



HAVA HARP OKULU KOMUTANLIĞI



HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖRÜNMEZLİK TEKNOLOJİSİ İÇİN SAĞ TARAFLI VE SOL TARAFLI MALZEMELERDEN OLUŞAN ELEKTROMAGNETİK SOĞURUCULARIN PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE TASARIMI

**Onur BOZKURT
HAVA MUHABERE ÜSTEĞMEN**

YEŞİLYURT - İSTANBUL

HAZİRAN – 2010

HAVA HARP OKULU
HAVACILIK ve UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÖRÜNMEZLİK TEKNOLOJİSİ İÇİN SAĞ TARAFLI VE SOL
TARAFLI MALZEMELERDEN OLUŞAN ELEKTROMAGNETİK
SOĞURUCULARIN PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE
TASARIMI**

Onur BOZKURT
Hava Muhabere Üsteğmen

ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSTANBUL
Haziran 2010

Her Hakkı Saklıdır.

Prof. Dr. Tayfun GÜNEL danışmanlığında Hv. Mu. Ütğm. Onur BOZKURT tarafından hazırlanan bu çalışma 24/ 06 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Tayfun GÜNEL

İmza :



Üye : Prof. Dr. Fuat İNCE

İmza :



Üye : Prof. Dr. Hakan TEMELTAŞ

İmza :



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hv. Müh. Yb. Aydemir ARISOY

İmza :



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hv. Müh. Bnb. Ersin GÖSE

İmza :



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Yrd. Doç. Dr. Sefer KURNAZ
Hava Mühendis Albay
Enstitü Müdürü

YAZARIN NOTU

Bu tez çalışmasında belirtilen görüş ve yorumlar yazara aittir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ya da diğer kamu kuruluşlarının görüşlerini yansıtmaz. Ayrıca bu tez çalışması bilimsel ahlak ve etik değerlere uygun olarak yazılmış olup yararlanılan tüm eserler kaynaklarda gösterilmiştir.

Öğrencinin İmzası :



Adı Soyadı : Onur BOZKURT

Tarih : 24.06.2010

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÖRÜNMEZLİK TEKNOLOJİSİ İÇİN SAĞ TARAFLI VE SOL TARAFLI MALZEMELERDEN OLUŞAN ELEKTROMAGNETİK SOĞURUCULARIN PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE TASARIMI

Onur BOZKURT
Hv. Mu.Ütğm.

Hava Harp Okulu
Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tayfun GÜNEL

Bu çalışmada sağ taraflı ($\epsilon > 0, \mu > 0$) ve sol taraflı ($\epsilon < 0, \mu < 0$) malzemeler ile ESY (Elektromagnetik Soğurucu Yapılar) tasarlanmıştır. Bu yapılar ile 8 GHz ile 12 GHz frekans bandı aralığında gelen radar sinyallerine karşı, hedeflerin yansıtma katsayısı değerinin küçültülerek radarlar tarafından tespit edilmesinin zorlaştırılması amaçlanmıştır. Yansıma katsayısını minimum yapan ve katman sayıları 1 ile 15 arasında değişen soğurucuların tasarımı için kalınlıkları 0.01 mm ile 2 mm arasında değişen çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Tasarlanan soğurucular için paralel polarizasyon ve yatay polarizasyon durumu ile radar işaretinin geliş açısı ve frekans değeri de dikkate alınarak oluşturulan farklı hata fonksiyonlarının optimizasyonu ile elde edilen sonuçlar verilmiş ve karşılaştırılmıştır. Düşük değerlerde yansıma katsayısına sahip ince yapılar elde etmek amacıyla evrensel optimizasyon çeşitlerinden PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) kullanılmıştır. Bu amaçla MATLAB programı ile kullanıcı ara yüzüne sahip bir yazılım geliştirilmiştir.

2010, 139 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Sol taraflı malzemeler, Sağ taraflı malzemeler, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Elektromagnetik soğurucu yapılar.

ABSTRACT

Msc. Thesis

DESIGN OF ELECTROMAGNETIC ABSORBERS WITH RIGHT-HANDED AND LEFT-HANDED MATERIALS USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR STEALTH TECHNOLOGY

Onur BOZKURT
Hv.Mu.Ütğm.

Air Force Academy
Aeronautics and Space Technologies Institutes

Supervisor: Prof. Dr. Tayfun GÜNEL

In this study, ‘Electromagnetic Absorbing Structures’ have been designed using right-handed ($\epsilon > 0, \mu > 0$) and left-handed ($\epsilon < 0, \mu < 0$) materials. The aim of designing these structures is decrease target’s radar detectability within the range of 8 GHz and 12 GHz by minimizing its reflection coefficient. Various materials with thicknesses ranging between 0.01 mm and 2 mm are considered for the design of the absorbers whose layer number is varying between 1 and 15. Results obtained by optimizing the error functions formed by taking into account of polarization (perpendicular and parallel) frequency and angle of incidence are presented and compared. Among evolutionary optimization techniques, ‘Particle Swarm Optimization (PSO)’ has been used in order to obtain thin structures with low reflection coefficients. To do so, a computer program including a user interface has been developed by MATLAB software.

2010, 139 pages

Key Words: Left-handed materials, Right-handed materials, Particle Swarm Optimization, Electromagnetic absorbing structures.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüz elektronik teknolojisi hayatın her alanında yerini almış ve harp sahasında da elektronik cihazların kullanımı kaçınılmaz olmuştur. Hatta bu sebeple elektronik harp birimleri kurulmuştur. Harp sahasında karşı kuvvetlere üstünlük sağlamak amacıyla özellikle hava unsurlarının radar cihazlarında tespitine karşı çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisi de radar sinyallerini soğurucu yapılardır.

Teknolojinin ilerlemesiyle ülke savunması da dış tehditlere karşı önemini arttırarak yenilenmektedir. Her geçen gün kaydedilen ilerlemelere karşı da ülkeler savunma alanında çalışmalar yapmaktadır.

Bu bağlamda harp sahasında milli sistemlerin üretilmesi ve kullanılması önem kazanmış ve yapılan çalışmalar arttırılmıştır.

Bu çalışmada parçacık sürü optimizasyonu yardımıyla, radar sinyallerinin yansımaları azaltacak yapılar incelenerek, çok katmanlı elektromagnetik soğurucu yapıların tasarlanması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasını hazırlamam için tez konusunun belirlenip oluşturulmasında ve yönlendirmeleriyle bana yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. Tayfun GÜNEL'e, yüksek lisans eğitimi boyunca yardımlarını esirgemeyen ve idari işlemlerimiz de gösterdikleri hoşgörü sebebiyle Alb. Sefer KURNAZ ve tüm HUTEN personeline, ders ve tez aşamasında hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Ütğm. Yıldız KEŞOĞLU, Ütğm. Murat BAĞCI ve Ütğm. Ali ŞAHİN'e ve sonsuz desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Onur BOZKURT
İstanbul, Haziran 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxii
1.GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Kapsamı.....	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Radarda Görünmezlik (Tespit Edilememe) Teknolojisi	3
2.2. Elektromagnetik Soğurucu Malzemeler.....	4
2.3. Negatif Elektrik Geçirgenlik ve Magnetik Geçirgenliğe Sahip Malzemeler	5
2.4. Maxwell Denklemleri.....	7
2.5. Basit Ortamda Dalga Denklemleri	9
2.5.1. Helmholtz Denklemleri	9
2.6. Yayılma Sabiti.....	10
2.7. Düzlemsel Dalgalar	12
2.7.1. Dalga Empedansı	13
2.7.2. Kayıpsız Ortamdaki Düzlemsel Dalgalar.....	13
2.7.3. Kayıplı Ortamdaki Düzlemsel Dalgalar.....	14
2.8. Koordinat Dönüşümleri.....	15
2.9. İletim Hattı Teorisi ve Yaklaşımı.....	18
2.10. Ortama Sıfırdan Farklı Açılarda Gelen Düzlemsel Dalgalar	20
2.10.1. Dik Polarizasyon	21
2.10.2. Paralel Polarizasyon	24
2.11. Çok Katmanlı Elektromagnetik Soğurucu Yapılar	26
2.11.1. Dik Polarizasyon	26
2.11.2. Paralel Polarizasyon	27
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	29
3.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu	29
3.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması	30
3.1.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu İşleyişi	31
3.2. PSO Yardımı ile Elektromagnetik Soğurucu Tasarımı	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	37
4.1.Hata Fonksiyonu 1:	38
4.2. Hata Fonksiyonu 2:	77

4.3. Sağ Taraflı Malzemeler Kullanılan Çok Katmanlı Soğurucu Tasarımı:.....	111
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	135
KAYNAKLAR	137
ÖZGEÇMİŞ.....	139

SİMGELER DİZİNİ

α	Zayıflama sabiti	dB/m
$\vec{B}$	Magnetik akı yoğunluğu	Wb/m ²
β	Faz sabiti	rad/m
γ	yayılma sabiti	m ⁻¹
c	Işık Hızı	m/sn
$\vec{D}$	Elektrik akı yoğunluğu	Coul/m ²
d	Kalınlık	m
$\vec{E}$	Elektrik alan şiddeti	V/m
ϵ	elektrik geçirgenlik	F/m
ϵ_0	Boşlukta elektrik geçirgenlik	F/m
f	Frekans	Hz
$\vec{H}$	Magnetik alan şiddeti	A/m
I	Akım	A
$\dot{I}$	İletim katsayısı	
$\vec{J}$	Elektrik akım yoğunluğu	A/m ²
$\vec{M}$	Magnetik akım yoğunluğu	V/m ²
μ	Magnetik geçirgenlik	H/m
μ_0	Boşlukta magnetik geçirgenlik	H/m
max	En Yüksek Değer	
min	En Küçük Değer	
R	Yansıma Katsayısı	
ρ	Elektrik yük yoğunluğu	Coul/m ³
σ	iletkenlik	Ohm/m
V	Gerilim	V
w	Açısal frekans	Hz
Z	Empedans	Ohm
Z_0	Boşlukta dalga empedansı	Ohm
Σ	Toplam	

KISALTMALAR DİZİNİ

EH	Elektronik Harp
GA	Genetik Algoritma
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
ESY	Elektromagnetik Soğurucu Yapı
RKA	Radar Kesit Alanı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil	Sayfa
Şekil 2.1	Elektrik Geçirgenlik ve Magnetik Geçirgenlik Bölgeleri.....	5
Şekil 2.2	a- Sağ Taraflı Malzemede Kırılan Dalga b- Sol Taraflı Malzemede Kırılan Dalga.....	7
Şekil 2.3	Düzlemsel Dalga.....	12
Şekil 2.4	Küresel, Dairesel ve Kartezyen Koordinat Sistemleri.....	16
Şekil 2.5	(g,h,k) ve (x,y,z) Koordinat Sistemleri.....	17
Şekil 2.6	Bir Yük ile Sonlandırılmış İletim Hattı.....	18
Şekil 2.7	Farklı Bir Ortama Sıfırdan Farklı Bir Açık ile Gelen Düzlemsel Dalga.....	21
Şekil 2.8	n-Katmanlı Elektromagnetik SoğurucuYapı.....	27
Şekil 3.1	Parçacık Sürü Optimizasyonu Akış Diyagramı.....	32
Şekil 3.2	Örnek Fonksiyon.....	34
Şekil 3.3	Örnek Fonksiyonun Değer Grafiği.....	35
Şekil 3.4	Program Arayüzü.....	36
Şekil 4.1.1		
a.	1 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	38
b.	2 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	39
c.	3 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	39
d.	4 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	39
e.	5 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	40
f.	6 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	40
g.	7 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	40
h.	8 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	41
i.	9 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	41
j.	10 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	41
k.	11 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	42
l.	12 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	42
m.	13 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	42
n.	14 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	43
o.	15 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	43
Şekil 4.1.2		
a.	1 Katmanlı Tasarım.....	44
b.	2 Katmanlı Tasarım.....	44
c.	3 Katmanlı Tasarım.....	45
d.	4 Katmanlı Tasarım.....	45
e.	5 Katmanlı Tasarım.....	46
f.	6 Katmanlı Tasarım.....	46
g.	7 Katmanlı Tasarım.....	47
h.	8 Katmanlı Tasarım.....	47
i.	9 Katmanlı Tasarım.....	48
j.	10 Katmanlı Tasarım.....	48
k.	11 Katmanlı Tasarım.....	49
l.	12 Katmanlı Tasarım.....	49

m.	13 Katmanlı Tasarım.....	50
n.	14 Katmanlı Tasarım.....	50
o.	15 Katmanlı Tasarım.....	51
Şekil 4.1.3		
a.	Paralel Polarizasyon için 1 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	52
b.	Dik Polarizasyon için 1 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	52
Şekil 4.1.4		
a.	Paralel Polarizasyon için 2 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	53
b.	Dik Polarizasyon için 2 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	53
Şekil 4.1.5		
a.	Paralel Polarizasyon için 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	54
b.	Dik Polarizasyon için 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	54
Şekil 4.1.6		
a.	Paralel Polarizasyon için 4 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	55
b.	Dik Polarizasyon için 4 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	55
Şekil 4.1.7		
a.	Paralel Polarizasyon için 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	56
b.	Dik Polarizasyon için 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	56
Şekil 4.1.8		
a.	Paralel Polarizasyon için 6 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	57
b.	Dik Polarizasyon için 6 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	57
Şekil 4.1.9		
a.	Paralel Polarizasyon için 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	58
b.	Dik Polarizasyon için 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	58
Şekil 4.1.10		
a.	Paralel Polarizasyon için 8 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	59
b.	Dik Polarizasyon için 8 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	59
Şekil 4.1.11		
a.	Paralel Polarizasyon için 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	60
b.	Dik Polarizasyon için 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	60

Şekil 4.1.12		
a.	Paralel Polarizasyon için 10 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	61
b.	Dik Polarizasyon için 10 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	61
Şekil 4.1.13		
a.	Paralel Polarizasyon için 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	62
b.	Dik Polarizasyon için 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	62
Şekil 4.1.14		
a.	Paralel Polarizasyon için 12 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	63
b.	Dik Polarizasyon için 12 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	63
Şekil 4.1.15		
a.	Paralel Polarizasyon için 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	64
b.	Dik Polarizasyon için 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	64
Şekil 4.1.16		
a.	Paralel Polarizasyon için 14 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	65
b.	Dik Polarizasyon için 14 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	65
Şekil 4.1.17		
a.	Paralel Polarizasyon için 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	66
b.	Dik Polarizasyon için 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	66
Şekil 4.1.18		
a.	1 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	67
b.	2 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	67
c.	3 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	67
d.	4 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	68
e.	5 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	68
f.	6 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	68
g.	7 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	69
h.	8 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	69
i.	9 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının	

	Değişimi	69
j.	10 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	70
k.	11 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	70
l.	12 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	70
m.	13 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	71
n.	14 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	71
o.	15 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	71
Şekil 4.1.19		
a.	1 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	72
b.	2 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	72
c.	3 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	73
d.	4 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	73
e.	5 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	73
f.	6 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	74
g.	7 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	74
h.	8 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	74
i.	9 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	75
j.	10 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	75
k.	11 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	75
l.	12 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	76
m.	13 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	76
n.	14 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	76
o.	15 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	77
Şekil 4.2.1		
a.	3 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	78
b.	4 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	78
c.	5 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	78

d.	6 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	79
e.	7 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	79
f.	8 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	79
g.	9 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	80
h.	10 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	80
i.	11 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	80
j.	12 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	81
k.	13 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	81
l.	14 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	81
m.	15 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	82
Şekil 4.2.2		
a.	3 Katmanlı Tasarım.....	82
b.	4 Katmanlı Tasarım.....	83
c.	5 Katmanlı Tasarım.....	83
d.	6 Katmanlı Tasarım.....	84
e.	7 Katmanlı Tasarım.....	84
f.	8 Katmanlı Tasarım.....	85
g.	9 Katmanlı Tasarım.....	85
h.	10 Katmanlı Tasarım.....	86
i.	11 Katmanlı Tasarım.....	86
j.	12 Katmanlı Tasarım.....	87
k.	13 Katmanlı Tasarım.....	87
l.	14 Katmanlı Tasarım.....	88
m.	15 Katmanlı Tasarım.....	88
Şekil 4.2.3		
a.	Paralel Polarizasyon için 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	89
b.	Dik Polarizasyon için 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	89
Şekil 4.2.4		
a.	Paralel Polarizasyon için 4 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	90
b.	Dik Polarizasyon için 4 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	90
Şekil 4.2.5		
a.	Paralel Polarizasyon için 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	91
b.	Dik Polarizasyon için 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	91
Şekil 4.2.6		
a.	Paralel Polarizasyon için 6 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	92
b.	Dik Polarizasyon için 6 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	92
Şekil 4.2.7		
a.	Paralel Polarizasyon için 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	93

b.	Dik Polarizasyon için 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	93
Şekil 4.2.8		
a.	Paralel Polarizasyon için 8 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	94
b.	Dik Polarizasyon için 8 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	94
Şekil 4.2.9		
a.	Paralel Polarizasyon için 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	95
b.	Dik Polarizasyon için 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	95
Şekil 4.2.10		
a.	Paralel Polarizasyon için 10 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	96
b.	Dik Polarizasyon için 10 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	96
Şekil 4.2.11		
a.	Paralel Polarizasyon için 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	97
b.	Dik Polarizasyon için 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	97
Şekil 4.2.12		
a.	Paralel Polarizasyon için 12 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	98
b.	Dik Polarizasyon için 12 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	98
Şekil 4.2.13		
a.	Paralel Polarizasyon için 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	99
b.	Dik Polarizasyon için 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	99
Şekil 4.2.14		
a.	Paralel Polarizasyon için 14 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	100
b.	Dik Polarizasyon için 14 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	100
Şekil 4.2.15		
a.	Paralel Polarizasyon için 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	101
b.	Dik Polarizasyon için 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	101
Şekil 4.2.16		
a.	3 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	102
b.	4 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	102
c.	5 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının	

	Değişimi	102
d.	6 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	103
e.	7 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	103
f.	8 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	103
g.	9 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	104
h.	10 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	104
i.	11 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	104
j.	12 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	105
k.	13 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	105
l.	14 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	105
m.	15 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi	106

Şekil 4.2.17

a.	3 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	106
b.	4 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	107
c.	5 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	107
d.	6 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	107
e.	7 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	108
f.	8 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	108
g.	9 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	108
h.	10 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	109
i.	11 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	109
j.	12 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	109
k.	13 Katmanlı Tasarım için Açık Yansıma Katsayısı Değişimi	110
l.	14 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	110
m.	15 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	110

Şekil 4.3.1		
a.	1 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	111
b.	2 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	112
c.	3 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	112
d.	5 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	112
e.	7 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	113
f.	9 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	113
g.	11 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	113
h.	13 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	114
i.	15 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına göre Hata Değerleri.....	114
Şekil 4.3.2		
a.	1 Katmanlı Tasarım.....	115
b.	2 Katmanlı Tasarım.....	115
c.	3 Katmanlı Tasarım.....	116
d.	5 Katmanlı Tasarım.....	116
e.	7 Katmanlı Tasarım.....	117
f.	9 Katmanlı Tasarım.....	117
g.	11 Katmanlı Tasarım.....	118
h.	13 Katmanlı Tasarım.....	118
i.	15 Katmanlı Tasarım.....	119
Şekil 4.3.3		
a.	Paralel Polarizasyon için 1 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	120
b.	Dik Polarizasyon için 1 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	120
Şekil 4.3.4		
a.	Paralel Polarizasyon için 2 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	121
b.	Dik Polarizasyon için 2 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	121
Şekil 4.3.5		
a.	Paralel Polarizasyon için 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	122
b.	Dik Polarizasyon için 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	122
Şekil 4.3.6		
a.	Paralel Polarizasyon için 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	123
b.	Dik Polarizasyon için 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	123
Şekil 4.3.7		
a.	Paralel Polarizasyon için 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	124
b.	Dik Polarizasyon için 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	124
Şekil 4.3.8		
a.	Paralel Polarizasyon için 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği.....	125

b.	Dik Polarizasyon için 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	125
Şekil 4.3.9		
a.	Paralel Polarizasyon için 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	126
b.	Dik Polarizasyon için 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	126
Şekil 4.3.10		
a.	Paralel Polarizasyon için 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	127
b.	Dik Polarizasyon için 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	127
Şekil 4.3.11		
a.	Paralel Polarizasyon için 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	128
b.	Dik Polarizasyon için 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği.....	128
Şekil 4.2.12		
a.	1 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi	129
b.	2 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi	129
c.	3 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi	129
d.	5 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi	130
e.	7 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi	130
f.	9 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi	130
g.	11 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi	131
h.	13 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi	131
i.	15 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi	131
Şekil 4.2.13		
a.	1 Katmanlı Tasarım için Aç ı ile Yansım Katsayısının Değişimi	132
b.	2 Katmanlı Tasarım için Aç ı ile Yansım Katsayısının Değişimi	132
c.	3 Katmanlı Tasarım için Aç ı ile Yansım Katsayısının Değişimi	132
d.	5 Katmanlı Tasarım için Aç ı ile Yansım Katsayısının Değişimi	133
e.	7 Katmanlı Tasarım için Aç ı ile Yansım Katsayısının Değişimi	133
f.	9 Katmanlı Tasarım için Aç ı ile Yansım Katsayısının	

	Değişimi	133
g.	11 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	134
h.	13 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	134
i.	15 Katmanlı Tasarım için Açık ile Yansıma Katsayısının Değişimi	134

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No	Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1	Malzemeler ve Özellikleri.....	37
Çizelge 4.2	Hata Fonksiyonu 1 için Optimizasyonda Kullanılan Parametre Değerleri.....	38
Çizelge 4.3	Hata Fonksiyonu 2 için Optimizasyonda Kullanılan Parametre Değerleri.....	77
Çizelge 4.4	Hata Fonksiyonu için Optimizasyonda Kullanılan Parametre Değerleri.....	111

1.GİRİŞ

1.1. Tez Çalışmasının Kapsamı

Hava unsurlarının karşı kuvvetler tarafından erken tespit edilmesi harp sahasında üstünlük sağlamaktadır. Son yıllarda bu alanda yapılan çalışmalarla Radar Kesit Alanının (RKA) azaltılmasıyla radar sinyallerinin silah ve araçlar üzerinden daha az yansması önem arz etmektedir. RKA'nın azaltılması için yapılan çeşitli çalışmalardan birisi de elektromagnetik soğurucu yapılardır. Günümüzde bu konu hakkında çok sayıda çalışmaya ulaşmak mümkündür. Çok katmalı elektromagnetik soğurucu yapıların tasarımında yansıma katsayısının düşürülmesi ve yapının ince olması önemlidir.

Elektronik harp (EH) için önemli olan elektromagnetik soğurucu malzemelerin elektrik geçirgenlikleri ϵ ve magnetik geçirgenlikleri μ elektromagnetik dalgaların soğurulmasında önemli niceliklerdir. Pozitif ϵ ve μ 'ye sahip malzemeler (sağ taraflı malzemeler) kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fakat negatif ϵ ve μ 'ye sahip malzemelerin (sol taraflı malzemeler) bulunmasıyla elektromagnetik soğurucu yapılarda daha iyi sonuçların elde edileceği düşünülmüş ve bu konuda da çeşitli çalışmalar (Wang v.d. 2008), (Zhang v.d. 2009) yapılmıştır.

Global optimizasyon çeşitlerinden sürülerin hedefe kolay ulaşması üzerine kurulan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) kısa sürede ve doğru şekilde hedefe ulaşan ve türev bilgisi gerektirmeyen optimizasyon çeşitlerinden biridir.

Bu çalışmada kalınlıkları 0.01mm ile 2mm arasında değişen sağ taraflı ve sol taraflı malzemeler kullanılmıştır. Parçacık sürü optimizasyonu yardımıyla çeşitli hata fonksiyonları ile katman sayısı bir ile on beş arasında değişen çok katmanlı elektromagnetik soğurucu yapılar MATLAB programı ile kullanıcı ara yüzü geliştirilerek tasarlanmıştır.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı

Özellikle hava unsurlarının ülkelerin savunmasına ve taarruz gücüne katkılarının önemi nedeniyle güçlü bir hava kuvvetine sahip olmanın önemi büyüktür. Bu sebeple hava kuvvetlerinin yüksek teknolojiye sahip olması kaçınılmazdır. Elektromagnetik soğurucu yapılar hava unsurlarının tespitini zorlaştırması sebebiyle savunma alanında büyük kazanımlar sağlayacaktır. Dünya genelinde bu konudaki çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir.

Görünmezlik teknolojisine sahip uçakların düşman hava unsurları ve silahları tarafından tespit edilememesi harp sahasında düşman kuvvetlerine karşı büyük avantaj sağlayacağı kesindir. Bu tez çalışmasında radar cihazları tarafından hedeflerin tespitini zorlaştırmak için elektromagnetik soğurucu malzemelerin PSO ile tasarımı amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Radarda Görünmezlik (Tespit Edilememe) Teknolojisi

Radarlar belirli bir bant genişliğinde gönderdikleri radar sinyallerinin cisimlere çarparak alıcıları vasıtasıyla tekrar işlenmesi sonucu cismin konumunu yönünü ve hızını belirlemek amacıyla tasarlanmışlardır. Hava unsurlarının radar tarafından tespit edilmeleri üzerlerinden yansıyan elektromagnetik dalgaların alıcıya çok fazla kayıp olmadan dönmesi ile mümkündür. Bu sebeple radar sinyallerinin cisim üzerinden yansımalarının azaltılmasıyla radar tarafından tespit edilme imkanını ortadan kaldırır. Bu yansımanın az olması ile mümkündür. Radar sinyallerinin yansımalarının azaltılması ise radar kesit alanının (RKA) azaltılması ile gerçekleştirilebilir. Bu sebeple radarda görünmezlik için cisimlerin radar kesit alanlarının azaltılması önemli bir noktadır (Saville 2005).

Yapılan çeşitli çalışmalar sonucunda RKA birkaç yöntem kullanılarak azaltılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Bu yöntemler:

- Aktif kısıtlama,
- Pasif kısıtlama,
- Şekil,
- Elektromagnetik soğurucu yapılarıdır.

Aktif kısıtlama yöntemi cismin radar sinyalini aynı anda faz veya genlik kaydırması yaparak tekrar göndermesi temeline dayanır. Fakat bu durumda radar sinyalinin bilgilerinin (frekansı dalga formu vb.) tespit edilmesi gerekmektedir.

Pasif kısıtlama da ise hava unsuru üzerine yerleştirilen empedans uyumu sağlayan farklı dağıtıcılar ile RKA'ı azaltmak temeline dayanır. Bütün uygulamalarda bant genişliği kısıtlamalara sebep olmaktadır.

Söz konusu yöntemlerden şekil yöntemi unsurun (uçak, füze vb.) şeklinin değiştirilerek gelen elektromagnetik dalgaların dağıtılması temeline dayanmaktadır. Bu yöntemle cismin radarda tespiti zorlaşmaktadır fakat beraberinde bazı zorluklar getirmektedir. Çünkü hava unsurlarının havada tutuna bilmeleri ve gerekli manevra hareketleri yapabilmeleri açısından aerodinamik özelliklerinin bulunması gerekmektedir. Bu sebeple tasarım esnasında aerodinamik özelliklerin sağlanması ve elektromagnetik dalgaların dağıtılması için gerekli şekilsel yapıyı elde etmek oldukça güçtür.

Bahsedilen yöntemler arasında elektromagnetik soğurucu malzemelerin kullanışlı olması büyük bir avantaj sağlamaktadır. Elektromagnetik soğurucu malzemelerin

elektrik ve magnetik geçirgenlik niceliklerinden faydalanılarak, gelen radar sinyallerini soğurması ile RKA'nın azaltılması temeline dayanmaktadır.

2.2. Elektromagnetik Soğurucu Malzemeler

1930'lu yıllarda radar cihazlarının kullanılmaya başlanmasından hemen sonra elektromagnetik soğurucu malzemelerin üzerinde araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. 1936'da Hollanda'da patenti alınarak ilk elektromagnetik soğurucu malzeme üretilmiştir. Üretilen bu elektromagnetik soğurucu malzeme çeyrek dalga transformatörü mantığı ile 2 GHz'de çalışan yüksek dielektrik sabiti elde edilmesi amacıyla Titanyum oksit, dalgaların dağıtılması amacıyla siyah karbon kullanılan bir malzemedir.

İkinci dünya savaşın sırasında radarlar cihazlarının gelişimi elektromagnetik soğurucu malzemelerin gelişimine hız katmıştır. Almanya denizaltılarının radar cihazları tarafından tespit edilmesini engellemek amacıyla Wesch malzemesini üretilmiştir. Bu malzeme karbonil demir tozu ile doldurulmuş yarı esnek kauçuktan yapılmış ve yaklaşık 8mm kalınlığa sahip olup 3 GHz'de çalışmaktaydı. Daha sonra Jaurmann soğurucu malzeme üretilmiştir. Bu malzeme ilk çok katmanlı elektromagnetik soğurucu malzemedir. Bu malzeme Wesch malzemesine göre yaklaşık on kat daha kalın olmakla birlikte direnç ön katmanlardan arka katmanlara doğru azalmaktadır. Bu malzemede kullanılarak yansımada -20dB'ye ulaşan azalmalar elde edilmiştir (Vinoy ve Jha 1996).

Bu süreç içerisinde yine Amerika Birleşik Devletleri Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) laboratuvarlarında HARP olarak adlandırılmış iki adet soğurucu malzeme yapılmıştır. Bu soğuruculardan bir tanesi hava unsurları için tasarlanmış X-bandında çalışan yaklaşık 0.7mm kalınlıkta bir malzemedir. Diğeri ise deniz unsurları için tasarlanmış ve kalınlığı 1.78mm civarındadır. Salisbury ekran olarak bildiğimiz soğurucu türü de aynı zaman içerisinde bulunmuştur. Salisbury'nin çalışma prensibi çeyrek dalga transformatörünün çalışma prensibi ile aynıdır. Daha sonrada Salisbury ekran ile kaplanmış uzun piramit biçiminde yapılar çıkmıştır. Savaş sonrası dönemde keskin şekiller kullanılarak geniş bantlı soğurucular üzerinde çalışılmıştır.

1960'lı yıllarda negatif kırılma olarak ta bilinen eş zamanlı negatif elektrik geçirgenlik ve magnetik geçirgenliğe sahip malzemeler üzerinde ilk teorik çalışma Veselago tarafından yapılmıştır (Veselago 1967). Bu malzemeler elektromagnetik soğurucu malzemelerin gelişiminde büyük öneme sahip olacaktır.

Bu dönemden sonra soğurucuların ticari olarak üretildiği görülmektedir. Yine bu dönemde Frekans seçici yüzeyler olarak bilinen yeni bir araştırma alanı doğmuştur. 1960'larda magnetik malzemelerin elektromagnetik soğurucularda kullanıldığı görülmektedir.

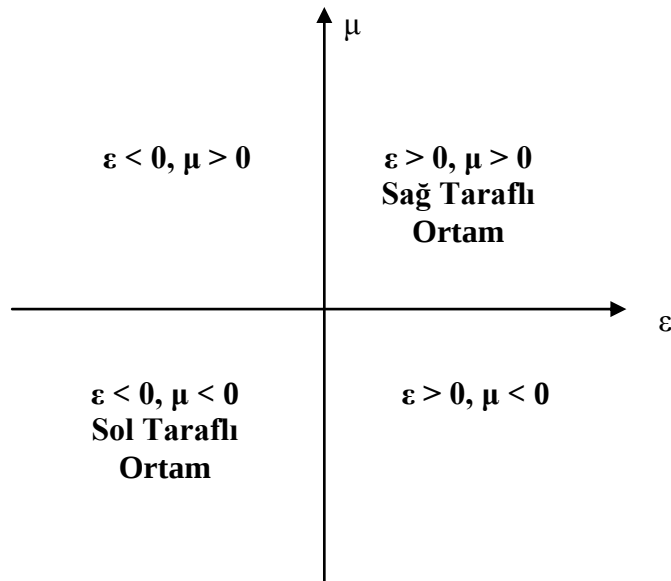
Elektromagnetik soğurucu malzemeler açısından önemli bir özellik olan elektromagnetik dalgaların madde içinde zayıflamasını neden olan sonlu iletkenlik sağlayabilen polimerler 1970'lere bulunmuştur.

1980'li yıllarda soğurucu malzemeler için yapılan çalışmalarda optimizasyon tekniklerinin kullanılmaya başlanması dikkat çekicidir. Bant genişliğinin artırılması ve Jaurmann soğurucuların maksimum bant genişliğine ulaşması için basamaklı katmanlar kullanılmıştır.

Son on yılda soğurucu malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar artmıştır. Malzeme bilimi ve mühendisliği hızlı gelişimi ile kompozit yeni elektromagnetik malzemeler üretilmiştir. Günümüzde soğurucu malzeme tasarımında çok yaygın olan iletim hattı modeli ve çok katmanlı yapılar kullanılmaktadır.

2.3. Negatif Elektrik Geçirgenlik ve Magnetik Geçirgenliğe Sahip Malzemeler

Negatif işaretli malzemeler ilk defa 1904 yılında Horace Lamb tarafından bahsedilmiştir. Daha sonra Henry Pocklington tarafından faz ve grup hızlarının farklı yönlerde olabileceğinden bahsedilmiştir. 1940'lı yıllarda Leonid Mandelshtam tarafından negatif yansımanın olabileceği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Pafomov tarafından 1950'li yıllarda negatif elektrik geçirgenlikli malzemelerin Cherenkov etkisinde dikkate alınması üzerine çalışmalar yapılmıştır (Veselago ve Narimanov 2006).



Şekil 2.1. Elektrik Geçirgenlik ve Magnetik Geçirgenlik Bölgeleri

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi elektrik ve magnetik geçirgenliği eş zamanlı pozitif $\epsilon > 0, \mu > 0$ olan ortamlara sağ taraflı ortam, negatif $\epsilon < 0, \mu < 0$ olan ortamlara da sol taraflı ortamlar denmektedir. Aynı şekilde negatif elektrik geçirgenlikli $\epsilon < 0$ ve negatif magnetik geçirgenlikli $\mu < 0$ malzemelere de sol taraflı malzemeler denir. Sol taraflı malzemeler Veselago tarafından teorik olarak analiz edilmiştir (Veselago 1968). Veselago makalesinde bu malzemelerin elektromagnetik özelliklerinden Vavilov-Cherenkov etkisinden, Snell kurallarından ve dalganın malzeme üzerindeki bu unsurlar yardımıyla yayılımı sonlandırmadaki öneminden bahsetmiştir. Aynı zamanda elektrik geçirgenlik kaybının yayılım özelliklerinin etkilemesindeki öneminden bahsetmiştir. İyi bir elektromagnetik soğurucu elde edilebilmesi için elektromagnetik dalganın soğurucuya küçük yansımalarla girmesi ve soğurucunun dalgayı en kısa sürede yutması beklenmektedir. Daha sonra yapılan çeşitli çalışmalarla da negatif elektrik sabiti doğrulanmıştır. Birçok çalışma neticesinde sol taraflı malzemeler ile iletim hattı yaklaşımının kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Sol taraflı malzemelerin sağ taraflı malzemelerden farklı olarak negatif elektrik ve magnetik geçirgenliğe sahip olmaları dalga vektörü dalganın ilerleyiş yönüne ters yönde olmasına sebep olmaktadır. Önemli noktalardan birisi de sol taraflı malzemelerin negatif kırılma sabitine sahip olmaları konusudur. Elektrik ve magnetik geçirgenliğin eş zamanlı olarak negatif işarete sahip olmasının kırılma sabitini matematiksel olarak etkilemediği görülmektedir.

$$n^2 = \epsilon\mu \quad (2.1)$$

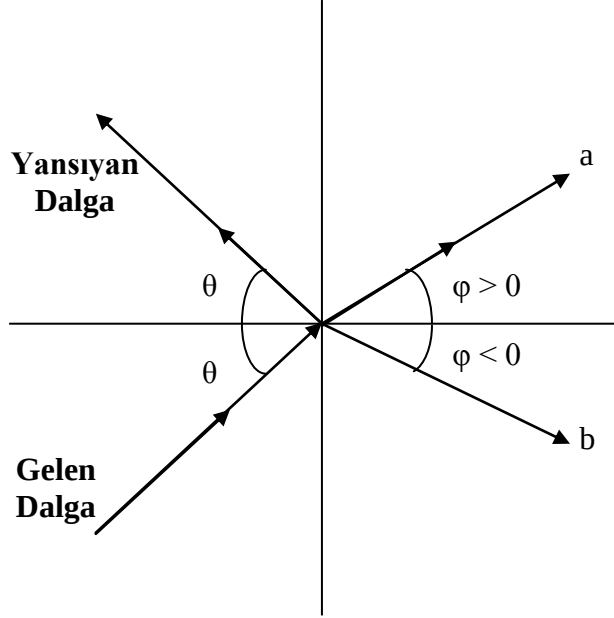
Fakat Maxwell denklemleri incelendiğinde elektrik alan, magnetik alan ve dalga vektörlerinin elektrik ve magnetik geçirgenliğin işareti ile değiştiği görülmektedir (Veselago Braginsky Shklover ve Hafner 2006). Bunun yanında negatif ϵ ve μ ’ye sahip malzemelerde faz hızı ve grup hızı vektörlerinin paralel olmaması Snell kurallarını etkilediği görülmektedir. Bu sebeple sol taraflı malzemelerin grup hızları da negatif işaretlidir. Şekil 2.2. de sağ taraflı ve sol taraflı malzemeye gelen bir dalga için Snell kuralları gösterilmektedir.

Şekil 2.2. de görüldüğü gibi sol taraflı malzemeler de kırılma sağ taraflı malzemelerden farklı olarak aksi yönde olmaktadır. Bu nedenle kırılma sabitinin işareti şu şekilde ifade edilebilir.

$$n = \pm\sqrt{\epsilon\mu} \quad (2.2)$$

Böylece malzeme eğer sağ taraflı ise eşitlik (2.2)’deki kök önündeki işaret pozitif, sol taraflı ise negatif olmaktadır. Sol taraflı malzemelerde bunun bir sebebi olarak dalga vektörü de negatif işaretli olarak seçilecektir. Bu avantajlardan faydalanmak amacıyla soğurucu tasarımında sol taraflı malzemeler kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Fang Xu 2008). 1990’lı yıllardan günümüze kadar negatif elektrik ve magnetik geçirgenlikli malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda çok sayıda bilimsel yayın üretilmiştir (Veselago ve Narimanov 2006).

Veselago tarafından teorik olarak incelenen negatif elektrik ve manyetik geçirgenliğe sahip malzemeler Smith ve çalışma arkadaşları tarafından daha sonra fiziksel olarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımlarında ucu açık çember resonatörler ve ince tel kullanmışlardır (Smith v.d. 2000).



Şekil 2.2. a-Sağ Taraflı Malzemede Kırılan Dalga b- Sol Taraflı Malzemede Kırılan Dalga.

2.4. Maxwell Denklemleri

Elektrik ve magnetik olaylar, Ampere, Gauss ve Faraday tarafından geliştirilen teorik bilgilerin birleşimi ile 1864'te Maxwell tarafından bulunan Maxwell denklemleri ile açıklanmaktadır. Genel zamana bağlı diferansiyel Maxwell denklemleri (Pozar 1998)

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} - \vec{M} \quad (2.3)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (2.4)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = \rho \quad (2.5)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.6)$$

şeklindedir. Bu denklemlere ilave olarak

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.7)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.8)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.9)$$

denklemleri de verilmektedir.

$$\vec{E} : \text{Elektrik Alan Şiddeti} \quad \left(\frac{V}{m}\right)$$

$$\vec{H} : \text{Magnetik Alan Şiddeti} \quad \left(\frac{A}{m}\right)$$

$$\vec{B} : \text{Magnetik Akı Yoğunluğu} \quad \left(\frac{Wb}{m^2}\right)$$

$$\vec{D} : \text{Elektrik Akı Yoğunluğu} \quad \left(\frac{C}{m^2}\right)$$

$$\vec{M} : \text{Magnetik Akım Yoğunluğu} \quad \left(\frac{V}{m^2}\right)$$

$$\vec{J} : \text{Elektrik Akım Yoğunluğu} \quad \left(\frac{A}{m^2}\right)$$

$$\rho : \text{Elektrik Yük Yoğunluğu} \quad \left(\frac{C}{m^3}\right)$$

$$\sigma : \text{İletkenlik} \quad \left(\frac{S}{m}\right)$$

2.5. Basit Ortamda Dalga Denklemleri

2.5.1. Helmholtz Denklemleri

Lineer homojen Maxwell denklemleri (Pozar 1998)

$$\nabla \times \vec{E} = -i\omega\mu\vec{H} \quad (2.10)$$

$$\nabla \times \vec{H} = i\omega\varepsilon\vec{E} \quad (2.11)$$

Burada ω açısal frekans ε ve μ sırasıyla elektrik geçirgenlik ve magnetik geçirgenliktir. (2.10) Denkleminin her iki tarafının rotasyoneli alınarak ve denklem (2.11) kullanılarak;

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -i\omega\mu \nabla \times \vec{H} = i\omega\varepsilon\vec{E} \quad (2.12)$$

denklemini elde edilir, burada;

$$\nabla \times \nabla \times \vec{A} = \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A} \quad (2.13)$$

denklemini kullanarak

$$\nabla^2 \vec{E} + \omega^2\mu\varepsilon\vec{E} = \nabla^2 \vec{E} + \alpha^2\vec{E} = 0 \quad (2.14)$$

elde edilir. Yukarıdaki denklemde $\alpha = \omega\sqrt{\varepsilon\mu}$ dır. Aynı şekilde (2.11) denkleminin her iki tarafının rotasyoneli alınarak ve denklem (2.10) kullanılarak

$$\nabla^2 \vec{H} + \omega^2\mu\varepsilon\vec{H} = \nabla^2 \vec{H} + \alpha^2\vec{H} = 0 \quad (2.15)$$

elde edilir. Bir sonraki bölümde yukarıdaki denklemleri kullanarak kayıpsız, kayıplı ve iyi iletken ortamlardaki düzlemsel dalga denklemleri incelenecektir.

2.6. Yayılma Sabiti

Elektromagnetik soğurucu malzemelerin elektrik geçirgenlikleri ε ve magnetik geçirgenlikleri μ olarak tanımlanır. Boşlukta elektrik geçirgenlik ε_0 ve magnetik geçirgenlik μ_0 sabit değerler almaktadır.

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

ε ve μ , ε_0 ve μ_0 ile normalize edilerek bağıl elektrik geçirgenlik ε_r ve bağıl magnetik geçirgenlik μ_r olarak adlandırılır. ε ve μ nün karmaşık gösterimleri şu şekildedir.

$$\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon'' = \varepsilon_0(\varepsilon_r' - i\varepsilon_r'') \quad (2.16)$$

$$\mu = \mu' - i\mu'' = \mu_0(\mu_r' - i\mu_r'') \quad (2.17)$$

İletken bir ortamda dalga denklemleri, denklem (2.7), (2.8)ve (2.9) kullanılarak tekrar düzenlendiğinde

$$\nabla^2 \vec{H} = \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} + \sigma\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (2.18)$$

$$\nabla^2 \vec{E} = \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \sigma\mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.19)$$

olacaktır. Harmonik Maxwell denklemleri

$$\nabla \times \vec{E} = -i\omega \vec{B} \quad (2.20)$$

$$\nabla \times \vec{H} = i\omega \vec{D} + \vec{J} \quad (2.21)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.22)$$

$$\nabla \times \vec{D} = 0 \quad (2.23)$$

şeklindedir. Böylece dalga denklemleri

$$\nabla^2 \vec{H} = -\omega^2 \epsilon \mu \vec{H} + i\omega \mu \sigma \vec{H} = \gamma^2 \vec{H} \quad (2.24)$$

$$\nabla^2 \vec{E} = -\omega^2 \epsilon \mu \vec{E} + i\omega \mu \sigma \vec{E} = \gamma^2 \vec{E} \quad (2.25)$$

olacaktır. Burada γ yayılma sabiti olarak adlandırılır ve denklem (2.24) ve (2.25) ten

$$\gamma = (-\omega^2 \epsilon \mu + i\omega \mu \sigma)^{\frac{1}{2}} \quad (2.26)$$

olarak elde edilir. Yayılma sabitinin kompleks olarak yazımı ise şu şekildedir;

$$\gamma = \alpha + i\beta = i\omega \sqrt{\epsilon \mu} \sqrt{\left(1 + \frac{\sigma}{i\omega \epsilon}\right)} \quad (2.27)$$

Burada yansıma katsayısının reel kısmı α zayıflama sabiti, sanal kısmı da β faz sabiti veya dalga sayısı olarak adlandırılır ve denklem (2.27)'dan

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\epsilon \mu}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\epsilon^2 \mu^2}} - 1 \right]} \quad (2.28)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\epsilon \mu}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\epsilon^2 \mu^2}} + 1 \right]} \quad (2.29)$$

olarak elde edilir. Denklem (2.16)'dan elektrik geçirgenliğin sanal kısmının reel kısmına oranını ele aldığımızda, bu orana ϵ''/ϵ' elektrik kayıp tanjantı denir ve bu ortamdaki kayıpların bir ölçüsüdür.

$$\tan \delta_k = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \cong \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \quad (2.30)$$

Burada δ_k kayıp açısıdır. Kayıp tanjantının değeri yaklaşık olarak 0,0001 ve 0,1 değerleri aralığındadır. Bu eşitlikten denklem (2.27) tekrar düzenlendiğinde yayılma sabiti

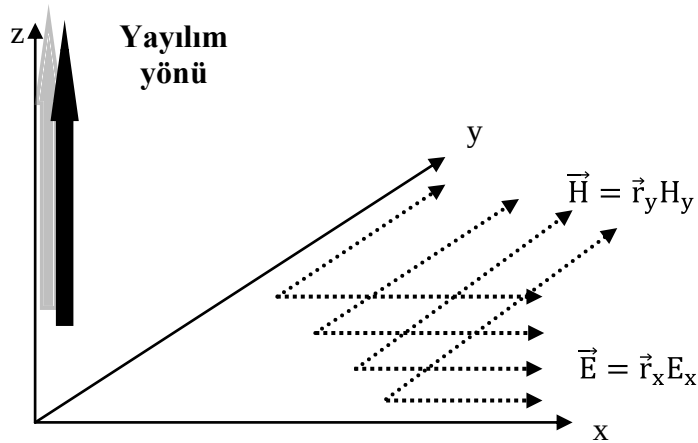
$$\gamma = i\omega\sqrt{\epsilon'\mu} \sqrt{\left(1 - i\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)} \quad (2.31)$$

şeklinde elde edilir. Kayıpsız ortamda $\sigma = 0$ ve ϵ ve μ reel sayılardır. $\sigma = 0$ olduğundan denklem (2.28) $\alpha = 0$ olmaktadır ve denklem (2.27) tekrar yazıldığında kayıpsız ortamda yayılma sabiti

$$\gamma = i\beta = i\omega\sqrt{\epsilon\mu} \quad (2.32)$$

olarak elde edilecektir.

2.7. Düzlemsel Dalgalar



Şekil 2.3. Düzlemsel Dalga

Elektrik ve magnetik alanların birbirine dik olarak bulunduğu ve dalganın bu alanlara dik olarak ilerlediği dalgalara düzlemsel dalgalar denir. Şekil 2.3'te kayıpsız ortamda düzlemsel dalgaların bir kesiti gösterilmiştir. Eş-faz yüzeyi olarak isimlendirilen düzlem

elektrik ve magnetik alanların içinde bulunduğu düzlemdir. Şekil 2.3'te elektrik alanın pozitif x yönünde ve sadece x bileşenlerinin bulunduğu, magnetik alanın pozitif y yönünde ve sadece y bileşenlerinin bulunduğu görülmektedir. Dalganın elektrik ve magnetik alanlara dik olarak pozitif z yönünde yayıldığı görülmektedir. Şekil 2.3'te görülen $\vec{r}_y$ ve $\vec{r}_x$ y ve x yönlerindeki birim vektörlerdir (Bayrakçı 2001).

2.7.1. Dalga Empedansı

Dalga empedansı ifadesi düzlemsel dalga bileşenleri E_x ve H_y nin oranı ile elde edilebilir.

$$Z = \frac{E_x}{H_y} = \frac{i\omega\mu}{\gamma} = \frac{i\omega\mu}{i\omega\sqrt{\epsilon\mu}} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (2.33)$$

Boşlukta elektrik geçirgenlik ϵ_0 ve magnetik geçirgenlik μ_0 olduğundan boşluk için dalga empedans ifadesi

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (2.34)$$

olmaktadır ve 376.7Ω değerine eşittir. Empedans ifadesi boşluk empedansı ile tekrar düzenlendiğinde

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_r\mu_0}{\epsilon_r\epsilon_0}} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (2.35)$$

şeklinde elde edilir.

2.7.2. Kayıpsız Ortamdaki Düzlemsel Dalgalar

Kayıpsız ortamda $\sigma = 0$ ve ϵ, μ ve reel sayılardır. Bu durumda Helmholtz denklemlerinden (2.14) tekrar düzenlendiğinde (Pozar 1998)

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + \beta^2 E_x = 0 \quad (2.36)$$

şeklinde yazılır. Denklemin çözümü ise

$$E_x = E^p e^{-\beta iz} + E^n e^{\beta iz} \quad (2.37)$$

şeklinde elde edilir. Burada E^p ve E^n sırasıyla elektrik alanın pozitif z yönündeki ve negatif z yönündeki keyfî genlik sabitleridir. β ise denklem (2.29)'da gösterilen dalga sayısıdır. Aynı şekilde Helmholtz denklemlerinden (2.11)'e (2.37)denklemi uygulandığında dalga denkleminin magnetik alanı da

$$-i\omega\mu\vec{H} = \nabla \times \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial z} = -\beta(E^p e^{-\beta iz} - E^n e^{\beta iz}) \quad (2.38)$$

olarak elde edilecektir. Denklem (2.38) düzenlendiğinde

$$H_y = \frac{\beta}{\mu\omega} (E^p e^{-\beta iz} - E^n e^{\beta iz}) \quad (2.39)$$

Şeklinde elde edilir. Kayıpsız ortamda empedans ifadesi $Z = \frac{\mu\omega}{\beta}$ olduğundan denklem (2.39)'da bu ifade yerine koyulduğunda

$$H_y = \frac{1}{Z} (E^p e^{-\beta iz} - E^n e^{\beta iz}) \quad (2.40)$$

olarak bulunacaktır. Aynı şekilde elektrik alan gibi magnetik alanın da pozitif z yönünde ve negatif z yönünde hareket ettiği görülmektedir.

2.7.3. Kayıplı Ortamdaki Düzlemsel Dalgalar

Kayıplı ortamda, $\sigma \neq 0$ olduğundan elektrik akım yoğunluğu denklem (2.9)'da görüldüğü gibi $\vec{J} = \sigma\vec{E}$ olur. Helmholtz elektrik ve magnetik alan ifadeleri denklem (2.10) ve (2.11) tekrar düzenlendiğinde (Pozar 1998)

$$\nabla \times \vec{E} = -i\omega\mu\vec{H} \quad (2.41)$$

$$\nabla \times \vec{H} = i\omega\epsilon\vec{E} + \sigma\vec{E} \quad (2.42)$$

şeklinde yazılır. Denklem (2.41) ve (2.42) düzenlendiğinde $\vec{E}$;

$$\nabla^2 \vec{E} + \omega^2 \epsilon \mu \left(1 + \frac{\sigma}{i\omega\epsilon}\right) \vec{E} = 0 \quad (2.43)$$

olarak elde edilir. Burada Helmholtz denklemlerinden (2.14)'ün kayıplı durum için tekrar düzenlendiğini görmekteyiz. Denklem (2.26)'da gösterilen yayılma sabiti ile tekrar düzenlendiğinde ve elektrik alanın sadece x yönünde bileşeninin olduğu farz edildiğinde denklem

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + \gamma^2 E_x = 0 \quad (2.44)$$

şeklinde elde edilir. Denklemin çözümüne bakıldığında

$$E_x = E^p e^{-\gamma iz} + E^n e^{\gamma iz} \quad (2.45)$$

olacaktır. Aynı şekilde Helmholtz denklemlerinden (2.10) ve (2.11) kullanılarak dalga denkleminin magnetik alanı

$$H_y = \frac{i}{\mu\omega} \frac{\partial E_x}{\partial z} = -\frac{i\gamma}{\mu\omega} (E^p e^{-\gamma iz} - E^n e^{\gamma iz}) \quad (2.46)$$

olur. Kayıplı ortamdaki empedans ifadesi $Z = \frac{i\mu\omega}{\gamma}$ denklem (2.46)'da yerine koyulduğunda

$$H_y = \frac{1}{Z} (E^p e^{-\gamma iz} - E^n e^{\gamma iz}) \quad (2.47)$$

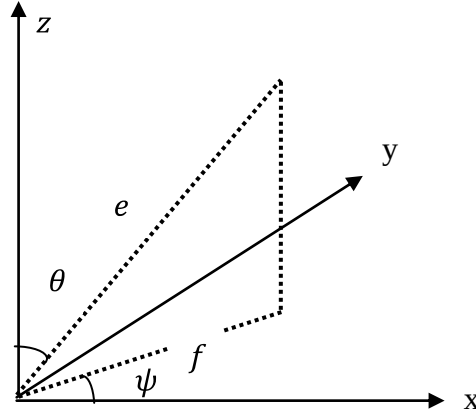
olarak elde edilecektir.

2.8. Koordinat Dönüşümleri

Radar sinyallerinin elektromagnetik soğurucu yüzey üzerine sıfırdan farklı açılarla geldiğini düşündüğümüzde aynı koordinat sistemi üzerinde elektrik ve magnetik alan ifadelerinin karmaşık bir hal aldığı ve hesaplamaları daha zor hale getirmektedir. Bu

yüzden koordinat dönüşümleri dalgaların bir ortamdan diğerine geçişleri sıfırdan farklı bir açı ile gerçekleşmesi durumunda elektrik ve magnetik alan ifadelerinin daha basit halde kullanılması için uygun bir yöntem olarak gözükmektedir (Bayrakçı 2001).

Koordinat sistemlerinin Şekil 2.4 de gösterilen silindirik koordinat sistemi küresel koordinat sistemi ve Kartezyen koordinat sistemi olduğu bilinmektedir.



Şekil 2.4. Küresel,Silindirik ve Kartezyen Koordinat Sistemleri

Kartezyen koordinat sisteminden silindirik koordinat sistemine dönüşüm matrisi şu şekildedir.

$$\begin{bmatrix} \vec{a}_f \\ \vec{a}_\psi \\ \vec{a}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{a}_x \\ \vec{a}_y \\ \vec{a}_z \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

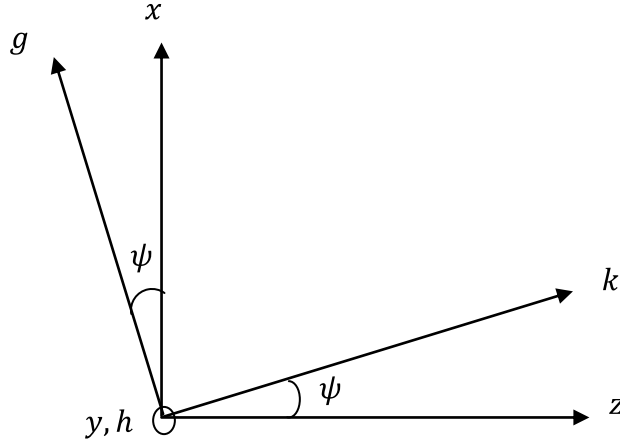
Kartezyen koordinat sisteminden küresel koordinat sistemine dönüşüm matrisi ise;

$$\begin{bmatrix} \vec{a}_e \\ \vec{a}_\theta \\ \vec{a}_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta \cos \psi & \sin \theta \sin \psi & \cos \theta \\ \cos \theta \cos \psi & \cos \theta \sin \psi & -\sin \theta \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{a}_x \\ \vec{a}_y \\ \vec{a}_z \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

şeklinde ifade edilir. Son olarak silindirik koordinat sisteminden küresel koordinat sistemine dönüşüm matrisi;

$$\begin{bmatrix} \vec{a}_e \\ \vec{a}_\theta \\ \vec{a}_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta & 0 & \cos \theta \\ \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{a}_f \\ \vec{a}_\psi \\ \vec{a}_z \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.5. (g,h,k) ve (x,y,z) Koordinat Sistemleri

$$\vec{E} = \vec{a}_h E e^{-\gamma k} \quad (2.51)$$

$$\vec{H} = -\vec{a}_g \frac{\vec{E}}{Z} e^{-\gamma k} \quad (2.52)$$

Şimdi denklem (2.51) ve (2.52)'de verilen elektrik alan ve magnetik alan ifadelerinin Şekil 2.5'te gösterilen ve h ve y eksenleri aynı olan (g,h,k) koordinat sisteminden (x,y,z) koordinat sistemine dönüşüm matrisini yazalım.

$$\begin{bmatrix} \vec{a}_g \\ \vec{a}_h \\ \vec{a}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & -\sin \psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{a}_x \\ \vec{a}_y \\ \vec{a}_z \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

Koordinat dönüşüm matrisinden elde edilen birim vektörler ile elektrik alan ve magnetik alan ifadeleri tekrar yazıldığında

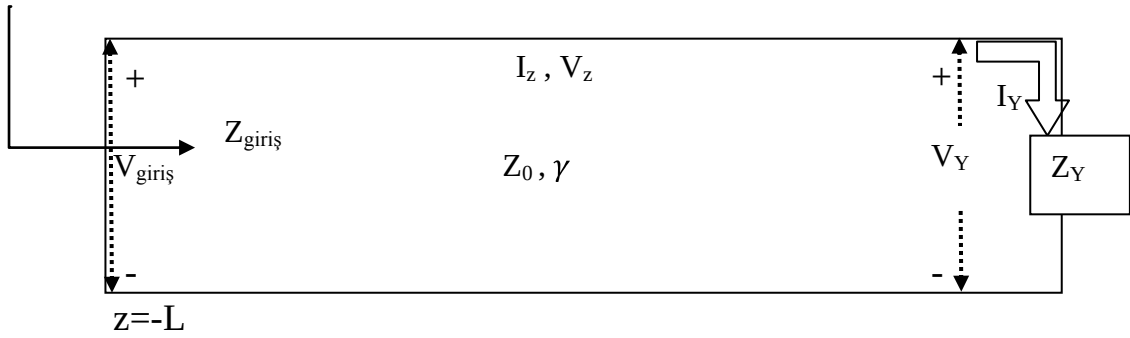
$$\vec{E} = \vec{a}_y E e^{-\gamma(x \sin \psi + z \cos \psi)} \quad (2.54)$$

$$\vec{H} = (-\vec{a}_x \cos \psi + \vec{a}_z \sin \psi) \frac{\vec{E}}{Z} e^{-\gamma(x \sin \psi + z \cos \psi)} \quad (2.55)$$

şeklinde yeni elektrik alan ve magnetik alan ifadeleri elde edilir.

