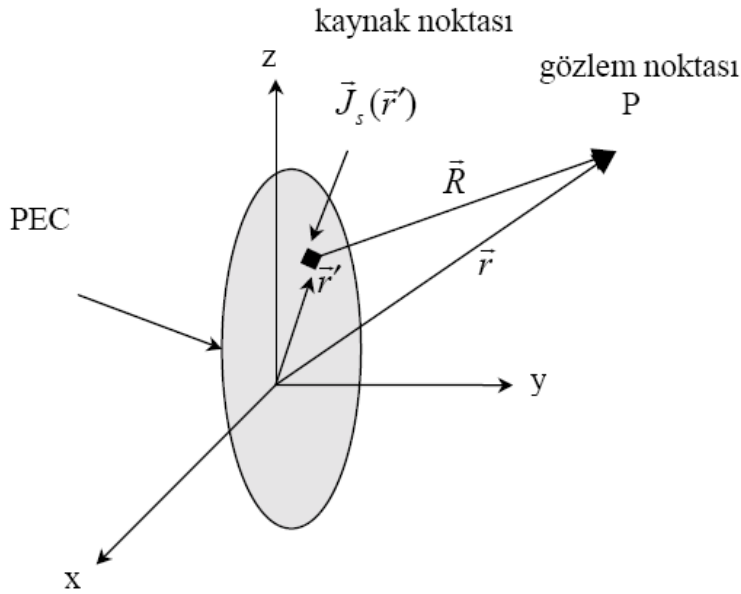
$$E_z = j\omega A_z - \frac{\partial\Phi}{\partial z} \quad (4.17)$$

elde edilir. Bu denklemde,  $\beta^2 = w^2 \mu_0 \epsilon_0$  olarak tanımlıdır.  $z$  yönündeki hacim elemanı  $jdV'$  olmak üzere;

$$E_z = \frac{1}{jw\mu_0\epsilon_0} \left( \frac{\partial^2 \psi(z, z')}{\partial z^2} + \beta^2 \psi(z, z') \right) jdV' \quad (4.18)$$

elde edilir.  $\psi(z, z')$  boşluktaki Green fonksiyonudur [16]. Aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\psi(z, z') = \frac{e^{-j\beta R}}{4\pi R} \quad (4.19)$$



Şekil 4.3. EFIE, elektrik alan integral denklemi çıkarılması.

Şekil 4.3'te gösterildiği gibi,  $\bar{R}$  ;  $(x, y, z)$  koordinatlarındaki P gözlem noktası ile  $(x', y', z')$  koordinatlarındaki kaynak noktası arasındaki mesafe olup,

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2} \quad (4.20)$$

ile gösterilir. Elektrik alana gelecek toplam katkı, tel hacminin integrali alınarak bulunabilir.

$$E_z = \frac{1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \iiint \left( \frac{\partial^2 \psi(z, z')}{\partial z^2} + \beta^2 \psi(z, z') \right) jdv' \quad (4.21)$$

Akım, ancak tel yüksek iletkenliğe sahip değilse bir hacim içinde dağılacaktır. İletkenliğin sonsuz olduğu varsayıldığında akım tel yüzeyine toplanmakta ve denklem,

$$E_z = \frac{1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \oint \int_{c-L/2}^{L/2} \left( \frac{\partial^2 \psi(z, z')}{\partial z^2} + \beta^2 \psi(z, z') \right) J_s dz' d\phi' \quad (4.22)$$

şeklini almaktadır. Burada,  $c$ ; tel yüzey kesitinin eğrisi,  $L$ ; tel kesitinin  $z$  yönündeki uzunluğudur. Şekil 4.1. ve 4.2.'de telin yarıçapı  $a$  olarak verildiğinden ve elimizdeki mevcut yapı göz önüne alındığında,

$$R = \sqrt{(z - z')^2 + a^2} \quad (4.23)$$

denklemleri ifade edilebilir.  $a \ll \lambda$  olduğu sürece  $c$  eğrisi üzerinde akım dağılımı üniform olacaktır. Bu durumda Eş. 4.22' deki çizgisel integral;

$$E_z = \frac{1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \int_{-L/2}^{L/2} I(z') \left( \frac{\partial^2 \psi(z, z')}{\partial z^2} + \beta^2 \psi(z, z') \right) dz' \quad (4.24)$$

denklemleri sadeleşir. Eş. 4.24 ile elde edilen denklem eşdeğer  $I(z')$  akımından dolayı boşlukta yayılan elektrik alanı göstermektedir ve aslında saçılan alan  $E_z^s$  olarak ve diğer elektrik alan ise, gelen alan  $E_z^i$  olarak adlandırılır. Mükemmel iletken bir yüzeyde bu iki alanın yüzey bileşenleri toplamı daima sıfır olmak zorundadır. Yani,

$$E_z^i + E_z^s = 0 \quad (4.25)$$

Bu durumda,

$$E_z^i = \frac{1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \int_{-L/2}^{L/2} I(z') \left( \frac{\partial^2 \psi(z, z')}{\partial z^2} + \beta^2 \psi(z, z') \right) dz' \quad (4.26)$$

elde edilir.

Eş. 4.26 MoM yöntemiyle çözülebilmesi için;

$$- \int_{-L/2}^{L/2} I(z') K(z, z') dz' = E_z^i(z) \quad (4.27)$$

denklemin formu kullanılabilir. İlk adım, bilinmeyen akımı  $F_n$  temel (genişletme) fonksiyonları ile seriye açmaktır.

$$I(z') = \sum_{n=1}^N I_n F_n(z') \quad (4.28)$$

Eşitlik 4.28'deki  $I_n$  değerleri kompleks genişletme katsayılarıdır ve bilinmemektedirler. İşlemleri kolaylaştırmak için, temel fonksiyonlar aşağıdaki gibi darbe fonksiyonları olsun.

$$f_n(z') = \begin{cases} 1 & z', \Delta z_m \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.29)$$

Bu darbe fonksiyonları sonucu oluşan değişim,  $\Delta z_n$  uzunluktaki  $N$  parçaya bölünmüş tel üzerindeki akım dağılımının basamak halindeki yaklaşıklığıdır.

Eş. 4.28 ve 4.29 birlikte kullanılmasıyla;

$$- \int_{-L/2}^{L/2} \sum_{n=1}^N I_n F_n(z') K(z_m, z') dz' \approx E_z^i(z_m) \quad (4.30)$$

yaklaşıklığı elde edilir. Bu denklemde integral denklemi  $m$  parçaya zorlanmıştır. Gerçek akım dağılımı yerine sayısal akım dağılımı getirilmesi nedeniyle denklem sağ tarafa yaklaşık olarak eşittir. Eş. 4.29'daki fonksiyon da bu denkleme katılırsa,

$$- \sum_{n=1}^N I_n \int_{\Delta z'_n} K(z_m, z') dz' \approx E_z^i(z_m) \quad (4.31)$$

yaklaşıklığı elde edilir. İşlemlerde kolaylık sağlaması açısından,

$$f(z_m, z'_m) = - \int_{\Delta z'_n} K(z_m, z') dz' \quad (4.32)$$

tanımlanırsa (4.30) denklemi,

$$\begin{aligned} - \int_{-L/2}^{L/2} I(z') K(z_m, z') dz' &\approx I_1 f(z_m, z'_1) + I_2 f(z_m, z'_2) + \dots + I_n f(z_m, z'_n) \\ &+ \dots + I_N f(z_m, z'_N) \approx E_z^i(z_m) \end{aligned} \quad (4.33)$$

şeklinde ifade edilir.

Bu denklemin fiziksel açıklaması ise su şekildedir; tel her biri  $\Delta z'_n = \Delta z$  uzunluklu  $N$  parçaya bölünmüştür. Her parçadaki bilinmeyen akım sabittir.  $m$ . Parçanın ortasındaki  $N$  parçadan saçılan alanların toplamı,  $z_m$  noktasından gelen alan değerine eşittir. Gelen alan, anten üzerindeki veya uzak alandaki bir kaynaktan geliyor olabilir. Daha küçük (parçalar) kullanmak (yani parça sayısını arttırmak)  $I(z')$ ' nin daha doğru ifade edilmesini sağlayacağı açıktır.



Eş. 4.33,

$$\sum_n^N Z_{mn} I_n = V_m \quad (4.34)$$

biçiminde ifade edilirse,

$$Z_{mn} = f(z_m, z'_n) \quad (4.35)$$

$$V_m = E_z^i(z_m) \quad (4.36)$$

olmak üzere, Eş. 4.34  $N$  bilinmeyenli bir denklem olarak karşımıza çıkmış olur.  $N-1$  bağımsız denklem ile  $N$  bilinmeyenli bu denklemi çözmek mümkündür. Ek denklemleri oluşturabilmek için her denklemde farklı bir  $z_m$  seçilir. Bu işlem MoM yönteminin özel bir halidir ve “Point Matching Metodu” olarak anılır. Denklemler matris formda yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} f(z_1, z'_1) & f(z_1, z'_2) & \dots & f(z_1, z'_N) \\ f(z_2, z'_1) & f(z_2, z'_2) & \dots & f(z_2, z'_N) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f(z_N, z'_1) & f(z_N, z'_2) & \dots & f(z_N, z'_N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_z^i(z_1) \\ E_z^i(z_2) \\ \cdot \\ E_z^i(z_N) \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

Eş. 4.37 elde edilir ve

$$[Z_{mn}] [I_n] = [V_m] \quad (4.38)$$

formunda olup,  $[Z_{mn}]$  matrisi ele alınan yapı hakkında bilgiyi taşıyan kısmı oluşturur.

Eş. 4.38’de verilen  $m$  ; gözlem noktası indeksi,  $n$  ise kaynak noktası indeksi olarak adlandırılır. Eş. 4.38’in çözümü bilindiği üzere,

$$[I_n] = [Z_{mm}]^{-1} [V_m] \quad (4.39)$$

şeklinde elde edilir.

Eş. 4.27'de verilen integral eşitliklerinden Eş. 4.39 ile sayısal sonuç elde edilmiştir. Bu işlemde integral denklemi  $N$  farklı noktada çözüme zorlanmıştır. Matematiksel kolaylık için bu  $N$  nokta, tel üzerinde ayrılmış olan  $N$  eş uzunluklu parçanın ortasında seçilmiştir. Çözümün tam eşitlik sağlaması için  $N$  değerinin sonsuza gitmesi gerekir. Pratikte bu mümkün olmayacağı için,  $N$  oldukça büyük seçilerek akım dağılımı gerçeğe yakın hesaplanabilmektedir.

## 5. İKİ BOYUTLU KONTURLARDAN YAYILIM

### 5.1. İki Boyutlu Mükemmel İletkenin RKA ( Radar Kesit Alanı) Hesaplaması

#### 5.1.1. TM polarizasyonu

Bu bölümde gelişigüzel bir kapalı konturdan gelen iki boyutlu yayılımla ilgileneceğiz. Bir  $\hat{z}$  polarize geliş düzlem dalgası ( Şekil 5.1) yüzey akımını  $I_z$   $z$  eksenini boyunca indükleyecektir. Karşılığında akımlar da saçılmış bir elektrik alanı  $E_z^s$  yaratacaktır [17]. Kontur sınırındaki durum aşağıda verildiği gibidir.

$$E_z = E_z^{inc} + E_z^{scat} = 0 \quad (5.1)$$

Kontur boyunca akım dağıtımından kaynaklanan elektrik alanını tanımlayan integral denklemi aşağıdaki gibidir.

$$E_z(\vec{r}) = -\frac{\omega\mu}{4} \oint_c I_z(\vec{r}') H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}'|) dl' \quad (5.2)$$

(5.1) ve (5.2) denklemlerini kullanarak kontur üzerindeki  $\vec{r}$  sınırlandırarak aşağıdaki formülü elde edebiliriz.

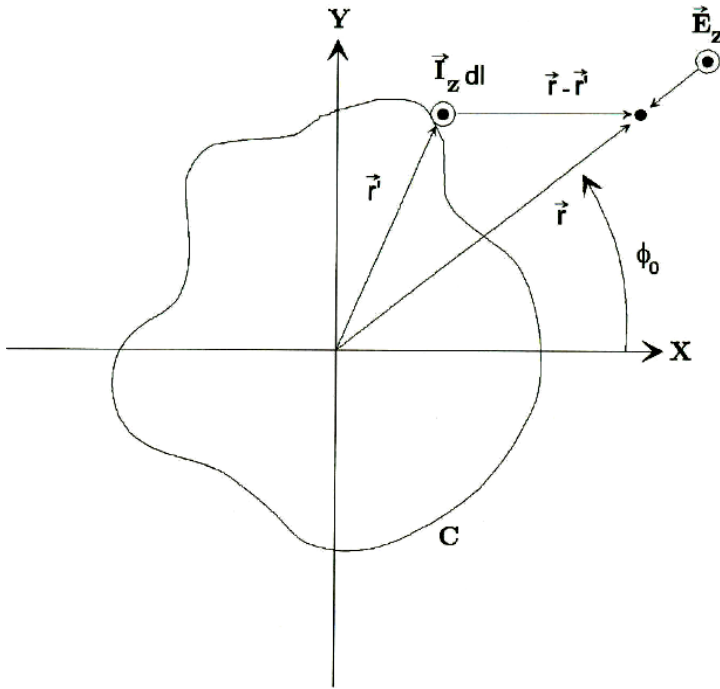
$$E_z^{inc}(\vec{r}) = \frac{\omega\mu}{4} \oint_c I_z(\vec{r}') H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}'|) dl' \quad (5.3)$$

Eş. 5.3 moment metodunu uygulamak için kullanmadan önce, kutup açısı fonksiyonu  $\theta$  olarak yazacağız. Kontur doğrultusunda atış-genişletme fonksiyonları kullanılarak akım gösterilir. Bunlar aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$P_n(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta \in [\theta_n, \theta_{n+1}] \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (5.4)$$

$$I_z(\vec{r}(\theta)) = \sum_{n=1}^N P_n(\theta) I_n$$

Kutup açısı fonksiyonu olarak Eş. 5.3'ü yeniden yazdığımızda ve Eş. 5.4 eklediğimizde Eş. 5.5 elde edilir [17].



Şekil 5.1. Sabit kesit alanın silindirik mükemmel iletken hesabında,  $\pm z$  yönünde sonsuza ilerleyen gelen düzlemsel dalgaya sahip olan 2 boyutlu kontur çevresinde bir akım üretir.

Bu kontur  $\vec{r}'$  vektörü ile gösterilir. Gözlem noktası ise  $\vec{r}$  ile verilir.

$$E_z^{inc}(\vec{r}(\theta)) = \frac{\omega\mu}{4} \oint_C \sum_{n=1}^N P_n(\theta') I_n H_0^{(2)}(k|\vec{r}(\theta) - \vec{r}'(\theta')|) |\vec{r}'(\theta')| d\theta' \quad (5.5)$$

Darbe fonksiyonları integrasyon limitleri dışına seçilir:

$$E_z^{inc}(\vec{r}(\theta)) = I_n \sum_{n=1}^N \frac{\omega\mu}{4} \int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}'(\theta')|) |\vec{r}'(\theta')| d\theta'$$

$dl' = |r'|d\theta'$  olduğunda  $m$  noktalarındaki elektrik alanını bilinmeyen sayısı kadar çok denklem elde edebilmek için eşleştirilebilir:

$$E_z^{inc}(\vec{r}(\theta_m)) = I_n \sum_{n=1}^N \frac{\omega\mu}{4} \int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} H_0^{(2)}(k|\vec{r}(\theta_m) - \vec{r}'(\theta')|) |\vec{r}'(\theta')| d\theta' \quad (5.6)$$

Hesaplamalar için Eş. 5.6'yı aşağıdaki gibi yazmak daha uygun olur.

$$E_z^{inc}(\vec{r}(\theta_m)) = I_n \frac{\omega\mu}{4} \sum_{n=1}^N \int_{(n-1)\Delta\theta}^{n\Delta\theta} H_0^{(2)}(k|\vec{r}(\theta_m) - \vec{r}'(\theta')|) |\vec{r}'(\theta')| d\theta' \quad (5.7)$$

Burada

$$\Delta\theta = \frac{2\pi}{N}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, N \quad \text{ve}$$

$$\theta_m = (m-1)\Delta\theta + \frac{\Delta\theta}{2} \quad m = 1, 2, 3, \dots, M \quad \text{olduğunda}$$

Eş. 5.7 empedans matrisini aşağıdaki gibi tanımamızı sağlar

$$a_{mn} = \frac{\omega\mu}{4} \int_{(n-1)\Delta\theta}^{n\Delta\theta} H_0^{(2)}(k|\vec{r}(\theta_m) - \vec{r}'(\theta')|) |\vec{r}'(\theta')| d\theta' \quad (5.8)$$

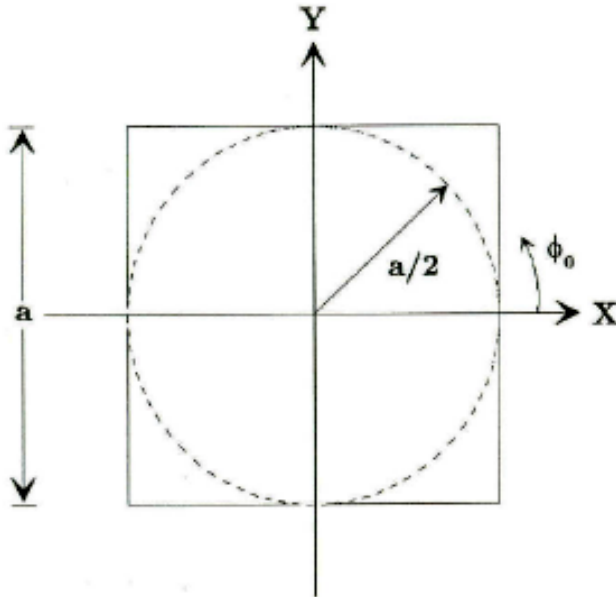
Elektrik alanı durumu uyarım matrisini  $b$  olarak sağlar:

$$b_m = E_z^{inc}(\vec{r}(\theta_m)) = e^{jk(x_m \cos \phi_0 + y_m \sin \phi_0)} \quad (5.9)$$

$$x_m = |r(\theta_m)| \cos \theta_m$$

$y_m = |r(\theta_m)| \sin \theta_m$  olduğunda, kontur doğrultusunda bilinmeyen akımların çözümü  $\vec{r}(\theta)$  tarafından sağlanır. Böylece herhangi bir şekildeki konturdan oluşan iki boyutlu bistatik RKA'yi değerlendirmemizi sağlar, Şekil 5.2'de yayılım durumunda kare ve dairesel olmak üzere iki farklı kontur incelenmiştir. Eş. 5.10, TM durumunda kapalı kontur olması halinde RKA 'nin hesaplanması için geçerli bir denklemdir. Aşağıdaki gibi yeniden oluşturulur:

$$\sigma(\phi) = \frac{k\eta^2}{4} \left| \oint I(x', y') e^{jk(x' \cos \phi + y' \sin \phi)} dl' \right|^2 \quad (5.10)$$



Şekil 5.2. TM yayılım durumunda iki farklı kontur incelenmiştir: dairesel kontur ve kare kontur.

Yukarıdaki denklem düzenlenirse,

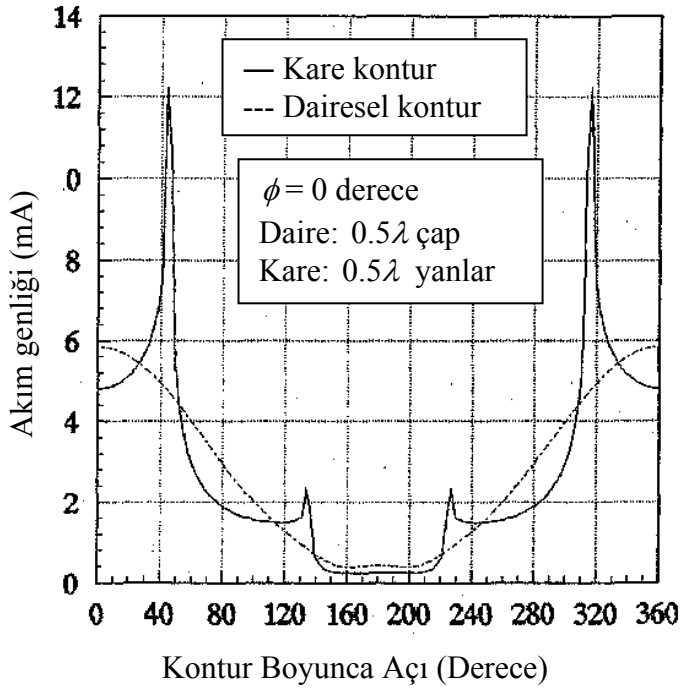
$$\sigma(\phi) = \frac{k\eta^2}{4} \left| H \sum_{m=1}^N I_n e^{jk(x_m \cos \phi + y_m \sin \phi)} \right|^2 \quad (5.11)$$

biçiminde elde edilir.

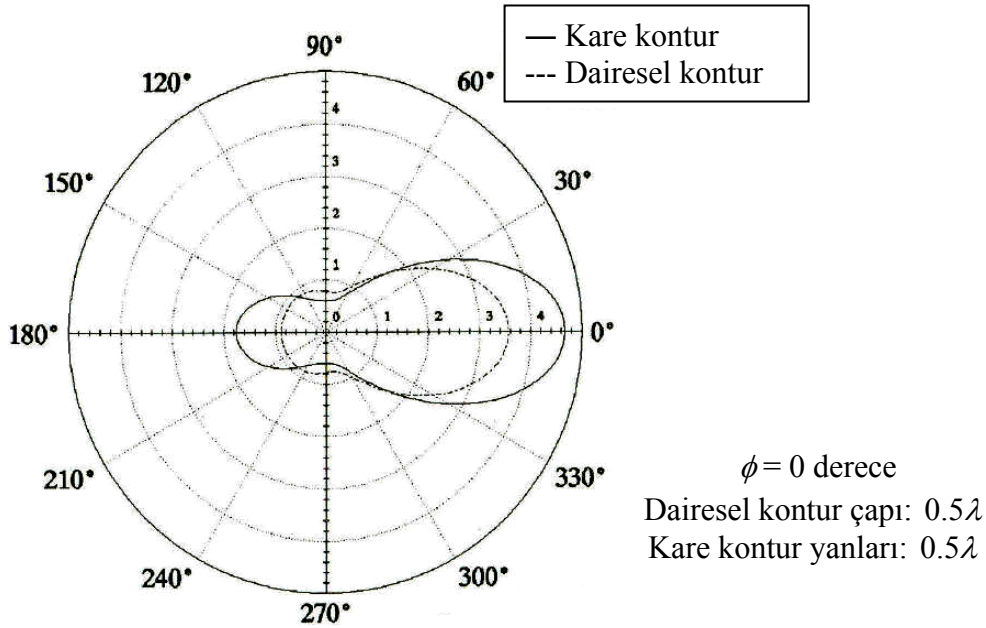
Burada  $k$ , yayılım sabiti,  $\eta$  empedansıdır.

### 5.1.2. TM saçılım için sayısal sonuçlar

RKA'nın hesaplamasında Şekil 5.2'de seçilen bir kare kontur ve bir de dairesel konturu alınır. Dairesel konturun kare konturun herbir tarafının uzunluğuna eşit bir çapı var [17].  $a$  değeri için  $\lambda/2$  'yi seçilsin. Şekil 5.3'te kare kontur ve dairesel kontur için açı-akım grafiği elde edilmiştir.  $\phi = 0$  için TM düzlemsel dalgası olur [17].



Şekil 5.3. Kare kontur ve dairesel kontur için açı-akım grafiği.



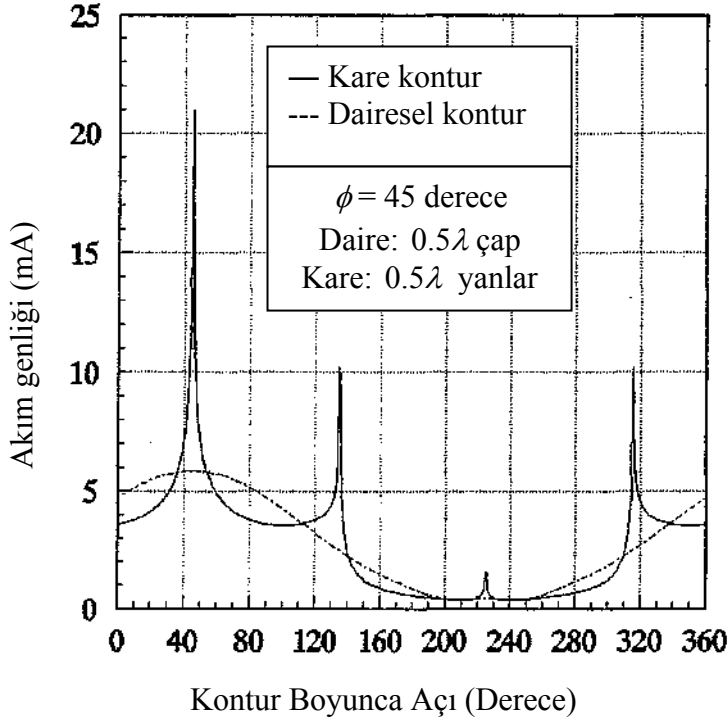
Şekil 5.4.  $\phi_0 = 0^\circ$  değeri ile dairesel ve kare kontur akımlarının bistatik RKA hesaplamaları çizimidir [17].

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 bir  $v/m$  düzlemsel dalgası geliş  $\phi_0 = 0^\circ$  de olur.  $0^\circ$  de oluşan akımın kare kontur için yaklaşık 4.8 mA olduğunu dikkate alalım. Dairesel kontur akımı yaklaşık 6 mA dır. Kontur boyunca hareket ettiğimizde akımın dairesel konturun her bir köşesinde keskince en yüksek seviyeye ulaştığını görürüz. Dairesel konturun keskin köşeleri yoktur, bunun yerine düşük eğimli sinüsoidal akım dağılımına sahiptir. RKA ( $\sigma/\lambda$ ),  $\phi_0 = 0^\circ$ 'de kare kontur için yaklaşık 4,5 tır. Daire ise  $\sigma/\lambda \approx 3,5$  olduğunda daha düşüktür (Karenin RKA' sinin hem geri saçılımda hem de ileri saçılımda çok daha büyüktür.

