



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**PERİYODİK YAPILARIN ANSOFT HFSS KULLANARAK ANALİZİ**

**ENVER ÖZDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Antakya / HATAY**

**EYLÜL 2010**



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**PERİYODİK YAPILARIN ANSOFT HFSS KULLANARAK ANALİZİ**

**ENVER ÖZDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Antakya / HATAY**

**EYLÜL 2010**

**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PERİYODİK YAPILARIN ANSOFT HFSS KULLANARAK ANALİZİ**

**ENVER ÖZDEMİR**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

Yrd.Doç.Dr. Emin ÜNAL danışmanlığında hazırlanan bu tez 15 / 09 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Emin ÜNAL  
Jüri Başkanı

Y.Doç. Dr. Ersin ÖZDEMİR  
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ  
Jüri Üyesi

Bu tez enstitümüz Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof.Dr.Necat AĞCA  
Enstitü Müdürü

**Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	I
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	I
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	I
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	5
2.1. İlk Arka Düzlem Denemeleri.....	8
2.1.1. Oluklu Yapı.....	8
2.1.2. İşlenmiş Yüzeyler.....	8
2.1.3. Tepecik Yüzeyler.....	9
2.1.4. Tümsek Yüzeyler.....	10
2.1.5. Yüksek Empedans Zemin Düzlemi (HIGP).....	10
2.1.6. HIGP Yapılar İçin Rezonas Devre Modeli.....	12
2.2. HIGP Üzerindeki Anten Karakteristiği.....	15
2.2.1. Yüzey Dalgaları.....	15
2.2.2. Yüzey Dalgaları İçin İletim Hattı Modeli.....	16
2.3. PEC, PMC, HIGP Zemin Düzlemi Karşılaştırılması.....	18
2.4. EBG Tanımlaması.....	19
2.5. EBG Yapı Parametrik Çalışması.....	21
2.5.1. Yama Genişliği Etkisi.....	22
2.5.2. Boşluk Genişliği Etkisi.....	23
2.5.3. Alttabaka Kalınlık Etkisi.....	23
2.5.4. Alttabaka Elektriksel Geçirgenliği Etkisi.....	24
2.6. Dikdörtgen Yama EBG Yüzey.....	25
2.7. EBG Yapılı Yama Antenler.....	27
2.8. Yüksek Dielektrik Alttabaka Üzerinde Yama Antenler .....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1. Çözüm Tipi Oluşturma .....	33
3.2. Sınır Koşulları.....	35
3.3. Dalga Portu.....	36

3.4. Analiz Bölümü.....	37
3.5. Çözüm Döngüsü.....	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Elips Yapı.....	42
4.1.1. Elips g İyileştirmesi.....	44
4.1.2. Elips wx İyileştirmesi.....	46
4.1.3. Dipol Anten Şekli ve Işıma Grafiği.....	47
4.1.4. Elips Dipol Anten Denemesi.....	49
4.2. Kelebek Benzeri Yapı.....	52
4.2.1. Kelebek Benzeri Yapı g İyileştirmesi.....	52
4.2.2. Kelebek Benzeri Yapı wx İyileştirmesi.....	54
4.2.3. Kelebek Benzeri Yapı Dipol Anten Denemesi.....	56
4.3. Farklı Uzunluk Yama Standart Çalışması.....	59
4.3.1. Farklı Uzunluk Yama Standart Çalışması g İyileştirmesi.....	61
4.3.2. Farklı Uzunluk Yama Standart Çalışması dy İyileştirmesi.....	64
4.3.3. Farklı Uzunluk Yama Standart Çalışması k İyileştirmesi.....	67
4.3.4. Farklı Uzunluk Yama Lineer İyileştirmesi (1mm).....	69
4.3.5. Farklı Uzunluk Yama Lineer İyileştirmesi (0.5mm).....	72
4.3.6. Farklı Uzunluk Yama Karmaşık İyileştirmesi.....	74
4.3.7. Farklı Uzunluk Yama Ters İyileştirmesi .....	78
4.3.8. Farklı Uzunluk Yama Dipol Anten Denemesi.....	78
4.3.9. Yarım HIGP Farklı Uzunluk Yama Dipol Anten Denemesi.....	81
4.3.10. Yarım HIGP Farklı Uzunluk Yama Bow Tie Anten Denemesi.....	82
4.3.11. Yarım HIGP Farklı Uzunluk Yama Log Periyodik Anten Denemesi....	84
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
5.1. Sonuçlar.....	87
5.2. Öneriler.....	90
KAYNAKLAR.....	91
TEŞEKKÜR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	94

**ÖZET**

Geniş bant düşük profil antenlerin kazanç ve bant genişliği, antenler klasik platformların iletken yüzeylerine yerleştirildiğinde ciddi olarak bozulmaya uğrar. Bu bozulma öncelikle iletken yüzeyden yansıyan faz dışı yansımalar ile antenin kendi radyasyonunun girişiminden kaynaklanmaktadır. Daha fazla açıklama gerekirse Anten ve platform arasına yerleştirilen ince alt tabaka içerisine anten çifti tarafından bırakılan yanal dalgalar yüzey dalgalarının artmasına sebep olur ve alttabakanın kenarından büyük ölçüde bozucu dağılma ile sonuçlanır.

Anten performansını azaltan bu iki büyük problemi çözmek için HIGP yapılar dizayn edilmiştir. Mantar benzeri iki boyutlu periyodik düzenlemelerden oluşan HIGP mükemmel manyetik iletken (PMC) benzeri yansıma oluşturduğu gibi alttabaka modlarının bant durdurma içerisinde yüzey dalgalarını da bastırır.

Bu tez yeni geometrik şekil HIGP-anten dizaynları ve optimizasyonları sunmaktadır. Dipole anten, log periodic anten, bow-tie anten araştırmalarda kullanılmıştır. Mantar benzeri yüzeyler yüzey dalgalarını bastırmak için kullanıldığı bilinmektedir. Ancak EBG dizayn sonuçlarının düşük profil anten denemelerinin kriterlerini karşılayacağından emin olmak için bir EBG yüzeyin operasyonel frekans bandı düşük profil tel antenin iyi geri dönüş kaybı ve radyasyon paterni ile etkin bir şekilde yayılabileceği frekans bölgesi içerisinde tanımlanması gerekmektedir.

Farklı tip optimize edilmiş HIGP'ler üzerinde bu antenlerin operasyonel frekans bandları araştırılmaktadır. Çoklu ölçek HIGP ve anten dizaynları tanıtılmaktadır. HIGP-anten dizaynlarının özellikleri çoklu ölçek HIGP kullanılarak artırılmaktadır.

HIGP-anten denemeleri sonunda, tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

2010, 94 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek Empedanslı Zemin Düzlemi (HIGP), Elektromanyetik Band Boşluğu (EBG) Yapılar.

**ABSTRACT**

Gain and bandwidth of broad-band low-profile antennas severely deteriorate when they are placed conformally onto the conductive skins of platforms. This detrimental effect is primarily due to out-of-phase reflections from the conductive body interfering with the antenna's self radiation. Furthermore, lateral waves launched by the antenna couple into the thin substrate placed between the antenna and the platform, giving rise to surface waves resulting in significant diffraction from the edges of the substrate.

To fix these two major mechanisms degrading antenna performance, high impedance ground planes (HIGP) were designed. HIGPs made of a 2-dimensional periodic arrangement of a mushroom structure not only provide perfect-magnetic-conductor (PMC)-like reflection but also suppress the surface waves within the stop-band of the substrate modes.

This thesis presents new geometrical shape HIGP-antenna designs and optimizations. Dipole antenna, log periodic antenna, bow-tie antennas are used in the research. Mushroom-like surface is being used for suppressed surface waves. However, to ensure that resulting EBG designs will meet the criteria of low profile antenna applications, an operational frequency band of an EBG surface is defined as the frequency region inside of which a low profile wire antenna radiates efficiently with a good return loss and radiation patterns.

Operating frequency bands of these antennas over different types of optimized HIGP's are investigated. Multi-scale HIGP and antenna designs are introduced. Broadband nature of the HIGP-antenna designs is increased by using multi-scale HIGP.

End of the HIGP-antenna experiments, successful result has been acquired.

2010, 94 pages

**Keywords:** High Impedance Ground Plane (HIGP), Elektromagnetic Band Gap (EBG) Structures.

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

$\epsilon$	: Dielektrik sabiti
$\mu$	: Manyetik geçirgenlik
BVP	: Boundary-Value Problem
DNG	: Double negative
E	: Elektrik alan şiddeti
EBG	: Elektromagnetic Band Gap
EM	: Elektromanyetik
FDTD	: Finite-Difference Time-Domain
FEM	: Finite Element Method
FSS	: Frequency Selective Surface
H	: Manyetik alan şiddeti
HIGP	: High Impedance Ground Plane
HFSS	: High Frequency Structure simulator
HIS	: High Impedance Surface
MOM	: Method of Moments
MTM	: Metamaterial
PBG	: Photonic Band Gap
PEC	: Perfect Electric Conductor
PMC	: Perfect Magnetic Conductor
TEM	: Transverse Electromagnetic Wave
$S_{11}$	: Yansıma değerleri
$S_{21}$	: İletim değerleri



**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Farklı alt tabaka kalınlıkları ve farklı dielektrik sabitleri ile yama anten karşılaştırmaları.....	28
Çizelge 4.1. Programda kullanılan değişken formülizasyonu.....	60
Çizelge 5.1. Simülasyon EBG sonuçları.....	87

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## Sayfa

Şekil 2.1. Kublajı azaltma için HIGP tasarımı.....	6
Şekil 2.2. Giyilebilir HIGP tasarımı.....	7
Şekil 2.3. Oluklu yapı dizaynı.....	8
Şekil 2.4. Tepecik yüzeylerin alçak ve yüksek frekans modu.....	9
Şekil 2.5. Tümsek, Mantar tip ve Kapasitör yapı.....	10
Şekil 2.6. Eşeksen beslemeli dikdörtgen yama yapısal özellikleri.....	11
Şekil 2.7. Mantar benzeri 8x8 kare EBG yapı.....	13
Şekil 2.8. Mantara benzer EBG yapı LC eşdeğer devresi .....	13
Şekil 2.9. Yüzey dalgaları için eşiti iletim hattı modeli.....	14
Şekil 2.10. Arka düzlem denemeleri.....	15
Şekil 2.11. Düzlem dalga için eşiti iletim hattı modeli.....	17
Şekil 2.12. Dipol anten denemeleri.....	18
Şekil 2.13. Dipol yayılım grafiği.....	18
Şekil 2.14. EBG yapı $S_{21}$ Sonucu.....	20
Şekil 2.15. Mantar benzeri kare EBG yapı geometrik şekli.....	21
Şekil 2.16. EBG yansıma fazı yama genişliği etkisi.....	22
Şekil 2.17. Yama boşluğunun EBG yansıma fazı üzerindeki etkisi.....	22
Şekil 2.18. Alttabaka kalınlığının EBG yansıma fazı üzerindeki etkisi .....	24
Şekil 2.19. EBG yansıma fazı üzerinde $\epsilon_r$ alt tabaka dielektriğinin etkisi.....	24
Şekil 2.20. Polarizasyon bağımlı EBG yüzey.....	26
Şekil 2.21. Dikdörtgen kare yama EBG faz yansıma karşılaştırması.....	26
Şekil 2.22. Farklı alt tabaka kalınlıkları ve dielektrik sabitleri ile yama anten dönüş kayıpları karşılaştırılması .....	28
Şekil 2.23. Farklı alt tabaka kalınlıkları ve farklı dielektrik sabitleri ile radyasyon paterni karşılaştırması.....	29
Şekil 3.1. Çözüm akış diyagramı.....	34
Şekil 3.2. Çözüm döngüsü akış diyagramı.....	39
Şekil 4.1. Elips çalışması.....	42
Şekil 4.2. Elips çalışması üstten ayrıntılı görünüş.....	42
Şekil 4.3. Elips g iyileştirmesi $w_x=4\text{mm}$ sabit, $g_1=0.3$ , $g_2=0.2\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu..	44
Şekil 4.4. Elips g iyileştirmesi $w_x=4\text{mm}$ sabit, $g_1=0.4$ , $g_2=0.3\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu..	44
Şekil 4.5. Elips g iyileştirmesi $w_x=4\text{mm}$ sabit, $g_1=0.5$ , $g_2=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu..	45
Şekil 4.6. Elips wx iyileştirmesi $w_x=4\text{mm}$ , $g_1=0.4$ , $g_2=0.3\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	46
Şekil 4.7. Elips wx iyileştirmesi $w_x=5\text{mm}$ , $g_1=0.4$ , $g_2=0.3\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	46
Şekil 4.8. Elips wx iyileştirmesi $w_x=6\text{mm}$ , $g_1=0.4$ , $g_2=0.3\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	47
Şekil 4.9. Dipol boş ortam tasarım şekli.....	47
Şekil 4.10. Dipol anten grafiği.....	48
Şekil 4.11. Uzak alan radyasyon kurulumu.....	48
Şekil 4.12. Boş uzay dipol anten radyasyon grafiği.....	49
Şekil 4.13. Elips anten denemesi.....	49
Şekil 4.14. Elips dipol anten denemesi. $w_x=5\text{mm}$ , $g_1=0.4$ , $g_2=0.3\text{mm}$ dik pozisyon ışınma sonucu.....	50
Şekil 4.15. Elips dipol anten denemesi $w_x=5\text{mm}$ , $g_1=0.4$ , $g_2=0.3\text{mm}$	

dik pozisyon radyasyon paterni.....	50
Şekil 4.16. Elips dipol anten denemesi $w_x=5\text{mm}$ , $g_1=0.4$ , $g_2=0.3\text{mm}$ yatay pozisyon ışınma sonucu.....	51
Şekil 4.17. Elips dipol anten denemesi $w_x=5\text{mm}$ , $g_1=0.4$ , $g_2=0.3\text{mm}$ yatay pozisyon radyasyon paterni.....	51
Şekil 4.18. Kelebek benzeri yapı.....	52
Şekil 4.19. Kelebek benzeri yapı g iyileştirmesi $x=4.8\text{mm}$ , $y=4.6\text{mm}$ , $g=0.3\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	52
Şekil 4.20. Kelebek benzeri yapı g iyileştirmesi $x=4.8\text{mm}$ , $y=4.6\text{mm}$ , $g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	53
Şekil 4.21. Kelebek benzeri yapı g iyileştirmesi $x=4.8\text{mm}$ , $y=4.6\text{mm}$ , $g=0.5\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	53
Şekil 4.22. Kelebek benzeri yapı $w_x$ iyileştirmesi $x=3.8\text{mm}$ , $y=3.4\text{mm}$ , $g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	54
Şekil 4.23. Kelebek benzeri yapı $w_x$ iyileştirmesi $x=4.8\text{mm}$ , $y=4.6\text{mm}$ , $g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	54
Şekil 4.24. Kelebek benzeri yapı $w_x$ iyileştirmesi $x=5.8\text{mm}$ , $y=5.8\text{mm}$ , $g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	55
Şekil 4.25. Kelebek benzeri yapı dipol anten denemesi. $x=4.8\text{mm}$ , $y=4.6\text{mm}$ , $g=0.4\text{mm}$ .....	56
Şekil 4.26. Kelebek benzeri yapı, dipol anten eşleşmesi dik pozisyon ışınma sonucu.....	57
Şekil 4.27. Kelebek benzeri yapı, dipol anten eşleşmesi dik pozisyon radyasyon paterni.....	57
Şekil 4.28. Kelebek benzeri yapı, dipol anten eşleşmesi yatık pozisyon ışınma sonucu.....	58
Şekil 4.29. Kelebek benzeri yapı, dipol anten eşleşmesi yatay pozisyon radyasyon paterni.....	58
Şekil 4.30. Farklı uzunluk yama çalışması üstten görünüş, $k=4$ , $g=0.4\text{mm}$ , (2,2,2mm).....	59
Şekil 4.31. Farklı uzunluk yama çalışması yandan görünüş, $k=4$ , $g=0.4\text{mm}$ , (2,2,2mm).....	59
Şekil 4.32. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi $k=4$ , $dy=2.5$ , $g=0.3\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	61
Şekil 4.33. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi $k=4$ , $dy=2.5$ , $g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	61
Şekil 4.34. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi $k=4$ , $dy=2.5$ , $g=0.5\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	62
Şekil 4.35. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi $k=4$ , $dy=2.5$ , $g=0.6\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	62
Şekil 4.36. Farklı uzunluk yama standart çalışması $dy$ iyileştirmesi $k=4$ , $dy=1$ , $g=0.5\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	64
Şekil 4.37. Farklı uzunluk yama standart çalışması $dy$ iyileştirmesi $k=4$ , $dy=1.5$ , $g=0.5\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	64

Şekil 4.38. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi $k=4, dy=2, g=0.5\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	65
Şekil 4.39. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi $k=4, dy=2.5, g=0.5\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	65
Şekil 4.40. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi $k=4, dy=3, g=0.5\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	66
Şekil 4.41. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi $k=2, dy=2.5, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	67
Şekil 4.42. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi $k=3, dy=2.5, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	67
Şekil 4.43. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi $k=4, dy=2.5, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	68
Şekil 4.44. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi $k=5, dy=2.5, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	68
Şekil 4.45. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon $k=4, dy=1, 2, 3, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	69
Şekil 4.46. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon $k=4, dy=2, 3, 4, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	70
Şekil 4.47. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon $k=4, dy=3, 4, 5, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	70
Şekil 4.48. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon $k=4, dy=4, 5, 6, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	71
Şekil 4.49. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon $k=4, dy=1, 1.5, 2, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	72
Şekil 4.50. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon $k=4, dy=1.5, 2, 2.5, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	72
Şekil 4.51. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon $k=4, dy=2, 2.5, 3, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	73
Şekil 4.52. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon $k=4, dy=2.5, 3, 3.5, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	73
Şekil 4.53. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon $dy=2, 2.5, 7\text{mm}$ üstten görünüş. ....	74
Şekil 4.54. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon $dy=2, 2.5, 7\text{mm}$ yandan görünüş.....	74
Şekil 4.55. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon $k=4, dy=1, 2, 4, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	75
Şekil 4.56. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon $k=4, dy=2, 2.5, 5, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	75
Şekil 4.57. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon $k=4, dy=2, 2.5, 6, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	76
Şekil 4.58. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon $k=4, dy=2, 2.5, 7, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	76
Şekil 4.59. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon	

$k=4, dy=2, 2.5, 8, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu.....	77
Şekil 4.60. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon	
$k=4, dy=6, 2.5, 2, g=0.4\text{mm}$ $S_{21}$ sonucu. ....	78
Şekil 4.61. $k=4, dy=2, 2.5, 7, g=0.4\text{mm}$ değerlerine sahip HIGP	
Tasarımı.....	78
Şekil 4.62. Farklı uzunluk yama dipol anten dik pozisyon denemesi,	
ışınma sonucu.....	79
Şekil 4.63. Farklı uzunluk yama dipol anten dik pozisyon denemesi,	
Radyasyon paterni.....	79
Şekil 4.64. Farklı uzunluk yama dipol anten yatay pozisyon denemesi,	
ışınma sonucu.....	80
Şekil 4.65. Farklı uzunluk yama dipol anten yatay pozisyon denemesi,	
Radyasyon paterni.....	80
Şekil 4.66. Yarım HIGP farklı uzunluk yama dipol anten denemesi.....	81
Şekil 4.67. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama dipol anten denemesi sonucu.....	81
Şekil 4.68. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama dipol anten radyasyon paterni.....	82
Şekil 4.69. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama bow tie anten denemesi.....	82
Şekil 4.70. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama bow tie anten denemesi sonucu.....	83
Şekil 4.71. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama bow tie anten denemesi	
Radyasyon paterni.....	83
Şekil 4.72. Log periyodik anten tasarımı.....	84
Şekil 4.73. Log periyodik anten ışınma sonucu.....	84
Şekil 4.74. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama log periyodik anten denemesi.....	85
Şekil 4.75. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama üzeri log periyodik anten denemesi	
sonucu.....	85
Şekil 4.76. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama üzeri log periyodik anten denemesi	
Radyasyon paterni.....	86

## 1. GİRİŞ

Elektromanyetik metamalzemeler, genel olarak doğada kolayca bulunmayan ender özelliklere sahip, yapay ve fiilen homojen yapılar olarak tanımlanır. Yunanca “ötesinde” veya “sonra” manasına gelen meta öneki, doğada mevcut özelliklerin de ötesindeki özellikleri taşıma anlamına gelmektedir. Son yıllarda genellikle metamalzeme olarak adlandırılan insan yapımı yeni tip malzemelerin makale ve çalışma sayılarına artış gözlemlenmektedir. EM ve anten simülasyon yazılımlarında modern hesaplamasal EM tekniklerdeki gelişmeler, modern fabrikasyon ve test aşamalarında homojen olmayan yapıların dizayn, analiz ve yapımına olanak sağlamıştır. Bu homojen olmama genellikle alt dalga boyu ölçeklerindedir. Şekil ve doğal malzeme EM özelliklerin değiştirilebilirliği anten ve EM üzerinde çalışanlar için bir çok yararlı ve ilginç fırsatların yolunu açmaktadır. Son zamanlarda bu çeşit malzemeler askeri ve ticari alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Ticari uygulamalar olarak MTM 'ler mobil teknolojilerde, sadece cep telefonu anten boyutunu küçültmek için değil yayılım etkinliğini artırmak için de kullanılmıştır. Elektromanyetik metamalzemeler; telekomünikasyon, radarlar, mikroelektronik, görüntüleme ve savunma alanlarında önemli teknolojik ve bilimsel gelişmeler vaat eden yapılarıdır.

EBG yapılar üzerindeki çeşitli araştırma aktiviteleri, düşük profil antenler, aktif faz dizileri (active phased arrays), TEM dalga rehberi, mikrodalga filtreler gibi sunulan denemelerin çokluğundan dolayı ilgi EM 'ler ve anten grubu üzerinde yoğunlaşmaktadır. EBG 'nin yüzey dalga bant boşluk özelliği anten kazancını artırır, geriye lupları minimize eder ve ortak bağlaşımı azaltır. Yüksek duyarlılık GPS alıcılarında EBG yama anten uygulamaları, giyilebilir elektronik, fazlı dizi sistemleri bazı uygulamalardır.

Bu alanda ticari ve askeri uygulamalar için iletken yüzeylerde çalışan geniş bant antenler gereklidir. Şimdiye değin standart anten dizaynları bu çeşit özelliğe sahip değildir. Arzu edilen çoğu anten dizaynının herhangi bir anten el kitabı ile dizayn edinilebileceği söylene de bir çok anten temel malzeme limitlerinin sıkıntısını çekmektedir. Eğer düşük profil tel anten ve zemin düzlem sistemleri isteniyorsa birçok problem oluşabilir. Metaller genellikle anten sistemlerinin ışık yayan elemanı olarak

kullanılırlar. Sıradan zemin düzlemleri ve yansıtıcılar da metalden yapılmaktadır. Bu metal malzemeler neredeyse (PEC) olarak tarif edilen mükemmel elektrik iletken olarak davranırlar ve dielektrik malzeme, antenin ışılan elemanı ve zemin düzlemi yada yansıtıcı arasında izolasyonu sağlar. Yansıtıcı uygulamaları için ideal malzeme henüz geliştirilmemiştir. PEC zemin düzlemi ve yansıtıcılar birçok uygulama için pratik olarak dizayn edilmektedir. Fakat PEC antenle birleştirildiklerinde problemler meydana gelmektedir. EBG yada PBG malzemelerdeki en son gelişmeler mikrodalga alanlar için yüksek empedans özelliği gösteren alternatif yapı formları dizaynı için fırsat sunmaktadır. Bu çeşit yapılar sıradan PEC zemin düzlemi yerine yerleştirilerek EM dalganın fazda yansması ve yüzey dalgaları bastırımı için kullanılabilirler.

Mühendisliği yapılmış EM yüzey yapılar arzu edilen fonksiyonun değişkenliğini gerçekleştirmek için metal yüzeylerin özelliklerini değiştirmede kullanılabilir. Örnek olarak özel yapılar bir yada her iki polarizasyon için yüzey empedansını değiştirmek, yüzey dalgalarının yayılımını işlemek yada faz yansmasını kontrol etmek için dizayn edilebilir. EM yapı inşası için yeni sınır koşulları, küçük antenlerin radyasyon paternlerinin değişikliği için bu tip yüzeylerle geliştirilmiştir. (Sievenpiper ve arkadaşları, 1999: 2059-2074).

Fotonik kristaller gibi bu yeni tip yapay malzemeler, EBG yapılar, DNG malzemeler EM 'de birçok araştırma alanı ortaya çıkarmışlardır. Üç boyut ve iki boyut olarak periyodik MTM 'ler sınıflandırılabilirler. EBG yapılar MTM 'lerin bir alt kümesinde yer almaktadır.

Geliştirilen birleşik yapılar metal yüzeylerin EM sınır koşullarını değiştirebilmektedir. Bu yapılar tipik olarak dizayn edilmiş ve alt dalga boyu mantar tipi metal çıkıntı olarak üretilmişlerdir. Bu yapılar genellikle LC rezonans devresi olarak analiz edilirler. Bu yapıların kalınlığı kapasitif yük tarafından azaltılmaktadır. Tüm yayılım yönleri ve her iki polarizasyon için bu malzemeler yüksek empedans sınır koşulları üretirler. (Sievenpiper ve arkadaşları, 1999: 2059-2074).

Şimdiye kadar elektriksel iletken malzemeler yansıtma yapıları için kullanılabilen yegane malzemeler olarak geniş ölçüde kullanılmıştır. Ne yazık ki antenlerin ışıyan elemanları ve yansıtıcı yada zemin düzlemi için elektriksel iletken kullanımı; ışıyan elemanın kısa devre olması, yapının kenar ve köşelerinden kaçak dalgalar gibi bazı problemlere sebep olmaktadır. Bu problemlerden kaçınmak, ışıyan elemanın kısa devresinden PEC yansıtıcıyı muhafaza etmek için araya izolasyon gerekmektedir. PEC yüzey üzerine gelen EM dalgalar  $180^\circ$  faz kayması ile yansıtılırlar. Direkt olarak PEC üzerine yerleştirilen bir anten ışıması etkilenir. Çünkü PEC zemin düzlemi kenar ve köşelerinden yansıyan faz dışı dalgalardan dolayı ana radyasyon paterni kötüleşir. Antenin etkin bir şekilde ışıması isteniyorsa zemin düzlemi ve ışıyan eleman arasındaki uzaklığın artırılması gerekmektedir. Ayrımın arttırılması, eş faza daha yakın yansıtılmış dalganın fazını değiştirmek yoluyla bir çözüm sağlar. Ama bu yaklaşım dizayn için boyut problemleri ortaya çıkarır. Bu yaklaşım tarzı sadece baştan sona tüm boyutların artırılmasını değil, anten sisteminin frekans bant genişliğini de sınırlar. (Sievenpiper ve arkadaşları , 1999: 2059-2074).

Zemin düzlemi olarak PEC kullanmanın diğer bir dezavantajı PEC yüzeyin yüzey dalgalarını desteklemesidir. Bir anten zemin düzlem sistemi dizayn ederken bu en büyük problemlerden biridir. Çünkü tüm zemin düzlemleri sonlu ölçülere sahiptir. Yüzey dalgaları kenar yada köşeye ulaşıp dağılırlar. Dağılan dalgalar orijinal anten ışıması ile girişirler ve paterni kötü yönde etkilerler. Bu girişim zemin düzleminin boyutlarının artırılması yada yüzey metalinin özelliklerinin değiştirilmesi ile azaltılabilir. (Golla, 2001: 2-5).

Son çalışmalar yüksek empedans yüzey düzlemleri dizaynı ile belirli frekanslarda çalışan antenlerin beraber kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir. (Sievenpiper ve arkadaşları , 1999: 2059-2074), (Yang ve Rahmat-Samii, 2003: 2691-2703).

Mantar tipi zemin düzlemleri için temel geometrik şekillerin çoğu (kare, dikdörtgen, altıgen, daire) yama dizaynlarında kullanılmıştır ve en iyi sonuçları seçime göre alınmıştır.



Yama geometri, yama genişlik, boşluk genişliği, alttabaka kalınlığı, dielektrik sabiti ve tipi geniş frekans bandı üzerinde iş yapan yüzeye monteli anten sisteminde arka düzlem yapının değiştirilen her boyutu sistemin bant genişliğini ve bant boşluğu frekansını etkiler. Bunlardan bazıları bant genişliğini azaltırken, bazıları bant boşluğunu artırır. Simülasyon boyutsal olarak kabul edilebilecek en iyi sonucu gösterecektir.

Zemin düzleminin geometrisini yada boyutlarını değiştirmek iş yapılan frekans yada bant genişliğini yönlendirmemizi sağlar. Dielektrik malzeme değişimi ve malzemenin kalınlığı dizayn ve yapım çeşitliliğini sınırsız hale getirir. (Linton ve arkadaşları , 2006).

ANSOFT Yüksek Frekans Yapı Simülatörü (HFSS) kullanılarak yapılan deneylerde farklı yamaların parametreleri değiştirilerek yansıma ( $S_{11}$ ) ve iletim ( $S_{21}$ ) değerleri bulunmuş, ( $S_{21}$ ) değerleri göz önünde bulundurularak elde edilen EBG 'ler yardımı ile iyileştirme yapılmış, iyileştirmesi yapılan yapı düşük profil antenlerde denenerek etkinliği kanıtlanmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tarih 1898 'i gösterdiğinde Jadagis Chunder Bose, son zamanlarda chiral ortam olarak bilinen kıvrık eleman yapımları ile belkide ilk matemalzeme çalışmalarını yapmaktaydı. Hafif mikrodalga antenler için yapay dielektrikler 1950-60 'larda keşfedilmekteydi. (Alu ve arkadaşları, 2006:5)

Beklenmedik yüzey dalgalarını bastırma, EM dalgaları fazda yansıtma gibi EM özelliklerinden dolayı yüksek empedans arka düzlem ve elektromanyetik bant boşluğu (EBG) yapılar gibi bu yapay malzemeler anten denemelerinde kullanılabilinecek birçok avantaj içermektedir. (Munk, 2000; Joannopoulos ve diğerleri, 1995; Rahmat-Samii ve Mosallaei, 2001:506-564; Sievenpiper ve diğerleri, 1999b:1245-1248; Yablonovitch, 1987:2059)

Çoğunlukla operasyonel frekans bantları olmak üzere üretilen geniş bant antenler askeri uygulamalar için EM spektrum üzerindeki yayılımı kontrol etmek çok önemlidir. Geniş bant antenlerin düşman tarafından elektroniksel olarak taarruza uğramaları daha zordur. Bundan dolayı daha geniş frekans bantlarında işleyen antenler askeriye için daha fazla ilgi çekicidir. Spiral, log periyodik, leaky-waves ve bow-tie iyi bilinen geniş bant düşük frekans antenlerdir. Bu antenler temel basit antenlerden (Balanis 2005) daha geniş operatif frekans bandı üretirler fakat bir uçaktaki yada insansız hava aracındaki (Unmanned Aerial Vehicle-UAV) metalik aksam gibi iletken bir yüzeye yaklaştıklarında geniş bant özelliklerini koruyamazlar.

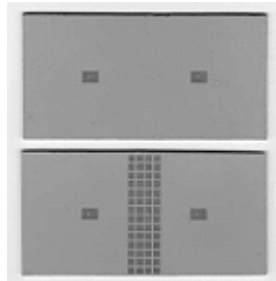
Bu atılım birçok anten uygulaması için ilgi çekicidir. Standart geniş bant anten dizaynları araç gövdelerine yerleştirildiğinde yayılım paterni bozulmaya uğrar. Yayılım paternini korumanın pahalı basit başka bir yolu, anten arkasına absorbe çizgili boşluklar yerleştirmektir. Ancak son zamanlarda tanışılan geniş bant yüksek empedans arka düzlem HIGP 'nin sahip olduğu yeni EM özellikler absorbe edicilerin kayıplarının zararlı etkileri olmaksızın anten performanslarının geliştirilebileceğini göstermektedir.

PBG (Photonik Band Gap) : EM dalgaların hiçbir yönde yayılmadığı belirli bir bant olarak tanımlanır. Yablonovitch 1987 'de ilk olarak PBG teknolojisini optik frekanslardan mikrodalga frekanslara çıkarmayı denemiştir. Çoklu katman optik kaplama  $\frac{1}{4}$  dalga boyu aralıklarda yerleştirilmiş yüksek ve düşük kırılma indislerinin alternatif malzemeler arasındaki periyodik sınırlar üzerine kurulmuştur.

Yablonovitchin periyodik üç boyutlu optik kristal yapılarda gelen tüm açılar için, EM dalga yayılımını bastırabilen araştırmalarından sonra bu alandaki çalışmalar hızlanmıştır. (Yablonovitch, 1987:2059-2062).

Yüksek empedans zemin düzlemi PBG yapılar olarak mantar tipi yapılar 1999 yılında Sievenpiper tarafından üretilmiştir. Sievenpiper, gelen dalga ile fazda olan sanal akımları ve yüzey dalgalarını baskılayan özellikte iki boyutlu bir yüzey tasarlamıştır. Periyodik tip mantar yapıların empedansının matematiksel tanımlamasını yapmıştır. Sonrasında HIGP 'nin yansıma karakteristiği ve frekans bant boşluklarını araştırmıştır. (Sievenpiper ve arkadaşları, 1999: 2059-2074).

