

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**X BAND UYGULAMALARI İÇİN METAMATERYALLER İLE ANTEN  
PARAMETRESİ İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Ahmet MALİ**

**Danışman  
Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ**

**II. Danışman  
Doç. Dr. Adnan KAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2012**

© 2012 [Ahmet MALİ]

## TEZ ONAYI

Ahmet MALİ tarafından hazırlanan " X Band Uygulamaları için Metamateryaller ile Anten Parametresi İyileştirilmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**                      **Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ**                      .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**II. Danışman**                      **Doç. Dr. Adnan KAYA**                      .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi**                      **Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ**                      .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi**                      **Prof. Dr. Mustafa MERDAN**                      .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi**                      **Prof. Dr. Ali KÖKÇE**                      .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Enstitü Müdürü**                      **Prof. Dr. M. Cengiz KAYACAN**                      .....

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Ahmet MALİ**



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Araştırmanın Adımları.....	2
1.2.Tezin Odak Noktası.....	2
1.3.Tezin Organizasyonu .....	2
2.KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
3.X BAND UYGULAMALARI İÇİN AÇIKLIK EKİLİ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI	5
3.1.Giriş .....	5
3.2.Teorik Yaklaşım.....	5
3.3.Simülasyon Sonuçları .....	9
3.4.Tasarım Özellikleri .....	15
4.METAMATERYAL TASARIMI.....	18
3.1 Giriş.....	18
3.2. Yakın Sıfır İndex Kırılımı.....	19
3.3. Retrieval Metodu .....	20
3.4. Omega Şekilli Metamateryal .....	21
3.5. Anten ve Metamateryal Yapısının Simülasyon Sonuçları .....	24
5.ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	32
5.1.Açıklıklı Mikroşerit Anten Ölçüm Sonuçları .....	32
5.2.Metamateryal Ekli Açıklıklı Mikroşerit Anten Ölçüm Sonuçları.....	37
6.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	40
6.1.Giriş.....	40
6.2.Anten ve Metamateryal Ekli Anten Yapısı için Simülasyon Sonucu Karşılaştırılması .....	40
6.3.Anten ve Metamateryal Ekli Anten Yapısı için Ölçüm Sonucu Karşılaştırılması .....	42
6.4.Anten ve Metamateryal Ekli Anten Yapısı için Ölçüm ve Simülasyon Sonucu Karşılaştırılması.....	44
7.SONUÇ VE ÖNERİLER .....	47
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ .....	51

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## X BAND UYGULAMALARI İÇİN METAMATERYAL ile ANTEN PARAMETRESİ İYİLEŞTİRİLMESİ

Ahmet MALİ

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman. Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

II. Danışman. Doç. Dr. Adnan KAYA

Bu tez çalışmasında mikroşerit anten yapısı için açıklık tekniği kullanılarak bant genişliği arttırılmış. Daha sonra metamateryal dizi yapısı eklenerek bantgenişliği ve kazanç arttırılmıştır.

Metamateryal yapı için omega şekilli rezonatör kullanılmıştır. 3 boyutlu simülatör kullanılarak elde edilen s parametrelerinde omega şekilli rezonatörün  $\epsilon$  ve  $\mu$  parametrik değerleri hesaplanmıştır. Anten ışmasının yönlülüğünü arttırmak için sıfır kırılma indisine yakın olarak tasarlanmıştır.

Metamateryal ve anten yapılarının fabrikasyonundan sonra teorik sonuçlar ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak açıklık tekniği ve metamateryal bant genişliğini arttırdığı gibi ayrıca metamateryal hüzmeye genişliğini daraltmış ve kazancı arttırmıştır.

**Anahtar Kelimeler.**Metamateryal, anten, açıklık, omega

**2012, 51 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **ENHANCEMENT OF ANTENNA PARAMETERS WITH METAMATERIAL FOR X BAND APPLICATION**

**Ahmet MALI**

**Suleyman Demirel University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Electronic and Communication Engineering**

**Supervisor. Assoc. Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ**

**Co-Supervisor. Assoc. Prof. Dr. Adnan KAYA**

In this thesis microstrip antenna bandwidth were enhanced with slotted technique. Later on integration of metamaterial array increased antenna bandwidth and gain.

Omega shape resonator is chosen for metamaterial unit. The S parameter results of of metamaterial are taken by 3-D Simulator. Near zero index metamaterial is designed to enhance antenna radiation.

After fabrication of metamaterial and antenna are finished, theoretical results are compared with measurement results. As a result, slotted technique and metamaterial array help to enhance bandwidth and to reduce beamwidth.

**Keywords.** Metamaterial, antenna, slotted technique, omega

**2012, 51 Pages**



## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ' ye ve Doç. Dr Adnan KAYA'ya teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca karşılaştığım zorluklarda az veya çok katkıları olan elektronik haberleşme mühendisliği departmanındaki değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin gerçekteőmesinde teknik destek ve imkanlarından dolayı Kassel Üniversitesi mikrodalga elektroniği bölüm başkanı Prof. Dr. Axel Bangert'e teşekkür ederim. Ayrıca bu imkanı sağladıkları için SDÜ dış ilişkiler departmanına teşekkür ederim.

Tezimin her aőamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ahmet MALİ  
İSPARTA, 2012

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Metodoloji Diyagramı.....	1
Şekil 3.1.. İki Temel.Mikroşerit Anten Tipi.....	5
Şekil 3.2.W Şekilli Mikroşerit Yama Anten .....	6
Şekil 3.3.W Şekilli Açıklık ve Pozisyonuna göre Tanımı. ....	6
Şekil 3.4.Tek Açıklık Eşdeğer Devresi.....	7
Şekil 3.5. W Açıklık Eşdeğer Devresi. ....	8
Şekil 3.6.Anten ve W Açıklık Eşdeğer Devresi. ....	9
Şekil 3.7.Açıklık Ekli Anten ve Yoğunlaşılın Açıklık Parametreleri. ....	9
Şekil 3.8.Farklı s1 Değerleri için Geri Dönü Kaybı(dB) Sonuçları.....	10
Şekil 3.9.Farklı s1 Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.....	10
Şekil 3.10.Farklı s1 Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları. ....	10
Şekil 3.11.Farklı s3 Değerleri için Geri Dönü Kaybı(dB) Sonuçları. ....	11
Şekil 3.12.Farklı s3 Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.....	11
Şekil 3.13.Farklı s3 Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları. ....	11
Şekil 3.14.Farklı s2 Değerleri için Geri Dönü Kaybı(dB) Sonuçları. ....	12
Şekil 3.15. Farklı s2 Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.....	12
Şekil 3.16.Farklı s2 Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları. ....	12
Şekil 3.17.Farklı sw Değerleri için Geri Dönü Kaybı(dB) Sonuçları. ....	13
Şekil 3.18.Farklı sw Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.....	13
Şekil 3.19.Farklı sw Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları. ....	13
Şekil 3.20.Farklı s4 Değerleri için Geri Dönü Kaybı(dB) Sonuçları. ....	14
Şekil 3.21.Farklı s4 Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.....	14
Şekil 3.22.Farklı s4 Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları. ....	14
Şekil 3.23.Yama Anten için Seçilen Açıklık Değerleri.....	15
Şekil 3.24.W Açıklıklı Anten Yapısının Geri dönüş Kaybı(dB) Sonucu. ....	15
Şekil 3.25.E Düzlem (Sağda) H Düzlem (Solda) İşma Simülasyon Sonuçları.....	16
Şekil 3.26.Yönlülük Simülasyon Sonucu.....	16
Şekil 3.27.10.8 GHz için E Düzlemi(Sağda) H Düzlemi (Solda) Simülasyon Sonuçları.....	17
Şekil 3.28.12 GHz için E Düzlemi(Sağda) H Düzlemi (Solda) Simülasyon Sonuçları.....	17
Şekil 4.1.Permittiviti, Permeabiliti ve Kırılma İndisi Grafiği.....	18
Şekil 4.2.Yakın Sıfır İndex Metamateryal Tanımı. ....	20
Şekil 4.3.Birim Hücre Omega Şekli ve Uzunlukları.....	22
Şekil 4.4.S Parametresi Simülasyon Sonucu. ....	22
Şekil 4.5.Empedans Sonucu. ....	22
Şekil 4.6.Permittiviti Sonucu.....	23
Şekil 4.7.Permeabiliti Sonucu. ....	23
Şekil 4.8.Kırılma indisi Sonucu.....	23
Şekil 4.9.Omega Şekilli Metamateryalin Eşdeğer Devresi.....	24
Şekil 4.10.Metamateryal Dizisi ve Anten Yapısı ile Entegrəsi. ....	24
Şekil 4.11.L2 değerler Değişimi için S Parametresi Sonuçları (L1=16.5 mm). ....	25
Şekil 4.12.L2 değerlerindeki Değişim için Yönlülük Sonuçları (L1=16.5 mm)...	25
Şekil 4.13.L2 değerlerindeki Değişim için E Düzlem Sonuçları (L1=16.5 mm)...	25
Şekil 4.14.L2 değerlerindeki Değişim için H Düzlem Sonuçları (L1=16.5 mm)..	25

Şekil 4.15.L2 değere Değişimi için S Parametresi Sonuçları (L1=17.9 mm).....	26
Şekil 4.16.L2 değerlerindeki Değişim için Yönlülük Sonuçları (L1=17.9 mm)....	26
Şekil 4.17.L2 değerlerindeki Değişim için E Düzlem Sonuçları (L1=17.9 mm)...	26
Şekil 4.18.L2 değerlerindeki Değişim için H Düzlem Sonuçları (L1=17.9 mm)..	26
Şekil 4.19.L2 değer Değişimi için S parametresi Sonuçları (L1=19.2 mm). ....	27
Şekil 4.20.L2 değerlerindeki Değişim için Yönlülük Sonuçları (L1=19.2 mm)....	27
Şekil 4.21. L2 değerlerindeki Değişim için E Düzlem Sonuçları (L1=19.2 mm)..	27
Şekil 4.22.L2 değerlerindeki Değişim için H Düzlem Sonuçları (L1=19.2 mm)..	27
Şekil 4.23.Metamateryalli Anten için S Parametresi Sonucu.....	28
Şekil 4.24.Metamateryalli Anten için H Düzlem Sonucu.....	29
Şekil 4.25.Metamateryalli Anten için E Düzlem Sonucu.....	29
Şekil 4.26.Metamateryalli Anten için 3D Işıma Sonucu. ....	29
Şekil 4.27.Metamateryalli Anten için Yönlülük Sonucu. ....	29
Şekil 4.28.10.8 GHz için E Düzlem Sonucu. ....	30
Şekil 4.29.10.8 GHz için H Düzlem Sonucu.....	30
Şekil 4.30.12 GHz için E Düzlem Sonucu. ....	30
Şekil 4.31.12 GHz için H Düzlem Sonucu.....	31
Şekil 5.1.Gerçeklenen Antenin Fotoğrafları.....	32
Şekil 5.2.Işıma Ölçüm Düzenegi.....	33
Şekil 5.3. Anten Geri Dönüş Kaybı Monitör Fotoğrafı (a) Grafik Gösterimi (b)...	33
Şekil 5.4.HP 8350B sinyal jeneratörü ve HP 437B güç metresi Fotoğrafı.....	34
Şekil 5.5.10.8 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu .....	34
Şekil 5.6.10.8 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.....	34
Şekil 5.7.11.4 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu. ....	35
Şekil 5.8.11.4 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.....	35
Şekil 5.9.12 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu. ....	36
Şekil 5.10.12 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.....	36
Şekil 5.11.Metamateryal Ekli Anten Yapısının Fotoğrafları.....	37
Şekil 5.12.10.8 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu.....	37
Şekil 5.13.10.8 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.....	38
Şekil 5.14.11.4 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu.....	38
Şekil 5.15.11.4 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu. ....	38
Şekil 5.16.12 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu. ....	39
Şekil 5.17.12 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.....	39
Şekil 6.1.Geri Dönüş Kaybı ( $S_{11}$ ) Simülasyon Sonucu Karşılaştırılması. ....	40
Şekil 6.2.E Düzlem Simülasyon Sonucu Karşılaştırılması. ....	41
Şekil 6.3.H Düzlem Simülasyon Karşılaştırılması. ....	41
Şekil 6.4.Geri Dönüş Kaybı ( $S_{11}$ ) Ölçüm Karşılaştırılması. ....	42
Şekil 6.5.E Düzlem Işıması Ölçüm Karşılaştırılması.....	43
Şekil 6.6.H Düzlem Işıması Ölçüm Karşılaştırılması. ....	43
Şekil 6.7. Anten için Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması.....	44
Şekil 6.8.E düzlem Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması.....	44
Şekil 6.9.H Düzlem Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması.....	45
Şekil 6.10.Metamateryal ve Anten için Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması. 45	
Şekil 6.11.E düzlem Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması. ....	46
Şekil 6.12.H düzlem Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması. ....	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

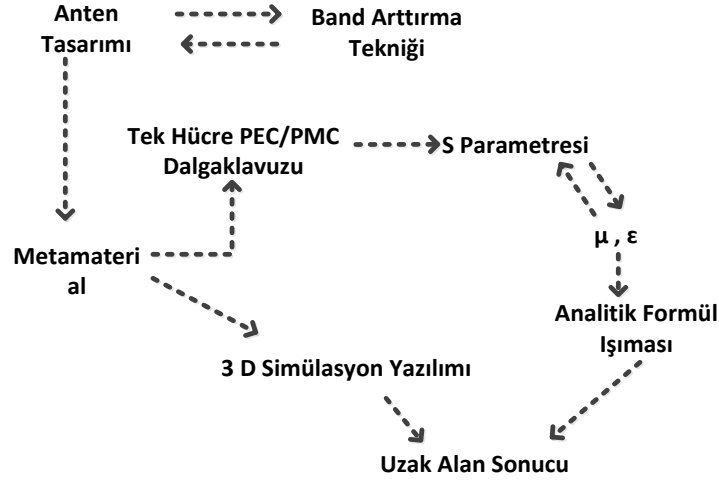
	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1.Açıklık İsimleri ve Değerleri.....	15
Çizelge 3.2.Açıklıklı Anten Yapısı için Simülasyon Sonuçları.....	16
Çizelge 3.3.Farklı Frekanslar için Anten Parametreleri Karşılaştırılması.....	17
Çizelge 4.1.Optimizasyon Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması.....	28
Çizelge 4.2.Farklı Frekans Değerleri için Simülasyon Sonuçları.....	31
Çizelge 5.1.Işıma Parametresi Karşılaştırılması .....	36
Çizelge 5.2.Metamateryal Ekli Anten Sistemi için Ölçüm Sonuçları.....	39
Çizelge 6.1.Anten ve Metamateryal Ekli Anten Parametrelerinin Karşılaştırılması. ....	41
Çizelge 6.2.Anten ve Metamateryal Ekli Anten Parametrelerinin Karşılaştırılması. ....	43
Çizelge 6.3. Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırması Sonuçları.....	46

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİM	Sıfır indis metamateryal
dB	Decibel
E Düzlemi	Elektrik Alan Düzlemi
H Düzlemi	Manyetik Alan Düzlemi
$\epsilon$	Permittiviti
$\mu$	Permeabiliti

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda metamateryaller sıra dışı elektromanyetik özellikleri ile çok fazla ilgi çekmiştir(Veselego,1968). Uygulamalar arasında negatif kırılma indisi, ters doppler kayması, ters çerenkov ışınması ve sıfır indis kırılımı sayılabilir. (Smith vd.,2000)(Al'u vd.,2007). Sıfır indis metamateryal ekli yüksek yönlüklü anten tasarımı tezin büyük bir bölümünü içermektedir. Anten parametreleri için performans değişimleri simülasyonlar ve ölçümlerle sunulmuştur. Simülasyon için ticari 3 boyutlu yazılımlar kullanılmıştır. Tezin içeriği geniş band mikroşerit anten ve sıfır indis metamateryal(SIM) tasarımıdır. Tez için izlenecek yollar akış diyagramı olarak şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Metodoloji Diyagramı

Metodoloji diyagramından da görülebildiği gibi anten tasarımı başlangıç noktasıdır. Daha sonra metamateryal tasarımı tezin büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Anten tasarımı için mikroşerit yama antene açıklık tekniği uygulanarak bandgenişliği arttırılacaktır. Fabrikasyon ve ölçümle başlamak yerine teorik çalışmalar ve nümerik simülasyonlar zaman ve maliyet bakımından daha iyi başlangıç noktasıdır. Farklı metamateryal yapılar araştırılarak en iyi performans vereni seçilecektir. Metamateryalin gerçek boyutları ile simüle edilmesi zaman ve bilgisayar performansı açısından maliyetli olacağından tek bir metamateryal hücresi simüle edilerek bu maliyetler en aza indirilecektir. Simüle edilmiş metamateryal hücresi ile elde edilecek S

parametresi ile metamateriyalin permitiviti ve permeabiliti özellikleri retrieval metodu ile bulunacaktır.

### **1.1. Araştırmanın Adımları**

Araştırmanın adımları şu şekildedir.

- Sıfır indis metamateriyal ve mikroşerit antenler üzerine çalışmak.
- 3 D simülatörler ile anten ve metamateriyalin tasarım, simülasyon ve analizini yapmak.
- Metamateriyal yapıyı mikroşerit anten ile simüle etmek.
- Metamateriyal yapı ile mikroşerit anten yapısını üretmek ve ölçümlerini almak.
- Simülasyon ile ölçüm sonuçlarını karşılaştırmak.
- Tezi yazmak

### **1.2. Tezin Odak Noktası**

Çalışmanın temel odak noktası.

- Metamateriyal ve anten yapıları üzerine çalışmak.
- Tasarlanmış metamateriyal ve anten yapılarının simülasyonu, üretimi ve ölçümleri.
- Metamateriyal ekli mikroşerit anten yapısının özelliklerinin karşılaştırılması.

### **1.3. Tezin Organizasyonu**

Bölüm 1 giriş, problemin tanımı, tezin odak noktası ve araştırma adımlarını içermektedir.

Bölüm 2 anten teorisi, bandgenişliği arttırmak için açıklık tekniği ve bu teknik ile alakalı simülasyonları içermektedir.

Bölüm 3 metamateriyal tasarımı ve simülasyonun içermektedir.

Bölüm 4 anten ve metamateriyal ekli anten yapısının ölçümlerini içermektedir.

Bölüm 5 Simülasyonlar ve ölçümler üzerine analizler içermektedir.

Bölüm 6 kısa sonuç bölümünü içermektedir.

Bunun yanında, tezin sonunda kaynak bölümü bulunmaktadır.



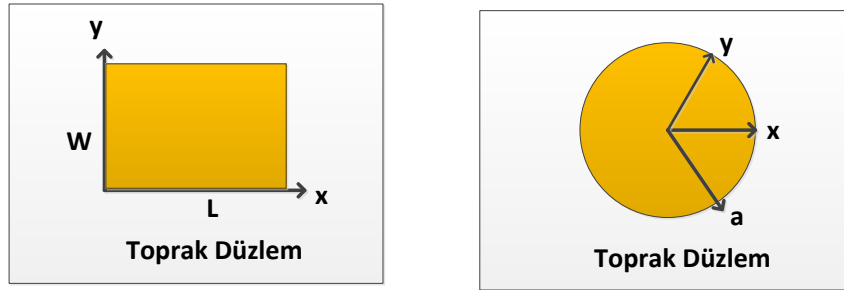
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Birçok yeni mikrodalga cihaz bu eşsiz elektromanyetik özellikler temel alınarak keşfedildi, teorik ve pratik olarak çalışıldı. (Pendry,2000)(Landy vd.,2008)(Wang vd.,2009)(Schurig vd.,2006)(Ma vd., 2009). Enoch ve çalışma arkadaşları, 2002 yılında monopul antene sıfır indis metamateriyali(SIM) entegre ederek dar hüzmeye genişlikli anteni sunmuştur (Enoch vd.,2002). Wu ve arkadaşları farklı yakın sıfır indis metamateriyal(YSIM) ekli dipol anten uygulamalarına çalışmışlardır (Wu vd.,2005). Lovat ve arkadaşları düşük permittivite özellikli metamateriyal ekli hat kaynağı analiz edildi (Lovat vd., 2006) . Yuan ve arkadaşları anizotropik temelli yüksek yönlü emisyon üzerine çalışmışlardır (Yuan vd.,2007). Wu ve arkadaşları derin fiziki mekanizmalar ve gelecekte keşfedilecek potansiyel uygulamalar için metamateriyal gömülü horn anten üzerine çalışmışlardır (Wu vd., 2007). Zhou ve arkadaşları fabrikasyonu ve tasarımı kolay SIM ekli yüksek ışımaya kapasiteli antenler üzerine çalışmışlardır (Zhou vd., 2009). Projenin metamateriyal bölümünün yanında anten bölümü için ise;mikroşerit anten kullanılmıştır. Mikroşerit antenler son yıllarda uzay araçları, uçaklar, radarlar uydu haberleşmesi, güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda kolaylıkla kullanılabilir yapısı ve baskı devre teknoloji ile üretilmesi gibi kolay üretim tekniği ile mikrodalga antenleri içinde başlı başına bir konu biçimine gelmiştir. Band genişliği ve ışımadaki verimsizlikleri ile büyük dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajları aşmak için açıklık tekniği, boşluk-kuplaş tekniği ve çok katman tekniği gibi teknikler kullanılmaktadır.