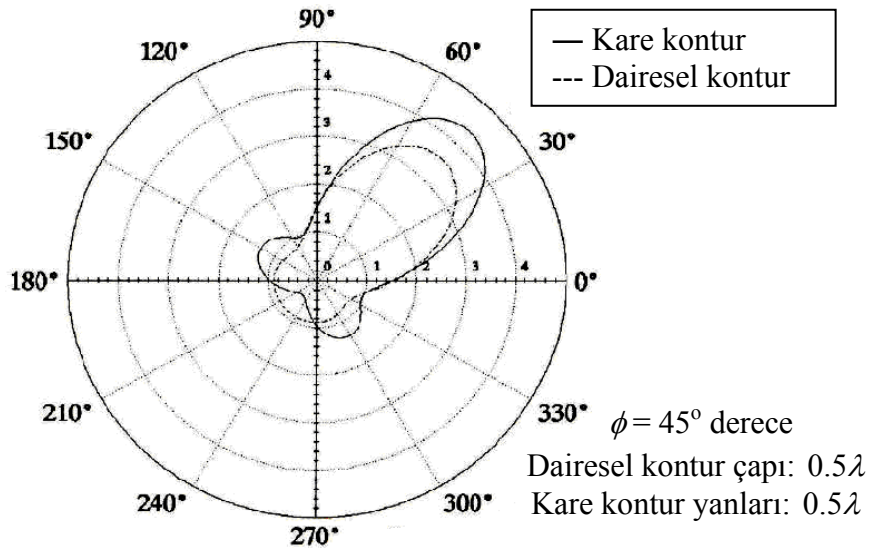
Gelen düzlemsel dalğanın açısı  $\phi_0 = 45^\circ$  için çizim sonuçları Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir. En büyük akım (tepe) değeri  $45^\circ$  de olur. Bu ilk köşenin düzlemsel dalgayla karşılaştığı yerdir. Her iki taraftaki köşeler eşit akıma sahiptir ve gerideki gölgeli akım da en küçük endüklenmiş akıma sahiptir.

RKA'nin bistatik polar gösterimi Şekil 5.6 çatalı bir arka kulakçığı işaret eder. Her kulakçık  $135^\circ$  ve  $315^\circ$  derecelerde olan eşit akım tepeleri çiftiyle oluşturulur. Birkez daha kare konturun geri saçılımı dairesel olandan daha büyüktür.





Şekil 5.5. Kare kontur ve dairesel kontur için açı-akım. TM dalgası  $45^\circ$  de olur [17].



Şekil 5.6.  $\phi_0 = 45^\circ$  ile dairesel ve kare kontur akımlarının bistatik RKA hesaplamalarıdır [17].

Şekil 5.6'da kare konturun radar kesit alanı hem geri saçılımda hem de ileri saçılımda çok daha büyük olacağını da göz önünde bulundururuz.

### 5.1.3. TE polarizasyonu

TE polarizasyonu durumunda  $\vec{H}$  alan vektörü  $z$  eksenine paraleldir. Kontur yüzeyinde H alanı Neumann sınır şartlarını  $(\frac{\partial \phi}{\partial n}(\vec{r}')=0)$  sağlar. Uygun sınır koşullarına ve kontur yüzeyine yaklaşmak için gözlem noktasının bilgilerini de sağlayan aşağıdaki formül elde edilir [17].

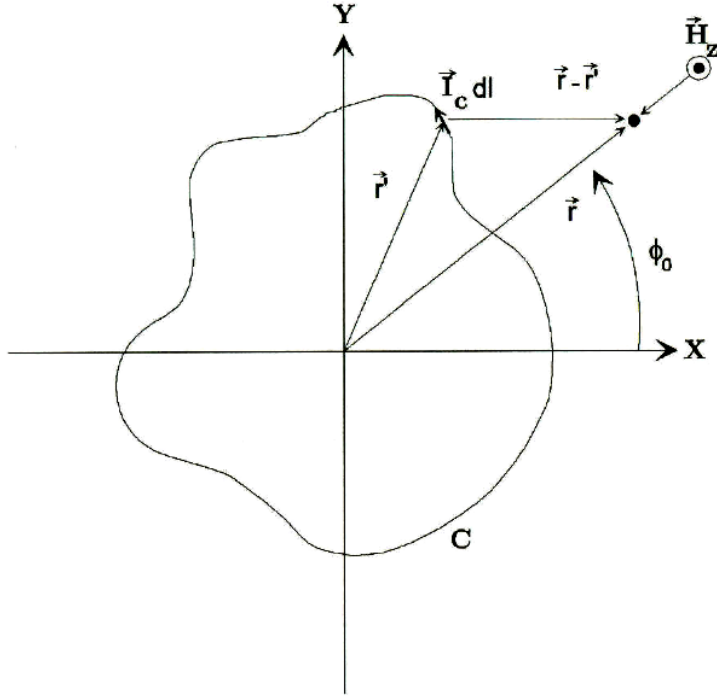
$$H_z^{inc}(\vec{r}) = \frac{1}{2} I_t(\vec{r}) + \lim_{\Delta \rightarrow 0} \oint_{C-\Delta} \frac{\partial G(\vec{r}, \vec{r}')}{\partial n'} I_t(r') dC' \quad (5.12)$$

$\Delta$ ,  $\vec{r}$  noktasını kapsayan küçük C parçası olduğu yerde,  $\hat{n}'$  her bir kaynak noktasındaki kontura dik, dış kısmı gösteren birim vektördür.  $G(\vec{r}, \vec{r}')$  iki boyutlu serbest-alan Green fonksiyonudur.  $I_t$  kontur çevresindeki akımın teğet bileşenidir.

TM durumunda olduğu gibi TE'de de aynı akım için darbe fonksiyonları kullanılır.

$$P_n(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta \in [\theta_n, \theta_{n+1}] \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (5.13)$$

$$I_z(r(\theta)) = \sum_{n=1}^N P_n(\theta) I_n \quad (5.14)$$



Şekil 5.7. Sabit kesit alanın silindirik hesabında,  $\pm z$  yönünde sonsuza ilerleyen gelen düzlem dalgasına sahip olan 2 boyutlu kontur çevresinde bir akım üretir.

Bu kontur  $\vec{r}'$  vektörü ile gösterilir. Gözlem noktası ise  $\vec{r}$  ile verilir.

Bu durumda  $+z$  yönünde ilerleyen manyetik alanı

$$H_z^{inc}(\vec{r}(\theta_m)) = \frac{1}{2} I_m(\vec{r}(\theta_m)) + \lim_{\Delta \rightarrow 0} \oint_{C-\Delta} I_n \sum_{n=1}^N p_n(\theta) \frac{\partial G(\vec{r}(\theta), \vec{r}(\theta'))}{\partial n'} \Big|_{\vec{r}(\theta')} d\theta' \quad (5.15)$$

olarak elde edilir.

Akım fonksiyonları integral limitlerini belirler. Böylelikle Eş. 5.15'de "m" bazında  $\theta_m$  açılarında yazabilir.

$$H_z^{inc}(\vec{r}(\theta_m)) = \frac{1}{2} I_m(\vec{r}(\theta_m)) + I_n \sum_{n=1}^N \int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} \frac{\partial G(\vec{r}(\theta_m), \vec{r}(\theta'))}{\partial n'} \Big|_{\vec{r}(\theta')} d\theta' \quad (5.16)$$

Eş nokta akımı  $I_m$  , ( $n=m$ ) olduğunda  $I_n$  ' ye eşittir. Bu da empedans matrisini  $[A]$ , yazmamızı sağlar:

( $n \neq m$ ) olduğunda:

$$a_{mn} = \int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} \frac{\partial G(\vec{r}(\theta_m), \vec{r}(\theta'))}{\partial n'} |\vec{r}(\theta')| d\theta' \quad (5.17a)$$

( $n = m$ ) olduğunda:

$$a_{mn} = \frac{1}{2} + \int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} \frac{\partial G(\vec{r}(\theta_n), \vec{r}(\theta'))}{\partial n'} |\vec{r}(\theta')| d\theta' \quad (5.17b)$$

olur, ve

$$b_m = H_z^{inc}(\vec{r}(\theta_m)) = e^{jk(x_m \cos \phi_0 + y_m \sin \phi_0)} \quad (5.18)$$

veya

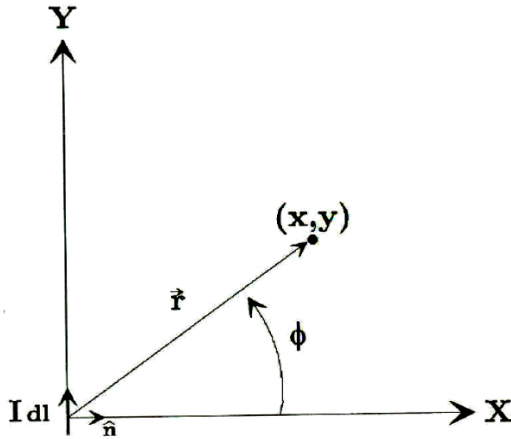
$$b_m = H_z^{inc}(\vec{r}(\theta_m)) = e^{jk(|r(\theta_m)|[\cos \theta_m \cos \phi_0 + \sin \theta_m \sin \phi_0])} \quad (5.19)$$

olarak elde edilir.

Böylelikle bilinmeyen akımlar çözülebilir. Bu durumdaki farklılık integral edilmiş Green fonksiyonu üzerinde hareket eden türevdir. İntegrali bulmanın bir yolu da, Bölüm 1'de gösterildiği gibi nümerik türev kullanmaktır.

#### 5.1.4. TE durumunda RKA'nin hesaplanması

TE'nin ürettiği kontur akımının bistatik radar kesit alanı RKA'yi hesaplamak için, ilk olarak  $x-y$  düzleminde diferansiyel boyutta akım elemanı düşünülür [17]. Bu durum Şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8.  $x-y$  düzleminde türevsel bir akım elemanı.

Diferansiyel akım kaynak noktaymış gibi hareket eder. Diferansiyel akım elemanının vektör potansiyeli:

$$dA_y = \frac{\mu}{4j} H_0^{(2)}(kr) Idl \quad (5.20)$$

biçiminde olur. Manyetik alan ise vektör potansiyeliyle ilişkilidir.

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \quad (5.21)$$

$$dH_z = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu}{4j} H_0^{(2)}(kr) Idl \right) \quad (5.22)$$

$$dH_z = \frac{jk}{4} \cos \phi H_1^{(2)}(kr) Idl \quad (5.23)$$

$$dH_z = \frac{jk}{4} (\hat{n} \cdot \hat{R}) H_1^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}_n|) Idl \quad (5.24)$$

$\hat{n}$ 'in kontura dikey bir birim vektördür,  $\hat{R}$  uzaklık vektörü, seçime bağlı bir alan noktası olan kaynak nokta  $\vec{r}_n$ 'den  $\vec{r}$  'ye işaret eden bir birim vektördür.

$$\hat{R} = \frac{\vec{r} - \vec{r}_n}{|\vec{r} - \vec{r}_n|} \quad (5.25)$$

Eş. 5.24'ün her iki tarafının integrali alınırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$H_z(\vec{r}) = \frac{jk}{4} \oint_c (\hat{n} \cdot \hat{R}) H_1^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}_n|) I(\vec{r}_n) dC' \quad (5.26)$$

TE durumu için RKA;

$$\sigma(\phi) = \lim_{r \rightarrow \infty} 2\pi r \frac{|\vec{H}^s(\phi)|^2}{|\vec{H}^{inc}|^2} \quad (5.27)$$

biçiminde tanımlanır.

$\vec{H}^s(\phi)$  kaynak akımdan oldukça uzaktaki bir saçılım alanıdır. Bunu Hankel fonksiyonu kullanarak elde ederiz.

$$H_1^{(2)}(kr) = \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} e^{-j(kr - 3\pi/4)} \quad (5.28)$$

Bu ifadeyi Eş. 5.26'da kullanarak aşağıdaki ifadeyi elde ederiz:

$$H_z^{(2)}(\phi) = \frac{jk}{4} \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} \int_c I(x', y') (\hat{n} \cdot \hat{R}) e^{jk(x' \cos \phi_0 + y' \sin \phi_0)} dC' \quad (5.29)$$

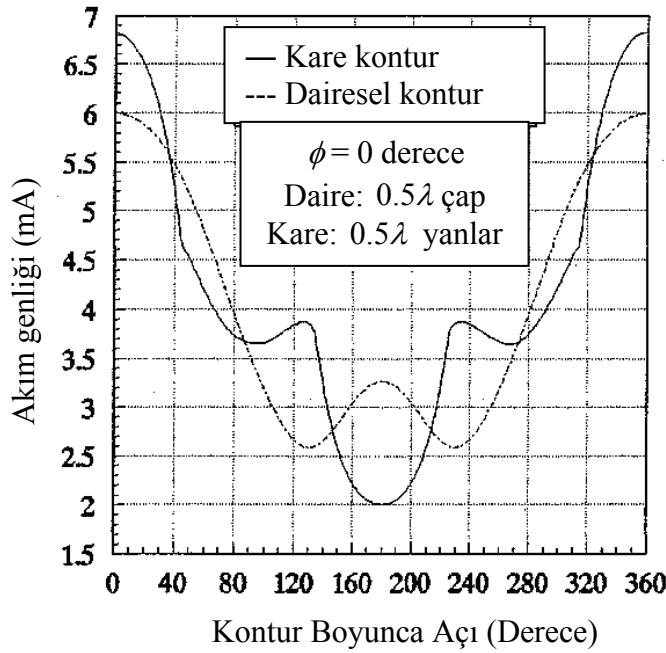
Eş. 5.2)'deki RKA tanımını kullanarak Eş. 5.30 elde edilir:

$$\sigma(\phi) = \frac{k}{4} \left| \int_c I(x', y') (\hat{n} \cdot \hat{R}) e^{jk(x' \cos \phi_0 + y' \sin \phi_0)} dC' \right|^2 \quad (5.30)$$

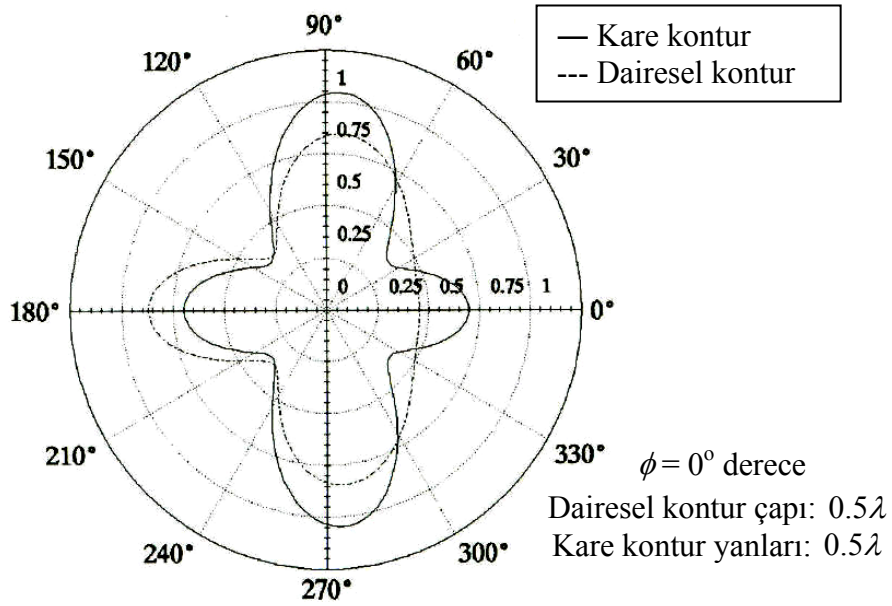
Eşitliği elde edilir.

### 5.1.5 Konturdan TE saçılımın sayısal sonuçları

TE durumundaki RKA hesaplamasıyla TM durumundaki RKA hesaplamasında benzerlikler mevcuttur. En temel fark integralin  $\hat{n} \cdot \hat{R}$  terimidir. Diferansiyel akımlar kontur boyunca alındığında, örnek faktörün  $x-y$  ve  $y-z$  düzlemlerinde olduğu görülür.

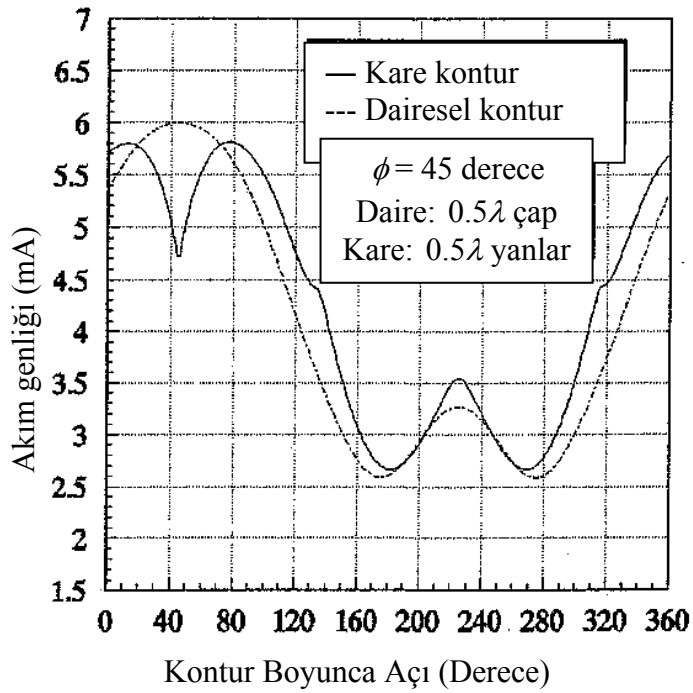


Şekil 5.9. TE düzlem dalgası  $0^\circ$  olan kare ve dairesel kontur için açı-akım değişimi [17].



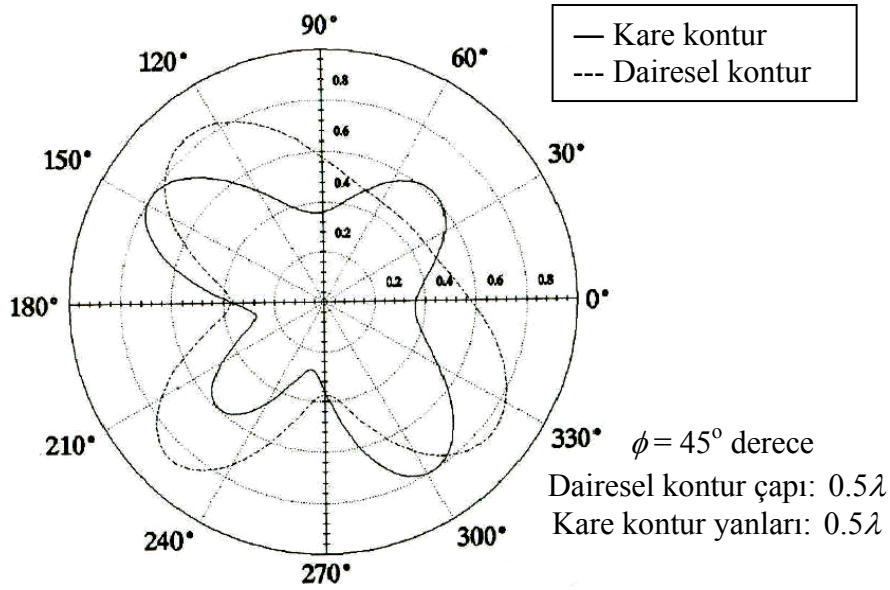
Şekil 5.10.  $\phi_0 = 0^\circ$  ile dairesel ve kare kontur akımlarının bistatik RKA hesaplamalarıdır [17].

Şekil 5.10'da kare konturun radar kesit alanı hem geri saçılımda hem de ileri saçılımda çok daha büyüktür.



Şekil 5.11. TE düzlem dalgası  $45^\circ$  olan kare kontur ve dairesel kontur için açı-akım değişimi [17].





Şekil 5.12.  $\phi_0 = 45^\circ$  ile dairesel ve kare kontur akımlarının bistatik RKA hesaplamaları çizimidir [17].

Kare konturunun RKA radar kesit alanı hem de geri saçılımda hem de ileri saçılımda çok daha büyüktür.

Şekil 5.9.'da TE durumundaki dairesel ve kare konturların saçılımlarının sonuçlarını gösterir. Dairesel kontur  $0.5\lambda$  çapa sahiptir ve kare konturunun her bir kenarı da  $0.5\lambda$  dır. Şekil 5.9.'daki çizimden, dairesel kontur üzerindeki akımın düzenli bir şekilde azaldığı görülür. Açı durumundan değerlendirirsek, aksine, kare kontur açısı oranında daha büyük bir akımla başlar.  $45^\circ$  de, akımda ilgili köşeye bir çakışma olduğu ve eğimde bir değişim olduğu görülür. Bir sonraki köşe  $135^\circ$  de bir başka gerçek değişim gösterir.

Şekil 5.10'da RKA çiziminde, geri saçılma oranına göre dikey saçılımın ve ileri yönde saçılımdan daha düşük olduğunu gösterir. Bu durum kareden daha çok dairesel kontur için ifade edilir.

$45^\circ$  lik bir düzlem dalgası geliş açısıyla kontur üzerinde üretilen akım, Şekil 5.11.'de gösterilmiştir.  $45^\circ$  de olan dalgayla karşılaşan karenin köşesindeki minimum akımı

fark etmek ilginçtir. Akım  $135^\circ$ 'de Şekil 5.9.'daki gibi değişir. Geliş açısının karşı köşesindeki kare kontur için yerel akımın maksimumu görülür. Tesadüfen, dairesel konturun yerel maksimumu kare maksimumla karşılaşır.

Şekil 5.12'deki akımın RKA çizimi,  $45^\circ$  lik geliş açısındaki geri saçılımın  $0^\circ$ 'dekine benzer olduğunu gösterir. Dikey saçılma ileriye doğru eğim gösterir.

## 5.2. Monostatik ve bistatik (RKA) radar kesit alanı

Bir nesnenin bistatik RKA'nı hesaplamak için bir düzlemsel dalgası  $\phi_0$  açısında iki boyutlu kontur üzerindeki akımları etkiler. Böylece akımlardan herhangi  $\phi$  yöne radyasyon alanı hesaplanır ve alanlar bistatik RKA'yi hesaplamak için kullanılır.

Bu durum tek bir verici anten olarak onu belirli bir nesneyi aydınlatması için kullanılır. Nesnenin dışında akımlar akışı olur. İkinci bir (alıcı) anten test alanı yarıçapımızın merkezinde bulunan, ana ışın noktalaması ile birlikte nesneye doğru sabit bir yarıçapta  $0^\circ$  ve  $360^\circ$  açılarında hareket edebilir. İkinci anten her açıda nesneden gelen elektrik alanını ölçer. Verici antenin özellikleri güç alanın gelişini elde etmemizi sağlar. Böylece ölçülen değerlerden bistatik RKA değeri hesaplanır.

Genellikle hem alıcı hem de verici olarak tek bir anten kullanılır. Bu bir nesnenin monostatik RKA radar kesit alanıdır. Bu durumda bir anten alınır ve nesne onunla aydınlatılır. Aynı açıda, yansıtılmış dalga ölçülüp RKA radar kesit alanı hesaplanır.

Moment metodunu kullanarak monostatik RKA'yi hesaplamak için, gelen düzlem dalganın açısı seçilir, akımlar çözülür ve tek bir açıdaki RKA ve elektrik alanı hesaplanır. Böylece daha sonraki açıyla ilgilenir ve işlem tekrarlanır.

Moment metoduyla akım değerleri  $[I]$ 'yi çözmek için aşağıdaki matris denklemi kullanılır.

$$[a][I]=[b] \quad (5.31)$$

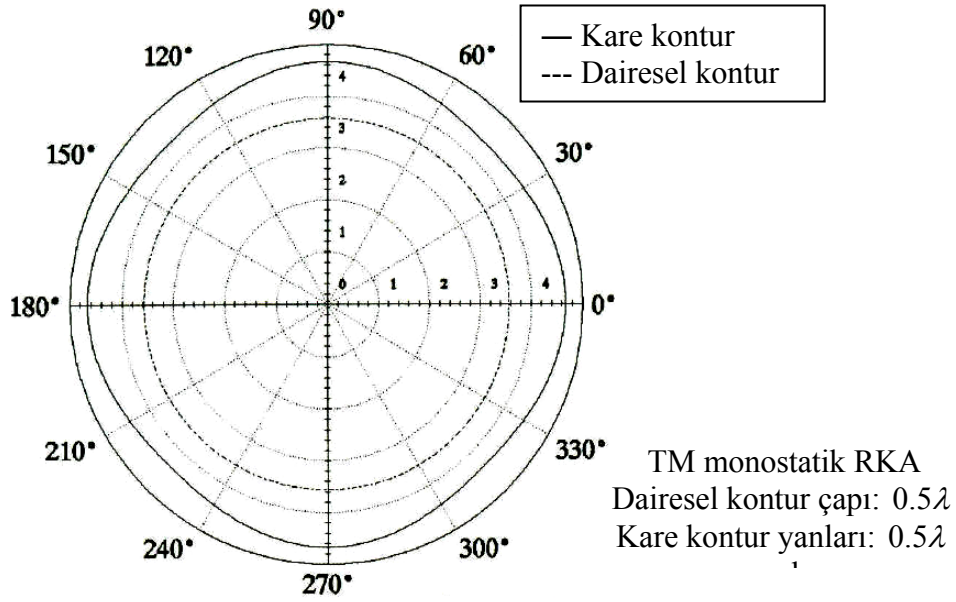
$[a]$  matris değeri hesaplandığında verilen geliş açısına ilişkin bir  $[b]$  matrisi üretilir. Artık geliş açısındaki akımları ve hesaplanan açıdaki RKA bulunabilir.  $[a]$  matris değerleri değişmez ve yeni bir  $\phi$  açısının ürettiği bir sonraki akım dizilerini çözmek için sadece yeni bir  $[b]$  matrisi gereklidir.

