

**TÜREVSEL EVRİM ALGORİTMASI KULLANARAK  
C ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENİN  
REZONANS FREKANSI DENKLEMİNİN ELDE  
EDİLMESİ**

**SEDA ERMİŞ**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERSİN  
NİSAN- 2009**

**TÜREVSEL EVRİM ALGORİTMASI KULLANARAK C  
ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENİN REZONANS  
FREKANSI DENKLEMİNİN ELDE EDİLMESİ**

**SEDA ERMİŞ**

**Mersin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ali AKDAĞLI**

**MERSİN  
Nisan - 2009**

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.

Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ali AKDAĞLI

Jüri Üyesi  
Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR

Jüri Üyesi  
Doç. Dr. Turgut İKİZ

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...../...../.....tarih ve ...../..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mahir TURHAN  
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## ÖZ

Son yıllarda gelişen teknolojinin paralelinde; yüksek performans gerektiren uçaklar, radar sistemleri, kablosuz iletişim, uzay araçları, uydu ve füze uygulamaları gibi pek çok alanda; Mikroşerit Antenler (MA) mikrodalga antenleri içerisinde kullanım alanı oldukça yaygınlaşan bir anten çeşidi haline gelmiştir. Dikdörtgensel, Dairesel ve Üçgen MA gibi geleneksel MA'ların çeşitli şekillerde modifiye edilmeleri ile Kompakt Mikroşerit Antenler (KMA) meydana gelmiştir. Bu KMA çeşitlerinden biri de Dikdörtgen Mikroşerit Antenin (DMA) modifiye edilmesiyle oluşturulmuş olan C Şeklindeki KMA'dır (CKMA).

KMA'larda rezonans frekansının belirlenmesi oldukça önemli ve analitik çözümü oldukça zor bir problemidir. 3 boyutlu elektromanyetik benzetim programları KMA'ların rezonans frekanslarını yaklaşık olarak tahmin etmemize yardımcı olmaktadır. Benzetim sonuçları ile elde edilen rezonans frekans değerlerine uygun yeni formüllerin elde edilmesi ise bir optimizasyon problemidir.

Bu çalışmada tasarlanan anten geometrisi için rezonans frekansı farklı yama ve yarık boyutları ile dielektrik sabitleri kullanılarak XFDTD, 3-Boyutlu Benzetim Programı yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan rezonans frekansı verilerini elde etmek için CKMA'nın dış ve iç boyutlarına bağlı yeni denklemler yapay zeka optimizasyon algoritmalarından biri olan Türevsel Evrim Algoritması (TEA) kullanılarak bulunmuştur. Benzetim programları ile hesaplanan sonuçlara daha yakın sonuçlar elde etmek için yeni ve basit bir denklem bulunmuş, benzetim sonuçları ile denklem sonuçları arasındaki toplam hatanın asgariye inmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroşerit Antenler, Kompakt Mikroşerit Antenler, C Şeklinde Kompakt Mikroşerit Anten, XFDTD, Türevsel Evrim Algoritması

## ABSTRACT

In recent years, in parallel with the development in technology, Microstrip Antennas (MSA) have been used in many application areas such as high performance aircrafts, radar systems, wireless communication equipments, space vehicles, satellite and missile applications. Compact Microstrip Antennas has evolved from various shaped traditional Microstrip Antennas, such as Rectangular, Circular and Triangular. One of the variations of the Compact Microstrip Antennas is C-Shaped Compact Microstrip Antenna that is formed by modified Rectangular Microstrip Antennas.

Determination of resonance frequency of Compact Microstrip Antennas is very important and its analytical solution is a difficult problem. 3-dimensional electromagnetic simulation programs help us to estimate resonance frequencies of Compact Microstrip Antennas. Obtaining of new formulas which approximate to resonance frequency values are calculated by simulation programs is an optimization problem.

In this thesis, resonance frequency of C-Shaped Compact Microstrip Antenna is calculated with the use of different patches and slot dimensions and dielectric constants by the 3-dimensional simulation program XFDTD. To obtain calculated resonance frequency values, the new equations depending on slot and patch dimensions of C-Shaped Compact Microstrip Antenna are found with the use of the artificial intelligence optimization algorithm, Differential Evolution Algorithm. To obtain better matching values calculated results with the simulation program results, a new and simple equation have been determined, the results of this equation approximated simulations results with minimum the error values.

**Key Words:** Microstrip Antennas, Compact Microstrip Antennas, C-Shaped Compact Microstrip Antennas, XFDTD, Differential Evolution Algorithm

## TEŐEKKÖRLER

Yüksek lisans eğitimin süresince beraber çalıştığım ve deneyimleri ile her türlü desteğini eksik etmeyerek çalışmalarımın tamamlanmasını sağlayan değerli hocam Sayın Doç.Dr. Ali AKDAĞLI'ya bütün minnettarlığım ile teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca beni destekleyen aileme gösterdikleri sabırdan ve ilgiden dolayı teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZ</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERYAL VE METOT</b>	<b>8</b>
3.1. MİKROŞERİT ANTENLER (MA)	8
3.1.1. MA'ların Avantaj ve Dezavantajları	8
3.1.2. Dikdörtgen Mikroşerit Antenler (DMA)	9
3.1.3. DMA'da Işıma	10
3.1.4. MA'larda Besleme Yöntemleri	11
3.1.5. MA'ların Analiz Yöntemleri	12
3.1.5.1. Transmisyon Hattı Modeli	12
3.2. KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLER (KMA)	15
3.2.1. C Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten (CKMA)	15
3.2.2. H Şekilli Kompakt Mikroşerit Antenler (HKMA)	17
3.2.3. Dikdörtgen Halka Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten (DHKMA)	18
3.3. FDTD METODU	20
3.4. TÜREVSEL EVRİM ALGORİTMASI (TEA)	26
3.4.1. Optimizasyon Nedir?	27
3.4.2. Deterministik ve Sezgisel Yöntemler	28
3.4.3. TEA'nın Özellikleri	29
3.4.3. TEA'da Kullanılan Parametreler	29
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR</b>	<b>35</b>
4.1. XFDTD BENZETİM PROGRAMI	35
4.2. CKMA'NIN BENZETİMİ	39
4.2.1 Geometrisinin Oluşturulması	39
4.2.1 IZGARALAMA İŞLEMİ VE ÇALIŞMA PARAMETRELERİ	42

4.2.3 Sonuç Grafiklerinin İncelenmesi	46
4.3 YENİ DENKLEMİN ELDE EDİLMESİ	48
4.4. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	57
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	65
<b>KAYNAKLAR</b>	67
<b>EKLER</b>	74
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	103



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>ÇİZELGE</b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1 CKMA'nın performansına boşluk boyutlarının etkisi	17
Çizelge 3.2. HKMA'nın performansına boşluk boyutların etkisi	18
Çizelge 3.3. DHKMA'nın performansına boşluk boyutlarının etkisi	19
Çizelge 3.4. Farklı KMA'ların yama iletkenlerinin boşluklu ve boşluksuz olması durumlarında anten performanslarının karşılaştırılması	20
Çizelge 4.1. Birinci grup antenler için elektriksel ve fiziksel parametreler ile benzetimler sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri	49
Çizelge 4.2. İkinci grup antenler için elektriksel ve fiziksel parametreler ile benzetimler sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri	51
Çizelge 4.3. Üçüncü grup antenler için elektriksel ve fiziksel parametreler ile benzetimler sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri	53
Çizelge 4.4. CKMA için benzetim sonuçlarıyla oluşturulan yeni denklemlerle yapılan hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması	57
Çizelge 4.5. Deneysel veriler ile elde edilen yeni denklem sonuçlarının karşılaştırılması	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
Şekil 3. 1. Koaksiyel kablo ile beslenmiş DMA	9
Şekil 3. 2. DMA'da saçılma	10
Şekil 3. 3. DMA'da ışınma alanlarının gösterilmesi	11
Şekil 3. 4. MA'da etkin dielektrik sabitinin gösterilmesi	13
Şekil 3. 5. CKMA geometrisi	16
Şekil 3. 6. HKMA geometrisi	17
Şekil 3. 7. DHKMA geometrisi	19
Şekil 3. 8. Standart Yee hücresi üzerinde alanların dağılımı	21
Şekil 3. 9. Birim Yee hücresi üzerinde 3 elektrik ve 3 manyetik alan bileşeninin gösterilmesi	23
Şekil 3. 10. Yapay zeka optimizasyon teknikleri	27
Şekil 4. 1. XFDTD programında oluşturulmuş örnek bir geometri	75
Şekil 4. 2. Örnek geometrinin hücrelere ayrılmış hali	76
Şekil 4. 3. Benzetimin çalışma parametrelerinin belirlenmesi	77
Şekil 4. 4. Benzetimde elde edilmek istenen sonuçların belirlendiği pencere	78
Şekil 4. 5. Benzetimi yapılacak olan CKMA geometrisi	39
Şekil 4. 6. CKMA antenin iletken kısmının oluşturulması	79
Şekil 4. 7. CKMA antenin iletken kısmının oluşturulması için DMA oluşturulması	80
Şekil 4. 8. DMA'dan CKMA elde edilmesi için dikdörtgen prizması oluşturulması	80
Şekil 4. 9. DMA'nın iletken kısmından dikdörtgen prizma çıkarma işlemi için çıkarma operatörünün kullanılması	81
Şekil 4. 10. DMA'nın iletkenin kısmından dikdörtgen prizmanın çıkarılması	82
Şekil 4. 11. Elde edilen CKMA'nın iletken yama kısmı	83
Şekil 4. 12. CKMA'ya altta eklemek için dikdörtgenler prizmasının fiziksel parametrelerinin belirlenmesi	83

Şekil 4.13. CKMA'ya alttaş eklemek için oluşturulan dikdörtgen prizmanın elektriksel parametrelerinin belirlenmesi	84
Şekil 4.14. Elde edilen CKMA'nın fiziksel parametrelerinin gösterilmesi	85
Şekil 4.15. CKMA'nın geometrisinin ızgaralama işlemi ile hücrelere ayrılması	85
Şekil 4.16. CKMA'da dış koşulların belirlenmesiyle toprak zeminin oluşturulması	86
Şekil 4.17. CKMA'nın geometrisinin hücrelere ayrılmış hali	86
Şekil 4.18. CKMA'da beslemenin oluşturulması	87
Şekil 4.19. CKMA'da oluşturulan beslemenin xz düzleminde görüntüsü	87
Şekil 4.20. CKMA geometrisi üzerinde besleme portunun belirlenmesi	88
Şekil 4.21. CKMA'nın besleme parametrelerinin belirlenmesi	88
Şekil 4.22. CKMA'nın besleme voltajının belirlenmesi	89
Şekil 4.23. CKMA'nın hücrelere ayrılmış son hali	89
Şekil 4.24. CKMA benzetiminde istenen sonuçların belirlenmesi	90
Şekil 4.25. CKMA benzetim geometrisi ve projesinin kaydedilmesi	90
Şekil 4.26. CKMA benzetiminde hesaplamasının başlatılması	91
Şekil 4.27. CKMA benzetiminde alan kontrol panelinin çalıştırılması	91
Şekil 4.28. CKMA iletken kısmında yayılan alanların 2 boyutlu xy düzleminde görüntüsü	92
Şekil 4.29. CKMA iletken kısmında yayılan alanların 3 boyutlu görüntüsü	92
Şekil 4.30. $S_{11}$ & Frekans grafiğinin çizilmesi	93
Şekil 4.31. CKMA'nın rezonans frekansının belirlenmesi	93
Şekil 4.32. Simüle edilen CKMA geometrileri üzerinde elektriksel ve fiziksel parametrelerin gösterilmesi	94

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

MA	:Mikroşerit Anten
DMA	:Dikdörtgen Mikroşerit Anten
L	:Dikdörtgen Mikroşerit Antenin İletken Yama Uzunluğu
W	:Dikdörtgen Mikroşerit Antenin İletken Yama Genişliği
h	:Dikdörtgen Mikroşerit Antenin Alttaş Kalınlığı
$\lambda$	:Dalga boyu
$f$	:Frekans
$\lambda_d$	:Alttaşında Yayılan Dalganın Dalga Boyu
$\Delta L$	:Antende Elektriksel Uzama
$\epsilon_r$	:Antenin Dielektrik Sabiti
$\mu$	:Manyetik Geçirgenlik
$\epsilon_{eff}$	:Etkin Dielektrik Sabiti
$L_{eff}$	:Etkin Uzunluk
$f_r$	:Rezonans Frekansı
BW	:Bant Genişliği
KMA	:Kompakt Mikroşerit Anten
CKMA	:C Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten
HKMA	:H Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten
DHKMA	:Dikdörtgen Halka Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten
$L_d$	:C Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten Dış Uzunluğu
$W_d$	:C Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten Dış Genişliği
$L_i$	:C Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten İç Uzunluğu
$W_i$	:C Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten İç Genişliği
$x$	:C Şekilli Kompakt Mikroşerit Antenin Besleme Konumunun Merkeze Uzaklığı
$D$	:Anten Direktifliği
$\eta$	:Anten Verimliliği
$\tan \delta$	:Antenin Kayıp Tanjantı
E	:Elektrik alan şiddeti

$H$	:Manyetik alan şiddeti
TEA	:Türevsel Evrim Algoritması
$NP$	:Popülasyon Büyüklüğü (Kromozom Sayısı)
$D$	:Gen Sayısı
$CR$	:Çaprazlama Oranı
$G$	:Nesil
$F$	:Ölçekleme Faktörü
$x$	:Gen
$n$	:Ara Kromozom
$u_{j,i,G+1}$	:Bir Sonraki Nesil İçin Üretilen Kromozom
FDTD	:Zaman Domeninde Sonlu Farklar Metodu
$L_{max}$	:Maksimum Hücre Boyutudur

## 1. GİRİŞ

Hızla gelişen teknolojinin paralelinde, yüksek performans gerektiren araçlar, uçaklar, radar sistemleri, kablosuz iletişim, uzay araçları, uydu ve füze uygulamaları gibi pek çok alanda; düşük maliyet, kolay tesisat ve baskı devre teknolojisiyle üretim gibi avantajlarından dolayı Mikroşerit Antenler (MA), mikrodalga antenleri içerisinde oldukça popüler bir anten çeşidi haline gelmiştir [1-12]. Dikdörtgen, dairesel ve üçgen gibi geleneksel MA konfigürasyonları, UHF (ultra high frequency) bandında oldukça geniş bir kısımda kullanılmaktadır. Daha küçük MA'lar bu frekanslarda, çeşitli geometrik şekillerin değiştirilmesiyle veya birleştirilmesiyle tasarlanmışlar ve Kompakt Mikroşerit Antenler (KMA) olarak adlandırılmışlardır [13-43].

Genellikle, MA'ların farklı şekillerde birbirleriyle birleştirilmesi veya iletken kısımda boşluklar açılmasıyla KMA elde edilmektedir. KMA rezonans frekansının belirlenmesi problemi, doğrusal olmayan bir problemdir ve analitik olarak çözümü oldukça zordur. Literatürde, dikdörtgen, kare, çember ve üçgen gibi bilinen MA'ların rezonans frekansını hesaplayan çok sayıda çalışma mevcuttur, bununla beraber bu antenlerin farklı geometrilerde birleştirilmesiyle oluşan KMA için bu çalışmalar sınırlı sayılardadır [22,37-42,53].

Bir antenin verimli çalıştığı bant genişliğinin, dolayısıyla rezonans frekansının belirlenmesi önemlidir. MA, diğer antenlere göre oldukça dar bir bant genişliğinde çalıştığı için rezonans frekansının belirlenmesi daha fazla önem taşımaktadır. KMA'nın rezonans frekansı hesaplanması için elektromanyetik nümerik hesaplama yöntemleriyle çalışan ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları üreten benzetim programları kullanılmaktadır [44-57].

KMA'nın elektriksel (dielektrik sabiti) ve fiziksel (iletken kısım genişliği ve uzunluğu, alttaş yüksekliği, iletkende açılan boşluk genişliği ve uzunluğu) parametreleri kullanarak o antenin rezonans frekansını belirleme problemi yüksek derecede doğrusal olmayan (nonlinear) bir problemdir. Böyle bir problem tam

olarak çözülmese de anten parametrelerin rezonans frekansı üzerindeki göreceli etkisini gösteren uygun katsayıları belirleyerek en iyi yaklaşımla çözülebilir. Başka bir değişle, antenin rezonans frekansının doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlayacak denklemin elde edilmesi problemi, doğrusal olmayan bir optimizasyon problemidir. Optimizasyon algoritmaları, bir problemi en uygun biçimde çözmek için deterministik veya sezgisel yöntemleri kullanarak bir arama uzayında optimum değerlere ulaşmayı hedeflemektedirler. Türevsel Evrim Algoritması (TEA) [58-64] sezgisel yöntemleri uygulayan bir optimizasyon algoritmasıdır. Sezgisel yöntemlere dayanan TEA'nın popülasyon tabanlı olması arama uzayında aynı anda bir çok noktada arama yapabilmesi ve bunun sonucunda daha hızlı sonuç vermesi önemli avantajlarıdır.

Bu tez çalışmasında, dikdörtgen MA'nın (DMA) ışına yapmayan kenarlarında boşluk açılmasıyla farklı elektriksel ve fiziksel parametrelere sahip C şeklinde KMA (CKMA) için benzetim yapılmış ve bu anten için rezonans frekansı denklemi elde edilmiştir. CKMA'nın benzetiminde güçlü bir 3 boyutlu elektromanyetik benzetim programı olan XFtd kullanılmıştır. XFtd, giriş verileri olarak KMA'nın elektriksel ve fiziksel parametreleri verildiğinde, FDTD (Finite Difference Time Domain) yöntemiyle antenin rezonans frekansını belirleme özelliğine sahiptir. CKMA'ya ait rezonans frekansı denklemi elde edilirken, 0.332 GHz - 2.92 GHz aralığında (UHF bandı) çalışın 161 adet farklı elektriksel ve fiziksel parametrelere sahip antenler için benzetim yapılmıştır. Antenlerin, alttaş kalınlıkları 0.0016 m - 0.006 m, iletken kısım (yama) uzunlukları 0.03 m - 0.09 m ve genişlikleri 0.02 m - 0.06 m aralığında değişen ayrıca, pratikte kullanılan 2.33, 4.28 ve 9.8 dielektrik sabiti değerlerine sahip 3 farklı dielektrik alttaş için benzetimleri oluşturulmuştur.

Tez çalışmasında, öncelikle XFtd'yi test etmek için literatürde verilen farklı benzetim programlarının sonuçları [2,53] ile XFtd ile yapılan benzetimlerde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirlerine yakın oldukları gözlenmiştir. XFtd için uyum ve doğruluk testi yapıldıktan sonra antenlerin dielektrik sabiti gibi elektriksel parametrelerin ve antenin yama boyutları ile iletken kısımda açılan

boşlukların boyutları gibi fiziksel parametrelerin değişimi ile rezonans frekansında meydana gelen değişim incelenmiştir. Bu inceleme ışığında, antenin elektriksel ve fiziksel parametreleri ile bu parametrelerin rezonans frekansında etkisini gösteren uygun katsayılar kullanarak bir rezonans frekansı denklemi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu denklemin ürettiği rezonans frekansı ile XFDTD kullanarak elde edilen rezonans frekansı arasındaki farkın asgariye indirilmesi şeklinde bir optimizasyon problemi haline getirilmiş ve rezonans frekansı ifadesindeki katsayılar TEA ile belirlenmiştir. Böylece, UHF bandında çalışan CKMA tasarımı yapmak isteyen mikrodalga mühendisleri için literatürde verilen denklemlerden daha basit olan ve daha doğru sonuçlar veren rezonans frekansı denklemi elde edilmiştir [53].



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

MA'lar 1953 yılında bulunmuş ve 1970 yılında pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. MA'ların analizleri, fiziksel ve elektriksel parametrelerinin hesaplanması ve bazı dezavantajlarının ortadan kaldırılabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1-12].

En temel MA olan DMA'dan başlayarak bilinen daire veya üçgen geometrileri başta olmak üzere farklı şekillerde MA'lar incelenmiş çeşitli analitik ve sayısal modellemeler yapılarak elektriksel ve fiziksel parametrelerinin hesaplanması üzerine çalışılmıştır [1-12]. Carver ve Mink [4]; MA'larda (1981) kullanılan İletim Hattı (Transmission Line) ve Boşluk (Cavity) modellemelerinden bahsetmiş aynı zamanda; Moment Metodu (Methods of Moments) ve Sonlu Eleman Teknikleri (Finite-Element Techniques) gibi sayısal yöntemleri DMA'ya uygulamışlardır. Aynı zamanda, dikdörtgen ve dairesel MA'lar için matematiksel modellemeler sonucu elde ettikleri denklemleri sunmuşlar sonuçları karşılaştırmışlardır.

MA'ların analizlerinin yanında bazı dezavantajlarının ortadan kaldırılması içinde çalışmalar yapılmıştır. Sullivan ve arkadaşları [7], MA'da (1986) sınırlı bant genişliğinin bazı uygulamalar için artırılması üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucu önemli gelişmeler elde edilmiştir. Bu gelişmelerden biri, açıklık kuplajlı besleme tekniğinin MA'lara uygulanmasıdır. Bu teknikte farklı iki veya daha fazla dielektrik kullanılarak çok katlı alttaşlar elde etmişler ve sonuçta bu yöntemle MA'ların bant genişliğini %65 oranında arttırmayı başarmışlardır. Bunun yanında; Bhattacharyya ve arkadaşları [9], dikdörtgen, dairesel ve eliptik halka şeklindeki MA'larda İletim Hattı modelini kullanarak, radyasyon paterni, giriş impedansı, ortak ve öz empedansların hesaplanması üzerine çalışmışlar ve analizler sonucu yeni ifadeler elde etmişlerdir. Yau ve Shuley [12], nümerik (1998) bir metot olan Moment Metodunu açıklık kuplajlı beslenmiş MA'lara uygulamışlardır. Aynı zamanda Green Fonksiyonunu kullanarak elektrik alan ve yüzey akımı denklemlerini elde etmişlerdir.

Literatürde, 90'lı yılların sonunda pek çok farklı geometride ve boyut olarak MA'lara göre daha küçük olan KMA'lar üzerinde çalışılmıştır [13-43]. Bunlar MA'ya göre daha iyi ışınım yapan, daha küçük boyutlu fakat verimi daha düşük ve bant genişliği daha sınırlı olan antenlerdir. MA'da kullanılan hesaplama modelleri KMA'lara da uygulanmıştır. Bu alanda yapılan ilk çalışmalardan biri; Dey ve arkadaşları [13]; küçük boyutta (1995) DMA'lar kullanarak KMA oluşturulmuş ve MA ile yeni oluşturulan KMA karşılaştırılmıştır. Işımanın MA'ya göre boyutları daha küçük olan KMA'da daha fazla ve bu antenlerin özellikle mobil iletişim için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir. Wong ve Chen [17]; DMA'da yama iletkeninde boşluklar açarak ve yama iletken ile toprak düzlem arasına kısa devre olan bir iletken koyarak çift rezonans frekansına sahip KMA elde etmişlerdir. Satpathy ve arkadaşları [18], DMA'nın belirli oranlarda küçültülmesiyle elde edilen KMA'lar ile C Şekilli KMA'nın analiz ve deneysel sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

KMA'lar belli başlı bilinen geometrilere sahip olmadıkları için matematiksel olarak modellenmeleri MA'lara göre daha zordur. Bu yüzden yapılan çalışmalarda KMA'ların tasarımlarının yapılabilmesi için, deneysel olarak veya elektromanyetik benzetim programları kullanılarak elde edilmiş verilere ihtiyaç duyulmaktadır [19-22,26-28,37-43,53].

Benzetim programları çeşitli nümerik hesaplama teknikleri ile antenlerin rezonans frekansı, kazançları veya yayılım paternlerinin çizimi amacıyla kullanılabilir. XFDTD; FDTD yöntemiyle çalışan bir benzetim programıdır. Literatürdeki örnekleri incelendiğinde, FDTD'nin deneysel sonuçlara yakın veriler üreten güçlü bir nümerik metot olduğu gözlemlenebilir [58].

Bunun yanında; analizi oldukça karışık MA ve KMA'ların çeşitli parametrelerinin hesaplanması amacıyla; deneysel veya çeşitli benzetim programları ile elde edilen veriler kullanılarak yapay zeka algoritmaları sayesinde daha basit ve daha doğru sonuçlar veren denklemler elde etmek ve karmaşık hesaplamalardan kurtulmak mümkün olmuştur [44-57, 60-64].

Sağıroğlu ve Güney [44], EŐkenar gen Şeklindeki MA (1997)'da rezonans frekansı hesabını Yapay Sinir Ağları metodunu kullanarak yapmıŐlar, teorik sonuçları sađlamıŐlar ve deneysel sonuçlara oldukça yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Özer ve arkadaşları [48], DMA'nın rezonans frekansını (2000), elektriksel uzunluk ve kalınlığına bağlı olarak, yapay zeka algoritmalarından biri olan Tabu Araştırma Algoritmasını kullanarak elde etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar deneysel verilerle oldukça uyumludur. Paulson ve arkadaşları [26], Ok Şeklinde KMA'nın rezonans frekansının hesaplanmasına yönelik yeni ifadeler elde etmeye çalışmışlardır. Yeni anten geometrisi üzerinde yaptıkları deneyler ile elde ettikleri verileri kullanmıŐlar ve bunlara uygun denklemler üretmiŐlerdir. Böylece deneysel verileri elde etme imkanımız olmayan ortamlarda elde edilen yeni denklemler kullanılarak rezonans frekansı, geleneksel metotlara göre daha kolay hesaplanabilmiŐ ve daha doğru sonuçlar vermiştir. Kundukulam ve arkadaşları [28], çalıŐmalarında (2002) yeni bir KMA olan çift portlu, çift polarizeli yay Şekilli KMA'nın çalışma frekansını ve yayılım paternini incelemiŐlerdir. KMA geometrisinde iletken kısım; farklı radyasyon yapan ve merkezleri arasında belli bir mesafe bulunan iki çembersel yaydan oluşmuştur. Anten birbirine dik iki port sayesinde iki rezonans frekansıyla uyarılmıŐtır. Bu anten için deneysel ve benzetim sonuçları sunulmuŐtur ayrıca benzetim programları yardımıyla yayılım paterni çizilmiŐtir. Deshmukh ve Kumar, C, H, Dairesel Disk ve S Şekilli KMA' ları (2005) incelemiŐ aynı zamanda, bu antenlerin bant genişliği, ışıma paterni ve kazançlarını hesaplamıŐlardır [53].

Literatür alıŐmaları incelendiğinde özellikle son yıllarda deneysel olarak veya benzetimler yardımıyla elde edilen değerlere daha yakın yani daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla yapay zeka optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Bu noktada TEA'nın kullanımı son yıllarda oldukça yaygınlaŐmıŐtır. Literatürdeki rnekler incelendiğinde TEA kullanılarak elde edilen denklemlerdeki hatanın oldukça düşük olması ve üretilen denklemlerin basitliği bu algoritmayı daha da çekici kılmaktadır [54-57]. Akdağlı [55], DMA'nın (2007) rezonans frekansının hesaplanmasına yönelik çalışmasında, 46 farklı antenin rezonans frekansına ilişkin

deneysel verileri TEA kullanarak oluşturduğu denklemlerle %0.7'nin altında bir hatayla elde etmiştir.

Bu tez çalışmasında başlangıç aşamasında yapılan araştırmaların neticesinde, CKMA'nın rezonans frekansını daha doğru hesaplayabilmek için güçlü bir ticari yazılım olan XFDTD elektromanyetik dalga benzetim programı kullanılmıştır. Literatürde yapılmış çalışmalar incelenmiş [53-57] ve farklı benzetim programları kullanılarak elde edilen verilere yakın değerler XFDTD ile elde edilmiştir. Bu yazılım kullanılarak boyutları farklı ve daha fazla sayıda antenin benzetimi yapılmış, daha sonra elde edilen verilere TEA uygulanarak, literatürde yayınlanmış örneklere [53] kıyasla, daha basit ve benzetim sonuçlarına daha yakın, aynı zamanda daha genel bir denklemin elde edilmesi için çalışılmıştır.

### 3. METARYEL VE METOT

#### 3.1. MİKROŞERİT ANTENLER (MA)

Son yıllarda hızla gelişen teknolojinin paralelinde, küçük profil, düşük maliyet, hafiflik, baskı devre teknolojisiyle kolay üretim ve diğer mikrodalga devreleri ile tümleşik üretilebilme gibi bir çok avantajlara sahip olduklarından dolayı MA'lar, yüksek performans gerektiren araçlar, uçaklar, radar sistemleri, kablosuz iletişim, uzay araçları, uydu ve füze uygulamaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Çeşitli geometrik MA konfigürasyonları, UHF bandında geniş bir alanda kullanılmaktadır [1-12].