Takip eden yıllarda Broas ve arkadaşları cep telefonu teknolojisi için HIGP dizayn etmişler ve deneysel olarak bir HIS dizaynını belirli frekanslarda kullanmışlar ve baskı devre üzerine entegre edilebilen bir yüzey üzerine monteli anten tasarlamışlardır. Bu belirli frekans yakınlarında yüksek radyasyon oluştuğunu göstermişlerdir. (Broas ve arkadaşları, 2005: 1377-1381).



Şekil 2.1. Kublajı azaltma için HIGP tasarımı.

HIS iki ışıyan eleman arasında kublağı azaltmak için de kullanılmaktadır (Şekil 2.1.). Zemin düzleminde yüzey akımlarının bastırılmasından dolayı bant boşluklarında oluşan iyileşirmesi yapılmamış performansları elde edilmiştir. Yang ve Rahmat-Samii düşük profil tel anten denemeleri için, HIGP 'nin yansıma faz karakterizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, kare yamalardan oluşan HIGP dizaynı yapmışlar ve üzerine düşük profil dipol anten koyarak bazı ışıma özelliklerini test etmişlerdir. (Yang ve Rahmat-Samii, 2003: 2691-2703).



Şekil 2.2. Giyilebilir HIGP tasarımı.

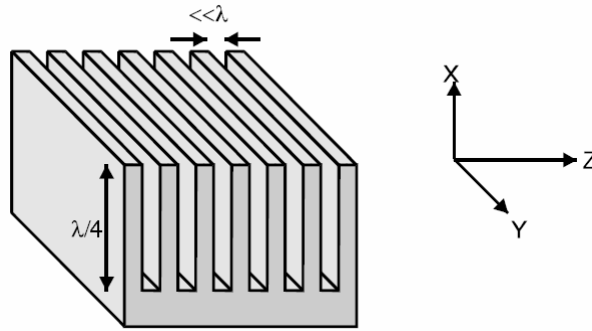
Bu yeni konu üzerindeki bir çalışma da Quenn's Üniversitesi 'nde (Belfast/UK) geliştirilmeye devam edilmektedir. Buna göre daha gelişmiş giyilebilir iletişim için sürekli uyumu olan anten elemanı geliştirilmektedir. Çalışmaların kapsamı giyilebilen HIGP dizaynları ve düşman kanal durumları altında iletişim için anten sistemleridir. Parametreleri değiştirerek uygun optimum HIGP dizaynı araştırılmaktadır, ayrıca parametre değerlerinde değişikliğe göre bant genişliği ve bant boşluğu için de araştırma yapılmaktadır. Araştırmalarının temel amacı vücuttan geçebilen iletişim için kullanılacak, vücuda gömülü sensörlerle iletişim, savaş alanında diğer muharıplerle iletişim ve hava platformları ile iletişimi sağlayacak teknolojiler geliştirmektir. (Linton ve Scanlon, 2006).

Bir zemin düzlemi üzerinde yama düşük profil anten, metal zemin düzlemden dolayı bazı dizayn kısıtlamalarına sahiptir. Anten ile arka düzlem arasında bırakılması gereken uzaklık  $\lambda/4$ , anten sisteminde gidilebilecek olası minyatürizasyona engel teşkil etmektedir. Yüzey empedansının çok yüksek olduğu frekans aralığında yüzey boyunca büyük elektrik alan olsa bile teğet manyetik alan küçüktür. Bazen bu yapılar alışılmadık sınır koşullarından dolayı 'manyetik iletken' olarak tanımlanırlar. HIS 'ler düşük profil antenler için yegane yeni tip zemin düzlemi olarak iş görebilir.

Örnek olarak HIGP 'e karşı düz yatan bir dipol sıradan metal tabaka üzerinde olabileceği gibi kısa devre edilemez. Ayrıca EBG içerisinde HIGP yayılım yüzey dalgalarını desteklemez böylece yayılım paterni tipik düzdür ve girişimin yan etkilerinin dışındadır. (Sievenpiper ve arkadaşları , 1999: 2060)

## 2.1. İLK ARKA DÜZLEM DENEMELERİ

### 2.1.1. Oluklu Yapı



Şekil 2.3. Oluklu yapı dizaynı.

Oluklu yapı Şekil 2.3. 'de gösterilmiştir. Yarıklar  $\frac{1}{4}$  dalga boyu derinlikte ve yarıkların genişliği bir dalga boyundan çok küçük ise yüzey üzerinde yüksek seviyede empedans oluşur. Oluklu yapı HIS yüzeylerden önce arka düzlem yapı olarak kullanılan ilkel yapılardandır.

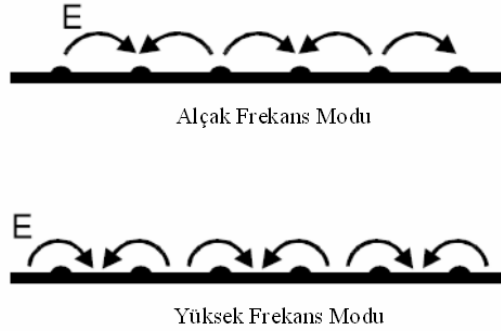
### 2.1.2. İşlenmiş Yüzeyler

Metal yüzeyler geniş frekans aralıklarında yüzey dalgalarının yayılımını destekler. Bu yüzey dalgaları periyodik yapılar yardımı ile sonlu frekans bantları üzerinde bastırılabilirler. Küçük tepelik yapılarda yüzey dalgaları tepelerden yansır ve yayılımı önleyen girişimlerle sonuçlanır. İki boyutlu EM bant boşluğu oluşturur. Yüzey yapılarının mühendisliğinde periyot, yüzey dalgalarının dalga boyundan çok küçük olması gerekmektedir. HIS, oluklu yapının bir versiyonudur. Oluklar pasif daire

elemanlarının üzerine yayılmıştır ve iki boyuta dağılmıştır. Yüzey empedanslı paralel rezonans devresidir ve yüksek empedans özelliği gösterir.

### 2.1.3. Tepecik Yüzeyler

Dalga boyu iki boyutlu yapının periyodundan çok daha büyük olduğunda yüzey dalgaları küçük tümsekleri güçlükle ayırt eder. Dalga boyu azaltıldığında dalgalar yüzey dokusunun etkisini hissetmeye başlarlar. 1.5 dalga boyu tümseklerin arasına uyar. Bu iki boyutlu yapının Brillouin bölge sınırına tekabül eder. Bu dalga boyunda, yüzeyde duran dalga iki muhtemel pozisyona sahip olabilir. Dalga tepesinin tümsek merkezine yerleştirilmesi yada tümsek üzerine boşluk merkezlenmesi ile Şekil 2.4. 'de gösterildiği gibi bu iki mod yüzey dalgalarının yayılmadığı küçük bant boşlukları tarafından ayrılmıştır.

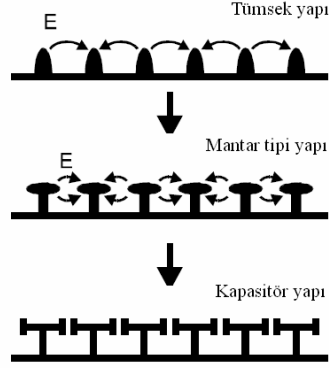


Şekil 2.4. Tepecik yüzeylerin alçak ve yüksek frekans modu.

Bu yapılar optik frekanslarda Barnes, Kitson ve diğerleri tarafından üçgen yapılar kullanılarak bir gümüş film üzerinde çalışılmıştır. Tepeciklerin periyodu 300 *nm* ve filmin kalınlığı 40 *nm* 'idi. Yapı etkin bir şekilde yüzey plazmonlarını % 5 oranında bastırılmış, 1.98 eV 'ye merkezlenmiştir. 10000 defa daha geniş ölçeklendirildiğinde yapı mikrodalga frekanslarda benzer özellikler göstermiştir.

#### 2.1.4. Tümsek Yüzeyler

Tümsek yüzey yapı tepelik yüzeylerden sonra HIGP yapılara geçişin ara elemanıdır.



Şekil 2.5. Tümsek, Mantar tip ve Kapasitör yapı.

E alan aralarındaki dar ayrıma yerleştirilmiş önemli kapasite değeri komşu çıkıntı yapı ile aradaki boşluktan dolayı oluşur. İndüktans çevrim sayesinde üretilir. Yapı yüzeydeki akımların yayılımını önleyen bir çeşit elektrik filtre gibi davranır.

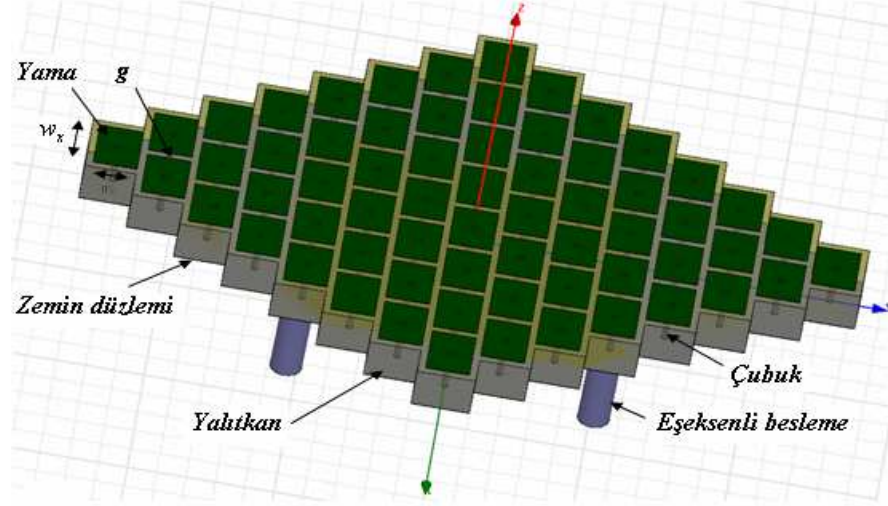
#### 2.1.5. Yüksek Empedans Zemin Düzlemi (HIGP)

Bu yapı iki metalik iletken ve aralarına yerleştirilmiş bir yapay dielektrik tabaka içerir. Alt metalik yüzey işlenmemiş plaka üst metalik yüzey ise işlenmiş, yamalardan oluşmaktadır ve metalik iletkenler ince tellerle birbirlerine birleştirilmişlerdir.

UHF ve VHF 'de anten boyutları fiziksel olarak küçük ama elektriksel olarak büyüktür. HIGP bir dar bant üzerinde yama anten boyutlarını daha küçük yapacak yüksek negatif elektriksel geçirgenlik alt tabaka olabilirliğini sunar. (Linton ve Scanlon, 2006).

Yama anten üzerine radyasyon düşümü dışsal metalik yüzey yamaların üzerine akan yüzey akımlarına neden olacaktır. Optimum anten radyasyonu için, zemin düzleminde tüm yansıma için alt tabaka kalınlığı  $\lambda/4$  olmalıdır. (Sievenpiper, 1999a:2059).

Kompakt antenler için bu tüm frekanslarda imkansızdır. Sadece en yüksek frekanslarda bu alt tabaka aralığı kullanılabilir.



Şekil 2.6. Eşksen beslemeli dikdörtgen yama yapısal özellikleri.

HIGP ve çift yama anten Şekil 2.6. 'da görülmektedir :  $w_x$  ; x yönündeki yama uzunluğu,  $w_y$  ; y yönündeki yama uzunluğu,  $g$  ; yamalar arasındaki boşluğu,  $h$  ; alttabaka kalınlığı,  $r$  ; tel yarıçapı,  $\epsilon_r$  ; alttabaka elektriksel geçirgenliğini göstermektedir.

PEC 'ler  $180^\circ$  faz kayması ile dalgayı geri yansıtırlar ve yüzey akımların yayılımına izin verirler.(Sievenpiper, 1999b:2073).

Bir HIGP olarak Sievenpiper 'in metalik yapı dizaynı özel frekans bandı olarak bilinen EBG üzerinde takip eden ilginç karakteristikleri bulunmaktadır;

- Belirli frekanslarda dalgaları fazda yansıtır,
- Belirli frekanslarda yüzey akımı yayılımına izin vermezler.

Bu karakteristik yenidir. Metal zemin düzlemden dolayı zemin düzlem üzerinde bulunan yama anten gibi bir düşük profil anten bazı dizayn limitlerine sahiptir. Bir



metal zemin yüzey PEC gibi davranır. Bu durumda yama PEC gibi davranan metal zemin yüzeye yaklaştırıldığında yayılım elemanında, metal zeminin akımları iptal ettiğinde sanal akımlar indüklenir. Bundan kaçınmak için ışıyan elemanla zemin düzlemi arasında en az  $\lambda/4$  uzaklık olmalıdır. Bu limit antenin minyatürizasyonunu sınırlar. Yüzey akımları arka zemin üzerinden akıp metal kenarına ulaştıklarında metalden ışıyarak planlanmış ışıyan dalga üzerinde girişime sebep olurlar. Bu iki problem alanının çözümü metal zemin düzlemi yerine HIGP koymaktır.

### 2.1.6. HIGP Yapılar İçin Rezonans Devre Modeli

EBG yapıların işleme mekanizmasını kolayca anlamak için bazı devre modelleri önerilmiştir. Şekil 2.7 'de gösterildiği gibi basit boyutlu düzlemsel EBG yapı başlangıç olarak önerilmiştir. EBG yapı dört parçadan oluşur; metal zemin düzlemi, dielektrik tabaka, periyodik metal yamalar, zemin düzlemi ve yamaları birbirine bağlayan dikey çubuklar bulunmaktadır. Şekil mantara benzemektedir.  $w+g$  operasyonel dalga boyu ile karşılaştırıldığında küçüktür. Şekil 2.8b 'de gösterildiği gibi EBG operasyonel mekanizması eşdeğer pasif LC elemanlar ile etkin ortam modeli kullanılarak açıklanabilir. Paralel rezonans LC devre empedansı aşağıda verilmiştir ;

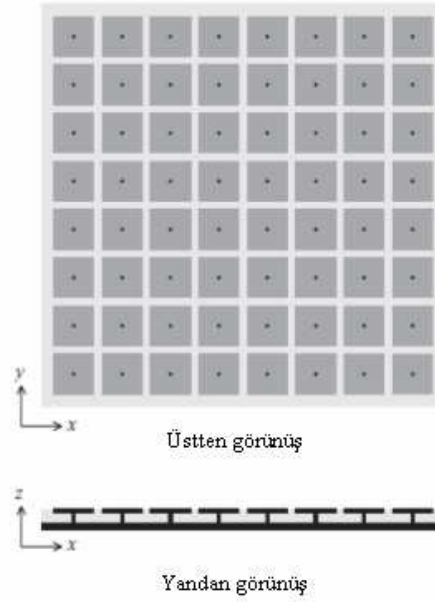
$$Z = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC} \quad (2.1)$$

Rezonans frekansı ;

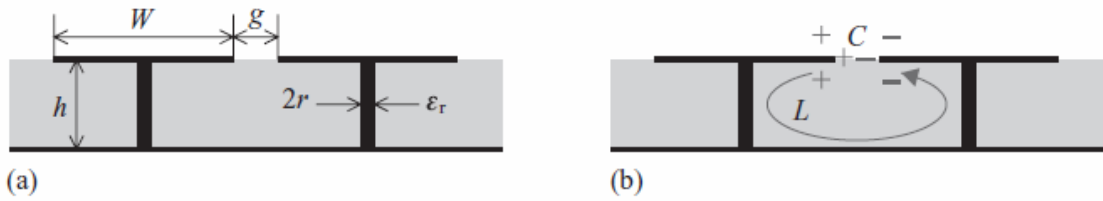
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.2)$$

Düşük frekanslarda empedans endüktif ve TM yüzey dalgalarını destekler, yüksek frekansta kapasitif hale gelir ve TE yüzey dalgalarını destekler. Rezonans frekansı yakınlarında  $\omega_0$ , yüksek empedans kazanılır ve EBG herhangi bir yüzey dalgasını desteklememesinden dolayı frekans bant boşluğu oluşur. Yüksek yüzey

empedansına sahip bir düzlem faz kayması olmaksızın PEC üzerinde oluşacak ve geri yansıtılacaktır.



Şekil 2.7. Mantar benzeri 8x8 kare EBG yapı.



Şekil 2.8. Mantara benzer EBG yapı LC eşdeğer devresi. a) EBG parametreleri b) LC model.

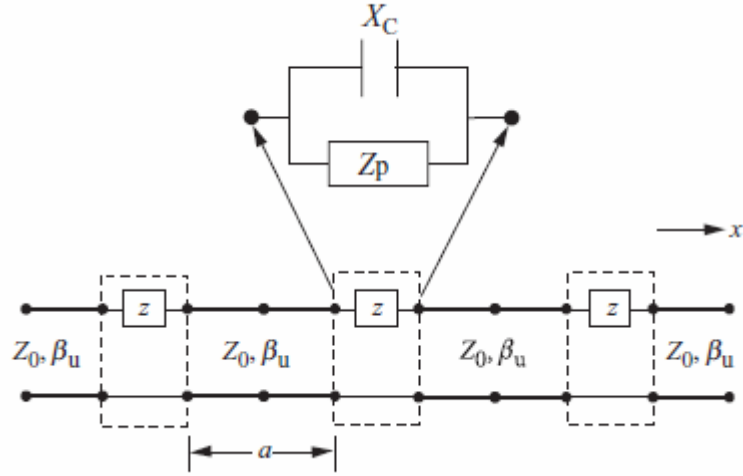
Kapasitörün değeri eş düzlemler metal tabakalar arasındaki boşluktan dolayı oluşur. ‘Conformal mapping’ kullanılarak türetilir, iki boyutlu elektrostatik alan dağılımını tanımlamak için genel bir tekniktir. Türetme bir boşluk tarafından ayrılan yarı sonsuz tabakaların bir parçası ile başlar ve onların sonlu parça büyüklüklerine kısaltılması ile devam eder. Dar bant durumu için kenar kapasitesi denkleminde verilmiştir (2.3.).

$$C = \frac{W\epsilon_0(1+\epsilon_r)}{\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{W+g}{g}\right) \quad (2.3.)$$

İndüktörün değeri Şekil 2.8b 'de akım luplarından türetilmektedir. Solenoid akım için manyetik alan Amper kuralı kullanılarak hesap edilebilir. Eşiti indüktör sonrasında depolanmış manyetik alan enerjisi ve uyarım akımından hesaplanır. Basit bir türetmeden sonra indüktans aşağıdaki gibi açıklanır. Sadece yapının kalınlığına ve manyetik geçirgenliğe bağlıdır;

$$L = \mu h \quad (2.4.)$$

(2.3.) ve (2.4.), (2.1.) ve (2.2.) 'de yerine konulduğunda yüzey empedansı ve rezonans frekansı hesaplanabilir. Yansıma fazı gibi diğer karakteristik parametreler buna göre hesap edilebilir.



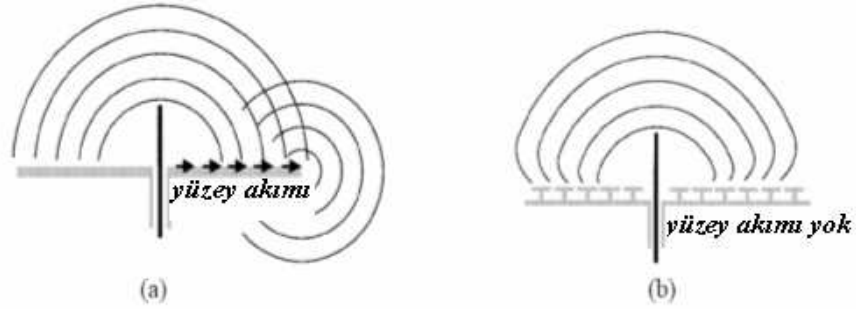
Şekil 2.9. Yüzey dalgaları için eşiti iletim hattı modeli.

LC devre modellemesi basit olmasına karşılık statik alan yaklaşımları sonuç doğruluğunu büyük ölçüde etkiler, iletim hattı modellemesi Şekil 2.9. 'da görüldüğü gibi, LC devre modellemesine göre daha zor olmasına karşılık sonuçlar daha doğrudur.

## 2.2. HIGP Üzerindeki Anten Karakteristiği

### 2.2.1. Yüzey Dalgaları

Optik frekanslarda yüzey plazmonları olarak adlandırılan yüzey dalgaları radyo frekanslarda yüzey akımları olarak adlandırılır ve oluşumu birkaç değişik yolla kanıtlanabilir. Bu yüzey dalgaları özelliklerini türetmenin bir yolu, yüzey dalgaları dielektrik arayüzden uzaklaşırken dalga için sönümlenmeyi bulmaktır. Benzer dalgalar bir malzemenin etkin yüzey empedansı atanması ile başlayan süreçle de bulunabilir. Metal durumunda yüzey empedansı deri kalınlığı olarak tanımlanır ve deri kalınlığı yüzey dalga nüfuz etme derinliğine eşittir. Böylece yüzey dalgaları sıradan yüzey akımlarından başka bir şey değildir. Yüzey dalgaları birbirine benzemeyen metal ve boşluk gibi arayüzlerde oluşurlar.



Şekil 2.10. Arka düzlem denemeleri a) Düz metal yüzey, b) HIGP

Sievenpiper HIGP içerisine gömülmüş yama tarafından yüzey dalgalarının bastırılabilineceğini de göstermiştir. Şekil 2.10 'da yüzey dalgalarının bastırılması gösterilmiştir. Bu engelleme en çok yamalar arasındaki boşluklar sayesinde gerçekleşmektedir. Anten HIGP içerisine gömüldüğünde daha az geri dönüş kaybı oluşmuştur. Ters yönde ışılan dalgalar sıradan metallere karşılaştırıldığında büyük ölçüde azalmış, geri yönde daha az güç kaybı yaşanmıştır. (Sievenpiper ve arkadaşları, 1999: 2068)

Dizi anten kublaj karakteristiği Broas ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. HIGP üzerinde cep telefon anten dizisi dizayn etmişler, HIGP bant boşluğunu bulmuşlar ve dizi elemanlar arasındaki kublaj minimize edilmiştir. (Broas ve arkadaşları, 2005: 1377-1381).

### 2.2.2. Yüzey Dalgaları İçin İletim Hattı Modeli

Periyodik iletim hattı metodu ; EBG yapıları tanımlamak için önerilen diğer analitik bir metoddur. Şekil 2.7. 'deki gibi iki boyutlu bir EBG yapı için her bir bölümün empedansı iletim hattı teorisi kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra periyodik devreler teorisi kullanılarak tüm yapı basamaklı olarak bir araya getirilmiştir.

Şekil 2.9. EBG yapıların iletim hattı modelini gösterir. Periyodik yapının iki düğümü arasında toplam empedansa iki katkı ( $Z_p$  ve  $X_c$ ) vardır. Şekil 2.7. 'deki gibi merkeze kısa devre pini yerleştirilmiştir. Burada rezonans anında endüktans değerleri aşağıdaki denklemde görülmektedir;

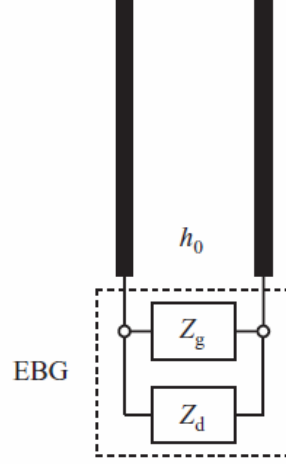
$$L = 2 \times 10^{-7} h \left[ \ln \left( \frac{2h}{r} \right) + 0.5 \left( \frac{2r}{h} \right) - 0.75 \right] \quad (2.5.)$$

Her bir rezonatör bölümünün empedansı  $Z_p$  , iyi bilinen iletim hattı formülü kullanılarak hesap edilir ;

$$Z_p = Z_0 \frac{Z_1 + jZ_0 \tan(\beta_u l)}{Z_0 + jZ_1 \tan(\beta_u l)} \quad (2.6.)$$

$Z_0$  karakteristik empedans,  $\beta_u$  iletim hattı faz sabitidir. Mantar tipi EBG yapılar, alt tabaka özellikleri ve hat genişliği ile mikroşerit hatlara benzerler. Rezonatörler arasındaki  $X_c$  kublaj kapasitörü (2.3.) kullanılarak da hesaplanabilir.

EBG yapı bir pasif empedans  $Z$  ile bir iletim hattı periyodiksel yükü gibi hesaplanabilir.  $Z$  değeri paralel bağlı  $Z_p$  ve  $X_c$  'den oluşmaktadır.



Şekil 2.11. Düzlem dalga için eşiti iletim hattı modeli.

$a$  periyodikliğinde bir sonsuz, kayıpsız periyodik yapı faz katsayısı  $\beta$  'dir.

$$\cos(\beta a) = \cos(\beta_u a) + j \frac{Z}{2Z_0} \sin(\beta_u a) \quad (2.7.)$$

Kayıpsız rezonatör için  $Z$  sanaldır, farklı frekanslarda, tekabül eden yayılım katsayısı (2.7.) kullanılarak hesaplanır ve böylece saçılma diyagramı elde edilir. Bu metot mantar tipi EBG yapıları analiz etmek için kullanılmaktadır ve tek düzlem EBG yapılar için memnun edici sonuçlar elde edilir. Bu metodun bir zorluğu keyfi geometriler ile genel EBG yapılar için  $Z_p$  ve  $X_c$  eşit değerlerinin kesin olarak nasıl elde edileceğidir. Ek olarak önerilen metot sadece yatay yönde yayılan yüzey dalgalarını analiz etmek için kullanılmaktadır. Düzlem dalgalar için uygun değildir.

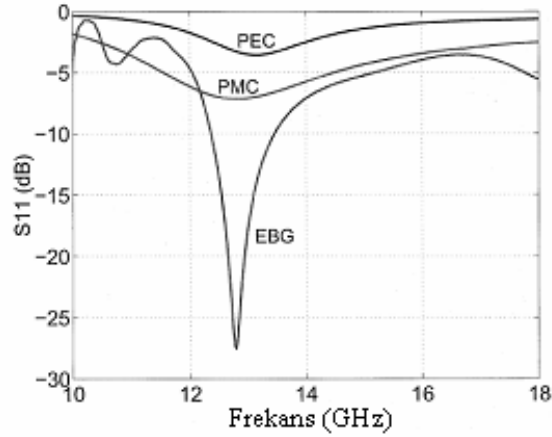
### 2.3. PEC, PMC, HIGP Zemin Düzlemi Karşılaştırılması

Yang ve Rahmat-Samii zemin düzlemi üzerine yatay olarak yerleştirilen bir dipol anten üzerinde çalışmışlardır. PEC, PMC, HIGP yüzeyleri her biri zemin düzlemi olarak kullanılmış, sonuçlar düşük profil anten dizaynı için karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.12. Dipol anten denemeleri, a) Dipol anten PEC ve PMC üzerinde, b) Diplo anten HIGP üzerinde.

Şekil 2.12. 'de gösterildiği gibi HFSS programında PMC yüzey tanımlanabilmesine karşılık gerçek ortamda bu sadece HIGP gibi yapılarla sağlanabilmektedir. Doğada doğal olarak PEC bulunmaz fakat Bakır PEC 'e yakın özellik gösterdiği için uygulamalarda ince bakır levhalar şeklinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.13. Dipol yayılım grafiği, Dipol uzunluğu  $0.40 \lambda_{12}$  GHz, anten yüksekliği  $0.06 \lambda_{12}$  GHz, (Yang ve Rahmat-Samii 2003).

EBG yüzeyin yansıma fazı  $-180^\circ$ 'den  $180^\circ$ 'ye değişir. Belirli frekans bantlarında düşük profil dipolün zemin düzlemi olarak EBG yüzeyi başarılı bir şekilde

iş görür. Bu karşılaştırmadan Şekil 2.13. 'de görüldüğü gibi düşük profil tel anten dizaynları için EBG yüzeyin iyi bir zemin düzlem adayı olduğu görülmektedir.

#### 2.4. EBG Tanımlaması

EBG yapılar için özellikle frekans bant durduran, bant geçiren ve bant boşlukları gibi karakteristikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu denemeler filtre dizaynlarında, ızgara (gratings), frekans seçici yüzeylerde (FSS), fotonik kristaller ve fotonik bant boşlukları (PBG) gibi yapılarda görülmektedir. Bu yapılar EBG yapıların geniş terminolojisi altında sınıflandırılmıştır.

Genel konuşmada, EBG yapılar tüm polarizasyon durumlarında ve tüm gelen açılar için özel bir frekans bandında EM dalga yayılımını önleyen / destekleyen yapay periyodik (yada bazen periyodik olmayan) nesnelere olarak tanımlanmıştır.

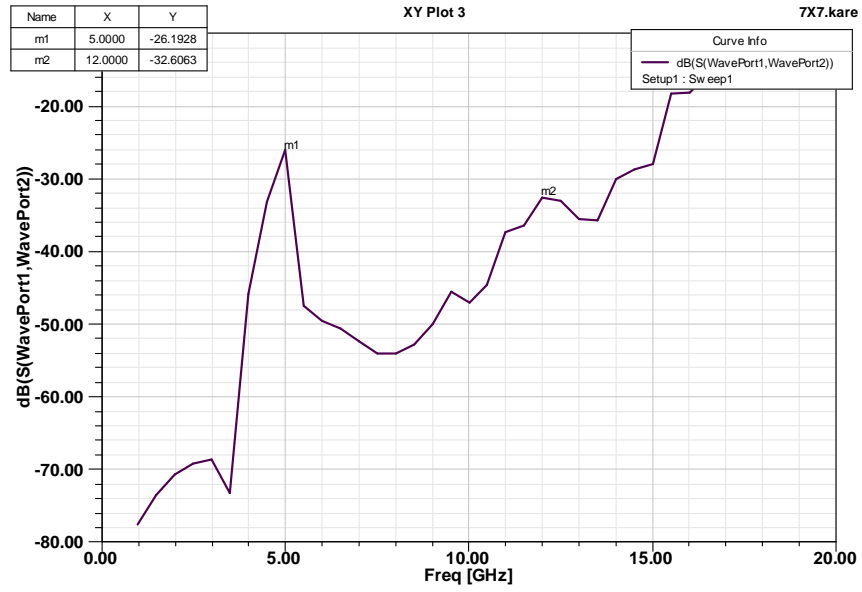
EBG yapılar genellikle metalik iletkenler ve dielektrik malzemelerin periyodik düzenlenmesi ile gerçekleştirilirler. İlk kategori geometrik konfigürasyonlarına göre 3 gruba ayrılırlar. Üç boyutlu hacimsel yapılar, iki boyutlu düzlemsel yüzeyler, tek boyutlu iletim hatlarıdır. İki boyutlu EBG yüzeyler düşük profil, hafif ağırlık, düşük fabrikasyon maliyeti ve anten mühendisliğinde en çok kullanılan yapı ile avantajlıdır. Düzlemsel EBG yüzeyler gelen EM dalga ile ilgili ayırt edici EM özellikler gösterirler.

İkinci kategori EBG yapıların yansıma faz özelliklerini vurgular. Genellikle çok ince profilli iki boyutlu yüzeyler bu kategoride yer alır. Örnek olarak arkasına ince zemin tabaka yerleştirilmiş frekans seçici yüzeyler araştırılmakta ve yansıma fazları karakterize edilmektedir. Bu iki grubu tam olarak belirlemek gerektiğinde mevcut her iki gruba dahil olan elemanlardan dolayı birçok kesişme vardır. Buna rağmen her iki grup arasında bazı farklılıklar vardır. Bazı fazda yansıyan yüzeyler yüzey dalgaları için bant boşluğuna sahip değildir. Örnek olarak boşluk konulmuş periyodik yapılar.

EBG içerisindeki bant boşluğu formasyonu periyodik yapının mikroskobik ve makroskobik rezonansları arasında karşılıklı etkilemeden dolayıdır. Periyodiklik



makroskobik rezonansı yada Bragg rezonansını yönetir. Kafes rezonansı olarak da adlandırılır. Mikroskobik rezonans eleman karakteristiğinden dolayıdır ve Mie rezonansı olarak adlandırılır. İki rezonans uyuştuğunda yapı en büyük bant boşluğuna sahip olur. Dalganın polarizasyonuna ve yapısal karakteristiğine bağlı olarak rezonans mekanizması (mesela çoklu saçılma rezonansı yada tek eleman saçıcı rezonansları ) diğerlerini bastırabilir. Belirli frekanslarda bant durdurmanın karakteristik özellikleri EBG kullanımını birçok denemede mümkün kılar. Bant durduranda tüm EM dalgalar geriye yansıtılır ve yapı aynaya benzer bir davranış gösterir.