Aynı  $0.5\lambda$  kare ve dairesel konturların daha önceden, kare ve dairesel konturlardan gelen TM ve TE saçılımlarını göstermek için kullanılan Şekil 5.13. ve 5.14.'te gösterilen monostatik RKA'ları vardır. Şekil 5.13'de dairesel kontur sabit bir monostatik RKA gösterir kare konturların kenarı ve köşeleri ortaya çıkarır [17].

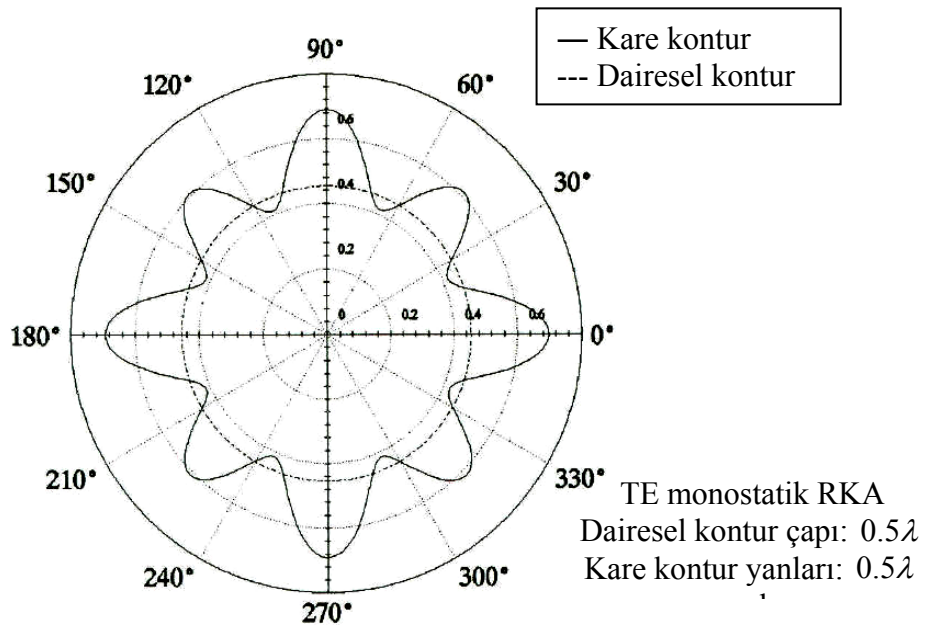
TM durumu herhangi bir  $\phi$  açısındaki yansıtılan dalganın, dairesel konturdan beklendiği üzere, sabit olması gerektiğini gösterir. Kare kontur, köşe RKA'larından daha büyük RKA'ları olan, kenar RKA'larıyla birlikte daha büyük bir RKA'nına sahiptir.

TE durumunda ise, dairesel konturun geliş açısından bağımsız, monostatik bir RKA'nı olduğunu gösterir. Kare kontur geliş açısıyla birlikte oldukça belirgin bir salınımına sahiptir.

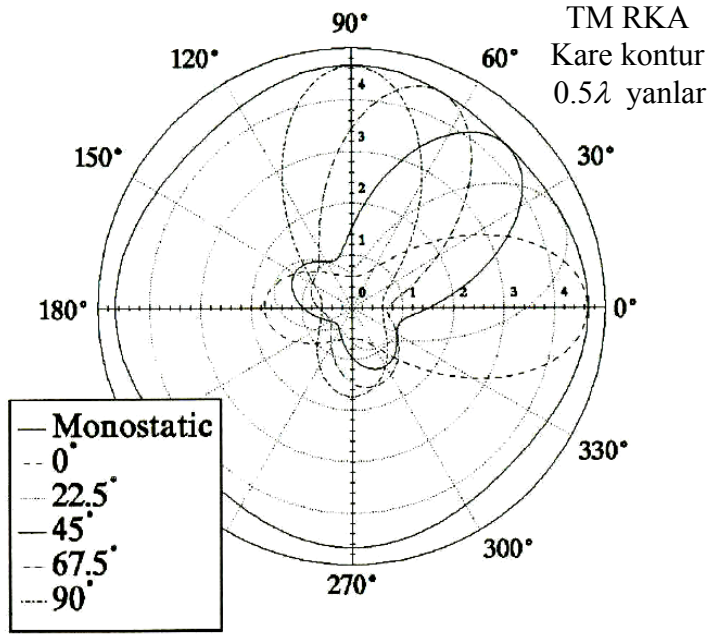
İki konturun monostatik RKA'larını birkaç açıdaki bistatik RKA'ları ile birlikte görmek bilgi vericidir. Şekil 5.15'teki TM durumunda, monostatik konturun içindeki bistatik çizimlerin her biri net olarak görülmektedir. Bu durumda, bistatik RKA, herhangi bir açıdaki monostatik RKA'dan toplamda daha küçüktür. TE durumu ise tamamen farklıdır. Monostatik RKA bistatik RKA'nın oluşturduğu maksimum değerlerden daha küçüktür.



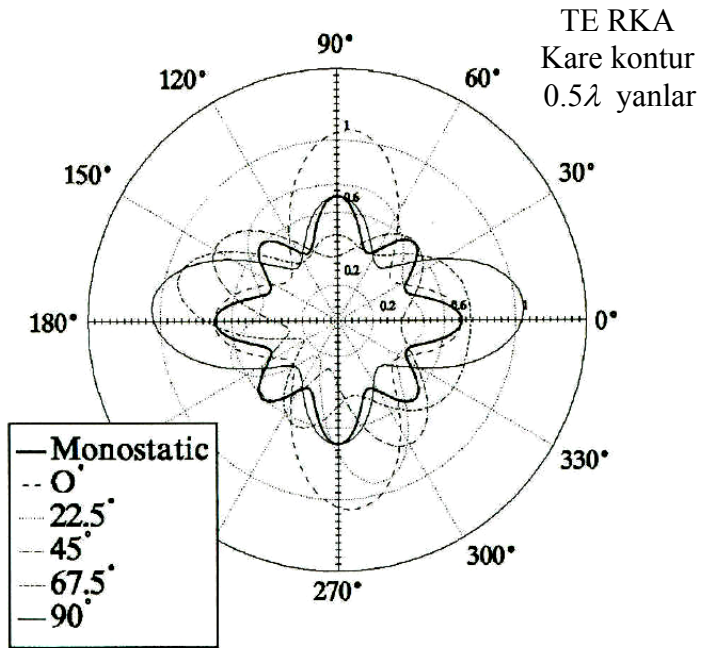
Şekil 5.13. Kare ve dairesel konturların TM monostatik radar kesit alanları [17].



Şekil 5.14. Kare ve dairesel konturların TE monostatik radar kesit alanları [17].



Şekil 5.15. TM monostatik RKA ve onu oluşturan bistatik RKA [17].



Şekil 5.16. TE monostatik RKA ve onu oluşturan bistatik RKA [17].

### 5.3. Fortran Programı

Aşağıdaki programda TM integral eşitliğinde dairesel kontur boyunca darbe ilerleme fonksiyonları kullanılır ve moment metoduyla çözülür. Eşleme (Match) noktası her darbenin ortasındadır. Akım alanı kullanılarak iki boyutlu (RKA) radar kesit alanı hesaplanır. Programda Eş. 5.8 ve 5.9 uygulanır.

```
PROGRAM TMCIR
```

```
IMPLICIT NONE
```

```
INTEGER MTX  
PARAMETER(MTX=64)
```

```
REAL PI,C,ETA,ZN,ZN1,ZM,LAMBDA,K,L,C1,H,R,FREQ,SIGMA  
REAL CP(10,10),THETA,XR,AE,BE,INC,MAX
```

```
COMPLEX  
JAY,A(MTX,MTX),B(MTX),ELEMENT,ATEMP,BTEMP,X(MTX),SUM,MJK  
COMPLEX CSUM,EINC
```

```
INTEGER  
I,J,N,S,NMAX,Y(10),Q,NS,K2,ICOL,IROW,COL,XTMP,XINDX(MTX)
```

```
JAY=(0.0,1.0)  
PI=ACOS(-1.0)  
C=2.997925E8  
ETA=376.73
```

```
WRITE(*,(5X,A))'INPUT DIAMETER OF CIRCULAR CONTOUR (LAMBDA): '  
READ(*,*)BE  
BE=BE/2.0  
AE=BE
```

```
WRITE(*,(5X,A))'INPUT INCIDENT ANGLE IN DEGREES '  
READ(*,*)INC  
INC=INC*PI/180.0
```

```
FREQ=C  
LAMBDA=C/FREQ  
L=2.0*PI  
K=2.0*PI/LAMBDA
```

```
NMAX=5
```

```

DO S=1,NMAX

NS=2**(S+1)

H=L/FLOAT(NS)

DO I=1,NS
DO J=1,NS

ZM=FLOAT(I-1)*H+0.5*H

ZN=FLOAT(J-1)*H
ZN1=FLOAT(J)*H

CALL INTEGRAL (ZN,ZN1,ZM,ELEMENT,AE,BE)
A(I,J)=K*ETA*ELEMENT/4.0
WRITE (*,'(A1,4X,A,I3,I3,A,F15.4,2X,F15.4)'+','A(',I,J,')=',
; A(I,J)

ENDDO

B(I)=EINC(ZM,AE,BE,INC)

ENDDO

N=NS

DO I=1,N
XINDX(I)=I
END DO

DO K2=1,N-1

MAX=0.0

DO I=K2,N
DO J=K2,N
IF(CABS(A(I,J)).GT.MAX)THEN
MAX=A(I,J)

IROW=I
ICOL=J
ENDIF
END DO
END DO

IF(IROW.NE.K2)THEN

```

```
DO I=1,N
```

```
ATEMP=A(IROW,I)
A(IROW,I)=A(K2,I)
A(K2,I)=ATEMP
END DO
```

```
BTEMP=B(IROW)
B(IROW)=B(K2)
B(K2)=BTEMP
ENDIF
```

```
IF(ICOL.NE.K2)THEN
```

```
DO I=1,N
```

```
ATEMP=A(I,ICOL)
A(I,ICOL)=A(I,K2)
A(I,K2)=ATEMP
END DO
```

```
XTMP=XINDEX(ICOL)
XINDEX(ICOL)=XINDEX(K2)
XINDEX(K2)=XTMP
```

```
ENDIF
```

```
IF(CABS(A(K2,K2)).EQ.0.0) WRITE(*,*) 'ZERO PIVOT ENCOUNTERED:
;ERROR1'
```

```
DO J=K2+1,N
MJK=A(J,K2)/A(K2,K2)
DO COL=K2,N
A(J,COL)=A(J,COL)-MJK*A(K2,COL)
END DO
B(J)=B(J)-MJK*B(K2)
END DO
```

```
ENDDO
```

```
X(N)=B(N)/A(N,N)
```

```
DO I=(N-1),1,-1
SUM=(0.0,0.0)
DO J=(I+1),N
SUM=SUM+A(I,J)*X(J)
END DO
```



```
X(I)=(B(I)-SUM)/A(I,I)
END DO
```

```
DO I=1,N
DO J=1,N
IF(XINDX(J).EQ.I) B(I)=X(J)
END DO
END DO
```

```
CSUM=(0.0,0.0)
DO I=1,NS
THETA=FLOAT(I-1)*H+0.5*H
XR=COS(THETA)*R(THETA,AE,BE)
CSUM=CSUM+B(I)*CEXP(-JAY*K*XR)*R(THETA,AE,BE)
ENDDO
```

```
CSUM=CSUM*H
```

```
SIGMA=REAL(CSUM*CONJG(CSUM))*K*(ETA**2)/4.0
```

```
CP(1,S)=SIGMA
```

```
Y(S)=NS
```

```
C1=1
DO Q=2,S
C1=2*C1
CP(Q,S)=(C1*CP(Q-1,S)-CP(Q-1,S-1))/(C1-1)
ENDDO
```

```
IF (S.EQ.1) THEN
DO I=1,25
WRITE (*,*) ' '
ENDDO
END IF
```

```
IF (S.EQ.1) THEN
WRITE (*,*) ' '
```

```
WRITE (*,(12X,A))'TM Cylinder Eq. Pulses with Point Matching
;: '
```

```
WRITE (*,(12X,A,F7.3,A))'DIAMETER=',2*BE,' WAVELENGTHS'
```

```
WRITE (*,(12X,A,F7.2,A))'INCIDENT ANGLE = ',
; 180.0/PI*INC,' DEGREES'
```

```

WRITE(*,*)'
END IF

IF (S.EQ.1) WRITE (*,'(A1,A)')+' '
;

IF (S.EQ.1) THEN
WRITE (*,'(8X,A,7X,A,6X,A)')'M',(RCS)!'EXTRAPOLATION'
END IF

IF (S.EQ.1) WRITE (*,'(16X,A,9X,A)')'Sigma','Sigma'

IF (S.EQ.1) WRITE (*,*)'

WRITE (*,'(A1,A)')+' '
;

WRITE (*,'(A1,5X,I3,1X,F12.4,2X,F12.4)')+'Y(S),CP(1,S),CP(S,S)

WRITE(*,*)'

ENDDO

END

SUBROUTINE INTEGRAL (A,B,ZM,INT,AE,BE)

IMPLICIT NONE

REAL A,B,ZM,GR,GI,RLINT,IMINT,MIDINT,AE,BE

COMPLEX INT

EXTERNAL GR,GI

RLINT=MIDINT(GR,A,B,ZM,AE,BE)
IMINT=MIDINT(GI,A,B,ZM,AE,BE)
INT=CMPLX(RLINT,IMINT)

RETURN
END

REAL FUNCTION GR(Z,ZPRM,AE,BE)
IMPLICIT NONE
REAL PI,K,Z,ZPRM,R,J0,DELTR,AE,BE

PI=ACOS(-1.0)

```

$K=2.0*PI$

$GR=J0(K*DELTR(Z,ZPRM,AE,BE))*R(ZPRM,AE,BE)$

RETURN  
END

REAL FUNCTION GI(Z,ZPRM,AE,BE)  
IMPLICIT NONE  
REAL PI,K,Z,ZPRM,R,Y0,DELTR,AE,BE

$PI=ACOS(-1.0)$   
 $K=2.0*PI$

$GI=-Y0(K*DELTR(Z,ZPRM,AE,BE))*R(ZPRM,AE,BE)$

RETURN  
END

COMPLEX FUNCTION EINC(X,AE,BE,INC)

IMPLICIT NONE

REAL X,AE,BE,INC,PI,K,MAG, TOP,R

COMPLEX JAY

$JAY=(0.0,1.0)$

$PI=ACOS(-1.0)$   
 $K=2.0*PI$

$MAG=R(X,AE,BE)$

$TOP=MAG*COS(X)*COS(INC)+MAG*SIN(X)*SIN(INC)$

$EINC=COS(K*TOP)+JAY*SIN(K*TOP)$

RETURN  
END

REAL FUNCTION R(THETA,AE,BE)

IMPLICIT NONE

REAL THETA,MAG,AE,BE

```
MAG=1.0/((COS(THETA)/BE)**2 + (SIN(THETA)/AE)**2 )
```

```
R=SQRT(MAG*(COS(THETA)**2+SIN(THETA)**2))
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
REAL FUNCTION DELTR(THETA1,THETA2,AE,BE)
```

```
IMPLICIT NONE
```

```
REAL THETA1,THETA2,MAG1,MAG2,IHAT,JHAT,AE,BE,R
```

```
MAG1=R(THETA1,AE,BE)
```

```
MAG2=R(THETA2,AE,BE)
```

```
IHAT=MAG1*COS(THETA1)-MAG2*COS(THETA2)
```

```
JHAT=MAG1*SIN(THETA1)-MAG2*SIN(THETA2)
```

```
DELTR=SQRT(IHAT**2+JHAT**2)
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
REAL FUNCTION MIDINT(F,A,B,ZM,AE,BE)
```

```
IMPLICIT NONE
```

```
REAL CP(16,16),C1,SUMX,F,AE,BE
```

```
REAL NSX,DX,A,B,ZM,MIDPNT,ERROR,OLD,NEW,TOL
```

```
INTEGER COUNTX,I,Q,NMAX
```

```
LOGICAL FINISHED
```

```
EXTERNAL F
```

```
FINISHED=.FALSE.
```

```
COUNTX=1
```

```
TOL=1.0E-4
```

```
NMAX=16
```

```
DO WHILE(.NOT.FINISHED)
```

```
NSX=2.0**COUNTX
```

```
DX=(B-A)/NSX
```

```
SUMX=0.0
```

```

DO I=1,NSX
MIDPNT=A+FLOAT(I-1)*DX+DX/2.0
SUMX=SUMX+F(ZM,MIDPNT,AE,BE)
ENDDO

CP(1,COUNTX)=SUMX*DX

C1=1.0

DO Q=2,COUNTX
C1=2*C1
CP(Q,COUNTX)=(C1*CP(Q-1,COUNTX)-CP(Q-1,COUNTX-1))/(C1-1.0)
ENDDO

MIDINT=CP(COUNTX,COUNTX)

NEW=CP(COUNTX,COUNTX)

IF(COUNTX.GT.1) ERROR=ABS(OLD-NEW)/ABS(NEW)

IF((COUNTX.GT.1).AND.(ERROR.LT.TOL)) FINISHED=.TRUE.

IF(COUNTX.EQ.NMAX) FINISHED=.TRUE.

COUNTX=COUNTX+1
OLD=NEW

END DO

RETURN
END

FUNCTION J0(X)
IMPLICIT NONE
INTEGER I
REAL AK(7),BK(7),AA,BB,A,X,J0,PRODUCT

DATA AK/0.79788456,-0.00000077,-0.00552740,
; -0.00009512,0.00137237,-0.00072805,
; 0.00014476/

DATA BK/-0.78539816,-0.04166397,-0.00003954,
; 0.00262573,-0.00054125,-0.00029333,
; 0.00013558/

IF(ABS(X).LE.3.0)THEN

```

```
A=(X/2.0)*(X/2.0)
PRODUCT=1.0-A/49.0
```

```
DO I=6,1,-1
PRODUCT=1.0-A/FLOAT(I*I)*PRODUCT
ENDDO
```

```
J0=PRODUCT
```

```
ELSE
```

```
A=3.0/X
AA=A*AK(7)
BB=A*BK(7)
```

```
DO I=6,1,-1
AA=AK(I)+A*AA
BB=BK(I)+A*BB
ENDDO
```

```
BB=BB+X
J0=AA/SQRT(X)*COS(BB)
```

```
ENDIF
```

```
RETURN
END
```

```
FUNCTION Y0(X)
IMPLICIT NONE
INTEGER I
REAL AT(7),AK(7),BK(7),B0,J0,GAMMA,PI,A,X,PRODUCT,AA,BB,Y0
```

```
DATA AK/0.79788456,-0.00000077,-0.00552740,
; -0.00009512,0.00137237,-0.00072805,
; 0.00014476/
```

```
DATA BK/-0.78539816,-0.04166397,-0.00003954,
; 0.00262573,-0.00054125,-0.00029333,
; 0.00013558/
```

```
GAMMA=0.57721567
PI=ACOS(-1.0)
A=(X/2.0)*(X/2.0)
```

```
IF(ABS(X).LE.3)THEN
AT(1)=1.0
```

```
DO I=2,7
AT(I)=AT(I-1)+1.0/FLOAT(I)
ENDDO

B0=2.0*(GAMMA+LOG(X/2.0))*J0(X)

PRODUCT=AT(6)-A*AT(7)/49.0

DO I=6,2,-1
PRODUCT=AT(I-1)-A/FLOAT(I*I)*PRODUCT
ENDDO

Y0=(B0+ 2.0*A*PRODUCT)/PI

ELSE

A=3.0/X
AA=A*AK(7)
BB=A*BK(7)

DO I=6,1,-1
AA=AK(I)+A*AA
BB=BK(I)+A*BB
ENDDO

BB=BB+X
Y0=AA/SQRT(X)*SIN(BB)
ENDIF

RETURN
END
```

Aşağıdaki programda TE integral eşitliğinde dairesel kontur boyunca darbe ilerleme fonksiyonları kullanılır ve moment metoduyla çözülür. Eşleme (Match) noktası her darbenin ortasındadır. Sayısal türev Richardson dış kestirimi kullanarak elde edilir. Akım alanı kullanılarak iki boyutlu (RKA) radar kesit alanı hesaplanır. Programda Eş. 5.17 ve 5.18 uygulanır.

## PROGRAM TECIR

### IMPLICIT NONE

INTEGER MTX

PARAMETER(MTX=64)

REAL PI,C,ETA,ZN,ZN1,LAMBDA,K,L,C1,H,R,FREQ,SIGMA

REAL CP(10,10),AE,BE,MAX,ZM,THETAM,THETA F,THETAN,THETAB

REAL TX,TY,NX,NY,RHATX,RHATY,NDOTR,XPRIME,YPRIME,INC

### COMPLEX

JAY,A(MTX,MTX),B(MTX),CSUM,HINC,ELEMENT,ATEMP,BTEMP

COMPLEX X(MTX),SUM,MJK

### INTEGER

I,J,S,NMAX,Y(10),Q,NS,N,K2,ICOL,IROW,COL,XTMP,XINDX(MTX)

JAY=(0.0,1.0)

PI=ACOS(-1.0)

C=2.997925E8

ETA=376.73

WRITE(\*,(5X,A))'INPUT DIAMETER OF CIRCULAR CONTOUR (LAMBDA): '

READ(\*,\*)BE

BE=BE/2.0

AE=BE

WRITE(\*,(5X,A))'INPUT INCIDENT ANGLE (DEGREES): '

READ(\*,\*)INC

INC=INC\*PI/180.0

FREQ=C

LAMBDA=C/FREQ

L=2.0\*PI

K=2.0\*PI/LAMBDA

NMAX=5



```

DO S=1,NMAX

NS=2**(S+1)

H=L/FLOAT(NS)

DO I=1,NS
DO J=1,NS

ZM=FLOAT(I-1)*H+H/2.0
ZN=FLOAT(J-1)*H
ZN1=FLOAT(J)*H

CALL INTEGRAL (ZN,ZN1,ZM,ELEMENT,AE,BE,H)
ELEMENT=ELEMENT/(4.0*JAY)

IF(I.EQ.J)THEN
A(I,J)=ELEMENT+(0.5,0.0)
ELSE
A(I,J)=ELEMENT
ENDIF

WRITE (*,'(A1,4X,A,I3,I3,A,F15.4,2X,F15.4)'+', 'A(',I,J,')='', ; A(I,J)

ENDDO

B(I)=-HINC(ZM,AE,BE,INC)

ENDDO

N=NS

DO I=1,N
XINDX(I)=I
END DO

DO K2=1,N-1

MAX=0.0

DO I=K2,N
DO J=K2,N
IF(CABS(A(I,J)).GT.MAX)THEN
MAX=A(I,J)

IROW=I
ICOL=J

```

```
ENDIF  
END DO  
END DO
```

```
IF(IROW.NE.K2)THEN
```

```
DO I=1,N
```

```
ATEMP=A(IROW,I)  
A(IROW,I)=A(K2,I)  
A(K2,I)=ATEMP  
END DO
```

```
BTEMP=B(IROW)  
B(IROW)=B(K2)  
B(K2)=BTEMP
```

```
ENDIF
```

```
IF(ICOL.NE.K2)THEN
```

```
DO I=1,N
```

```
ATEMP=A(I,ICOL)  
A(I,ICOL)=A(I,K2)  
A(I,K2)=ATEMP  
END DO
```

```
XTMP=XINDEX(ICOL)  
XINDEX(ICOL)=XINDEX(K2)  
XINDEX(K2)=XTMP
```

```
ENDIF
```

```
IF(CABS(A(K2,K2)).EQ.0.0) WRITE(*,*) 'ZERO PIVOT ENCOUNTERED: ER  
;ROR1'
```

```
DO J=K2+1,N  
MJK=A(J,K2)/A(K2,K2)  
DO COL=K2,N  
A(J,COL)=A(J,COL)-MJK*A(K2,COL)  
END DO  
B(J)=B(J)-MJK*B(K2)  
END DO
```

```

WRITE(*,'(A1,A,I3,A,I3,A)'+',Matrix Row ',K2,' of ',N, ; ' Rows
'

ENDDO

X(N)=B(N)/A(N,N)

DO I=(N-1),1,-1
SUM=(0.0,0.0)
DO J=(I+1),N
SUM=SUM+A(I,J)*X(J)
END DO
X(I)=(B(I)-SUM)/A(I,I)
END DO

DO I=1,N
DO J=1,N
IF(XINDEX(J).EQ.I) B(I)=X(J)
END DO
END DO

CSUM=(0.0,0.0)
DO I=1,NS

THETAM=INC

THETA F=FLOAT(I)*H
THETA N=FLOAT(I-1)*H+0.5*H
THETA B=FLOAT(I-1)*H

TX=R(THETA F,AE,BE)*COS(THETA F)-R(THETA B,AE,BE)*COS(THETA B)
TY=R(THETA F,AE,BE)*SIN(THETA F)-R(THETA B,AE,BE)*SIN(THETA B)

NX=TY/SQRT(TX**2+TY**2)
NY=-TX/SQRT(TX**2+TY**2)

RHATX=COS(THETA M)
RHATY=SIN(THETA M)

NDOTR=NX*RHATX+NY*RHATY

XPRIME=R(THETA N,AE,BE)*COS(THETA N)
YPRIME=R(THETA N,AE,BE)*SIN(THETA N)

CSUM=CSUM+B(I)*NDOTR*CEXP(JAY*K

;*(XPRIME*COS(THETA M)+YPRIME*SIN(THETA M))*R(THETA N,AE,BE)