2.9. İletim Hattı Teorisi ve Yaklaşımı

Bu bölümde soğurucu malzemelerde ele alacağımız empedans ve dalgaların ortam değiştirdiklerinde karşılaşılan durumların incelenmesinde kolaylık sağlayacak iletim hattı teorisi incelenecektir. Bir yük ile sonlandırılmış iletim hattı Şekil 2.6'da gösterilmiştir (Cheng 1983).



Şekil 2.6. Bir Yük ile Sonlandırılmış İletim Hattı

Burada Z_0 iletim hattının karakteristik empedansı, γ yayılım sabitidir. I_z ve V_z sırasıyla iletim hattının akım ve gerilimini göstermektedir. Şu şekilde ifade edilir.

$$\frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} = \gamma^2 V_z \quad (2.56)$$

$$\frac{\partial^2 I_z}{\partial z^2} = \gamma^2 I_z \quad (2.57)$$

Kayıpsız durumda (2.56) ve (2.57) denklemlerinin çözümü yapıldığında

$$V_z = V_1 e^{-\gamma z} + V_2 e^{\gamma z} \quad (2.58)$$

$$I_z = I_1 e^{-\gamma z} - I_2 e^{\gamma z} \quad (2.59)$$

şeklinde yazılır. Burada V_1 ve V_2 sırasıyla gelen gerilim ve yansıyan gerilimlerdir. Yük empedansı $Z_z = V_z/I_z$ olduğu için denklem (2.59) tekrar düzenlendiğinde

$$I_z = \frac{V_1}{Z_z} e^{-\gamma z} - \frac{V_2}{Z_z} e^{\gamma z} \quad (2.60)$$

elde edilir. Sonsuz iletim hatlarında her noktadaki empedans değeri girişte ölçülen değere eşit olduğundan Şekil 2.6'da görülen yük empedansı ifadesi şu şekilde yazılabilir (Atalay 1977).

$$Z_y = \frac{V_1 + V_2}{V_1 - V_2} Z_0 \quad (2.61)$$

Yansıyan gerilimin gelen gerilime oranı yansıma katsayısını vermektedir. Denklem (2.61)'den V_2/V_1 ifadesi çekildiğinde yansıma katsayısını elde etmiş oluruz.

$$R = \frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_y - Z_0}{Z_y + Z_0} \quad (2.62)$$

Kayıpsız durum için $\sigma = 0$ olduğundan denklem (2.32)'den yayılma sabiti $\gamma = i\beta$ eşittir. $-L$ noktasındaki gerilimin akım değerine oranından giriş empedansına eşittir. Buradan giriş empedans ifadesi şu şekilde olacaktır.

$$Z_{giriş} = \frac{V(-L)}{I(-L)} = \frac{V_1 e^{i\beta L} + V_2 e^{-i\beta L}}{I_1 e^{i\beta L} - I_2 e^{-i\beta L}} = \frac{V_1 e^{i\beta L} + V_2 e^{-i\beta L}}{V_1 e^{i\beta L} - V_2 e^{-i\beta L}} Z_0 = \frac{1 + R e^{-2i\beta L}}{1 - R e^{-2i\beta L}} Z_0 \quad (2.63)$$

$$Z_{giriş} = \frac{(Z_y + Z_0) e^{i\beta L} + (Z_y - Z_0) e^{-i\beta L}}{(Z_y + Z_0) e^{i\beta L} - (Z_y - Z_0) e^{-i\beta L}} Z_0 \quad (2.64)$$

$$Z_{giriş} = Z_0 \frac{Z_y \cos \beta L + i Z_0 \sin \beta L}{Z_0 \cos \beta L + i Z_y \sin \beta L} \quad (2.65)$$

$$Z_{\text{giriş}} = Z_0 \frac{Z_y + iZ_0 \tan \beta L}{Z_0 + iZ_y \tan \beta L} \quad (2.66)$$

Giriş empedans ifadesi kayıplı durum $\sigma \neq 0$ için incelendiğinde denklem (2.27)'den yayılım sabiti $\gamma = \alpha + i\beta$ eşittir. $-L$ noktasında gerilimin akıma oranından giriş empedans ifadesi elde edilebilir.

$$Z_{\text{giriş}} = Z_0 \frac{Z_y \cosh \gamma L + Z_0 \sinh \gamma L}{Z_0 \cosh \gamma L + Z_y \sinh \gamma L} \quad (2.67)$$

$$Z_{\text{giriş}} = Z_0 \frac{Z_y + Z_0 \tanh \gamma L}{Z_0 + Z_y \tanh \gamma L} \quad (2.68)$$

2.10. Ortama Sıfırdan Farklı Açılarda Gelen Düzlemsel Dalgalar

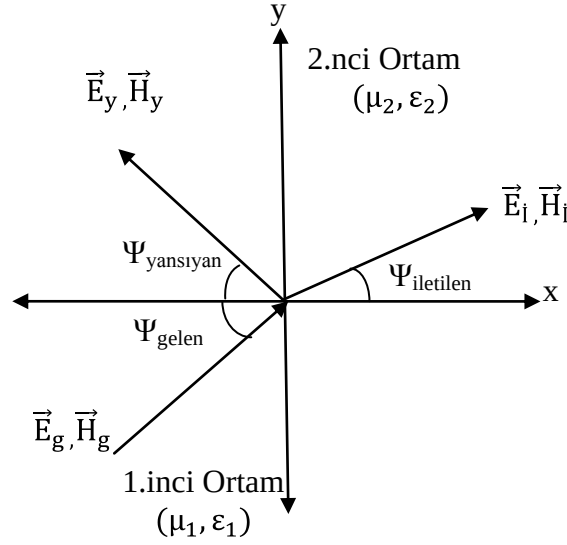
Düzlemsel dalgalar sıfırdan farklı açılarla farklı bir ortama ($\epsilon_1 \neq \epsilon_2$ veya $\mu_1 \neq \mu_2$) gelişlerinde elektrik ve magnetik alan denklemlerinde bazı değişiklikler olmaktadır. Bu değişiklikler gelen dalganın polarizasyonuna göre değişmektedir.

Şekil 2.7'de farklı bir ortama ($\epsilon_1 \neq \epsilon_2$ veya $\mu_1 \neq \mu_2$) sıfırdan farklı açı ile gelen düzlemsel dalga, iletilen dalga ve yansıyan dalgalar görülmektedir. Şekil 2.7'de $\vec{E}_g, \vec{E}_y$ ve $\vec{E}_i$ sırasıyla gelen dalganın elektrik alanı, yansıyan dalganın elektrik alanı ve iletilen dalganın elektrik alanını göstermektedir. Aynı şekilde $\vec{H}_g, \vec{H}_y$ ve $\vec{H}_i$ de söz konusu dalgaların magnetik alanlarını göstermektedir.

Düzlemsel dalgaların polarizasyonları elektrik alan $\vec{E}$ bileşenlerinin yüzeye göre olan konumları ile belirlenmektedir (Bayrakçı 2001).

Elektromagnetik dalgaların elektrik alanlarının $\vec{E}$ bileşenlerinin yüzeye göre dik veya paralel konumda olmaları ile polarizasyon farklılık gösterir. Düzlemsel dalgalarda iki farklı polarizasyon çeşidi bulunmaktadır bunlar:

- Dik Polarizasyon
- Paralel Polarizasyon



Şekil 2.7. Farklı Bir Ortama Sıfırdan Farklı Bir Açılı ile Gelen Düzlemsel Dalga

Şimdi de düzlemsel dalgaların polarizasyona göre yansıma ve iletim katsayıları ifadelerini elde edeceğiz.

2.10.1. Dik Polarizasyon

Dik polarizasyonda düzlemsel dalgaların elektrik alanlarının dik bileşenleri olmakla birlikte yatay bileşenlerinin de olabileceği düşünülmektedir. Burada ortamları yz düzleminin ayırdığını düşünelim. Dalga denklemleri daha kolay hesaplanması için bölüm 2.8’de bahsedilen koordinat değişimi yardımı ile denklem (2.54) ve (2.55)’de olduğu gibi gelen düzlemsel dalganın elektrik alan ve magnetik alan ifadeleri (Cheng 1983)

$$\vec{E}_g = \vec{a}_y E_{g0} e^{-\gamma_1 (x \sin \psi_{gelen} + z \cos \psi_{gelen})} \quad (2.69)$$

$$\vec{H}_g = (-\vec{a}_x \cos \psi_{gelen} + \vec{a}_z \sin \psi_{gelen}) \frac{E_{g0}}{Z_1} e^{-\gamma_1 (x \sin \psi_{gelen} + z \cos \psi_{gelen})} \quad (2.70)$$

şeklinde yazılır. Burada γ_1 ve Z_1 sırasıyla birinci ortamdaki yayılma sabiti ve dalga empedans ifadelerini, ψ_{gelen} düzlemsel dalganın ortama geliş açısını, $\vec{E}_g$ ve $\vec{H}_g$ de sırasıyla gelen düzlemsel dalganın elektrik alan ve magnetik alanlarını göstermektedir. İletilen dalganın elektrik ve magnetik alan ifadeleri ise şu şekilde ifade edilir.

$$\vec{E}_i = \vec{a}_y E_{i0} e^{-\gamma_2 (x \sin \psi_{iletilen} + z \cos \psi_{iletilen})} \quad (2.71)$$

$$\vec{H}_i = (-\vec{a}_x \cos \psi_{iletilen} + \vec{a}_z \sin \psi_{iletilen}) \frac{E_{i0}}{Z_2} e^{-\gamma_2 (x \sin \psi_{iletilen} + z \cos \psi_{iletilen})} \quad (2.72)$$

Aynı şekilde burada da γ_2 ve Z_2 sırasıyla ikinci ortamdaki yayılma sabiti ve dalga empedans ifadelerini, $\psi_{iletilen}$ dalganın ortamda kırılma açısını, $\vec{E}_i$ ve $\vec{H}_i$ de sırasıyla iletilen dalganın elektrik alan ve magnetik alanlarını göstermektedir. Son olarak yansıyan dalganın elektrik ve magnetik alan ifadelerine bakıldığında ise

$$\vec{E}_y = \vec{a}_y E_{y0} e^{-\gamma_1 (x \sin \psi_{yansıyan} - z \cos \psi_{yansıyan})} \quad (2.73)$$

$$\vec{H}_y = (\vec{a}_x \cos \psi_{yansıyan} + \vec{a}_z \sin \psi_{yansıyan}) \frac{E_{y0}}{Z_1} e^{-\gamma_1 (x \sin \psi_{yansıyan} - z \cos \psi_{yansıyan})} \quad (2.74)$$

şeklinde ifade edilir. $\psi_{yansıyan}$ Yansıyan dalganın açısını, $\vec{E}_y$ ve $\vec{H}_y$ yansıyan dalganın elektrik alan ve magnetik alanlarını göstermektedir. Buradan yansıma ve iletim katsayılarının bulunabilmesi için elektrik ve magnetik alanların yüzeysel bileşenlerinin $z=0$ noktasında dalgaların devamlılık kuralı dikkate alınarak düzenlendiğinde

$$\vec{E}_{gy} + \vec{E}_{yy} = \vec{E}_{iy} \quad (2.75)$$

$$\vec{a}_y E_{g0} e^{-\gamma_1 (x \sin \psi_{gelen})} + \vec{a}_y E_{y0} e^{-\gamma_1 (x \sin \psi_{yansıya})} = \vec{a}_y E_{i0} e^{-\gamma_2 (x \sin \psi_{iletilen})} \quad (2.76)$$

Denklemleri elde edilir. Aynı şekil de magnetik alan bileşenleri de düzenlendiğinde

$$\vec{H}_{gx} + \vec{H}_{yx} = \vec{H}_{ix} \quad (2.77)$$

$$\begin{aligned} \frac{E_{y0}}{Z_1} \cos \psi_{yansıyan} e^{-\gamma_1 (x \sin \psi_{yansıyan})} - \frac{E_{g0}}{Z_1} \cos \psi_{gelen} e^{-\gamma_1 (x \sin \psi_{gelen})} \\ = -\frac{E_{i0}}{Z_2} \cos \psi_{iletilen} e^{-\gamma_2 (x \sin \psi_{iletilen})} \end{aligned} \quad (2.78)$$

(2.74), (2.75), (2.76) ve (2.77) denklemlerinde görüldüğü gibi denklemlerin hepsinin x koordinatlarına göre yazıldığı görülmektedir. z=0 noktasında tüm x'lerin sürekli olduğu düşünülürse

$$\gamma_1 \sin \psi_{\text{yansıyan}} = \gamma_1 \sin \psi_{\text{gelen}} = \gamma_2 \sin \psi_{\text{iletilen}} \quad (2.79)$$

elde edilir. Denklem (2.78)'den

$$\psi_{\text{gelen}} = \psi_{\text{yansıyan}} \quad (2.80)$$

$$\gamma_1 \sin \psi_{\text{gelen}} = \gamma_2 \sin \psi_{\text{iletilen}} \quad (2.81)$$

denklemleri elde edilmektedir. Bu denklemler Snell Yasası olarak bilinmektedir. Denklem (2.75) ve (2.77) düzenlenerek tekrar yazıldığında (Cheng 1983)

$$\vec{E}_{g0} + \vec{E}_{y0} = \vec{E}_{i0} \quad (2.82)$$

$$\frac{1}{Z_1} \cos \psi_{\text{gelen}} (E_{g0} - E_{y0}) = -\frac{E_{i0}}{Z_2} \cos \psi_{\text{iletilen}} \quad (2.83)$$

Denklem (2.81), denklem (2.82)'de yerine yazılarak yansıyan dalganın elektrik alanının gelen dalganın elektrik alana oranından yansıma katsayısı elde edilir.

$$R = \frac{E_{y0}}{E_{g0}} = \frac{Z_2 \cos \psi_{\text{gelen}} - Z_1 \cos \psi_{\text{iletilen}}}{Z_2 \cos \psi_{\text{gelen}} + Z_1 \cos \psi_{\text{iletilen}}} \quad (2.84)$$

Aynı şekilde iletilen dalganın elektrik alanının gelen dalganın elektrik alanına oranından da iletim katsayısı elde edilir.

$$I = \frac{E_{i0}}{E_{g0}} = \frac{2Z_2 \cos \psi_{\text{iletilen}}}{Z_2 \cos \psi_{\text{iletilen}} + Z_1 \cos \psi_{\text{gelen}}} \quad (2.85)$$

2.10.2. Paralel Polarizasyon

Paralel polarizasyonda dik polarizasyondan farklı olarak düzlemsel dalgaların elektrik alanlarının $\vec{E}$ sadece yatay bileşenlerinin olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde paralel polarizasyon için de ortamları yz düzleminin ayırdığını düşünelim. Benzer şekilde koordinat değişimleri göz önünde bulundurularak gelen düzlemsel dalganın elektrik alan ve magnetik alan ifadeleri (Cheng 1983)

$$\vec{E}_g = (\vec{a}_x \cos \psi_{gelen} - \vec{a}_z \sin \psi_{gelen}) E_{g0} e^{-\gamma_1(x \sin \psi_{gelen} + z \cos \psi_{gelen})} \quad (2.86)$$

$$\vec{H}_g = \vec{a}_y \frac{E_{g0}}{Z_1} e^{-\gamma_1(x \sin \psi_{gelen} + z \cos \psi_{gelen})} \quad (2.87)$$

şeklinde yazılır. İletilen dalganın elektrik ve magnetik alan ifadeleri bakıldığında

$$\vec{E}_i = (\vec{a}_x \cos \psi_{iletilen} - \vec{a}_z \sin \psi_{iletilen}) E_{i0} e^{-\gamma_2(x \sin \psi_{iletilen} + z \cos \psi_{iletilen})} \quad (2.88)$$

$$\vec{H}_i = \vec{a}_y \frac{E_{i0}}{Z_2} e^{-\gamma_2(x \sin \psi_{iletilen} + z \cos \psi_{iletilen})} \quad (2.89)$$

şeklinde ifade edilir. Son olarak yansıyan dalganın elektrik ve magnetik alan ifadeleri ise

$$\vec{E}_y = (\vec{a}_x \cos \psi_{yansıyan} + \vec{a}_z \sin \psi_{yansıyan}) E_{y0} e^{-\gamma_1(x \sin \psi_{yansıyan} - z \cos \psi_{yansıyan})} \quad (2.90)$$

$$\vec{H}_y = -\vec{a}_y \frac{E_{y0}}{Z_1} e^{-\gamma_1(x \sin \psi_{yansıyan} - z \cos \psi_{yansıyan})} \quad (2.91)$$

olarak elde edilir. Dik polarizasyonda olduğu gibi elektrik ve magnetik alanların yüzeysel bileşenleri ile $z=0$ noktasında dalgaların devamlılık kuralı dikkate alınarak düzenlendiğinde

$$\begin{aligned} & (\vec{a}_x \cos \psi_{gelen}) E_{g0} e^{-\gamma_1(x \sin \psi_{gelen})} + (\vec{a}_x \cos \psi_{yansıyan}) E_{y0} e^{-\gamma_1(x \sin \psi_{yansıyan})} \\ & = (\vec{a}_x \cos \psi_{iletilen}) E_{i0} e^{-\gamma_2(x \sin \psi_{iletilen})} \end{aligned} \quad (2.92)$$

olacaktır. Magnetik alan bileşenleri de elektrik alana benzer şekilde düzenlendiğinde

$$\frac{E_{g0}}{Z_1} e^{-\gamma_1(x \sin \psi_{gelen})} - \frac{E_{y0}}{Z_1} e^{-\gamma_1(x \sin \psi_{yansıyan})} = \frac{E_{i0}}{Z_2} e^{-\gamma_2(x \sin \psi_{iletilen})} \quad (2.93)$$

(2.91) ve (2.92) denklemlerinde görüldüğü elektrik alan ve magnetik alanın sadece x bileşenlerinin bulunduğu ve x koordinatlarına göre yazıldığı görülmektedir. Dik polarizasyonda olduğu gibi z=0 noktasında tüm x'lerin sürekli olduğunu varsayalım böylece denklem(2.91) ve (2.92)'den

$$\gamma_1 \sin \psi_{yansıyan} = \gamma_1 \sin \psi_{gelen} = \gamma_2 \sin \psi_{iletilen} \quad (2.94)$$

denklemini elde ederiz. Denklem (2.93)'ten görüldüğü üzere

$$\psi_{gelen} = \psi_{yansıyan} \quad (2.95)$$

$$\gamma_1 \sin \psi_{gelen} = \gamma_2 \sin \psi_{iletilen} \quad (2.96)$$

denklemleri elde edilmektedir. Denklem (2.91) ve (2.92) tekrar yazıldığında (Cheng 1983)

$$\cos \psi_{gelen} (E_{g0} + E_{y0}) = E_{i0} \cos \psi_{iletilen} \quad (2.97)$$

$$\frac{1}{Z_1} (E_{g0} - E_{y0}) = \frac{E_{i0}}{Z_2} \quad (2.98)$$

denklemleri elde edilir. Yansıma katsayısı yansıyan dalganın elektrik alanının gelen dalganın elektrik alanına oranı olması sebebiyle buradan yansıma katsayısı ifadesi şu şekilde elde edilir.

$$R = \frac{E_{y0}}{E_{g0}} = \frac{Z_2 \cos \psi_{iletilen} - Z_1 \cos \psi_{gelen}}{Z_2 \cos \psi_{iletilen} + Z_1 \cos \psi_{gelen}} \quad (2.99)$$

Aynı şekilde iletim katsayısı ifadesi de

$$\dot{I} = \frac{E_{i0}}{E_{g0}} = \frac{2Z_2 \cos \psi_{gelen}}{Z_2 \cos \psi_{iletlen} + Z_1 \cos \psi_{gelen}} \quad (2.100)$$

olarak elde edilir.

2.11. Çok Katmanlı Elektromagnetik Soğurucu Yapılar

Şekil 2.8’de çok katmalı bir soğurucu yapıda sıfırdan farklı açıda gelen bir düzlemsel dalganın hareketi gösterilmektedir. Şekilde üçüncü katmanın negatif elektrik ve magnetik geçirgenliğe sahip olmasından negatif kırılma açısına sahip olduğu görülmektedir. Bu bölümde sıfırdan farklı açılarda elektromagnetik soğurucu yapılara gelen düzlemsel dalgaların uygulanan ve bölüm 2.10.1 ve 2.10.2’de bahsedilen dik ve paralel polarizasyona göre yansıma katsayısı ve giriş empedanslarında yaptığı değişiklikleri göreceğiz.

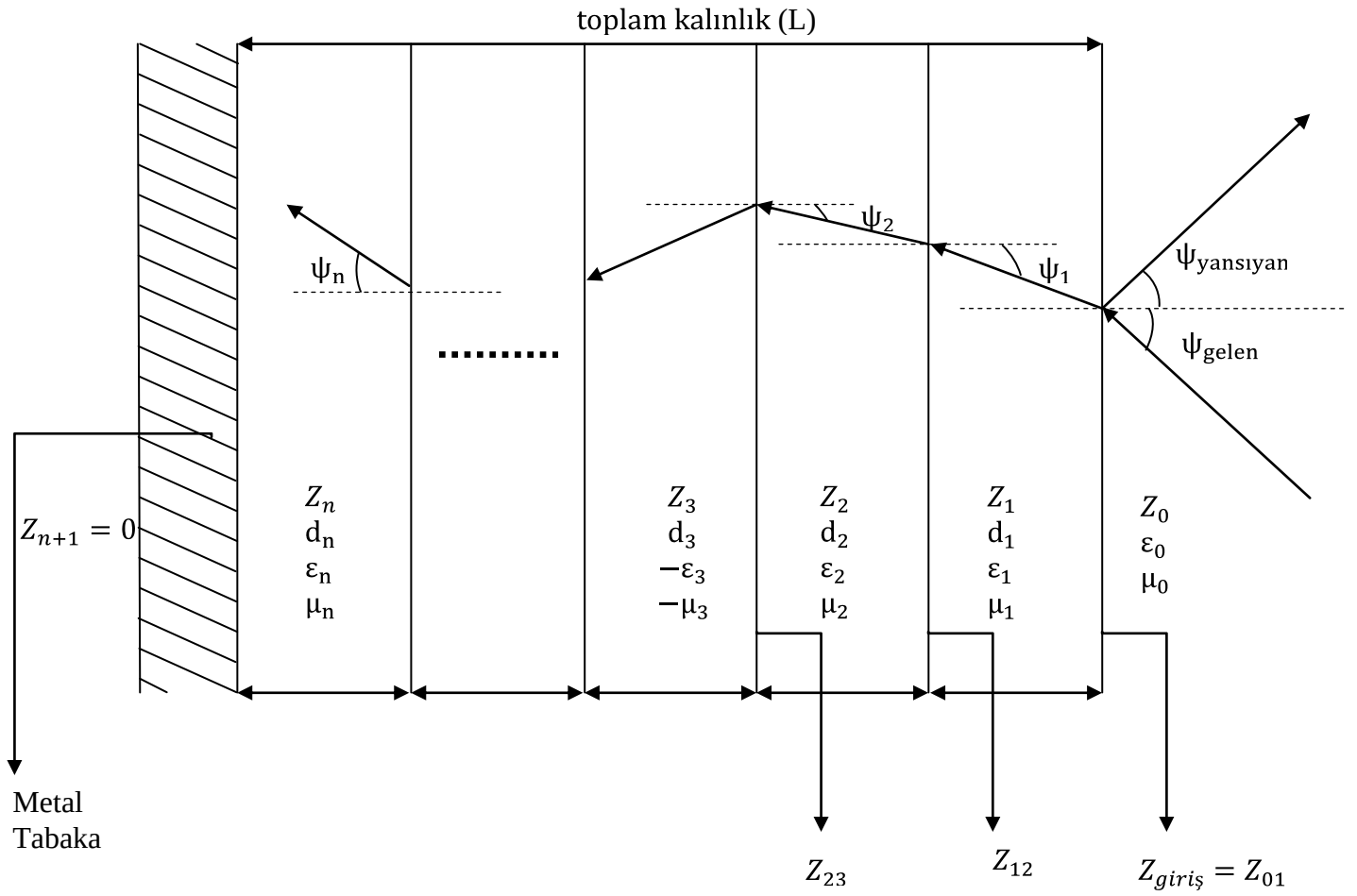
2.11.1. Dik Polarizasyon

Bölüm 2.10.1’de bahsedildiği üzere dik polarizasyonlu bir düzlemsel dalganın Şekil 2.8’de gösterilen dış ortam ile ilk katman arasındaki giriş empedansı ifadesi (Vinoy ve Jha 1996)

$$Z_{01}^{dikpol} = Z_1 \frac{Z_{12}^{dikpol} \cos \psi_1 + Z_1 \cos \psi_2 \tanh (\gamma_1 d_1 \cos \psi_1)}{Z_1 \cos \psi_2 + Z_{12}^{dikpol} \cos \psi_1 \tanh (\gamma_1 d_1 \cos \psi_1)} \quad (2.101)$$

şeklinde olacaktır. Burada Z_{12}^{dikpol} dik polarizasyonda 1.inci ve 2.nci katmanlar arasındaki giriş empedansı, γ_1 birinci katmanın yayılma sabiti, ψ_1 kırılma açısı, d_1 birinci katmanın kalınlığı ve Z_1 birinci katmandaki dalga empedansıdır. Yansıma katsayısı ise şu şekilde ifade edilir.

$$R_{dikpol} = \frac{Z_{01}^{dikpol} \cos \psi_{gelen} - Z_0 \cos \psi_1}{Z_{01}^{dikpol} \cos \psi_{gelen} + Z_0 \cos \psi_1} \quad (2.102)$$



Şekil 2.8. n-Katmanlı Elektromagnetik Soğurucu Yapı.

2.11.2. Paralel Polarizasyon

Dik polarizasyonda olduğu gibi paralel polarizasyonlu bir düzlemsel dalganın Şekil 2.8’de gösterilen dış ortam ile 1.inci katman arasındaki giriş empedansı ifadesi (Vinoy ve Jha 1996)

$$Z_{01}^{paralelpol} = Z_1 \frac{Z_{12}^{paralelpol} \cos \psi_2 + Z_1 \cos \psi_1 \tanh (\gamma_1 d_1 \cos \psi_1)}{Z_1 \cos \psi_1 + Z_{12}^{paralelpol} \cos \psi_2 \tanh (\gamma_1 d_1 \cos \psi_1)} \quad (2.103)$$

olarak elde edilir.

Yansıma katsayısı ifadesi de

$$R_{\text{paralelpol}} = \frac{Z_0 \cos \psi_{\text{gelen}} - Z_{01}^{\text{paralelpol}} \cos \psi_1}{Z_0 \cos \psi_{\text{gelen}} + Z_{01}^{\text{paralelpol}} \cos \psi_1} \quad (2.104)$$

olarak elde edilir.

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Çalışmamızda; son zamanlarda yaygın olarak kullanılan optimizasyon yöntemlerinden biri olan PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) kullanılmıştır. PSO, evrim teorisi biliminin ilkelerinden yararlanılarak ortaya çıkarılmış bir modeldir. PSO bireyin diğer bireylerle ve çevresiyle olan etkileşimini incelenerek oluşturulmuştur. PSO birçok hesaplama problemlerinde kullanılmaktadır.

Sürülerden esinlenerek hesaplama alanında kullanılmak üzere ortaya konulan yöntemlerden biri olan PSO 1995 yılında J.Kennedy ve R.C. Eberhant tarafından kuş sürülerinden esinlenerek kuşların hareketlerinin incelenmesi ile geliştirilmiş olan evrimsel bir ölçüm tekniğidir (Higashitani v.d. 2007). Çok değişkenli ve değer aralığı geniş olan problemlerin çözümüne ulaşmak için kullanılmaktadır.

PSO sosyal bir sistemin basitleştirilmiş haldeki uygulamasından meydana gelmiştir. Amacı bir kuş sürüsünün hareketlerinin incelenmesiyle sürüdeki kuşların davranışlarının diğer kuşlar ve çevresel diğer faktörlerden etkilenmesinin bir uygulaması olarak düşünülmüştür.

PSO evrimsel hesaplama sistemlerinden biri olan Genetik Algoritma (GA) ile teknik olarak benzerlik göstermektedir. PSO değer aralıkları içerisinde rastgele bir parçacıklar sürüsü oluşturulması ile başlayarak daha sonra bu sürünün güncellenmesiyle optimum çözüme ulaşılması hedeflenmektedir. Sürülerin güncellenmesi için o ana kadar bulunan optimum parçacıklarla sürü içerisindeki parçacıkların karşılaştırılarak sürünün çözüm uzayı içerisinde kalmasını sağlayarak en iyi çözüme ulaşmayı sağlar. Sürü güncellemesi ile birlikte çözüme uzak olan parçacıkları eleyerek optimum çözüme daha hızlı bir şekilde ulaşmayı sağlayacak yeni bir parçacıklar sürüsü oluşturulması hedeflenmiştir.

PSO diğer optimizasyon çeşitlerine göre daha basit bir algoritma olmasının başlıca sebeplerinden birisi algoritma parametrelerinin diğer optimizasyonlardan daha az olması ve algoritmanın türev bilgisine ihtiyaç duymamasıdır.

PSO günümüze kadar çeşitli uygulamalarda başarılı olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak güç ve voltaj kontrolü (Zhang ve Lui, 2005) ve sipariş miktarı belirleme (Taşgetiren vd., 2004) gösterilebilir.

3.1.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

PSO önceki bölümlerde bahsedildiği gibi kuş sürülerinden yola çıkılarak kuşların yiyeceğe olan uzaklıklarını ve yiyeceğin yerini bilmediklerinden dolayı, yiyeceğe ulaşmak için diğer kuşların davranışları yardımıyla en kısa zaman ve en kısa yolu kullanarak yiyeceğe ulaşmalarına benzetilen bir optimizasyondur. Optimizasyon parçacıklar her iterasyonda yerini ve hızını bir fonksiyonda tutturarak ve hedefe olan uzaklıklarını belirlenmiş olur.

Sürüdeki her parçacık, konumu ve hızı elde edilen en iyi parçacık ve o sürüdeki diğer parçacıklarla karşılaştırarak konumunun ve hızının ne ölçüde değişeceğini belirler. Bir sonraki adımda parçacık yeni elde edilen konumu ve hızı ile hedefe daha yakın bir yerde olacaktır.

PSO değer aralığı içerisindeki parçacıklardan oluşan rastgele bir sürü ile başlatılarak sürülerin güncellenmesi yardımıyla en iyi sonuca ulaşmayı hedefler. Her iterasyonda öncelikle parçacığın konumu ve hızı parçacığın o ana kadar elde ettiği en iyi konum ve hız ile karşılaştırılarak güncellenir. PSO’ da parçacığın o ana kadar elde ettiği en iyi sonucu veren konumuna “**pbest**” adı verilir. Daha sonra parçacığın konumu ve hızı o ana kadar elde edilen tüm parçacık konum ve hızları ile karşılaştırılarak güncellenir. Burada da o ana kadar tüm parçacıklar arasında bulunmuş en iyi konum bilgisine “**gbest**” adı verilir. PSO parçacıkların pbest ve gbest noktalarına doğru yönlendirmeleri üzerine kurulmuştur. N adet değişkenden oluşan k adet parçacığa sahip bir sürünün matris olarak ifadesi şu şekildedir.

$$y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1N} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{k1} & y_{k2} & \dots & y_{kN} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

burada i’inci parçacık $y_i = [y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iN}]$ olarak gösterilir. i’nci parçacığın en iyi değeri $pbest_i = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iN}]$ olarak gösterilir. tüm parçacıklar arasındaki en iyi sonuç ise $gbest = [g_1, g_2, \dots, g_N]$ şeklinde ifade edilir. i’inci parçacığın hızı ise $v_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iN}]$ olacaktır. PSO güncellemesi pbest ve gbest değerleri ile aşağıdaki denklem yardımıyla güncellenir.

$$v_i^{t+1} = wv_i^t + c_1 rand_1^t(pbest_i^t - y_i^t) + c_2 rand_2^t(gbest^t - y_i^t) \quad (3.2)$$

$$y_i^{t+1} = y_i^t + v_i^{t+1} \quad (3.3)$$

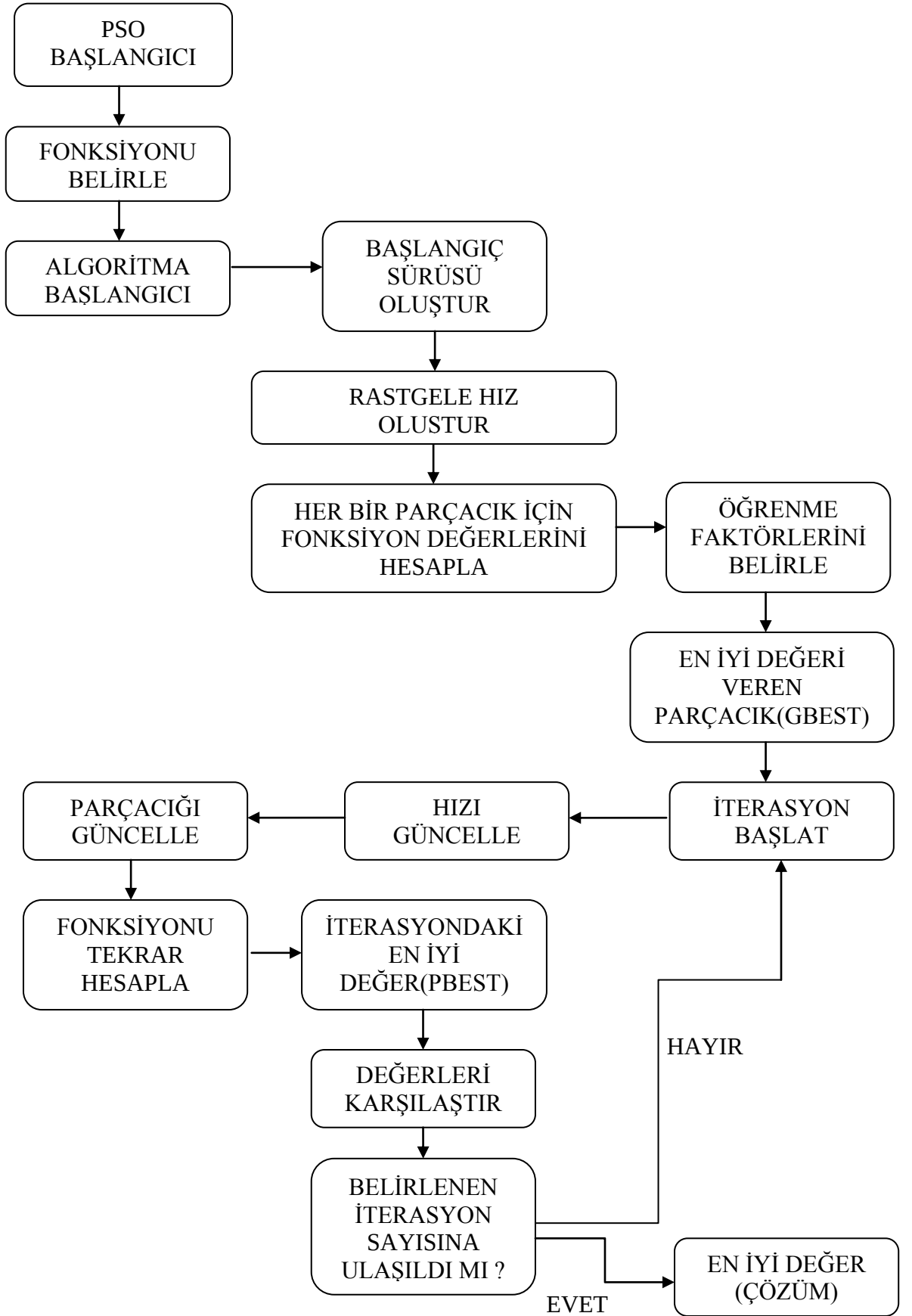
burada t iterasyon sayısını gösterir. w atalet yükünü gösterir ve iterasyon sayısı arttıkça doğrusal olarak azalacak şekilde seçilir. c_1 ve c_2 parçacıkları pbest ve gbest konumuna doğru yönlendiren değerleri genellikle 0-4 aralığında değişen öğrenme faktörleridir. c_1 parçacığın kendi öğrendiklerine göre, c_2 de diğer parçacıklarından öğrendiklerine göre kendisini pbest ve gbest konumlarına yaklaşmak için güncellemesini sağlar. Bu parçacıkların seçimi optimizasyonun amacına göre farklılık gösterir. Öğrenme faktörlerinin yüksek seçilmesi parçacığın hedefe ulaşmasını hızlandırır fakat bunun yanında parçacığın hedefi geçmesi gibi bir riskte söz konusu olmaktadır. Aksine öğrenme faktörlerinin küçük değerler seçilmesi de parçacığın hedeften uzak noktalarda dolaşmalarına sebep olur bu da parçacığın hedefe ulaşma süresini çoğaltırken parçacığın hedeften uzakta kalma riskini doğurur. Araştırmalardan edinilen bilgilere göre öğrenme faktörlerinin $c_1 = c_2 = 2$ olarak seçilmesinin iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. $rand_1$ ve $rand_2$ 0-1 aralığında rastgele sayılar oluşan matrislerdir.

3.1.2. Parçacık Sürü Optimizasyonu İşleyişi

PSO akış diyagramı Şekil 3.1’de gösterilmiştir. PSO’ da öncelikle optimize edilecek fonksiyonun belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra başlangıç sürüsü belirlenen değer aralıkları içerisinde rastgele olarak seçilir. Seçilen sürüdeki her bir parçacık fonksiyona uyguladıktan sonra en iyi değeri veren parçacık gbest olarak seçilir. Bu aşamada rastgele bir hız matrisi oluşturulur. İterasyona başlamadan önce PSO’ ya ait bazı parametrelerin seçimi yapılır. Seçim işlemine müteakip belirlenen iterasyon sayısına kadar sürecek olan iterasyon işlemine başlanır iterasyonun başlangıcında hız matrisi güncellenir. Sürüdeki parçacıklar hız matrisine göre tekrar güncellenir. Güncelleme işleminde sürü içerisindeki en iyi değer ve o ana kadar elde edilen en iyi değer kullanılmaktadır. Güncellenen parçacıklar ile tekrar fonksiyon hesaplanarak en iyi değer ve en iyi parçacık belirlenir. İterasyon işlemi belirlenen değere kadar devam eder ve en iyi sonuç çözüm olarak belirlenir.

PSO’ da kullanılan parametreler;

- Sürü sayısı,
- Sürü boyutu,
- Parçacık aralığı,
- En yüksek hız,
- İterasyon sayısı,
- Öğrenme faktörleri,
- Bölgesel en iyi değer
- Global en iyi değer,
- Atalet yükü,
- Durma koşuludur.



Şekil 3.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu Akış Diyagramı

İterasyon sayısı: çözüme ulaşmak için yapılacak tekrar sayısını göstermektedir. İterasyon sayısının fazla olması en iyi sonuca ulaşmada avantaj sağlarken optimizasyon süresinin uzun olmasına sebep olmaktadır.

Sürü sayısı: Oluşturulacak sürü matrisinin içerisindeki parçacık adedini gösterir. Sürü sayısı ne kadar fazla olursa iterasyon içerisinde elde edilecek fonksiyon değer sayısı fazla olacağından araştırılacak uzayda daha geniş bir bölge taranmış olur. Sürü sayısının fazla olmasının dezavantajı hesaplama süresinin artmasıdır. Her iterasyon içinde her bir parçacık için fonksiyon değeri hesaplanacağı için optimizasyon süresi uzamaktadır. Yapılan çalışmalarda PSO’ da genellikle sürü sayısı 20 ile 40 arasında seçildiği gözlenmiştir.

Sürü boyutu: Kullanılan fonksiyona bağlı olarak değişmektedir. Sürü boyutu optimizasyon içerisinde uygunluğunu araştırdığımız parametrelerin sayısına eşittir. Kullanılan fonksiyon içerisindeki değişken sayısı arttıkça sürü sayısı da artmaktadır.

Parçacık aralığı: Parçacık aralığı fonksiyonda kullanılan değişkenlerin aralığına bağlı olarak değişmektedir.

En yüksek hız: Her iterasyon hız matrisi güncellenirken sürü içerisindeki parçacıkların parçacık aralığı değerlerini aşmaması için belirlenen önemli bir parametredir. Maksimum hız parametresi parçacıkların çözüm uzayının dışına çıkmalarını engellemektedir. Maksimum hızın iyi belirlenmesi gerekmektedir. Eğer maksimum hız küçük bir aralık içerisinde seçilirse parçacıkların hedeften uzak bir bölgede dolanmasına sebebiyet verir. Bu da istenilen sonuca ulaşmamızı engeller. Bu nedenle maksimum hızlar parçacık aralığına göre uygun olarak seçilmelidir.

Öğrenme faktörleri: Öğrenme faktörlerinin c_1 ve c_2 değerleri PSO’ nun verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

Bölgesel en iyi değer: Sürü içerisindeki parçacıkların o ana kadar elde ettikleri fonksiyonun en iyi değeridir.

Global en iyi değer: Tüm sürüler içerisindeki parçacıklardan elde edilen fonksiyonun en iyi değeridir.

Atalet yükü: Atalet yükü w maksimum hızın etkisini kontrol eden bir değişkendir. Etkileyen araştırma ve faydalanmayı daha iyi kontrol etmek için geliştirilmiştir. Atalet yükünün, parçacık sürü optimizasyon algoritmasına dahil edilmesi ilk kez Shi and Eberhant tarafından 1998 yılında gerçekleştirilmiştir. Değer eğer küçük seçilirse yapılan

arama yerel bir bölgede olmaktadır. Parametrenin büyük seçilmesi de aramanın tüm bölgede yapılmasını sağlar. Atalet yükü genel olarak iterasyon sayısı arttıkça doğrusal bir şekilde azaltılır.

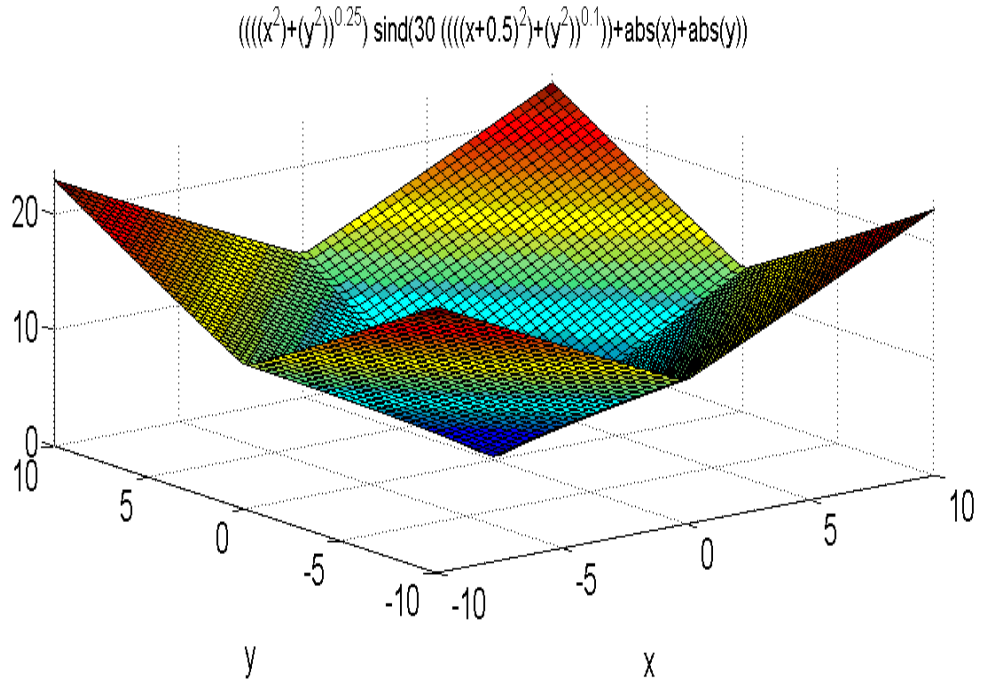
Durma koşulu: Durma koşulu optimizasyon için ulaşılması istenilen değere yakın olarak seçilen ve optimizasyon sonunda elde edilen değerlerin belirlenen aralık içerisinde olmasıyla optimizasyonu sonlandıran parametredir. Optimizasyonun sonlandırmak için istenilen iterasyon sayısına ulaşmak ta yeterli bir koşuldur.

Örnek olarak iki değişkenli bir fonksiyonun PSO yardımıyla çözümü elde edeceğiz.

$$\min \quad (x^2 + y^2)^{0.25} \sin\{30[(x + 0.5)^2 + y^2]^{0.1}\} + |x| + |y| \quad (3.4)$$

$$\text{kısıtlar} \quad -\infty \leq x, y \leq \infty$$

Denklem (3.4)'te verilen fonksiyona ait grafik şekil 3.2'de verilmiştir (Haupt ve Haupt 2004).

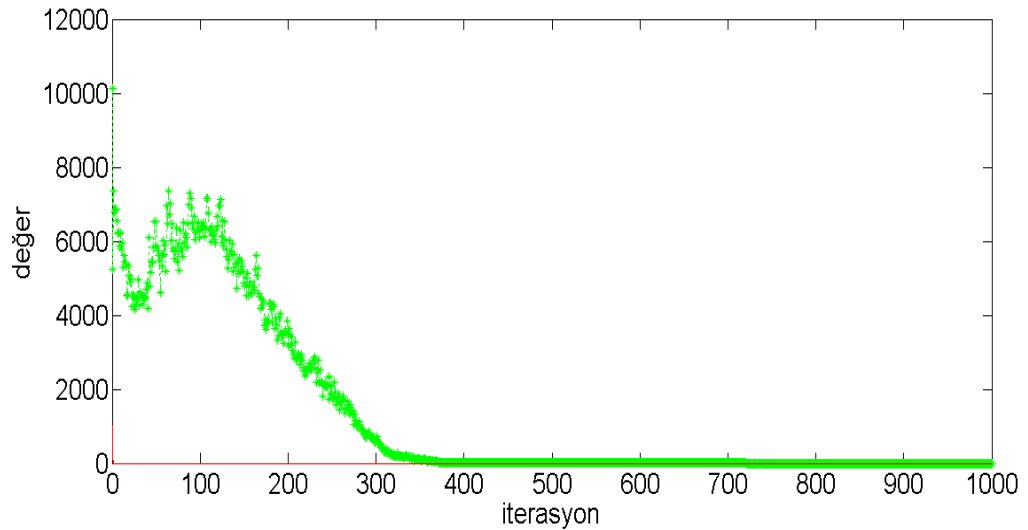


Şekil 3.2.Örnek Fonksiyon

Verilen fonksiyon için PSO parametreleri şu şekilde seçilmiştir.

- Sürü sayısı: 100,
- Sürü boyutu: 2,
- Parçacık aralığı: $-\infty \leq x, y \leq \infty$,
- En yüksek hız: $-\infty \leq v \leq \infty$,
- İterasyon sayısı: 1000,
- Öğrenme faktörleri: $c_1 = c_2 = 2$,
- Atalet yükü: $w = (1000 - i)\text{'inci iterasyon} / 1000$,

Amaç fonksiyonu minimum yapan değere ulaşmaktır. Şekil 3.2'den de görüldüğü gibi fonksiyon (0,0) noktasında minimum değeri olan 0 (sıfır'a) ulaşmaktadır. Şekil 3.3'te iterasyona göre değer grafiği verilmiştir.



Şekil 3.3. Örnek Fonksiyonun Değer Grafiği.

Şekil 3.3'te örnek fonksiyonun minimum değerine yaklaşık 400.üncü iterasyonda ulaşıldığı görülmektedir. “x” ve “y” parametrelerinin alt sınırı $-\infty$ ve üst sınırı ∞ olacak şekilde tanımlama yapılmıştır.

3.2. PSO Yardımı ile Elektromagnetik Soğurucu Tasarımı

Bölüm 3.1'de bahsedilen ve bölüm 3.2'de örnek bir fonksiyona uygulanan PSO elektromagnetik soğurucu tasarımı için de kullanılmıştır. Yapılan çalışmada hesaplamalar ve kullanıcı grafik arayüz uygulamaları MATLAB - Versiyon 7.6.0.324 (R2008a) programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızda iki farklı hata fonksiyonu

kullanarak minimum yansımaya katsayısını veren ve daha ince bir yapıya sahip elektromagnetik soğurucu malzemelerle yapılan uygun tasarımlar elde etmek amaçlanmıştır.

$$Hata1 = |R|^2 \quad (3.5)$$

$$Hata2 = |R| \times L \quad (3.6)$$

Burada R yansımaya katsayısı, L ise toplam kalınlığı ifade etmektedir. Denklem (3.5) ve (3.6)'da verilen hata fonksiyonları Şekil 3.4'te verilen grafik kullanıcı arayüzü ile birlikte daha kullanıma elverişli bir yapıya kavuşmuştur. Kullanılacak bazı parametreler (iterasyon sayısı, sürü sayısı vb.) kullanıcı ara yüzü yardımıyla değişken olarak kullanıcı tarafından seçilebilmektedir.

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 15

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MINİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -56.01

PARALEL POLARİZASYON MINİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -56.01

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000358651
2.NCİ KATMAN	6	0.00187885
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.00161922
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000504037
5.İNCİ KATMAN	15	0.00166715
6.NCİ KATMAN	3	0.00102829
7.NCİ KATMAN	3	0.000433295
8.İNCİ KATMAN	15	0.00177839
9.UNCU KATMAN	15	0.000273686
10.UNCU KATMAN	7	0.000307914
11.İNCİ KATMAN	6	0.00167453
12.NCİ KATMAN	15	0.000606233
13.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000927684
14.ÜNCÜ KATMAN	1	0.00170076
15.İNCİ KATMAN	3	0.00167465
TOPLAM KALINLIK		0.0164333

Şekil 3.4. Program Arayüzü

Şekil 3.5'te verilen kullanıcı ara yüzü ile iterasyon sayısı, katman sayısı, sürü içerisindeki parçacık sayısı ve öğrenme faktörleri kullanıcı tarafından seçile bilmektedir. Optimizasyon sonucunda bulunan minimum yansımaya katsayıları ve kullanılan malzeme ile bu malzemelere ait katman kalınlıkları ara yüzde gözükmemektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde elektromagnetik soğurucu dizaynına ilişkin Bölüm 2’de anlatılan eşitlikler kullanılarak, Bölüm 3 ‘te bahsedilen PSO ile yansıma katsayısını minimum yapacak katman sayısı 3 ile 15 arasında değişen çeşitli yapılar elde edilecektir. Kısım 4.1. ve 4.2. ‘de yapılarda sağ ve sol taraflı malzemeler kullanılmıştır. Kısım 4.3.’ te ise sadece sağ taraflı malzemeler kullanılmıştır. Elde edilen yapıların kalınlıkları ve kullanılan malzemelerin sıraları incelenecektir. Yapılarda kullanılan sağ taraflı malzemelere (Michielssen,E. vd. 1993) ve sol taraflı malzemeye (Fang,W. ve Xu,S. 2008) ilişkin bilgiler Çizelge 4.1’de verilmiştir

Çizelge 4.1. Malzemeler ve Özellikleri

Kayıplı <i>Magnetik Malzemeler</i> ($\epsilon_r = 15$)						
$\mu_r = \mu_g - \mu_s \quad \mu_g(f) = \frac{\mu_g(1GHz)}{f^a} \quad \mu_s(f) = \frac{\mu_s(1GHz)}{f^b}$						
	$\mu_g(1GHz)$	a	$\mu_s(1GHz)$	b		
1	5	0.974	10	0.961		
2	3	1	15	0.957		
3	7	1	12	1		
Dielektrik Malzemeler ($\mu_r = 1$)						
$\epsilon_r = \epsilon_g - \epsilon_s \quad \epsilon_g(f) = \frac{\epsilon_g(1GHz)}{f^a} \quad \epsilon_s(f) = \frac{\epsilon_s(1GHz)}{f^b}$						
	$\epsilon_g(1GHz)$	a	$\epsilon_s(1GHz)$	b		
4	5	0.861	8	0.569		
5	8	0.778	10	0.682		
6	10	0.778	6	0.861		
Magnetik Malzemeler ($\epsilon_r = 15$)						
$\mu_r = \mu_g - \mu_s \quad \mu_g = \frac{\mu_{rm}f_m^2}{f^2 + f_m^2} \quad \mu_s = \frac{\mu_{rm}f_m f}{f^2 + f_m^2}$						
	μ_{rm}		$f_m(GHz)$			
7	35		0.8			
8	35		0.5			
9	30		1			
10	18		0.5			
11	20		1.5			
12	30		2.5			
13	30		2			
14	25		3.5			
Sol Taraflı Malzeme						
$\mu_r(f) = 1 - \frac{f_{mp}^2 - f_{mo}^2}{f^2 - f_{mo}^2 + if\gamma_m} \quad \epsilon_r(f) = 1 - \frac{f_{ep}^2 - f_{eo}^2}{f^2 - f_{eo}^2 + if\gamma_e}$						
	$f_{mp}(GHz)$	$f_{mo}(GHz)$	$\gamma_m(GHz)$	$f_{ep}(GHz)$	$f_{eo}(GHz)$	$\gamma_e(GHz)$
15	20	0	10	40	0	0

4.1.Hata Fonksiyonu 1:

Bu bölümde çeşitli katman kalınlıklarında soğurucu tasarlamak amacıyla PSO' da kullanılmak üzere kullanılacak hata fonksiyonu şu şekilde alınmıştır.

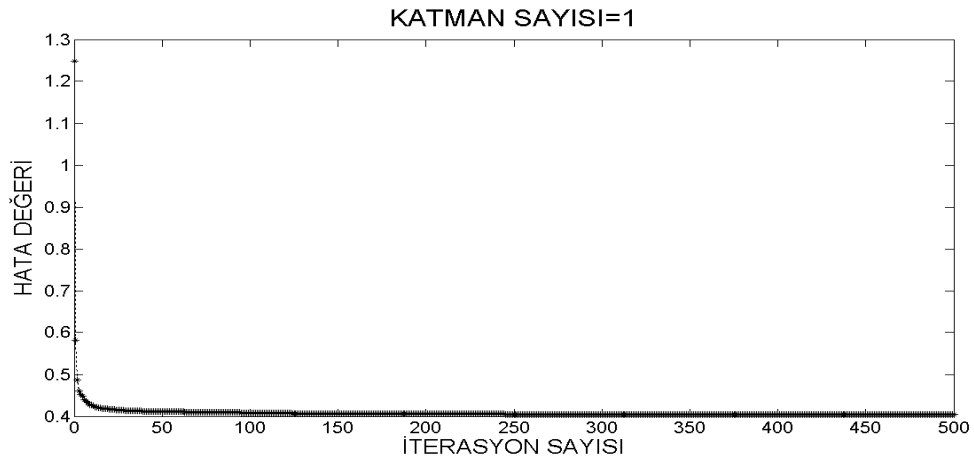
$$e = \sum_{t=1}^{MF} \sum_{s=1}^{MA} \left\{ \left(|R_{\text{paralelpol}}(t, \Psi_s)| + |R_{\text{dikpol}}(t, \Psi_s)| \right)^2 \right\} \quad (4.1)$$

Burada Ψ geliş açısını, MF kullanılan frekans sayısını, MA kullanılan açı sayısını $R_{\text{paralelpol}}$ ve R_{dikpol} sırasıyla paralel polarizasyondaki yansıma katsayısı ve dik polarizasyondaki yansıma katsayısını göstermektedir. Frekans değerleri aralığındaki değerlerin 0.1 GHz artarak ele aldığımızda MF sayısı 40, açı değerlerini de 1 derece artarak ele aldığımızda MA sayısı da 45'e eşit olacaktır. Hata fonksiyonunu PSO yardımıyla optimize ederek ve Çizelge 4.2'de verilen parametreler kullanılarak minimum yansıma katsayısını elde edeceğiz.

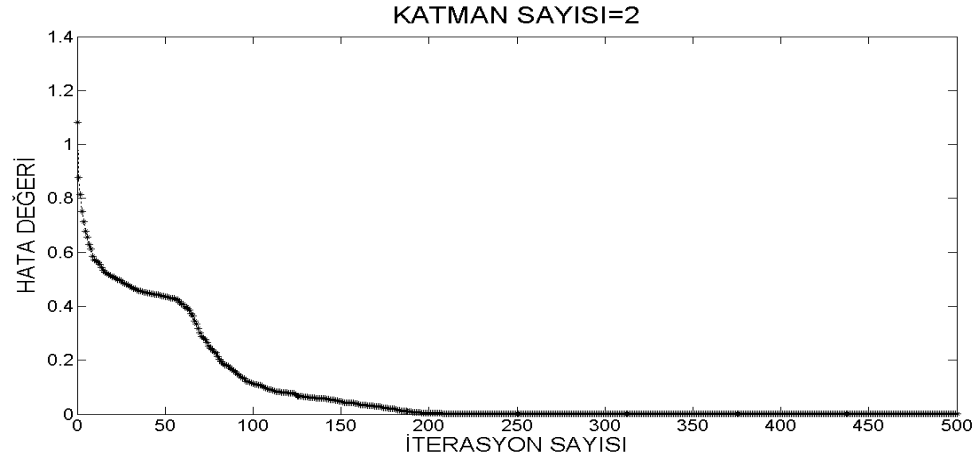
Çizelge 4.2. Hata Fonksiyonu 1 için Optimizasyonda Kullanılan Parametre Değerleri

Frekans	8GHz-12GHz
Açı	1-45 derece
Katman Sayısı	1-15
İterasyon Sayısı	500
Sürü Sayısı	150

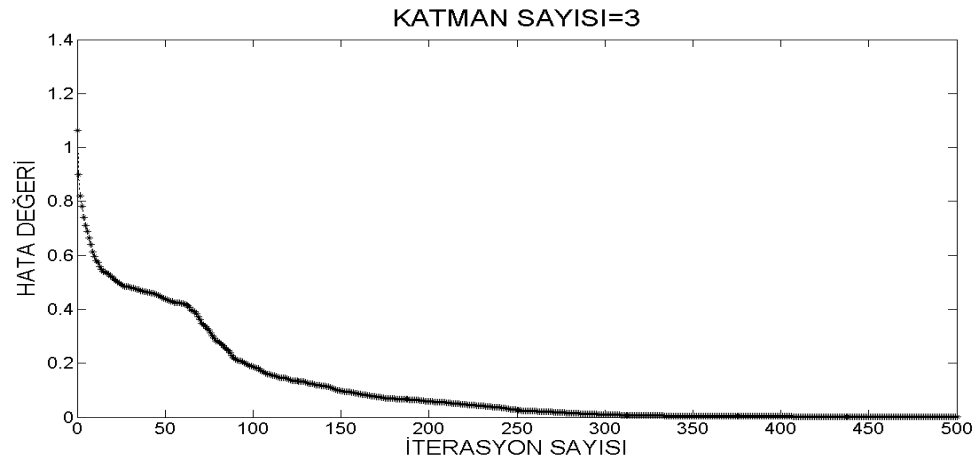
Optimizasyon sonucu elde edilen farklı katman sayılarında iterasyon sayısı ile değişen hata değeri grafikleri şekil 4.1.1'de gösterilmiştir.



