

**FARKSAL GELİŞİM ALGORİTMASI
KULLANARAK H ŞEKLİ MİKROŞERİT
ANTENLERİN REZONANS FREKANSININ
HESAPLANMASI**

ABDURRAHİM TOKTAŞ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
KASIM - 2009**

**FARKSAL GELİŞİM ALGORİTMASI KULLANARAK H ŞEKLİ
MİKROŞERİT ANTENLERİN REZONANS FREKANSININ
HESAPLANMASI**

ABDURRAHİM TOKTAŞ

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

**MERSİN
KASIM - 2009**

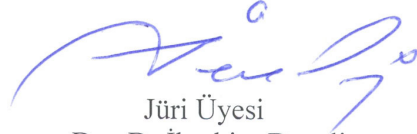
Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.



Tez Danışmanı
Doç.Dr.Ali AKDAĞLI



Jüri Üyesi
Prof.Dr.Caner ÖZDEMİR



Jüri Üyesi
Doç.Dr.İbrahim Develi

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun ..07../01../2010...tarih ve 2010.01../03..... 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

Gelişen teknolojiyle beraber, kablosuz iletişimin ilgi görmesi son yıllarda anten teknolojisinde hızlı gelişmeler yaşanmasına yol açmıştır. Özellikle kişisel taşınabilir cihazlar yoğun ilgi görmektedir. Bunun yanı sıra; uçak, uzay araçları, radar, uydu ve füze uygulamaları büyük bir hızla gelişmektedir. Bu nedenle, bu cihazlarda kullanılan Mikroşerit Antenler (MA) önem kazanmıştır. Geleneksel şekiller olan dikdörtgen, daire ve üçgen şekilli MA'ların modifiye edilmeleri ile Kompakt Mikroşerit Antenler (KMA) meydana gelmektedir. H-Şekilli MA (HKMA), Dikdörtgen Mikroşerit Antenin (DMA) modifiye edilmesiyle oluşturulmaktadır.

Bu çalışmada, farklı fiziksel ve elektriksel parametrelere sahip HKMA'lar tasarlanmıştır. HKMA'ların 3-boyutlu benzetim programı olan XFDTD ile benzetimleri yapılmıştır. Farksal Gelişim Algoritması (FGA) kullanılarak, benzetimler sonucunda elde edilen rezonans frekansı değerlerini veren yeni bir denklem bulunmaya çalışılmıştır. Bununla beraber, oluşturulan denklemdeki katsayılar FGA ile optimizasyon yapılarak bulunmuştur. Sonuç olarak, benzetim programları ile tespit edilen sonuçlara yakın sonuçlar veren yeni ve basit bir denklem elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit Antenler, Kompakt Mikroşerit Antenler, H Şeklinde Kompakt Mikroşerit Anten, FDTD, XFDTD, Farksal Gelişim Algoritması

ABSTRACT

With developing technology, interest in wireless communication in recent years leads to rapid developments in antenna technology. Particularly, personal portable devices have seen intense interest. In addition, aircraft, space vehicles, radar, satellite and missile applications are growing at a greater rate. Therefore, Microstrip Antennas (MSA) which used in these devices have gained importance. Compact Microstrip Antennas are created by modification of traditional antenna's shapes which are rectangle, circle and triangle. The H-shaped MSA are formed by modification of the Rectangular Microstrip Antenna (RMSA)

In this study, the H-Shaped MSAs with different physical and electrical parameters have designed. These antennas have been simulated in XFDTD which is a 3-D simulation program. A new equation which approximately gives the resonance frequency values obtained by simulations has been trying to find by using Differential Evolution Algorithm (DEA). Beside this, coefficients of the equation have been found by optimization used DEA. Finally, a new and simple equation which gives the close result of Simulation Programs has been found.

Key Words: Microstrip Antennas, Compact Microstrip Antennas, H-Shaped Compact Microstrip Antennas, FDTD, XFDTD, Differential Evolution Algorithm

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bilgi ve tecrubesini benimle paylaőan, her türlü desteğini benden esirgemeyen danıőmanım sayın Doç. Dr. Ali AKDAğLI'ya, deneyimleriyle çalıőmama yön veren Sayın Seda ERMİŞ'e ve çok sevdiğim aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE METOT	9
3.1. MİKROŞERİT ANTENLER (MA)	9
3.1.1. MA'nın Avantajları	9
3.1.2. MA'nın Dezavantajları	10
3.1.3. MA'ların Uygulamaları	10
3.2. DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER (DMA)	10
3.2.1. Besleme Teknikleri	11
3.2.1.1. Koaksiyel Besleme	11
3.2.1.2. Mikroşerit Hat Besleme	12
3.2.1.3. Elektromanyetik Kuplajlı Besleme	13
3.2.1.4. Açıklık Kuplajlı Besleme	14
3.2.2. Dikdörtgen Mikroşerit Antende Işıma	14
3.2.3. Analiz Yöntemleri	15
3.2.3.1. İletim Hattı Modeli	16
3.3. KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLER (KMA)	19
3.3.1 H-Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten (HKMA)	20
3.4. FDTD METODU	21
3.5. YAPAY ZEKÂ OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ	26
3.5.1. Türevsel Evrim Algoritması	27
3.5.1.1. FGA'nın Özellikleri	28
3.5.1.2. FGA'nın Parametreleri	29
3.5.1.3. Kodlama ve Başlangıç Popülasyonu	30
3.5.1.4. Mutasyon	31
3.5.1.5. Çaprazlama	32
3.5.1.6. Seçim	32

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	34
4.1. XFDTD PROGRAMINDA HKMA’NIN BENZETİMİ	35
4.2. REZONANS FREKANSI DENKLEMİNİN OLUŞTURULMASI	36
4.3. SONUÇLARIN KARŞILATIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR	58
EKLER	66
EK-1: XFDTD PROGRAMINDA ÖRNEK BİR GEOMETRİNİN BENZETİM ADIMLARI	66
EK-2: XFDTD PROGRAMINDA HKMA’NIN BENZETİMİNİN YAPILMASI	71
1. Geometrisinin Oluşturulması	71
2. Izgaralama ve Çalışma Parametrelerinin Belirlenmesi	80
3. Çalışma Parametrelerinin Tanımlanması	83
4. Sonuçların Alınması	91
ÖZGEÇMİŞ	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE		<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1	Farklı parametrelere sahip iki DMA'ın karşılaştırılması	19
Çizelge 3.2.	HKMA'da boşluk boyutlarının performansa etkisi	21
Çizelge 3.3.	TA'da kullanılan parametreler	29
Çizelge 4.1.	Birinci grup antenler için fiziksel ve elektriksel parametreler ile benzetim sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri	37
Çizelge 4.2.	İkinci grup antenler için fiziksel ve elektriksel parametreler ile benzetim sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri	39
Çizelge 4.3.	Üçüncü grup antenler için fiziksel ve elektriksel parametreler ile benzetim sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri	41
Çizelge 4.4.	Dördüncü grup antenler için fiziksel ve elektriksel parametreler ile benzetim sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri	43
Çizelge 4.5.	HKMA'nın benzetim ve hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması	47
Çizelge 4.6.	[68] ve yaklaşık denklem ile elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
Şekil 3.1. DMA Konfigurasyonu	11
Şekil 3.2. Koaksiyel Beslemeli DMA Konfigürasyonu	12
Şekil 3.3. Mikroşerit Hat Beslemeli DMA Konfigürasyonu	12
Şekil 3.4. Elektromanyetik Kuplajlı DMA Konfigurasyonu	13
Şekil 3.5. Açıklık Kuplajlı DMA Konfigurasyonu	14
Şekil 3.6. DMA'da ışıma	15
Şekil 3.7. DMA'nın Transmisyon Hattı modeli	16
Şekil 3.8. MA'da etkin dielektrik sabitinin gösterimi	17
Şekil 3.9. HKMA geometrisi	20
Şekil 3.10. Birim Yee hücresi ve elektromanyetik alan dağılımlarının gösterilmesi	22
Şekil 3.11. Birim Yee hücresi	24
Şekil 3.12. Yapay zeka optimizasyon teknikleri	27
Şekil 3.13. Operatörler ve uygulama sıraları	30
Şekil 4.1. HKMA geometrisi	35
Şekil 4.2. DMA ile HKMA'nın fiziksel parametrelerinin eşleştirilmesi	42
Şekil 4.3. f_s ve f_c 'nin grafiksel olarak karşılaştırılması	53
Şekil Ek-1.1. XFDTD programında oluşturulmuş örnek bir geometri	67
Şekil Ek-1.2. Geometrinin hücelere ayrılmış durumu	68
Şekil Ek-1.3. Benzetimin çalışma parametrelerinin belirlenmesi	69
Şekil Ek-1.4. İstenen sonuçların belirlendiği pencere	70
Şekil Ek-2.1. HKMA'nın iletken yama kısmının oluşturulması	72
Şekil Ek-2.2. Dikdörtgen şekilli iletken yama yüzeyinin oluşturulması	73
Şekil Ek-2.3. İki küçük dikdörtgen şekilli yama yüzeyinin oluşturulması	74
Şekil Ek-2.4. Ana iletken yüzeyden Üst ve Alt dikdörtgen şekilli iletken yama yüzeylerini çıkarma operatörünün kullanılması	75
Şekil Ek-2.5. Ana iletken yüzeyden Üst ve Alt dikdörtgen şekilli iletken yama	76

yüzeylelerini çıkarma işlemi	
Şekil Ek-2.6. Elde edilen H şekilli iletken yama	77
Şekil Ek-2.7. HKMA'ya alttaş eklemek için oluşturulan dikdörtgen prizmanın elektriksel parametrelerinin belirlenmesi	78
Şekil Ek-2.8. HKMA'ya alttaş eklemek için dikdörtgen prizmanın fiziksel parametrelerinin belirlenmesi	79
Şekil Ek-2.9. Elde edilen HKMA'nın fiziksel boyutlarının gösterilmesi	80
Şekil Ek-2.10. HKMA geometrisinin ızgaralama işlemi ile hücelere ayrılması	81
Şekil Ek-2.11. HKMA'da dış koşulların belirlenmesiyle toprak zeminin oluşturulması	82
Şekil Ek-2.12. HKMA geometrisinin hücelere ayrılmış hali	83
Şekil Ek-2.13. HKMA'nın beslemesinin oluşturulması	84
Şekil Ek-2.14. Beslemenin xz düzleminde görüntüsü	85
Şekil Ek-2.15 HKMA geometrisi üzerinde besleme portunun belirlenmesi	86
Şekil Ek-2.16. Besleme parametrelerinin belirlenmesi	87
Şekil Ek-2.17. HKMA'nın besleme voltajının belirlenmesi	88
Şekil Ek-2.18. HKMA benzetiminde istenen sonuçların belirlenmesi	89
Şekil Ek-2.19. HKMA'nın hücelere ayrılmış son hali	89
Şekil Ek-2.20. Geometri ve projenin kaydedilmesi	90
Şekil Ek-2.21. HKMA benzetiminde hesaplamanın başlatılması.	91
Şekil Ek-2.22. Alan Kontrol Panelinin çalıştırılması	92
Şekil Ek-2.23. HKMA'nın iletken kısmından yayılan alanın 2-boyutlu olarak xy düzleminde görüntüsü	93
Şekil Ek-2.24. HKMA'nın iletken kısmından yayılan alanın 3-boyutlu görüntüsü	94
Şekil Ek-2.25. S_{11} & Frekans grafiğinin seçilmesi	95
Şekil Ek-2.26. Grafik parametrelerinin tanıtılması	96
Şekil Ek-2.27 HKMA'nın rezonans frekansının belirlenmesi	97
Şekil Ek-2.28. HKMA geometrileri üzerinde elektriksel ve fiziksel parametrelerin gösterilmesi	98

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

MA	:Mikroşerit Anten
DMA	:Dikdörtgen Mikroşerit Anten
KMA	:Kompakt Mikroşerit Anten
HKMA	:H-Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten
L	: DMA'ın İletken Yama Uzunluğu
W	: DMA'ın İletken Yama Genişliği
a	: HKMA'nın İletken Yama Genişliği
b	: HKMA'nın İletken Yama Uzunluğu
s	: HKMA'nın İletken Yamanın Boşluk Genişliği
d	: HKMA'nın İletken Yamanın Boşluk Uzunluğu
h	: Alttaş Kalınlığı
λ	:Dalga Boyu
f	:Frekans
λ_d	:Alttaşında Yayılan Dalganın Dalga Boyu
ΔL	:Antende Elektriksel Uzama
ϵ_r	:Alttaşın Dielektrik Sabiti
μ	:Manyetik Geçirgenlik
ϵ_{reff}	:Etkin Dielektrik Sabiti
L_{eff}	:Etkin Uzunluk
f_r	:Rezonans Frekansı
f_s	:Benzetim Sonucunda Bulunan Rezonans Frekansı
f_c	:Hesaplama Sonucunda Bulunan Rezonans Frekansı
BW	:Bant Genişliği
D_r	:Anten Direktifliği
η	:Anten Verimliliği
$\tan \delta$:Antenin Kayıp Tanjantı
E	:Elektrik alan şiddeti
H	:Manyetik alan şiddeti
FGA	:Farksal Gelişim Algoritması

NP	:Popülasyon Büyüklüğü (Kromozom Sayısı)
D	:Gen Sayısı
CR	:Çaprazlama Faktörü
G	:Nesil (Jenerasyon)
F	:Ağırlık Faktörü
x	:Gen
n	:Ara Kromozom
$u_{j,i,G+1}$:Bir Sonraki Nesil İçin Üretilen Kromozom
FDTD	:Zaman Domeninde Sonlu Farklar Metodu
XFDTD	:Benzetim Programı
L_{max}	:FDTD'de Maksimum Hücre Boyutu

1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte, iletişim alanında kullanılan cihazlar küçülmektedir ve kablosuz cihazların kullanımı artmaktadır. Bu nedenle, söz konusu cihazlarda kullanılan antenlerden en önemlisi olan Mikroşerit Antenler (MA) büyük ilgi görmektedir. MA'lar genel olarak, kablosuz iletişim cihazlarında, uçaklarda, uzay araçlarında, radar sistemlerinde, uydu ve füze uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. MA'ların en önemli avantajları; küçük hacimli, düşük maliyetli ve baskı devre teknolojileri ile kolay üretilebilir olmalarıdır. Literatürde bu antenlere “*Yama Antenler*” de denilmektedir [1-4]. Genellikle dikdörtgen, dairesel ve üçgen şekillerde üretilmektedir. UHF (Ultra High Frequency) bandında yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel şekilli MA'ların şekillerinin değiştirilmesi ve küçük şekilli MA'ların birleştirilmesi ile oluşturulan antenler Kompakt Mikroşerit Antenler (KMA) olarak adlandırılmaktadır.

MA'lar diğer antenlere göre daha dar bant genişliğinde çalıştığı için rezonans frekansının belirlenmesi önem taşımaktadır. Literatürde dikdörtgen, kare, çember ve üçgen gibi geleneksel şekilli MA'ların rezonans frekansını araştıran çok sayıda çalışma bulunmaktadır [1-4]. Buna karşın, düzgün şekilli olmayan KMA'ların rezonans frekans problemleri doğrusal olmadığından (nonlinear) analitik yöntemler ile çözümü oldukça zordur. KMA'nın rezonans frekansı hesabı için elektromanyetik nümerik hesaplama yöntemleri ile çalışan ve deneysel sonuçlara yakın sonuçları üreten benzetim programları kullanılmaktadır [1-4].

KMA'nın rezonans frekansının modelleme yöntemi ile hesaplanması oldukça zordur. MA'ların tasarımında iki tip parametre kullanılmaktadır. Birincisi, elektriksel parametre olan dielektrik sabiti ϵ_r 'dir. İkincisi ise, fiziksel parametre olan yama boyutları ve altaş yüksekliğidir. Bu nedenle, rezonans frekansının nümerik yöntemlerle hesaplanması için antenin bu parametreleri kullanılarak çok sayıda benzetim yapılır. Benzetim sonuçları ile optimizasyon yöntemleri kullanılarak anten parametrelerinin rezonans frekansı üzerindeki etkisini gösteren uygun katsayılar belirlenir. Antenin rezonans frekansını hesaplayan yaklaşık denklemin elde edilmesi

bir optimizasyon problemidir. Sezgisel optimizasyon algoritmaları, bir problemi belirleyici ve sezgisel yöntemleri kullanarak arama havuzunda optimum değerlere ulaşarak çözüme teknikleridir. Çeşitli optimizasyon algoritmaları bulunmaktadır. Bunlardan biri de Farksal Gelişim Algoritmasıdır (FGA) [61-66]. Sezgisel yöntemlere dayanan FGA'nın önemli avantajları arasında popülasyon tabanlı olması, arama uzayında aynı anda bir çok noktada arama yapabilmesi ve bunun sonucunda evrensel optimuma daha hızlı yakınsama verebilir.

Bu çalışmada, Dikdörtgen Şekilli Mikroşerit (DMA) antenin iletken yüzeyinden (yama) iki eşit dikdörtgen şekilli küçük yüzeylerin çıkarılmasıyla oluşturulan H Şekilli KMA (HKMA) için benzetimler yapılarak antenin rezonans frekansını veren yaklaşık denkleme ulaşılmaya çalışılmıştır [67-78]. Söz konusu benzetimlerde XFDTD benzetim programı kullanılmıştır [80]. XFDTD, 3 boyutlu olarak çalışan bir elektromanyetik benzetim programıdır. XFDTD Programı, HKMA'nın geometrik şekli oluşturulduktan sonra "Finite Difference Time Domain (FDTD)" metodunu kullanarak antenin rezonans frekansını belirleme özelliğine sahiptir. HKMA'nın rezonans frekansını yaklaşık olarak veren denkleminin elde edilmesi sırasında 0.530 GHz - 2.866 GHz frekans aralığında (UHF bandı) çalışan 216 adet farklı elektriksel ve geometrik parametrelere sahip anten tasarımı yapılmıştır. Antenlerin, alttaş kalınlıkları 0.053 cm - 0.159 cm, yama uzunluk ve genişlikleri 3 cm - 5 cm aralığında değiştirilmiş ve pratikte kullanılan 2.5, 4.5 ve 10.2 dielektrik sabiti değerlerine sahip 3 farklı dielektrik alttaş için benzetimler yapılmıştır.

Sunulan çalışmada, XFDTD Programı'nı test etmek için farklı benzetim programı ile elde edilen sonuçlar [68] karşılaştırılmış ve birbirine yakın oldukları görülmüştür. Antenin geometrik ve fiziksel parametrelerindeki değişikliklerin rezonans frekansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu incelemenin ışığında, antenin değişen parametreleri ve rezonans frekansı üzerindeki etkisini gösteren uygun değişken katsayılar kullanılarak yaklaşık rezonans frekansı denklemi oluşturulmuştur. XFDTD benzetimlerinden elde edilen rezonans frekansları ve söz konusu denklem ile hesaplanan rezonans frekansları karşılaştırılmış ve ortaya çıkan

farkın azaltılması için optimizasyon yöntemi olan FGA uygulanarak denklemdaki katsayılar belirlenmiştir. Böylece, UHF bandında çalışan HKMA tasarımı yapmak isteyen mikrodalga mühendislerinin kullanabileceği, literatürde yapılan çalışmalardan daha kapsamlı, basit ve doğru sonuçlar veren yaklaşık rezonans frekans denklemi elde edilmiştir [53, 68].

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

MA ilk olarak Deschamps tarafından 1953 yılında bulunmuştur [5]. Önceleri ilgi görmeyen bu antenler daha sonra ilginin artması üzerine 1970'lerde üretilmeye başlanmıştır. O zamandan bu yana bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır. Dikdörtgen Şekilli Mikroşerit Antenlerden (DMA) başlayarak geleneksel şekilli (daire ve üçgen gibi farklı şekillerde) MA'lar incelenerek çeşitli analitik ve sayısal modellemeler yapılmıştır ve bu antenlerin dezavantajlarının ortadan kaldırılması için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1-14].

Munson, 1974'te dikdörtgen şekilli MA ilk olarak İletim Hattı (Transmission Line) modelini kullanarak matematiksel modellemesini yapmıştır. Üç genel anten çeşidi incelemiştir [6]. Bunlar;

- 1) Füze, roket ve uydularda kullanılan çok yönlü MA'lar
- 2) Yüksek kazançlı, dar bantlı ince düzlemsel MA'lar
- 3) Elektronik huzme karıştırıcı özelliğini sağlamak için alltaşa pinli diyotlar eklenmiş ince düzlemsel (veya eğri) MA dizileridir.

Carver ve Mink, 1981'de MA'ların teorik ve pratik tasarım teknikleri üzerinde çalışmışlardır. Alltaş malzemesinin dielektrik sabitinin rezonans frekansı üzerindeki etkisini incelemiştirlerdir. İletim Hattı ve Boşluk (Cavity) modellemelerinin yanında, Moment Metodu (Methods of Moments) ve Sonlu Eleman Teknikleri (Finite-Element Techniques) gibi sayısal yöntemler uygulamışlardır. Bu yöntemler geleneksel DMA ve dairesel MA'lara uygulandığı gibi farklı şekilli yamalara da uygulanmıştır [7].

Mosig ve arkadaşları, 1985'te mikroşerit anten yapılarının dinamik analizi ile ilgilenmişler [8]. Alt temel fonksiyonları kullanan iki boyutlu Moment Yöntemi seçerek, değişik şekilli mikroşerit yamalarını herhangi bir frekansta ve herhangi bir alltaş için analiz etmişlerdir. Sayısal yöntemleri tartışmışlar ve doğruluk kaybı olmadan hesaplama zamanını azaltmak için yöntemler tanıtmışlardır. Tüm sonuçlar

dikdörtgen yama ve oluklu yama için verilmiştir ve ölçülen değerler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bunlara uygun diyagramlar elde edilmiştir.

Literatürde, MA'ların analiz edilmesiyle beraber antenlerin istenmeyen özelliklerinin azaltılması yönünde de çalışmalar yapılmıştır. Sullivan ve arkadaşları, 1986'da mikroşerit hat ile beslenmiş MA'nın açıklık kuplajlı besleme tekniği uygulanarak analizini yapmayı başarmışlardır [9]. Sınırlı bant genişliğinin bazı uygulamalar için arttırılması üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda önemli gelişmeler elde edilmiştir. Bu teknikte, farklı iki veya daha fazla dielektrik alttaş kullanılarak çok katlı alttaşlar elde etmişlerdir ve sonuçta bu yöntemle MA'ların bant genişliğini %65 oranında arttırmayı başarmışlardır. Bhattacharyya ve arkadaşları 1991'de dikdörtgen, dairesel ve eliptik halka şekillerindeki MA'larda İletim Hattı Modelini kullanarak radyasyon örüntüsünün, giriş empedansının, ortak empedansın ve öz empedansın hesaplanması üzerine çalışmışlardır ve analizler sonucu yeni ifadeler elde etmişlerdir [11].

1990'lı yılların ikinci yarısında MA'lara göre daha küçük pek çok farklı geometride ve boyutlarda KMA'lar üzerinde çalışma başlanmıştır [13-43]. Bunlar; MA'ya göre daha iyi ışına 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 çalışmalardan birisi olarak Dey ve arkadaşlarının 1995'te yaptığı küçük boyutta DMA'lar kullanarak KMA oluşturulması ve MA ile yeni oluşturulan KMA'nın karşılaştırılması hedeflenmiştir. MA'ya göre daha küçük boyuttaki KMA'da ışımanın daha fazla olduğunu ve bu antenlerin özellikle mobil iletişim için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir [13].

George ve arkadaşları, 1996'da boyutları dikdörtgen şekilli bir MA'ya göre %60 küçük olan yeni bir KMA üzerinde çalışmışlardır. Yeni antenin rezonans frekansını hesaplamışlardır ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Rezonans frekansının geleneksel MA'ya göre daha düşük çıktığını gözlemlemişlerdir [14].

Waterhouse, 1995'te boyutları geleneksel MA'lara göre azaltılmış probe beslemeli ve yama ile toprak düzlem arasının kısa devre yapıldığı yeni bir dairesel şekilli KMA üzerinde çalışmıştır. Deneysel ve teorik empedans davranışları ve yayılım karakteristikleri verilmiştir. Deneysel ve teorik sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür [15].

Wong ve Chen, 1997'de 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 [17]. Satpathy ve arkadaşları, kişisel gezgin iletişim araçları için KMA üzerinde çalışmışlardır. DMA'nın belirli oranlarda küçültülmesiyle elde edilen KMA'lar ile C Şekli KMA'nın analiz ve deneysel sonuçlarını karşılaştırmışlardır [18].

KMA'lar geleneksel geometrilere sahip olmadıkları için matematiksel olarak KMA'ların modellenmeleri MA'lara göre daha zordur. Bu nedenle yapılan çalışmalarda KMA'ların tasarımlarının yapılabilmesi için, deneysel olarak veya elektromanyetik benzetim programları kullanılarak elde edilmiş verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Benzetim programları; çeşitli nümerik hesaplama teknikleri ile antenlerin rezonans frekansı, kazançları veya yayılım örüntülerinin çizilmesi amacıyla kullanılabilir. XFDTD; FDTD yöntemiyle çalışan bir benzetim programıdır. Literatürdeki örnekleri incelendiğinde, FDTD'nin deneysel sonuçlara yakın veriler üreten güçlü bir nümerik metot olduğu görülmüştür [59-60].

Bunun yanında; analizi oldukça zor olan 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 [45-58, 61-66].

Sağıroğlu ve Güney; 1997’de EŐkenar gen Şeklindeki MA’da rezonans frekansı hesabını Yapay Sınır Ağları metodunu kullanarak yapmıŐlardır, teorik sonuçları sađlamıŐlardır ve deneysel sonuçlara oldukça yakın sonuçlar elde etmişlerdir [44]. Özer ve arkadaşları; 2000’de DMA’nın rezonans frekansını elektriksel uzunluk ve kalınlığına bağlı olarak, yapay zekâ algoritmalarından biri olan Tabu Araştırma Algoritmasını kullanarak elde etmişlerdir [48]. Elde ettikleri sonuçlar deneysel verilerle oldukça uyumludur. Paulson ve arkadaşları, 2001’de ok Şeklinde KMA’nın rezonans frekansının hesaplanmasına yönelik yeni ifadeler elde etmeye çalışmışlardır. Yeni anten geometrisi üzerinde, yaptıkları deneyler ile elde ettikleri verileri kullanmıŐlardır ve bunlara uygun denklemler üretmiŐlerdir. Böylece deneysel verileri elde etme olanağı olmayan ortamlarda elde edilen yeni denklemler kullanılarak rezonans frekansı, geleneksel metotlara göre daha kolay hesaplanabilmiŐtir ve daha doğru sonuçlar elde edilmiştir [26]. Kundukulam ve arkadaşları, 2002’de çalıŐmalarında yeni bir KMA olan çift portlu, çift polarizeli yay Şekilli KMA’nın çalışma frekansını ve yayılım örüntülerini incelemiŐlerdir. KMA geometrisinde iletken kısım, farklı radyasyon yapan ve merkezleri arasında belli bir mesafe bulunan iki çember yaydan oluŐmuŐtur. Anten, birbirine dik iki port sayesinde iki rezonans frekansıyla uyarılmıŐtır. Bu anten için deneysel ve benzetim sonuçları sunulmuŐtur. Ayrıca benzetim programları yardımıyla yayılım diyagramı elde edilmiştir [28].

HKMA ilk olarak Palanisamy ve Garg tarafından 1985’te incelenmiştir, DMA ve dikdörtgen halka antenleri “Generalised Cavity Model” kullanılarak Kalite Faktörü, Huzme Genişliği gibi parametreler karşılaştırılmıştır [67]. Gao ve arkadaşları (2001), FDTD metodunu kullanarak HKMA analizi yapmıŐlardır. Yamanın fiziksel boyutlarından sadece bir tanesi değiştirilerek, bu durumun rezonans frekansı üzerindeki etkisi incelenmiştir [68]. Deshmukh ve Kumar 2005’te C, H, Dairesel Disk Şekilli KMA’ ları incelemiŐlerdir. Aynı zamanda bu antenlerin bant genişliğini, ışıma diyagramı ve kazançlarını hesaplamışlardır [53].

Literatür alıŐmaları incelendiğinde, özellikle son yıllarda deneysel olarak veya benzetim programlarıyla elde edilen sonuçlara daha yakın sonuçlar elde eden

teorik denklemler oluşturmak amacıyla yapay zekâ optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Bununla birlikte, FGA'nın kullanımı son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Literatürdeki örnekler incelendiğinde FGA kullanılarak elde edilen denklemlerdeki hatanın oldukça düşük olması ve üretilen denklemlerin basitliği bu algoritmayı daha da çekici kılmaktadır [53-57]. Akdağlı, 2007'de DMA'nın rezonans frekansının hesaplanmasına yönelik çalışmasında, 46 farklı antenin rezonans frekansına ilişkin deneysel verileri FGA kullanılarak oluşturduğu denklemlerle %0.7'nin altında bir hatayla elde etmiştir [56]. Aksoy, 2007'de FGA kullanarak anten dizilerinde örüntü şekillendirme üzerine bir çalışma yapmıştır [62].

Literatürde yapılmış çalışmalar incelenmiş [53-57, 68] ve farklı benzetim programları kullanılarak elde edilen verilere yakın değerler XFDTD Programı ile elde edilmiştir. Bu nedenle, HKMA'nın rezonans frekansını daha doğru hesaplayabilmek için güçlü bir ticari yazılım olan XFDTD elektromanyetik dalga benzetim programı kullanılmasına karar verilmiştir [79]. Bu yazılım kullanılarak boyutları farklı olan çok sayıda antenin benzetimi yapılmıştır. Elde edilen verilere FGA uygulanarak, literatürde yayınlanmış örneklere [53, 68] kıyasla, daha basit ve benzetim sonuçlarına daha yakın, aynı zamanda daha yaklaşık genel bir denklemin elde edilmesi için çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. MİKROŞERİT ANTENLER (MA)

Teknolojinin hızla gelişmesine paralel olarak gezgin cihazların kullanımı her geçen gün artmaktadır. Baskı devre teknolojisinin gelişmesi, entegre devre teknolojisindeki üretim kolaylıkları ile birlikte MA'ların kullanımı artmıştır. 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 şekilleri, UHF bandında geniş bir alanda kullanılmaktadır [1-14]. MA'ların birçok uygulamada sahip olduğu avantajlarından dolayı mükemmel antenler olduğu kanıtlanmıştır. Bunun yanında MA'ların dezavantajları da bulunmaktadır [2].