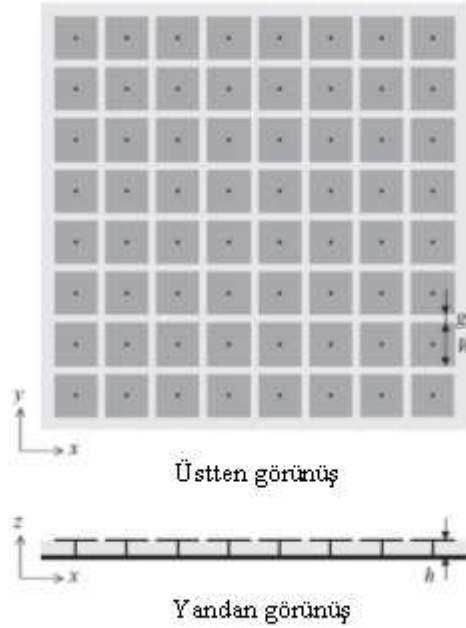
Şekil 2.14. EBG yapı  $S_{21}$  Sonucu.

Şekil 2.14. 'de  $m_1$  ve  $m_2$  ( 5GHz-12GHz ) arasında elektromanyetik bant boşluğu oluşmuştur. Yapıların temel prensibi Şekil 2.6. 'da gösterildiği gibi yapı içerisine yerleştirilen iki anten vasıtası ile  $S_{21}$  antenler arası iletim incelenmektedir.  $S_{21}$  'e bakıldığında temel mantık EBG 'nin oluşturulduğu bölgelerde anten yayılımı güzel olduğu için ters mantık anten yüzey dalgalarından etkilenmemiş ve dolayısı ile yüzey dalgalarının oluşmadığı ve bu yapının EBG 'nin oluştuğu frekanslarda kullanım için uygun olduğu düşünülmektedir. EBG sadece iki anten arasındaki yüzey akımlarının incelenmesinden dolayı yapının farklı bölgelerindeki yüzey akımları oluşumu için bir sonuç garanti etmez. Bu sebepten dolayı anten denemelerinin yapılması gerekmektedir.

Çoğu antenin küçük ve geniş bantlı olması istenir. Klasik olarak küçük boyut ve geniş bant kazanmak için, yüksek dielektrik sabitli ve kalın alt tabakalı antenler üretilmektedir. Bunun iki dezavantajı vardır. İlki yüksek dielektrik malzeme yüksek değere sahiptir ve alt tabakanın kenarlarından istenmeyen modlar yayılmaya başlar. Kalın alt tabaka maliyet, hacim ve ağırlık bakımından kullanışsızdır.

## 2.5. EBG Yapı Parametrik Çalışması

EBG yapı EM özellikleri yapının fiziksel boyutları ile belirlenir. Dört ana parametre  $w$ ,  $g$ ,  $h$ ,  $\epsilon_r$  'dir. Bu parametrelerin etkileri EBG yüzey dizaynlarının daha iyi tasarlanmasında yardımcı olması açısından araştırılması önem arz etmektedir. Çubuk kalınlığı  $r$ , çok ince olmasından dolayı etkisi önemsizdir.



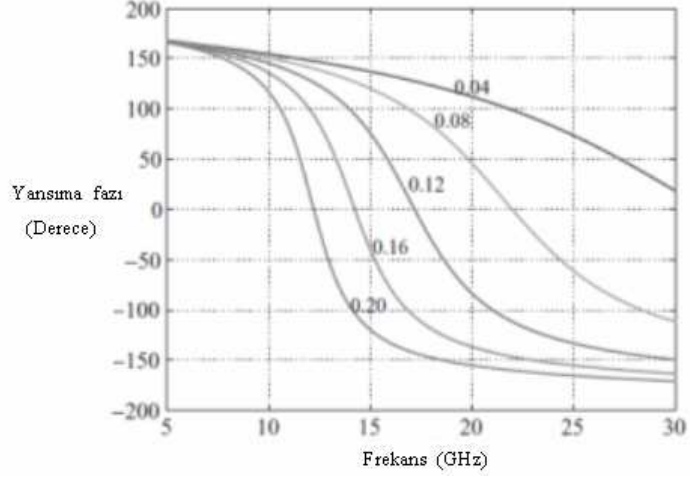
Şekil 2.15. Mantar benzeri kare EBG yapı geometrik şekli.

Bu çalışmada FDTD/PBC tekniği, EBG yapının yansıma fazını karakterize etmek için kullanılmaktadır.

$$w=0.12\lambda_{12GHz}, \quad g=0.02\lambda_{12GHz}, \quad h=0.04\lambda_{12GHz}, \quad \epsilon_r=2.20, \quad r=0.005\lambda_{12GHz} \quad (2.8.)$$

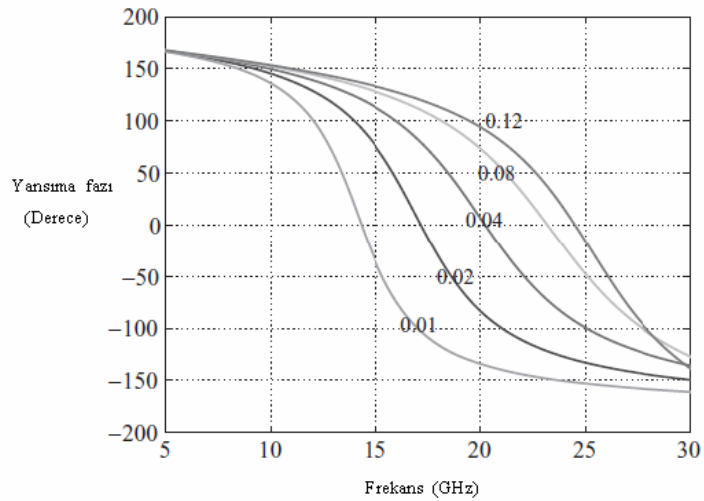
### 2.5.1. Yama Genişliği Etkisi

Yama genişliği rezonans frekansının belirlenmesinde önemli bir rol oynar. EBG yama genişliğinin etkisi incelendiğinde diğer etken parametreler (2.8.) 'deki gibi sabit tutulmalıdır. Yama genişliği ;  $0.04 \lambda_{12GHz}$  'den  $0.20 \lambda_{12GHz}$  'e değiştirilmektedir.



Şekil 2.16. EBG yansımaya fazı yama genişliği etkisi.

Yama genişliği artırıldığında ;  $0^\circ$  için rezonans frekansı yansımaya fazı azalır. Kıvrımın eğimi dar bir bant genişliği gösteren rezonans yakınlarında dik duruma gelir. Pasif LC model kullanarak bu olgu açıklanabilir.



Şekil 2.17. Yama boşluğunun EBG yansımaya fazı üzerindeki etkisi.

(2.9.) 'a göre daha geniş yama genişliği, daha büyük C kapasiteyi yönlendirir. Böylece frekans azalır ve bant genişliği daha dar hale gelir.

### 2.5.2. Boşluk Genişliği Etkisi

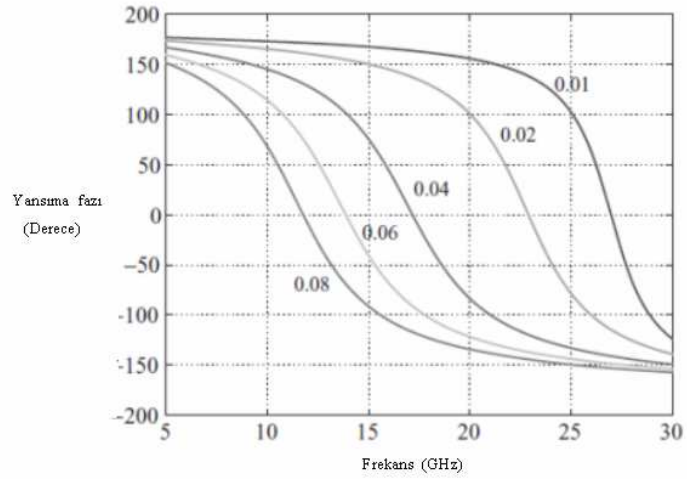
Boşluk genişliği  $g$ , EBG yama birimleri arasındaki kublajı kontrol eder. Bu yüzden boşluk genişliği değişimi EBG yüzeyinin frekans bandını da etkiler. Bu araştırmalar esnasında diğer değişkenler sabit tutulmaktadır. Boşluk genişliği  $0.01 \lambda_{12GHz}$  'den  $0.12 \lambda_{12GHz}$  'e artırılır. Boşluk genişliği  $0.12 \lambda_{12GHz}$  artırıldığında boşluk genişliği yama genişliğindeki gibi değişim gösterir. Yama genişliği artırıldığında ;  $0^\circ$  için rezonans frekansı ve yansıma fazı azalır.

Şekil 2.17. Farklı bant genişlikleri ile EBG yüzeylerin yansıma fazlarını gösterir. Boşluk genişliği değişimi yama genişliğinin etkisi ile terstir. Boşluk genişliği arttığında rezonans frekansı artar. Bu arada kıvrımların eğimi geniş bant genişliğini gösteren rezonans yakınında düz hale gelir. Pasif LC modele göre boşluk genişliğinin artırılması C kapasite değerini azaltacaktır. Böylece rezonans frekansı ve bant genişliği artar.

### 2.5.3. Alttabaka Kalınlık Etkisi

Frekans azaltıldığında bant genişliği de daha dar hale gelir. Bu alt tabaka kalınlığını  $h$  ayarlayarak kazanılabilir. Alttabaka kalınlığı  $0.01 \lambda_{12GHz}$  'den  $0.08 \lambda_{12GHz}$  'e değiştirilmektedir. Alttabaka kalınlığı dalga boyu ile karşılaştırıldığında daima küçük olmalıdır. Çünkü pratik denemelerde ince EBG tercih edilir.

Şekil 2.18. 'de farklı alt tabaka kalınlıkları ile yansıma fazları gösterilmektedir. Alt tabaka kalınlığı yükseltildiğinde frekansın azaldığı gözlemlenmiştir. Bu yama genişliği etkisi ile benzerdir. Ancak kıvrımların eğimleri düz hale gelir ve alt tabaka kalınlığı ile alt tabaka genişliği artar.

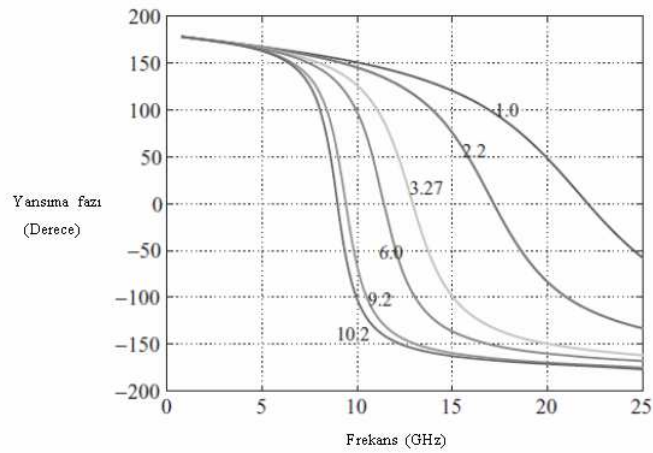


Şekil 2.18. Alttabaka kalınlığının EBG yansımaya fazı üzerindeki etkisi .

Bu olgu LC model ile de açıklanabilir. Alt tabaka kalınlığı yükseltildiğinde eşdeğer endüktans L artar. Böylece frekans azalır ama bant genişliği artar.

#### 2.5.4. Alttabaka Elektriksel Geçirgenliği Etkisi

Alttabakanın bağıl elektriksel geçirgenliği  $\epsilon_r$ , dielektrik sabiti olarak da isimlendirilir. Frekans davranışını kontrol etmek için kullanılan diğer bir etkin parametredir. Genellikle ticari RT/duroid alt tabaka kullanılır.

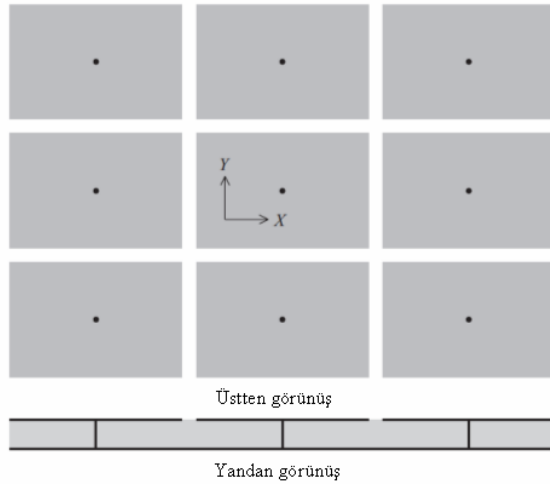


Şekil 2.19. EBG yansımaya fazı üzerinde  $\epsilon_r$  alt tabaka dielektriğinin etkisi.

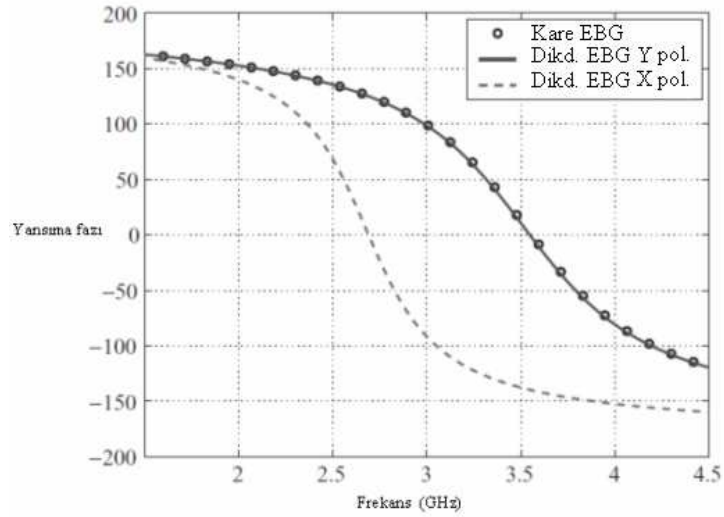
Şekil 2.19. 'da çeşitli dielektrik sabitli EBG yüzey yansıma fazları gösterilmektedir. Alttabaka olarak hava kullanıldığında, EBG yüzey en yüksek rezonans frekansı ve en geniş bant genişliğine sahiptir. Dielektrik artırıldığında, rezonans frekansı azalır. Bu sebeple de bant genişliği yapar. Böylece EBG hücre boyutunu azaltmak için yüksek dielektrik sabiti alt tabaka kullanılmalıdır. Bu etki mikroşerit yama anten dizaynına benzemektedir. Her ne kadar önceki çalışmalar EBG yapıların faz yansıma özelliklerini araştırmaya odaklanmış olsalar da yüzey dalga bant özellikleri için benzer parametre etkileri gözlemlenmiştir.

## 2.6. Dikdörtgen Yama EBG Yüzey

Ticari mantar benzeri EBG yapı kare yama birim olarak kullanılır. Bu yüzden yansıma fazı polarizasyon bağımsızdır. Polarizasyon bağımlı yansıma fazı için kare yama yerine dikdörtgen yama yerleştirmek gerekmektedir Şekil 2.20. Farklı L ve W değerlerinden dolayı EBG yüzey yansıma fazı gelen düzlem dalganın x yada y polarizasyon durumu üzerinde bağımlı hale gelir. Şekil 2.21. 'de kare ve dikdörtgen yansıma faz sonuçları karşılaştırılmıştır. Gelen düzlem dalga y-polarize olduğunda dikdörtgen yama EBG yüzey kare ile aynı yansıma fazına sahiptir. Çünkü yama genişlikleri aynıdır. X-polarize gelen düzlem dalga için yama uzunluğu L faz yansımasının tanımlanmasında baskın rol oynar. Çünkü L , W 'den daha uzundur, yansıma faz kıvrımları daha düşük frekanslara kayar. 3 GHz yakınlarında EBG yüzeyi x-polarize dalga için -90 derece yansıma fazı ve y-polarize dalga için +90 yansıma fazı gösterir. Böylece ortagonal polarizasyon arasındaki faz farkı  $180^\circ$  'dir.



Şekil 2.20. Polarizasyon bağımlı EBG yüzey.



Şekil 2.21. Dikdörtgen kare yama EBG faz yansıma karşılaştırması.

Dikdörtgen polarizasyon bağımlı boşluk ise yoğun boyuta sahip dikdörtgen EBG yapı iki farklı polarize edilmiş düzlem dalgaya uyuşan iki farklı frekans bandı elde edebilir.

## 2.7. EBG Yapılı Yama Antenler

EBG yapıların yüzey dalga bant boşluk özellikleri anten kazancını artırmak geriye lurları azaltmak ve dizi elemanlarda ortak bağlaşımı azaltmak için yardımcı olur. Temiz bir EBG için -20dB altında ve EBG içerisindeki düşmenin dışarıya göre 10dB den daha fazla olması istenir. HIGP 'de PEC de olduğu gibi anten ile arka düzlem arasına  $\frac{1}{4}$  dalga boyu aralık koymaya gerek yoktur. Bu avantajdan dolayı HIGP 'li yapı daha kompakt bir hal alabilme özelliğine sahiptir.

## 2.8. Yüksek Dielektrik Alttabaka Üzerinde Yama Antenler

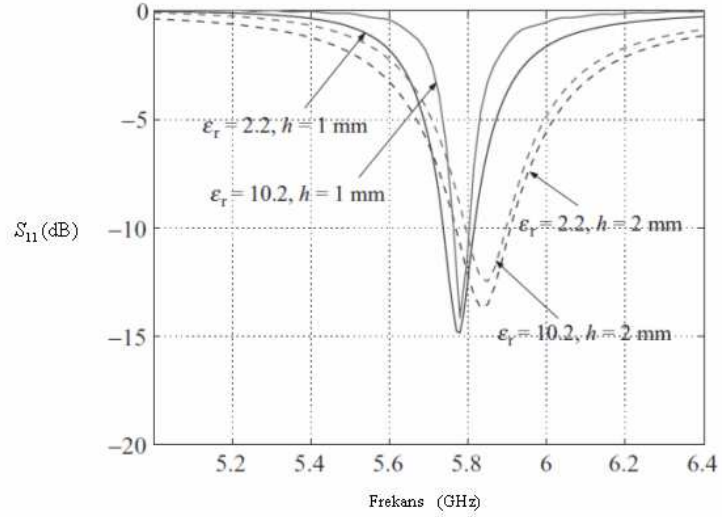
Mikroşerit yama antenler wireless iletişimde düşük profil, hafif ağırlık ve düşük fiyatlarından dolayı sıkça kullanılmaktadır. Mikroşerit yama antenler anten boyutları işlemsel dalga boyu tarafından ve bant genişliği rezonansının Q faktörü tarafından belirlenmekte olan rezonans tip antendir. Mikroşerit anten dizaylarında bir önemli araştırma konusu mikroşerit antenlerin dar bant genişliklerini genişletmektir. Parazit yamalar bir çoklu rezonans devresine form vermek için kullanılmaktadır. Bu şekilde işlemsel bant genişliği gelişmektedir. Parazit yamalar ana yama ile aynı katmana yerleştirilmektedir. Çoklu katman mikroşerit anten parazit yamaların ana yamanın tepesine yerleştirilmesi ise araştırılmaktadır .Çoklu rezonans davranışı metal yama içerisine boşluklar dahil edilerek gerçekleştirilebilir. U boşluk anten, E şekil yama anten örnekleri mevcuttur.

Mikroşerit anten dizaynlarında başka bir önemli konu yama anten boyutunu minimize etmektir. Klasik yarım dalga boyu boyutları modern taşınabilir iletişim aletlerinde göreceli olarak büyüktür. Kısa devre pinleri, boşluk koyma, dolanbaçlı mikroşerit hatlar gibi birçok çeşitli yaklaşım önerilmektedir. Alttabakanın dielektrik sabitini artırmak anten boyutunu küçültmenin başka basit bir yoludur.

Yüksek dielektrik sabiti altyapılarda mikroşerit antenlerin denemeleri onların sıkıştırılmış boyutları ve tek parça mikrodalga entegreli devreler ile uygunluğundan dolayı üzerlerine olan ilgi artmaktadır. Ancak yüksek dielektrik sabiti altyapıların



kullanımlarında birkaç zorluk vardır. Alt tabakada güçlü yüzey dalgalarının uyarılması ile sonuçlanan dar bant genişlikleri düşük radyasyon etkinliği ve zayıf radyasyon paternleridir.

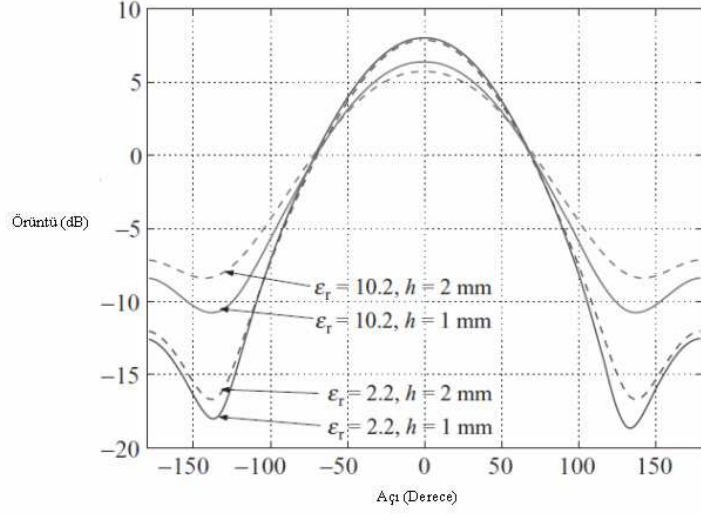


Şekil 2.22. Farklı alt tabaka kalınlıkları ve dielektrik sabitleri ile yama anten dönüş kayıpları karşılaştırılması .

Dar bant genişliği alt tabaka kalınlığının artırılması ile artırılabilir. Ancak güçlü yüzey dalgalarını başlatacaktır. Sonuç olarak radyasyon etkinliği ve anten paterni daha fazla düşecektir.

Çizelge 2.1. Farklı alt tabaka kalınlıkları ve farklı dielektrik sabitleri ile yama anten karşılaştırılması.

Durum	$\epsilon_r$	$h$ (mm)	Yama boyutu (mm)	Band genişliği (%)	Yönlülük (dB)
1	2.2	1	(16, 9)	1.38%	8.01
2	2.2	2	(15.5, 12)	2.40%	7.86
3	10.2	1	(7.5, 5)	0.61%	6.37
4	10.2	2	(7, 4)	1.71%	5.72



Şekil 2.23. Farklı alt tabaka kalınlıkları ve farklı dielektrik sabitleri ile radyasyon paterni karşılaştırması.

Yüksek dielektrik sabiti alt tabaka üzerindeki mikroşerit antenlerin bant genişlikleri alt tabaka kalınlığını artırma ile kurtarılabilir. Şekil 2.23. 'de dört antenin H düzlem radyasyon paternlerini karşılaştırmaktadır.

Bu olgu alt tabakada yüzey dalgalarının uyarımı ile açıklanabilir. Yüksek dielektrik sabit ve alt tabaka kullanıldığında güçlü yüzey dalgaları uyarılmaktadır. Bu radyasyon etkinliği ve yönünün azalmasına sebep olur. Ek olarak yüzey dalgaları saçaklardan dağıldığında geriye radyasyon tipik olarak artar.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Hesaplamasal EM 'deki süreç, büyük ölçüde yeni anten dizaynlarının hızlı gelişimine katkı sağlamaktadır. MOM, FEM, FDTD gibi çeşitli nümeriksel teknikler yıllardır geliştirilmektedir. Nümerik ticari yazılım paketleri ortaya çıkması ile bu sayede araştırmacılar bu yazılımlardan istifade ederek birçok yeni ve etkin anten yapıları tasarlayabilmektedir.

EBG yapıların karmaşıklığından dolayı yapıları analitiksel metotlarla karakterize etmek genellikle zordur. Bunun yerine gelişmiş nümerik metot temelli tüm dalga (full wave) simülasyonlar EBG analizinde popüler olarak kullanılmaktadır. Dağılım diyagramı, saçılma parametreleri ve yansıma faz özellikleri farklı EBG yapılar için araştırılmaktadır.

HFSS : 3D hacimsel pasif alet modellemesi için bilindik Microsoft Windows grafiksel kullanıcı ara yüzlerinin avantajlarından yararlanan yüksek performans full dalga elektromanyetik alan simülasyonudur. 3D elektromanyetik problemleri çabuk ve doğru bir şekilde çözmek için hayal gücünü, katı modellemeyi ve otomasyonu birleştirerek öğrenmesi kolay bir simülasyon ortamı sağlar. Ansoft HFSS 3D elektromanyetik problemlerinin çözümü için FEM [Finite Element Method, (Adaptive mesh)] 'i kullanır. Brilliant grafik özelliklerini kullanır ve bize eşsiz bir performans ve anlayış sunar. Ansoft HFSS ; S parametreleri, Rezonans frekansı ve Alanlar gibi parametrelerin hesaplanması için kullanılabilir HFSS temel (mesh-göz yığın) element olarak tetrahedron (4 tane üçgen yüzlü olan cisim) kullanan etkileşimli bir simülasyon sistemidir. Bu teknik 3D geometrik özellikle karmaşık yapıya sahip olanları diğer tekniklerin kullanıldığı sürenin çok daha azında çözmeye izin verir. Anten, mikrodalga, filtreler, signal integrity (bütünlük) EMC/EMI chip tasarımı gibi tasarımlarda kullanılabilir.

FEM : Sonlu eleman metodu 1980 'lerin sonlarında ve 1990 'lardaki konu hakkında nitelikli yayınların etkileyici sayıları ile son 40-50 yılda hesaplamasal elektromanyetikte yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 20. yy 'ın bilgisayar devrimi ve en son teknolojik gelişmelerden sonra dünya çevresindeki araştırmacılar ve bilim

adamları tarafında önemli derecede dikkat çeken yüksek derecede çok yönlü nümeriksel bir metottur.

Lineer denklemlerin bir kümesi olarak ilişkilendirilmiş sınır koşulları ile birlikte diferansiyel denklem yönetimini ifade eden ve sonlu elemanlar olarak isimlendirilen daha küçük alt etki alanı içerisinde bir sınır değer problemlerinin alt bölüm geometriksel etki alanına temellendirilen FEM 'in ana konsepti lineer cebir teknikleri kullanarak hesaplamasal olarak çözülebilir bir ortam yaratmaktır. EM 'de FEM konusu geniş yer tutmakta ve geniş bir konu aralığını kapsamaktadır. Bu konulardan bazıları ; vektör elemanları, özdeğer problemleri, aksis simetrik problemleri, Üç boyutlu saçılma ve radyasyon problemleri, mikrodalga ve milimetrik dalga devreleri, absorbe edici sınır koşulları ve mükemmel eşleşmiş katmanlar, hibrit metotları gibi konulardır.

FEM, sınır koşullarının bir kümesi ve diferansiyel denklem tarafından kontrol edilen BVP 'leri çözmek için kullanılan nümeriksel bir tekniktir. Metodun ötesindeki ana düşünce sonlu elemanlar olarak isimlendirilen daha küçük alt etki alanları ile alanların tanımlanmasıdır. Bir eleman içerisinde başlıca bilinmeyen niceliğin dağılımı noktalarda değerler üzerine temellendirilmiş iç değerlendirmelerdir, üretilen düğümle alakalı elemanlar kullanılmış yada kenarlardaki değerler durumunda vektör elemanları kullanılmıştır. İç değerlendirme yada şekil fonksiyonları tamamlanmış bir polinomlar kümesi olmalıdır.

Çözümün kesinliğinin bağılılığı diğer etkenler boyunca bu polinomların derecesi, lineer olabilen ikinci dereceden yada daha yüksek nümeriksel çözüm noktalarında yada discretized-kesiklenmiş alanın kenarlarında başlıca bilinmeyen niceliğin değerleri ile uyuşur.

Çözüm lineer denklemlerin bir sisteminin çözümünden sonra kazanılır. Denklemlerin bir lineer sistemi gibi dizayn etmek için kontrol edilen diferansiyel denklemler ve ilişkili sınır koşulları Galerkin yaklaşımındaki gibi bir avantaj sağlayan-arta kalan (weight-residual) metodu kullanarak yada bir fonksiyonel minimize etme ile bir integro-diferansiyel formülasyon tek bir elemana uygulanmakta ve uygun ağırlık ve

iç değerlendirme fonksiyonlarının sırasıyla kullanılması ile eleman denklemleri kazanılmıştır. Tüm eleman sonuçlarının bir global matris sisteminde çevrimi BVP 'nin tüm etki alanında tasvir edilmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi sonlu eleman denklemlerini kazanmak için iki metot geniş ölçüde kullanılmaktadır. Değişkenel (variational) metot ve avantaj sağlayan-arta kalan metot. Değişkenel yaklaşımı elde bulunan BVP ile ilişkilendirilmiş enerjiyi temsil eden bir fonksiyonel yapı gerekir. Bu fonksiyonel fonksiyonların kendi değişkenlerine sahip argümanları ve bir integral formunda bir fonksiyon açıklamasıdır.

Çoğu mühendis ve bilim adamı fonksiyonların bir fonksiyonu olarak fonksiyonele baş vururlar. Bir BVP için durağan yada hareketsiz çözümü fonksiyonel yöntemini minimize yada maksimize ederek kazanılabilir. Bunun gibi bir çözüm minimum maksimum yada herhangi bir nokta ile uyur. Böyle bir noktanın civarında nümeriksel çözümün durağanlık anlamı bağımlı parametrelerin küçük değişkenleri için daha fazla uyumsuzdur.

Bu herhangi bir diğer noktaya uyuşan bir çözüme daha küçük sayısal hataları karşılaştırmak için çevirir. Bir fonksiyonelin minimize yada maksimize işlemi bağıl değişkenler ve onları sıfıra ayarlamayla ilgili fonksiyonelin parçalı türetmelerini almayı ihtiva eder. Denklemlerin bir kümesi bu formlar sonlu eleman denklemlerini üretmek için alt etki alanı iç değerlendirme fonksiyonlarının uygun seçimi ile 'discretize' edilebilir.

İkinci metot Galerkin metodu olarak bilinen avantaj sağlayan-arta kalan metodudur. Kısmi diferansiyel denklemlerden direk bir arta kalan şekil verme ile başlayan bu metot çalışma altında BVP ile ilişkilendirilmiştir. Basitçe belirlenmiş bu metot fonksiyonel bir kullanım gerektirmez. Arta kalan kısmi diferansiyel denklemlerinin tüm terimlerinin bir tarafa aktarılması ile şekillendirilir. Bu arta kalan daha sonra bir tek elemanın etki alanı üzerinde entegre edilmiş ve bir ağırlık fonksiyonu tarafından çoğaltılmıştır. Bu avantaj sağlayan artakalan metodu olarak isimlendirilmesinin sebebidir. Eğer diferansiyel denklemler ikinci derecedense iki kere

diferansiyellenebilir olan başlıca bilinmeyen niceliği eklemek için kullanılan biçim fonksiyonları gereklidir.

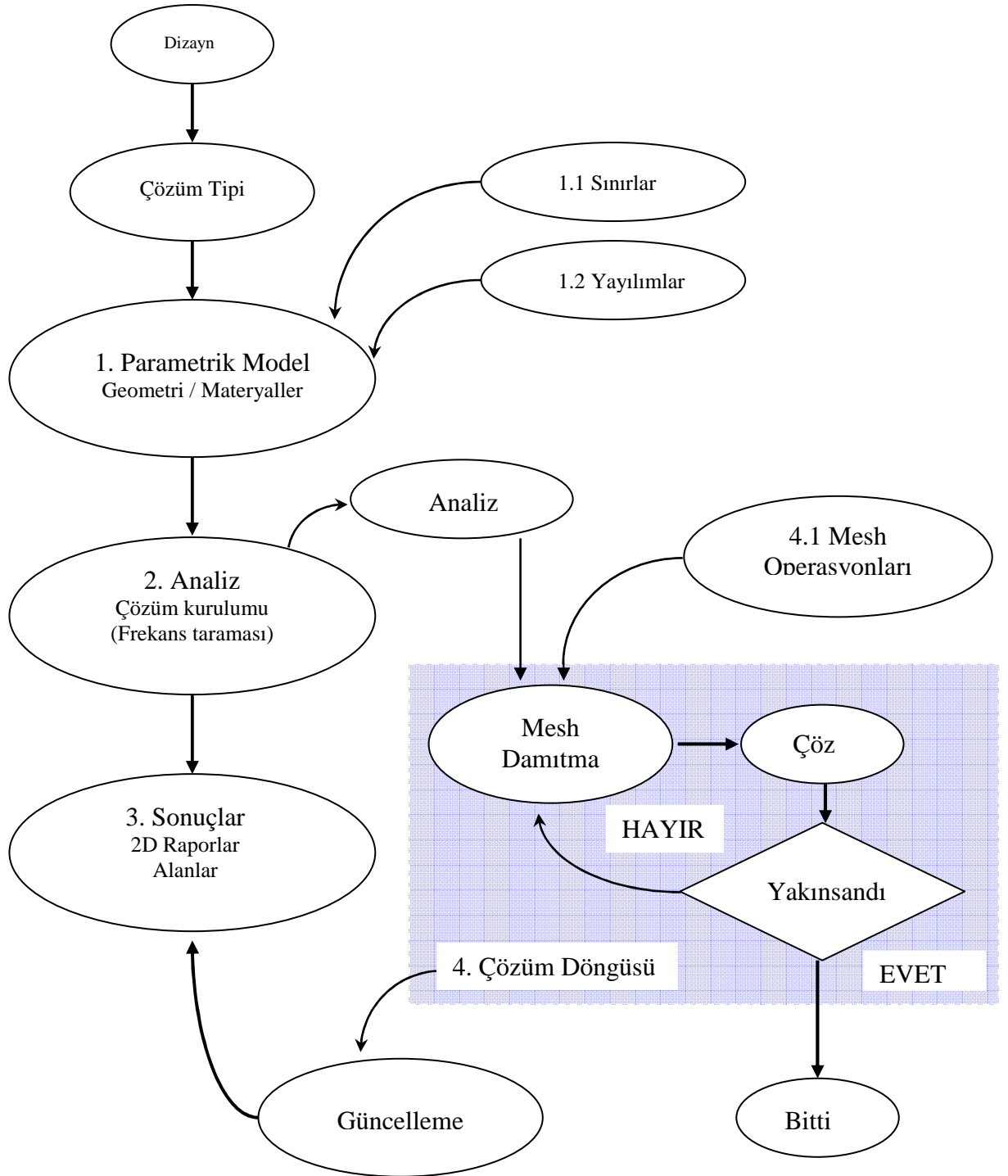
Bu gereklilikler ağırlık fonksiyonları ve iç değerlendirme fonksiyonları arasında eşiti olarak ikinci türetme dağılımı ve parçalar tarafından integrasyon kullanılarak zayıflatılmıştır. Bu bakımdan ilişkilendirilmiş ağırlık fonksiyonları ve iç değerlendirme fonksiyonları sadece bir kere diferansiyellenebilir olması gerekmektedir. Bu zayıflatma gerekliliğinden dolayı özetlenen formülasyona zayıf formülasyon (weak formulation) olarak da isim verilebilir. Ek olarak eğer ağırlık fonksiyonları iç değerlendirme fonksiyonları olarak fonksiyonların aynı kümesinden seçilirse avantaj sağlayan artık metodu Galerkin metot olarak isimlendirilmesi gerektiği vurgulanmalıdır.