##### 3.1.1. MA'ların Avantajları ve Dezavantajları

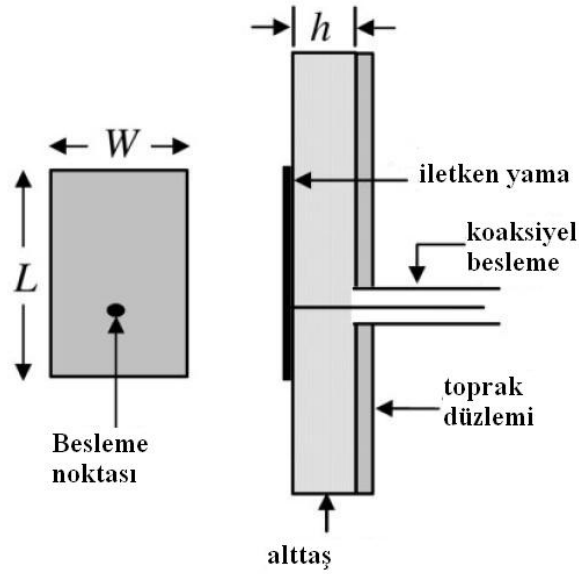
MA'ların; hafif olmaları, modern baskı devre teknolojisi kullanılarak basit ve ucuz üretilebilmeleri, besleme konumlarındaki ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışınım yapabilmeleri, ikili frekans antenlerinin kolaylıkla yapılabilir olmaları, boşluk desteği gerektirmemeleri, düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uygun olmaları, MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit Design) dizaynlarla uyumlu olmaları, osilatör, yükselteç, değişken zayıflatıcılar, anahtarlar, modülatörler, karıştırıcılar, faz değiştiricileri v.s. gibi katı hal araçlarının MA'ların alt taşlarına ilave edilmesi ile bileşik sistemler geliştirilebilmesi, besleyici hatları ve uyumlandırma devrelerinin antenlerle birlikte aynı zamanda üretilebilir biçimde olması, uygun modlar seçildiğinde; MA'ların rezonans frekansları, polarizasyonları ve ışınım diyagramlarının kolaylıkla değiştirilebilmesi, gibi birçok avantajları bulunmaktadır [1-3].

Bununla beraber, MA'ların; düşük verimlilik ve düşük güçte olmaları, yetersiz polarizasyon saflıklarının olması, yetersiz saçılma performanslarına sahip olmaları, istenmeyen besleme radyasyonlarının olması, oldukça dar frekans band genişliğine sahip olmaları gibi bazı dezavantajları [1-3] da mevcuttur.

### 3.1.2. Dikdörtgen Mikroşerit Antenler (DMA)

MA, diğer mikrodalga devreleri ile birlikte tümleşik olarak üretilebildiği için çeşitli geometrik konfigürasyonlarda tasarlanabilir. Bu yüzden, ışına yapan kısım dikdörtgen, şerit (dipol), dairesel, eliptik, üçgensel veya diğer konfigürasyonlar olabilmektedir. Bunlardan analizleri ve üretilmeleri kolay olan dikdörtgen, ince şerit (dipol) ve dairesel MA en popüler olanlarıdır.

Şekil 3.1.'de en yaygın MA çeşitlerinden biri olan DMA modeli gösterilmiştir. Basit bir geometriye sahip olması nedeniyle modellenmesi, analizi ve parametrelerinin hesaplanması nispeten daha kolaydır [6].



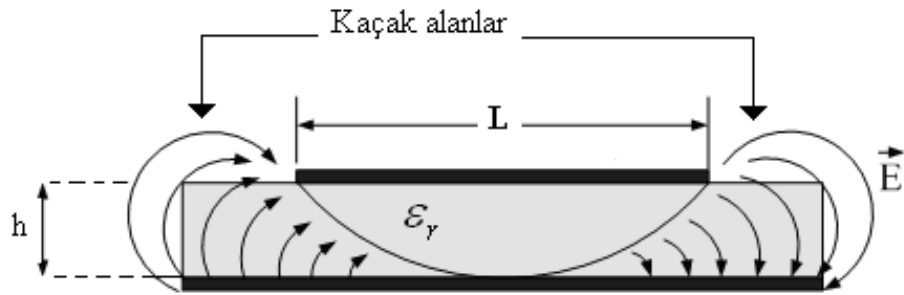
Şekil 3.1. Koaksiyel kablo ile beslenmiş DMA

DMA, uzunluğu  $L$  ve genişliği  $W$  olan bir iletken şerit ile bu şeridin altında kalınlığı  $h$ , dielektrik sabiti  $\epsilon_r$  olan bir dielektrik alıtış ve en alt kısımda da toprak iletken düzleminde oluşur. Sıklıkla iletken şerit kısma yama da denilmektedir. Tipik olarak DMA için elektriksel ve fiziksel parametreler,  $\lambda_d$  dielektrik alıtış

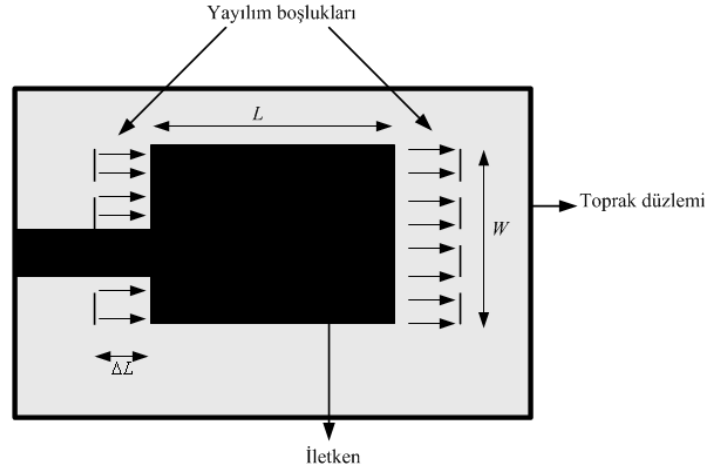
içinde yayılan dalganın dalga boyu olmak üzere;  $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ ,  $\lambda_d / 3 \leq L, W \leq \lambda_d / 2$  ve  $0.003\lambda_d \leq h \leq 0.005\lambda_d$  aralıklarında seçilmektedir [1-3].

### 3.1.3. DMA'da Işıma

Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi DMA'da ışıma, yama kısmının kenarlarında oluşur. Kenarlardaki bu alanlar toprak düzlemine göre dik ve teğet iki bileşene ayrılabilir. Yama iletkenin,  $\lambda$  boşlukta yayılan dalganın dalga boyu olmak üzere; tipik olarak  $\lambda/2$  uzunluğunda olması nedeniyle; dik bileşenler, iki kenarda saçılmayla oluşan dalgaların aynı fazda olmamaları sonucu uzak alanda birbirlerini yok ederler. Teğet bileşenler ise aynı fazdadırlar ve uzak alanda en yüksek ışıma alan değerini verecek biçimde toplanırlar. DMA'da ışıma, Şekil 3.2.'den de görüldüğü gibi elektrik alanın, yama iletkeninin  $W$  kenarı boyunca toprak düzleme doğru saçılma yapmasıyla meydana gelir. Bu saçılan elektrik alanlar kaçak alanlar (fringing fields) olarak da adlandırılır ve DMA'nın ışımasını yani elektrik alanın yayılmasını sağlarlar. Böylece, kaçak alanlardan dolayı, Şekil 3.3.'deki antenin üstten görüntüsü incelendiğinde, DMA,  $\lambda/2$  uzaklığında yerleştirilmiş, eş fazda uyarılmış ve toprak düzleminin üst kısmında ışıma yapan  $\Delta L$  uzunluğunda iki anten olarak düşünülebilir [1-3].



Şekil 3.2. DMA'da saçılma



Şekil 3.3. DMA’da ışıma alanlarının gösterilmesi

#### 3.1.4. MA’larda Besleme Yöntemleri

MA’lar için en yaygın besleme şekilleri koaksiyel kablo beslemesi veya mikroşerit hat beslemesidir. Bunun yanında yakınlık kuplajlı veya açıklık kuplajlı besleme şekilleri de mevcuttur [1-3].

Şekil 3.1.’de DMA’nın koaksiyel kablo ile beslenmesi ve mikroşerit antenin üstten ve yandan görünüşü verilmiştir. Koaksiyel hat beslemesinde koaksiyel kablonun iç iletkeni antenin yama kısmına, dış iletken ise toprak iletken düzlemine tutturulur. Koaksiyel kabloda elektrik alan iç iletkenen dış iletkene doğru olduğundan dolayı iç iletkene bağlı olan yama kısmından dış iletkene bağlı olan toprak düzlemine doğru bir elektrik alan oluşacaktır. Koaksiyel besleme kolay imal edilir ve empedansı antene uyumlu olarak üretilir. Şekil 3.3.’de ise DMA için mikroşerit hat beslemesi gösterilmiştir. Mikroşerit hat, DMA’nın yama genişliğine göre daha dar iletken bir şeritten oluşur. İmalatı kolaydır çünkü oldukça basit bir modeldir. Bunun yanında eğer alttaş kalınlığı artarsa arayüz dalgaları ve benzer olarak besleme radyasyonu artar. Hem mikroşerit besleme hattı hem de koaksiyel kablonun asimetrik olması daha yüksek modların alınmasını ve çapraz polarizasyonun yayılımına sebep olur. Bu tip problemlerin üstesinden gelmek için temassız açıklık-kuplaj beslemeler de kullanılabilir [1-3].



### 3.1.5. MA'ların Analiz Yöntemleri

MA'ların analizinde kullanılan pek çok metot vardır. Bunlardan en popüler olanlar; İletim Hattı Modeli (Transmission Line Model), Boşluk Modeli (Cavity Model) ve Moment Metodudur (Method of Moments) [1-3].

#### 3.1.5.1. İletim Hattı Modeli

İletim hattı modeli, en basit ve en iyi şekilde fiziksel anlaşılabilirliğe sahip olan analiz yöntemidir. Fakat doğruluğu daha az olan sonuçlar vermektedir [1-3].

Elektrik alanın yayılımı veya saçılması; yama antenin uzunluğunun alttaşın yüksekliğine oranı ( $L/h$ ) ve alttaş dielektrik sabiti  $\epsilon_r$ 'nin fonksiyonudur.  $L/h \gg 1$ , durumunda saçılma azalmaktadır. Şekil 3.2.'de antenden yayılan elektrik alan çizgilerinin iki dielektrik alandan geçerek toprak düzleminde son bulduğu görülmektedir. Tipik olarak bu alanlar alttaş ve havadır. Bazı durumlarda birden fazla alttaş kullanılabilir, bu durumlarda elektrik alan iki den fazla ortamdan geçerek toprak düzleminde son bulur. Eğer  $W/h \gg 1$  ve  $\epsilon_r \gg 1$  ise, elektrik alanın büyük bir kısmı alttaşta ki dielektrik materyal içindedir ve küçük bir kısmı da havadadır [1-3].

Elektrik alanın, bir kısmı alttaşta bir kısmı da havada olduğundan dolayı anten için değişmeyen bir dielektrik materyal tanımlanması gereklidir ve dielektrik sabiti, etkin dielektrik sabiti ( $\epsilon_{reff}$ ) olarak tanımlanır.  $\epsilon_{reff}$  saçılma ve hatta dalganın yayılımı göz önüne alınarak bulunur. Alttaşın üzerinde hava alan hatlarda  $\epsilon_{reff}$ ;  $1 < \epsilon_{reff} < \epsilon_r$  aralığında değişir [1-3].

Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi etkin dielektrik sabitini bilinmesiyle MA'nın sadece bu ortamda ışına yaptığı düşünülebilir veya başka bir deyişle; MA'nın orijinal boyutlarıyla dielektrik sabitine gömülü olduğu farz edilebilir.



Şekil 3.4. MA’da etkin dielektrik sabitinin gösterimi

Pek çok uygulama için  $\epsilon_r$ ,  $\epsilon_{reff}$  'in değişimine daha yakındır.  $\epsilon_{reff}$  sadece frekansın bir fonksiyonudur. Frekans arttıkça dielektrik alanın çoğu alttaşa konsantre olur ve etkin dielektrik sabiti alttaşın dielektrik sabitinin değişkenlerine yaklaşır.

Düşük frekanslar için  $\epsilon_{reff}$  sabittir. Orta seviye frekanslar için değeri monoton bir şekilde artmaya başlar ve frekanstaki artış devam ettikçe alttaşın dielektrik sabitine yaklaşmaya başlar.  $\epsilon_{reff}$  'in düşük frekanslardaki değerleri statik değerlere referans olur ve  $W/h \gg 1$  olmak koşuluyla aşağıdaki ifade ile verilir [1-3];

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (3.1)$$

Bunun yanında;  $W/h \gg 1$  durumda oluşan saçılmalardan dolayı mikroşerit hat elektriksel olarak, fiziksel boyutlarından daha büyük görülür. Şekil 3.3.'de de görüldüğü gibi saçılma etkisinden dolayı DMA'nın iletken kısmı fiziksel boyutlarından daha uzun görülmekte ve antenin yama iletkeni uzunluğunca oluşan bu elektriksel uzama  $\Delta L$  ile gösterilir. Popüler ve pratik çözümlerde  $\Delta L$ ,  $\epsilon_{reff}$  ve  $W/h$  oranının bir fonksiyonu olarak şu şekilde verilir [1-3];

$$\Delta L = 0.412 \times h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.2)$$

Yama antenin boyundaki bu elektriksel uzamanın antenin yama uzunluğuna eklenmesi ile oluşan yama uzunluğuna; etkin yama uzunluğu  $L_{eff}$  denir. Yama antenin her bir  $\Delta L$  kısmı için uzama olacağından yama antenin etkin uzunluğu şu şekilde verilir [1-3];

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (3.3)$$

DMA'nin maksimum ışığa yaptığı veya antene gelen dalgayı maksimum aldığı frekansa rezonans frekansı denir ve  $f_r$  ile gösterilir. Antenin ilk rezonansa geldiği mod ise DMA için,  $L$  uzunluğu  $\lambda/2$  olarak alındığında,  $TM_{10}$  modudur. Daha yüksek frekanslar daha yüksek değerli modları uyarırlar ( $TM_{20}$ ,  $TM_{21}$ , vs.) ve anten için geniş frekans aralıklarında birden fazla rezonans frekansı oluşabilir.  $TM_{10}$  modu antenin ilk rezonansa geldiği mod olduğu için baskın mod ve bu mod için DMA'nın rezonans frekansı,  $L$ 'nin bir fonksiyonudur.  $c$ , boşlukta ışığın hızı olmak üzere, DMA'nın rezonans frekansı,  $f_r$  şöyle verilir [1-3];

$$(f_r)_{10} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.4)$$

Bu denklemdeki  $L$  uzunluğu bilindiği gibi, yama antenin fiziksel uzunluğudur. Saçılma etkisinden dolayı yama iletkenin boyunda oluşan elektriksel uzama bu fiziksel uzunluğun yerini alır ve rezonans frekansı denklemi modifiye edilerek şu şekilde verilir [1-3];

$$(f_r)_{10} = \frac{1}{2L_{eff}\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{1}{2(L + 2\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \quad (3.5)$$

### 3.2. KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLER (KMA)

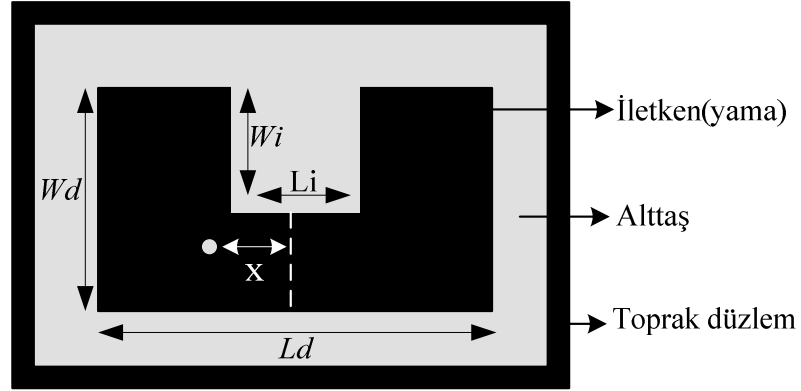
Kişisel mobil iletişim ve diğer iletişim sistemlerinin küçük boyutlu MA'lara ihtiyacı vardır. Daha küçük antenlerin bu frekanslarda dizaynları, geleneksel MA konfigürasyonları olan dikdörtgensel, dairesel ve üçgen MA'ların modifiye edilmesiyle oluşmuş ve böylece KMA'lar meydana gelmiştir [2,13-43].

KMA'lar yüksek dielektrik sabiti  $\epsilon_r$ 'ye sahip bir alttaşa birlikte tasarlanmışlardır. Aynı zamanda oldukça dar bir frekans aralığında istenilen verimde çalışırlar yani KMA'ların rezonansa geldiği frekans aralığı başka bir ifadeyle bant genişliği ( $BW$ ) oldukça sınırlıdır. Bunun nedeni, aynı rezonans frekansı için simetrik, düzgün şekilde ayarlanmış MA boyutlarının değişmemesi durumunda, yüksek dielektrik sabitli alttaşa sahip MA'da, düşük dielektrik sabitli alttaş kullanılan MA'ya göre rezonans frekansı daha küçüktür. Eğer boyutlar küçültülürse KMA'nın yaklaşık olarak aynı rezonans frekansında çalışması için alttaş dielektrik sabitinin artması gerekmektedir. Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse; yama uzunluğu  $L=1.51$  cm, yama genişliği;  $W=2$ cm, alttaş dielektrik sabiti;  $\epsilon_r=9.8$  ve dielektrik kalınlığı;  $h=0.159$  cm parametreleri ile tasarlanan bir DMA için bant genişliği;  $BW=30$  MHz ve rezonans frekansı;  $f_r=3.002$  GHz'dir. Karşılaştırmalı olarak başka bir DMA'da; yama uzunluğu;  $L=3$  cm, yama genişliği;  $W=4$  cm, alttaş dielektrik sabiti;  $\epsilon_r=2.55$  ve dielektrik kalınlığı;  $h=0.159$  cm alındığında bant genişliği  $BW=64$  MHz ve rezonans frekansı,  $f_r=2.974$  GHz olmaktadır. Bu iki antene bakıldığında; ikinci antende azalan dielektrik sabitiyle birlikte boyutların değişmemesi durumunda rezonans frekansının artması beklenir fakat iki antende rezonans frekansının yaklaşık aynı kalmasının sebebi ikinci antende artan yama boyutlarıdır. Bant genişliği de yama boyutlarının artmasıyla artmıştır [2].

#### 3.2.1 C Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten (CKMA)

Bir CKMA, Şekil 3.5'de gösterildiği gibi, bir DMA'dan, onun radyasyon yapmayan  $L$  kenarı boyunca simetrik olarak açılan bir boşlukla elde edilir.

CKMA'nın dış uzunluğu  $Ld$  ve genişliği  $Wd$ , açılan boşluğun genişliği  $Li$  ve uzunluğu  $Wi$  olarak gösterilmiştir. Besleme noktasının merkezden uzaklığı  $x$ 'dir. Antende açılan boşluğun genişliğinin ve uzunluğunun artması, anten yüzeyinde oluşan yüzey akımlarını artırır. Bu CKMA'nın etkin uzunluğunun  $L_{eff}$  artmasına neden olur ve rezonans frekansında azalma meydana gelir [2,53].



Şekil 3.5. CKMA geometrisi [2]

Çizelge 3.1'de elektriksel ve fiziksel parametreleri verilen örnek bir CKMA'da açılan boşluk boyutlarının değişiminin, antenin performansına etkisinin tanımlanması için teorik sonuçlar özetlenmiştir [2,53].

Antende bir boşluk açılmaması durumunda ( $Li=0$  ve  $Wi=0$ ) CKMA, DMA'ya dönüşür ve bu durumda Çizelge 3.1.'de görüldüğü gibi  $f_r$ , 1.606 GHz ve  $BW$ , 12 MHz'dir. Antende açılan boşluğun uzunluğu  $Li$  sabit tutulup, genişliği  $Wi$  arttırıldıkça  $f_r$ , 1.448 GHz'den 0.900 GHz'e azalır ve impedans varyasyonları artar, sonuç olarak besleme noktası uygun empedans uyumu için merkeze doğru kayar. Aynı zamanda  $BW$ ; 8 MHz'den 2 MHz'e azalır.  $BW$ 'deki azalma antende,  $h/\lambda_0$  ifadesinin değerindeki azalmadan kaynaklanmaktadır. Boşluk uzunluğu  $Wi = 3$  cm olarak sabit alınıp, boşluk genişliği  $Li$ , 1 cm'den 4 cm'ye arttıkça,  $f_r$ 'de daha az bir azalma olur. Çünkü CKMA'nın  $\epsilon_{eff}$  değeri düşer. Boşluk boyutlarındaki artma ile çapraz polarizasyon artar ve aynı zamanda antenin direktifliği,  $D$  ve verimliliği,  $\eta$  azalır [2,53].

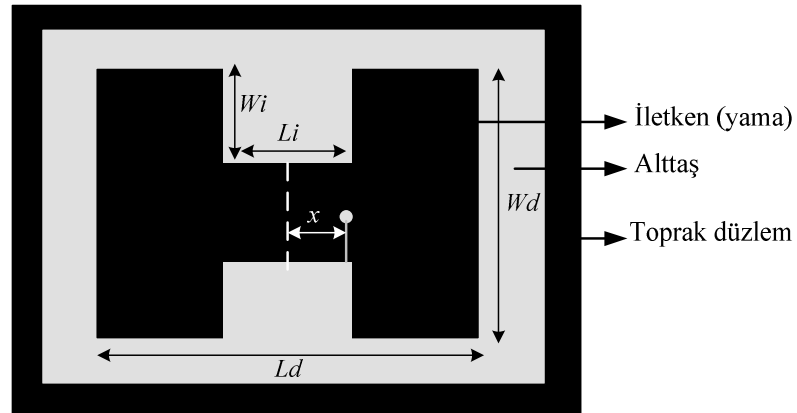
Çizelge 3.1. CKMA'nın performansına boşluk boyutlarının etkisi  
( $Ld=6\text{ cm}$ ,  $Wd=4\text{ cm}$ ,  $\epsilon_r=2.33$ ,  $h=0.159\text{ cm}$ , ve  $\tan \delta=0.002$ ) [2]

$Wi*Li$ (cm,cm)	$x$ (cm)	$f_r$ (GHz)	$BW$ (MHz)	$D$ (dB)	$\eta$ (%)
0*0	0.70	1.606	12	7.2	79
1*1	0.55	1.484	8	7.1	70
2*2	0.40	1.142	3	6.9	42
3*1	0.30	0.900	2	6.8	16
3*4	0.30	0.904	2	6.8	15

Özetle bir CKMA'da ilekene açılan boşluğun boyutlarının artmasıyla; yüzey akımları ve rezonans uzunluğu artarken; rezonans frekansı, bant genişliği ve verimlilik azalır, aynı zamanda, giriş impedansı artar ve bunun sonucunda besleme noktası impedans uyumu için merkeze doğru kaydırılır [2].

### 3.2.2. H Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten (HKMA)

Bir HKMA Şekil 3.6.'da gösterildiği gibi DMA'nın yayılım yapmayan kenarları boyunca kesilmiş iki simetrik ve eşit boşluklarla sağlanır [2,53].



Şekil 3.6. HKMA geometrisi [2]

HKMA'nın dış uzunluğu  $Ld$  ve genişliği  $Wd$ , yamada açılan boşluğun genişliği  $Li$  ve uzunluğu  $Wi$  olarak gösterilmiştir.  $Wd$  arttıkça impedans uyumu için besleme noktası merkeze doğru kayar [2].

Çizelge 3.2'den de görüldüğü gibi,  $Wi$ 'nin 0.5'den 1.5'e artışı ile ( $Li=1cm$  olduğunda)  $f_r$ , 1.495 GHz'den 1.061 GHz'e azalır ve  $BW$ , 9MHz'den 2 MHz'e hızlı bir şekilde düşer ve anten verimliliği;  $\eta$ , %73 'den %32'ye düşer. Yamada açılan boşluğun uzunluğu  $Li$ , 1cm'den 4cm'e arttıkça ( $Wi=1.5cm$  alınarak )  $f_r$ , zayıf bir şekilde 1.061 GHz'den 0.981 GHz'e azalır ve sonra zayıf bir şekilde 1.001 GHz'e yükselir [2].

Çizelge 3.2. HKMA'nın performansına boşluk boyutlarının etkisi  
( $Ld=6 cm$ ,  $Wd=4 cm$ ,  $\epsilon_r=2.33$ ,  $h=0.159 cm$ , ve  $\tan \delta =0.002$ ) [2]

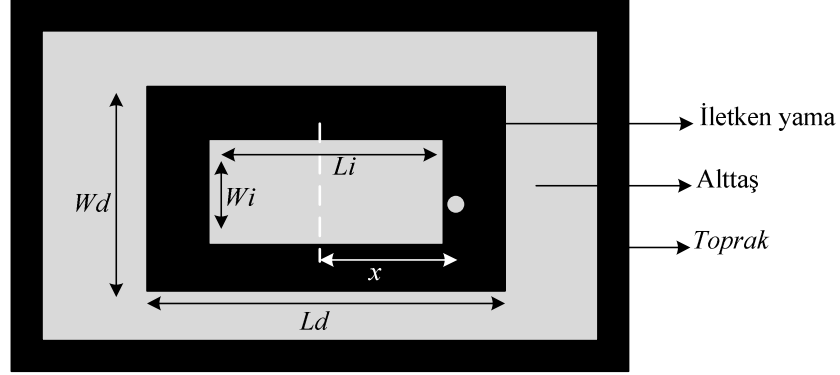
$Wi*Li$ (cm,cm)	$x$ (cm)	$f_r$ (GHz)	$BW$ (MHz)	$D$ (dB)	$\eta$ (%)
0*0	0.70	1.606	12	72	79
0.5*1	0.60	1.495	9	7.1	73
1*1	0.40	1.309	5	7.0	59
1.5*1	0.25	1.609	2	6.9	32
1.5*2	0.25	0.981	2	6.9	25
1.5*4	0.30	1.001	2	6.9	25

### 3.2.3. Dikdörtgensel Halka Şeklinde Kompakt Mikroşerit Anten (DHKMA)

Bir DHKMA Şekil 3.7.'de gösterildiği gibi DMA'da yama iletkeninin merkezinde bir dikdörtgensel boşluk açılması ile oluşur. Boşluk boyutlarının artması ile DMA, DHKMA'ya dönüşür ve  $f_r$  düşer [2,53].

Değişken boşluk değerleri  $Wd$  ve  $Ld$  için benzetim programları kullanılarak sağlanan sonuçlar Çizelge 3.3.'de özetlenmiştir.  $Ld=6cm$  ve  $Wd=4 cm$  için;  $Wi=0$ ,  $Li=0$ 'dan,  $Wi=1$ ,  $Li=1cm$ 'ye arttıkça  $f_r$ , 1.606GHz'den 1.537GHz'e düşer. Çünkü

arayüz akımları yama iletkeninin uzunluğu boyunca; boşluk boyutlarının artması ile fazlalaşır [2].



Şekil 3.7. DHKMA Geometrisi [2]

Daha büyük boşluk boyutları için, giriş impedansı çok büyüktür ve  $50 \Omega$  koaksiyel hat empedansı ile uyumu zordur. Bu yüzden; anten ile toprak arasında kısa devre uygulanır. Kısa devre kenarlardan birinin merkezine yerleştirilir ve impedans uyumu; beslemenin, kısa devrenin yakınına yerleştirilmesiyle sağlanır. Bu kısa devre dış çevre etrafındaki tüm alan yoğunluğunda değişmez ve bu nedenle  $f_r$  yaklaşık aynı kalır [2].

Çizelge 3.3. DHKMA'nın performansına boşluk boyutlarının etkisi

( $L_d=6 \text{ cm}$ ,  $W_d=4 \text{ cm}$ ,  $\epsilon_r=2.33$ ,  $h=0.159 \text{ cm}$ , ve  $\tan \delta=0.002$ ) [2]

$W_i * L_i$ (cm,cm)	$x$ (cm)	$f_r$ (GHz)	$Z_{in}$ ( $\Omega$ )	$BW$ (MHz)	$\eta$ (%)
0*0	0.70	1.606	62	12	79
0.5*0.5	0.32	1.595	56	10	78
1*0.5	0.32	1.560	56	11	77
1*1	0.57	1.537	125	-	75

DMA ile DMA'nın yama iletkeninde boşluklar açılarak oluşturulan diğer konfigürasyonların karşılaştırılması Çizelge 3.4.'de gösterilmiştir. Dış boyutlar bütün durumlarda sabit kalır ve toplam boşluk alanı yaklaşık olarak aynıdır. CKMA



en kompakt konfigürasyondur fakat en kötü verimliliğe sahiptir ve DHKMA frekansta en az düşme verir fakat yüksek verimlilik ve bu yüzden daha fazla kazanca sahiptir [2]. KMA'larda kısa devre kullanılırsa rezonans frekansında azalma gözlemlenir. Aynı zamanda antenin yama iletkeninde boşluk açılmasıyla ve boşluk boyutlarının artmasıyla da MA frekansında azalma olacaktır. Eğer tekniklerin her ikisi de kombine edilirse;  $f_r$  önemli bir şekilde düşer. Bununla beraber açıklık alanının etkisinin azalması ile bu antenlerin  $BW$  ve kazanç değerleri düşer [2].

Çizelge 3.4. Farklı KMA'ların yama iletkenlerinin boşluklu ve boşluksuz olması durumlarında anten performanslarının karşılaştırılması

( $Ld=6\text{ cm}$ ,  $Wd=4\text{ cm}$ ,  $\epsilon_r=2.33$ ,  $h=0.159\text{ cm}$ , ve  $\tan \delta =0.002$ ) [2]

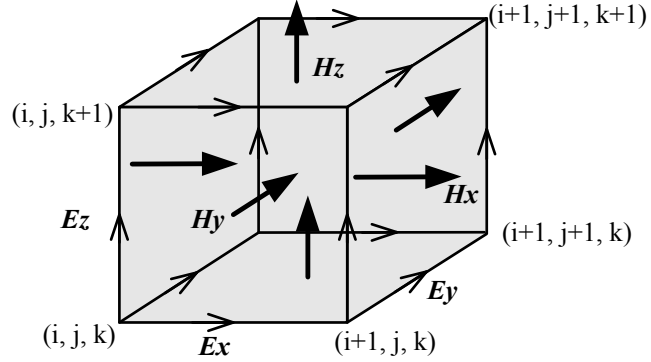
<i>MA çeşitleri</i>	<i>Boşluk boyutları</i> <i>Wi*Li (cm)</i>	<i>f<sub>r</sub></i> <i>(GHz)</i>	<i>BW</i> <i>(MH)</i>	<i>D</i> <i>(dB)</i>	<i>η</i> <i>(%)</i>
DMA	0*0	1.606	12	7.2	79
CKMA	3*1	0.900	2	6.8	16
HKMA	5*1	1.061	2	6.9	32
DHKMA	1.8*1.7	1.378	6	7.1	64

### 3.3. FDTD (ZAMAN DOMENİNDE SONLU FARKLAR) METODU

İlk defa 1966'da Yee tarafından ortaya atılan FDTD (Finite Difference Time Domain) metodu, Maxwell denklemlerini zaman domeninde çözen sade bir nümerik bir yöntemdir. FDTD metodu, elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılan en popüler sayısal yöntemlerden biridir. FDTD yöntemi 30 yılı aşkın bir süredir var olmasına rağmen, bilgisayarların hız ve kapasiteleri artması metodun kullanımının artmasını sağlamıştır [58,59].