3.1.1. MA'nın Avantajları

Mikroşerit Antenler geleneksel mikrodalga antenler ile karşılaştırıldığında çeşitli avantajlara sahiptir. Temel avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Hafif, küçük hacimli ve düşük profilli, düzlem yapıdadır.
- Yerleştirildikleri alana uyumlu üretilebilirler.
- Devre baskı teknolojisi kullanılarak düşük maliyette, kolay ve seri olarak üretilebilirler.
- Aynı alttaş üzerinde diğer MIC'lerle (Microwave Integrated Circuit) beraber tümleşik olarak üretilebilirler.
- Lineer Polarizasyona ve Dairesel Polarizasyona (CP) uygundur.
- Kişisel gezgin iletişim cihazları ile kompakt olarak üretilebilirler.
- Çiftli frekans uygulamalarına ve Üçlü frekans uygulamalarına izin vermektedirler.

3.1.2. MA'nın Dezavantajları

MA'lar geleneksel mikrodalga antenler ile karşılaştırıldığında çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Temel dezavantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Dar bant genişliğine (BW) sahiptirler.
- Düşük kazanç ve düşük verime sahiptirler.
- Düşük güçte çalışmalarından dolayı saçılma performansları yetersizdir.

3.1.3. MA'ların Uygulamaları

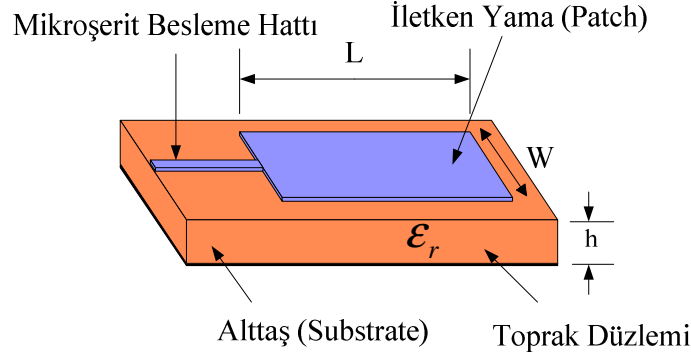
MA'ların avantajları, bu antenleri çeşitli uygulamalarda kullanımını uygun hale getirmektedir. Uzay araçları ve füzelere yerleştirilen telemetri ve iletişim antenlerinin uygun ve ince olması gerekmektedir. Bu nedenle genellikle MA'lar söz konusu uygulamalarda kullanılmaktadır. Radarların yükseklikölçer cihazları, küçük MA dizilerini kullanmaktadırlar. Telefon ve uydu gibi diğer uzay araçları uygulamalarında da kullanılmaktadır. MA'lar ayrıca uydu görüntüleme sistemlerinde, deniz altı veya gemilerin uydular ile arasındaki iletişimde kullanılmaktadır. Akıllı yeni silahlar, ince yapılarından dolayı MA'ları kullanmaktadırlar. GSM ve GPS sistemleri ise MA'ların temel kullanım alanıdır.

3.2. DİKDÖRTGEN MİKROŞERİT ANTENLER (DMA)

MA'lar beraber üretildikleri MIC'lere ve yerleştirildikleri alana uygun yapıyı sağlamak için çeşitli geometrik yapılarda tasarlanabilmektedir. Bu nedenle; ışıma yapan yama kısmı dikdörtgen, şerit (dipol), dairesel, üçgen veya benzeri yapıda olabilmektedir. Bunlardan, analizleri ve üretilmeleri kolay olan dikdörtgen şekilli MA'lar en popüler olanlarıdır. Basit bir yapıya sahip olması nedeniyle modellenmesi, analizi ve parametrelerinin hesaplanması nispeten daha kolaydır.

Şekil 3.1'de gösterildiği gibi DMA; uzunluğu L ve genişliği W olan bir iletken şerit ile bu şeridin altında kalınlığı h ve dielektrik sabiti ϵ_r olan bir dielektrik

alttaş ve en alt kısımda da toprak iletken düzleminden oluşur. Genellikle, iletken şerit kısmına “*Yama*” da denilmektedir. Tipik olarak DMA için elektriksel ve fiziksel parametreler (λ_d , dielektrik alttaş içinde yayılan dalganın dalga boyu); $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$, $\lambda_d / 3 \leq L, W \leq \lambda_d / 2$ ve $0.003\lambda_d \leq h \leq 0.005\lambda_d$ aralıklarında seçilmektedir [1-4].



Şekil 3.1. DMA Konfigürasyonu

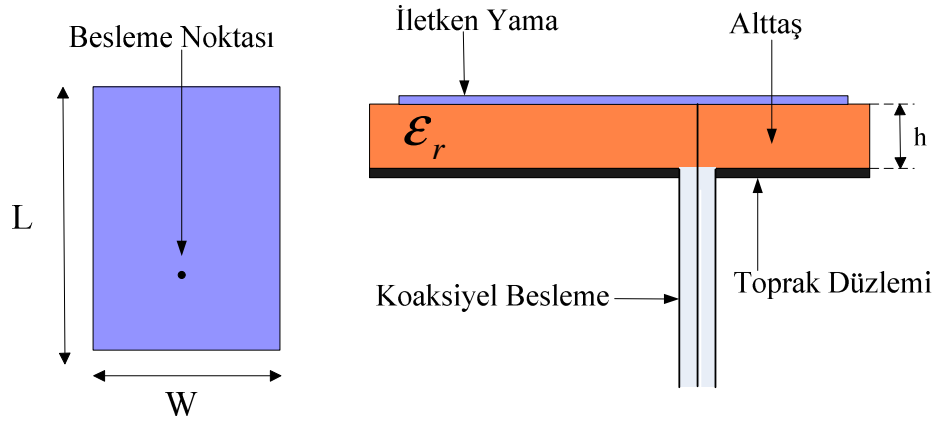
Bununla beraber MA’larda besleme yöntemleri de önemli bir tasarım parametresidir.

3.2.1. Besleme Teknikleri

MA’lar koaksiyel hat veya mikroşerit hat ile beslenebilir. Ayrıca, açıklık kuplaj veya elektromanyetik kuplaj da olabilir. Besleme teknikleri, giriş empedansını ve anten karakteristiğini etkiler ve önemli bir tasarım parametresidir [1-4].

3.2.1.1. Koaksiyel Besleme

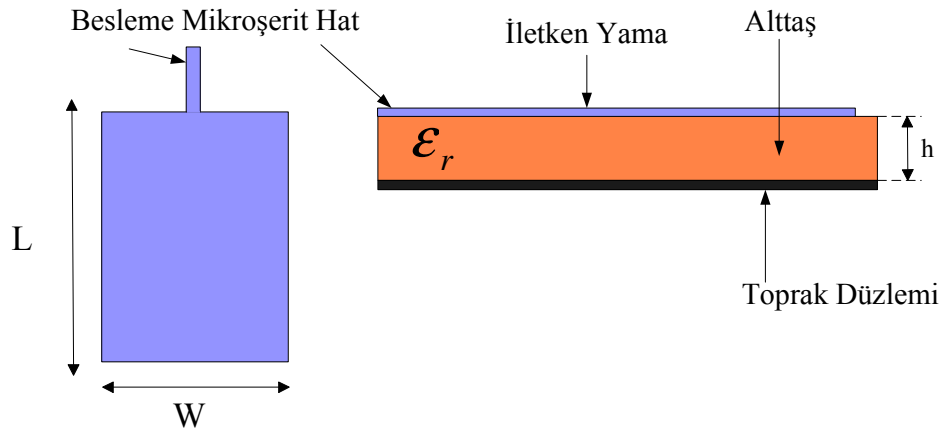
Şekil 3.2’de koaksiyel beslemeli dikdörtgen şekilli MA gösterilmektedir. Koaksiyel kablunun merkez iletkeni yamaya ve dış iletkeni ise toprak düzleme bağlanmıştır. Bu besleme şeklinin en önemli avantajı, besleme iletkeni yamanın istenilen noktasına bağlantı yapılarak giriş empedansının eşlenebilmesidir. Dezavantajı ise, iletkenin yamaya ve toprak düzleme bağlantısının yapılabilmesi için alttaşa delik açılmasıdır. Bu nedenle tam olarak düzlemsel olmamaktadır. Ayrıca bu besleme yapısı tasarımı asimetrik yapmaktadır.



Şekil 3.2. Koaksiyel Beslemeli DMA Konfigürasyonu

3.2.1.2. Mikroşerit Hat Besleme

Şekil 3.3’de Mikroşerit hat ile beslenmiş dikdörtgen şekilli bir MA gösterilmektedir. Bu besleme yapısının avantajı; aynı alttaş üzerinde yerleştirildiği için yapının düzlemselliğinin bozulmamasıdır. Ayrıca, tasarlanması ve üretilmesi kolaydır. Dezavantajı ise, besleme hattından yapılan yayılım yüzey akım yoğunluğunu artırabilmektedir. Ayrıca, milimetre-dalga seviyesinde besleme mikroşerit hattının ölçüleri yamaya kıyasla istenmeyen yayılıma neden olabilmektedir.

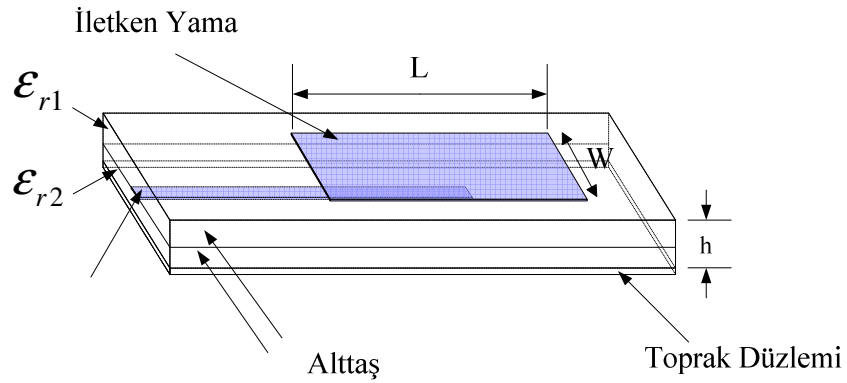


Şekil 3.3. Mikroşerit Hat Beslemeli DMA Konfigürasyonu

Genellikle antenin bant genişliğini (BW) artırmak için alttaş kalınlığı artırılmaktadır. Yukarıda sözü edilen direk bağlantı ile yapılan beslemelerde çeşitli problemler oluşabilmektedir. Koaksiyel beslemede iletkenin uzunluğu giriş empedansının daha da endüktif olmasına ve bu nedenle empedans eşleşmesi probleminin oluşmasına yol açabilmektedir. Mikroşerit hat beslemesinde atış kalınlığının artması, besleme hattın genişliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum istenmeyen besleme yayılımına sebebiyet verebilmektedir. Bu tip problemleri çözümlmek için temassız kuplaj besleme yöntemleri kullanılabilir [1-4].

3.2.1.3. Elektromanyetik Kuplajlı Besleme

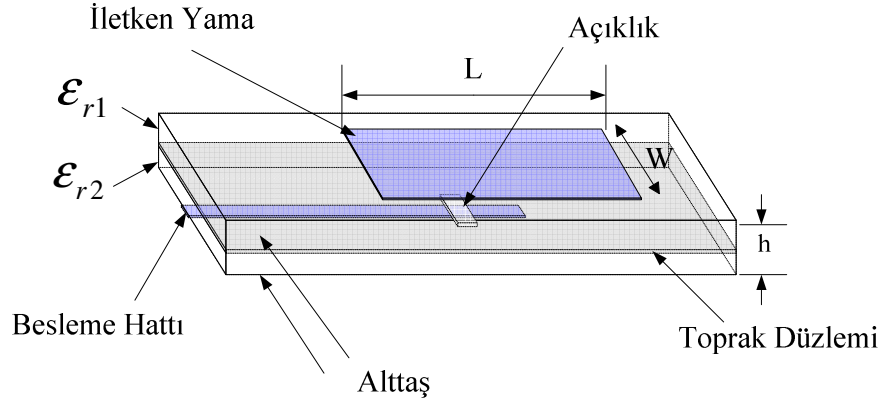
Şekil 3.4'de elektromanyetik kuplajlı DMA gösterilmektedir. Elektromanyetik kuplaj, yakınlık (proximity) kuplaj olarak da bilinir. Besleme hattı, yama ve toprak düzlemi birbirinden ayırarak şekilde iki ortam arasında yerleştirilmektedir. İstenmeyen yayımları engellemesi, performansının iyileştirilebilmesi için besleme hattı ile yama ve toprak düzlem arasındaki alttaşların farklı dielektrik malzemeden seçilebilmesi bu besleme yapısının avantajlarından. Dezavantajı ise, iki alttaşın uygun olarak ayarlanmasının gerekliliği ve toplam alttaşlardan dolayı antenin kalınlığının artmasıdır.



Şekil 3.4. Elektromanyetik Kuplajlı DMA Konfigürasyonu

3.2.1.4. Açıklık Kuplajlı Besleme

Bu besleme tekniğinde iletken yama, iki alttaş arasına yerleştirilmiş toprak düzleminde açılmış bir delik vasıtasıyla Şekil 3.5'teki gibi beslenmektedir. Kuplaj deliği, simetrik yapıdan dolayı çapraz polarizasyonu azaltmak için genellikle yamanın altında merkezlenir. Antenin şekli, ölçüleri ve kuplaj deliğinin yeri; besleme hattından yamaya doğru kuplaj miktarını belirler. Bu besleme yapısında (elektromanyetik kuplaj beslemede olduğu gibi); istenmeyen yayımları engellemek, performansını optimize edilebilmek için besleme hat ile yama ve toprak düzlem arasındaki alttaşlar farklı dielektrik malzemeden seçilir. Ayrıca, bu besleme yapısında daha geniş BW elde etmek mümkündür.

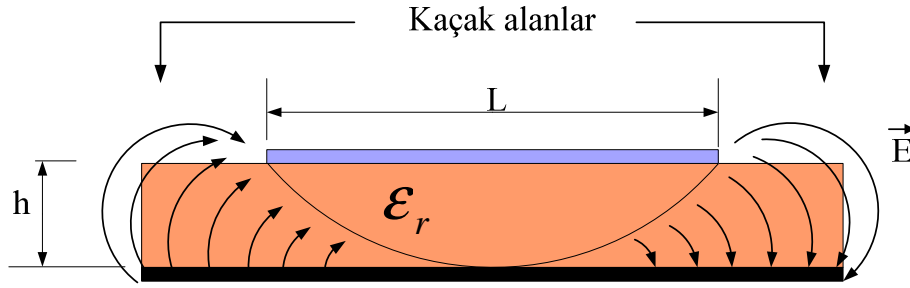


Şekil 3.5. Açıklık Kuplajlı DMA Konfigurasyonu

3.2.2. Dikdörtgen Mikroşerit Antende Işıma

MA'larda ışınım, yama ve toprak düzlemi arasındaki kenarlardan oluşur. Elektrik alanın genişlik ve kalınlık boyunca değişmediği kabul edilerek elektrik alan dağılımı Şekil 3.6'de gösterildiği gibi çizilebilir. Bu saçılan elektrik alanlar, "Kaçak Alanlar (*Fringing Fields*)" olarak da adlandırılır ve antenin ışınımını yani elektrik alanının yayılmasını sağlarlar. Kenarlardaki bu alanlar toprak düzlemine göre dik ve teğet iki bileşene ayrılabilir. Yama iletkeni genel 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. Böylece, kaçak alanlardan dolayı, DMA'nın $\lambda/2$ uzaklığında yerleştirilmiş, eş fazda uyarılmış ve toprak düzleminin üst kısmında ışıma yapan ΔL uzunluğunda iki antenin var olduğu düşünülebilir [1-4].



Şekil 3.6. DMA'da ışıma

3.2.3. Analiz Yöntemleri

MA'lar, ince dielektrik alttaş üzerinde iki boyutlu ışıma yapan yamaya sahip olduğu için analiz amaçlı olarak iki boyutlu düzlemsel bir eleman olarak sınıflandırılabilir. MA'lar için analiz yöntemleri iki grupta düşünülebilir. Birinci gruptaki metotlar, yama kenarları etrafında eşit manyetik akım dağılımına dayanmaktadır. En popüler olanları aşağıda sıralanmıştır;

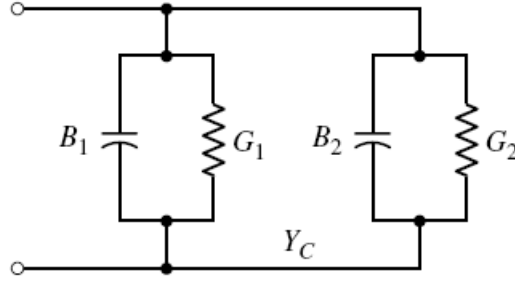
- İletim Hattı Modeli (Transmission Line Model)
- Boşluk Modeli (Cavity Model)

İkinci gruptaki metotlar, iletken yama ve toprak düzlemi üzerindeki akım dağılımına dayanmaktadır. Dipol antenler gibi, sayısal yöntemlerle desteklenmektedir. MA'ların analizinde kullanılan bazı sayısal analiz yöntemleri aşağıda sıralanmıştır [1-4];

- Moment Metodu (Method of Moments)
- Sonlu Elemanlar Metodu (Finite-Element Method)
- Spectral Domain Tekniği (Spectral Domain Technique)
- Zaman Alanında Sonlu Farklar Metodu (Finite-Difference Time Domain Method)

3.2.3.1. İletim Hattı Modeli

İletim Hattı Modeli, MA'ların temel performansını inceleyen kolay ve yararlı bir analiz yöntemidir. Bu metotta DMA, Şekil 3.7'de gösterildiği gibi ışına boşlukları düşük empedanslı belirli uzunluktaki transmisyon hattı olarak modellenmiştir [1-4].

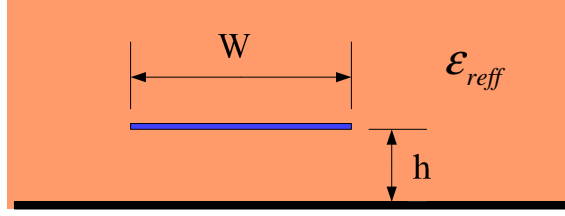


Şekil 3.7. DMA'nın Transmisyon Hattı modeli

Transmisyon Hattı Modeli oluştururken iki etki dikkate alınmaktadır. Bunlardan birincisi kaçak alan etkisinden (Fringing Effects) dolayı dielektrik sabitinin değiştiiğinin varsayılmasıdır. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, yamanın kenarlardaki alanlar toprak düzlemine dik ve teğet iki bileşene ayrılabilir. MA esas olarak, homojen olmayan dielektrik alttaş ve havadan oluşmaktadır. Yamanın kenarlarında oluşan alan, alttaşın dielektrik sabitinin değişmiş gibi görünmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, W/h parametresine bağlı, içinde alttaş ve havanın dielektrik sabitini bulunduran ϵ_{reff} parametresi oluşmaktadır. Şekil 3.8'de yamanın yeni dielektrik sabitinin içinde bulunduğu ortam gösterilmektedir. Düşük frekanslar için ϵ_{reff} sabittir. Frekans değeri artkça ϵ_{reff} değeri artmaya başlar ve frekanstaki

artış devam ettikçe alttaşın dielektrik sabitine yaklaşır. ϵ_{reff} 'in düşük frekanslardaki değerleri $W/h \gg 1$ olmak koşuluyla Eş. (3.1)'de verilmiştir [1-4].

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 10 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (3.1)$$



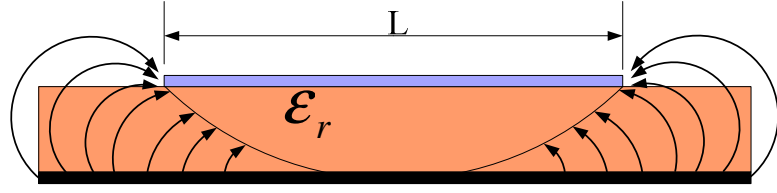
Şekil 3.8. MA'da etkin dielektrik sabitinin gösterimi

Transmisyon Hattı Modeli oluştururken, dikkate alınan ikinci etki ise kaçak alan etkisi nedeniyle yama, elektriksel olarak fiziksel büyüklüğünden daha büyük görünür. Şekil 3.9'da gösterildiği gibi temel E -düzlemi için (xy -düzlemi) yamanın uzunluğunun ϵ_{reff} ve $W/h \gg 1$ oranına bağlı bir fonksiyon olarak her iki uçta ΔL kadar uzadığı varsayılmaktadır. Pratikte çok kullanılan bu uzunluğun yaklaşık standart değeri aşağıda verilmiştir [1].

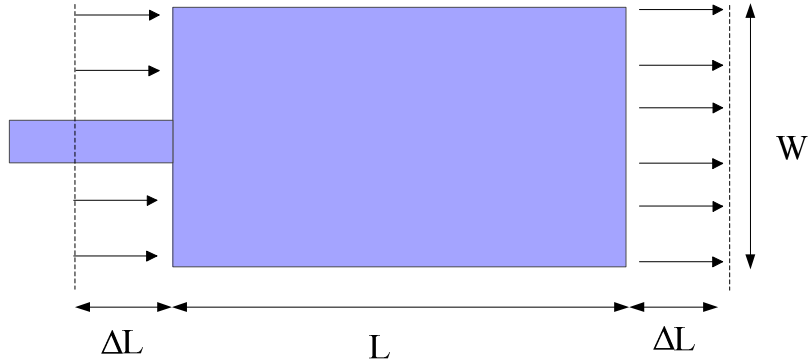
$$\Delta L = 0.412 \times h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.2)$$

Her bir uçta yamanın uzunluğu ΔL kadar arttığı için yamanın yeni etkin uzunluğu (kaçak alan yokken baskın TM_{10} modu için $L = \lambda/2$ değerindedir) aşağıdadır.

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



a) Yandan görünüş



b) Üstten görünüş

Şekil 3.9. DMA'nın fiziksel ve etkin uzunluğunun gösterilmesi

DMA'nın maksimum ışıma yaptığı veya antene gelen dalgayı maksimum ilettiği frekansa “*Rezonans Frekansı*” denir ve f_r ile gösterilir. Baskın TM_{10} modu için DMA'nın rezonans frekansı denklemi genellikle aşağıdaki Eş. (3.4)'de ifade edildiği gibi verilir [1-4];

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

Burada L uzunluğu yamanın fiziksel uzunluğudur ve c ise ışık hızıdır ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$). Saçılma etkisinden dolayı yamanın boyunda oluşan elektriksel uzama fiziksel uzunluğun yerini alır ve yaklaşık rezonans frekansı denklemi aşağıdaki gibi olur [1-4].

$$(f_r)_{10} = \frac{c}{2(L + 2\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3.5)$$

3.3. KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLER (KMA)

Kişisel mobil iletişim araçları ve diğer küçük iletişim sistemleri küçük boyutlu MA'lara ihtiyaç duymaktadır. KMA'lara göre daha büyük olan geleneksel MA'lar UHF bandında çalışmaktadır. Yama boyutları rezonans frekansı ile ters orantılı olduğu için UHF bandında çalışan geleneksel MA'lar biraz büyük olmaktadır. Daha küçük antenlerin tasarlanması için dikdörtgen ve dairesel şekilli MA'lar modifiye edilmesi gerekmektedir [2].

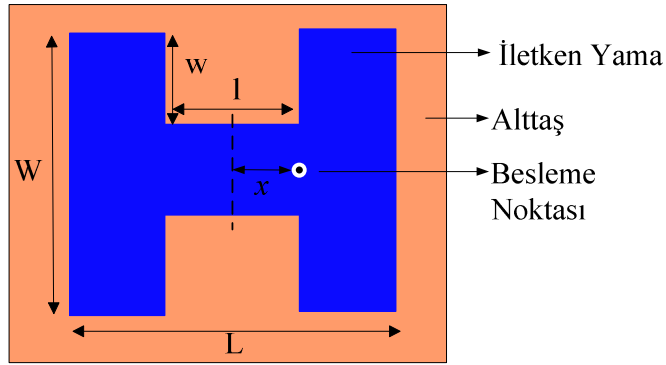
KMA'lar daha yüksek dielektrik sabitli alttaş kullanılarak tasarlanabilir. Bu durumda KMA, düşük dielektrik sabitli alttaş kullanılarak oluşturulan MA'dan daha küçük olmaktadır fakat bant genişliği (BW) azaltmaktadır. Anten boyutlarını küçültmek rezonans frekansının artmasına neden olmaktadır. Bunu dengelemek için frekans ile ters orantılı olan dielektrik sabiti artırılmalıdır. Bu nedenle KMA'lar yüksek dielektrik sabitli alttaşlar ile kullanılır. Çizelge 3.1'de farklı boyutlarda iki DMA'ın karşılaştırılması yapılmıştır. İki anten incelendiğinde, 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].

Çizelge 3.1. Farklı parametrelere sahip iki DMA'ın karşılaştırılması

Anten Boyutları (cmxcm)	ϵ_r	f_r (GHz)	BW (MHz)
1.51x2	9.8	3.002	30
3x4	2.55	2.974	64

3.3.1. H Şekilli Kompakt Mikroşerit Anten (HKMA)

HKMA için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır [67-78]. Bu çalışmalarda HKMA, Şekil 3.9.'da gösterildiği gibi DMA'nın iki kenarı boyunca simetrik iki boşluk açılmasıyla elde edilir. Örnek çalışmalardan bir tanesinde HKMA'nın dış boyutları 6 cm x 4 cm olarak tasarlanmıştır [2]. Ayrıca, farklı elektriksel ve fiziksel parametreler kullanılarak tasarlanan HKMA'lar için IE3D benzetim programı kullanılarak analizler yapılmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Boşluk genişliğinin (w) artırılmasıyla, besleme noktası (x) empedans eşleşmesi için merkeze doğru kaydırılmıştır. Boşluk genişliğinin (w) 0.5 cm'den 1.5 cm'ye ($l=1$ 'de sabit tutularak) çıkarılması ile rezonans frekansı 1.495 GHz'den 1.061 GHz'e düşmüştür, bununla birlikte bant genişliği (BW) 9 MHz'den 2 MHz'e düşmüştür ve η değeri %73'den %32'e düşürülmüştür. Boşluk uzunluğu (l) 1 cm'den 4 cm'ye çıkarıldığında ($w=1.5$ cm'de sabit tutularak), rezonans frekansı 1.061 GHz'ten 0.981 GHz'e yavaşça azalmıştır ve daha sonra 1.001 GHz'e yavaşça artmıştır. Rezonans frekansının yaklaşık değeri $(L_e+2w)=\lambda/2$ eşitliği ile hesaplanabilir. Buna karşın, daha küçük boşluk boyutları için daha iyi bir yaklaşım için bir boşluksuz DMA'nın uzunluğunun ortalaması alınarak $(L_e+2w)=\lambda/2$ eşitliği elde edilir [2].



Şekil 3.9. HKMA geometrisi

Çizelge 3.2. HKMA’da boşluk boyutlarının performansa etkisi
($L=6\text{ cm}$, $W=4\text{ cm}$, $\epsilon_r=2.33$, $h=0.159\text{ cm}$, ve $\tan \delta =0.002$) [2]

$w*l$ (cm,cm)	x (cm)	f_r (GHz)	BW (MHz)	D_r (dB)	η (%)
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	1.061	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

3.4. ZAMAN DOMENİNDE SONLU FARKLAR METODU (FDTD)

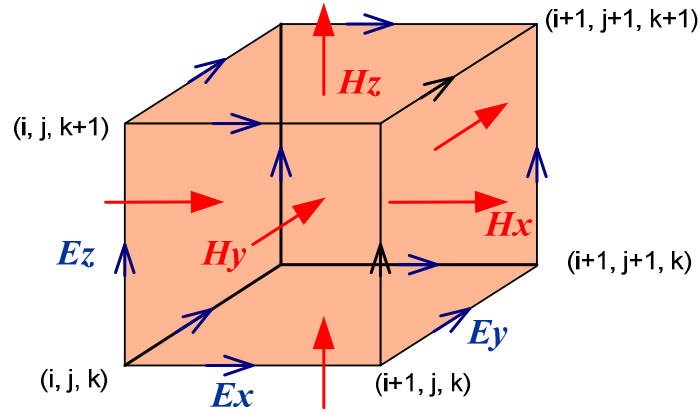
FDTD yöntemi ilk defa 1966 yılında Kane S. Yee tarafından bulunmuştur. “Zaman Domeninde Sonlu Farklar Metodu” olarak bilinir ve kısmi türev formundaki Maxwell denklemlerinin doğrudan zaman domeninde ayrıklaştırılıp çözülmesi esasına dayanır. Uzayın seçilen ayırık noktalarında üç elektrik alan ve üç manyetik alan bileşenlerinin hesaplanabilmesini sağlar [58].

FDTD yönteminde hesap uzayı, eş özellikli $N_x \times N_y \times N_z$ adet dikdörtgen prizmadan oluştuğu varsayılır. Birbirinin özdeşi olan bu küçük prizmaların boyutları $\Delta_x \times \Delta_y \times \Delta_z$ olup, FDTD hücresi olarak isimlendirilir. Hücre numaraları, (i,j,k) sırasıyla x 'deki, y 'deki ve z 'deki hücre numarası olmak üzere tam sayılarla belirtilir. Her hücrede farklı yerlerde bulunan üç elektrik ve üç manyetik alan bileşeni ayrıca aralarında zaman farkı olacak şekilde, iteratif olarak istenilen zaman süresince hesaplanır. T hesap süresi, n (tam sayı) zaman adımı, Δt hesaplama zaman aralığı olmak üzere aşağıdaki eşiklik ile her hücrede bütün bileşenler için hesaplama yapılır.

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

Çözümler iteratif olduğundan zaman ve konum aralıkları arasında belli bir kararlılık kriteri söz konusudur. Yani konumda ayrıklaştırma yapıldıktan sonra zaman aralığı keyfi seçilmez. Ayrıca, FDTD ile zaman domeninde geniş bantlı darbesele işaretlerin benzetimi de söz konusu olduğundan benzetimi yapılan yüksek frekanslı (en küçük dalga boyu, λ_{\min}) bileşen için sayısal dağılmaya neden olmayacak konum örneklemesine dikkat etmek gerekir. Pratikte sayısal dağılma sınırı, problemden probleme ve istenilen doğruluğa bağlı olarak değişmekle birlikte ($\Delta x, \Delta y$ yada Δz 'nin en büyüğü) $\lambda_{\min}/100$ ile $\lambda_{\min}/4$ arasında seçilebilmektedir [60].