Değişken yaklaşımdan daha çok Galerkin yaklaşımı izlenmelidir. Galerkin yaklaşımı olgusundan sebep ‘Stem’ler kontrol edilen diferansiyel denklemlerden direk başlar ve basittir. Sonuç olarak bu metot formülasyonunu içeren basamakları anlamak daha kolay olacaktır. Karşıt olarak değişkenselel metot bir fonksiyonel yapı yapmak için değişken prensipleri bilgisini gerektirir. Bazı iyi bilinen BVP 'ler için uyum işlevselliği daima ulaşılabilir ama değişkenselel tekniklerin kullanıldığı yapı için gerekli durumlar vardır. Matematiksel karmaşıklıklar ve sıkıcı yapı prosedürü gerektiren bir fonksiyondan kaçınmak için değişkenlik yaklaşımı yerine Galerkin yaklaşımını kullanmak daha uygun olmaktadır.

### 3.1. Çözüm Tipi Oluşturma

Çözüm tipi ; sonucun tipini, uyarım şeklini ve yakınsamayı belirtir.

Driven model ; Şekil temelli S parametrelerini hesaplar S matris çözümü dalga rehberi modunun gelen ve yansıyan güç temelleri şeklinde ifade edilir. Çözümde bu çözüm tipi kullanılmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Çözüm akış diyagramı.

### 3.2. Sınır Koşulları

Sınır koşulları objeler arasındaki düzlem, yüzey yada ara yüzün karakteristiğini kontrol etmemize olanak sağlar ve Maxwell denklemlerinin çözümü için temel teşkil eder.

Ansoft HFSS tarafından çözülen dalga denklemleri Maxwell denklemlerinin diferansiyel formundan türetilmiştir. Bu ifadelerin geçerli olması için alan vektörünün tek değerli olduğu farz edilir, türevleri boyunca yayılımın devamlı olması gerekmektedir. Sınırlar veya kaynaklar boyunca alanlar devamsız ise türevlerin anlamı yoktur. Bu yüzden sınır koşulları devamlı sınır boyunca alanların (karşıdan karşıya) davranışını tanımlar.

Uygun olmayan sınır koşulları tutarsız sonuçlara sebep olur. Uygun sınır koşulları kullanıldığında, sınır koşullarından modelin basitleştirilmesi için başarılı bir şekilde faydalanılabilir. Bu Ansoft HFSS tarafından otomatik olarak kullanılır.

Ansoft HFSS : Pasif RF aletleri için sanal bir prototip dünya olarak düşünülebilir. Farklı olarak sonsuz uzay tarafından sınırlandırılmış gerçek dünyaya karşılık sonlu prototip dünya sonsuzluğa ihtiyaç duyar. Bunu sağlamak için Ansoft HFSS geometrik modeli çevreleyen arka plan (back ground) yada dışsal sınır koşullarına (outer boundary condition) baş vurur. Modelin kompleksliği bilgisayar kapasitesine bağlı olarak çözüm süresini etkiler. Bu yüzden model olabildiğince basitleştirilmeli ve simetri özelliği olabildiğince çok kullanılmalıdır.

Üç farklı sınır koşulu vardır. İlk ikisi büyük oranda kullanıcının sorumluluğunda doğru tanımlandığından emin olunması gerekmektedir. Materyal sınır koşulları kullanıcı için açıktır.

Eş eksenli kablo uyarımı olarak iki dalga portu, antenlerde ise bir pasif port kullanılmıştır.



Metaller için mükemmel elektrik (PEC), manyetik yüzeyler (PMC) direkt kullanılmamıştır. Radyasyon yüzeyleri dış sınır olarak kullanılmıştır.

### 3.3. Dalga Portu

Portlar enerjinin içte yayılmasını ve dışarı çıkmasına izin veren tek sınır koşullarıdır. 2D yapılar yada 3D Yapıların yüzeyleri port olarak atanabilir. Bir yapı içerisindeki 3 boyut elektromanyetik alan hesaplamalarından önce her bir port için yayılım alan paterninin tanımlanması gerekmektedir.

Ansoft HFSS port olarak aynı kesiti içerisinde doğal alan paterni yada modları var olan iletim yapılarını hesaplamak için keyfi port çözücü kullanır. 2D alan desenlerini sonuçlandırmak 3D problemlerin sınır koşullarını karşılar.

Ansoft HFSS fabrika ayarı (varsayılan) tüm yapıların kendi içinde hiç enerji yaymayan iletken bir örtü ile tamamen kaplandığını varsayar. İletken örtüye enerjinin nereden girip çıktığını göstermek için yapıda dalga portuna baş vurulur. Dalga portu yerine yapıda pasif port da kullanılabilir. Pasif port yapılarda içsel port modelleme için kullanışlıdır.

Dalga çözümleyici dalga portu tanımını port olarak malzeme özellikleri ve aynı kesite sahip bir yarı sonsuz uzun dalga rehberine birleştirilmiş farz eder. Her dalga portu ayrı ayrı uyarılır ve port üzerindeki her mod ortalama zaman gücünün bir wattını ihtiva eder. Dalga port karakteristik empedans kompleks yayılım sabiti ve genel S parametrelerini hesap eder.

Dalga Denklemi ; Dalga rehberi içerisinde yayılan dalganın alan paterni Maxwell denklemleri ile görülebilir. Takip eden denklemler 2D çözümleyiciler ile Maxwell denklemlerinden türetilerek çözülebilir.

$$\nabla \times \left( \frac{1}{\mu_r} \nabla \times E(x, y) \right) - k_0^2 \epsilon_r E(x, y) = 0 \quad (3.1.)$$

Bu denklemlerin çözülebilmesi için 2D çözümleyicilerin E(x,y) fazör çözüm formu içindeki yayılım alan paternine sahip olmaları gerekmektedir. Bu fazör form z ve t'den bağımsız sadece  $e^{-\gamma z}$  çarpıldığında 'traveling wave' şekline dönüşürler.

Yayılım alan paterni hesaplaması sadece tek bir frekans için geçerlidir. Farklı yayılım alan paternleri için alakalı her bir frekans noktası için farklı hesaplama yapılmaktadır.

### 3.4. Analiz Bölümü

Adaptive Mesh : Adaptif mesh yapıları aygıtların elektriksel performansları için bir mesh uyarlamasıdır. Adaptive mesh görevlendirilerek mesh mümkün olan verimli ve en doğru için otomatik olarak ayarlanır. Adaptif meshsiz üretimin doğru mesh sorumluluğu kullanıcıya bırakılmış olur. Bu sıkıcı ve dayanıksızdır. Adaptif mesh ile ilk seferde doğru cevap bulunacaktır.

Adaptif mesh algoritmaları E alanındaki en büyük gradiyenti yada hatayı arar ve bu bölgelerdeki meshi alt parçalara böler. Çözüm bölümünde tetrahedron damıtmaları sayesinde kontrol edilir. 'Tet refinement' bir yüzdendir. Herbir geçiş meshi arasında bunu sağlamak yeterince akıl karıştırır ve yanlış yakınsama almayacağımızı bize garanti eder. Mesh temizlendikten sonra tüm çözüm zaman alır ve işlem yakınsamaya ulaşana kadar tekrarlanır.

Yakınsama : Her bir adaptif geçişten sonra HFSS elde bulunan gözünden önceki gözün sonuçları ile S parametrelerini karşılaştırır. Delta S 'ler yada kullanıcının tanımladığı değer tarafından eğer cevap değişmez ise çözüm yakınsanır seçilen yada önceki göz (mesh) bir frekans taraması gerçekleştirmek için kullanılabilir. Çözüm eğer yakınsanırsa, önceki göz elde bulunan göz kadar iyidir. Bu durumda Ansoft HFSS eğer takip edilmişse frekans taramasını gerçekleştirmek için önceki gözü kullanacaktır.

Delta S : Güz ve çözümler tanımlamaları için kullanılan var sayılan kriterlerdir. Delta S iki ardışık geçiş arasındaki S parametrelerinin büyüklüğünün maximum değişimi olarak tanımlanır.

$$Max_{ij} [Mag (S_{ij}^N - S_{ij}^{N-1})] \quad (3.2.)$$

i ve j tüm matris girişlerini kapsar. N geçiş sayısını sunar. Bu bir vektör özelliğinden dolayı. Sıfır ve iki arasında gerçekleştirilebilir.

Mühendislikteki her şey gibi burada da her kural için kabuller vardır. Ama genel olarak ip uçlarını takip etmek uygun adaptif frekansını seçmemize yardımcı olacaktır.

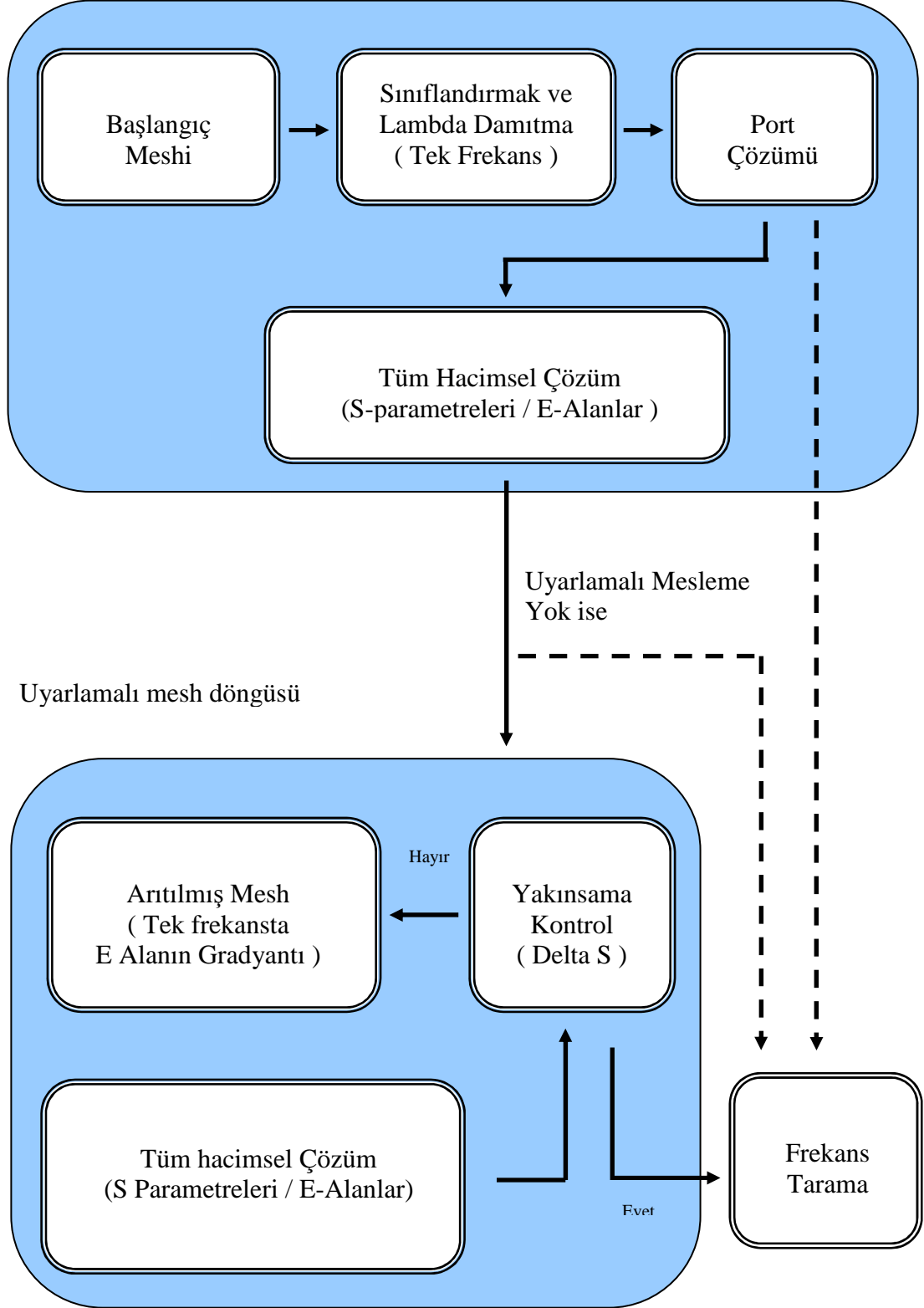
Minimum Geçiş Sayısı : Yakınsama kriterleri eğer uyuşmazsa bile Adaptif analiz 'minimum number of passes' olmadan durdurulamaz ve programın durması için belirli bir deneme sayısı atanmış olması gerekmektedir. Program bu sayıya kadar yakınsamaya devam eder.

İnterpolasyon : İnterpolasyon tarafından uydurulan discrete frekans noktası üzerinden frekans çözmek için çaba sarf eder. Discrete ve fast çözümler yanı sıra interpolasyon çözümü zaman ve doğruluk açısından tavsiye edilir. HFSS 'in ana faydalarından biri yapı içerisinde direk olarak ölçülemeyen elektromanyetik alan içerisinde neler olduğunu bize tasavvur etmemizi sağlar.

Radyasyon paterni : Antenin radyasyon özelliklerinin matematiksel fonksiyon yada grafik gösterimi olarak sunulmasıdır. Çoğu durumda radyasyon paterni uzak alan bölgesinde tanımlanmaktadır ve yönsel koordinatların bir fonksiyonu olarak sunulur. Radyasyon özelliği güç akı yoğunluğu, radyasyon yoğunluğu, alan kuvveti, yönelme fazı yada polarizasyonu içerir.

### 3.5. Çözüm Döngüsü

Başlangıç çözümü



Şekil 3.2. Çözüm döngüsü akış diyagramı.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yüzey dalga bant boşlukları düşük profil tel antenin etkin radyasyonunu garanti etmez. Tel anten ve EBG yüzeyler arasında karmaşık girişimlerin oluşmasından dolayı ve EM dalgalar yatay düzlemde yayılan yüzey dalgaları için kısıtlanmazlar. Bir dipol anten yatay olarak bir EBG yüzeyine yerleştirilmeli ve anten performansı incelenmelidir. Farklı frekanslarda ışyan dipolün geri dönüş kayıpları ve radyasyon paterninin incelenmesi ile EBG yüzeyin işlevsel frekansının yararlı olduğu söylenebilir. İyi geri dönüş kaybı kazanan bir antenin içerisindeki frekans bandı giriş eşleşmiş (input match ) frekans bandı olarak tanımlanır. Açıkça operasyonel frekans bandı yüzey dalga frekans bant boşluğu ve giriş eşleşmiş frekans bandı ile üst üste binmelidir.

*Yansıma faz özelliği giriş eşleşmiş frekans bandını tanımlamak için kullanılabilir mi?*

Bu sorunun sorulmasının temel sebebi; EBG yüzey faz yansımasının hesaplanmasının EBG yüzey yakınlarındaki birkaç dipol antenin radyasyon performansını değerlendirmenin hesaplamasal olarak daha etkin olmasıdır.

$90 \pm 45^\circ$  giriş eşleşmiş frekans bandına çok yakın aralıkta yansıma fazına sahip EBG frekans bölgesi ortaya çıkarılmıştır. Bu EBG yüzeyin PMC yada PEC yüzey gibi davrandığı frekans bölgesi değildir. Quadratik (ikinci dereceden, dörtgen gibi) yansıma fazı, geri dönüş kaybının iyi olması için düşük profil tel antene izin vermektedir. Böylece; Yansıma fazı kısırları EBG yüzeyin giriş eşleşmiş frekans bandını tanımlamak için kullanılabilir.

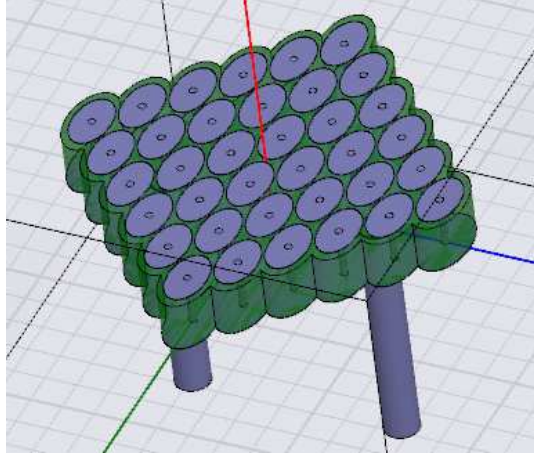
Mantar benzeri EBG yüzey için yüzey dalga frekans bant boşluğu ve giriş eşleşmiş frekans bandı birbirlerine yakın olduğunda etkin operasyonel frekans bandı kazanılabilir. Ancak bu iki frekansın genel yüzeyler için birbirlerine benzer olması gerekli değildir. Bu noktayı daha iyi anlamak için ince zemin tabaka üzerine yerleştirilmiş düşük profil tel anten performansı değerlendirilmelidir. Bu durumda quadratik yansıma fazı elde etmek için yüksek dielektrik sabitine sahip alttabakalar kullanılmaktadır. Tel anten iyi geri dönüş kaybı göstermesine rağmen radyasyon

paternleri geniş taraf yönü ve yönelme yeteneğinin güçlü yüzey dalgalarından dolayı azalması ile çatallaşma göstermektedir. Giriş eşleşmiş frekans bandı ince zemin tabaka durumunda yüzey dalga frekans bant boşluğu ile üst üste binmez. Böylece etkin operasyonel bant bulunmamaktadır bu yüzden ince zemin tabaka düşük profil tel antenler için etkin olarak çalışmaz.

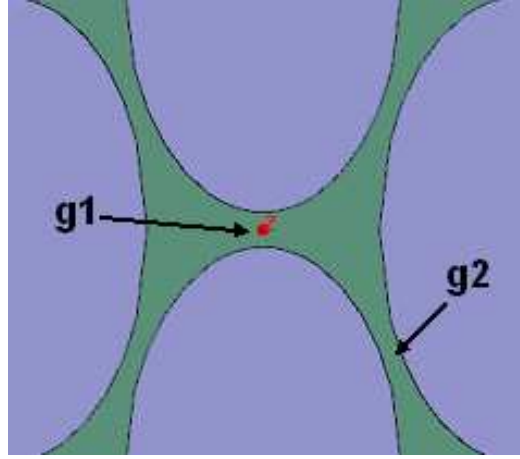
Dipol uzunluğu değiştirilerek rezonans frekansı değiştirilebilir. EBG yüzeyin yansıma fazı frekans ile değişir. Dipolün geri dönüş kayıpları da değişir. Dipol EBG yüzeye uygun yansıma fazına sahip olduğunda iyi geri dönüş kayıpları elde edilebilir. Dipolün farklı frekanslarda geri dönüş kaybı ve radyasyon paternlerini gözlemleyerek düşük profil tel anten dizaynları için, mantar benzeri yüzeylerin kullanışlı operasyonel frekans bandları bulunabilir.

EBG oluşumu diğer parametrelere de bağlı olduğu gibi antenler arasındaki yama sayısı ile doğrudan doğru orantılıdır. Antenler arasında kesik sayısı ne kadar artarsa yüzey akımlarının bastırılması o kadar iyi olacaktır.  $S_{21}$  antenler arasındaki yüzey akımlarının bastırılması ile oluşan EBG 'leri temsil ettiği için önemlidir. EBG 'ler ile yüzey akımlarının bastırıldığı ve yapının EBG 'nin olduğu bölgelerde kullanışlı olduğu anlaşılmaktadır.  $S_{11}$  sonuçları incelenmesinde fayda olup, çok önemli değildir.

#### 4.1. Elips Yapı



Şekil 4.1. Elips çalışması.



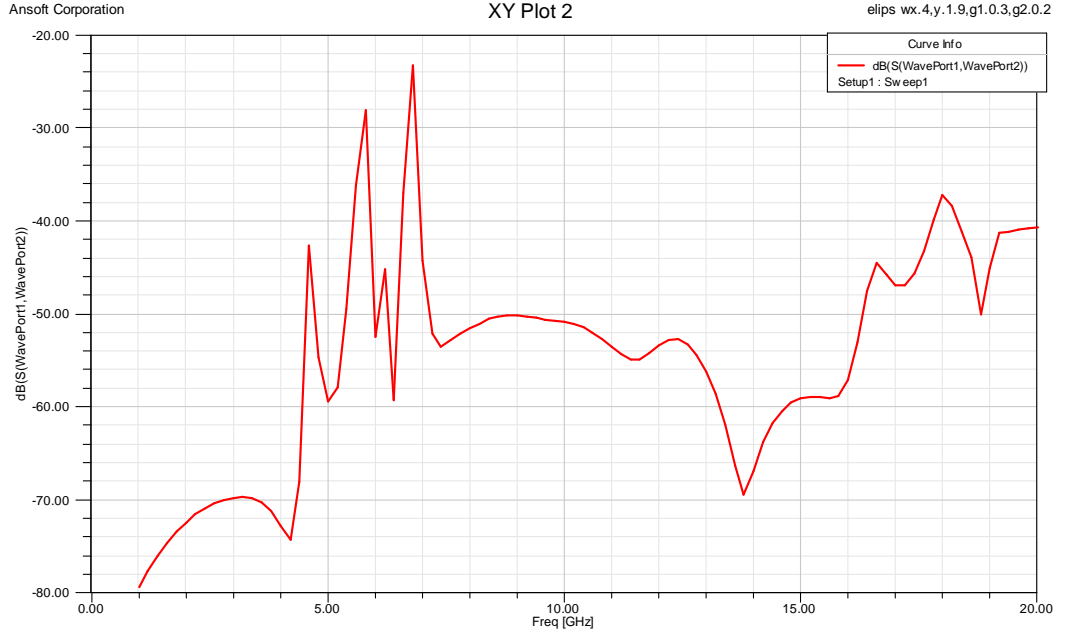
Şekil 4.2. Elips çalışması üstten ayrıntılı görünüş.

Yukarıda da görüldüğü gibi dikey ve çapraz olmak üzere elipsler arasında iki farklı boşluk uzunluğu mevcuttur.  $g_1$  dikey yönde  $g_2$  çapraz yönde boşluğu temsil etmektedir.  $w_x$ , x yönündeki elips yama uzunluğudur.  $w_y = 0.6 w_x$  ve program tarafından otomatik olarak ayarlanmaktadır. Çapraz konuşlandırmadan dolayı  $w_x$  değiştirildiğinde  $g_1$  ayarlanabilmekte fakat elipslerin birbiri ile olan çapraz uzaklığını simgeleyen  $g_2$  tam olarak ayarlanamamaktadır. Bunun için y parametresi ile düzenlemeler yapılmış,  $g_2$  değerine istenilen değerler aldırılmıştır.  $g_1$  ve  $g_2$  elipslerin birbirine en yakın olan değerlerini simgelemektedir. Şimdiye kadar kare, dikdörtgen, daire, gibi temel şekillerin çalışmaları yapılmışsada elips çalışması yapılmamıştır. Elips

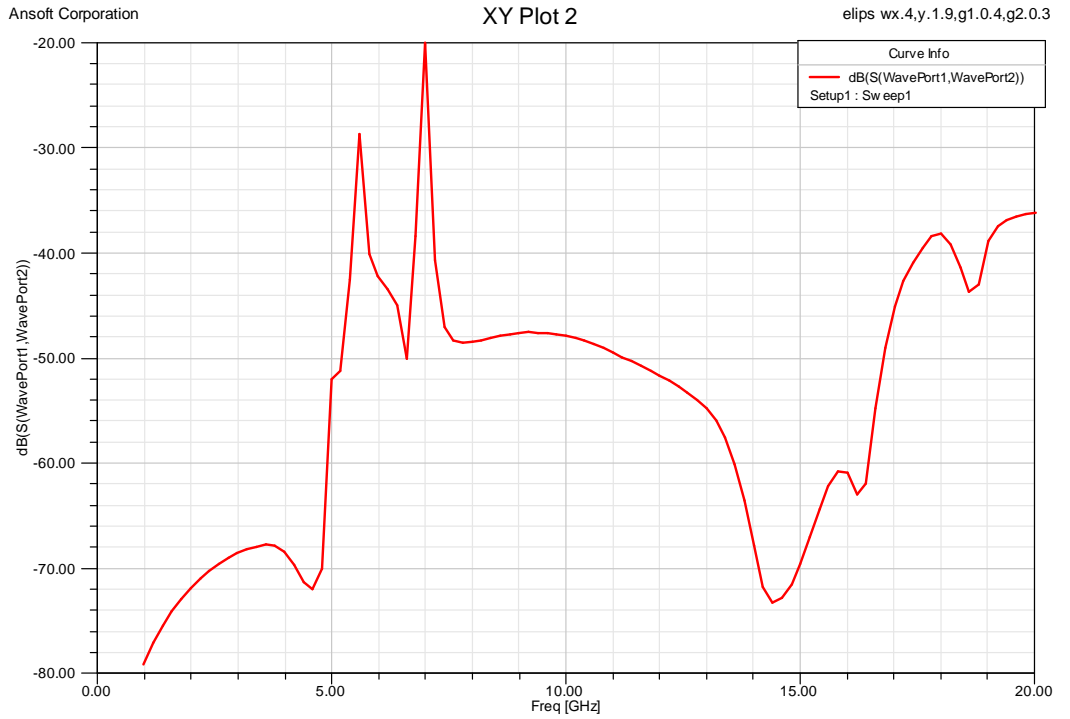
ve daire şekilsel özelliklerine bakıldığında ; kare ve dikdörtgende  $g$  nin her yerde aynı olmasına karşılık elips ve daire farklı olarak  $g$  uzunluğu değişkendir. Bu çalışmada elips yapı incelemesi yapılmıştır.  $wy = 0.6 wx$  bu çalışma için rastgele seçilen bir orandır. İleriki çalışmalar için de bu değer değiştirilerek farklı elipslerin incelemeleri yapılabilir.  $g_1$  ve  $g_2$  Şekil 4.2. 'de gösterilmiş, eşit olarak alındığında  $S_{21}$  değerleri tatmin edici sonuçlar vermemiş bu sebepten dolayı incelemeye alınmamıştır. İyi sonuçlar ;  $g_1 > g_2$  için elde edilmiş 0.1 mm fark ile incelenmiştir. Elipsin yapısal  $g$  değişim özelliğinden dolayı kare yada dikdörtgen gibi sabit  $g$  'ye sahip yapılara göre incelenmesi daha zordur. Bundan dolayı çalışmalarda dikkatli olunması ve değişken her parametrenin sonuca etkisi incelenmesi gerekmektedir.



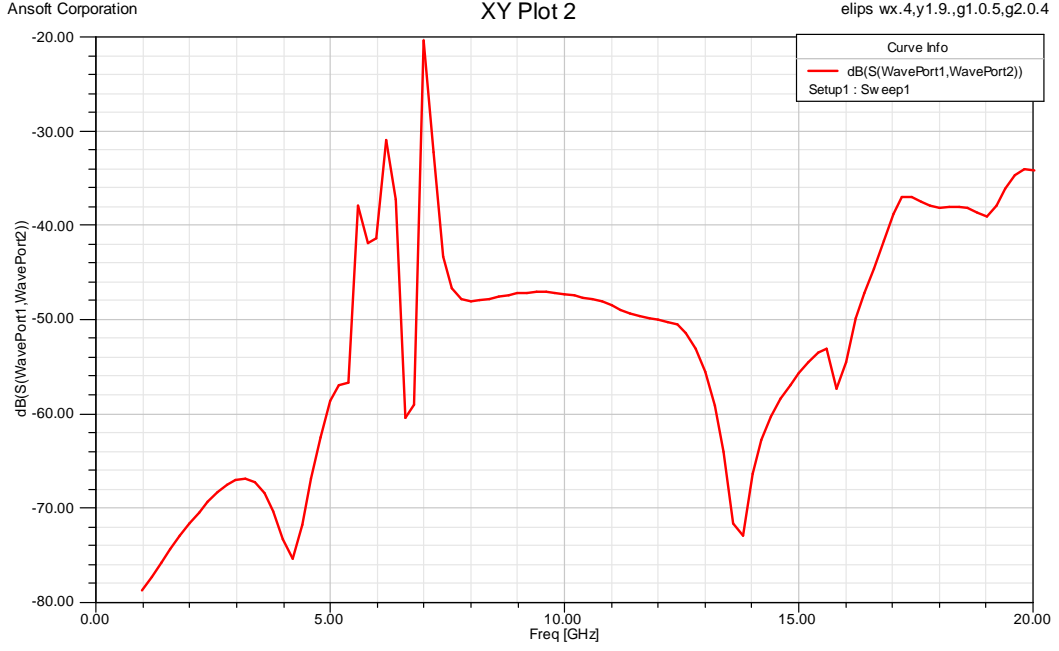
### 4.1.1. Elips g İyileştirmesi



Şekil 4.3. Elips g iyileştirmesi  $w_x=4\text{mm}$  sabit,  $g_1=0.3$ ,  $g_2=0.2\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.  
(7 GHz-18 GHz arasında EBG oluşmuştur.)



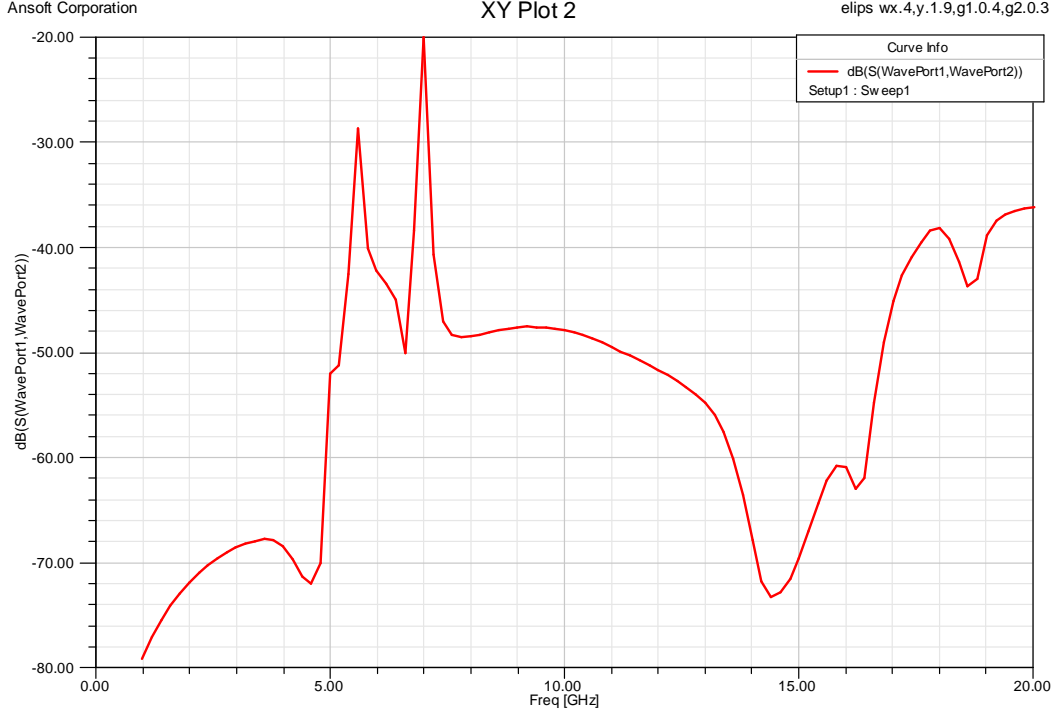
Şekil 4.4. Elips g iyileştirmesi  $w_x=4\text{mm}$  sabit,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.  
(7 GHz-18 GHz arasında EBG oluşmuştur.)