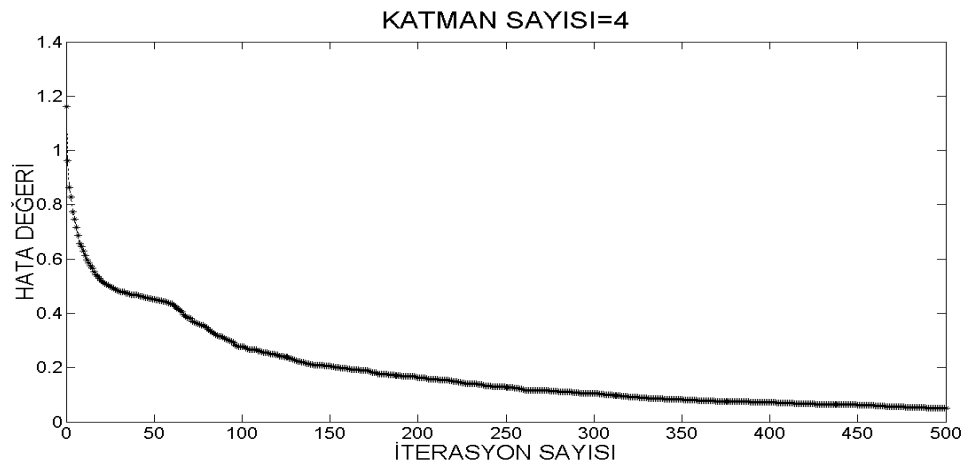
Şekil 4.1.1(a) 1 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



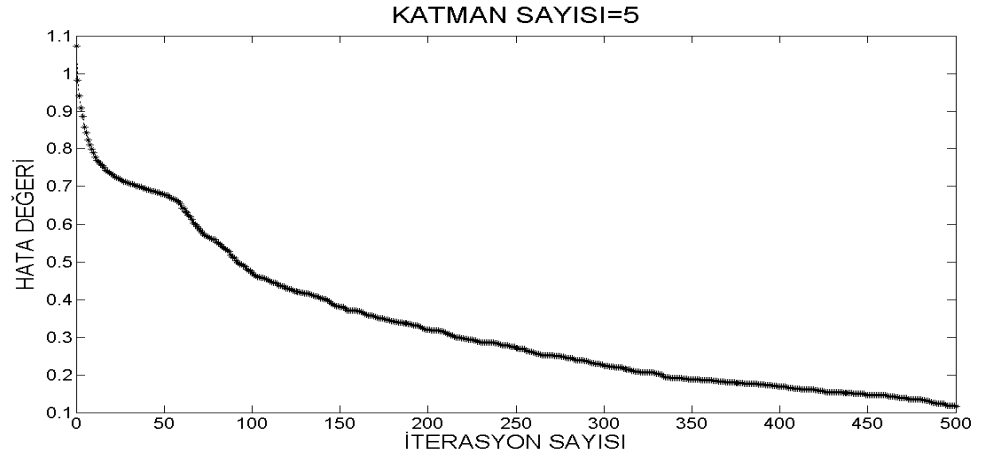
Şekil 4.1.1(b) 2 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



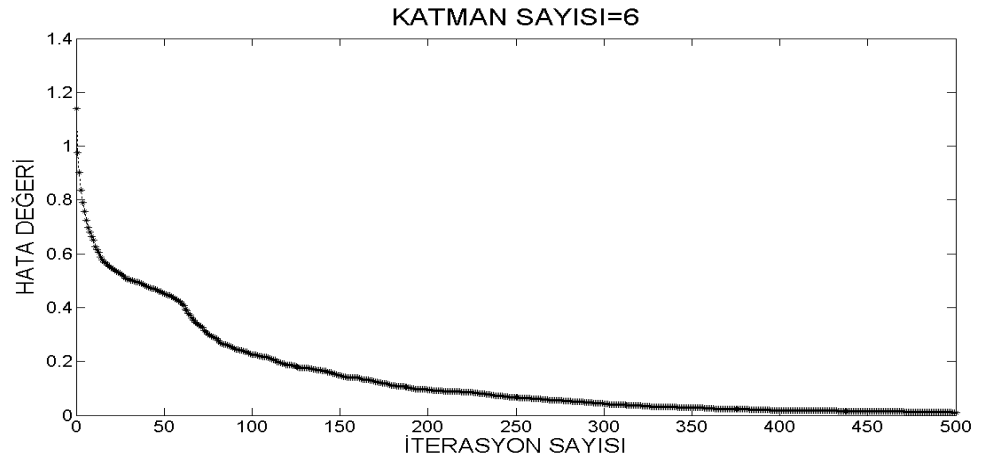
Şekil 4.1.1(c) 3 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



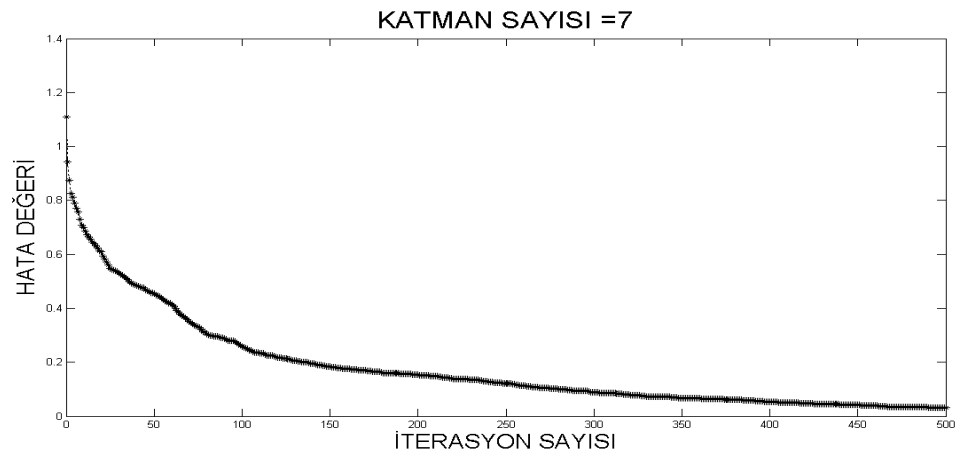
Şekil 4.1.1(d) 4 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



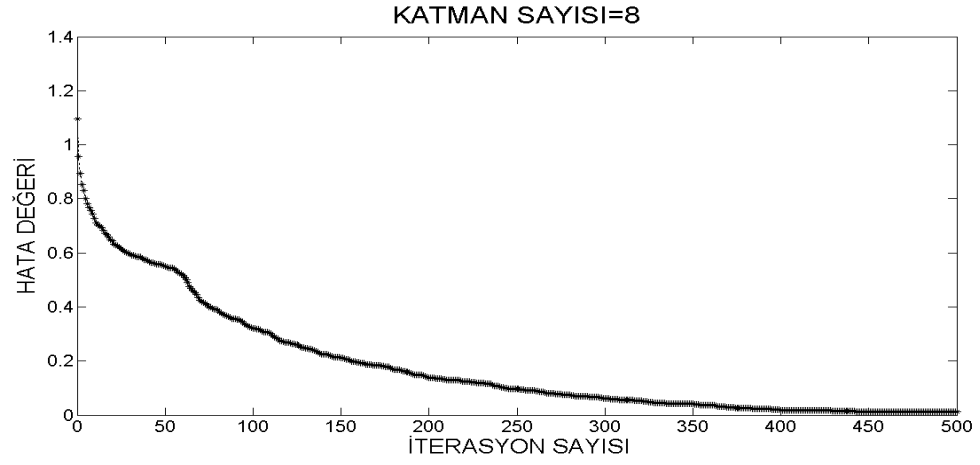
Şekil 4.1.1(e) 5 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



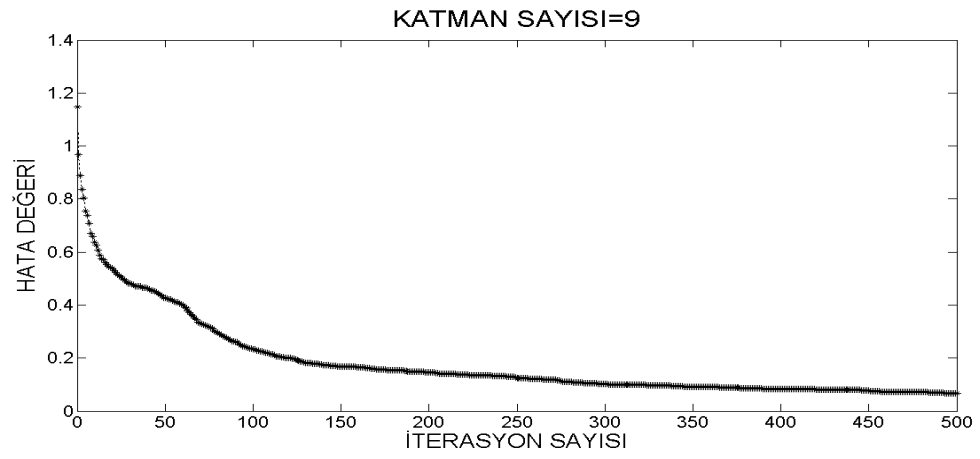
Şekil 4.1.1(f) 6 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



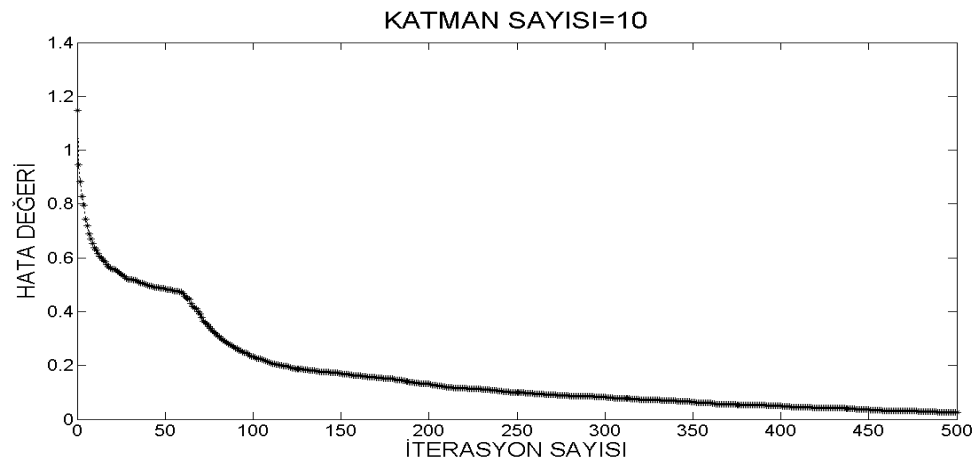
Şekil 4.1.1(g) 7 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



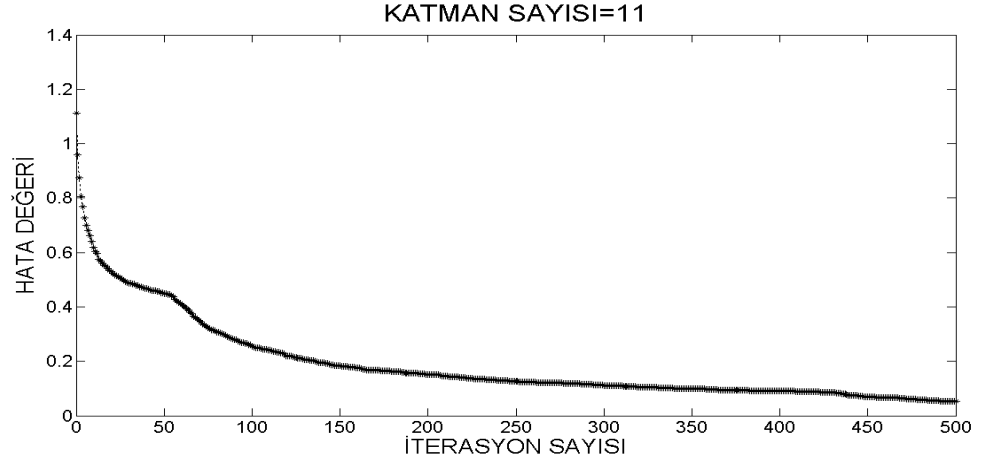
Şekil 4.1.1(h) 8 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



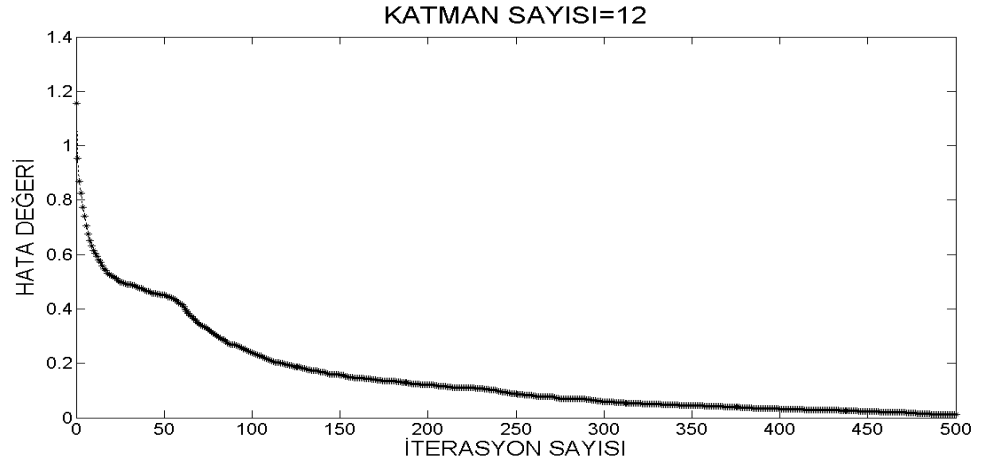
Şekil 4.1.1(i) 9 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



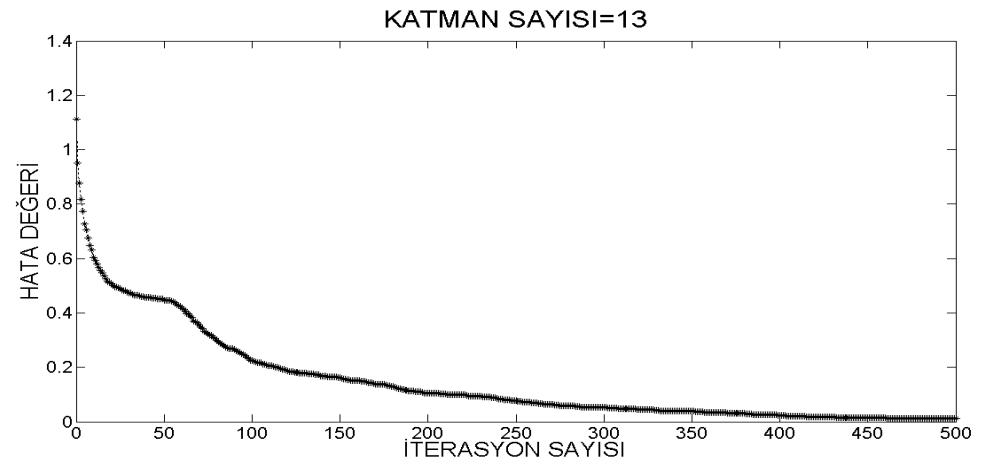
Şekil 4.1.1(j) 10 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



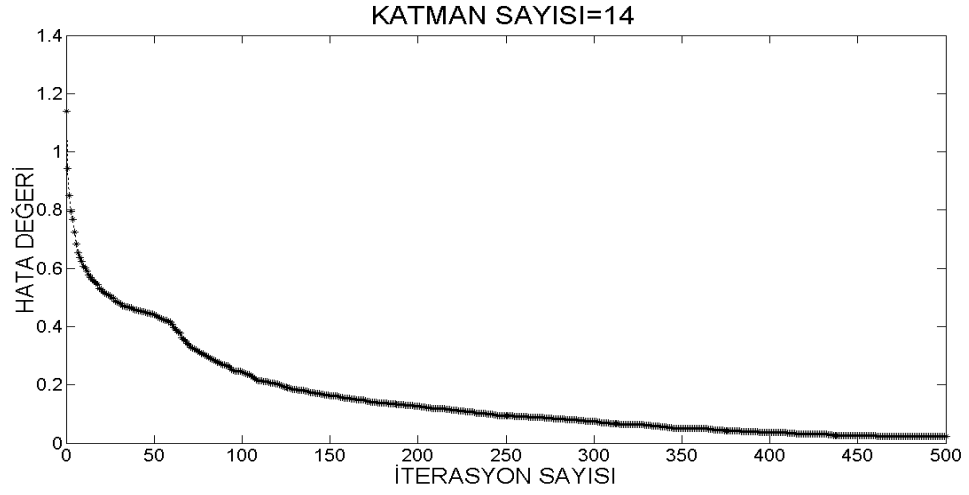
Şekil 4.1.1(k) 11 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



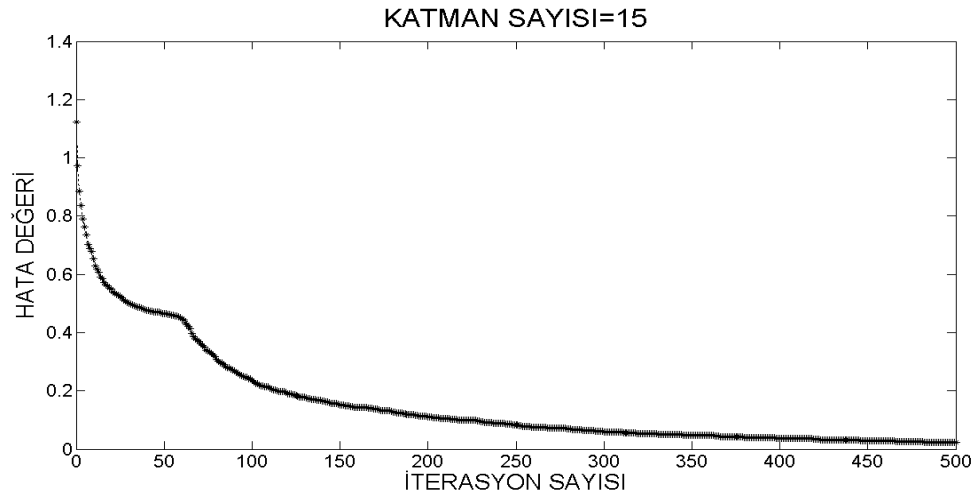
Şekil 4.1.1(l) 12 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



Şekil 4.1.1(m) 13 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



Şekil 4.1.1(n) 14 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



Şekil 4.1.1(o) 15 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri

Şekil 4.1.1’de verilen hata değerlerine ilişkin tasarlanan yapıların katman kalınlıkları ve bu yapıda kullanılan malzemeler Şekil 4.1.2’de gösterilmiştir.

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MAKSİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MAKSİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

MALZEME

	MALZEME	
1.İNCİ KATMAN	15	0.00115717

Şekil 4.1.2(a) 1 Katmanlı Tasarım

hata1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MINİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MINİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

MALZEME KATMAN KALINLIĞI (metre)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000756385
2.İNCİ KATMAN	4	0.001112249
TOPLAM KALINLIK		0.001877887

Şekil 4.1.2(b) 2 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	9	0.000251775
2.İNCİ KATMAN	15	0.000523266
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00116532
TOPLAM KALINLIK		0.00194036

Şekil 4.1.2(c) 3 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.00020425
2.İNCİ KATMAN	6	0.00156964
3.ÜNCÜ KATMAN	6	0.00199067
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000814723
TOPLAM KALINLIK		0.00457929

Şekil 4.1.2(d) 4 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000369336
2.İNCİ KATMAN	6	0.00162947
3.ÜNCÜ KATMAN	6	0.00182258
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00106308
5.İNCİ KATMAN	8	0.0011158
TOPLAM KALINLIK		0.00600027

Şekil 4.1.2(e) 5 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000433476
2.İNCİ KATMAN	4	0.00191464
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00147664
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00144434
5.İNCİ KATMAN	15	0.00149788
6.İNCİ KATMAN	14	0.00150263
TOPLAM KALINLIK		0.00826961

Şekil 4.1.2(f) 6 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000375197
2.İNCİ KATMAN	6	0.00176218
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00185928
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000839777
5.İNCİ KATMAN	7	0.00151991
6.İNCİ KATMAN	15	0.00148862
7.İNCİ KATMAN	12	0.00165345
TOPLAM KALINLIK		0.00949842

Şekil 4.1.2(g) 7 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000384158
2.İNCİ KATMAN	4	0.00196599
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00166547
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.0013141
5.İNCİ KATMAN	8	0.0005019
6.İNCİ KATMAN	15	0.00122155
7.İNCİ KATMAN	10	0.00125674
8.İNCİ KATMAN	15	0.00106383
TOPLAM KALINLIK		0.00937374

Şekil 4.1.2(h) 8 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000371775
2.İNCİ KATMAN	6	0.00158152
3.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00002651
4.ÜNCÜ KATMAN	5	0.00174408
5.İNCİ KATMAN	15	0.00143795
6.İNCİ KATMAN	12	0.000832132
7.İNCİ KATMAN	13	0.0013364
8.İNCİ KATMAN	15	0.000691286
9.UNCU KATMAN	15	0.000659166
TOPLAM KALINLIK		0.00868082

Şekil 4.1.2(i) 9 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000339796
2.İNCİ KATMAN	6	0.00165033
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00191475
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00107114
5.İNCİ KATMAN	15	0.00129012
6.İNCİ KATMAN	12	0.00177891
7.İNCİ KATMAN	4	0.00106726
8.İNCİ KATMAN	15	0.00178306
9.UNCU KATMAN	3	0.000819815
10.UNCU KATMAN	15	0.00108308
TOPLAM KALINLIK		0.0127983

Şekil 4.1.2(j) 10 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	14	0.000354838
2.NCİ KATMAN	15	0.0000694506
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00183683
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00108834
5.İNCİ KATMAN	8	0.00126958
6.NCİ KATMAN	15	0.00109923
7.NCİ KATMAN	5	0.00154634
8.İNCİ KATMAN	15	0.00126
9.UNCU KATMAN	15	0.0013571
10.UNCU KATMAN	15	0.00112209
11.İNCİ KATMAN	9	0.00121
TOPLAM KALINLIK		0.0122138

Şekil 4.1.2(k) 11 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000385191
2.NCİ KATMAN	4	0.0019585
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.0018875
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00145166
5.İNCİ KATMAN	11	0.00168063
6.NCİ KATMAN	15	0.00127109
7.NCİ KATMAN	15	0.000800501
8.İNCİ KATMAN	3	0.00106539
9.UNCU KATMAN	9	0.00034111
10.UNCU KATMAN	15	0.0013751
11.İNCİ KATMAN	15	0.000725675
12.NCİ KATMAN	15	0.00123623
TOPLAM KALINLIK		0.0141786

Şekil 4.1.2(l) 12 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 13

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -53.04

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -53.55

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000459895
2.NCİ KATMAN	6	0.00140581
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00166503
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000978683
5.İNCİ KATMAN	14	0.000465627
6.NCİ KATMAN	15	0.00113688
7.NCİ KATMAN	2	0.00184784
8.İNCİ KATMAN	15	0.00105
9.UNCU KATMAN	15	0.00140547
10.UNCU KATMAN	10	0.000800554
11.İNCİ KATMAN	4	0.000354256
12.NCİ KATMAN	15	0.00159886
13.ÜNCÜ KATMAN	9	0.000925118
TOPLAM KALINLIK		0.014094

Şekil 4.1.2(m) 13 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 14

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -43.57

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -43.48

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000329144
2.NCİ KATMAN	6	0.00182009
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00174683
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00151825
5.İNCİ KATMAN	9	0.00106536
6.NCİ KATMAN	15	0.000719276
7.NCİ KATMAN	15	0.0011424
8.İNCİ KATMAN	8	0.00161639
9.UNCU KATMAN	8	0.00125
10.UNCU KATMAN	15	0.00197101
11.İNCİ KATMAN	10	0.00144869
12.NCİ KATMAN	15	0.000870138
13.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000249195
14.ÜNCÜ KATMAN	6	0.00184465
TOPLAM KALINLIK		0.0175933

Şekil 4.1.2(n) 14 Katmanlı Tasarım

HATA1

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 15

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

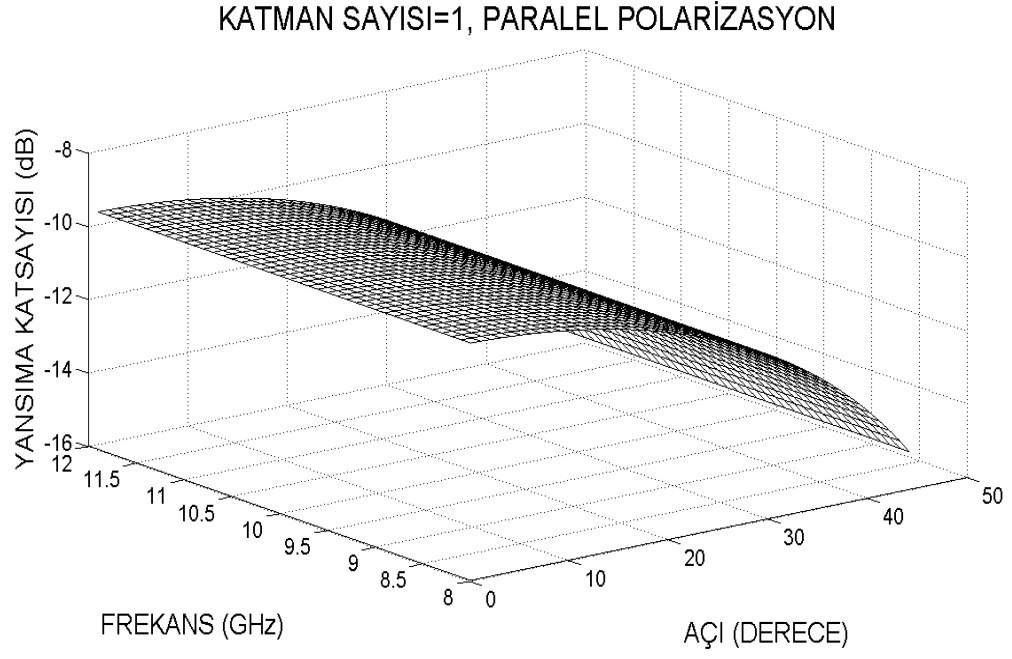
DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -56.01

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -56.01

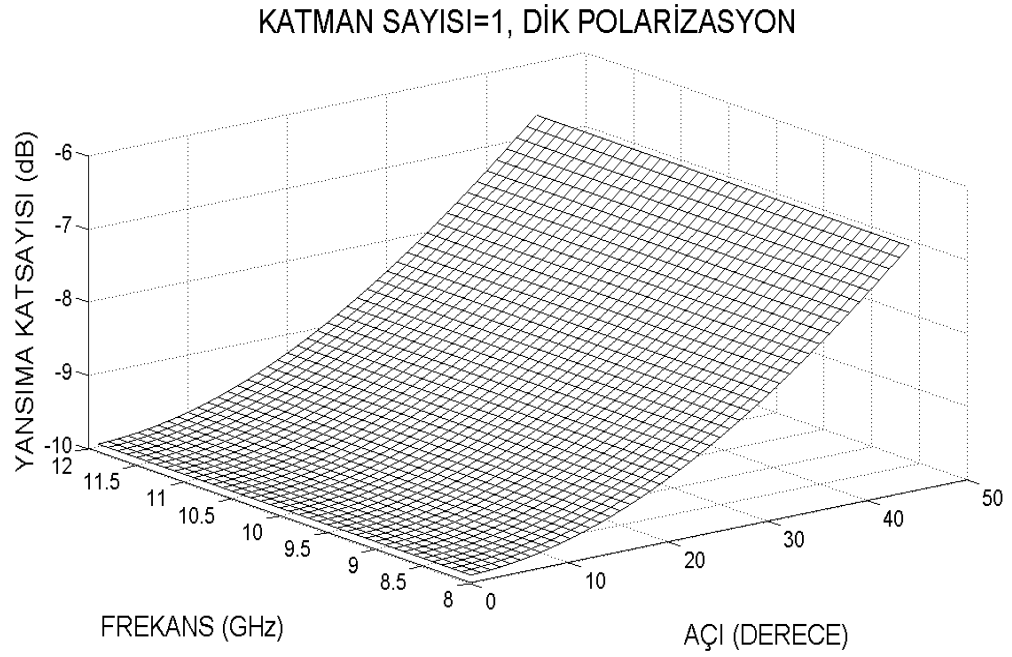
	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000358651
2.NCİ KATMAN	6	0.00187885
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.00161922
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000504037
5.İNCİ KATMAN	15	0.00166715
6.NCİ KATMAN	3	0.00102829
7.NCİ KATMAN	3	0.000433295
8.İNCİ KATMAN	15	0.00177839
9.UNCU KATMAN	15	0.000273686
10.UNCU KATMAN	7	0.000307914
11.İNCİ KATMAN	6	0.00167453
12.NCİ KATMAN	15	0.000606233
13.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000927684
14.ÜNCÜ KATMAN	1	0.00170076
15.İNCİ KATMAN	3	0.00167465
TOPLAM KALINLIK		0.0164333

Şekil 4.1.2(o) 15 Katmanlı Tasarım

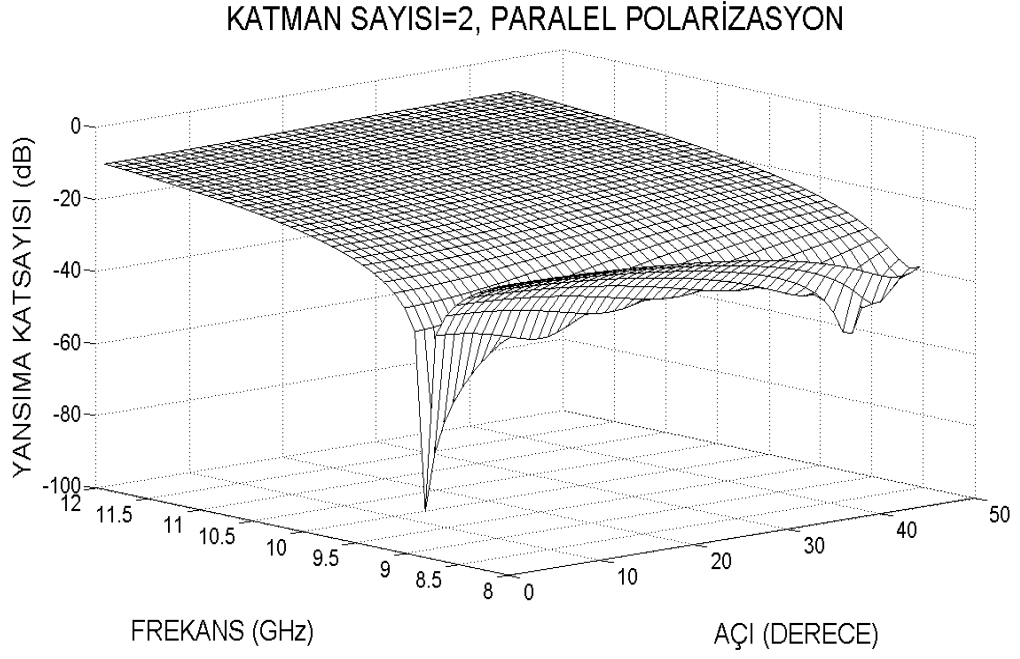
Şekil 4.1.2’de gösterilen çok katmanlı elektromagnetik soğurucu yapıların paralel ve dik polarizasyonlarda frekans ve açı değişimi ile yansımaya katsayısı değerine ilişkin grafikler Şekil 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5, 4.1.6 4.1.7, 4.1.8, 4.1.9, 4.1.10, 4.1.11, 4.1.12, 4.1.13, 4.1.14, 4.1.15,’de 3 boyutlu olarak gösterilmiştir.



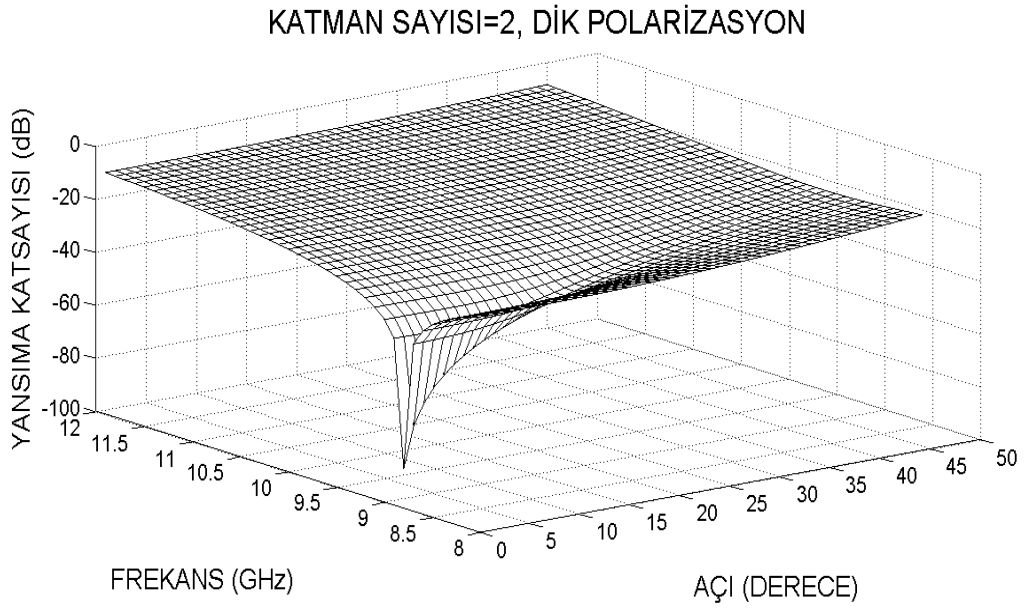
Şekil 4.1.3(a) Paralel Polarizasyon İçin 1 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



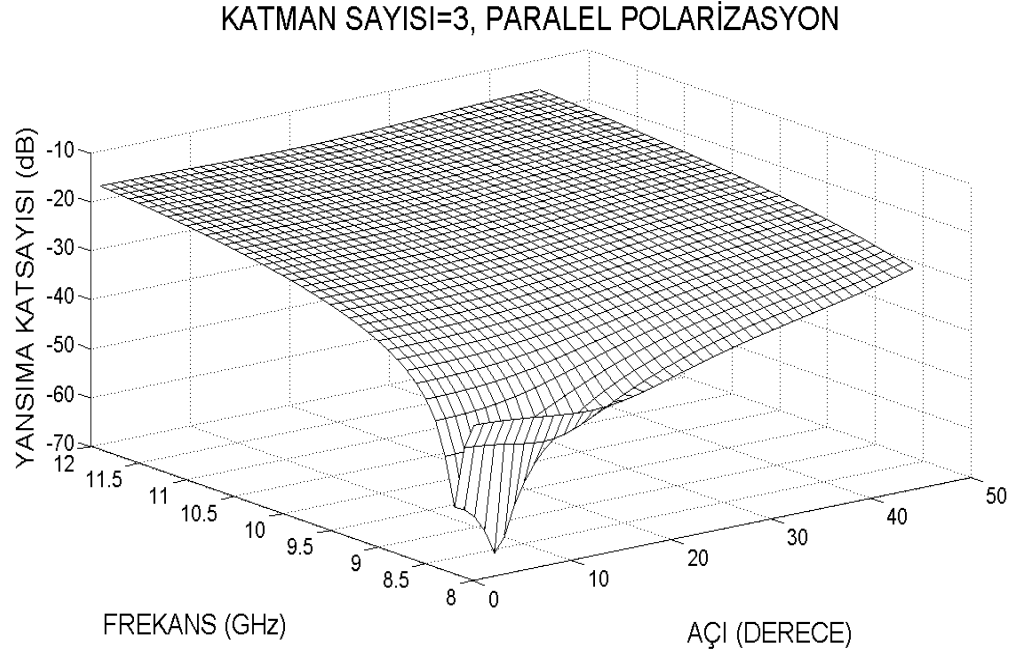
Şekil 4.1.3(b) Dik Polarizasyon İçin 1 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



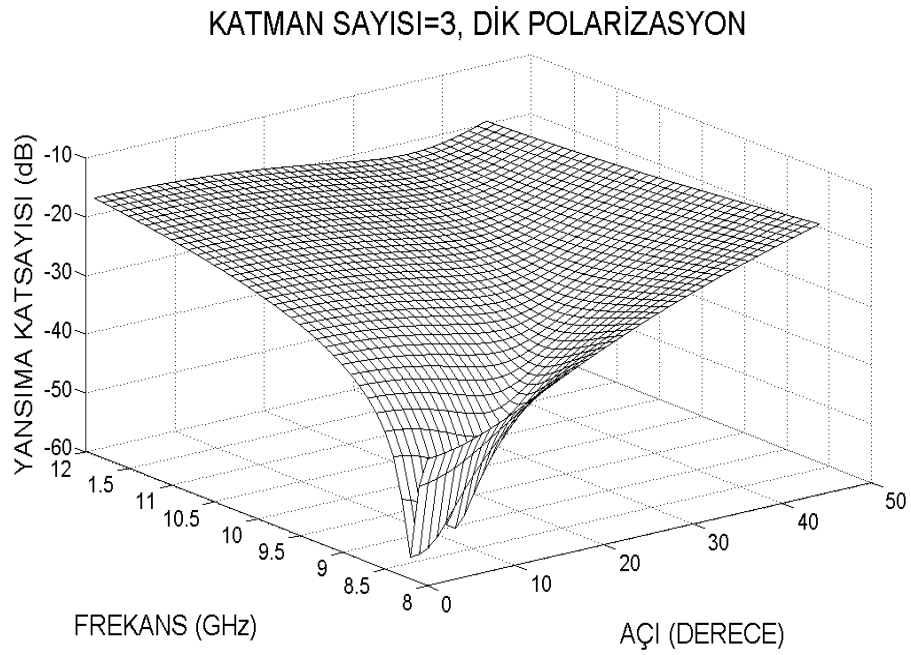
Şekil 4.1.4(a) Paralel Polarizasyon İçin 2 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



Şekil 4.1.4(b) Dik Polarizasyon İçin 2 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

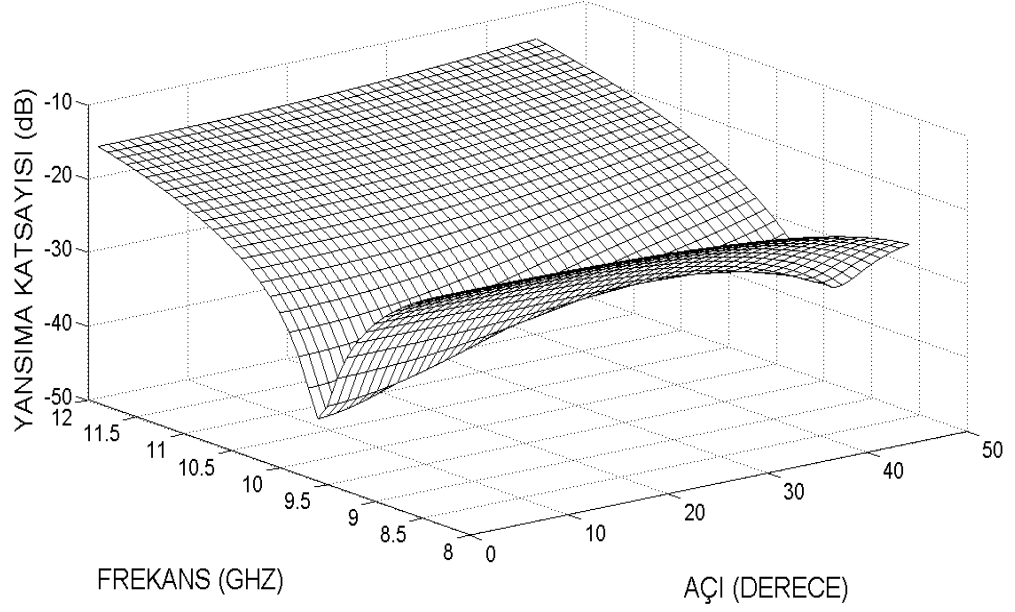


Şekil 4.1.5(a) Paralel Polarizasyon İçin 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



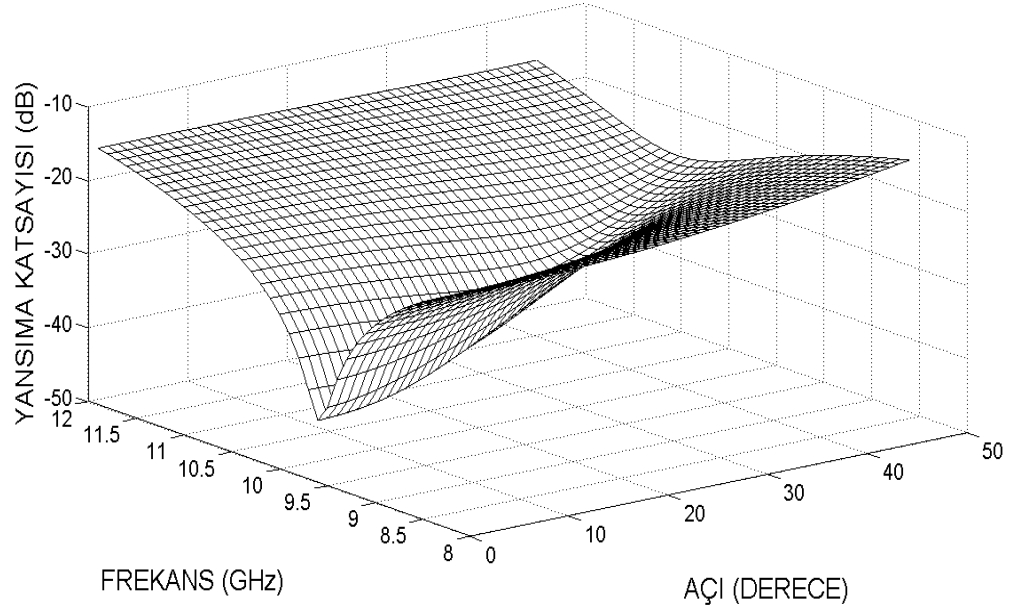
Şekil 4.1.5(b) Dik Polarizasyon İçin 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=4, PARALEL POLARİZASYON

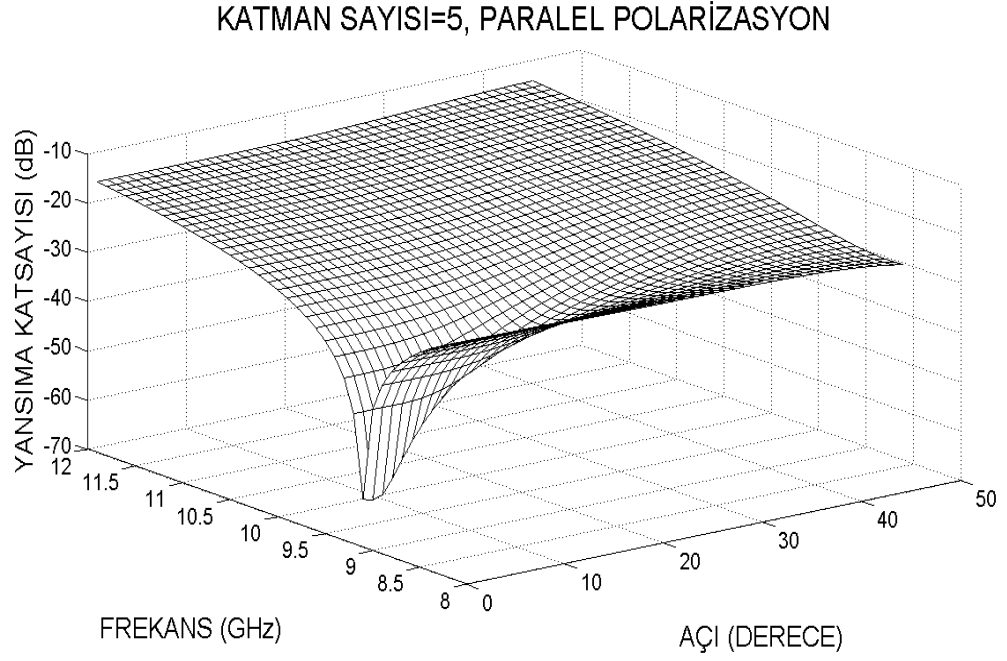


Şekil 4.1.6(a) Paralel Polarizasyon İçin 4 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

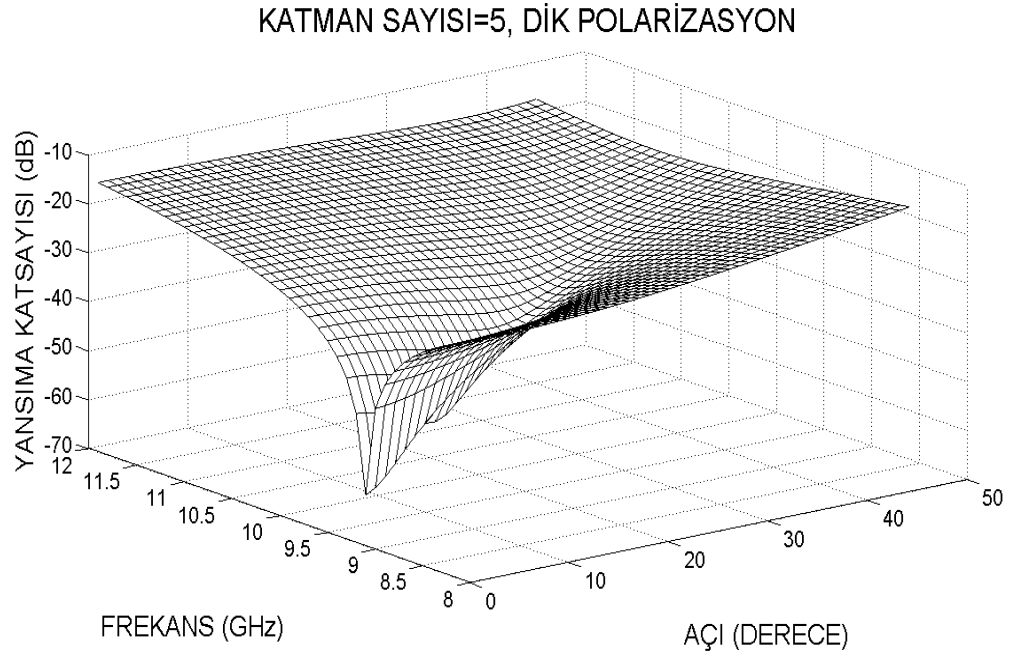
KATMAN SAYISI=4, DİK POLARİZASYON



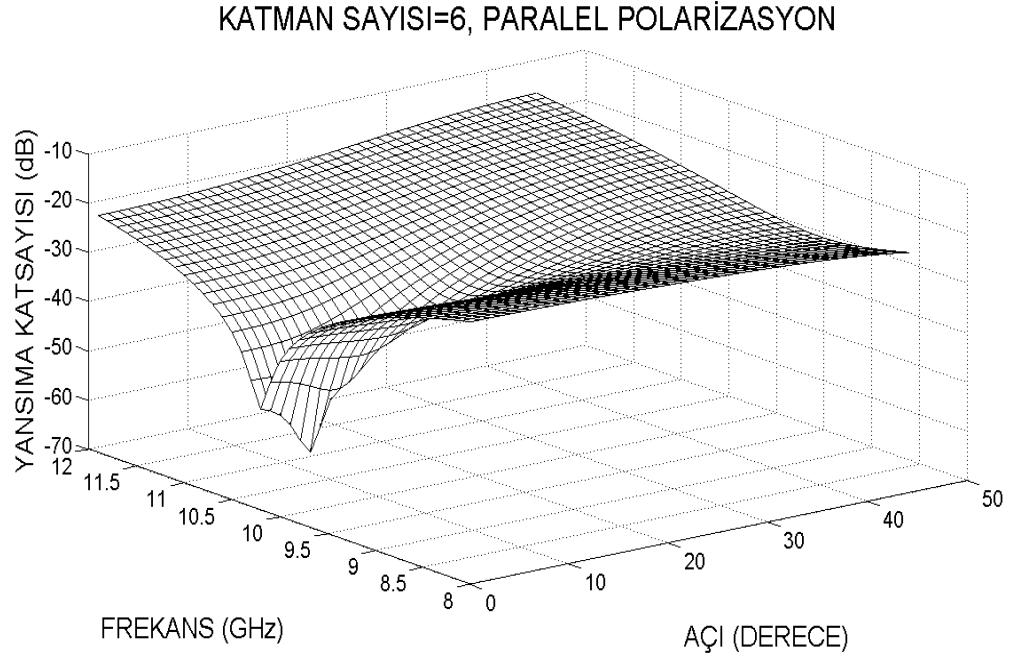
Şekil 4.1.6(b) Dik Polarizasyon İçin 4 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



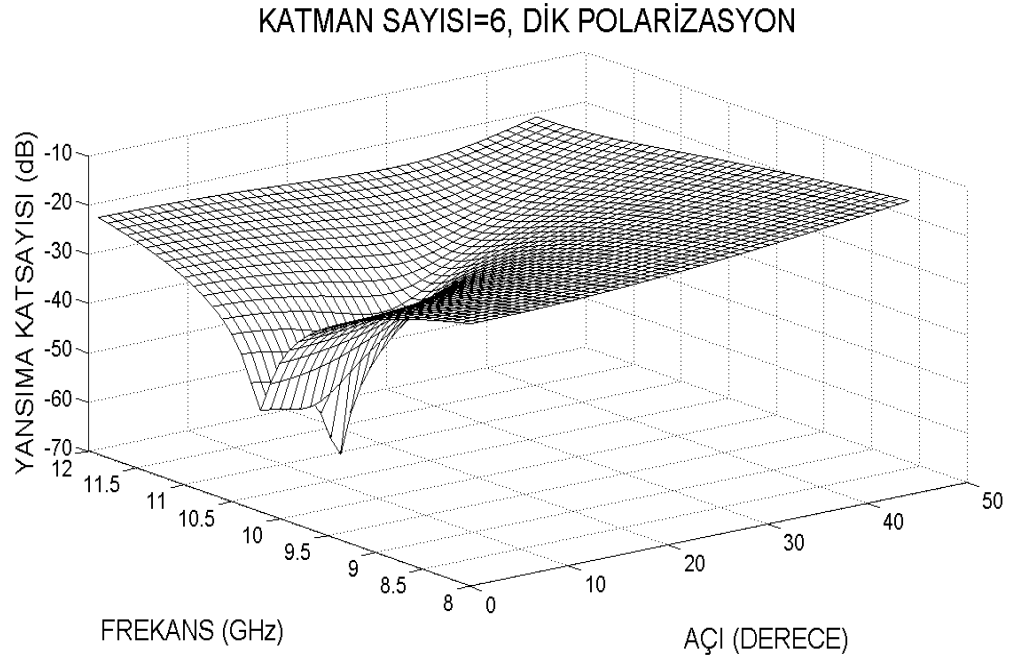
Şekil 4.1.7(a) Paralel Polarizasyon İçin 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



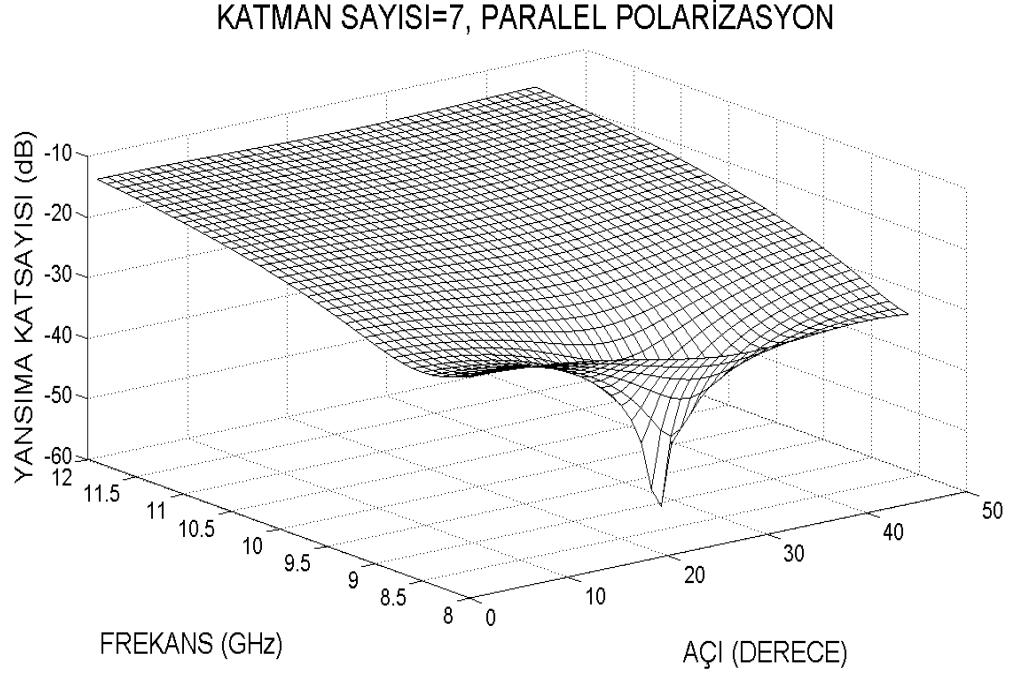
Şekil 4.1.7(b) Dik Polarizasyon İçin 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



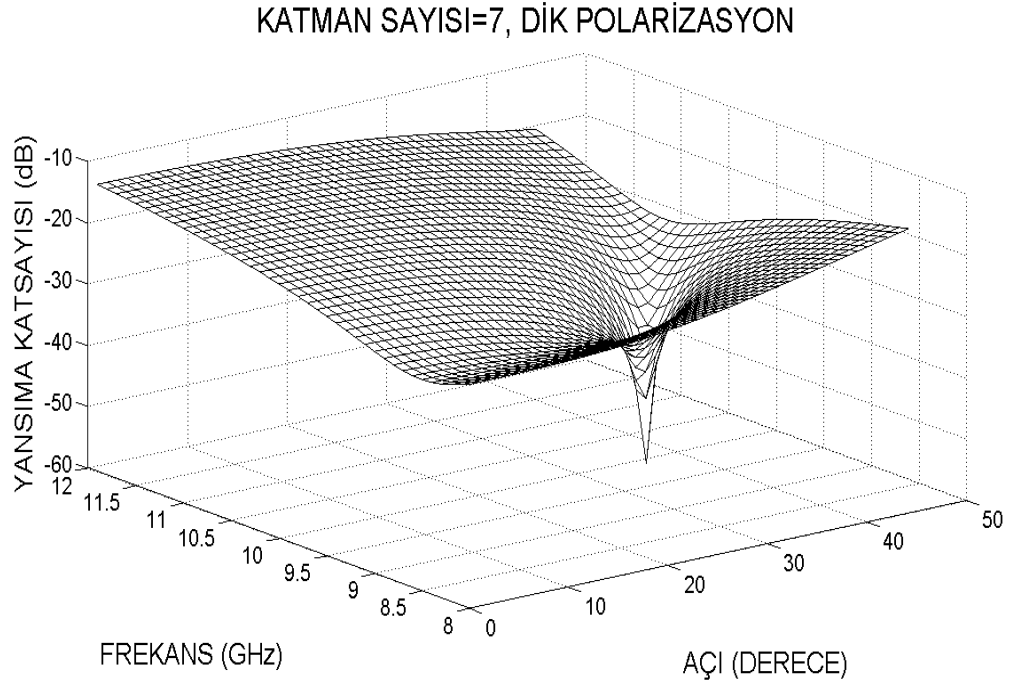
Şekil 4.1.8(a) Paralel Polarizasyon İçin 6 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



Şekil 4.1.8(b) Dik Polarizasyon İçin 6 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

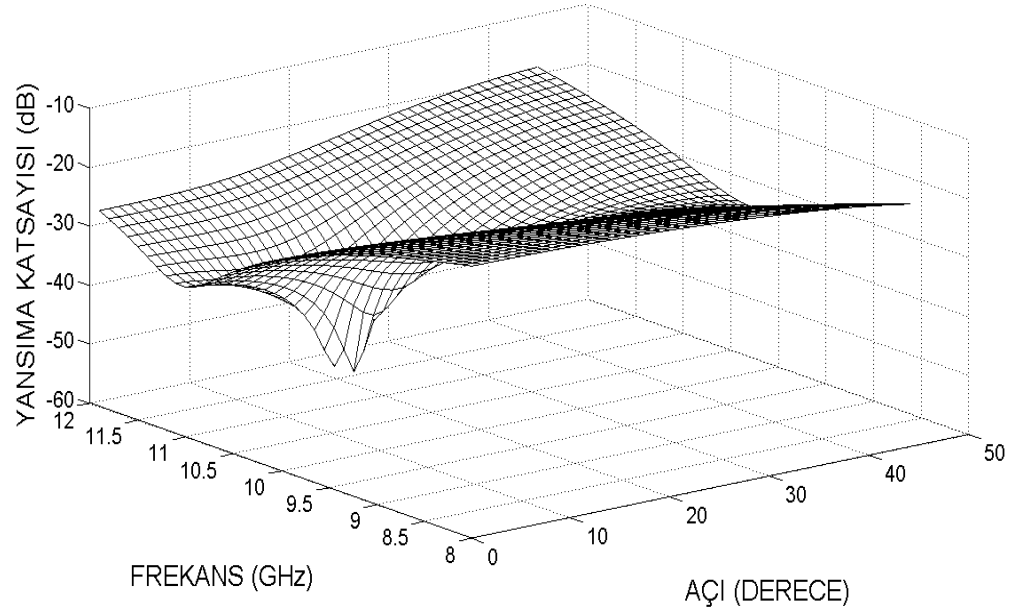


Şekil 4.1.9(a) Paralel Polarizasyon İçin 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



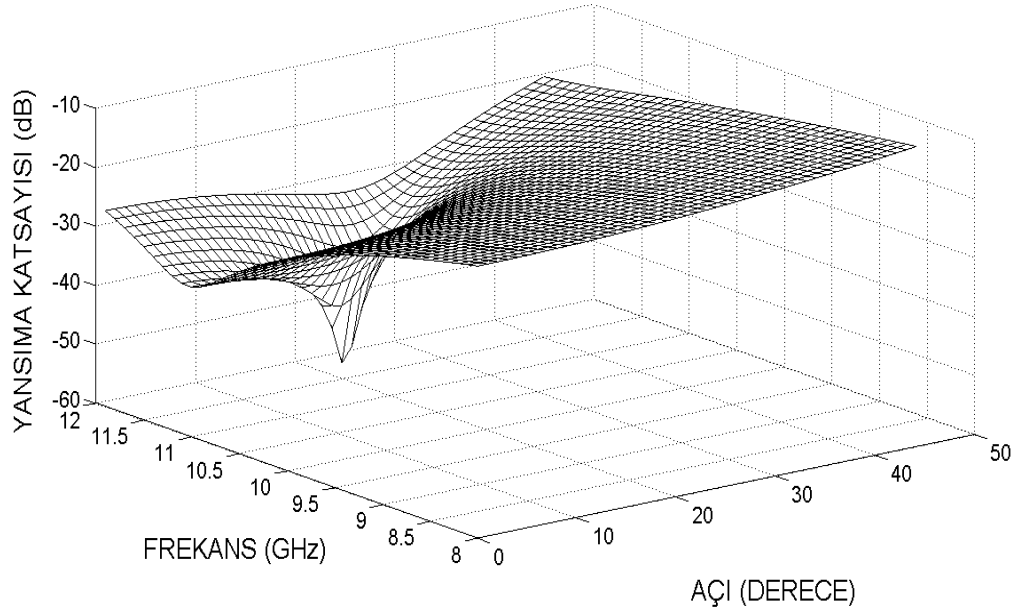
Şekil 4.1.9(b) Dik Polarizasyon İçin 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=8, PARALEL POLARİZASYON