```

ENDDO

CSUM=CSUM\*H

SIGMA=REAL(CSUM\*CONJG(CSUM))\*ETA\*ETA\*K/4.0

CP(1,S)=SIGMA

Y(S)=NS

C1=1

DO Q=2,S

C1=2\*C1

CP(Q,S)=(C1\*CP(Q-1,S)-CP(Q-1,S-1))/(C1-1)

ENDDO

IF (S.EQ.1) THEN

DO I=1,25

WRITE (\*,\*) ' '

ENDDO

END IF

IF (S.EQ.1) THEN

WRITE (\*,(12X,A))'Harrington TE Cylinder Eq. Pulses with Poi ;nt Matching: '

WRITE (\*,\*) ' '

WRITE (\*,(12X,A,F7.3,A))'Radius=',2\*BE,' Wavelengths'

WRITE(\*,\*) ' '

END IF

IF (S.EQ.1) WRITE (\*,(A1,A))'+';

IF (S.EQ.1) THEN

WRITE (\*,(8X,A,6X,A))'M,' (RCS) EXTRAPOLATION'

WRITE(\*,\*) ' '

END IF

IF (S.EQ.1) WRITE (\*,(16X,A,9X,A))'Sigma','Sigma'

IF (S.EQ.1) WRITE (\*,\*) ' '

IF (S.EQ.1) WRITE (\*,\*) ' '

WRITE (\*,(A1,A))'+';

WRITE (\*,(A1,5X,I3,1X,F12.4,2X,F12.4))'+',Y(S),CP(1,S),CP(S,S)

```
WRITE (*,*)''
WRITE (*,*)''
```

```
ENDDO
```

```
END
```

```
SUBROUTINE INTEGRAL (A,B,ZM,INT,AE,BE,H)
```

```
IMPLICIT NONE
```

```
REAL A,B,ZM,GR,GI,RLINT,IMINT,MIDINT,AE,BE,H
```

```
COMPLEX INT
```

```
EXTERNAL GR,GI
```

```
RLINT=MIDINT(GR,A,B,ZM,AE,BE,H)
```

```
IMINT=MIDINT(GI,A,B,ZM,AE,BE,H)
```

```
INT=CMPLX(RLINT,IMINT)
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
REAL FUNCTION GR(Z,ZPRM,AE,BE,H)
```

```
IMPLICIT NONE
```

```
REAL PI,K,Z,ZPRM,R,J0,AE,BE,H,RX,RY,RCX,RCY
```

```
REAL
```

```
ZF,ZB,TX,TY,NX,NY,HX,HY,RPHX,RPHY,RMHX,RMHY,MPLUS,MMINUS
```

```
REAL FPLUS,FMINUS,DGDN,C1,CP(10,10),NEW,OLD,TOL,ERROR
```

```
INTEGER I,NS,Q,NMAX
```

```
LOGICAL FINISHED
```

```
PI=ACOS(-1.0)
```

```
K=2.0*PI
```

```
FINISHED=.FALSE.
```

```
TOL=1.0E-5
```

```
NMAX=8
```

```
RX=R(ZPRM,AE,BE)*COS(ZPRM)
```

```
RY=R(ZPRM,AE,BE)*SIN(ZPRM)
```

```
RCX=R(Z,AE,BE)*COS(Z)
```

```
RCY=R(Z,AE,BE)*SIN(Z)
```

```
ZF=ZPRM+0.5*H
```

ZB=ZPRM-0.5\*H

TX=R(ZF,AE,BE)\*COS(ZF)-R(ZB,AE,BE)\*COS(ZB)  
 TY=R(ZF,AE,BE)\*SIN(ZF)-R(ZB,AE,BE)\*SIN(ZB)

NX=TY/SQRT(TX\*\*2+TY\*\*2)  
 NY=-TX/SQRT(TX\*\*2+TY\*\*2)

I=1

DO WHILE(.NOT.FINISHED)

NS=2\*\*I

HX=NX/FLOAT(NS)  
 HY=NY/FLOAT(NS)

RPHX = RX+HX  
 RPHY = RY+HY

RMHX = RX-HX  
 RMHY = RY-HY

MPLUS=SQRT((RCX-RMHX)\*\*2+(RCY-RMHY)\*\*2)  
 MMINUS=SQRT((RCX-RPHX)\*\*2+(RCY-RPHY)\*\*2)

FPLUS=J0(K\*(MPLUS))  
 FMINUS=J0(K\*(MMINUS))

DGDN=(FPLUS-FMINUS)/(2.0\*SQRT(HX\*HX+HY\*HY))

CP(1,I)=DGDN

C1=1.0

DO Q=2,I  
 C1=2\*C1  
 CP(Q,I)=(C1\*CP(Q-1,I)-CP(Q-1,I-1))/(C1-1.0)  
 ENDDO

DGDN=CP(I,I)

NEW=CP(I,I)

IF((I.GT.1).AND.(ABS(NEW).GT.0.0)) ERROR=ABS(OLD-NEW)/ABS(NEW)

```
IF((I.GT.1).AND.(ERROR.LT.TOL)) FINISHED=.TRUE.
```

```
IF(I.EQ.NMAX) FINISHED=.TRUE.
```

```
I=I+1
```

```
OLD=NEW
```

```
ENDDO
```

```
GR=DGDN*R(ZPRM,AE,BE)
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
REAL FUNCTION GI(Z,ZPRM,AE,BE,H)
```

```
IMPLICIT NONE
```

```
REAL PI,K,Z,ZPRM,R,Y0,AE,BE,H,RX,RY,RCX,RCY
```

```
REAL
```

```
ZF,ZB,TX,TY,NX,NY,HX,HY,RPHX,RPHY,RMHX,RMHY,MPLUS,MMINUS
```

```
REAL FPLUS,FMINUS,DGDN,C1,CP(10,10),NEW,OLD,TOL,ERROR
```

```
INTEGER I,NS,Q,NMAX
```

```
LOGICAL FINISHED
```

```
PI=ACOS(-1.0)
```

```
K=2.0*PI
```

```
FINISHED=.FALSE.
```

```
TOL=1.0E-5
```

```
NMAX=8
```

```
RX=R(ZPRM,AE,BE)*COS(ZPRM)
```

```
RY=R(ZPRM,AE,BE)*SIN(ZPRM)
```

```
RCX=R(Z,AE,BE)*COS(Z)
```

```
RCY=R(Z,AE,BE)*SIN(Z)
```

```
ZF=ZPRM+0.5*H
```

```
ZB=ZPRM-0.5*H
```

```
TX=R(ZF,AE,BE)*COS(ZF)-R(ZB,AE,BE)*COS(ZB)
```

```
TY=R(ZF,AE,BE)*SIN(ZF)-R(ZB,AE,BE)*SIN(ZB)
```

```
NX=TY/SQRT(TX**2+TY**2)
```

```
NY=-TX/SQRT(TX**2+TY**2)
```

```
I=1
```

```
DO WHILE(.NOT.FINISHED)
```

```
NS=2**I
```

```
HX=NX/FLOAT(NS)
```

```
HY=NY/FLOAT(NS)
```

```
RPHX = RX+HX
```

```
RPHY = RY+HY
```

```
RMHX = RX-HX
```

```
RMHY = RY-HY
```

```
MPLUS=SQRT((RCX-RMHX)**2+(RCY-RMHY)**2)
```

```
MMINUS=SQRT((RCX-RPHX)**2+(RCY-RPHY)**2)
```

```
FPLUS=Y0(K*(MPLUS))
```

```
FMINUS=Y0(K*(MMINUS))
```

```
DGDN=(FPLUS-FMINUS)/(2.0*SQRT(HX*HX+HY*HY))
```

```
CP(1,I)=DGDN
```

```
C1=1.0
```

```
DO Q=2,I
```

```
C1=2*C1
```

```
CP(Q,I)=(C1*CP(Q-1,I)-CP(Q-1,I-1))/(C1-1.0)
```

```
ENDDO
```

```
DGDN=CP(I,I)
```

```
NEW=CP(I,I)
```

```
IF((I.GT.1).AND.(ABS(NEW).GT.0.0)) ERROR=ABS(OLD-NEW)/ABS(NEW)
```

```
IF((I.GT.1).AND.(ERROR.LT.TOL)) FINISHED=.TRUE.
```

```
IF(I.EQ.NMAX) FINISHED=.TRUE.
```

```
I=I+1
```

```
OLD=NEW
```

```
ENDDO
```



```

GI=-DGDN*R(ZPRM,AE,BE)*R(ZPRM,AE,BE)

RETURN
END

COMPLEX FUNCTION HINC(X,AE,BE,INC)

IMPLICIT NONE

REAL X,AE,BE,INC,PI,K,MAG, TOP,R

COMPLEX JAY

JAY=(0.0,1.0)

PI=ACOS(-1.0)
K=2.0*PI

MAG=R(X,AE,BE)

TOP=MAG*COS(X)*COS(INC)+MAG*SIN(X)*SIN(INC)

HINC=COS(K*TOP)+JAY*SIN(K*TOP)

HINC=HINC/376.73

RETURN
END

REAL FUNCTION R(THETA,AE,BE)

IMPLICIT NONE

REAL THETA,MAG,AE,BE

MAG=1.0/( (COS(THETA)/BE)**2 + (SIN(THETA)/AE)**2 )

R=SQRT(MAG*(COS(THETA)**2+SIN(THETA)**2))

RETURN
END
REAL FUNCTION DELTR(THETA1,THETA2,AE,BE)

IMPLICIT NONE

REAL THETA1,THETA2,MAG1,MAG2,IHAT,JHAT,AE,BE,R

```

MAG1=R(THETA1,AE,BE)

MAG2=R(THETA2,AE,BE)

IHAT=MAG1\*COS(THETA1)-MAG2\*COS(THETA2)

JHAT=MAG1\*SIN(THETA1)-MAG2\*SIN(THETA2)

DELTR=SQRT(IHAT\*\*2+JHAT\*\*2)

RETURN

END

REAL FUNCTION MIDINT(F,A,B,ZM,AE,BE,H)

IMPLICIT NONE

REAL CP(10,10),C1,SUMX,F,AE,BE

REAL NSX,DX,A,B,ZM,MIDPNT,ERROR,OLD,NEW,TOL,H

INTEGER COUNTX,I,Q,NMAX

LOGICAL FINISHED

EXTERNAL F

FINISHED=.FALSE.

COUNTX=1

TOL=1.0E-4

NMAX=8

DO WHILE(.NOT.FINISHED)

NSX=2.0\*\*COUNTX

DX=(B-A)/NSX

SUMX=0.0

DO I=1,NSX

MIDPNT=A+FLOAT(I-1)\*DX+DX/2.0

SUMX=SUMX+F(ZM,MIDPNT,AE,BE,H)

ENDDO

CP(1,COUNTX)=SUMX\*DX

C1=1.0

DO Q=2,COUNTX

C1=2\*C1

CP(Q,COUNTX)=(C1\*CP(Q-1,COUNTX)-CP(Q-1,COUNTX-1))/(C1-1.0)

```

ENDDO

MIDINT=CP(COUNTX,COUNTX)

NEW=CP(COUNTX,COUNTX)

IF(COUNTX.GT.1) ERROR=ABS(OLD-NEW)/ABS(NEW)

IF((COUNTX.GT.1).AND.(ERROR.LT.TOL)) FINISHED=.TRUE.

IF(COUNTX.EQ.NMAX) FINISHED=.TRUE.

COUNTX=COUNTX+1

OLD=NEW

END DO

RETURN
END

FUNCTION J0(X)
IMPLICIT NONE
INTEGER I
REAL AK(7),BK(7),AA,BB,A,X,J0,PRODUCT

DATA AK/0.79788456,-0.00000077,-0.00552740,
; -0.00009512,0.00137237,-0.00072805,
; 0.00014476/

DATA BK/-0.78539816,-0.04166397,-0.00003954,
; 0.00262573,-0.00054125,-0.00029333,
; 0.00013558/

IF(ABS(X).LE.3.0)THEN
A=(X/2.0)*(X/2.0)
PRODUCT=1.0-A/49.0

DO I=6,1,-1
PRODUCT=1.0-A/FLOAT(I*I)*PRODUCT
ENDDO

J0=PRODUCT

ELSE

A=3.0/X

```

```
AA=A*AK(7)
BB=A*BK(7)
```

```
DO I=6,1,-1
AA=AK(I)+A*AA
BB=BK(I)+A*BB
ENDDO
```

```
BB=BB+X
J0=AA/SQRT(X)*COS(BB)
```

```
ENDIF
```

```
RETURN
END
```

```
FUNCTION Y0(X)
IMPLICIT NONE
INTEGER I
REAL AT(7),AK(7),BK(7),B0,J0,GAMMA,PI,A,X,PRODUCT,AA,BB,Y0
```

```
DATA AK/0.79788456,-0.00000077,-0.00552740,
; -0.00009512,0.00137237,-0.00072805,
; 0.00014476/
```

```
DATA BK/-0.78539816,-0.04166397,-0.00003954,
; 0.00262573,-0.00054125,-0.00029333,
; 0.00013558/
```

```
GAMMA=0.57721567
PI=ACOS(-1.0)
A=(X/2.0)*(X/2.0)
```

```
IF(ABS(X).LE.3)THEN
AT(1)=1.0
```

```
DO I=2,7
AT(I)=AT(I-1)+1.0/FLOAT(I)
ENDDO
```

```
B0=2.0*(GAMMA+LOG(X/2.0))*J0(X)
```

```
PRODUCT=AT(6)-A*AT(7)/49.0
```

```
DO I=6,2,-1
PRODUCT=AT(I-1)-A/FLOAT(I*I)*PRODUCT
ENDDO
```

$Y0=(B0+ 2.0*A*PRODUCT)/PI$

ELSE

$A=3.0/X$

$AA=A*AK(7)$

$BB=A*BK(7)$

DO I=6,1,-1

$AA=AK(I)+A*AA$

$BB=BK(I)+A*BB$

ENDDO

$BB=BB+X$

$Y0=AA/SQRT(X)*SIN(BB)$

ENDIF

RETURN

END

## 6. UYGULAMA

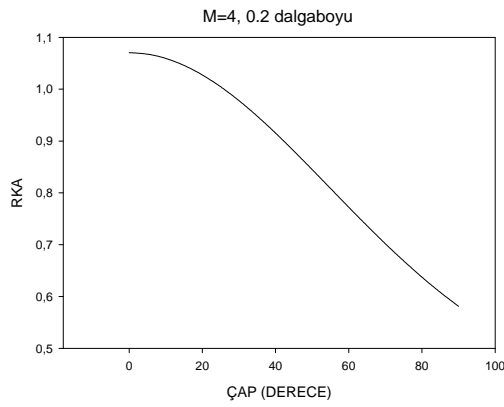
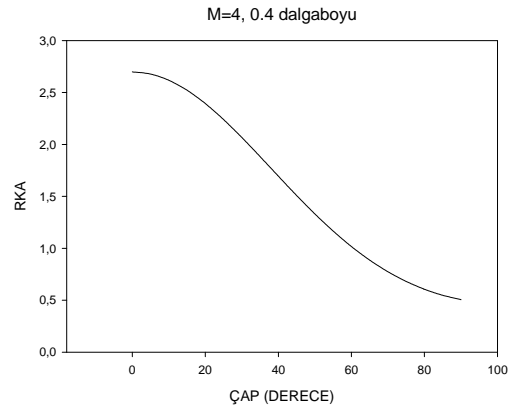
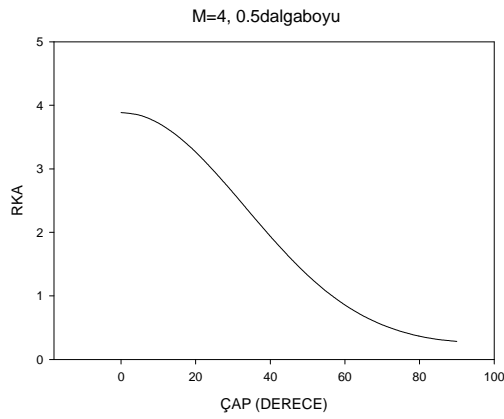
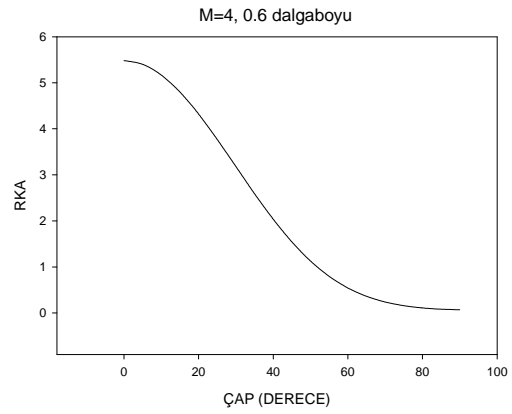
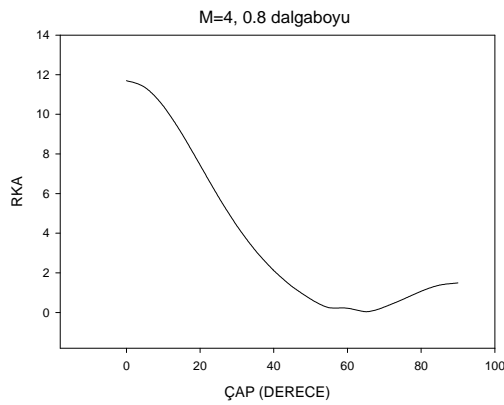
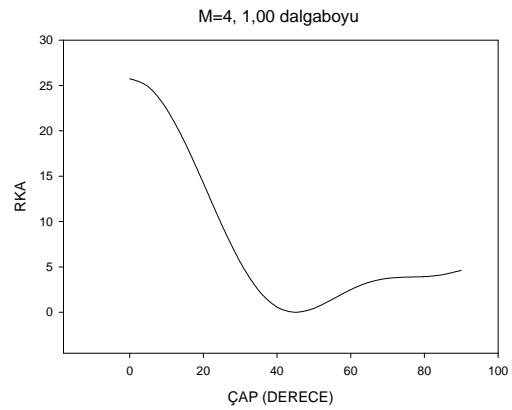
### 6.1. TM Saçılımda Dairesel Konturun RKA Hesaplaması Ve Çizimleri

Hazırlanılan programda (TMCIR.FOR) TM durumu için dairesel konturun RKA'sı hesaplanmıştır. Kontur sonsuz uzunluğa sahiptir ve hedefin çapı ile birlikte düzlem dalgasının geliş açısını programda yazılarak, TM saçılımda dalga boyuna ve çapa göre her M bölme sayısı (number of segment division) için RKA hesaplanmıştır.

Şekil 6.1. (a)'da  $M=4$  için  $0,2\lambda$  dalga boyunda RKA açıya göre çizilmiştir. Benzer biçimde Şekil 6.1. b, c, d, e, f 'de  $M=4$  için farklı dalga boylarında RKA'nın çapa göre değişimi incelenmiştir.

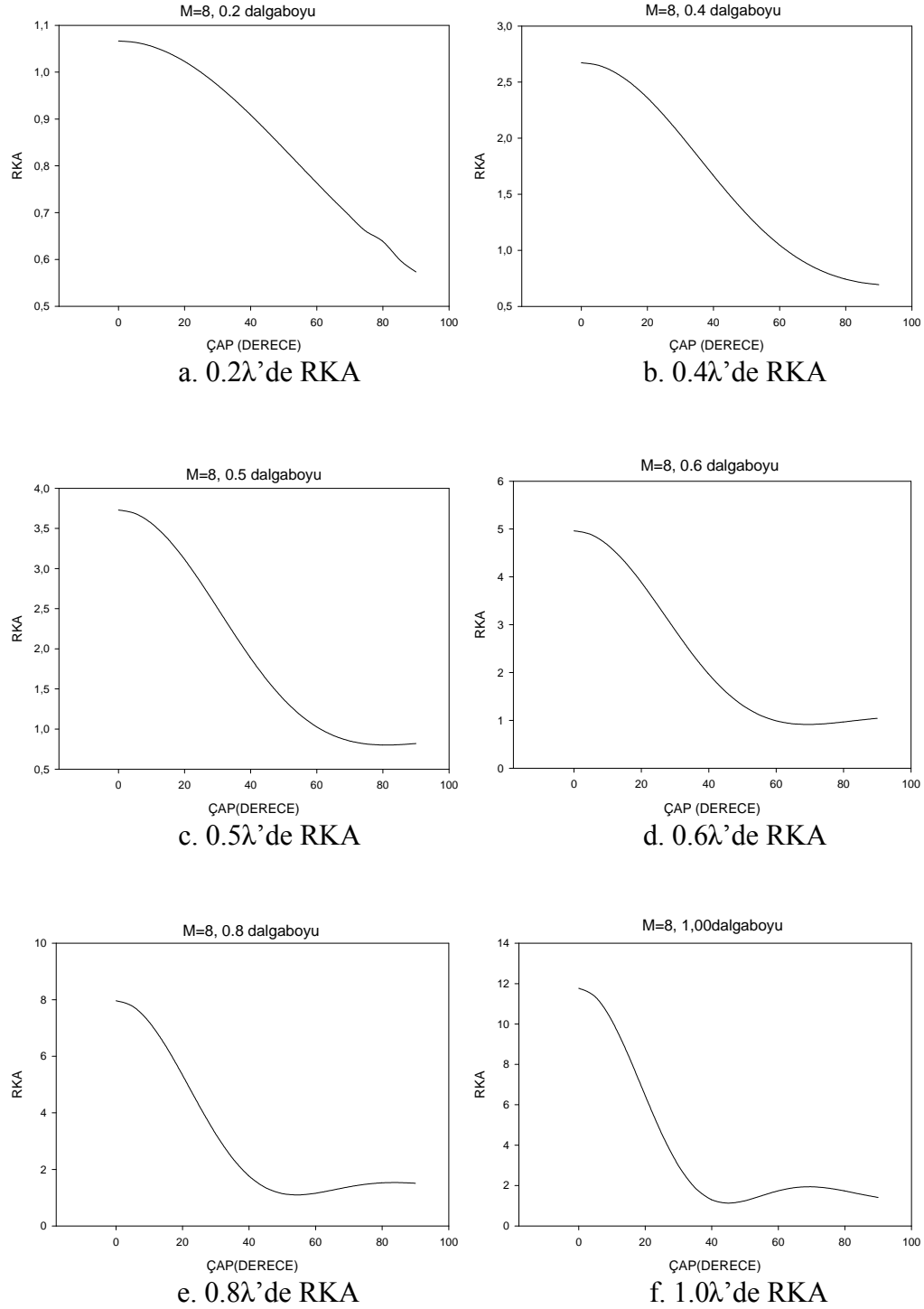
Bu grafiklerde dalga boyu arttıkça RKA'nın arttığı görülmüştür. Ayrıca açı arttıkça RKA daha hızlı azalmaktadır (Ek 1).

Örneğin  $M=4$  ve  $0,2\lambda$  dalga boyu için  $60^\circ$  de RKA 0,7722 iken dalga boyu  $1\lambda$  olunca  $60^\circ$  de RKA 2,5009 görülmektedir.

a.  $0.2\lambda$ 'de RKAb.  $0.4\lambda$ 'de RKAc.  $0.5\lambda$ 'de RKAd.  $0.6\lambda$ 'de RKAe.  $0.8\lambda$ 'de RKAf.  $1.0\lambda$ 'de RKA

Şekil 6.1. TM saçılımda  $M=4$  için değişik dalga boyları için RKA'nın çapa göre değişimi.

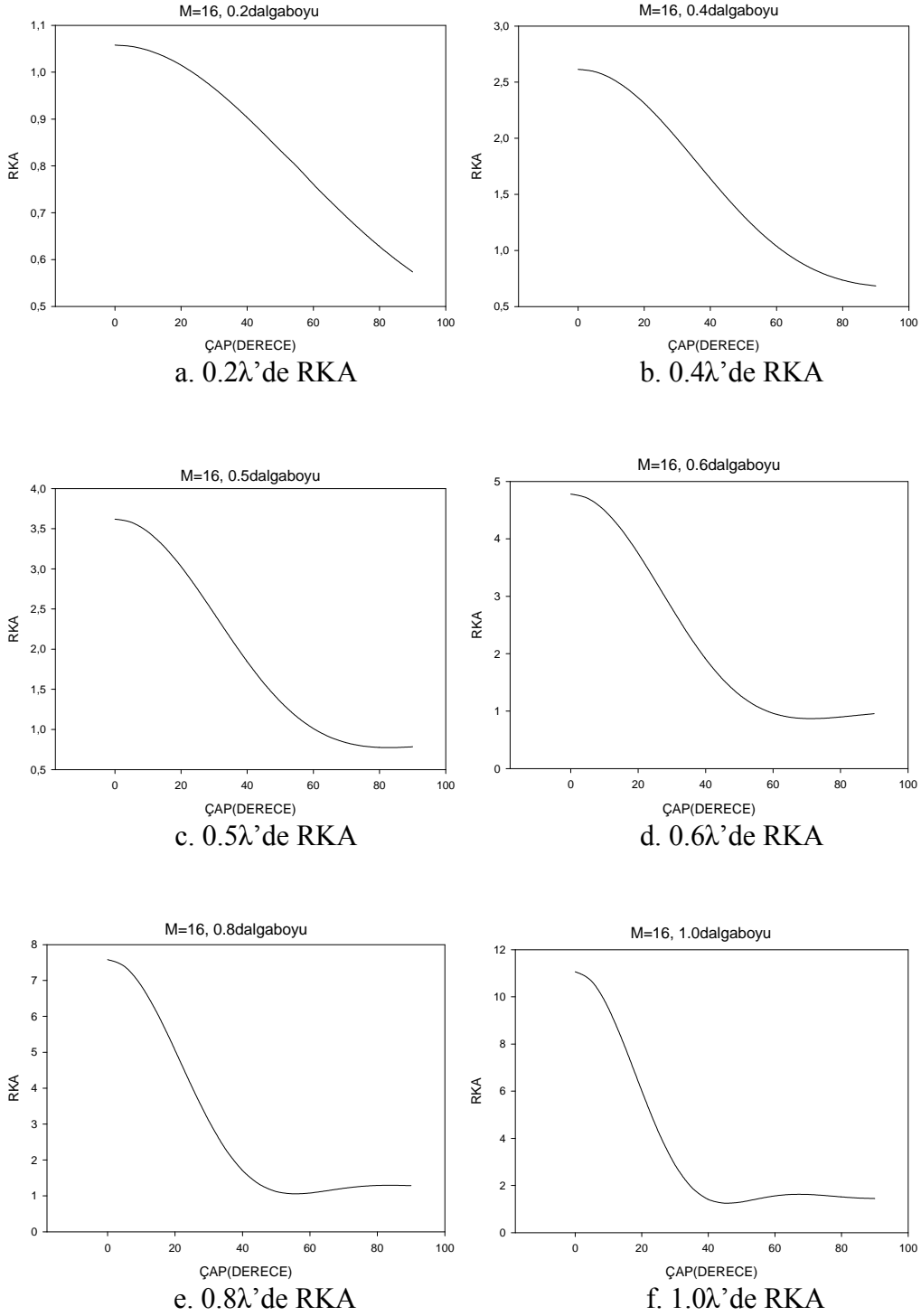
Şekil 6.2. (a-f)  $M=8$  için aynı dalga boyları için incelenmiştir,  $M$  artışı ile RKA'nın düştüğü görülmüştür.