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 3.10.'de de temsil edilen bu hücelere "Yee" hücresi adı verilir ve FDTD'nin temelini oluşturmaktadır [58-60].



Şekil 3.10. Birim Yee hücresi ve elektromanyetik alan dağılımlarının gösterilmesi

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 [58-60].

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 adımlara geçilebilir. Her problemde 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 hücrelerine ayrılır [58,60].

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].

İzole edilmiş, yüklerin ve akımların olmadığı bir uzay bölgesi ele alındığında Maxwell denklemleri aşağıdaki şekilde yazılabilir [58].

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{E} \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = -\frac{1}{\varepsilon} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{H} \quad (3.8)$$

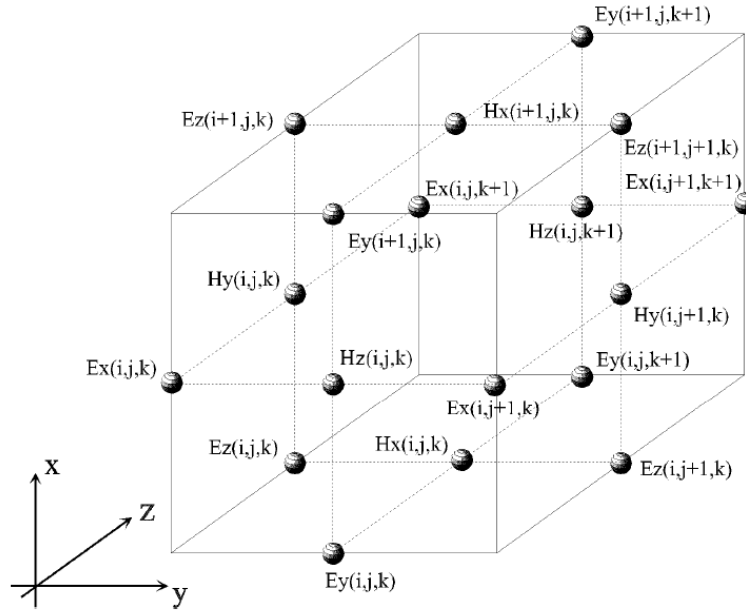
Yukarıdaki Maxwell denklemlerindeki E ve H alanlarına ait kısmi türevsel denklemleri vektörel olarak çarpılması halinde manyetik alan şöyle olur.

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} = \frac{1}{\mu} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \\ \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \\ \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

Elektrik alan ise şöyle olur.

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix} = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \\ \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \\ \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Burada; E (elektrik alan), H (manyetik alan), ε (dielektrik sabiti) ve μ (manyetik geçirgenlik) ifade etmektedir. Bu iki denklem merkezi farklılara göre ayrıklaştırılıp düzenlenirse uzayın her noktasında üç elektrik ve üç manyetik alan bileşenini içeren iteratif denklemler elde edilir [58,60].



Şekil 3.11. Birim Yee hücresi

Şekil 3.11.'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 Δt ve Δx , Δy , Δz 'dir. Herhangi bir alan bileşeninde ($t = n \cdot \Delta t$) için (i, j, k) ifadesinin yerini $(i\Delta t, j\Delta x, k\Delta z)$ ifadesi alır. Hücre içerisindeki altı bileşen aynı (i, j, k) etiketi ile gösterilmesine rağmen Şekil 3.13.'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 -yüzeyinin ortasında bulunur. Yani elektrik alanlar hücre kenarlarında, manyetik alanlar hücre yüzeylerindedir [58,60].

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 [58,60].

Aynı hücrede belli bir noktada elektrik ve 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];

$$H_x(i, j, k) = 1/2[H_x(i, j, k) + H_x(i + 1, j, k)] \quad (3.11)$$

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

$$E_z(i, j, k) = 1/4[E_z(i, j, k) + E_z(i + 1, j, k) + E_z(i, j + 1, k) + E_z(i + 1, j + 1, k)] \quad (3.12)$$

İteratif FDTD denklemlerinde, herhangi bir ortam üç ortam parametresi ile temsil edilir. Bunlar, dielektrik sabiti ϵ , manyetik geçirgenlik μ , ısıt kayıplarını

temsil eden σ 'dır. Bunlardan ε ve σ elektrik alan bileşenlerinin hesaplandığı denklemlerde, μ ise manyetik alan bileşenlerinin hesaplandığı denklemlerde görülmektedir [58,60].

FDTD benzetimi boyunca elektrik ve manyetik alanlar yenilenmektedir. Buna karşın, alan değerlerinden herhangi bir noktada gerilim veya akım hesabı kolayca yapılabilir. Herhangi bir (i, j, k) hücresindeki gerilim ve akım, Gauss ve Amper yasasından elde edilir. FDTD benzetimi sinüzoidal ve darbesel kaynaklarla modellenebilir [58,60].

FDTD tekniğinde zaman aralığı (Δt), rastgele seçilmez ve konum adımları Δx , Δy ve Δz 'ye bağlı olarak seçilir. Bu bağıntıya "Courant Kriteri" denir ve Eş. (3.13)'te ifade edilmiştir [58,60].

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

FDTD 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 [58,60].

3.5. YAPAY ZEKÂ OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ

Fen bilimleri uygulama alanlarında karşılaşılan birçok problem, doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak modellenebilmektedir. Optimizasyon, en basit tanımı ile bir sistemin istenen özelliklerini artırırken istenmeyen özelliklerini azaltma işlemidir. Kazancı maksimize veya kaybı minimize etmeyi hedefler. Uygulamadaki problemlerin büyük bir bölümü doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Bu tür optimizasyon problemlerin çözümünde klasik optimizasyon teknikleri yetersiz

kalmaktadır ve son yıllarda yapay zeka optimizasyon tekniklerinin karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Doğrusal olmayan bu problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş birçok teknik söz konusudur. Özellikle değişken sayısına ve veri tiplerine bağlı olarak problemlerin zorluk dereceleri de artabilmektedir. Şekil 3.12’de çok bilinen bazı yapay zeka optimizasyon teknikleri gösterilmiştir [61].



Şekil 3.12. Yapay zeka optimizasyon teknikleri

Bu tez çalışmasında, optimizasyon probleminin çözümünde kullanacağımız yapay zekâ optimizasyon tekniklerinden biri olan Farksal Gelişim Algoritması (FGA) üzerinde durulacaktır.

3.5.1. Farksal Gelişim Algoritması (FGA)

FGA, Price ve Storn tarafından 1995 yılında geliştirilmiş [66], özellikle sürekli verilerin söz konusu olduğu problemlerde etkin sonuçlar verebilen, işleyiş ve operatörler itibariyle genetik algoritmaya dayanan popülasyon temelli sezgisel optimizasyon tekniğidir.

Özellikle değişken sayısına ve veri tiplerine bağlı olarak optimizasyon problemlerinin zorluk dereceleri de artabilmektedir. Bu tip problemlerin klasik yöntemlerle çözümü, problemin yapısına bağlı olarak hem modelleme hem de çözüm sürecinde zorluklar içermektedir. Bazen istenilen sonuca ulaşılamayabilmekte veya ulaşılması halinde ise çok uzun sürelerde ulaşılabilir. Bu sorunların

üstesinden gelebilmek için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Özellikle popülasyon temelli sezgisel yöntemler 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, farklı biçimlerde tanımlanabilir ve evrimsel algoritmaların kilit noktalarından biridir. Yanlış bir amaç fonksiyonu ile çözümü çok kolay olan problemler için bile algoritma yakınsama sağlamayabilir [61].

3.5.1.1. FGA'nın Özellikleri

FGA temel olarak Genetik Algoritmalara dayanmaktadır, popülasyon tabanlıdır ve aynı anda birçok noktada araştırma yapabilmektedir. 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 FGA'da da kullanılmaktadır. Farklı olarak her bir operatör tüm popülasyona sırayla uygulanmamaktadır. Kromozomlar tek tek ele alınmakta, rastgele seçilen üç kromozom 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.

FGA'nın diğer algoritmalardan üstün bir özelliği kolayca kodlanabilmesidir. Diğer algoritmalar için binlerle ifade edilen satırdan oluşan kodlar söz konusu iken FGA için yaklaşık 20 satırlık kod yeterli olmaktadır.

3.5.1.2. FGA'nın Parametreleri

FGA'da kullanılan parametreler aşağıdaki Çizelge 3.3'de gösterilmiştir [61];

Çizelge 3.3. TA'da kullanılan parametreler

Parametre	Açıklama
NP	Popülasyon Büyüklüğü (kromozom sayısı)
D	Değişken Sayısı (gen sayısı) (1, 2, 3, ..., j)
CR	Çaprazlama Faktörü [0.1,1.0]
G	Nesil (1, 2, 3, ..., Gmax)
F	Ağırlık 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

Optimizasyon problemleri genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\text{Minimize;} \quad f(X) \quad (3.14)$$

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

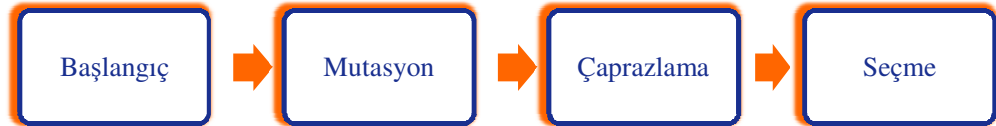
$$x_j^{(l)} \leq x_j \leq x_j^{(u)}, \quad j = 1, \dots, n \quad (3.16)$$

$f(X)$ 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 [61].

FGA'da popülasyonun her bir bireyine "gen" (boyut) denir. Genlerin gruplandırılarak oluşturulan yeni kümeler "kromozom" denir. Amaç, problemin

tüm kısıtlarını sağlayan en iyi çözümleri araştırma. FGA terminolojisinde ‘amaç fonksiyonu’, ‘maliyet fonksiyonu’ (cost-function) olarak da adlandırılmaktadır. Kısıtlardan uzaklaşmalar, ceza katsayılarıyla uygunluk fonksiyonunun değeri düşürölmekte ve böylece uygun çözümler alanından uzaklaşmalar cezalandırılmaktadır [61].

Genlerle temsil edilen problem değişkenlerinin FGA operatörleri ile sınır dışında belirlenmeleri durumu sürekli kontrol edilmelidir. Aksi takdirde çözümler 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 rastgele belirlenmesidir. Problemin amaç fonksiyonu, değişkenler ve kısıtlar belirlendikten sonra Farklı Gelişim Algoritması işlemleri adım adım izlenerek uygulanır [61]. Genel olarak FGA’nın operatörleri ve sıraları Şekil 3.13.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Operatörler ve uygulama sıraları

3.5.1.3. Kodlama ve Başlangıç Popülasyonu

Başlangıçta NP adet D boyutlu kromozomdan meydana gelen başlangıç popülasyonu (P_0) üretilir. P_0 ’ın üretilmesinde kullanılan operatörün matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [61];

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

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 sayısı) sayısına ulaşıncaya kadar uygulanarak algoritma tamamlanır. Son nesildeki en iyi birey çözüm vektörüdür [61].

3.5.1.4. Mutasyon

Mutasyon sonucunda, rastgele seçilen iki kromozomunun genlerinin birbirinden çıkarılması ile elde edilen yeni kromozomun her bir geni ağırlık faktörü ile ağırlıklandırılır ve ortaya çıkan kromozom rastgele seçilen üçüncü kromozom ile toplanarak yeni bir kromozom elde edilir. Mutasyon operatörüne ait matematiksel ifade aşağıdaki gibidir [61]

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

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

D : Değişken sayısı (gen sayısı); 1, 2, 3, ..., j

F : Ağırlık faktörü

$n_{j,i,G+1}$: Mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom

i : Kromozom parametresi

j : Gen parametresi

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

F parametresi genellikle 0–2 arasında değerler almaktadır. Mutasyon sonucunda, çaprazlamada kullanılacak olan kromozom elde edilir ($n_{j,i,G+1}$) [61].

3.5.1.5. Çaprazlama

FGA’da kullanılan çaprazlama yöntemi ile CR katsayısı dikkate alınarak mutasyon sonucunda oluşan yeni genlerden hangilerinin alınacağı belirlenmektedir. 0 ile 1 arasında üretilen rastgele 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 Eş. (3.19)’de gösterilmektedir [61];

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

D : değişken sayısı (gen sayısı) (1, 2, 3, ..., j)

i : kromozom parametresi

j : gen parametresi

$n_{j,i,G+1}$: mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom

Buradaki $j = j_{rand}$ koşulu, en az bir tane genin üretilen yeni kromozomdan alınmasını garanti etmek amacıyla konulmuştur. Rastgele seçilen j_{rand} noktasındaki gen CR ’ ye bakılmaksızın $n_{j,i,G+1}$ ’ den seçilir [61].

3.5.1.6. Seçim

Seçim operatörü ile mevcut nesilden üretilen yeni kromozomlar değerlendirilerek yeni nesil oluşturulur. Kromozomların yeni nesilde yer alma olasılıkları uygunluklarına bağlıdır. Karşılaştırılan kromozomlardan uygunluğu yüksek olan kromozom yeni neslin bireyi olarak atanmaktadır.

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

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

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

4.1. XFDTD BENZETİM PROGRAMI

Elektromanyetik problemlerin çözümünde analitik yöntemler bazen yetersiz kalmaktadır. Bu tür problemlerde ele alınan yapı bilinen yapılara benzetilmek suretiyle basitleştirilir. Basitleştirilmiş yapılardan elde edilen fiziksel bilgi sayesinde karmaşık problemler, gerçeğe yakın koşullarda sayısal yöntemlerle güvenli olarak çözümlenebilir. Bu yöntemlerden bazıları zaman domeninde, bazıları ise frekans domeninde işlem yapar. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır [58-60].

- Zaman Domeninde Sonlu Farklar Metodu (FDTD)
- Moment Metodu (MoM)
- İletim Hattı Metodu (TLM)
- Sonlu Eleman Metodu (FEM)

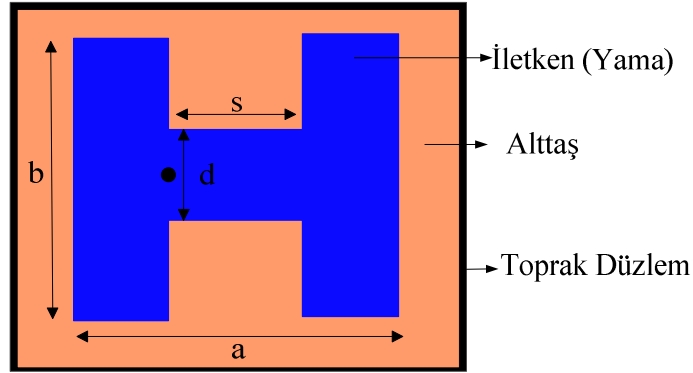
Sayısal yöntemlerin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar; bellek (RAM) yeterliliği, işlemci (CPU) hızı ve benzetim süresidir. Bunun yanında modellemede üst seviyeli programlama dillerinin kullanılması ve sonuçları uygun formatta işleyebilecek gelişmiş grafik çizim programlarının seçimi de oldukça önemlidir [58-60].

XFDTD, FDTD metodu üzerine kurulmuş, 3-boyutlu elektromanyetik çözüm programıdır [80]. XFDTD'nin kullanıldığı alanlar; hücreli telefon, optik, radar, biyomedikal sistemleri benzetimleri, kablosuz ve mikrodalga devre problemleridir. XFDTD Maxwell Denklemlerini zaman domeninde çözer. Her bir zaman adımında elektromanyetik alan değerlerinin hesaplanır. Zaman domeninde 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 sebeplerinden bir tanesi yüksek boyutlu problemlerde başarılı olduğudur. Değişken sayısının artmasıyla FDTD çözümleri diğer metotlardan daha doğru sonuçlar verir [58-60].

XFDTD programında yeni bir benzetimin oluşturulması aşamaları Ek-1'de detaylı olarak anlatılmıştır.

4.1. XFDTD PROGRAMINDA HKMA'NIN BENZETİMİ

HKMA üç ana kısımdan oluşur. Bunlar; iletken yama, alttaş (substrate) ve toprak düzlemdir. XFDTD programında H şekilli iletken yama oluştururken öncelikli olarak dikdörtgen şekilli yama oluşturulur. Oluşturulan iki küçük simetrik yama parçalarının dikdörtgen şekilli yamadan kesilerek çıkarılması ile H şeklinde yama oluşturulur. Daha sonra yamanın altında alttaş oluşturulur. Alttaş dikdörtgenler prizması şeklinde olup z yönünde h kalınlığına ve ϵ_r dielektrik sabiti değerine sahiptir. En alt kısımda ise, toprak düzlemi oluşturulur. Toprak düzlemi, yama gibi mükemmel iletken ve kalınlığı ihmal edilen ince dikdörtgen yüzey olarak tanımlanabilir. Sonuç olarak, Şekil 4.1'de gösterilen HKMA benzetim geometrisi oluşturulur. Burada, yamanın eni a ve boyu b olarak tanımlanmıştır. Yamanın iç boyutları ise s ve d olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.1. HKMA'nın gösterilmesi

XFDTD programında HKMA'nın tasarlanması ve benzetim aşamaları ayrıntılı olarak Ek-2'de anlatılmıştır.

4.2. REZONANS FREKANSI DENKLEMİNİN OLUŞTURULMASI

Bu tez çalışmasında, farklı fiziksel ve elektriksel parametreye sahip 216 adet HKMA tasarlanmıştır. Tasarlanan antenlerin geometrileri XFDTD programında oluşturularak benzetimleri yapılmıştır. HKMA'lar tasarlanırken, dış boyutlarına bağlı olarak dört gruba ayrılmıştır. Her gruptaki HKMA'ların iç yama boyutları, dış boyutların belirli oranlarından elde edilmiştir. H şekilli yamanın oluşturulması için üst ve alt tarafta birbirine eşit boyutlarda, simetrik olacak şekilde Eş. (4.1) ve (4.2)'de ifade edilen oranlarda eşit iki adet küçük yama oluşturulur.

$$a. \left(\frac{1}{4}\right) < s < a. \left(\frac{3}{4}\right) \quad (4.1)$$

$$b. \left(\frac{1}{4}\right) < d < b. \left(\frac{3}{4}\right) \quad (4.2)$$

Buna göre, d ve s değerleri aynı doğrultudaki dış boyutların %25'si ile %75'i arasında olması gereklidir. Bunun yanında her bir anten grubu için 3 farklı dielektrik sabiti (ϵ_r) kullanılmıştır. Literatürde en çok kullanılan değerler 2.5, 4.5 ve 10.2'dir.

Benzetimi yapılan dış boyutları farklı 4 anten grubunun fiziksel ve elektriksel parametreleri ve rezonans frekansları 4 çizelge halinde aşağıda verilmiştir.

Birinci Grup Antenler: Bu gruptaki antenlerin fiziksel ve elektriksel parametreleri aşağıdaki aralıklarda değiştirilmiştir;

<i>Dış boyutlar;</i>	$a=3 \text{ cm}, b=3 \text{ cm}$
<i>İç boyutlar;</i>	$0.6 \text{ cm} < d < 2.2 \text{ cm},$ $0.6 \text{ cm} < s < 2.2 \text{ cm}$
<i>Altaş kalınlığı;</i>	$h= 0.212 \text{ cm}, 0.106 \text{ cm}, 0.159 \text{ cm}, 0.53 \text{ cm}$
<i>Altaş dielektrik sabiti;</i>	$\epsilon_r =2.5, 4.5, 10.2$

Bu grupta benzetimi yapılan her bir anten için elektriksel ve fiziksel parametreler ve benzetim sonucunda elde edilen rezonans frekansı (f_s) değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir

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

a (cm)	b (cm)	d (cm)	s (cm)	ϵ_r	h (cm)	f_s (Ghz)
3	3	0.600	0.600	2.50	0.212	1.805
3	3	0.600	1.400	2.50	0.212	1.645
3	3	0.600	2.200	2.50	0.212	1.751
3	3	1.400	0.600	2.50	0.212	2.335
3	3	1.400	1.400	2.50	0.212	2.229
3	3	1.400	2.200	2.50	0.212	2.335
3	3	2.200	0.600	2.50	0.212	2.813
3	3	2.200	1.400	2.50	0.212	2.676
3	3	2.200	2.200	2.50	0.212	2.813
3	3	0.600	0.600	2.50	0.159	1.751
3	3	0.600	1.400	2.50	0.159	1.645
3	3	0.600	2.200	2.50	0.159	1.751
3	3	1.400	0.600	2.50	0.159	2.389
3	3	1.400	1.400	2.50	0.159	2.229
3	3	1.400	2.200	2.50	0.159	2.389
3	3	2.200	0.600	2.50	0.159	2.813
3	3	2.200	1.400	2.50	0.159	2.707
3	3	2.200	2.200	2.50	0.159	2.866
3	3	0.600	0.600	2.50	0.106	1.751
3	3	0.600	1.400	2.50	0.106	1.645
3	3	0.600	2.200	2.50	0.106	1.751
3	3	1.400	0.600	2.50	0.106	2.389
3	3	1.400	1.400	2.50	0.106	2.229
3	3	1.400	2.200	2.50	0.106	2.389
3	3	2.200	0.600	2.50	0.106	2.866
3	3	2.200	1.400	2.50	0.106	2.707
3	3	2.200	2.200	2.50	0.106	2.866
3	3	0.600	0.600	2.50	0.053	1.751
3	3	0.600	1.400	2.50	0.053	1.645
3	3	0.600	2.200	2.50	0.053	1.751
3	3	1.400	0.600	2.50	0.053	2.389
3	3	1.400	1.400	2.50	0.053	2.229

Çizelge 4.1 (devam)

a (cm)	b (cm)	d (cm)	s (cm)	ϵ_r	h (cm)	f_s (Ghz)
3	3	1.400	2.200	2.50	0.053	2.389
3	3	2.200	0.600	2.50	0.053	2.866
3	3	2.200	1.400	2.50	0.053	2.732
3	3	2.200	2.200	2.50	0.053	2.866
3	3	0.600	0.600	10.20	0.159	0.902
3	3	0.600	1.400	10.20	0.159	0.849
3	3	0.600	2.200	10.20	0.159	0.902
3	3	1.400	0.600	10.20	0.159	1.221
3	3	1.400	1.400	10.20	0.159	1.114
3	3	1.400	2.200	10.20	0.159	1.221
3	3	2.200	0.600	10.20	0.159	1.433
3	3	2.200	1.400	10.20	0.159	1.380
3	3	2.200	2.200	10.20	0.159	1.433
3	3	0.600	0.600	4.5	0.159	1.327
3	3	0.600	1.400	4.5	0.159	1.221
3	3	0.600	2.200	4.5	0.159	1.327
3	3	1.400	0.600	4.5	0.159	1.805
3	3	1.400	1.400	4.5	0.159	1.698
3	3	1.400	2.200	4.5	0.159	1.805
3	3	2.200	0.600	4.5	0.159	2.123
3	3	2.200	1.400	4.5	0.159	2.039
3	3	2.200	2.200	4.5	0.159	2.123

İkinci Grup Antenler; Bu gruptaki antenlerin fiziksel ve elektriksel parametreleri aşağıdaki aralıklarda değiştirilmiştir;

Dış boyutlar;

$$a=3 \text{ cm}, b=4 \text{ cm}$$

İç boyutlar;

$$1.0 \text{ cm} < d < 3.0 \text{ cm},$$

$$0.6 \text{ cm} < s < 2.2 \text{ cm}$$

Altaş kalınlığı;

$$h= 0.212 \text{ cm}, 0.106 \text{ cm}, 0.159 \text{ cm}, 0.53 \text{ cm}$$

Altaş dielektrik sabiti;

$$\epsilon_r = 2.5, 4.5, 10.2$$

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 benzetim sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri

<i>a (cm)</i>	<i>b(cm)</i>	<i>d(cm)</i>	<i>s(cm)</i>	ϵ_r	<i>h(cm)</i>	<i>f_s (Ghz)</i>
3	4	1.000	0.600	2.5	0.212	1.751
3	4	1.000	1.400	2.5	0.212	1.645
3	4	1.000	2.200	2.5	0.212	1.751
3	4	2.000	0.600	2.5	0.212	2.282
3	4	2.000	1.400	2.5	0.212	2.176
3	4	2.000	2.200	2.5	0.212	2.282
3	4	3.000	0.600	2.5	0.212	2.760
3	4	3.000	1.400	2.5	0.212	2.601
3	4	3.000	2.200	2.5	0.212	2.760
3	4	1.000	0.600	2.5	0.159	1.751
3	4	1.000	1.400	2.5	0.159	1.645
3	4	1.000	2.200	2.5	0.159	1.751
3	4	2.000	0.600	2.5	0.159	2.282
3	4	2.000	1.400	2.5	0.159	2.176
3	4	2.000	2.200	2.5	0.159	2.282
3	4	3.000	0.600	2.5	0.159	2.760
3	4	3.000	1.400	2.5	0.159	2.654
3	4	3.000	2.200	2.5	0.159	2.760
3	4	1.000	0.600	2.5	0.106	1.751
3	4	1.000	1.400	2.5	0.106	1.645
3	4	1.000	2.200	2.5	0.106	1.751
3	4	2.000	0.600	2.5	0.106	2.282
3	4	2.000	1.400	2.5	0.106	2.176
3	4	2.000	2.200	2.5	0.106	2.282
3	4	3.000	0.600	2.5	0.106	2.760
3	4	3.000	1.400	2.5	0.106	2.654
3	4	3.000	2.200	2.5	0.106	2.760
3	4	1.000	0.600	2.5	0.053	1.751
3	4	1.000	1.400	2.5	0.053	1.645
3	4	1.000	2.200	2.5	0.053	1.751
3	4	2.000	0.600	2.5	0.053	2.282
3	4	2.000	1.400	2.5	0.053	2.176
3	4	2.000	2.200	2.5	0.053	2.282
3	4	3.000	0.600	2.5	0.053	2.813
3	4	3.000	1.400	2.5	0.053	2.707
3	4	3.000	2.200	2.5	0.053	2.813

Çizelge 4.2 (devam)

a (cm)	b (cm)	d (cm)	s (cm)	ϵ_r	h (cm)	f_s (Ghz)
3	4	1.000	0.600	10.2	0.159	0.902
3	4	1.000	1.400	10.2	0.159	0.849
3	4	1.000	2.200	10.2	0.159	0.902
3	4	2.000	0.600	10.2	0.159	1.167
3	4	2.000	1.400	10.2	0.159	1.114
3	4	2.000	2.200	10.2	0.159	1.167
3	4	3.000	0.600	10.2	0.159	1.380
3	4	3.000	1.400	10.2	0.159	1.327
3	4	3.000	2.200	10.2	0.159	1.380
3	4	1.000	0.600	4.5	0.159	1.327
3	4	1.000	1.400	4.5	0.159	1.274
3	4	1.000	2.200	4.5	0.159	1.327
3	4	2.000	0.600	4.5	0.159	1.698
3	4	2.000	1.400	4.5	0.159	1.645
3	4	2.000	2.200	4.5	0.159	1.698
3	4	3.000	0.600	4.5	0.159	2.070
3	4	3.000	1.400	4.5	0.159	2.017
3	4	3.000	2.200	4.5	0.159	2.070

Üçüncü Grup Antenler: Bu gruptaki antenlerin fiziksel ve elektriksel parametreleri aşağıdaki aralıklarda değiştirilmiştir;

Dış boyutlar;

$$a=4 \text{ cm}, b=4 \text{ cm}$$

İç boyutlar;

$$1.0 \text{ cm} < d < 3.0 \text{ cm},$$

$$1.0 \text{ cm} < s < 3.0 \text{ cm}$$

Altaş kalınlığı;

$$h= 0.212 \text{ cm}, 0.106 \text{ cm}, 0.159 \text{ cm}, 0.53 \text{ cm}$$

Altaş dielektrik sabiti;

$$\epsilon_r = 2.5, 4.5, 10.2$$

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 fiziksel ve elektriksel parametreler ile benzetim sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri

a (cm)	b (cm)	d (cm)	s (cm)	ϵ_r	h (cm)	f_s (Ghz)
4	4	1.000	1.000	2.50	0.212	1.380
4	4	1.000	2.000	2.50	0.212	1.327
4	4	1.000	3.000	2.50	0.212	1.433
4	4	2.000	1.000	2.50	0.212	1.805
4	4	2.000	2.000	2.50	0.212	1.751
4	4	2.000	3.000	2.50	0.212	1.858
4	4	3.000	1.000	2.50	0.212	2.123
4	4	3.000	2.000	2.50	0.212	2.070
4	4	3.000	3.000	2.50	0.212	2.176
4	4	1.000	1.000	2.50	0.159	1.380
4	4	1.000	2.000	2.50	0.159	1.327
4	4	1.000	3.000	2.50	0.159	1.433
4	4	2.000	1.000	2.50	0.159	1.805
4	4	2.000	2.000	2.50	0.159	1.751
4	4	2.000	3.000	2.50	0.159	1.858
4	4	3.000	1.000	2.50	0.159	2.123
4	4	3.000	2.000	2.50	0.159	2.070
4	4	3.000	3.000	2.50	0.159	2.176
4	4	1.000	1.000	2.50	0.106	1.380
4	4	1.000	2.000	2.50	0.106	1.327
4	4	1.000	3.000	2.50	0.106	1.433
4	4	2.000	1.000	2.50	0.106	1.805
4	4	2.000	2.000	2.50	0.106	1.751
4	4	2.000	3.000	2.50	0.106	1.858
4	4	3.000	1.000	2.50	0.106	2.123
4	4	3.000	2.000	2.50	0.106	2.070
4	4	3.000	3.000	2.50	0.106	2.176
4	4	1.000	1.000	2.50	0.053	1.380
4	4	1.000	2.000	2.50	0.053	1.327
4	4	1.000	3.000	2.50	0.053	1.433
4	4	2.000	1.000	2.50	0.053	1.805
4	4	2.000	2.000	2.50	0.053	1.751
4	4	2.000	3.000	2.50	0.053	1.858
4	4	3.000	1.000	2.50	0.053	2.123
4	4	3.000	2.000	2.50	0.053	2.070
4	4	3.000	3.000	2.50	0.053	2.176
4	4	1.000	1.000	10.20	0.159	0.690