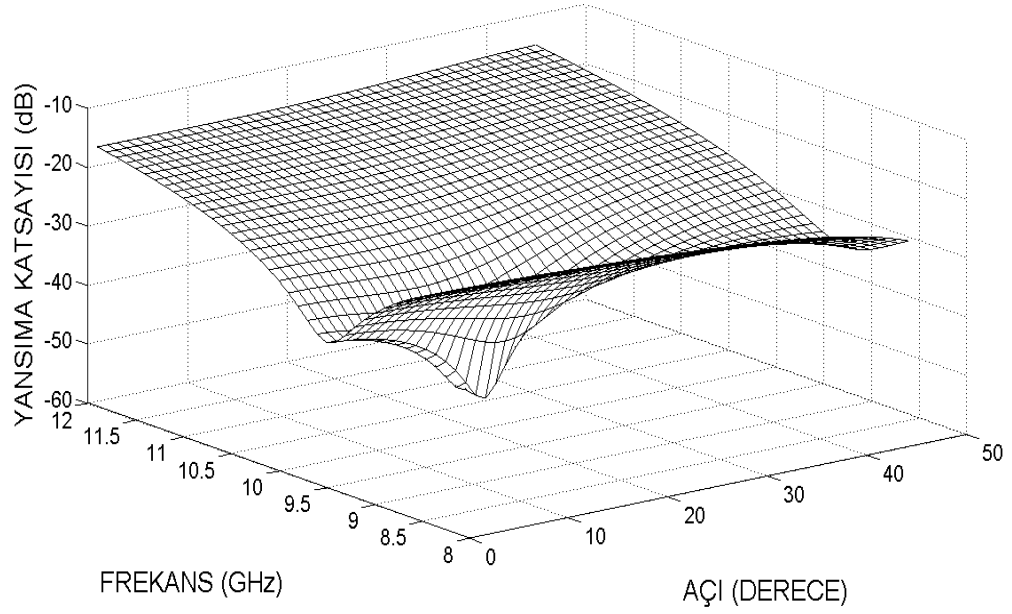
Şekil 4.1.10(a) Paralel Polarizasyon İçin 8 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=8, DİK POLARİZASYON



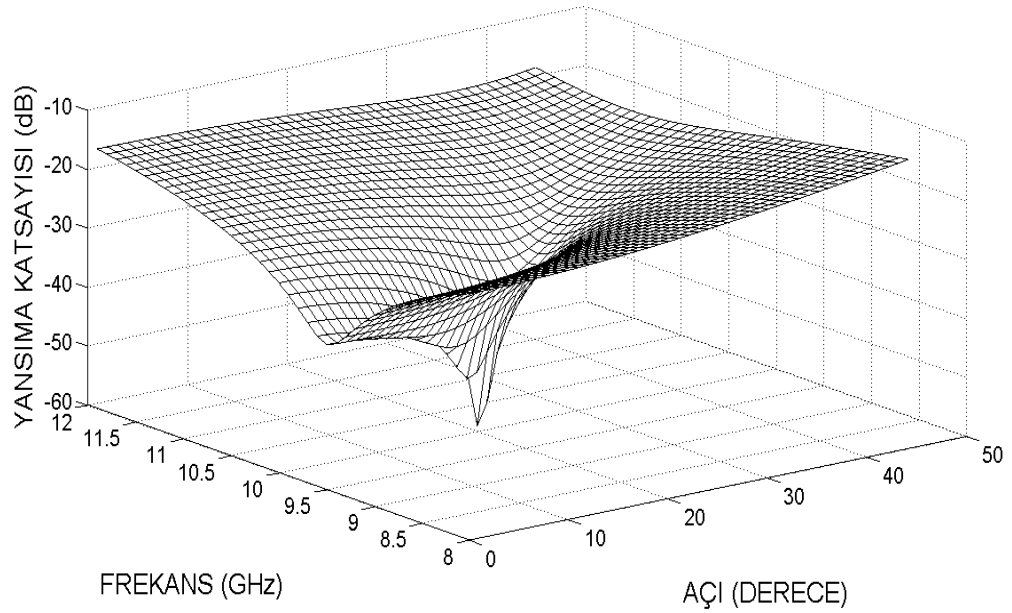
Şekil 4.1.10(b) Dik Polarizasyon İçin 8 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=9, PARALEL POLARİZASYON



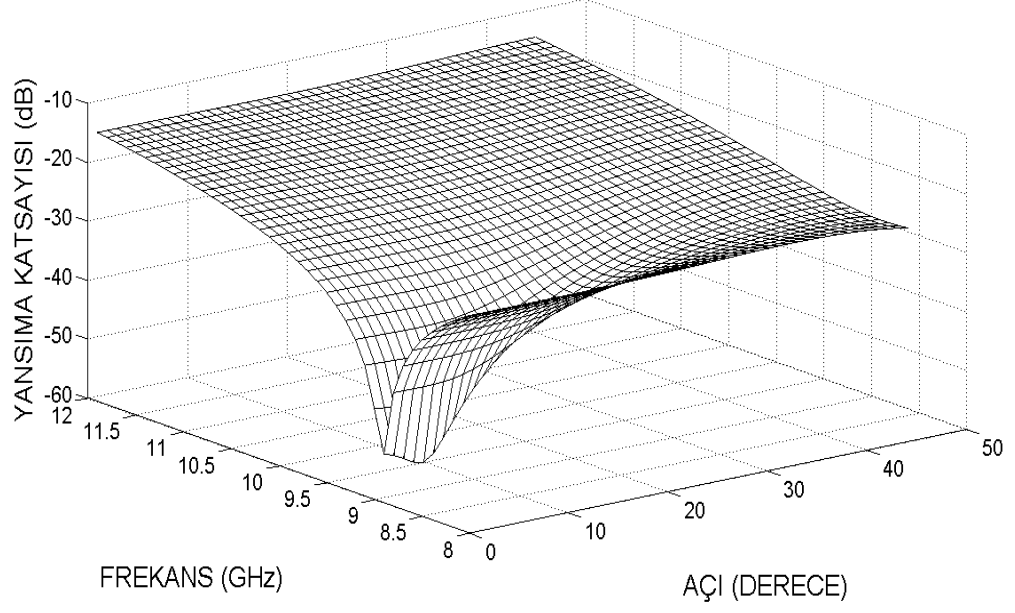
Şekil 4.1.11(a) Paralel Polarizasyon İçin 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=9, DİK POLARİZASYON



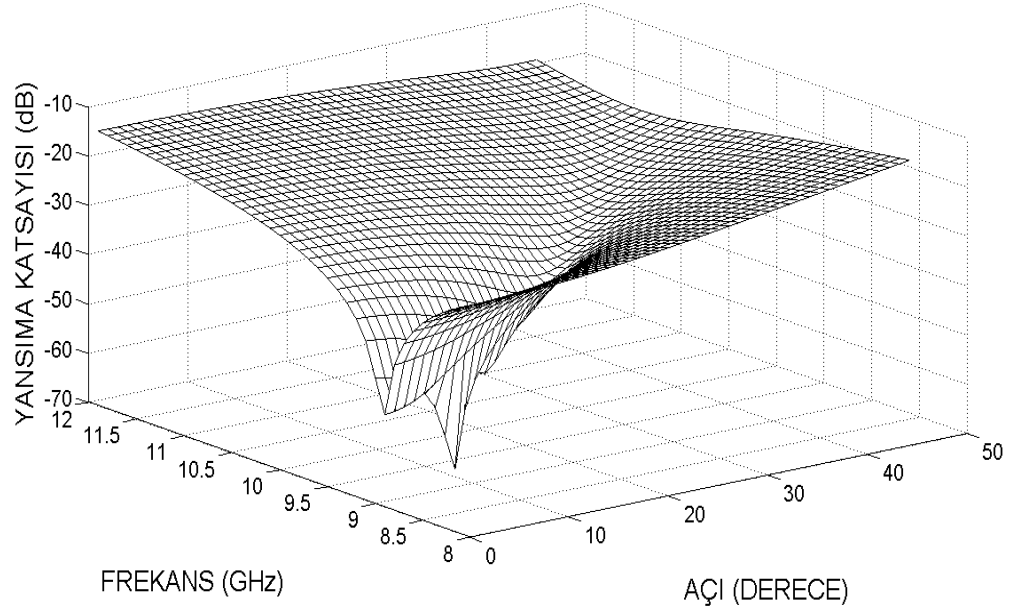
Şekil 4.1.11(b) Dik Polarizasyon İçin 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=10, PARALEL POLARİZASYON

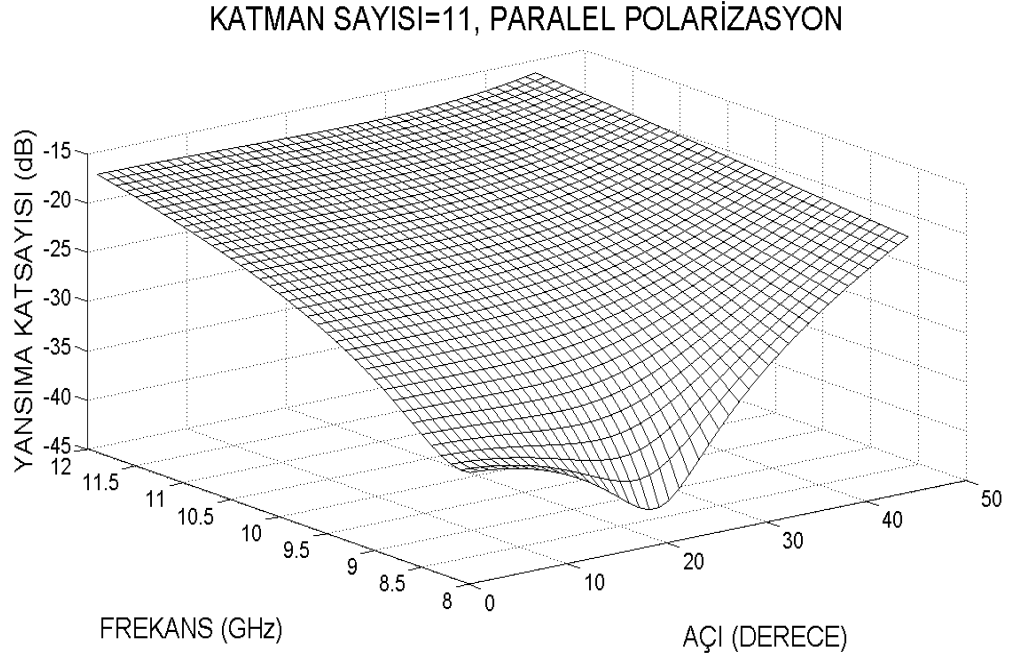


Şekil 4.1.12(a) Paralel Polarizasyon İçin 10 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

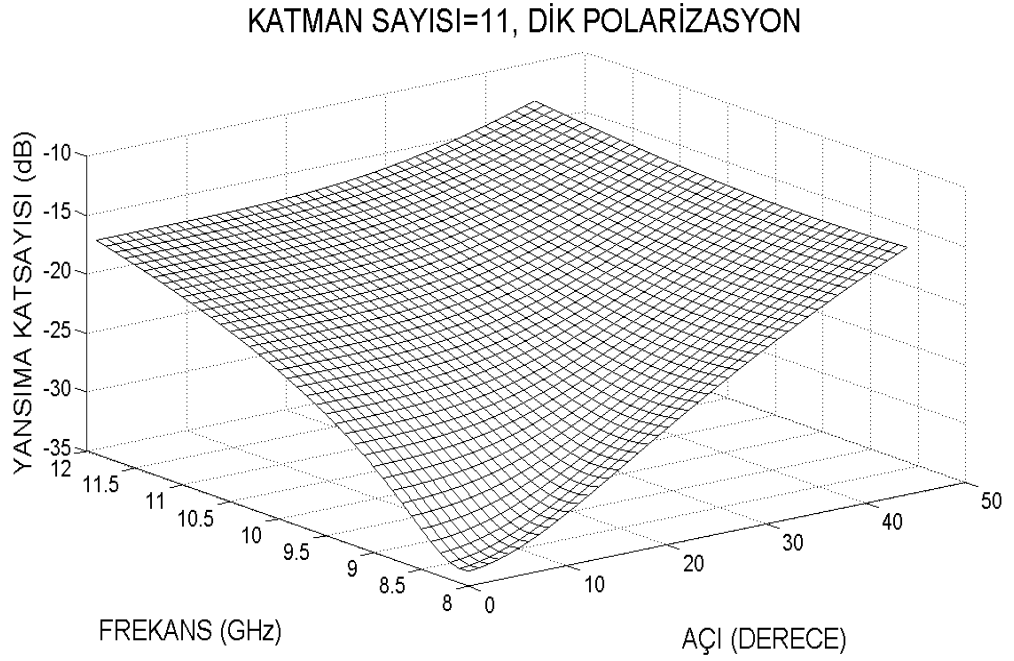
KATMAN SAYISI=10, DİK POLARİZASYON



Şekil 4.1.12(b) Dik Polarizasyon İçin 10 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

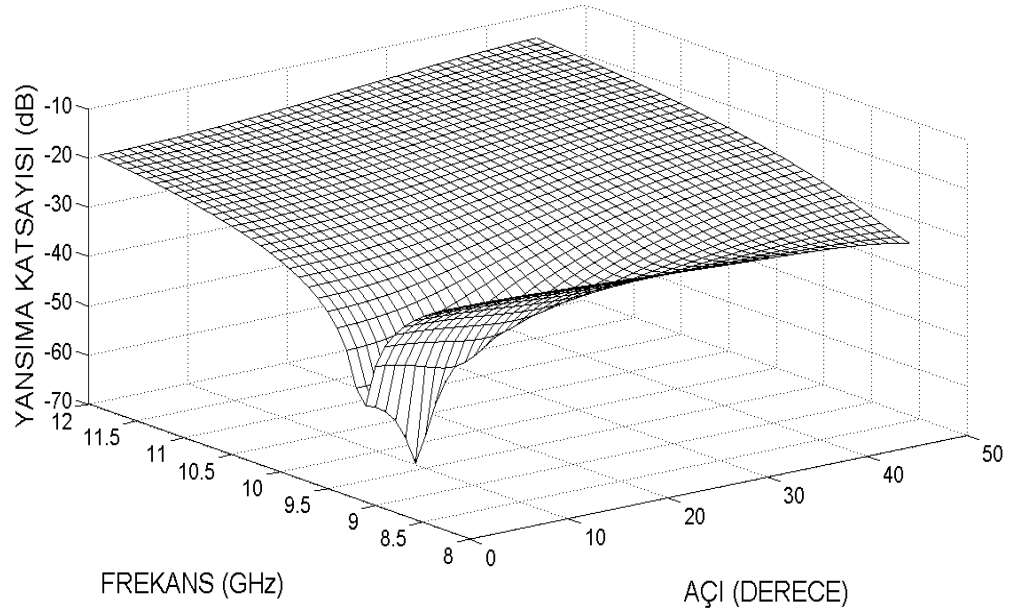


Şekil 4.1.13(a) Paralel Polarizasyon İçin 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



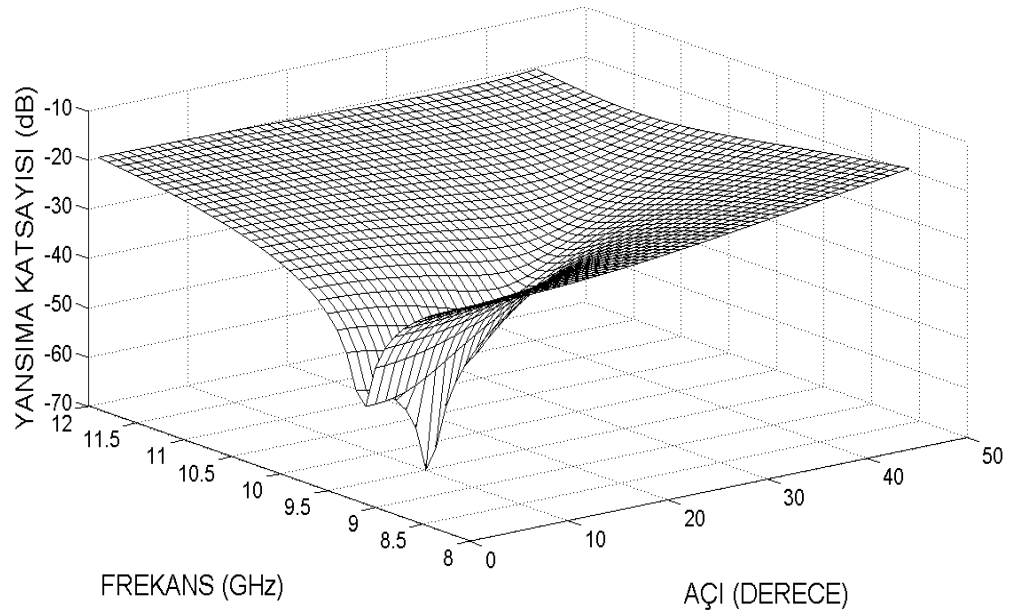
Şekil 4.1.13(b) Dik Polarizasyon İçin 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=12, PARALEL POLARİZASYON



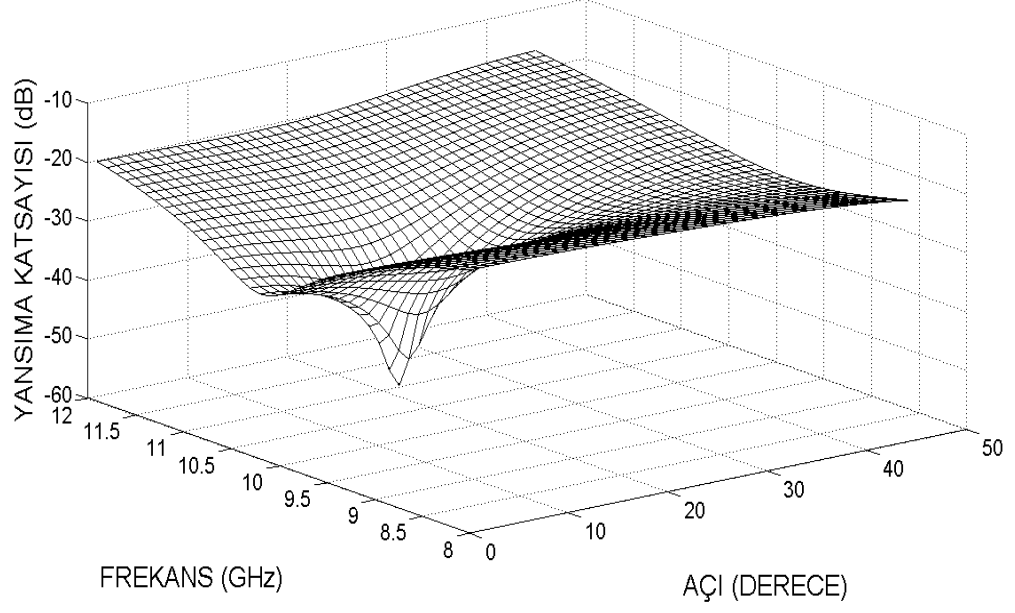
Şekil 4.1.14(a) Paralel Polarizasyon İçin 12 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=12, DİK POLARİZASYON



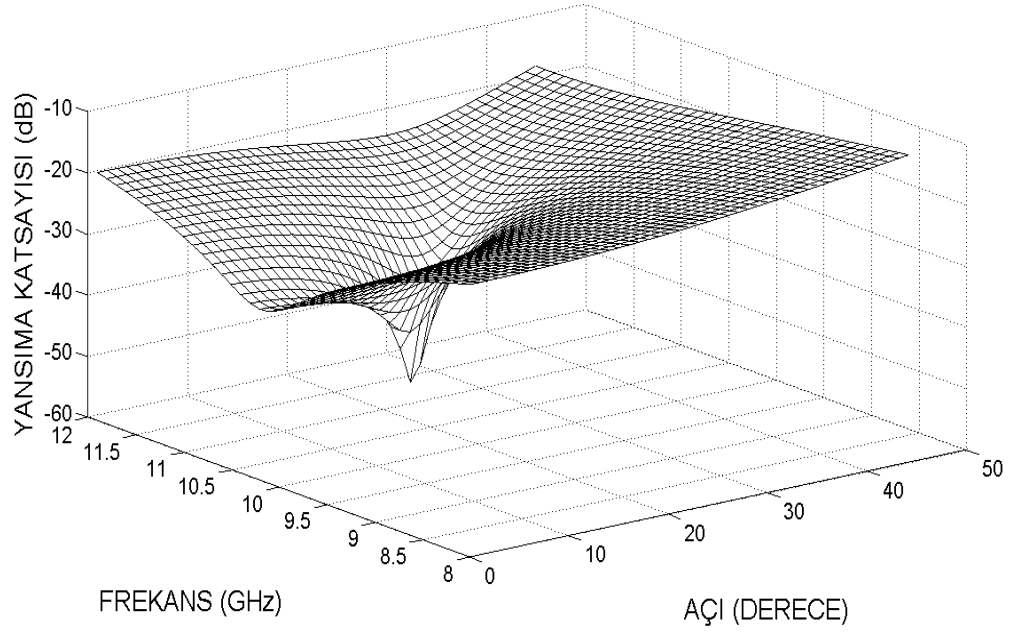
Şekil 4.1.14(b) Dik Polarizasyon İçin 12 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=13, PARALEL POLARİZASYON



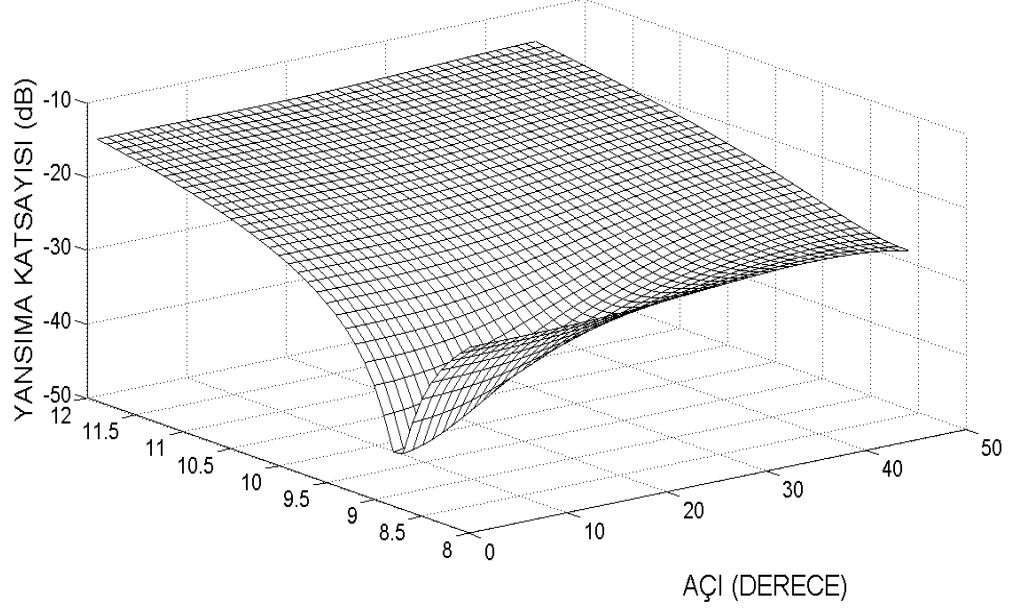
Şekil 4.1.15(a) Paralel Polarizasyon İçin 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=13, DİK POLARİZASYON



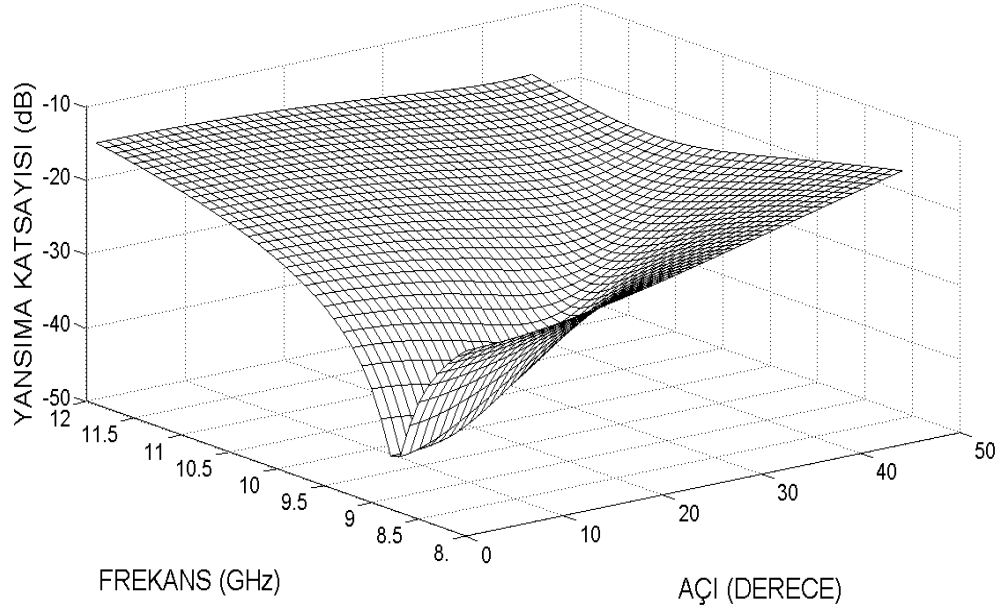
Şekil 4.1.15(b) Dik Polarizasyon İçin 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=14, PARALEL POLARİZASYON



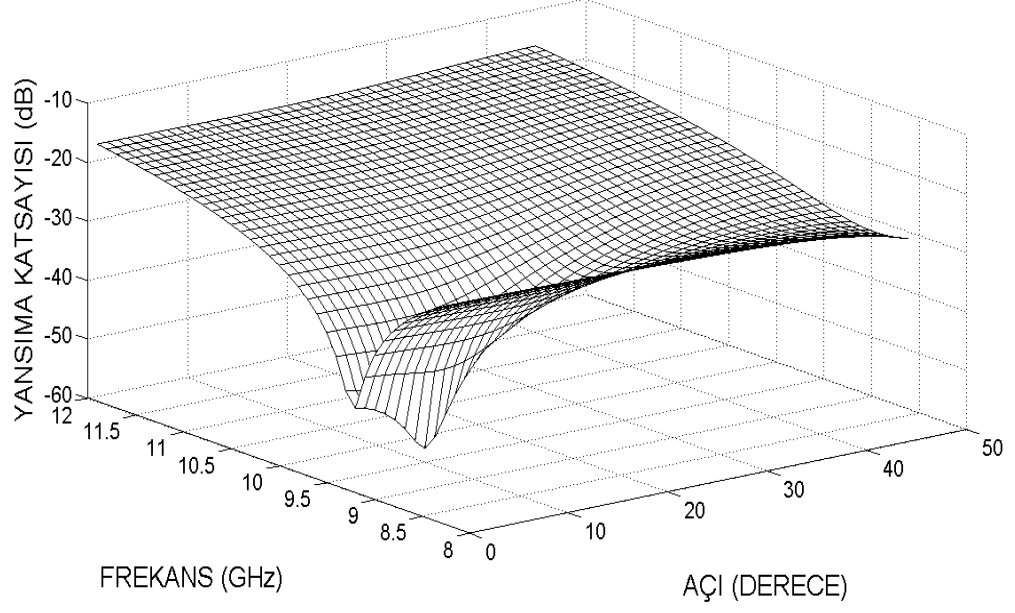
Şekil 4.1.16(a) Paralel Polarizasyon İçin 14 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=14, DİK POLARİZASYON



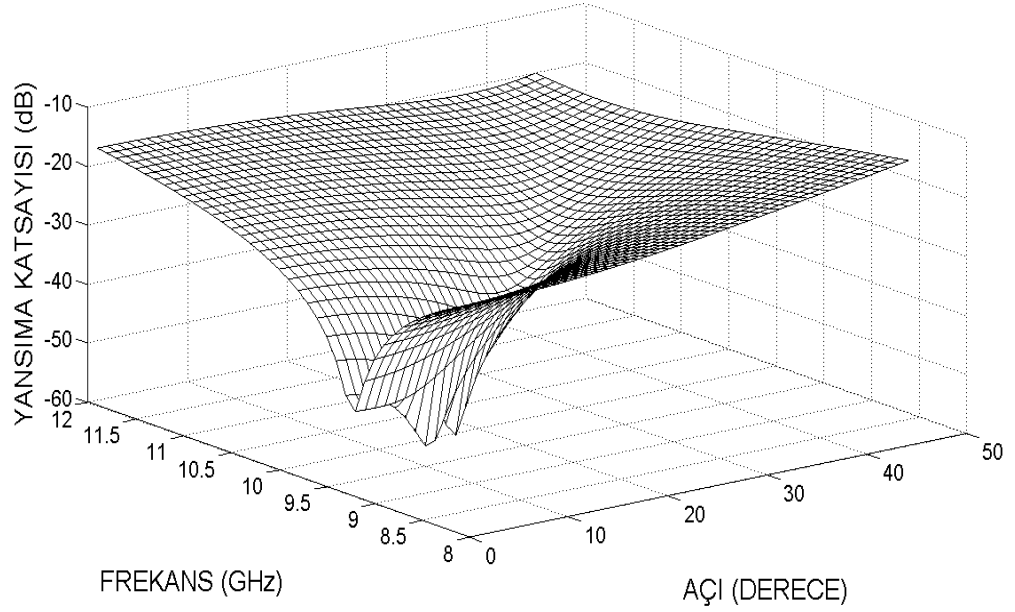
Şekil 4.1.16(b) Dik Polarizasyon İçin 14 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=15, PARALEL POLARİZASYON



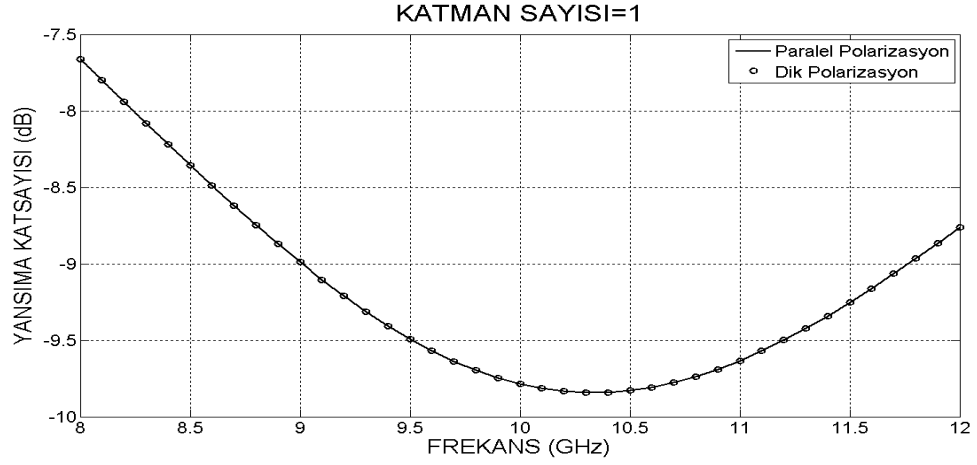
Şekil 4.1.17(a) Paralel Polarizasyon İçin 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=15, DİK POLARİZASYON

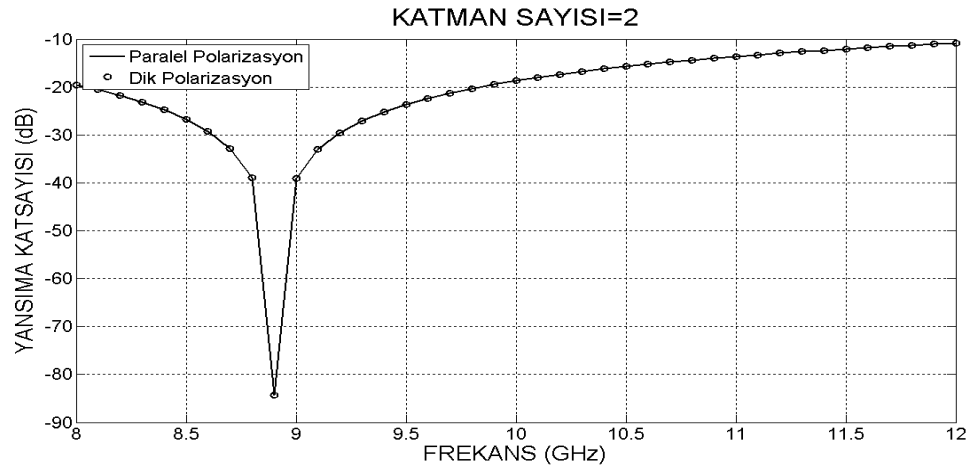


Şekil 4.1.17(b) Dik Polarizasyon İçin 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

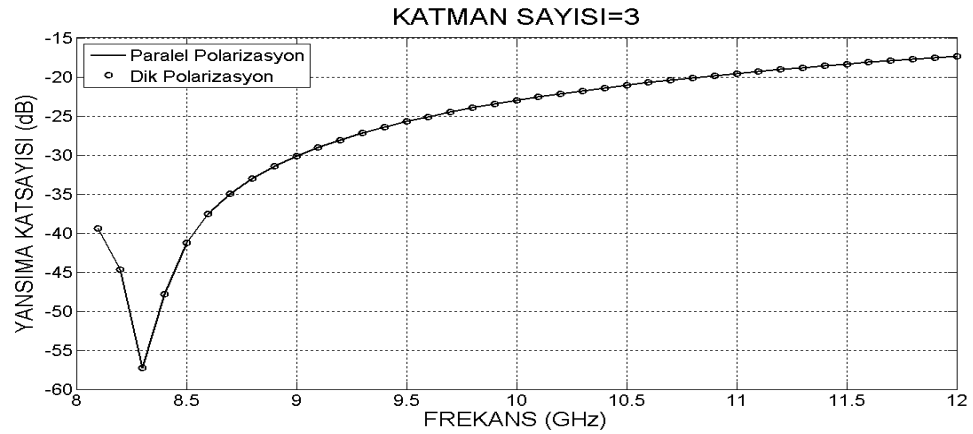
Elektromagnetik soğurucu yapılara gelen radar sinyallerinin frekans değişimi ile yansıma katsayısı genliğinin değişimi arasındaki ilişkiler Şekil 4.1.16'da gösterilmiş olup sinyalin yapıya 0 derecelik açı ile geldiği varsayılmıştır.



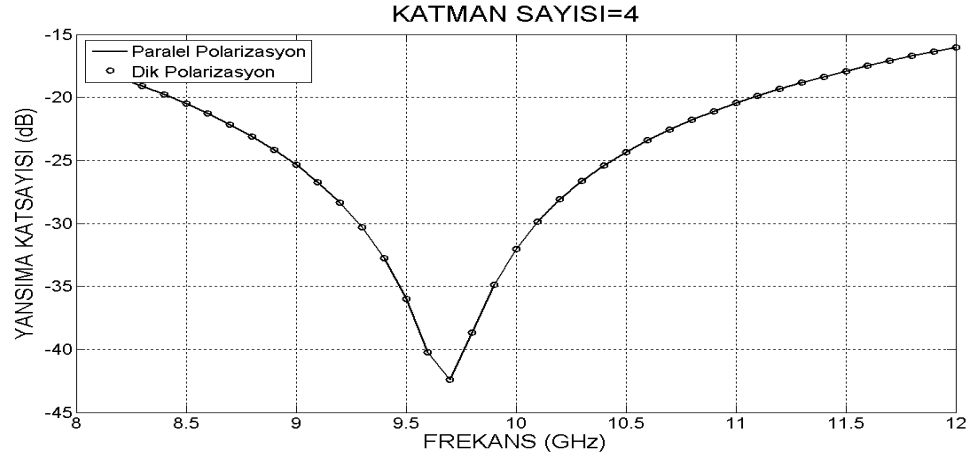
Şekil 4.1.18(a) 1 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi



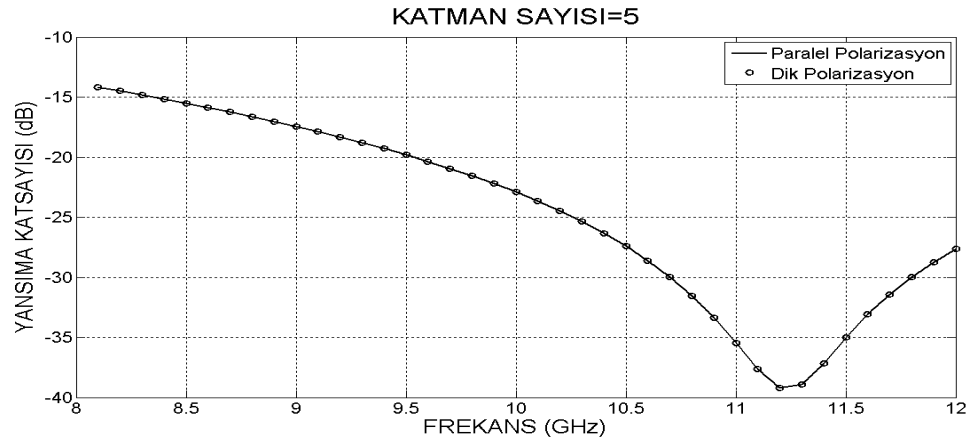
Şekil 4.1.18(b) 2 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi



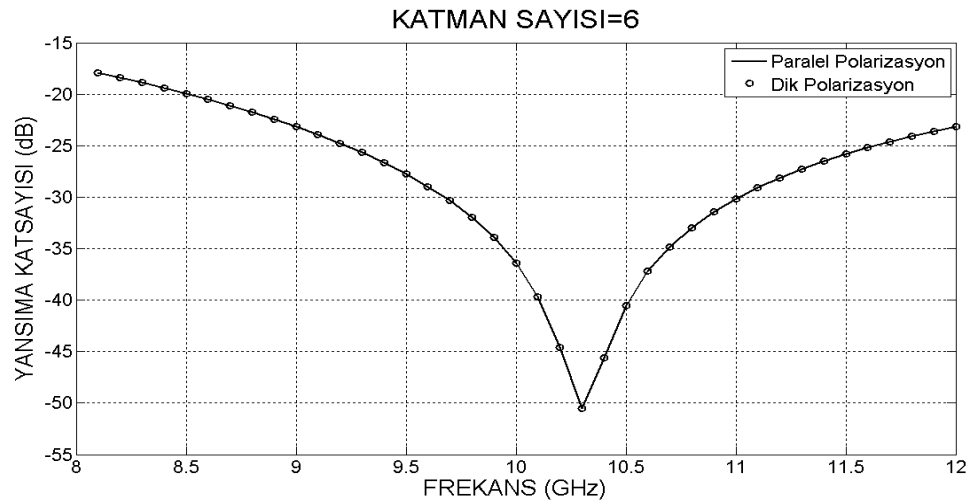
Şekil 4.1.18(c) 3 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi



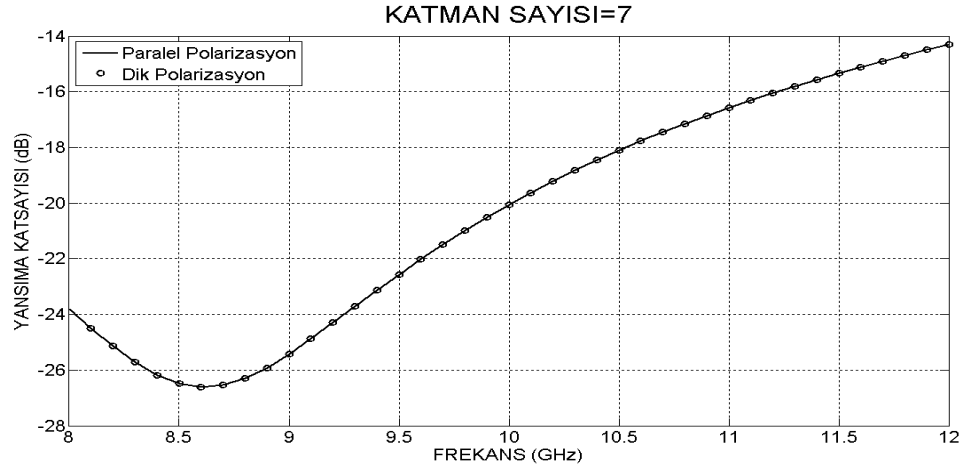
Şekil 4.1.18(d) 4 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



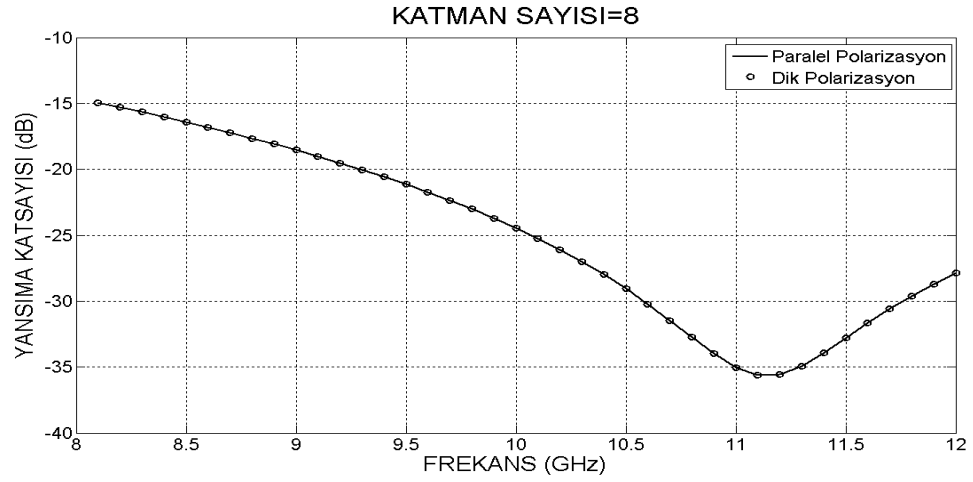
Şekil 4.1.18(e) 5 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



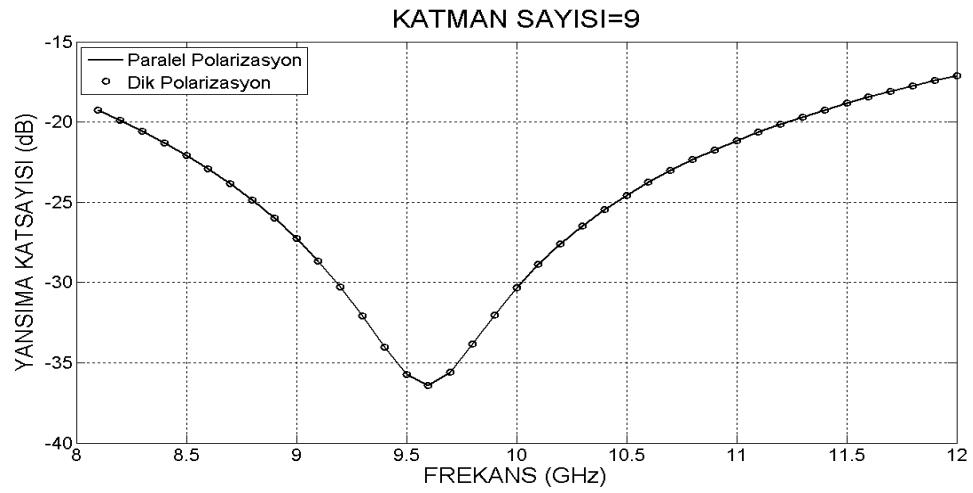
Şekil 4.1.18(f) 6 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



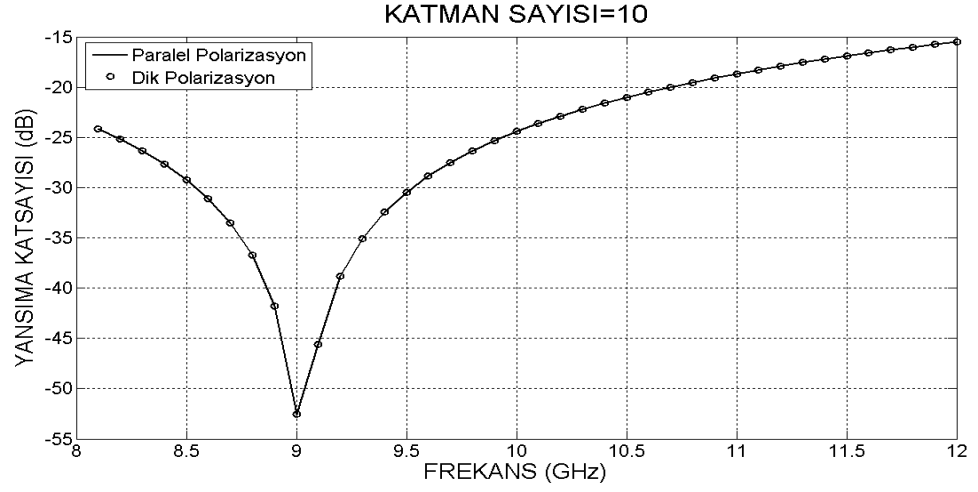
Şekil 4.1.18(g) 7 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



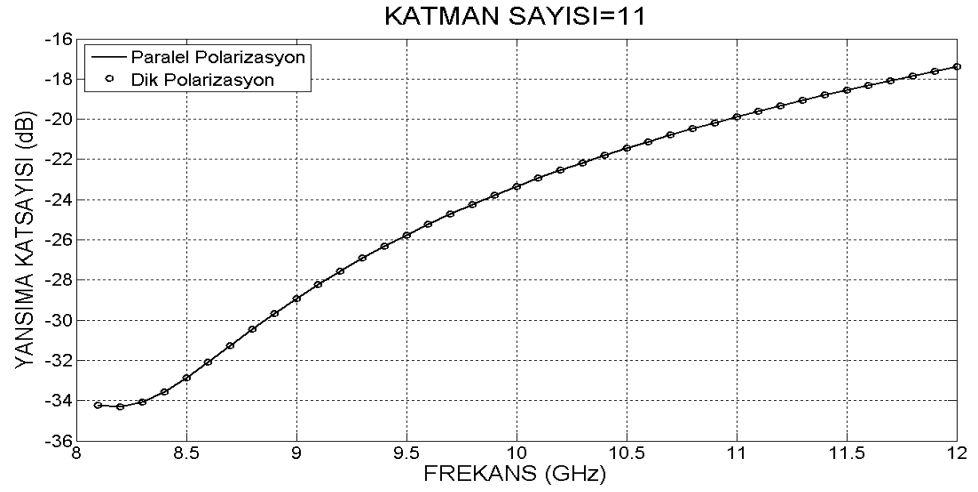
Şekil 4.1.18(h) 8 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



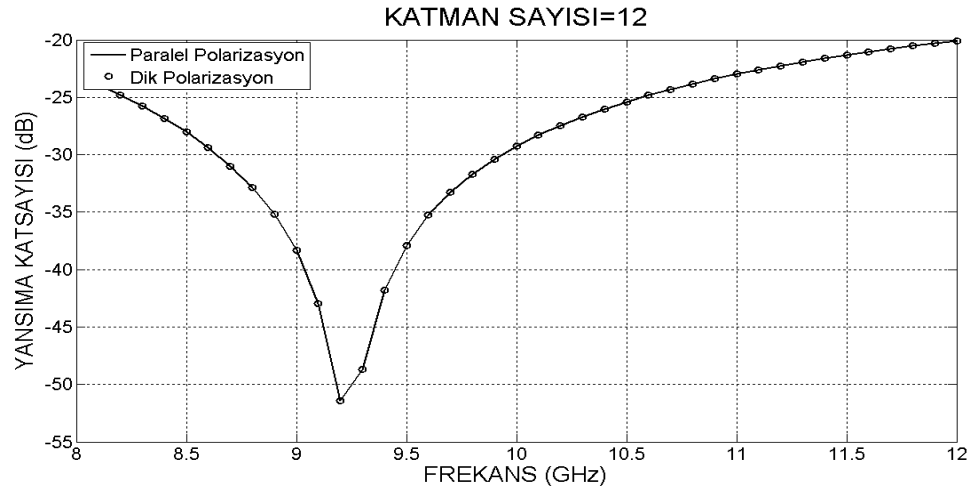
Şekil 4.1.18(i) 9 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



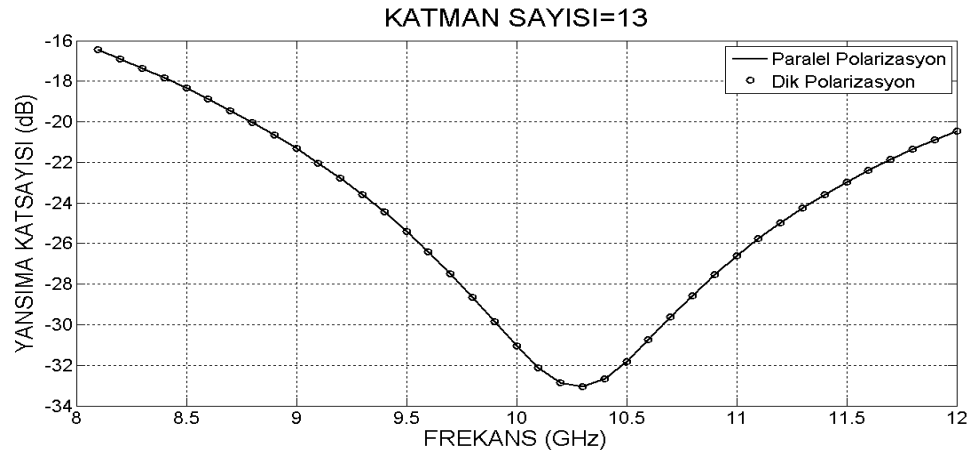
Şekil 4.1.18(j) 10 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



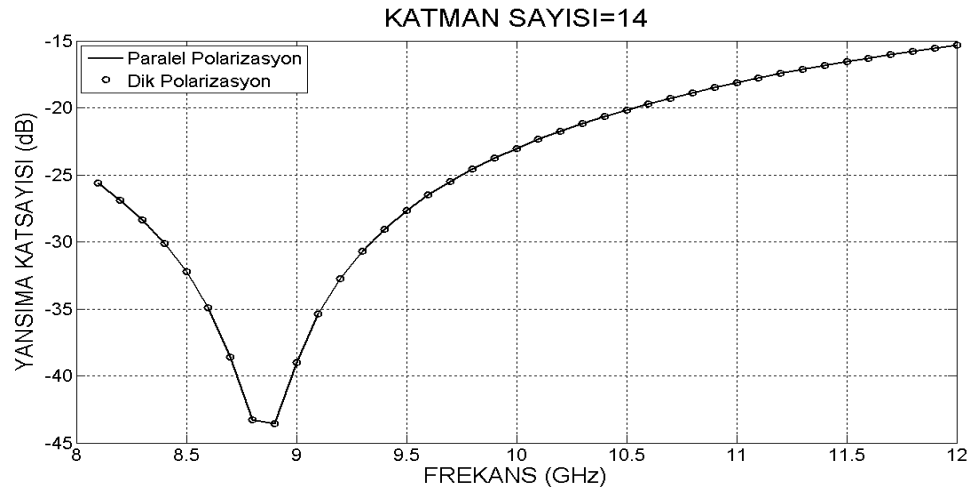
Şekil 4.1.18(k) 11 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



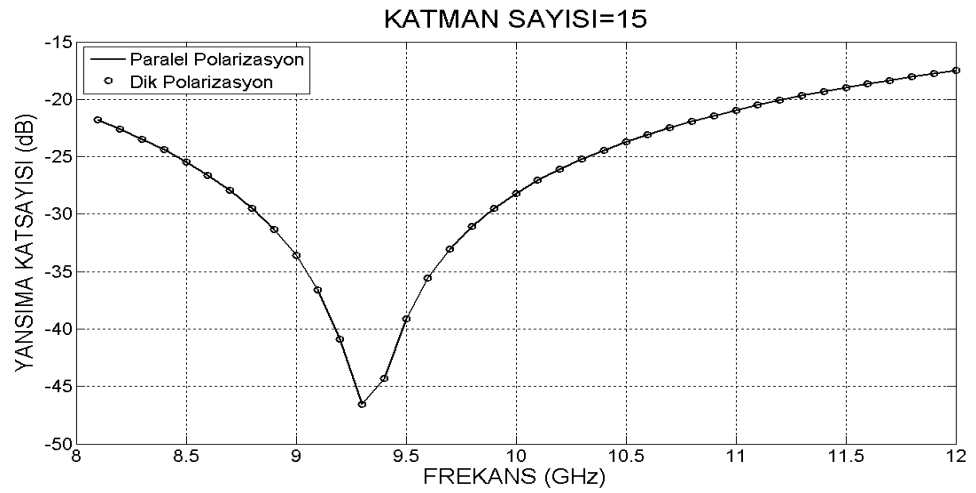
Şekil 4.1.18(l) 12 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.1.18(m) 13 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi

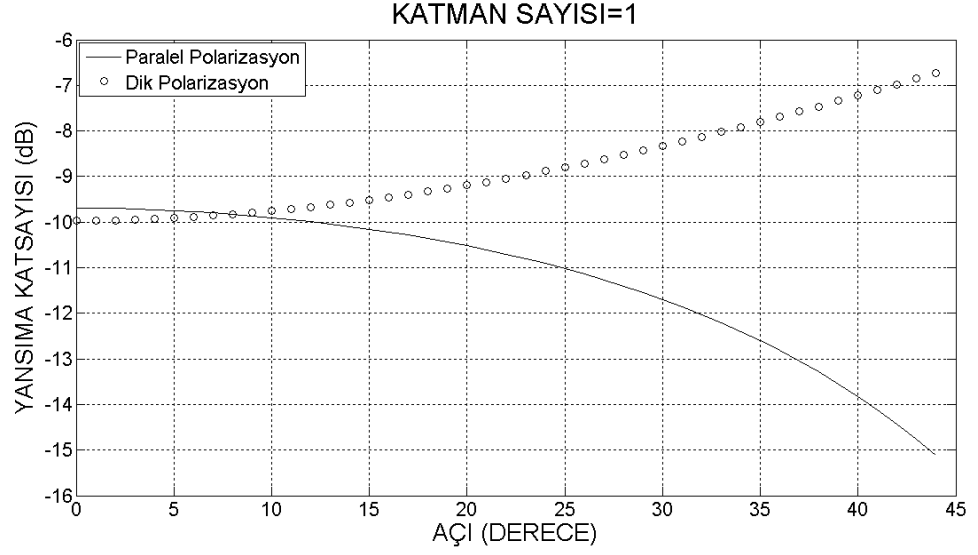


Şekil 4.1.18(n) 14 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi

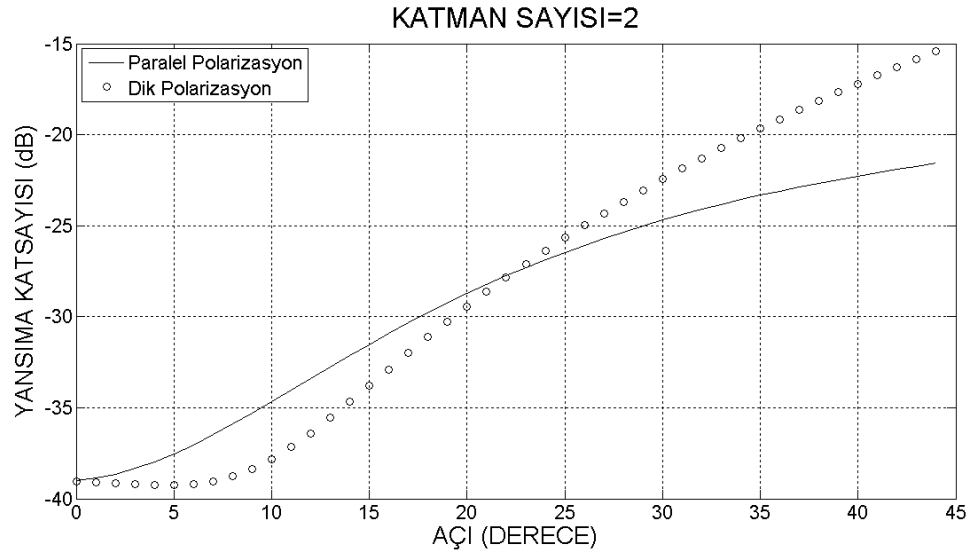


Şekil 4.1.18(o) 15 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi

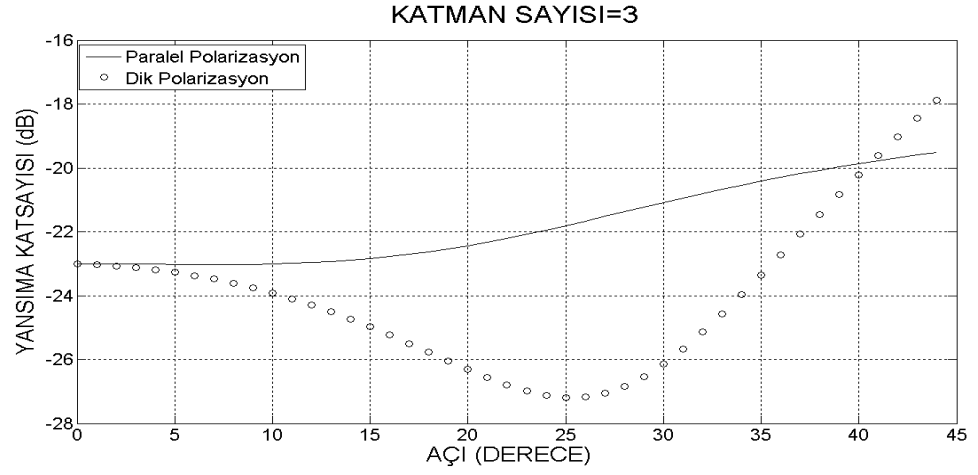
Aynı şekilde tasarlanan elektromagnetik soğurucu yapılara gelen radar sinyallerinin açı değişimi ile yansımaya katsayısı değişimi arasındaki ilişkiler Şekil 4.1.17’de gösterilmiştir. Şekil 4.1.17 için frekans değeri 10 GHz olarak alınmıştır.