### 3. X BAND UYGULAMALARI İÇİN AÇIKLIK EKLİ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

#### 3.1. Giriş

Mikroşerit anten ya da yama anten, basitliği, üretim kolaylığı, düşük maliyeti ile mikrodalga uygulamalarında geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Vokalis , 2007). En basit formu ile iletken ve dielektrikten oluşan bu yapı, en genel formlarından dikdörtgen ve dairesel formları ile Şekil 3,1'de gösterilmektedir.

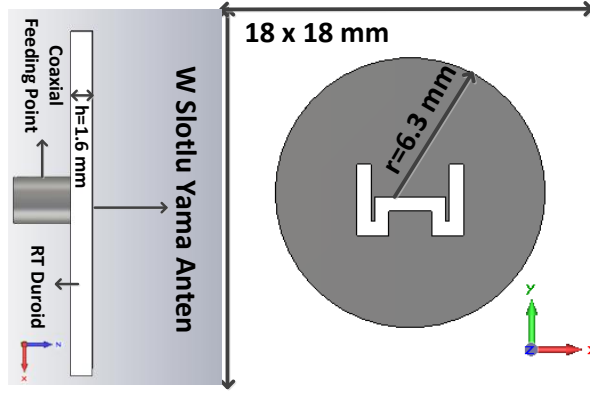


Şekil 3.1.. İki Temel Mikroşerit Anten Tipi.

Mikroşerit antenler pratik uygulamalarda dar bant genişliği ve düşük kazanç sunarlar (Balanis ,1997). Birçok yaklaşım mikroşerit antenler için bant genişliğini ve kazancı arttırmaya yönelik olarak uygulanmıştır, bunlar arasında kalın substrat, U açıklık tekniği ve farklı dielektrik malzemeli antenler sayılabilir (Ansari ,2008)(Singh vd., 2008)(Kumar vd.,1984) . U açıklıklı mikroşerit anten uygulamasının çift band özelliği gösterdiği gözlenmiştir (Ansari ,2008)(Singh vd., 2008)(Kumar vd.,1984). Bu projede W şekilli dairesel disk anten tasarımı X band uygulamaları için tasarlanmıştır. Tasarım esnasında teorik analizi ve nümerik metotlarla simülasyonu yapılmıştır.

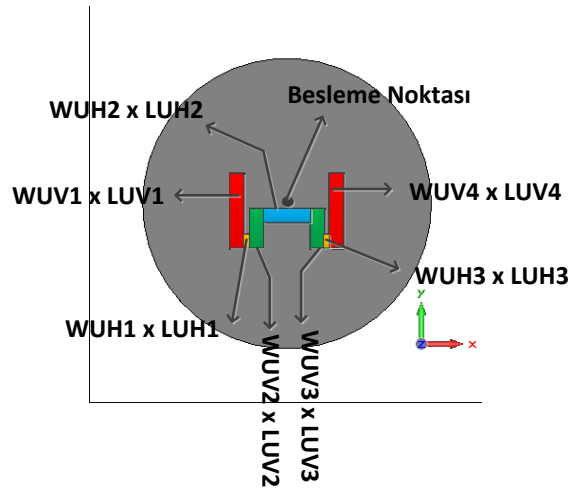
#### 3.2. Teorik Yaklaşım

W açıklık şekilli disk yama anten Şekil 3.2'te gösterilmiştir. Tasarım esnasında anten ve açıklık tekniği oyuk model formu kullanarak devre teorisi ile açıklanmıştır (Balanis ,1997).



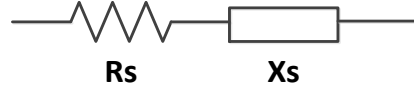
Şekil 3.2.W Şekli Mikroşerit Yama Anten

Mikroşerit yama antene uygulanan W şekilli açıklık Şekil 3.3'de ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. W şekilli açıklık beslenme noktasına karşı pozisyonuna göre ayrılmıştır.



Şekil 3.3.W Şekli Açıklık ve Pozisyonuna göre Tanımı.

Şekil 3.3'te görülen W şekilli açıklık durumuna göre dört dikey ( $L_{UV} \times W_{UV}$ ) ve üç yatay açıklıktan oluşmaktadır. Rezistif ve reaktif bileşenden oluşan tek bir açıklık Şekil 3.4'te gösterilmiştir (Sharma vd., 2005)(Shivnarayan vd.,2006).



Şekil 3.4. Tek Açıklık Eşdeğer Devresi.

Yatay açıklığın empedansı aşağıdaki gibidir.

$$Z_{UH} = R_{UH} + jX_{UH} \quad (2.1)$$

Formül 2.1'deki rezistif ve reaktif bileşenlerin daha açık halleri aşağıda gösterilmiştir (Ansari, 2008).

$$R_{UH} = 60 \left\{ C + \ln(kL_{UH}) - C_i(kL_{UH}) + \frac{1}{2} \sin(kL_{UH}) [S_i(2kL_{UH}) - 2S_i(kL_{UH})] + \frac{1}{2} \cos(kL_{UH}) \left[ C + \ln\left(\frac{kL_{UH}}{2}\right) + C_i(2kL_{UH}) - 2C_i(kL_{UH}) \right] \right\} \quad (2.2)$$

ve

$$X_{UH} = 30 \cos^2 \alpha \left\{ 2S_i(kL_{UH}) + \cos(kL_{UH}) [2S_i(kL_{UH}) - S_i(2kL_{UH}) - \sin(kL_{UH})] [2C_i(kL_{UH}) - C_i(2kL_{UH}) - C_i\left(\frac{2kW_{UH}^2}{L_{UH}}\right)] \right\} \quad (2.3)$$

$L_{UH}$  = Yatay açıklık uzunluğu

$W_{UH}$  = Yatay açıklık genişliği

C euler sabiti (C=0.5772)

k boş uzay propagasyon sabiti

$S_i$  and  $C_i$  sinüs ve kosinüs integral

$$S_i(x) = \int_0^x \frac{\sin(t)}{t} dt \quad C_i(x) = - \int_x^\infty \frac{\cos(t)}{t} dt \quad (2.4)$$

Dikey açıklık empedansı aşağıdaki gibidir.

$$Z_{UV} = R_{UV} + jX_{UV} \quad (2.5)$$

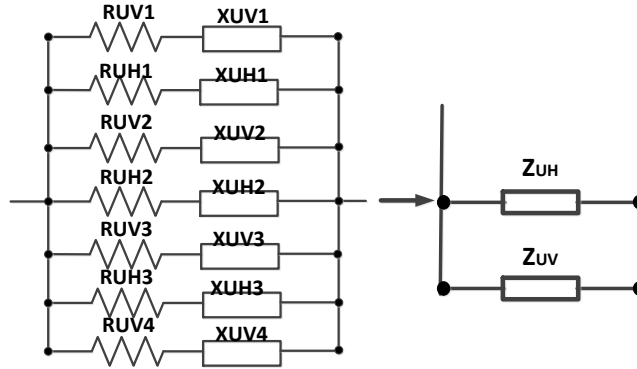
Formül 2.5'deki rezistif ve reaktif bileşenlerin daha açık halleri aşağıda gösterilmiştir(Ansari ,2008).

$$R_{UV} = 60 \left\{ \begin{array}{l} C + \ln(kL_{UV}) - C_i(kL_{UV}) + \frac{1}{2} \sin(kL_{UV}) [S_i(2kL_{UV})2S_i(kL_{UV})] + \frac{1}{2} \cos(kL_{UV}) \\ [C + \ln\left(\frac{kL_{UV}}{2}\right) + C_i(2kL_{UV}) - 2C_i(kL_{UV})] \end{array} \right\} \quad (2.6)$$

ve

$$X_{UV} = 30 \cos^2 \alpha \left\{ \begin{array}{l} 2S_i(kL_{UV}) + \cos(kL_{UV}) [2S_i(kL_{UV}) - S_i(2kL_{UV}) - \sin(kL_{UV})] \\ [2C_i(kL_{UV}) - C_i(2kL_{UV}) - C_i\left(\frac{2kW_{UV}^2}{L_{UV}}\right)] \end{array} \right\} \quad (2.7)$$

W şekilli açıklığın matematiksel hesabı Şekil 3,5'deki gibidir.



Şekil 3.5. W Açıklık Eşdeğer Devresi.

Şekil 6'nın tanımı, her dikey açıklık yatay açıklığa bağlıdır. Dikey açıklıklar ve yatay açıklıklar kendi aralarında serilerdir. W şekilli açıklığın formülasyonu ve tanımı aşağıdaki gibidir.

$R_{UV}$ =Dikey açıklığın rezistif bileşeni

$R_{UH}$ = Yatay açıklığın rezistif bileşeni

$X_{UV}$ = Dikey açıklığın reaktif bileşeni

$X_{UH}$ = Yatay açıklığın reaktif bileşeni

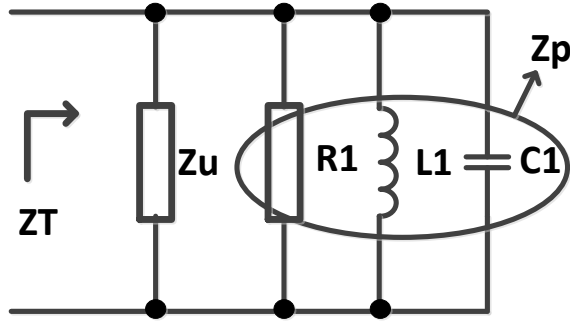
$$Z_U = \frac{Z_{UV} + Z_{UH}}{Z_{UV} Z_{UH}} \quad (2.8)$$

Formül 2.8'deki empedansların tanımı aşağıdaki gibidir.

$Z_{UV}$ =Dikey açıklığın Empedansı

$Z_{UH}$ = Yatay açıklığın Empedansı

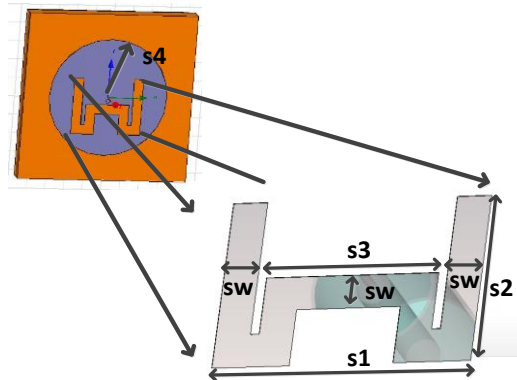
Toplam empedans Şekil 3.6'da görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 3.6. Anten ve W Açıklık Eşdeğer Devresi.

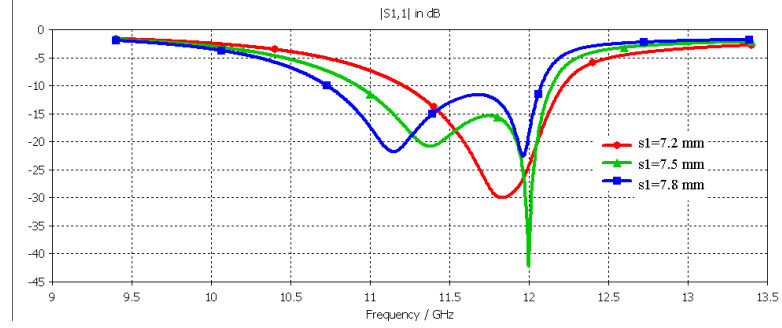
### 3.3. Simülasyon Sonuçları

Bu bölümde W açıklık metrik değerlerindeki değişimler ve bu değişimlere bağlı simülasyon sonuçları işlenmektedir. Simülasyon sonuçları için S (Saçınım) parametresi ve E düzlem ve H düzlem ışınım sonuçları şeklinde grafik ve tablo olarak sunulmaktadır. Yoğunlaşılacak açıklık değerleri Şekil 3.7'de görülmektedir.



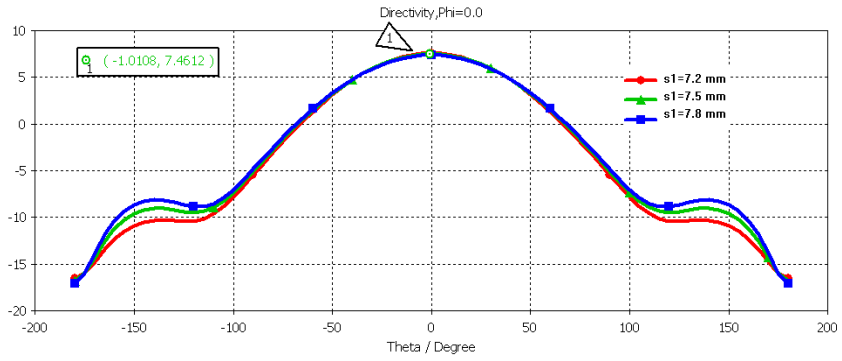
Şekil 3.7. Açıklık Ekli Anten ve Yoğunlaşılacak Açıklık Parametreleri.

İlk olarak  $s_1$  değeri üzerine optimizasyon işlemi uygulanıyor. Değerin 7,2 milimetre'den 7,8 milimetre'ye değişimi 0,3 milimetre adımlarla inceleniyor. Geri dönüş kaybı (dB) sonucu grafik olarak Şekil 3,8'de gösterilmektedir.

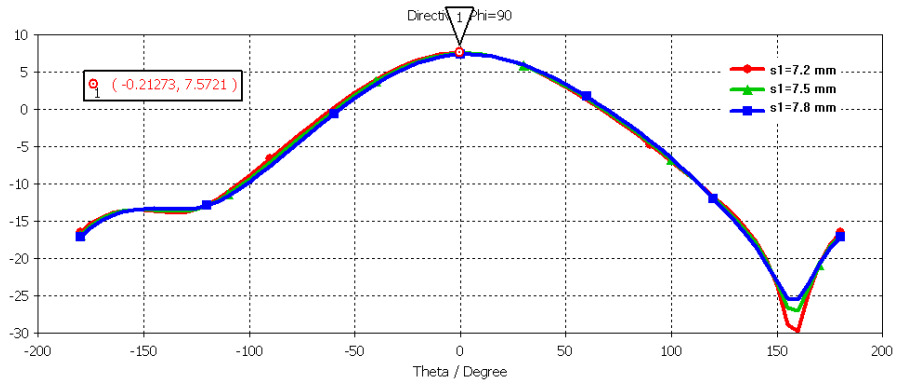


Şekil 3.8.Farklı  $s_1$  Değerleri için Geri Dönüş Kaybı(dB) Sonuçları.

E Düzlemi(dBi) ve H düzlemi(dBi) simülasyon sonuçları Şekil 3.9 ve 3.10'da gösterilmektedir.

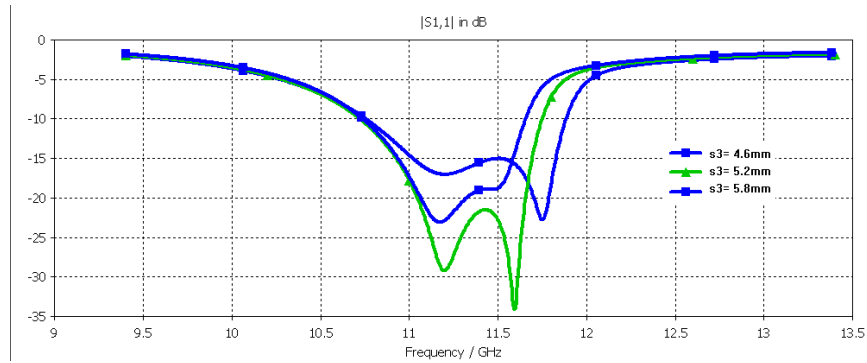


Şekil 3.9.Farklı  $s_1$  Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.

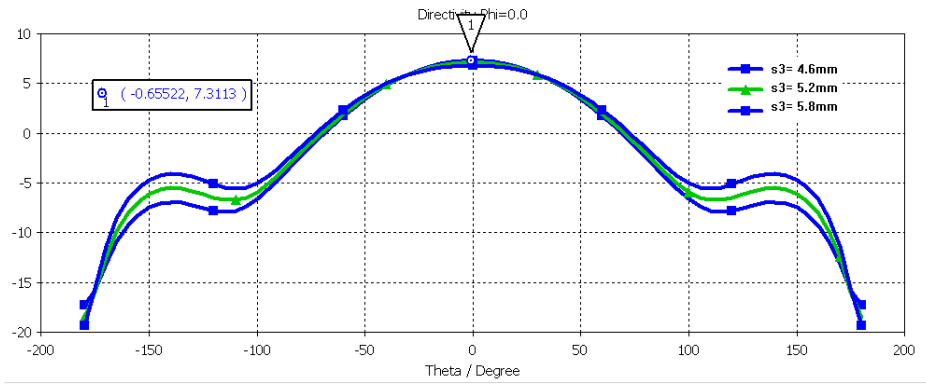


Şekil 3.10.Farklı  $s_1$  Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları.

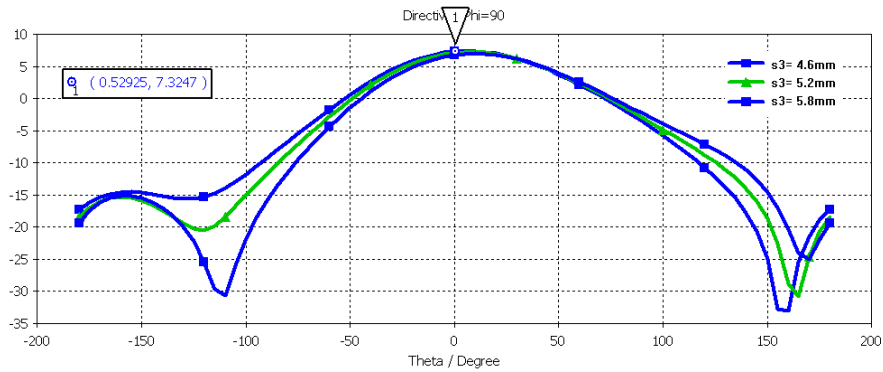
s3 parametresi için optimizasyon değeri 4.6 milimetre ile 5.8 milimetre arasında, 0.6 milimetre'lik adımlarla gözleniyor. Geri dönüş kaybı, E düzlemi ve H düzlemi sonuçları aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



Şekil 3.11.Farklı s3 Değerleri için Geri Dönüş Kaybı(dB) Sonuçları.



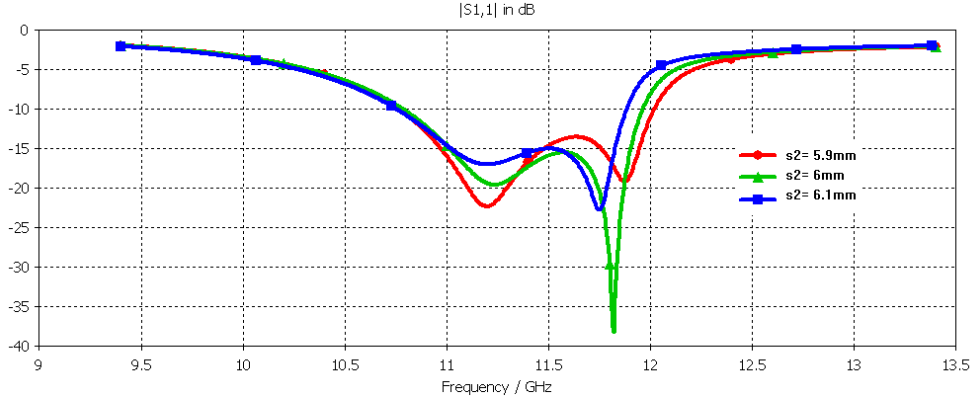
Şekil 3.12.Farklı s3 Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.