Çizelge 4.3 (devam)

a (cm)	b (cm)	d (cm)	s (cm)	ϵ_r	h (cm)	f_s (Ghz)
4	4	1.000	2.000	10.20	0.159	0.690
4	4	1.000	3.000	10.20	0.159	0.743
4	4	2.000	1.000	10.20	0.159	0.902
4	4	2.000	2.000	10.20	0.159	0.849
4	4	2.000	3.000	10.20	0.159	0.902
4	4	3.000	1.000	10.20	0.159	1.061
4	4	3.000	2.000	10.20	0.159	1.061
4	4	3.000	3.000	10.20	0.159	1.114
4	4	1.000	1.000	4.5	0.159	1.061
4	4	1.000	2.000	4.5	0.159	1.008
4	4	1.000	3.000	4.5	0.159	1.061
4	4	2.000	1.000	4.5	0.159	1.327
4	4	2.000	2.000	4.5	0.159	1.306
4	4	2.000	3.000	4.5	0.159	1.380
4	4	3.000	1.000	4.5	0.159	1.592
4	4	3.000	2.000	4.5	0.159	1.539
4	4	3.000	3.000	4.5	0.159	1.645

Dördüncü Grup Antenler; Bu gruptaki antenlerin fiziksel ve elektriksel parametreleri aşağıdaki aralıklarda değiştirilmiştir;

Dış boyutlar;

$$a=5 \text{ cm}, b=5 \text{ cm}$$

İç boyutlar;

$$1.25 \text{ cm} < d < 3.75 \text{ cm},$$

$$1.25 \text{ cm} < s < 3.75 \text{ cm}$$

Altaş kalınlığı;

$$h= 0.212 \text{ cm}, 0.106 \text{ cm}, 0.159 \text{ cm}, 0.53 \text{ cm}$$

Altaş dielektrik sabiti;

$$\epsilon_r = 2.5, 4.5, 10.2$$

Bu grupta benzetimi yapılan her bir anten için elektriksel ve fiziksel parametreler ve benzetim sonucunda elde edilen rezonans frekansı (f_s) değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir

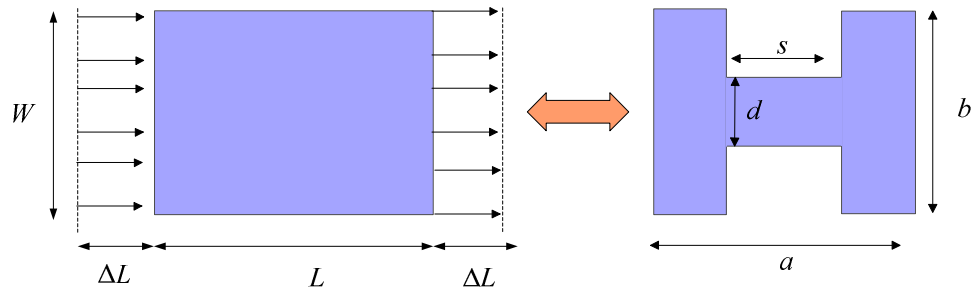
Çizelge 4.4. Dördüncü grup antenler için fiziksel ve elektriksel parametreler ile benzetim sonucu elde edilen rezonans frekansı değerleri

a (cm)	b (cm)	d (cm)	s (cm)	ϵ_r	h (cm)	f_s (Ghz)
5	5	1.250	1.250	2.50	0.212	1.114
5	5	1.250	2.500	2.50	0.212	1.061
5	5	1.250	3.750	2.50	0.212	1.167
5	5	2.500	1.250	2.50	0.212	1.433
5	5	2.500	2.500	2.50	0.212	1.380
5	5	2.500	3.750	2.50	0.212	1.486
5	5	3.750	1.250	2.50	0.212	1.698
5	5	3.750	2.500	2.50	0.212	1.645
5	5	3.750	3.750	2.50	0.212	1.751
5	5	1.250	1.250	2.50	0.159	1.114
5	5	1.250	2.500	2.50	0.159	1.061
5	5	1.250	3.750	2.50	0.159	1.167
5	5	2.500	1.250	2.50	0.159	1.433
5	5	2.500	2.500	2.50	0.159	1.380
5	5	2.500	3.750	2.50	0.159	1.486
5	5	3.750	1.250	2.50	0.159	1.698
5	5	3.750	2.500	2.50	0.159	1.645
5	5	3.750	3.750	2.50	0.159	1.751
5	5	1.250	1.250	2.50	0.106	1.114
5	5	1.250	2.500	2.50	0.106	1.061
5	5	1.250	3.750	2.50	0.106	1.167
5	5	2.500	1.250	2.50	0.106	1.433
5	5	2.500	2.500	2.50	0.106	1.380
5	5	2.500	3.750	2.50	0.106	1.486
5	5	3.750	1.250	2.50	0.106	1.698
5	5	3.750	2.500	2.50	0.106	1.645
5	5	3.750	3.750	2.50	0.106	1.751
5	5	1.250	1.250	2.50	0.053	1.114
5	5	1.250	2.500	2.50	0.053	1.061
5	5	1.250	3.750	2.50	0.053	1.167
5	5	2.500	1.250	2.50	0.053	1.433
5	5	2.500	2.500	2.50	0.053	1.380
5	5	2.500	3.750	2.50	0.053	1.486
5	5	3.750	1.250	2.50	0.053	1.698
5	5	3.750	2.500	2.50	0.053	1.645
5	5	3.750	3.750	2.50	0.053	1.751
5	5	1.250	1.250	10.20	0.159	0.530

Çizelge 4.3 (devam)

a (cm)	b (cm)	d (cm)	s (cm)	ϵ_r	h (cm)	f_s (Ghz)
5	5	1.250	2.500	10.20	0.159	0.530
5	5	1.250	3.750	10.20	0.159	0.583
5	5	2.500	1.250	10.20	0.159	0.743
5	5	2.500	2.500	10.20	0.159	0.690
5	5	2.500	3.750	10.20	0.159	0.743
5	5	3.750	1.250	10.20	0.159	0.849
5	5	3.750	2.500	10.20	0.159	0.849
5	5	3.750	3.750	10.20	0.159	0.849
5	5	1.250	1.250	4.5	0.159	0.849
5	5	1.250	2.500	4.5	0.159	0.796
5	5	1.250	3.750	4.5	0.159	0.849
5	5	2.500	1.250	4.5	0.159	1.061
5	5	2.500	2.500	4.5	0.159	1.061
5	5	2.500	3.750	4.5	0.159	1.114
5	5	3.750	1.250	4.5	0.159	1.274
5	5	3.750	2.500	4.5	0.159	1.221
5	5	3.750	3.750	4.5	0.159	1.327

Benzetimler ile elde edilen rezonans frekans değerlerini antenin fiziksel ve elektriksel parametreleri ile elde edebilmek için FGA kullanılarak yaklaşık bir denklem bulmaya çalışılmıştır. HKMA, DMA'nın modifiye edilmesiyle oluştuğu için literatürde DMA için bulunmuş geleneksel denklemler değiştirilerek kullanılmıştır. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, DMA ile HKMA'nın fiziksel parametreleri eşleştirilmiştir. Buna göre W boyutu b boyutuyla, L boyutu ise DMA için bulunan $L_{eff}=(L + 2\Delta L)$ eşitliğinde ifade edilen L 'nin yerine L_e ile eşleştirilmiş olup Eş. (4.5)'de gösterildiği gibi L_e , rezonans frekansı denkleminde kullanılmaktadır.



Şekil 4.2. DMA ile HKMA'nın fiziksel parametrelerinin eşleştirilmesi

Bölüm 3.2.3.1’de DMA’ya İletim Hattı Modeli uygulanarak elde edilen denklemlere HKMA’nın parametreleri uygulanmış hali aşağıda sıralanmıştır.

$$\varepsilon_{\text{reff}} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[1 + 10 \frac{h}{b} \right]^{-1/2} \quad (4.3)$$

$$\Delta L = 0.412 \times h \frac{(\varepsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{b}{h} + 0.264 \right)}{(\varepsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{b}{h} + 0.8 \right)} \quad (4.4)$$

Yukarıdaki Eş. (4.3) ve (4.4) denklemlerine aşağıdaki Eş. (4.5)’de ifade edilen denklemde yerine yazılarak rezonans frekansı bulunabilir.

$$f_r = \frac{c}{2(L_{\text{eff}}) \sqrt{\varepsilon_{\text{reff}}}} = \frac{c}{2(L_e + 2\Delta L) \sqrt{\varepsilon_{\text{reff}}}} \quad (4.5)$$

ΔL ve $\varepsilon_{\text{reff}}$ eşitlikleri sırasıyla Eş. (4.3) ve (4.4)’de verilmiştir. Bu eşitlikler antenin dış boyutları, alttaş yüksekliği, alttaşın dielektrik sabiti gibi, antenin fiziksel ve elektriksel parametrelerine bağlıdır. HKMA’yı oluşturmak için DMA’da açılan boşluklardan dolayı yama boyunun L_e olarak değiştiği farz edilmektedir. L_e değerini veren yaklaşık denklem çok sayıda denemeden sonra H şekilli yamanın iç ve dış boyutlarına bağlı olarak bulunmuş olup Eş. (4.6)’de gösterilmiştir. Bu denemelerde, FGA kullanılarak Eş. (4.7)’daki hata oranı denklemi kullanılarak yeni denklem ile benzetim sonucunda elde edilen rezonans frekansı değerleri arasındaki hata oranını azaltılmasını sağlamak için çok sayıda deneme yapılmıştır. Sonuç olarak, yeni denklemde ifade edilen katsayılar aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$\alpha_1: 0.893, \alpha_2: -0.317, \alpha_3: -0.561, \alpha_4: 0.721, \alpha_5: -0.634, \alpha_6: 0.644, \alpha_7: 0.147, \alpha_8: -1.586$

$$L_e = (\alpha_1 \cdot a + \alpha_2 \cdot d) \left(\frac{a}{b} \right)^{\alpha_3} + (\alpha_4 \cdot a + \alpha_5 \cdot s) \left(\frac{s}{d} \right)^{\alpha_6} + (\alpha_7 \cdot d) \left(\frac{d}{b} \right)^{\alpha_8} \quad (4.6)$$

Eş. (4.7)'da, benzetim sonucunda bulunan rezonans frekansı ile Eş. (4.6) kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda elde edilen rezonans frekansı değerleri arasındaki hatayı veren eşitlik verilmiştir.

$$\% \text{ hata} = \left| \frac{f_s - f_c}{f_s} \right| \times 100 \quad (4.7)$$

HKMA'lar ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaya benzer kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. Sadece, antenin yama iletkeninde açılan boşlukların belirli boyutlarına bağlı olarak rezonans frekansını veren denklemlerin bulunması ile ilgili kısıtlı bir çalışma yapılmıştır [53]. Ayrıca, FDTD yöntemi kullanılarak yamanın fiziksel boyutlarından sadece bir tanesi değiştirilerek, bu durumun rezonans frekansı üzerindeki etkisi incelenmiştir [68].

4.3. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Benzetim sonuçlarıyla denklem sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 4.5'de verilmiştir. Burada, benzetim sonucunda elde edilen rezonans frekansı (f_s) ve yeni denklem kullanılarak yapılan hesaplama sonucu elde edilen rezonans frekansı (f_c) değerleri olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 4.5. HKMA'nın benzetim ve hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması

<i>a (cm)</i>	<i>b (cm)</i>	<i>d (cm)</i>	<i>s (cm)</i>	ϵ_r	<i>h (cm)</i>	f_s (Ghz)	f_c (Ghz)	% Hata
3	3	0.600	0.600	2.50	0.212	1.751	1.749	0.114
3	3	0.600	1.400	2.50	0.212	1.645	1.628	1.039
3	3	0.600	2.200	2.50	0.212	1.751	1.752	0.069
3	3	1.400	0.600	2.50	0.212	2.335	2.357	0.941
3	3	1.400	1.400	2.50	0.212	2.229	2.228	0.061
3	3	1.400	2.200	2.50	0.212	2.335	2.360	1.085
3	3	2.200	0.600	2.50	0.212	2.813	2.813	0.006
3	3	2.200	1.400	2.50	0.212	2.676	2.674	0.061
3	3	2.200	2.200	2.50	0.212	2.813	2.816	0.121
3	3	0.600	0.600	2.50	0.159	1.751	1.753	0.137
3	3	0.600	1.400	2.50	0.159	1.645	1.631	0.856
3	3	0.600	2.200	2.50	0.159	1.751	1.757	0.322
3	3	1.400	0.600	2.50	0.159	2.389	2.371	0.769
3	3	1.400	1.400	2.50	0.159	2.229	2.239	0.448
3	3	1.400	2.200	2.50	0.159	2.389	2.374	0.625
3	3	2.200	0.600	2.50	0.159	2.813	2.836	0.822
3	3	2.200	1.400	2.50	0.159	2.707	2.695	0.462
3	3	2.200	2.200	2.50	0.159	2.866	2.840	0.914
3	3	0.600	0.600	2.50	0.106	1.751	1.756	0.289
3	3	0.600	1.400	2.50	0.106	1.645	1.632	0.772
3	3	0.600	2.200	2.50	0.106	1.751	1.759	0.476
3	3	1.400	0.600	2.50	0.106	2.389	2.382	0.279
3	3	1.400	1.400	2.50	0.106	2.229	2.248	0.870
3	3	1.400	2.200	2.50	0.106	2.389	2.386	0.133
3	3	2.200	0.600	2.50	0.106	2.866	2.857	0.298
3	3	2.200	1.400	2.50	0.106	2.707	2.713	0.208
3	3	2.200	2.200	2.50	0.106	2.866	2.861	0.167
3	3	0.600	0.600	2.50	0.053	1.751	1.756	0.302
3	3	0.600	1.400	2.50	0.053	1.645	1.631	0.827
3	3	0.600	2.200	2.50	0.053	1.751	1.760	0.492
3	3	1.400	0.600	2.50	0.053	2.389	2.391	0.086
3	3	1.400	1.400	2.50	0.053	2.229	2.255	1.163
3	3	1.400	2.200	2.50	0.053	2.389	2.395	0.234
3	3	2.200	0.600	2.50	0.053	2.866	2.876	0.335
3	3	2.200	1.400	2.50	0.053	2.732	2.728	0.160
3	3	2.200	2.200	2.50	0.053	2.866	2.879	0.469
3	3	0.600	0.600	10.20	0.159	0.902	0.886	1.793
3	3	0.600	1.400	10.20	0.159	0.849	0.824	2.982

Çizelge 4.5 (devam)

<i>a (cm)</i>	<i>b (cm)</i>	<i>d (cm)</i>	<i>s (cm)</i>	ϵ_r	<i>h (cm)</i>	<i>f_s (Ghz)</i>	<i>f_c (Ghz)</i>	<i>% Hata</i>
3	3	0.600	2.200	10.20	0.159	0.902	0.887	1.610
3	3	1.400	0.600	10.20	0.159	1.221	1.200	1.748
3	3	1.400	1.400	10.20	0.159	1.114	1.133	1.672
3	3	1.400	2.200	10.20	0.159	1.221	1.201	1.605
3	3	2.200	0.600	10.20	0.159	1.433	1.437	0.280
3	3	2.200	1.400	10.20	0.159	1.380	1.365	1.107
3	3	2.200	2.200	10.20	0.159	1.433	1.439	0.410
3	3	0.600	0.600	4.5	0.159	1.327	1.323	0.332
3	3	0.600	1.400	4.5	0.159	1.221	1.230	0.735
3	3	0.600	2.200	4.5	0.159	1.327	1.325	0.148
3	3	1.400	0.600	4.5	0.159	1.805	1.790	0.833
3	3	1.400	1.400	4.5	0.159	1.698	1.690	0.459
3	3	1.400	2.200	4.5	0.159	1.805	1.793	0.689
3	3	2.200	0.600	4.5	0.159	2.123	2.143	0.944
3	3	2.200	1.400	4.5	0.159	2.039	2.036	0.169
3	3	2.200	2.200	4.5	0.159	2.123	2.146	1.075
3	4	1.000	0.600	2.5	0.212	1.751	1.743	0.476
3	4	1.000	1.400	2.5	0.212	1.645	1.654	0.539
3	4	1.000	2.200	2.5	0.212	1.751	1.745	0.345
3	4	2.000	0.600	2.5	0.212	2.282	2.259	1.019
3	4	2.000	1.400	2.5	0.212	2.176	2.162	0.622
3	4	2.000	2.200	2.5	0.212	2.282	2.261	0.911
3	4	3.000	0.600	2.5	0.212	2.760	2.732	1.001
3	4	3.000	1.400	2.5	0.212	2.601	2.624	0.869
3	4	3.000	2.200	2.5	0.212	2.760	2.735	0.900
3	4	1.000	0.600	2.5	0.159	1.751	1.749	0.118
3	4	1.000	1.400	2.5	0.159	1.645	1.659	0.851
3	4	1.000	2.200	2.5	0.159	1.751	1.751	0.015
3	4	2.000	0.600	2.5	0.159	2.282	2.273	0.381
3	4	2.000	1.400	2.5	0.159	2.176	2.175	0.033
3	4	2.000	2.200	2.5	0.159	2.282	2.276	0.270
3	4	3.000	0.600	2.5	0.159	2.760	2.757	0.101
3	4	3.000	1.400	2.5	0.159	2.654	2.646	0.307
3	4	3.000	2.200	2.5	0.159	2.760	2.760	0.002
3	4	1.000	0.600	2.5	0.106	1.751	1.754	0.177
3	4	1.000	1.400	2.5	0.106	1.645	1.663	1.098
3	4	1.000	2.200	2.5	0.106	1.751	1.756	0.312
3	4	2.000	0.600	2.5	0.106	2.282	2.287	0.206
3	4	2.000	1.400	2.5	0.106	2.176	2.187	0.500
3	4	2.000	2.200	2.5	0.106	2.282	2.289	0.319

Çizelge 4.5 (devam)

<i>a (cm)</i>	<i>b (cm)</i>	<i>d (cm)</i>	<i>s (cm)</i>	ϵ_r	<i>h (cm)</i>	f_s (Ghz)	f_c (Ghz)	% Hata
3	4	3.000	0.600	2.5	0.106	2.760	2.781	0.759
3	4	3.000	1.400	2.5	0.106	2.654	2.667	0.489
3	4	3.000	2.200	2.5	0.106	2.760	2.784	0.865
3	4	1.000	0.600	2.5	0.053	1.751	1.758	0.386
3	4	1.000	1.400	2.5	0.053	1.645	1.666	1.257
3	4	1.000	2.200	2.5	0.053	1.751	1.760	0.522
3	4	2.000	0.600	2.5	0.053	2.282	2.298	0.718
3	4	2.000	1.400	2.5	0.053	2.176	2.197	0.957
3	4	2.000	2.200	2.5	0.053	2.282	2.301	0.833
3	4	3.000	0.600	2.5	0.053	2.813	2.803	0.355
3	4	3.000	1.400	2.5	0.053	2.707	2.686	0.761
3	4	3.000	2.200	2.5	0.053	2.813	2.806	0.248
3	4	1.000	0.600	10.2	0.159	0.902	0.881	2.359
3	4	1.000	1.400	10.2	0.159	0.849	0.835	1.622
3	4	1.000	2.200	10.2	0.159	0.902	0.882	2.229
3	4	2.000	0.600	10.2	0.159	1.167	1.146	1.766
3	4	2.000	1.400	10.2	0.159	1.114	1.097	1.556
3	4	2.000	2.200	10.2	0.159	1.167	1.148	1.656
3	4	3.000	0.600	10.2	0.159	1.380	1.392	0.885
3	4	3.000	1.400	10.2	0.159	1.327	1.336	0.647
3	4	3.000	2.200	10.2	0.159	1.380	1.394	0.991
3	4	1.000	0.600	4.5	0.159	1.327	1.317	0.772
3	4	1.000	1.400	4.5	0.159	1.274	1.249	1.973
3	4	1.000	2.200	4.5	0.159	1.327	1.319	0.640
3	4	2.000	0.600	4.5	0.159	1.698	1.713	0.883
3	4	2.000	1.400	4.5	0.159	1.645	1.639	0.373
3	4	2.000	2.200	4.5	0.159	1.698	1.715	0.996
3	4	3.000	0.600	4.5	0.159	2.070	2.079	0.447
3	4	3.000	1.400	4.5	0.159	2.017	1.995	1.095
3	4	3.000	2.200	4.5	0.159	2.070	2.081	0.551
4	4	1.000	1.000	2.50	0.212	1.380	1.385	0.388
4	4	1.000	2.000	2.50	0.212	1.327	1.333	0.479
4	4	1.000	3.000	2.50	0.212	1.433	1.438	0.366
4	4	2.000	1.000	2.50	0.212	1.805	1.783	1.201
4	4	2.000	2.000	2.50	0.212	1.751	1.728	1.323
4	4	2.000	3.000	2.50	0.212	1.858	1.839	1.023
4	4	3.000	1.000	2.50	0.212	2.123	2.105	0.865
4	4	3.000	2.000	2.50	0.212	2.070	2.045	1.209
4	4	3.000	3.000	2.50	0.212	2.176	2.164	0.543
4	4	1.000	1.000	2.50	0.159	1.380	1.388	0.552

Çizelge 4.5 (devam)

<i>a (cm)</i>	<i>b (cm)</i>	<i>d (cm)</i>	<i>s (cm)</i>	ϵ_r	<i>h (cm)</i>	f_s (Ghz)	f_c (Ghz)	% Hata
4	4	1.000	2.000	2.50	0.159	1.327	1.335	0.615
4	4	1.000	3.000	2.50	0.159	1.433	1.441	0.559
4	4	2.000	1.000	2.50	0.159	1.805	1.790	0.823
4	4	2.000	2.000	2.50	0.159	1.751	1.734	0.975
4	4	2.000	3.000	2.50	0.159	1.858	1.847	0.614
4	4	3.000	1.000	2.50	0.159	2.123	2.116	0.310
4	4	3.000	2.000	2.50	0.159	2.070	2.056	0.689
4	4	3.000	3.000	2.50	0.159	2.176	2.177	0.047
4	4	1.000	1.000	2.50	0.106	1.380	1.389	0.647
4	4	1.000	2.000	2.50	0.106	1.327	1.336	0.680
4	4	1.000	3.000	2.50	0.106	1.433	1.443	0.684
4	4	2.000	1.000	2.50	0.106	1.805	1.796	0.508
4	4	2.000	2.000	2.50	0.106	1.751	1.739	0.691
4	4	2.000	3.000	2.50	0.106	1.858	1.853	0.266
4	4	3.000	1.000	2.50	0.106	2.123	2.127	0.189
4	4	3.000	2.000	2.50	0.106	2.070	2.065	0.225
4	4	3.000	3.000	2.50	0.106	2.176	2.189	0.582
4	4	1.000	1.000	2.50	0.053	1.380	1.389	0.649
4	4	1.000	2.000	2.50	0.053	1.327	1.336	0.652
4	4	1.000	3.000	2.50	0.053	1.433	1.443	0.716
4	4	2.000	1.000	2.50	0.053	1.805	1.800	0.277
4	4	2.000	2.000	2.50	0.053	1.751	1.742	0.493
4	4	2.000	3.000	2.50	0.053	1.858	1.858	0.002
4	4	3.000	1.000	2.50	0.053	2.123	2.136	0.610
4	4	3.000	2.000	2.50	0.053	2.070	2.073	0.159
4	4	3.000	3.000	2.50	0.053	2.176	2.199	1.040
4	4	1.000	1.000	10.20	0.159	0.690	0.698	1.173
4	4	1.000	2.000	10.20	0.159	0.690	0.672	2.665
4	4	1.000	3.000	10.20	0.159	0.743	0.725	2.415
4	4	2.000	1.000	10.20	0.159	0.902	0.902	0.048
4	4	2.000	2.000	10.20	0.159	0.849	0.873	2.841
4	4	2.000	3.000	10.20	0.159	0.902	0.930	3.120
4	4	3.000	1.000	10.20	0.159	1.061	1.067	0.549
4	4	3.000	2.000	10.20	0.159	1.061	1.036	2.350
4	4	3.000	3.000	10.20	0.159	1.114	1.098	1.477
4	4	1.000	1.000	4.5	0.159	1.061	1.044	1.591
4	4	1.000	2.000	4.5	0.159	1.008	1.005	0.342
4	4	1.000	3.000	4.5	0.159	1.061	1.084	2.204
4	4	2.000	1.000	4.5	0.159	1.327	1.348	1.572
4	4	2.000	2.000	4.5	0.159	1.306	1.305	0.045

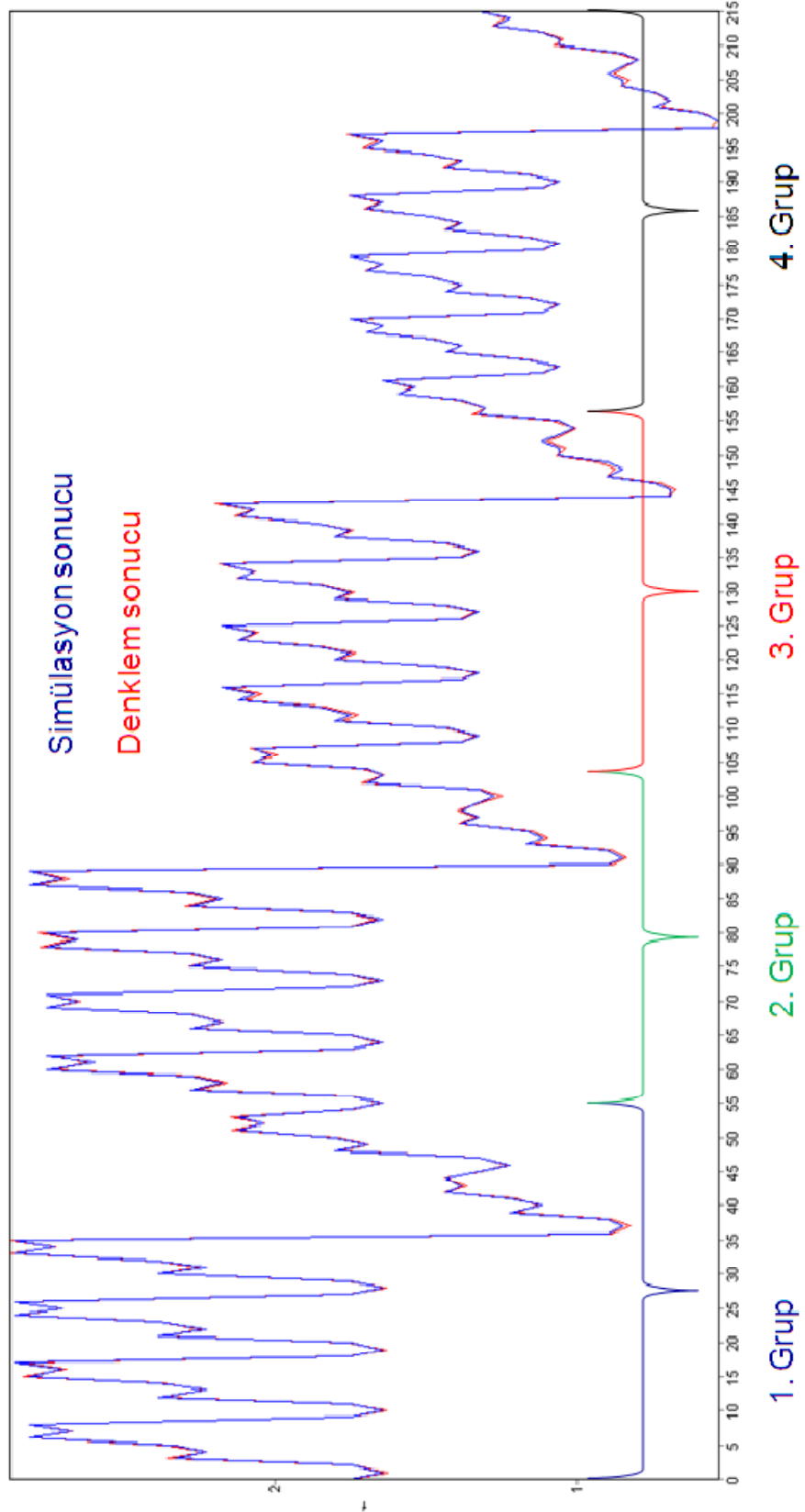
Çizelge 4.5 (devam)

<i>a (cm)</i>	<i>b (cm)</i>	<i>d (cm)</i>	<i>s (cm)</i>	ϵ_r	<i>h (cm)</i>	<i>f_s (Ghz)</i>	<i>f_c (Ghz)</i>	<i>% Hata</i>
4	4	2.000	3.000	4.5	0.159	1.380	1.390	0.761
4	4	3.000	1.000	4.5	0.159	1.592	1.594	0.149
4	4	3.000	2.000	4.5	0.159	1.539	1.549	0.618
4	4	3.000	3.000	4.5	0.159	1.645	1.640	0.293
5	5	1.250	1.250	2.50	0.212	1.114	1.110	0.378
5	5	1.250	2.500	2.50	0.212	1.061	1.068	0.650
5	5	1.250	3.750	2.50	0.212	1.167	1.152	1.249
5	5	2.500	1.250	2.50	0.212	1.433	1.431	0.134
5	5	2.500	2.500	2.50	0.212	1.380	1.386	0.451
5	5	2.500	3.750	2.50	0.212	1.486	1.476	0.664
5	5	3.750	1.250	2.50	0.212	1.698	1.691	0.394
5	5	3.750	2.500	2.50	0.212	1.645	1.643	0.125
5	5	3.750	3.750	2.50	0.212	1.751	1.740	0.650
5	5	1.250	1.250	2.50	0.159	1.114	1.111	0.285
5	5	1.250	2.500	2.50	0.159	1.061	1.069	0.721
5	5	1.250	3.750	2.50	0.159	1.167	1.154	1.133
5	5	2.500	1.250	2.50	0.159	1.433	1.435	0.137
5	5	2.500	2.500	2.50	0.159	1.380	1.390	0.699
5	5	2.500	3.750	2.50	0.159	1.486	1.481	0.370
5	5	3.750	1.250	2.50	0.159	1.698	1.698	0.021
5	5	3.750	2.500	2.50	0.159	1.645	1.649	0.264
5	5	3.750	3.750	2.50	0.159	1.751	1.747	0.209
5	5	1.250	1.250	2.50	0.106	1.114	1.111	0.244
5	5	1.250	2.500	2.50	0.106	1.061	1.069	0.739
5	5	1.250	3.750	2.50	0.106	1.167	1.155	1.069
5	5	2.500	1.250	2.50	0.106	1.433	1.438	0.361
5	5	2.500	2.500	2.50	0.106	1.380	1.392	0.898
5	5	2.500	3.750	2.50	0.106	1.486	1.484	0.122
5	5	3.750	1.250	2.50	0.106	1.698	1.705	0.392
5	5	3.750	2.500	2.50	0.106	1.645	1.655	0.608
5	5	3.750	3.750	2.50	0.106	1.751	1.754	0.189
5	5	1.250	1.250	2.50	0.053	1.114	1.111	0.268
5	5	1.250	2.500	2.50	0.053	1.061	1.068	0.690
5	5	1.250	3.750	2.50	0.053	1.167	1.155	1.069
5	5	2.500	1.250	2.50	0.053	1.433	1.440	0.522
5	5	2.500	2.500	2.50	0.053	1.380	1.394	1.034
5	5	2.500	3.750	2.50	0.053	1.486	1.487	0.065
5	5	3.750	1.250	2.50	0.053	1.698	1.710	0.706
5	5	3.750	2.500	2.50	0.053	1.645	1.660	0.894
5	5	3.750	3.750	2.50	0.053	1.751	1.760	0.530