FDTD yaklaşımında hem uzay hem de zaman sonlu kısımlara ayrılmıştır. Yani uzay hücre (cell) adı verilen kutu şeklinde kısımlara ayrılırken, zaman kesikli

sonlu adımlardan oluşmaktadır. Hücreler dalga boyuna göre oldukça küçüktür. Elektrik alanlar kutu şeklindeki hücrelerin kenarlarında konumlanırken manyetik alanlar hücrelerin yüzeyindedir. Şekil 3.8.'de de temsil edilen bu hücelere Yee hücresi adı verilir ve FDTD'nin temelini oluşturmaktadır [58,59].



Şekil 3.8. Standart Yee hücresi üzerinde alanların dağılımı [58]

Zamanın her bir adımında elektromanyetik alan bir hücreden diğerine ilerler. Genel olarak bu metotta; her bir hücre için manyetik ve elektrik alanlar hesaplanır ve küçük hücelere ayrılan cisimden yayılan toplam elektromanyetik alan tüm hücrelerdeki elektrik ve manyetik alanların toplanmasıyla elde edilir [58].

FDTD yöntemi, Maxwell denklemlerindeki kısmi türev operatörlerinin merkezi farklara dayalı sonlu farklar karşılıkları ile değiştirilip, doğrudan zaman ve konum domenlerinde sayısallaştırılmasına denir. FDTD yönteminde, ilk iki Maxwell denkleminde diferansiyel operatörler sayısallaştırılıp sonlu farklar eşdeğerleri ile değiştirilir. Böylece elde edilen ayrık denklemler (ele alınan yapıya ait sınır koşulları da sağlanarak) iteratif olarak çözülür. FDTD tekniğinde ele alınan üç boyutlu yapı birim hücrelerin toplamı şeklinde düşünülür. Yapı yüz binlerce eş hücreye bölündükten sonra FDTD de alan denklemleri ile zamanda iteratif çözümler üretilir. Kaynak olarak sinüzoidal (dar bantlı) ya da darbesel (geniş bantlı) kaynak seçilebilir [58].

FDTD tekniğinde elektrik ve manyetik alan bileşenleri bağımsız değişkenlerdir. Yöntemde,  $n$  zaman adımı,  $\Delta t$  her bir hücre için hesaplama zaman aralığı olmak üzere, her hücrede bütün bileşenler için hesaplama yapılan toplam  $T$  hesap süresi aşağıdaki ifade ile verilir [58],

$$T=n.\Delta t \quad (3.6)$$

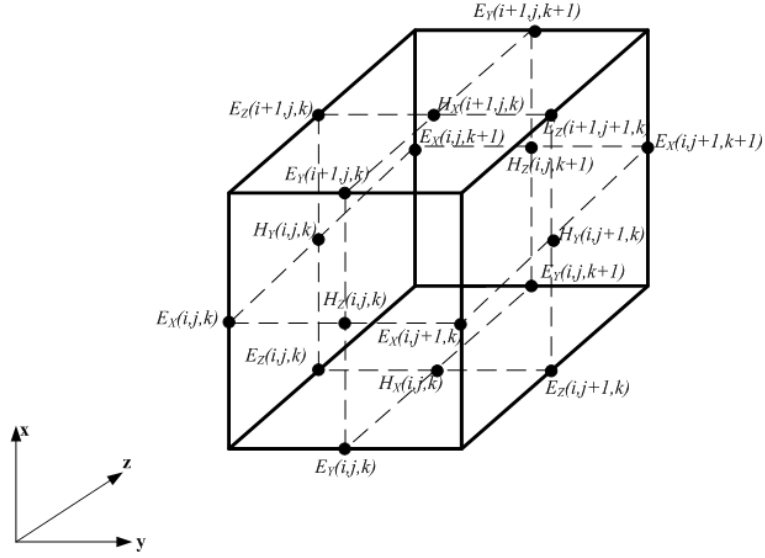
ile ifade edilir. FDTD yönteminde geniş bantlı darbesel kaynaklar kullanılırken üzerinde çalışılan geometrinin hücrelere ayrılması aşamasında dikkat edilmesi gereken husus hücre boyutlarıdır. Yöntemde kullanılan kaynak geniş bir frekans aralığındadır ve en yüksek frekans bize minimum hücre boyutunu verir ve  $\lambda_{min}$  ile gösterilir. Yöntemin doğru sonuçlar üretebilmesi için bu hücre boyutuna doğru karar verilmeli ve genel olarak hücrenin büyüklüğü için kullanılan aralık yani;  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  yada  $\Delta z$ 'nin en büyük değeri;  $\lambda_{min}/100$  ile  $\lambda_{min}/4$  arasında seçilmelidir [58,59].

Maxwell denklemleri bilindiği gibi uzayın belli bir noktasında ve anında elektrik ve manyetik alan değerlerini birbirine bağlar. FDTD yönteminde kullanılan denklemler aşağıdaki ifadeler ile verilir [58];

$$\text{rot } \vec{E}(r,t) = -\mu \frac{\partial \vec{H}(r,t)}{\partial t} \quad (3.7)$$

$$\text{rot } \vec{H}(r,t) = \epsilon \frac{\partial \vec{E}(r,t)}{\partial t} + \vec{J} \quad (3.8)$$

Elektrik alanın konuma göre kısmi türevi manyetik alanın zaman göre kısmi türevine ortam parametreleri;  $\epsilon$  (dielektrik sabiti),  $\mu$  (manyetik geçirgenlik) ve  $\sigma$  (iletkenlik) ile bağlıdır. İkinci Maxwell denkleminde ise bunun tersi söz konusudur. Verilen bu iki denklem merkezi farklara göre ayrıştırılıp düzenlenirse uzayın her noktasında üç elektrik ve üç manyetik alan bileşenini içeren iteratif denklemler elde edilir [58,59].



Şekil 3.9. Birim Yee hücresi üzerinde 3 elektrik ve 3 manyetik alan bileşeninin gösterilmesi [58]

Şekil 3.9.'de verilen birim Yee hücresi komşu hücre indisleri ile birlikte gösterilmiştir. Her birim Yee hücresinde üç elektrik ve üç manyetik alan bileşeni bulunur. Her hücrede kullanılan  $(i,j,k)$  indisleri sırasıyla,  $x$ ,  $y$  ve  $z$ 'deki hücre indisleridir. Zamanda ve konumda ayırıklaştırma adımları  $\Delta t$  ve  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ 'dir. Yani herhangi bir alan bileşeni için ifade aşağıdaki şekilde verilir [58];

$$(i, j, k) = (i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z), \quad t = n.\Delta t \quad (3.9)$$

anlamına gelmektedir. Burada zaman indisi karışıklılığa neden olmamak için gösterilmemiştir. Aslında  $n$  zaman adımındaki alan bileşenleri, örneğin  $x$ -bileşeni,  $E_x = E_x^n$  şeklindedir [58,59].

Her ne kadar bir hücre içerisindeki altı bileşen aynı  $(i, j, k)$  etiketi ile gösterilse de Şekil 3.8.'den görüldüğü gibi, bu bileşenlerin hücre içi yerleşimi farklıdır. Örneğin;  $E_x(i,j,k)$  hücrenin  $x$ -kenar ortasında iken,  $H_z(i,j,k)$  hücrenin  $xy$ -yüzey ortasında bulunur. Yani elektrik alanlar hücre kenarlarında, manyetik alanlar hücre yüzeylerindedir [58,59].

Aynı hücrede, elektrik ve manyetik alanların yerleşimleri gibi hesaplandıkları zaman adımları da farklıdır. Elektrik ve manyetik alanlar birbirinden  $\Delta t / 2$  kadar farklı zamanlarda hesaplanır. Yani elektrik alan bileşenleri  $t=0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t,$  gibi adımlarında hesaplanırken; manyetik alanlar  $t = \Delta t / 2, 3\Delta t / 2, 5\Delta t / 2,$  gibi adımlarında hesaplanmaktadır. Böylece hesaplama bir elektrik alanlar ve sonrasında bir manyetik alanlar olarak iteratif şekilde sürdürülür [58,59].

Aynı hücrede belli bir noktada elektrik ne manyetik alanlarından söz edebilmek için konumda ve zamanda ortalama almak yeterlidir. Örneğin; alan bileşenlerini hücre merkezine ötelemek için iki manyetik alan bileşeni yeterlidir ve ifadesi aşağıdaki şekilde verilir [58];

$$H_x(i, j, k) = 1/2.[H_x(i, j, k) + H_x(i+1, j, k)] \quad (3.10)$$

Ancak elektrik alan bileşenleri için komşu dört bileşene gerek vardır ve ifadesi aşağıdaki şekilde verilir [58];

$$E_z(i, j, k) = 1/4.[E_z(i, j, k) + E_z(i+1, j, k) + E_z(i, j+1, k) + E_z(i+1, j+1, k)] \quad (3.11)$$

İteratif FDTD denklemlerinde, herhangi bir ortam üç ortam parametresi ile temsil edilir. Bunlar, dielektrik sabiti  $\epsilon$ , manyetik geçirgenlik  $\mu$ , ısı kayıpları temsil eden  $\sigma$ 'dır. Bunlardan  $\epsilon$  ve  $\sigma$  elektrik alan bileşenlerinin hesaplandığı denklemlerde,  $\mu$  ise manyetik alan bileşenlerinin hesaplandığı denklemlerde görülmektedir [58,59].

Hücrede elektrik ve manyetik alan bileşenleri için farklı ortam parametreleri ( $\epsilon, \mu$  ve  $\sigma$ ) belirlenerek ince teller ya da elektrik veya manyetik ince tabakalar modellenenbilir [58,59].

FDTD benzetimi boyunca elektrik ve manyetik alanlar güncellenmektedir. Buna karşın, bu alan değerlerinden herhangi bir noktada gerilim yada akım hesabı

kolayca yapılabilir. Herhangi bir  $(i, j, k)$  hücresindeki gerilim ve akım Gauss ve Amper yasasından elde edilir. FDTD benzetimi ile hem sinüzoidal hem de darbesel kaynaklar modellenebilir [58,59] .

FDTD benzetiminin en önemli adımı birim Yee hücresinin iyi anlaşılmasıdır. Bu anlaşılmadan alan ve devre büyüklüklerinin hesaplanması, konumda ve zamanda senkronizasyonun sağlanması son derece zordur. Birim hücrede yerleşim ve ortam parametrelerinin belirlenmesi anlaşıldıktan sonra, diğer önemli adımlarla geçilebilir [58,59].

FDTD yöntemi ile üç boyutlu herhangi bir elektromanyetik problem ele alınabilir. Problem grubu ne olursa olsun FDTD hesap uzayı üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde  $X_{min}, Y_{min}, Z_{min}$  ile  $X_{max}, Y_{max}, Z_{max}$  düzlemleri arasında kalan dikdörtgen uzayı  $N_x * N_y * N_z$  adet Yee hücresine ayrılır [58,59].

FDTD tekniğinde zaman adımı  $\Delta t$ , konum adımları  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  ve  $\Delta z$  'ye bağlıdır. Courant kriteri [58,59] denen ve konum ve zaman adımlarını ışık hızı ( $c$ ) ile birbirine;

$$\Delta t \leq \frac{1}{c \sqrt{\left(\frac{1}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta z}\right)^2}} \quad (3.12)$$

şeklinde bağlayan bu kriterin fiziksel anlamı oldukça önemlidir [58]. Bu denklemde  $c$  ışık hızı değeri eşitsizliğin sol tarafına atılırsa;

$$\Delta t \times c \leq \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta z}\right)^2}} \quad (3.13)$$

elde edilir [58]. Burada eşitsizliğin sol tarafı hız çarpı zaman, yani dalganın aldığı yolu verir. Üstelik ışık hızı dalganın en yüksek hızı olduğuna göre alınan yol

maksimumdur. Sağ tarafta ise hücre boyutu vardır. O halde FDTD iteratif denklemlerinin kararlı olabilmesi için seçilen zaman adımında dalganın maksimum ilerlemesi hücre boyutunu aşmamalıdır. Başka bir deyişle dalga hareketinin bir zaman adımında hücre içerisinde kalabilmesi için zaman adımı yeterince küçük seçilmelidir. Zaten başka türlü dalgayı zamanda ve konumda simüle etmek ve dalga iletimini izlemek olası değildir [58,59].

### 3.4. TÜREVSEL EVRİM ALGORİTMASI (TEA)

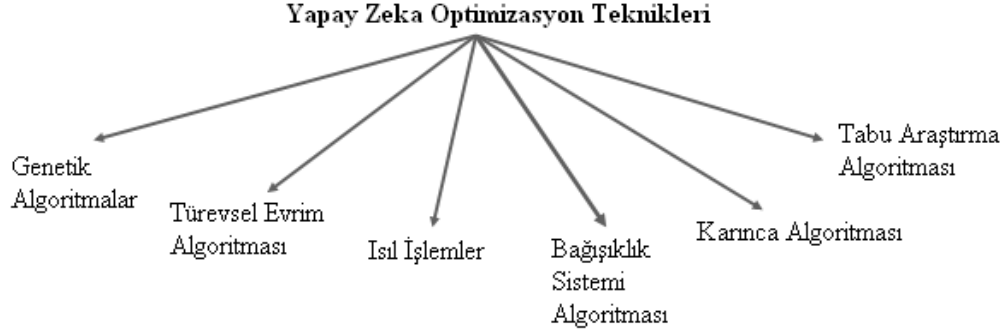
Gerek fen bilimlerinde gerek sosyal bilimlerde ve bu bilim dallarının uygulama alanlarında karşılaşılan birçok problem, doğrusal veya doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak modellenenmektedir. Uygulamadaki problemlerin büyük bir bölümü doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş birçok teknik söz konusudur [60].

Evrimsel algoritmalar Darwin' in evrim ve doğal seçim kuramına dayanarak çalışan ve doğadaki yaşam mücadelesini modelleyerek problemlerin çözümünde günümüzde sıkça kullanılan algoritmalarıdır. Bu algoritmalarının büyük bir çoğunluğu, en iyinin hayatta kalması prensibine göre çalışır ve iteratif metotlardır. Her algoritmanın mutasyon veya çaprazlama gibi operatörleri vardır ve çözüme ulaşmak için bir amaç fonksiyonu kullanmaktadır. Bu algoritmalar, amaç fonksiyonunun asgari veya en yüksek değerini arayarak çözüme ulaşmaya çalışırlar. Algoritmalar genel olarak amaç fonksiyonu belirli bir değere ulaştığında veya en yüksek iterasyon sayısına ulaşıldığında sonlanırlar [61] .

Literatürde genellikle en yüksek değere ulaşma problemleri için kullanılan amaç fonksiyonuna uygunluk fonksiyonu, en düşük değere ulaşma problemleri için kullanılan amaç fonksiyonlarına ise maliyet fonksiyonları denilmektedir [61].

Yapay zeka optimizasyon tekniklerinden biri olan TEA, Price ve Storn tarafından 1995 yılında geliştirilmiş, özellikle sürekli verilerin söz konusu olduğu

problemlerde etkin sonuçlar verebilen, isleyiş ve operatörleri itibariyle genetik almıtmaya dayanan popülasyon temelli sezgisel optimizasyon tekniğidir [63]. Şekil 3.10.'da çok bilinen bazı yapay zeka optimizasyon teknikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Yapay zeka optimizasyon teknikleri

TEA özellikle tamamen düzenlenmiş uzayda tanımlı ve gerçek değerli tasarım parametrelerini içeren fonksiyonları optimize etmek amacıyla kullanılan bir algoritmadır [64]. Geliştirildiğinden bu yana TEA ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı algoritmanın iyileştirilmesi üzerinedir. Farklı problemlere yönelik, farklı yapılarda ve farklı parametrelerle çalışan birçok TEA geliştirilmiştir. Genetik Algoritmalara göre çok daha yeni sayılabilecek bir optimizasyon tekniği olan TEA geliştirilmeye devam etmektedir.

#### 3.4.1. Optimizasyon Nedir?

Optimizasyon, hayatın hemen her alanında gerekliliği kaçınılmaz bir kavram olup, en basit tanımı ile bir sistemin istenen özelliklerini artırırken istenmeyen özelliklerini azaltma işlemidir. Kazancı maksimize veya kaybı minimize etmeyi hedefler. Bu amaç için birçok yöntem kullanılabilir. Arama uzayında en iyi noktaya doğru olan her hareket optimizasyon sürecinin bir parçasıdır [61].



### 3.4.2. Deterministik ve Sezgisel Yöntemler

Özellikle değişken sayısına ve veri tiplerine bağlı olarak optimizasyon problemlerinin zorluk dereceleri de artabilmektedir. Bu tip problemlerin deterministik yöntemlerle çözümü, hem problemin yapısına bağlı olarak modelleme hem de çözüm sürecinde zorluklar içermektedir. Ya istenilen sonuca ulaşamamakta ya da kabul edilebilir sınırların dışında sürelerde ulaşılabilir. Bunların üstesinden gelebilmek için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Özellikle popülasyon temelli sezgiseller çok noktalı arama prosedürleri sayesinde, hızlı bir şekilde sonuç verebilmektedirler. Bunlardan bazıları genetik algoritma, bulanık mantık, karınca kolonisi algoritması, benzetilmiş tavlama algoritmasıdır. Algoritmalarda kullanılan amaç fonksiyonları, çok farklı biçimlerde tanımlanabilir ve evrimsel algoritmaların kilit noktalarından biridir. Yanlış bir amaç fonksiyonu ile çözümü çok kolay olan problemler için bile algoritma yakınsama sağlamayabilir [60].

Çoğu evrimsel algoritma rasgele bir süreç ile işlem yapar. Bu bakımdan evrimsel algoritmaların temel özelliklerinden biri hiçbir zaman çözüm garantisi sunmamasıdır. Buldukları sonuçlar için “en iyi çözümdür” ifadesi bu algoritmalar için kullanılamaz çünkü buldukları olası çözümün en iyi çözüm olup olmadığının kesin olarak bilinebilmesi için tüm arama uzayının eksiksiz bilinmesi gerekmektedir ve bu algoritmalar arama uzayının tümünü aramazlar. Bu bakımdan buldukları sonuçlar için “isteğe uygun en iyi çözüme yakın bir sonuç” denilebilir [61].

En iyi çözümün ne olduğunun bilinmediği problemler için, var olan çözümlerden daha iyi olan bir çözüm elde edilmeye çalışılır. Bu tez çalışmasında da CKMA’ların benzetimleri ile elde edilen rezonans frekanslarının, bir denklem ile elde edilebilmesi aşamasında TEA kullanılmaktadır. Dolayısıyla benzetim sonuçları ile teorik sonuçlar arasında daha düşük hataya ulaşılacak hedeflenmiş olup en iyi çözüm kavramı söz konusu değildir [60-64]

### 3.4.3. TEA'nın Özellikleri

TEA'sı temel olarak Genetik Algoritmalara dayanmaktadır, popülasyon tabanlıdır ve aynı anda birçok noktada araştırma yapmaktadır. İterasyonlar boyunca, operatörler yardımıyla problemin çözümü için daha iyi sonuçlar araştırılmaktadır. Klasik ikili genetik algoritmalardan farklı olarak değişkenler gerçek değerleriyle temsil edilmektedir.

Genetik algoritmadaki çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleri TEA'da da kullanılmaktadır. Farklı olarak her bir operatör tüm popülasyona sırayla uygulanmamaktadır. Kromozomlar tek tek ele alınmakta, rasgele seçilen diğer üç kromozomda kullanılarak yeni bir birey elde edilmektedir. Bu işlemler sırasında mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılmaktadır. Mevcut kromozomla elde edilen yeni kromozomun uygunlukları karşılaştırılarak uygunluğu daha iyi olan, yeni birey olarak bir sonraki popülasyona aktarılmaktadır.

TEA'nın diğer sezgisellere önemli bir üstünlüğü de kolayca kodlanabilmesidir. Diğer algoritmalar için binlerle ifade edilen satırdan oluşan kodlar söz konusu iken TEA için yaklaşık 20 satırlık kod yeterli olmaktadır. TEA'da genellikle sürekli değişkenlerle çalışılmakla birlikte, kesikli değişkenler ya da ikisinin bileşimiyle çalışanları da geliştirilmiştir.

### 3.4.4. TEA'da Kullanılan Parametreler

TEA'da kullanılan parametreler genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir [60];

- **NP**: Popülasyon Büyüklüğü (kromozom sayısı)
- **D**: Değişken Sayısı (gen sayısı) (1, 2, 3, ...,  $j$ )
- **CR**: Çaprazlama Oranı [0.1,1.0]

- $G$ : Nesil (1, 2, 3, ...,  $G_{\max}$ )
- $F$ : Ölçekleme Faktörü
- $x_{j,i,G}$ :  $G$  neslindeki,  $i$  kromozomunun  $j$  parametresi (gen)
- $n_{j,i,G+1}$ : Mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom
- $u_{j,i,G+1}$ :  $x_{j,i,G}$  den bir sonraki nesil için üretilen kromozom (child-trial)
- $r_{1,2,3}$ : Yeni kromozomun üretilmesinde kullanılacak rasgele seçilmiş kromozomlar  $r_{1,2,3} \in \{1,2,3,\dots, NP\}$   $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$
- $x_j^{(l)}, x_j^{(u)}$ : Değişkenlere ait alt ve üst sınır değerleri

TEA'da çözümün her bir parçasına gen denir. Aslında çözüm, aynı genlerin farklı dizilişlerinden en iyi olanı seçmektir. Bireyler yani kromozomlar arasında değişen tek şey, genlerin sırasıdır. Bir gen yani fonksiyon değişkenlerinden her biri her kromozom için farklı bir değer almak zorundadır. Her bir kromozomun gen sıralarındaki farklılıklarının çözüm üstündeki etkisini yansıtacak tek bir fonksiyon bulunur. Bu fonksiyona uygunluk fonksiyonu (fitness function) denmektedir. Bu fonksiyondan elde edilen sonuca da birey (kromozom) uygunluk değeri denmektedir. Birden fazla bireyden oluşmuş bireyler topluluğuna popülasyon denir [60].

Optimizasyon problemleri genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [60];

$$\underline{\text{Amaç Fonksiyonu:}} \quad f(X) \quad (3.14)$$

$$\underline{\text{Kısıtlar:}} \quad g_k(X) \leq 0 \quad (3.15)$$

$$x_j^{(l)} \leq x_j \leq x_j^{(u)}, \quad j = 1, \dots, n \quad (3.16)$$

- $f(X)$  amaç fonksiyonu,  $g_k(X)$  kısıtlar seti ve
- $X=\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  gerçek değerli değişkenler setidir.
- $x_j^{(l)}$  ve  $x_j^{(u)}$  sırasıyla değişkenlere ait alt ve üst sınır değerleridir

Amaç, problemin tüm kısıtlarını sağlayan en iyi çözümü araştırmaktır. TEA terminolojisinde ‘amaç fonksiyonu’, ‘maliyet fonksiyonu’ (cost-function) olarak da adlandırılabilir. Kısıtlardan uzaklaşmalar, ceza katsayılarıyla uygunluk fonksiyonunun değerinin düşürmekte ve böylece uygun çözüm alanından uzaklaşmalar cezalandırılmaktadır [60].

Genlerle temsil edilen problem değişkenlerinin TEA operatörleri ile sınır dışında belirlenmeleri durumu sürekli kontrol edilmelidir. Aksi takdirde çözüm uygun olmayan alanlara kayacak ve bekli sonsuza gidecektir. Bunun engellenmesi için ise yapılabilecek iki düzeltme söz konusudur; Sınır dışındaki değerlerin sınıra çekilmesi, değişkenin alt ya da üst sınır değeri alması düzeltme alternatiflerinden birincisidir. İkincisi ise sınırların dışında değer almış değişkenlerin yeni değerlerinin alt ve üst sınır arasında rasgele belirlenmesidir. Problemin amaç fonksiyonu, değişkenler ve kısıtlar belirlendikten sonra diferansiyel gelişim algoritması işlemleri adım adım izlenerek uygulanır [60].

#### 3.4.4.1. Kodlama ve Başlangıç Popülasyonu

Probleme ait değişken sayısı her bir kromozoma ait gen (boyut) sayısını belirlemektedir ( $D$ ).  $NP$  ise kullanıcı tarafından belirlenen kromozom sayısıdır. Her zaman üçten büyük olmalıdır. Çünkü TEA’da yeni kromozomların üretilmesi için mevcut kromozom dışında üç adet kromozom gerekmektedir ( $r_{1,2,3}$ ). [60]

Başlangıçta  $NP$  adet  $D$  boyutlu kromozomdan meydana gelen başlangıç popülasyonu ( $P_0$ ) üretilir.  $P_0$ ’ın üretilmesinde kullanılan matematiksel ifade aşağıdaki gibidir [60];

$$\forall i \leq NP \wedge \forall j \leq D : x_{j,i,G=0} = x_j^{(l)} + rand_j[0,1] \cdot (x_j^{(u)} - x_j^{(l)}) \quad (3.17)$$

Eş. (3.17)'de denklemde verilen parametreler şu şekilde açıklanabilir;

- $x_j^{(l)}, x_j^{(u)}$  : değişkenlere ait alt ve üst sınır değerleri
- $NP$ : kromozom sayısı
- $D$  : değişken sayısı (gen sayısı) (1, 2, 3, ..., j)

Başlangıç popülasyonu üretildikten sonra, açıklanan operatörler  $G_{max}$  (en yüksek nesil (iterasyon) sayısı) sayısına ulaşıncaya kadar uygulanarak algoritma tamamlanır. Son nesildeki en iyi birey çözüm vektörüdür [60].

#### 3.4.4.2. Mutasyon

Mutasyon, mevcut kromozomun bir kısım genleri üzerinde, rasgele belirlenmiş miktarlarda değişiklikler yapmaktır. Bu değişiklikler sayesinde kromozomunun temsil ettiği çözüm noktası, çözüm uzayında hareket etmektedir. Mutasyonun hedefine ulaşabilmesi için, doğru yönde doğru miktarda hareketi sağlayacak değişikliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Mutasyon işleminin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [60];

$$\forall j \leq D : n_{j,i,G+1} = x_{j,r_3,G} + F \cdot (x_{j,r_2,G} - x_{j,r_1,G}) \quad (3.18)$$

Eş. (3.18)'de verilen denklemdeki belli başlı parametreler şu şekilde açıklanabilir;

- $D$ : Değişken sayısı (gen sayısı); 1, 2, 3, ..., j
- $n_{j,i,G+1}$  : Mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom
- $i$ : Kromozom parametresi
- $j$ : Gen parametresi

- $r_{1,2,3}$ : Yeni kromozomun üretilmesinde kullanılacak rasgele seçilmiş kromozomlar

Seçilen kromozomlardan ilk ikisinin farkı alınır. Daha sonra bu fark kromozomu  $F$  parametresiyle çarpılır.  $F$  parametresi genellikle 0–2 arasında değerler almaktadır. Elde edilen ağırlıklandırılmış fark kromozomu ile seçilen üçüncü kromozomu ( $r_3$ ) ile toplanır. Böylece mutasyon sonucu çaprazlamada kullanılacak olan kromozom elde edilmiş olur ( $n_{j,i,G+1}$ ) [60].

### 3.4.4.3. Çaprazlama

TEA’da kullanılan çaprazlama yöntemi, ikili genetik algoritmalarda kullanılan düzenli çaprazlamanın (uniform crossover),  $CR$  eklenmiş hali olarak da tanımlanabilir [60].

Deneme kromozomuna ait her bir gen  $CR$  olasılıkla fark kromozomundan  $1-CR$  olasılıkla mevcut kromozomdan seçilir. Düzenli çaprazlamada her bir gen ayrı olarak değerlendirilip eşit olasılıkla iki ebeveyn kromozomundan birinden seçilmektedir. TEA’da ise eşit olasılık yerine  $CR$  olasılığı söz konusudur. 0 ile 1 arasında üretilen rasgele sayı  $CR$ ’den küçükse gen,  $n_{j,i,G+1}$ ’den aksi takdirde mevcut kromozomdan seçilir. Amaç belirlenen oranda genin yeni fark kromozomundan alınmasıdır. Çaprazlama işleminin matematiksel ifadesi Eşitlik (3.19)’de gösterilmektedir [60];

$$\forall j \leq D : x_{j,u,G+1} = \begin{cases} x_{j,n,G+1} & \text{eğer } rand[0,1] \leq CR \vee j = j_{rand} \\ x_{j,i,G} & \text{aksi durum} \end{cases} \quad (3.19)$$

- $D$  : değişken sayısı (gen sayısı) ( $1, 2, 3, \dots, j$ )
- $i$  : kromozom parametresi
- $j$  : gen parametresi
- $n_{j,i,G+1}$  : mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom

Buradaki  $j = j_{\text{rand}}$  koşulu, en az bir tane genin üretilen yeni kromozomdan alınmasını garanti etmek amacıyla konulmuştur. Rastgele seçilen  $j_{\text{rand}}$  noktasındaki gen  $CR$ ' ye bakılmaksızın  $n_{j,i,G+1}$ ' den seçilir [60].