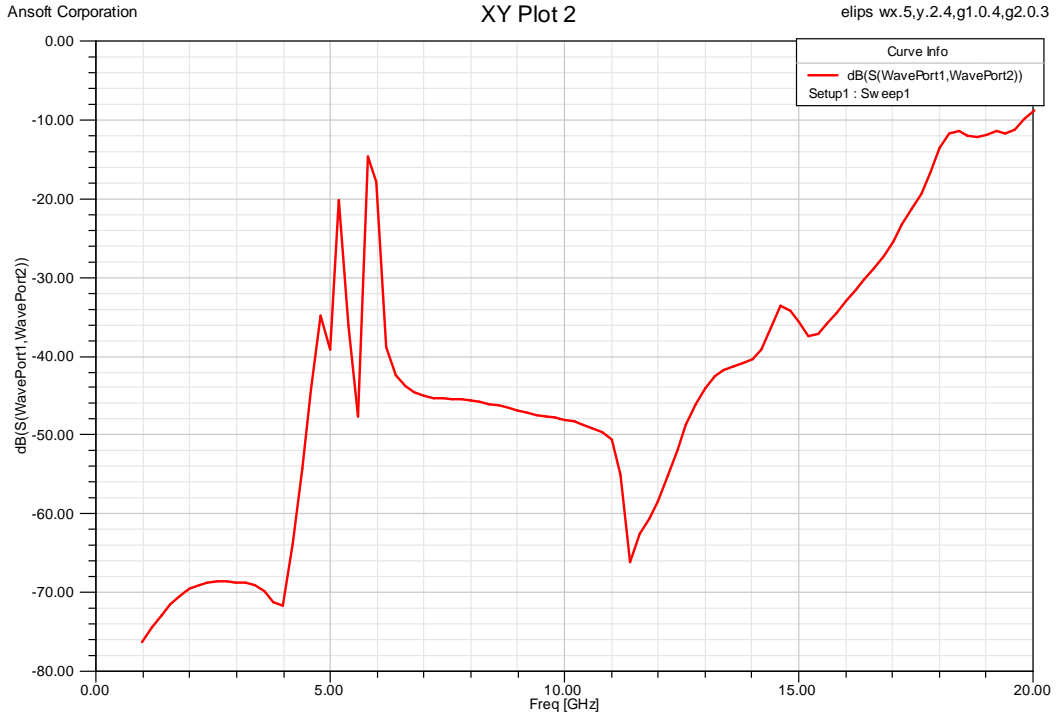
Şekil 4.5. Elips g iyileştirmesi  $w_x=4\text{mm}$  sabit,  $g_1=0.5$ ,  $g_2=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.  
(7.3 GHz-17.1 GHz arasında EBG oluşmuştur.)

Şekil 4.3. Elips g iyileştirmesi  $w_x=4\text{mm}$  sabit,  $g_1=0.3$ ,  $g_2=0.2\text{mm}$ , 7 GHz-18 GHz arasında 11GHz 'lik EBG oluşmuştur. Şekil 4.4. Elips g iyileştirmesi  $w_x=4\text{mm}$  sabit,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$ , 7 GHz-18 GHz arasında 11 GHz ' lik EBG oluşmuştur.Şekil 4.5. Elips g iyileştirmesi  $w_x=4\text{mm}$  sabit,  $g_1=0.5$ ,  $g_2=0.4\text{mm}$ , 7.3 GHz-17.1 GHz arasında 10.8 GHz 'lik EBG oluşmuştur. Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. aynı değerlere sahip olmasına karşılık Şekil 4.4. 'deki EBG 'nin daha temiz olmasından dolayı  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$  değerleri g iyileştirme sonucu olarak ele alınmıştır.

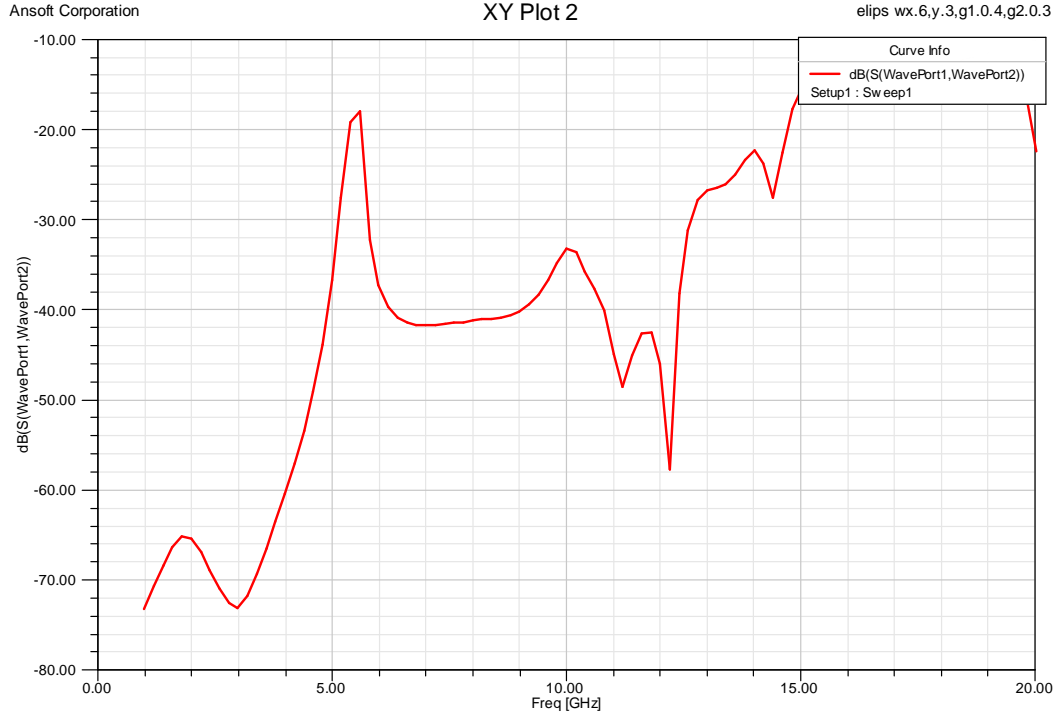
### 4.1.2. Elips wx İyileştirme



Şekil 4.6. Elips wx iyileştirme  $w_x=4\text{mm}$ ,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.  
(7 GHz-18 GHz arasında EBG oluşmuştur.)



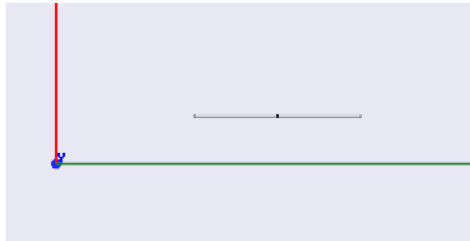
Şekil 4.7. Elips wx iyileştirme  $w_x=5\text{mm}$ ,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.  
(6 GHz-17.5 GHz arasında EBG oluşmuştur.)



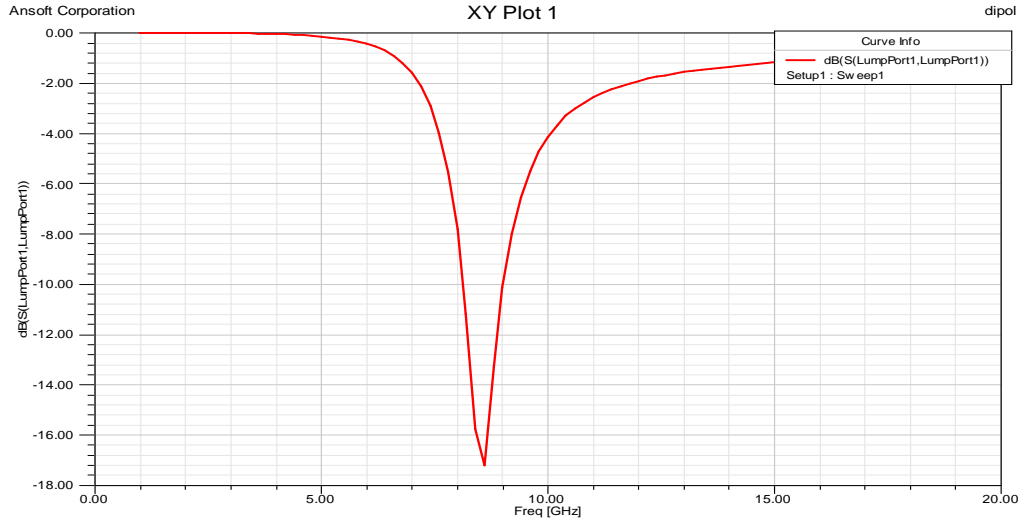
Şekil 4.8. Elips wx iyileştirmesi  $w_x=6\text{mm}$ ,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (5.6 GHz-14.7 GHz arasında EBG oluşmuştur.)

Şekil 4.6. Elips wx iyileştirmesi  $w_x=4\text{mm}$ ,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$ , 7 GHz-18 GHz arasında 11GHz 'lik EBG oluşmuştur. Şekil 4.7. Elips wx iyileştirmesi  $w_x=5\text{mm}$ ,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$ , 6 GHz-17.5 GHz arasında 11.5 GHz 'lik EBG oluşmuştur. Şekil 4.8. Elips wx iyileştirmesi  $w_x=6\text{mm}$ ,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$ , 5.6 GHz-14.7 GHz arasında 9.1 GHz 'lik EBG oluşmuştur.  $w_x=5\text{mm}$  en iyi iyileştirme değeridir. Alt yapı değişkenleri olarak  $w_x=5\text{mm}$ ,  $y=2.4\text{mm}$ ,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$ 'dir. Dipol ilk denemede dik, ikinci denemede ise, anten z ekseninde  $90^\circ$  döndürülerek yatay pozisyonda sonuçlar elde edilmiştir.

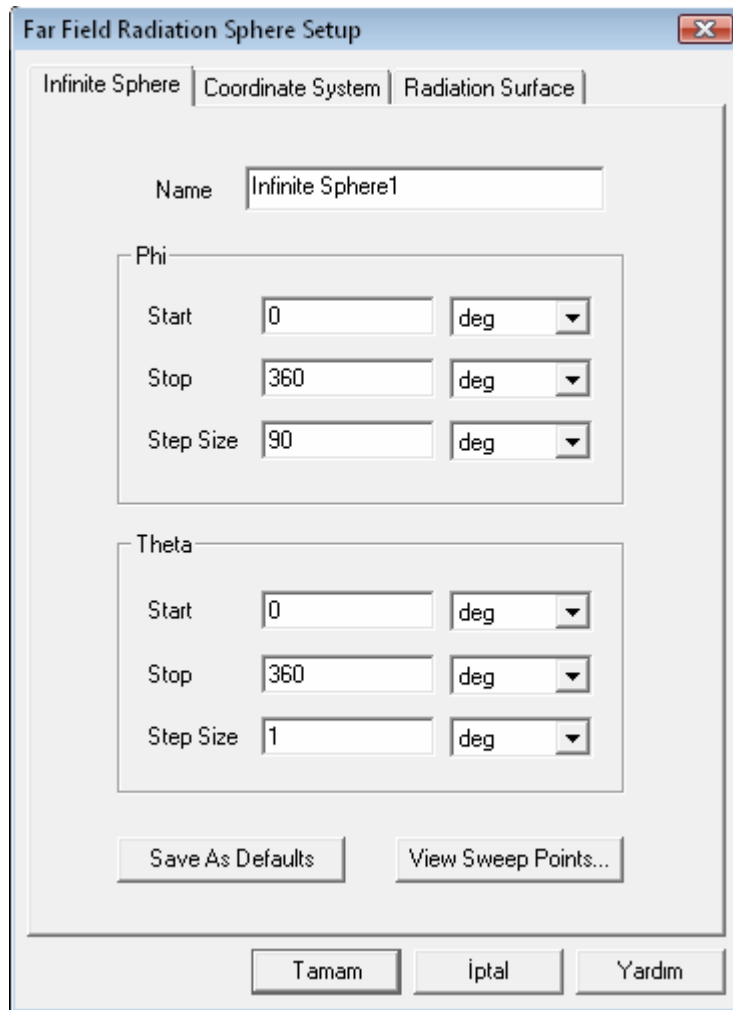
#### 4.1.3. Dipol Anten Şekli ve Işıma Grafiği



Şekil 4.9. Dipol boş ortam tasarım şekli.

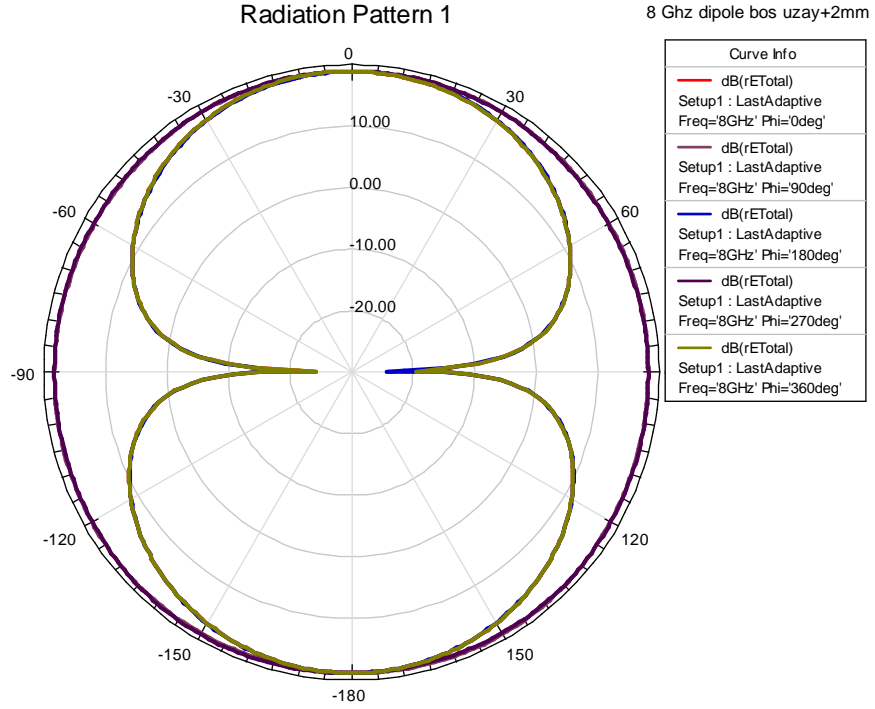


Şekil 4.10. Dipol anten grafiği. Boş ortamda 8.5 GHz de 17 dB 'lik ışıma yapmaktadır.



Şekil 4.11. Uzak alan radyasyon kurulumu.

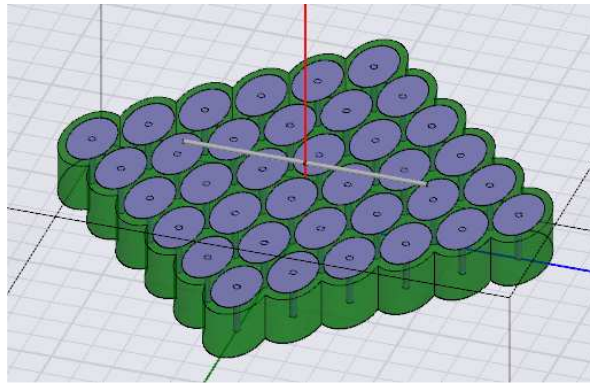
Ansoft Corporation



Şekil 4.12. Boş uzay dipol anten radyasyon grafiği.

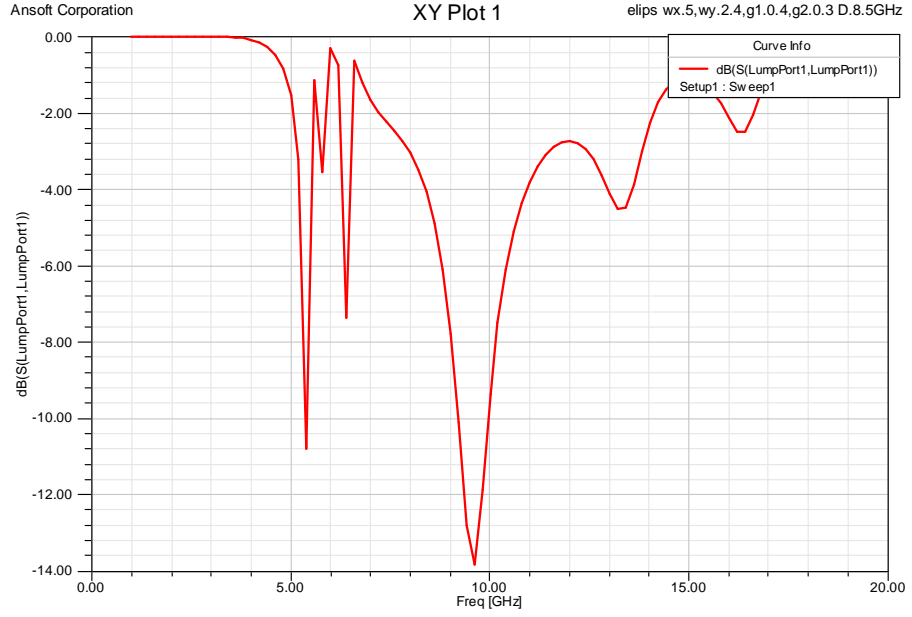
8.5 GHz 'de 17 dB 'lik ışıma yapan dipol antenin bu frekansta hangi patern ile ışığına bakmak için radyasyon paternini incelemek gerekmektedir. Şekil 4.12 'deki negatif değerler logaritmik gösterimden kaynaklanmaktadır.

#### 4.1.4. Elips Dipol Anten Denemesi



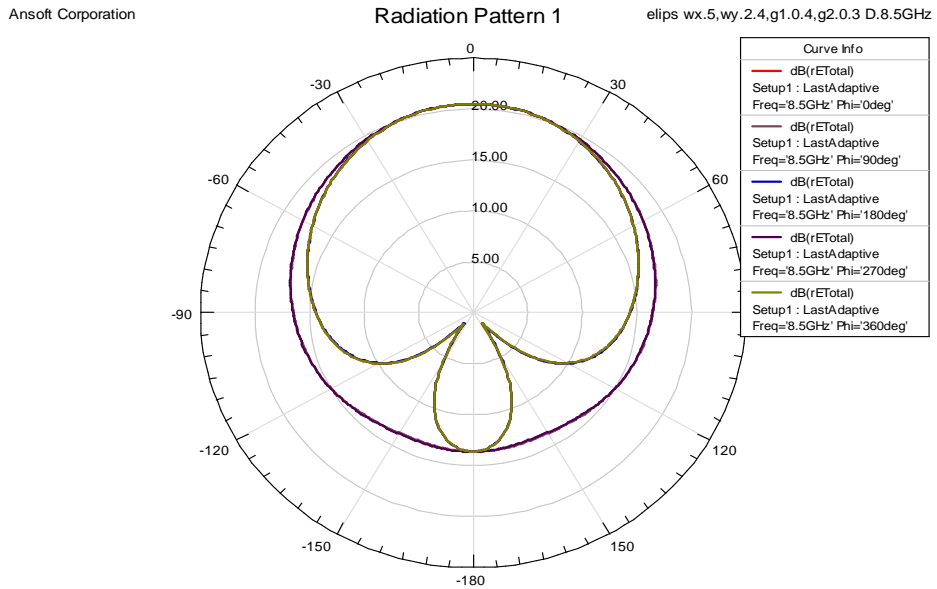
Şekil 4.13. Elips anten denemesi .

Altta bulunan eş eksenli kablolar yapıdan kaldırılarak 1mm yukarıya dipol anten yerleştirilmiştir.

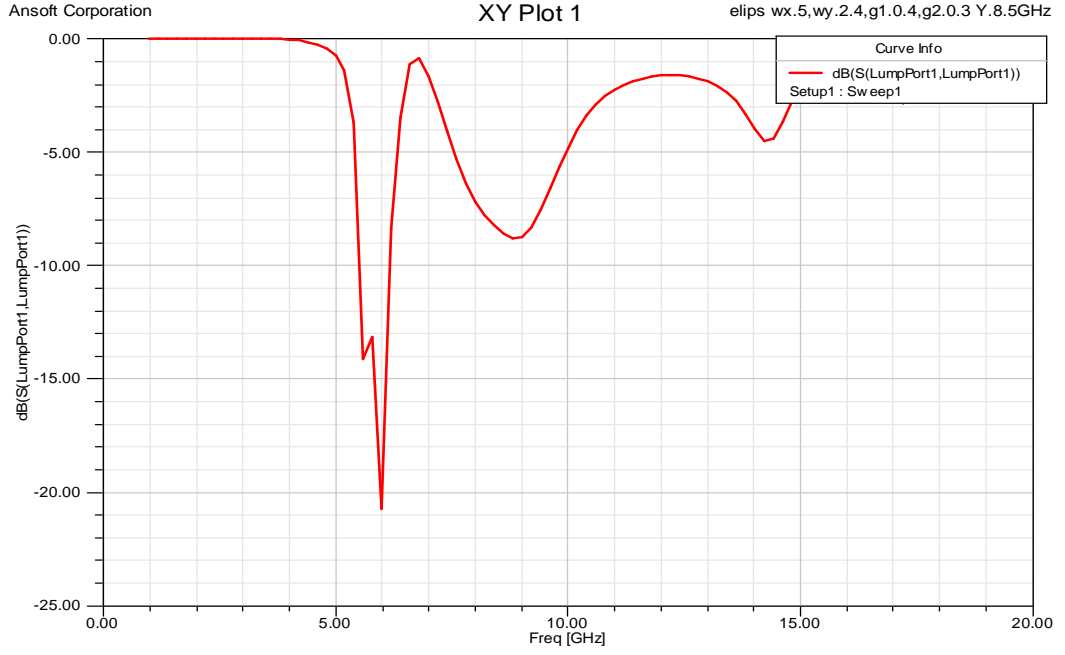


Şekil 4.14. Elips dipol anten denemesi.  $w_x = 5\text{mm}$ ,  $g_1 = 0.4$ ,  $g_2 = 0.3\text{mm}$  dik pozisyon ışınım sonucu.

8.5 GHz 'de 17 dB 'lik ışınım yapan dipol bu denemede Şekil 4.14 'de görüldüğü gibi farklı bölgelerde ışınım yapsada en iyi ışınması 14 dB 'de görülmüştür.

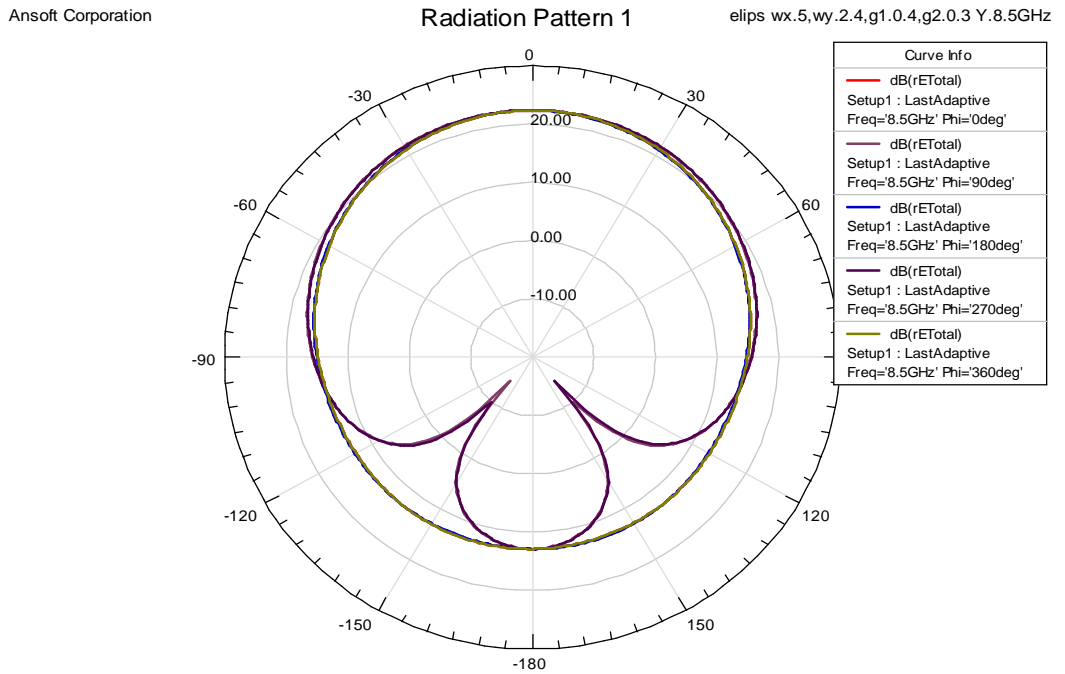


Şekil 4.15. Elips dipol anten denemesi  $w_x = 5\text{mm}$ ,  $g_1 = 0.4$ ,  $g_2 = 0.3\text{mm}$  dik pozisyon radyasyon paterni.



Şekil 4.16. Elips dipol anten denemesi  $w_x=5\text{mm}$ ,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$  yatay pozisyon ışına sonucu.

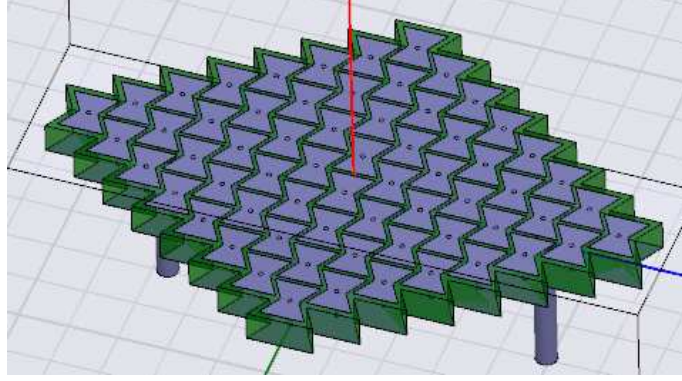
17 dB 'lik ışına sonucunun Şekil 4.16 'da görüldüğü gibi 21 dB 'lere kadar çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.17. Elips dipol anten denemesi  $w_x=5\text{mm}$ ,  $g_1=0.4$ ,  $g_2=0.3\text{mm}$  yatay pozisyon radyasyon paterni.



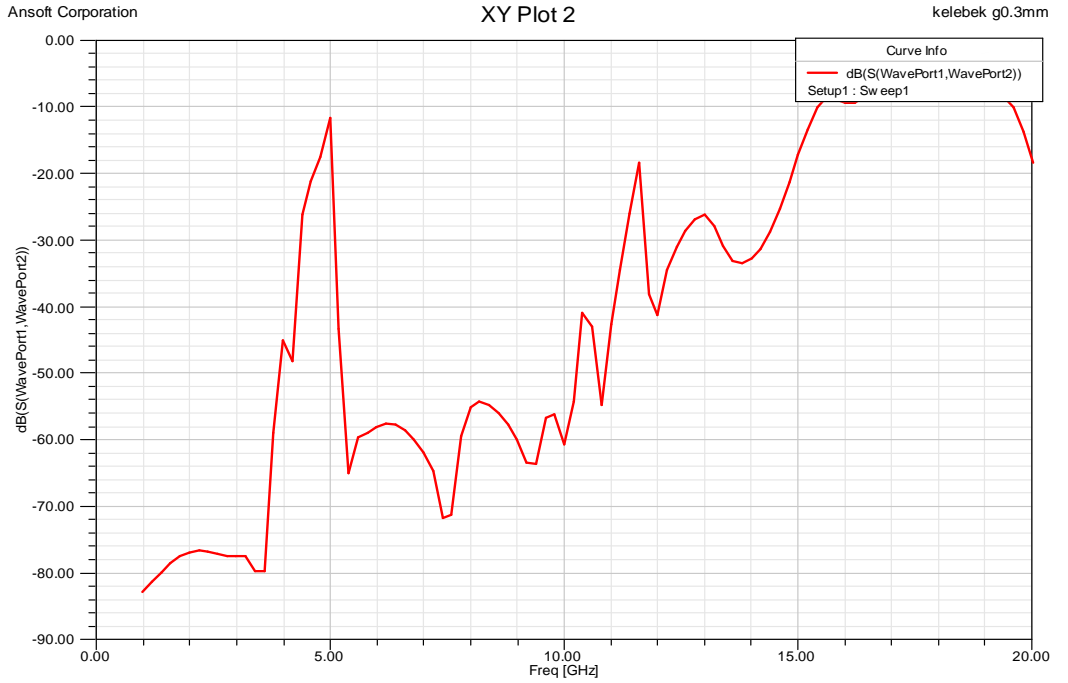
## 4.2. Kelebek Benzeri Yapı



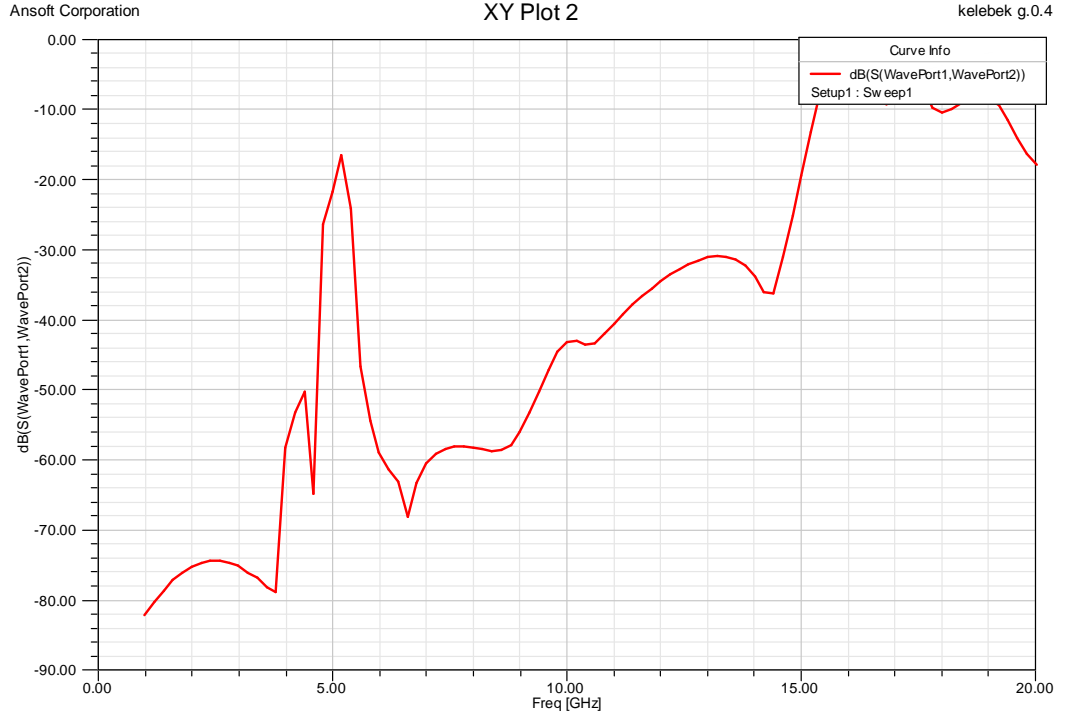
Şekil 4.18. Kelebek benzeri yapı.

X yönündeki uzunluk 4.8mm, y yönündeki uzunluk 4.6mm, ortadaki dar kısım 2mm'dir. İki üçgenin birleşiminden oluşan kelebek benzeri yapı tasarımındaki amaç karmaşık şekil tasarımlarının HIGP olarak kullanımının uygun olup olmadığının araştırılmasıdır.

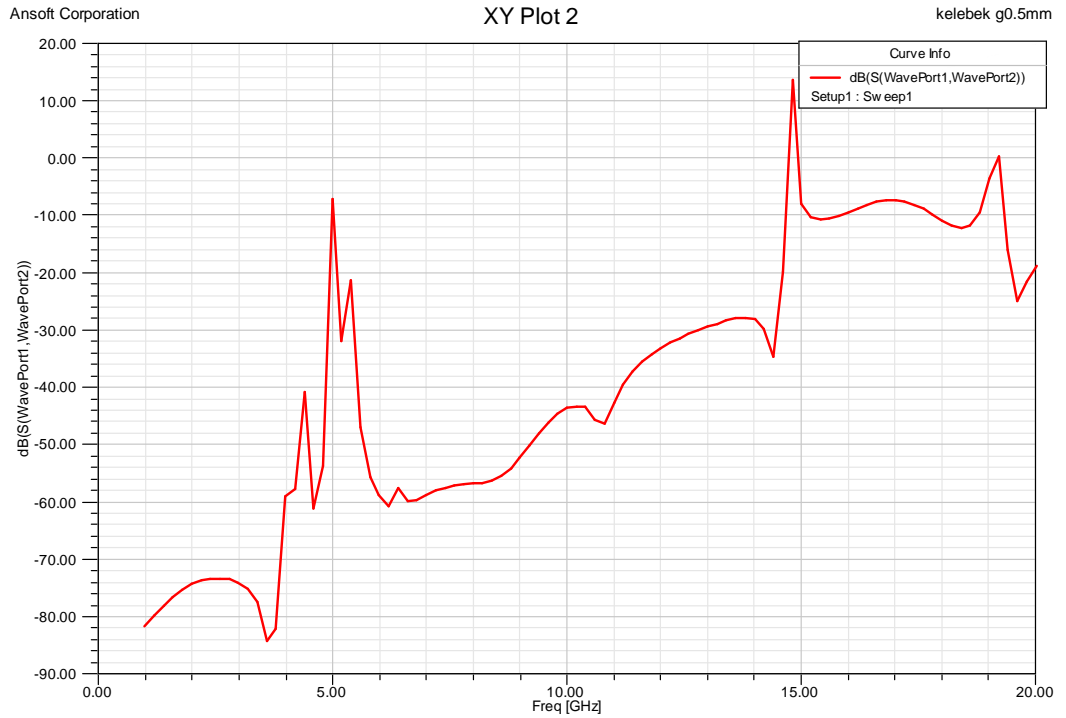
### 4.2.1. Kelebek Benzeri Yapı g İyileştirmesi



Şekil 4.19. Kelebek benzeri yapı g iyileştirmesi  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$ ,  $g=0.3\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (5 GHz-11.5 GHz arasında EBG oluşmuştur.)