Şekil 6.2. TM saçılımda  $M=8$  için değişik dalga boylarında RKA'nın çapa göre değişimi.



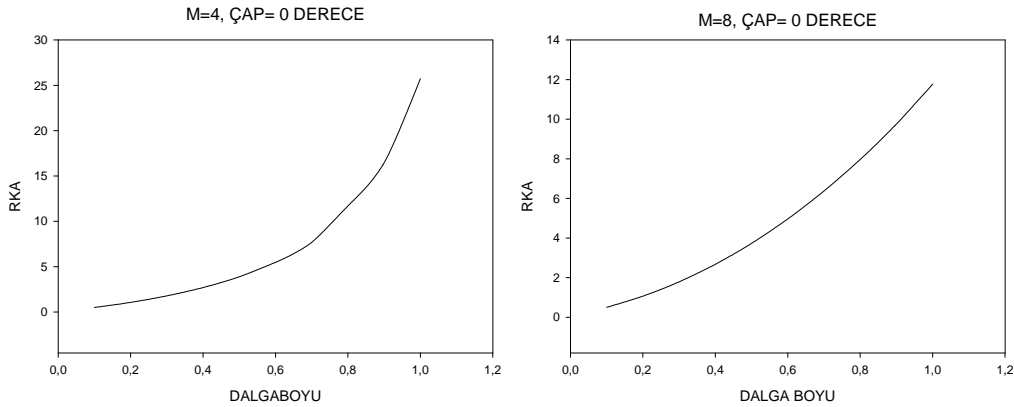
Şekil 6.3. (a-f)  $M=16$  için aynı dalga boyları için incelenmiştir,  $M$  artışı ile RKA'nın az miktarda düştüğü görülmüştür.



Şekil 6.3. TM saçılımda  $M=16$  için değişik dalga boyları için RKA'nın çapa göre değişimi.

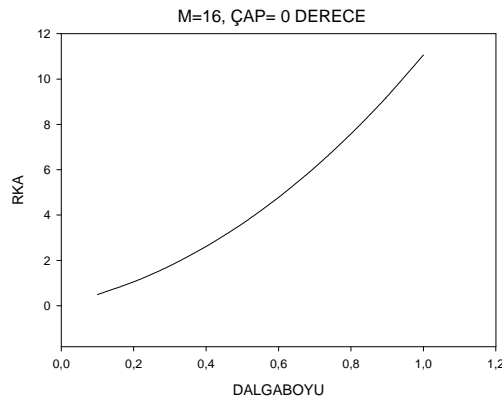
Şekil 6.4. (a)'da  $M=4$  için  $0^\circ$  için RKA dalga boyuna göre çizilmiştir. Benzer biçimde Şekil 6.4. b, c 'de  $0^\circ$  çap için farklı  $M$  değerlerinde RKA dalga boyuna göre değişimi incelenmiştir,  $M$  değeri arttıkça RKA'nın düştüğü. Ancak dalga boyu arttıkça RKA daha hızlı arttığı gözlenmiştir (Ek 1).

Örneğin,  $0^\circ$  de ve  $0,2\lambda$  dalga boyunda  $M=4$  için RKA 1,0704 iken  $M=8$  için RKA 1,0665 ve  $M=16$  için RKA 1,0578 görülmektedir. Aynı  $0^\circ$  de  $1\lambda$  dalga boyunda  $M=4$  için RKA 25,7295 iken  $M=8$  için RKA 11,7677 ve  $M=16$  için RKA 11,0629 görülmektedir.



a.  $M=4$  için RKA değişimi

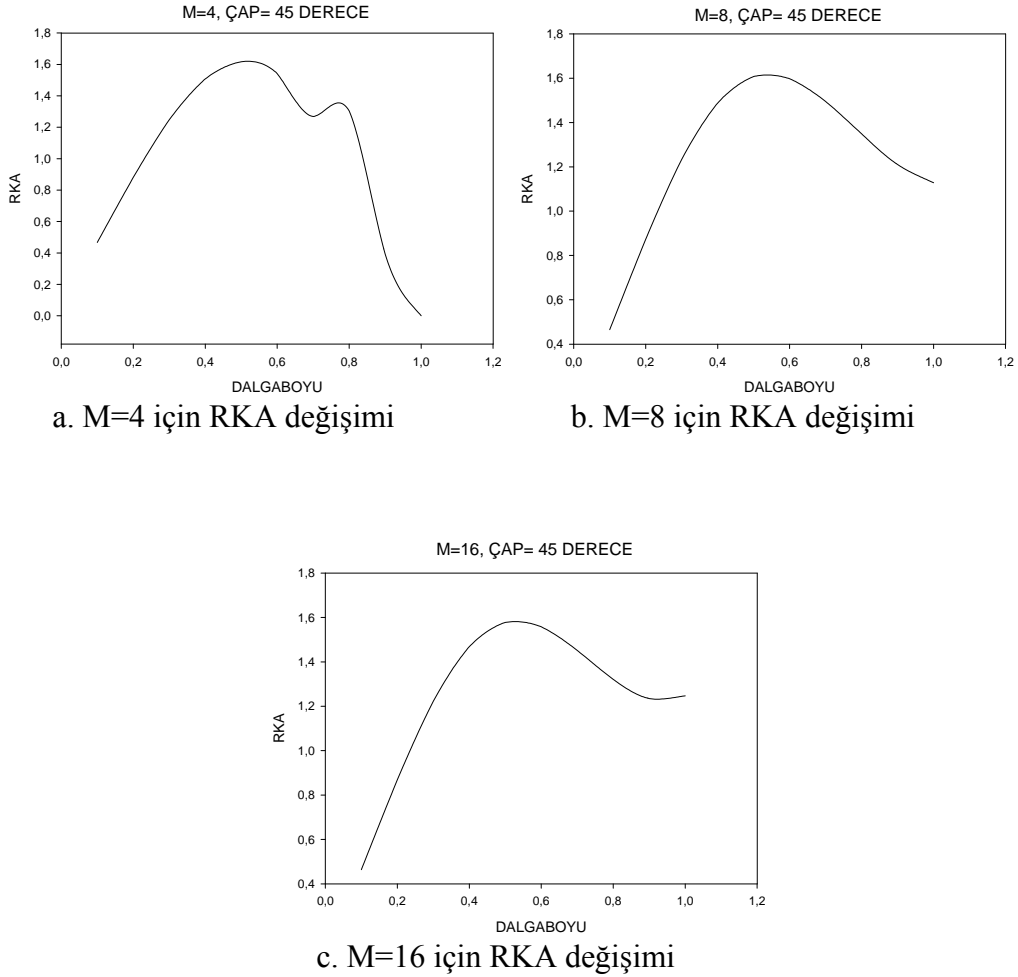
b.  $M=8$  için RKA değişimi



c.  $M=16$  için RKA değişimi

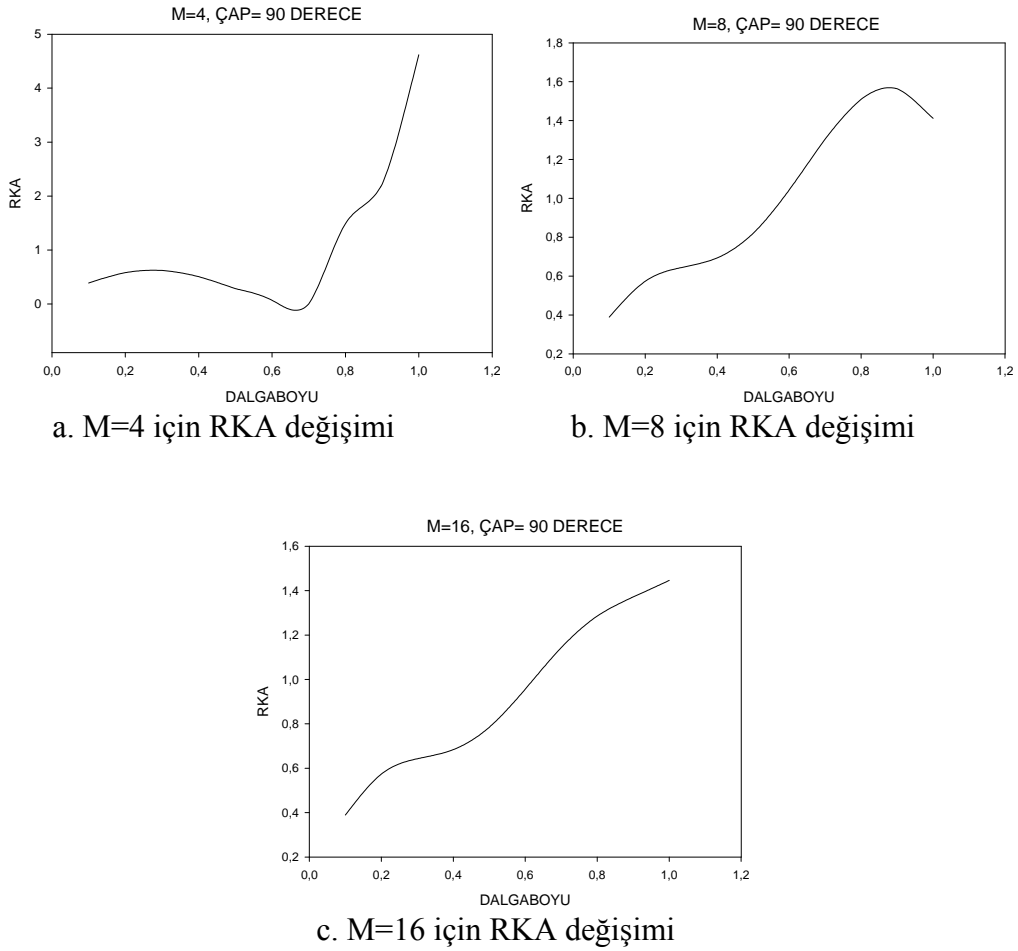
Şekil 6.4. TM saçılımda  $M= 4, 8, 16$  için  $0$  derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi.

Şekil 6.5. (a-c)  $45^\circ$  için aynı M değerleri için incelenmiştir, M değerindeki değişiklikler RKA'yı çok fazla etkilemediği görülmektedir.



Şekil 6.5. TM saçılımda M= 4, 8,16 için 45 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi.

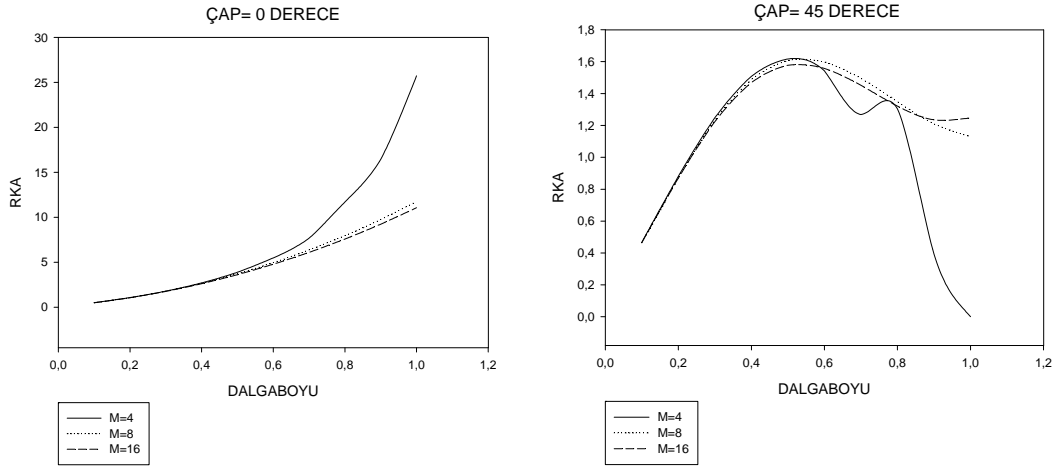
Şekil 6.6. (a-c)  $90^\circ$  için aynı M değerleri için incelenmiştir, Şekil 6.5 ile benzer durum söz konusudur.



Şekil 6.6. TM saçılımda M= 4, 8,16 için 90 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi.

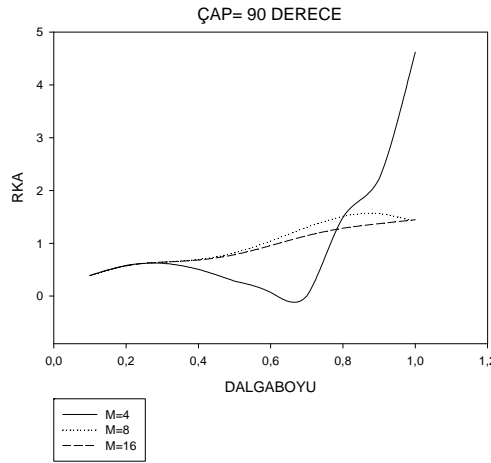
Şekil 6.5 ve Şekil 6.6 karşılaştırıldığında aynı M değerleri için açı artması ile RKA'da da küçük bir artış meydana getirmiştir. Beklenen durumdur.

Şekil 6.7. (a)'da  $M=4, 8, 16$  için  $0^\circ$  de RKA dalga boyuna göre çizilmiştir. Benzer biçimde b ve c 'de  $M=4, 8, 16$  için farklı çaplarda RKA dalga boyuna göre değişimi incelenmiştir, açı arttıkça RKA hızlı azalması ve  $M$  değeri arttıkça RKA'nın düştüğü. Ancak dalga boyu arttıkça RKA daha hızlı arttığı gözlenmiştir (Ek 1).



a. 0 dercede RKA değişimi

b. 45 dercede RKA değişimi



c. 90 dercede RKA değişimi

Şekil 6.7. TM saçılımda  $0^\circ, 45^\circ$  ve  $90^\circ$  RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi.

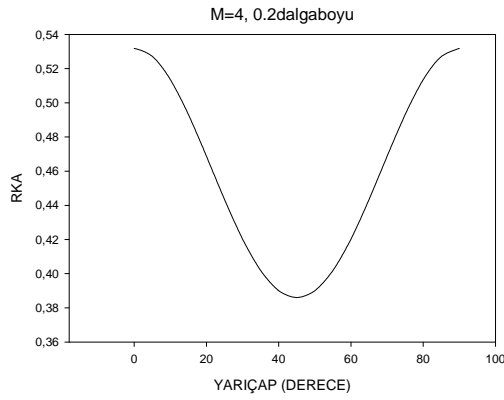
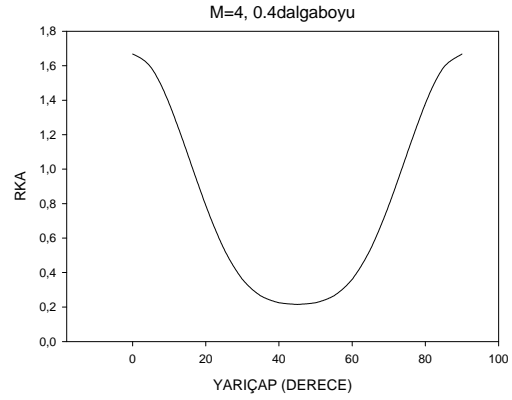
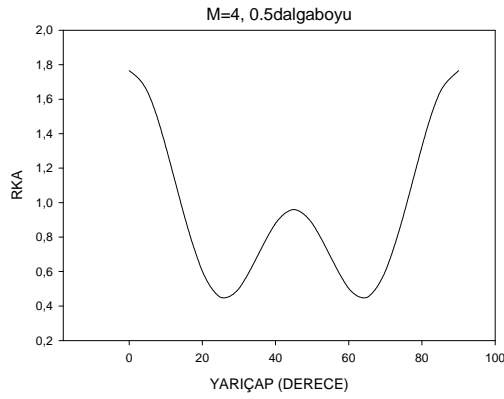
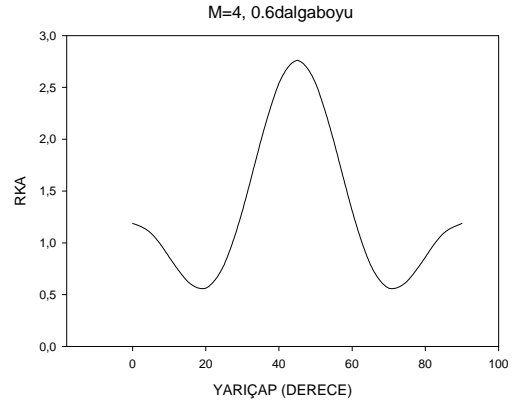
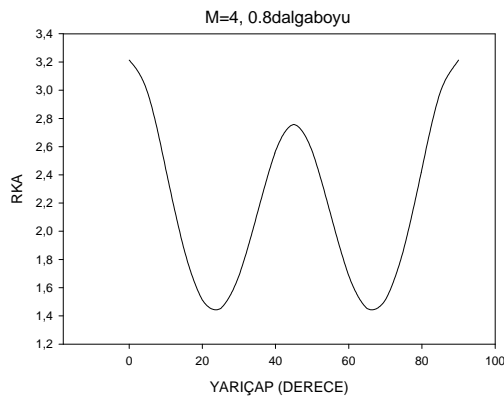
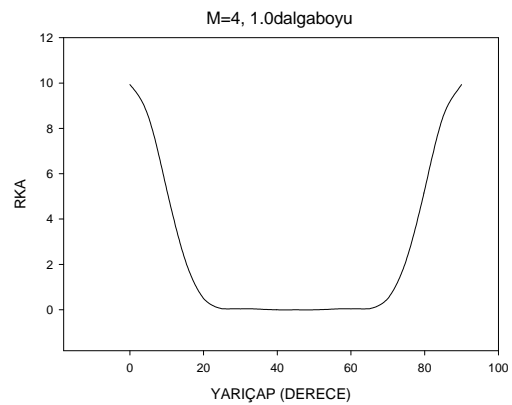
## 6.2. TE Saçılımda Dairesel Konturun RKA Hesaplaması Ve Çizimleri

Hazırlanılan programda (TECIR.FOR) TE durumu için dairesel konturun RKA'sı hesaplanmıştır. Kontur sonsuz uzunluğa sahiptir ve yarıçap doğrultusu ile birlikte düzlem dalgasının geliş açısını programda yazılarak, TE saçılımda dalga boyuna ve yarıçapa göre her  $M$  için RKA hesaplanmıştır.

Şekil 6.7. (a)'da  $M=4$  için  $0,2\lambda$  dalga boyunda RKA açığa göre çizilmiştir. Benzer biçimde Şekil 6.7. b, c, d, e, f 'de  $M=4$  için farklı dalga boylarında RKA'nın yarıçapa göre değişimi incelenmiştir.

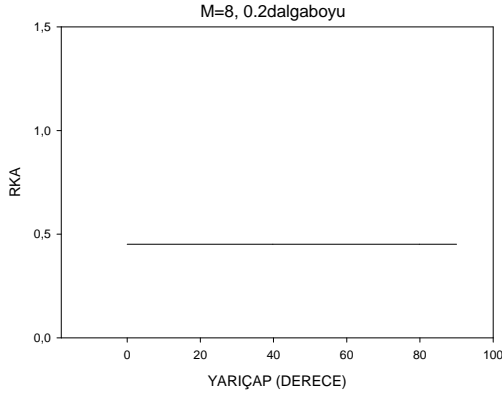
Dalga boyu arttıkça RKA'nın arttığı görülmüştür. Ancak açının artması ile RKA daha hızlı azalmakta olduğu gözlemlenmiştir (Ek 2).

Örneğin  $M=4$  ve  $0,2\lambda$  dalga boyu için  $60^\circ$  de RKA 0,4202 iken dalga boyu  $1\lambda$  olunca  $60^\circ$  de RKA 0,0419 görülmektedir.

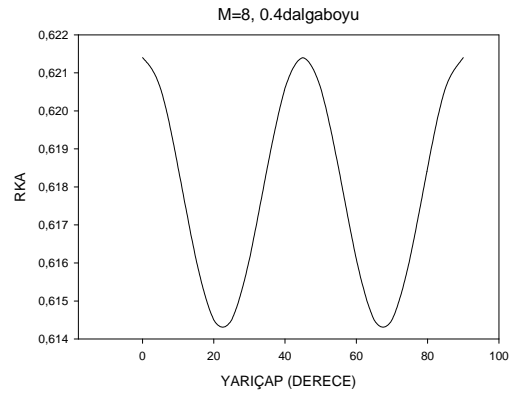
a.  $0.2\lambda$ 'de RKAb.  $0.4\lambda$ 'de RKAc.  $0.5\lambda$ 'de RKAd.  $0.6\lambda$ 'de RKAe.  $0.8\lambda$ 'de RKAf.  $1.0\lambda$ 'de RKA

Şekil 6.8. TE saçılımda  $M=4$  için değişik dalga boyları için RKA'nın çapa göre değişimi.

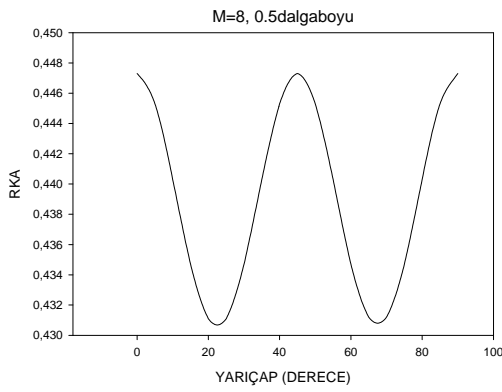
Şekil 6.8. (a-f)  $M=8$ , Şekil 6.9. (a-f)  $M=16$  için aynı dalga boyları için incelenmiştir,  $M$ 'deki artış ile RKA'nın düştüğü görülmüştür.



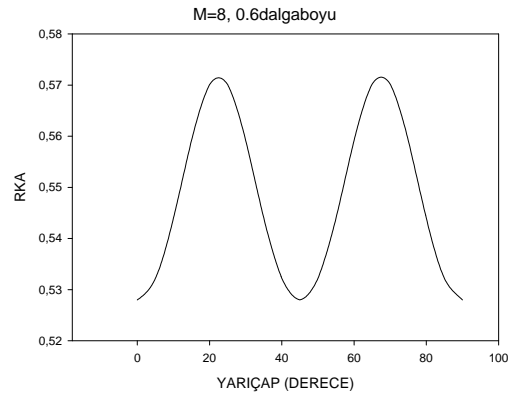
a.  $0.2\lambda$ 'de RKA



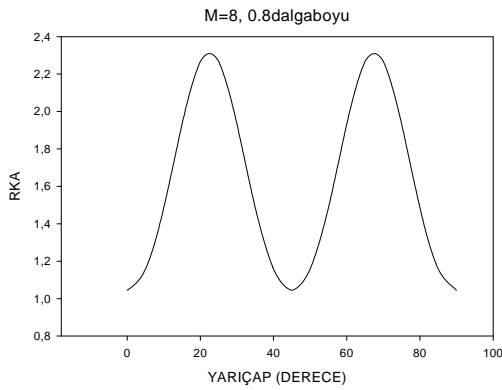
b.  $0.4\lambda$ 'de RKA



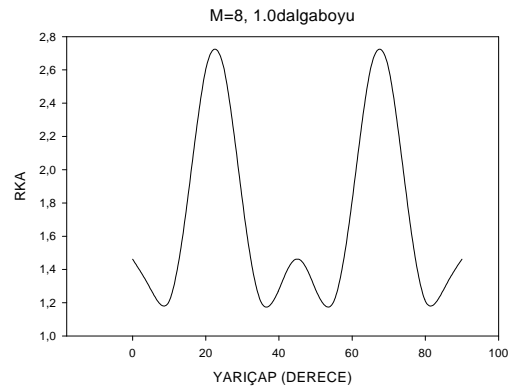
c.  $0.5\lambda$ 'de RKA



d.  $0.6\lambda$ 'de RKA



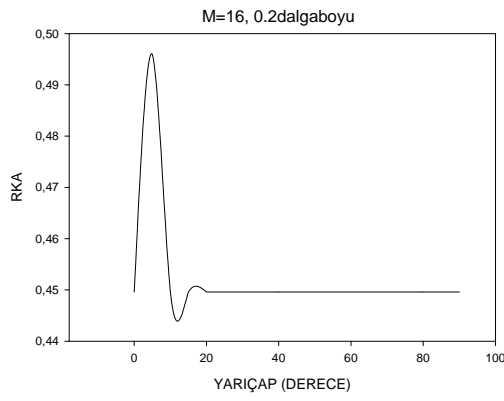
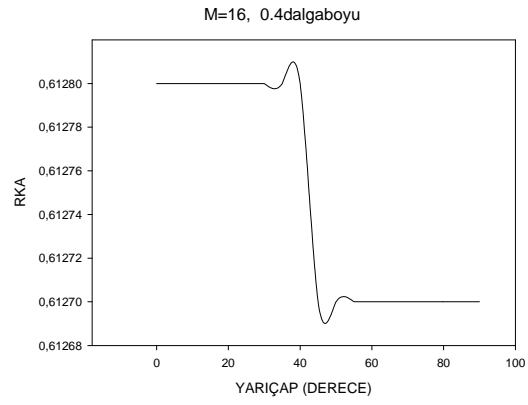
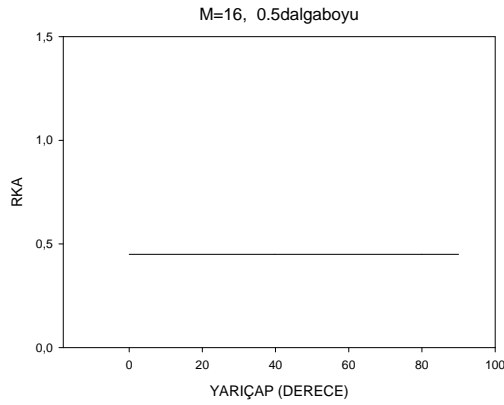
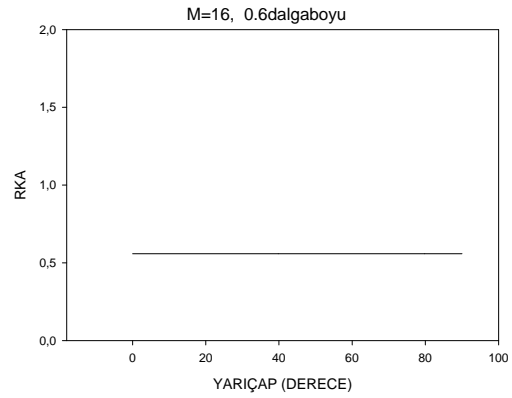
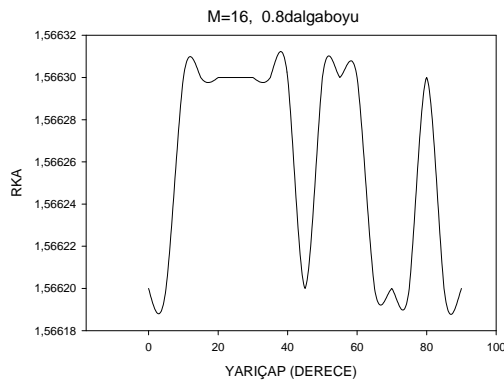
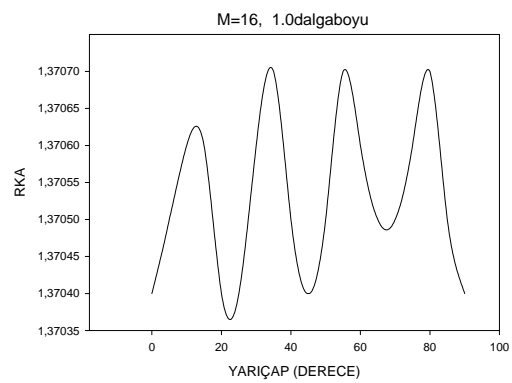
e.  $0.8\lambda$ 'de RKA



f.  $1.0\lambda$ 'de RKA

Şekil 6.9. TE saçılımda  $M=8$  için değişik dalga boylarında RKA'nın çapa göre değişimi.