#### 3.4.4.4. SEÇİM

Seçim operatörü ile mevcut nesil ve üretilen yeni kromozomlar değerlendirilerek yeni nesil oluşturulur. Kromozomların yeni nesilde yer alma olasılıkları uygunluklarına bağlıdır. Türevsel evrim algoritmasında karşılaştırma birebir yapıldığından seçim için karmaşık prosedürü olan seçim operatörlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Karşılaştırılan kromozomlardan uygunluğu yüksek olan kromozom yeni neslin bireyi olarak atanmaktadır.

Seçim operatörüne ait işlem Eşitlik (3.20)' de görülmektedir [60].

$$\forall i \leq NP : x_{i,G+1} = \begin{cases} x_{u,G+1} & \text{eğer } f(x_{u,G+1}) \leq f(x_{i,G}) \\ x_{i,G} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.20)$$

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

### 4.1. XFDTD BENZETİM PROGRAMI

Günümüzde elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılan değişik ve çok sayıda nümerik yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları problemleri çözerken zaman domeninde çalışırken, bazıları ise frekans domeninde işlem yapar. Her yöntem ancak belli koşullarda doğru sonuçlar verdiği için, bütün elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılacak çok sayıda problem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları; Zaman Domeninde Sonlu Farklar Metodu (FDTD), Moment Metodu (MoM), İletim Hattı Metodu (TLM), Sonlu Eleman Metodu (FEM) şeklinde sıralanabilir [58-59].

Sayısal yöntemlerin uygulanmasında bellek (RAM) yeterliliği, işlemci (CPU) hızı ve yeterliliği, benzetim süresi fiziksel olarak dikkat edilmesi gereken noktalar. Bunun yanında modellemede üst seviyeli programlama dillerinin kullanılması ve sonuçları uygun formatta işleyebilecek gelişmiş grafik çizim programlarının seçimi de oldukça önemlidir. Bu nedenle kullanılan sayısal yöntemin ve problemin gerektirdiği tüm sistem ihtiyaçları iyi belirlenmeli ve bir optimizasyon yapılmalıdır [58-59].

FDTD yöntemi, elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılan en popüler sayısal yöntemlerden biridir. FDTD yöntemi 30 yılı aşkın bir süredir var olmasına rağmen, popülerliğinin artması bilgisayarların hız ve kapasiteleri artmasına bağlı olduğu için metodun kullanım alanı özellikle son yıllarda oldukça fazla bir artış göstermiştir. Ayrıca metodun geliştirilmesine yönelik yayınların artması da metodun çekiciliğini arttırmaktadır [58-59].

XFDTD; FDTD metodu üzerine temellenmiş, 3 boyutlu tüm dalga elektromanyetik çözüm yöntemidir. 1994 yılından itibaren REMCOM şirketi tarafından endüstriyel, akademik ve siyasi alanda kullanıcılar için güçlü yazılımlar üretilmektedir. XFDTD hücreli telefon benzetimleri üzerine temellenirken çeşitli



kimyasal, optik, radar, biyomedikal araçları ve ek olarak wireless, mikrodalga devreleri ile radar saçılım problemleri üzerine çalışma yapan pazarlara erişebilmek için kullanılan ticari bir yazılımdır. Pek çok elektromanyetik benzetim programları frekans domaininde çalışırken XFtd Maxwell Denklemlerini zaman domaininde çözer. Bunun anlamı her bir zaman adımında elektromanyetik alan işlem değerlerinin kesikli olarak hesaplanmasıdır. Zaman bölgesinde çalışmanın diğer bir yararı da programda zaman bölgesinde tek bir uyarıyla çıkışın frekansta çok geniş bir bant aralığında incelenebilmesidir. Bununla beraber FDTD yaklaşımı kullanılmasının ana sebebi problem boyutlarının büyümesi ile metodun muhteşem saçılma performansı gösterebilmesidir. Değişken sayısının artmasıyla FDTD çözümleri diğer metotlardan daha doğru sonuçlar verir [58-59].

XFtd programında bir benzetim oluşturmak temel olarak dört aşamadan meydana gelmektedir; [65]

1. Geometrinin Oluşturulması
2. Geometrinin Hücrelere Ayrıştırılması (Izgaralama)
3. Çalışma Parametrelerinin Tanımlanması
4. İstenen Sonuçların Belirlenmesi

Benzetim oluşturulurken yukarıdaki maddeler adım adım izlenmelidir.

#### 1. Geometrinin Oluşturulması:

XFtd programında katı ve boyutları belirli nesnelere kullanılır. Geometri kullanıcı tarafından oluşturulduğu gibi katı cisimlerin oluşturulmuş hazır CAD dosyaları da program tarafından kullanılabilir. Şekil 4.1.'de (Ek.1) XFtd de oluşturulmuş örnek bir geometri gösterilmektedir [65].

## 2.Geometrinin Hücelere Ayrıştırılması (Izgaralama):

İlk olarak benzetimi gerçekleştirilmek istenen geometri tanımlandıktan sonra bu geometrinin sonlu FDTD hücrelerinden oluşturulması gerekmektedir. Cismin küçük hücelere ayrılması olayına ‘ızgaralama’ denir. Şekil 4.2.’de (Ek.1), Şekil 4.1.’de (Ek.1) verilen örnek bir geometrinin ızgaralama işleminden sonraki görüntüsü görülmektedir. Izgaralamanın yapılabilmesi için hücre boyutlarının belirlenmesi gereklidir. Hücre boyutlarına karar verilmesi için birkaç faktöre dikkat edilmesi gerekir. Bu faktörlere kısaca değinmek gerekirse [65];

Dalga boyu: Hücre boyutlarındaki ilk kısıtlama dalga boyudur. FDTD hücresi benzetim yapılacak cisme verilen dalganın dalga boyunun onda birinden daha büyük olamaz. Daha açık bir ifadeyle maksimum hücre boyutu tanımlanacak olursa [65];

$$L_{\max} = \frac{c}{10.f} \quad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;  $f$ , cisme kaynak olarak verilen dalganın frekansı,  $c$ , ışık hızı ve  $L_{\max}$ , maksimum hücre boyutudur.

Geometrinin Özellikleri: FDTD hücresi oluşturulan geometrinin en küçük elemanından daha küçük olmalıdır. Mesela iki tel şeklinde antenden oluşan bir geometrimiz var ise maksimum hücre boyutları bu ince tel şeklindeki geometrilere göre küçülmelidir.

Doğruluk: Küçülen hücre boyutları ile daha hassas hesaplamalar yapılacağından dolayı benzetim daha doğru sonuçlar verecektir fakat bunun yanında benzetim süresi uzamaktadır. Hücre boyutları belirlenirken bunlara da dikkat edilmesi gerekmektedir.

### 3.Çalışma Parametrelerinin Belirlenmesi:

Benzetimi yapılmak istenen cisim ızgaralama sonucu küçük FDTD hücrelerine ayrıldıktan sonra cismin elektriksel olarak nasıl ve ne ile beslenmesi gerektiğinin belirlenip uygulandığı kısımdır. Mesela cisme seri veya paralel olarak kaynak bağlanabilir bunun yanında besleme tipi olarak düzlem dalga voltaj kaynağı akım kaynağı veya herhangi kullanıcı tarafından belirlenen özel dalga formları da uygulanabilir. Bunun yanında bu kısımda belirlenmesi gereken bir diğer husus da cismin içinde bulunduğu uzay için dış koşulların belirlenmesidir. Örneğin cisim mükemmel manyetik geçirgenliğe sahip (Perfect Magnetic Conductor) bir ortamda, mükemmel elektriksel geçirgenliğe sahip (Perfect Electric Conductor) bir ortamda veya yayılan dalgayı soğuran (Absorbing) bir ortamda olabilir. Şekil 4.3.'de (Ek.1) Şekil 4.1'de (Ek.1) verilen geometrinin XFtd programında çalışma parametrelerinin belirlendiği ekran penceresi görülmektedir [65].

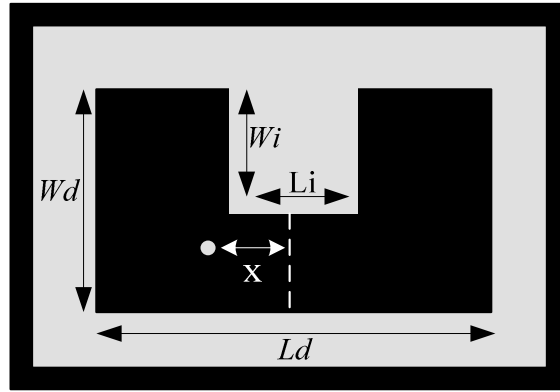
### 4. İstenen Sonuçların Belirlenmesi:

FDTD hücrelerine ayrılan cismin benzetimini çalıştırmak için çıkış verilerinin tanımlanması gerekmektedir. Pek çok farklı çıkış verileri mevcuttur. Örneğin bir anten benzetiminde antenin yakın veya uzak elektrik alan veya manyetik alan değerleri, ızgaralanmış yani yatay olarak da dilimlere ayrılmış anten geometrisinde herhangi bir dilimde antenden yayılan 3 boyutlu elektromanyetik dalga görüntüsü veya antenin kazanç grafiği gibi sonuçlar elde edilebilir. Kullanıcı istediği sonuçları elde etmek için gerekli düzenlemeleri yaptıktan sonra programın hesaplamaya başlaması için oluşturduğu projeyi kaydetmesi gerekmektedir. İstenilirse oluşturulan geometri dosyası da ayrı olarak kaydedilebilir. Şekil 4.4.'de Şekil 4.1'de (Ek.1) verilen geometri için XFtd'de istenen sonuçların belirlendiği ekran penceresi görülmektedir [65].

## 4.2. CKMA'NIN BENZETİMİ

### 4.2.1. Geometrinin Oluşturulması

XFtdt ile geleneksel DMA'nın benzetimine benzer olan CKMA benzetiminin uygulanabilmesi için ilk olarak programda DMA'nın geometrisi oluşturulmalıdır. Çünkü CKMA, DMA'da açılan bir boşluk ile elde edilir. DMA geometrisi elde edildikten sonra Şekil 4.5.'de verilen CKMA geometrisi elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Benzetimi yapılacak olan CKMA geometrisi

Genel olarak bir DMA'nın şekline bakacak olursak en üst kısımda ince bir metal tabaka vardır. Bu kısım benzetimde dikdörtgen ve kalınlığı ihmal edilen mükemmel iletken bir tabaka olarak tanımlanır. Hemen altındaki alttaş (substrat) kısım ise dielektrik kısımdır. Dielektrik kısım dikdörtgenler prizması şeklinde olup z yönünde belli bir h kalınlığına ve belli bir elektriksel geçirgenliğe sahiptir. En alt kısım ise toprak düzlemi olup aynı dielektrik kısım gibi mükemmel iletken ve kalınlığı ihmal edilen ince dikdörtgen yüzey olarak tanımlanarak benzetim geometrisinin oluşturulması işlemi adım adım tamamlanır.

Öncelikle iletken yamanın tasarlanabilmesi için bilinen geometrilerin tanımlandığı hazır ikonlardan ince dikdörtgen yüzey (Thin Rectangular Plate) seçilir. Yüzeyin tanımlanacağı pencerede x, y, z koordinatlarında yüzeyin merkez

noktaları belirlenir ve ardından  $x$  ve  $y$  yönlerinde sırasıyla DMA'nın uzunluğu  $Ld$  ve genişliği  $Wd$  uzunlukları istenilen değerler olarak girilir. Şekil 4.6'da (Ek.2) oluşturulacak CKMA'nın yama iletkeninin dış genişlik ve uzunluğunun belirlenmesi işleminin yapılması görülmektedir.

Yüzeyin  $xy$  düzleminde olmasını istediğimizden dolayı  $z$  yönündeki kalınlığı ihmal edilir. Burada açıklanan örnek benzetimimiz için CMA'nın dış boyutları  $Ld=3\text{cm}$ , ve  $Wd=2\text{cm}$ 'dir. En son işlem olarak yüzeyin yapısının ayarlandığı kısmı mükemmel elektriksel geçirgen (PEC) olarak ayarlayarak yüzey elde edilmiş olunur. Yüzeyin oluşturulduktan sonraki hali Şekil 4.7.'de (Ek.2) gösterilmektedir

Şekil 4.7.'de (Ek.2) gösterilen CKMA'nın geometrisine dikkat edilecek olursak antende DMA'dan farklı olarak antenin boyunca yani antenin ışınım yapmayan kenarından kesilmiş bir boşluk bulunmaktadır. Bu geometrinin oluşturulması için en basit yöntem plakadan bir dikdörtgen prizma çıkarmaktır. Bu yüzden istenilen boşluğun boyutlarına göre bir dikdörtgen prizma elde edilebilir ve çıkarma işlemi gerçekleştirilir.

Boşluk kısmı için tanımlaması gereken dikdörtgenler prizması öncelikle köşe noktaları daha sonra  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerinde elde edilmesi istenen uzunluklara göre tanımlanır. Dikkat edilmesi gereken nokta öncelikle  $Li$  denilen boşluk uzunluğunun prizmanın  $x$  kenarına ve  $Wi$  denilen boşluk genişliğinin prizmanın  $y$  kenarına karşılık gelecek şekilde ayarlanmasıdır. Ayrıca  $z$  yönünde, yamanın olduğu  $z$  konumunu kapsayacak bir aralık belirlenmelidir. Dikdörtgenler prizmasının antenin  $x$  düzleminde simetrisini bozmayacak ve  $y$  düzleminde dikdörtgen plaka ile birebir eşleşecek şekilde yerleştirilmesine de dikkat edilmelidir. Şekil 4.8'de (Ek.2) burada açıklanan bir örnek CKMA benzetimi için oluşturulan dikdörtgenler prizmasının boyutlarının belirlenmesi gösterilmektedir. Açıklanan örnek benzetimimiz için açılan boşluk boyutları  $Li=1.2\text{ cm}$  ve  $Wi=0.5\text{ cm}$ 'dir.

Çıkarma işleminin yapılabilmesi için her iki geometri seçilir ve çıkarma operatörü kullanılır. Bu işlemin yapılması sırasında gözlemlenen ekran görüntüsü Şekil 4.9.'da (Ek.2) verilmiştir.

Bu aşamada ekrana gelen pencere de yama kısmından oluşturulan dikdörtgen prizmasının çıkarılması işlemi onaylanarak çıkarma işlemi tamlanır. Bu işlemin yapılması sırasında gözlenen ekran görüntüsü Şekil 4.10.'da (Ek.2) verilmiştir.

Yama olarak tanımladığımız ince dikdörtgen yüzeyden daha sonra oluşturduğumuz dikdörtgenler prizması çıkarılarak elde edilen antenin yeni yama kısmı CKMA'nın iletken yama kısmıdır. Elde edilen CKMA'nın iletken yama kısmı Şekil 4.11.'de (Ek.2) görülmektedir.

Bu aşamadan sonra antenin yama kısmını kapsayacak ve yama kısmına nazaran biraz daha genişçe olan dielektrik kısmının tasarlanması gerekmektedir. Dielektrik kısmı da dikdörtgen prizma olarak tasarlanır fakat materyalin dielektrik sabiti ( $\epsilon_r$ ) ve kalınlığı ( $h$ ) dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerdir. Yama kısmı  $xy$  düzleminde tasarlandığından dolayı alttaş kalınlığı ( $h$ ),  $z$  yönünde olmalıdır. Alttaş  $z$  yönünde antenin yama kısmı olarak tasarlanan plaka kısmına kadar uzanmalı adeta yapışık vaziyette olmalıdır.

Dikdörtgen prizmasının öncelikle boyutları belirlenir ve daha sonra yapısal parametreleri tanımlanır. Bu işlemlerin yapılışı sırasıyla Şekil 4.12. (Ek.2) ve Şekil 4.13.'de (Ek.2) gösterilmiştir. Bu benzetimimiz için alttaşımızın kayıp tanjant;  $\delta$ , 0.001 ve  $\epsilon_r$ , 4.28 olarak alınmıştır.

Antenin şu ana kadar oluşan geometrisin CKMA ile uyarlanmış hali Şekil 4.14.'de (Ek.2) gösterilmiştir. Benzetimimizde  $z=0$ 'dan itibaren  $h$  uzunluğu başlamış ve dielektrik kalınlığı olan  $z=0.169$  cm'ye kadar devam etmiştir. Yama kısım ise bu örnekte;  $z=0.169$  cm'de konumlanmıştır.

Bu aşamadan sonra toprak kısmının ayarlanması için alttaşın en alt kısmına alttaş boyutlarında plaka levha eklenebilir. Fakat daha pratik olan ızgaralama işleminden sonra,  $z=0$  konumuna gelen alttaş zemin noktasında ilk sırayı çalıştırma parametrelerinden (run parameters) dış sınır (outer boundary) koşulları olarak PEC (Perfect electric conductor) ayarlamaktır. Böylece toprak iletkeni mükemmel iletken olarak ayarlanır yani tıpkı CKMA'nın zeminde bir iletken levha varmış gibi olur ve yeni bir plaka oluşturmaya gerek kalmaz.

#### 4.2.2. Izgaralama İşlemi ve Çalışma Parametreleri

Geometride ızgaralama işlemi yapıldıktan sonra  $xy$ ,  $yz$ ,  $xz$  düzlemlerinde sırasıyla  $z$ ,  $x$  ve  $y$  yönlerinde ilk sıra hücreler veya son sıra hücreler için PEC, PMC veya soğurucu (absorbing) gibi farklı tiplerde sınırlar belirlenebilir. Bu değerler değiştirilmediği takdirde program soğurucu yüzeyi dış koşul olarak atar. Programın bu özelliği kullanılarak  $xy$  düzleminde  $z$  hücrelerinin ilk sırası PEC olarak atanır. Bunun sonucunda toprak düzleminin tıpkı yama kısım gibi mükemmel iletken olarak alındığına dikkat edilmelidir. Bu işlemin yapılması için önce ızgaralama işlemi (meshing) yapılmalıdır. Izgaralama işlemi için [65];

$$L_{\max} = \frac{c}{10.f} \quad (4.2)$$

denklemini kullanılarak hücre boyutları ayarlanılır.

Bu benzetim örneği için  $f=42.83$  GHz maksimum frekans alınmaktadır. Bu durumda hücre boyutları 0.07 cm olarak alınır. Frekans bizim çıkış grafiğinde inceleyeceğimiz frekans aralığını belirler yani yaklaşık 43 GHz'e kadar olan frekans aralığı çıkış grafiğinde gözlenebilecektir. Izgaralama işleminde dikkat edilmesi gereken bir başka detay  $x$  ve  $y$  yönlerinde anten geometrisinin alt ve üst kısmında geometri dışında kalan 20 hücre kadarlık bir alanın da hücrelere ayrılırken;  $z$  yönünde sadece üst kısımda anten dışında kalan 20 hücrelik bir alanın

hücrelere ayrıldığıdır. Bunun nedeni  $z$  yönünde  $z=0$ 'da ilk sıra hücrelerin daha önce de belirtildiği gibi anten geometrisinde toprak düzleme denk gelmesi için PEC olarak ayarlanmasıdır.

Şekil 4.15.'de (Ek.2) antenin ızgaralanma işleminin yapılması ve Şekil 4.16.'da (Ek.2) ızgaralama işlemi sonrasında toprak yüzeyinin oluşturulması için  $z$  yönünde ki hücrelerin PEC olarak ayarlanması sırasında görünen program penceresi verilmiştir.

Izgaralama işlemi sonucunda  $xy$  düzleminde antenin hücrelere bölünmüş hali ızgaralama modu seçildiğinde (meshing mode) ve  $z$  yönünde uygun hücre sırası (slice) ayarlandığında görülebilmektedir. Geometrinin hücrelere ayrılmış halinin görüldüğü ekran penceresi Şekil 4.17.'de (Ek.2) görülmektedir.

Toprak düzlemi de ayarlandıktan sonra antenin beslenmesi işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada önemli olan yama kısım ve toprak düzleminin polarizasyonları farklı olmasıdır. Yani antenin yama kısmından toprak kısmına doğru bir elektrik alan oluşturulması gerekmektedir ve bunun için yama kısım artı yükü toprak kısım eksi yükü yüklenmelidir. Bu işlemi yapmak için koaksiyel kablo geometrisi oluşturulabilir fakat daha pratik olan iletken bir tel üzerinde seri bir voltaj kaynağı bağlayarak kaynağın artı kısmını yama kısmına ve eksi kısmını da toprağa gelecek şekilde ayarlamaktır.

Bu işlemin gerçekleştirilmesi için öncelikle  $z$  yönünde toprak kısmından başlayarak yama anten kısmına uzanan mükemmel iletken bir tel tanımlanmalıdır. Şekil 4.18.'de (Ek.2) antenin beslenmesi olarak ayarlanacak telin tanımlanması görülmektedir. Tanımlanan telde dikkat edilmesi gereken noktalardan bir diğeri  $x$  ve  $y$  yönünde telde her iki uçta bir değişim olmamasıdır. Yani tel geometrisi sadece  $z$  yönünde değişmektedir.

Antenin beslenmesi için oluşturulan telin ızgaralama sonrası  $xz$  düzlemindeki antenin yandan görüntüsünde uygun düzlem seçildikten sonra besleme kısmının



görüldüğü ekran penceresi Şekil 4.19'da (Ek.2) gösterilmiştir. Bu işlemten sonra z yönünde besleme oluşabilmesi için bir seri voltaj kaynağının pozitif ucunun yama kısmına, negatif ucunun da toprak kısmına gelmesi gerekmektedir. Bunun oluşabilmesi için ızgaralama işleminden sonra besleme kısmında telin ilk hücresinde +z yönünde seri voltaj kaynağı olarak belirlenmesi gerekir. Şekil 4.20.'de (Ek.2) telin antene kaynak girişi sağlayacak port olarak belirlenmesi işlemi görülmektedir.

Bu işlemde çalışma parametrelerinde portun ayarlanması gerekir. Tel üzerinde seçilen hücrenin port olarak ayarlanması istendiğinde çalışma parametrelerinden portun tanımlanması kısmında x, y ve z yönlerinde voltaj kaynağı konumu otomatik olarak görülmektedir. Bunun yanında rezonans frekansının gözleneceği grafiğin elde edilebilmesi için s-parametreleri açık olarak ayarlanmalı ve anten ile empedans uyumu sağlanması için koaksiyel kablo direncinin 50 ohm olması gerekmektedir. Şekil 4.21.'de (Ek.2) besleme parametrelerinin belirlendiği ekran penceresi görülmektedir. Aynı zamanda uygulanan kaynağın tanımlanması da bu aşamada gerçekleştirilir. Bu benzetimde seri voltaj kaynağı seçilmiş ve besleme noktasının yönünün z yönü olarak belirlendiği besleme konumunun hemen üst kısmında görülmektedir. Bunun anlamı voltaj kaynağının (+) ucu yama kısma, (-) ucu toprak düzlemine bağlıdır ve dolayısıyla antenin yama kısmından toprağa doğru bir elektrik alan oluşması sağlanmış olmaktadır.

Bunun yanında gene çalışma parametrelerinden dalga formu Gaussian olarak ayarlanır. Bu dalga şeklinin avantajı zamanda tek bir uyarı ile çıkışta geniş bir frekans aralığı incelenebilmeye olanak tanınmasıdır. Bu benzetimde ızgaralama işlemi sırasında yaklaşık 43 GHz frekans aralığı incelenmek üzere ayarlandığı için, Şekil 4.22.'de (Ek.2) dalga şeklinde frekans grafiğinin bu değere kadar uzandığı görülmektedir.

Eğer antenin frekans kazanç grafiğinin yanında zamanla antenin üzerindeki alan dağılımlarının görülmesi de isteniyorsa o zaman istenen sonuçlar kısmında alan dağılımlarının kaydedilmesi kısmı aktif hala getirilmelidir. Bu işlemin

sonucunda  $xy$  düzleminde istenen  $z$  konumu için elektrik alan değerleri zamanda belli adımlarda alınan değerlerle 3-boyutlu olarak görüntülenebilir. Bu durumda antende istenen  $z$  konumu antenin tam olarak yama kısmına denk gelen  $z$  konumudur. Bunun belirlenmesi antenin ızgaralama işleminden sonraki görüntüsüne bakılarak bulunur. Bu örnek için bu görüntü Şekil 4.23.'de (Ek.2) gösterilmiştir. Bizim örneğimizde bu  $z$  değeri, 19'dur. Yani  $z=0$ 'dan itibaren antenin enine dilimlenmesi sonucu 19. dilimde tam olarak anten yüzeyinde oluruz ve antenin yama kısmını görebiliriz. Bu değer belirlendikten sonra tüm zaman adımlarında kaç adımda bir alan değerinin kaydedilmesi ve gözlenmesi gerektiği belirlenmelidir. Bu değer çok küçük alınması benzetim süresinin çok uzaması anlamına gelir. Fakat çok büyük alınması da elektrik alan değerinin zamanda ki değişiminin gözlenememesine neden olur ki bu iki durumda istenmeyen durumlardır. Bu yüzden benzetimimiz için ortalama bir değer olan 10 değeri uygun görülmüştür yani her 10 adımda bir elektrik alan değeri gözlenecek ve kaydedilecektir. Bu işlemin yapıldığı ekran görüntüsü Şekil 4.24.'de (Ek.2) görülmektedir. Bütün bu ayarlamalar yapıldıktan sonra 'add sequence' butonuna tıklayarak oluşturduğumuz tanımlamalara göre alan değerlerinin kaydedilmesini sağlayabiliriz

Bu aşamadan sonra antenin geometri ve projesi ayrı ayrı kaydedilmelidir. Çünkü program kaydetme işlemi yapılmadan hesaplama aşamasına geçmez. Şekil 4.25.'de (Ek.2) CKMA'nın benzetiminin geometri ve proje olarak kaydedilmesi gösterilmektedir.

Geometri ve proje kaydedildikten sonra sonuçların görüleceği kısım aktif olmaktadır. Bu durumda hesaplamayı başlatan kısım (calculate) tıklanarak hesaplama işlemi başlar. Benzetimin hesaplama zamanını istenen sonuç değerlerinin fazlalığı oluşturulan geometrinin yapısı ve büyüklüğü gibi unsurlar oldukça büyük oranda etkiler. Hesaplama süresi genelde uzun olduğu (bizim benzetimimiz için minimum 20 dk.) için tasarım aşamasında hata yapılmaması önemlidir. Şekil 4.26. (Ek.2) benzetimin hesaplama işlemi sırasında gözlenen ekran penceresi görülmektedir.

### 4.2.3. Sonuç Grafiklerinin İncelenmesi

İstenilen sonuçlar için öncelikle  $S$  parametresinin açık olarak ayarlanmasıyla  $S_{11}$  & frekans grafiğinin gözlenmesi sağlanmakta ve bu sayede rezonans frekansının belirlenebilmektedir. Ayrıca yama kısmından yayılan alan da girilen parametreler ile gözlenebilmektedir. Öncelikle alanların gözlenmesi için geometri penceresinde hesaplama sonrasında aktif olan alan kontrol paneli butonu (field control panel) tıklanmalıdır. Şekil 4.27.'de (Ek.2) alan kontrol panelinin çalıştırılması sırasında gözlenen ekran görüntüsü görülmektedir.

Alan kontrol panelinde onar onar artan her bir zaman adımındaki alan değerleri kaydedilmiştir. Her bir adım tıklanarak anten üzerinde seçilen moda göre 3 boyutlu veya normal olarak alan yüklenir. Şekil 4.28.'de (Ek.2) örnek olarak 3101. zaman adımında anten üzerindeki alan dağılımları görülmektedir. Şekil 4.28.'de (Ek.2) mod normal ayarlanmıştır. Yani görüntü iki boyutludur ve koyu renk bölgeler en fazla yansıma olan bölgelerdir. Şekil 4.29.'da (Ek.2) ise üç boyutlu olarak antenden yayılan alanlar gösterilmiştir. Dikkat edilirse özellikle üç boyutlu görüntüde antenin yüzeyinde alanlar kırmızı ve turuncudur bunun anlamı yüzeyde neredeyse 0 db'lik ışımaya vardır. En çok ışımaya antenin  $Wd$  ile temsile edilen enine kenarlarında oluşmaktadır. Bu bölgelerde renk yeşil veya mavidir.

Alan dağılımlarının yanında rezonans frekansının belirlenebilmesi için  $S_{11}$  & frekans grafiği gözlenmelidir. Bu grafiğin anlaşılabilmesi için öncelikle  $S_{11}$  parametresinin tanımlanması gerekir. Ek.3'de  $s$  parametrelerine ilişkin detaylı bilgi verilmiştir. Bu grafik sayesinde antenin rezonansa geldiği frekans gözlemlenebilir. Şekil 4.30.'da (Ek.2) da görüldüğü gibi benzetimi verilen örnek CKMA için, sonuçlar kısmında frekans verilerinden biri olan  $S_{11}$  & frekans grafiğinin çizdirilmesi seçilmelidir.