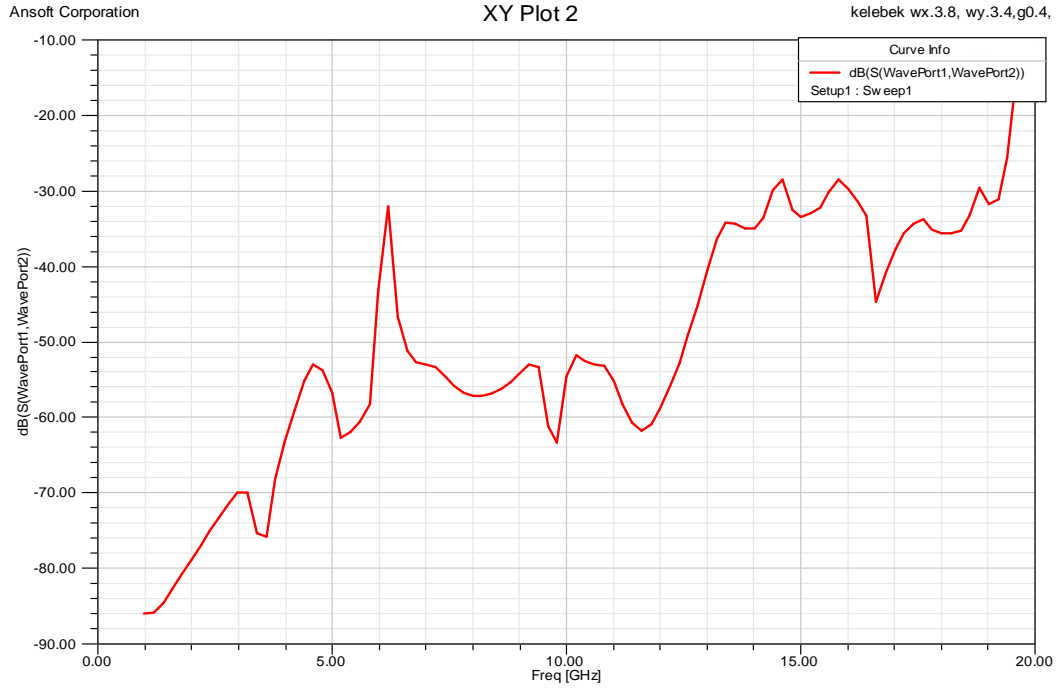


Şekil 4.20. Kelebek benzeri yapı g iyileştirmesi  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$ ,  $g=0.4\text{mm}$   
 $S_{21}$  sonucu.(5.2GHz-15.2GHz arasında EBG oluşmuştur.)

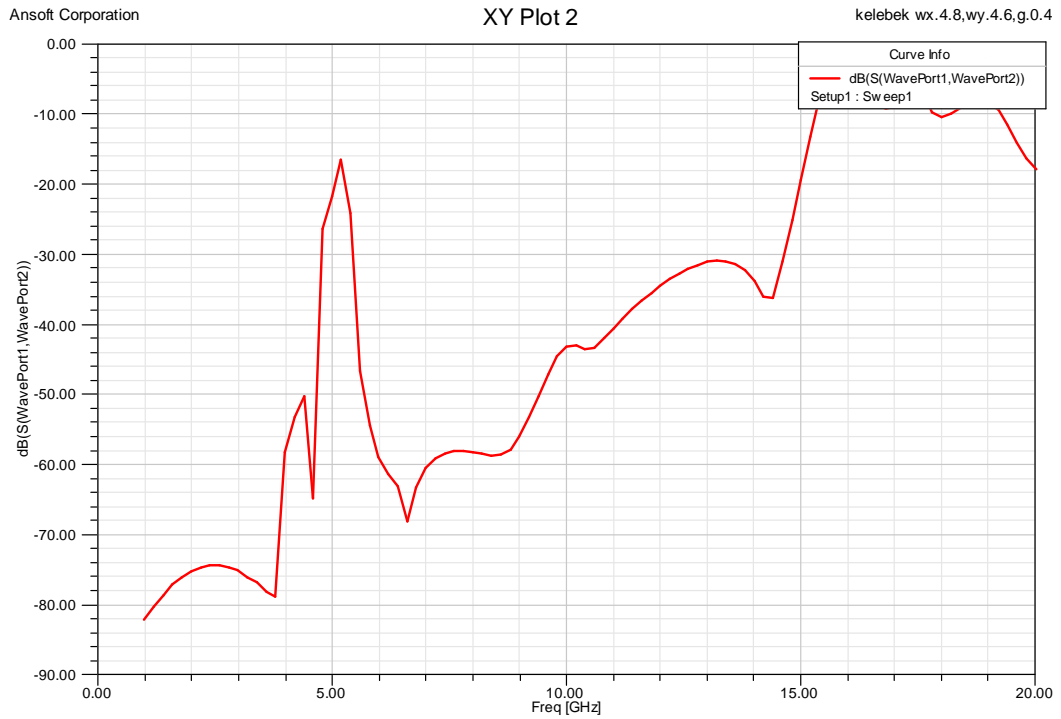


Şekil 4.21. Kelebek benzeri yapı g iyileştirmesi  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$ ,  $g=0.5\text{mm}$   
 $S_{21}$  sonucu.(5.2GHz-14.6GHz arasında EBG oluşmuştur.)

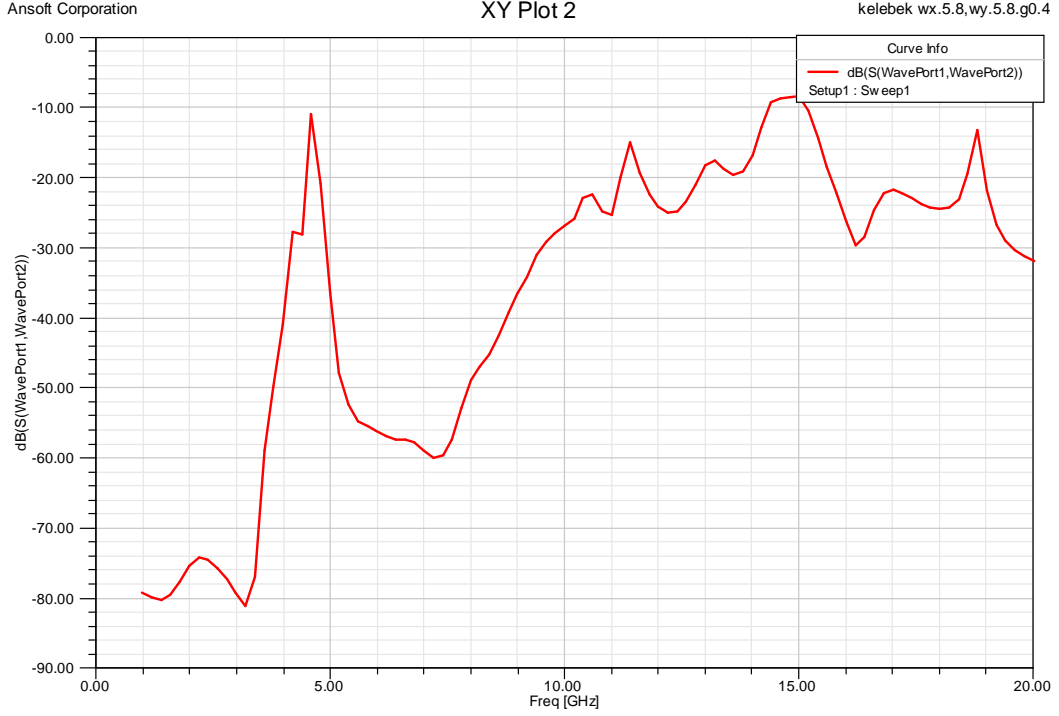
### 4.2.2. Kelebek Benzeri Yapı wx İyileştirmesi



Şekil 4.22. Kelebek benzeri yapı wx iyileştirmesi  $x=3.8\text{mm}$ ,  $y=3.4\text{mm}$ ,  $g=0.4\text{mm}$   
 $S_{21}$  sonucu.(5.2 GHz-13.2 GHz arasında EBG oluşmuştur.)



Şekil 4.23. Kelebek benzeri yapı wx iyileştirmesi  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$ ,  $g=0.4\text{mm}$   
 $S_{21}$  sonucu. (5.2GHz-15.2GHz arasında EBG oluşmuştur.)

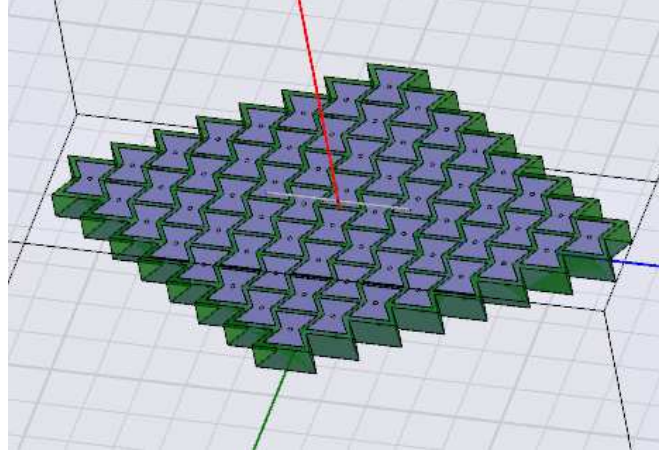


Şekil 4.24. Kelebek benzeri yapı wx iyileştirmesi  $x=5.8\text{mm}$ ,  $y=5.8\text{mm}$   $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(4.8GHz-11.1GHz arasında EBG oluşmuştur.)

Şekil 4.19. Kelebek benzeri yapı g iyileştirmesi  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$ ,  $g=0.3\text{mm}$ , 5 GHz-11.5 GHz arasında 6.5 GHz 'lik EBG oluşmuştur. Şekil 4.20. Kelebek benzeri yapı g iyileştirmesi  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 5.2GHz-15.2 GHz arasında 10 GHz 'lik EBG oluşmuştur. Şekil 4.21. Kelebek benzeri yapı g iyileştirmesi  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$ ,  $g=0.5\text{mm}$ , 5.2GHz-14.6GHz arasında 9.4 GHz 'lik EBG oluşmuştur. En iyi sonuç ;  $g=0.4\text{mm}$  ile elde edilmiştir.

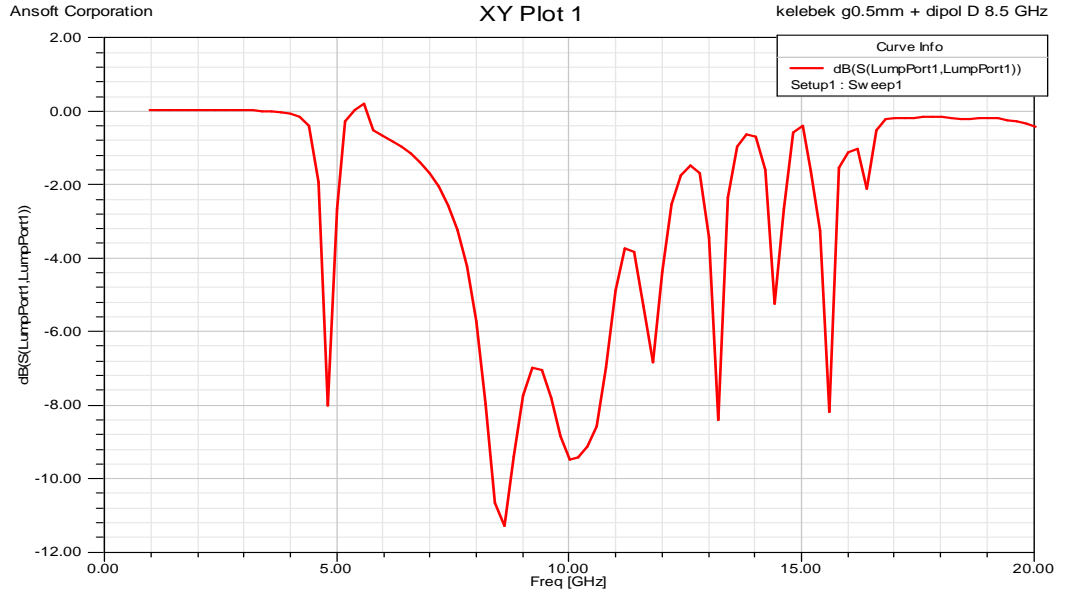
Şekil 4.22. Kelebek benzeri yapı wx iyileştirmesi  $x=3.8\text{mm}$ ,  $y=3.4\text{mm}$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 5.2 GHz-13.2 GHz arasında 8 GHz 'lik EBG oluşmuştur. Şekil 4.23. Kelebek benzeri yapı wx iyileştirmesi  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 5.2GHz-15.2GHz arasında 10 GHz 'lik EBG oluşmuştur.Şekil 4.24. Kelebek benzeri yapı wx iyileştirmesi  $x=5.8\text{mm}$ ,  $y=5.8\text{mm}$   $g=0.4\text{mm}$ , 4.8GHz-11.1GHz arasında 6.3 GHz 'lik EBG oluşmuştur.  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$  değerleri en iyi sonucu vermiştir.

### 4.2.3. Kelebek Benzeri Yapı Dipol Anten Denemesi



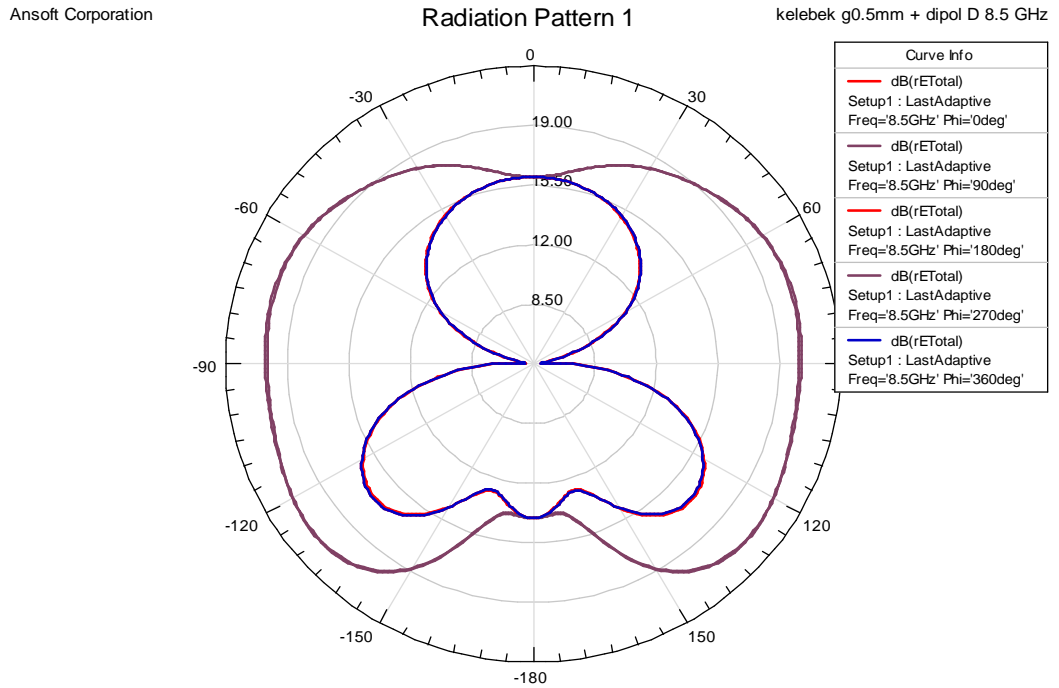
Şekil 4.25. Kelebek benzeri yapı dipol anten denemesi.  $x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$   
 $g=0.4\text{mm}$

$x=4.8\text{mm}$ ,  $y=4.6\text{mm}$   $g=0.4\text{mm}$  iyileştirme sonucu olarak alınmış elips HIGP denemesindeki yapının karmaşık olmasından meydana gelen bazı durumlar burda da mevcuttur. Kelebek benzeri yapı iyileştirmesi için en dar bölge 2 mm sabit alınmıştır. Bu uzunluğun iyileştirmesi yapılmamış fakat bu değişkenlerin de incelenmesi gerekmektedir.

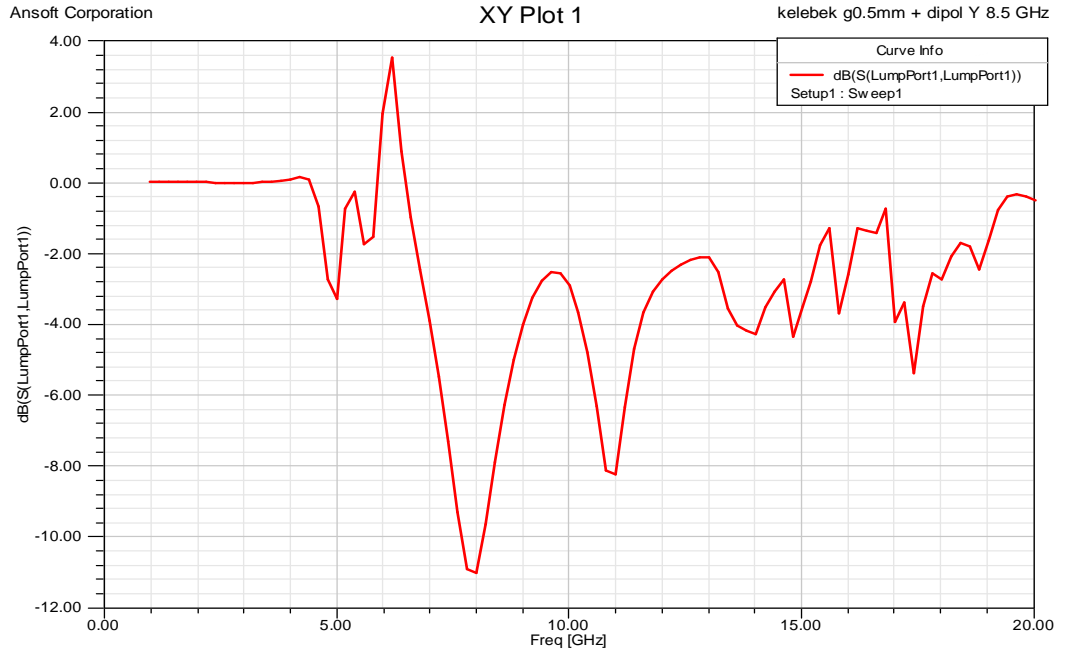


Şekil 4.26. Kelebek benzeri yapı, dipol anten eşleşmesi dik pozisyon ışına sonucu.

Sonuç farklı bölgelerde yayılım elde etme açısından iyi fakat en iyi yayılım olarak 11 dB 'de olmuştur.

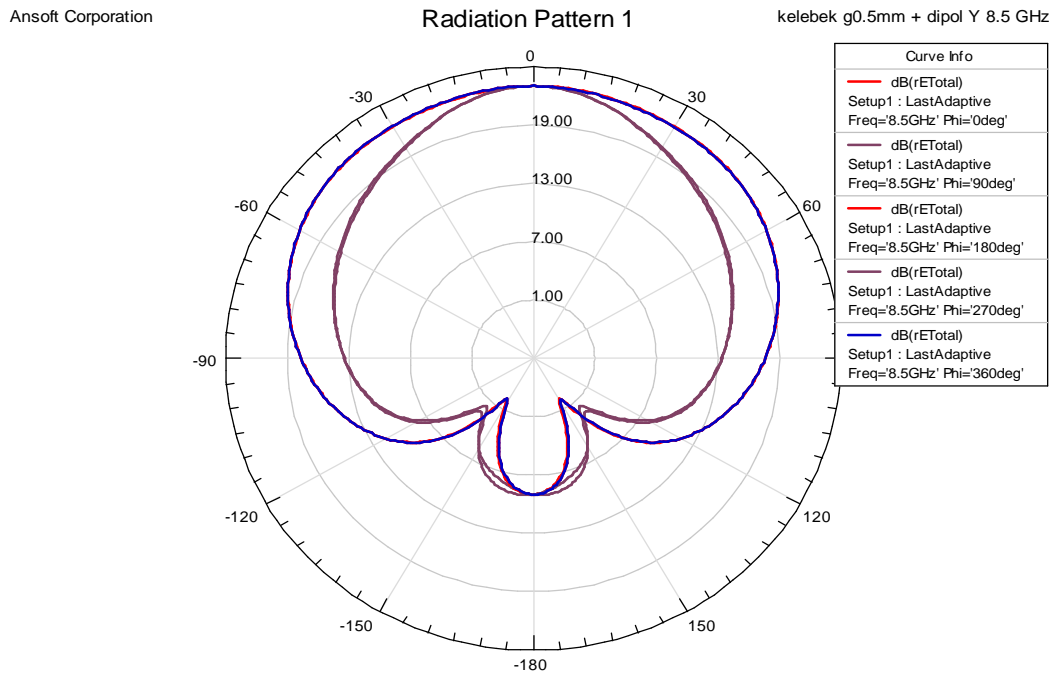


Şekil 4.27. Kelebek benzeri yapı, dipol anten eşleşmesi dik pozisyon radyasyon paterni.



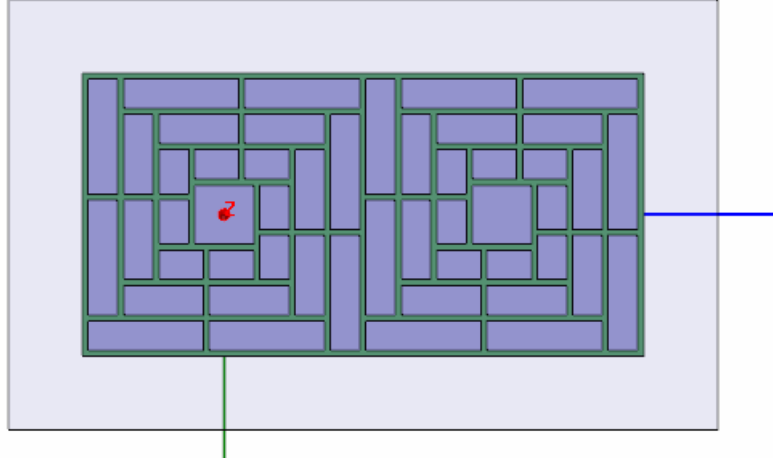
Şekil 4.28. Kelebek benzeri yapı, dipol anten eşleşmesi yatık pozisyon ışına sonucu.

8 GHz 'de 11dB 'lik yayılım mevcuttur.

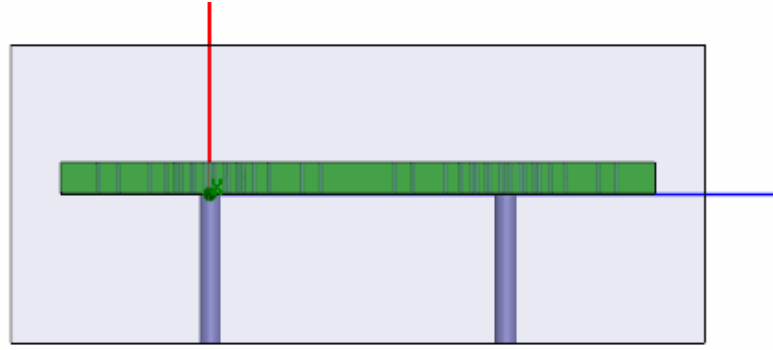


Şekil 4.29. Kelebek benzeri yapı, dipol anten eşleşmesi yatay pozisyon radyasyon paterni.

### 4.3. Farklı Uzunluk Yama Standart Çalışması



Şekil 4.30. Farklı uzunluk yama çalışması üstten görünüş,  
k.4,g.0.4,(2,2,2mm).



Şekil 4.31. Farklı uzunluk yama çalışması yandan görünüş,  
k.4,g.0.4,(2,2,2mm).

Farklı yama çalışmasında dikdörtgen ve boşluk uzunlukları ayrı ayrı değiştirilebilmekte ve diğer uzunluklar program üzerinde yapılan formülizasyonla otomatik olarak ayarlanmaktadır. Merkezde bulunan kare yama  $k \times k$  boyutları ile arkadan eş eksenli kablo ile temas etmekte ve yama anten vazifesi görmektedir. Merkezden mavi y eksen çizgisi takip edildiğinde ilk boşluk  $g_1$ , yama kalınlığı  $dy_1$ , ikinci boşluk  $g_2$ , yama kalınlığı  $dy_2$ , üçüncü boşluk  $g_3$ , yama kalınlığı  $dy_3$  orta kısım boşluğu  $g_4$ , dış çeper boşluğu  $g_5$  olarak tanımlanmıştır. Şekil dikey yönde ikiye ayrıldığında sol ve sağ kısım tamamı ile eşittir. Çalışmanın amacı farklı bölgelerde farklı EBG elde etmektir.



Çizelge 4.1. Programda kullanılan değişken formülizasyonu.

Properties: Farkli yama x3,g optimizasyon - 3 farkli yama standart k.4,wy.2.5,g.0.3mm

Local Variables

Value  Optimization  Tuning  Sensitivity  Statistics

Name	Value	Unit	Evaluated
w	4	mm	4mm
g	0.5	mm	0.5mm
copper	0.035	mm	0.035mm
h	3.175	mm	3.175mm
rad	0.228	mm	0.228mm
heigth	-(15mm+h+copper)		-18.21mm
k	4	mm	4mm
g1	0.3	mm	0.3mm
dy	1	mm	1mm
dy1	2.5	mm	2.5mm
dx1	(k+dy1)/2		3.25mm
g2	0.3	mm	0.3mm
dy2	2.5	mm	2.5mm
dx2	(k+dy1+dy2+g1)/2+(g1+dy1)/2		6.05mm
g3	0.3	mm	0.3mm
dy3	2.5	mm	2.5mm
dx3	(k+dy1+dy2+dy3+g1+g2)/2+(g1+dy1+g2+dy2)/2		8.85mm
g4	0.3	mm	0.3mm
g5	0.3	mm	0.3mm

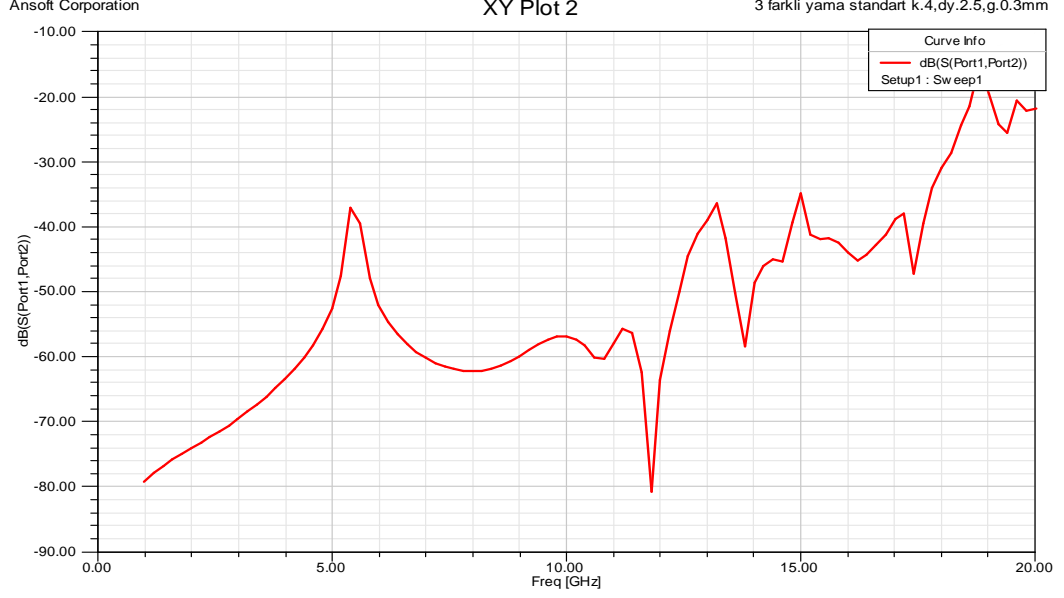
Add... Remove  Show Hidden

Tamam İptal

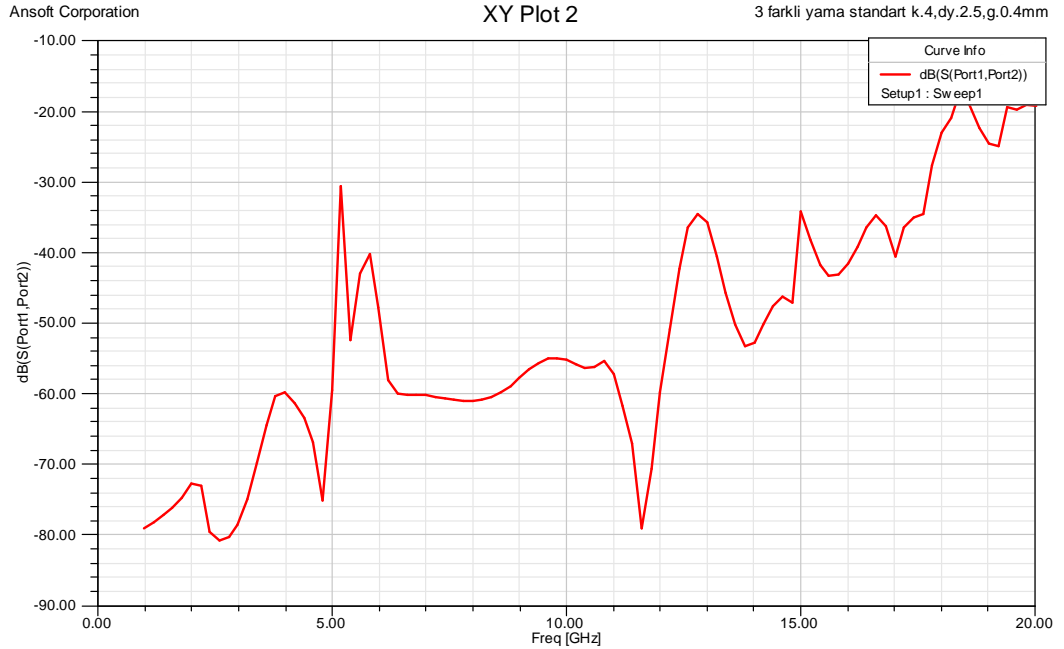
Herbir değer etkilendiği değerleri kapsayan bir formülizasyon ile değerlendirilmelidir. Bu yapılmadığı takdirde üst üste binmeler yada boşluklar ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak merkezi merkezde olan x uzunluğunda bir kare sonrasında y uzunluğunda bir dikdörtgen g boşluğu ile konulmak isteniyor ise ; Dikdörtgenin başlangıç noktası  $x/2+g$  ve uzunluğu da y şeklinde formülize edilmelidir.

### 4.3.1. Farklı Uzunluk Yama Standart Çalışması $g$ İyileştirmesi

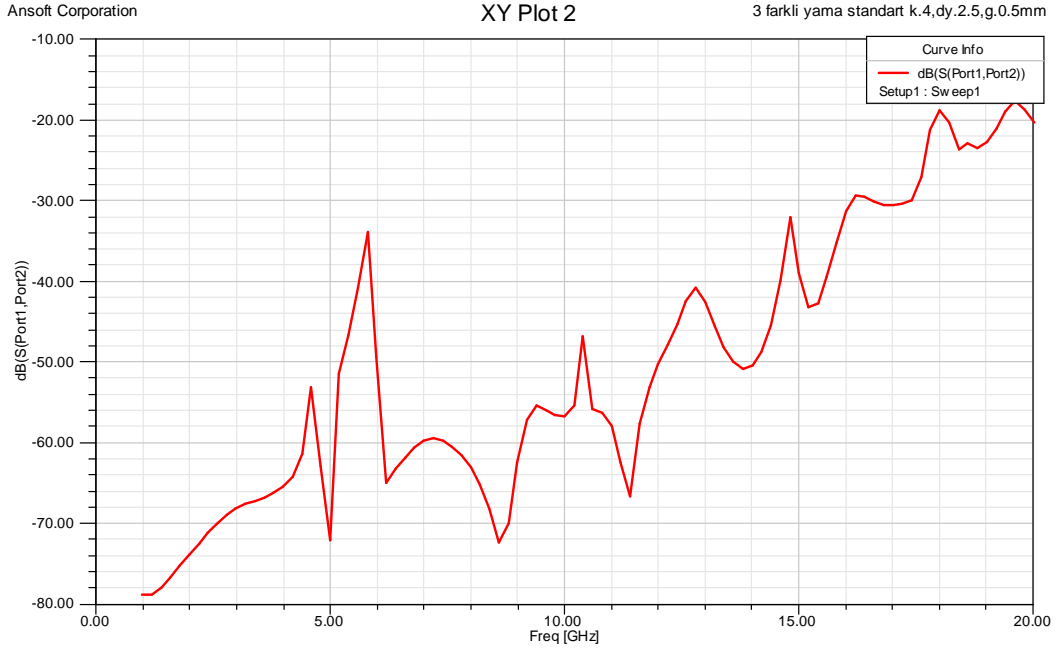
Bu çalışmada  $g$  ve  $dy$  değerleri kendi içerisinde birbirine eşittir.