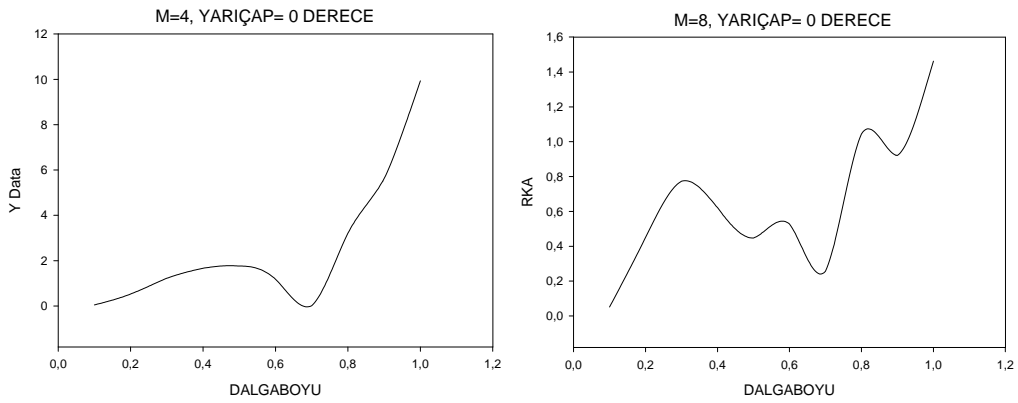


a.  $0.2\lambda$ 'de RKAb.  $0.4\lambda$ 'de RKAc.  $0.5\lambda$ 'de RKAd.  $0.6\lambda$ 'de RKAe.  $0.8\lambda$ 'de RKAf.  $1.0\lambda$ 'de RKA

Şekil 6.10. TE saçılımda  $M=16$  için değişik dalga boyları için RKA'nın çapa göre değişimi.

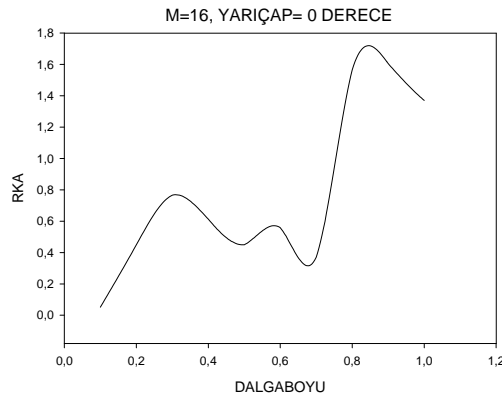
Şekil 6.10. (a)'da  $M=4$  için  $0^\circ$  için RKA dalga boyuna göre çizilmiştir. Benzer biçimde Şekil 6.10. b, c 'de  $0^\circ$  çap için farklı  $M$  değerlerinde RKA dalga boyuna göre değişimi incelenmiştir,  $M$  değeri arttıkça RKA'nın düştüğü görülmüştür. Ayrıca dalga boyu arttıkça RKA daha hızlı artmaktadır (Ek 2).

Örneğin,  $0^\circ$  de ve  $0,2\lambda$  dalga boyunda  $M=4$  için RKA 0,5319 iken  $M=8$  için RKA 0,4509 ve  $M=16$  için RKA 0,4496 görülmektedir. Aynı  $0^\circ$  de  $1\lambda$  dalga boyunda  $M=4$  için RKA 9,9295 iken  $M=8$  için RKA 1,4618 ve  $M=16$  için RKA 1,3704 görülmektedir.



a.  $M=4$  için RKA değişimi

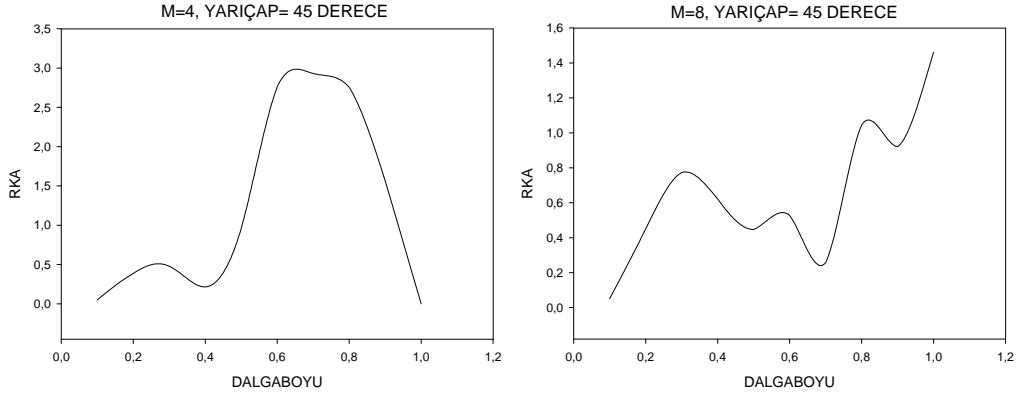
b.  $M=8$  için RKA değişimi



c.  $M=16$  için RKA değişimi

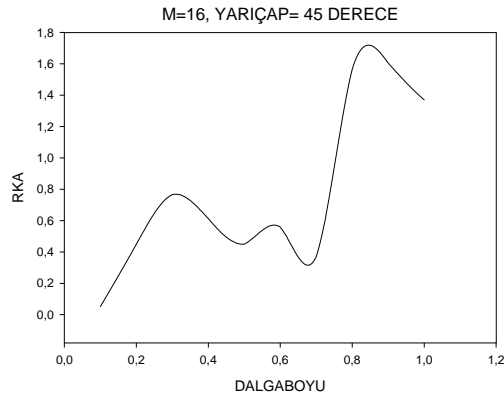
Şekil 6.11. TE saçılımında  $M= 4, 8, 16$  için  $0$  derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi.

Şekil 6.11. (a-c)  $45^\circ$  için farklı M değerleri için incelenmiştir, açı artışı ile RKA'nın düştüğü görülmüştür.



a. M=4 için RKA değişimi

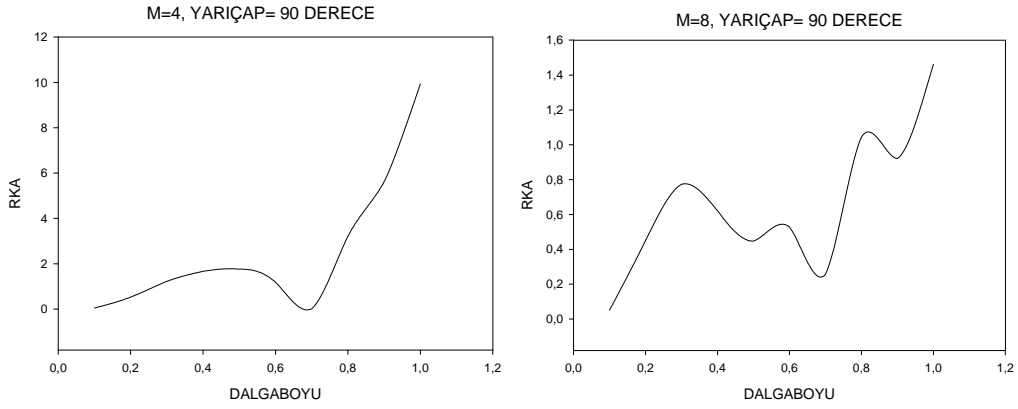
b. M=8 için RKA değişimi



c. M=16 için RKA değişimi

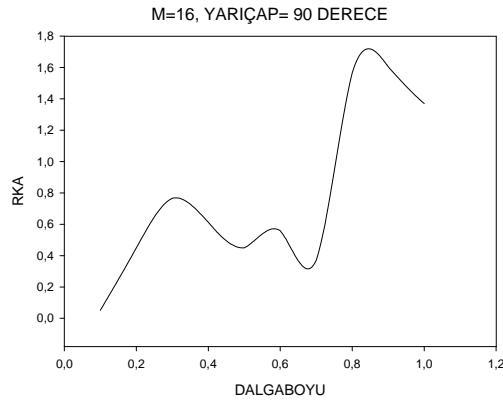
Şekil 6.12. TE saçılımda M= 4, 8,16 için 45 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi.

Şekil 6.12. (a-c)  $90^\circ$  için farklı M değerleri için incelenmiştir, açı artışı ile RKA'nın düştüğü görülmüştür.



a. M=4 için RKA değişimi

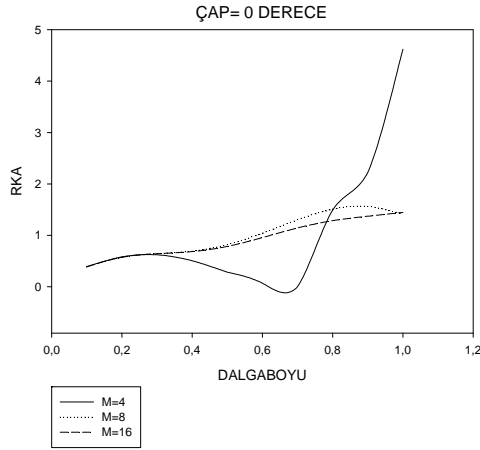
b. M=8 için RKA değişimi



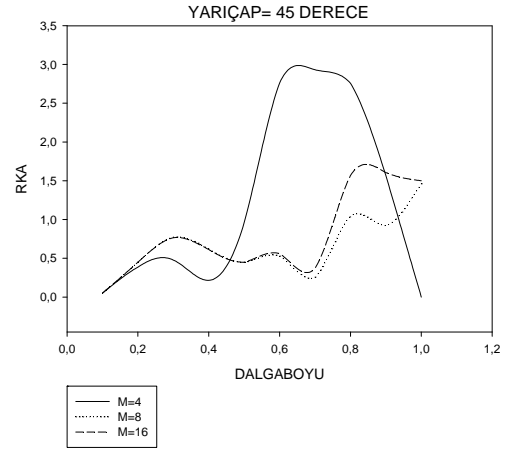
c. M=16 için RKA değişimi

Şekil 6.13. TE saçılımında M= 4, 8,16 için 90 derecede RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi.

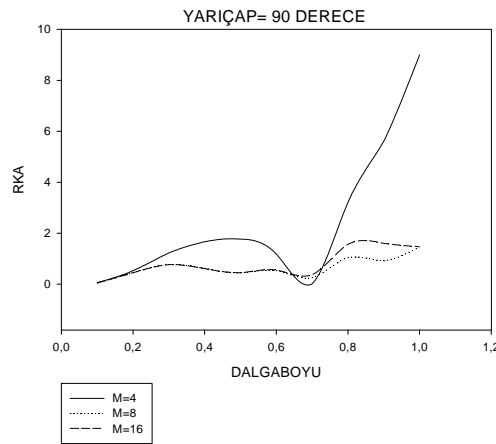
Şekil 6.14. (a)'da  $M=4, 8, 16$  için  $0^\circ$  de RKA dalga boyuna göre çizilmiştir. Benzer biçimde b ve c 'de  $M=4, 8, 16$  için farklı çaplarda RKA dalga boyuna göre değişimi incelenmiştir, açı arttıkça RKA hızlı azalması ve  $M$  değeri arttıkça RKA'nın düştüğü. Ancak dalga boyu arttıkça RKA daha hızlı arttığı gözlenmiştir (Ek 2).



a. 0 dercede RKA değişimi



b. 45 dercede RKA değişimi



c. 90 dercede RKA değişimi

Şekil 6.14. TE saçılımda  $0^\circ, 45^\circ$  ve  $90^\circ$  RKA'nın değişik dalga boylarına göre değişimi.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında ön bilgi olarak radar sistemlerinin temelleri, genel çalışma prensipleri, radarın temel bileşenleri ve radarı etkileyen çevresel faktörler ve radar denklemi açıklanmıştır. Çalışma kapsamında RKA'nın tanımı, formülü, monostatik ve bistatik radar saçılma yüzeyi, elektromanyetik dalganın tanımı, basit cisimlerden saçılma mekanizmaları ve bu cisimlerin RKA hesapları açıklanmıştır.

Çoğu radar sistemleri RKA'nı kullanarak kıyaslanmaktadır. Bu yüzden RKA'nın kesin tahmini kararlı karşılaştırma algoritmaları kurmak ve geliştirmek oldukça önemlidir. RKA azaltma teknikleri geliştirmek ise hedeften yayılan kaynağın bulunması ve ölçülmesinde önemlidir.

Radar Kesit Alanı, bir cismin veya platformun bir radardaki görünürlük miktarı veya elektromanyetik dalgalar olan radar sinyallerini yansıtma miktarı olarak tanımlanabilir. Bir cismin belirli bir radar ile bakıldığında hangi menzilde görülebilir olduğunu belirlemeye yarayan denkleme 'radar denklemi' veya 'menzil denklemi' denir. Bu denklemin içinde radar sistemine ait 'anten kazancı' ve 'sistem gürültüsü' gibi parametreler ve elektromanyetik dalgaların içinden geçtikleri ortama ait 'yol uzunlukları' ve 'yağmur kayıpları' gibi parametreler vardır. Bu parametrelerin yanında, hedefin özelliği olarak sadece RKA yer almaktadır. RKA, kullanılan radarın özelliklerinden ve içinde bulunduğu ortamdan bağımsız bir parametredir ve sadece hedefin geometrik özellikleri ve yapıldığı malzemenin bir fonksiyonudur. Elektromanyetik dalgalar incelenirken tüm boyutlar 'dalga boyu' ile oranlanarak ölçülür.

Bu çalışmada, iki boyutlu konturlardan yayılım incelenmiştir ve iki boyutlu mükemmel iletkenlerin radar kesit alanı moment metodunu kullanarak hesaplanmıştır. Hesaplama dairesel konturların TM ve TE durumları için radar kesit alanları fortran programında hesaplanarak verilmiştir (Ek 1) ve (Ek 2).

Dairesel kontur sonsuz uzunluğa sahiptir ve hedefin çapı ile birlikte düzlem dalgasının geliş açısını programda yazılarak, TM saçılımında dalga boyuna ve çapa göre  $M= 4, 8,16, 32, 64$  sayılar için RKA hesaplanmıştır. TE saçılımında ise dalga boyuna ve yarıçapa göre  $M= 4, 8,16, 32, 64$  sayılar için RKA hesaplanmıştır.

Radar kesit alanının artmasını ve azalmasını üç faktör etkilemekte olduğu görülmüştür, bu faktörler:

1. Dalga boyu  $\lambda$ ,
2. Açı değeri  $\phi$ ,
3. Bölme sayısı  $M$ .

TM saçılımında dalga boyu arttıkça RKA'nın arttığı görülmüştür. Örneğin  $M=4$  ve  $0,2\lambda$  dalga boyu için  $0^\circ$  de RKA 1.0704 iken dalga boyu  $1\lambda$  olunca aynı  $0^\circ$  de RKA 25.7295'e artmaktadır (Ek 1).

Açı değeri arttıkça RKA'nın azaldığı görülmüştür. Örneğin  $0,5\lambda$  dalga boyunda ve  $M=4$  için  $0^\circ$  de RKA 3,8856 iken  $45^\circ$  de RKA 1,6170'e azalmıştır ve  $90^\circ$  de RKA 0,2841'e azalmıştır (Ek 1).

Bölme sayısı  $M$  arttıkça RKA'nın azaldığı görülmüştür. Örneğin  $0,5\lambda$  dalga boyunda ve  $0^\circ$  de  $M=4$  için RKA 3,8856 iken  $M=8$ 'de RKA 3,7290'e azalmıştır ve  $M=16$ 'da RKA 3,6193'e azalmıştır (Ek 1).

TE saçılımında dalga boyu arttıkça RKA'nın arttığı görülmüştür. Örneğin  $M=4$  ve  $0,2\lambda$  dalga boyu için  $0^\circ$  de RKA 0,5319 iken dalga boyu  $1\lambda$  olunca aynı  $0^\circ$  de RKA 9,9295'e artmaktadır (Ek 2).

Açı değeri arttıkça RKA'nın azaldığı görülmüştür. Örneğin  $0,2\lambda$  dalga boyunda ve  $M=4$  için  $0^\circ$  de RKA 0,5319 iken  $45^\circ$  de RKA 0,3860'a azalmıştır (Ek 2).

Bölme sayısı  $M$  arttıkça RKA'nın azaldığı görülmüştür. Örneğin  $0,2\lambda$  dalga boyunda ve  $0^\circ$  de  $M=4$  için RKA 0,5319 iken  $M=8$ 'de RKA 0,4509'a azalmıştır ve  $M=16$ 'da RKA 0,4496'ya azalmıştır (Ek 2).



## KAYNAKLAR

1. Levanon, N., “Radar Principle”, Radar Principles 1<sup>st</sup> ed , **John Wiley & Sons**, New York, 105-130 (1988).
2. Neri, F., “Introduction to Radar”, Introduction to Electronic Defense Systems 1<sup>st</sup> ed , **Artech House Publishersc**, Boston. London, 22 - 36 (1986).
3. Üstüner, H., “Radar arayıcı başlıklar ve radar güdümünün modellenmesi ve simulasyonu”, Yüksek lisans Tezi, **Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 27-33 (2006).
4. Eaves, J. L. , Reedy, E. K., Principles of Modern Radar 1<sup>st</sup> ed , **McGraw-Hill, Inc.**, Singapor, 43-76 (1987).
5. Skolnik, M. , Radar Handbook 2<sup>st</sup> ed , **McGraw-Hill, Inc.**, Singapor, 32-46 (1991).
6. Ishimaru, A., “Electromagnetic Wave Propagation, Radiation and Scattering 2<sup>nd</sup> ed”, Prentice Hall, New York, 45-78 (1991).
7. Özcan, T., “Fizik optik yöntemiyle radar kesit alan hesabı”, Yüksek lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 4-13 (2003).
8. Çiber, B., “FDTD ve MoM sayısal yöntemleriyle radar saçılma yüzeyi modelleme ve azaltma teknikleri”, Yüksek lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 5-40 (2001).
9. Ufimtsev, P., I., “Diffraction Patterns at a Wedge and Ribbon”, Approximate Computation of Plane Electromagnetic Waves at Certain Metal Bodies, **Zh. Tekhn. Fiz.**, (USSR), 1708 – 1718 (1957)
10. Nathanson, F. E. Radar Design Principles 2<sup>st</sup> ed , **McGraw-Hill, Inc.**, Singapor, 81- 101 (1991).
11. Skolnik, M. , Introduction to Radar Systems International Student Edition , **McGraw-Hill, Inc.**, Singapor, 63-76 (1981).
12. Mahafza, B. R. “Radar cross section”. Radar Systems Analysis and Design Using Matlab 1<sup>st</sup> ed , **Chapman & Hall/CRC**, Washington, 78- 127 (2000).
13. Harrington, R. F., Field Computation By Moment Methods 1<sup>st</sup> ed , **The Macmillan Co.**, New York, 35 – 49 (1986).
14. Sevgi, L., Elektromagnetik Problemler ve Sayısal Yöntemler, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 57 – 89 (1999).

15. Ney, M. M., Method of Moments as Applied to EM Problems, *MIT*, London, 972-980 (1985).
16. Stutzman, W. L., Thiele, G. A., Antenna Theory and Design, *Jhon Wiley & Sons Inc.*, New York, 115 146 (1998).
17. Bancroft, R. "Scattering From Two-DimensionalContours". Understanding Electromagnetic Scattering Using the Moment Method 1<sup>st</sup> ed , *Artech House Publishersc*, Boston. London, 81- 228 (1996).