Şekil 4.31.'de (Ek.2) 0-5 GHz arasında antenin rezonansa geldiği frekanslar gözlenebilmektedir. Antenin -3dB kazancına ulaştığı frekans rezonans frekansı

olarak adlandırılır. Buradaki örnek benzetimimizin grafiğinde 2.124 GHz de, -3.96 dB kazançca ulaşılmıştır.  $S_{11}$  geri yansıma katsayısıdır ve kazanç denklemi;

$$S_{11} = \text{Geri Yansıma Katsayısı} = \tau = \frac{V_T}{V_I} \quad (4.3)$$

$$\text{İletim Kaybı (Insertion Loss)} = -20 \log \tau \quad (\text{dB}) \quad (4.4)$$

$$\text{Kazanç} = 20 \log \tau \quad (\text{dB}) \quad (4.5)$$

Örnek olarak benzetimi yapılan CKMA için kazancın hesaplanması için Eş.(4.5)'de verilen kazanç denklemi kullanılır,

$$\text{Kazanç} = -3.96 = 20 \log \frac{V_T}{V_I}$$

ve bu denkleme göre iletim katsayısı,  $\tau$  hesaplanacak olursa;

$$-0.198 = \log \tau$$

$$\tau = 0.634$$

değeri elde edilir. Bulunan  $\tau$  değerinin anlamı; -3.96 dB değerini veren frekansta; iletilen voltaj değerinin uygulanan voltajın 0.63 katı olduğu değeri olduğudur. Burada amaç -3dB değerinin altına düşülen ilk frekans değerinin belirlenmesidir. Bu değer altına düştüğümüz frekans değeri antende uyarılan ilk moddur. Elbette daha yüksek frekanslarda antende ikinci, üçüncü ve daha yüksek değerli modların uyarılması meydana gelecektir.

### 4.3. YENİ DENKLEMİN ELDE EDİLMESİ

Tez çalışmamızda dış boyutları farklı üç tane CKMA incelenmiştir. Dış boyutlar belirlenirken, CKMA'nın iletken yama kısmının uzunluğu,  $Ld$  ve genişliği,  $Wd$  olmak üzere;

$$\frac{Ld}{Wd} = \frac{3}{2} \quad (4.6)$$

oranı kullanılmıştır. Ayrıca her bir CKMA için iletken yama kısmında açılan boşluk boyutları olan iç boyutlar, dış boyutların belirli oranlarda değiştirilmesiyle belirlenmiştir. İç boyutlar olan boşluk uzunluğu,  $Li$  ve genişliği,  $Wi$ 'nin belirlenmesi için, aynı doğrultudaki dış boyutlara bağlı aşağıda verilen aralıklar kullanılmıştır;

$$Ld \cdot \frac{20}{100} < Li < Ld \cdot \frac{80}{100} \quad (4.7)$$

$$Wd \cdot \frac{20}{100} < Wi < Wd \cdot \frac{80}{100} \quad (4.8)$$

Bu eşitsizliklerin anlamı;  $Li$  ve  $Wi$  değerlerinin, aynı doğrultudaki dış boyutun %20'si ile %80'i arasında belirlenen değerde olduğudur. Bunların yanında her bir anten için 3 farklı alttaş dielektrik sabiti,  $\epsilon_r$  kullanılmıştır. Bu  $\epsilon_r$  değerleri; 2.33, 4.28 ve 9.8'dir. Şekil 4.32.'de (Ek.2) benzetimi yapılan CKMA geometrisi üzerinde parametreler gösterilmiştir.

Benzetimi yapılan antenleri dış boyutlarına göre üç farklı grupta toplamak mümkündür. Bu üç gruptaki antenlerin fiziksel ve elektriksel parametreleri ile benzetim sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri üç çizelge halinde aşağıda verilmiştir.

*Birinci Grup Antenler:* Bu gruptaki antenlerin elektriksel ve fiziksel parametreleri şu aralıklarda değişmiştir;

<i>Dış boyutlar;</i>	$L_d=3 \text{ cm}, W_d=2 \text{ cm}$
<i>İç boyutlar;</i>	$0.6 \text{ cm} < L_i < 2.4 \text{ cm},$ $0.4 \text{ cm} < W_i < 1.6 \text{ cm}$
<i>Alttaş kalınlığı;</i>	$h= 0.16\text{cm}$
<i>Alttaş dielektrik sabiti;</i>	$\epsilon_r =2.33, 4.28, 9.8$

Ayrıca bu grupta benzetimi yapılan her bir anten için elektriksel ve fiziksel parametreler ve s benzetim sonucunda elde edilen rezonans frekansı,  $f_s$  değerleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir

Çizelge 4.1. Birinci grup antenler için elektriksel ve fiziksel parametreler ile benzetim sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri

$L_d \text{ (cm)}$	$W_d \text{ (cm)}$	$L_i \text{ (cm)}$	$W_i \text{ (cm)}$	$\epsilon_r$	$h \text{ (cm)}$	$f_s \text{ (GHz)}$
3	2	0.7	0.5	2.33	0.16	2.92
3	2	0.7	0.7	2.33	0.16	2.708
3	2	0.7	1.2	2.33	0.16	2.177
3	2	0.7	1.5	2.33	0.16	1.805
3	2	1.2	0.5	2.33	0.16	2.867
3	2	1.2	0.7	2.33	0.16	2.654
3	2	1.2	1.2	2.33	0.16	2.124
3	2	1.2	1.5	2.33	0.16	1.752
3	2	1.5	0.5	2.33	0.16	2.867
3	2	1.5	0.7	2.33	0.16	2.654
3	2	1.5	1.2	2.33	0.16	2.124
3	2	1.5	1.5	2.33	0.16	1.752
3	2	2	0.5	2.33	0.16	2.867
3	2	2	0.7	2.33	0.16	2.708
3	2	2	1.2	2.33	0.16	2.178
3	2	2	1.5	2.33	0.16	1.805
3	2	0.7	0.5	4.28	0.16	2.177
3	2	0.7	0.7	4.28	0.16	2.017

Çizelge 4.1 (Devam)

3	2	0.7	1.2	4.28	0.16	1.646
3	2	0.7	1.5	4.28	0.16	1.38
3	2	1.2	0.5	4.28	0.16	2.124
3	2	1.2	0.7	4.28	0.16	1.964
3	2	1.2	1.2	4.28	0.16	1.593
3	2	1.2	1.5	4.28	0.16	1.327
3	2	1.5	0.5	4.28	0.16	2.124
3	2	1.5	0.7	4.28	0.16	1.964
3	2	1.5	1.2	4.28	0.16	1.593
3	2	1.5	1.5	4.28	0.16	1.327
3	2	2	0.5	4.28	0.16	2.177
3	2	2	0.7	4.28	0.16	2.017
3	2	2	1.2	4.28	0.16	1.646
3	2	2	1.5	4.28	0.16	1.38
3	2	0.7	0.5	9.8	0.16	1.433
3	2	0.7	0.7	9.8	0.16	1.38
3	2	0.7	1.2	9.8	0.16	1.115
3	2	0.7	1.5	9.8	0.16	0.902
3	2	1.2	0.5	9.8	0.16	1.433
3	2	1.2	0.7	9.8	0.16	1.327
3	2	1.2	1.2	9.8	0.16	1.062
3	2	1.2	1.5	9.8	0.16	0.902
3	2	1.5	0.5	9.8	0.16	1.433
3	2	1.5	0.7	9.8	0.16	1.327
3	2	1.5	1.2	9.8	0.16	1.062
3	2	1.5	1.5	9.8	0.16	0.902
3	2	2	0.5	9.8	0.16	1.433
3	2	2	0.7	9.8	0.16	1.327
3	2	2	1.2	9.8	0.16	1.115
3	2	2	1.5	9.8	0.16	0.956

İkinci Grup Antenler: Bu gruptaki antenlerin elektriksel ve fiziksel parametreleri şu aralıklarda değişmiştir;

<i>Dış boyutlar;</i>	$L_d=6 \text{ cm}, W_d=4 \text{ cm}$
<i>İç boyutlar;</i>	$1.2 \text{ cm} < L_i < 4.8 \text{ cm},$ $0.8 \text{ cm} < W_i < 3.2 \text{ cm}$
<i>Alttaş kalınlığı,</i>	$h= 0.3 \text{ cm}$
<i>Alttaş dielektrik sabiti;</i>	$\epsilon_r = 2.33, 4.28, 9.8$

Ayrıca bu grupta benzetimi yapılan her bir anten için elektriksel ve fiziksel parametreler ve benzetim sonucunda elde edilen rezonans frekansı,  $f_s$  değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir

Çizelge 4.2. İkinci grup antenler için fiziksel ve elektriksel parametreler ile benzetimler sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri

$L_d \text{ (cm)}$	$W_d \text{ (cm)}$	$L_i \text{ (cm)}$	$W_i \text{ (cm)}$	$\epsilon_r$	$h \text{ (cm)}$	$f_s \text{ (GHz)}$
6	4	1.3	0.9	2.33	0.3	1.469
6	4	1.3	1.3	2.33	0.3	1.386
6	4	1.3	2	2.33	0.3	1.192
6	4	1.3	3	2.33	0.3	0.915
6	4	2	0.9	2.33	0.3	1.442
6	4	2	1.3	2.33	0.3	1.358
6	4	2	2	2.33	0.3	1.164
6	4	2	3	2.33	0.3	0.887
6	4	3	1.3	2.33	0.3	1.331
6	4	3	2	2.33	0.3	1.164
6	4	3	3	2.33	0.3	1.026
6	4	4	0.9	2.33	0.3	1.469
6	4	4	1.3	2.33	0.3	1.358
6	4	4	2	2.33	0.3	1.192
6	4	4	3	2.33	0.3	0.915



Çizelge 4.2 (Devam)

6	4	1.3	0.9	4.28	0.3	1.109
6	4	1.3	1.3	4.28	0.3	1.026
6	4	2	0.9	4.28	0.3	1.081
6	4	2	1.3	4.28	0.3	0.998
6	4	2	2	4.28	0.3	0.859
6	4	2	3	4.28	0.3	0.665
6	4	3	0.9	4.28	0.3	1.081
6	4	3	1.3	4.28	0.3	0.998
6	4	3	2	4.28	0.3	0.859
6	4	3	3	4.28	0.3	0.776
6	4	4	0.9	4.28	0.3	1.109
6	4	4	1.3	4.28	0.3	1.026
6	4	4	2	4.28	0.3	0.887
6	4	4	3	4.28	0.3	0.693
6	4	1.3	0.9	9.8	0.3	0.743
6	4	1.3	1.3	9.8	0.3	0.693
6	4	1.3	2	9.8	0.3	0.582
6	4	1.3	3	9.8	0.3	0.471
6	4	2	0.9	9.8	0.3	0.721
6	4	2	1.3	9.8	0.3	0.665
6	4	2	2	9.8	0.3	0.582
6	4	2	3	9.8	0.3	0.444
6	4	3	0.9	9.8	0.3	0.721
6	4	3	1.3	9.8	0.3	0.665
6	4	3	2	9.8	0.3	0.582
6	4	3	3	9.8	0.3	0.444
6	4	4	0.9	9.8	0.3	0.749
6	4	4	1.3	9.8	0.3	0.693
6	4	4	2	9.8	0.3	0.61
6	4	4	3	9.8	0.3	0.471

Üçüncü Grup Antenler: Bu gruptaki antenlerin elektriksel ve fiziksel parametreleri şu aralıklarda değişmiştir;

<i>Dış boyutlar;</i>	$L_d=9 \text{ cm}, W_d=6 \text{ cm}$
<i>İç boyutlar;</i>	$1.8 \text{ cm} < L_i < 7.2 \text{ cm},$ $1.2 \text{ cm} < W_i < 4.8 \text{ cm}$
<i>Altaş kalınlığı;</i>	$h= 0.6\text{cm}$
<i>Altaş dielektrik sabiti;</i>	$\epsilon_r =2.33, 4.28, 9.8$

Ayrıca bu grupta benzetimi yapılan her bir anten için elektriksel ve fiziksel parametreler ve benzetim sonucunda elde edilen rezonans frekansı,  $f_s$  değerleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir

Çizelge 4.3. Üçüncü grup antenler için elektriksel ve fiziksel parametreler ile benzetimler sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri

$L_d \text{ (cm)}$	$W_d \text{ (cm)}$	$L_i \text{ (cm)}$	$W_i \text{ (cm)}$	$\epsilon_r$	$h \text{ (cm)}$	$f_s \text{ (GHz)}$
9	6	2	2	2.33	0.6	0.915
9	6	2	2.5	2.33	0.6	0.859
9	6	2	3	2.33	0.6	0.804
9	6	2	4	2.33	0.6	0.693
9	6	2.5	1.3	2.33	0.6	0.97
9	6	2.5	2	2.33	0.6	0.915
9	6	2.5	2.5	2.33	0.6	0.859
9	6	2.5	3	2.33	0.6	0.776
9	6	2.5	4	2.33	0.6	0.693
9	6	3	1.3	2.33	0.6	0.97
9	6	3	2	2.33	0.6	0.915
9	6	3	2.5	2.33	0.6	0.859
9	6	3	3	2.33	0.6	0.776
9	6	3	4	2.33	0.6	0.693

Çizelge 4.3 (Devam)

9	6	4	1.3	2.33	0.6	0.97
9	6	4	2	2.33	0.6	0.887
9	6	4	2.5	2.33	0.6	0.832
9	6	4	3	2.33	0.6	0.776
9	6	4	4	2.33	0.6	0.665
9	6	6	1.3	2.33	0.6	0.97
9	6	6	2	2.33	0.6	0.915
9	6	6	2.5	2.33	0.6	0.859
9	6	6	3	2.33	0.6	0.804
9	6	6	4	2.33	0.6	0.693
9	6	2	1.3	4.28	0.6	0.749
9	6	2	2	4.28	0.6	0.693
9	6	2	2.5	4.28	0.6	0.665
9	6	2	3	4.28	0.6	0.61
9	6	2	4	4.28	0.6	0.527
9	6	3	1.3	4.28	0.6	0.749
9	6	3	2	4.28	0.6	0.693
9	6	3	2.5	4.28	0.6	0.638
9	6	3	3	4.28	0.6	0.582
9	6	3	4	4.28	0.6	0.5
9	6	4	1.3	4.28	0.6	0.749
9	6	4	2	4.28	0.6	0.665
9	6	4	2.5	4.28	0.6	0.638
9	6	4	3	4.28	0.6	0.582
9	6	4	4	4.28	0.6	0.499
9	6	6	1.3	4.28	0.6	0.749
9	6	6	2	4.28	0.6	0.693
9	6	6	2.5	4.28	0.6	0.665
9	6	6	3	4.28	0.6	0.61
9	6	6	4	4.28	0.6	0.527

Çizelge 4.3 (Devam)

9	6	2	1.3	9.8	0.6	0.499
9	6	2	2	9.8	0.6	0.471
9	6	2	2.5	9.8	0.6	0.444
9	6	2	3	9.8	0.6	0.416
9	6	2	4	9.8	0.6	0.36
9	6	3	1.3	9.8	0.6	0.499
9	6	3	2	9.8	0.6	0.444
9	6	3	2.5	9.8	0.6	0.416
9	6	3	3	9.8	0.6	0.416
9	6	3	4	9.8	0.6	0.333
9	6	4	1.3	9.8	0.6	0.499
9	6	4	2	9.8	0.6	0.444
9	6	4	2.5	9.8	0.6	0.416
9	6	4	3	9.8	0.6	0.416
9	6	4	4	9.8	0.6	0.332
9	6	6	1.3	9.8	0.6	0.499
9	6	6	2	9.8	0.6	0.471
9	6	6	2.5	9.8	0.6	0.444
9	6	6	3	9.8	0.6	0.444
9	6	6	4	9.8	0.6	0.388

Benzetim sonucu elde edilen CKMA'ların rezonans frekansı değerlerini veren, literatürdeki çalışmalara nispeten daha doğru ve daha basit bir denklem elde edebilmek için TEA kullanılmıştır.

CKMA; DMA'nın modifiye edilmesiyle oluşmuştur bu yüzden geleneksel DMA denklemlerinin modifiye edilmesiyle yeni denklemin elde edilmesi için çalışılmıştır. DMA için  $\varepsilon_{reff}$  ve  $\Delta L$  değerleri geleneksel iletim hattı modeli eşitlikleridir ve aşağıdaki gibi verilir;

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W_d} \right]^{-1/2} \quad (4.9)$$

$$\Delta L = 0.412 \times h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left( \frac{W_d}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left( \frac{W_d}{h} + 0.8 \right)} \quad (4.10)$$

Bunun yanında literatürde yayınlanan çalışmalarda CKMA rezonans frekansı değerini veren ifade aşağıdaki şekilde verilmiştir [53];

$$f_r = \frac{c}{2(Le + 2\Delta l) \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4.11)$$

Rezonans frekansını veren denklemde  $\Delta L$  ve  $\epsilon_{reff}$  eşitlikleri DMA denklemlerinde verilmiştir ve antenin dış boyutları, alttaş yüksekliği, alttaşın dielektrik sabiti gibi antenin fiziksel ve elektriksel parametrelerine bağlıdır. Bunların yanında antenin etkin uzunluğu,  $Le$  değeri, CKMA'da anten iletkeninin dış boyutları ile iletkenin açılan boşluk boyutlarına bağlıdır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelenecek olursa,  $Le$  değeri için anten iletkeninde açılan boşlukların dar veya geniş olması durumunda farklı ifadeler verilmiştir [53].

Tez çalışmamızda TEA yardımıyla elde ettiğimiz yeni ifade ile  $Le$  değeri hesaplanmış, rezonans frekansı ifadesinde yerine konulmuş ve benzetim sonuçlarına oldukça yakın rezonans frekansı değerleri yeni denklem ile elde edilebilmiş aynı zamanda elde edilen bu denklem antenin yama iletkeni ile boşluk boyutları için verilen değer aralıklarında antende açılan boşluk boyutlarının değişimine bağlı olmaksızın yapılan tüm benzetimler için geçerli sonuçlar vermiştir. Elde edilen yeni denklem;

$$Le = 1.0637 * Ld + 3.07 * Wi * (Wi / Ld) - 0.0153 * Wd * (Wd / Li) \quad (4.12)$$

şeklindedir. Denklemimiz sadece CKMA'da iletken yama kısmının dış boyutları ile bu yamada açılan boşluk boyutlarına bağlıdır. Kullanılan değişkenlerden sadece yama iletkenine ait  $Ld$  ve  $Wd$  parametreleri ile yamada açılan boşluğa ait  $Li$  ve  $Wi$  parametreleridir.

#### 4.4. SONUÇLARIN KARŞILATIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Benzetim sonuçlarıyla denklem sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 4.4.'de verilmiştir. Çizelge 4.4.'de  $f_s$  benzetim sonucu elde edilen değerler ve  $f_c$  yeni denklem kullanılarak yapılan hesaplama sonucu elde edilen değerlerdir. % hata benzetim sonuçları ve hesaplanan sonuçlar arasındaki hatayı verir ve şu şekilde hesaplanmıştır;

$$\% \text{ hata} = \left| \frac{f_s - f_c}{f_s} \right| \times 100 \quad (4.13)$$

Çizelge 4.4. CKMA için benzetim sonuçlarıyla, oluşturulan yeni denklemle yapılan hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması

$Ld$ (cm)	$Wd$ (cm)	$Li$ (cm)	$Wi$ (cm)	$\epsilon_r$	$H$ (cm)	$f_s$ (GHz)	$f_c$ (GHz)	% hata
3	2	0.7	0.5	2.33	0.16	2.92	2.888	0.89223
3	2	0.7	0.7	2.33	0.16	2.708	2.701	0.03316
3	2	0.7	1.2	2.33	0.16	2.177	2.150	1.05751
3	2	0.7	1.5	2.33	0.16	1.805	1.831	1.22947
3	2	1.2	0.5	2.33	0.16	2.867	2.866	0.00001
3	2	1.2	0.7	2.33	0.16	2.654	2.681	1.02622
3	2	1.2	1.2	2.33	0.16	2.124	2.137	0.75723
3	2	1.2	1.5	2.33	0.16	1.752	1.822	1.97494
3	2	1.5	0.5	2.33	0.16	2.867	2.858	0.53552

Çizelge 4.4 (Devam)

3	2	1.5	0.7	2.33	0.16	2.654	2.674	0.88430
3	2	1.5	1.2	2.33	0.16	2.124	2.134	0.59861
3	2	1.5	1.5	2.33	0.16	1.752	1.820	0.69469
3	2	2	0.5	2.33	0.16	2.867	2.853	0.75625
3	2	2	0.7	2.33	0.16	2.708	2.671	1.22147
3	2	2	1.2	2.33	0.16	2.178	2.130	1.52929
3	2	2	1.5	2.33	0.16	1.805	1.817	0.69470
3	2	0.7	0.5	4.28	0.16	2.177	2.171	0.13916
3	2	0.7	0.7	4.28	0.16	2.017	2.030	0.94084
3	2	0.7	1.2	4.28	0.16	1.646	1.614	1.34949
3	2	0.7	1.5	4.28	0.16	1.38	1.374	0.61620
3	2	1.2	0.5	4.28	0.16	2.124	2.154	1.20703
3	2	1.2	0.7	4.28	0.16	1.964	2.015	1.61477
3	2	1.2	1.2	4.28	0.16	1.593	1.605	0.81614
3	2	1.2	1.5	4.28	0.16	1.327	1.367	1.70919
3	2	1.5	0.5	4.28	0.16	2.124	2.149	1.07914
3	2	1.5	0.7	4.28	0.16	1.964	2.011	1.52674
3	2	1.5	1.2	4.28	0.16	1.593	1.602	0.67084
3	2	1.5	1.5	4.28	0.16	1.327	1.365	1.65322
3	2	2	0.5	4.28	0.16	2.177	2.145	1.25777
3	2	2	0.7	4.28	0.16	2.017	2.007	0.79111
3	2	2	1.2	4.28	0.16	1.646	1.599	1.72990
3	2	2	1.5	4.28	0.16	1.38	1.364	1.18013
3	2	0.7	0.5	9.8	0.16	1.433	1.453	1.29885
3	2	0.7	0.7	9.8	0.16	1.38	1.358	1.15846
3	2	0.7	1.2	9.8	0.16	1.115	1.079	1.75691
3	2	0.7	1.5	9.8	0.16	0.902	0.918	1.37005
3	2	1.2	0.5	9.8	0.16	1.433	1.441	0.79625
3	2	1.2	0.7	9.8	0.16	1.327	1.348	1.26689
3	2	1.2	1.2	9.8	0.16	1.062	1.073	0.98304

Çizelge 4.4 (Devam)

3	2	1.2	1.5	9.8	0.16	0.902	0.914	1.09964
3	2	1.5	0.5	9.8	0.16	1.433	1.438	0.58572
3	2	1.5	0.7	9.8	0.16	1.327	1.345	1.15339
3	2	1.5	1.2	9.8	0.16	1.062	1.071	0.86554
3	2	1.5	1.5	9.8	0.16	0.902	0.913	1.01183
3	2	2	0.5	9.8	0.16	1.433	1.435	0.23197
3	2	2	0.7	9.8	0.16	1.327	1.343	1.02815
3	2	2	1.2	9.8	0.16	1.115	1.069	2.06053
3	2	2	1.5	9.8	0.16	0.956	0.911	2.20383
6	4	1.3	0.9	2.33	0.3	1.469	1.468	0.54418
6	4	1.3	1.3	2.33	0.3	1.386	1.379	0.44287
6	4	1.3	2	2.33	0.3	1.192	1.189	0.00001
6	4	1.3	3	2.33	0.3	0.915	0.917	0.51325
6	4	2	0.9	2.33	0.3	1.442	1.458	1.09816
6	4	2	1.3	2.33	0.3	1.358	1.370	0.97724
6	4	2	2	2.33	0.3	1.164	1.183	1.27243
6	4	2	3	2.33	0.3	0.887	0.913	1.67811
6	4	3	0.9	2.33	0.3	1.442	1.451	0.78473
6	4	3	1.3	2.33	0.3	1.331	1.364	1.56156
6	4	3	2	2.33	0.3	1.164	1.178	1.06689
6	4	3	3	2.33	0.3	1.026	0.910	3.38199
6	4	4	0.9	2.33	0.3	1.469	1.448	1.23313
6	4	4	1.3	2.33	0.3	1.358	1.361	0.35697
6	4	4	2	2.33	0.3	1.192	1.176	1.21267
6	4	4	3	2.33	0.3	0.915	1.909	0.93554
6	4	1.3	0.9	4.28	0.3	1.109	1.103	0.46967
6	4	1.3	1.3	4.28	0.3	1.026	1.035	1.10840
6	4	1.3	2	4.28	0.3	0.887	0.892	0.91533
6	4	1.3	3	4.28	0.3	0.693	0.687	0.86801



Çizelge 4.4 (Devam)

6	4	2	0.9	4.28	0.3	1.081	1.095	1.17873
6	4	2	1.3	4.28	0.3	0.998	1.028	1.77150
6	4	2	2	4.28	0.3	0.859	0.887	1.82264
6	4	2	3	4.28	0.3	0.665	0.684	1.67665
6	4	3	0.9	4.28	0.3	1.081	1.090	0.89184
6	4	3	1.3	4.28	0.3	0.998	1.024	1.60328
6	4	3	2	4.28	0.3	0.859	0.884	1.68265
6	4	3	3	4.28	0.3	0.776	0.682	3.49539
6	4	4	0.9	4.28	0.3	1.109	1.087	1.42705
6	4	4	1.3	4.28	0.3	1.026	1.022	0.70888
6	4	4	2	4.28	0.3	0.887	0.883	0.80667
6	4	4	3	4.28	0.3	0.693	0.692	1.37254
6	4	1.3	0.9	9.8	0.3	0.743	0.737	0.62511
6	4	1.3	1.3	9.8	0.3	0.693	0.692	0.46835
6	4	1.3	2	9.8	0.3	0.582	0.596	1.65144
6	4	1.3	3	9.8	0.3	0.471	0.459	1.56421
6	4	2	0.9	9.8	0.3	0.721	0.732	1.29169
6	4	2	1.3	9.8	0.3	0.665	0.688	1.87156
6	4	2	2	9.8	0.3	0.582	0.593	1.39046
6	4	2	3	9.8	0.3	0.444	0.457	1.69405
6	4	3	0.9	9.8	0.3	0.721	0.729	1.03490
6	4	3	1.3	9.8	0.3	0.665	0.685	1.71214
6	4	3	2	9.8	0.3	0.582	0.591	1.20336
6	4	3	3	9.8	0.3	0.444	0.456	1.57871
6	4	4	0.9	9.8	0.3	0.749	0.727	1.72984
6	4	4	1.3	9.8	0.3	0.693	0.683	1.22444
6	4	4	2	9.8	0.3	0.61	0.590	1.85430

Çizelge 4.4 (Devam)

6	4	4	3	9.8	0.3	0.471	0.455	1.88679
9	6	2	1.3	2.33	0.6	0.97	0.976	0.97630
9	6	2	2	2.33	0.6	0.915	0.908	0.67853
9	6	2	2.5	2.33	0.6	0.859	0.851	0.85487
9	6	2	3	2.33	0.6	0.804	0.789	1.26757
9	6	2	4	2.33	0.6	0.693	0.667	1.89396
9	6	2.5	1.3	2.33	0.6	0.97	0.972	0.65084
9	6	2.5	2	2.33	0.6	0.915	0.905	0.97374
9	6	2.5	2.5	2.33	0.6	0.859	0.848	1.08837
9	6	2.5	3	2.33	0.6	0.776	0.787	1.22926
9	6	2.5	4	2.33	0.6	0.693	0.666	1.98311
9	6	3	1.3	2.33	0.6	0.97	0.969	0.27135
9	6	3	2	2.33	0.6	0.915	0.903	1.12583
9	6	3	2.5	2.33	0.6	0.859	0.846	1.21851
9	6	3	3	2.33	0.6	0.776	0.785	1.10671
9	6	3	4	2.33	0.6	0.693	0.664	2.04004
9	6	4	1.3	2.33	0.6	0.97	0.966	0.60034
9	6	4	2	2.33	0.6	0.887	0.900	1.19915
9	6	4	2.5	2.33	0.6	0.832	0.843	1.15215
9	6	4	3	2.33	0.6	0.776	0.783	0.93234
9	6	4	4	2.33	0.6	0.665	0.663	0.65060
9	6	6	1.3	2.33	0.6	0.97	0.963	0.88922
9	6	6	2	2.33	0.6	0.915	0.897	1.43582
9	6	6	2.5	2.33	0.6	0.859	0.841	1.49243
9	6	6	3	2.33	0.6	0.804	0.781	1.72754
9	6	6	4	2.33	0.6	0.693	0.661	2.17478
9	6	2	1.3	4.28	0.6	0.749	0.736	1.17255
9	6	2	2	4.28	0.6	0.693	0.680	0.94911
9	6	2	2.5	4.28	0.6	0.665	0.641	1.82979

Çizelge 4.4 (Devam)

9	6	2	3	4.28	0.6	0.61	0.595	1.51293
9	6	2	4	4.28	0.6	0.527	0.502	2.13353
9	6	3	1.3	4.28	0.6	0.749	0.731	1.49650
9	6	3	2	4.28	0.6	0.693	0.680	1.30728
9	6	3	2.5	4.28	0.6	0.638	0.637	0.16478
9	6	3	3	4.28	0.6	0.582	0.591	1.29857
9	6	3	4	4.28	0.6	0.5	0.500	0.00000
9	6	4	1.3	4.28	0.6	0.749	0.729	1.63283
9	6	4	2	4.28	0.6	0.665	0.678	1.41902
9	6	4	2.5	4.28	0.6	0.638	0.636	1.63829
9	6	4	3	4.28	0.6	0.582	0.590	1.11509
9	6	4	4	4.28	0.6	0.499	0.499	0.31404
9	6	6	1.3	4.28	0.6	0.749	0.726	1.75758
9	6	6	2	4.28	0.6	0.693	0.676	1.58243
9	6	6	2.5	4.28	0.6	0.665	0.634	2.19388
9	6	6	3	4.28	0.6	0.61	0.588	1.91413
9	6	6	4	4.28	0.6	0.527	0.498	2.38494
9	6	2	1.3	9.8	0.6	0.499	0.494	0.82843
9	6	2	2	9.8	0.6	0.471	0.459	1.48630
9	6	2	2.5	9.8	0.6	0.444	0.430	1.71338
9	6	2	3	9.8	0.6	0.416	0.399	1.98848
9	6	2	4	9.8	0.6	0.36	0.337	2.52660
9	6	3	1.3	9.8	0.6	0.499	0.491	1.24919
9	6	3	2	9.8	0.6	0.444	0.456	1.69955
9	6	3	2.5	9.8	0.6	0.416	0.427	1.67439
9	6	3	3	9.8	0.6	0.416	0.397	1.15233
9	6	3	4	9.8	0.6	0.333	0.335	0.77413
9	6	4	1.3	9.8	0.6	0.499	0.489	1.41131
9	6	4	2	9.8	0.6	0.444	0.455	1.57132
9	6	4	2.5	9.8	0.6	0.416	0.426	1.55280

Çizelge 4.4 (Devam)

9	6	4	3	9.8	0.6	0.416	0.396	2.23037
9	6	4	4	9.8	0.6	0.332	0.334	0.77482
9	6	6	1.3	9.8	0.6	0.499	0.487	1.55544
9	6	6	2	9.8	0.6	0.471	0.454	1.94862
9	6	6	2.5	9.8	0.6	0.444	0.425	2.10049
9	6	6	3	9.8	0.6	0.444	0.394	3.35878
9	6	6	4	9.8	0.6	0.388	0.334	3.76512

Çizelge 4.4'den görüldüğü gibi, CKMA'da diğer değişkenler sabit tutulduğu takdirde,  $Ld$  ve  $Wd$  arttıkça antenin rezonans frekansı düşmektedir. Ayrıca antende  $Ld$ ,  $Wd$ ,  $Li$ ,  $Wi$  ve  $h$  sabit tutulup sadece  $\epsilon_r$ 'nin artırılması antenin rezonans frekansını önemli ölçüde düşürmektedir. Bunun yanında antende  $Ld$ ,  $Wd$ ,  $Li$ ,  $h$  ve  $\epsilon_r$  parametreleri sabit tutulursa,  $Wi$ 'nin artmasıyla birlikte rezonans frekansı değerinde sürekli olarak lineer olmayan bir düşme gözlemlenmektedir. Fakat antende diğer parametreler sabit tutulup sadece  $Li$ 'nin değiştirilmesi, rezonans frekansının oldukça az bir miktar değişmesine sebep olur ve sonuç olarak; CKMA'da boşluk uzunluğundan daha ziyade boşluğun genişliğinin değişiminin antenin rezonans frekansının değişmesinde etkili olduğunu ve bu etkinin ters orantılı olarak meydana geldiğini söyleyebiliriz.