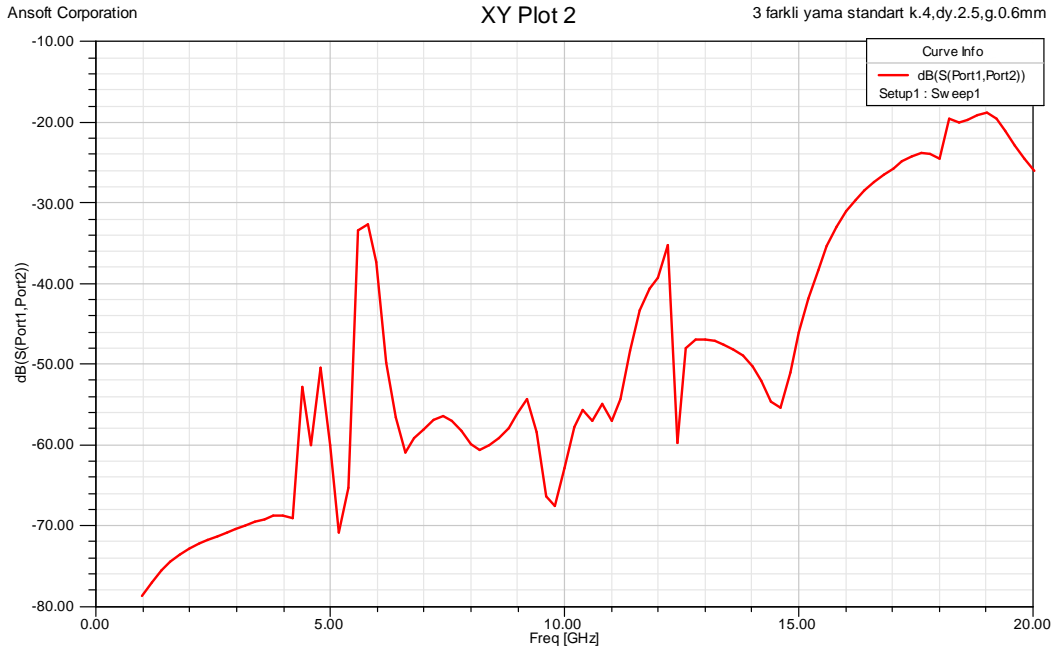
Şekil 4.32. Farklı uzunluk yama standart çalışması  $g$  iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.3\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(5.6 GHz-12.8 GHz arasında en büyük EBG 'dir.)



Şekil 4.33. Farklı uzunluk yama standart çalışması  $g$  iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(6 GHz-12.4 GHz arasında en büyük EBG 'dir.)



Şekil 4.34. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.5\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(6 GHz-12.8 GHz arasında en büyük EBG 'dir.)

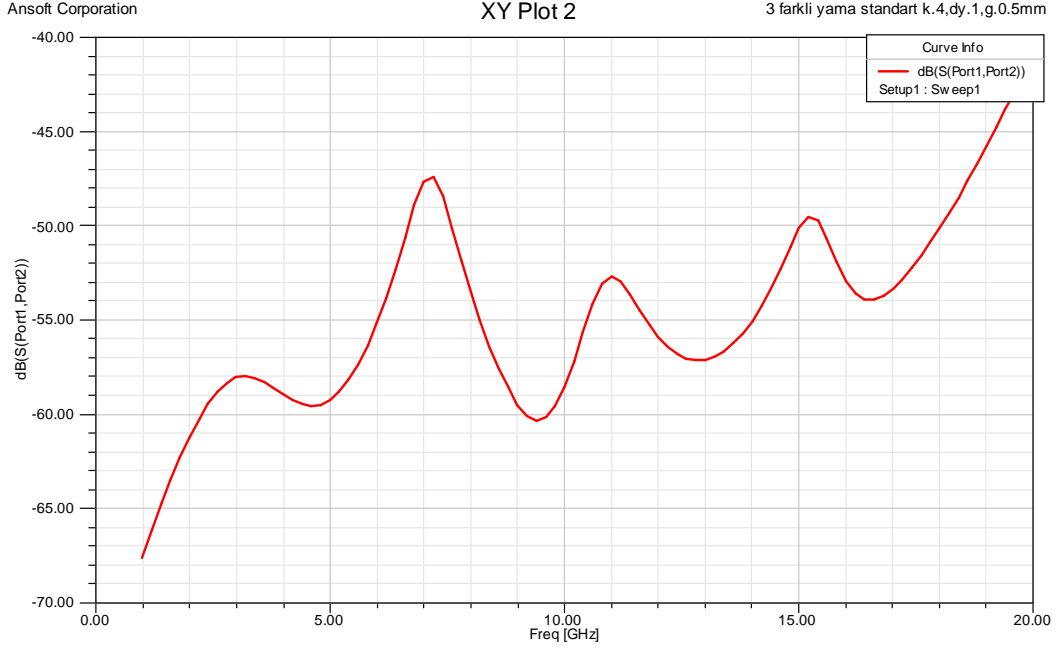


Şekil 4.35. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.6\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(6 GHz-12 GHz arasında en büyük EBG oluşmuştur.)

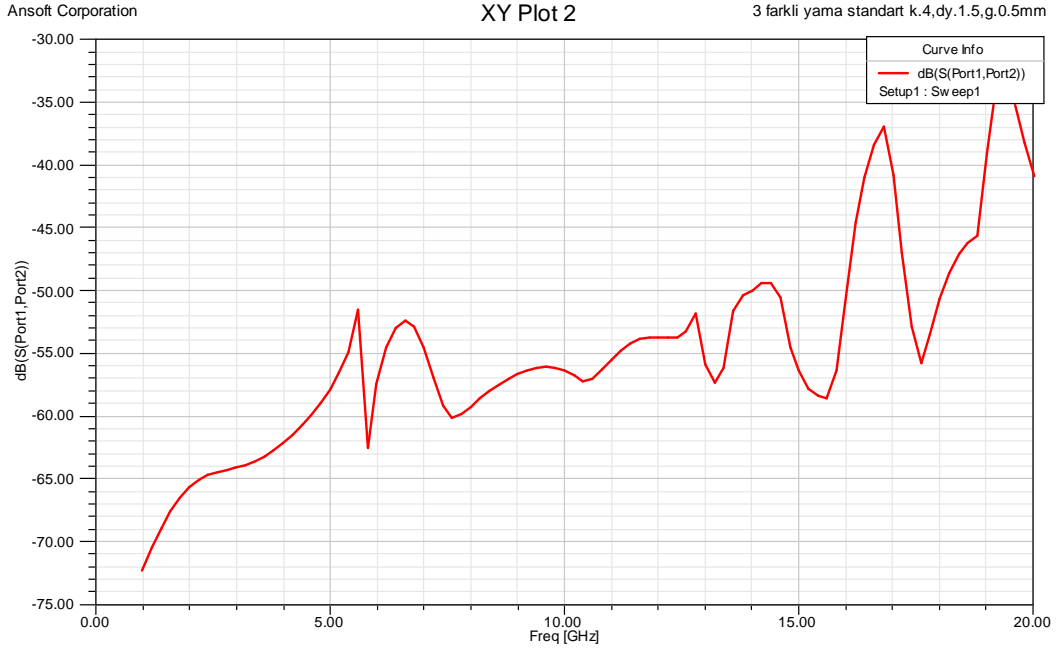
Şekil 4.32. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.3\text{mm}$ , 5.6 GHz-12.8 GHz arasında 7.2 GHz en büyük EBG oluşmuştur. Şekil 4.33. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 6 GHz-12.4 GHz arasında 6.4 GHz en büyük EBG 'dir. Şekil 4.34. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.5\text{mm}$ , 6 GHz-12.8 GHz arasında 6.8 GHz en büyük EBG 'dir. Şekil 4.35. Farklı uzunluk yama standart çalışması g iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.6\text{mm}$ , 6 GHz-12 GHz arasında 6 GHz en büyük EBG oluşmuştur.  $g=0.5\text{mm}$  6.8 GHz ile iyileştirme sonucudur.

Bu tip iyileştirmelerin en büyük zorluğu çoklu ölçek olmasından dolayı birden fazla EBG oluşması ve iyileştirmenin tam olarak neye göre yapılacağını belli olmamasından kaynaklanmaktadır. En büyük EBG alınabileceği gibi oluşan tüm EBG 'lerin toplam kapladıkları frekans spektrumu da alınabilir. Bu şekilde bir değerlendirmenin sonucu olarak farklı bölgelerde oluşmuş farklı büyüklükteki üç EBG, bunların toplamına eşit büyüklükteki tek EBG kadar kullanışlı olmamasına karşılık, toplam EBG tek EBG ye göre artmıştır.

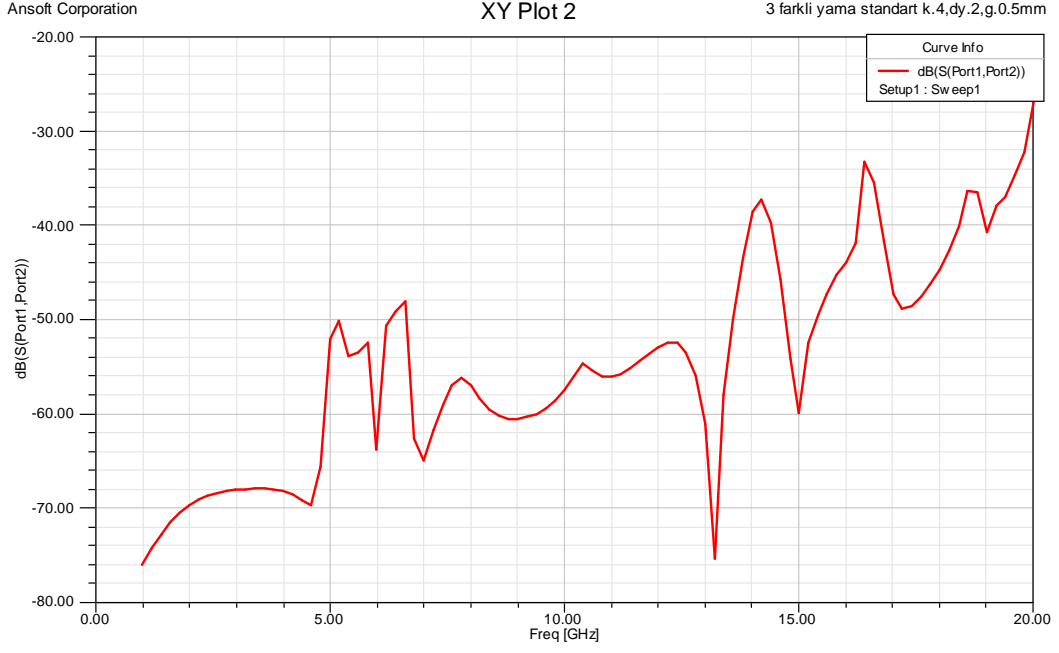
### 4.3.2. Farklı Uzunluk Yama Standart Çalışması dy İyileştirmesi



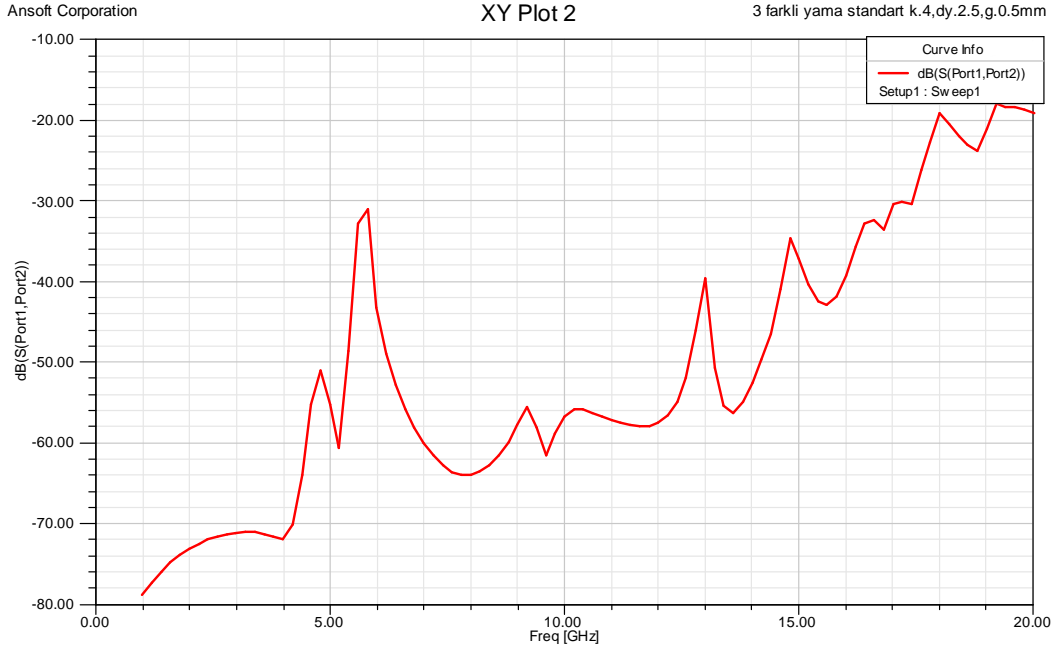
Şekil 4.36. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k = 4$ ,  $dy = 1$ ,  $g = 0.5\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(Temiz EBG oluşmamıştır.)



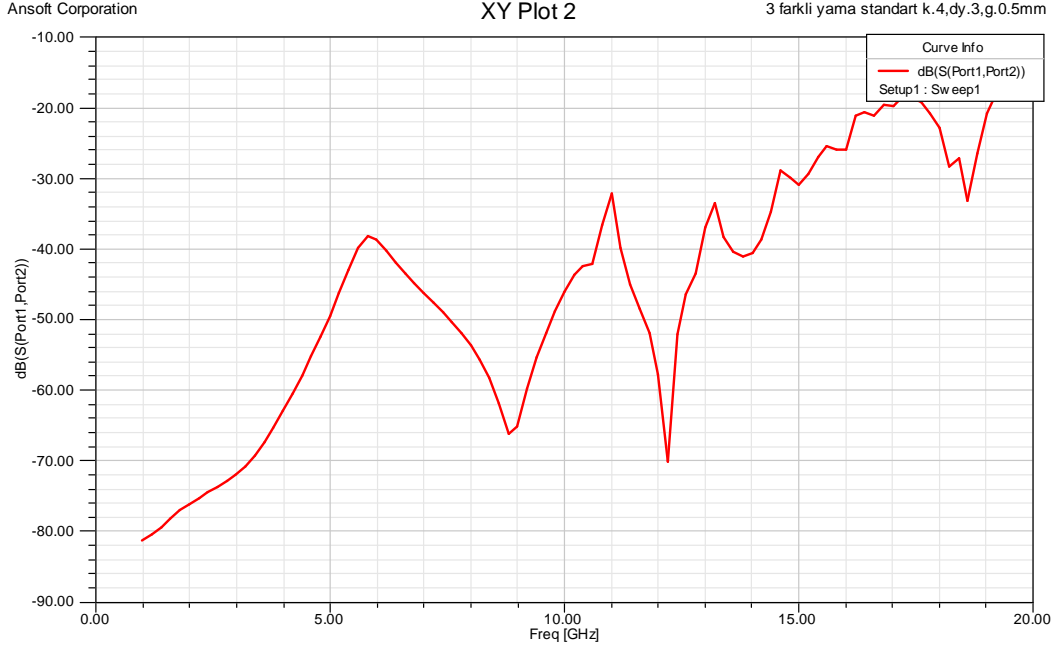
Şekil 4.37. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k = 4$ ,  $dy = 1.5$ ,  $g = 0.5\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(17 GHz-19 GHz arasında EBG oluşmuştur.)



Şekil 4.38. Farklı uzunluk yama standart çalışması  $dy$  iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2$ ,  $g=0.5\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(6.7 GHz 13.7 GHz arasında EBG oluşmuştur.)



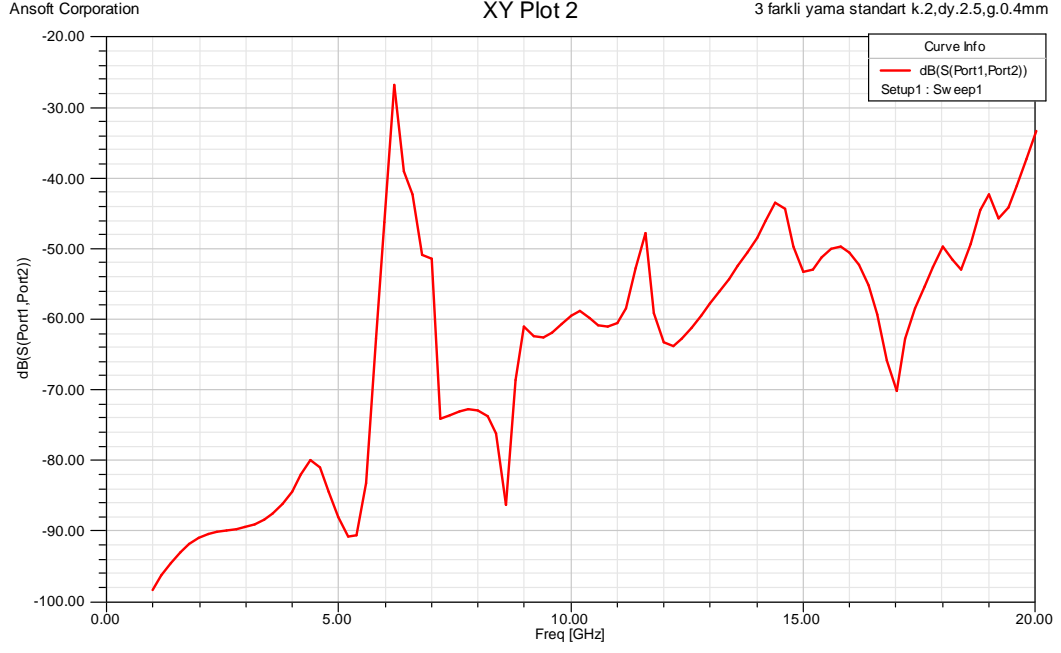
Şekil 4.39. Farklı uzunluk yama standart çalışması  $dy$  iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.5\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(6 GHz-13 GHz arasında en büyük EBG oluşmuştur.)



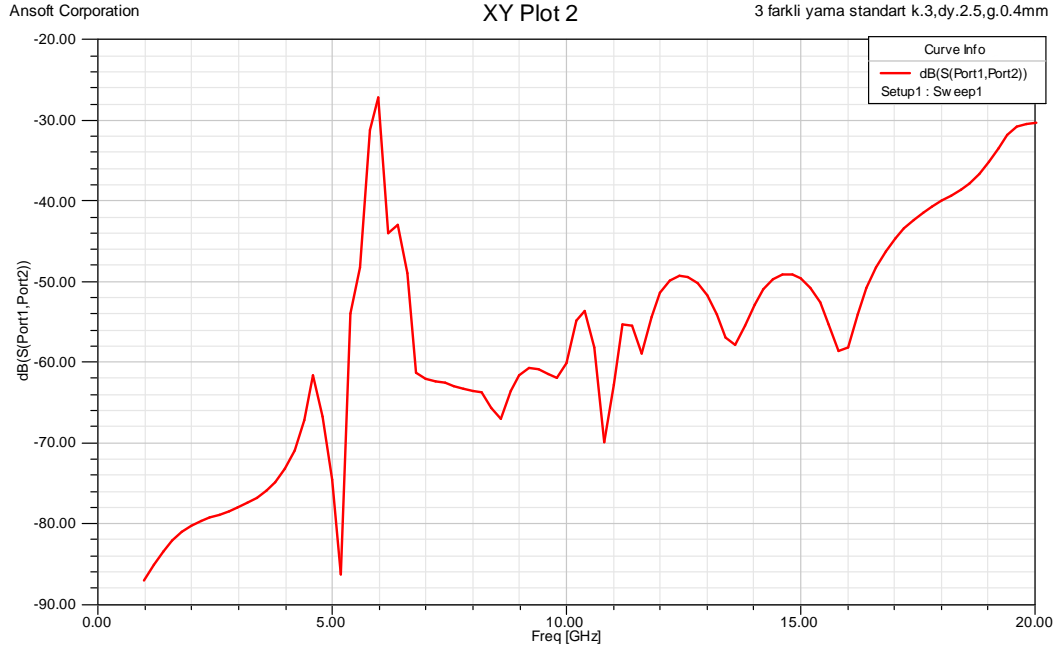
Şekil 4.40. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=3$ ,  $g=0.5\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(6 GHz-11 GHz arasında en büyük EBG oluşmuştur.)

Şekil 4.36. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=1$ ,  $g=0.5\text{mm}$ , temiz EBG oluşmamıştır. Şekil 4.37. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=1.5$ ,  $g=0.5\text{mm}$ , 17 GHz-19 GHz arasında 2GHz 'lik EBG oluşmuştur. Şekil 4.38. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2$ ,  $g=0.5\text{mm}$ , 6.7 GHz 13.7 GHz arasında 7GHz 'lik EBG oluşmuştur. Şekil 4.39. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=2.5$ ,  $g=0.5\text{mm}$ , 6 GHz-13 GHz arasında 7GHz 'lik en büyük EBG oluşmuştur. Şekil 4.40. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k=4$ ,  $dy=3$ ,  $g=0.5\text{mm}$ , 6 GHz-11 GHz arasında 5 GHz en büyük EBG oluşmuştur.  $dy=2.5\text{mm}$  sonuçları güzeldir.

### 4.3.3. Farklı Uzunluk Yama Standart Çalışması k İyileştirmesi

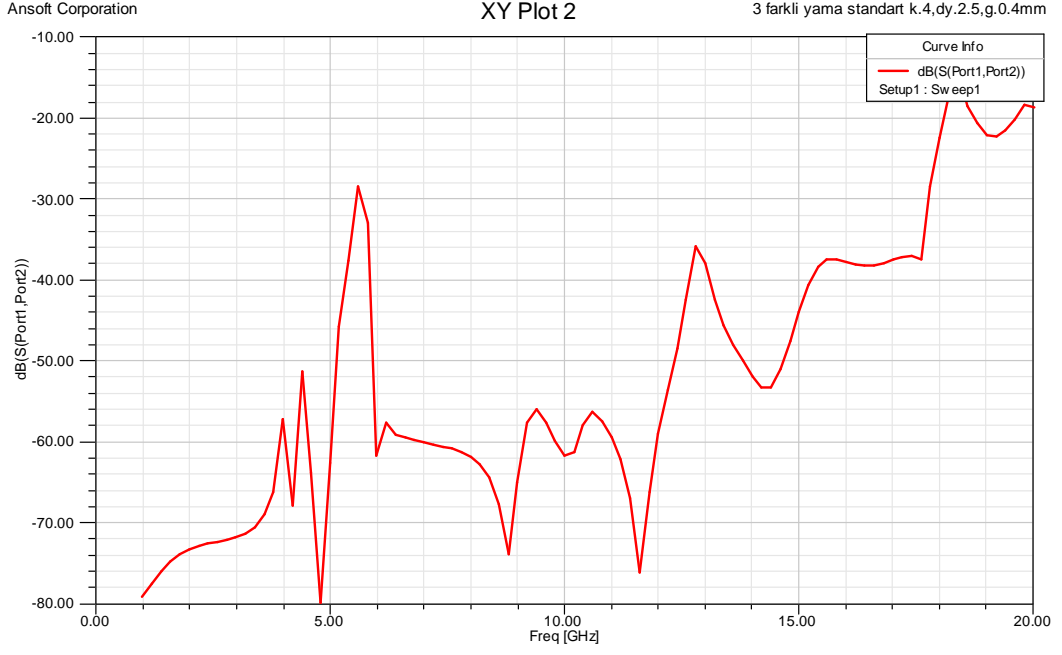


Şekil 4.41. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k = 2$ ,  $dy = 2.5$ ,  $g = 0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(7 GHz-11.4 GHz arasında EBG oluşmuştur.)

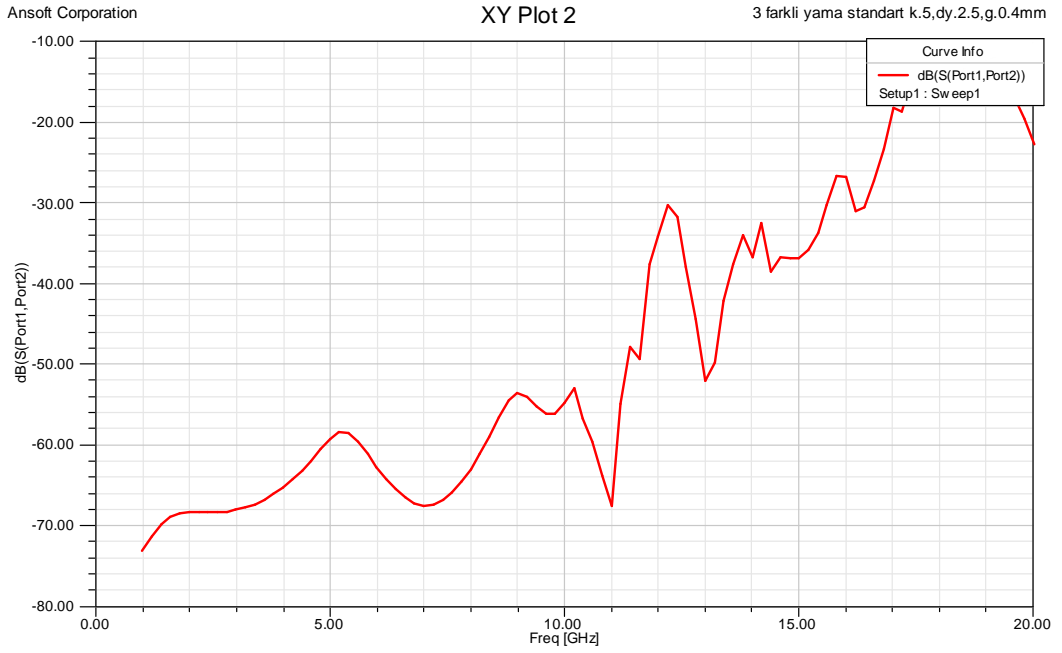


Şekil 4.42. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k = 3$ ,  $dy = 2.5$ ,  $g = 0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(6.6 GHz-12 GHz arasında EBG oluşmuştur.)





Şekil 4.43. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k = 4$ ,  $dy = 2.5$ ,  $g = 0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(6 GHz-12.6 GHz arasında EBG oluşmuştur.)

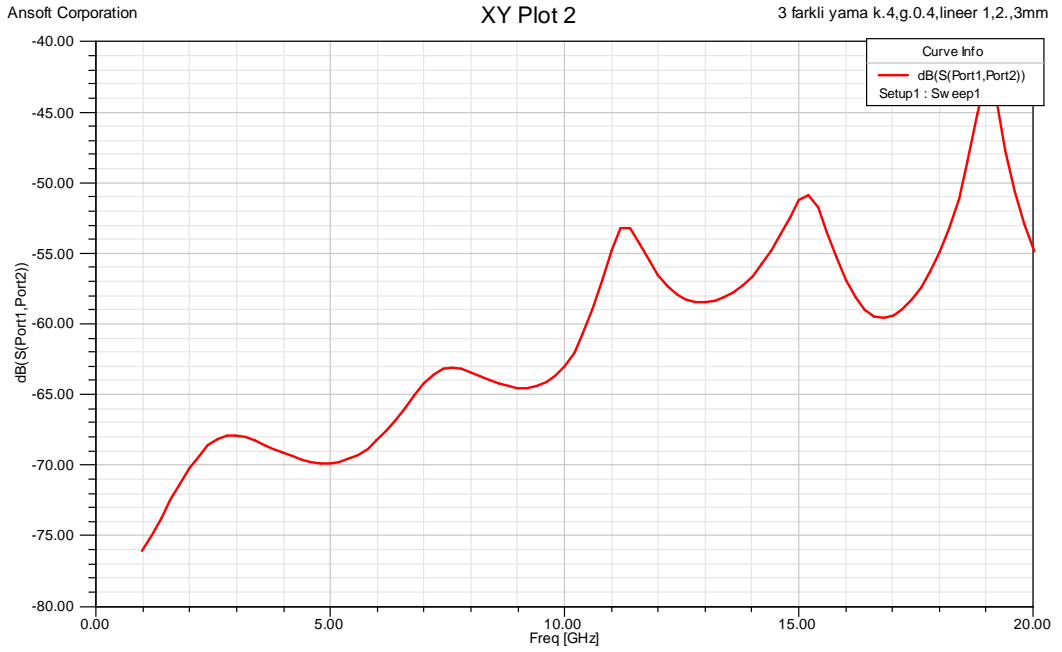


Şekil 4.44. Farklı uzunluk yama standart çalışması dy iyileştirmesi  $k = 5$ ,  $dy = 2.5$ ,  $g = 0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(12.5 GHz-13.6 GHz arasında EBG oluşmuştur.)

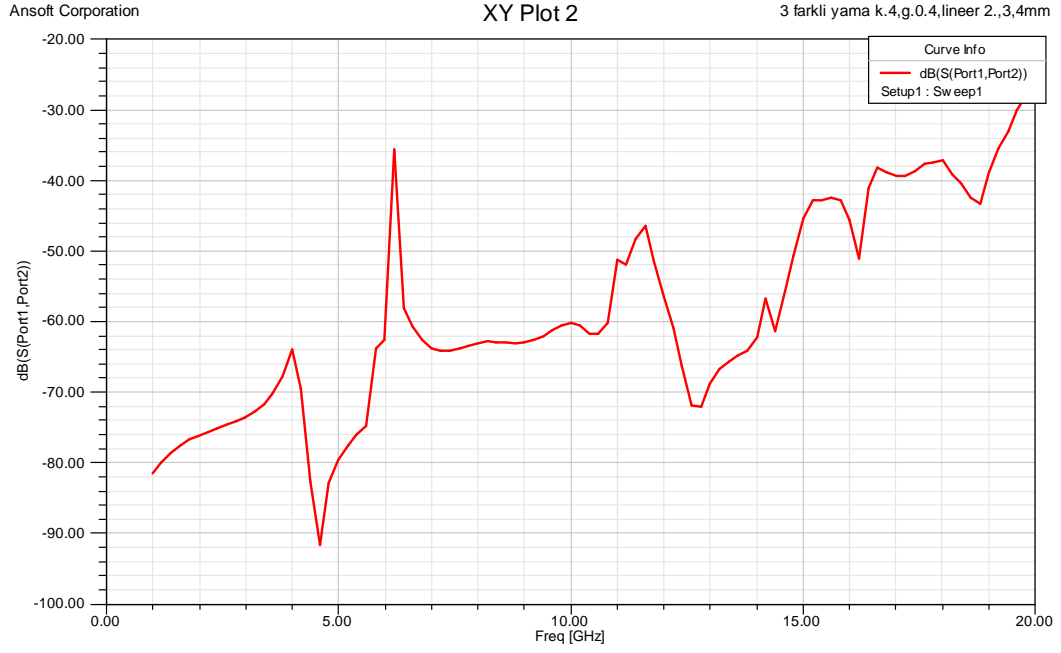
$k = 4$ ,  $dy = 2.5$ ,  $g = 0.4\text{mm}$  EBG temizliği açısından iyileştirme sonucudur.

#### 4.3.4. Farklı Uzunluk Yama Linear İyileştirmesi (1mm)

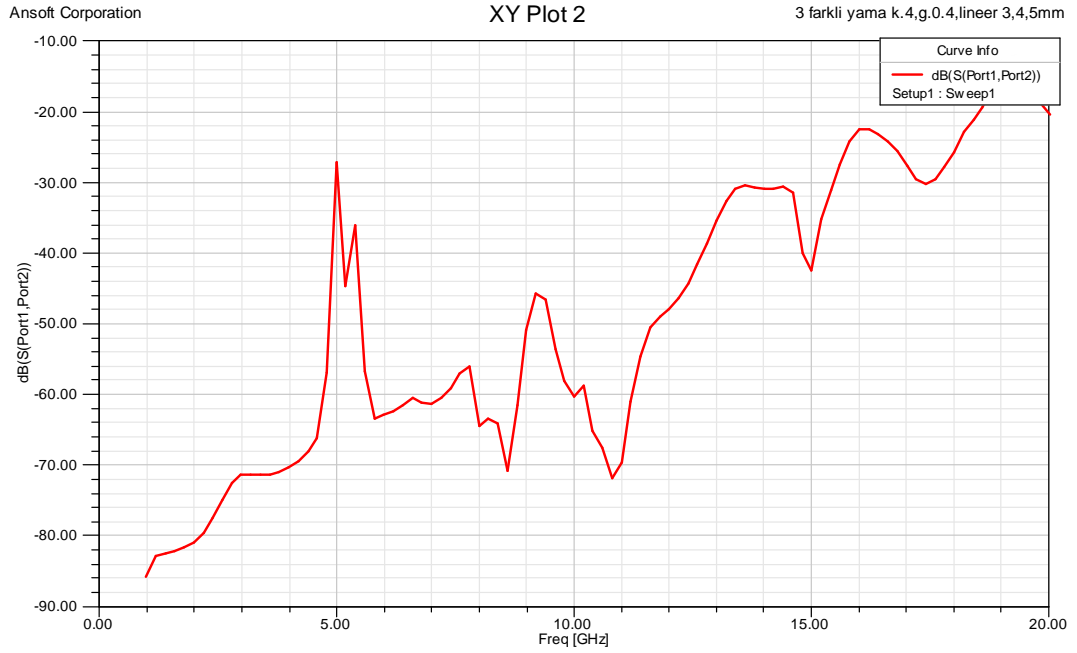
Önceki çalışmada  $dy_1$   $dy_2$   $dy_3$  değerleri birbirine eşit olarak iyileştirme yapılmıştır. Şimdiki amaç tek bayutta yapılan iyileştirmelerin üzerine yama ölçülerini iki boyutta değişir hale getirilirse ne olurun cevabı aranmaktadır. Aralıklar 1 mm değiştirilmiş ve artış doğrusaldır.