Çizelge 4.5 (devam)

<i>a (cm)</i>	<i>b (cm)</i>	<i>d (cm)</i>	<i>s (cm)</i>	ϵ_r	<i>h (cm)</i>	f_s (Ghz)	f_c (Ghz)	% Hata
5	5	1.250	1.250	10.20	0.159	0.530	0.557	5.141
5	5	1.250	2.500	10.20	0.159	0.530	0.536	1.138
5	5	1.250	3.750	10.20	0.159	0.583	0.579	0.710
5	5	2.500	1.250	10.20	0.159	0.743	0.720	3.031
5	5	2.500	2.500	10.20	0.159	0.690	0.698	1.107
5	5	2.500	3.750	10.20	0.159	0.743	0.743	0.058
5	5	3.750	1.250	10.20	0.159	0.849	0.853	0.510
5	5	3.750	2.500	10.20	0.159	0.849	0.829	2.404
5	5	3.750	3.750	10.20	0.159	0.849	0.878	3.422
5	5	1.250	1.250	4.5	0.159	0.849	0.834	1.715
5	5	1.250	2.500	4.5	0.159	0.796	0.803	0.842
5	5	1.250	3.750	4.5	0.159	0.849	0.867	2.092
5	5	2.500	1.250	4.5	0.159	1.061	1.078	1.649
5	5	2.500	2.500	4.5	0.159	1.061	1.044	1.569
5	5	2.500	3.750	4.5	0.159	1.114	1.113	0.108
5	5	3.750	1.250	4.5	0.159	1.274	1.277	0.235
5	5	3.750	2.500	4.5	0.159	1.221	1.240	1.559
5	5	3.750	3.750	4.5	0.159	1.327	1.314	0.985

Ayrıca Şekil 4.3’de f_s ve f_c ’nin grafiksel olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Mavi çizgi benzetim ile, kırmızı çizgi ise hesaplama ile elde edilen rezonans frekanslarını göstermektedir. Görüldüğü gibi iki çizgi büyük oranda örtüşmektedir. Bu durum, benzetimler sonucunda ve sunulan çalışmada bulunan denklem kullanılarak elde edilen rezonans frekansını değerlerinin uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. f_s ve f_c 'nin grafiksel olarak karşılaştırılması

Çizelge 4.5'den görüldüğü gibi, HKMA'da diğer değişkenler sabit tutulduğu takdirde, a ve b arttıkça antenin rezonans frekansı düşmektedir. Ayrıca beklendiği gibi antende a , b , d , s , h sabit tutulup sadece ϵ_r 'ın artırılması antenin rezonans frekansını önemli ölçüde düşürmektedir. Bunun yanında; antende a , b , s , h ve ϵ_r parametreleri sabit tutulursa, d 'nin artmasıyla birlikte rezonans frekansı önce artış ve daha sonra tekrar düşüş gözlemlenmektedir. Fakat antende diğer parametreler sabit tutulup sadece s 'nin artırılması, rezonans frekansının önce biraz azalmasına daha sonra tekrar artmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak; HKMA'daki boşluk boyutlarından d uzunluğunun rezonans frekansının değişmesinde etkili olduğu görülmüştür.

Benzetim sonuçlarıyla elde edilen denklem sonuçlarının karşılaştırılmasının yanında, literatürde bazı HKMA'lar için verilen [68] fiziksel ve elektriksel parametreler kullanılarak XFDTD programında benzetimler yapılmak suretiyle HKMA'ların rezonans frekansı değerleri bulunmuş olup, bulunan değerler ile aynı parametrelerin yeni denklemde yerine konulmasıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yeni denklemin simülasyon sonuçlarıyla oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.6'da, literatürde verilen sonuçlar [68] ile bu çalışmadaki yeni denklem ile elde edilen sonuçlar ve bu iki sonuç arasında, Eş.(4.7) ile hesaplanan hata yüzde olarak verilmiştir. Çizelge 4.6'da gösterilen, literatürde verilen (f_r), XFDTD benzetim programı ile ölçülen (f_s) ve yeni denklem ile hesaplanan (f_c) rezonans frekansı değerleridir.

Çizelge 4.6. [68] ve yaklaşık denklem ile elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması

<i>Yamanın boyutları (cm)</i>				ϵ_r	<i>h</i> (cm)	<i>Rezonans Frekansları (Ghz)</i>			<i>% Hata</i>
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>s</i>			[68] f_r	<i>Benzetim</i> f_s	<i>Hesaplanan</i> f_c	
5.46	3.3	3.3	2.6	2.50	0.159	1.74	1.698	1.751	0.661
5.46	3.3	1.0	2.6	2.50	0.159	1.14	1.114	1.092	4.210
3.2688	3.3	1.5	0.4088	2.50	0.159	2.17	2.176	2.239	3.169
4.359	3.3	1.5	1.499	2.50	0.159	1.59	1.592	1.591	0.074
4.904	3.3	1.5	2.044	2.50	0.159	1.41	1.433	1.417	0.477
5.46	3.3	1.5	2.6	2.50	0.159	1.29	1.274	1.281	0.679
3.5538	3.3	1.5	2.6	2.50	0.159	1.97	1.964	1.995	1.279
4.5076	3.3	1.5	2.6	2.50	0.159	1.55	1.539	1.553	0.218
6.416	3.3	1.5	2.6	2.50	0.159	1.13	1.114	1.094	3.158
7.5	3.3	1.5	2.6	2.50	0.159	0.96	1.008	0.942	1.867
5.46	1.3	1.5	2.6	2.50	0.159	1.81	1.751	1.732	4.312
5.46	2.3	1.5	2.6	2.50	0.159	1.51	1.486	1.466	2.892
5.46	2.8	1.5	2.6	2.50	0.159	1.39	1.38	1.367	1.660

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 0.530 - 2.866 GHz aralığında çalışan 216 farklı elektriksel ve fiziksel parametrelere sahip antenler için benzetim yapılmıştır. Alttaş kalınlıkları 0.053 - 0.212 cm, yama uzunlukları ve genişlikleri 3 - 5 cm aralığında değişen ve pratikte kullanılan 2.5, 4.5 ve 10.2 dielektrik sabiti değerlerine sahip 3 farklı alttaş için HKMA benzetimleri yapılmıştır.

Seçilen benzetim programı için literatürde araştırma yapılmıştır ve XFDTD ile literatürde verilen [68] sonuçlar karşılaştırılmıştır. XFDTD programının veri elde etmede başarılı ve güvenilir olduğu görülmüştür. Yapılan benzetimlerde, antenlerin elektriksel ve fiziksel parametrelerin değişimi ile rezonans frekansında meydana gelen değişim incelenmiştir. Benzetimlerde tasarlanan antenlerin elektriksel ve fiziksel parametreleri kullanılarak çok sayıda deneme sonucunda rezonans frekans değerini veren yeni bir denklem oluşturulmuştur. Denklem ifadesindeki katsayılar FGA kullanılarak hata oranı azaltılmak suretiyle bulunmuştur.

HKMA'nın benzetim sonuçlarında, beklendiği gibi h yüksekliğinin rezonans frekansı üzerinde fazla etkili olmadığı görülmüştür. HKMA'ya ait a , b , s ve d fiziksel parametrelerinin değişiminin rezonans frekansının üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle, söz konusu parametreler oluşturulan denklemde kullanılmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, FDTD metodu kullanarak analizler yapılmış ve farklı fiziksel ve elektriksel parametrelere sahip 14 antenin rezonans frekansı değerleri bulunmuştur [68]. Başka bir çalışmada ise, sınırlı sayıda benzetimler ile elde edilen, belirli anten boyutları aralıklarına göre değişen, birden fazla yaklaşık denklemler ile elde edilen rezonans frekansı değerleri ile benzetim programları kullanılarak bulunan rezonans frekansı değerleri arasında % 5'e kadar hatalar olduğu görülmektedir [53]. Sunulan bu çalışmada ise, XFDTD benzetimleri ile hesaplanmış 216 adet HKMA'nın rezonans frekansı için FGA algoritması kullanılarak ortalama yüzde 0.549 hata ile daha basit ve daha geniş aralıklarda

kullanılabilecek tek bir denklem elde edilmiştir. Rezonans frekansının anten tasarımında önemli bir parametre olmasından ötürü bu çalışma UHF bandında çalışan MA tasarımı yapan mühendislere önemli bir katkı sağlayabileceği gibi bu konuda çalışma yapan akademik çevrelere önemli bir kaynak olabilecektir.

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] James, J. R., Hall, P. S. "Handbook of Microstrip Antennas", The Institution of Engineering and Technology, 2.edition, (June 1, 1988)
- [5] Deschamps, G.A. "Microstrip Microwave Antennas", 3. USAF Symp. on Antennas, (1953)
- [6] Munson, R. E. "Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 22: 74-78, (Jan 1974).
- [7] Carver, K. and Mink, J. W. "Microstrip Antenna Technology", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 29(1): 2-24, (1981).
- [8] Mosig, J. R. and Gardiol, F. E. "General Integral Equation Formation For Microstrip Antennas and Scatterers," IEE Procs., 32: 424-432, (1985).
- [9] Sullivan, P. L. and Schaubert, D. H. "Analysis of An Aperture Coupled Microstrip Antenna", IEEE Trans. Antennas Propagation, **34**: 977-984, (1986).
- [10] Pozar, D. M. "A Reciprocity Method of Analysis For Printed Slot and Slot-Coupled Microstrip Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagation, 34: 1439-1446, (1986).
- [11] Bhattacharyya, A. K., Shafai, L. and Gary, R. "Microstrip Antenna - A Generalized Transmission Line", Progress In Electromagnetics Research, 4: 45-84, (1991).
- [12] Drayton, R. F., Papapolymerou, I. and Kathei L. P. B. "Microstrip Patch Antennas on Micromachined Low-Index Materials", IEEE Procs, 5: 1220-1223, (1995).
- [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] Waterhouse, R. "Small microstrip patch antenna", *Electronics Letters*, 31: 604-605, (Apr 1995)
- [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 Patern", 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 Letters*, 50(7): 1779-11784, (July 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] Sağıroğlu, 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] Sağıroğlu, 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., Akdağlı, A. "A New Effective Side Length Expression Obtained Using a Modified Tabu Search Algorithm for the Resonant Frequency of a Triangular Microstrip Antenna", *John Wiley & Sons*, 8: 4-10, (1998).
- [47] Sağıroğlu, 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 Antennas with the Use of Fuzzy Inference Systems”, John Wiley & Sons, 10: 108-119, (2000).
- [49] Sağıroğlu, 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 Antennas”, Microwave and Optical Technology Letters, 37(2): 107-111, (2003).
- [51] 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 Bajpai, 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, (July 2006).
- [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] Erol, Y. Balık, H. H. “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] Sevgi, L. “ Elektromanyetik Problemler ve Sayısal Yöntemler” Raytheon Systems Canada Limited, 400 Phillip Street, Waterloo Ontario, N2j 4K6 CANADA, (Ocak 1999)
- [61] Keskindürk, T., “Diferansiyel Gelişim Algoritması”, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(9): 85–99, (2006).
- [62] Aksoy, E. , “Diferansiyel Evrim Algoritması ile Anten Dizilerinde Örüntü Şekillendirme”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, (2007).
- [63] Price, K. V., Storn R. M., Lampinen J. A., “Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization 1st ed.”, Berlin, 162p., (2005).
- [64] 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).
- [65] Karaboga D, “Yapay Zeka Optimizasyonu Algoritmaları”, İstanbul, Atlas Yayın Dağıtım, (2004).
- [66] Storn, R., Price, K. "Differential Evolution - a Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces" , Technical Report TR-95-012, ICSI, (March 1995)
- [67] Palanisamy, V. and Garg, R. "Rectangular Ring and H-Shaped Microstrip Antennas- alternatives to rectangular patch antenna", Electronics Letters, 21: 874- 876, (1985)
- [68] Gao, S.C., Li, L. W., Leong, M. S. and Yeo, T. S. “Analysis of An H-Shaped Patch Antenna by Using FDTD Method”, Progress In Electromagnetics Research, 34: 165-187, (2001)
- [69] Sheta, A. F. Mohra, A. S. Mahmoud, S. and Mahmoud, F. “Modified Compact H-Shaped Microstrip Antenna for Tuning Multi-Band Operation”, 25th National

- Radio Science Conference ,Faculty of Engineering, Tanta Univ., Egypt, B14(1):18-20, (March 2008),
- [70] Hong, J. S., Lancaster, M. J. “Microstrip H-shaped Antenna Aperture Coupled to a Microstrip Feedline”, 26th EuMC, Hotel Hilton Atrium, Prague, Czech Republic, 9: 284-287, (12 September 1996)
- [71] Singh, D., Kalialakis, C., Gardner, P., Hall, P.S. “Small H-shaped antennas for MMIC applications”, Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, Sch. of Electron. & Electr. Eng., Birmingham Univ., 48(7): 1134-1141, (Jul 2000)
- [72] Pierantoni, L., Farina, M., Rozzi, T. “Accurate analysis of H-shaped antenna coupled to microstripfeed-line”, Electronics Letters, 38(14): 676 – 677 , (4 Jul 2002)
- [73] Sheta, A. F., Mohra, A., and Mahmoud, S. F. “Multi-band operation of a compact H-shaped microstrip antenna”, Microwave and optical technology letters, Wiley, New York, 35(5): 363-367, (1988)
- [74] Gao, S. C., Li, L. W., Leong, M. S. and Yeo, T. S. “Wide-band microstrip antenna with an H-shaped coupling aperture”, Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 51(1):17-27, (Jan 2002)
- [75] Ooi, S. F., Lee, S. K., Sambell, A., Korolkiewicz, E. and Scott, S. “Design of H-shaped microstrip patch antennas”, Microwave and Optical Technology Letters, John Wiley & Sons, Country of publication, USA, 49(4): 791-795, (2007)
- [76] 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 , 2008 Wiley Periodicals, Inc., 50(7): 1779-1784, (July 2008)
- [77] Bi-yan, W. “Aperture Coupled H Shape Miniature Patch Antenna”, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, International Conference on, WiCom 2007:5816 – 5818 (21-25 Sept. 2007)
- [78] Gao, S.C., Li, L.W., Leongand, M.S., Yeo, T.S. “FDTD analysis of a compact, H-shaped microstrip patch antenna”, Antennas and Propagation Society International Symposium, 1: 494 – 497, (2001)

- [79] Pozar, D. M., "Microstrip Antennas", Proceedings of The IEEE, 80.(1):79-91, (January 1992).
- [80] Remcom, "XFDTD Full-Wave, 3D Electromagnetic Analysis Software User Guide Version 6.4", 230p., (2006).
- [81] Ermiş, S. "Türevsel Evrim Algoritması Kullanılarak C Şekli Kompakt Mikroşerit Antenin Rezonans Frekans Denkleminin Elde Edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D. Mersin Üniversitesi, Mersin, (Nisan 2009)

EKLER

EK-1: XFDTD PROGRAMINDA ÖRNEK BİR GEOMETRİNİN BENZETİM ADIMLARI

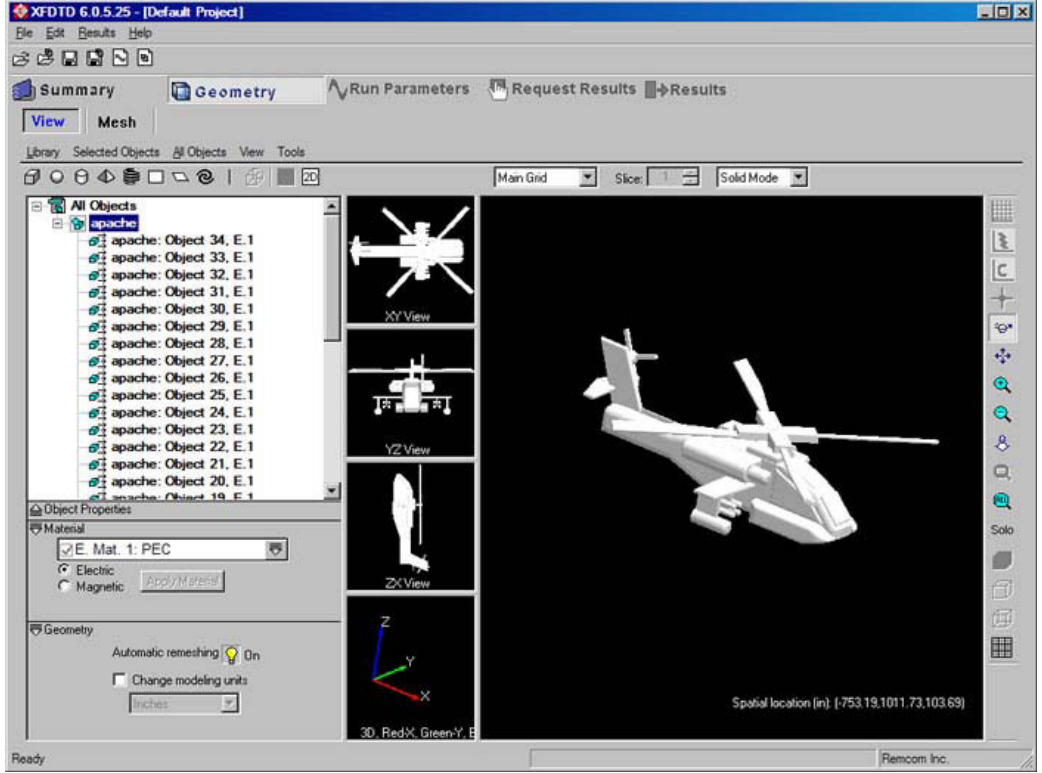
XFDTD programında benzetim oluşturmak, dört aşamadan meydana gelmektedir [80];

1. Geometrinin Oluşturulması
2. Hücrelere Ayırma (Izgaralama)
3. Çalışma Parametrelerinin Tanımlanması
4. Sonuçların Alınması

Bir projenin oluşturulması bu dört adımdan geçmektedir. Bu adımlar XFDTD programının ana sayfasında sekmelerde gösterilmiştir.

1.Geometrinin Oluşturulması:

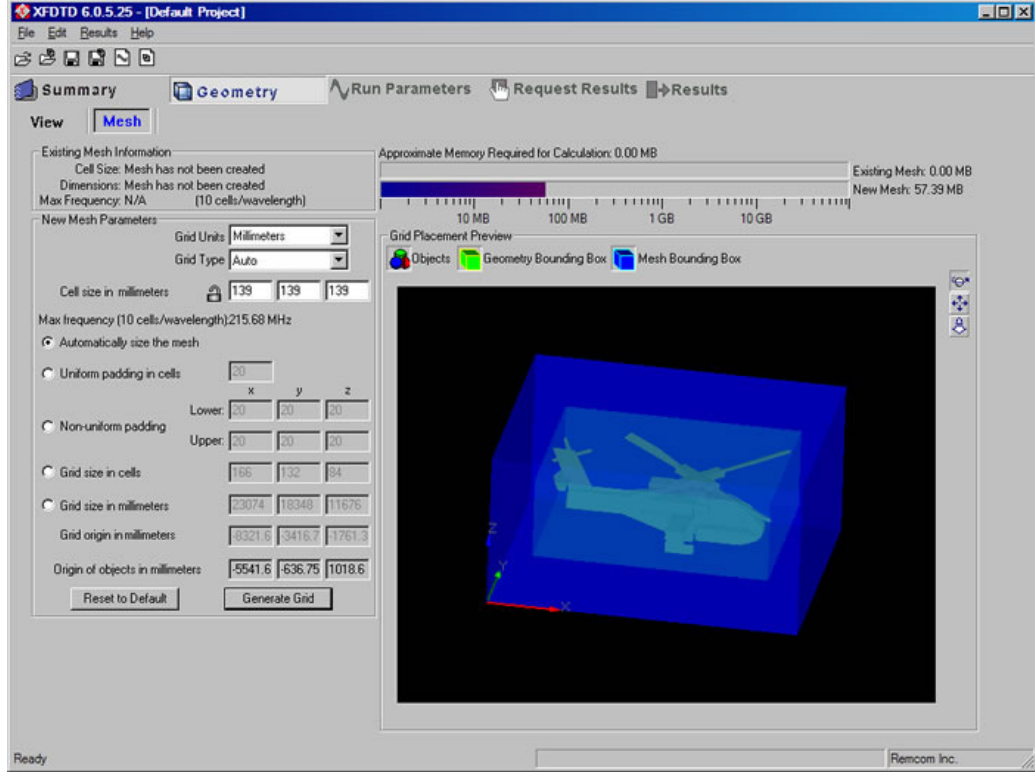
Programda model geometri oluştururken boyutlara dayalı katı modelleme kullanılmaktadır. Model oluştururken programın kütüphanesinden yapılmış fonksiyonlar veya diğer 3-boyutlu programlarda oluşturulmuş geometriler de kullanılabilir. Şekil Ek-1.1'de XFDTD'de oluşturulmuş örnek bir geometri gösterilmektedir [80].



Şekil Ek-1.1. XFDTD programında oluşturulmuş örnek bir geometri [80]

2. Hücelere Ayırma (Izgaralama):

Geometri oluşturulduktan sonra, modelin FDTD hücrelerine bölünmesi gerekmektedir. Geometrinin küçük hücelere ayrılmasına “ızgaralama” denir. Şekil Ek-1.2’de örnek bir geometrinin ızgaralama işleminden sonraki görüntüsü gösterilmektedir. Izgaralamanın yapılabilmesi için hücre boyutlarının belirlenmesi gereklidir. Hücre boyutları belirlenirken dikkat edilmesi gereken birkaç faktör bulunmaktadır [80];



Şekil Ek-1.2. Geometrinin hücelere ayrılmış durumu[80]

Dalga boyu: Hücre boyutunu belirlemede ilk kısıtlama dalga boyudur. FDTD hücresi benzetim yapılacak anteni besleyen dalganın en küçük dalga boyunun onda birinden daha büyük olamaz. Maksimum hücre boyutu aşağıdaki denklem ile hesaplanır [80];

$$L_{\max} = \frac{c}{10.f} \quad (\text{Ek-1.1})$$

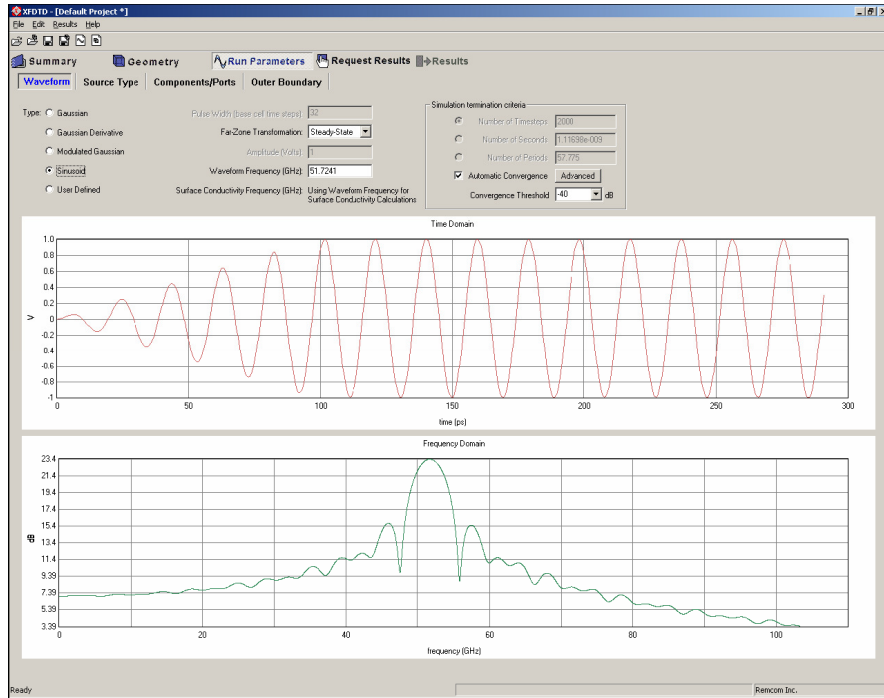
Burada; f cismi besleyen dalganın frekansı, c ışık hızı (boşlukta $c= 3 \times 10^8$ m/s ve L_{\max} , maksimum hücre boyutudur.

Geometrinin Özellikleri: FDTD hücresi, oluşturulan geometrinin en küçük elemanından daha büyük olmamalıdır.

Doğruluk: Küçük boyutlu hücrelerin kullanılması benzetim sonuçlarını daha doğru yapar.

3. Çalışma Parametrelerinin Tanımlanması:

Izgaralama işleminden sonra hesaplamının yapılabilmesi için beslemenin belirlenmesi gerekmektedir. Besleme için tanımlı bazı dalga formları bulunmaktadır veya kullanıcı tarafından da oluşturulabilmektedir. Besleme tipleri, düzlem dalga, ayrık voltaj veya akım, Gaussian huzmesidir. Bunun yanında, hesaplamının sınır koşullarının göz önünde tutulması için dış yayılım sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Şekil Ek-1.3.'de XFDTD programında çalışma parametrelerinin belirlendiği ekran penceresi görülmektedir [80].

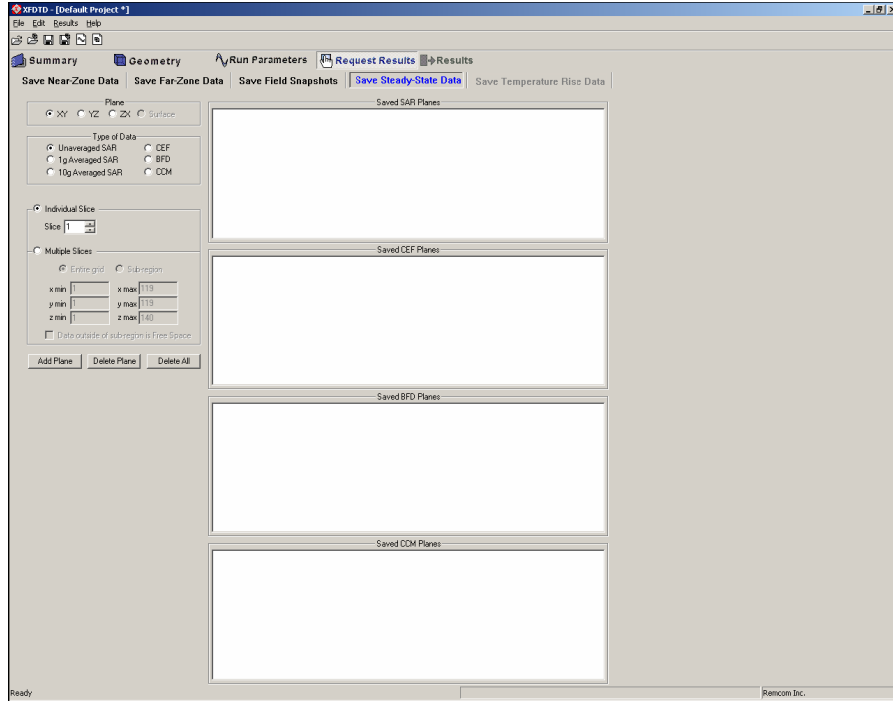


Şekil Ek-1.3. Benzetimin çalışma parametrelerinin belirlenmesi [80]

4. Sonuçların Alınması:

Benzetimini başlatmak için çıkış verilerinin tanımlanması gerekmektedir. Çok farklı çıkış verileri mevcuttur. XFDTD programı, çıkış dosyalarının diğer yazılımlarda kullanılmasını sağlamak için açık formatta dosya kullanmaktadır. Örnek olarak, bir anten benzetiminde antenin yakın veya uzak elektrik alan veya manyetik alan değerleri, ızgaralanmış 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 geometriyi ve projeyi kaydetmesi gerekmektedir. İstenilirse oluşturulan geometri dosyası da ayrı olarak kaydedilebilir. Şekil Ek-1.4.'de istenen sonuçların belirlendiği ekran penceresi görülmektedir [80].