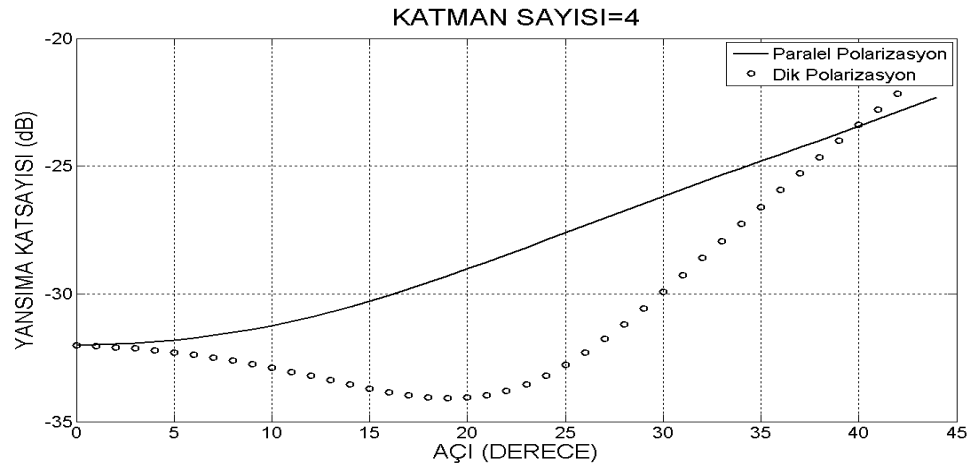
Şekil 4.1.19(a) 1 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansımaya Katsayısının Değişimi



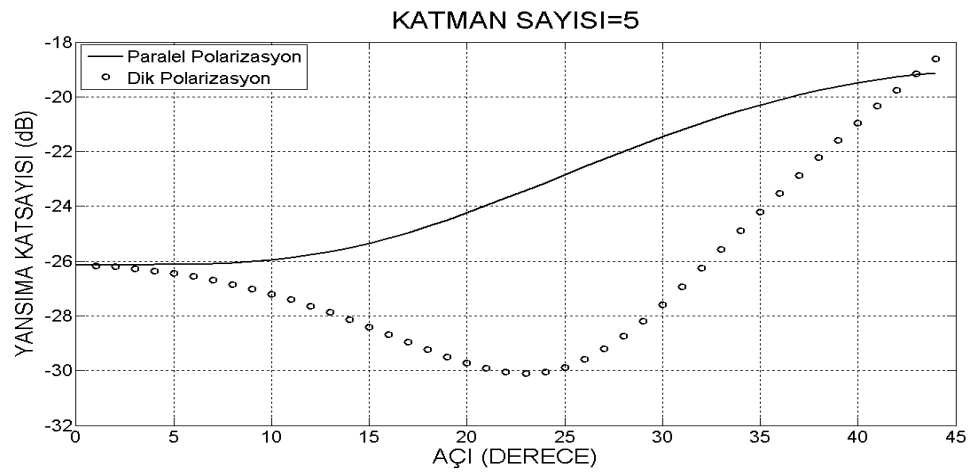
Şekil 4.1.19(b) 2 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansımaya Katsayısının Değişimi



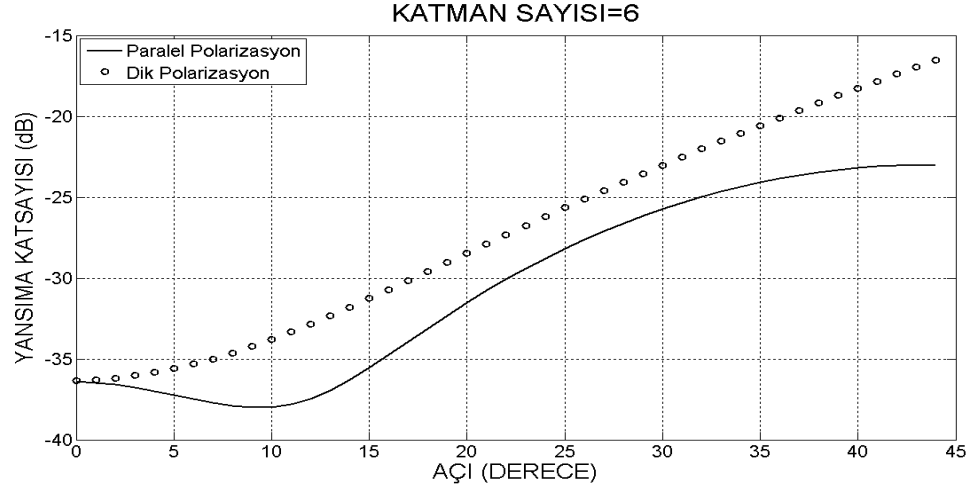
Şekil 4.1.19(c) 3 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



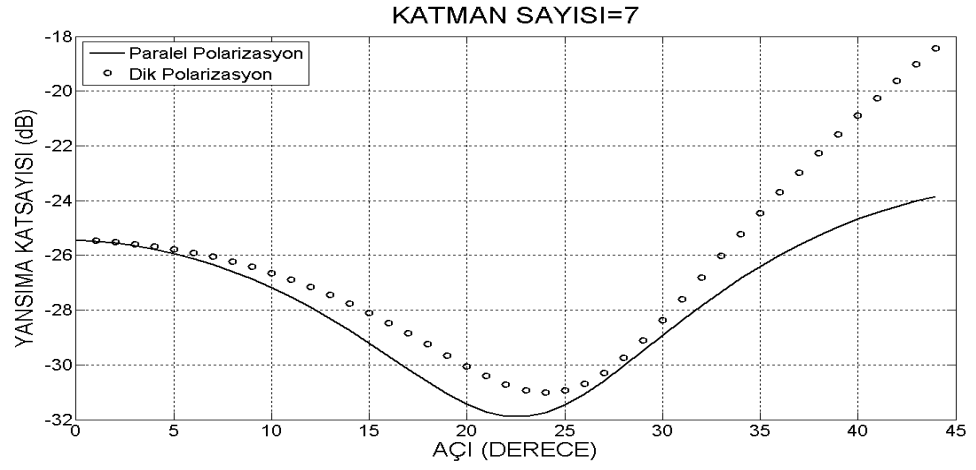
Şekil 4.1.9(d) 4 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



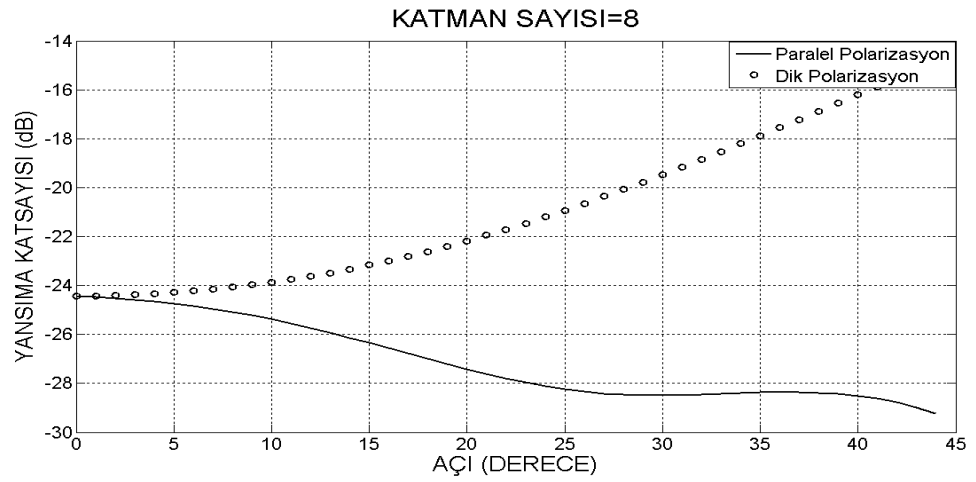
Şekil 4.1.19(e) 5 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



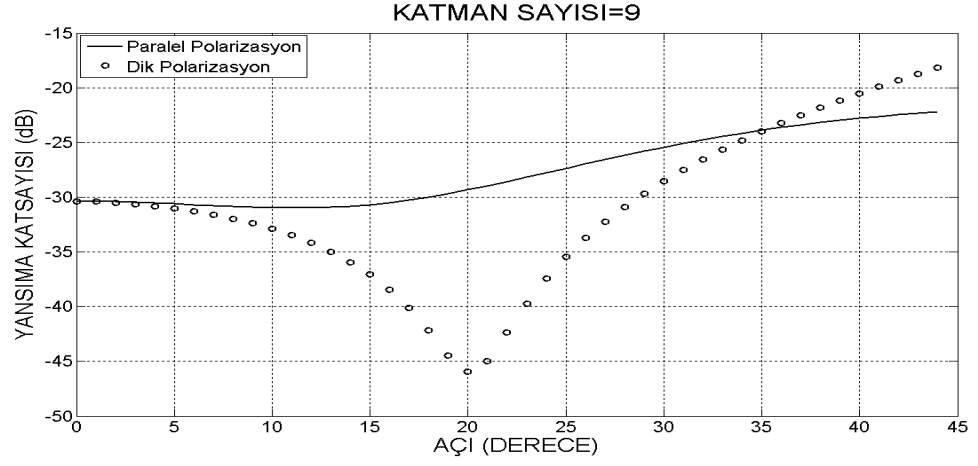
Şekil 4.1.19(f) 6 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



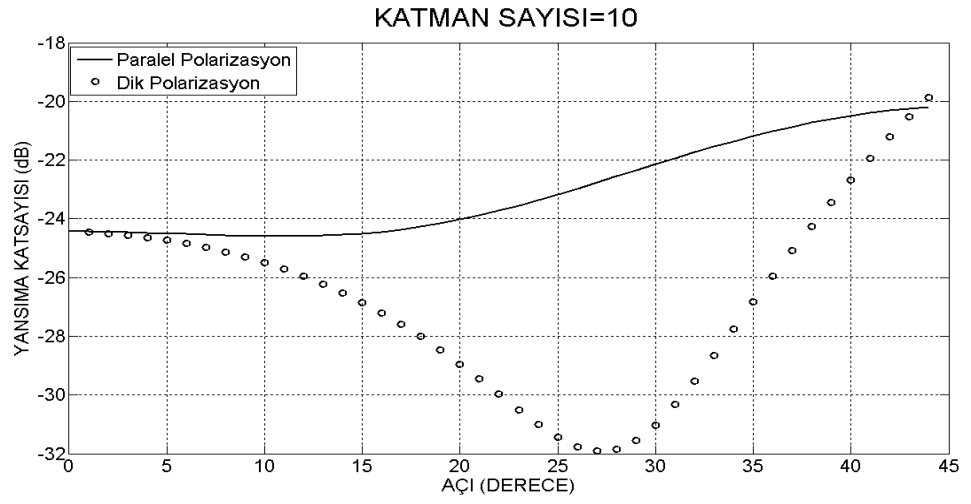
Şekil 4.1.19(g) 7 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



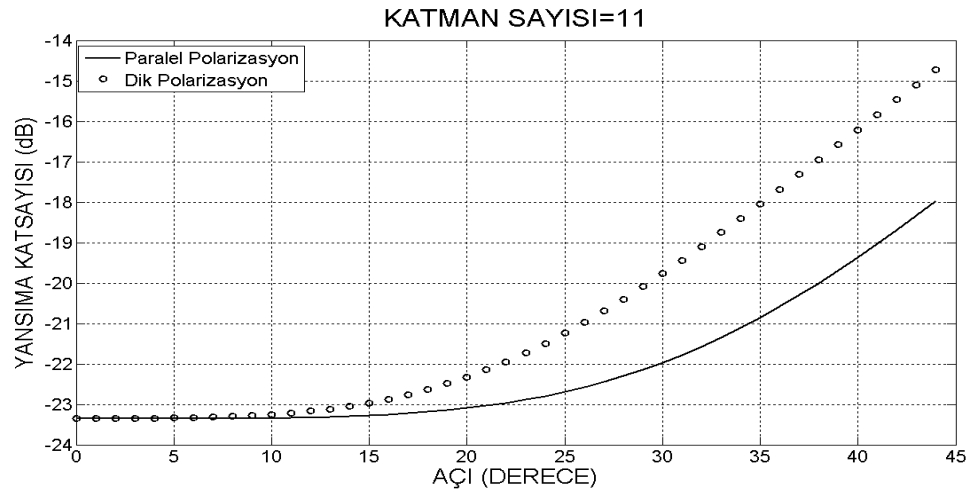
Şekil 4.1.19(h) 8 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



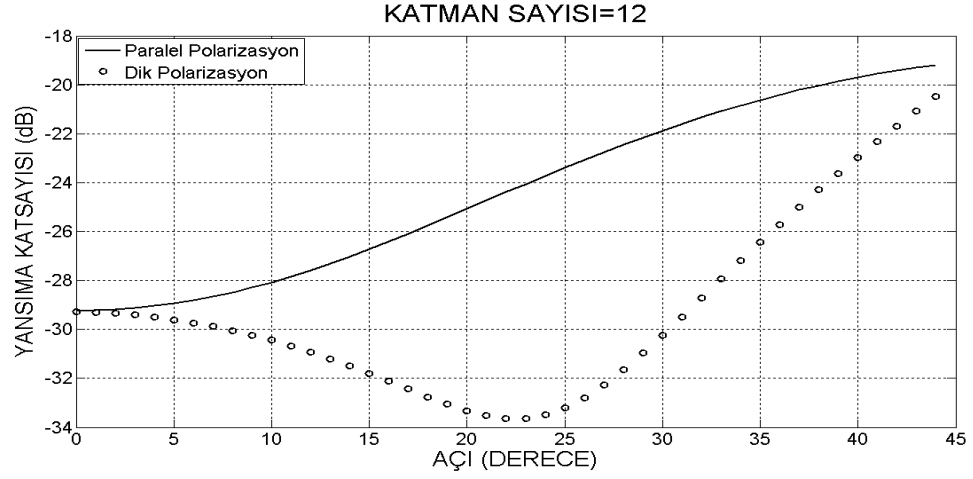
Şekil 4.1.19(i) 9 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



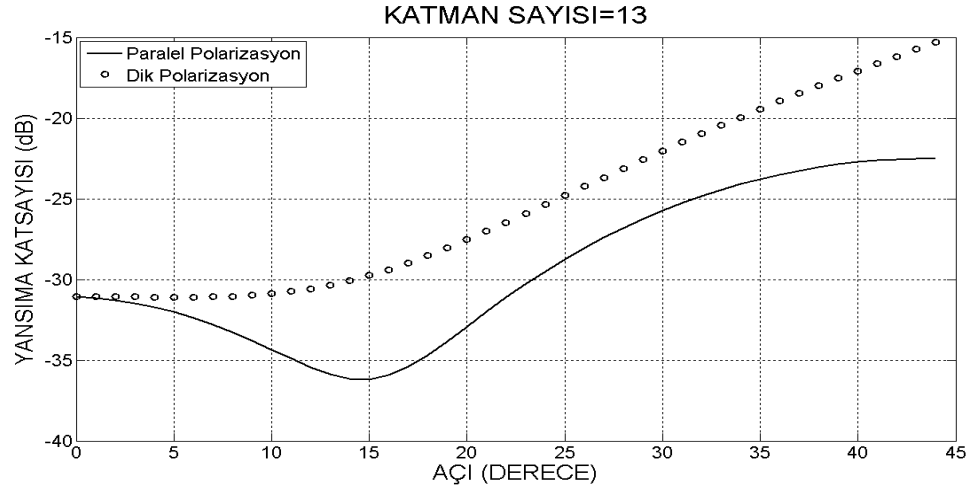
Şekil 4.1.19(j) 10 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



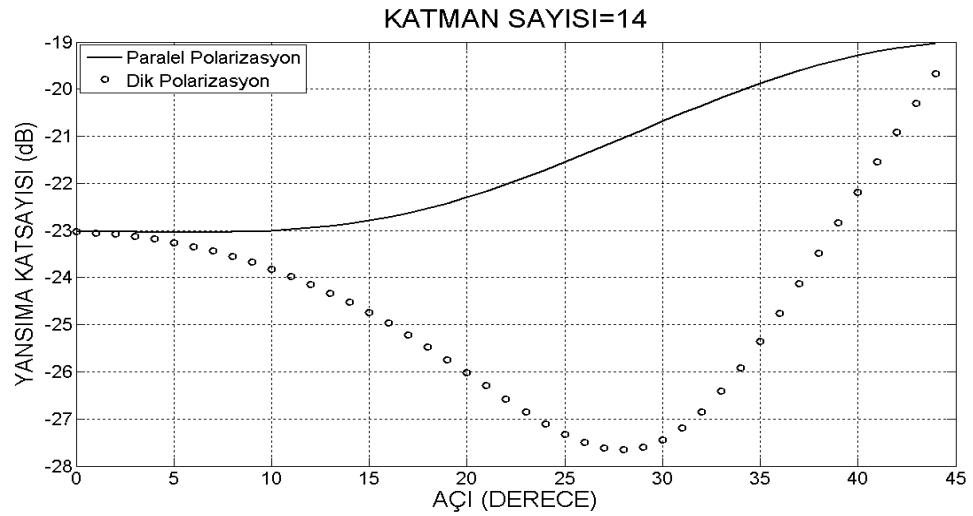
Şekil 4.1.19(k) 11 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



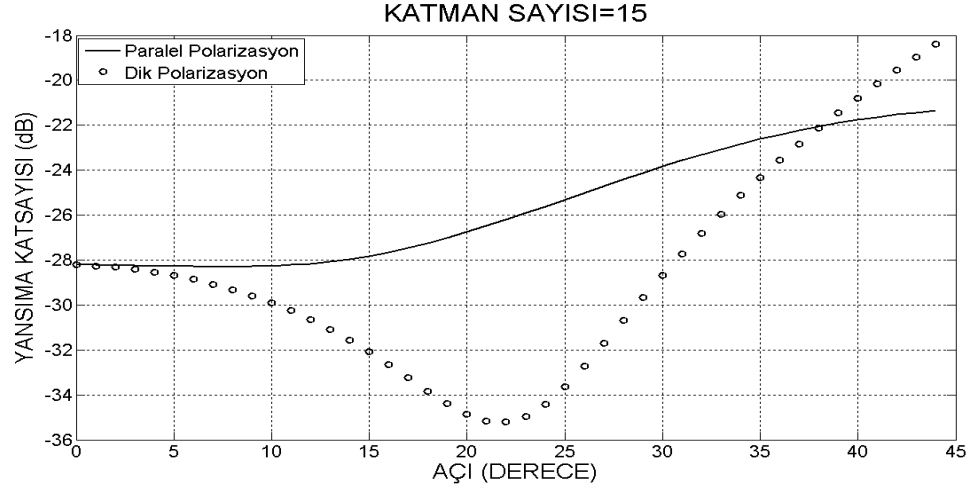
Şekil 4.1.19(l) 12 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.1.19(m) 13 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.1.19(n) 14 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.1.19(o) 15 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi

4.2. Hata Fonksiyonu 2:

Bu bölümde de elektromagnetik soğurucu yapıların kalınlıklarının daha az olması için hata fonksiyonunda toplam kalınlık ta optimize edilecektir. Aynı şekilde 3 ile 15 katman arasında çeşitli elektromagnetik soğurucu tasarlamak amacıyla PSO’ da kullanılmak üzere kullanılacak hata fonksiyonu şu şekilde olacaktır.

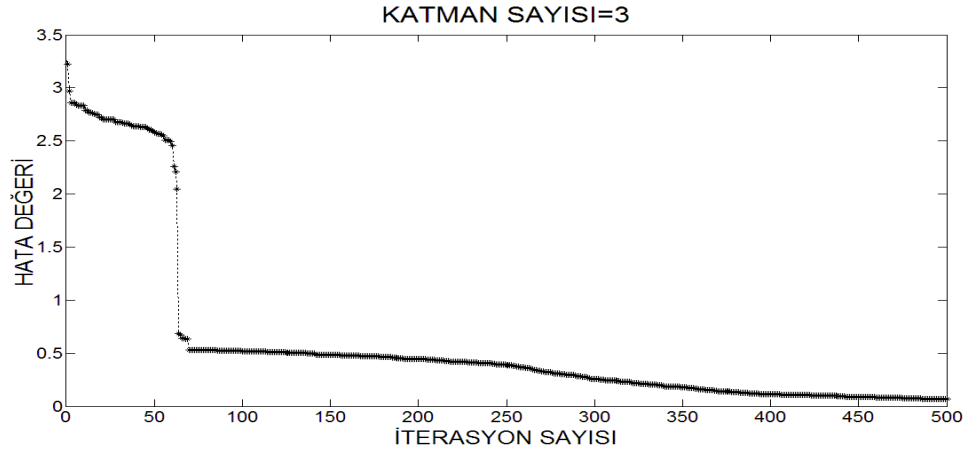
$$e = \sum_{t=1}^{MF} \sum_{s=1}^{MA} \left\{ (|R_{\text{paralelpol}}(t)(\Psi_s)| + |R_{\text{dikpol}}(t)(\Psi_s)|) \sum_{r=1}^N d_r \right\} \quad (4.2)$$

Burada N katman sayısını, d_r r.inci katmanda kullanılan malzemenin kalınlığını ifade etmektedir. Aynı şekilde kullanılan frekans değerleri için MF sayısı 40, açı değeri içinde MA sayısı 45’e eşit olacaktır. Çizelge 4.1’deki malzemeler kullanılarak hata fonksiyonunu Çizelge 4.3’de verilen parametreler yardımıyla PSO ile optimize ederek minimum yansım katsayısı elde etmeye çalışacağız.

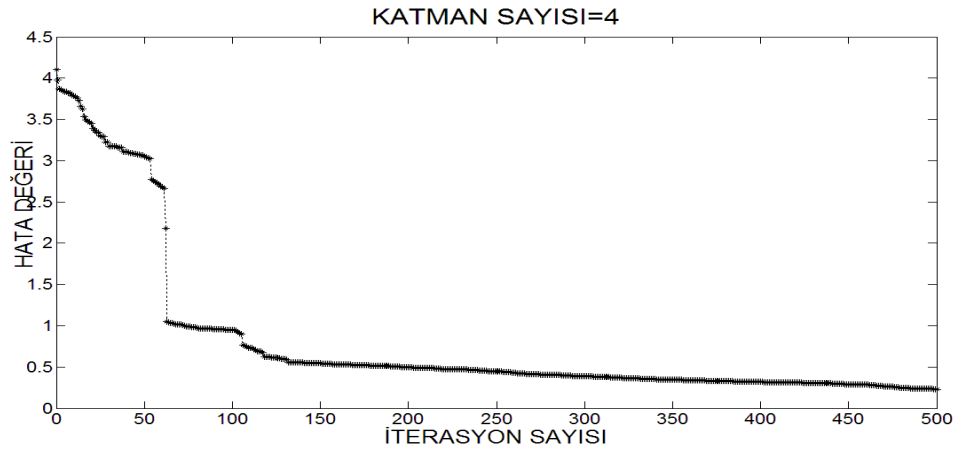
Çizelge 4.3. Hata Fonksiyonu 2 için Optimizasyonda Kullanılan Parametre Değerleri

Frekans	8GHz-12Ghz
Açı	1-45 derece
Katman Sayısı	3-15
İterasyon Sayısı	500
Sürü Sayısı	150

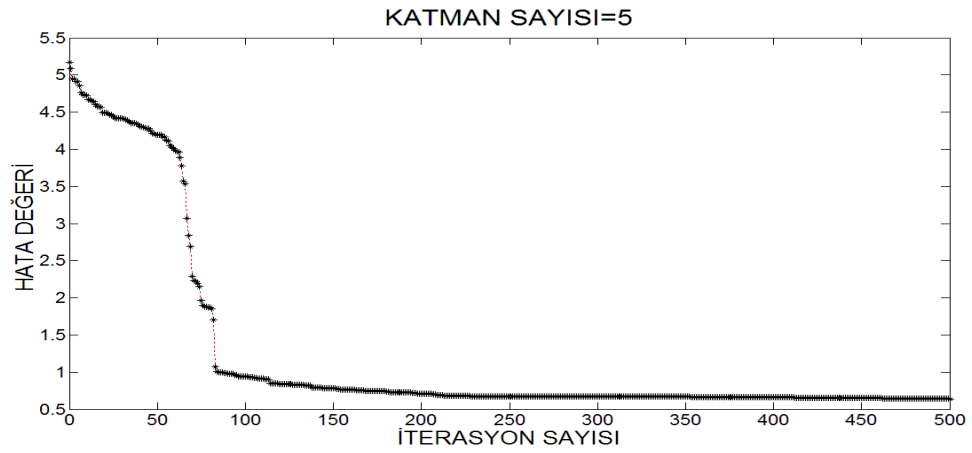
Optimizasyon sonucu elde edilen farklı katman sayılarında iterasyon sayısı ile değişen hata değeri grafikleri şekil 4.2.1’de gösterilmiştir.



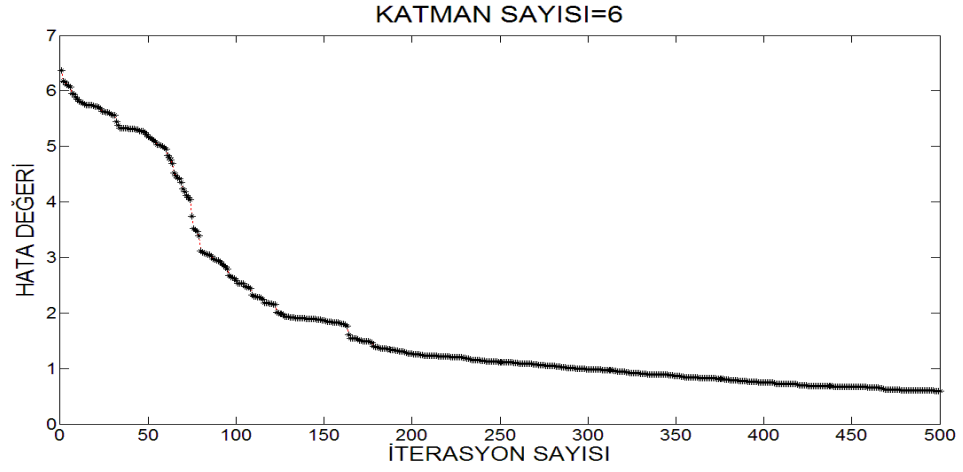
Şekil 4.2.1(a) 3 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



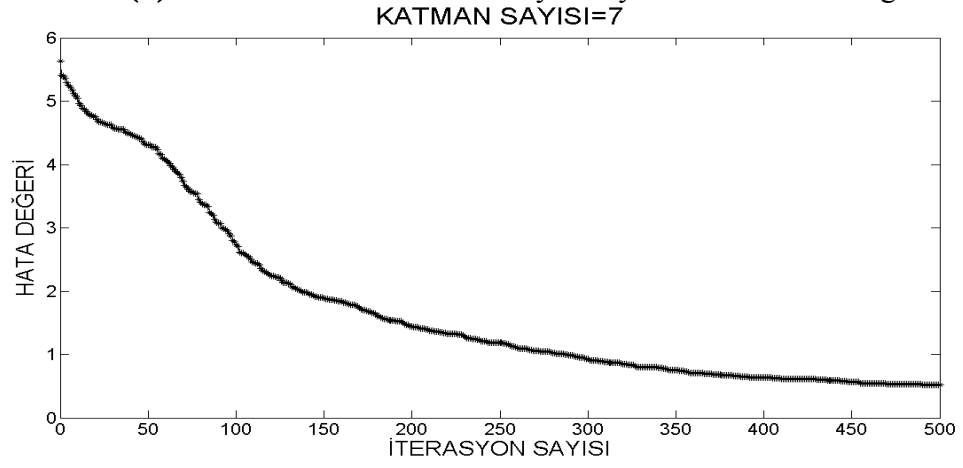
Şekil 4.2.1(b) 4 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



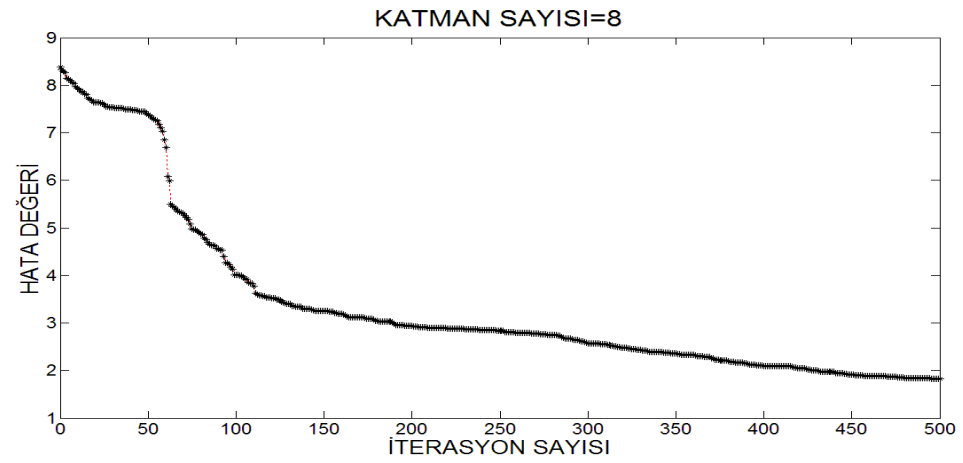
Şekil 4.2.1(c) 5 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



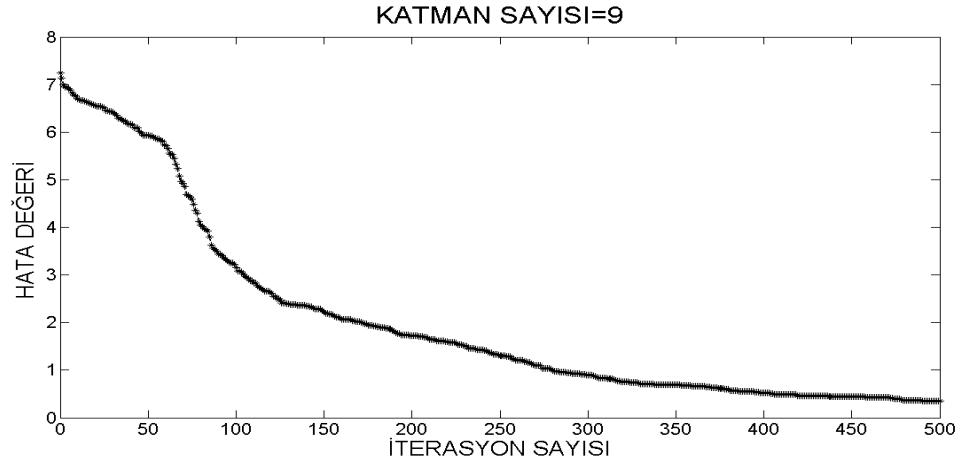
Şekil 4.2.1(d) 6 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



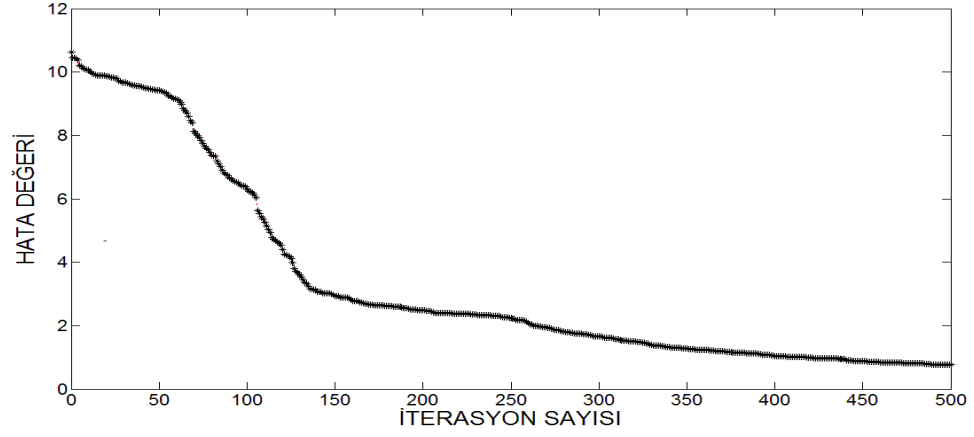
Şekil 4.2.1(e) 7 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



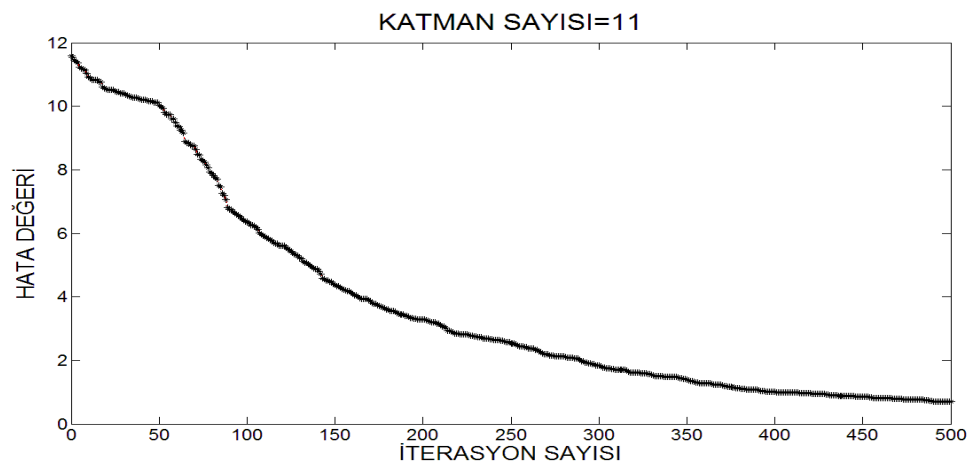
Şekil 4.2.1(f) 8 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



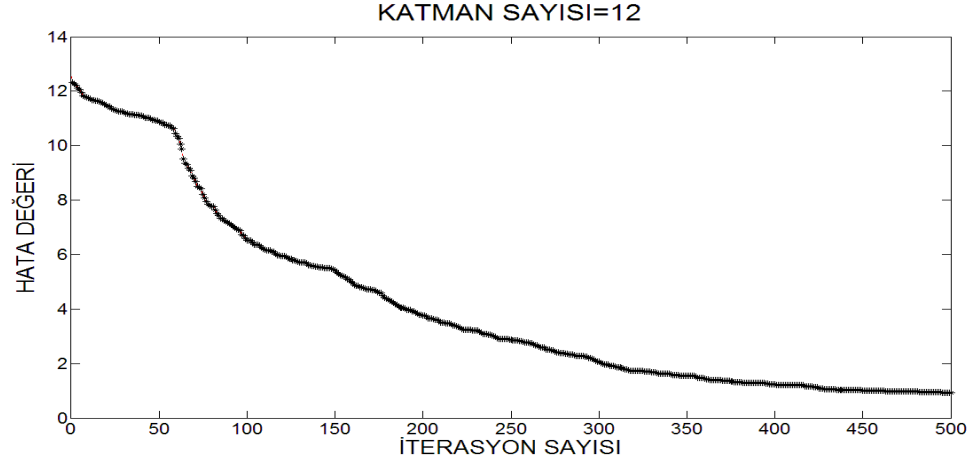
Şekil 4.2.1(g) 9 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



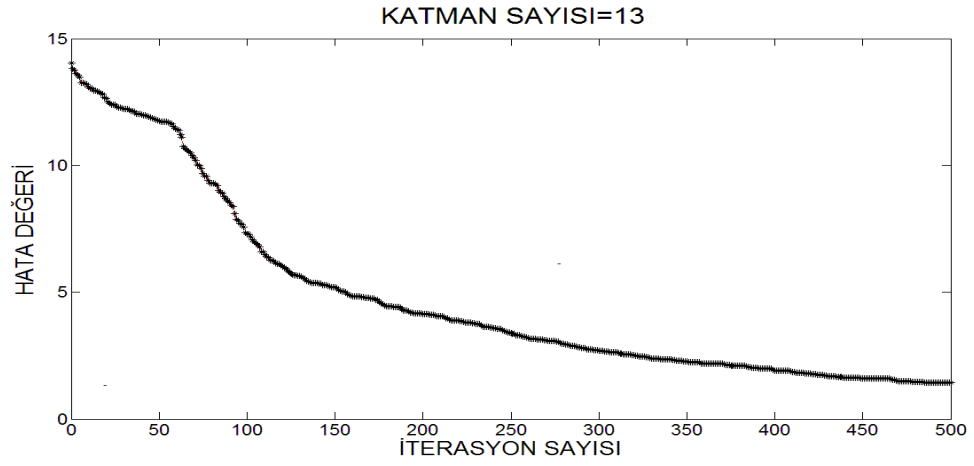
Şekil 4.2.1(h) 10 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



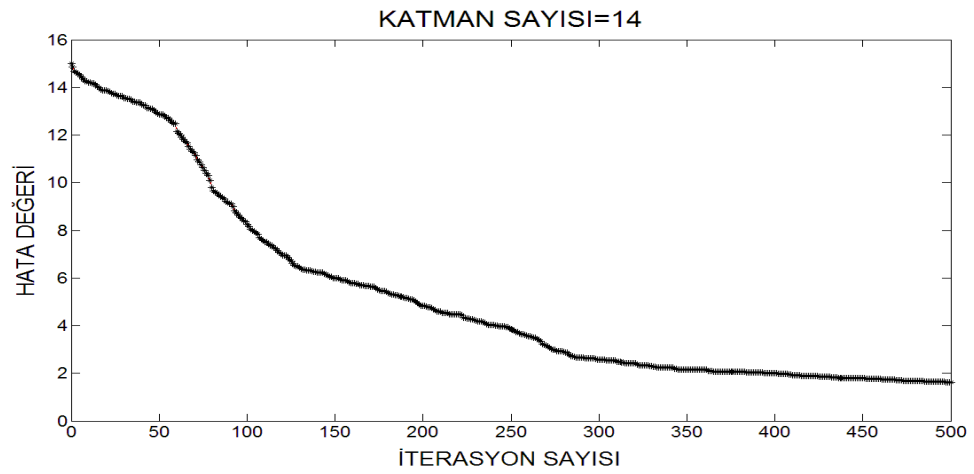
Şekil 4.2.1(i) 11 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



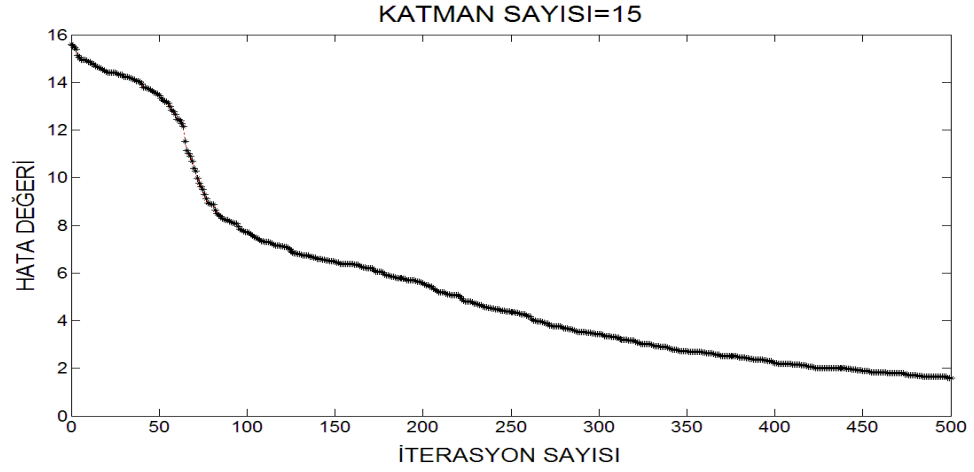
Şekil 4.2.1(j) 12 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



Şekil 4.2.1(k) 13 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



Şekil 4.2.1(l) 14 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri



Şekil 4.2.1(m) 15 Katmanlı Tasarımın İterasyon sayısına Göre Hata Değerleri

Şekil 4.2.1’de verilen hata değerlerine ilişkin tasarlanan yapıların katman kalınlıkları ve bu yapıda kullanılan malzemeler Şekil 4.2.2’de gösterilmiştir.

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

500

KATMAN SAYISI

3

SÜRÜ SAYISI

150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

-75.95

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

-48.58

MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	12
2.NCİ KATMAN	15
3.ÜNCÜ KATMAN	4
TOPLAM KALINLIK	0.00156771

Şekil 4.2.2(a) 3 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000757301
2.NCİ KATMAN	6	0.00100458
3.ÜNCÜ KATMAN	3	0.000310001
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.0000289637
TOPLAM KALINLIK		0.00210084

Şekil 4.2.2(a) 4 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000188672
2.NCİ KATMAN	10	0.00075
3.ÜNCÜ KATMAN	6	0.000697411
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00005
5.İNCİ KATMAN	6	0.000639276
TOPLAM KALINLIK		0.00236536

Şekil 4.2.2(c) 5 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000429165
2.NCİ KATMAN	5	0.00133781
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00110603
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000166592
5.İNCİ KATMAN	15	0.000204613
6.NCİ KATMAN	2	0.000531857
TOPLAM KALINLIK		0.00377607

Şekil 4.2.2(d) 6 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.00044211
2.NCİ KATMAN	6	0.00142199
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.00133798
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00127381
5.İNCİ KATMAN	3	0.0010952
6.NCİ KATMAN	15	0.00154673
7.NCİ KATMAN	15	0.00176143
TOPLAM KALINLIK		0.00887925

Şekil 4.2.2(e) 7 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 8

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -24.53

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -35.41

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	14	0.000256109
2.NCI KATMAN	15	0.000247795
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00188
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00094
5.İNCİ KATMAN	12	0.00174886
6.NCI KATMAN	15	0.000850754
7.NCI KATMAN	14	0.000891619
8.İNCİ KATMAN	15	0.00138771
TOPLAM KALINLIK		0.00820285

Şekil 4.2.2(f) 8 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 9

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -60.90

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -64.85

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000418888
2.NCI KATMAN	5	0.00156395
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00179224
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00112443
5.İNCİ KATMAN	15	0.00157386
6.NCI KATMAN	3	0.000333295
7.NCI KATMAN	13	0.00120896
8.İNCİ KATMAN	15	0.00139794
9.UNCU KATMAN	11	0.0015928
TOPLAM KALINLIK		0.0110064

Şekil 4.2.2(g) 9 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 10

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -83.9

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -62.38

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000481986
2.NCİ KATMAN	6	0.00103351
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.00165874
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00080369
5.İNCİ KATMAN	15	0.00047123
6.NCİ KATMAN	9	0.000347369
7.NCİ KATMAN	15	0.00099205
8.İNCİ KATMAN	13	0.000967798
9.UNCU KATMAN	4	0.000320627
10.UNCU KATMAN	15	0.000865646
TOPLAM KALINLIK		0.00794265

Şekil 4.2.2(h) 10 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 11

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -49.34

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -62.35

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000491935
2.NCİ KATMAN	4	0.00166991
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.0012988
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.0012087
5.İNCİ KATMAN	10	0.00146855
6.NCİ KATMAN	15	0.0013338
7.NCİ KATMAN	15	0.000453061
8.İNCİ KATMAN	3	0.000428155
9.UNCU KATMAN	15	0.000883151
10.UNCU KATMAN	5	0.00156218
11.İNCİ KATMAN	2	0.000422269
TOPLAM KALINLIK		0.0112205

Şekil 4.2.2(i) 11 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 12

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -41.54

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -41.53

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000433997
2.NCİ KATMAN	4	0.00178173
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00147008
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00113287
5.İNCİ KATMAN	15	0.000410328
6.NCİ KATMAN	14	0.0004
7.NCİ KATMAN	15	0.00153777
8.İNCİ KATMAN	2	0.000195072
9.UNCU KATMAN	7	0.00041
10.UNCU KATMAN	15	0.000455145
11.İNCİ KATMAN	8	0.000654122
12.NCİ KATMAN	15	0.00152903
TOPLAM KALINLIK		0.0104101

Şekil 4.2.2(j) 12 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 13

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -46.96

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -47.00

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000510455
2.NCİ KATMAN	6	0.00115317
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.0014889
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000235476
5.İNCİ KATMAN	15	0.00100197
6.NCİ KATMAN	14	0.0014265
7.NCİ KATMAN	13	0.00151616
8.İNCİ KATMAN	15	0.000209873
9.UNCU KATMAN	15	0.000392425
10.UNCU KATMAN	4	0.00115192
11.İNCİ KATMAN	15	0.000900911
12.NCİ KATMAN	6	0.000612606
13.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00114733
TOPLAM KALINLIK		0.0117477

Şekil 4.2.2(k) 13 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 14

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -59.82

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -60.85

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000495423
2.NCİ KATMAN	6	0.00126888
3.ÜNCÜ KATMAN	6	0.00142825
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000414756
5.İNCİ KATMAN	2	0.000509777
6.NCİ KATMAN	15	0.00149341
7.NCİ KATMAN	5	0.00126773
8.İNCİ KATMAN	15	0.00170311
9.UNCU KATMAN	10	0.00105
10.UNCU KATMAN	15	0.0015399
11.İNCİ KATMAN	15	0.00126697
12.NCİ KATMAN	3	0.00146788
13.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000459117
14.ÜNCÜ KATMAN	2	0.00143884
TOPLAM KALINLIK		0.0158068

Şekil 4.2.2(l) 14 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 15

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

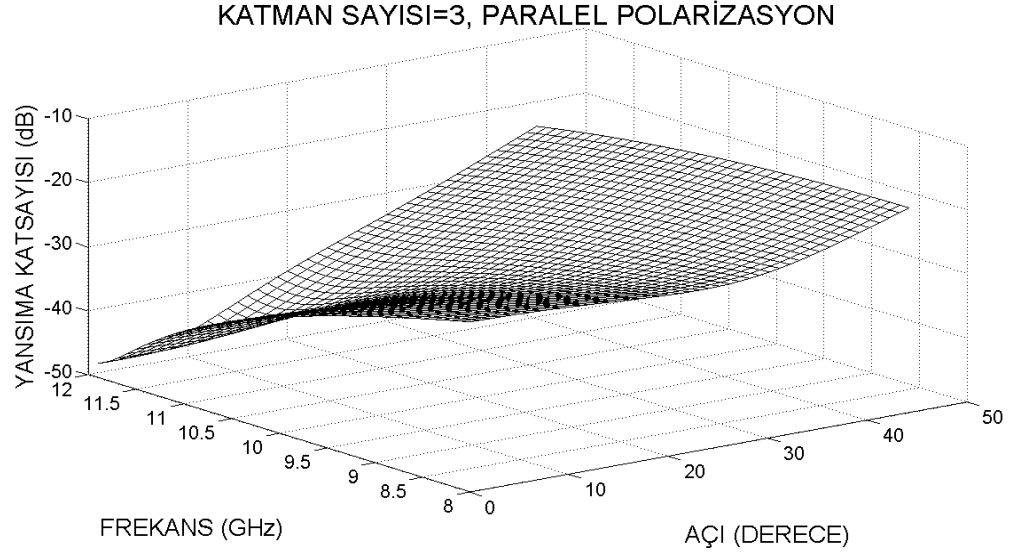
DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -66.14

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -61.47

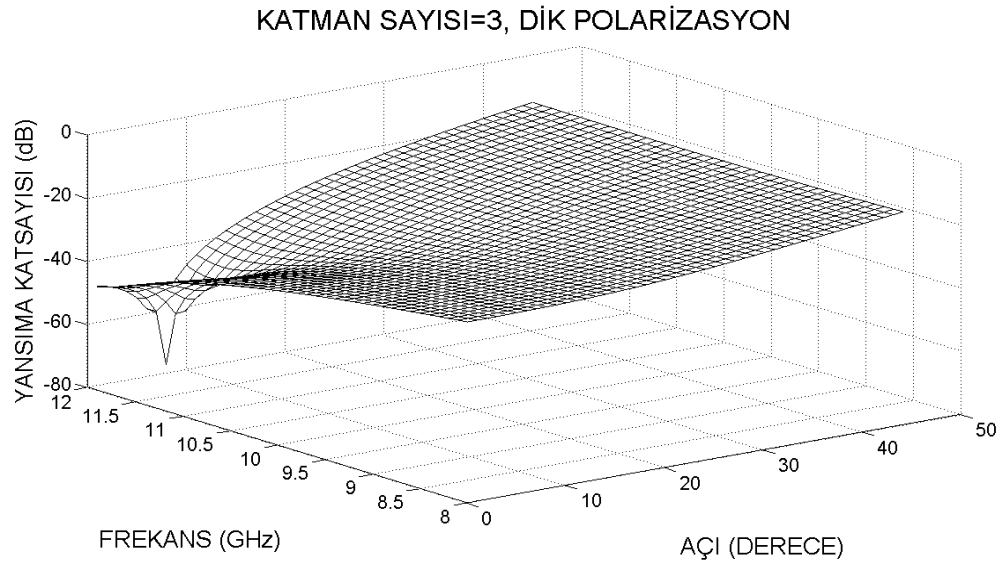
	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	15	0.000469355
2.NCİ KATMAN	4	0.00122692
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.0019779
4.ÜNCÜ KATMAN	15	0.00107429
5.İNCİ KATMAN	11	0.00117809
6.NCİ KATMAN	15	0.000457609
7.NCİ KATMAN	15	0.00106614
8.İNCİ KATMAN	2	0.000582315
9.UNCU KATMAN	15	0.00120096
10.UNCU KATMAN	8	0.00169838
11.İNCİ KATMAN	13	0.00145631
12.NCİ KATMAN	15	0.000507769
13.ÜNCÜ KATMAN	12	0.00115045
14.ÜNCÜ KATMAN	15	0.000862131
15.İNCİ KATMAN	6	0.00125686
TOPLAM KALINLIK		0.0161655

Şekil 4.2.2(m) 15 Katmanlı Tasarım

Şekil 4.2.2’de gösterilen çok katmanlı elektromagnetik soğurucu yapıların paralel ve dik polarizasyonlarda frekans ve açı değişimi ile yansıma katsayısı değerine ilişkin grafikler Şekil 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6 4.2.7, 4.2.8, 4.2.9, 4.2.10, 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13, 4.2.14, 4.2.15,’de 3 boyutlu olarak gösterilmiştir.

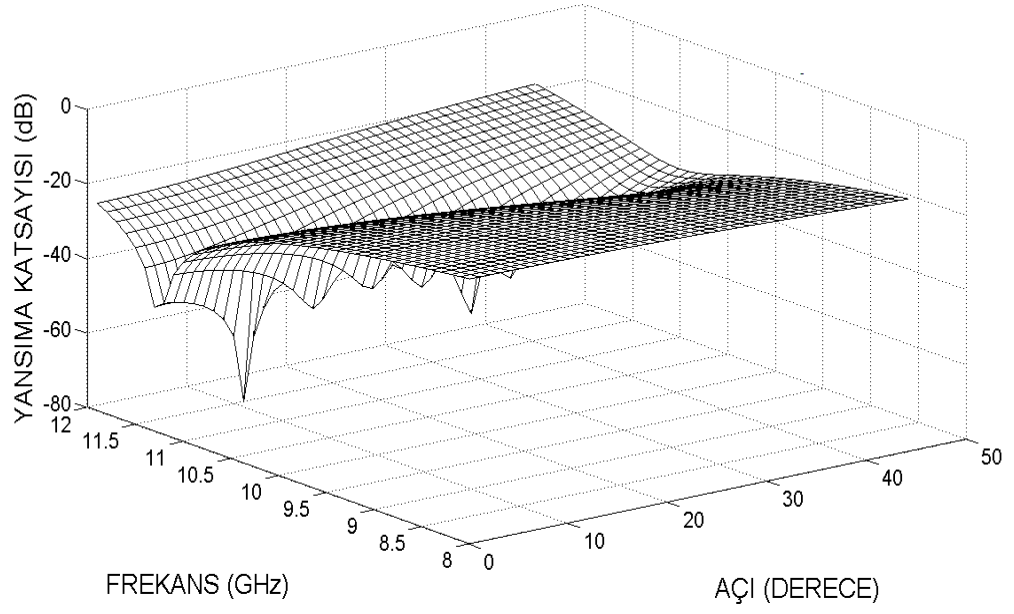


Şekil 4.2.3(a) Paralel Polarizasyon İçin 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği



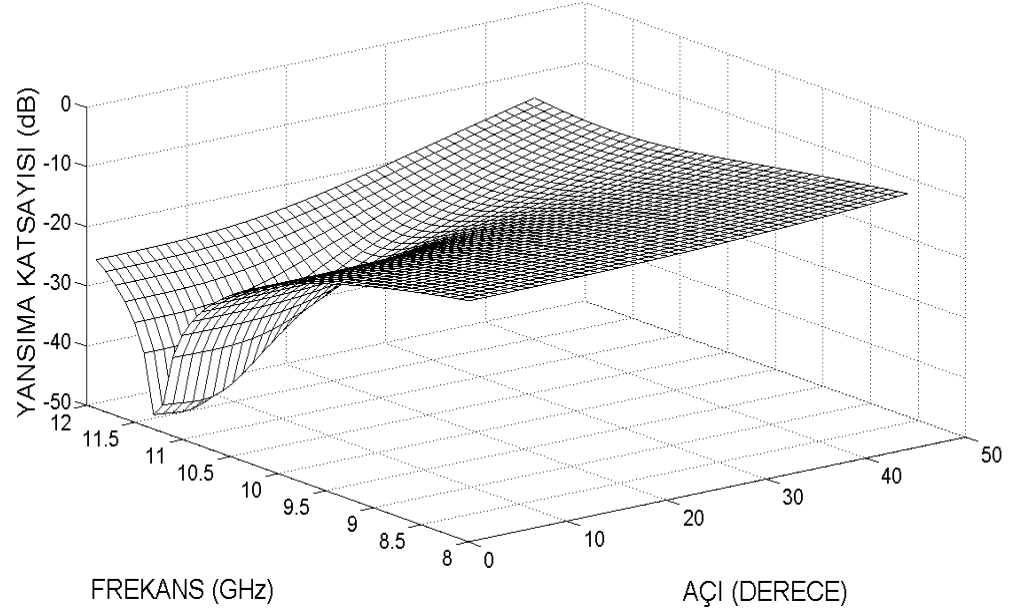
Şekil 4.2.3(b) Dik Polarizasyon İçin 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansıma Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=4, PARALEL POLARİZASYON

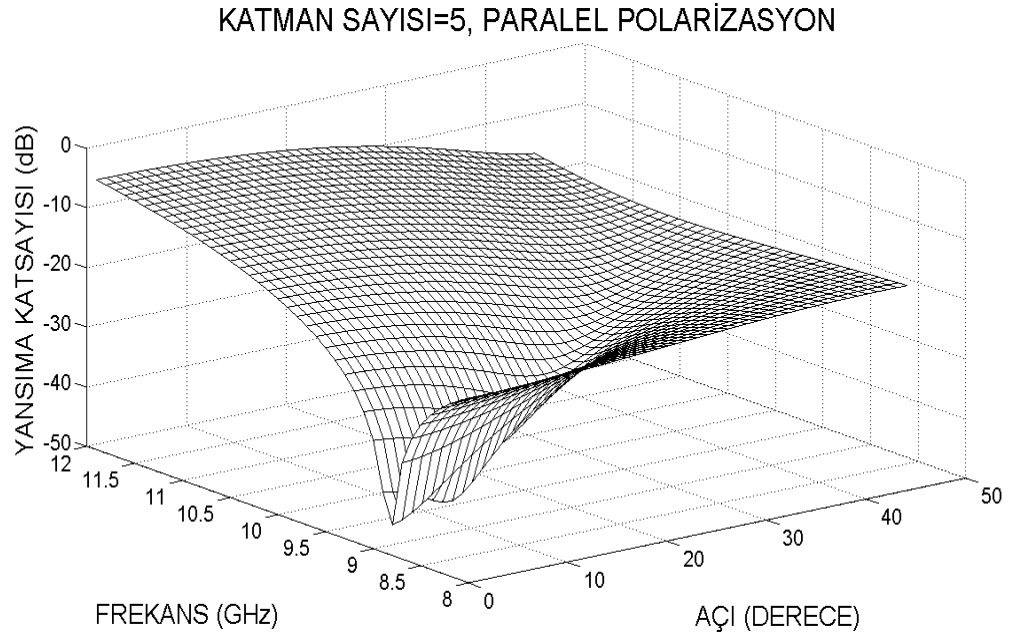


Şekil 4.2.4(a) Paralel Polarizasyon İçin 4 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

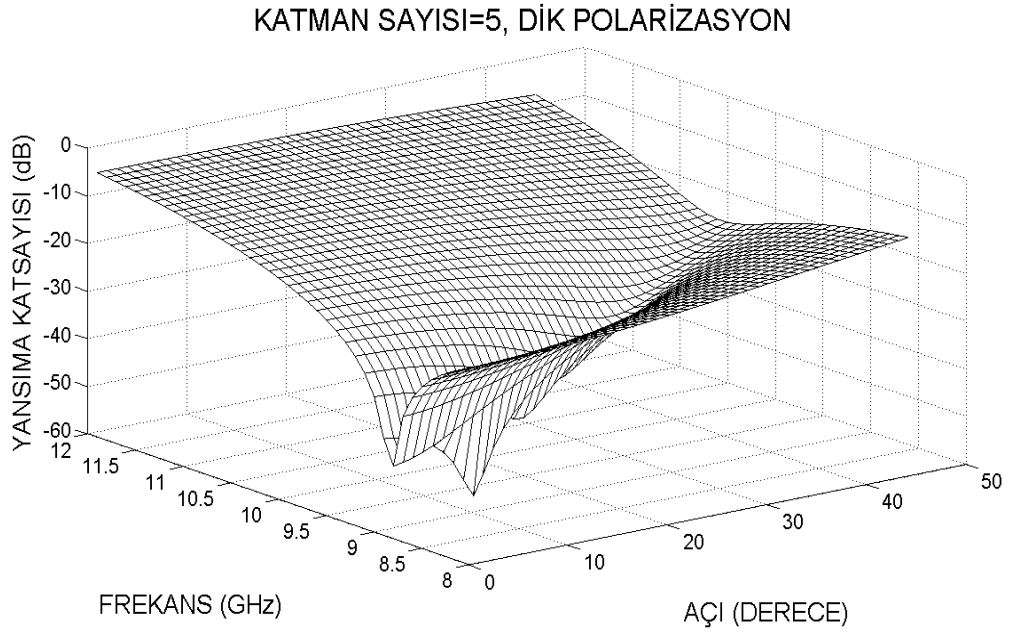
KATMAN SAYISI=4, DİK POLARİZASYON



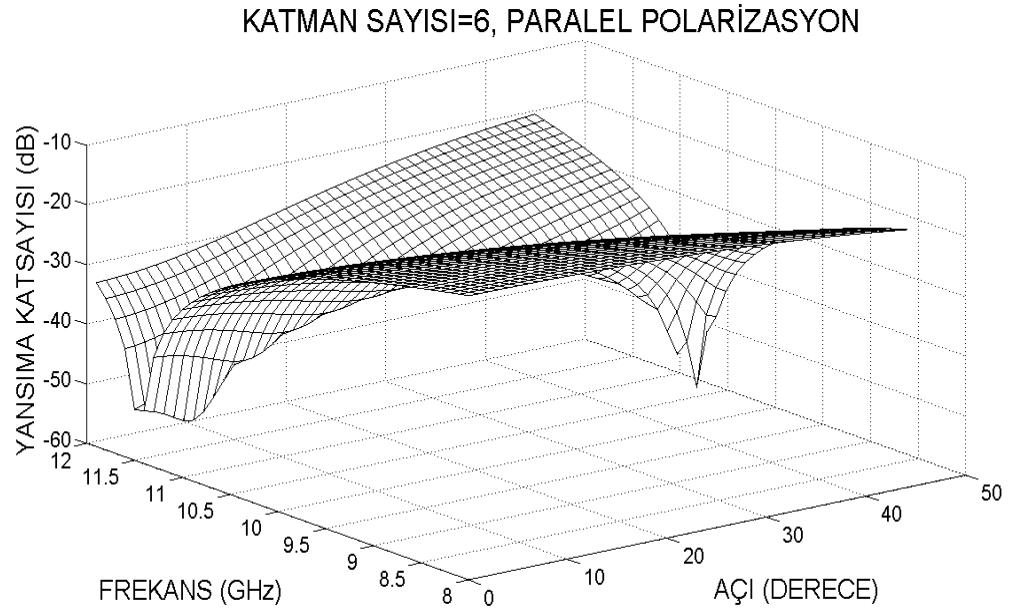
Şekil 4.2.4(b) Dik Polarizasyon İçin 4 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