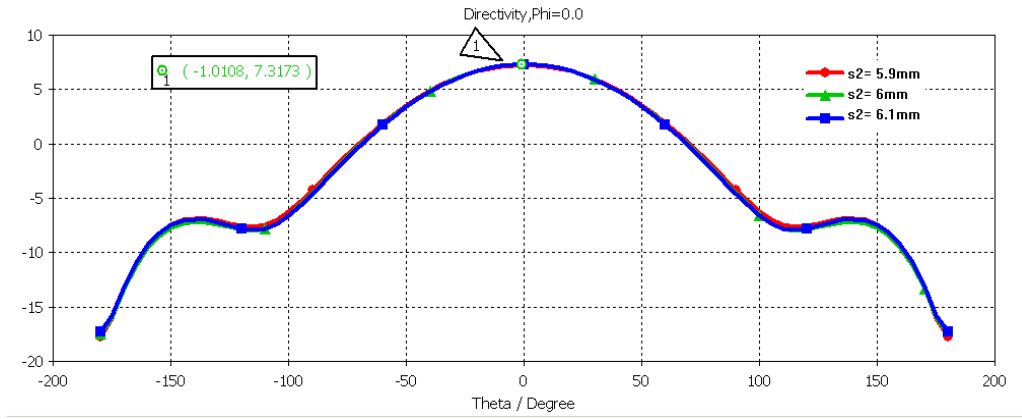
Şekil 3.13.Farklı s3 Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları.

S2 parametresi için optimizasyon değeri 5.9 milimetre ile 6.1 milimetre arasında, 0.1 milimetre'lik adımlarla gözleniyor. Geri dönüş kaybı, E düzlemi ve H düzlemi sonuçları Şekil 3.14 ile Şekil 3.16 arasında verilmektedir.

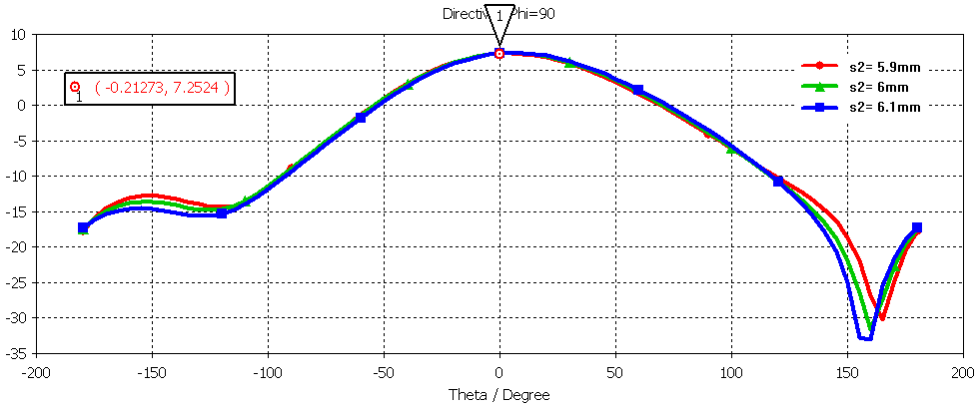




Şekil 3.14.Farklı s2 Değerleri için Geri Dönü Kaybı(dB) Sonuçları.

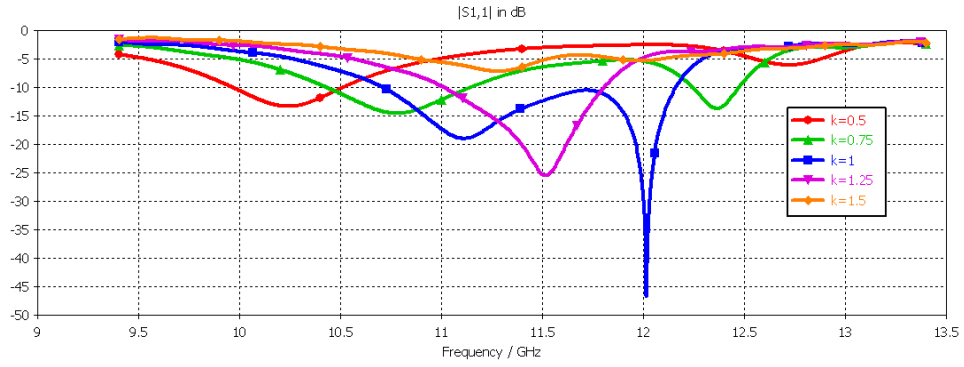


Şekil 3.15. Farklı s2 Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.

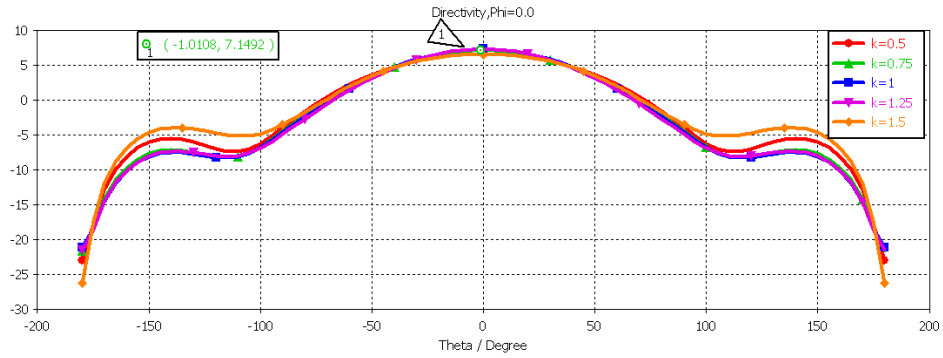


Şekil 3.16.Farklı s2 Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları.

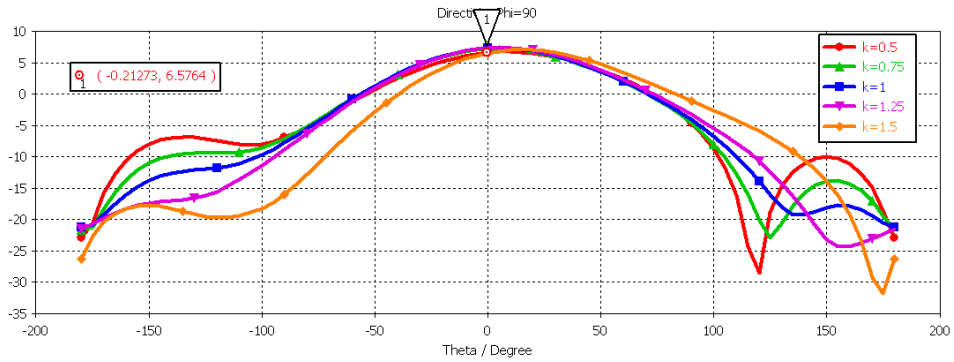
sw parametresi için optimizasyon değeri 0.5 milimetre ile 1.5 milimetre arasında, 0.25 milimetre'lik adımlarla gözleniyor. Geri dönü kaybı, E düzlemi ve H düzlemi sonuçları Şekil 3.17 ile Şekil 3.19 arasında verilmektedir.



Şekil 3.17.Farklı sw Değerleri için Geri Dönü Kaybı(dB) Sonuçları.

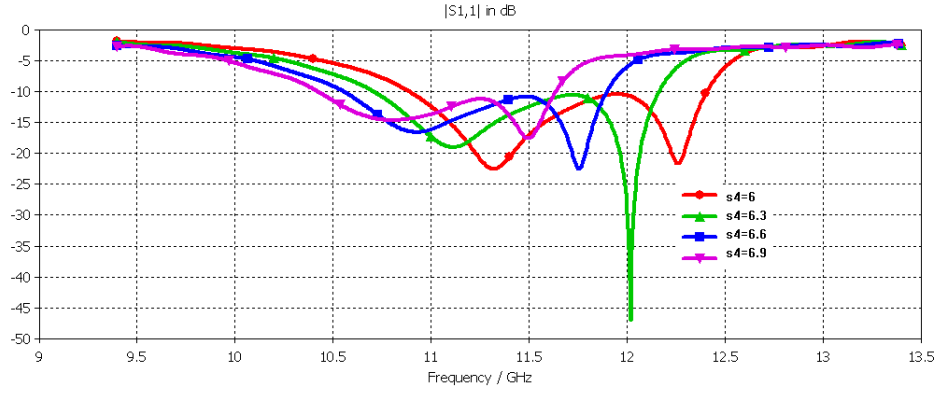


Şekil 3.18.Farklı sw Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.

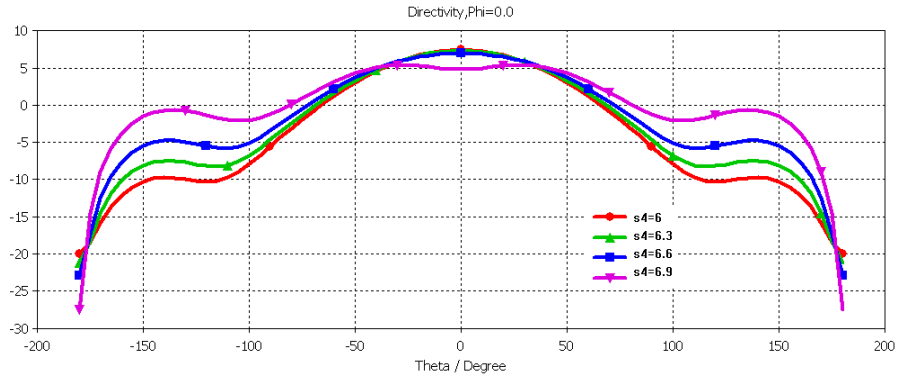


Şekil 3.19.Farklı sw Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları.

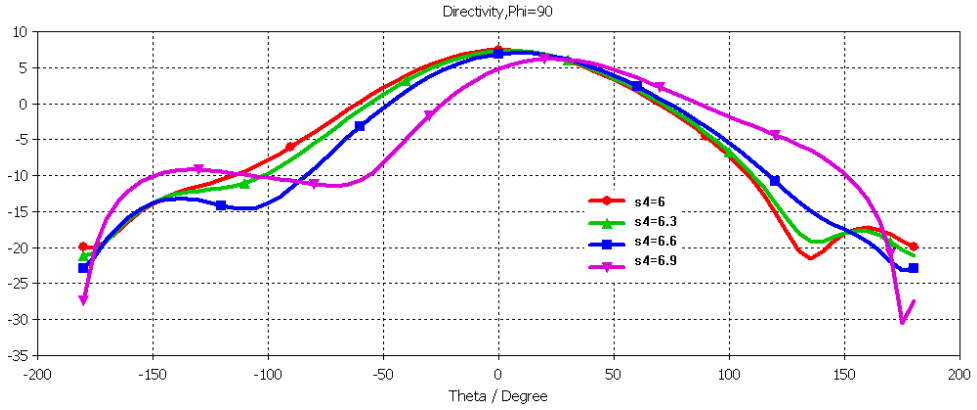
S4 parametresi için optimizasyon değeri 6 milimetre ile 6.9 milimetre arasında, 0.3 milimetre'lik adımlarla gözleniyor. Geri dönü kaybı, E düzlemi ve H düzlemi sonuçları Şekil 3.20 ile Şekil 3.22 arasında verilmektedir.



Şekil 3.20.Farklı  $s_4$  Değerleri için Geri Dönü Kaybı(dB) Sonuçları.



Şekil 3.21.Farklı  $s_4$  Değerleri için E Düzlemi(dBi) Sonuçları.



Şekil 3.22.Farklı  $s_4$  Değerleri için H Düzlemi(dBi) Sonuçları.

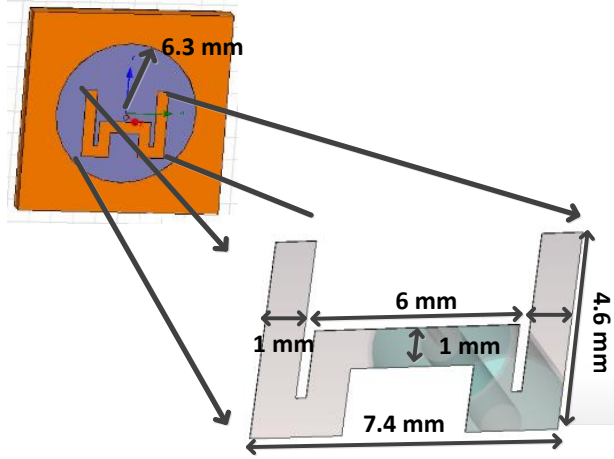
Optimizasyon işlemine simülasyon sonuç grafikleri ile yukarıda değinilmiştir. Değişen parametrelerden elde edilen sonuçlar arasında en iyi duruma göre bir seçim yapılarak, Çizelge 3.1’de listelenmiştir.

Çizelge 3.1.Açıklık İsimleri ve Değerleri.

Açıklık İsimleri	sw	s1	s2	s3	s4
Değer (mm)	1	7.4	4.6	6	6.3

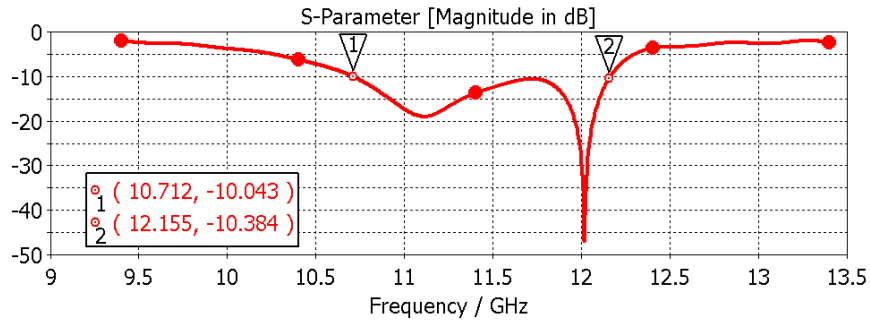
### 3.4. Tasarım Özellikleri

Literatürdeki çalışmalar temel alınarak tasarlanan açıklık, uygulama için gerekli çalışma frekansı ve frekans aralığı için optimize edilerek ortaya çıkarılmıştır. Açıklık değerleri Şekil 3.23'te verilmektedir.



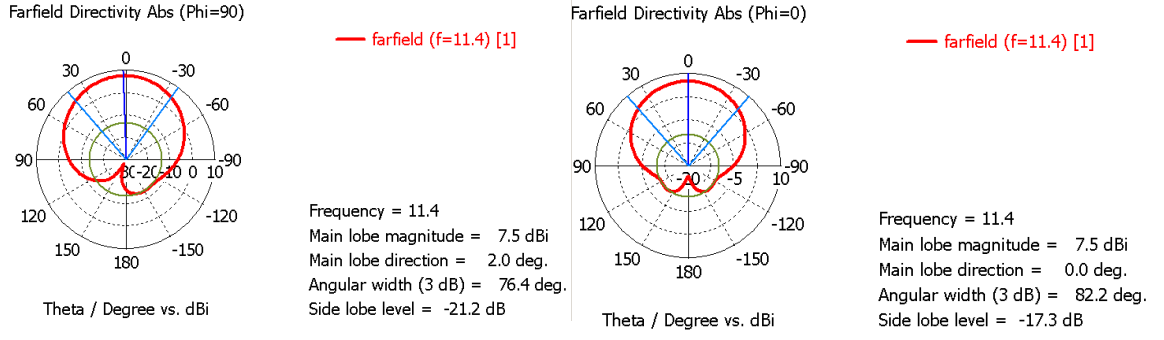
Şekil 3.23.Yama Anten için Seçilen Açıklık Değerleri.

Şekil 3.23'de ki açıklık değerleri temel alınarak simüle edilen antenin geri dönüş kaybı sonucu Şekil 3.24'te verilmektedir.



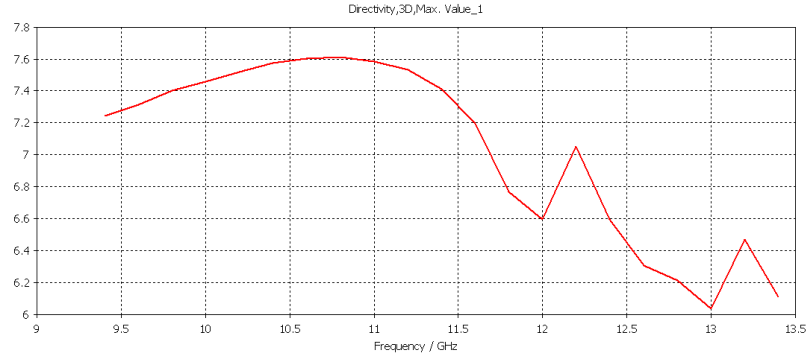
Şekil 3.24.W Açıklıklı Anten Yapısının Geri dönüş Kaybı(dB) Sonucu.

Açıklık tekniği ile 1.45 GHz bant genişliği elde edilmiştir. Çalışma frekansı 11.4 GHz'dir. E düzlem ve H düzle ışınma sonuçları Şekil 3.25'da gösterilmektedir.



Şekil 3.25.E Düzlem (Sağda) H Düzlem (Solda) Işıma Simülasyon Sonuçları.

Bütün çalışma frekansı aralığındaki ışıma grafiği Şekil 3.26’da gösterilmiştir. Grafiğe göre yönlülük 10.8 GHz civarında en iyi değeri almıştır. 11.4 GHz değerinde ise en iyi değere çok yakındır.



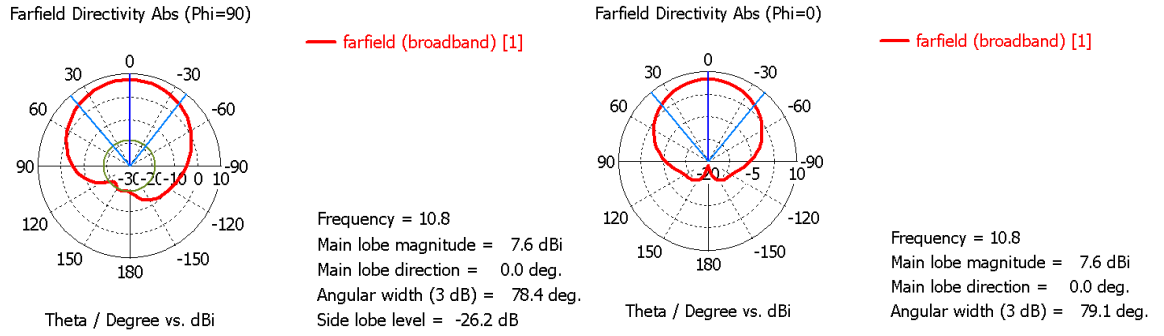
Şekil 3.26.Yönlülük Simülasyon Sonucu.

Elde edilen simülasyon sonuçları Çizelge 3’de listelenmiştir.

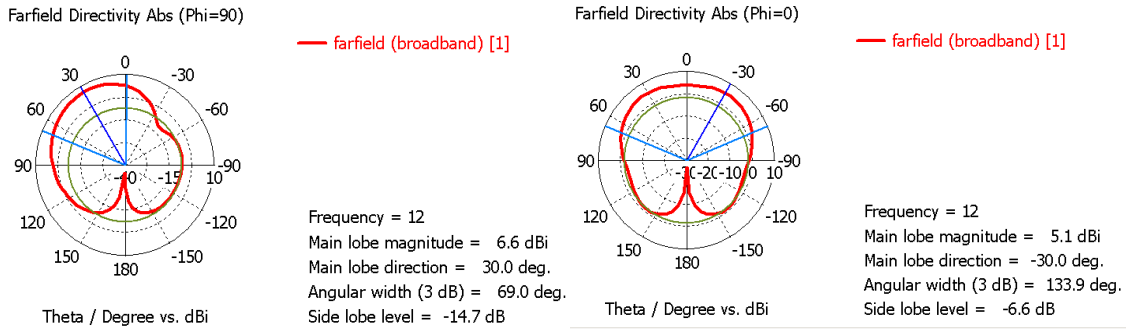
Çizelge 3.2.Açıklıklı Anten Yapısı için Simülasyon Sonuçları.