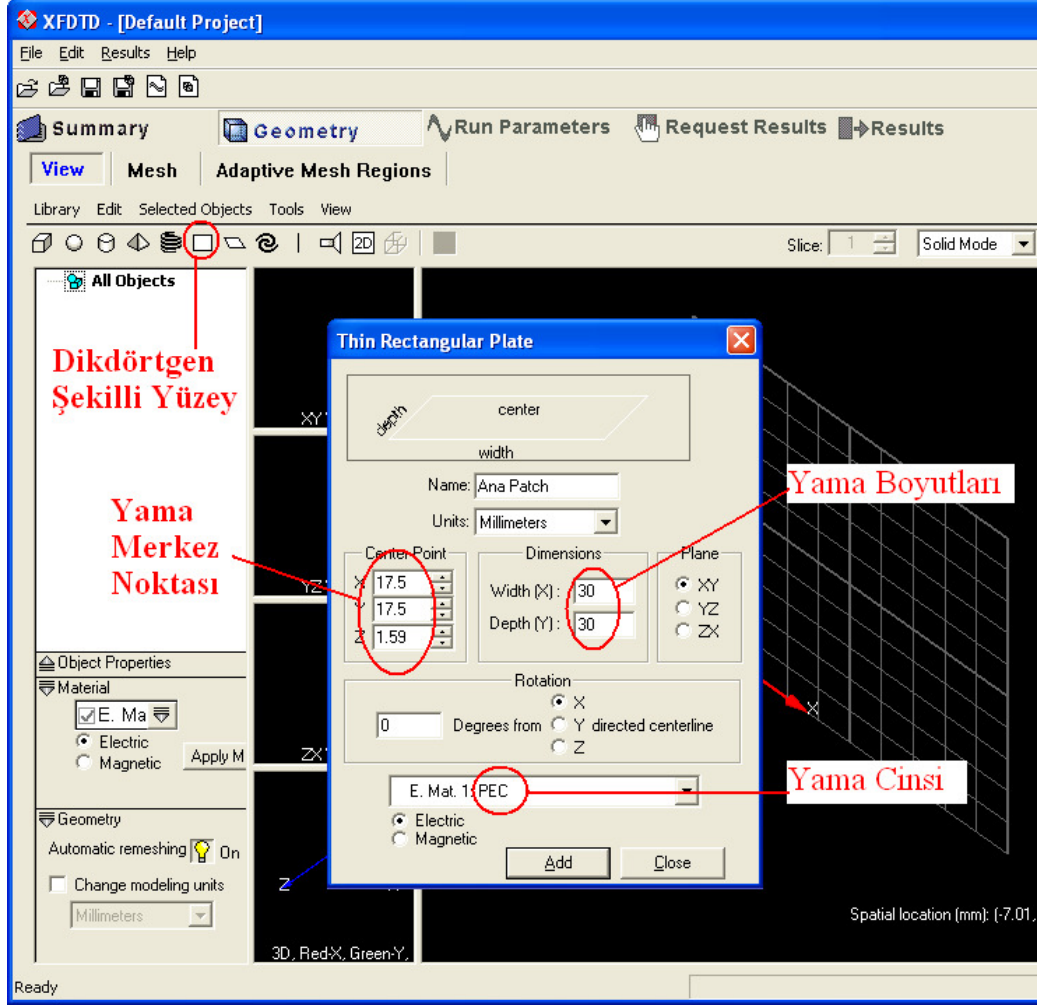


Şekil Ek-1.4. İstenen sonuçların belirlendiği pencere [80]

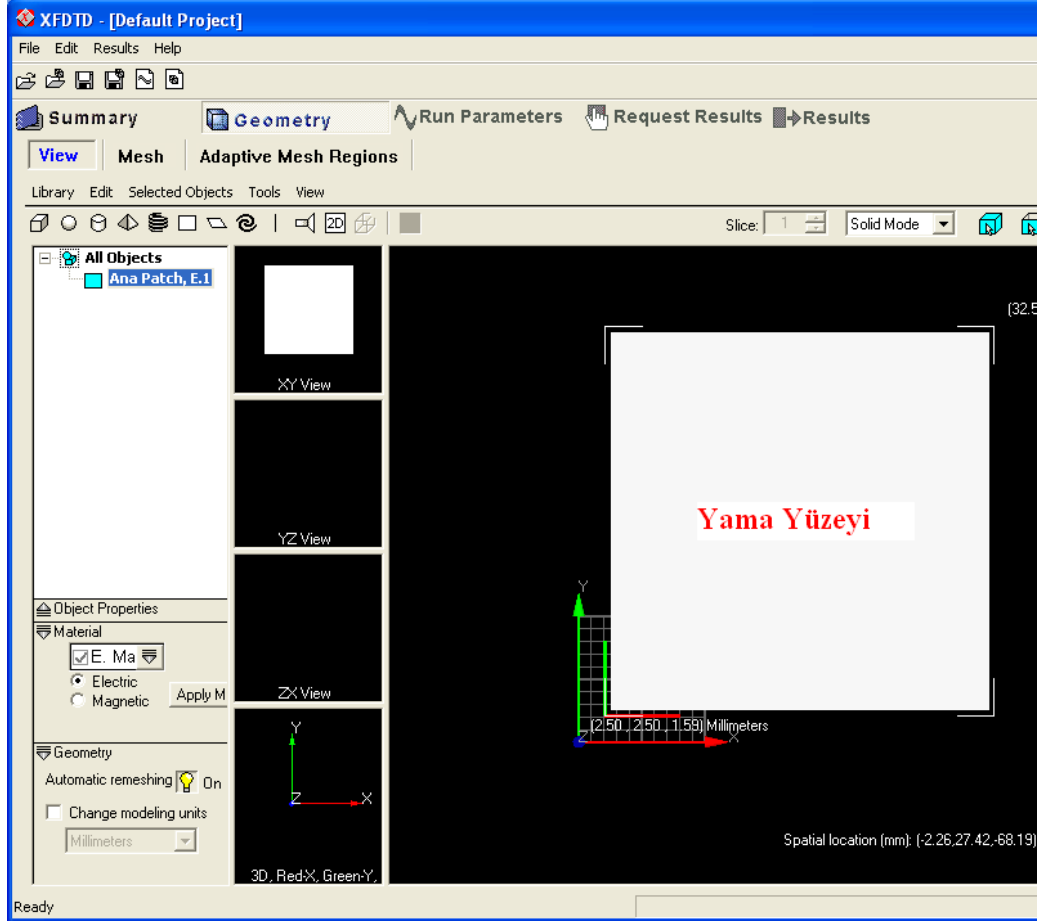
EK-2: XFDTD PROGRAMINDA HKMA 'NIN BENZETİMİNİN YAPILMASI

1. Geometrinin Oluşturulması

HKMA üç ana kısımdan oluşturulur. Bunlar; iletken yama, alttaş (substrate) ve toprak düzlemdir. İletken yama oluşturmak için öncelikle dikdörtgen şekilli yama oluşturulması gerekmektedir. XFDTD programında iletken yama oluştururken, “Geometry” menüsünden “Thin Rectangular Plate” (ince dikdörtgen yüzey) seçilir. Şekil Ek-2.1’de görülen pencereden iletken yamanın ismi, boyutları, merkez noktası ve özellikleri tanıtılır. Söz konusu değerler anten geometrisi Kartezyen koordinat sisteminin xy düzlemine yerleştirilmesi ile elde edilir. Boyutları seçilirken, Genişlik (X) ve Derinlik (Y) alanına sırasıyla yamanın a ve b değerleri tanıtılır. Merkez noktası değerleri x , y , z alanlarına girilir. Söz konusu x ve y değerleri, a ve b boyutlarının koordinat sisteminin xy düzlemine yerleştirildiğinde merkez noktalarının x ve y eksenine denk geldiği ölçüdür. z değeri ise, h yükseklinin değeridir. Yama cinsi ise “PEC” olarak seçilir. Sonuç olarak, Şekil Ek-2.2’de gösterilen a ve b boyutları 30 mm olan örnek bir dikdörtgen şekilli iletken yama oluşturulur.

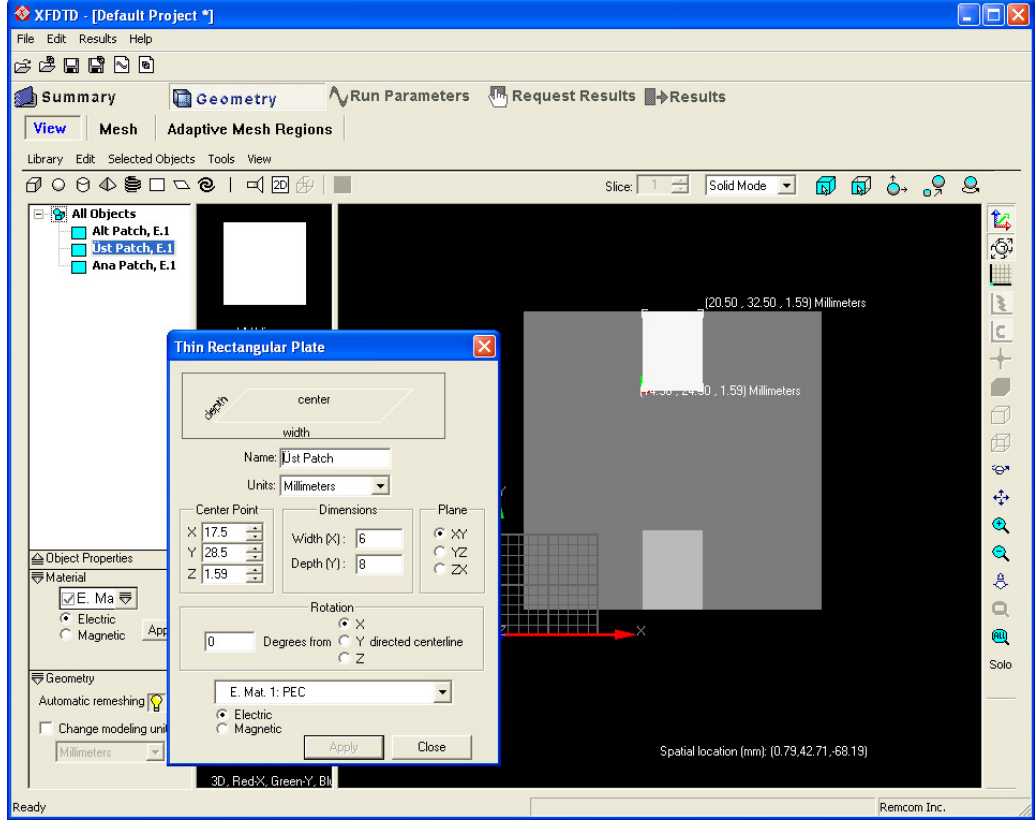


Şekil Ek-2.1. HKMA'nın iletken yama kısmının oluşturulması

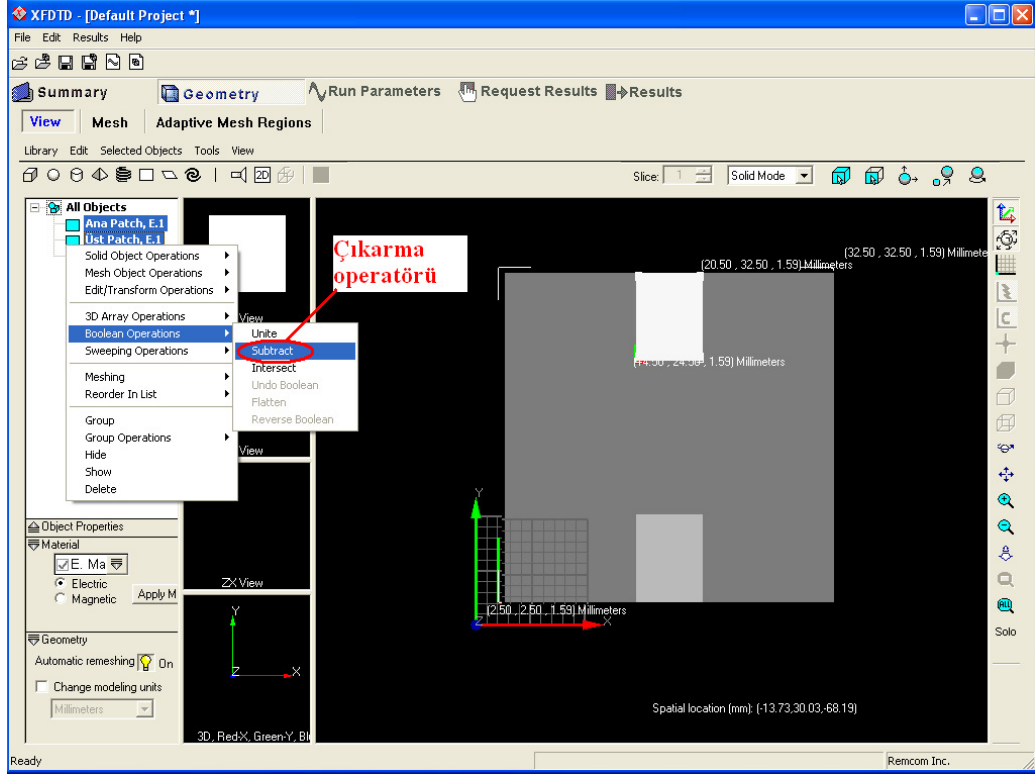


Şekil Ek-2.2. Dikdörtgen şekilli iletken yama yüzeyinin oluşturulması

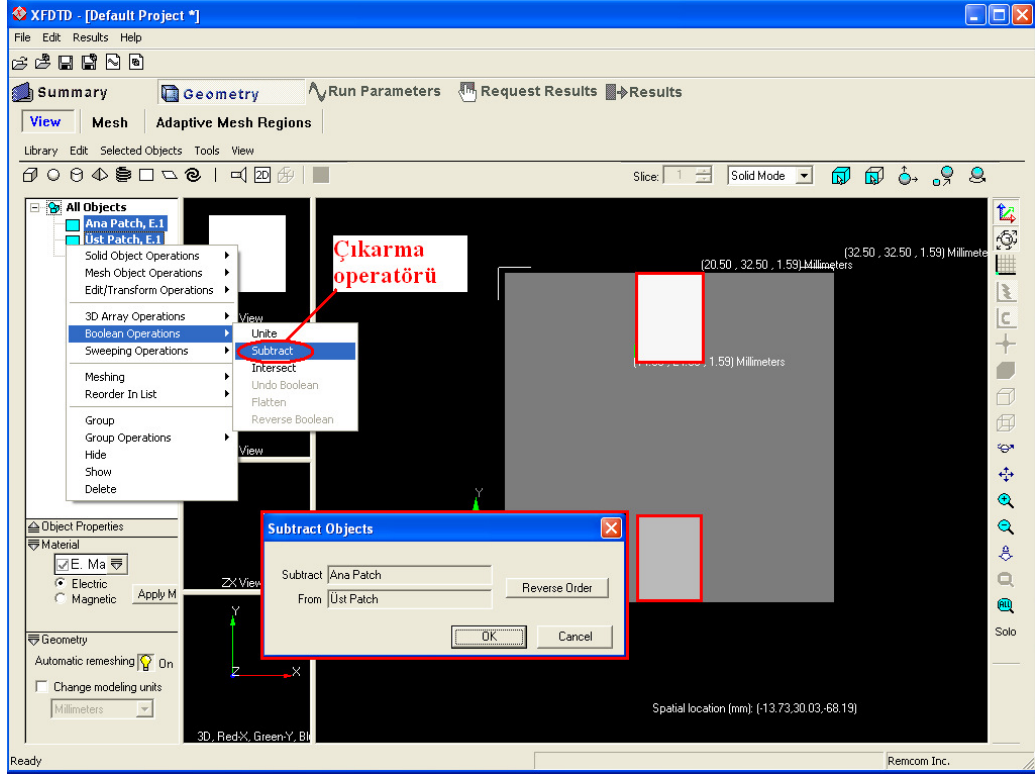
Dikdörtgen şekilli yamadan H şekilli yama oluşturabilmek için çıkarma operatörünü kullanmamız gerekmektedir. Bunun için Şekil Ek-2.3’de gösterildiği gibi istenilen boyutlarda simetrik iki adet dikdörtgen şekilli yama oluşturulur. Örnek şeklimizde üst ve alt yamanın boyutları $6 \times 8 \text{ mm}^2$ olarak girilmiştir. Daha sonra Şekil Ek-2.4 ve Ek-2.5’de gösterildiği gibi, “Alt Yama” ve “Üst Yama” seçilerek çıkarma operatörü kullanarak Şekil Ek-2.6’da gösterilen H şekilli yama oluşturulur.



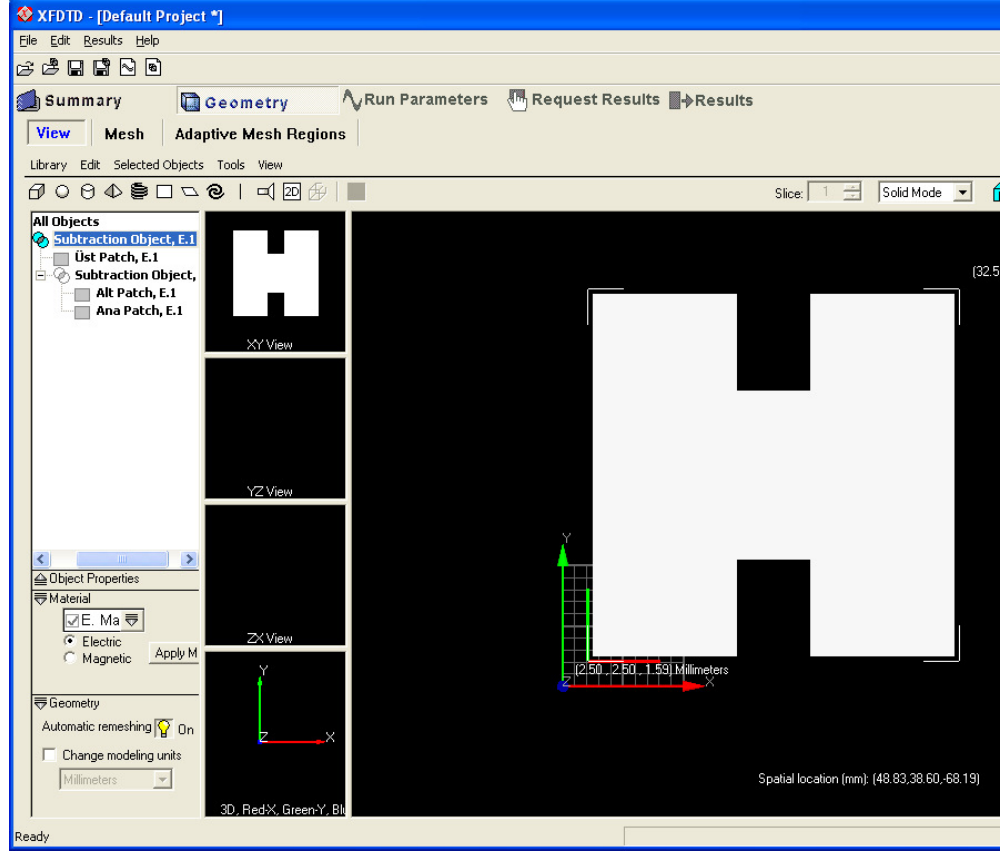
Şekil Ek-2.3. İki küçük dikdörtgen şekilli yama yüzeyinin oluşturulması



Şekil Ek-2.4. Ana iletken yüzeyden Üst ve Alt dikdörtgen şekilli iletken yama yüzeylerini çıkarma operatörün kullanılması



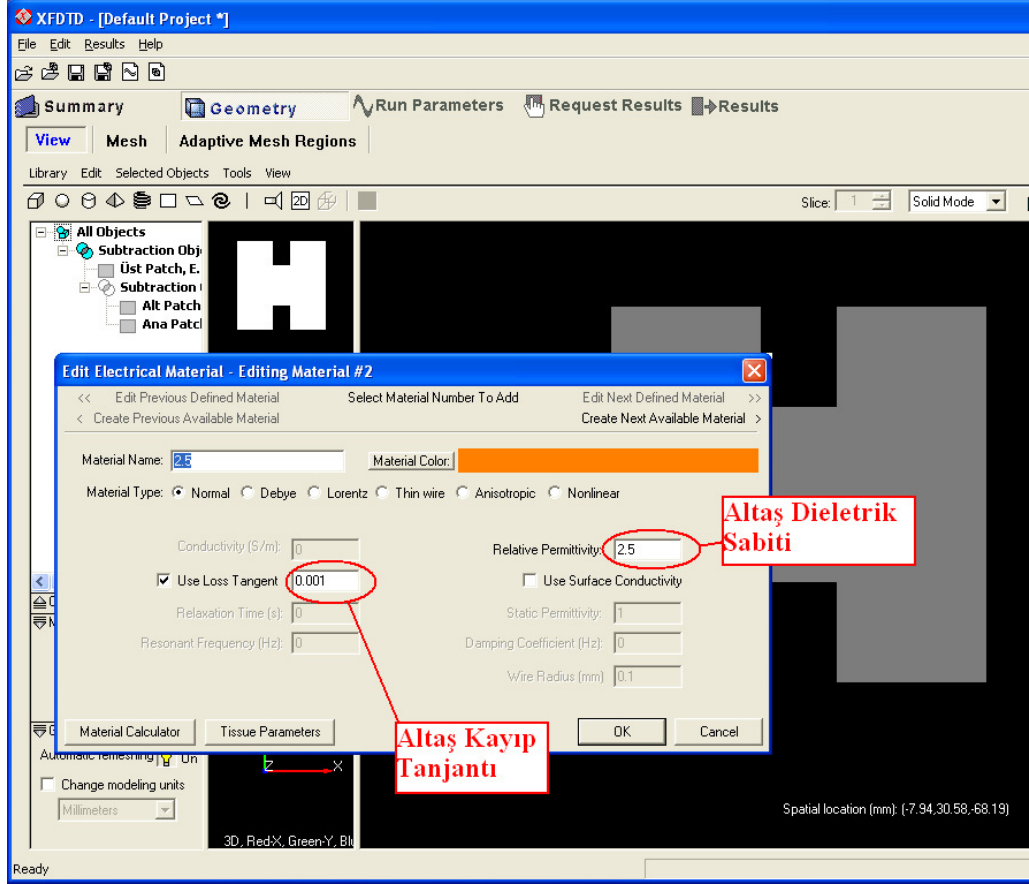
Şekil Ek-2.5. Ana iletken yüzeyden Üst ve Alt dikdörtgen şekilli iletken yama yüzeylerini çıkarma işlemi



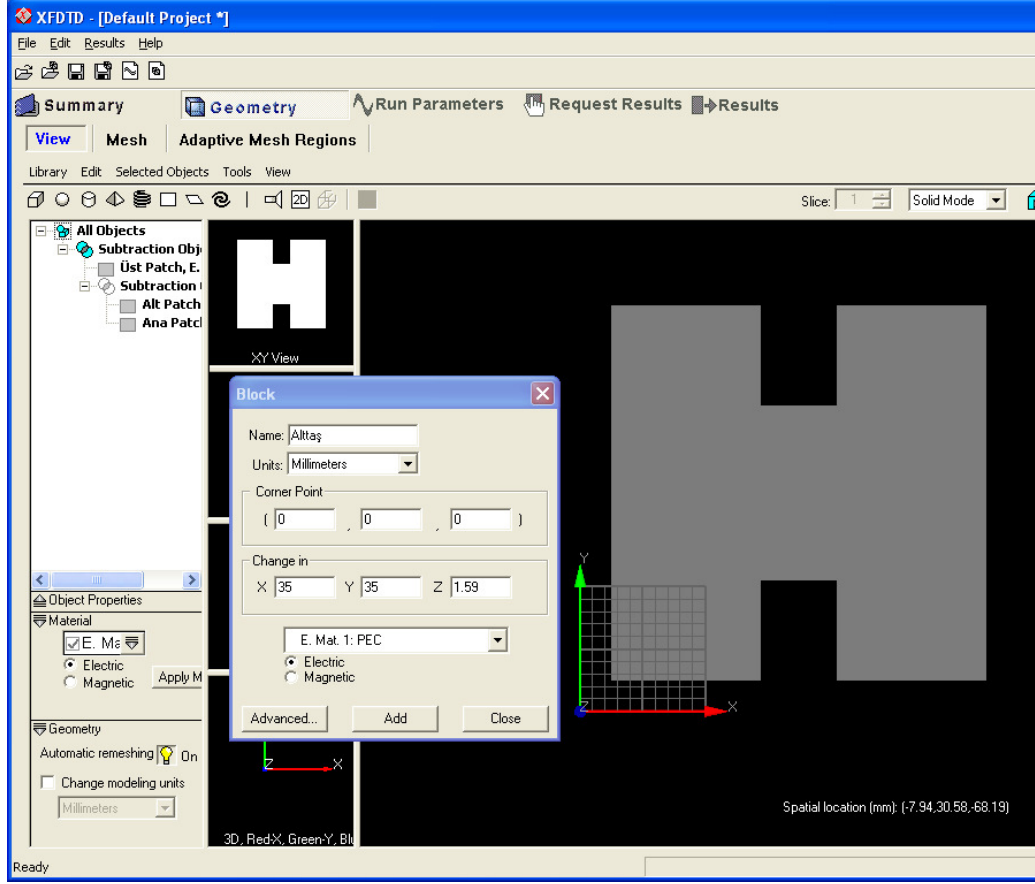
Şekil Ek-2.6. Elde edilen H şekilli iletken yama

Altaş'ın oluşturulması aşamasında ise öncelikle Altaş'ta kullanılacak material özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için, programın sol taraftaki "Material" menüsünde bulunan çoktan seçmeli şıkların içinde bulunan "Add Material" seçeneği işaretlenerek Şekil Ek-2.7'de gösterilen pencereden altaş parametreleri tanımlanır. Bu benzetimimiz için kayıp tanjantı $\delta=0.001$ ve $\epsilon_r=2.5$ olarak tanımlanmıştır. Daha sonra, altaşın geometrik şeklinin oluşturulması gerekmektedir. Bunun için "Geometry" menüsünden dikdörtgen prizma şeklinde "Block" seçilir ve Şekil Ek-2.8'de gösterilen pencereden "Block" ismi, merkez noktası, boyutları ve materyal cinsi seçilir. Benzetimlerimizde "Block" ismi "Altaş" olarak tanımlanmıştır. Merkez noktası ise altaşın kartezyen koordinat sisteminin xy düzlemine yerleştirilmesi ile geometrinin merkez noktalarının x ve y eksenine denk geldiği ölçüdür. Altaş'ın boyutlarının yamanın boyutlarından biraz daha büyük olmasına dikkat edilir. Örneğimizde X ve Y değerleri, altaşın eni ve boyu eşit olarak

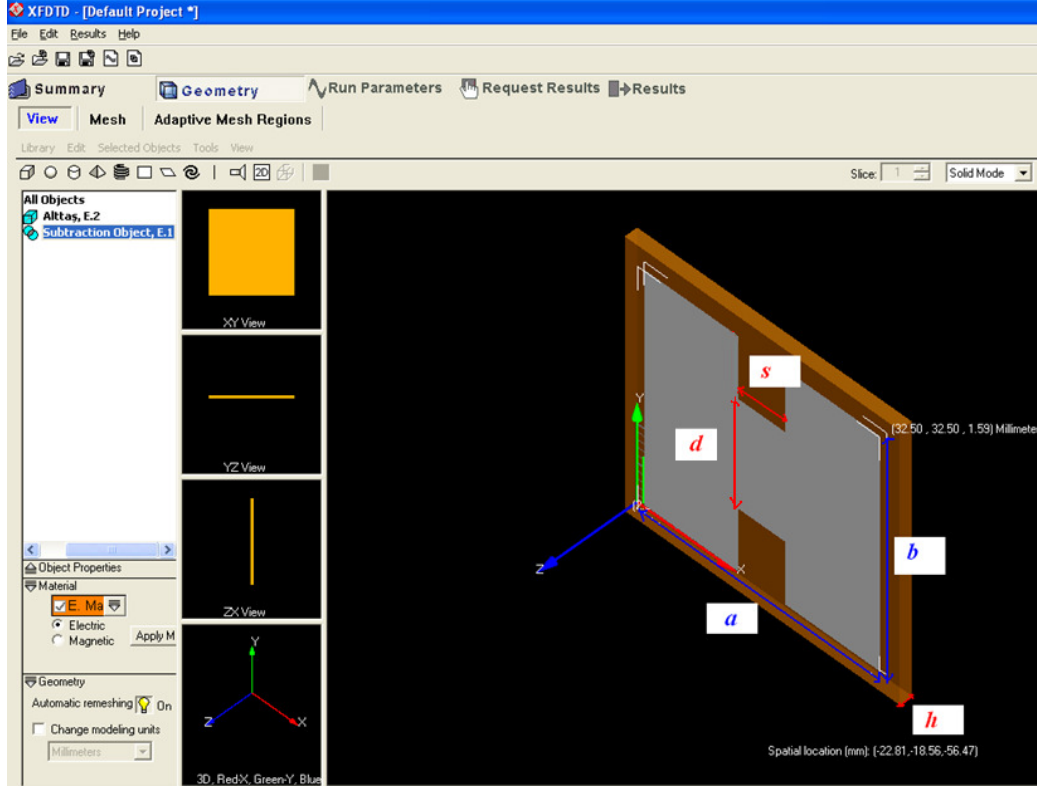
35 mm girilmiştir. Z değeri ise, h yüksekliği olup örneğimizde 1.59 mm olarak girilmiştir. Sonuç olarak Şekil Ek-2.9’da gösterilen H şekilli geometrik şekil oluşur.