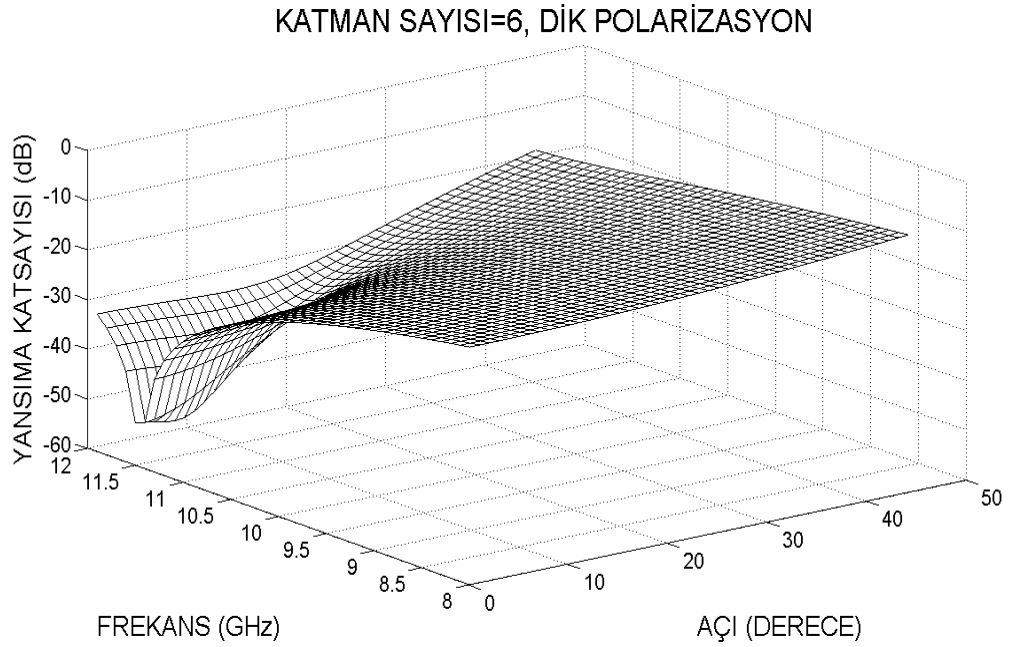
Şekil 4.2.5(a) Paralel Polarizasyon İçin 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



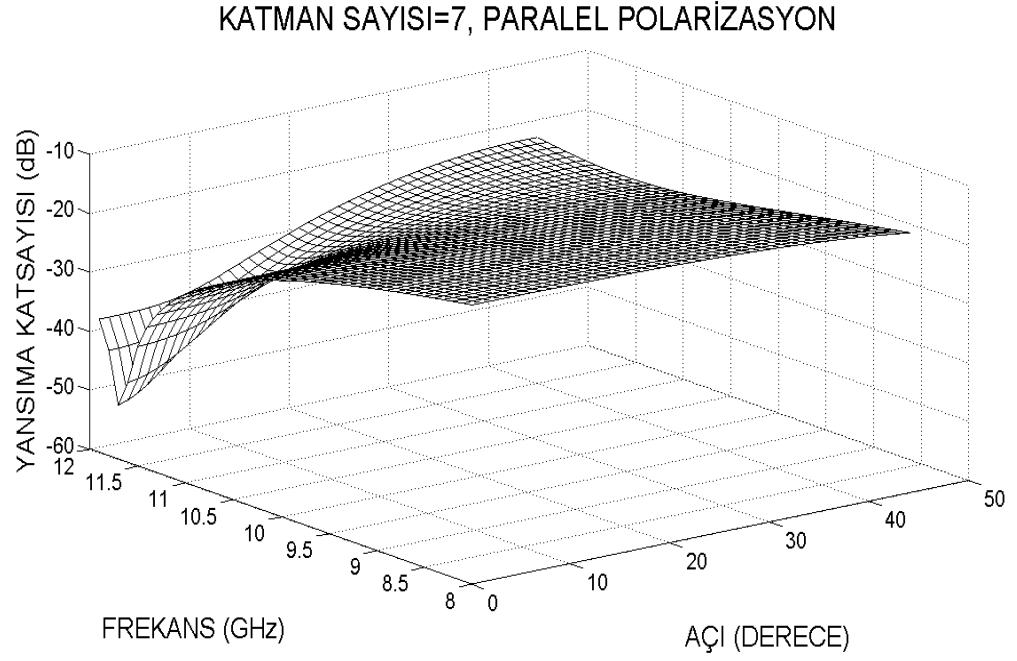
Şekil 4.2.5(b) Dik Polarizasyon İçin 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



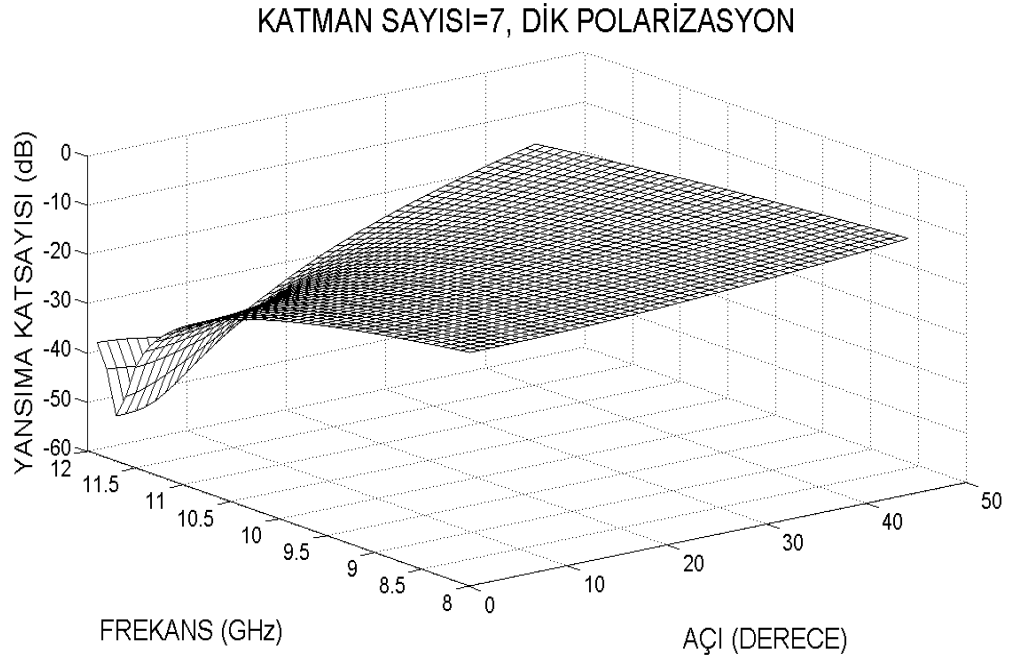
Şekil 4.2.6(a) Paralel Polarizasyon İçin 6 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



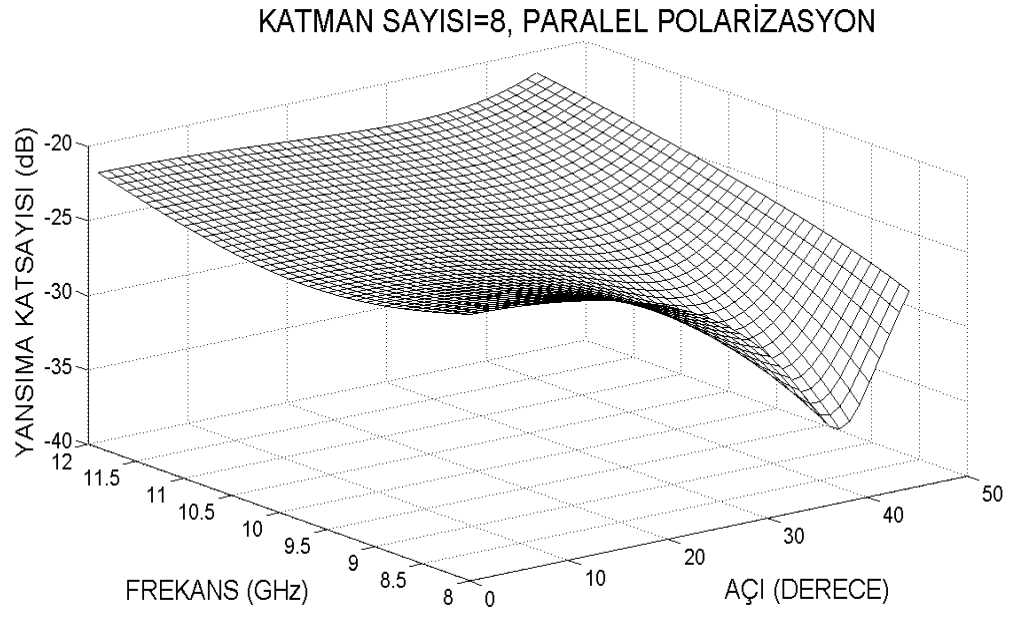
Şekil 4.2.6(b) Dik Polarizasyon İçin 6 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



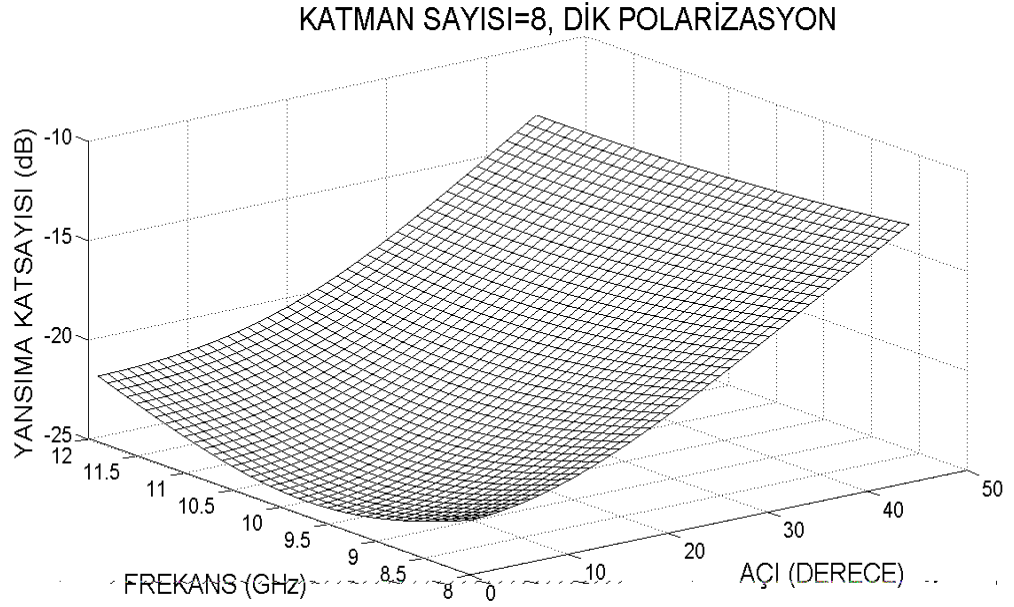
Şekil 4.2.7(a) Paralel Polarizasyon İçin 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



Şekil 4.2.7(b) Dik Polarizasyon İçin 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

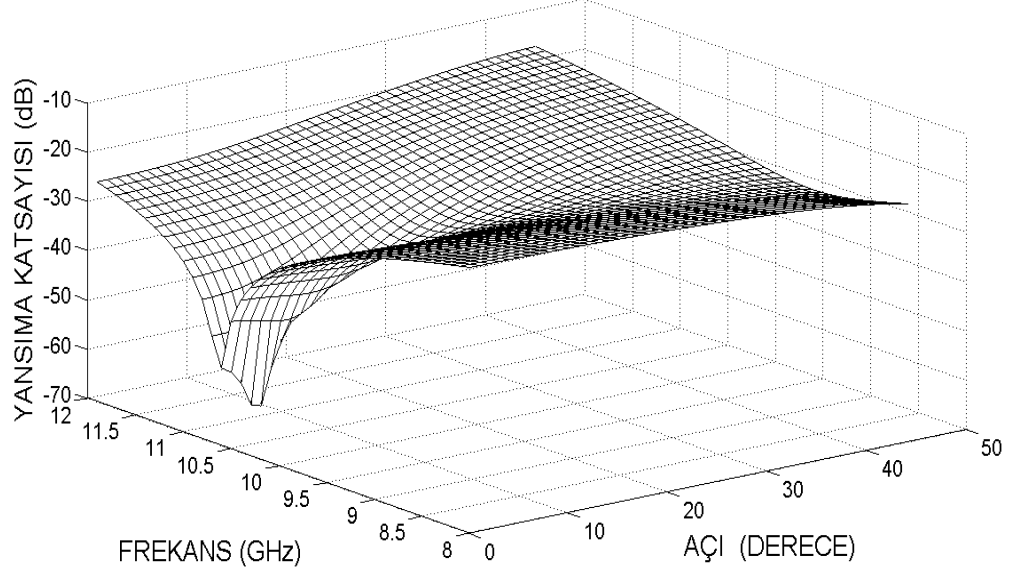


Şekil 4.2.8(a) Paralel Polarizasyon İçin 8 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



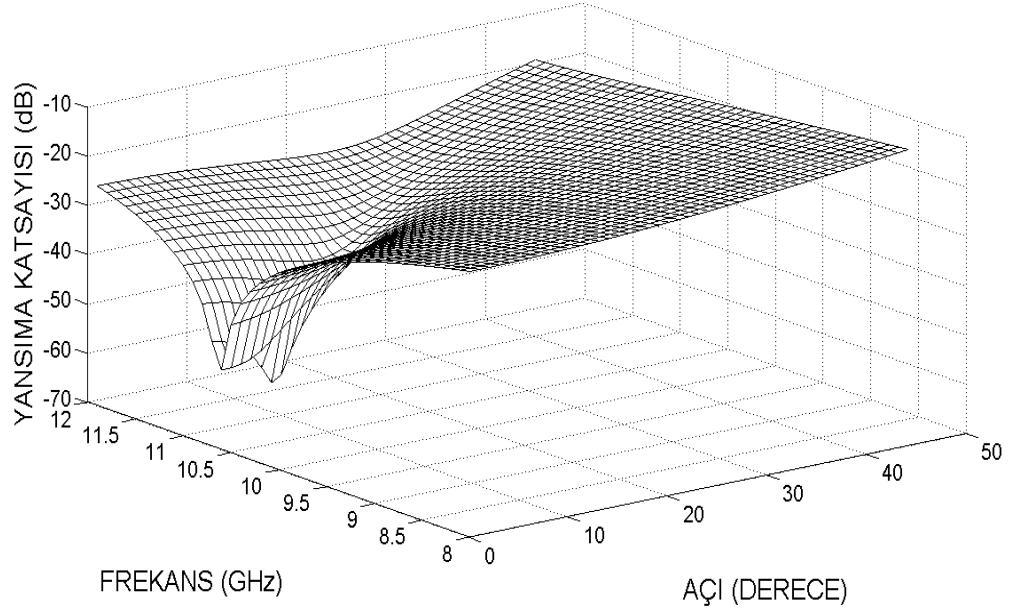
Şekil 4.2.8(b) Dik Polarizasyon İçin 8 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=9, PARALEL POLARİZASYON

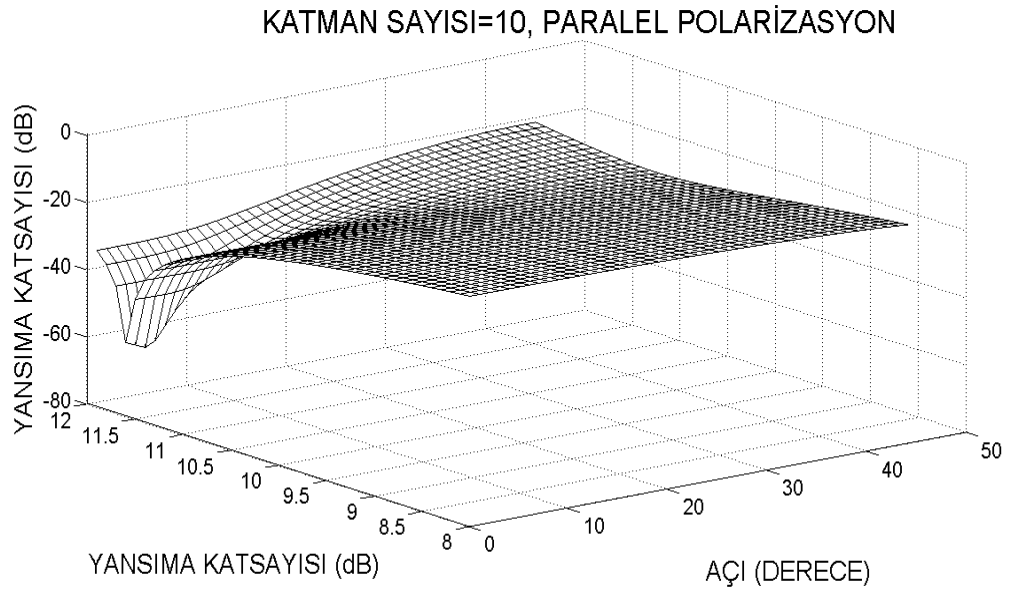


Şekil 4.2.9(a) Paralel Polarizasyon İçin 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

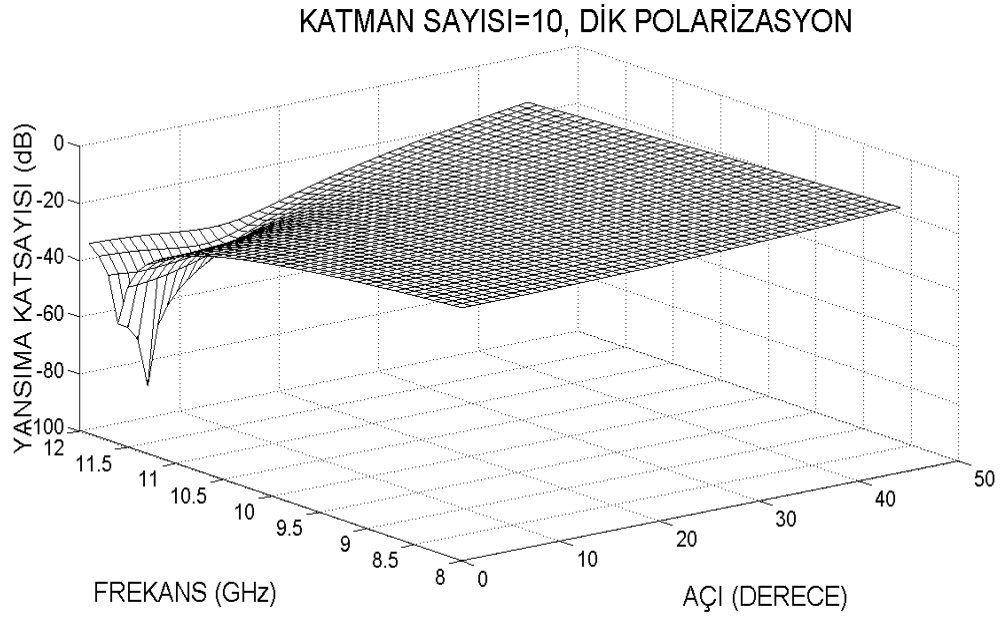
KATMAN SAYISI=9, DİK POLARİZASYON



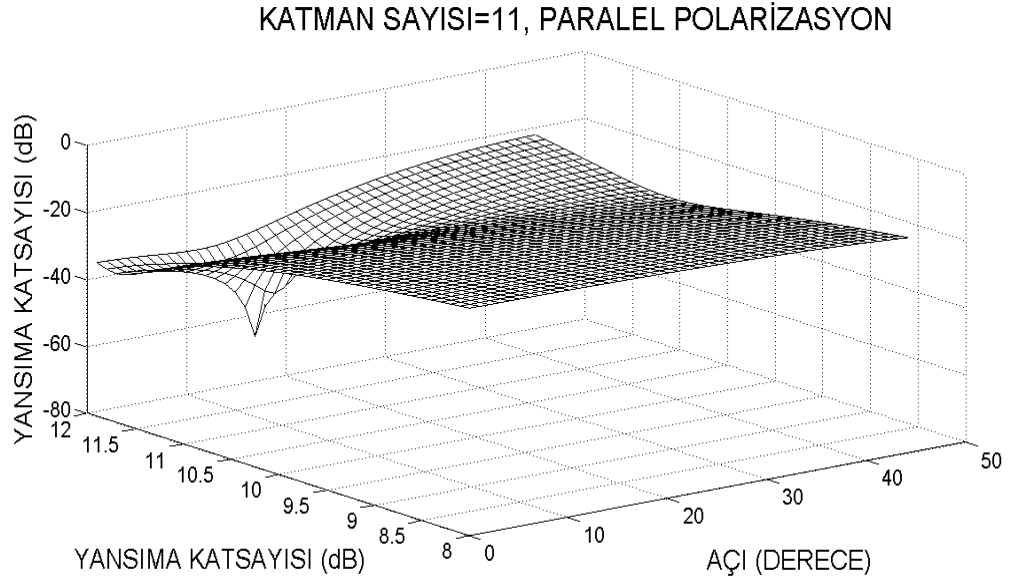
Şekil 4.2.9(b) Dik Polarizasyon İçin 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



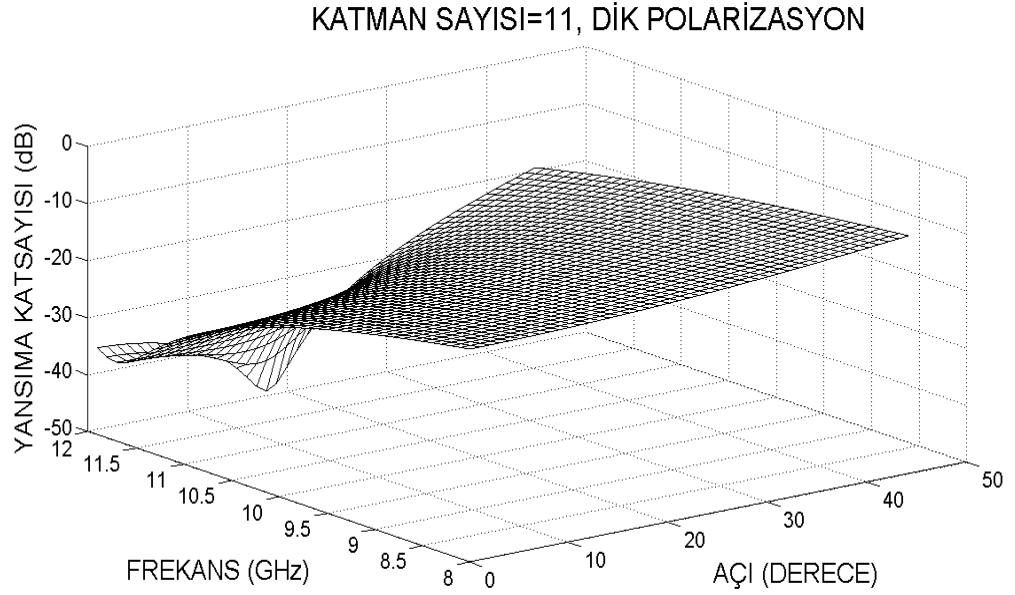
Şekil 4.2.10(a) Paralel Polarizasyon İçin 10 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



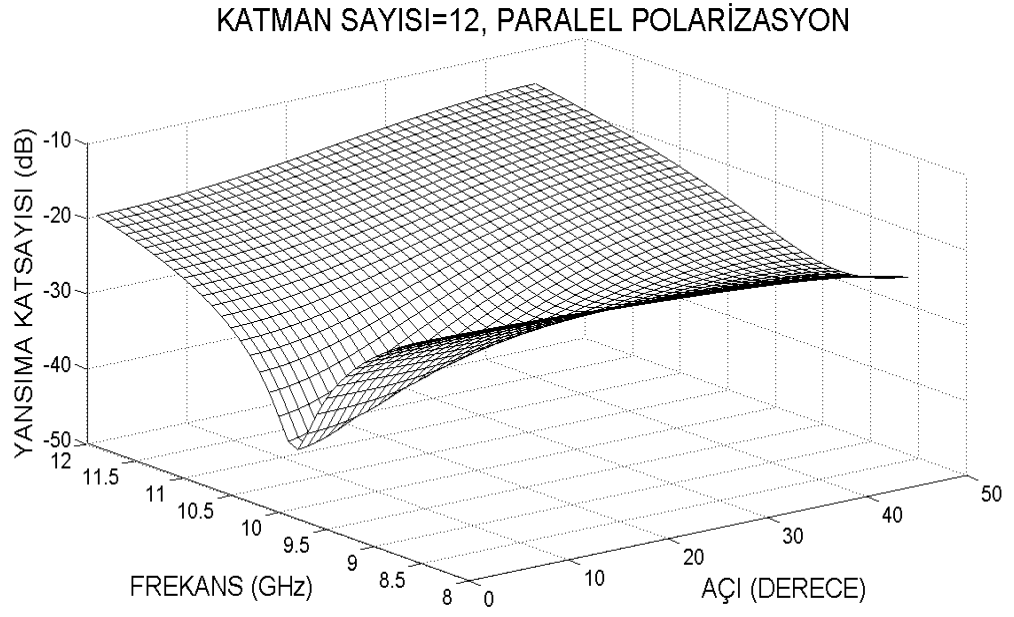
Şekil 4.2.10(b) Dik Polarizasyon İçin 10 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



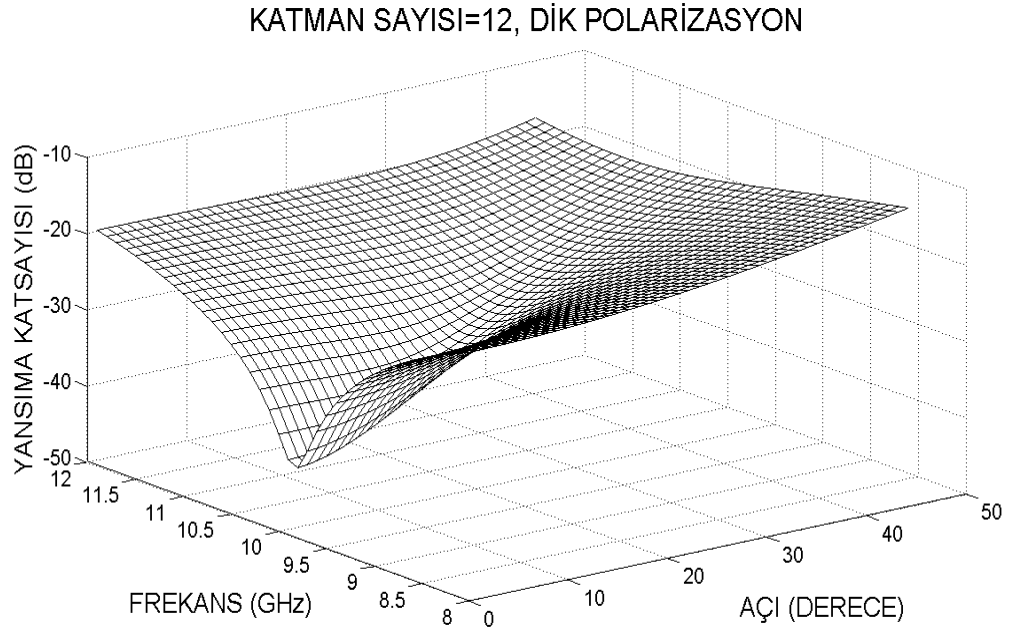
Şekil 4.2.11(a) Paralel Polarizasyon İçin 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



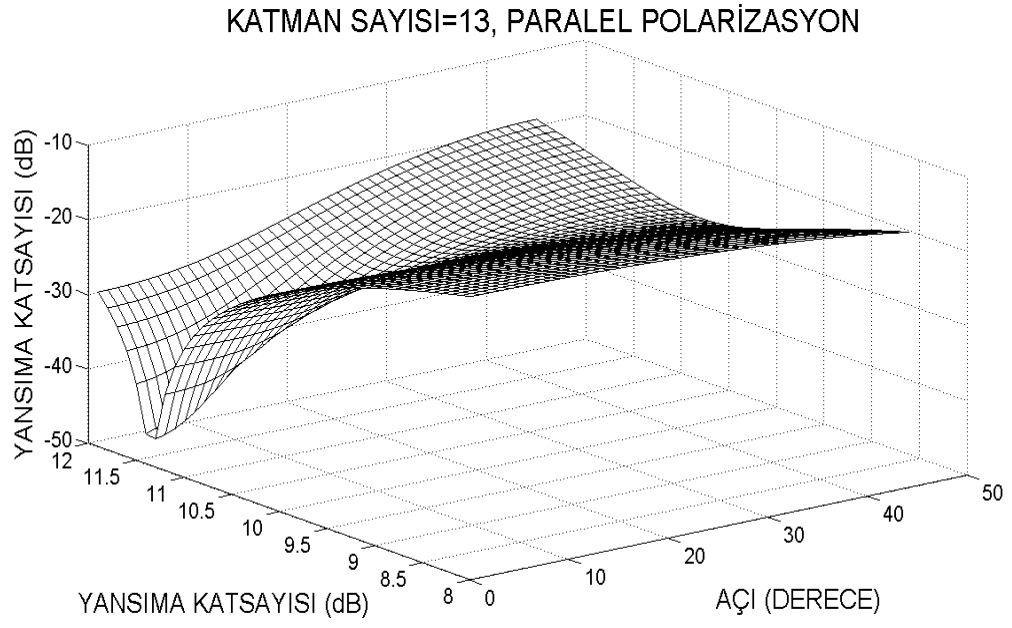
Şekil 4.2.11(b) Dik Polarizasyon İçin 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



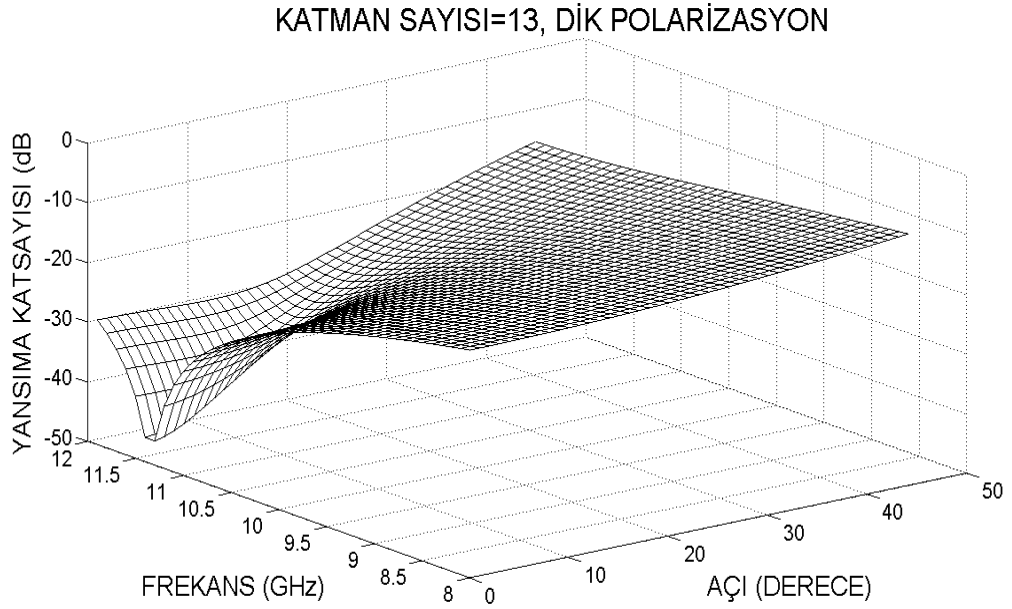
Şekil 4.2.12(a) Paralel Polarizasyon İçin 12 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



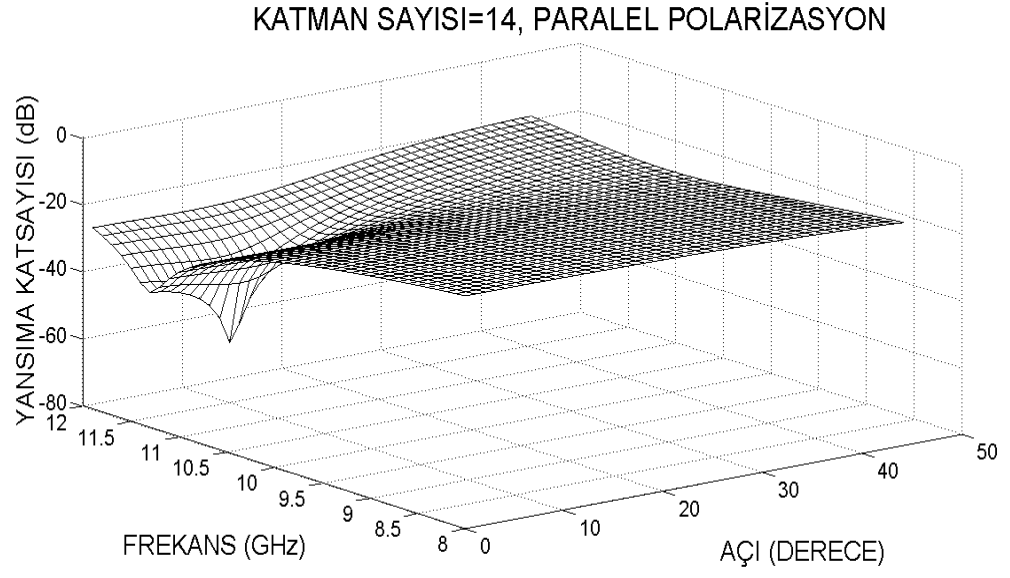
Şekil 4.2.12(b) Dik Polarizasyon İçin 12 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



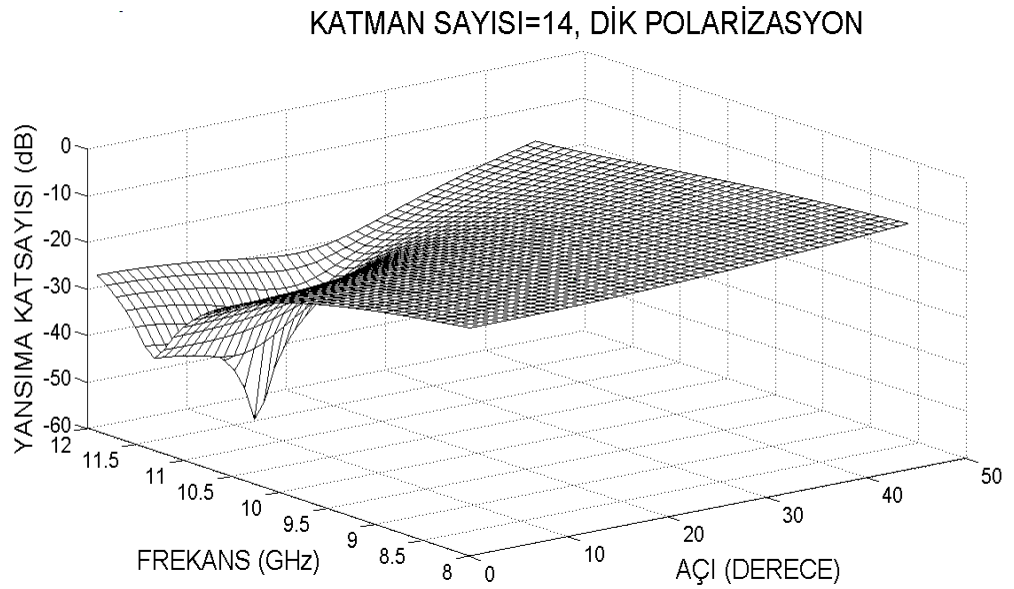
Şekil 4.2.13(a) Paralel Polarizasyon İçin 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



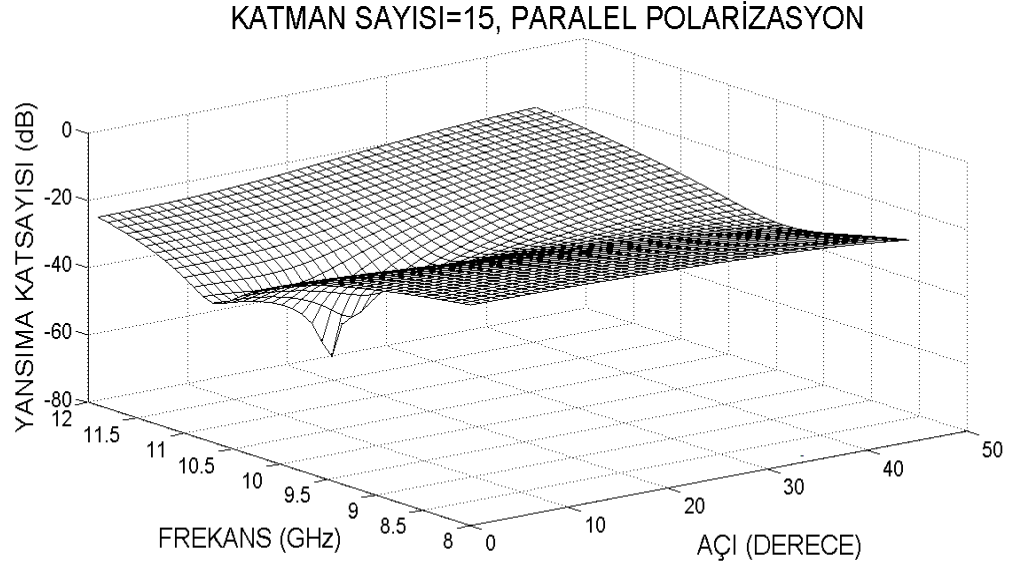
Şekil 4.2.13(b) Dik Polarizasyon İçin 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



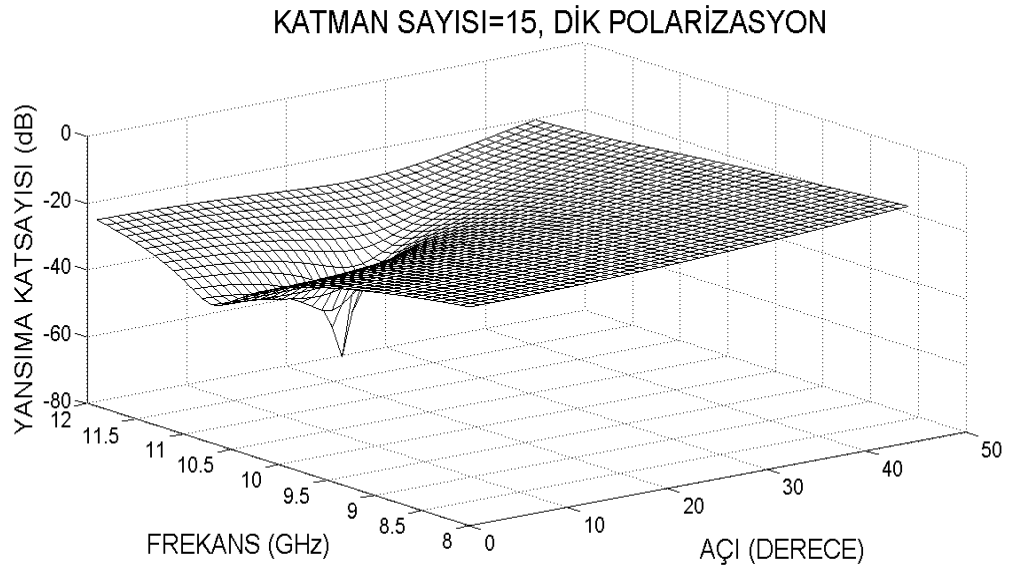
Şekil 4.2.14(a) Paralel Polarizasyon İçin 14 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



Şekil 4.2.14(b) Dik Polarizasyon İçin 14 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

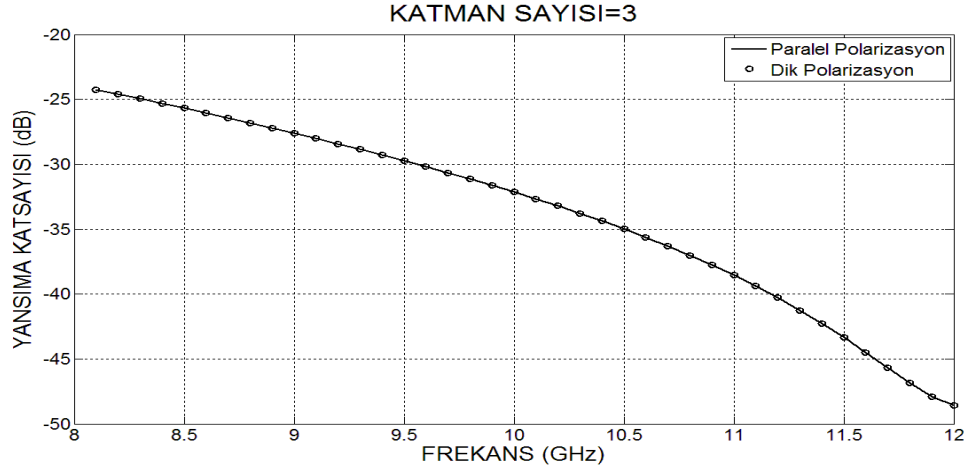


Şekil 4.2.15(a) Paralel Polarizasyon İçin 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

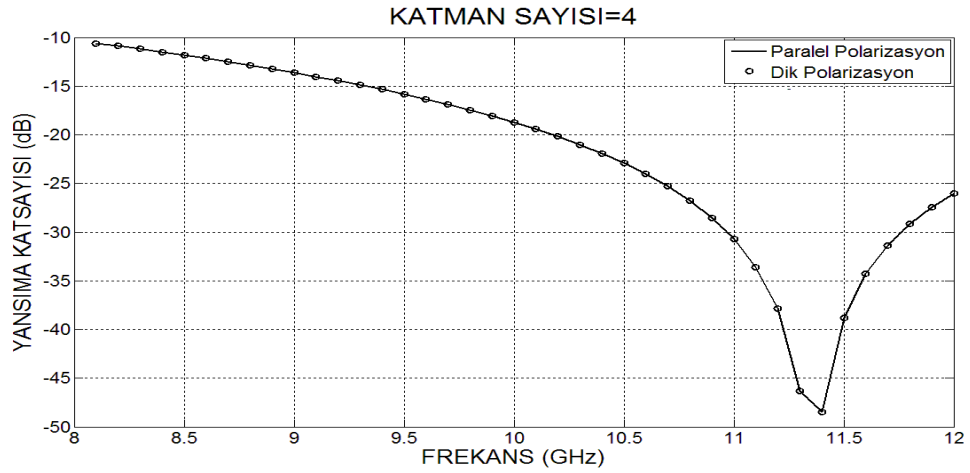


Şekil 4.2.15(b) Dik Polarizasyon İçin 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

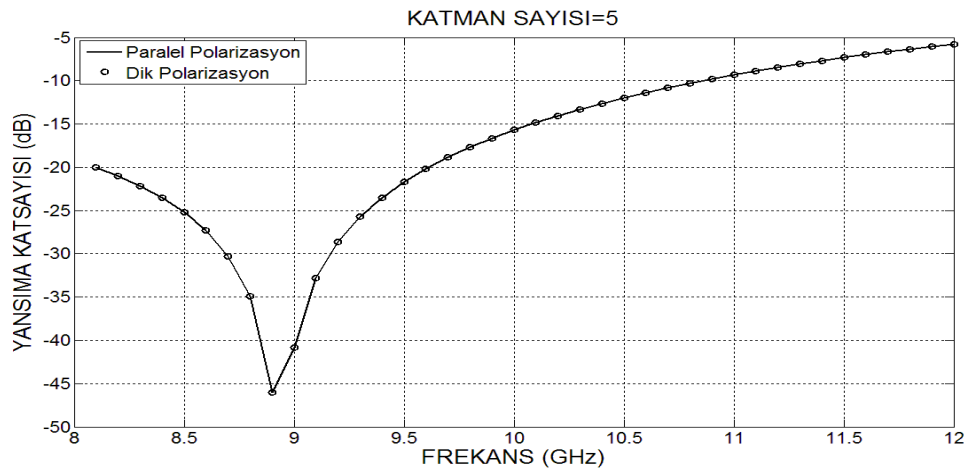
Elektromagnetik soğurucu yapılara gelen radar sinyallerinin frekans değişimi ile yansıma katsayısı değişimi arasındaki ilişkiler ikinci hata fonksiyonu için Şekil 4.2.16’da gösterilmiş olup sinyalin yapıya 0 derecelik açı ile geldiği dvarsayılmıştır.



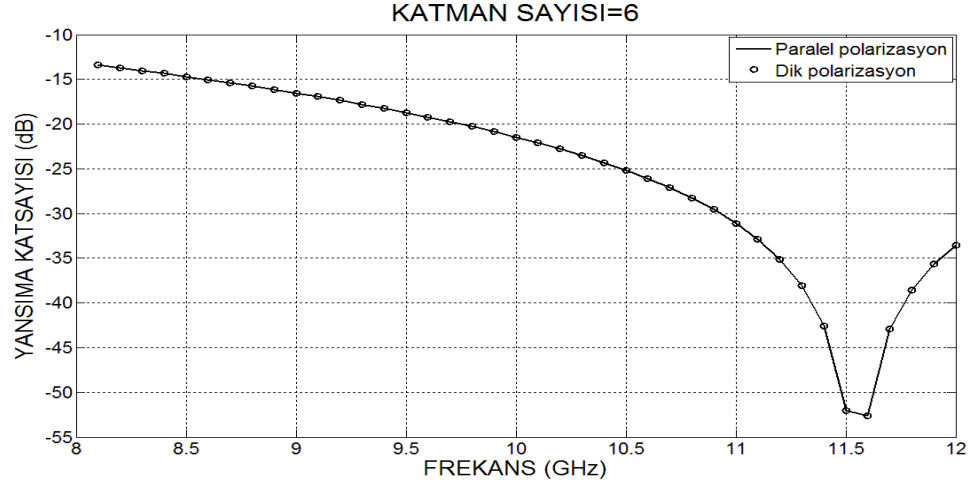
Şekil 4.2.16(a) 3 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi



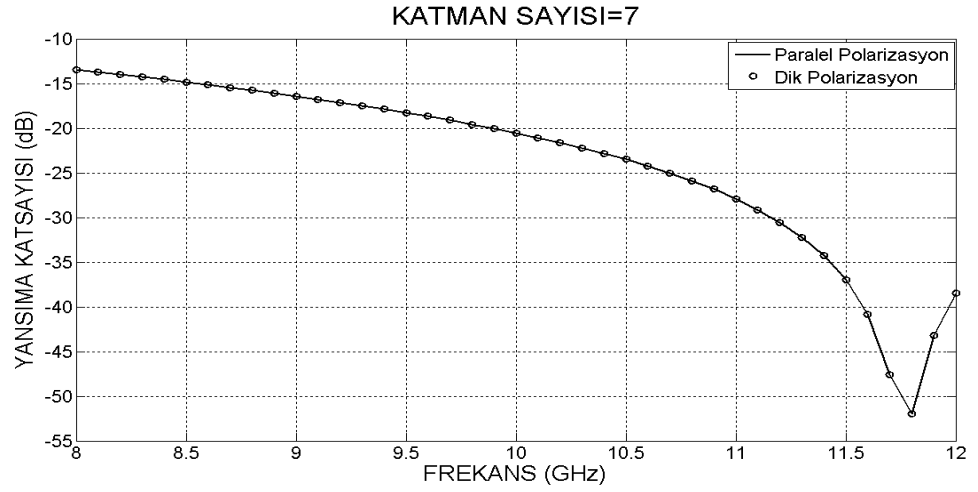
Şekil 4.2.16(b) 4 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi



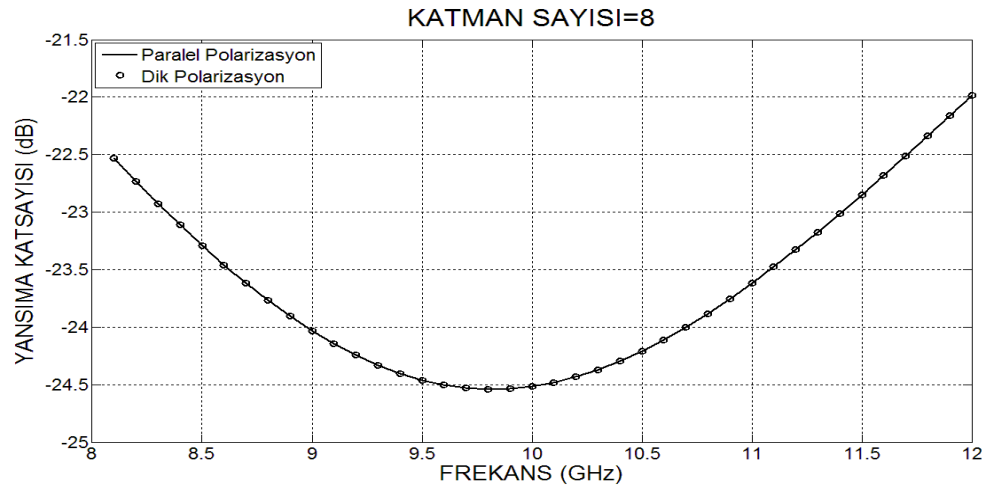
Şekil 4.2.16(c) 5 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi



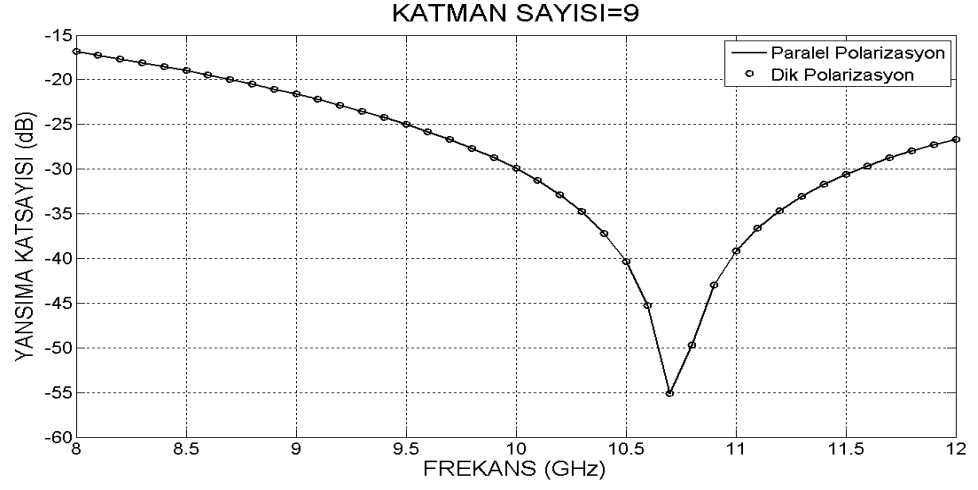
Şekil 4.2.16(d) 6 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



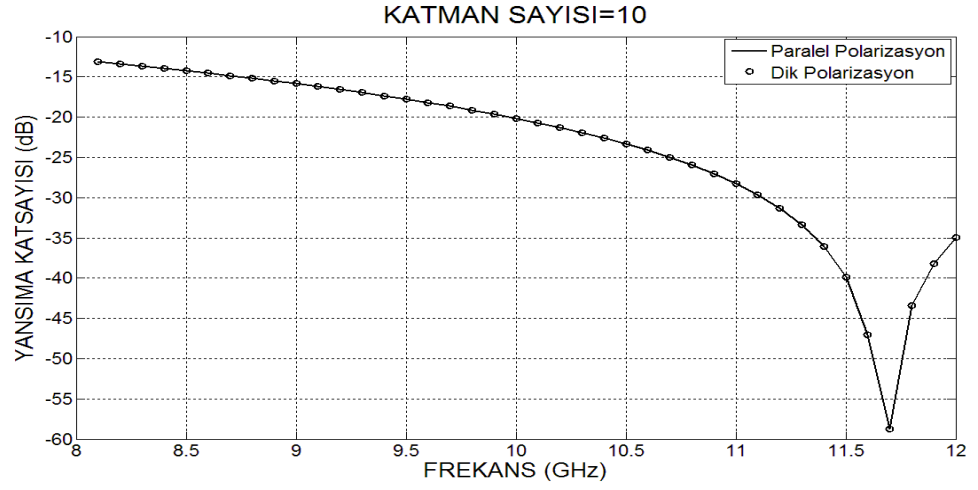
Şekil 4.2.16(e) 7 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



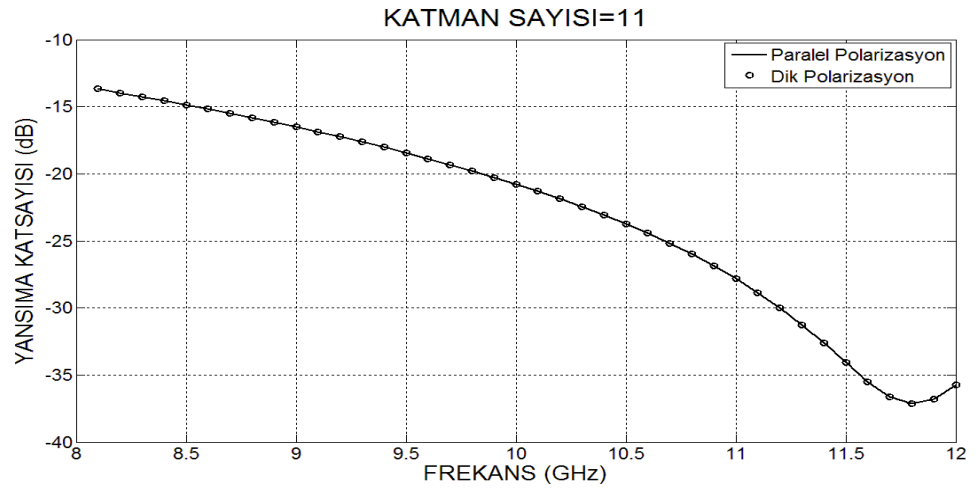
Şekil 4.2.16(f) 8 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



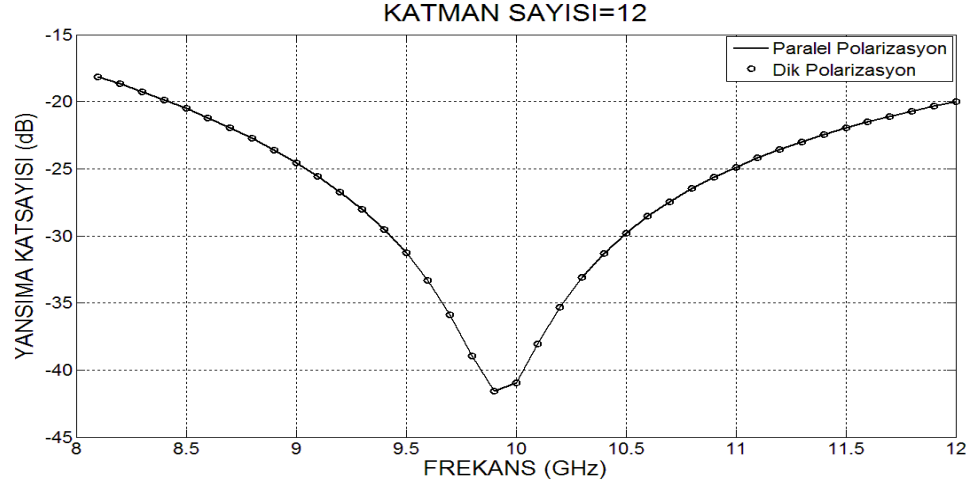
Şekil 4.2.16(g) 9 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



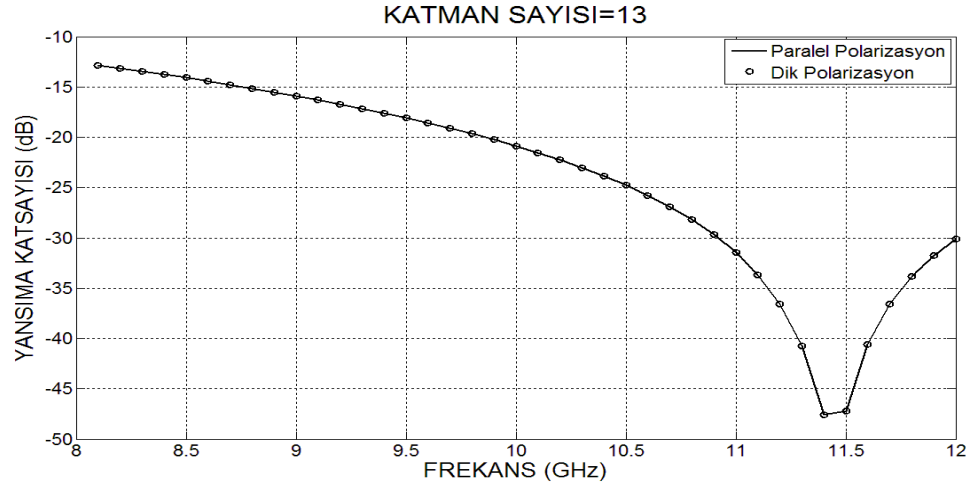
Şekil 4.2.16(h) 10 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



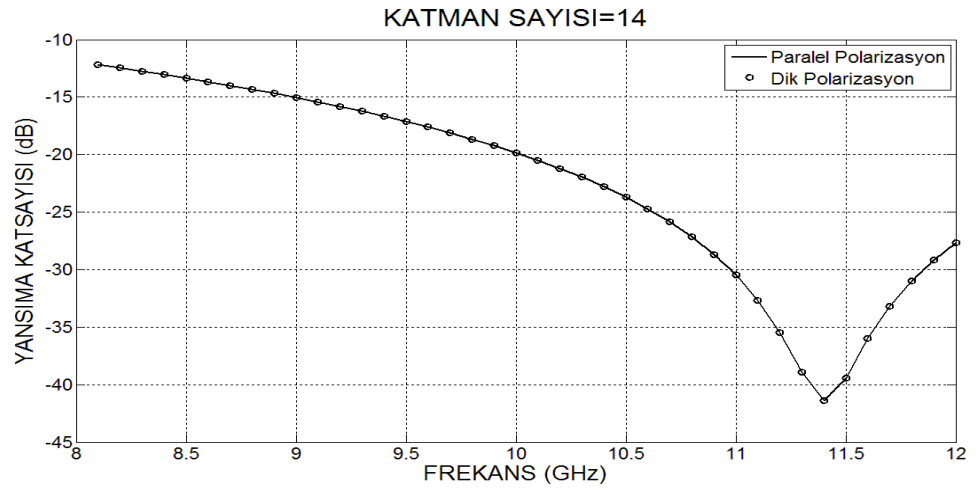
Şekil 4.2.16(i) 11 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



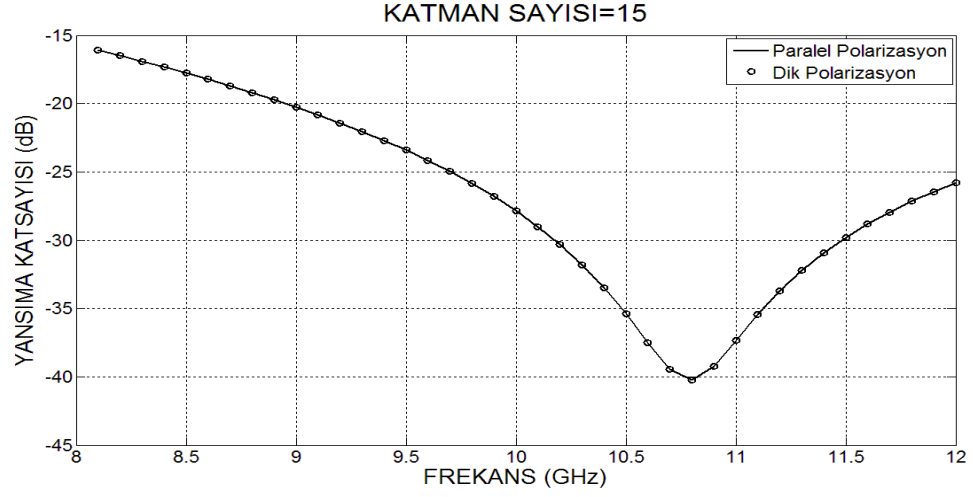
Şekil 4.2.16(j) 12 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi



Şekil 4.2.16(k) 13 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi

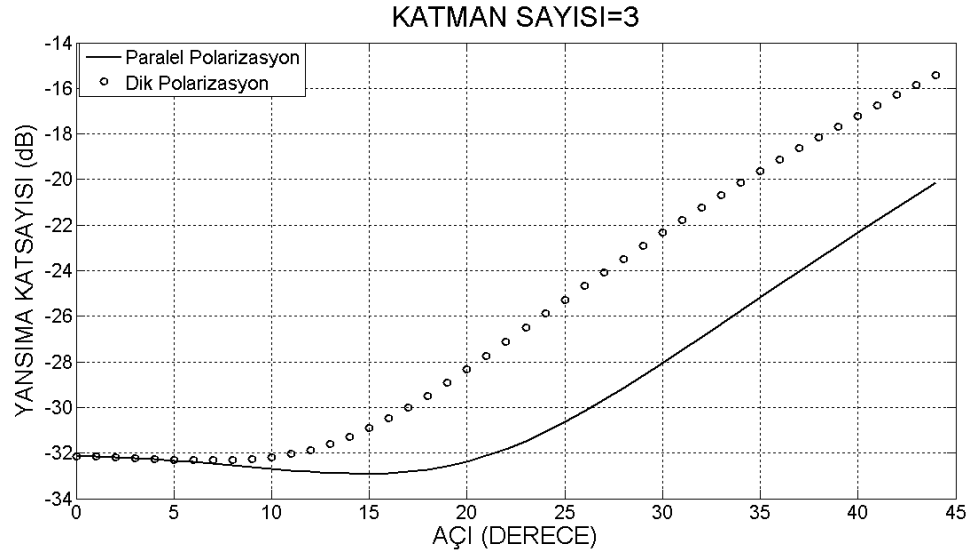


Şekil 4.2.16(l) 14 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi

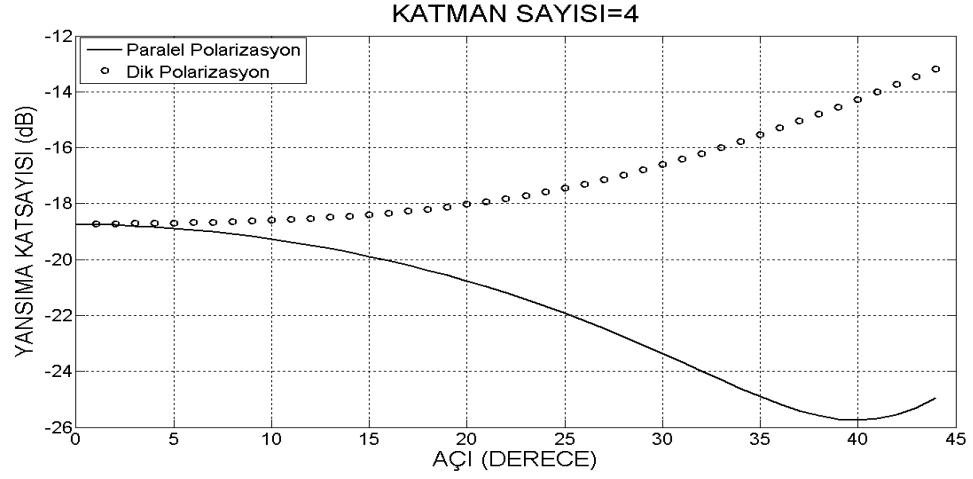


Şekil 4.2.16(m) 15 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansıma Katsayısının Değişimi

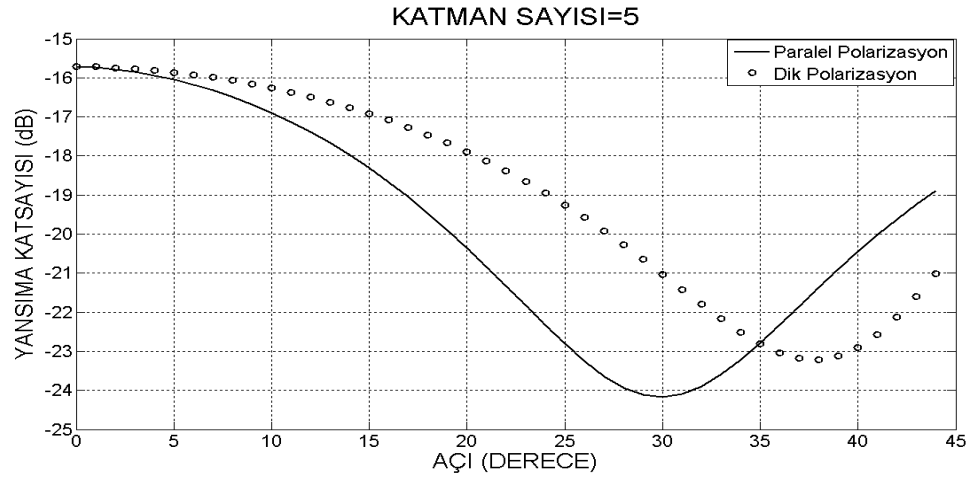
Tekrar tasarlanan elektromagnetik soğurucu yapılara gelen radar sinyallerinin açı değişimi ile yansıma katsayısı değişimi arasındaki ilişkiler ikinci hata fonksiyonu için Şekil 4.2.17'de gösterilmiştir. Şekil 4.2.17 için frekans değeri 10 GHz olarak alınmıştır.