11.4 GHz için Anten Parametreleri		Açıklıklı Anten Yapısı
Geri Dönüş Kaybı(dB)		-13 dB
Band Genişliği(GHz)		1.45
Yönlülük(dBi)		7.57
3 dB Hzme Genişliği	E Düzlemi	81.9°
	H Düzlemi	76.3°

11.4 GHz çalışma frekansının yanında 10.8 GHz ve 12 GHz frekansları için mikroşerit anten yapısı simüle edildi ve simülasyon sonuçları Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.27.10.8 GHz için E Düzlemi(Sağda) H Düzlemi (Solda) Simülasyon Sonuçları.



Şekil 3.28.12 GHz için E Düzlemi(Sağda) H Düzlemi (Solda) Simülasyon Sonuçları.

Bu üç frekans değerleri için elde edilen anten parametreleri Çizelge 3.3'te listelenmiştir.

Çizelge 3.3.Farklı Frekanslar için Anten Parametreleri Karşılaştırılması.

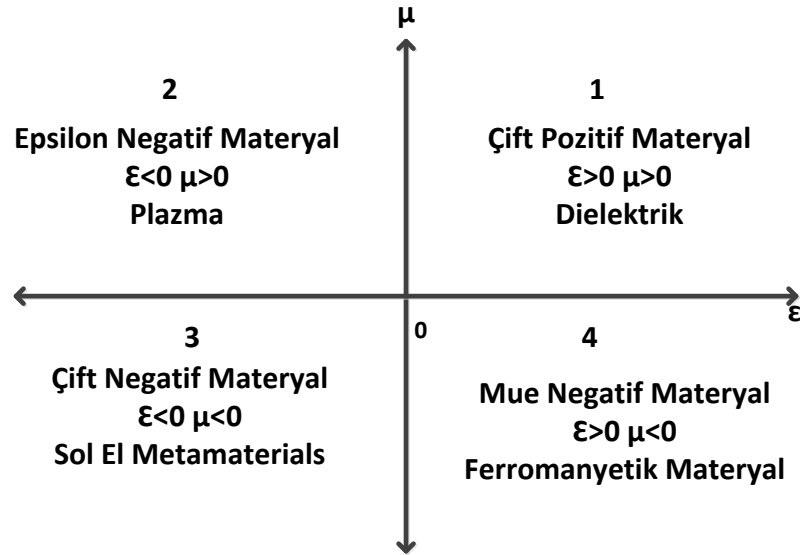
Parameter		10.8 GHz	11.4 GHz	12 GHz
Gain (dB)		7.6	7.6	5.1
E Plane	3 dB Beamwidth(°)	79.1	81.9	133
H Plane	3 dB Beamwidth(°)	78.4	76.3	69

## 4. METAMATERYAL TASARIMI

### 3.1 Giriş

Metamateryaller periyodik yapılar gibi gömülü yapılardan elde edilen yapay materyallerdir (Halim ,2007). Bunlardan bazıları negatif permittiviti veya negatif permeabiliti özelliği gösterebilir. Eğer iki durum aynı anda materyalde gözleniyorsa, bu tip materyaller sol el metamaterial olarak tanımlanır (Halim ,2007)Bu adlandırma dalga vektörünün formunun yönü ile alakalıdır.

Materyalin elektrik ve manyetik özellikleri permittiviti ( $\epsilon$ ) ve permeabiliti ( $\mu$ ) gibi iki önemli materyal parametresinin tanımlanmasında kullanılır (Halim ,2007). Permittiviti ve permeabiliti beraber olarak materyalin elektromanyetik ışınmasını tanımlamaktadır (Halim ,2007). Bazı materyallerde kırılma indisi sıfırdan küçüktür, bu tip materyallerde faz ve elektromanyetik dalganın grup hızı enerji akışının tersi yönünde ışımaktadır (Halim ,2007) (Alu vd., 2006).Permittiviti ve permeabiliti değerlerinin pozitif ve negatif olma durumlarına göre materyalin adlandırılması Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Permittiviti, Permeabiliti ve Kırılma İndisi Grafiği.

Negatif permittiviti metal kablo dizileri ile teorik olarak 1996 yılında gerçekleştirildi (Özby vd., 2003). Bu uygulamada mikrodalga bölgesinde plazma frekansında olduğu ispatlanmıştır (Özby vd., 2003). Bu düşük plazma

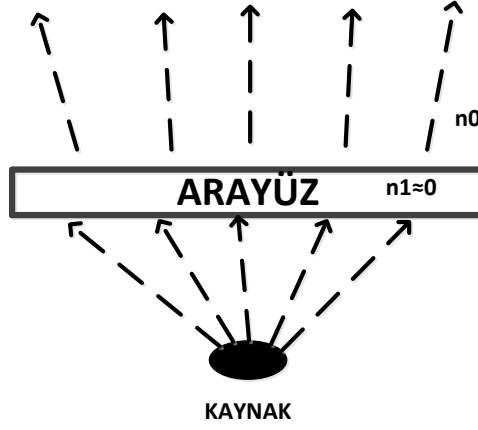
frekansında mikrodalga bölgesinde negatif permittiviti değeri elde edilmiştir (Ozbay vd., 2003). Negatif permeabiliti Pendry tarafında split ring rezonatör(SRR) ile teorik ve pratik olarak kanıtlanmıştır (Halim ,2007). Daha sonra bu iki yapı birleştirilerek simültane olarak negatif permittiviti ve permeabiliti değerlerini elde eden yapı elde edilmiştir (Halim ,2007).

### 3.2. Yakın Sıfır İndex Kırılımı

Metamateryallere bağlı birçok yeni cihaz teorik ve pratik olarak geçtiğimiz yıllarda keşfedilmiştir (Schurig vd., 2006). Mükemmel lensler, absorberlar, görünmezlik gibi birçok uygulamalara çalışılmıştır (Schurig vd., 2006) (Ma vd., 2009) (Enoch vd., 2002) (Wu vd., 2005) (Lovat vd., 2006) (Yuan vd., 2008) (Wu vd., 2007)(Zhou vd., 2009). Enoch uygulamalı olarak yakın sıfır kırılma indisli(YSİ) metamateryallerin çalışmasını 2002 yılında yapmıştır (Enoch vd., 2002). Bu uygulama ile ışınma hüzmeye genişliği daralmıştır (Enoch vd., 2002). Metamateryalin bu özelliği ile birçok araştırmacı bu metodlar üzerine çalışmaktadırlar (Enoch vd., 2002). Wu ve arkadaşları dipol anten ile farklı YSİ metamateryallerle çalışmalar yapmıştır (Wu vd., 2005). Yuan ve arkadaşları anizotropik metamateryallerle yüksek yönlü emisyon çalışmaları yapmıştır (Yuan vd., 2008). Wu ve arkadaşları metamateryal entegreli hor antenler üzerine çalışmıştır (Wu vd., 2007).

Snell yasalarına göre  $\sin(r)/\sin(i) = n_1/n_0$  formülü yazılır. Burada  $n_1$  gelen dalga kırılma indisi  $n_2$  ise ışınan dalga kırılma indisi için tanımlanırsa,  $n_1 \approx 0$  olduğunu farz edersek kırılma açısı normale yakın olarak ışınacağından ışınma daha yönlü olacaktır. Şekil 4.2'de bu durum grafiksel olarak açıklanmıştır.





Şekil 4.2.Yakın Sıfır İndex Metamateryal Tanımı.

### 3.3. Retrieval Metodu

Bu metot metamateryal permittiviti ve permeabiliti değerlerinin gösteriminde kullanılan en yaygın metottur (Grzegorz ,2009). Metot ile metamaterlayin S parametresi sonuçları ile permittiviti ve permeabiliti sonuçları elde edilmektedir (Grzegorz ,2009). Genellikle laboratuvar çalışmalarında materyal parametrelerinin bulunmasında kullanılan efektif bir metottur (Nicolson vd., 1970). S parametreleri metamateryal hücre için hesaplanarak veya ölçülerek bulunuyor ve bu formüller metamateryal hücrenin yansıma ve iletim parametreleri ile alakalıdır.

$$S_{11} = \frac{(1-T^2)R}{1-R^2T^2} \quad S_{21} = \frac{(1-R^2)T}{1-R^2T^2} \quad (3.2)$$

Bu formülde R yansıma katsayısı, T iletim katsayısıdır.

$$R = \frac{Z-Z_0}{Z+Z_0}, \quad T = e^{-jk_0na}, \quad (3.3)$$

Burada  $Z_0$  dalga empedansı,  $k_0$  boş uzaydaki dalga numarasıdır. Normalize empedans  $z = Z/Z_0$  ve ışınma indisi aşağıda gösterilmektedir.

$$z = \mp \sqrt{\frac{(1+S_{11})^2 - S_{21}^2}{(1-S_{11})^2 - S_{21}^2}}, \quad n = -\frac{1}{k_0a} ((\Im(\ln T) + 2m\pi) - j\Re(\ln T)) \quad (3.4)$$

Burada m Z n indisi ile alakalıdır ve m=0 durumu için saçınım parametrelerinin iletim parametresi formülü;

$$T = \frac{1-S_{11}^2+S_{21}^2}{2S_{21}} \mp j\sqrt{1 - \left(\frac{1-S_{11}^2+S_{21}^2}{2S_{21}}\right)^2} \quad (3.5)$$

Buradaki materyal pasif bir materyaldir. Formül 3.4 ve 3.5 aşağıdaki durumlar ile açıklanabilir.

$$\Re(z) \geq 0, n'' \geq 0 \quad (3.6)$$

Rölatif elektriksel permittiviti ve manyetik permeabilite kırılma indisi ve normalize empedans ile alakalı olarak aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

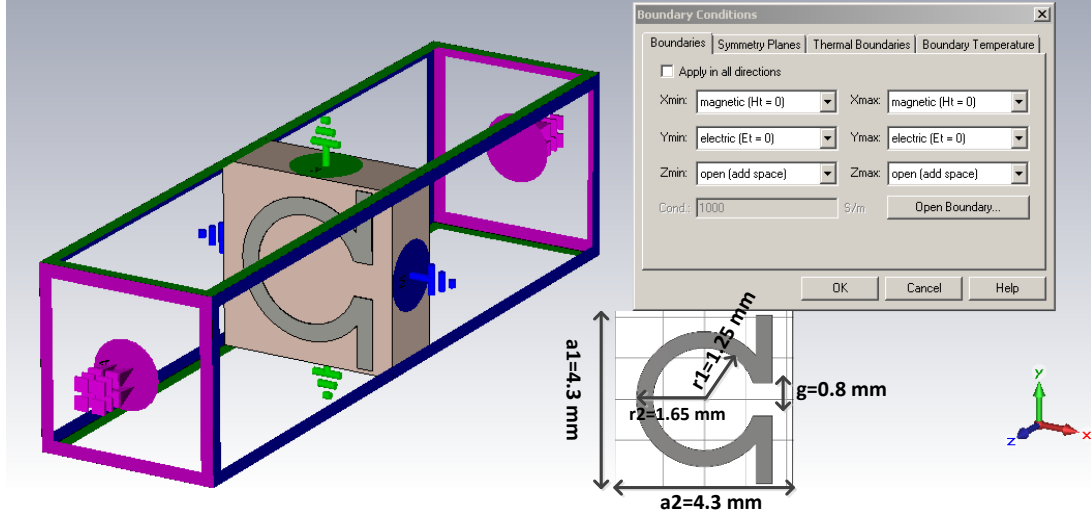
$$\varepsilon_{eff} = \frac{n}{z} \mu_{eff} = nz \quad (3.7)$$

Saçınım parametrelerinden elde edilen retrieval metodu metamateriyaller için sıklıkla kullanılan bir metodudur (Grzegorz ,2009). Bu avantajının yanında birkaç dezavantajı da mevcuttur (Grzegorz ,2009). Bunlar arasında rezonans anti rezonans kuplaş, kesilmiş rezonans kırınımı, rezonans yönüne göre empedans ve kırılma indisindeki tutarsızlıklar. Daha fazla olarak retrieval metodu bazı durumlarda yanlış sonuçlar vermektedir (Grzegorz ,2009). Bunlar arasında iletim ve yansıma katsayılarının çok küçük olduğu durumlardır (Grzegorz ,2009). Aynı zamanda Etkin bölgelerindeki kesimlere bağlı olan gelişmelerde, etkin dispersif kırılma indisinin devamlılığını zorlamaktadır ve aynı zamanda etkin empedansa simülasyon ve ölçüm gürültü etkisini yok etmektedir (Grzegorz ,2009). Bütün bu dezavantajlarına rağmen hala metamateriyal parametresi tanımında sıklıkla kullanılan bir metottur.

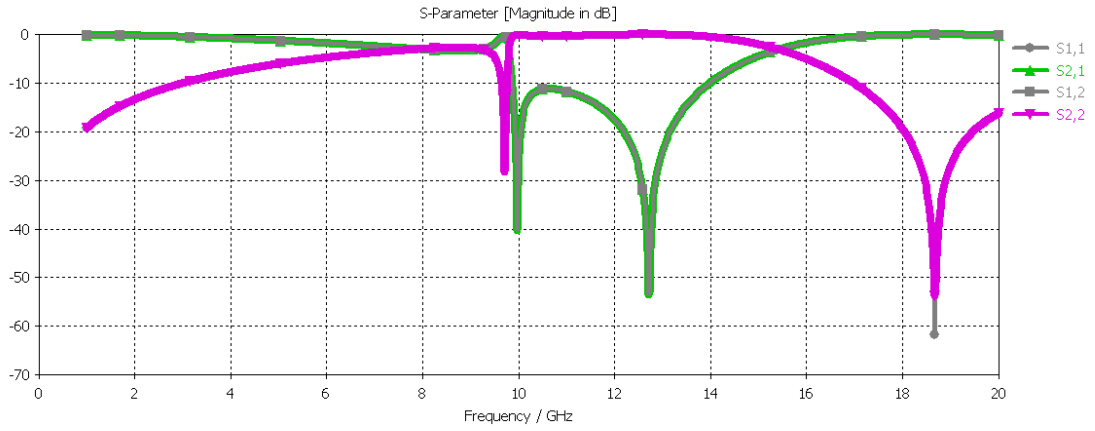
### 3.4. Omega Şekilli Metamateryal

Omega şekilli metamateriyal yeni sınıf bir elektromanyetik metamateriyaldir [49-50]. Materyal hücre bazında simetrik iki omega şekilli iletken ve bunların arasında bulunan bir dielektrikten oluşmaktadır (Grzegorz ,2009).

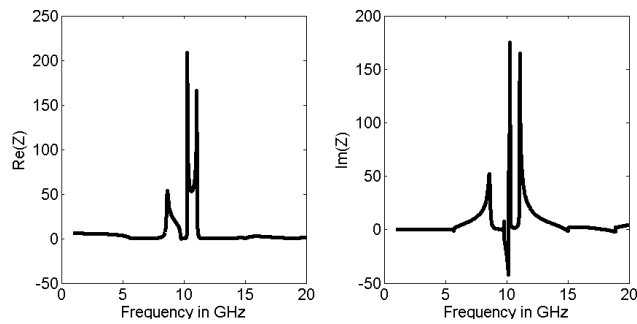
Metamateryalin yönü farklı elektrik ve manyetik etkilere yol açmaktadır (Grzegorz ,2009). Birim hücre şekli Şekil 4.3’de gösterilmektedir. Şekil 4.4 ile 4.8 arasında S parametresi sonuçları ile retrieval metodu kullanılarak elde edilmiş metamateryal parametresi sonuçları gösterilmektedir.



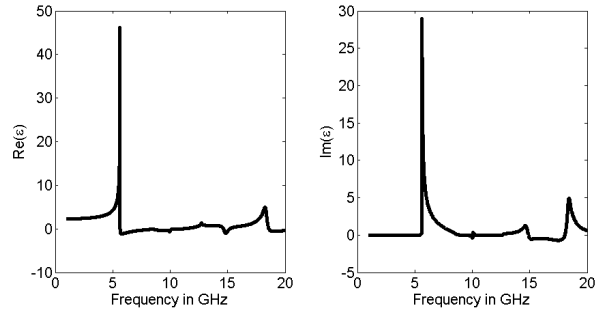
Şekil 4.3.Birim Hücre Omega Şekli ve Uzunlukları.



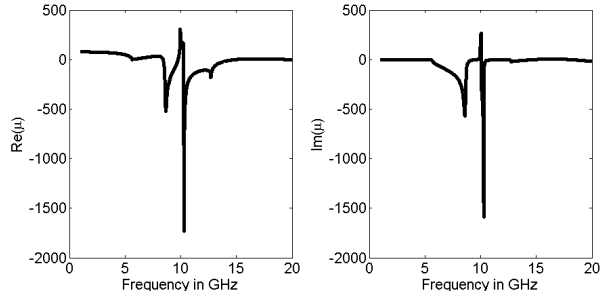
Şekil 4.4.S Parametresi Simülasyon Sonucu.



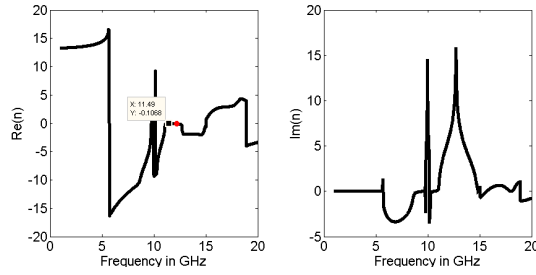
Şekil 4.5.Empedans Sonucu.



Şekil 4.6. Permittiviti Sonucu.

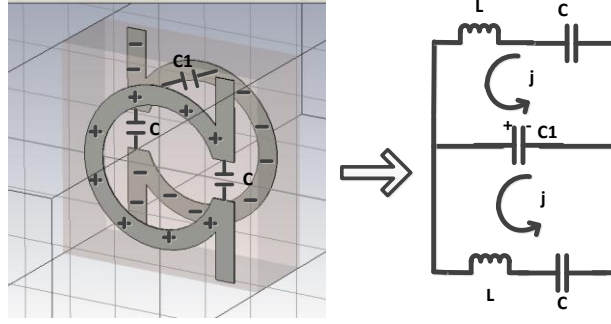


Şekil 4.7. Permeabiliti Sonucu.



Şekil 4.8. Kırılma indisi Sonucu.

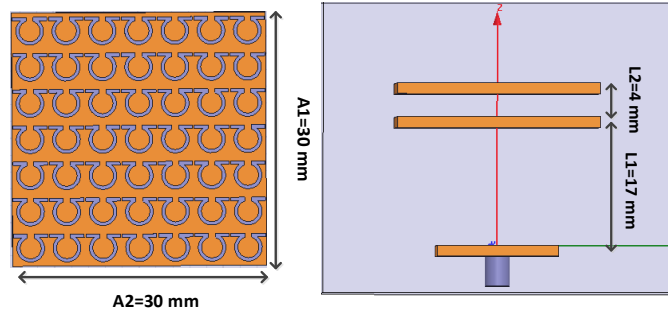
Grafikten görüldüğü üzere retrieval sonucu 10 GHz'in altında çok düzgün değil, bu durum belki omega şeklindeki düz iletim hattı ile çembersel hattın kuplajlanmasında kaynaklanabilir. 11 GHz ile 12 GHz arasında kırılma indisi,  $n \approx 0$ , ve kırılma indisinin imajı bu bölgede yine sıfıra yakındır. Omega şekilli yapımızın eşdeğer devresi Şekil 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.9.Omega Şekli Metamateryalin Eşdeğer Devresi.

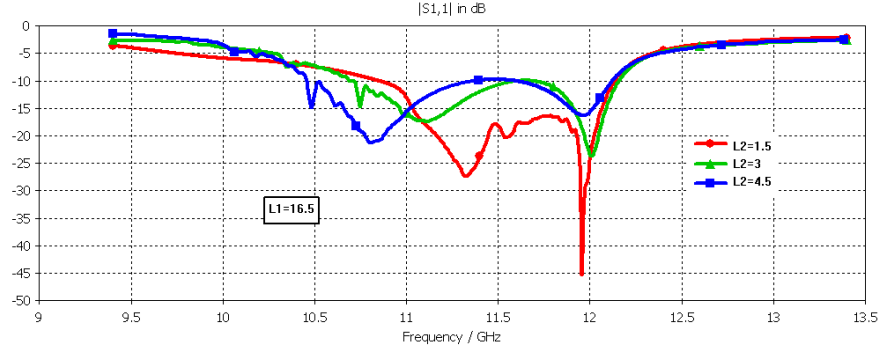
### 3.5. Anten ve Metamateryal Yapısının Simülasyon Sonuçları

Birim metamateryal çalışmalarından sonra metamateryal dizisi oluşturulmuş ve simüle edilerek anten performansındaki değişimler gözlemlenmiştir. Şekil 4.10'da metamateryal dizisi ve anten yapısı ile oluşturulmuş şekli görülmektedir.