Şekil Ek-2.7. HKMA’ya alttaş eklemek için oluşturulan dikdörtgen prizmanın elektriksel parametrelerinin belirlenmesi



Şekil Ek-2.8. HKMA'ya alıtış eklemek için dikdörtgen prizmanın fiziksel parametrelerinin belirlenmesi



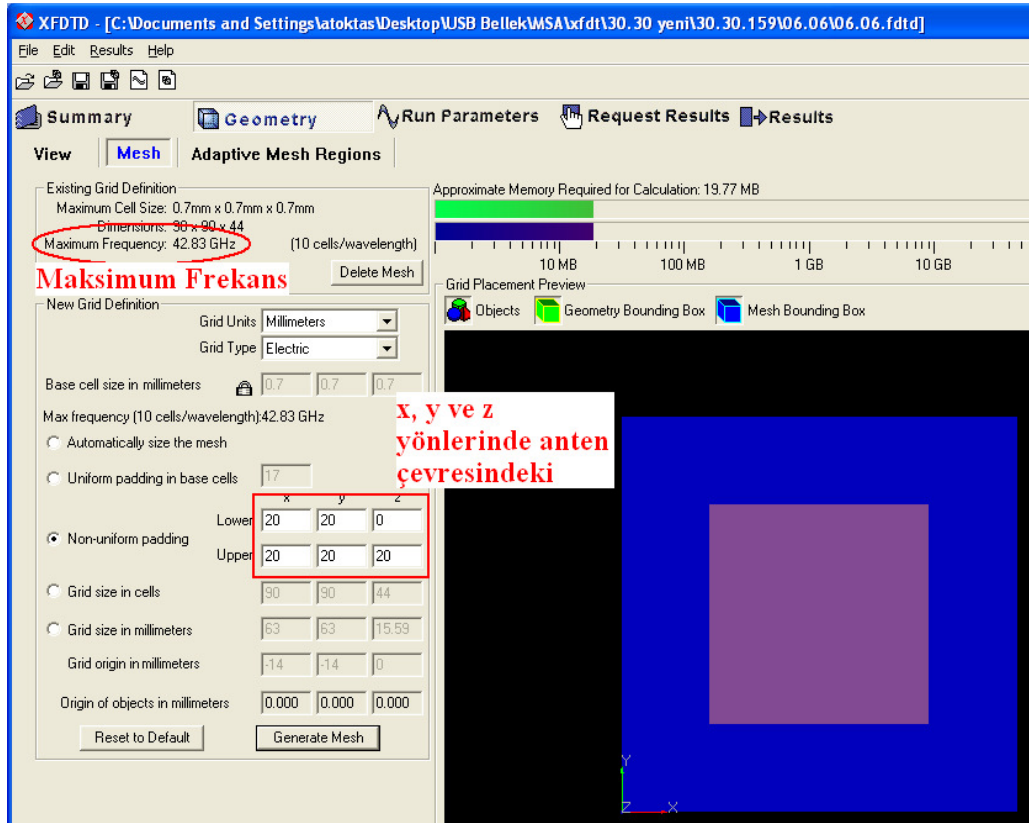
Şekil Ek-2.9. Elde edilen HKMA'nın fiziksel boyutlarının gösterilmesi

Toprak düzlem iki şekilde oluşturulur. Birinci yöntemde, alttaşın alt kısmına iletken düzlem eklenir. İkicisi ve daha kolayı, Şekil Ek-2.11'de gösterildiği gibi ızgaralama işleminden sonra "Run Parameters" menüsünde "Outer Boundry" sekmesinde $z = 0$ konumunda ilk dilim (cell) PEC olarak işaretlenmek suretiyle toprak düzlem oluşturulur. Bunun yapılabilmesi için öncelikle ızgaralama işleminin yapılması gerekmektedir. Böylece toprak iletkeni mükemmel iletken olarak ayarlanır yani tıpkı HKMA'nın zeminde bir iletken düzlem varmış gibi olur ve yeni bir plaka oluşturmaya gerek kalmaz.

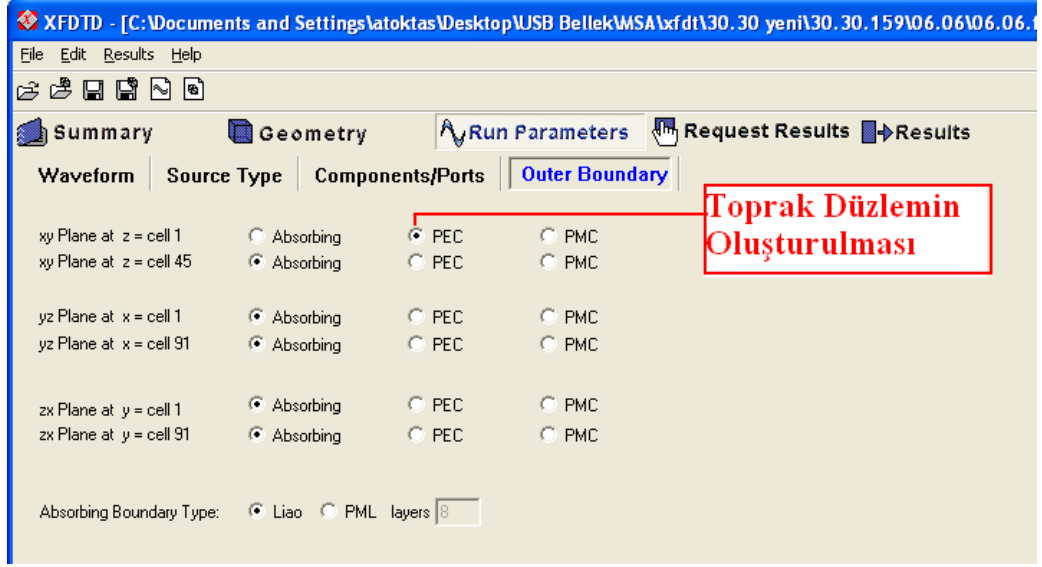
2. Izgaralama

Izgaralama (meshing) işleminde oluşturulan geometri belirlenen eşit boyutlarda hücelere bölünür. Hücre boyutu besleme dalga boyunun 1/10'dan büyük olmamalıdır. Bunun için öncelikle Eş. (2.1) kullanılarak hücre boyutunun belirlenmesi gerekmektedir. Benzetimlerimizde $f=42.83$ GHz maksimum frekans

alınmaktadır. Işık hızı ($c=3 \times 10^8$ m/s) yerine konulduğunda $L_{max}=0.7$ mm olarak bulunur. Izgaralama parametreleri, Şekil Ek-2.10'da gösterilen "Geometry" menüsünün "Mesh" sekmesinden tanıtılır. Burada bulunan "Base cell size in millimeters" kısmına x , y ve z doğrultularının hepsine 0.7 girilir. Izgaralama işleminde dikkat edilmesi gereken bir başka detay ise x , y ve z yönlerinde anten geometrisinin dışında üst ve yanlarda kalan kısımlarının 20 hücreye kadar kısmının da hücrelere ayrılması gerekmektedir. Ayrıca, z yönünde $z=0$ 'da ilk sıra hücrelerin daha önce de belirtildiği gibi anten geometrisinde toprak düzlem olarak ayarlanmaktadır. Bu nedenle, "Non-uniform Padding" bölümünün "Lower" için x , y ve z değerleri sırasıyla 20, 20, 0 ve "Upper" için x , y ve z değerleri sırasıyla 20, 20, 20 tanıtılır.



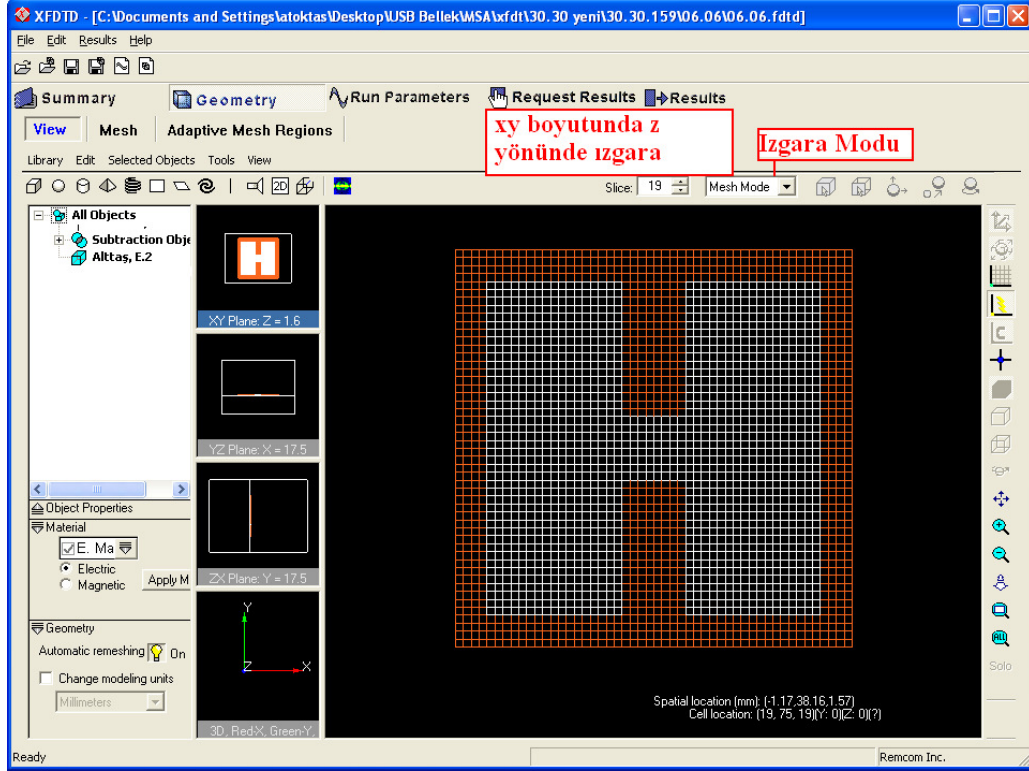
Şekil Ek-2.10. HKMA geometrisinin ızgaralama işlemi ile hücrelere ayrılması



Şekil Ek-2.11. HKMA’da dış koşulların belirlenmesiyle toprak zeminin oluşturulması

Daha sonra, Şekil Ek-2.11’de gösterildiği gibi ızgaralama işleminden sonra “Run Parameters” menüsünde “Outer Boundry” sekmesinde $z=0$ konumunda ilk dilim (cell) PEC olarak işaretlenmek suretiyle toprak düzlem oluşturulur.

Izgaralama işlemi sonucunda, “Geometry” menüsünde “View” sekmesinin üst bölümde “Meshing Mode” seçildiğinde H şekilli antenimiz Şekil Ek-2.12’de gösterildiği gibi görünür. Aynı bölümde, xy düzleminde z yönünde “Slice” (hücre parçası) seçeneği ile anten geometrisinde istenilen hücre parçası görülebilir.

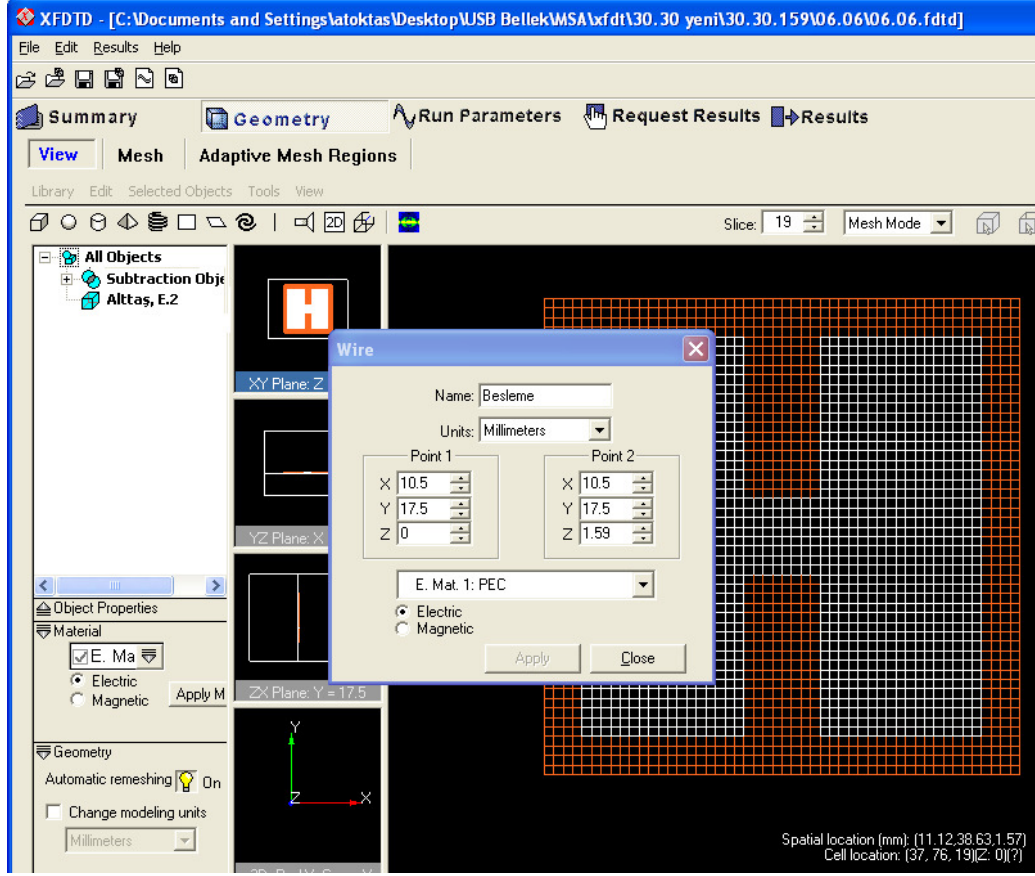


Şekil Ek-2.12. HKMA geometrisinin hücelere ayrılmış hali

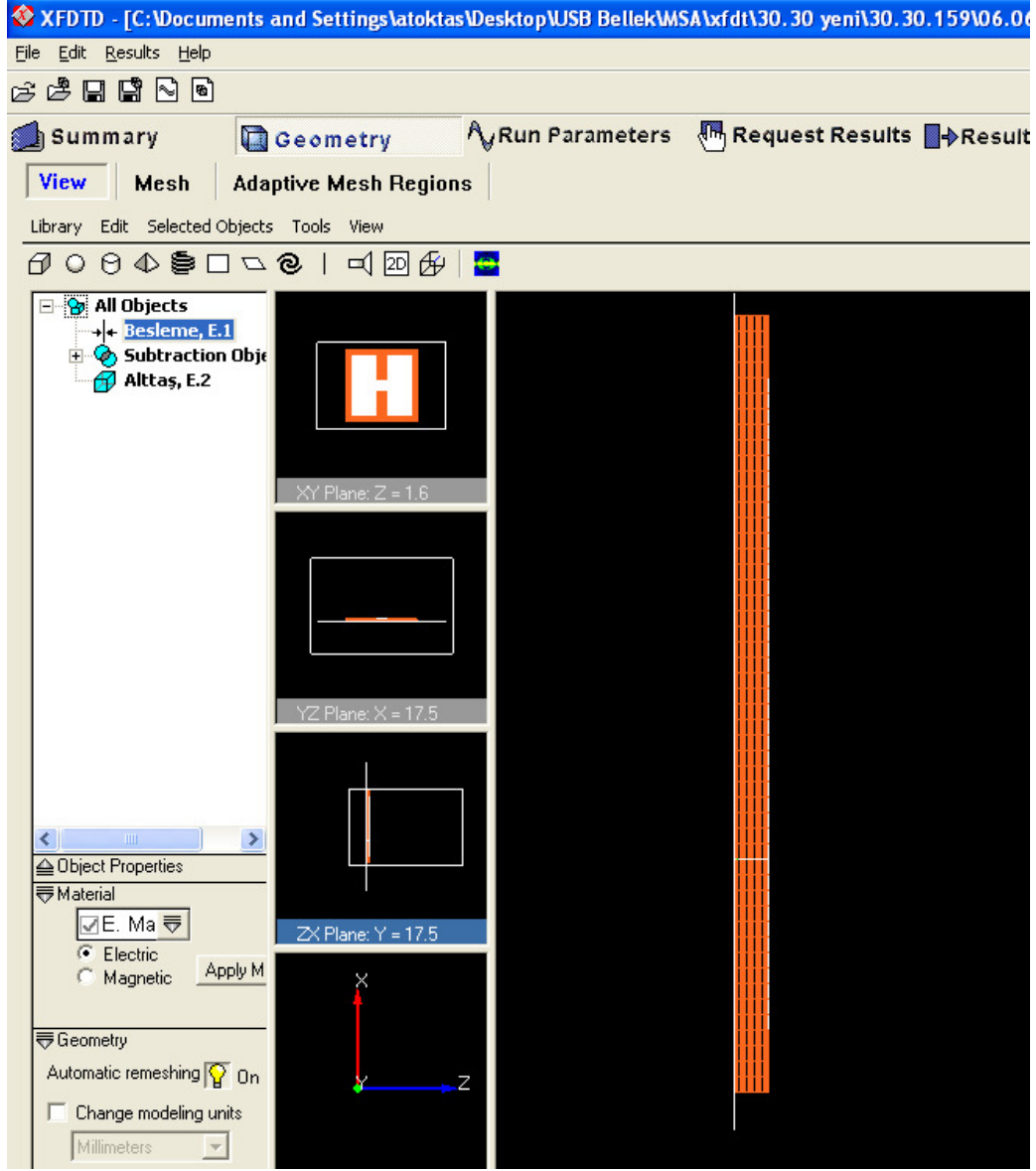
3. Çalışma Parametrelerinin Tanımlanması

Bu işlemlerden sonra anten beslenmesinin yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada önemli olan yama kısmı ve toprak düzleminin farklı polaritede olmasıdır. Başka bir deyişle, antenin yama kısmından toprak kısmına doğru elektrik alan oluşturulması için yama kısım artı yük, toprak kısım eksi yük yüklenmelidir. Bu işlemi yapmak için koaksiyel kablo geometrisi oluşturulabilir, fakat daha pratik olan iletken bir tel üzerinde seri bir voltaj kaynağı bağlayarak kaynağın artı kısmı, yama kısmına ve eksi kısmı da toprağa gelecek şekilde ayarlamaktır. Bunun için z yönünde toprak kısmından başlayarak yama anten kısmına uzanan iletken bir tel tanımlanmalıdır. “Geometry” menüsünün “View” sekmesinden “Wire” seçildiğinde Şekil Ek-2.13’de gösterilen pencere gelmektedir. Bu pencereden, isimlendirme, beslemenin birinci ve ikinci noktalarının koordinat noktaları olan “Point 1” ve “Point 2”nin tanımlanması gerekmektedir. Besleme noktalarının belirlenmesinde dikkat edilecek en önemli husus, beslemenin anten geometrisinde yatay olarak (x yönünde)

simetrik olmayacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Şekil Ek-2.14’de xz düzlem görünüşünden Besleme Hattının (Wire) yerleşimi görülmektedir.



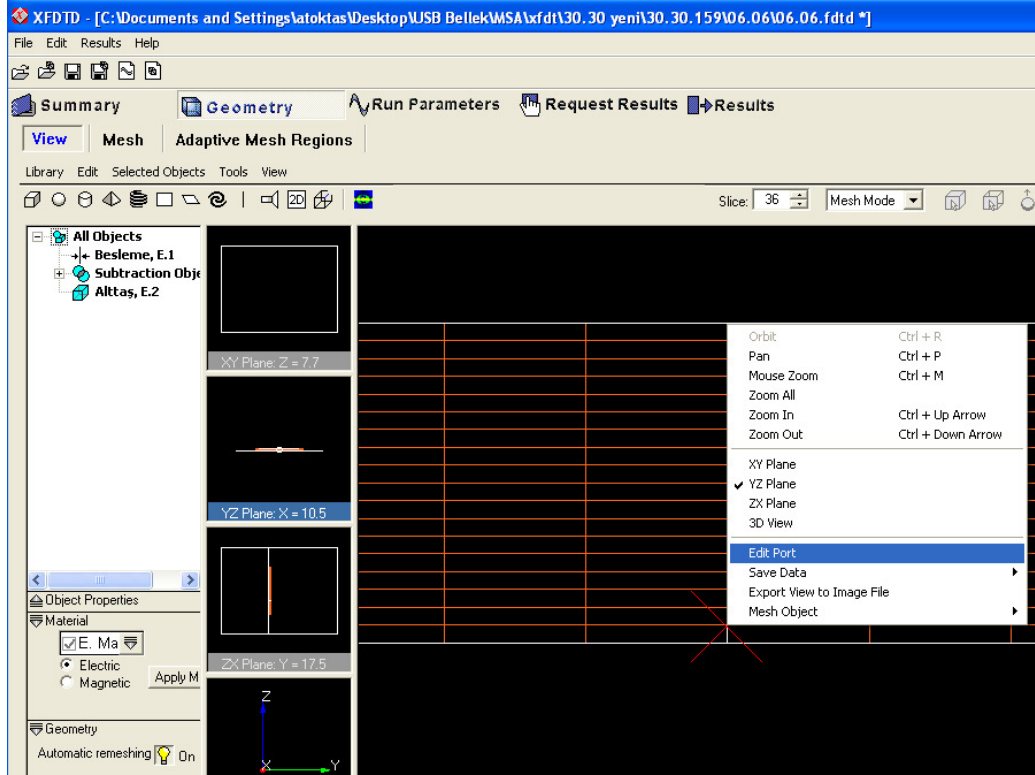
Şekil Ek-2.13. HKMA'nın beslemesinin oluşturulması



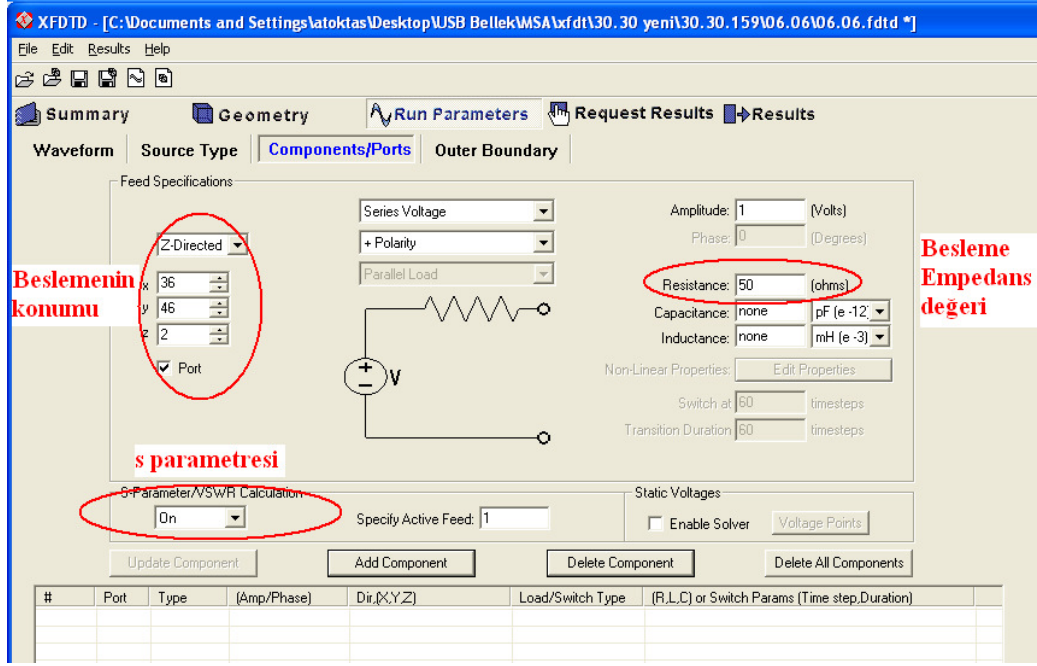
Şekil Ek-2.14. Beslemenin xz düzleminde görüntüsü

Anten besleme geometrisi oluşturulduktan sonra besleme hattının özelliklerinin atanması gerekmektedir. Bunun için Şekil Ek-2.15’de gösterildiği gibi yz düzleminde beslemenin +z yönünde ilk hücrelerine fare ile işaretlenerek sağ-tıklanır ve “Edit Port” seçeneği işaretlenir. Daha sonra Şekil Ek-2.16’da gösterilen “Run Parameters” menüsünün “Components/Ports” sekmesi görünür. Bu pencereden besleme hattının özellikleri tanımlanır. Besleme hattı +z yönünde 50 Ω dirence sahip seri voltaj kaynağı şeklinde tanımlanır. Bu sayede, besleme hattının pozitif ucu

yamaya, negatif ucu ise toprak düzleme bağlanarak yamadan toprak düzleme doğru elektrik alan oluşturulmaktadır. Ayrıca, rezonans frekansının elde edilebilmesi için “S-Parameter/VSWR” açık (on) olması gerekmektedir.

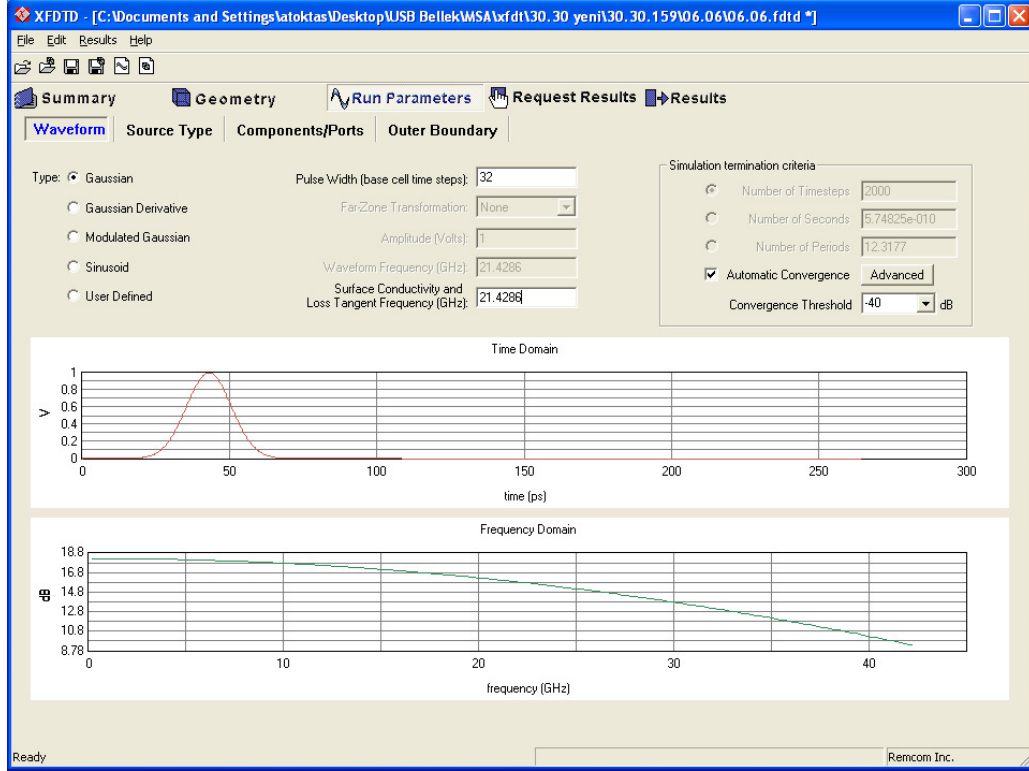


Şekil Ek-2.15. HKMA geometrisi üzerinde besleme portunun belirlenmesi



Şekil Ek-2.16. Besleme parametrelerinin belirlenmesi

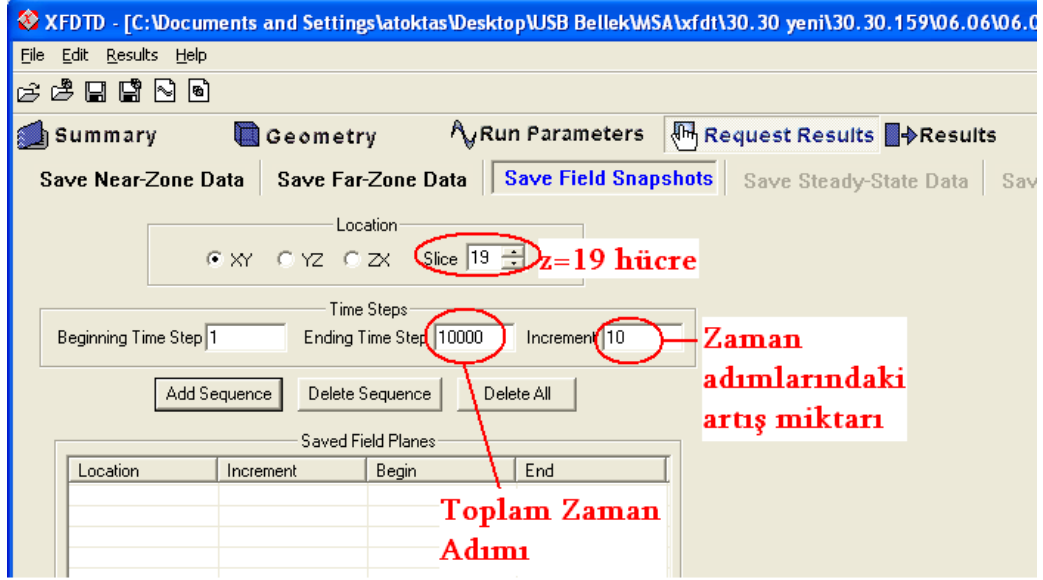
Bununla birlikte, “Run Parameters” menüsünün “Waveform” sekmesinden voltaj kaynağının hangi formda olması gerektiği tanımlanır. Burada dalga tipi “Gaussian” olarak seçilir. Bu dalga şeklinin avantajı zamanda tek bir uyarı ile çıkışta geniş bir frekans aralığı incelenebilmeye olanak tanımasıdır. Bu benzetimde ızgaralama işlemi sırasında yaklaşık 43 GHz frekans aralığı incelenmek üzere ayarlandığı için, Şekil Ek-2.17’de dalga şeklinde frekans grafiğinin bu değere kadar uzandığı görülmektedir.