**EKLER**

## EK-1 TM saçılım için RKA değerleri

Çizelge 1.1. TM saçılım için RKA değerleri

Çap		0.1λ		0.2λ		0.3λ	
Geliş Açısı	M	TM Saçılım		TM Saçılım		TM Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
0°	4	0.5036	0.5036	1.0704	1.0704	1.7873	1.7873
	8	0.5012	0.4989	1.0665	1.0627	1.7870	1.7866
	16	0.4996	0.4977	1.0578	1.0445	1.7612	1.7183
	32	0.4991	0.4990	1.0549	1.0544	1.7525	1.7506
	64	0.4990	0.4989	1.0541	1.0538	1.7500	1.7492
5°	4	0.5031	0.5031	1.0676	1.0676	1.7788	1.7788
	8	0.5008	0.4984	1.0637	1.0598	1.7781	1.7775
	16	0.4991	0.4972	1.0550	1.0418	1.7526	1.7102
	32	0.4986	0.4985	1.0522	1.0516	1.7440	1.7421
	64	0.4985	0.4984	1.0514	1.0511	1.7416	1.7407
10°	4	0.5016	0.5016	1.0594	1.0594	1.7537	1.7537
	8	0.4993	0.4969	1.0553	1.0513	1.7520	1.7504
	16	0.4977	0.4958	1.0468	1.0340	1.7272	1.6864
	32	0.4972	0.4970	1.0441	1.0345	1.7189	1.7171
	64	0.4970	0.4970	1.0433	1.0430	1.7166	1.7158
15°	4	0.4992	0.4992	1.0459	1.0459	1.7129	1.7129
	8	0.4969	0.4945	1.0416	1.0373	1.7069	1.7064
	16	0.4953	0.4935	1.0334	1.0212	1.6860	1.6478
	32	0.4948	0.4947	1.0308	1.0302	1.6782	1.7650
	64	0.4947	0.4946	1.0300	1.0297	1.6760	1.6752
20°	4	0.4958	0.4958	1.0275	1.0275	1.6578	1.6578
	8	0.4935	0.4912	1.0229	1.0182	1.6526	1.6474
	16	0.4920	0.4902	1.0151	1.0037	1.6306	1.5957
	32	0.4915	0.4914	1.0126	1.0121	1.6234	1.6218
	64	0.4914	0.4914	1.0119	1.0116	1.6213	1.6206
25°	4	0.4915	0.4915	1.0047	1.0047	1.5906	1.5906
	8	0.4893	0.4871	0.9996	0.9945	1.5832	1.5757
	16	0.4878	0.4862	0.9923	0.9819	1.5631	1.5321
	32	0.4874	0.4873	0.9900	0.9895	1.5565	1.5551
	64	0.4873	0.4872	0.9893	0.9891	1.5547	1.5541
30°	4	0.4864	0.4864	0.9780	0.9780	1.5134	1.5143
	8	0.4842	0.4821	0.9723	0.9667	1.5037	1.4941
	16	0.4829	0.4813	0.9656	0.9564	1.4858	1.4592
	32	0.4825	0.4823	0.9935	0.9630	1.4800	1.4788
	64	0.4823	0.4823	0.9629	0.9627	1.4785	1.4779
35°	4	0.4805	0.4805	0.9479	0.9479	1.4289	1.4289
	8	0.4784	0.4763	0.9417	0.9356	1.4172	1.4054
	16	0.4772	0.4758	0.9357	0.9277	1.4016	1.3795
	32	0.4768	0.4767	0.9338	0.9333	1.3966	1.3955
	64	0.4767	0.4766	0.9333	0.9331	1.3953	1.3948
40°	4	0.4740	0.4740	0.9153	0.9153	1.3396	1.3396
	8	0.4720	0.4699	0.9085	0.9017	1.3263	1.3130
	16	0.4708	0.4695	0.9031	0.8965	1.3131	1.2955
	32	0.4704	0.4703	0.9015	0.9010	1.3089	1.3080
	64	0.4703	0.4703	0.9010	0.9008	1.3078	1.3074
45°	4	0.4668	0.4668	0.8807	0.8807	1.2482	1.2482
	8	0.4649	0.4629	0.8733	0.8659	1.2339	1.2196
	16	0.4638	0.4627	0.8687	0.8634	1.2230	1.2096
	32	0.4635	0.4634	0.8672	0.8668	1.2197	1.2189
	64	0.4634	0.4634	0.8668	0.8667	1.2188	1.2185

## EK-1 (Devam) TM saçılım için RKA değerleri

Çizelge 1.1.(Devam) TM saçılım için RKA değerleri

Çap		0.1λ		0.2λ		0.3λ	
Geliş Açısı	M	TM Saçılım		TM Saçılım		TM Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
50°	4	0.4592	0.4592	0.8449	0.8449	1.1571	1.1571
	8	0.4573	0.4554	0.8369	0.8289	1.1427	1.1283
	16	0.4563	0.4554	0.8330	0.8291	1.1340	1.1243
	32	0.4561	0.4560	0.8318	0.8314	1.1314	1.1307
	64	0.4560	0.4559	0.8315	0.8313	1.1307	1.1304
55°	4	0.4511	0.4511	0.8086	0.8086	1.0684	1.0684
	8	0.4493	0.4474	0.8000	0.7915	1.0549	1.0414
	16	0.4485	0.4477	0.7986	0.7943	1.0482	1.0415
	32	0.4482	0.4481	0.7958	0.7954	1.0462	1.0457
	64	0.4481	0.4481	0.7956	0.7955	1.0457	1.0455
60°	4	0.4427	0.4427	0.7722	0.7720	0.9839	0.9839
	8	0.4409	0.4392	0.7633	0.7543	0.9725	0.9611
	16	0.4402	0.4397	0.7607	0.7594	0.9675	0.9629
	32	0.4400	0.4399	0.7600	0.7596	0.9660	0.9657
	64	0.4400	0.4399	0.7597	0.7597	0.9657	0.9656
65°	4	0.4340	0.4340	0.7365	0.7365	0.9050	0.9050
	8	0.4323	0.4307	0.7272	0.7180	0.8969	0.8887
	16	0.4318	0.4314	0.7253	0.7252	0.8933	0.8901
	32	0.4316	0.4315	0.7247	0.7244	0.8923	0.8921
	64	0.4316	0.4315	0.7246	0.7245	0.8921	0.8920
70°	4	0.4252	0.4252	0.7018	0.7018	0.8329	0.8329
	8	0.4236	0.4220	0.6925	0.6831	0.8292	0.8255
	16	0.4232	0.4230	0.6911	0.6919	0.8268	0.8239
	32	0.4230	0.4230	0.6907	0.6904	0.8261	0.8261
	64	0.4230	0.4230	0.6906	0.6906	0.8259	0.8259
75°	4	0.4163	0.4163	0.6687	0.6687	0.7682	0.7682
	8	0.4148	0.4133	0.6594	0.6501	0.7700	0.7719
	16	0.4145	0.4145	0.6585	0.6602	0.7684	0.7650
	32	0.4144	0.4144	0.6583	0.6580	0.7680	0.7682
	64	0.4144	0.4144	0.6583	0.6582	0.7678	0.7678
80°	4	0.4074	0.4074	0.6374	0.6374	0.7114	0.7114
	8	0.4061	0.4047	0.6384	0.6194	0.7196	0.7277
	16	0.4059	0.4060	0.6279	0.6302	0.7184	0.7138
	32	0.4058	0.4058	0.6279	0.6276	0.7181	0.7186
	64	0.4058	0.4058	0.6278	0.6278	0.7180	0.7180
85°	4	0.3987	0.3987	0.6081	0.6081	0.6628	0.6628
	8	0.3974	0.3961	0.5997	0.5912	0.6776	0.6925
	16	0.3973	0.3976	0.5996	0.6023	0.6767	0.6702
	32	0.3973	0.3972	0.5996	0.5993	0.6764	0.6772
	64	0.3973	0.3973	0.5996	0.5997	0.6764	0.6763
90°	4	0.3900	0.3900	0.5811	0.5811	0.6223	0.6223
	8	0.3889	0.3878	0.5734	0.5657	0.6438	0.6653
	16	0.3889	0.3893	0.5737	0.5766	0.6428	0.6341
	32	0.3889	0.3889	0.5738	0.5738	0.6426	0.6436
	64	0.3889	0.3889	0.5738	0.5738	0.6425	0.6424

## EK-1 (Devam) TM saçılım için RKA değerleri

Çizelge 1.1.(Devam) TM saçılım için RKA değerleri

Çap		0.4λ		0.5λ		0.6λ	
Geliş Açısı	M	TM Saçılım		TM Saçılım		TM Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
0°	4	2.6978	2.6978	3.8856	3.8856	5.4805	5.4805
	8	2.6724	2.6470	3.7290	3.5724	4.9619	4.4432
	16	2.6143	2.5260	3.6193	3.4888	4.7797	4.6488
	32	2.5940	2.5871	3.5790	3.5568	4.7078	4.6487
	64	2.5883	2.5865	3.5677	3.5647	4.6875	4.6842
5°	4	2.6775	2.6775	3.8436	3.8436	5.4009	5.4009
	8	2.6514	2.6253	3.6868	3.5301	4.8860	4.3710
	16	2.5941	2.5072	3.5788	3.4511	4.7068	4.5799
	32	2.5741	2.5673	3.5392	3.5176	4.6367	4.5794
	64	2.5685	2.5667	3.5281	3.5252	4.6169	4.6136
10°	4	2.6178	2.6178	3.7202	3.7202	5.1680	5.1680
	8	2.5897	2.5617	3.5635	3.4068	4.6655	4.1630
	16	2.5345	2.4519	3.4603	3.3405	4.4954	4.3792
	32	2.5154	2.5090	3.4229	3.4029	4.4301	4.3779
	64	2.5100	2.5083	3.4124	3.4096	4.4118	4.4086
15°	4	2.5215	2.5215	3.5231	3.5231	4.7991	4.7991
	8	2.4908	2.4600	3.3681	3.2130	4.3212	3.8433
	16	2.4389	2.3628	3.2724	3.1647	4.1652	4.0645
	32	2.4212	2.4154	3.2385	3.2209	4.1075	4.0631
	64	2.4162	2.4146	3.2290	3.2264	4.0914	4.0884
20°	4	2.3934	2.3924	3.2643	3.2643	4.3210	4.3210
	8	2.3599	2.3264	3.1146	2.9649	3.8842	3.4474
	16	2.3125	2.2447	3.0288	2.9356	3.7465	3.6627
	32	2.2965	2.2915	2.9992	2.9846	3.6980	3.6630
	64	2.2920	2.2906	2.9910	2.9886	3.6846	3.6818
25°	4	2.2394	2.2394	2.9591	2.9591	3.7680	3.7680
	8	2.2039	2.1684	2.8205	2.6820	3.3923	3.0165
	16	2.1618	2.1033	2.7460	2.6680	3.2756	3.2065
	32	2.1478	2.1436	2.7213	2.7101	3.2369	3.2119
	64	2.1440	2.1427	2.7144	2.7124	3.2263	3.2238
30°	4	2.0667	2.0667	2.6248	2.6248	3.1782	3.1782
	8	2.0308	1.9949	2.5050	2.3852	2.8848	2.5914
	16	1.9943	1.9455	2.4425	2.3784	2.7902	2.7304
	32	1.9825	1.9793	2.4226	2.4149	2.7608	2.7452
	64	1.9793	1.9782	2.4172	2.4154	2.7529	2.7507
35°	4	1.8824	1.8824	2.2790	2.2790	2.5894	2.5894
	8	1.8486	1.8148	2.1868	2.0946	2.3983	2.2071
	16	1.8180	1.7783	2.1363	2.0829	2.3249	2.2665
	32	1.8084	1.8060	2.1209	2.1164	2.3035	2.2960
	64	1.8058	1.8048	2.1168	2.1153	2.2979	2.2960
40°	4	1.6940	1.6940	1.9383	1.9383	2.0353	2.0353
	8	1.6653	1.6367	1.8830	1.8276	1.9623	1.8893
	16	1.6405	1.6085	1.8435	1.7963	1.9078	1.8412
	32	1.6329	1.6314	1.8321	1.8304	1.8924	1.8914
	64	1.6308	1.6301	1.8290	1.8278	1.8884	1.8868
45°	4	1.5082	1.5082	1.6170	1.6170	1.5423	1.5423
	8	1.4882	1.4683	1.6073	1.5977	1.5976	1.6530
	16	1.4686	1.4425	1.5774	1.5307	1.5578	1.4730
	32	1.4682	1.4621	1.5690	1.5698	1.5463	1.5502
	64	1.4613	1.4606	1.5667	1.5657	1.5433	1.5419

## EK-1 (Devam) TM saçılım için RKA değerleri

## Çizelge 1.1.(Devam) TM saçılım için RKA değerleri

Çap		0.4λ		0.5λ		0.6λ	
Geliş Açısı	M	TM Saçılım		TM Saçılım		TM Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
50°	4	1.3306	1.3306	1.3257	1.3257	1.1266	1.1266
	8	1.3233	1.3160	1.3697	1.4137	1.3146	1.5026
	16	1.3082	1.2856	1.3472	1.2949	1.2844	1.1715
	32	1.3039	1.3040	1.3408	1.3438	1.2745	1.2823
	64	1.3028	1.3023	1.3391	1.3381	1.2721	1.2707
55°	4	1.1658	1.1658	1.0714	1.0714	0.7945	0.7945
	8	1.1751	1.1844	1.1756	1.2797	1.1142	1.4338
	16	1.1638	1.1418	1.1580	1.0939	1.0880	0.9380
	32	1.1606	1.1614	1.1527	1.1578	1.0782	1.0894
	64	1.1597	1.1593	1.1513	1.1504	1.0755	1.0739
60°	4	1.0170	1.0170	0.8572	0.8572	0.5429	0.5429
	8	1.0467	1.0764	1.0263	1.1955	0.9894	1.4359
	16	1.0382	1.0140	1.0111	0.9294	0.9618	0.7669
	32	1.0357	1.0374	1.0062	1.0135	0.9505	0.9657
	64	1.0351	1.0347	1.0048	1.0038	0.9473	0.9454
65°	4	0.8863	0.8863	0.6827	0.6827	0.3622	0.3622
	8	0.9397	0.9932	0.9199	1.1570	0.9278	1.4934
	16	0.9329	0.9038	0.9047	0.8003	0.8938	0.6484
	32	0.9309	0.9335	0.8994	0.9092	0.8803	0.9007
	64	0.9303	0.9300	0.8979	0.8967	0.8766	0.8740
70°	4	0.7743	0.7743	0.5455	0.5455	0.2389	0.2389
	8	0.8541	0.9340	0.8515	1.1574	0.9140	1.5891
	16	0.8481	0.8115	0.8341	0.7032	0.8698	0.5712
	32	0.8462	0.8498	0.8280	0.8408	0.8540	0.8811
	64	0.8457	0.8453	0.8263	0.8248	0.8496	0.8462
75°	4	0.6810	0.6810	0.4413	0.4413	0.1591	0.1591
	8	0.7890	0.8969	0.8145	1.1877	0.9319	1.7048
	16	0.7829	0.7368	0.7934	0.6339	0.8756	0.5241
	32	0.7809	0.7857	0.7863	0.8025	0.8577	0.8927
	64	0.7804	0.7798	0.7843	0.7824	0.8528	0.8484
80°	4	0.6059	0.6059	0.3657	0.3657	0.1102	0.1102
	8	0.7422	0.8786	0.8017	1.2378	0.9669	1.8236
	16	0.7354	0.6786	0.7759	0.5875	0.8982	0.4981
	32	0.7331	0.7392	0.7677	0.7878	0.8788	0.9224
	64	0.7325	0.7319	0.7655	0.7632	0.8736	0.8682
85°	4	0.5479	0.5479	0.3144	0.3144	0.0829	0.0829
	8	0.7114	0.8749	0.8058	1.2973	1.0069	1.9310
	16	0.7033	0.6353	0.7750	0.5597	0.9275	0.4871
	32	0.7007	0.7081	0.7659	0.7899	0.9073	0.9593
	64	0.7000	0.6992	0.7635	0.7608	0.9020	0.8958
90°	4	0.5062	0.5062	0.2841	0.2841	0.0708	0.0708
	8	0.6936	0.8810	0.8202	1.3562	1.0431	2.0154
	16	0.6839	0.6053	0.7847	0.5469	0.9562	0.4874
	32	0.6809	0.6897	0.7750	0.8026	0.9361	0.9950
	64	0.6801	0.6792	0.7724	0.7693	0.9309	0.9240

## EK-1 (Devam) TM saçılım için RKA değerleri

## Çizelge 1.1.(Devam) TM saçılım için RKA değerleri

Çap		0.7λ		0.8λ		0.9λ	
Geliş Açısı	M	TM Saçılım		TM Saçılım		TM Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
0°	4	7.6779	7.6779	11.6967	11.6967	16.4630	16.4630
	8	6.3733	5.0687	7.9664	4.2361	9.7545	3.0461
	16	6.0992	6.0773	7.5826	8.1863	9.2352	10.6057
	32	5.9807	5.8456	7.3985	7.0817	8.9624	8.4060
	64	5.9472	5.9452	7.3465	7.3525	8.8849	8.9012
5°	4	7.5368	7.5368	11.3621	11.3621	15.9788	15.9788
	8	6.2474	4.9580	7.7699	4.1778	9.4615	2.9443
	16	5.9782	5.9593	7.3930	7.9621	8.9514	10.2737
	32	5.8632	5.7329	7.2154	6.9143	8.6902	8.1606
	64	5.8307	5.8286	7.1653	7.1707	8.6161	8.6314
10°	4	7.1250	7.1250	10.4205	10.4205	14.5937	14.5937
	8	5.8844	4.6438	7.2080	3.9956	8.6307	2.6678
	16	5.6296	5.6185	6.8518	7.3288	8.1498	9.3360
	32	5.5245	5.4079	6.6926	6.4343	7.9205	7.4646
	64	5.4950	5.4928	6.6480	6.6518	7.8561	7.8684
15°	4	6.4765	6.4765	9.0389	9.0389	12.4971	12.4971
	8	5.3262	4.1758	6.3581	3.6773	7.3958	2.2945
	16	5.0944	5.0917	6.0363	6.3937	6.9667	7.9521
	32	5.0041	4.9078	5.9040	5.7046	6.7830	6.4293
	64	4.9790	4.9766	5.8673	5.8691	6.7321	6.7408
20°	4	5.6453	5.6453	7.4382	7.4382	9.9663	9.9663
	8	4.6346	3.6238	5.3321	3.2260	5.9462	1.9262
	16	4.4331	4.4344	5.0576	5.3022	5.5922	6.3423
	32	4.3603	4.2878	4.9559	4.8172	5.4584	5.2119
	64	4.3403	4.3378	4.9282	4.9282	5.4222	5.4276
25°	4	4.7011	4.7011	5.8306	5.8306	7.3160	7.3160
	8	3.8818	3.0624	4.2559	2.6812	4.4865	1.6569
	16	3.7156	3.7116	4.0383	4.2004	4.2262	4.7356
	32	3.6605	3.6116	3.9660	3.8777	4.1373	3.9817
	64	3.6456	3.6432	3.9467	3.9460	4.1140	4.1175
30°	4	3.7215	3.7215	4.3695	4.3695	4.8457	4.8457
	8	3.1394	2.5573	3.2473	2.1251	3.1955	1.5453
	16	3.0101	2.9888	3.0905	3.2031	3.0362	3.3209
	32	2.9709	2.9428	3.0422	2.9869	2.9804	2.8859
	64	2.9605	2.9582	3.0297	3.0291	2.9662	2.9696
35°	4	2.7829	2.7829	3.1286	3.1286	2.7916	2.7916
	8	2.4685	2.1540	2.3975	1.6664	2.1959	1.6003
	16	2.3744	2.3226	2.2978	2.3754	2.1285	2.2147
	32	2.3474	2.3352	2.2655	2.2263	2.0903	2.0255
	64	2.3403	2.3383	2.2573	2.2578	2.0807	2.0853
40°	4	1.9505	1.9505	2.1150	2.1150	1.2950	1.2950
	8	1.9127	1.8750	1.7602	1.4055	1.5395	1.7840
	16	1.8484	1.7537	1.7059	1.7335	1.5375	1.4528
	32	1.8290	1.8273	1.6808	1.6463	1.5023	1.4430
	64	1.8240	1.8223	1.6744	1.6760	1.4931	1.4994
45°	4	1.2684	1.2684	1.3040	1.3040	0.3920	0.3920
	8	1.4951	1.7218	1.3491	1.3942	1.2101	2.0282
	16	1.4516	1.3034	1.3213	1.2600	1.2346	1.0027
	32	1.4354	1.4399	1.2959	1.2632	1.1913	1.1265
	64	1.4311	1.4297	1.2891	1.2914	1.1795	1.1870



## EK-1 (Devam) TM saçılım için RKA değerleri

## Çizelge 1.1.(Devam) TM saçılım için RKA değerleri

Çap		0.7λ		0.8λ		0.9λ	
Geliş Açısı	M	TM Saçılım		TM Saçılım		TM Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
50°	4	0.7554	0.5540	0.6769	0.6769	0.0240	0.0240
	8	1.2180	1.6806	1.1432	1.6095	1.1408	2.2577
	16	1.1843	0.9739	1.1194	0.9244	1.1489	0.7899
	32	1.1675	1.1759	1.0883	1.0614	1.0920	1.0239
	64	1.1629	1.1615	1.0797	1.0816	1.0764	1.0836
55°	4	0.4050	0.4050	0.2405	0.2405	0.0676	0.0676
	8	1.0672	1.7294	1.0977	1.9549	1.2392	2.4108
	16	1.0315	0.7514	1.0557	0.6999	1.1940	0.7282
	32	1.0115	1.0240	1.0163	1.0025	1.1235	1.0628
	64	1.0059	1.0041	1.0054	1.0057	1.1042	1.1092
60°	4	0.1908	0.1908	0.2150	0.0215	0.3717	0.3717
	8	1.0170	1.8432	1.1572	2.2929	1.4114	2.4510
	16	0.9687	0.6127	1.0790	0.5700	1.2910	0.7438
	32	0.9441	0.9630	1.0315	1.0368	1.2106	1.1699
	64	0.9373	0.9345	1.0185	1.0163	1.1890	1.1901
65°	4	0.0763	0.0763	0.0392	0.0392	0.7946	0.7946
	8	1.0367	1.9970	1.2672	2.4951	1.5813	2.3679
	16	0.9674	0.5317	1.1425	0.5254	1.3827	0.7895
	32	0.9382	0.9672	1.0891	1.1154	1.2983	1.2859
	64	0.9302	0.9260	1.0747	1.0694	1.2761	1.2724
70°	4	0.2460	0.0246	0.2756	0.2756	1.2287	1.2287
	8	1.0957	2.1667	1.3830	2.4904	1.7003	2.1720
	16	1.0007	0.4855	1.2109	0.5550	1.4392	0.8467
	32	0.9680	1.0107	1.1548	1.1990	1.3567	1.3720
	64	0.9591	0.9531	1.1398	1.1317	1.3353	1.3274
75°	4	0.0060	0.0060	0.6583	0.6583	1.6091	1.6091
	8	1.1678	2.3297	1.4743	2.2903	1.7483	1.8875
	16	1.0470	0.4582	1.2630	0.6389	1.4541	0.9174
	32	1.0121	1.0710	1.2074	1.2631	1.3781	1.4110
	64	1.0028	0.9948	1.1929	1.1825	1.3586	1.3480
80°	4	0.0010	0.0010	1.0702	1.0702	1.9068	1.9068
	8	1.2336	2.4663	1.5259	1.9816	1.7282	1.5496
	16	1.0908	0.4419	1.2909	0.7472	1.4372	1.0117
	32	1.0556	1.1306	1.2384	1.2983	1.3699	1.4037
	64	1.0463	1.0365	1.2249	1.2133	1.3528	1.3418
85°	4	0.0001	0.0001	1.3811	1.3811	2.1126	2.1126
	8	1.2810	2.5619	1.5353	1.6896	1.6582	1.2037
	16	1.1239	0.4350	1.2960	0.8457	1.4045	1.1333
	32	1.0898	1.1783	1.2485	1.3068	1.3463	1.3624
	64	1.0810	1.0697	1.2365	1.2246	1.3316	1.3229
90°	4	0.0000	0.0000	1.4911	1.4911	2.2203	2.2203
	8	1.3049	2.6098	1.5098	1.5286	1.5642	0.9082
	16	1.1434	0.4393	1.2856	0.9056	1.3717	1.2696
	32	1.1117	1.2089	1.2438	1.2979	1.3214	1.3063
	64	1.1036	1.0916	1.2332	1.2221	1.3087	1.3043

## EK-1 (Devam) TM saçılım için RKA değerleri

Çizelge 1.1.(Devam) TM saçılım için RKA değerleri

Çap		l $\lambda$	
Geliş Açısı	M	TM Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon
0°	4	25.7295	25.7295
	8	11.7677	-2.1941
	16	11.0629	14.5418
	32	10.6735	9.6479
	64	10.5625	10.6023
5°	4	24.8718	24.8718
	8	11.3450	-2.1818
	16	10.6537	14.0105
	32	10.2836	9.3095
	64	10.1787	10.2160
10°	4	22.4156	22.4156
	8	10.1572	-2.1011
	16	9.5107	12.5192
	32	9.1932	8.3596
	64	9.1040	9.1357
15°	4	18.6972	18.6972
	8	8.4243	-1.8487
	16	7.8616	10.3482
	32	7.6173	6.9762
	64	7.5501	7.5743
20°	4	14.2302	14.2302
	8	6.4502	-1.3297
	16	6.0141	7.8804
	32	5.8464	5.4027
	64	5.8018	5.8194
25°	4	9.6317	9.6317
	8	4.5499	-0.5319
	16	4.2731	5.5056
	32	4.1696	3.8872
	64	4.1433	4.1570
30°	4	5.5216	5.5216
	8	2.9785	0.4353
	16	2.8689	3.5340
	32	2.8065	2.6255
	64	2.7912	2.8045
35°	4	2.4052	2.4052
	8	1.8841	1.3630
	16	1.9151	2.1406
	32	1.8677	1.7264
	64	1.8557	1.8712
40°	4	0.5653	0.5653
	8	1.2931	2.0210
	16	1.4060	1.3516
	32	1.3516	1.2048
	64	1.3369	1.3554
45°	4	0.0000	0.0000
	8	1.1281	2.2561
	16	1.2467	1.0684
	32	1.1723	1.0004
	64	1.1518	1.1722

Çap		l $\lambda$	
Geliş Açısı	M	TM Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon
50°	4	0.4364	0.4364
	8	1.2480	2.0596
	16	1.3006	1.1178
	32	1.2037	1.0114
	64	1.1772	1.1969
55°	4	1.4269	1.4269
	8	1.4964	1.5658
	16	1.4362	1.3129
	32	1.3224	1.1299
	64	1.2918	1.3079
60°	4	2.5009	2.5009
	8	1.7416	0.9822
	16	1.5586	1.5069
	32	1.4379	1.2676
	64	1.4061	1.4165
65°	4	3.3143	3.3143
	8	1.8999	0.4855
	16	1.6211	1.6280
	32	1.5037	1.3683
	64	1.4734	1.4777
70°	4	3.7415	3.7415
	8	1.9400	0.1385
	16	1.6192	1.6849
	32	1.5125	1.4068
	64	1.4854	1.4856
75°	4	3.8745	3.8745
	8	1.8724	-0.1297
	16	1.5743	1.7448
	32	1.4816	1.3812
	64	1.4582	1.4583
80°	4	3.9363	3.9363
	8	1.7324	-0.4716
	16	1.5161	1.8902
	32	1.4371	1.3042
	64	1.4170	1.4219
85°	4	4.1502	4.1502
	8	1.5644	-1.0213
	16	1.4690	2.1719
	32	1.4007	1.1967
	64	1.3831	1.3974
90°	4	4.6196	4.6196
	8	1.4117	-1.7961
	16	1.4460	2.5723
	32	1.3847	1.0851
	64	1.3687	1.3949