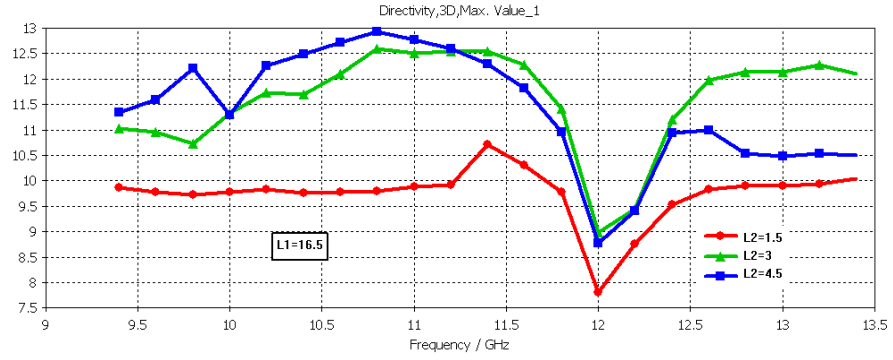


Şekil 4.10.Metamateryal Dizisi ve Anten Yapısı ile Entegresi.

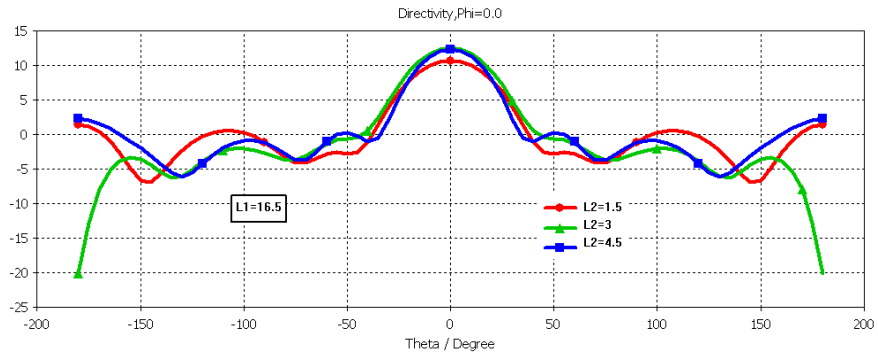
Şekil 4.10'dan görüldüğü üzere metamateryal dizisinin uzunluk değerleri ile anten yapısı önündeki pozisyonu görülmektedir. Burada L1 ve L2 değerleri birtakım optimizasyon işlemleri sonucunda elde edilmiştir. Bu işlemler aşağıda gösterilmektedir.



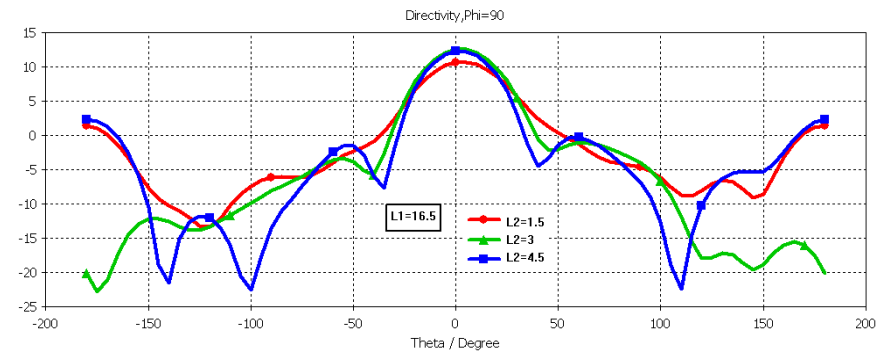
Şekil 4.11.L2 değerler Değişimi için S Parametresi Sonuçları (L1=16.5 mm).



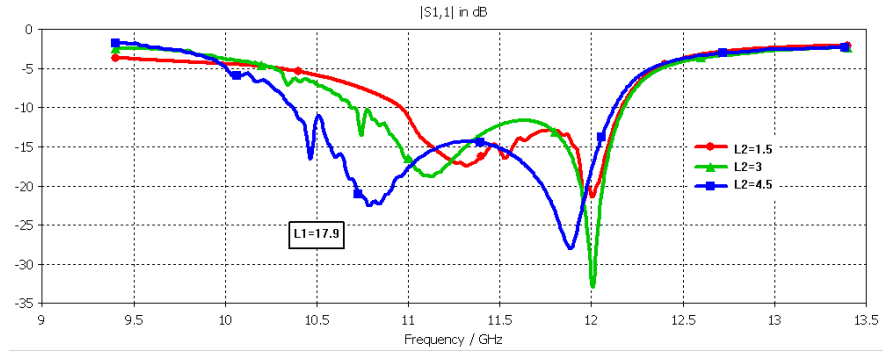
Şekil 4.12.L2 değerlerindeki Değişim için Yönlülük Sonuçları (L1=16.5 mm).



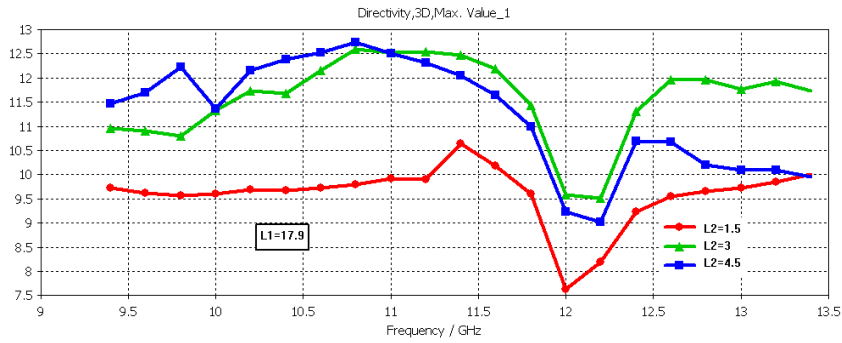
Şekil 4.13.L2 değerlerindeki Değişim için E Düzlem Sonuçları (L1=16.5 mm).



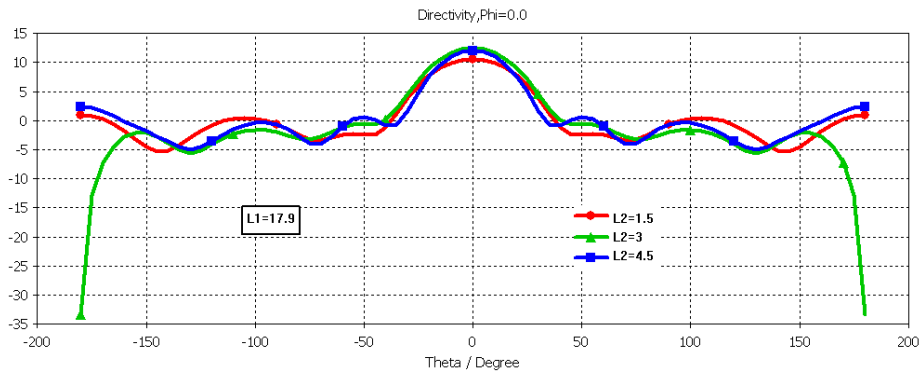
Şekil 4.14.L2 değerlerindeki Değişim için H Düzlem Sonuçları (L1=16.5 mm).



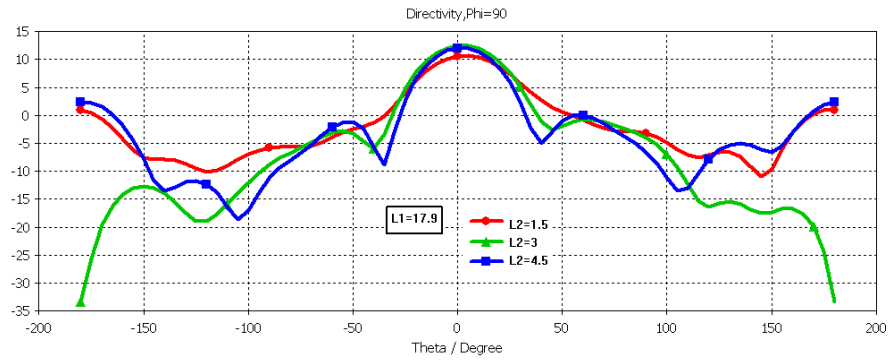
Şekil 4.15.L2 değere Değişimi için S Parametresi Sonuçları (L1=17.9 mm).



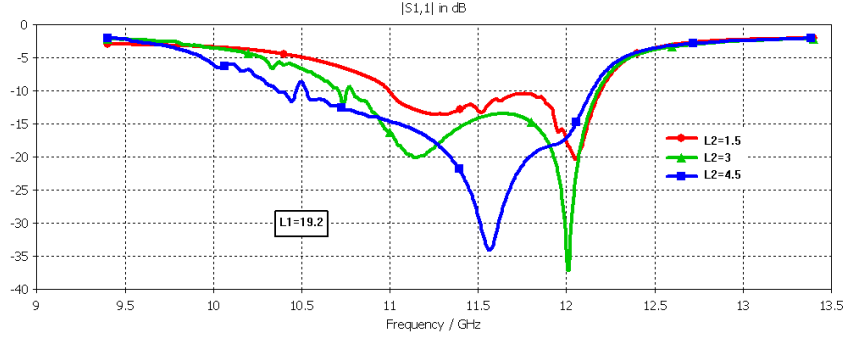
Şekil 4.16.L2 değerlerindeki Değişim için Yönlülük Sonuçları (L1=17.9 mm).



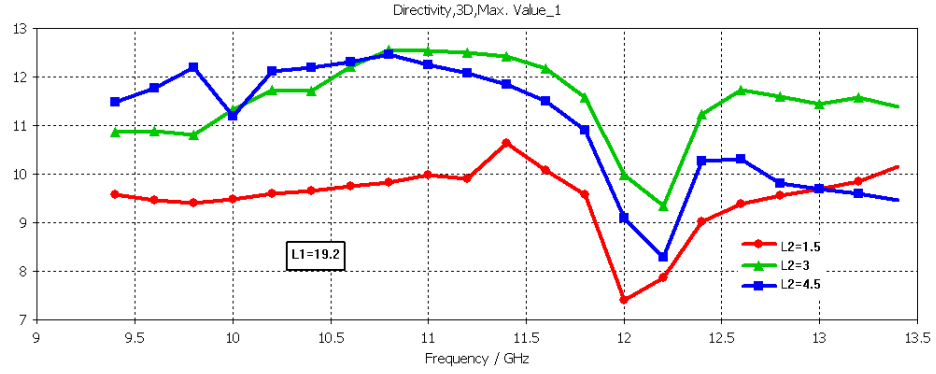
Şekil 4.17.L2 değerlerindeki Değişim için E Düzlem Sonuçları (L1=17.9 mm).



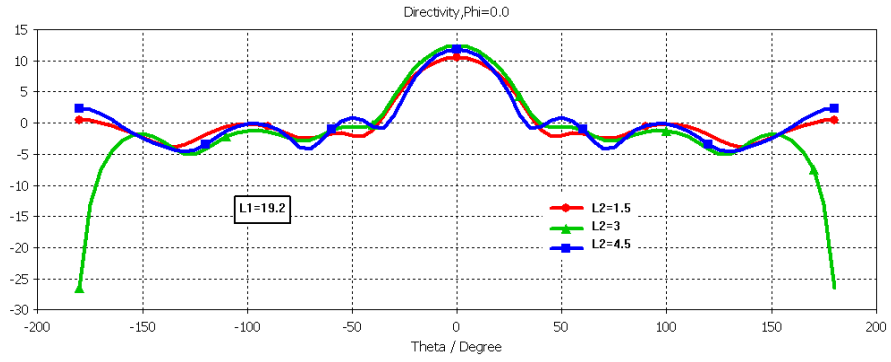
Şekil 4.18.L2 değerlerindeki Değişim için H Düzlem Sonuçları (L1=17.9 mm).



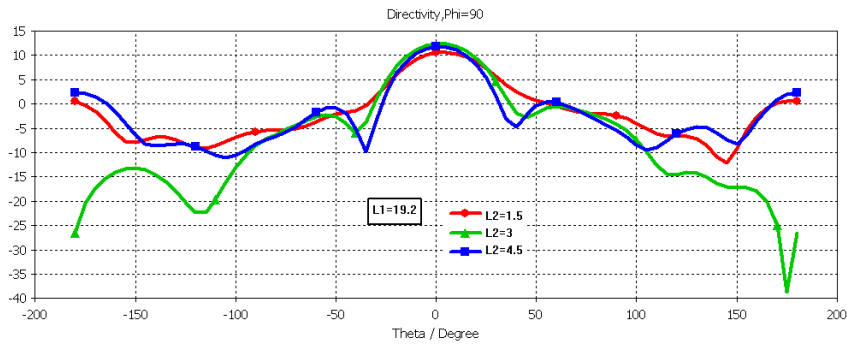
Şekil 4.19.L2 değeri Değişimi için S parametresi Sonuçları (L1=19.2 mm).



Şekil 4.20.L2 değerlerindeki Değişim için Yönlülük Sonuçları (L1=19.2 mm).



Şekil 4.21. L2 değerlerindeki Değişim için E Düzlem Sonuçları (L1=19.2 mm).



Şekil 4.22.L2 değerlerindeki Değişim için H Düzlem Sonuçları (L1=19.2 mm).

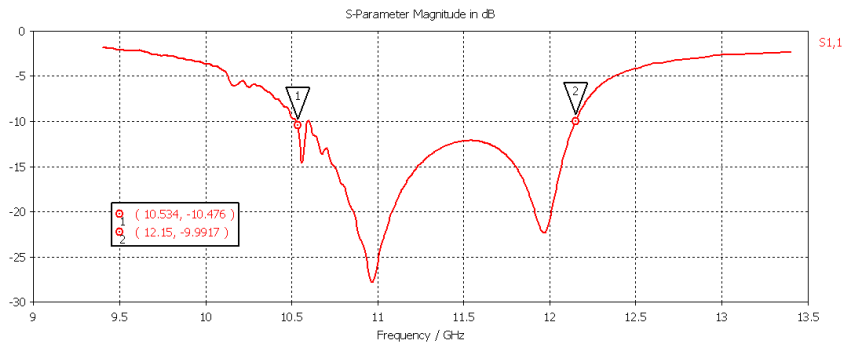


Bütün bu L1 ve L2 değerlerindeki değişimlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'te listelenmiştir.

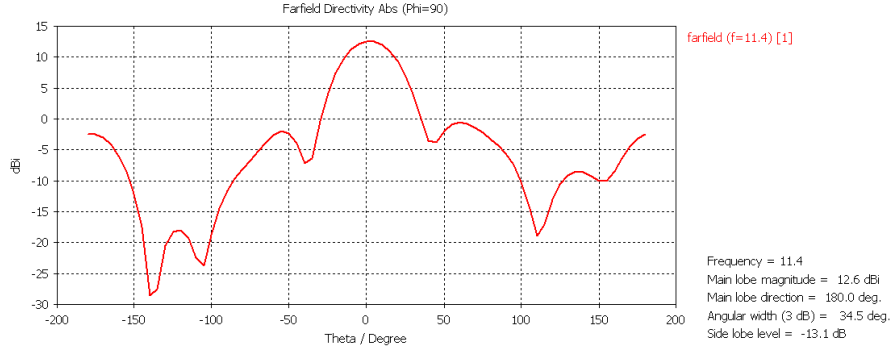
Çizelge 4.1.Optimizasyon Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması.

	Parametreler	L2=1.5 mm	L2=3 mm	L2=4.5 mm
L1=16.5 mm	S11(dB)	-18 @ 11.4 GHz	-11 @ 11.4 GHz	-9 @ 11.4 GHz
	Band Genişliği(GHz)	1.05	1.44	----
	Kazanç(dBi)	10.5 @ 11.4 GHz	12.51 @ 11.4 GHz	12.26 @ 11.4 GHz
	3 dB Hüzme Genişliği( <sup>0</sup> )	40	38	30
L1=17.9 mm	S11(dB)	-16 @ 11.4 GHz	-13 @ 11.4 GHz	-14 @ 11.4 GHz
	Band Genişliği(GHz)	1.26	1.55	1.83
	Kazanç(dBi)	10.6 @ 11.4 GHz	12.45 @ 11.4 GHz	12 @ 11.4 GHz
	3 dB Hüzme Genişliği( <sup>0</sup> )	40	36	32
L1=19.2 mm	S11(dB)	-12 @ 11.4 GHz	-14 @ 11.4 GHz	-24 @ 11.4 GHz
	Band Genişliği(GHz)	1.2	1.9	1.8
	Kazanç(dBi)	10.58 @ 11.4 GHz	12.39 @ 11.4 GHz	11.8 @ 11.4 GHz
	3 dB Hüzme Genişliği( <sup>0</sup> )	42	36	32

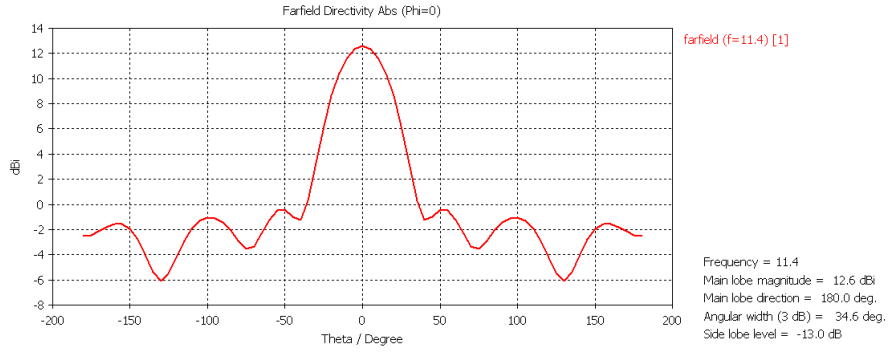
Optimizasyon değerleri ile muhtelif akademik yayınlardan edinilen bilgiler ışığında L1 değeri  $\lambda/2$  değerine yakındır. L2 değeri ise tamamen optimizasyon sonucunda elde edilen bir değerdir. En iyi anten değerlerini elde etmek için L1 değeri 17.9 milimetre, L2 değeri ise 3 milimetre seçilmiştir. Bu değerler için simülasyon sonucu aşağıda verilmektedir.



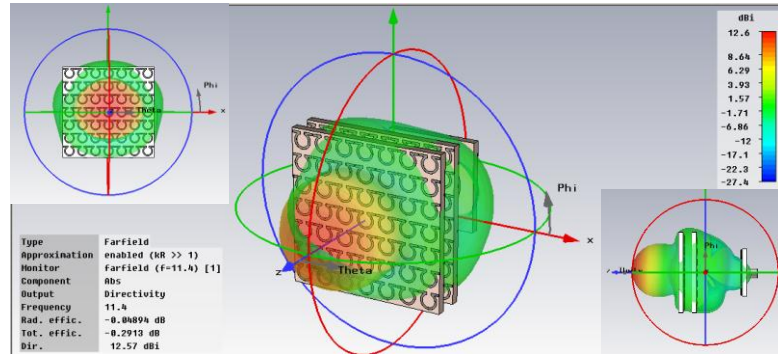
Şekil 4.23.Metamateryalli Anten için S Parametresi Sonucu.



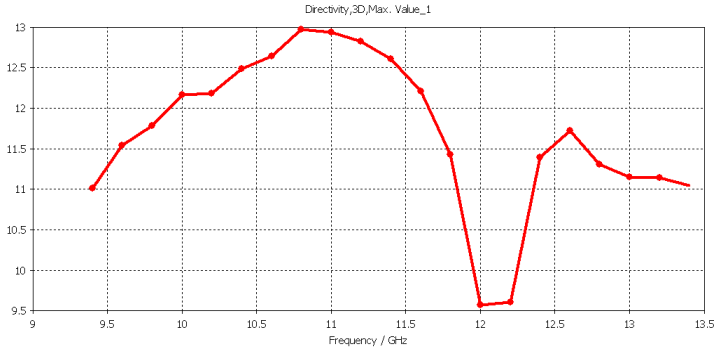
Şekil 4.24. Metamateryalli Anten için H Düzlem Sonucu.