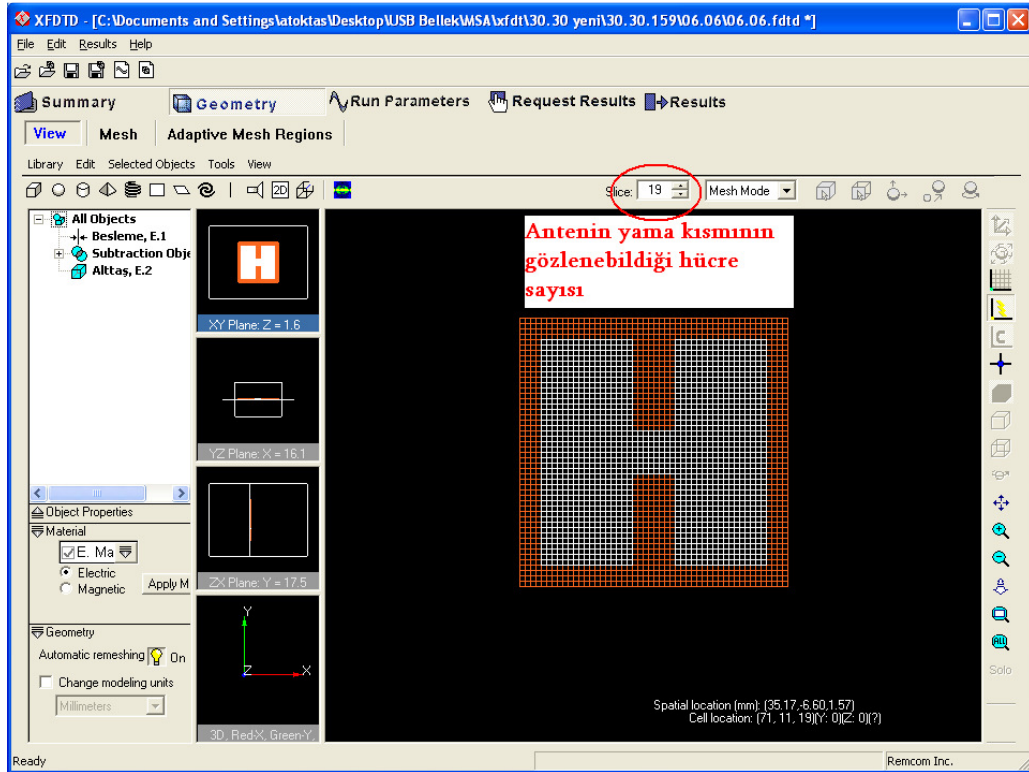
Şekil Ek-2.17. HKMA'nın besleme voltajının belirlenmesi

Frekans kazanç grafiğinin yanında zamanla antenin üzerindeki alan dağılımlarının da görülmesi istenirse, Şekil Ek-2.18'de görünen "Request Result" menüsünün "Save Field Snapshots" sekmesindeki parametrelerin tanıtılması gerekmektedir. Bu sayede xy düzleminde istenen z konumu için elektrik alan değerleri zaman adımlarında alınan değerlerle 3-boyutlu olarak görüntülenebilir. Bu durumda antende istenen z konumu antenin tam olarak yama kısmına denk gelen $+z$ yönündeki hücre (slice) numarasıdır. Hücre numarasının belirlenmesi için Şekil Ek-2.19'da gösterilen pencereden "Slice" seçeneğinde görünen hücre numarası tespit edilir. Örneğimizde bu değer 19'dur. Yani $z=0$ 'dan itibaren antenin enine dilimlenmesi sonucunda 19. dilimde tam olarak anten yüzeyi gözlemlenir. Ayrıca, kaç zaman adımında bir, alan değerinin kaydedilmesi ve gözlenmesi gerektiği "Increment" alanına girilmesi gerekmektedir. Bu değer çok küçük alınması benzetim süresinin çok uzaması anlamına gelir. Fakat çok büyük alınması da elektrik alan değerinin zamandaki değişiminin gözlenememesine neden olur, bunlar istenmeyen durumlardır. Bu nedenle yapılan benzetim için ortalama bir değer olan

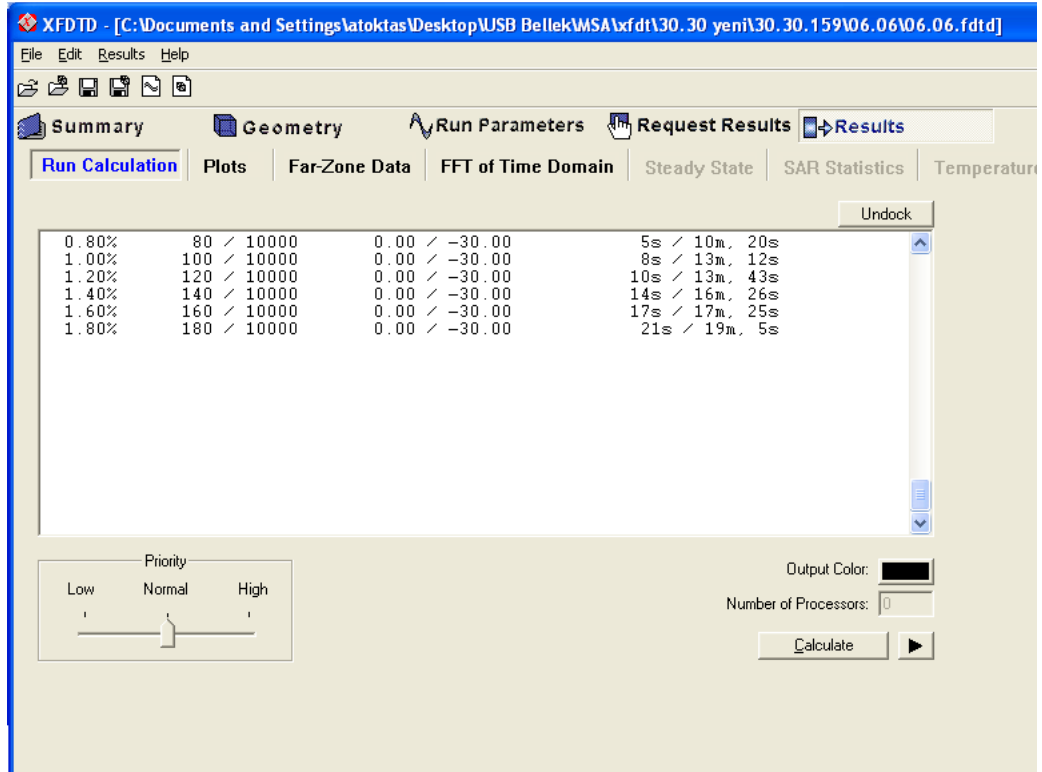
10 değeri uygun görülmüştür. Başka bir deyişle, her 10 adımda bir elektrik alan değeri gözlenecek ve kaydedilecektir. Toplam zaman adımı (Ending Time Step) olarak 10000 değeri girilmiştir.



Şekil Ek-2.18. HKMA benzetiminde istenen sonuçların belirlenmesi



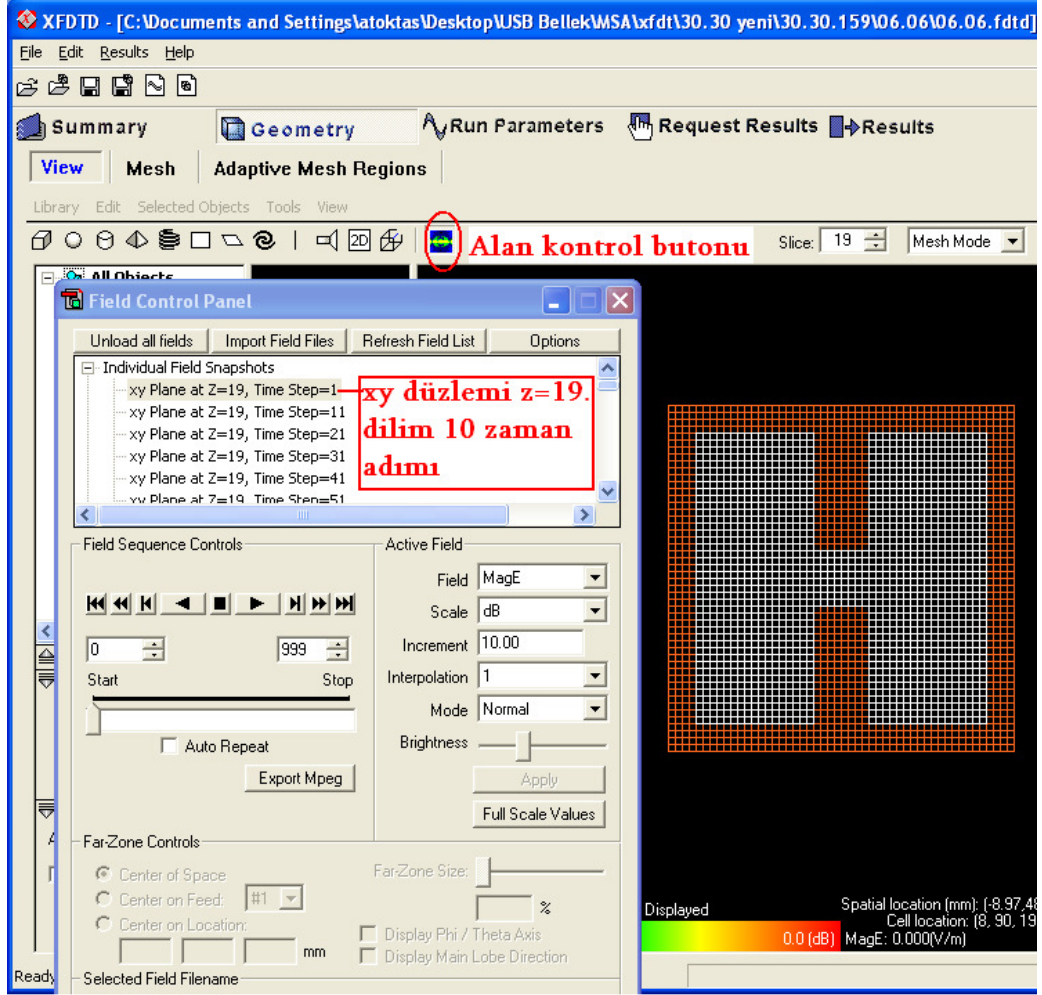
Şekil Ek-2.19. HKMA'nın hücelere ayrılmış son hali



Şekil Ek-2.21. HKMA benzetiminde hesaplamının başlatılması.

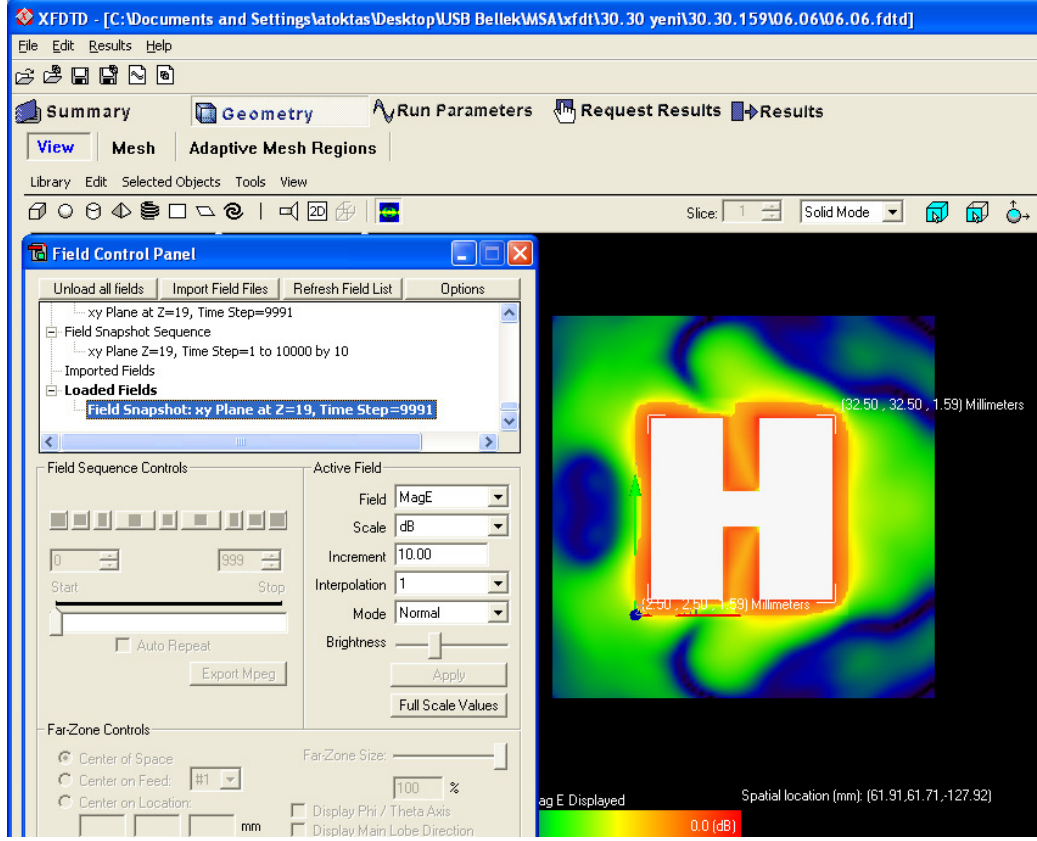
4. Sonuçların Alınması

Hesaplama işlemi tamamlandıktan sonra öncelikle anten çevresinde oluşan alanın gözlemlenmesi için Şekil Ek-2.22’de gösterilen *Alan Kontrol Butonu* tıklanması gerekmektedir. Böylece şekilde görünen “Field Control Panel” (Alan Kontrol Paneli) penceresi görünür.

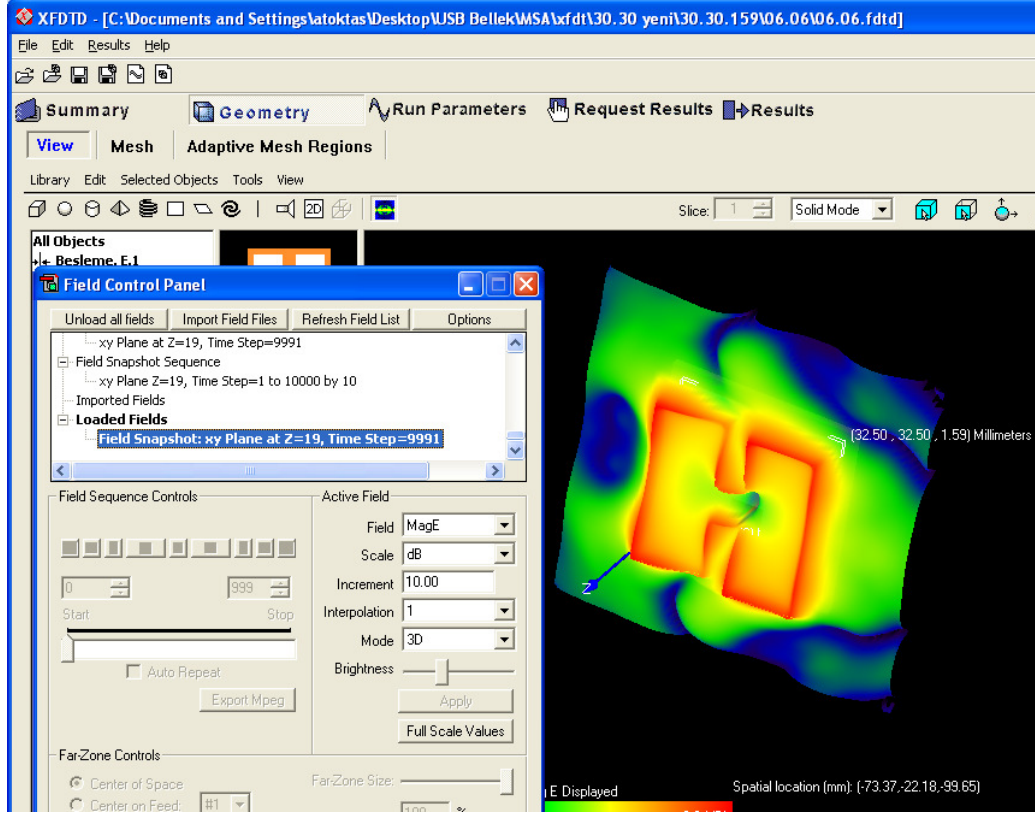


Şekil Ek-2.22. Alan Kontrol Panelinin çalıştırılması

Alan kontrol panelinde 10'lu aralıklarla artan her bir zaman adımıdaki alan değerleri kaydedilmiştir. Her bir adım tıklanarak anten üzerinde seçilen moda göre 2 veya 3-boyutlu olarak alan yüklenir. Şekil Ek-2.23'de gösterilen örnekte 2-boyutlu olarak 9991'inci zaman adımıda anten üzerindeki alan dağılımları görülmektedir. Koyu renk bölgeler en fazla yayılım olan bölgelerdir. Şekil Ek-2.24'de ise 3-boyutlu olarak antenden yayılan alanlar gösterilmiştir. Özellikle üç boyutlu görüntüde antenin yüzeyinde alanlar kırmızı ve turuncudur, bu yüzeyde yaklaşık olarak 0 dB'lik ışıma olduğunu gösterir. En çok ışıma, antenin sağ iki köşesinde ve sol (b) kenarında oluşmaktadır. Bu bölgelerin rengi mavidir.



Şekil Ek-2.23. HKMA'nın iletken kısmından yayılan alanın 2-boyutlu olarak xy düzleminde görüntüsü

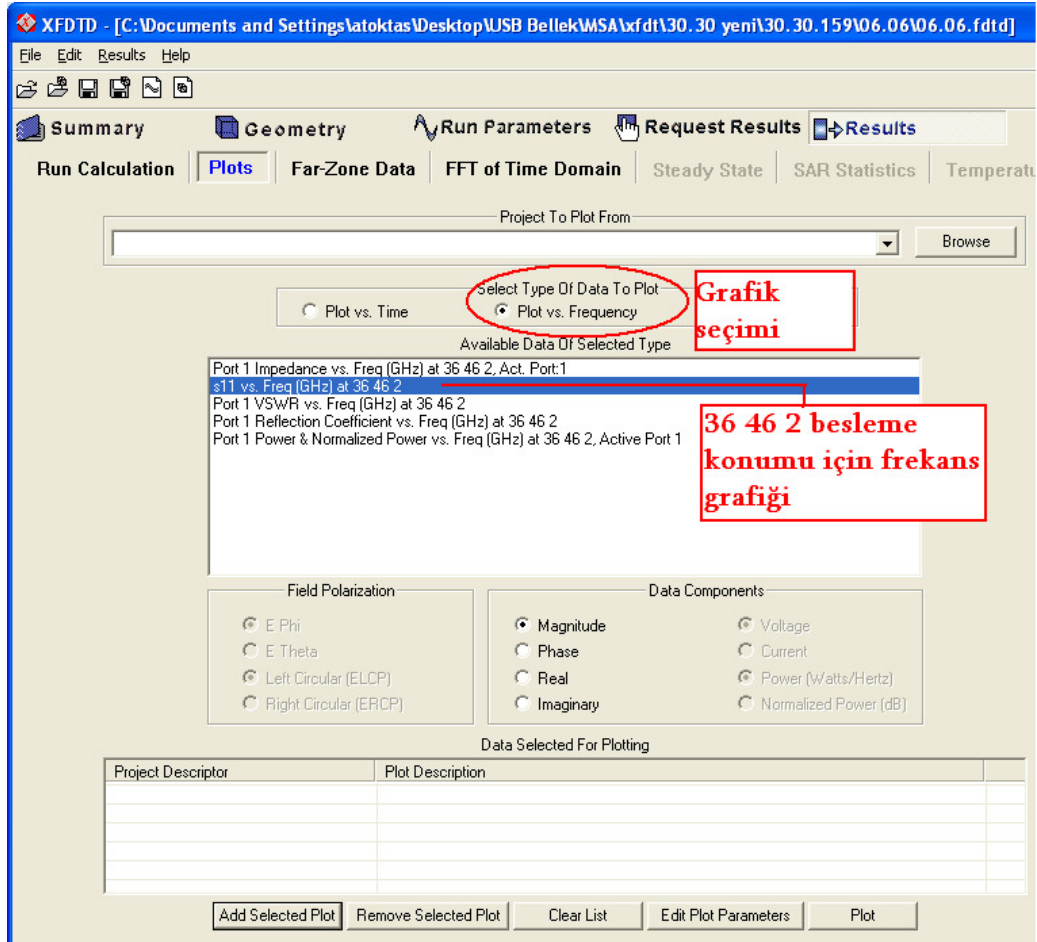


Şekil Ek-2.24. HKMA'nın iletken kısmından yayılan alanın 3-boyutlu görüntüsü

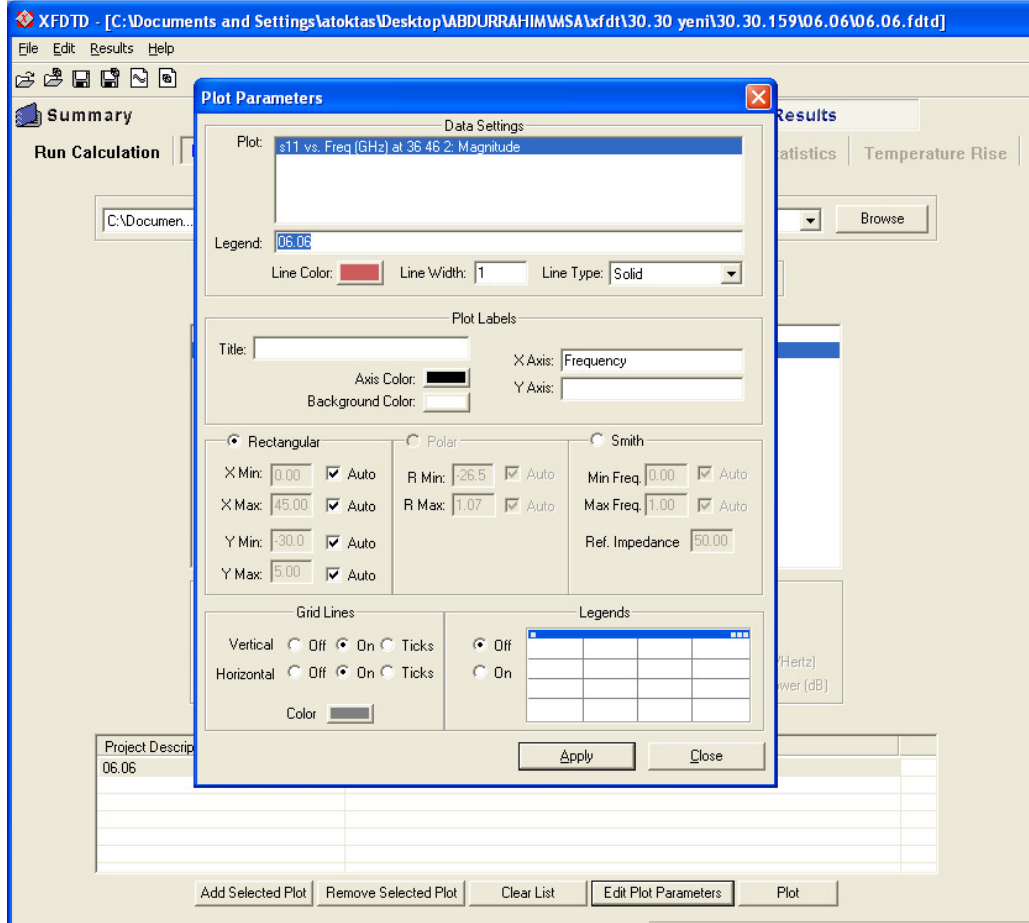
Rezonans frekansının belirlenebilmesi için " S_{11} &frekans" grafiği gözlenmelidir. Bunu için Şekil Ek-2.25'de gösterilen "Results" menüsünden "Plots" sekmesi seçilir. Burada öncelikle grafik seçiminde "Plot vs. Frequency" seçeneği seçilir. Alt kısımda açılan penceredeki grafik türlerinden " s_{11} vs. Freq (GHz) at (besleme kaynağının konumu)" seçilir ve alt menülerden "Add Selected Plot" butonu tıklanarak seçilen grafik alt bölüme eklenir. Son olarak alt menülerden "Plot" butonu tıklanarak Şekil Ek-2.27'de gösterilen grafik elde edilir. Bu grafik ile antenin rezonansa girdiği frekans tespit edilebilir. Grafikte gözlemlenmek istenen frekans aralığı, alt menülerden "Edit Plot Parameters" butonundan seçilebilir. Şekil Ek-2.26'da gösterilen pencereden grafiğe ait parametreler tanımlar. Şekil Ek-2.27'de 0-5 GHz arasında antenin rezonansa girdiği frekanslar gözlemlenmektedir. S_{11} Geri Yansıma Katsayısı olarak adlandırılır ve Eş. (Ek-2.1)'de ifade edilmiştir. Denklem göre " S_{11} &frekans" grafiğinde minimum nokta, geri yansımanın en az olduğu

frekansı göstermektedir. Grafikte, bir noktanın rezonans frekansı olarak kabul edilebilmesi en az 3 dB azalmanın meydana gelmiş olması gerekmektedir. Daha yüksek frekanslarda ilave rezonanslar meydana gelebilir.

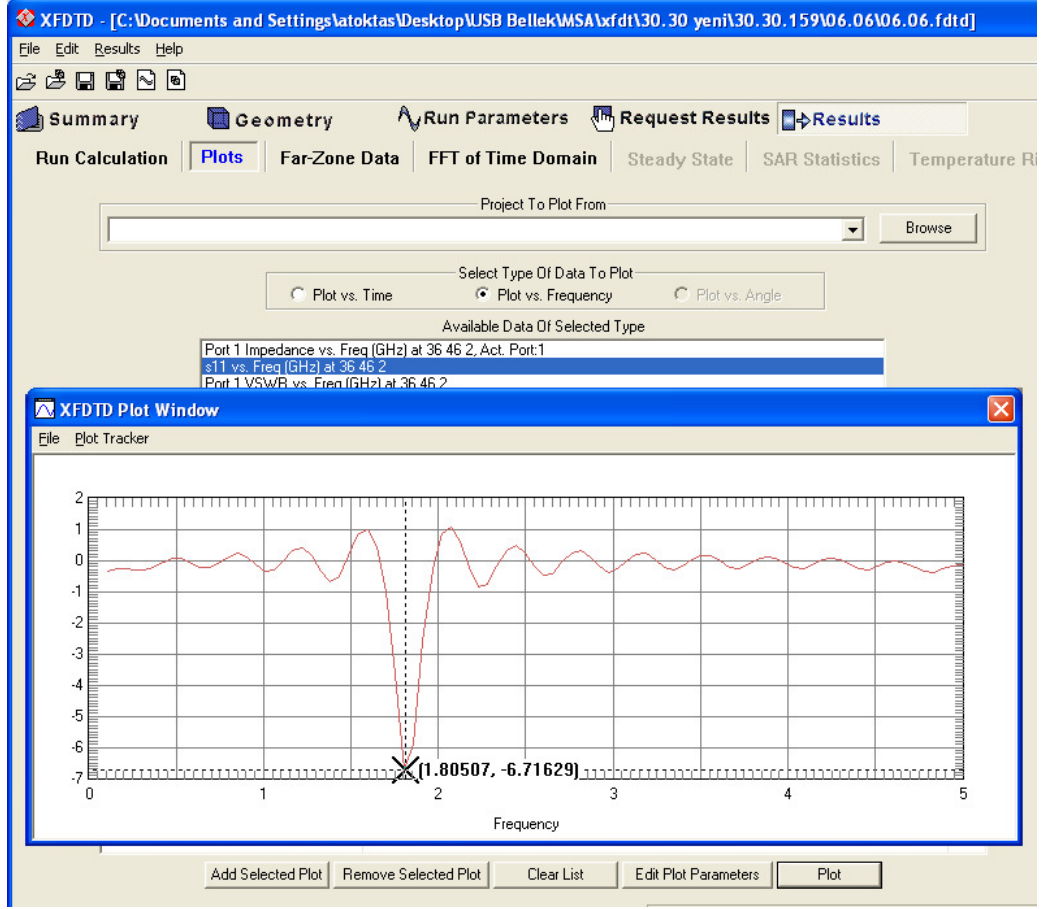
$$\text{Geri Yansımaya Katsayısı} = S_{11} = \Gamma = \frac{V_R}{V_I} \quad (\text{Ek-2.1})$$



Şekil Ek-2.25. S_{11} & Frekans grafiğinin seçilmesi

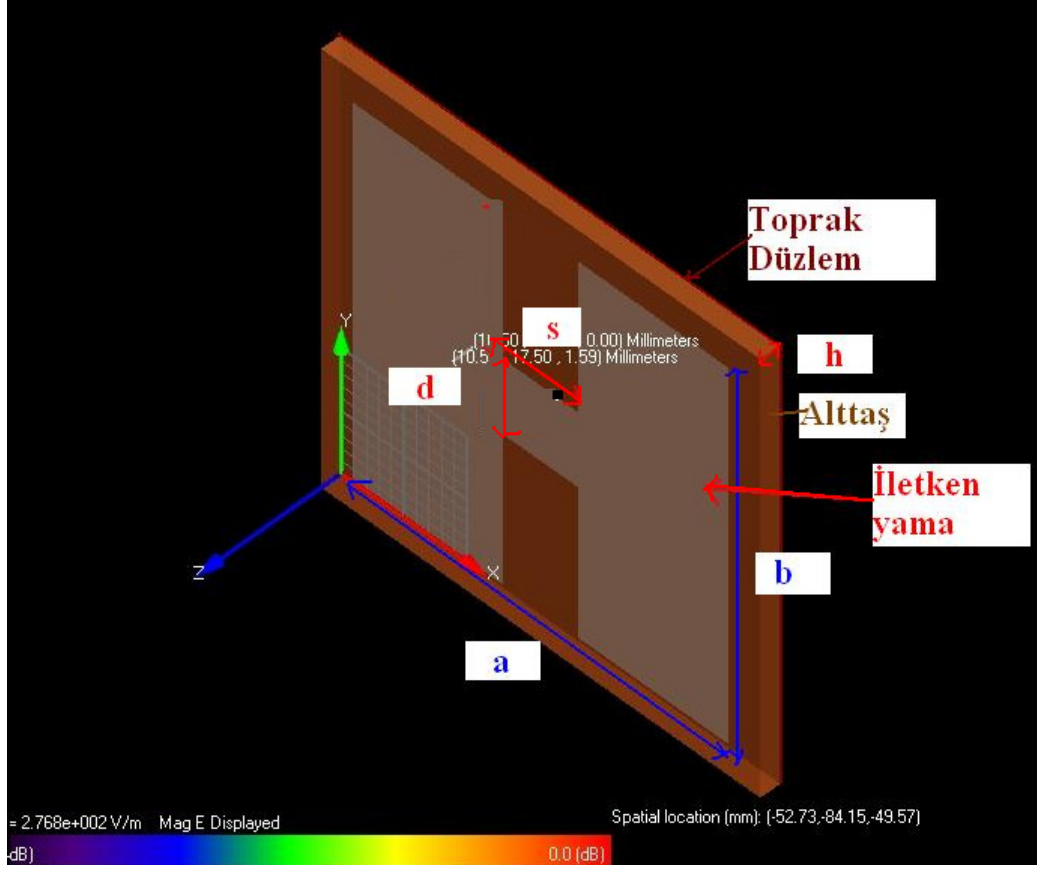


Şekil Ek-2.26. Grafik parametrelerinin tanıtılması



Şekil Ek-2.27. HKMA'nın rezonans frekansının belirlenmesi

Sonuç olarak, Şekil Ek-2.28'de benzetimi yapılan HKMA geometrisi üzerinde parametreler gösterilmiştir.



Şekil Ek-2.28. HKMA geometrileri üzerinde elektriksel ve fiziksel parametrelerin gösterilmesi

ÖZGEÇMİŞ

Abdurrahim Toktaş, 25 Haziran 1977'de doğdu. İlköğretim ve Lise eğitimini Mersin'de tamamladı. 2002 yılında Gaziantep Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında İstanbul Türk Telekom'da mühendis olarak göreve başladı. 2007 yılı Şubat ayında Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2007 Ocak ayında itibaren Mersin Türk Telekom'da Transmisyon Sorumlusu olarak görev yapmaktadır.

Abdurrahim Toktaş evli ve 2 çocuk babasıdır.