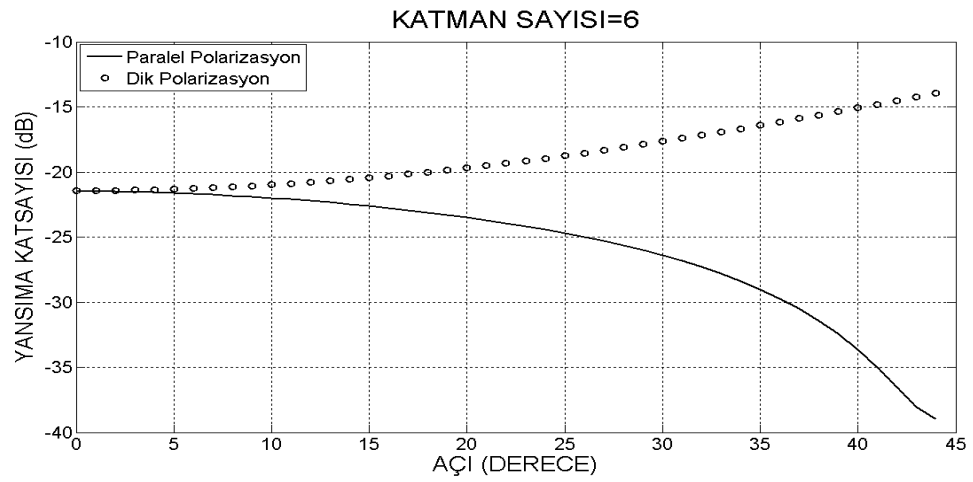
Şekil 4.2.17(a) 3 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansıma Katsayısının Değişimi



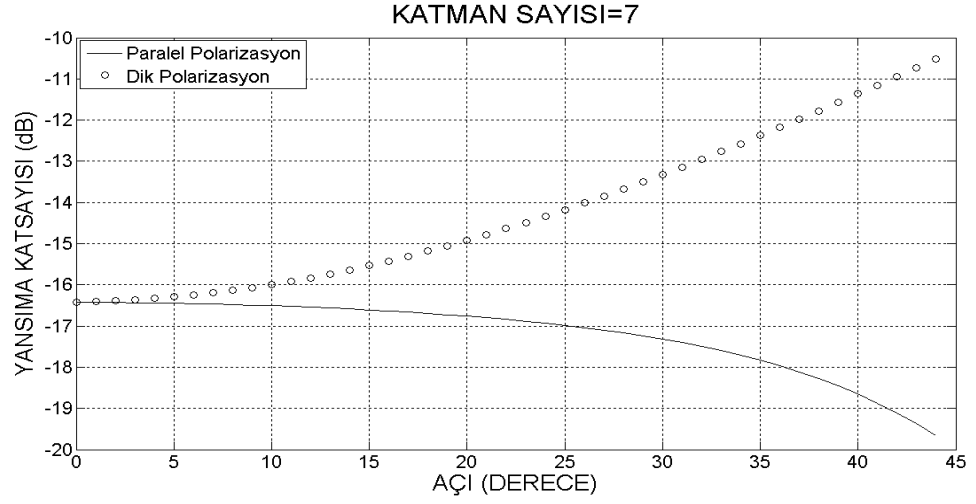
Şekil 4.2.17(b) 4 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



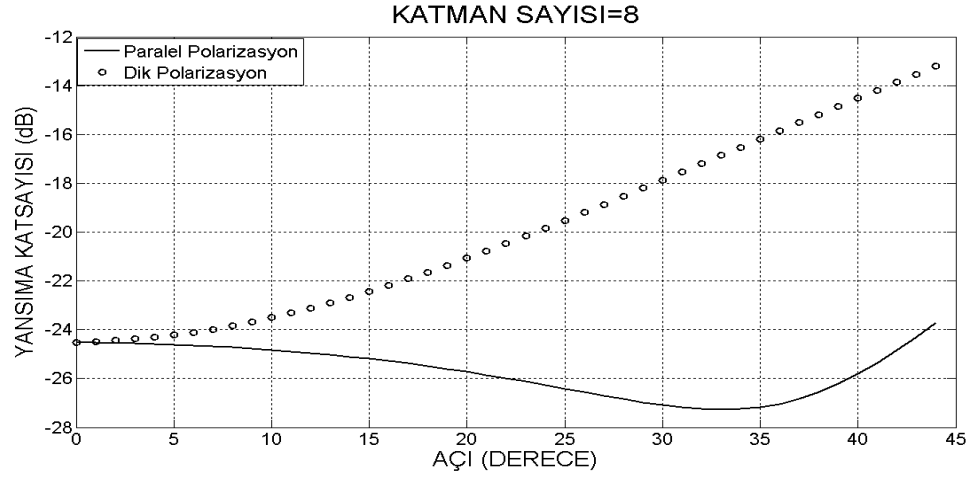
Şekil 4.2.17(c) 5 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



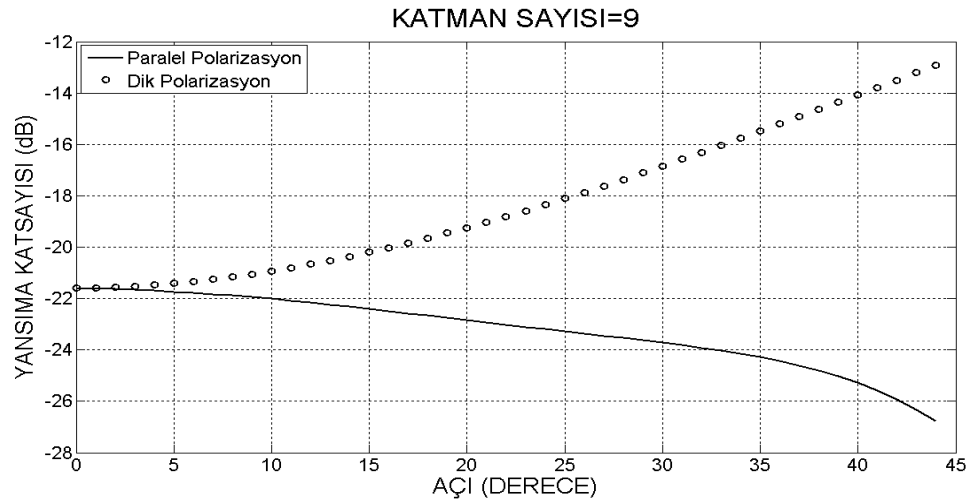
Şekil 4.2.17(d) 6 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



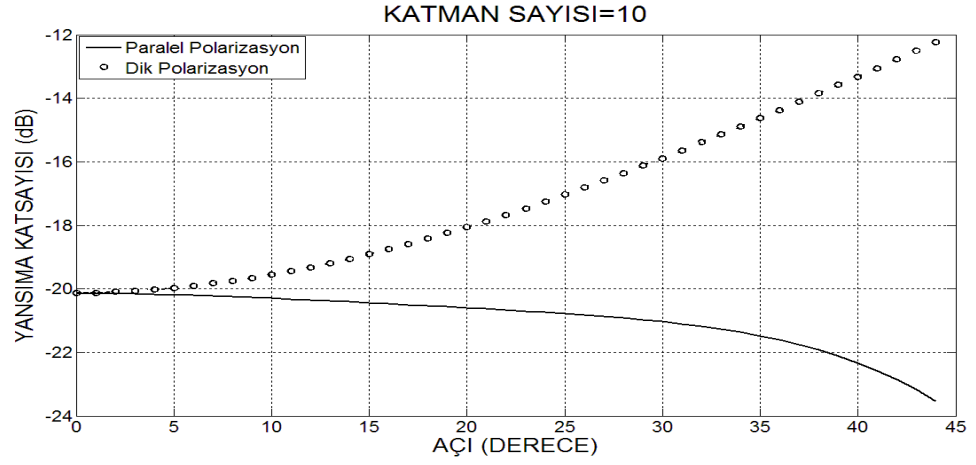
Şekil 4.2.17(e) 7 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



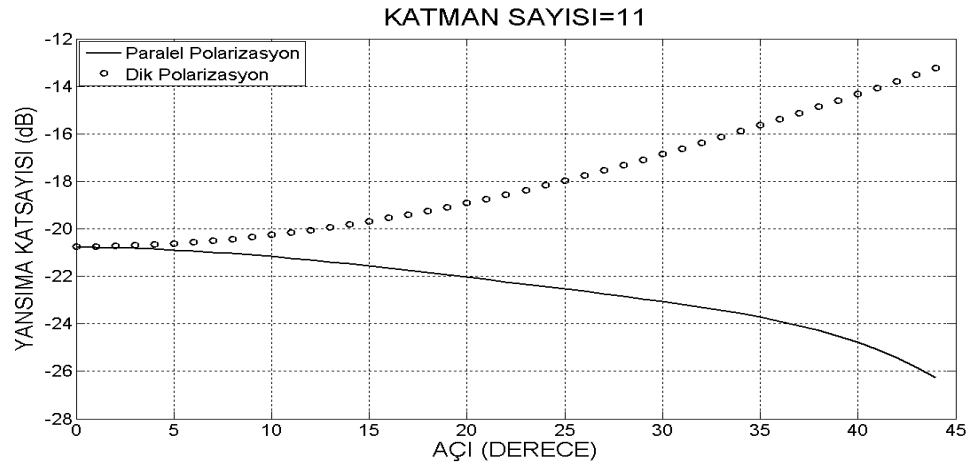
Şekil 4.2.17(f) 8 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



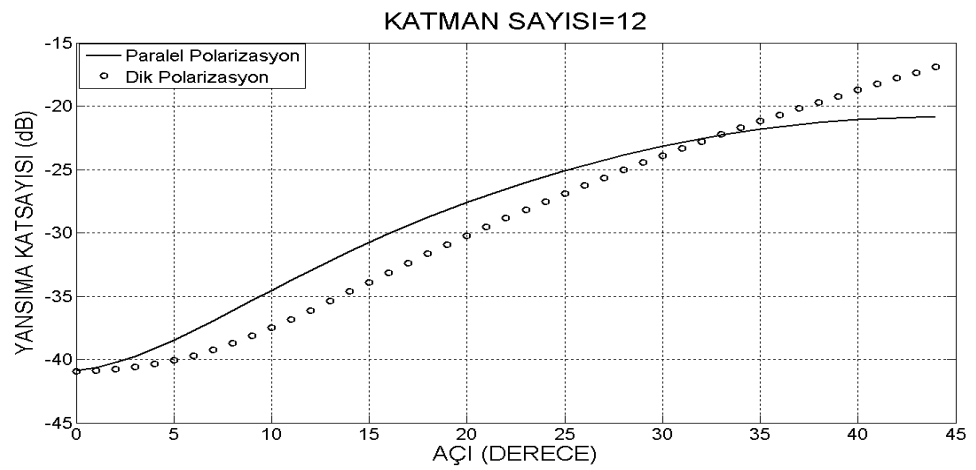
Şekil 4.2.17(g) 9 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



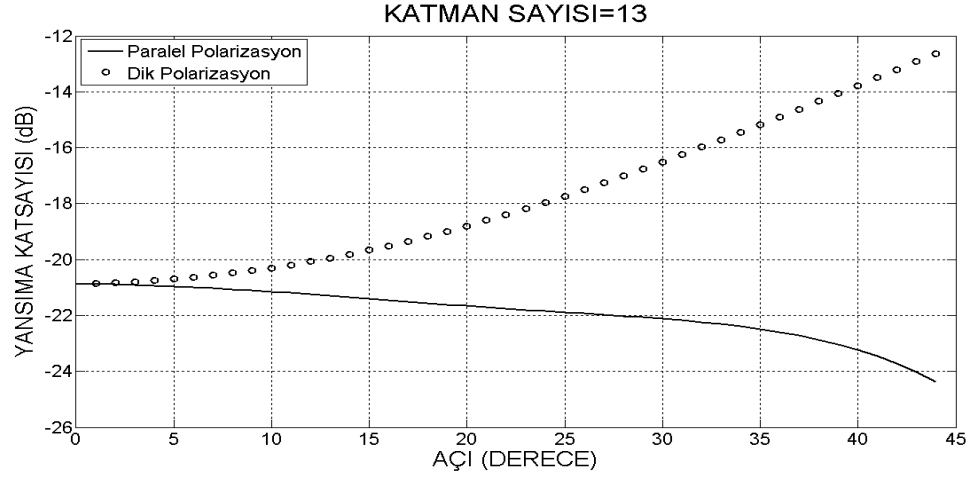
Şekil 4.2.17(h) 10 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



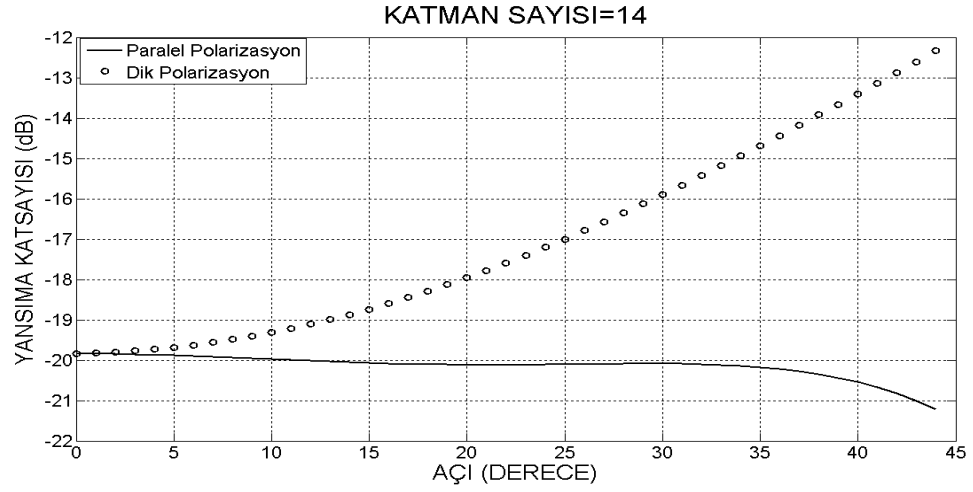
Şekil 4.2.17(i) 11 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



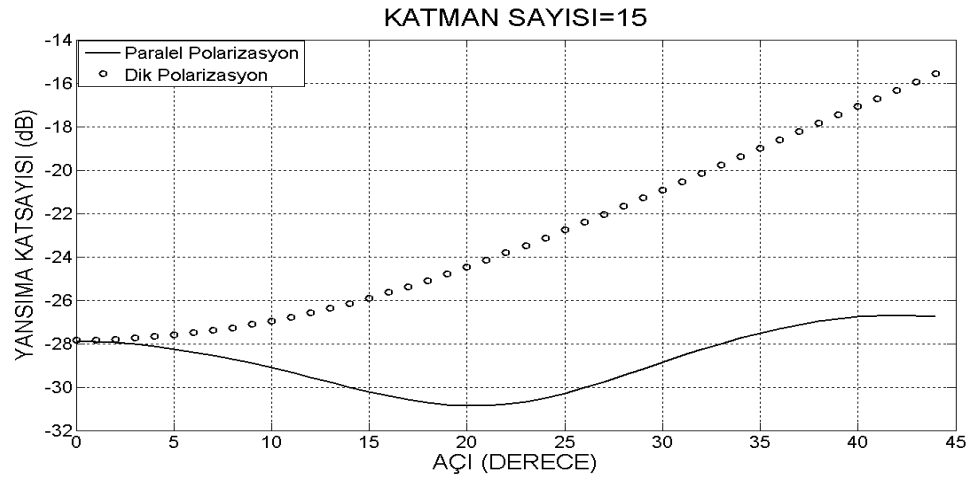
Şekil 4.2.17(j) 12 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.2.17(k) 13 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.2.17(l) 14 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.2.17(m) 15 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi

4.3. Sağ Tarafli Malzemeler Kullanilan Çok Katmanli Soğurucu Tasarımı:

Bu bölümde bölüm 4.2.'de kullanılan hata fonksiyonu kullanılarak sadece sağ tarafli malzemeler kullanılarak elektromagnetik soğurucu yapıları tasarlanacaktır. Bu bölümde 3,5,7,9,11,13 ve 15 katmanli elektromagnetik soğurucu yapılar tasarlanarak incelenecektir. PSO'da kullanılmak üzere kullanılacak hata fonksiyonu şu şekilde olacaktır.

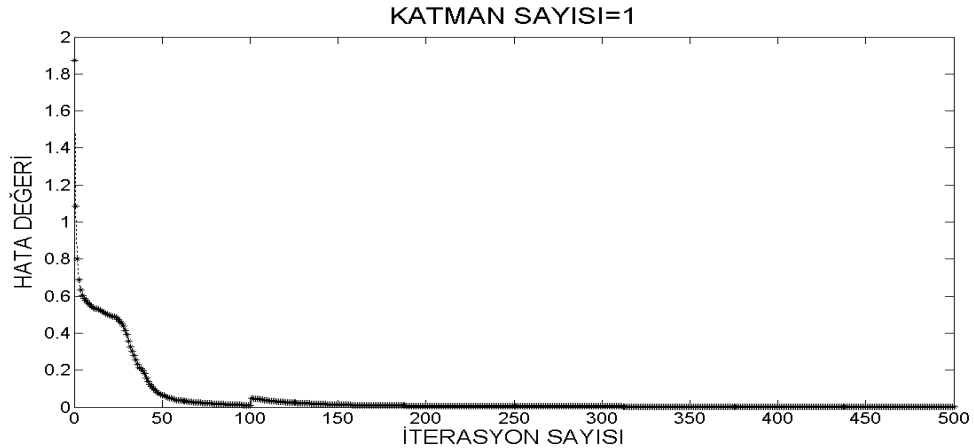
$$e = \sum_{t=1}^{MF} \sum_{s=1}^{MA} \left\{ (|R_{\text{paralelpol}}(t)(\Psi_s)| + |R_{\text{dikpol}}(t)(\Psi_s)|) \sum_{r=1}^N d_r \right\} \quad (4.3)$$

Burada N katman sayısını, d_r r.inci katmanda kullanılan malzemenin kalınlığını ifade etmektedir. Aynı şekilde kullanılan frekans değerleri için MF sayısı 40, açı değeri içinde MA sayısı 45'e eşit olacaktır. Çizelge 4.1'deki sağ tarafli malzemeler kullanılarak hata fonksiyonunu Çizelge 4.4'de verilen parametreler yardımıyla PSO ile optimize ederek minimum yansıma katsayısı elde etmeye çalışacağız.

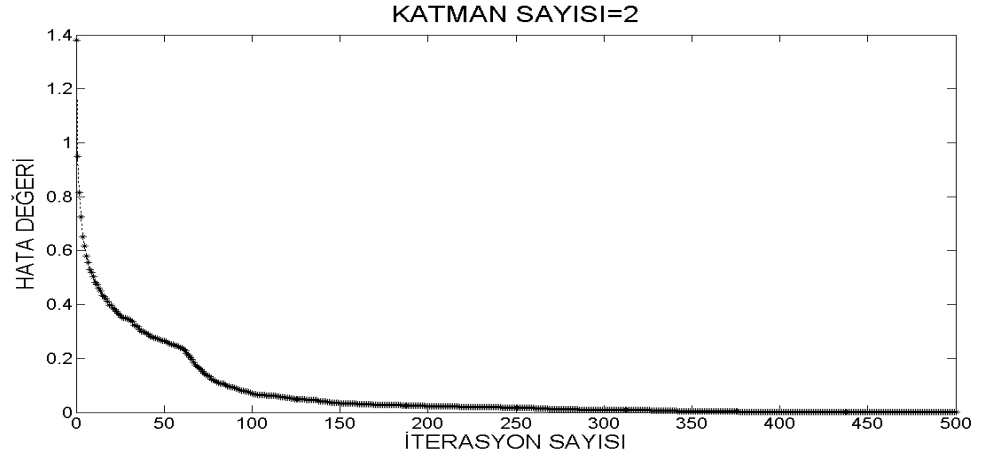
Çizelge 4.4. Hata Fonksiyonu için Optimizasyonda Kullanılan Parametre Değerleri

Frekans	8GHz-12GHz
Açı	1-45 derece
Katman Sayısı	1-15
İterasyon Sayısı	500
Sürü Sayısı	150

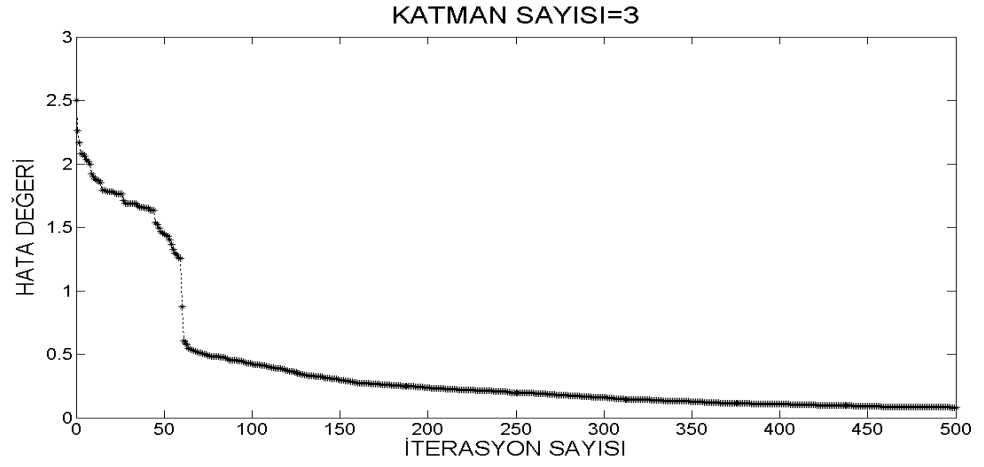
Optimizasyon sonucu elde edilen farklı katman sayılarında iterasyon sayısı ile değişen hata değeri grafikleri şekil 4.3.1'de gösterilmiştir.



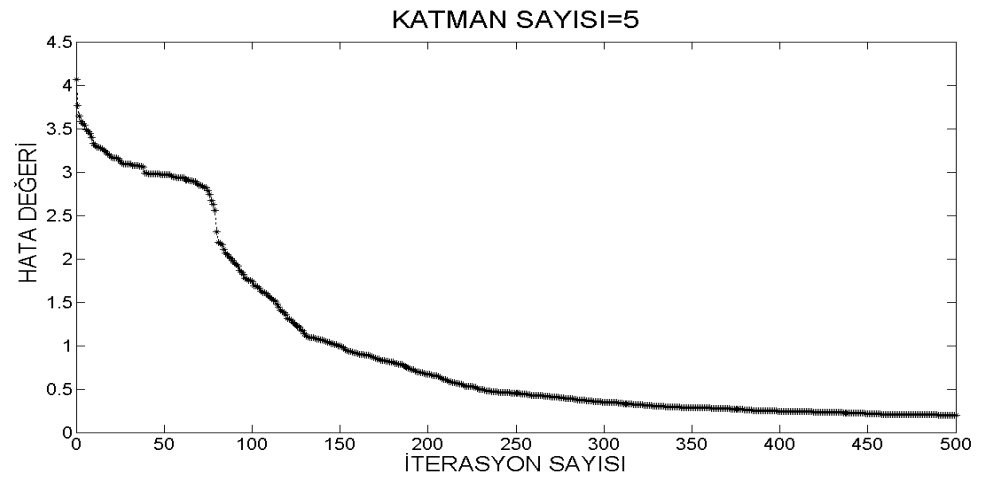
Şekil 4.3.1(a) 1 Katmanlı Tasarımın İterasyona Göre Hata Değerleri



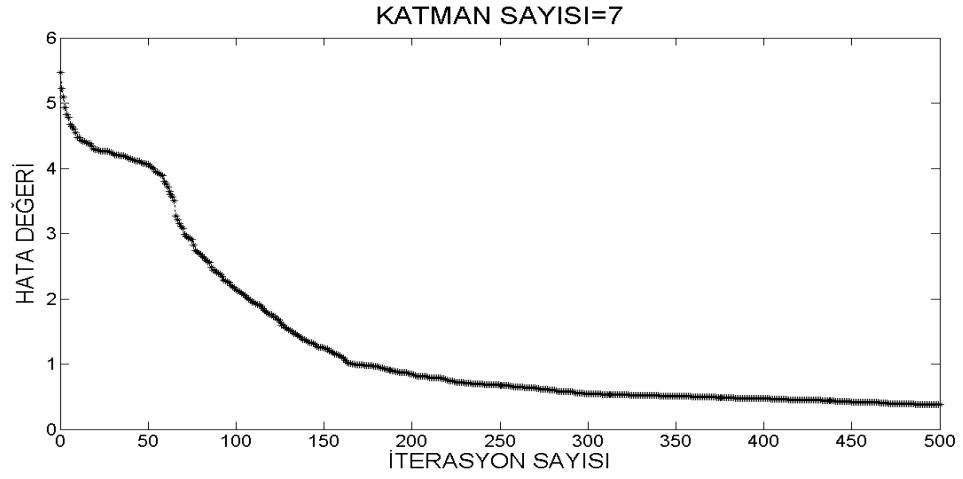
Şekil 4.3.1(b) 2 Katmanlı Tasarımın İterasyona Göre Hata Değerleri



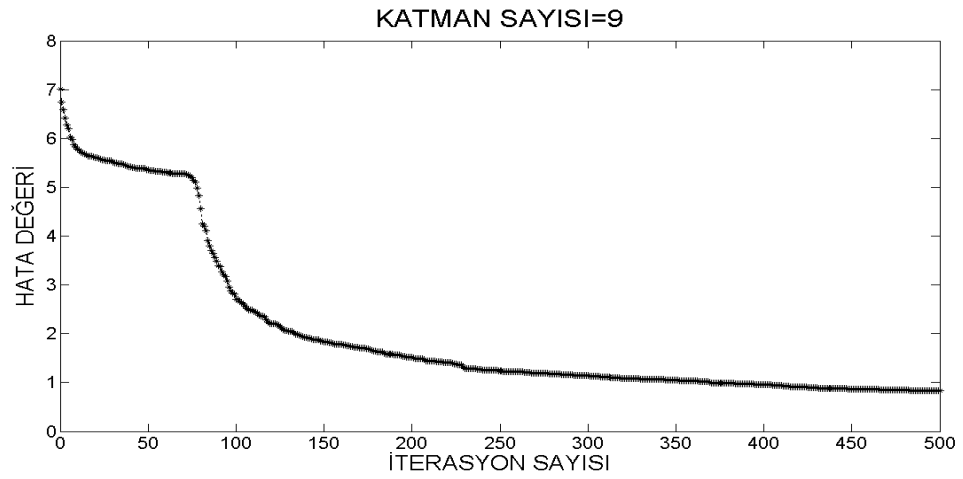
Şekil 4.3.1(c) 3 Katmanlı Tasarımın İterasyona Göre Hata Değerleri



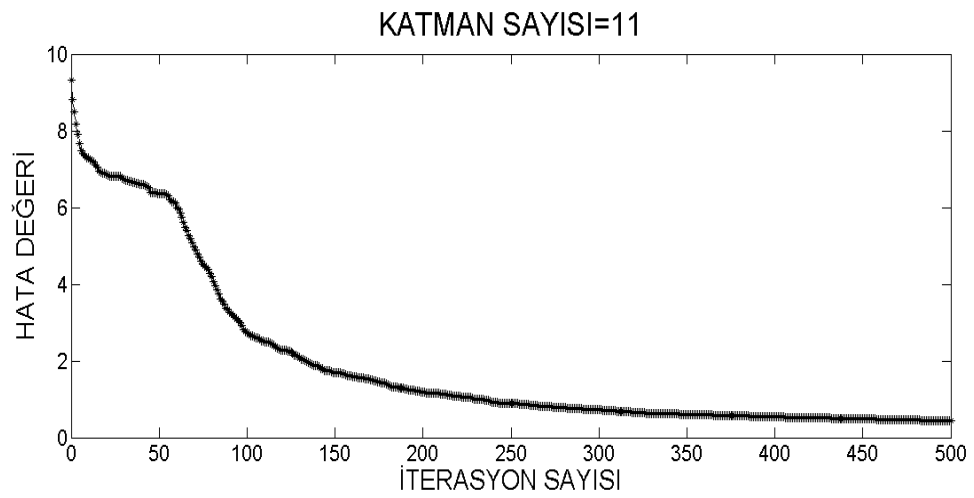
Şekil 4.3.1(d) 5 Katmanlı Tasarımın İterasyona Göre Hata Değerleri



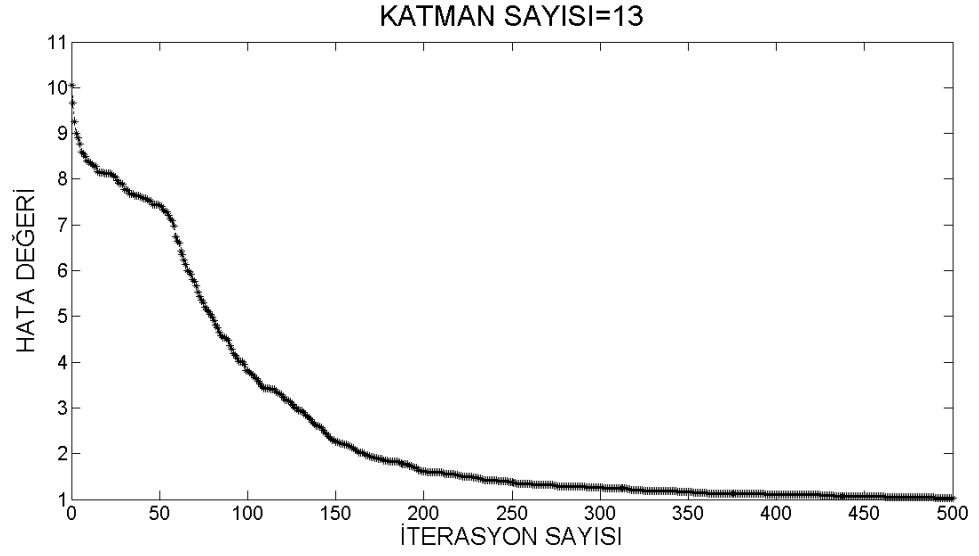
Şekil 4.3.1(e) 7 Katmanlı Tasarımın İterasyona Göre Hata Değerleri



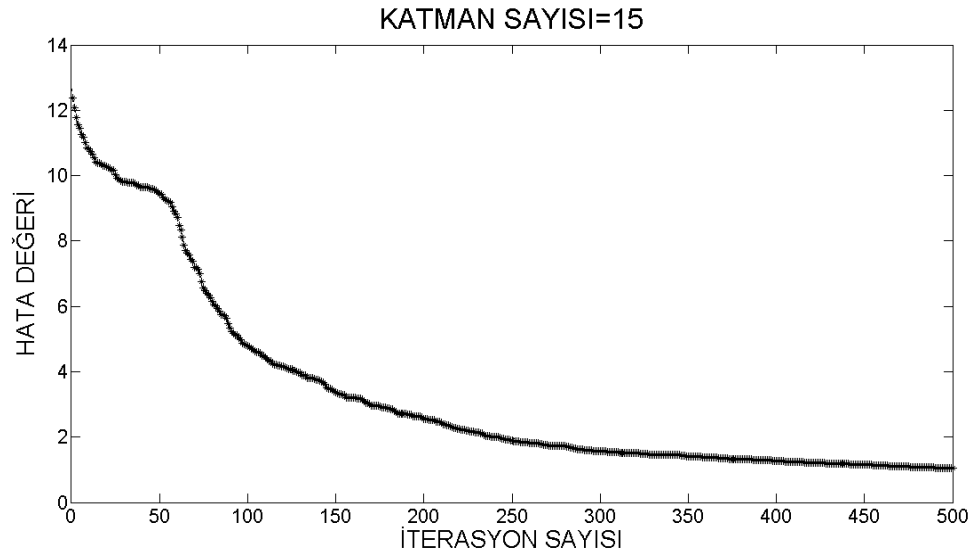
Şekil 4.3.1(f) 9 Katmanlı Tasarımın İterasyona Göre Hata Değerleri



Şekil 4.3.1(g) 11 Katmanlı Tasarımın İterasyona Göre Hata Değerleri



Şekil 4.3.1(h) 13 Katmanlı Tasarımın İterasyona Göre Hata Değerleri



Şekil 4.3.1(i) 15 Katmanlı Tasarımın İterasyona Göre Hata Değerleri

Şekil 4.3.1’de verilen hata değerlerine ilişkin tasarlanan yapıların katman kalınlıkları ve bu yapıda kullanılan malzemeler Şekil 4.3.2’de gösterilmiştir.

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MAKSİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MAKSİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

MALZEME

1.İNCİ KATMAN

14	0.000546318
----	-------------

Şekil 4.3.2(a) 1 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ VE SOL TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MAKSİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MAKSİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

MALZEME KATMAN KALINLIĞI (metre)

1.İNCİ KATMAN

2	0.000953234
---	-------------

2.İNCİ KATMAN

4	0.00149019
---	------------

TOPLAM KALINLIK

	0.00244343
--	------------

Şekil 4.3.2(b) 2 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	5	0.000259191
2.İNCİ KATMAN	11	0.000775096
3.ÜNCÜ KATMAN	6	0.00157604
TOPLAM KALINLIK		0.00261033

Şekil 4.3.2(c) 3 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	12	0.000303574
2.İNCİ KATMAN	5	0.0019
3.ÜNCÜ KATMAN	3	0.00101
4.ÜNCÜ KATMAN	1	0.00135
5.İNCİ KATMAN	14	0.000476649
TOPLAM KALINLIK		0.00504006

Şekil 4.3.2(d) 5 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	13	0.0003
2.NCİ KATMAN	5	0.00140303
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.00139
4.ÜNCÜ KATMAN	9	0.00139
5.İNCİ KATMAN	12	0.00172978
6.NCİ KATMAN	3	0.000240026
7.NCİ KATMAN	11	0.00184
TOPLAM KALINLIK		0.00829284

Şekil 4.3.2(e) 7 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	7	0.00025
2.NCİ KATMAN	11	0.0002253
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.000909999
4.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00129387
5.İNCİ KATMAN	5	0.00127228
6.NCİ KATMAN	3	0.0014568
7.NCİ KATMAN	3	0.000622057
8.İNCİ KATMAN	8	0.000686369
9.UNCU KATMAN	10	0.00118609
TOPLAM KALINLIK		0.00790277

Şekil 4.3.2(f) 9 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 11

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -36.80

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -50.84

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	7	0.000398401
2.NCİ KATMAN	5	0.00177641
3.ÜNCÜ KATMAN	4	0.00157058
4.ÜNCÜ KATMAN	6	0.0012911
5.İNCİ KATMAN	9	0.00032
6.NCİ KATMAN	9	0.00105256
7.NCİ KATMAN	13	0.00163777
8.İNCİ KATMAN	2	0.000512659
9.UNCU KATMAN	2	0.000816402
10.UNCU KATMAN	8	0.00160133
11.İNCİ KATMAN	5	0.000370123
TOPLAM KALINLIK		0.0113473

Şekil 4.3.2(g) 11 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI: 500

KATMAN SAYISI: 13

SÜRÜ SAYISI: 150

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1: 1.49

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2: 1.49

OPTİMİZASYONU BAŞLAT

DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -25.03

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB): -41.37

	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	10	0.000481655
2.NCİ KATMAN	4	0.00130951
3.ÜNCÜ KATMAN	5	0.00184256
4.ÜNCÜ KATMAN	1	0.000441061
5.İNCİ KATMAN	6	0.00107913
6.NCİ KATMAN	10	0.000384761
7.NCİ KATMAN	14	0.000420147
8.İNCİ KATMAN	4	0.000997451
9.UNCU KATMAN	3	0.000760344
10.UNCU KATMAN	8	0.00137348
11.İNCİ KATMAN	4	0.000587676
12.NCİ KATMAN	6	0.00131148
13.ÜNCÜ KATMAN	1	0.00154759
TOPLAM KALINLIK		0.0125368

Şekil 4.3.2(h) 13 Katmanlı Tasarım

HATA2

SAĞ TARAFLI MALZEMELER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI SOĞURUCU TASARIMI

İTERASYON SAYISI

KATMAN SAYISI

SÜRÜ SAYISI

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 1

ÖĞRENME FAKTÖRÜ 2

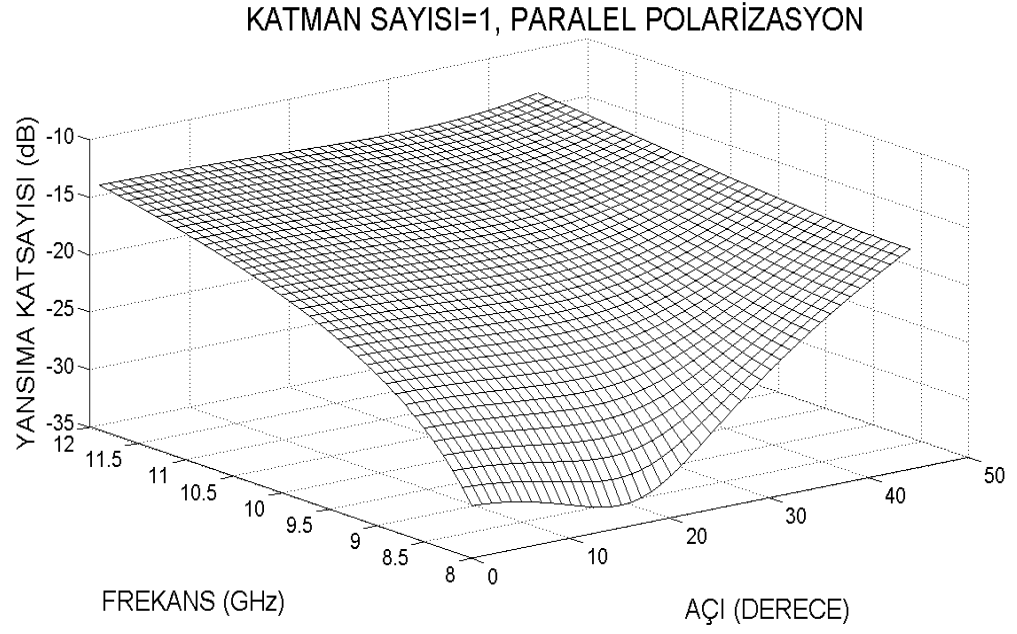
DİK POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

PARALEL POLARİZASYON MİNİMUM YANSIMA KATSAYISI (dB)

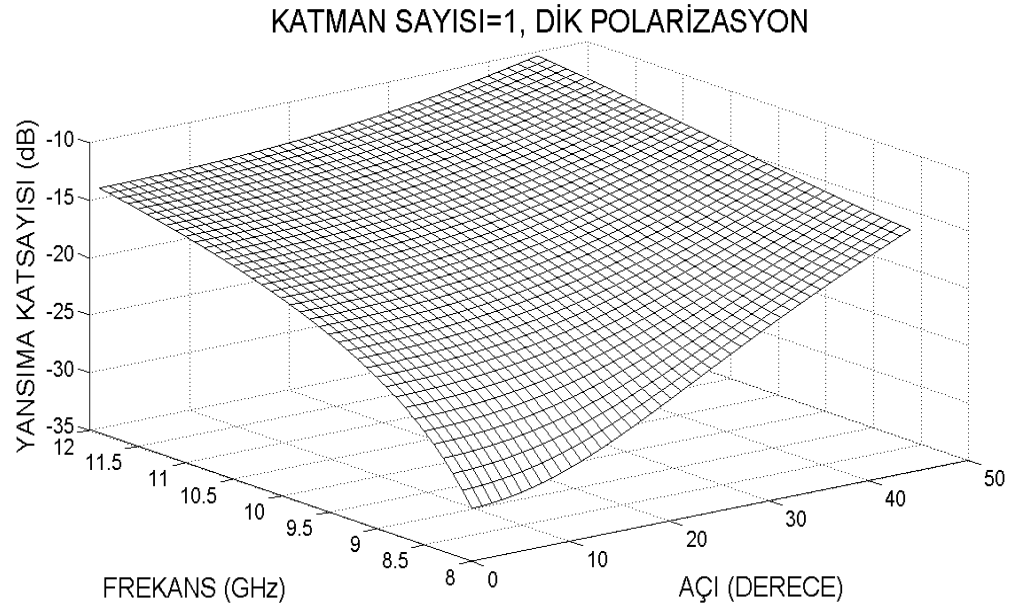
	MALZEME	KATMAN KALINLIĞI (metre)
1.İNCİ KATMAN	12	0.000242862
2.NCİ KATMAN	6	0.00170598
3.ÜNCÜ KATMAN	6	0.00161233
4.ÜNCÜ KATMAN	13	0.00121198
5.İNCİ KATMAN	8	0.00141621
6.NCİ KATMAN	6	0.00164003
7.NCİ KATMAN	2	0.00146003
8.İNCİ KATMAN	13	0.00158383
9.UNCU KATMAN	10	0.00162244
10.UNCU KATMAN	13	0.00153991
11.İNCİ KATMAN	1	0.0017614
12.NCİ KATMAN	12	0.0010107
13.ÜNCÜ KATMAN	2	0.0015398
14.ÜNCÜ KATMAN	6	0.000918748
15.İNCİ KATMAN	11	0.00176238
TOPLAM KALINLIK		00.0210286

Şekil 4.3.2(i) 15 Katmanlı Tasarım

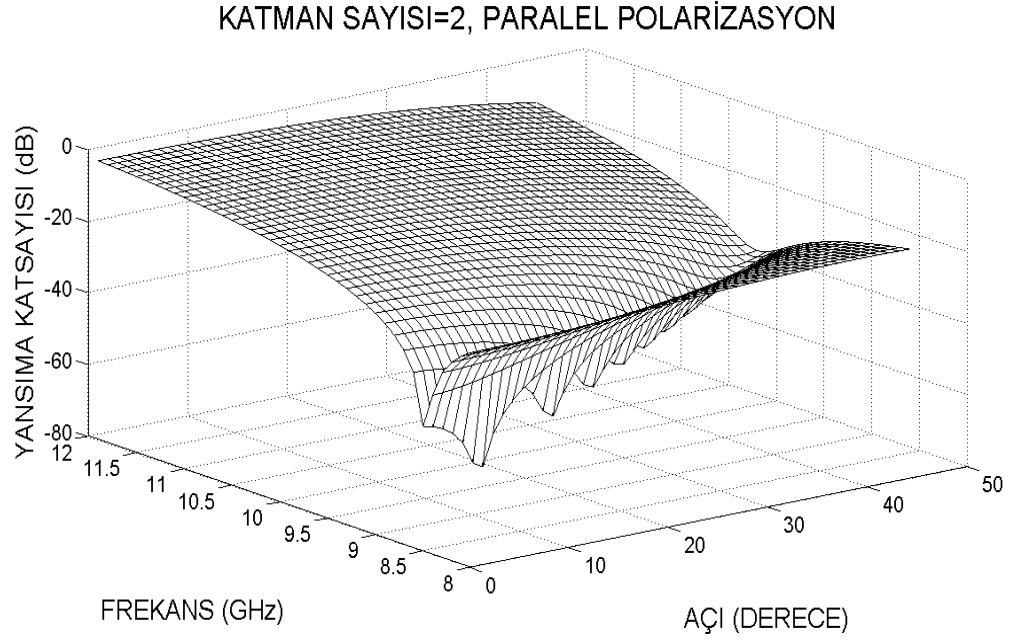
Şekil 4.3.2’de gösterilen çok katmanlı elektromagnetik soğurucu yapıların paralel ve dik polarizasyonlarda frekans ve açı değişimi ile yansımaya katsayısı değerine ilişkin grafikler Şekil 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.3.6 4.3.7, 4.3.8 ve 4.3.9’de 3 boyutlu olarak gösterilmiştir.