Şekil 4.25. Metamateryalli Anten için E Düzlem Sonucu.



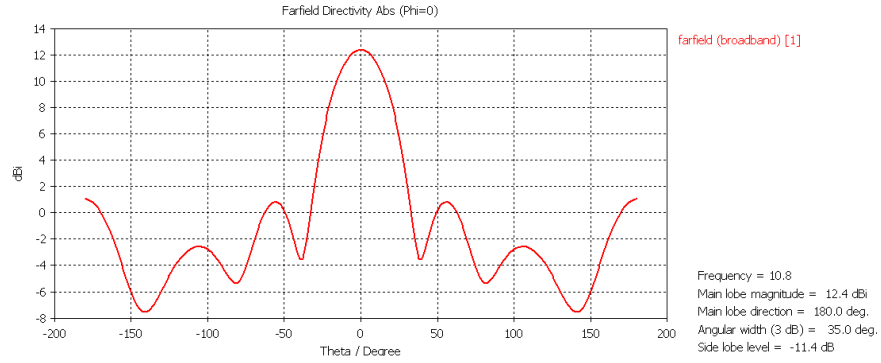
Şekil 4.26. Metamateryalli Anten için 3D Işıma Sonucu.



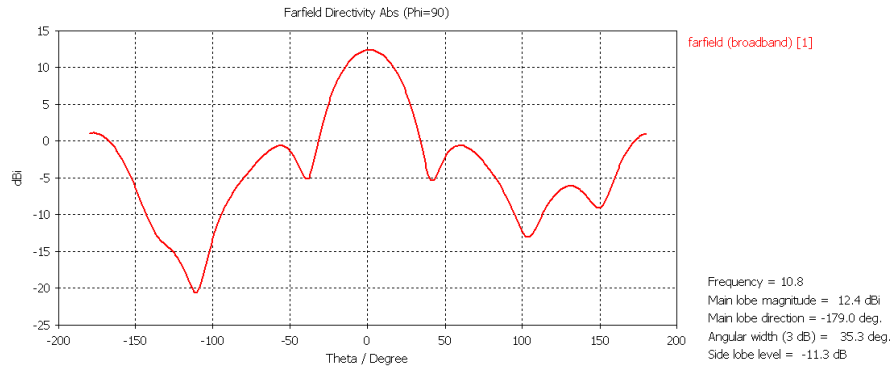
Şekil 4.27. Metamateryalli Anten için Yönlülük Sonucu.

Simülasyon sonuçlarından da görüleceği gibi kazanç 12.5 dBi civarındadır. Şekil 4.27'den görüleceği üzere 10.8 GHz frekans bandında en yüksek kazanç değeri

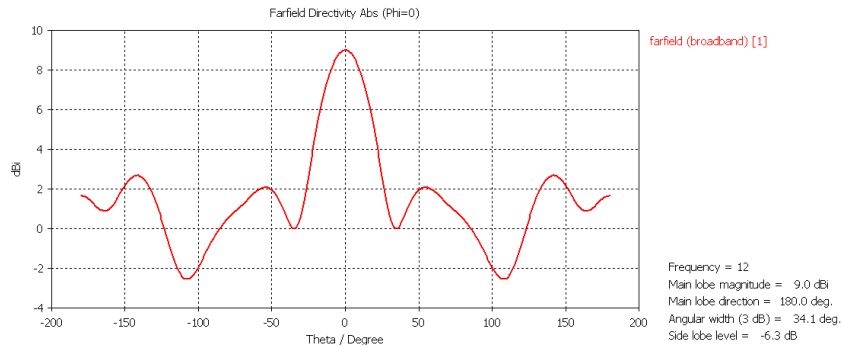
elde edilmiştir. Ayrıca çalışma frekansımız olan 11.4 GHz frekans bölgesinde ise en yüksek kazanç değerine yakın bir değer elde edildiği görülebilir. Merkez çalışma frekansımız olan 11.4 GHz frekansının yanında 10.8 GHz ve 12 GHz frekanslarında da E düzlem ve H düzlem ışınım simülasyon sonuçları gözlemlenmiştir.



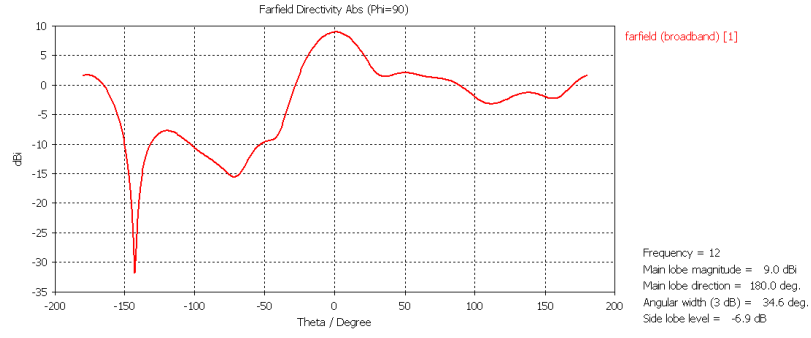
Şekil 4.28.10.8 GHz için E Düzlem Sonucu.



Şekil 4.29.10.8 GHz için H Düzlem Sonucu.



Şekil 4.30.12 GHz için E Düzlem Sonucu.



Şekil 4.31.12 GHz için H Düzlem Sonucu.

Bu üç frekans değeri için kazanç, E düzlem ve H düzlem simülasyon sonuçları tablolanmışdır.

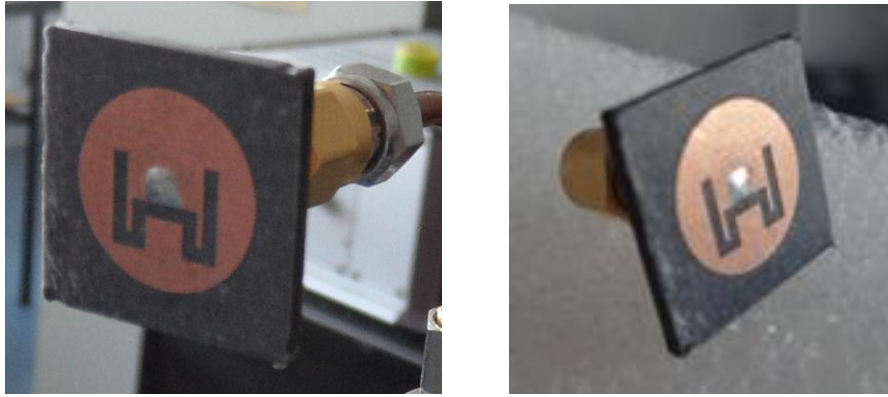
Çizelge 4.2.Farklı Frekans Değerleri için Simülasyon Sonuçları.

Parametre		10.8 GHz	11.4 GHz	12 GHz
Kazanç (dB)		12.8	12.5	9
E Düzlem	3 dB Hüzme Genişliği(°)	35°	34.4°	34.1°
H Düzlem	3 dB Hüzme Genişliği(°)	36.3°	34.4°	34.6°

## 5. ÖLÇÜM SONUÇLARI

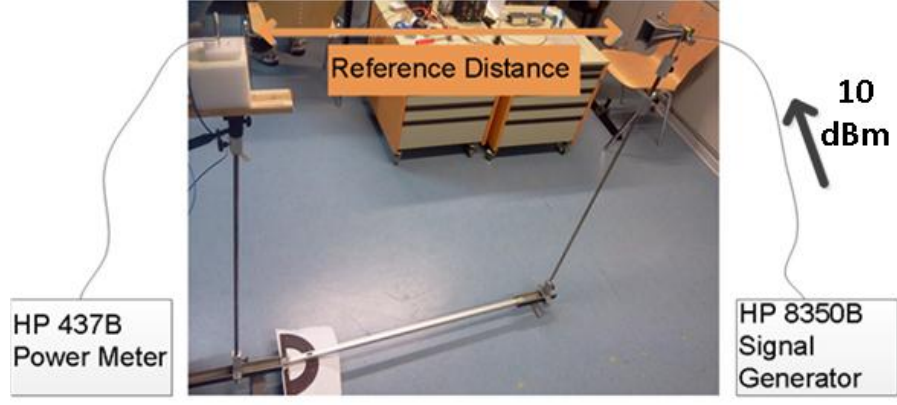
### 5.1. Açıklıklı Mikroşerit Anten Ölçüm Sonuçları

Anten ve metamateryal yapılarının simülasyon işlemlerinden sonra fabrikasyon ve ölçüm işlemlerine geçilmiştir. Farikasyon sürecinde LPKF proto S laser makinesi kullanılmıştır. Anten geometrisinin simülasyon ve fabrikasyon fotoğrafı Şekil 5.1'de görülebilir. Fabrikasyon işlemi sürecinde kullanılan malzeme Rogers RT 5880 ve bu malzemenin dielektrik katsayısı 2.2, tanjantsal kayıp sabiti ise 0.0009'dur. Ölçüm sonuçları simülasyon sonuçlarına yakın değerler çıkmış ve bu durum simülasyon yazılımı ile gerçek ortamdaki ölçümlerin örtüştüğünü göstermektedir.



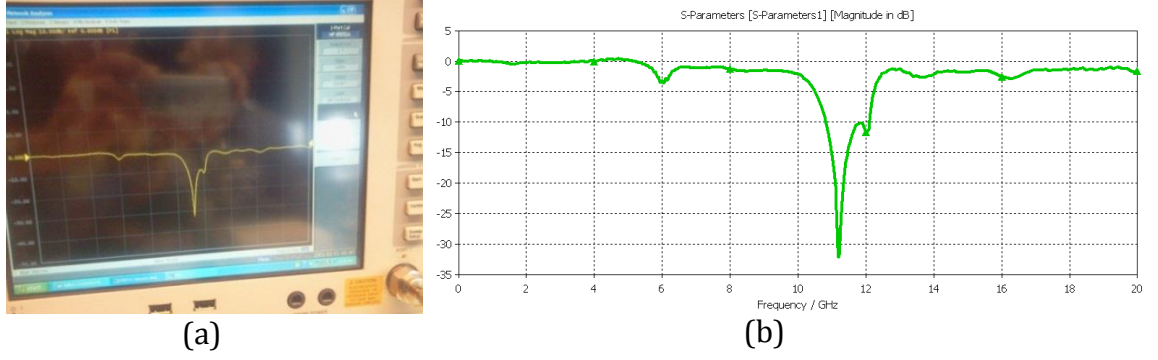
Şekil 5.1.Gerçeklenen Antenin Fotoğrafları.

Ölçüm işlemleri kassel üniversitesi mikrodalga departmanında gerçekleştirilmiştir. İşlemler sırasında HP 8350 B sinyal jeneratörü, HP 437B güç metresi, Agilent E5071C VNA ve referans horn anteni kullanılmıştır. Geri dönüşüm kaybı ( $S_{11}$ ) ölçümü için Agilent E5071C VNA cihazı, ışıma ölçümü içinse HP 437B güç metresi, HP 8350 B sinyal jeneratörü, referans horn anteni kullanılmıştır. Işıma ölçüm düzeneği Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2. Işıma Ölçüm Düzenegi.

Geri dönüş kaybı ( $S_{11}$ ) ölçüm sonuçları monitör fotoğrafı ve grafik olarak Şekil 5.3'te gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Anten Geri Dönüş Kaybı Monitör Fotoğrafi (a) Grafik Gösterimi (b).

Geri dönüş kaybı ( $S_{11}$ ) ölçüm sonucundan sonra anten ışımaya ölçümü için hazırlandı. İki anten arasında 1 metre mesafe konulup iki anten arasındaki Yol Kaybı ölçüldü. Yol Kaybı aşağıdaki denklem ile hesaplandı (Balanis,1997).

$$Yol\ Kaybı(dB) = 32.45 + 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{MHz}) \quad (4.1)$$

Yol Kaybı değeri hesaplandıktan sonra değer Friis denklemine konularak anten kazancı ölçüldü. Friis denklemi aşağıdaki gibidir (Balanis,1997).

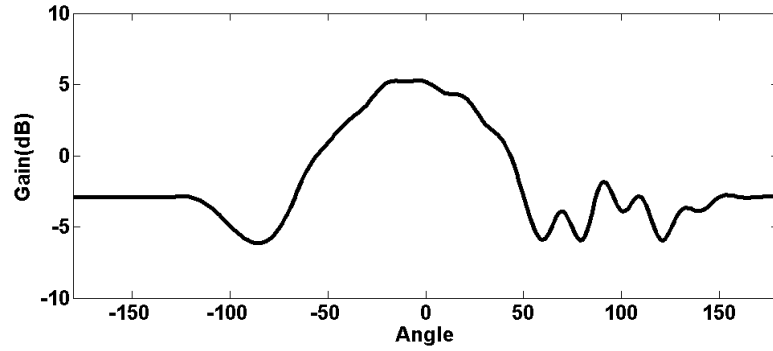
$$P_{RX} = P_{TX}(dB) + G_{TX}(dB) + G_{RX}(dB) - Path\ Loss(dB) \quad (4.2)$$

HP 8350B sinyal jeneratörü ve HP 437B güç metresi ışımaya ölçümü için kullanılmıştır. Cihazların fotoğrafları Şekil 5.4'te gösterilmektedir.

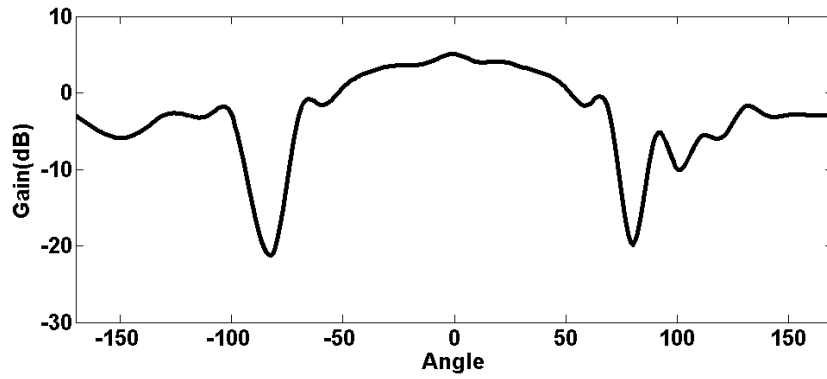


Şekil 5.4.HP 8350B sinyal jeneratörü ve HP 437B güç metresi Fotoğrafi.

Anten E düzlem ve H düzlem ölçüm sonuçları excel dokümanı olarak toplanmış ve matla programı kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçümde 10.8 GHz, 11.4 GHz ve 12 GHz frekansları göz önüne alınmıştır. 10.8 GHz için yapılan ölçüm Şekil 5.5-4.6'da gösterilmektedir.

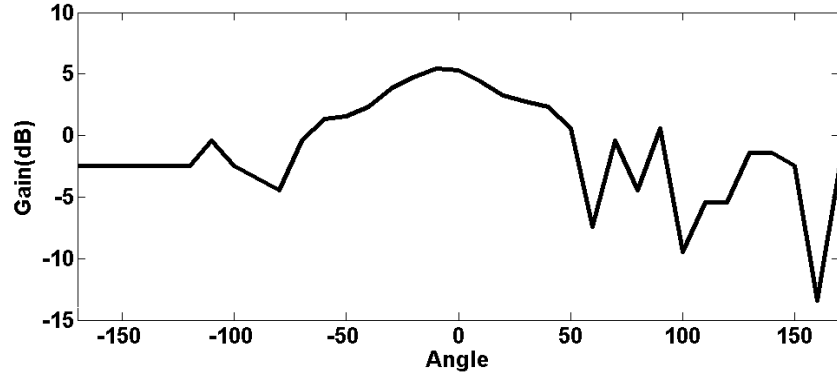


Şekil 5.5.10.8 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu

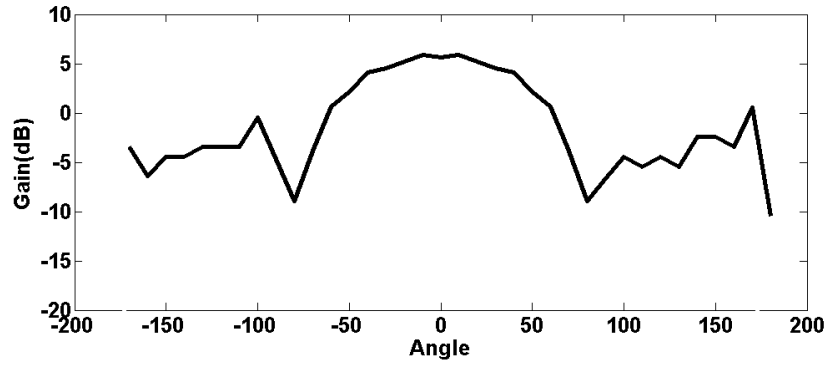


Şekil 5.6.10.8 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.

10.8 GHz için kazanç 6 dB olarak ölçülmüş, 3 dB hüzmegenişliği E düzlemi için  $72^\circ$  ve H düzlemi için  $80^\circ$  olarak ölçülmüştür. 11.4 GHz için E düzlem ve H düzlem ölçüm sonuçları Şekil 5.7-5.8'de gösterilmiştir.



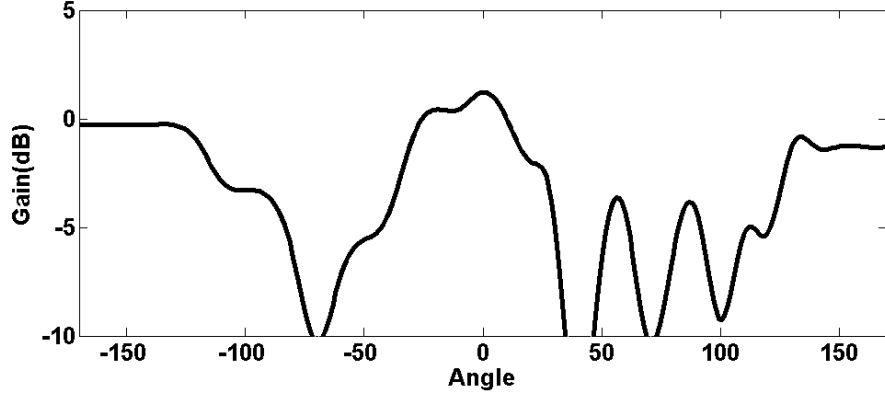
Şekil 5.7.11.4 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu.



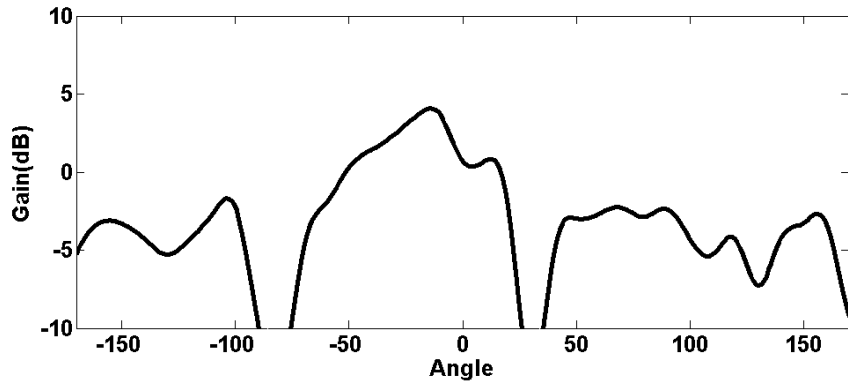
Şekil 5.8.11.4 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.

11.4 GHz için kazanç 5.8 dB ölçülmüş. 3 dB hüzmegenişliği E düzlemi için  $67^\circ$  ve H düzlemi için  $96^\circ$  olarak ölçülmüştür. Aynı ölçüm metodu 12 GHz içinde tekrarlanmış ölçüm grafikleri aşağıda gösterilmektedir.





Şekil 5.9.12 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu.



Şekil 5.10.12 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.