Benzetim sonuçlarıyla elde edilen yeni denklem sonuçlarının karşılaştırılmasının yanında, XFDTD benzetim programında denenmeyen fakat literatürde verilen [2] deneysel verilerle, aynı elektriksel ve fiziksel parametreler denklemde yerine konularak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yeni denklemin deneysel sonuçlarla da oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.5.'de literatürde verilen deneysel sonuçlar [2] ile yeni denklem ile elde edilen sonuçlar ve bu iki sonuç arasında, Eş.(4.13) ile hesaplanan % hata verilmiştir. Çizelge 4.5.'de  $f_r$ , deneysel olarak ölçülen rezonans frekansı ve  $f_c$  yeni denklemler ile elde edilen hesaplama sonucu elde edilen rezonans frekansı değeridir.

Çizelge 4.5. Deneysel veriler [2] ile elde edilen yeni denklem sonuçlarının karşılaştırılması

$L_d$ (cm)	$W_d$ (cm)	$L_i$ (cm)	$W_i$ (cm)	$\epsilon_r$	$h$ (cm)	$f_r$ (GHz)	$f_c$ (GHz)	% Hata
6	4	1	1	2.33	0.159	1.484	1.474	0.609
6	4	2	2	2.33	0.159	1.142	1.186	3.877
6	4	1	3	2.33	0.159	0.900	0.921	2.381
6	4	4	3	2.33	0.159	0.904	0.904	0.230

Eş.(4.12) ile verilen yeni denklemin oluşturulması aşamasında benzetim sonuçlarından elde edilen ve yukarıda açıklanan çıkarımlar ışığında hareket edilerek denklemdeki değişkenlere karar verilmiştir. Örneğin; CKMA'da  $L_i$  uzunluğunun rezonans frekansının değişimi üzerinde fazla bir etkisi olmadığı benzetimler ile gözlemlenmiş ve denklemin elde edilmesi aşamasında bu değişkenin bir katsayı ile çarpılarak direk olarak sonucu etkilemesinden kaçınılmıştır. Fakat benzetimler incelendiğinde CKMA'ya ait  $W_d$ ,  $L_d$  ve  $W_i$  fiziksel parametrelerinin değişiminin rezonans frekansının üzerinde doğru veya ters orantılı, lineer olmayan oldukça ciddi etkileri söz konusudur. Bu değişkenlerin denkleminizde direk olarak bir katsayı ile çarpılarak kullanılması benzetim sonuçlarına ulaşmamızı kolaylaştırmıştır. Denkleminizdeki uygun, sabit katsayılar TEA algoritması tarafından belirlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; 161 antende CKMA'ya ait rezonans frekansı denklemi elde edilirken, 0.332 GHz - 2.92 GHz aralığında çalışan 161 adet farklı elektriksel ve fiziksel parametrelere sahip antenler için benzetim yapılmıştır. Antenler, alttaş kalınlıkları 0.0016 m - 0.006 m, iletken kısım (yama) uzunlukları 0.03 m - 0.09 m ve genişlikleri 0.02 m - 0.06 m aralığında değişen ayrıca, pratikte kullanılan 2.33, 4.28 ve 9.8 dielektrik sabiti değerlerine sahip 3 farklı dielektrik alttaş için benzetimleri elde edilmiştir.

Tez çalışmasında, öncelikle güçlü bir ticari yazılım olan XFDTD ile literatürde verilen benzetim örnekleri denenmiştir. XFDTD ile farklı yazılımlar kullanılarak yapılan benzetimlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirlerine yakın oldukları gözlenmiştir. XFDTD yazılımı kullanılarak yapılan benzetimlerde antenlerin dielektrik sabiti gibi elektriksel parametrelerin ve antenin yama boyutları ile iletken kısımda açılan boşlukların boyutları gibi fiziksel parametrelerin değişimi ile rezonans frekansında meydana gelen değişim incelenmiştir. Daha sonra 161 farklı elektriksel ve fiziksel parametreye sahip CKMA için rezonans frekansı değerleri elde edilmiştir. Benzetimler tamamlandıktan sonra, antenin elektriksel ve fiziksel parametreleri ile bu parametrelerin rezonans frekansında etkisini gösteren uygun katsayılar kullanarak bir rezonans frekansı denklemi oluşturulmuştur

CKMA'nın benzetim sonuçları incelendiğinde;  $L_i$  uzunluğunun rezonans frekansının değişimi üzerinde fazla bir etkisi olmadığı gözlemlenmiş ve denklemin elde edilmesi aşamasında bu değişkenin direk olarak sonucu etkilemesinden kaçınılmıştır. Fakat CKMA'ya ait  $W_d$ ,  $L_d$  ve  $W_i$  fiziksel parametrelerinin değişiminin rezonans frekansının üzerinde doğru veya ters orantılı, lineer olmayan oldukça ciddi etkileri söz konusudur. Bu değişkenlerin denkleminizde direk olarak bir katsayı ile çarpılarak kullanılması benzetim sonuçlarına ulaşmamızı kolaylaştırmıştır.

Oluşturulan bu denklemin ürettiği rezonans frekansı ile XFDTD kullanarak elde edilen rezonans frekansı arasındaki farkı asgariye indirilmesi işlemi bir optimizasyon problemi ve elde edilen yeni rezonans frekansı ifadesindeki sabit katsayılar TEA kullanılarak belirlenmiştir. Böylece, UHF bandında çalışan CKMA tasarımı yapmak isteyen mikrodalga mühendisleri için literatürde verilen denklemlerden daha basit olan ve daha doğru sonuçlar veren rezonans frekansı denklemi elde edilmiştir [53]. Rezonans frekansı bir antenin kullanım alanını belirleyen en önemli parametredir. Bu yüzden elde edilen denklem CKMA anteninin kullanımını açısından oldukça önemlidir.

Literatürde bu anten için yapılan çalışmalar incelendiğinde [53] benzetimlerin çok daha sınırlı sayıda anten için yapıldığı ve antenin yama iletkeninde açılan boşluk boyutlarına göre değişen denklemlerin olduğu, ayrıca farklı benzetim programları ile hesaplanan rezonans frekansı değerleri ile verilen denklemlerin sonuçları arasında %1'den %11'e kadar ciddi boyutta hatalar olduğu görülmektedir [53]. Oysa bu tez çalışmasında; XFDTD benzetimleri ile hesaplanmış 161 adet CKMA'nın rezonans frekansı için TEA algoritması kullanılarak tek bir denklem elde edilmiştir. Toplam ortalama yüzde hata %1.58'dir. Elde edilen denklemin sadece üç katsayı ile oluşturulması ve oldukça basit aynı zamanda yüzde hatasının oldukça düşük olması nedenlerinden dolayı, bu tez çalışması literatüre yapacağı katkının yanında UHF bandında CKMA tasarımı yapan mikrodalga mühendisleri için oldukça önemli bir mühendislik çalışmasıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Balanis, C. A. “Antenna Theory: Analysis and Design”, John Wiley & Sons, New York, 941p., (1997).
- [2] Kumar, G. and Ray, K.P. “Broadband Microstrip Antennas”, Artech House, USA, 407p., (2003).
- [3] Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. and Ittipiboon, A. “Microstrip Antenna Design Handbook”, Artech House, London, 845p., (2001).
- [4] Carver, K. and Mink, J. W. “Microstrip Antenna Technology”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **29(1)**: 2-24, (1981).
- [5] Pozar, D. M. “Microstrip Antenna Aperture-Coupled to A Microstripline”, Electron. Lett., **21(2)**: 49–50, (1985).
- [6] Mosig, J. R. and Gardiol, F. E. “General Integral Equation Formation For Microstrip Antennas and Scatterers,” IEE Procs., **32**: 424–432, (1985).
- [7] Sullivan, P. L. and Schaubert, D. H. “Analysis of An Aperture Coupled Microstrip Antenna” , IEEE Trans. Antennas Propagation, **34**: 977–984, (1986).
- [8] Pozar, D. M. “A Reciprocity Method of Analysis For Printed Slot and Slot-Coupled Microstrip Antennas,” IEEE Trans. Antennas Propagation, **34**: 1439–1446, (1986).
- [9] Bhattacharyya, A. K., Shafai, L. and Gary, R. “Microstrip Antenna - A Generalized Transmission Line”, Progress In Electromagnetics Research, **4**: 45-84, (1991).
- [10] Drayton, R. F., Papapolymerou, I. and Kathei L. P. B. “Microstrip Patch Antennas on Micromachined Low-Index Materials”, IEEE Procs, **5**: 1220-1223, (1995).
- [11] Pozar, D. M. “A Review of Aperture Coupled Microstrip Antennas: History, Operation, Development, and Applications”, University of Massachusetts, Amherst, 12p., (1996) .
- [12] Yau, D. and Shuley, N. V. “Numerical Analysis of An Aperture Coupled Microstrip Patch Antenna Using Mixed potential Integral



- Equations and Complex Images”, Progress In Electromagnetics Research, **18**: 229–244, (1998).
- [13] Dey, S., Chebolu, S., Mittra, R., Park, I., Kobayashi, T. and Itoh, M. “A Compact Microstrip Antenna For CP”, IEEE Electronic Letter, **15**: 982-985, (1995).
- [14] George, J., Deepukumar, M., Aanandan, C.K., Mohanan, P., and Nair, K.G. “New Compact Microstrip Antenna”, Electronics Letters, **32(6)**: 508-509, (1996).
- [15] Liu, H. and Hu, X. F. “Input Impedance Analysis of A Microstrip Annular-Ring Antenna With A Thick Substrate”, Progress In Electromagnetics Research, **12**: 177–204, (1996).
- [16] Chen, H. T. “Experimental Results Of Compact Microstrip Antennas”, IEEE, **3**: 932-935, (1997).
- [17] Wong, K. L. and Chen, W. S. “Compact Microstrip Antenna With Dual-Frequency Operation”, Electronics Letters, **33(8)**: 646-647, (1997).
- [18] Satpathy, S. K., Srinivasan, V., Ray, K. P. and Kumar, G. “Compact Microstrip Antennas For Personal Mobile Communication” IEEE Electronic Letters, **9**: 245-248, (1998).
- [19] George, J., Aanandan, C. K., Mohanan, P. and Nair, K. G. “Analysis of a New Compact Microstrip Antenna”, Transactions on Antennas and Propagation, **46(11)**: 1712-1717, (1998).
- [20] George, J., Vasudevan, K., Mohanan, P. and Nair, K.G. “Dual Frequency Miniature Microstrip Antenna”, Electronic Letters, **34(12)**: 1168-1170, (1998).
- [21] Wong, K. L. and Lin, Y. F. “Microstrip-Line-Fed Compact Microstrip Antenna with Broadband Operation”, IEEE Electronic Letters, **2**: 1120-1123, (1998).
- [22] Paulson, M., Kundukulam, S. O., Aanandan, C. K. and Mohanan P. “A New Compact Dual-Band Dual-Polarized Microstrip Antenna”, Microwave Optical Technology Letters, **29(5)**: 315-317, (2001).

- [23] Hurtado, M., Lorente, H. E. and Muravchik, C. H., "Analysis of A Square Microstrip Antenna With An Eccentric Slot", IEEE Electronic Letters, **1**: 498-501, (2001).
- [24] Pan, M. C. "Design of Compact Rectangular Microstrip Antenna With A CPW Feed", IEEE Electronic Letters, **1**: 510-513, (2001).
- [25] Chiou, T. W. and Wong, K. L. "Designs of Compact Microstrip Antennas With A Slotted Ground Plane", IEEE Electronic Letters, **1**: 732-735, (2001).
- [26] Paulson, M., Kundukulam, S. O., Aanandan, C. K. and Mohanan P. "Resonance Frequencies Of Compact Microstrip Antenna", Electronics Letters, **37(19)**: 1151-1153, (2001).
- [27] Wong, K. L., Kuo, J. S. and Chiou, T. W. "Compact Microstrip Antennas With Slots Loaded in The Ground Plane" , 11th International Conference on Antennas and Propagation, **480**: 623-626, (2001).
- [28] Kundukulam, S. O., Paulson, M., Aanandan, C. K. and Mohanan P. "A Circular-Sided Compact Microstrip Antenna", IEEE Electronic Letters, **8**: 38-41, (2002).
- [29] Daniel, A. E., Phulluke, R. and Kumar, G. "Compact Rectangular Microstrip Antenna for Conical Radiation Pattern", IEEE Electronic Letters, **8**: 542-545, (2002).
- [30] Lu, J. H. "Novel Compact Design of CPW-Fed Circular Patch Antenna" , IEEE Electronic Letters, **8**: 34-37, (2002).
- [31] Rahman, A. A., Verma, A. K. and Omar, A. S. "High Gain Wideband Compact Microstrip Antenna With Quasi- Planner Surface Mount Horn" IEEE Electronic Letters, **3**: 571-574, (2003).
- [32] Ju, J. M., Yoon, J.H., Ko, S. W. Kang, M. G. and Kwak, K. S. "Fabrication And Measurement of An Arrow-Shaped Microstrip Patch Antenna In the 5-GHz Band" Microwave and Optical Technology Letters, **43(6)**: 503-505, (2004).
- [33] Weigand, S. M. "Compact Microstrip Antenna with Forward-Directed Radiation Pattern for RFID Reader Card", **5**: 337-340, (2005).

- [34] Lin, S. Y. and Huang, K. C. “Communications A Compact Microstrip Antenna for GPS and DCS Application”, *IEEE Electronic Letters*, **53(3)**: 1227-1229, (2005) .
- [35] Wu, J. W. “2.4/5-GHz Dual-Band Triangular Slot Antenna With Compact Operation” *Microwave and Optical Technology Letters*, **45(1)**: 81-84, (2005).
- [36] Lee, C. H., Choi, D. H. and Park, S.O. “A Novel Compact And Wideband Shorted Patch Antenna” *Microwave and Optical Technology Letters*, **46(1)**: 4-6, (2005).
- [37] Deshmukh, A. A. and Kumar, G. “Broadband Pairs Of Slot-Loaded Rectangular-Microstrip Antennas”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **47(3)**: 223-226, (2005).
- [38] Deshmukh, A. A. and Kumar, G. “Compact Broadband U-Slotloaded Rectangular Microstrip Antennas”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **46(6)**: 556-559, (2005).
- [39] Deshmukh, A. A. and Kumar, G. “Compact Broadband Rectangular Microstrip Antennas”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **48(6)**: 1043-1046, (2006).
- [40] Deshmukh, A. A. and Kumar, G. “Compact Broadband Stacked Microstrip Antennas”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **48(1)**: 93-96, (2006).
- [41] Sadat, S., Fardis, M. ,Geran, F. and Dadashzadeh, G. “A Compact Microstrip Square-Ring Slot Antenna For UWB Applications”, *Progress In Electromagnetics Research*, **67**: 173–179, (2007).
- [42] Ansari, J. A., Dubey, S. K., Singh, P., Khan, R. U. and Vishvakarma, B. R. “Analysis of Compact H-Shaped Microstrip Antenna”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **50(7)**: 1779-1784, (2008).
- [43] Krishna, D. D., Gopikrishna, M., Aanandan, C. K., Mohanan P. and Vasudevan, K. “Compact Dual Band Slot Loaded Circular Microstrip Antenna with A Superstrate”, *Progress In Electromagnetics Research*, **83**: 245–255, (2008).

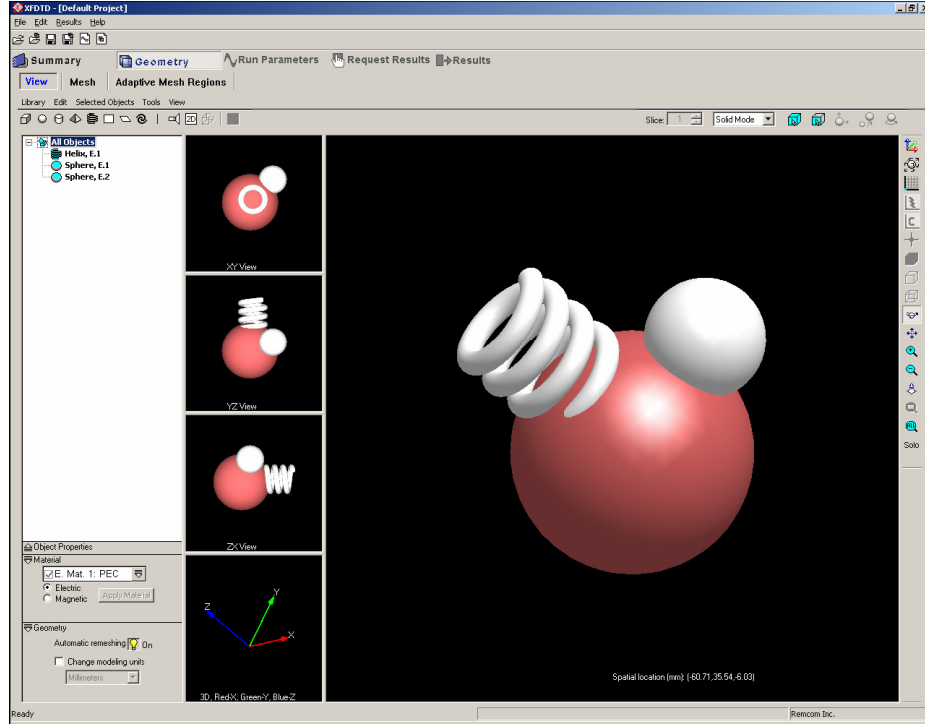
- [44] Sağiroğlu, S. and Güney, K. “Calculation Of Resonant Frequency For An Equilateral Triangular Microstrip Antenna With The Use Of Artificial Neural Networks”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **14(2)**: 89-93, (1997).
- [45] Sağiroğlu, S., Güney, K., Erler, M. “Resonant Frequency Calculation for Circular Microstrip Antennas Using Artificial Neural Networks” *John Wiley & Sons*, **8**: 270-277, (1998).
- [46] Karaboğa, D., Güney, K., Kaplan, A. ,Akdağli, A. “A New Effective Side Length Expression Obtained Using a Modified Tabu Search Algorithm for the Resonant Frequency of a TriangularMicrostrip Antenna”, *John Wiley & Sons*, **8**: 4–10, (1998).
- [47] Sağiroğlu, S., Güney, K., Erler, M. “Calculation of Bandwidth for Electrically Thin and Thick Rectangular Microstrip Antennas with the Use of Multilayered Perceptrons”, *John Wiley & Sons*, **9**: 277-286, (1999).
- [48] Özer, S., Güney, K., Kaplan, A. “Computation of the Resonant Frequency of Electrically Thin and Thick Rectangular Microstrip Atennas with the Use of Fuzzy Inference Systems”, *John Wiley & Sons*, **10**: 108-119, (2000).
- [49] Sağiroğlu, S., Güney, K., Erler, M., “Computation Of Radiation Efficiency For A Resonant Rectangular Microstrip Patch Antenna Using Backpropagation Multilayered Perceptrons”, *Istanbul University Journal of Electrical & Electronics Engineering*, **3(1)**: 663-671, (2003).
- [50] Güney K. and Sarıkaya, N. “Artificial Neural Networks for Calculating The Input Resistance of Circular Microstrip Anennas”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **37(2)**: 107-111, (2003).
- [51] K. Güney, K. “A Simple And Accurate Expression For The Bandwidth of Electrically Thick Rectangular Microstrip Antennas”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **36(3)**: 225-228, (2003).
- [52] Neog, D. K., Pattnaik, S. S., Panda, D. C., Devi, S., Dutta, M. and Bajpai1, O. P. “New Expression For The Resonance Frequency of An E-

- Shaped Microstrip Patch Antenna”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **48(8)**: 1561-1563, (2006).
- [53] Deshmukh, A. A. and Kumar, G. “Formulation of Resonant frequency for Compact Rectangular Microstrip Antennas”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **49(2)**: 498-501, (2007).
- [54] Akdağlı, A. “A Novel Expression for effective Radius in Calculating the Resonant Frequency of Circular Microstrip Patch Antennas”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **49(10)**: 2395-2398, (2007).
- [55] Akdağlı, A. “CAD Formulas for patch Dimensions of Rectangular Microstrip Antennas with Various Substrate Thicknesses”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **49(9)**: 2197-2201, (2007).
- [56] Akdağlı, A. “A Closed-Form Expression for the Resonant Frequency of Rectangular Microstrip Antennas”, *Microwave and Optical Technology Letters* **49(8)**: 1848-1852, (2007).
- [57] Akdağlı, A., Ozdemir, C., Yamacli, S., Arcasoy, C.C. “Improved Formulas for the Resonant Frequencies of Dual Frequency Arrow Shaped Compact Microstrip Antenna”, *Microwave and Optical Technology Letters*, **50(1)**: 62-65, (2008).
- [58] Saçan, E., Ayazoğlu, T. “Zaman Domeninde Sonlu Farklar Metodu ile Tek Boyutlu Yapılarda Elektromanyetik Dalga Yayılımının Simülasyonu”, *Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, TURKEY*.
- [59] TAFLOVE, A. *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time Domain Method*. Boston:Artech House, 1995.
- [60] Keskindürk, T., “Diferansiyel Gelişim Algoritması”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **5(9)**: 85–99, (2006).
- [61] Aksoy, E. , “Diferansiyel Evrim Algoritması ile Anten Dizilerinde Örüntü Şekillendirme”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, (2007).
- [62] Price, K. V., Storn R. M., Lampinen J. A., “Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization 1st ed.”, Berlin, 162p., (2005).

- [63] Mayer, D.G., Kinghorn, B.P., Archer, A.A., “Differential Evolution – An Easy and Efficient Evolutionary Algorithm for Model Optimisation”, *Agricultural Systems*, **83**: 315-328, (2005).
- [64] Karaboga D, “Yapay Zeka Optimizasyonu Algoritmaları”, İstanbul, Atlas Yayın Dağıtım, (2004).
- [65] REMCOM, “XFtd Full-Wave, 3D Electromagnetic Analysis Software User Guide Version 6.4”, 230p., (2006).

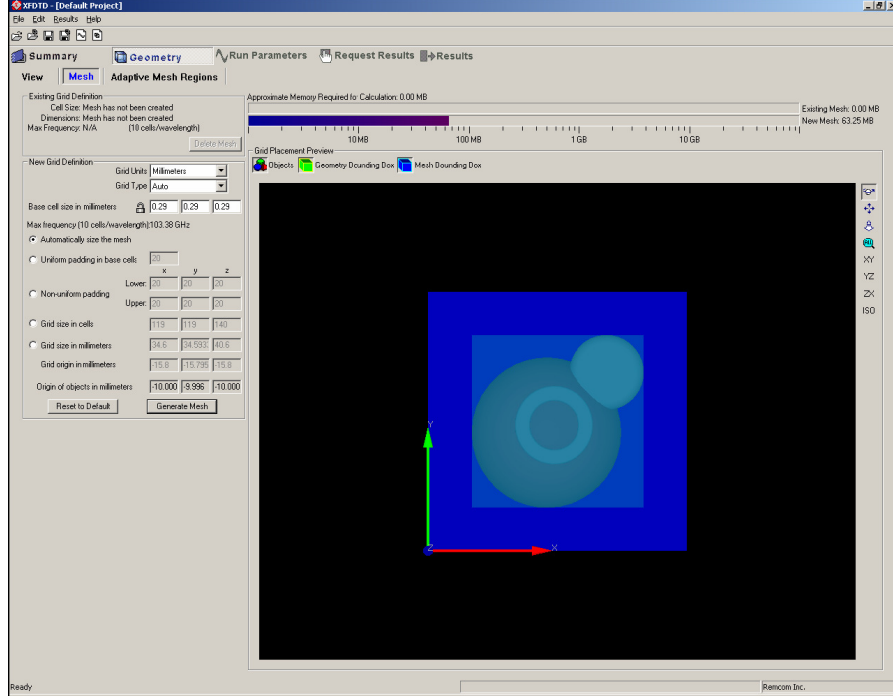
# **EKLER**

**Ek-1: XFDTD elektromanyetik benzetim programında örnek bir geometrinin benzetim adımlarının gösterilmesi.**

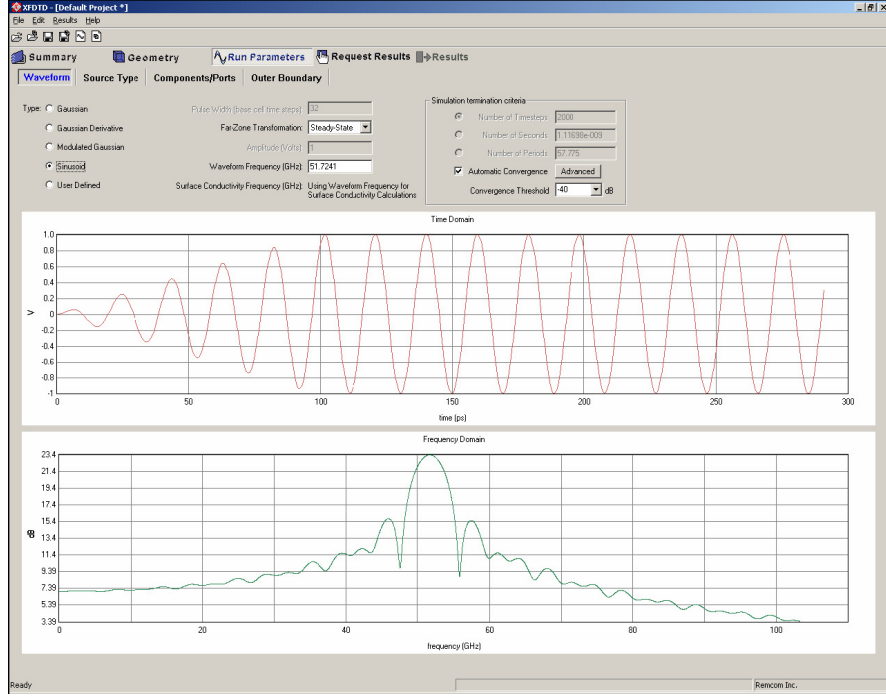


Şekil 4.1. XFDTD programında oluşturulmuş örnek bir geometri [65]

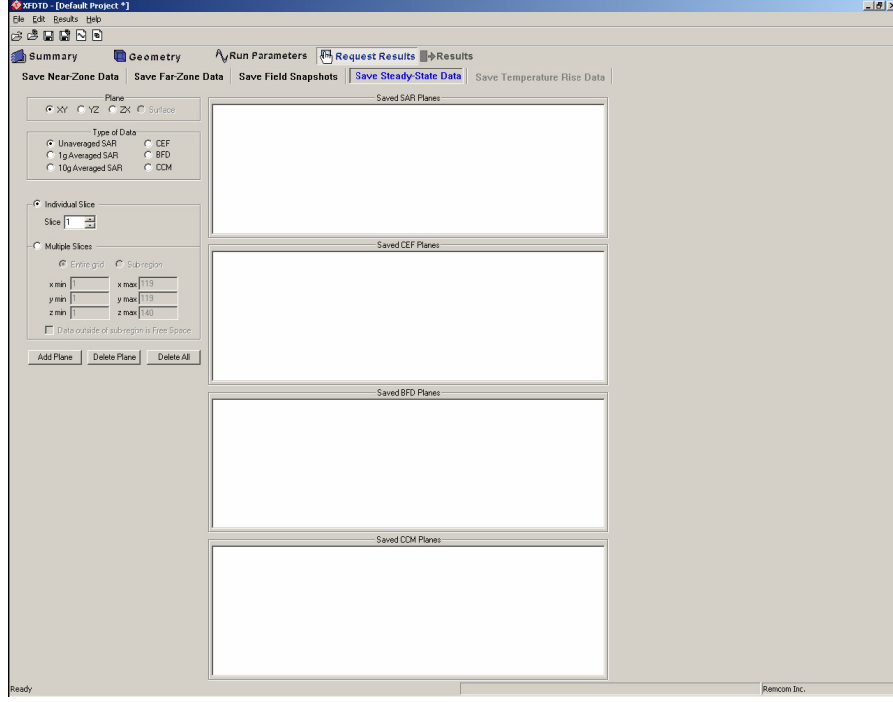




Şekil 4.2. Örnek geometrinin hücelere ayrılmış hali [65]