## EK-2 TE saçılım için RKA değerleri

Çizelge 2.1. TE saçılım için RKA değerleri

Yarıçap		0.1 $\lambda$		0.2 $\lambda$		0.3 $\lambda$	
Geliş Açısı	M	TE Saçılım		TE Saçılım		TE Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
0°	4	0.0532	0.0532	0.5319	0.5319	1.2267	1.2267
	8	0.0514	0.0495	0.4509	0.3700	0.7732	0.3197
	16	0.0513	0.0519	0.4496	0.4744	0.7662	0.9057
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4456	0.7662	0.7440
	64	0.0513	0.0514	0.4492	0.4494	0.7642	0.7654
5°	4	0.0531	0.0531	0.5272	0.5272	1.1981	1.1981
	8	0.0513	0.0496	0.4509	0.3747	0.7731	0.3481
	16	0.0513	0.0519	0.4960	0.4728	0.7662	0.8964
	32	0.0513	0.0513	0.4493	0.4458	0.7646	0.7452
	64	0.0513	0.0514	0.4492	0.4494	0.7642	0.7653
10°	4	0.0528	0.0528	0.5136	0.5136	1.1177	1.1770
	8	0.0514	0.0500	0.4509	0.3882	0.7728	0.4279
	16	0.0513	0.0518	0.4496	0.0468	0.7662	0.8701
	32	0.0513	0.0513	0.4493	0.4464	0.7646	0.7489
	64	0.0513	0.0514	0.4492	0.4493	0.7642	0.7651
15°	4	0.0523	0.0523	0.4932	0.4932	1.0002	1.0002
	8	0.0514	0.0504	0.4509	0.4086	0.7725	0.5448
	16	0.0513	0.0516	0.4496	0.4615	0.7662	0.8316
	32	0.0513	0.0513	0.4493	0.4474	0.7646	0.7543
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4493	0.7642	0.7647
20°	4	0.0517	0.0517	0.4687	0.4687	0.8654	0.8654
	8	0.0514	0.0510	0.4509	0.4331	0.7723	0.6792
	16	0.0513	0.0514	0.4496	0.4534	0.7662	0.7871
	32	0.0513	0.0513	0.4493	0.4486	0.7646	0.7605
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4492	0.7642	0.7643
25°	4	0.0511	0.5110	0.4434	0.4434	0.7335	0.7335
	8	0.0514	0.0516	0.4509	0.4584	0.7723	0.8111
	16	0.0513	0.0512	0.4496	0.4449	0.7662	0.7431
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4498	0.7646	0.7668
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4491	0.7642	0.7639
30°	4	0.0505	0.0505	0.4202	0.4202	0.6203	0.6203
	8	0.0514	0.0522	0.4509	0.4816	0.7725	0.9247
	16	0.0513	0.0511	0.4496	0.4372	0.7662	0.7050
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4509	0.7646	0.7724
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4491	0.7642	0.7635
35°	4	0.0501	0.0501	0.4018	0.4018	0.5358	0.5358
	8	0.0514	0.0527	0.4509	0.5000	0.7728	1.0098
	16	0.0513	0.0509	0.4496	0.4310	0.7662	0.6762
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4518	0.7646	0.7766
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4490	0.7642	0.7632
40°	4	0.0498	0.0498	0.3900	0.3900	0.4844	0.4844
	8	0.0514	0.0530	0.4509	0.5118	0.7731	1.0618
	16	0.0513	0.0508	0.4496	0.4271	0.7662	0.6585
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4523	0.7646	0.7792
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4490	0.7642	0.7630
45°	4	0.0496	0.0496	0.3860	0.3860	0.4773	0.4673
	8	0.0514	0.0531	0.4509	0.5159	0.7732	1.0791
	16	0.0513	0.0508	0.4496	0.4257	0.7662	0.6526
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4525	0.7646	0.7801
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4489	0.7642	0.7630

## EK-2 (Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Çizelge 2.1.(Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Yarıçap		0.1 $\lambda$		0.2 $\lambda$		0.3 $\lambda$	
Geliş Açısı	M	TE Saçılım		TE Saçılım		TE Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
50°	4	0.0498	0.0498	0.3900	0.3900	0.4844	0.4844
	8	0.0514	0.0530	0.4509	0.5118	0.7731	1.0618
	16	0.0513	0.0508	0.4496	0.4271	0.7662	0.6585
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4523	0.7646	0.7792
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4490	0.7642	0.7630
55°	4	0.0501	0.0501	0.4018	0.4018	0.5358	0.5358
	8	0.0514	0.0527	0.4509	0.5000	0.7728	1.0098
	16	0.0513	0.0509	0.4496	0.4310	0.7662	0.6762
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4518	0.7646	0.7766
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4490	0.7642	0.7632
60°	4	0.0505	0.0505	0.4202	0.4202	0.6203	0.6203
	8	0.0514	0.0522	0.4509	0.4816	0.7725	0.9247
	16	0.0513	0.0511	0.4496	0.4372	0.7662	0.7050
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4509	0.7646	0.7724
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4491	0.7642	0.7635
65°	4	0.0511	0.0511	0.4434	0.4434	0.7335	0.7335
	8	0.0514	0.0516	0.4509	0.4584	0.7723	0.8111
	16	0.0513	0.0512	0.4496	0.4449	0.7662	0.7431
	32	0.0513	0.0514	0.4493	0.4498	0.7646	0.7668
	64	0.0513	0.0513	0.4493	0.4491	0.7642	0.7639
70°	4	0.0517	0.0517	0.4687	0.4687	0.8654	0.8654
	8	0.0514	0.0510	0.4509	0.4331	0.7723	0.6792
	16	0.0513	0.0515	0.4496	0.4534	0.7662	0.7871
	32	0.0513	0.0513	0.4493	0.4486	0.7646	0.7605
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4492	0.7642	0.7643
75°	4	0.0523	0.0523	0.4932	0.4932	1.0002	1.0002
	8	0.0514	0.0504	0.4509	0.4086	0.7725	0.5448
	16	0.0513	0.0516	0.4496	0.4615	0.7662	0.8316
	32	0.0513	0.0513	0.4493	0.4474	0.7646	0.7543
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4493	0.7642	0.7647
80°	4	0.0528	0.0528	0.5136	0.5136	1.1177	1.1177
	8	0.0514	0.0500	0.4509	0.3882	0.7728	0.4279
	16	0.0513	0.0518	0.4496	0.4683	0.7662	0.7801
	32	0.0513	0.0513	0.4493	0.4464	0.7646	0.7489
	64	0.0513	0.0513	0.4492	0.4493	0.7642	0.7651
85°	4	0.0531	0.0531	0.5271	0.5271	1.1981	1.1981
	8	0.0514	0.0519	0.4509	0.3747	0.7731	0.3481
	16	0.0513	0.0519	0.4496	0.4728	0.7662	0.8964
	32	0.0513	0.0513	0.4493	0.4458	0.7646	0.7452
	64	0.0513	0.0514	0.4492	0.4494	0.7642	0.7653
90°	4	0.0532	0.0532	0.5319	0.5319	1.2267	1.2267
	8	0.0514	0.4950	0.4509	0.3700	0.7732	0.3197
	16	0.0513	0.0519	0.4496	0.4744	0.7662	0.9057
	32	0.0513	0.0513	0.4493	0.4456	0.7646	0.7439
	64	0.0513	0.0514	0.4492	0.4494	0.7642	0.7654

## EK-2 (Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Çizelge 2.1.(Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Yarıçap		0.4λ		0.5λ		0.6λ	
Geliş Açısı	M	TE Saçılım		TE Saçılım		TE Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
0°	4	1.6680	1.6680	1.7655	1.7655	1.1873	1.1873
	8	0.6214	-0.4251	0.4473	-0.8709	0.5280	-0.1312
	16	0.6128	0.9471	0.4498	0.8935	0.5585	0.8290
	32	0.6115	0.5644	0.4527	0.3942	0.5612	0.5164
	64	0.6112	0.6140	0.4534	0.4572	0.5618	0.5660
5°	4	1.5909	1.5909	1.6438	1.6238	1.0930	1.0930
	8	0.6206	-0.3497	0.4453	-0.7533	0.5322	-0.0286
	16	0.6128	0.9231	0.4498	0.8570	0.5585	0.7892
	32	0.6115	0.5676	0.4527	0.3987	0.5612	0.5237
	64	0.6112	0.6139	0.4534	0.4570	0.5618	0.5653
10°	4	1.3803	1.3803	1.3250	1.3250	0.8613	0.8613
	8	0.6185	-0.1433	0.4403	-0.4445	0.5440	0.2266
	16	0.6128	0.8572	0.4498	0.7607	0.5585	0.6885
	32	0.6115	0.5762	0.4527	0.4105	0.5612	0.5424
	64	0.6112	0.6134	2.4534	0.4565	0.5618	0.5635
15°	4	1.0903	1.0903	0.9291	0.9291	0.6279	0.6279
	8	0.6161	0.1418	0.4347	-0.5970	0.5592	0.4904
	16	0.6128	0.7653	0.4498	0.6399	0.5585	0.5803
	32	0.6115	0.5884	0.4527	0.4257	0.5612	0.5638
	64	0.6112	0.6127	0.4534	0.4557	0.5618	0.5613
20°	4	0.7891	0.7891	0.6013	0.6013	0.5618	0.5618
	8	0.6145	0.4398	0.4311	0.2610	0.5701	0.5785
	16	0.6128	0.6681	0.4498	0.5377	0.5585	0.5363
	32	0.6115	0.6017	0.4527	0.4389	0.5612	0.5743
	64	0.6112	0.6119	0.4534	0.4550	0.5618	0.5601
25°	4	0.5356	0.5356	0.4504	0.4504	0.7875	0.7875
	8	0.6145	0.5836	0.4311	0.4119	0.5701	0.3528
	16	0.6128	0.5836	0.4498	0.4874	0.5585	0.6115
	32	0.6115	0.6137	0.4527	0.4461	0.5612	0.5635
	64	0.6112	0.6111	0.4534	0.4546	0.5618	0.5608
30°	4	0.3611	0.3611	0.5019	0.5019	1.3089	1.3089
	8	0.6161	0.8710	0.4347	0.3975	0.5592	-0.1905
	16	0.6128	0.5222	0.4498	0.4975	0.5585	0.8072
	32	0.6115	0.6231	0.4527	0.4460	0.5612	0.5314
	64	0.6112	0.6104	0.4534	0.4544	0.5618	0.5635
35°	4	0.2651	0.2651	0.6873	0.6873	1.9775	1.9775
	8	0.6185	0.9718	0.4403	0.1932	0.5440	-0.8895
	16	0.6128	0.4854	0.4498	0.5481	0.5585	1.0605
	32	0.6115	0.6293	0.4527	0.4409	0.5612	0.4894
	64	0.6112	0.6099	0.4537	0.4544	0.5618	0.5670
40°	4	0.2251	0.2251	0.8798	0.8798	2.5409	2.5409
	8	0.6206	1.0161	0.4453	0.0107	0.5322	-1.4764
	16	0.6128	0.4678	0.4498	0.6023	0.5585	1.2718
	32	0.6115	0.6326	0.4527	0.4351	0.5612	0.4547
	64	0.6112	0.6095	0.4534	0.4546	0.5618	0.5699
45°	4	0.2154	0.2154	0.9601	0.9601	2.7611	2.7611
	8	0.6214	1.0275	0.4473	-0.0655	0.5280	-1.7051
	16	0.6127	0.4629	0.4498	0.6250	0.5585	1.3536
	32	0.6115	0.6336	0.4527	0.4326	0.5612	0.4414
	64	0.6112	0.6094	0.4534	0.4546	0.5618	0.5710

## EK-2 (Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Çizelge 2.1.(Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Yarıçap		0.4λ		0.5λ		0.6λ	
Geliş Açısı	M	TE Saçılım		TE Saçılım		TE Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
50°	4	0.2251	0.2251	0.8798	0.8798	2.5409	2.5409
	8	0.6206	1.0161	0.4453	0.0107	0.5322	-1.4764
	16	0.6127	0.4678	0.4498	0.6023	0.5585	1.2718
	32	0.6115	0.6326	0.4527	0.4351	0.5612	0.4547
	64	0.6112	0.6095	0.4534	0.4546	0.5618	0.5699
55°	4	0.2651	0.2651	0.6873	0.6873	1.9775	1.9775
	8	0.6185	0.9719	0.4403	0.1932	0.5440	-0.8895
	16	0.6127	0.4854	0.4498	0.5481	0.5585	1.0605
	32	0.6115	0.6293	0.4527	0.4409	0.5612	0.4894
	64	0.6112	0.6098	0.4534	0.4544	0.5618	0.5670
60°	4	0.3611	0.3611	0.5019	0.5091	1.3089	1.3089
	8	0.6161	0.8710	0.4347	0.3675	0.5592	-0.1905
	16	0.6127	0.5222	0.4498	0.4975	0.5585	0.8073
	32	0.6115	0.6231	0.4527	0.4460	0.5612	0.5313
	64	0.6112	0.6104	0.4534	0.4544	0.5618	0.5635
65°	4	0.5356	0.5356	0.4504	0.4504	0.7875	0.7875
	8	0.6145	0.6934	0.4312	0.4119	0.5702	0.3528
	16	0.6127	0.5835	0.4498	0.4874	0.5585	0.6115
	32	0.6115	0.6138	0.4527	0.4461	0.5612	0.5635
	64	0.6112	0.6111	0.4534	0.4546	0.5618	0.5608
70°	4	0.7891	0.7891	0.6013	0.6013	0.5618	0.5618
	8	0.6145	0.4399	0.4312	0.2610	0.5702	0.5785
	16	0.6127	0.6681	0.4498	0.5377	0.5585	0.5363
	32	0.6115	0.6017	0.4527	0.4389	0.5612	0.5742
	64	0.6112	0.6119	0.4534	0.4550	0.5618	0.5601
75°	4	1.0903	1.0903	0.9291	0.9291	0.6280	0.6280
	8	0.6161	0.1419	0.4347	-0.0597	0.5592	0.4904
	16	0.6127	0.7653	0.4498	0.6399	0.5585	0.5803
	32	0.6115	0.5884	0.4527	0.4257	0.5612	0.5638
	64	0.6112	0.6127	0.4534	0.4558	0.5618	0.5613
80°	4	1.3803	1.3803	1.3250	1.3250	0.8613	0.8613
	8	0.6185	-0.1433	0.4403	-0.4445	0.5440	0.2266
	16	0.6127	0.8571	0.4498	0.7607	0.5585	0.6885
	32	0.6115	0.5762	0.4527	0.4105	0.5612	0.5425
	64	0.6112	0.6134	0.4534	0.4565	0.5618	0.5635
85°	4	1.5909	1.5909	1.6438	1.6438	1.0930	1.0930
	8	0.6206	-0.3497	0.4453	-0.7533	0.5322	-0.0286
	16	0.6127	0.9231	0.4498	0.8570	0.5585	0.7892
	32	0.6115	0.5676	0.4527	0.3987	0.5612	0.5236
	64	0.6112	0.6139	0.4534	0.4570	0.5618	0.5654
90°	4	1.6679	1.6679	1.7655	1.7655	1.1873	1.1873
	8	0.6214	-0.4251	0.4473	-0.8709	0.5280	-0.1313
	16	0.6127	0.9471	0.4498	0.8935	0.5585	0.8290
	32	0.6115	0.5645	0.4527	0.3942	0.5612	0.5163
	64	0.6112	0.6140	0.4534	0.4572	0.5618	0.5661

## EK-2 (Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Çizelge 2.1.(Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Yarıçap		0.7λ		0.8λ		0.9λ	
Geliş Açısı	M	TE Saçılım		TE Saçılım		TE Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
0°	4	0.0151	0.0151	3.2138	3.2138	5.6180	5.6180
	8	0.2565	0.4979	1.0446	-1.1245	0.9210	-3.7760
	16	0.3703	0.4794	1.5662	3.1586	1.6052	4.3111
	32	0.3635	0.2909	1.5613	1.1250	1.6183	0.9979
	64	0.3619	0.3732	1.5602	1.6164	1.6216	1.6966
5°	4	0.0142	0.0142	2.9862	2.9862	5.0669	5.0669
	8	0.2864	0.5586	1.1576	-0.6710	1.0151	-3.0366
	16	0.3703	0.4193	1.5662	2.8569	1.6052	3.9393
	32	0.3635	0.3108	1.5613	1.2111	1.6183	1.0868
	64	0.3619	0.3703	1.5602	1.6049	1.6216	1.6859
10°	4	0.0260	0.0260	2.4411	2.4411	3.7434	3.7434
	8	0.3703	0.7147	1.4859	0.5308	1.4067	-0.9300
	16	0.3703	0.2554	1.5663	2.0185	1.6053	2.7151
	32	0.3635	0.3662	1.5613	1.4560	1.6183	1.4107
	64	0.3619	0.3624	1.5602	1.5720	1.6216	1.6445
15°	4	0.9500	0.0950	1.8720	1.8720	2.3418	2.3418
	8	0.4801	0.8652	1.9331	1.9943	2.1191	1.8963
	16	0.3703	0.5880	1.5663	0.9344	1.6052	0.8231
	32	0.3635	0.4361	1.5613	1.7812	1.6183	1.9525
	64	0.3619	0.3521	1.5602	1.5276	1.6216	1.5722
20°	4	0.2923	0.2923	1.5124	1.5124	1.3719	1.3719
	8	0.5600	0.8277	2.2674	3.0223	2.7374	4.1028
	16	0.3703	-0.0352	1.5663	0.1461	1.6051	-0.7371
	32	0.3635	0.4800	1.5613	2.0211	1.6183	2.4110
	64	0.3619	0.3451	1.5602	1.4946	1.6216	1.5102
25°	4	0.6930	0.6930	1.4522	1.4522	0.9335	0.9335
	8	0.5600	0.4270	2.2674	3.0826	2.7373	4.5412
	16	0.3703	0.0983	1.5663	0.1260	1.6051	-0.8832
	32	0.3635	0.4609	1.5613	2.0240	1.6182	2.4310
	64	0.3619	0.3464	1.5602	1.4944	1.6216	1.5088
30°	4	1.3178	1.3178	1.6850	1.6850	0.9016	0.9016
	8	0.4801	-0.3576	1.9332	2.1813	2.1190	3.3363
	16	0.3703	0.4664	1.5663	0.8721	1.6051	0.3429
	32	0.3635	0.3779	1.5613	1.7901	1.6182	2.0212
	64	0.3619	0.3560	1.5602	1.5270	1.6261	1.5676
35°	4	2.0614	2.0614	2.1249	2.1249	1.1277	1.1277
	8	0.3703	-1.3208	1.4860	0.8471	1.4066	1.6855
	16	0.3703	0.9338	1.5663	1.9131	1.6051	1.8430
	32	0.3635	0.2693	1.5613	1.4710	1.6182	1.5355
	64	0.3619	0.3688	1.5602	1.5710	1.6216	1.6362
40°	4	2.6860	2.6860	2.5687	2.5687	1.4262	1.4262
	8	0.2864	-2.1132	1.1576	-0.2534	1.0151	0.6040
	16	0.3703	1.3099	1.5663	2.7177	1.6051	2.7253
	32	0.3635	0.1836	1.5613	1.2310	1.6182	1.2604
	64	0.3619	0.3788	1.5602	1.6037	1.6216	1.6744
45°	4	2.9321	2.9321	2.7578	2.7578	1.5648	1.5648
	8	0.2565	-2.4191	1.0447	-0.6684	0.9211	0.2774
	16	0.3703	1.4157	1.5662	3.0066	1.6050	2.9595
	32	0.3635	0.1520	1.5613	1.1467	1.6182	1.1912
	64	0.3619	0.3824	1.5602	1.6150	1.6216	1.6838

## EK-2 (Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Çizelge 2.1.(Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Yarıçap		0.7λ		0.8λ		0.9λ	
Geliş Açısı	M	TE Saçılım		TE Saçılım		TE Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon	RKA	Ekstrapolasyon
50°	4	2.6860	2.6860	2.5687	2.5687	1.4262	1.4262
	8	0.2864	-2.1132	1.1576	-0.2534	1.0153	0.6044
	16	0.3703	1.3099	1.5663	2.7177	1.6051	2.7251
	32	0.3635	0.1836	1.5613	1.2310	1.6182	1.2604
	64	0.3619	0.3788	1.5602	1.6037	1.6216	1.6744
55°	4	2.0614	2.0614	2.1249	2.1249	1.1277	1.1277
	8	0.3703	-1.3207	1.4860	0.8471	1.4069	1.6862
	16	0.3703	0.9338	1.5663	1.9130	1.6052	1.8426
	32	0.3635	0.2693	1.5613	1.4710	1.6182	1.5354
	64	0.3619	0.3688	1.5602	1.5710	1.6216	1.6362
60°	4	1.3178	1.3178	1.6850	1.6850	0.9016	0.9016
	8	0.4801	-0.3576	1.9332	2.1813	2.1194	3.3372
	16	0.3703	0.4664	1.5663	0.8720	1.6052	0.3424
	32	0.3635	0.3779	1.5613	1.7901	1.6182	2.0212
	64	0.3619	0.3560	1.5602	1.5270	1.6216	1.5676
65°	4	0.6930	0.6930	1.4522	1.4522	0.9335	0.9335
	8	0.5600	0.4270	2.2674	3.0826	2.7377	4.5419
	16	0.3703	0.9830	1.5662	0.1259	1.6052	-0.8837
	32	0.3635	0.4609	1.5613	2.0240	1.6183	2.4320
	64	0.3619	0.3464	1.5602	1.4944	1.6216	1.5088
70°	4	0.2923	0.2923	1.5124	1.5124	1.3719	1.3719
	8	0.5600	0.8277	2.2674	3.0224	2.7375	4.1031
	16	0.3703	-0.0352	1.5662	0.1460	1.6052	-0.7373
	32	0.3635	0.4800	1.5613	2.0211	1.6183	2.4110
	64	0.3619	0.3451	1.5602	1.4946	1.6216	1.5101
75°	4	0.0950	0.9500	1.8719	1.8719	2.3418	2.3418
	8	0.4801	0.8652	1.9331	1.9944	2.1191	1.8963
	16	0.3703	0.0588	1.5662	0.9344	1.6052	0.8230
	32	0.3635	0.4361	1.5613	1.7812	1.6183	1.9525
	64	0.3619	0.3521	1.5602	1.5276	1.6216	1.5721
80°	4	0.0260	0.0260	2.4410	2.4410	3.7434	3.7434
	8	0.3703	0.7147	1.4859	0.5309	1.4060	-0.9302
	16	0.3703	0.2554	1.5663	2.0185	1.6052	2.7151
	32	0.3635	0.3662	1.5613	1.4559	1.6183	1.4109
	64	0.3619	0.3623	1.5602	1.5720	1.6216	1.6444
85°	4	0.0142	0.0142	2.9860	2.9860	5.0669	5.0669
	8	0.2864	0.5587	1.1576	-0.6709	1.0151	-3.0367
	16	0.3703	0.4193	1.5662	2.8568	1.6051	3.9391
	32	0.3635	0.3108	1.5613	1.2111	1.6183	1.0870
	64	0.3619	0.3703	1.5602	1.6050	1.6216	1.6859
90°	4	0.0151	0.0151	3.2136	3.2136	5.6180	5.6180
	8	0.2565	0.4979	1.0446	-1.1244	0.9210	-3.7760
	16	0.3703	0.4793	1.5662	3.1586	1.6051	4.3108
	32	0.3635	0.2909	1.5613	1.1250	1.6183	0.9981
	64	0.3619	0.3731	1.5602	1.6165	1.6216	1.6966



## EK-2 (Devam) TE saçılım için RKA değerleri

## Çizelge 2.1.(Devam) TE saçılım için RKA değerleri

Yarıçap		λ	
Geliş Açısı	M	TE Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon
0°	4	9.9295	9.9295
	8	1.4618	-7.0058
	16	1.3704	4.0406
	32	1.3803	1.0538
	64	1.3825	1.3981
5°	4	8.5283	8.5283
	8	1.2790	-5.9703
	16	1.3705	3.9395
	32	1.3803	0.9984
	64	1.3825	1.4112
10°	4	5.2898	5.2898
	8	1.2093	-2.8711
	16	1.3706	2.9996
	32	1.3803	1.1058
	64	1.3825	1.4076
15°	4	2.1921	2.1921
	8	1.8158	1.4394
	16	1.3706	0.7541
	32	1.3803	1.6577
	64	1.3825	1.3400
20°	4	0.4978	0.4978
	8	2.6052	4.7127
	16	1.3704	-1.3900
	32	1.3803	2.2651
	64	1.3825	1.2594
25°	4	0.0478	0.0478
	8	2.6052	5.1627
	16	1.3704	-1.5400
	32	1.3803	2.2865
	64	1.3825	1.2580
30°	4	0.0420	0.0420
	8	1.8158	3.5896
	16	1.3706	0.0374
	32	1.3802	1.7600
	64	1.3825	1.3333
35°	4	0.0294	0.0294
	8	1.2093	2.3893
	16	1.3707	1.2462
	32	1.3802	1.3562
	64	1.3825	1.3911
40°	4	0.0034	0.0034
	8	1.2790	2.5546
	16	1.3705	1.0979
	32	1.3802	1.4042
	64	1.3825	1.3842
45°	4	0.0000	0.0000
	8	1.4619	2.9237
	16	1.3704	0.7308
	32	1.3802	1.5265
	64	1.3825	1.3667

Yarıçap		λ	
Geliş Açısı	M	TE Saçılım	
		RKA	Ekstrapolasyon
50°	4	0.0034	0.0034
	8	1.2790	2.5547
	16	1.3705	1.0978
	32	1.3802	1.4042
	64	1.3825	1.3842
55°	4	0.0294	0.0294
	8	1.2094	2.3895
	16	1.3707	1.2461
	32	1.3803	1.3562
	64	1.3825	1.3910
60°	4	0.0419	0.0419
	8	1.8159	3.5898
	16	1.3706	0.0373
	32	1.3803	1.7601
	64	1.3825	1.3332
65°	4	0.0478	0.0478
	8	2.6054	5.1629
	16	1.3705	-1.5402
	32	1.3803	2.2865
	64	1.3825	1.2579
70°	4	0.4978	0.4978
	8	2.6053	4.7129
	16	1.3705	-1.3901
	32	1.3803	2.2651
	64	1.3825	1.2594
75°	4	2.1922	2.1922
	8	1.8158	1.4395
	16	1.3706	0.7541
	32	1.3803	1.6577
	64	1.3825	1.3401
80°	4	5.2899	5.2899
	8	1.2094	-2.8712
	16	1.3707	2.9997
	32	1.3803	1.1057
	64	1.3825	1.4077
85°	4	8.5284	8.5284
	8	1.2790	-5.9704
	16	1.3705	3.9397
	32	1.3803	0.9982
	64	1.3825	1.4113
90°	4	9.9295	9.9295
	8	1.4618	-7.0059
	16	1.3704	4.0407
	32	1.3803	1.0537
	64	1.3825	1.3983

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MOHAMMED, Turkam  
Uyruğu : IRAK  
Doğum tarihi ve yeri : 29.09.1979 Kerkük  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 537 342 91 72  
e-mail : [turkambeyolu@yahoo.com](mailto:turkambeyolu@yahoo.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kerkük Teknoloji Fakültesi/ Elektronik mühendisliği Bölümü	2004
Lise	Kerkük Lisesi	2000

### Yabancı Dil

İngilizce, Arapça