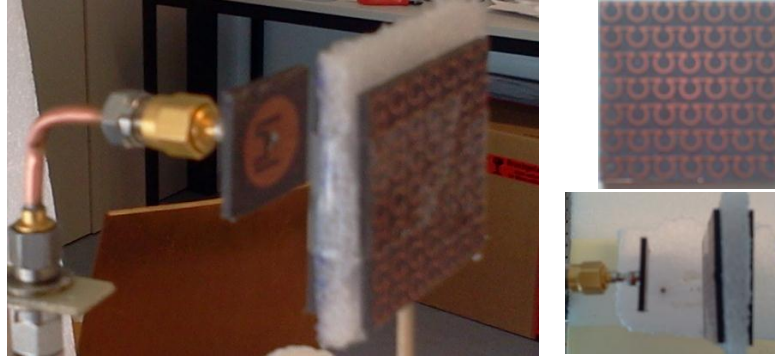
12 GHz için ölçüm sonuçları diğer frekanslar için alınan sonuçlara göre kötü olarak nitelendirilebilir. Yan lob ışınları H düzlemi için merkez lobdan daha güçlü olarak ortaya çıkmıştır. E düzlemi için 3 dB hüzmegenişliği  $54^{\circ}$  olarak ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçları listelenerek aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Çizelge 5.1. Işıma Parametresi Karşılaştırılması.

Parametre	10.8 GHz	11.4 GHz	12 GHz
Kazanç (dB)	6	5.51	4
E Düzlemi 3 dB Hüzmegenişliği( $^{\circ}$ )	72	67	54
H Düzlemi 3 dB Hüzmegenişliği( $^{\circ}$ )	80	96	43

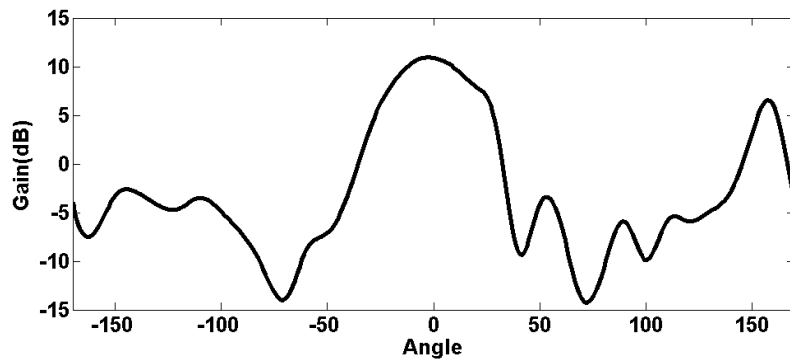
## 5.2. Metamateryal Ekli Açıklıklı Mikroşerit Anten Ölçüm Sonuçları

Anten yapısı metamateryal ekli olarak ölçülmüş ve ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarına yakın olup olmadığı değerlendirilmiştir. Metamateryal dizi yapısı için Rogers RT 5880 malzemesi kullanılmıştır. Metamateryal yapının ölçüleri simülasyon ile aynı ölçülere sahiptir. Metamateryal ekli anten yapısı Şekil 5.11 'de gösterilmektedir.

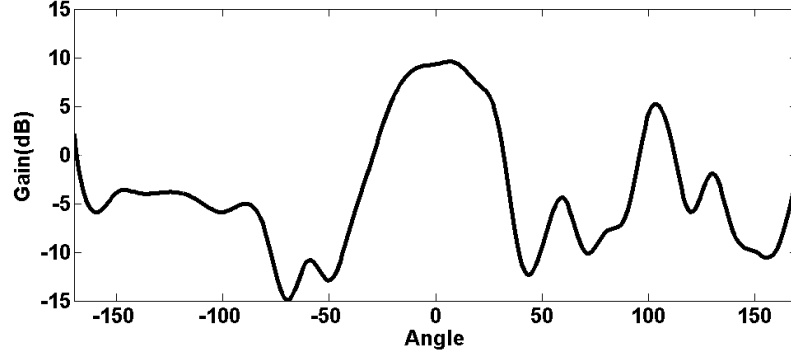


Şekil 5.11. Metamateryal Ekli Anten Yapısının Fotoğrafları.

Metamateryal ile anten yapısı arasındaki mesafe simülasyon optimizasyonlarından elde edilen değer olan 17 milimetre'ye sabitlenmiştir. İki metamateryal arasındaki fark ise yaklaşık olarak 5 milimetre olarak alınmıştır. Bu durum altında ölçümler 10.8 GHz, 11.4 GHz ve 12 GHz frekansları için alınmış, elde edilen değerler bir excel dökümanında toplanmış ve daha sonra da matlab programı yardımı ile grafikler oluşturulmuştur. İlk frekansımız olan 10.8 GHz için ölçüm sonuçları Şekil 5.12-5.13'te gösterilmektedir.

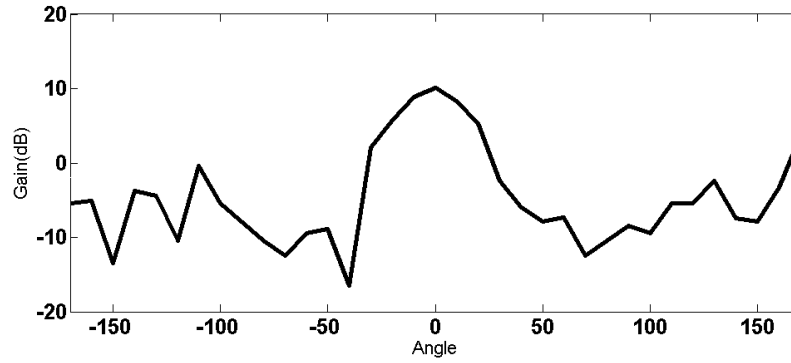


Şekil 5.12. 10.8 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu.

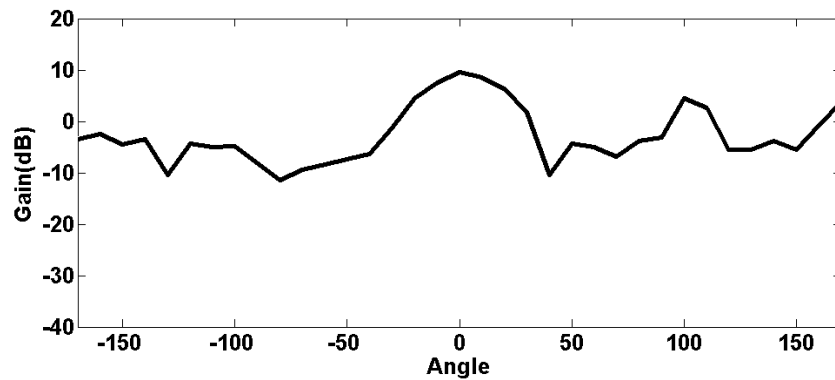


Şekil 5.13.10.8 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.

Bu sonuçlara göre 10.8 GHz için 3 dB hüzme genişliği E düzlemi için  $40^\circ$  H düzlemi içinse  $41^\circ$  olarak ölçülmüştür. Anten kazancı 10.9 dB civarındadır. İşlem 11.4 GHz frekansı içinde tekrarlanmış ve sonuçlar Şekil 5.14-5.15'te verilmektedir.

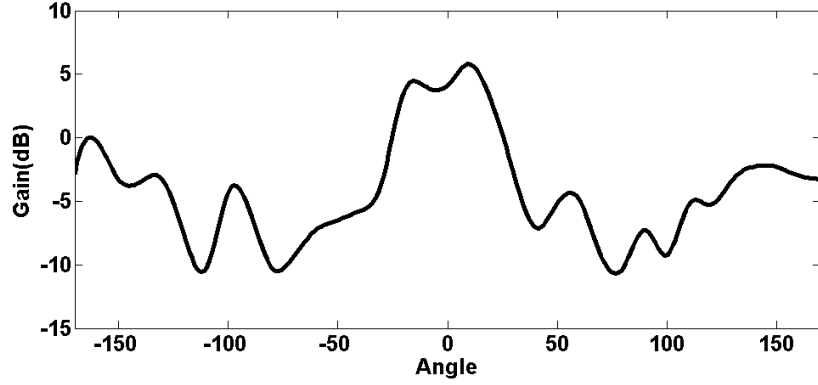


Şekil 5.14.11.4 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu.

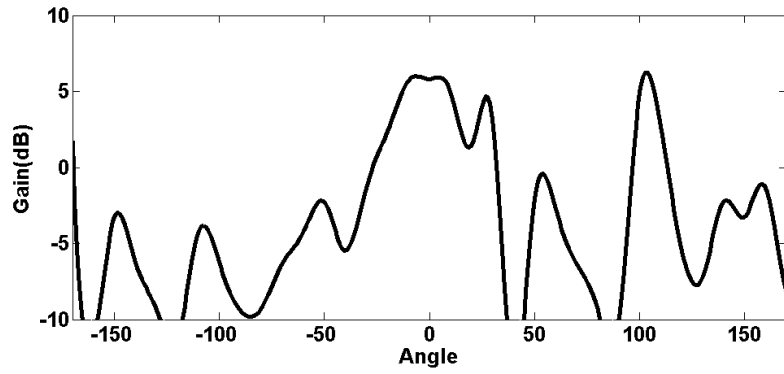


Şekil 5.15.11.4 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.

Sonuçlara göre 3 dB hüzme genişliği E düzlemi için 30° ve H düzlemi içinse 32° olarak ölçülmüştür. Anten kazancı 10.1 dB civarındadır. Şekil 5.16-5.17'de 12 GHz için E düzlem ve H düzlem ölçüm sonuçları sunulmaktadır.



Şekil 5.16.12 GHz için E Düzlem Ölçüm Sonucu.



Şekil 5.17.12 GHz için H Düzlem Ölçüm Sonucu.

12 GHz için ölçüm sonuçlarına bakıldığında E düzlemi için 5.82 dB kazanç elde edilmiştir. 3 dB hüzme genişliği 40° olarak ölçülmüştür. Ölçüm alınan üç frekans değeri için elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Metamateryal Eklili Anten Sistemi için Ölçüm Sonuçları.

Parameter	10.8 GHz	11.4 GHz	12 GHz	
Gain (dB)	10.9	10.14	5.82	
E Plane	3 dB Beamwidth(°)	40°	30°	40°
H Plane	3 dB Beamwidth(°)	41°	32°	----

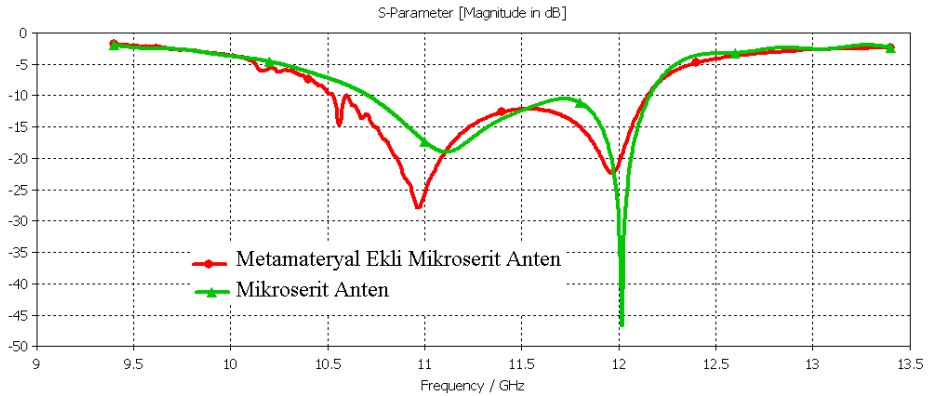
## 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 6.1. Giriş

Bölüm 2,3 ve 4'te sunulan simülasyon ve ölçüm sonuçları bu bölümde birbirleri ile karşılaştırılarak metamateriyal yapının anten üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu bölümde simülasyon ile ölçüm sonuçları da karşılaştırılarak simülasyon ortamından gerçek ortama geçen yapılar için bu iki durum arasındaki uyum da gösterilmektedir.

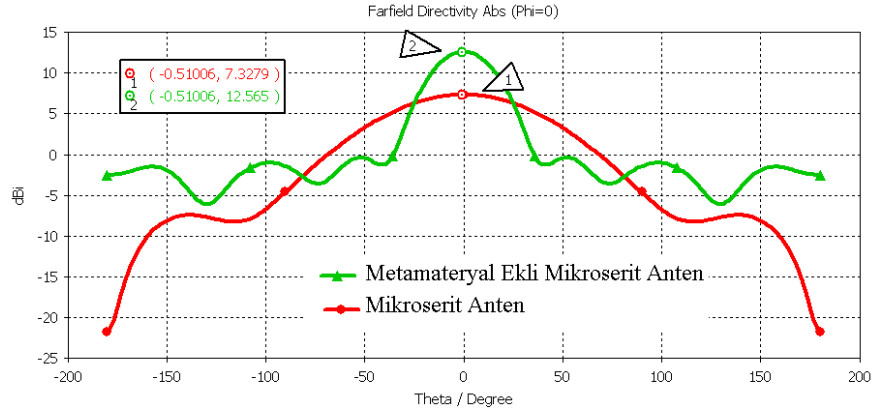
### 6.2. Anten ve Metamateryal Ekli Anten Yapısı için Simülasyon Sonucu Karşılaştırılması

Bu bölümde anten simülasyon sonucu ile metamateriyal ekli anten yapısının simülasyon sonucu karşılaştırılmıştır. İlk grafikte geri dönüş kaybı simülasyon grafikleri karşılaştırılmıştır. Anten yapısının düzgün olarak çalışabilmesi için -10 dB'nin altında olması lazımdır. Aynı zamanda kazanç faktörü de anten yapısı için önemli bir faktördür. Şekil 6.1'de anten ve metamateriyal ekli anten yapısı için simülasyon sonuçları karşılaştırılması yapılmıştır.

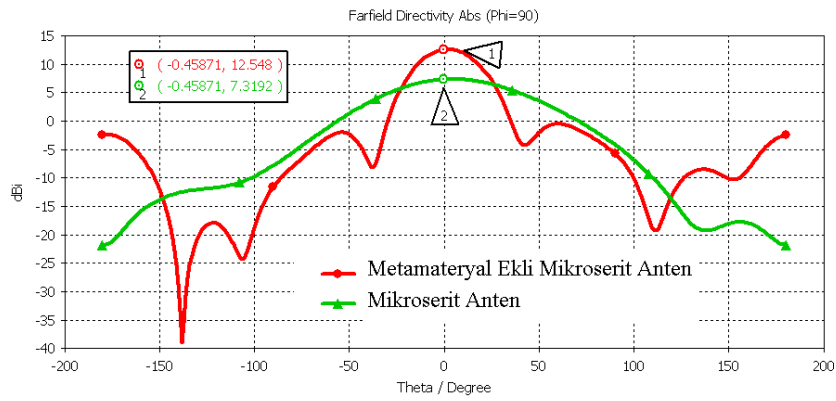


Şekil 6.1.Geri Dönüş Kaybı ( $S_{11}$ ) Simülasyon Sonucu Karşılaştırılması.

Simülasyon sonucuna göre mikroserit antenin 1.45 GHz olan bant genişliği metamateriyal eklenmesi ile 1.65 GHz'e çıkmıştır. Ayrıca E düzlem ve H düzlem ışımaya grafikleri Şekil 6.2-5.3'te verilmektedir.



Şekil 6.2.E Düzlem Simülasyon Sonucu Karşılaştırılması.



Şekil 6.3.H Düzlem Simülasyon Karşılaştırılması.

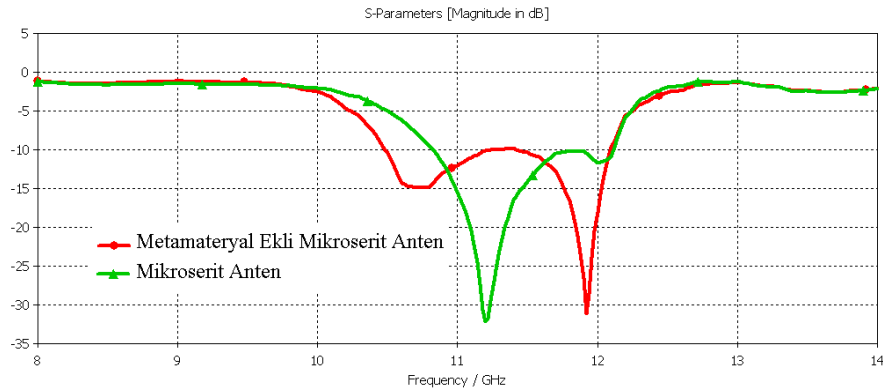
E düzlem ve H düzlem simülasyon grafikleri karşılaştırılmasında görüldüğü üzere metamaterial eklenmesi anten kazancını simülasyon ortamında yaklaşık olarak 5 dB arttırmaktadır. 3 dB hüzmeye genişliği ise E düzlem için 85.9°'den 35°'ye daralmış, H düzlem için ise 77.3°'den 34.4°'ye daralmıştır. Simülasyon sonuçları gösteriyor ki metamaterialin eklenmesi anten bantgenişliği ve kazanç parametrelerinin artırılmasını sağlamaktadır. Anten parametreleri ve simülasyon ortamındaki bu parametre sonuçları Çizelge 6.1'de listelenmiştir.

Çizelge 6.1. Anten ve Metamaterial Ekli Anten Parametrelerinin Karşılaştırılması.

Anten Parametreleri (11.4 GHz)	Anten	Anten ve Metamaterial
Geri Dönüş Kaybı, $S_{11}$ (dB)	-13	-15
Bantgenişliği (GHz)	1.45	1.66
Kazanç (dBi)	7.57	12.5
3 dB Hüzmeye Genişliği	E Düzlem ( $^{\circ}$ )	34.4 $^{\circ}$
	H Düzlem ( $^{\circ}$ )	34.4 $^{\circ}$

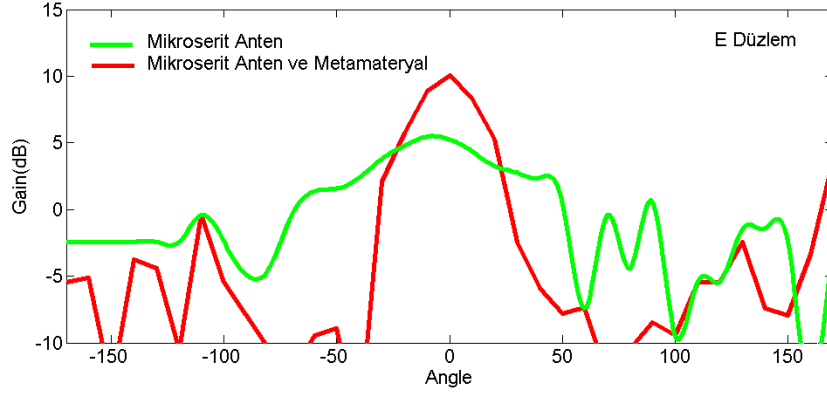
### 6.3. Anten ve Metamateryal Ekli Anten Yapısı için Ölçüm Sonucu Karşılaştırılması

Her ne kadar simülasyon ortamında elde edilen değerler iyi olsa da aynı durum tasarım gerçekleştirildiğinde elde edilemeyebilir. Bir tasarımın simülasyon ortamından gerçek ortama aktarılmasında bazı etkenler daha karışık olabilmektedir. Simülasyon ortamında tanımlanan materyal özellikleri ve simülasyon uzayı optimum koşullar altında tanımlanmıştır. Halbuki gerçek bir ortamda bulunan farklı frekanstaki sinyaller malzemenin üretiminden kaynaklanan etmenler anten parametresi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Şekil 6.4'de mikroserit anten ve metamateryal ekli mikroserit anten yapılarının ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

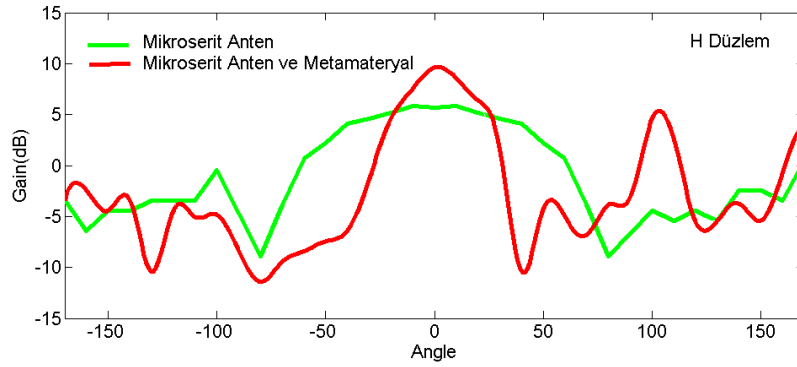


Şekil 6.4.Geri Dönü Kaybı ( $S_{11}$ ) Ölçüm Karşılaştırılması.