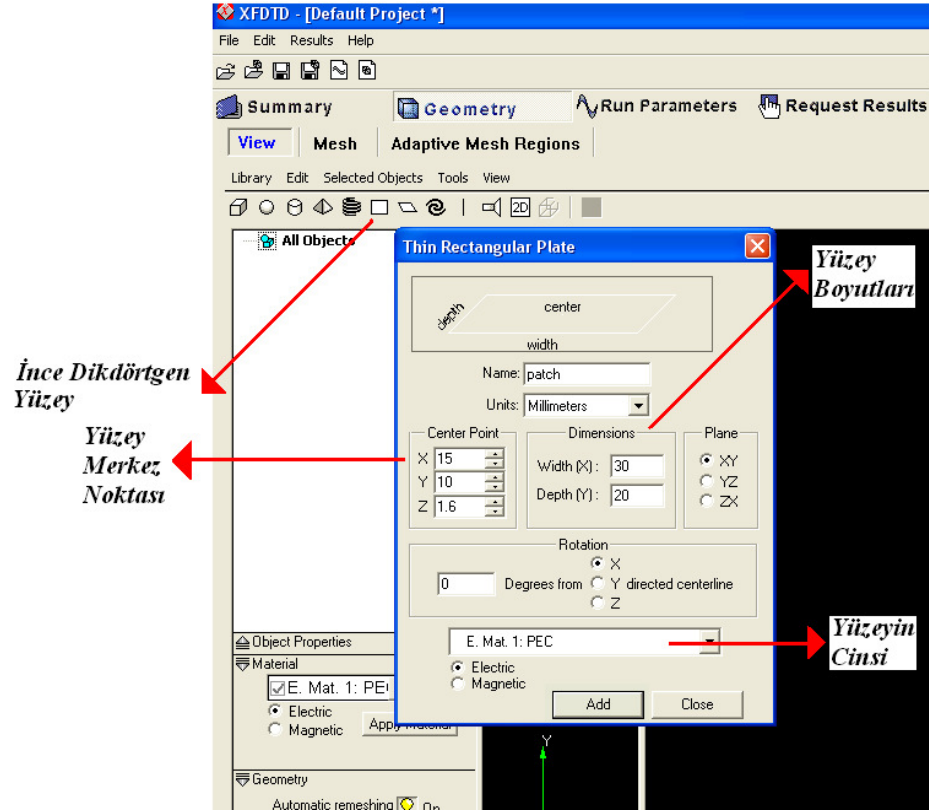


Şekil 4.3. Benzetimin çalışma parametrelerinin belirlenmesi [65]



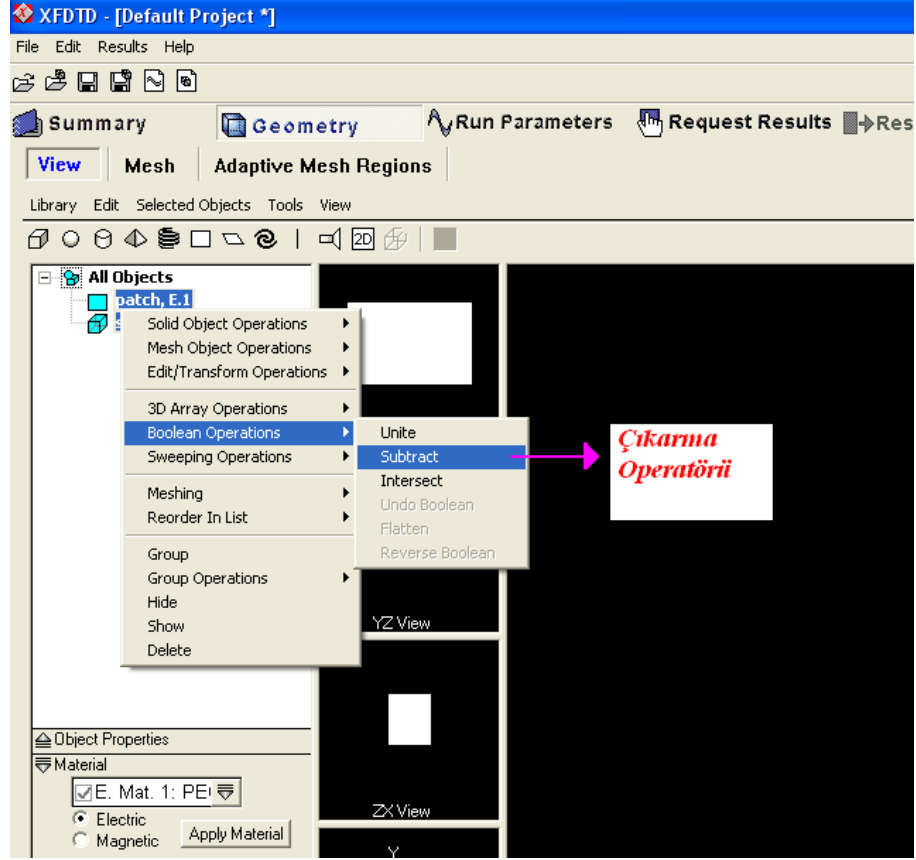
Şekil 4.4. Benzetimde elde edilmek istenen sonuçların belirlendiği pencere [65]

Ek-2: XFDTD elektromanyetik benzetim programında örnek bir CKMA benzetiminin aşamalarının gösterilmesi.

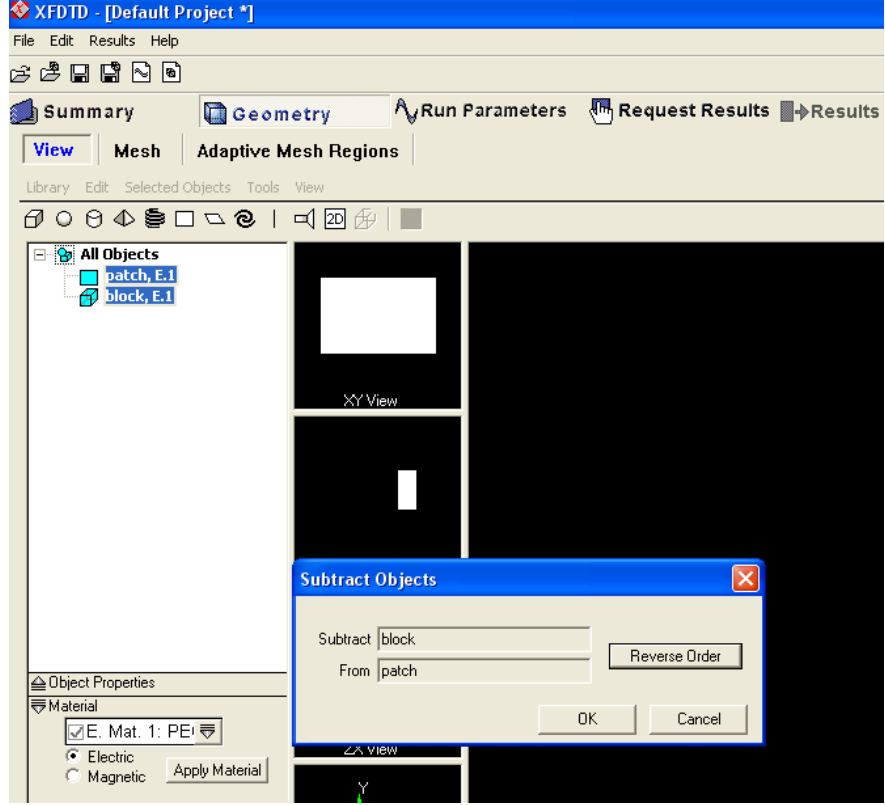


Şekil 4.6. CKMA antenin iletken kısmının oluşturulması

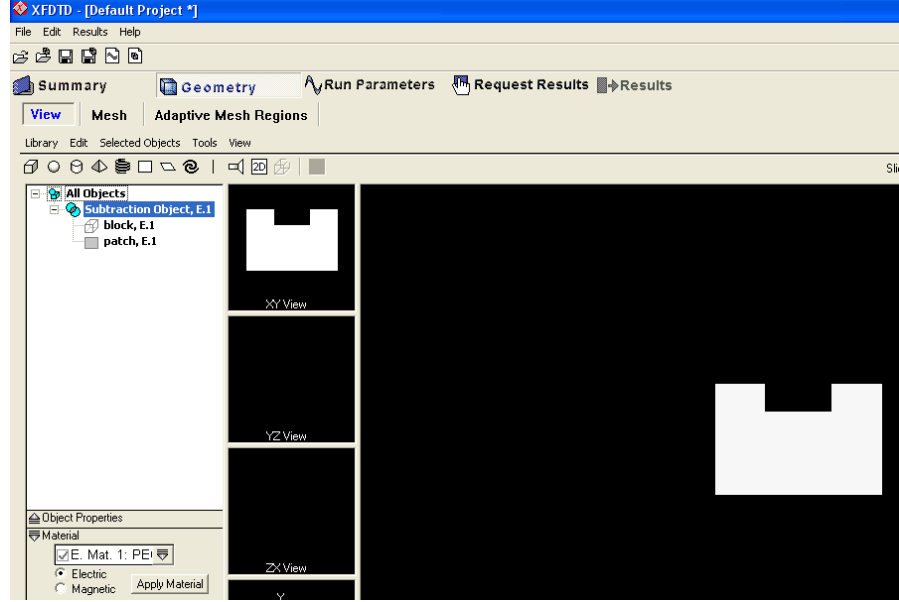




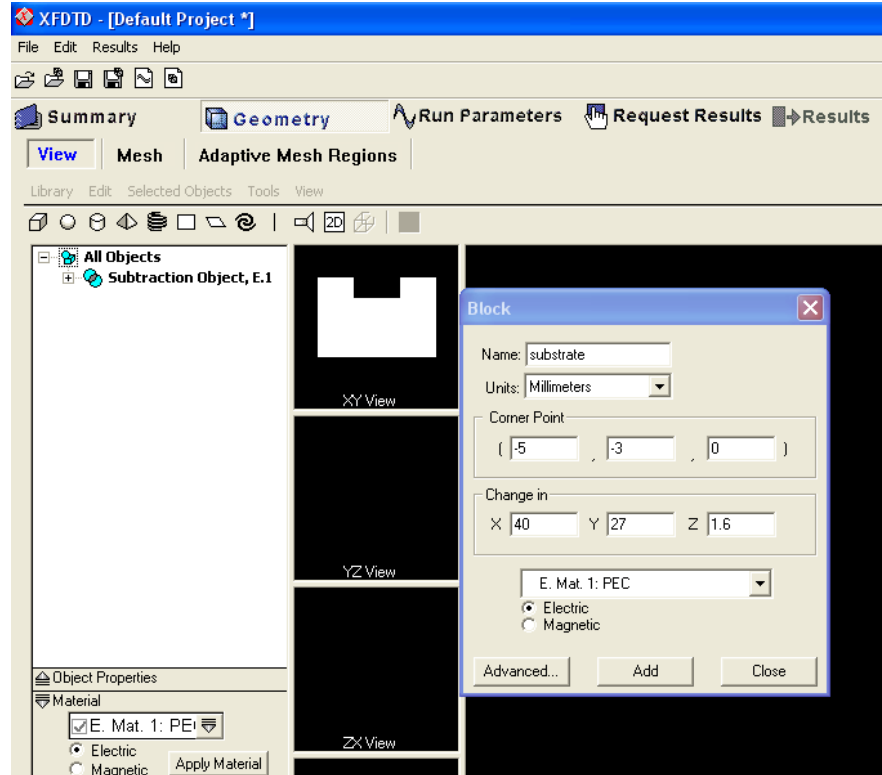
Şekil 4.9. DMA'nın iletken kısmından dikdörtgen prizma çıkarma işlemi için çıkarma operatörünün kullanılması



Şekil 4.10. DMA'nın iletkenin kısmından dikdörtgen prizmanın çıkarılması

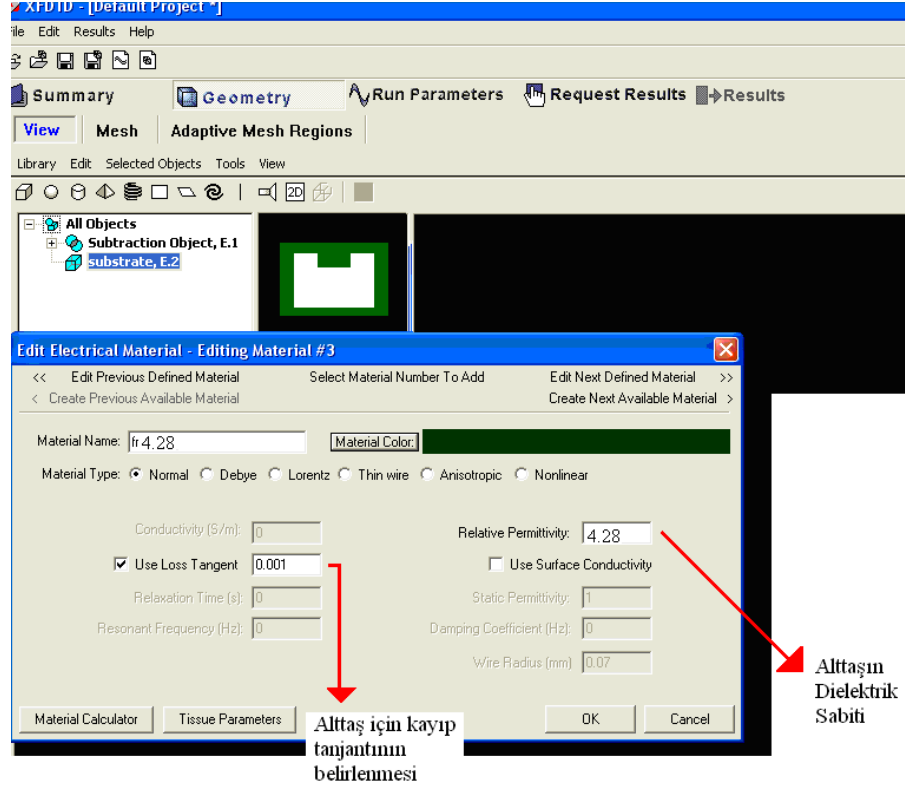


Şekil 4.11. Elde edilen CKMA'nın iletken yama kısmı

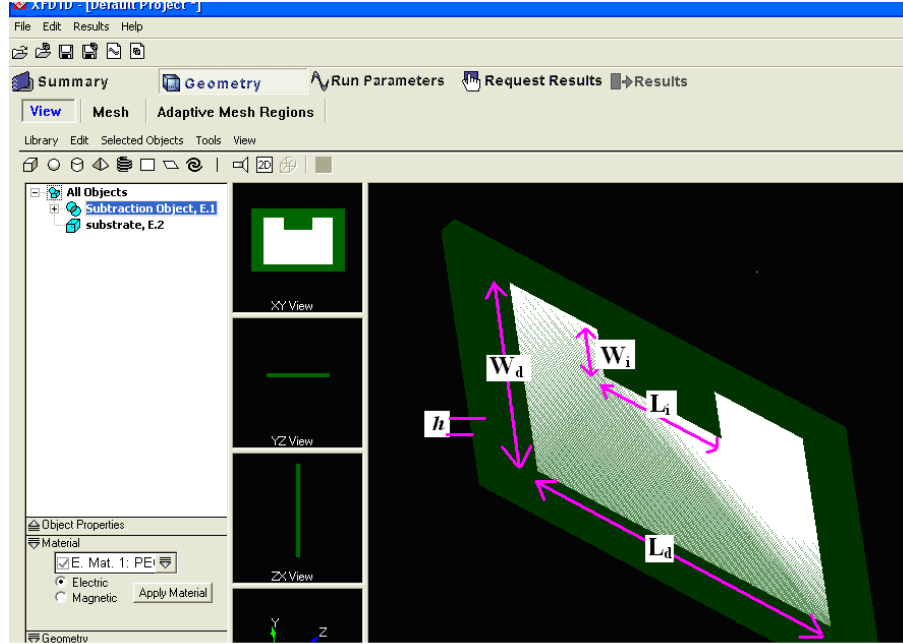


Şekil 4.12. CKMA'ya alttaş eklemek için dikdörtgen prizmanın fiziksel parametrelerinin belirlenmesi

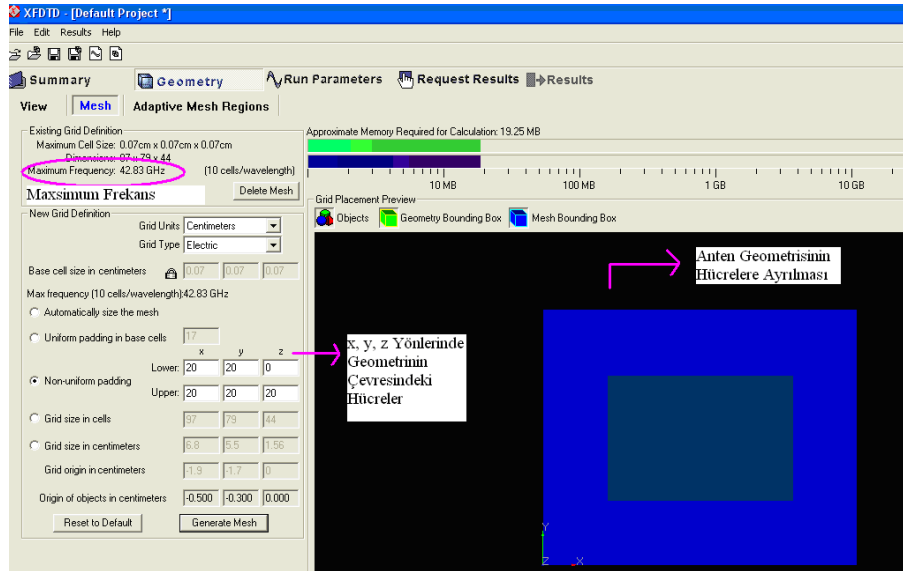




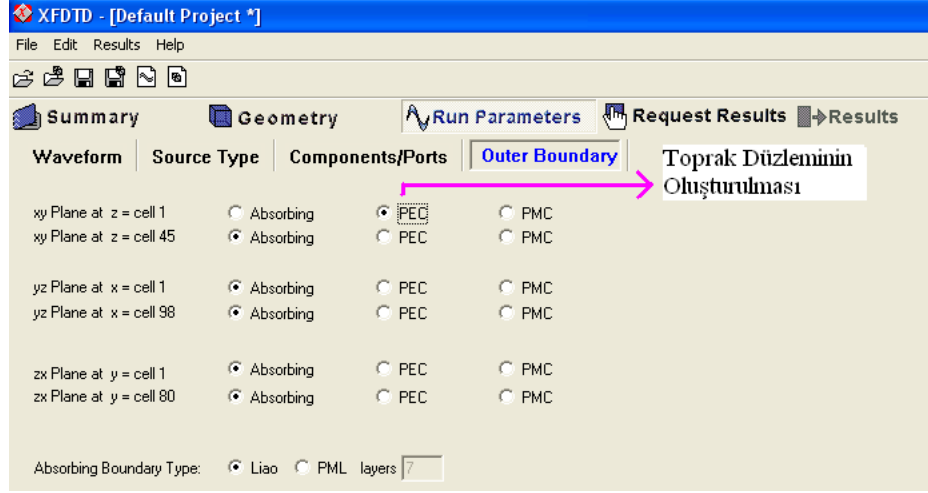
Şekil 4.13. CKMA'ya alttaş eklemek için oluşturulan dikdörtgen prizmanın elektriksel parametrelerinin belirlenmesi



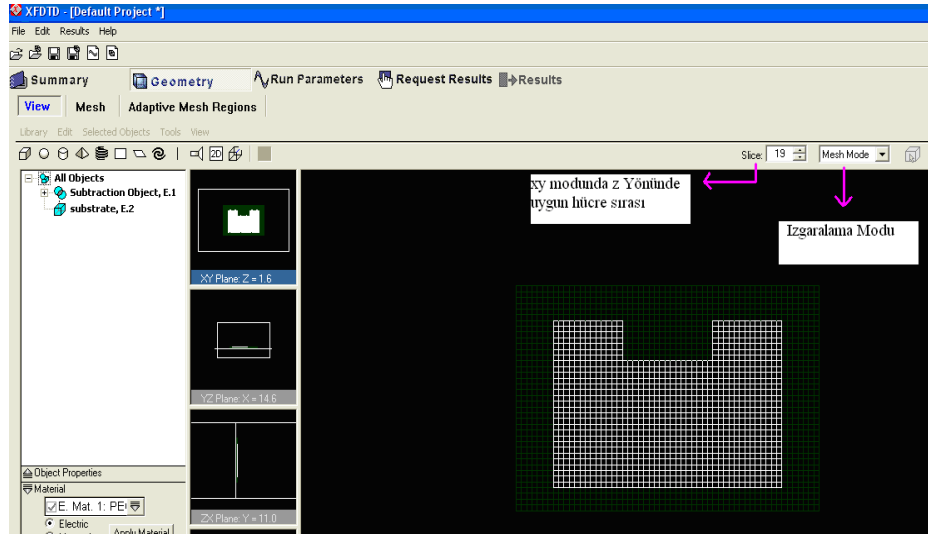
Şekil 4.14. Elde edilen CKMA'nın fiziksel parametrelerinin gösterilmesi



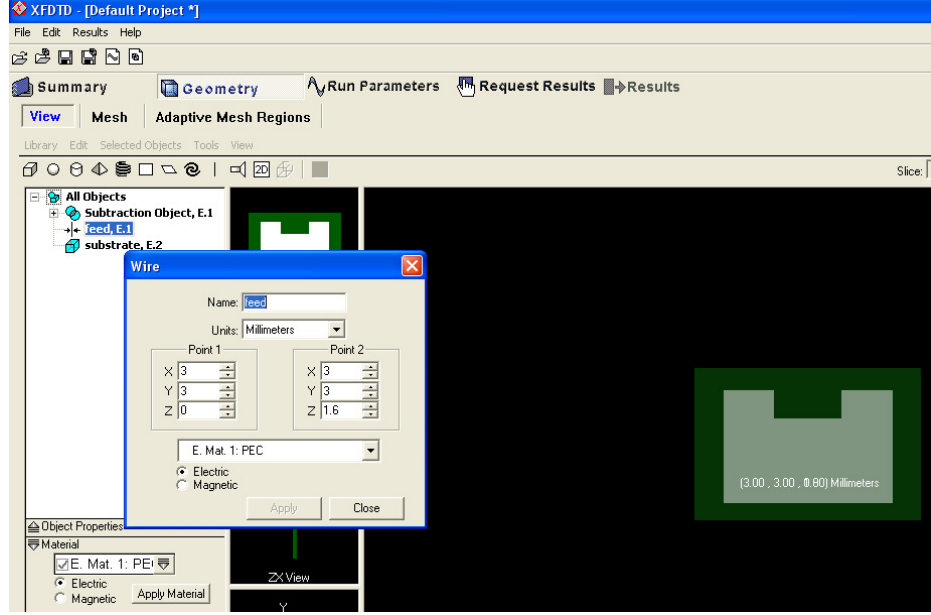
Şekil 4.15. CKMA'nın geometrisinin ızgaralama işlemi ile hücelere ayrılması



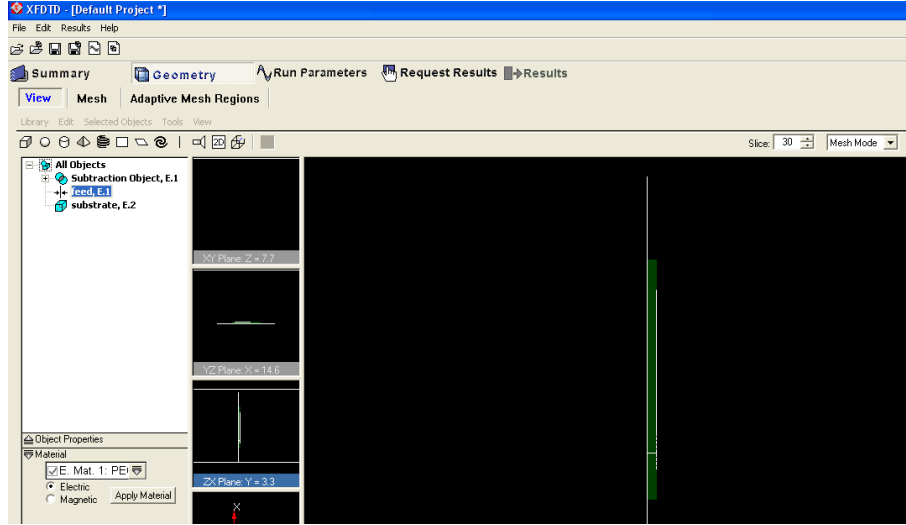
Şekil 4.16. CKMA’da dış koşulların belirlenmesiyle toprak zeminin oluşturulması



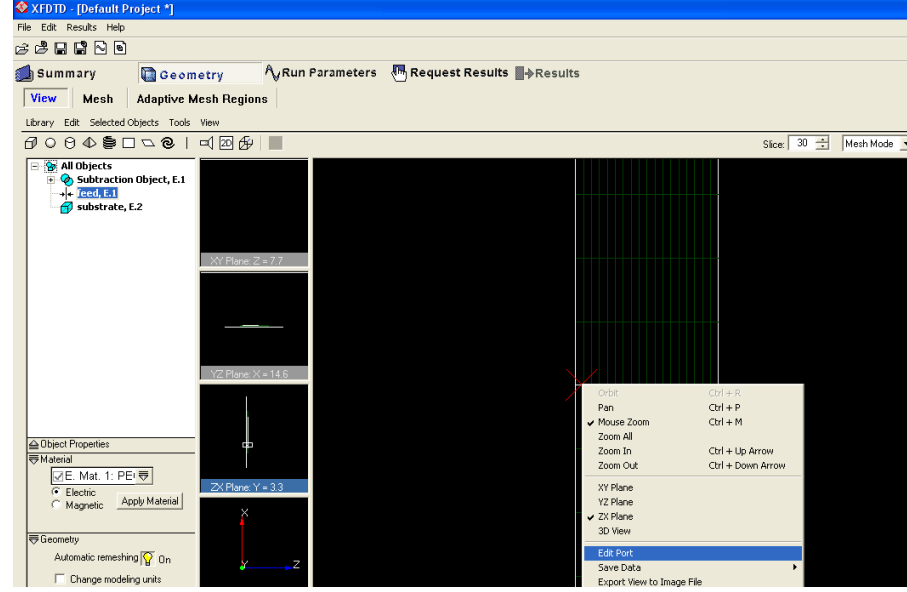
Şekil 4.17. CKMA’nın geometrisinin hücelere ayrılmış hali



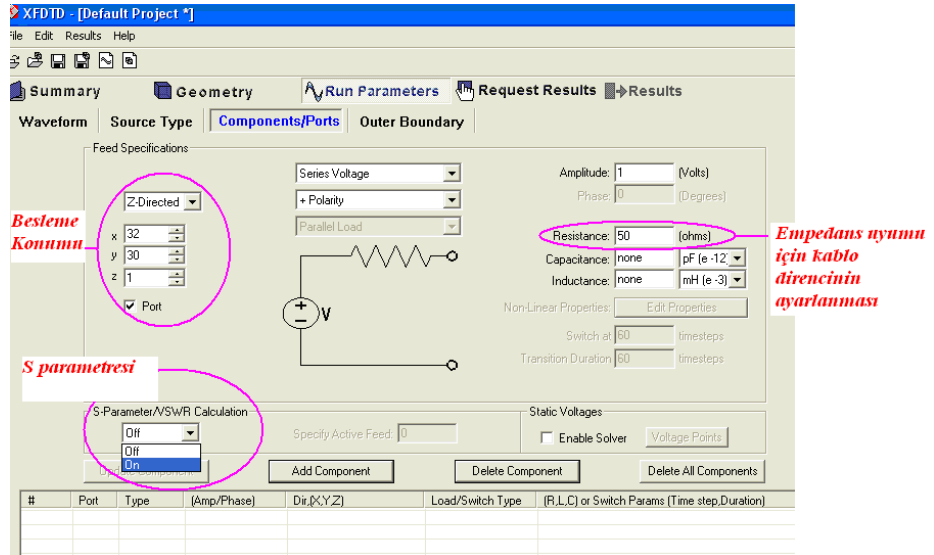
Şekil 4.18. CKMA'da beslemenin oluşturulması