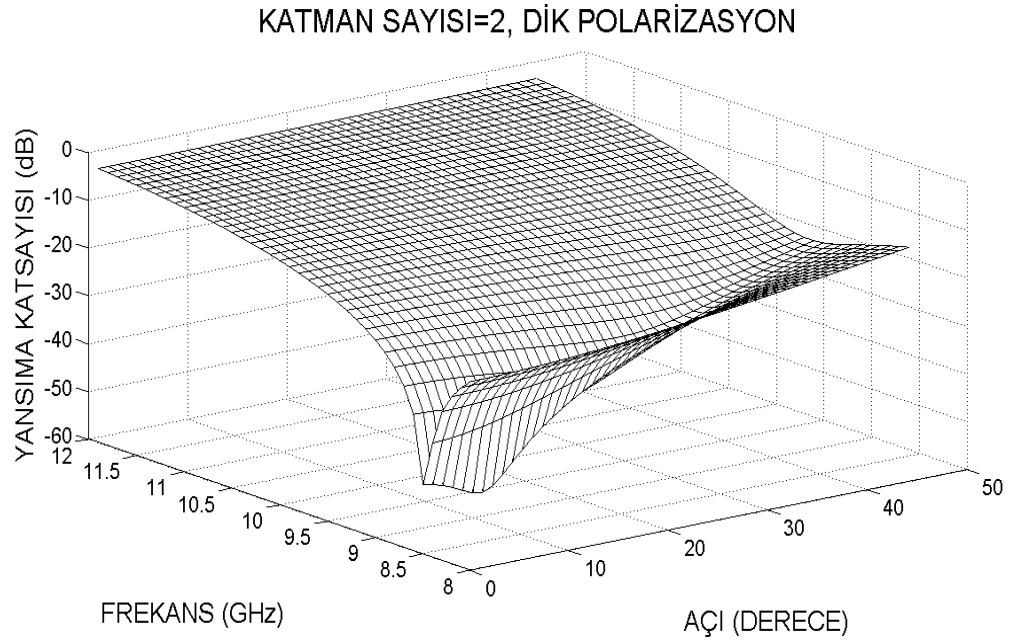
Şekil 4.3.3(a) Paralel Polarizasyon İçin 1 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



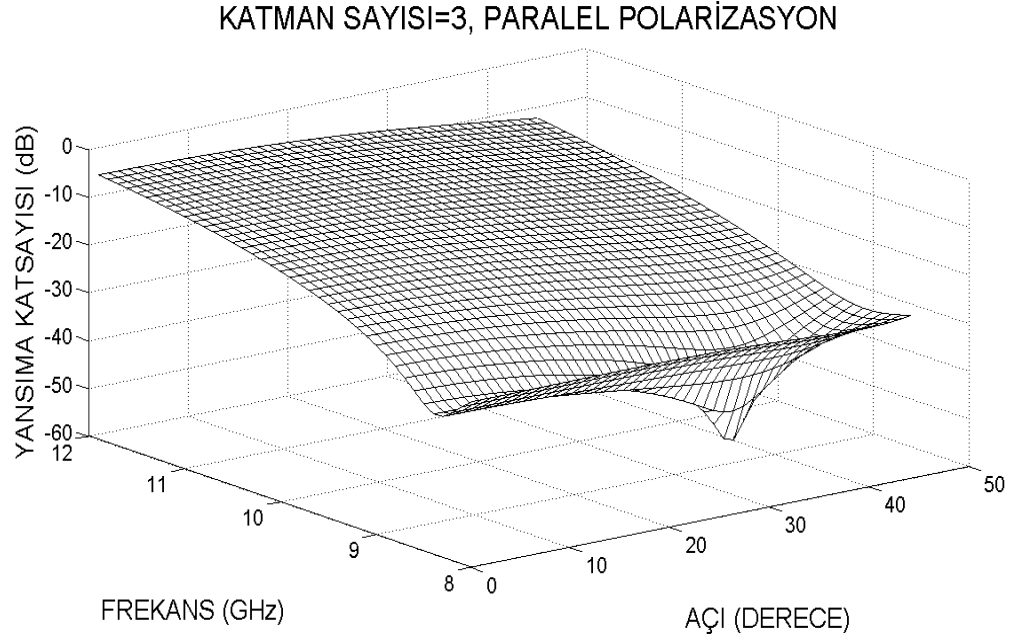
Şekil 4.3.3(b) Dik Polarizasyon İçin 1 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



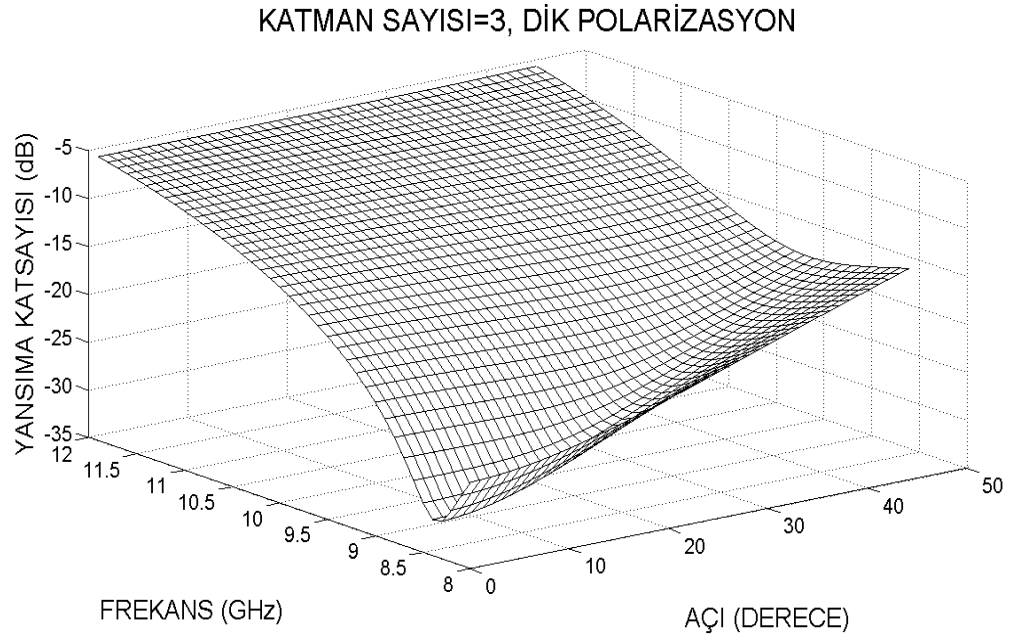
Şekil 4.3.4(a) Paralel Polarizasyon İçin 2 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



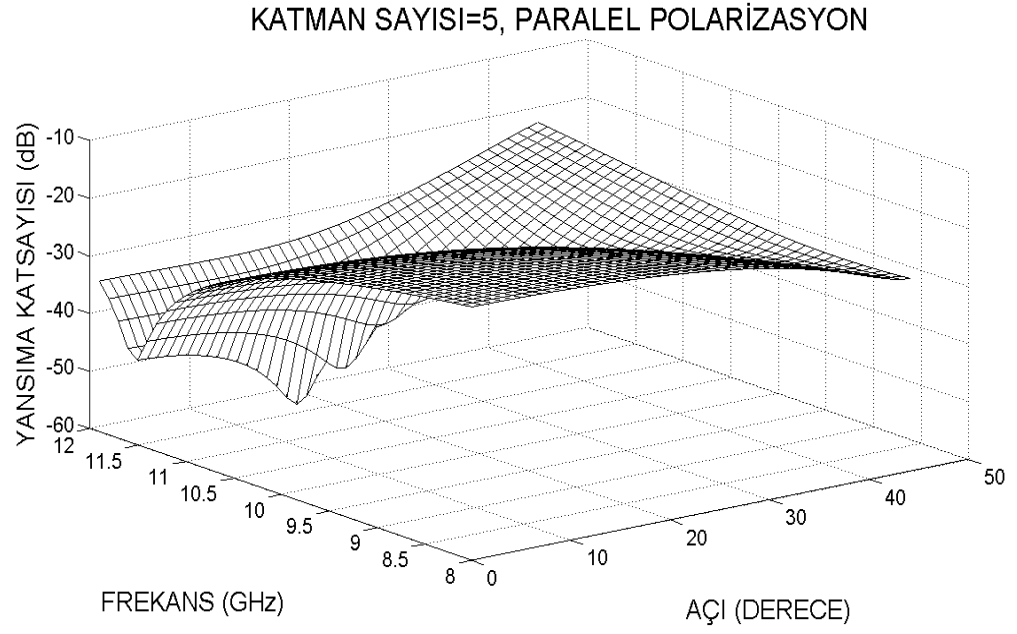
Şekil 4.3.4(b) Dik Polarizasyon İçin 2 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



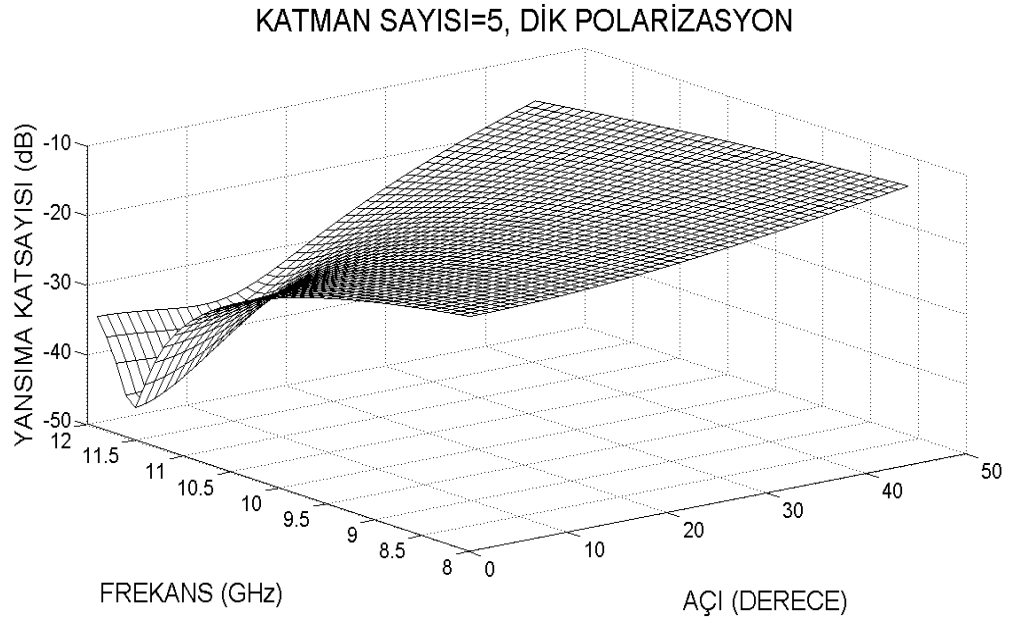
Şekil 4.3.5(a) Paralel Polarizasyon İçin 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



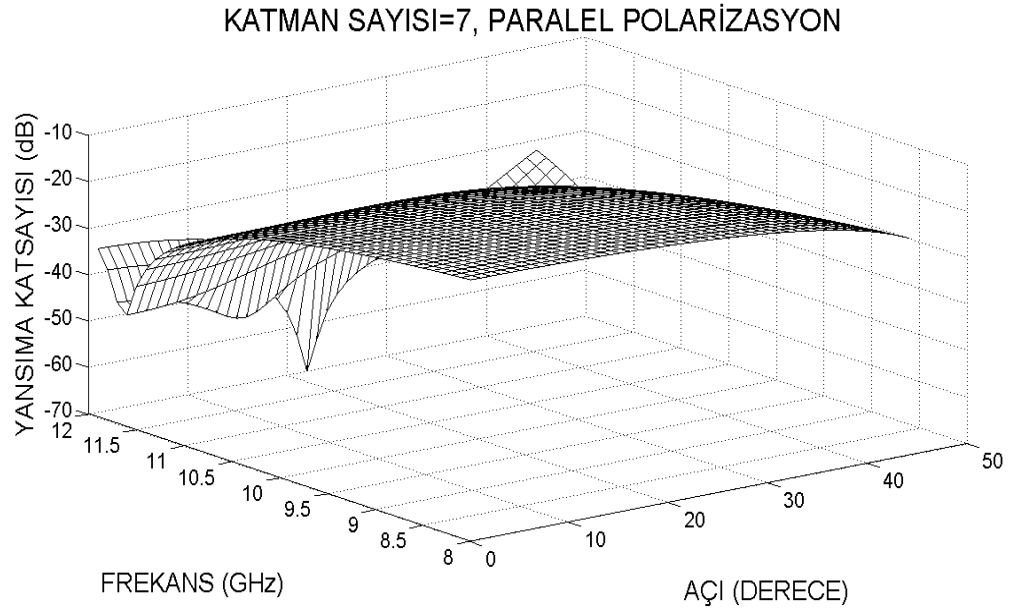
Şekil 4.3.5(b) Dik Polarizasyon İçin 3 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



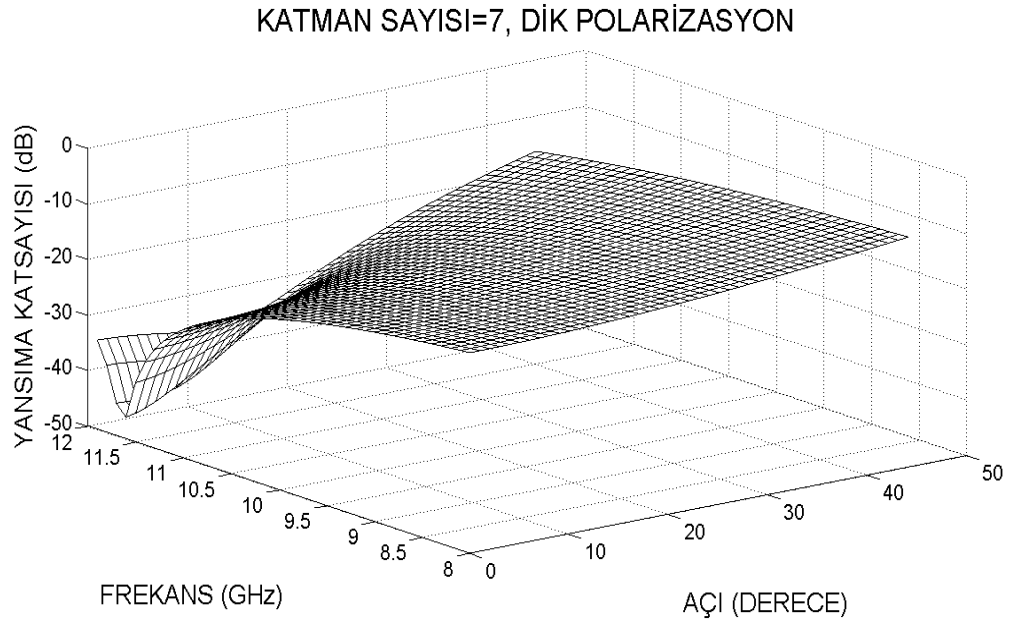
Şekil 4.3.6(a) Paralel Polarizasyon İçin 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



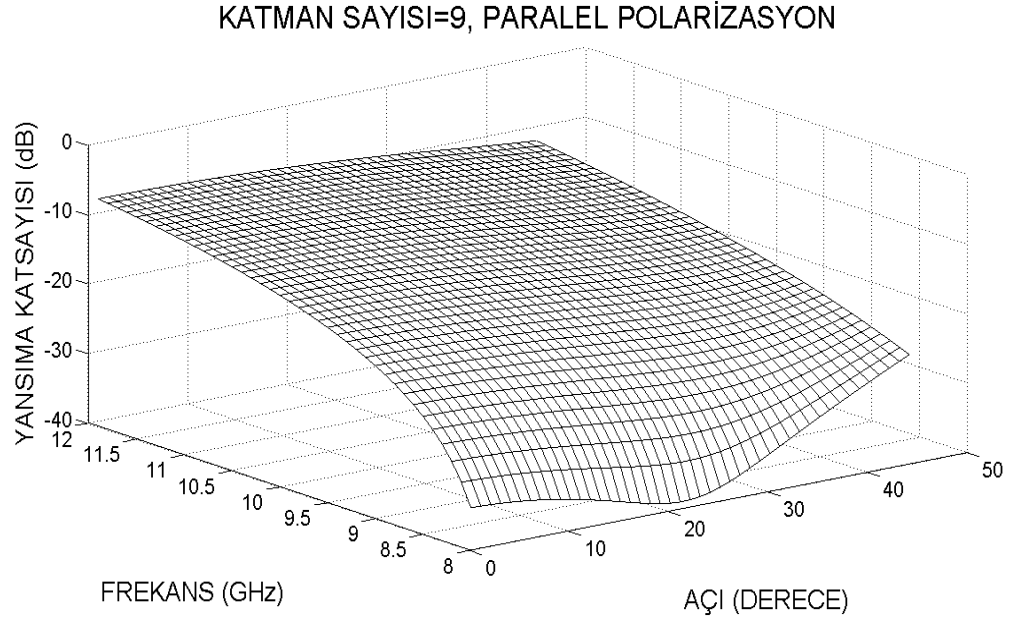
Şekil 4.3.6(b) Dik Polarizasyon İçin 5 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



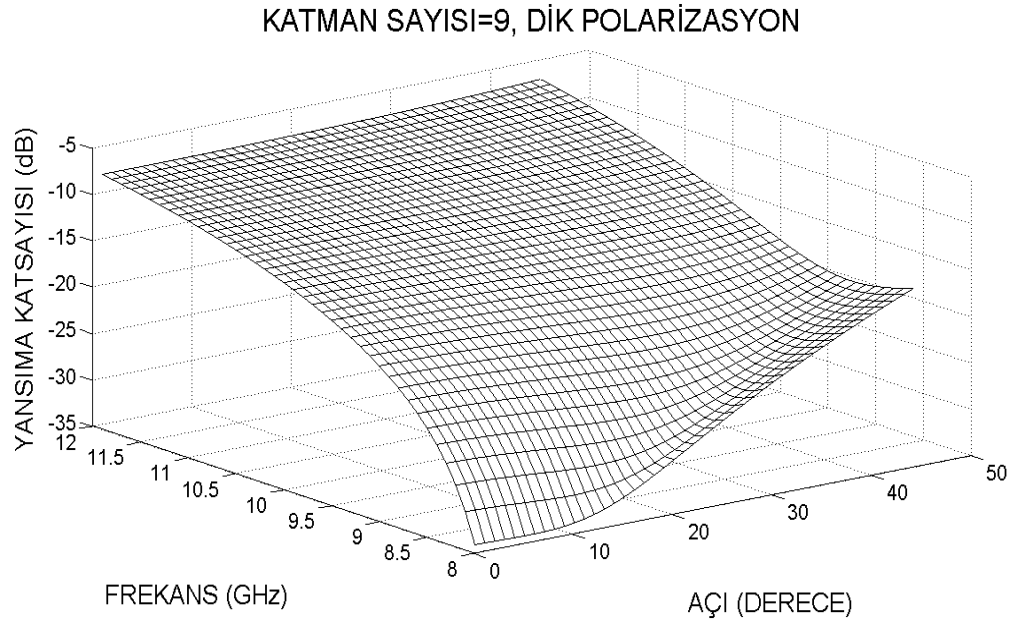
Şekil 4.3.7(a) Paralel Polarizasyon İçin 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



Şekil 4.3.7(b) Dik Polarizasyon İçin 7 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

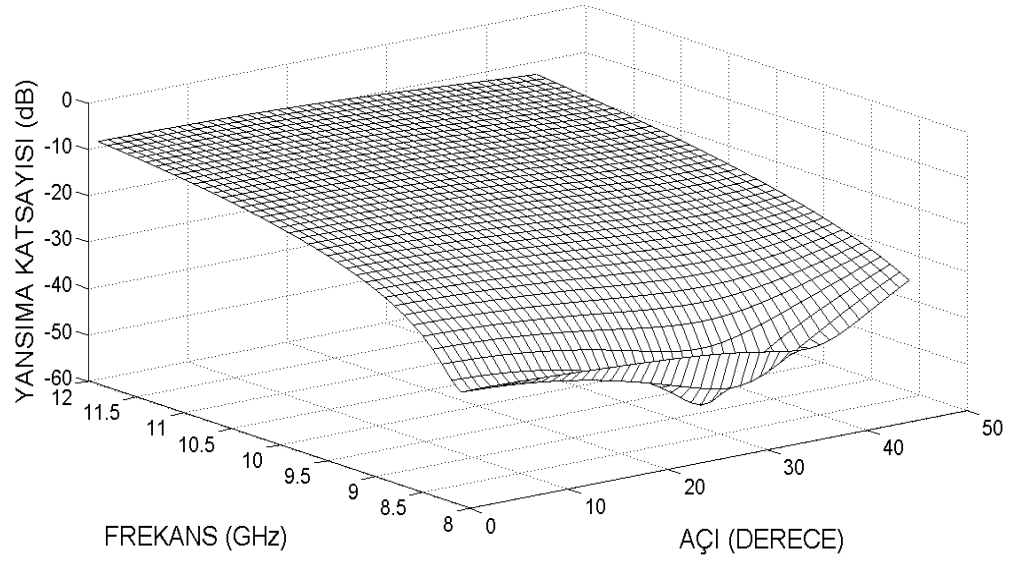


Şekil 4.3.8(a) Paralel Polarizasyon İçin 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği



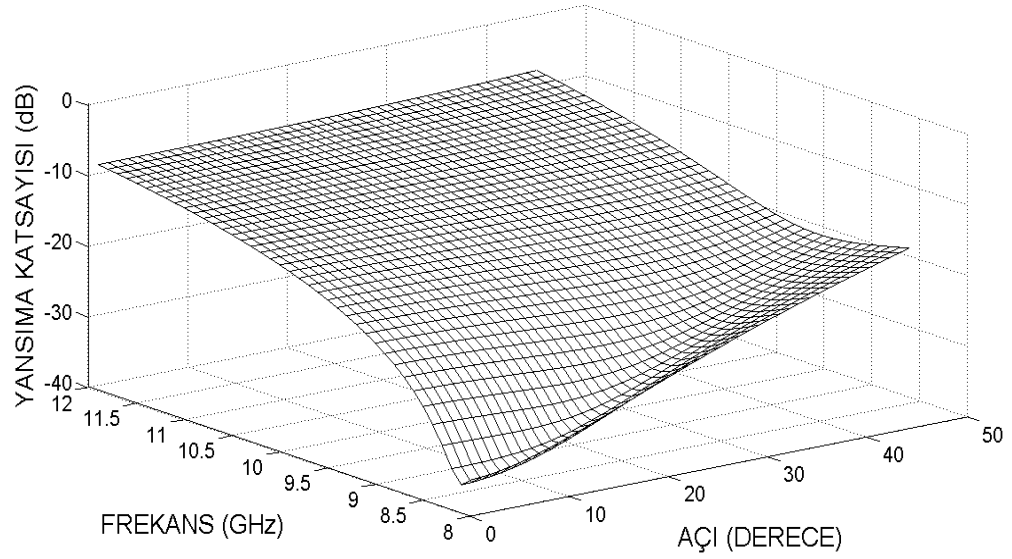
Şekil 4.3.8(b) Dik Polarizasyon İçin 9 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=11, PARALEL POLARİZASYON



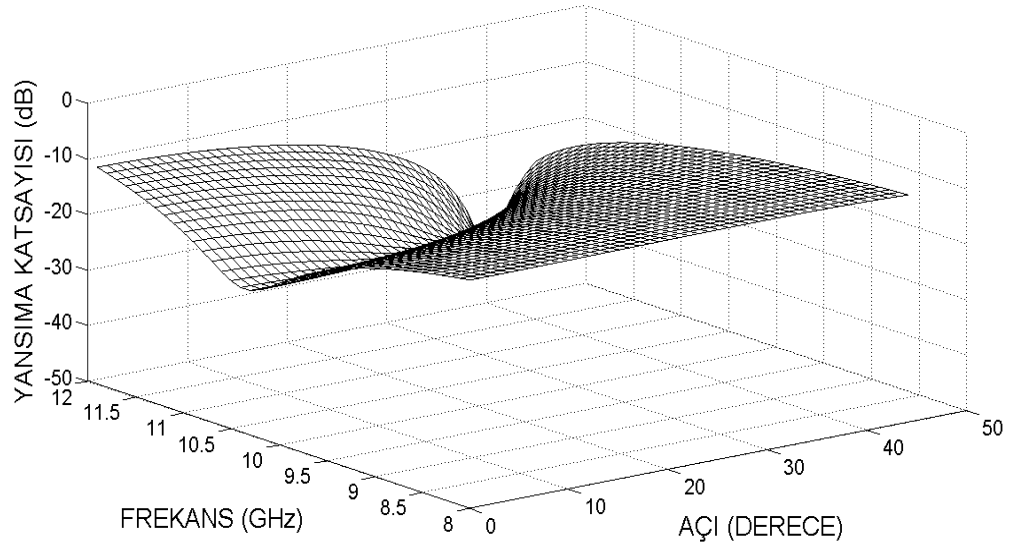
Şekil 4.3.9(a) Paralel Polarizasyon İçin 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=11, DİK POLARİZASYON



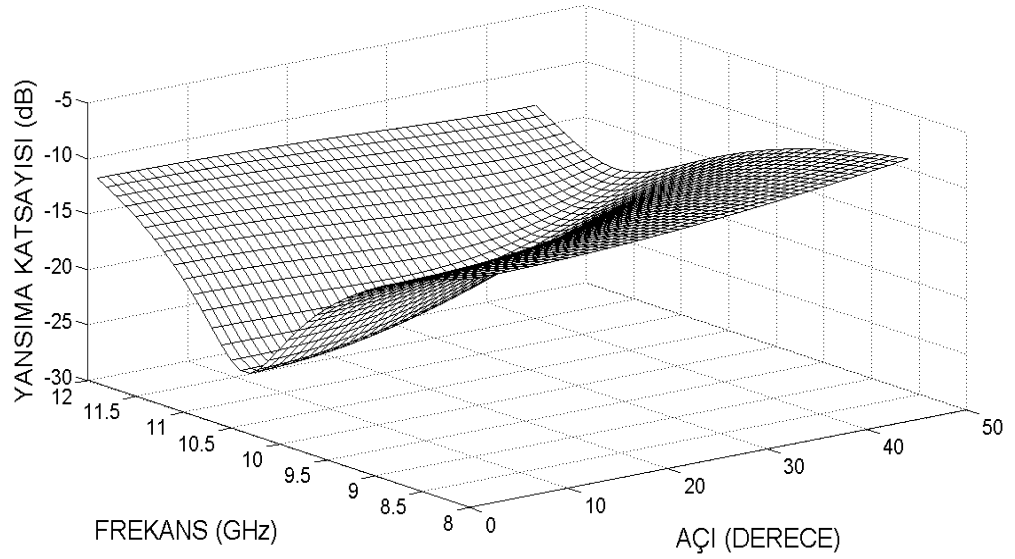
Şekil 4.3.9(b) Dik Polarizasyon İçin 11 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=13, PARALEL POLARİZASYON



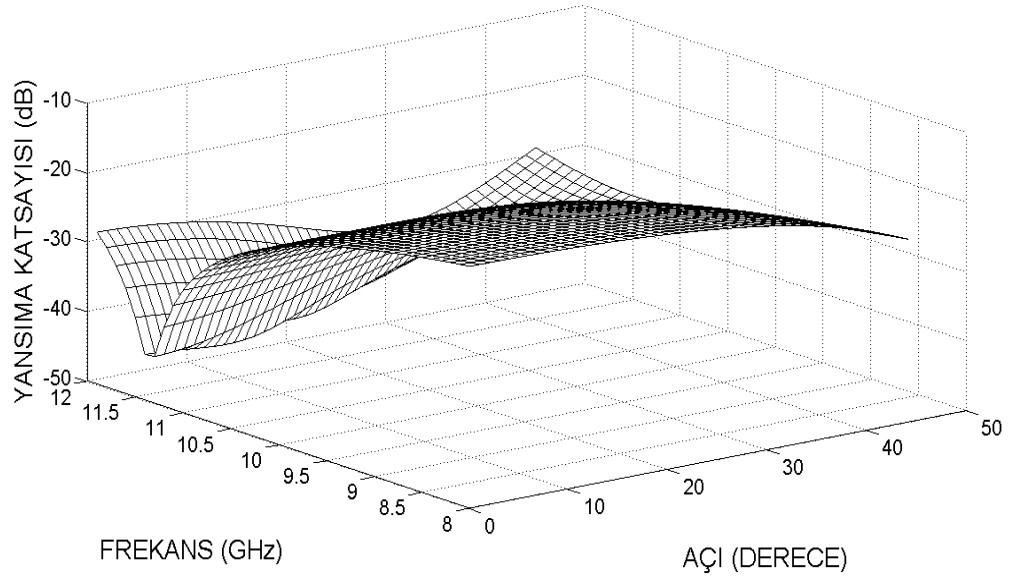
Şekil 4.3.10(a) Paralel Polarizasyon İçin 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=13, DİK POLARİZASYON



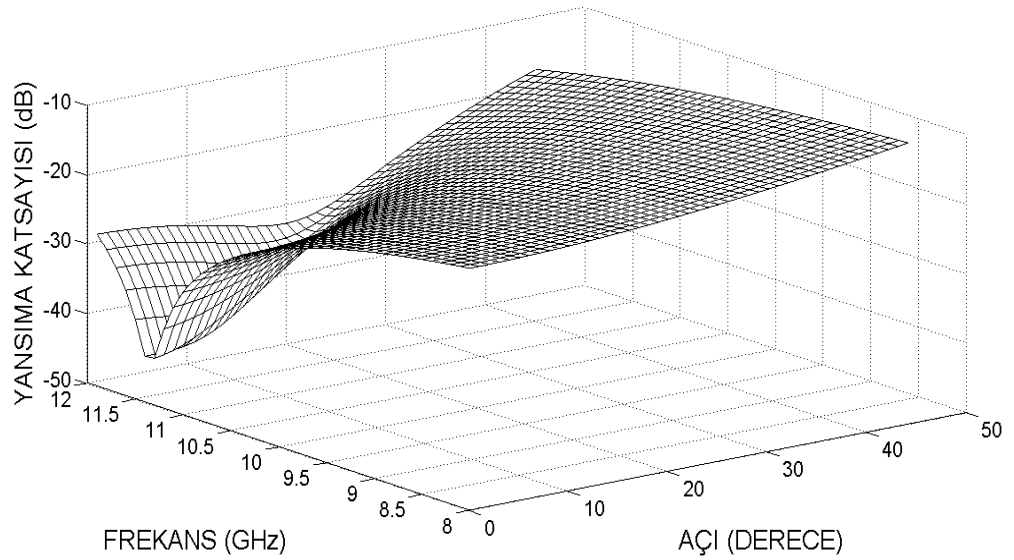
Şekil 4.3.10(b) Dik Polarizasyon İçin 13 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=15, PARALEL POLARİZASYON



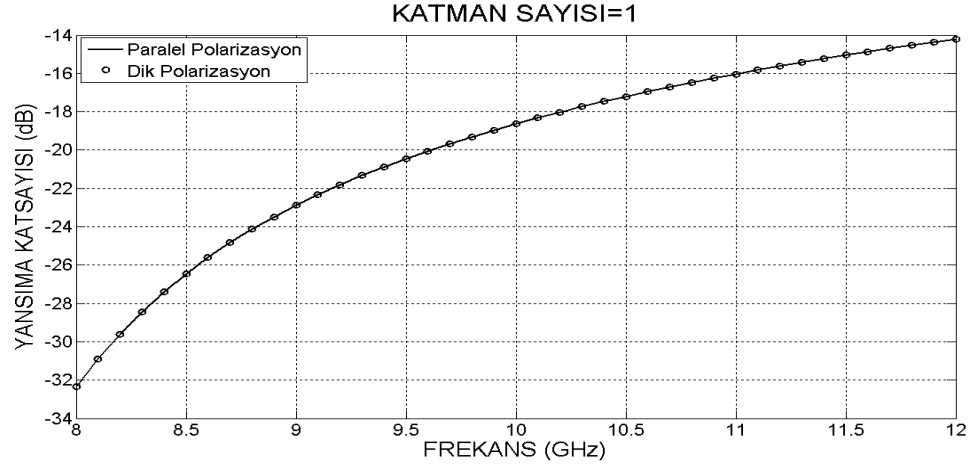
Şekil 4.3.11(a) Paralel Polarizasyon İçin 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

KATMAN SAYISI=15, DİK POLARİZASYON

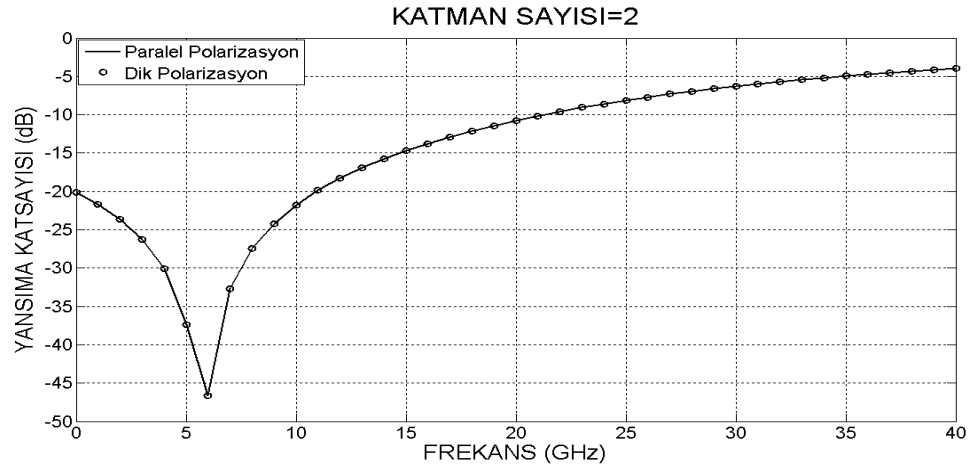


Şekil 4.3.11(b) Dik Polarizasyon İçin 15 Katmanlı Soğurucu Yapının Yansım Katsayısının Genliği

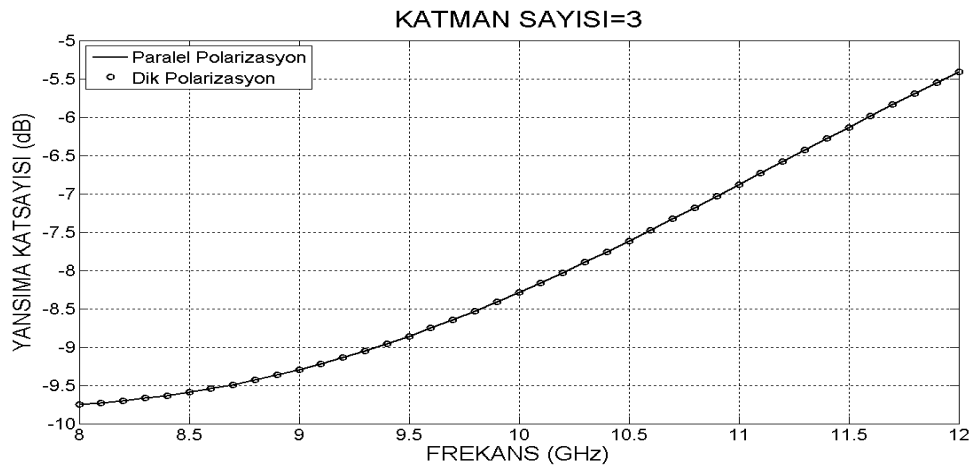
Elektromagnetik soğurucu yapılara gelen radar sinyallerinin frekans değişimi ile yansım katsayısı genliğinin değişimi arasındaki ilişkiler Şekil 4.3.12’de gösterilmiş olup sinyalin yapıya 0 derecelik açı ile geldiği varsayılmıştır.



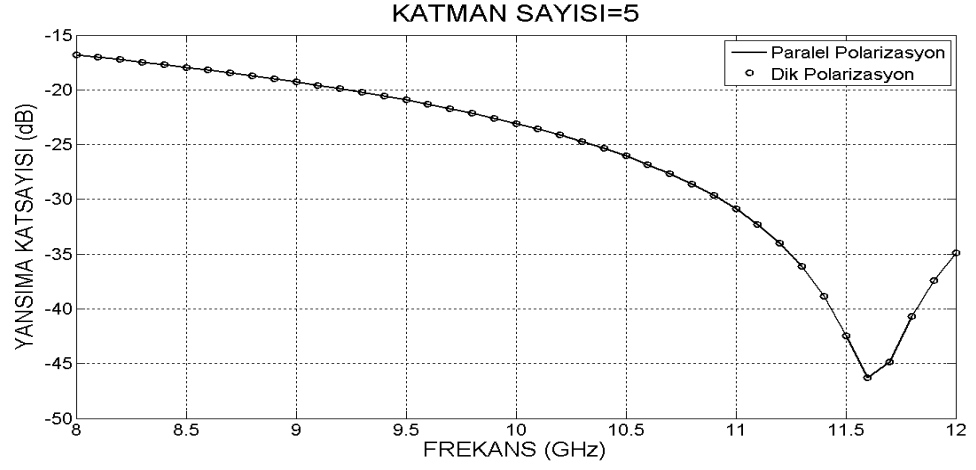
Şekil 4.3.12(a) 1 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



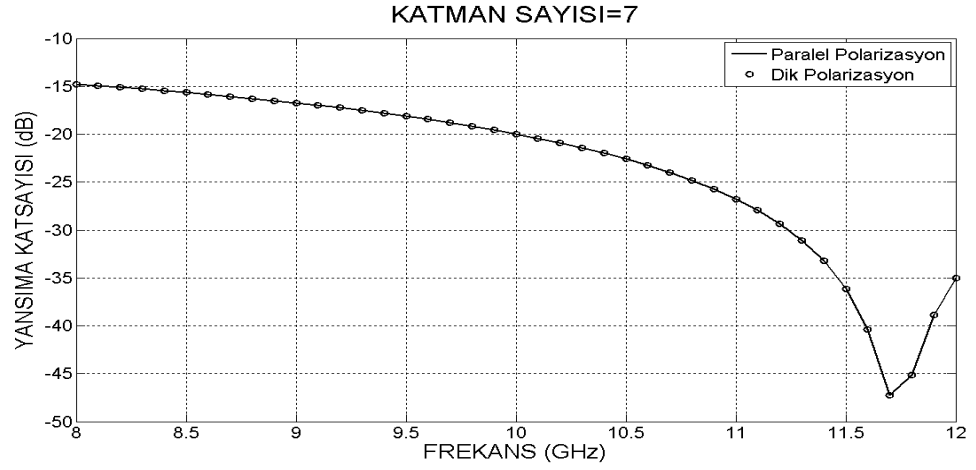
Şekil 4.3.12(b) 2 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



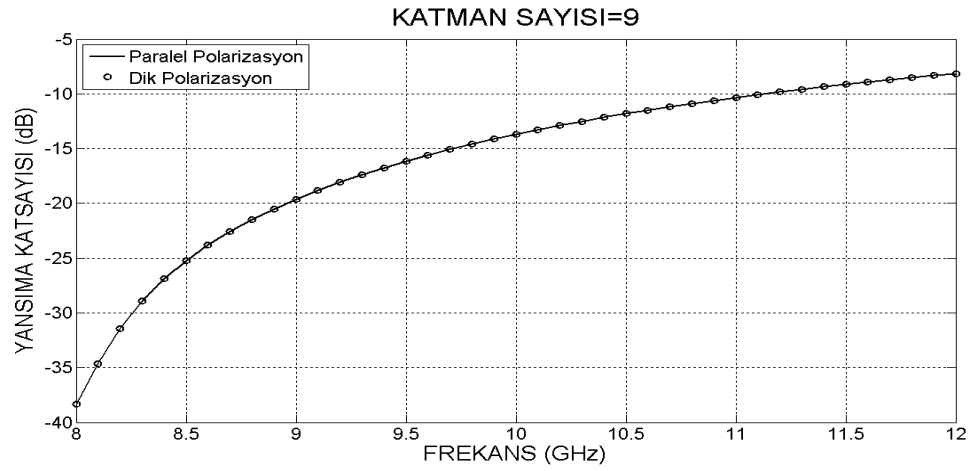
Şekil 4.3.12(c) 3 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



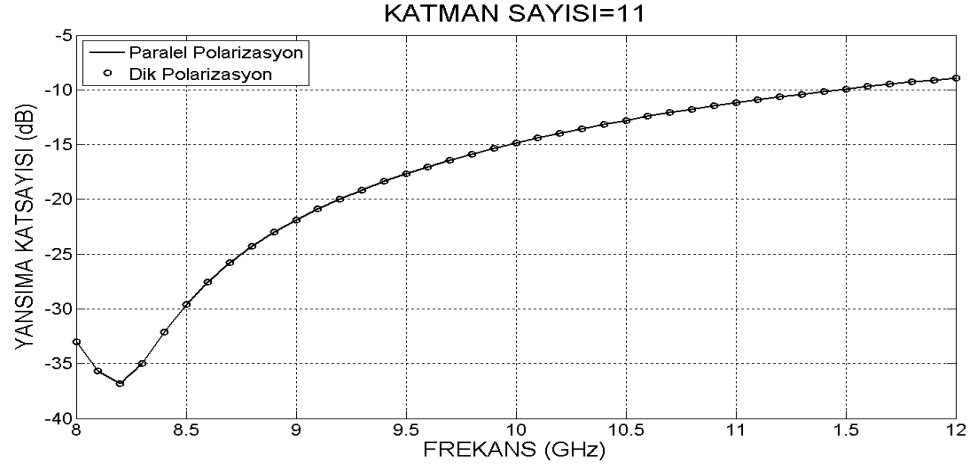
Şekil 4.3.12(d) 5 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



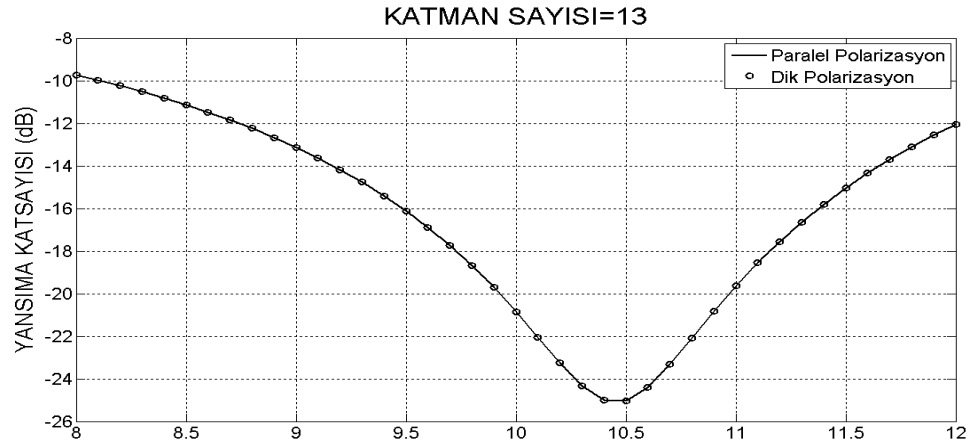
Şekil 4.3.12(e) 7 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



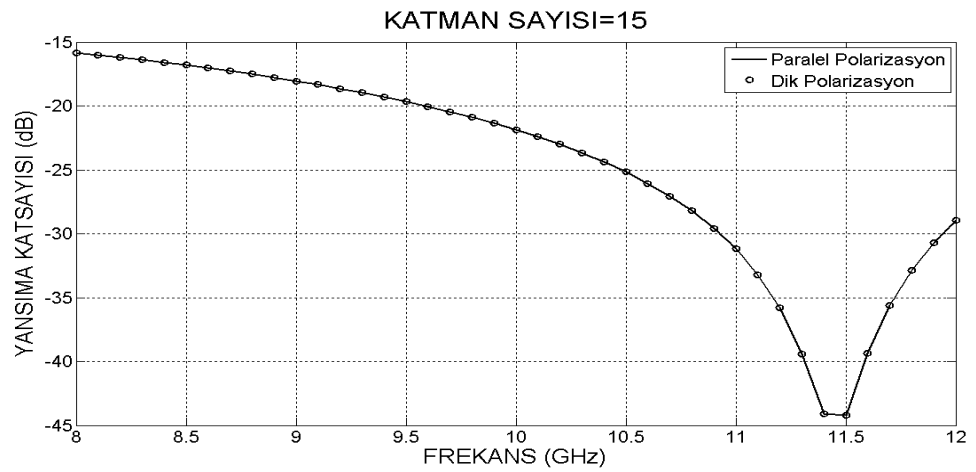
Şekil 4.3.12(f) 9 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.3.12(g) 11 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi

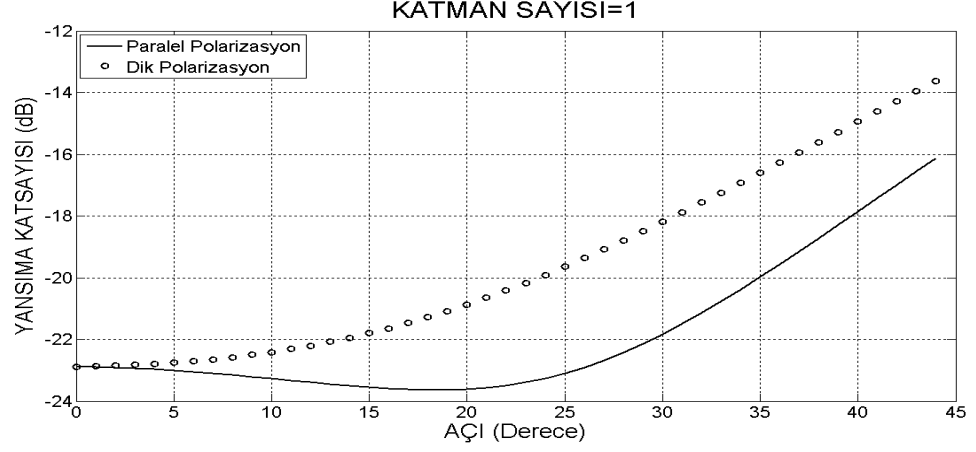


Şekil 4.3.12(h) 13 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi

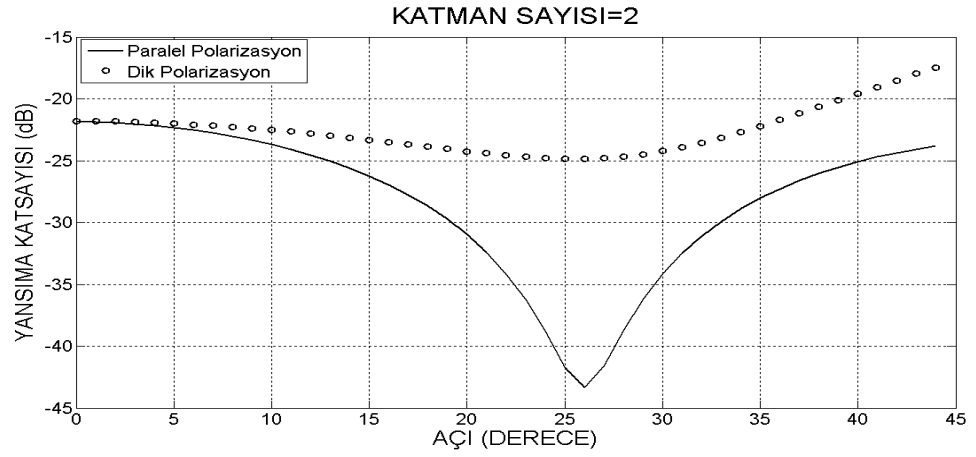


Şekil 4.3.12(i) 15 Katmanlı Tasarım için Frekans ile Yansım Katsayısının Değişimi

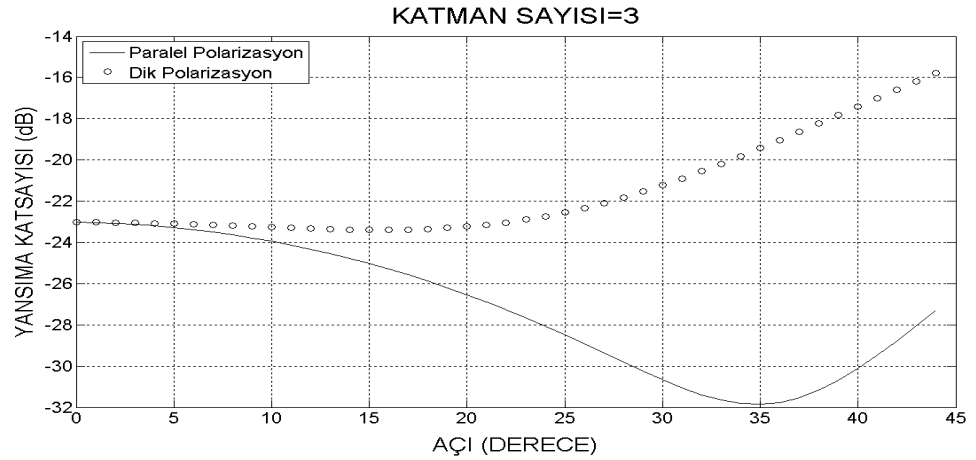
Sağ taraflı malzemeler kullanılarak tasarlanan elektromagnetik soğurucu yapılara gelen radar sinyallerinin açı değişimi ile yansımaya katsayısı değişimi arasındaki ilişkiler Şekil 4.3.13’de gösterilmiştir. Şekil 4.3.13 için frekans değeri 10 GHz olarak alınmıştır.



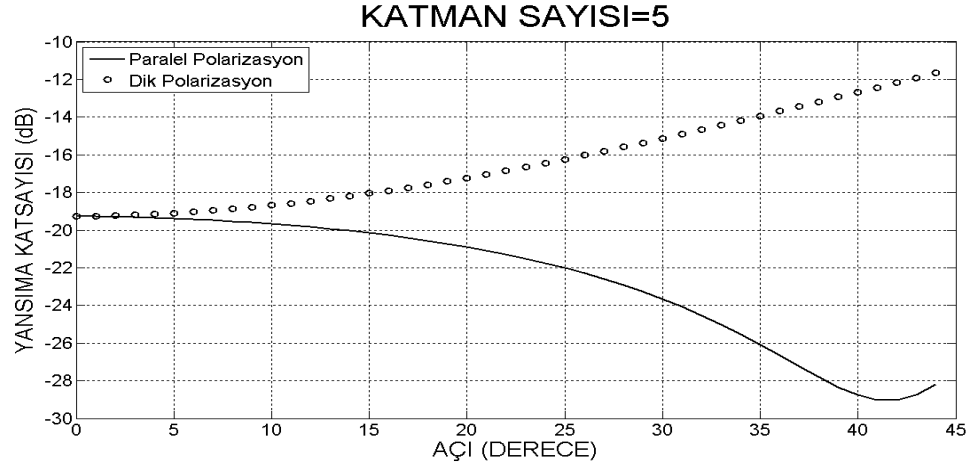
Şekil 4.3.13(a) 1 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansımaya Katsayısının Değişimi



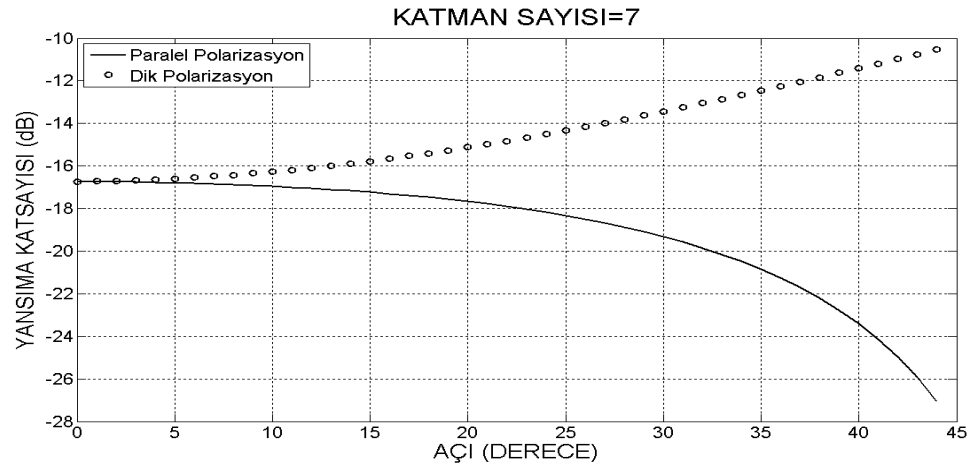
Şekil 4.3.13(b) 2 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansımaya Katsayısının Değişimi



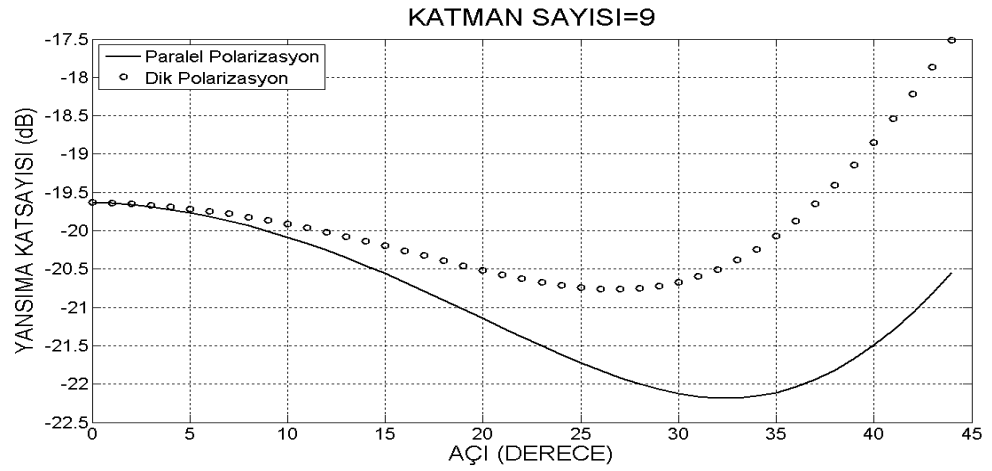
Şekil 4.3.13(c) 3 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansımaya Katsayısının Değişimi



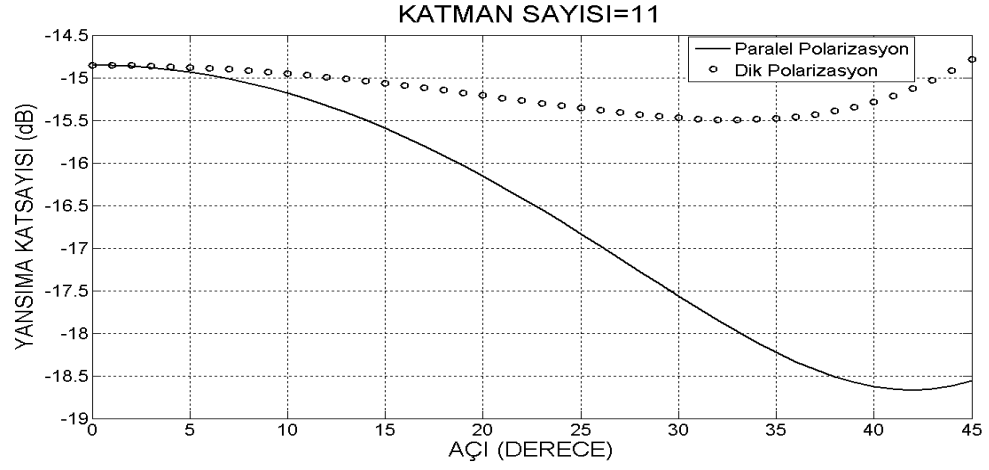
Şekil 4.3.13(d) 5 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



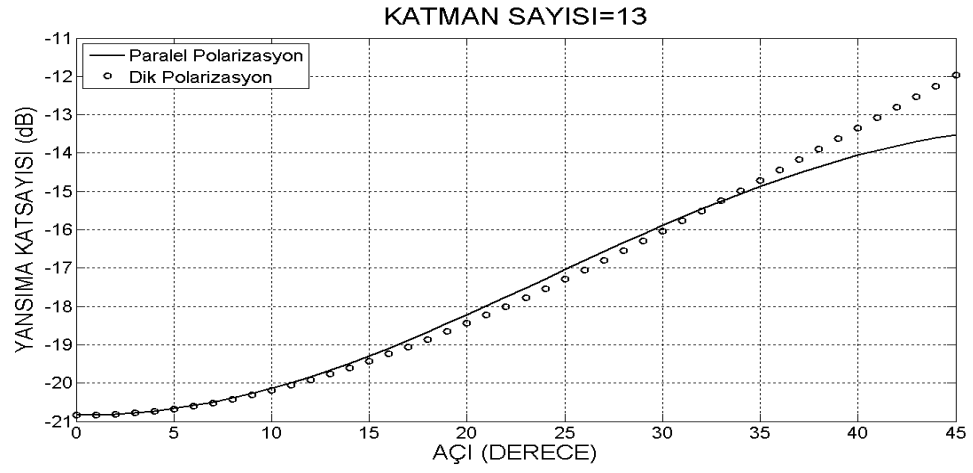
Şekil 4.3.13(e) 7 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



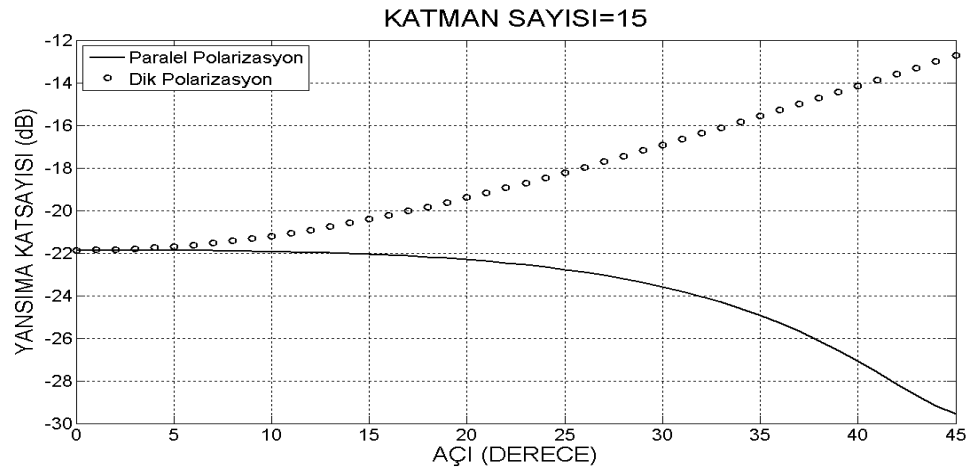
Şekil 4.3.13(f) 9 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.3.13(g) 11 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.3.13(h) 13 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi



Şekil 4.3.13(i) 15 Katmanlı Tasarım için Açı ile Yansım Katsayısının Değişimi

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmamızda sağ ve sol taraflı malzemeler kullanılarak çok katmanlı elektromagnetik soğurucu yapılar tasarlanmıştır. PSO yardımıyla malzemelerin dizilimleri ve malzemelerin kalınlıkları paralel ve dik polarizasyonlar için yansıma katsayısını minimum yapacak şekilde optimizasyon işlemi ile belirlenmiştir.

Çalışmada iki farklı hata fonksiyonu kullanılarak çeşitli katman sayılarında elektromagnetik soğurucu yapılar tasarlanmıştır. İlk hata fonksiyonu ile paralel ve dik polarizasyonlarda yansıma katsayısının optimizasyonu yapılmıştır. İkinci hata fonksiyonunda birincisine ilave olarak katman kalınlıkları da optimize edilmiştir.

Bu çalışmada evrensel optimizasyon çeşitlerinden biri olan PSO kullanılmıştır. Diğer optimizasyon çeşitlerinden farklı olarak PSO uygulamada daha basit olup türev bilgisine ihtiyaç duymayan global bir optimizasyon yöntemidir.

Bu çalışmada PSO'ya ilişkin çeşitli öğrenme faktörleri denenmiş ve denemeler sonucu daha iyi değerler veren 1.49 seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan PSO, MATLAB - Versiyon 7.6.0.324 (R2008a) programlama dilinde yazılmış olup yine bu çalışmada geliştirilen kullanıcı ara yüzü (GUI) yardımıyla PSO'ya ait bazı parametreler ile katman sayıları kullanıcı tarafından seçilmektedir. Çalışma XEON işlemcili ve RAM kapasitesi 4 GB olan bilgisayarda yürütülmüştür. Bir optimizasyon işleminin tamamlanma süresi ortalama 2.5 dakika sürmektedir.

Tasarımlarda yansıma katsayısının düşürülmesiyle RKA da azalmaktadır. Tasarımlarda kullanılan sol taraflı malzemenin kalınlığının genellikle diğer katmanlara göre daha ince olduğu görülürken dielektrik malzemelerin kalınlıklarının malzemenin kalınlığına etkilerinin fazla olduğu görülmektedir.

Frekans ile yansıma katsayısı arasındaki ilişki incelendiğinde frekansın artmasıyla tasarımlarda genellikle belirli bir frekansa kadar yansıma katsayısında düşüş izlenmiş olup devamında yansıma katsayısının arttığı gözlenmiştir.

Geliş açısı dikkate alındığında geliş açısı 0° iken dik ve paralel polarizasyonlarda yansıma katsayısı aynı değerleri almaktadır. Tasarımlarda genellikle geliş açısının artmasıyla birlikte yansıma katsayısında da artış gözükmektedir. En düşük yansıma katsayıları genel olarak düşük geliş açılarında elde edilmiştir.

Sadece sağ taraflı malzemeler kullanılarak elde edilen tasarımlar ile sağ ve sol taraflı malzemelerin birlikte kullanımı ile elde edilen yapılar karşılaştırıldığında sadece sağ taraflı malzemelerden oluşan tasarımlara göre daha ince oldukları gözlenmiştir. Ayrıca sadece sağ taraflı malzemelerin kullanıldığı yapılara göre dik polarizasyonda daha düşük yansıma katsayısı elde edilmiştir.

Genellikle toplam kalınlığı 10 milimetreyi geçen tasarımlarda sağ ve sol taraflı malzemenin kullanıldığı tasarımların hem dik hem de paralel polarizasyonlarda sadece sağ taraflı malzemelerin kullanıldığı tasarımlardan daha düşük yansıma katsayısının elde edildiği gözlenmiştir. En düşük yansıma katsayısı sağ ve sol taraflı malzemenin kullanıldığı yapıda dik polarizasyonda -87.03 paralel polarizasyonda ise -84.24 olarak bulunmuştur.

İleride bu çalışmayla ilgili olarak MATLAB programı ile yapılan kullanıcı ara yüzü daha da geliştirilebilir. Ayrıca farklı frekans değerleri ve açı değerleri için tasarımlar yapılabilir. Tasarımlar için diğer optimizasyon çeşitleri kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Atalay, H., 1977. Transmisyon Tekniği, Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine-Elektrik Fakültesi Yayınları, no. 5, Trabzon
- Bayrakçı, E. 2001. Elektromagnetik Dalga Teorisi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Cheng D.K., 1983. Field and Wave Electromagnetics, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1239, ABD
- Eberhart, R.C., Shi, Y., 2001. Particle Swarm Optimization: Developments, Applications and Resources, IEEE, 0-7803-6657-3/01
- Eleftheriades, G.V., Balmain, K.G., 2005. Negative-Refractive Metamaterials, John Wiley & Sonc, Inc., 716, New Jersey.
- Fang, W., Xu, S. 2008. New Electromagnetic Absorbers Composed of Left-Handed and Right-Handed Materials, Int J Infrared Milli Waves, 29, 799–807
- Haupt, R.L., Haupt, S.E. 2004. Practical Genetic Algorithms, Second Edition, John Wiley & Sonc, INC., New Jersey
- Higashitani, M., Ishigame, A. Ve Yasuda, K., 2007. Particle Swarm Optimization with Controlled Mutation, John Wiley & Sonc, Inc., 2: 192-194
- Köroğlu, G., 2004. Sürekli Parametrelili Genetik Algoritma Yardımı ile Çok Katmanlı ve Geniş Bantlı Pasif Radar Soğurucu Malzeme Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, HUTEN, İstanbul.
- Lai, A., Caloz, C. ve Itoh, T. 2004. Composite Right/Left-Handed Transmission Line Metamaterials, IEEE Microwave Magazine, 34-50
- Michielssen, E. Sajer, M.J., Ranjithan, s. ve Mittra, R. 1993. Design of Lightweight, Broad-Band Microwave Absorbers Using Genetic Algorithms, IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol. 41, s.1024-1031
- Pozar, D.M. 1998. Microwave Engineering, John Wiley & Sonc, Inc., New York.
- Saville, P. 2005. Review of Radar Absorbing Materials, Defence Research and Development ,Kanada.
- Shelby, R.A., Smith, D.R., Schultz, S. 2001. Experimental Verification of a Negative Index of Refraction, Science, Vol. 292, 77
- Smith, D.R., Padilla, W.J., Vier, D.C., Nemat-Naser S.C., Schultz, S. 2000. Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity, Physical Review Letters, Vol. 84, No. 18, 4184-4187

- Taşgetiren, M.F., Şevkli, M., Liang, Y.C. ve Gençyılmaz, G., 2004. Particle Swarm Optimization Algorithm for Permutation Flowshop Sequencing Problem, ANTS Workshop, 382-389
- Veselago, V.G., 1967. About Properties of Substances with Simultaneously Negative of Dielectric and Magnetic Permeabilities, Soviet Phys. Spid State 8, 2853
- Veselago, V.G., 1968. The Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Value of ϵ and μ , Soviet Physics Uspekhi, Vol. 10, no.4, pp. 509-514
- Veselago, V.G., 1972. Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Electrical and Magnetic Permeabilities, Taormina, İtalya.
- Veselago, V.G., Braginsky, L., Shklover, V., ve Hafner, C., 2006. Negative Refractive Index Materials, Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, Vol. 3, 1-30
- Veselago V.G., Narimanov E.E., “The Left Hand of Brightness: Past, Present and Future of Negative Index Materials”, Nature Mater. 5, 759, 2006.
- Wang, Z., Zhang, Z., Qin, S., Wang, L. ve Wang, X. 2008. Theoretical Study on Wave-Absorption Properties of a Structure with Left- and Right-Handed Materials, Materials and Design, 29, 1777–1779
- Vinoy, K.J. ve Jha, R.M. 1996. Radar Absorbing Materials, Kluwer Academic Publishers, 172, ABD.
- Yüzçelik, C.K., 2003. Radar Absorbing Materials Design, ABD
- Zhang, W. ve Lui, Y., 2005. Adaptive Particle Swarm Optimization for Reactive Power and Voltage Control in Power Systems, Springer Berlin / Heidelberg, Vol. 3612/2005
- Zhang, Z., Wang, Z. ve Wang, L. 2009. Design Principle of Single- or Double-Layer Wave-Absorbers Containing Left-Handed Materials, Materials and Design 30, 3908–3912

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Eskişehir’de tamamladı. 1997-2001 yılları arasında Kuleli Askeri Lisesi’nde eğitim gördü. 2001-2005 yılları arasında Hava Harp Okulu, Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında lisans eğitimine devam etti. 2005 yılında Hava Harp Okulu’ndan, teğmen rütbesi ile mezun olduktan sonra Hava Teknik ve Sınıf Okulları Eğitim Merkezi Komutanlığı Gaziemir / İzmir’e Kursiyer Subay olarak atandı.

2005 yılında Hava Teknik ve Sınıf Okulları Eğitim Merkezi Komutanlığı Gaziemir / İzmir’de temel subay eğitimine başlayarak 2006 yılında eğitimini tamamladı. Haziran 2006’da 8.inci Ana Jet Üs Komutanlığı DİYARBAKIR Mebs Tabur Komutanlığına Takım Komutanı olarak atandı.

Eylül 2008 yılında yüksek lisans eğitimine hak kazanarak, Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsünde Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.