Ölçüm karşılaştırılması sonucu metamateryal eklenmesi antenin bant genişliğini 350 MHz arttırmıştır. Bu durum simülasyon ile elde edilen sonuçların ölçüm ile kanıtlandığını göstermektedir. Ayrıca E düzlem ve H düzlem için alınan ölçüm sonuçları Şekil 6.5-5.6'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.5.E Düzlem Işıması Ölçüm Karşılaştırılması.



Şekil 6.6.H Düzlem Işıması Ölçüm Karşılaştırılması.

Grafiklerde de görüleceği üzere metamateriyalin eklenmesi ışıma kazancını arttırmış ve hüzme genişliğinde daraltmıştır. Mikroşerit anten ve metamateriyal ekli mikroşerit anten yapısının ölçüm parametreleri sonuçları çizelge 9'da gösterilmektedir.

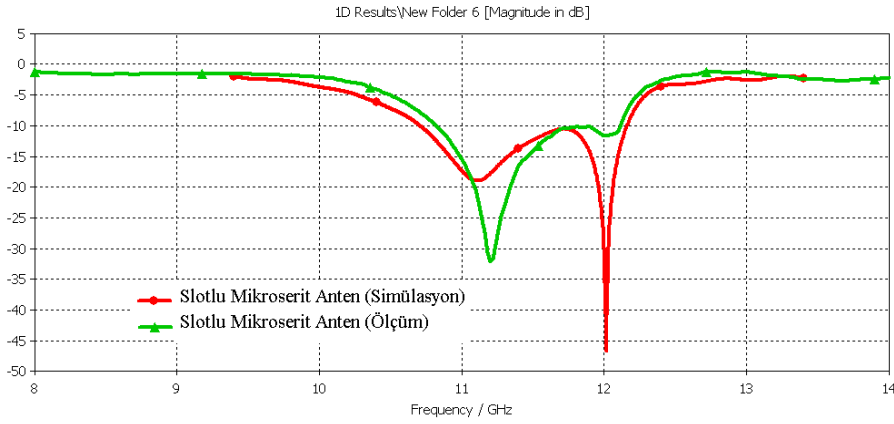
Çizelge 6.2.Anten ve Metamateryal Ekli Anten Parametrelerinin Karşılaştırılması.

Antenna Parameter for 11.4 GHz	Single Antenna	Antenna with Metamaterial
	11.4 GHz	11.4 GHz
Return Loss, $S_{11}$ (dB)	-16	-10
Bandwidth(GHz)	1.45	1.65
Directivity (dBi)	5.51	10.14
3 dB Beamwidth	E Plane (°)	30°
	H Plane(°)	32°



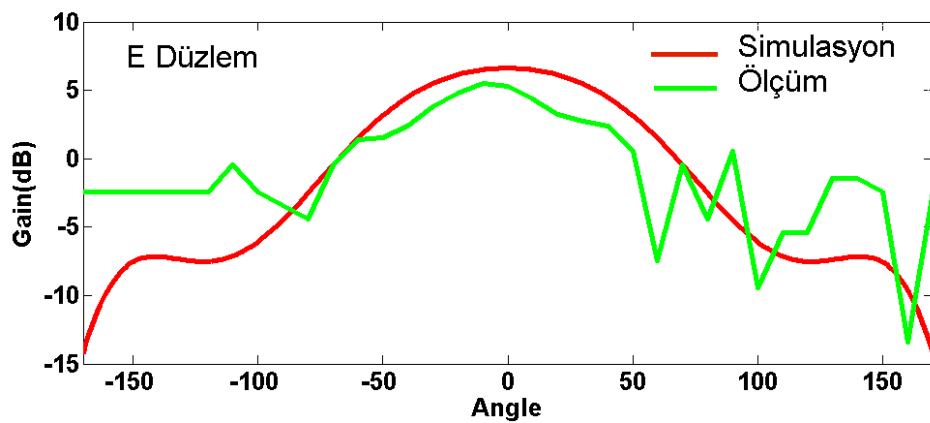
#### 6.4. Anten ve Metamateryal Ekli Anten Yapısı için Ölçüm ve Simülasyon Sonucu Karşılaştırılması

Simülasyon ve ölçüm sonuçlarının birbirine karşı uyumu bir diğer önemli faktördür. Bu kilit faktörden dolayı bu bölümde simülasyon ve ölçüm parametreleri karşılaştırılmıştır. Açıklıklı mikroşerit anten için geri dönüş kaybı ( $S_{11}$ ) karşılaştırılması Şekil 6.7’de gösterilmektedir.

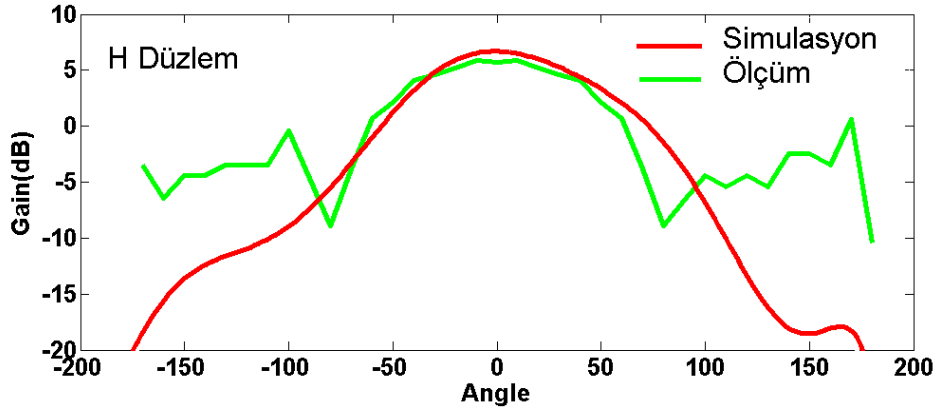


Şekil 6.7. Anten için Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması.

Şekil 6.7’den de görüldüğü üzere simülasyon ve ölçüm grafikleri birbirine çok yakındır. E düzlem ve H düzlem ışıma grafiği Şekil 6.8-5.9’da sunulmaktadır.

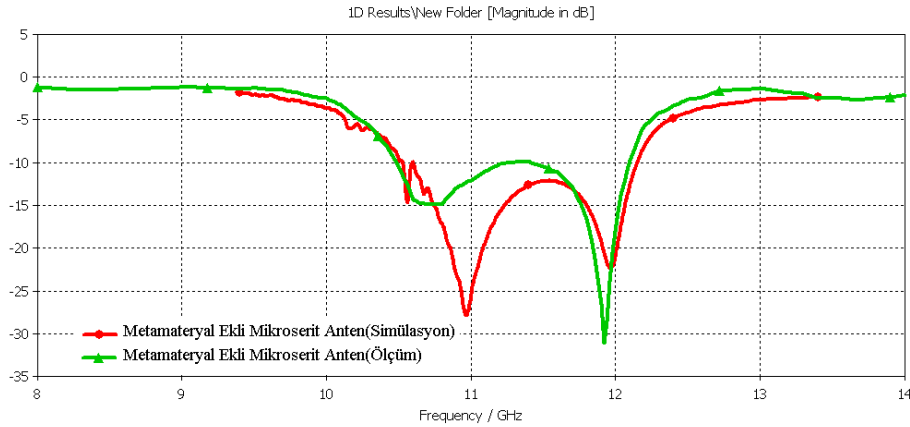


Şekil 6.8.E düzlem Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması.



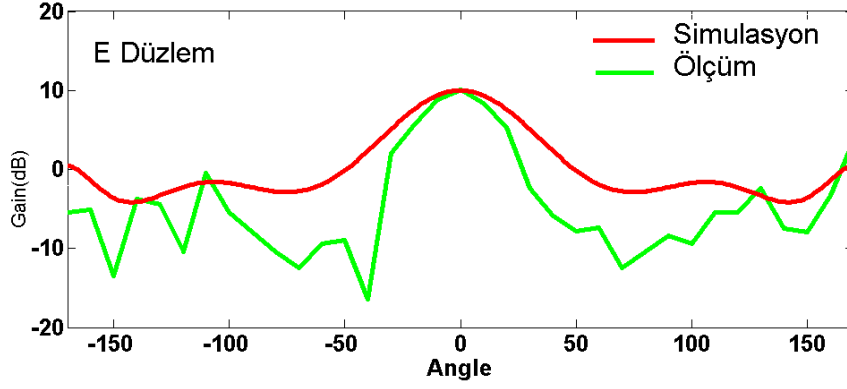
Şekil 6.9.H Düzlem Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması.

Açıklıklı mikroşerit anten için simülasyon ve ölçüm karşılaştırılmasında 1.1 dB'lik bir fark gözlenmektedir. Simülasyon sonucu ölçüm sonucuna göre 1.1 dB daha yüksektir. Simülasyon sonucunda elde edilen 3 dB hüzmegenişliği  $85.9^\circ$  iken ölçüm sonucu  $67^\circ$  olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde H düzlemi için 3 dB hüzmegenişliği simülasyon sonucu olarak  $77.3^\circ$  elde edilirken ölçümde  $96^\circ$  olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde metamateriyal ekli mikroşerit anten için geri dönüş kaybı, E düzlem ve H düzlem ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Geri dönüş kaybı karşılaştırılması Şekil 6.10'da gösterilmektedir.

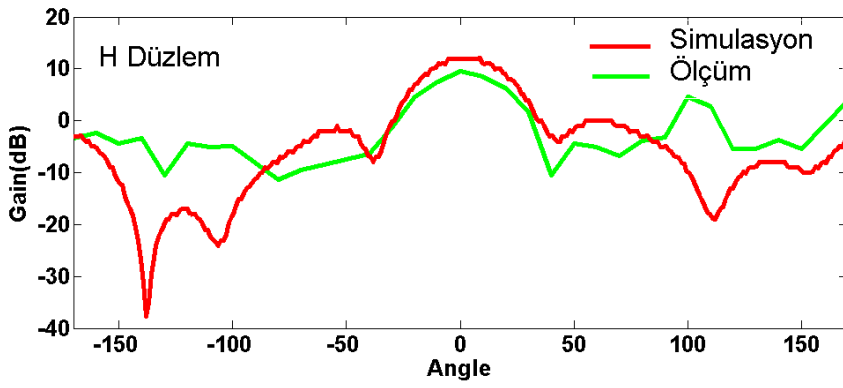


Şekil 6.10.Metamateryal ve Anten için Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması

E düzlem ve H düzlem karşılaştırılması Şekil 6.11-6.12'de sunulmuştur.



Şekil 6.11.E düzlem Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması.



Şekil 6.12.H düzlem Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırılması.

Yukarıda gösterilen grafiklerde kazanç yaklaşık olarak 10.14 dB olarak gözlenmektedir. 3 dB hüzmegenişi E düzlem simülasyon sonucu  $35^\circ$  ve ölçüm sonucu  $30^\circ$  olarak elde edilmiş, H düzlem için simülasyon sonucu  $34^\circ$  ve ölçüm sonucu  $32^\circ$  elde edilmiştir. Metamateryal ekli ve eksiz olarak açıklıklı mikroşerit anten yapımız için simülasyon ve ölçüm sonuçları Çizelge 6.3'te listelenmiştir.

Çizelge 6.3. Simülasyon ve Ölçüm Karşılaştırması Sonuçları

Anten Parametreleri		SIMÜLASYON		ÖLÇÜM	
		Anten	Metamateryal Ekli Anten	Anten	Metamateryal Ekli Anten
Geri Dönüş Kaybı, $S_{11}$ (dB)		-13	-15	-16	-10
Bantgenişi (GHz)		1.5	1.66	1.3	1.65
Kazanç (dBi)		7.57	12.5	5.51	10.14
3 dB Hüzmegenişi	E Plane ( $^\circ$ )	81.9 $^\circ$	34.4 $^\circ$	67 $^\circ$	30 $^\circ$
	H Plane ( $^\circ$ )	76.3 $^\circ$	34.4 $^\circ$	96 $^\circ$	32 $^\circ$

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile sifıra yakın kırılma indisli metamateryal, açıklıklı mikroşerit antene entegre edilerek anten parametrelerinde iyileşmeler elde edilmiştir. Ayrıca genel olarak dar bantgenişliğine sahip mikroşerit anten yapımız açıklık tekniği kullanılarak bantgenişliği arttırıldı. Problemin tanımı ve bu problemin çözümüne nasıl yaklaşılabacağı birinci bölümde tartışıldı.

Metamateryal yapı için omega şekilli rezonatör seçildi. 3 boyutlu simülatör kullanılarak elde edilen S parametresi ile  $\epsilon$  ve  $\mu$  analiz edildi. Teorik çalışmalar ile sıfır kırılma indisine yakın olduğu gösterildi. Simülasyon ortamındaki yapının fabrikasyonu yapılarak ölçümleri alındı.

Ölçüm sonuçları doğrultusunda simülatör ortamı ile ölçüm ortamının birbirine uygun olduğu görüldü. Anten yapısının metamateryal ekli ve eksiz durumları simülasyon ve ölçüm sonuçları ile gösterildi. Sonuç olarak metamateryal gibi yeni bir teknolojinin anten parametresi iyileştirilmesinde uygun bir teknoloji olduğu simülasyon ve ölçüm ortamlarında ispatlanmış oldu.

## KAYNAKLAR

- Al`u, A., M. G. Silveirinha, A. Salandrino, and N. Engheta, 2007. Epsilon-near-zero metamaterials and electromagnetic sources. Tailoring the radiation phase pattern, *Phys. Rev. B*, 75, 155410.
- Alu, A., Bilottu, F., Nader, E. and Vegni, L., 2006. Metamaterial Covers Over a Small Aperture. *IEEE Transcation on Antennas and Propagation*, 54(6), 632-1643.
- Ansari J.A. and Ram R.B., 2008. Analysis of Broadband U-Slotted Microstrip Patch Antenna. *Microwave & Optical Technology Letters*, 50(4), 1069-1073.
- Ansari J.A., Singh P. and Dubey S.K., 2008. H-Shaped Stacked Patch Antenna for Dual-band Operation. *Progress in Electromagnetic Research B*, 5, 291-302.
- Balanis C.A., 1997. *Antenna theory analysis and design*. 3rd ed., Wiley, New York, 14,811-883
- C. Caloz and T. Itoh, 2006. *Electromagnetic Metamaterials. Transmission Line Theory and Microwave Applications*, John Wiley & Sons and IEEE Press, Hoboken, New Jersey,3,59-133.
- Chen X., Grzegorzczuk T.M., Wu B.-I., Pacheco J., and Kong J.A., 2004. Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials, *Physical Review E*,1-7.
- Enoch, S., G. Tayeb, P. Sabouroux, and P. Vincont, 2002. A metamaterial for directive emission, *Phys. Rev. Lett.*, 89, 213902.
- Grzegorz L., 2009. *Simulation of Electromagnetic Fields in Double Negative Metamaterials*, Technical University of Darmstadt.
- John Volakis, 2007, "Antenna Engineering Handbook", McGraw-Hill Professional, 16.
- Kumar G. and Gupta K. C. 1984. Broadband Microstrip Antennas using Additional Resonators Gap Coupled to the Radiating Edges. *IEEE. Trans. Antennas Propagation*, 32(12), 1375-1379.
- Landy, N. I., S. Sajuyigbe, J. J. Mock, D. R. Smith, and W. J. Padilla, 2008. A perfect metamaterial absorber," *Phys. Rev. Lett.*, 100, 207402.
- Lovat, G., P. Burghignoli, F. Capolino, D. R. Jackson, and D. R. Wilton, 2006. Analysis of directive radiation from a line source in a metamaterial slab with low permittivity," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 54, 1017-1030. 50

- Ma, H., S. Qu, Z. Xu, and J. Wang, 2008. Approximation approach of designing practical cloaks with arbitrary shapes, *Opt. Express*, 16, 15449–15454.
- Ma, H., S. Qu, Z. Xu, and J. Wang, The open cloak, 2009. *Appl. Phys. Lett.*, 94, 103501.
- Markos P. and Soukoulis C.M., 2003. Transmission properties and effective electromagnetic parameters of double negative metamaterials”. *Optics Express*, 11(7),649–661.
- N. Engheta and R. W. Ziolkowski, 2006. *Metamaterials. Physics and Engineering Explorations*, John Wiley & Sons and IEEE Press, Hoboken, NJ.
- Nicolson A.M. and Ross G.F., 1970 Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 19(4).377–382.
- Ozbay, E., Aydin, K., Cubukcu, E. and Bayindir, M., 2003. Transmission And Reflection Properties Of Composite Double Negative Metamaterials In Free Space. *IEEE Transactions on Antennas And Propagation*. 51(10), 2592-259.
- Pendry, J. B., 2000. Negative refraction makes a perfect lens, *Phys. Rev. Lett.*, 85 , 3966–3969.
- S. S. Sharma and B. R. Vishvakarma, 2005. Analysis of slot loaded rectangular microstrip patch antenna”, *Indian J. Radio Space Phys.* 34, 424-430.
- Schurig, D., J. J. Mock, B. J. Justice, S. A. Cummer, J. B. Pendry, A. F. Starr, and D. R. Smith, 2006. Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies, *Science*, 314, 977–979.
- Shivnarayan and B. R. Vishvakarma, 2006. Analysis of inclined slot loaded patch for dualband operation. *Microwave and Opti. Techno. Lett.*, 48. 2436-2441.
- Smith D.R, Schultz S., Markos P., and Soukoulis C.M. 2002. Determination of effective permittivity and permeability of metamaterials from reflection and transmission coefficients. *Physical Review B*, 65.195104(1–5).
- Smith, D. R., W. J. Padilla, D. C. Vier, S. C. Nemat-Nasser, and S. Schultz, 2000 Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity, *Phys. Rev. Lett.*, 84, 4184– 4187.
- Suria B. H., 2007, *Antenna With Metamaterial Design*. Universiti Teknologi Malaysia.

- U X. Chen, T.M. Grzegorzcyk, B.-I. Wu, J. Pacheco Jr., and J.A. Kong , 2004. Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials, *Physical Review*, 70.
- Veselago, V. G., 1968. The electrodynamics of substances with simultaneously negative electrical and magnetic permeabilities,” *Sov. Phys. Usp.*, 10, 09 517.
- Wang, J., S. Qu, Z. Xu, Z. Fu, H. Ma, Y. Yang, X. Wu, and M. Hao, 2009. Three dimensional metamaterial microwave absorber composed of coplanar magnetic and electric resonators, *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 7, 15–24..
- Wu, B.-I., W. Wang, J. Pacheco, X. Chen, T. Grzegorzcyk, and J. A. Kong, 2005. A study of using metamaterials as antenna substrate to enhance gain” *Progress In Electromagnetics Research, PIER*, 51, 295–328.
- Wu, Q., P. Pan, F. Y. Meng, L.-W. Li, and J. Wu, 2007. A novel flat lens horn antenna designed based on zero refraction principle of metamaterials, *Appl. Phys. A*, 87, 151–156.
- Yuan, Y., L. Shen, L. Ran, T. Jiang, and J. Huangfu, 2008. Directive emission based on anisotropic metamaterials, *Phys. Rev. A*, 77, 053821.
- Zhou, H., Z. Pei, S. Qu, et al., 2009. A planar zero-index metamaterial for directive emission, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 23(7), 953–962.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Ahmet MALİ  
Doğum Yeri ve Yılı : Tarsus, 1986  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca  
E-posta :ahmet783@gmail.com



## Eğitim Durumu

Lise : Cengiz Topel Lisesi, 2003  
Lisans : SDÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği  
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

## Yayımları

Mali,A.,Kaya,A., Kaya,İ, 2011. Haberleşme Sistemleri için 2.4 GHz ISM Bandında RF Alıcı-Verici Cihaz Tasarımı" 4. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu p307-309, ANKARA.  
Mali,A, Kaya A., Kaya,İ, 2011. ISM Bandında Sayısal Kablosuz Haberleşme için 2.4 GHz Alıcı Verici Ön Uç Modül Tasarımı. IEEE 19. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, ANTALYA.  
Mali A., Hadi R., Khan M.M., Sandhagen C., Bangert A., 2013. Enhancement of X Band Planar Antenna Parameters with Zero Index Metamaterial. International Workshop on Antenna Technology, Karlsruhe, GERMANY, IWAT.