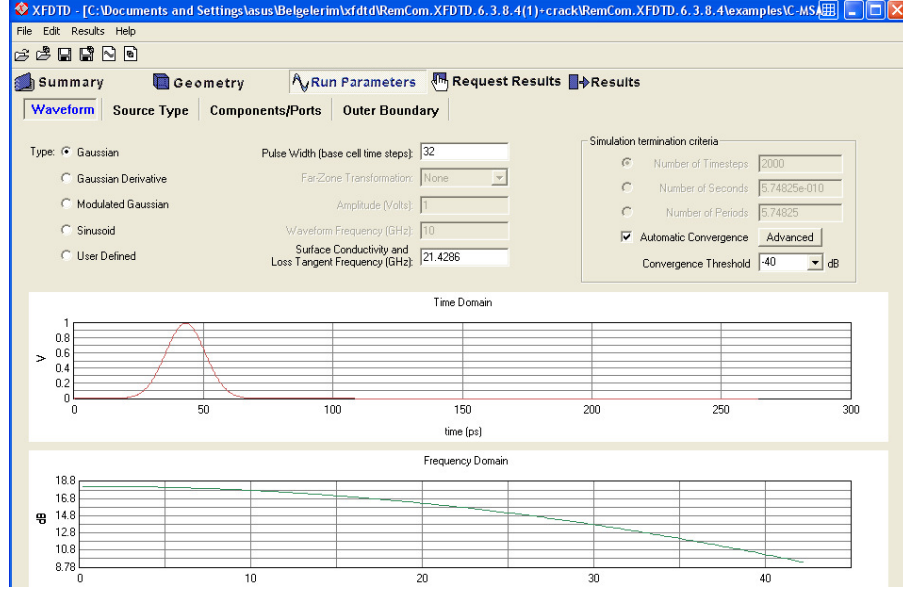
Şekil 4.19. CKMA'da oluşturulan beslemenin  $xz$  düzleminde görüntüsü



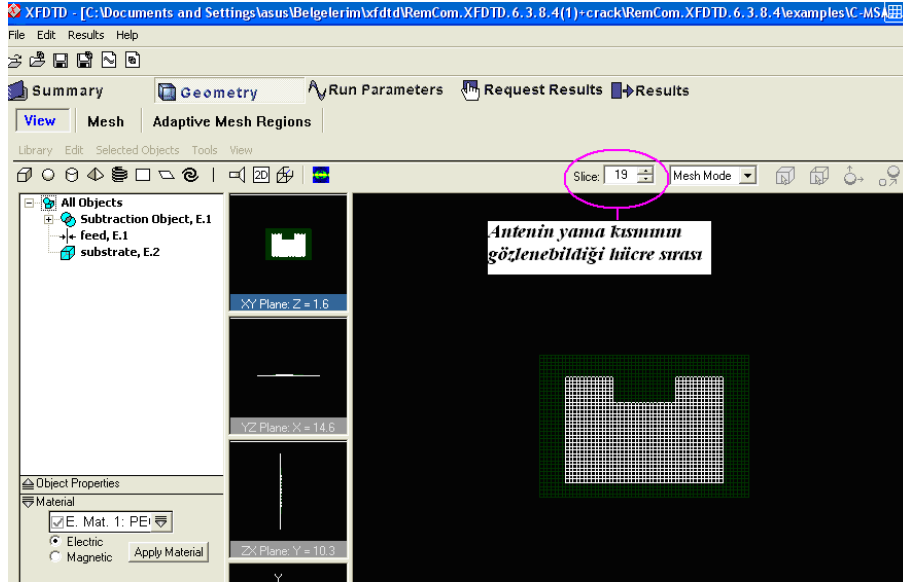
Şekil 4.20 CKMA geometrisi üzerinde besleme portunun belirlenmesi



Şekil 4.21. CKMA'nın besleme parametrelerinin belirlenmesi

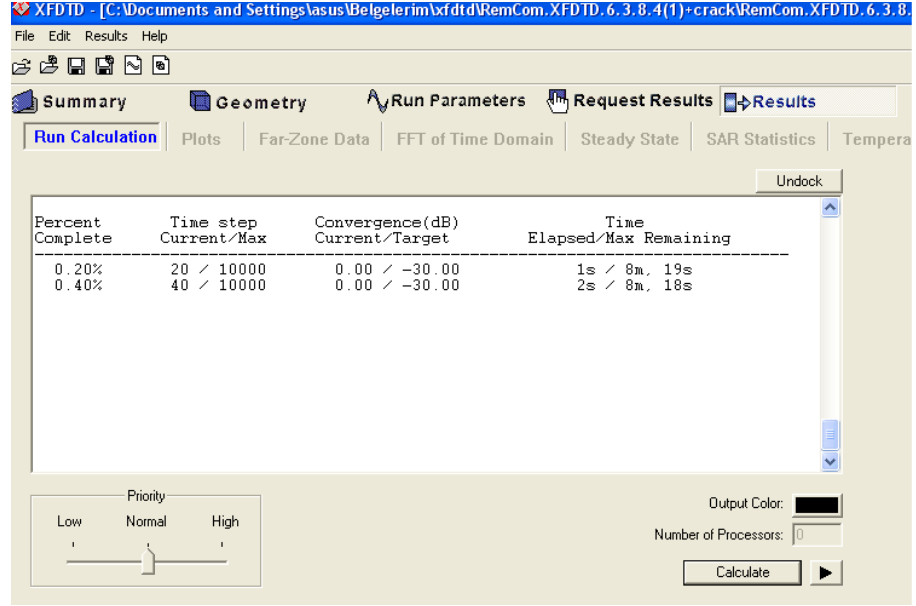


Şekil 4.22. CKMA'nın besleme voltajının belirlenmesi

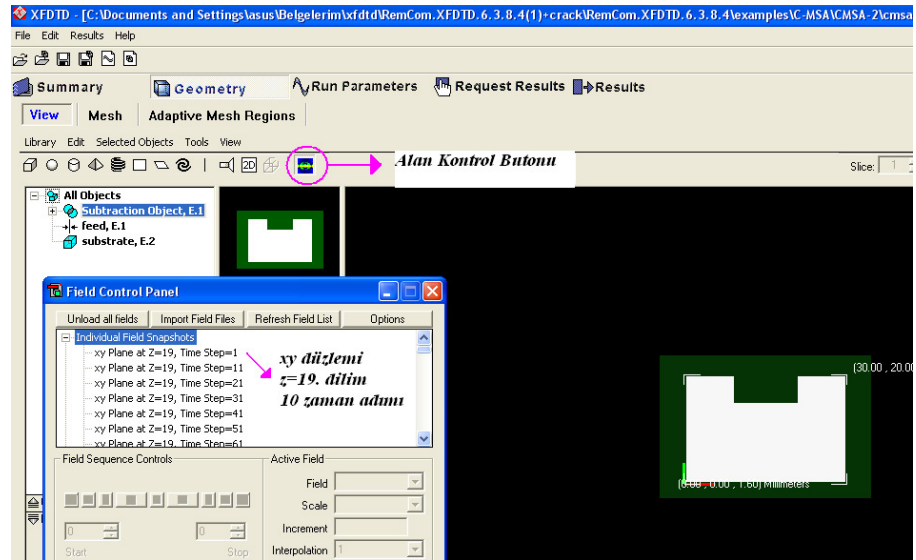


Şekil 4.23. CKMA'nın hücelere ayrılmış son hali



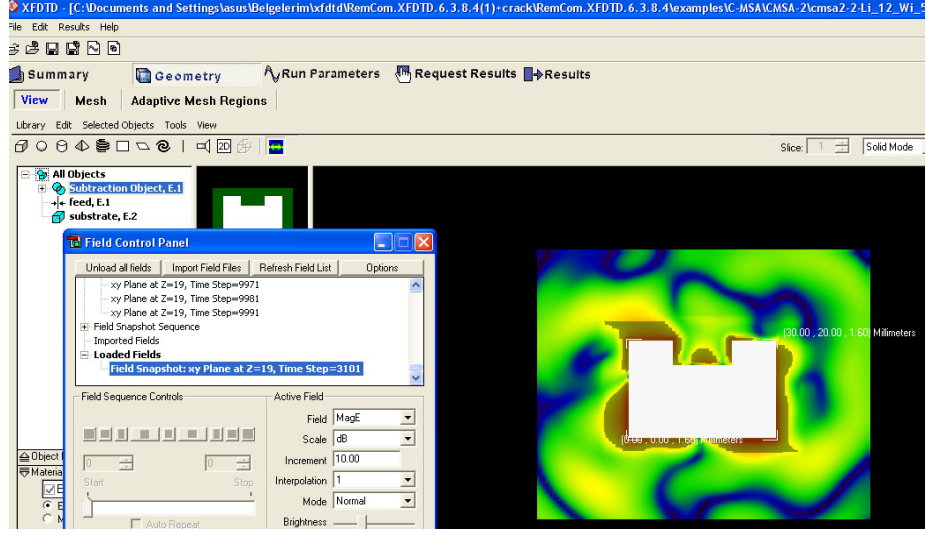


Şekil 4.26 CKMA benzetiminde hesaplamının başlatılması.

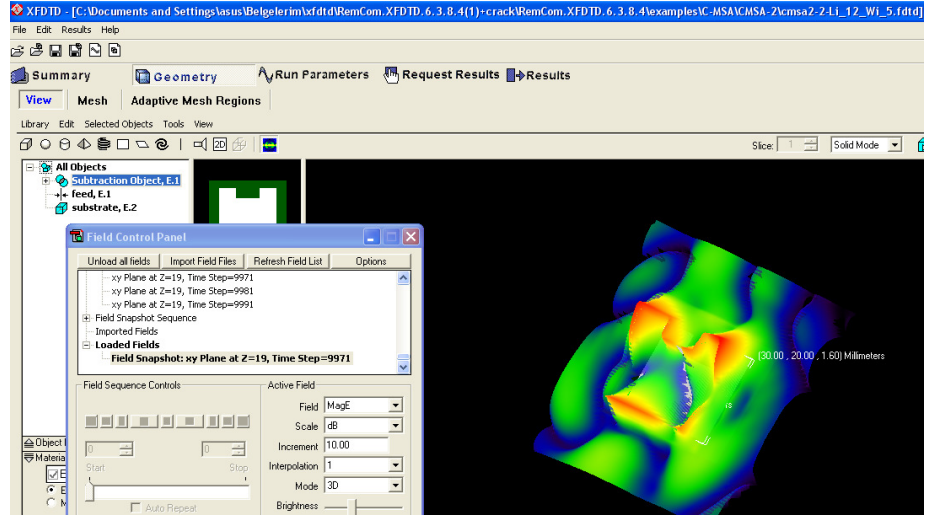


Şekil 4.27. CKMA benzetiminde alan kontrol panelinin çalıştırılması

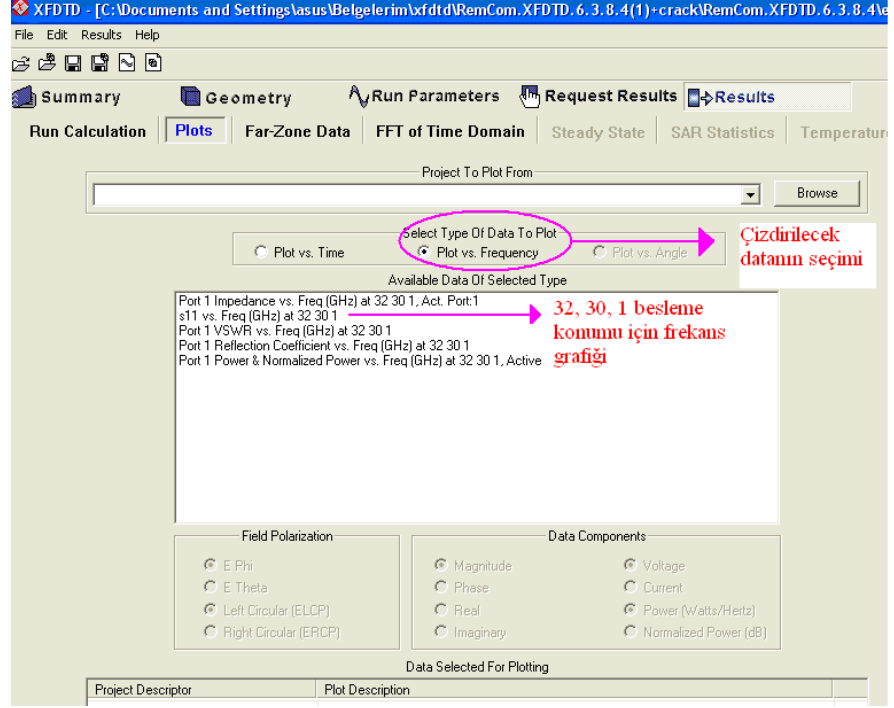




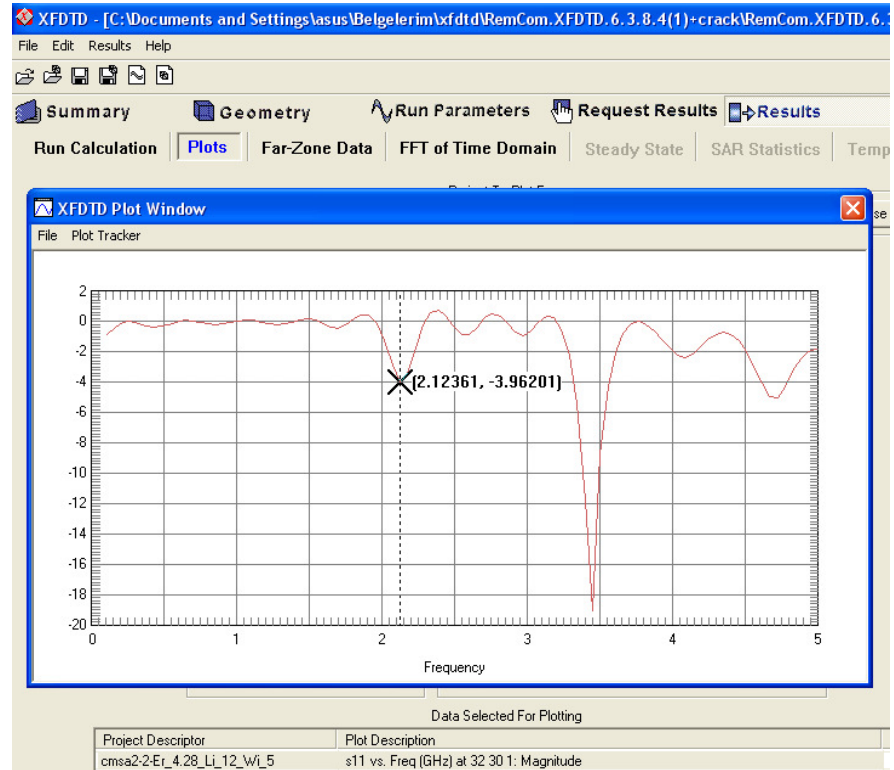
Şekil 4.28. CKMA iletken kısmında yayılan alanların 2 boyutlu xy düzleminde görüntüsü



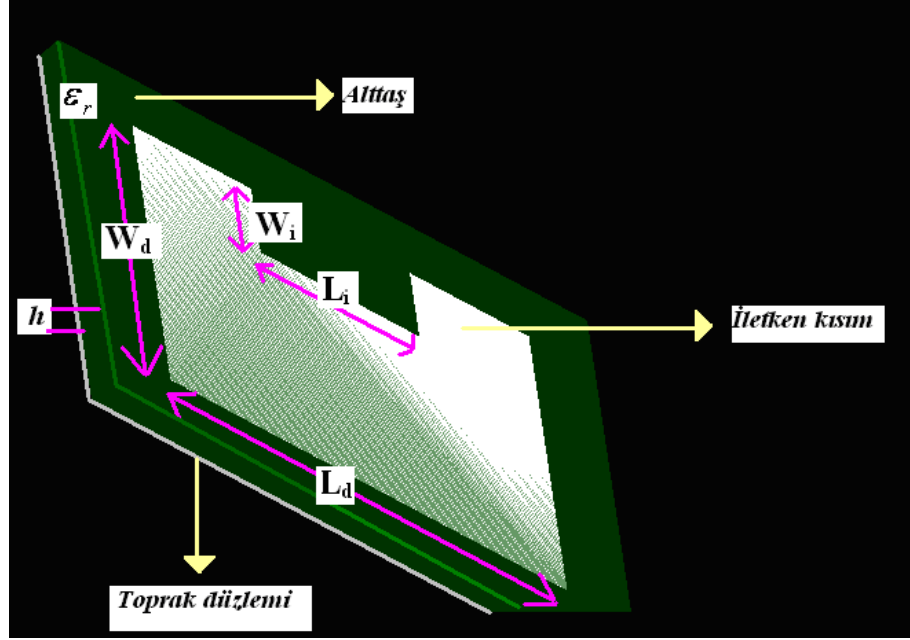
Şekil 4.29. CKMA iletken kısmında yayılan alanların 3 boyutlu görüntüsü



Şekil 4.30.  $S_{11}$  & Frekans grafiğinin seçilmesi



Şekil 4.31 CKMA'nın rezonans frekansının belirlenmesi



Şekil 4.32. Simüle edilen CKMA geometrileri üzerinde elektriksel ve fiziksel parametrelerin gösterilmesi

### Ek-3: S-parametresi (Saçılma Parametresi)

Saçılma parametreleri bir transmisyon hattı ile beslenen ve karakteristik empedansı  $Z_L$  olan bir hatta taşınan dalga ile yansıyan veya saçılan dalga arasında ilişki kurar ve bir karşılaştırma yapar. S parametreleri bir veya daha fazla portlu dereler için kullanılabilir. Saçılma parametreleri kavramsal olarak basit, analitik olarak uygun ve ölçüm ile dizayn problemlerini mükemmel bir şekilde anlamayı sağlar. Bununla beraber lineer bir parametredir.

Bir ağ pek çok porta sahip olabilmesine rağmen ağ parametreleri en kolay şekilde iki portlu ağ göz önüne alınarak açıklanabilir. Bu portlardan biri giriş diğeri çıkış portudur. Şekil E.3.1.'de portlara giren  $V_1$ ,  $V_2$  voltaj ve  $I_1$ ,  $I_2$  akım değerleri ile portlara giren dalga  $a_1$ ,  $a_2$  ve portlardan yansıyan veya iletilen dalga  $b_1$ ,  $b_2$  değerleri gösterilmiştir.



Şekil E.3.1. Çift portlu ağ

$V_1$  ve  $V_2$  voltaj değerleri bağımsız değişkenlerdir.  $I_1$ ,  $I_2$  port akımları bağımlı parametrelerdir. Ağ davranışının lineer olduğu kabul edilir. Bu durumda V ve I değerleri arasındaki ilişki şu şekilde verilir;

$$\begin{aligned} I_1 &= y_{11}V_1 + y_{12}V_2 \\ I_2 &= y_{22}V_2 + y_{21}V_1 \end{aligned}$$

Burada  $V$  ve  $I$  değerleri arasındaki ilişki kısa devre admittansı  $y$  ile kurulmuştur. Dört parametre tanımlanması için  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{21}$  ve  $y_{22}$  olmak üzere dört

ölçüm gereklidir. Her bir ölçüm portlardan birinin kısa devre değerinin açık devre yapılışı ile gerçekleştirilir. Örnek olarak;

$$y_{21} = \left. \frac{I_2}{V_1} \right|_{V_2=0 \text{ (kısa devre)}}$$

şeklinde yazılabilir.

Devrelerde admittans değerinin impedans değerinin tersi olduğu düşünülürse;

$$Y = Z^{-1}$$

Eşitliğini kullanarak voltaj ve akımlar arasındaki ilişki bir matris formda yazılabilir. Bu matris impedans matrisidir ve şu şekilde verilir;

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Saçılma matrisi Şekil E.1.'de gösterilen portlardan yansıyan veya iletilen dalga  $b_1, b_2$  ile portlara giren dalga  $a_1, a_2$  arasındaki ilişkidir ve şu şekilde verilir;

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

Saçılma matrisinde  $s_{11}, s_{22}$  yansıma katsayısı ve  $s_{12}, s_{21}$  saçılma katsayısıdır. Portların impedansı  $Z_0$ 'ın reel değerli pozitif bir sayı olduğu düşünülürse portlara gelen ve yansıyan dalgalar aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$a_1 = \frac{V_1 + Z_0 I_1}{2\sqrt{Z_0}}$$

$$a_2 = \frac{V_2 - Z_0 I_2}{2\sqrt{Z_0}}$$

$$b_1 = \frac{V_1 - Z_0 I_1}{2\sqrt{Z_0}}$$

$$b_2 = \frac{V_2 + Z_0 I_2}{2\sqrt{Z_0}}$$

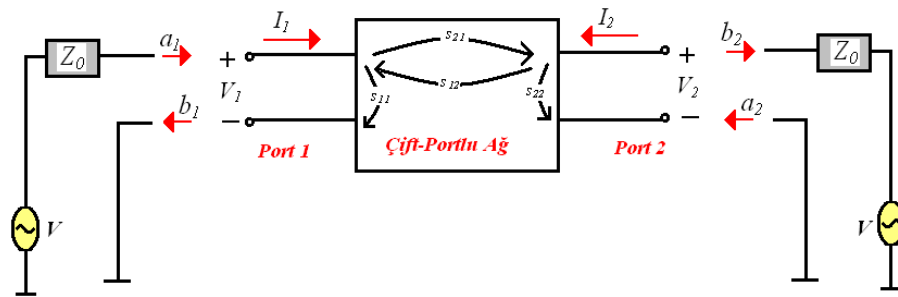
Başka bir ifadeyle;  $V_1$  iletilen voltaj olmak üzere  $a_1$  ifadesi;

$$a_1 = \frac{V_i}{2\sqrt{Z_0}}$$

şeklindedir. Aynı zamanda  $V_y$  yansıyan voltaj olmak üzere  $b_1$  ifadesi;

$$b_1 = \frac{V_y}{2\sqrt{Z_0}}$$

şeklindedir. Şekil E.3.2.'de sinyal akış grafiği ile S parametresinin voltaj durumuna göre  $s_{xx}$  katsayıları gösterilmiştir.



Şekil E.3.2.'de sinyal akış grafiği ile S parametresinin voltaj durumuna göre açıklanması görülmektedir.

S parametrelerinin devreye giren dalga veya devreden yansıyan dalgaya göre tanımlanması şu şekildedir;

$$s_{11} = \frac{b_1}{a_1}$$

$S_{11}$ ; port1'den yansıyan dalganın port1'den giren dalgaya oranıdır. (*Port 2 kısa devre yapıldığı için;  $a_2=0$* )

$$s_{12} = \frac{b_1}{a_2}$$

$S_{12}$ ; port1'den yansıyan dalganın port2'ye giren dalgaya oranıdır. (*Port 1 kısa devre yapıldığı için;  $a_1=0$* )

$$s_{21} = \frac{b_2}{a_1}$$

$S_{21}$ ; port2'den yansıyan dalganın port1'e giren dalgaya oranıdır. (*Port 2 kısa devre yapıldığı için;  $a_2=0$* )

$$s_{22} = \frac{b_2}{a_2}$$

$S_{22}$ ; port2'den yansıyan dalganın port2'ye giren dalgaya oranıdır. (*Port 1 kısa devre yapıldığı için;  $a_1=0$* )

Görüldüğü gibi S parametrelerinde indislerden ilki enerjinin iletildiği veya yansıdığı portu ikincisi enerji girişi olan portu göstermektedir.

$S_{11}$  ve  $S_{22}$  değerlerini bir çizelge ile ifade edecek olursak;

<i>Değer</i>	<i>Yorum</i>
-1	İki porta verilen tüm voltaj değerlerinin işareti değişir ve geri yansır. (0 ohm)
0	İmpedans uyumu vardır hiç yansıma yok. (50ohm)
1	Bütün voltaj değerleri geri yansır. ( $\infty$ ohm)

$S_{11}$  ve  $S_{22}$  değerlerinin genliği her zaman 1'den küçük olur. Aksi takdirde negatif değerli ohmik rezistans değerleri olması gerekmektedir.

$S_{12}$  ve  $S_{22}$  değerlerini bir çizelge ile ifade edecek olursak;

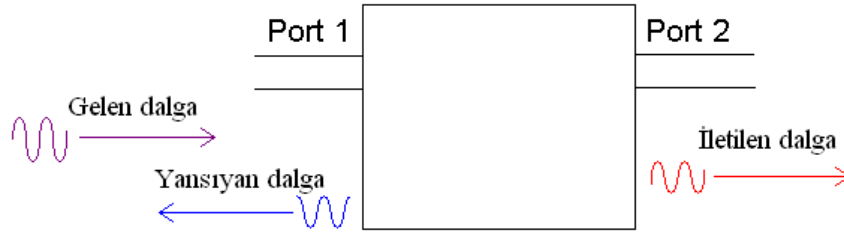
<i>Değer</i>	<i>Yorum</i>
0	Hiç transfer edilen sinyal yok.
0.....+1	Giriş sinyali $Z_0$ etrafına indirgenir.
+1	Giriş sinyali sadece $Z_0$ etrafındadır.
>+1	Giriş sinyali $Z_0$ etrafına yükseltilir.

Çok düşük frekanslarda dalga boyu iletim hattından çok daha büyük olur ve iletim hattı basit bir tel gibi düşünülebilir. Tel, doğru akım iletimi yani çok düşük frekans için yeterlidir. Telin rezistansı oldukça düşüktür ve düşük frekans sinyallerine etkisi çok azdır. Voltaj ve akım değerlerinin tel üzerinde nerede ölçüldüğü önemli olmaz çünkü düşük rezistanslı telin bu değerlere etkisi oldukça azdır. Yüksek frekanslarda dalga boyu transmisyon hattına nispeten daha küçük olur ve taşınan dalgayla güç iletilir. Eğer iletim hattı karakteristik empedansı ile sonlandırılırsa yüke maksimum güç aktarılır. Eğer bu sonlandırma iletim hattının karakteristik empedansından farklı bir değer olursa gelen dalganın bir kısmı yük tarafından alınırken, bir kısmı kaynağa doğru geri yansır. İletim hattı kısa devre ile sonlandırılırsa dalga hat yönünün tersine kaynağa doğru yansımaya başlar. Yansıyan voltajın genliği kaynak voltajına eşit ve açısı  $180^\circ$  kaymıştır. Yansıyan ve uygulanan dalgaların genlikleri aynıdır fakat fazları arasında  $180^\circ$  fark vardır. Eğer



iletim hattı açık devre ile sonlandırılırsa yansıyan akım uygulanan akımın  $180^\circ$  kaymış halidir ve yansıyan voltajın genliği uygulanan voltajla aynıdır. S parametrelerinin en hatasız şekilde ölçülebilmesi için yük ve kaynak impedanslarının uyumlu olması gerekmektedir.

Özetle bir transmisyon hattıyla beslenen bir devreye uygulanan giriş voltajının transmisyon hattının sonlandırma direncine göre bir kısmı geri yansıran bir kısmı iletilir. Yansıyan voltaj için ‘*Yansıma Katsayısı*’, iletilen voltaj için ‘*İletim Katsayısı*’ tanımlamalarını yapmak gerekir. Şekil E.3.3.’de yansıyan ve iletilen dalgalar görülmektedir.



Şekil E.3.3. Çift portlu ağda yansıyan ve iletilen dalgalar

Geri dönüş kaybı (Return Loss) yansıma katsayısının logaritmik olarak ifade edilmiş halidir. Yansıma katsayısı kompleks bir bileşendir ve  $\Gamma$  ile ifade edilir. Yansıma katsayısının genliği  $\rho$  ile ifade edilir. Yansıma katsayısı yansıyan voltajın giren voltaja oranıdır. Eğer hat karakteristik empedansı  $Z_0$  ile sonlandırılırsa yansıma olmaz ve tüm güç yüke aktarılır. Sonuçta; yansıyan voltaj,  $V_{ref}$  ve yansıma katsayısı,  $\rho$ , şu şekildedir;

$$V_{ref} = 0$$

$$\rho = 0$$

$Z_0$  değeri benzetimimizde koaksiyel hat beslemesi uygulandığı için  $50\Omega$  'dur.

Yük empedansı ( $Z_L$ ),  $Z_0$  ile aynı değilse yansıyan voltaj,  $V_{ref}$  ve yansımaya katsayısı,  $\rho$ , şu şekildedir;

$$V_{ref} > 0$$
$$\rho > 0$$

Eğer hat açık devre veya kısa devre ile sonlandırılırsa uygulanan bütün voltaj geri yansır. Sonuçta; yansımaya katsayısı,  $\rho$  şu şekildedir;

$$\rho = 0$$

Geri yansımaya katsayısı ve geri dönüş kaybı ifadeleri aşağıdaki gibidir;

$$\text{Geri yansımaya Katsayısı} = S_{xx} \text{ Parametresi} = \Gamma = \frac{V_R}{V_I}$$

$V_R$  = Geri yansıyan Voltaj

$V_I$  = Uygulanan voltaj

$$\text{Yansımaya Katsayısı Genliği} = \rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$\text{Geri dönüş kaybı (Return Loss)} = -20 \log \rho \text{ (dB)}$$

Yansımaya katsayısının genliği sifıra ne kadar yakın ise o kadar geri dönüş kaybı azalır. Dolayısıyla geri yansıyan dalga azalmış uygulanan dalganın büyük kısmı iletilmiş olur. Yansımaya katsayısının genliğinin sifıra yaklaşması demek; yaklaşık olarak  $Z_L = Z_0$  olması demektir.

$S_{xx}$  parametresi aynı zamanda Yansımaya Katsayısı ve  $S_{xy}$  parametresi aynı zamanda Saçılma Katsayısı olarak da verilir. Saçılma katsayısı ise iletilen voltajın

uygulanan voltaja bölümüdür. Saçılma katsayısı, saçılma kaybı ve kazanç eşitlikleri aşağıdaki gibidir;

$$S_{xy} = \text{Saçılma Katsayısı} = \tau = \frac{V_T}{V_I}$$

$$\text{Saçılma Kaybı (Insertion Loss)} = -20 \log \tau \quad (\text{dB})$$

$$\text{Kazanç} = 20 \log \tau \quad (\text{dB})$$

Bu ifadelerde iletilen voltaj,  $V_T$  ve uygulanan voltaj  $V_I$  olarak verilmiştir.

## ÖZGEÇMİŞ

Seda ERMİŞ, 2 Őubat 1984'de Mersin'de doğdu. 2002 yılında Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2006 yılında lisans diplomasını ve mühendis unvanını aldı. 2006 yılı Eylül ayında Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansına başladı. 2007 Kasım ayından itibaren Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.