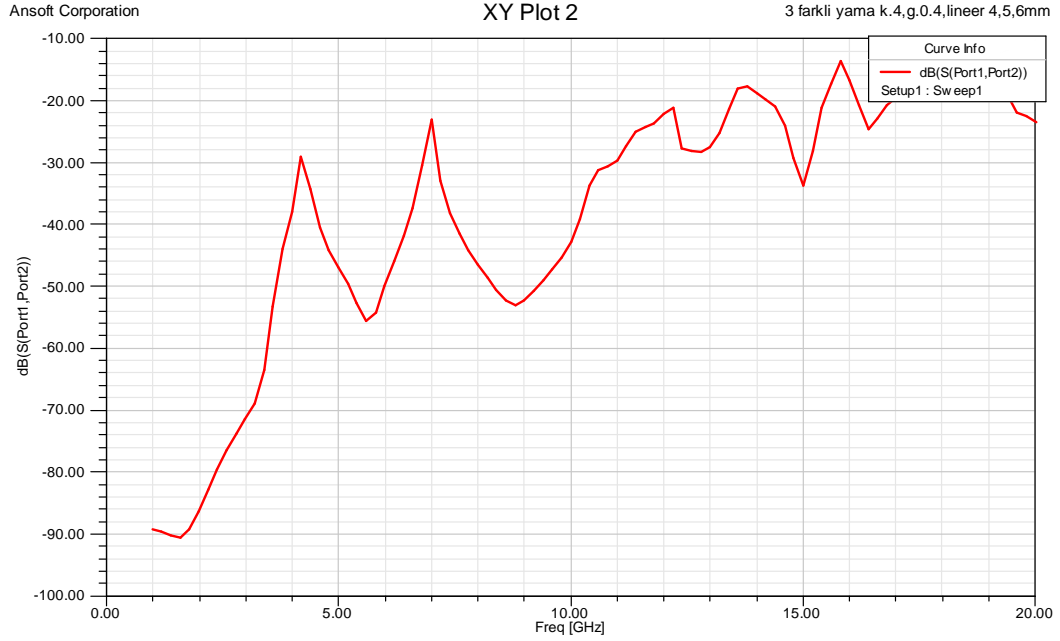
Şekil 4.45. Farklı uzunluk yama linear optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=1, 2, 3$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (Temiz EBG oluşmamıştır).



Şekil 4.46. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 3, 4$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (4-6, 6-11.6, 11.6-15 GHz arasında 3 farklı EBG oluşmuştur.)



Şekil 4.47. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=3, 4, 5$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (6.5-9.1, 9.3-12.1 GHz arasında 2 farklı EBG oluşmuştur.)



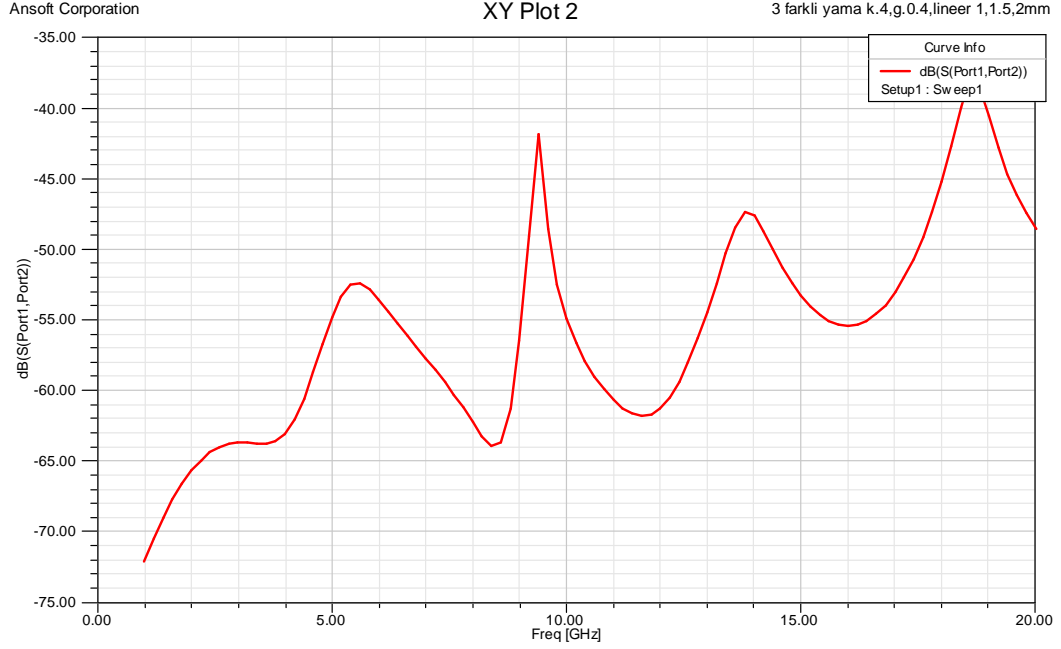
Şekil 4.48. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=4, 5, 6$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu.(4.2-7, 7-11.5 GHz arasında 2 farklı EBG oluşmuştur.)

Şekil 4.45. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=1, 2, 3$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , temiz EBG oluşmamıştır. Şekil 4.46. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 3, 4$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 4-6, 6-11.6, 11.6-15 GHz arasında 3 farklı EBG oluşmuştur.Şekil 4.47. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=3, 4, 5$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 6.5-9.1, 9.3-12.1 GHz arasında 2 farklı EBG oluşmuştur. Şekil 4.48. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=4, 5, 6$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 4.2-7, 7-11.5 GHz arasında 2 farklı EBG oluşmuştur.

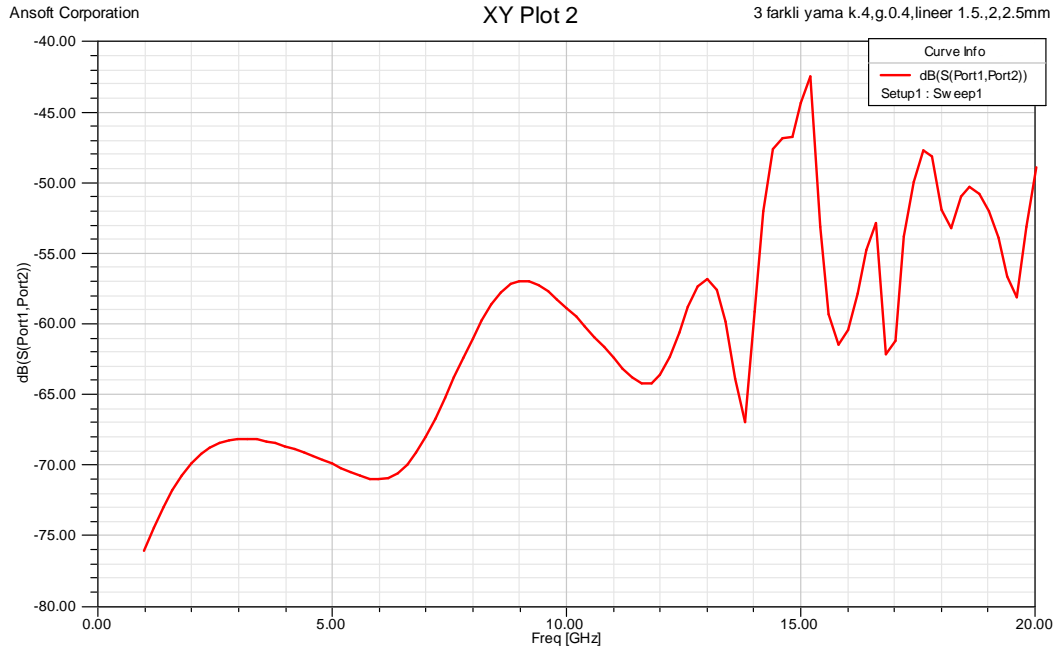
İki boyutta uzunluklar değiştirildiğinde üç EBG sonuçları elde edilmeye başlanmış ve Şekil 4.46. $k=4$ ,  $dy=2, 3, 4$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (4-6, 6-11.6, 11.6-15 GHz arasında 3 farklı EBG oluşması ile ilgi çekicidir.

### 4.3.5. Farklı Uzunluk Yama Linear İyileştirmesi (0.5mm)

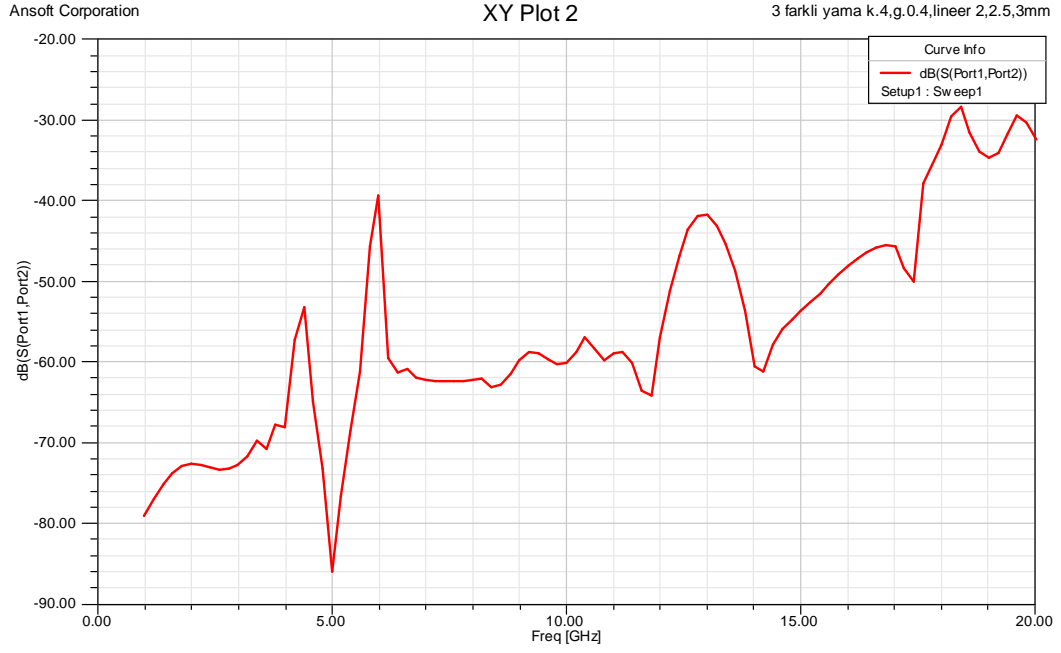
Aralıklar 0.5 mm değiştirilmiş ve artış doğrusaldır.



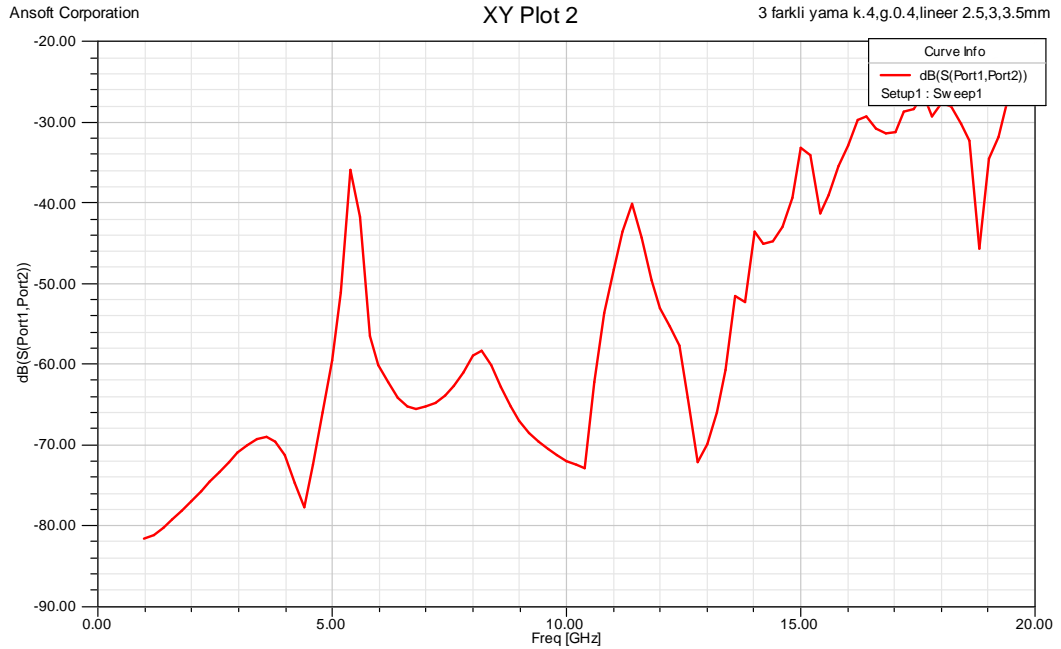
Şekil 4.49. Farklı uzunluk yama linear optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=1, 1.5, 2$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (Temiz EBG oluşmamıştır.)



Şekil 4.50. Farklı uzunluk yama linear optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=1.5, 2, 2.5$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (Temiz EBG oluşmamıştır.)



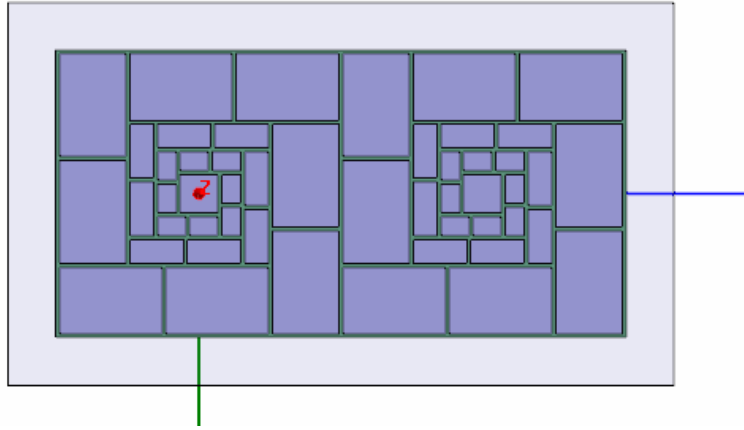
Şekil 4.51. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 3$ ,  $g=0.4$ mm  $S_{21}$  sonucu. (4.4-5.6, 6-12.8, 13-17.5 GHz 3 farklı EBG oluşmuştur.)



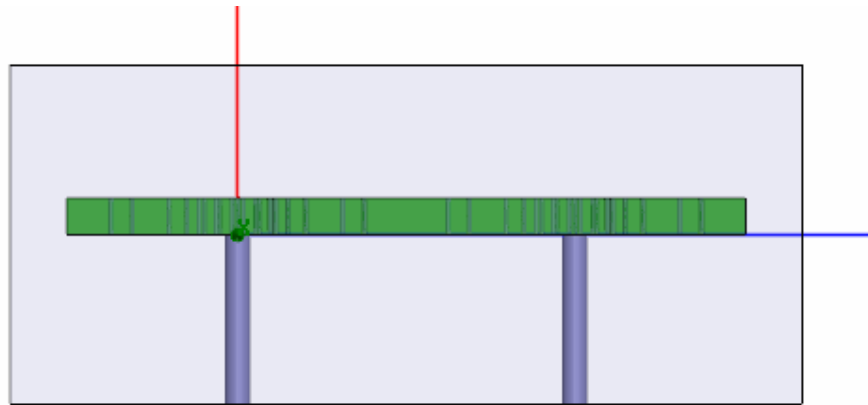
Şekil 4.52. Farklı uzunluk yama lineer optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2.5, 3, 3.5$ ,  $g=0.4$ mm  $S_{21}$  sonucu. (5.5-11.2, 11.2-14.8 GHz arasında 2 farklı EBG oluşmuştur.)

Aralıklar 0.5mm ile değiştirildiğinde Şekil 4.51. Farklı uzunluk yama lineer iyileştirme  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 3$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu, 4.4-5.6, 6-12.8, 13-17.5 GHz 3 farklı EBG oluşumu ile iyi bir sonuçtur.

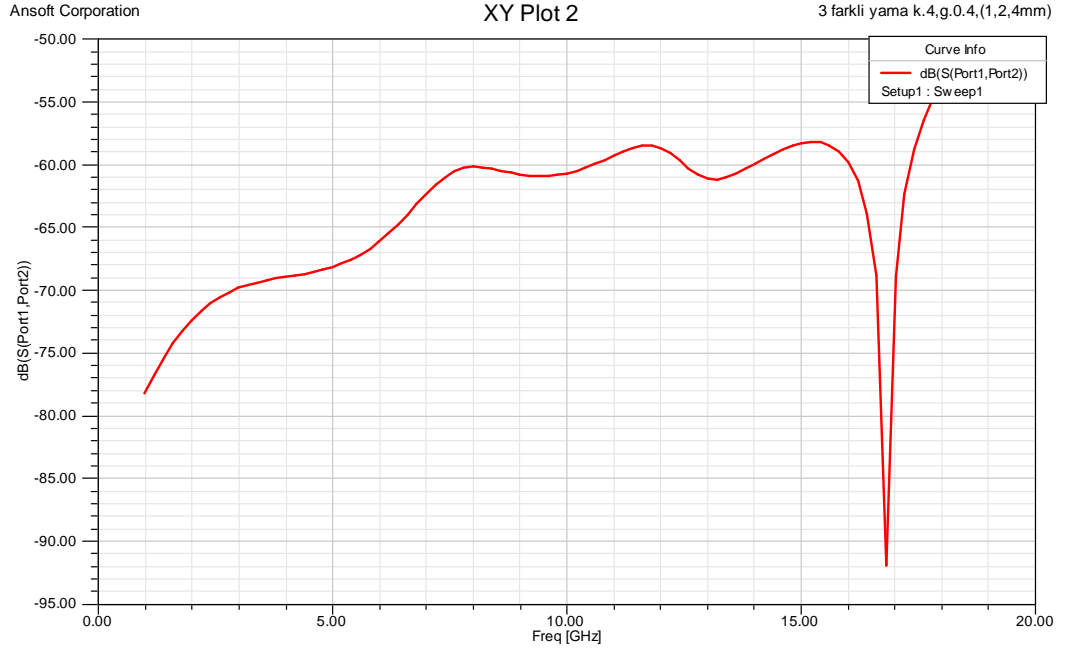
#### 4.3.6. Farklı Uzunluk Yama Karmaşık İyileştirme



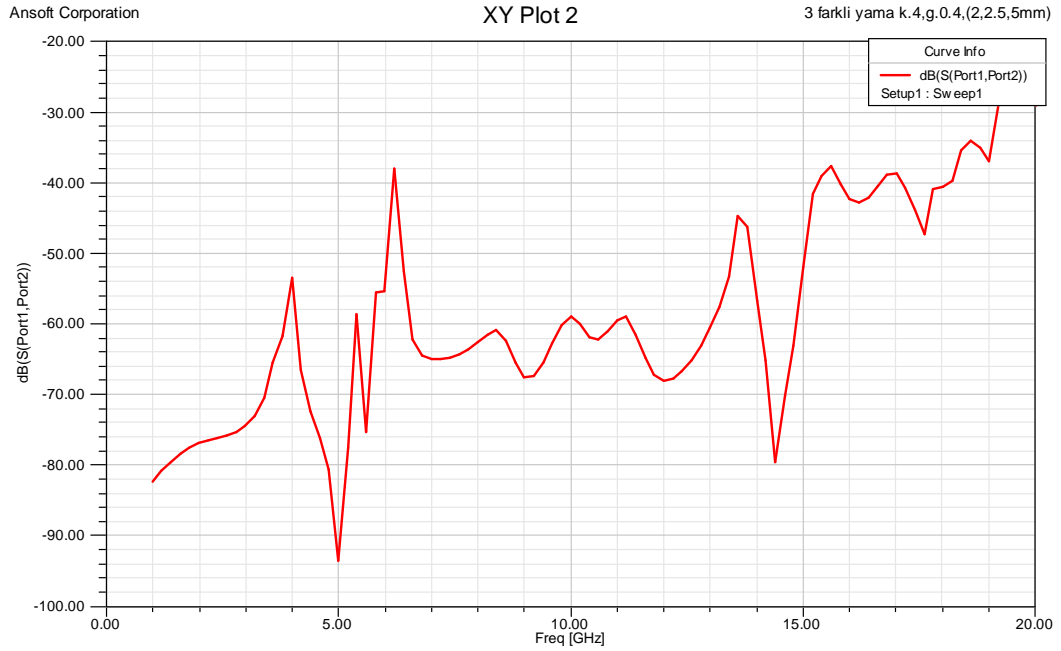
Şekil 4.53. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $dy=2,2.5.7\text{mm}$  üstten görünüş.



Şekil 4.54. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $dy=2,2.5.7\text{mm}$  yandan görünüş.

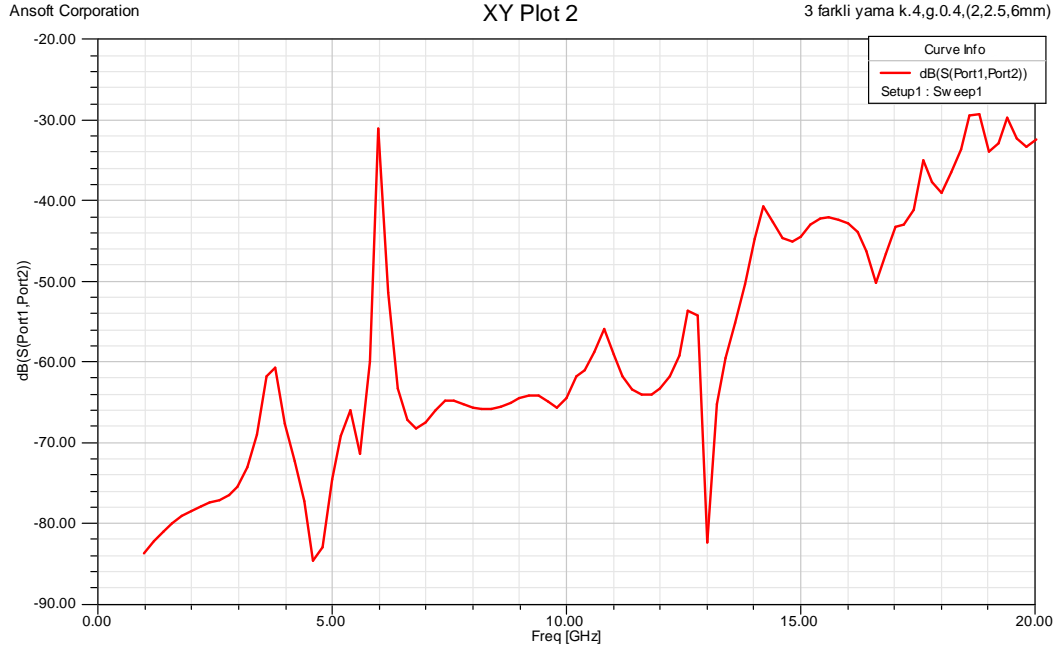


Şekil 4.55. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=1, 2, 4$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (Temiz EBG oluşmamıştır.)

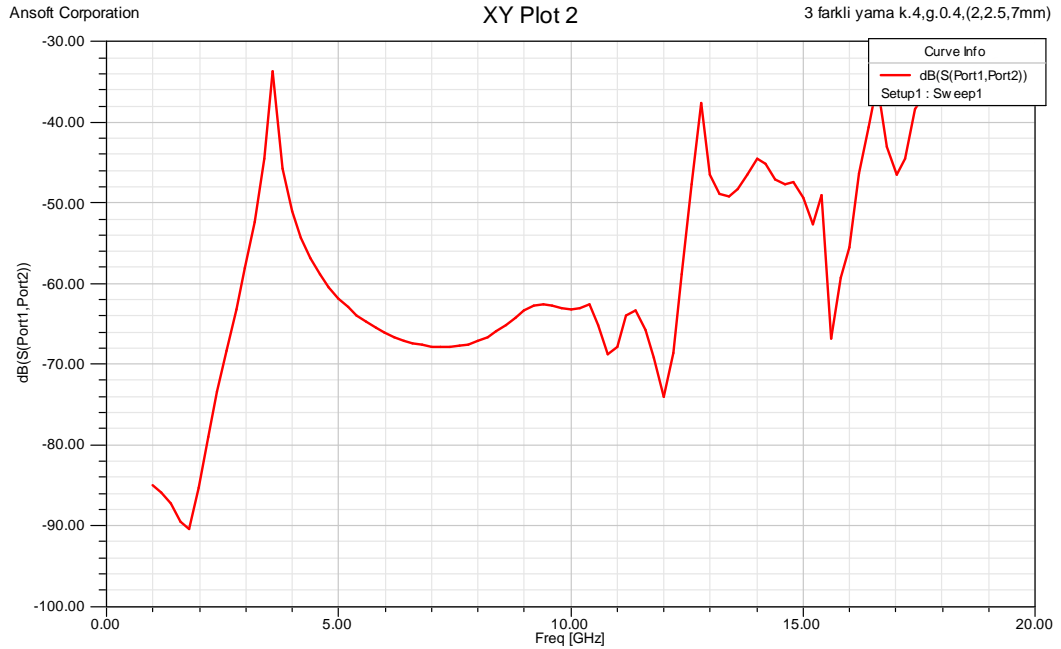


Şekil 4.56. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 5$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (4-5.3, 6.2-13.5, 13.9-15.1 GHz 3 farklı EBG oluşmuştur.)

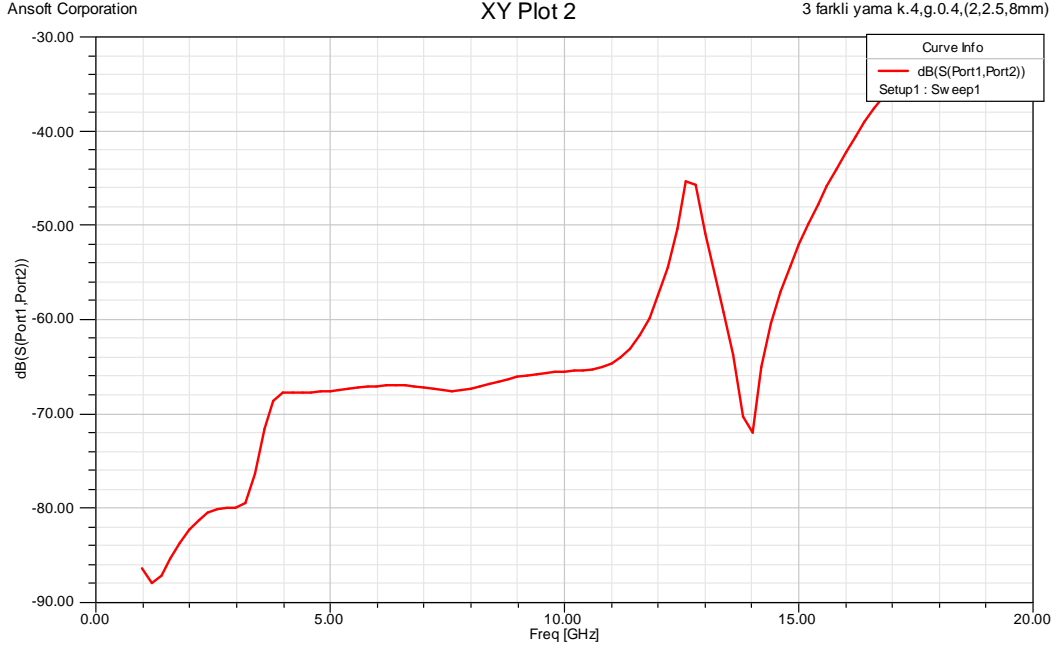




Şekil 4.57. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 6$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (3.8-5.9, 6.1-14.2 GHz arasında 2 farklı EBG oluşmuştur.)



Şekil 4.58. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 7$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (3.8-12.8 GHz arasında en büyük EBG oluşmuştur.)

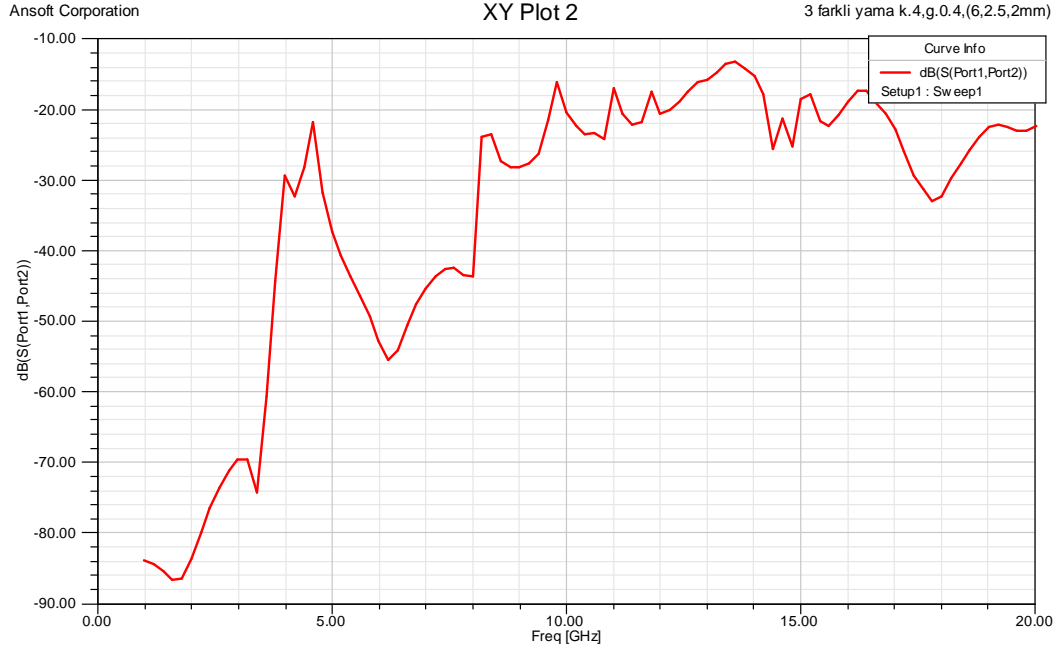


Şekil 4.59. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 8$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (12.8-15.5 GHz arasında EBG oluşmuştur.)

Şekil 4.55. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=1, 2, 4$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , temiz EBG oluşmamıştır. Şekil 4.56. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 5$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 4-5.3, 6.2-13.5, 13.9-15.1 GHz 3 farklı EBG oluşmuştur. Şekil 4.57. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 6$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 3.8-5.9, 6.1-14.2 GHz arasında 2 farklı EBG oluşmuştur. Şekil 4.58. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 7$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 3.8-12.8 GHz arasında en büyük EBG oluşmuştur. Şekil 4.59. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 8$ ,  $g=0.4\text{mm}$ , 12.8-15.5 GHz arasında EBG oluşmuştur.

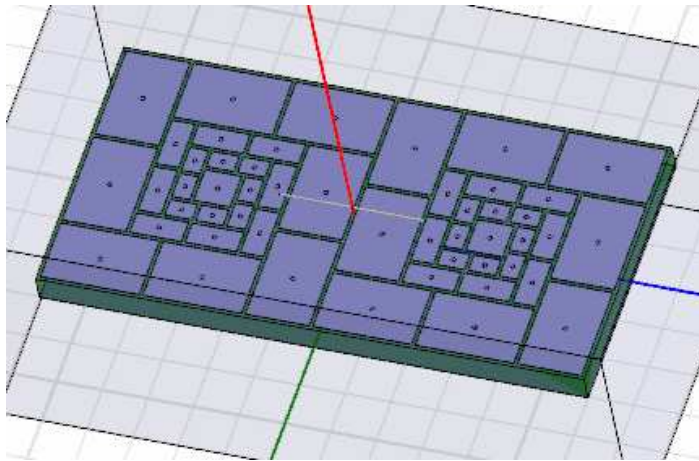
Şekil 4.58.  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 7$ ,  $g=0.4\text{mm}$ ,  $S_{21}$  sonucu. 3 EBG ve en büyük EBG 'ye sahip olması açısından iyi bir sonuçtur.

### 4.3.7. Farklı Uzunluk Yama Ters İyileştirmesi

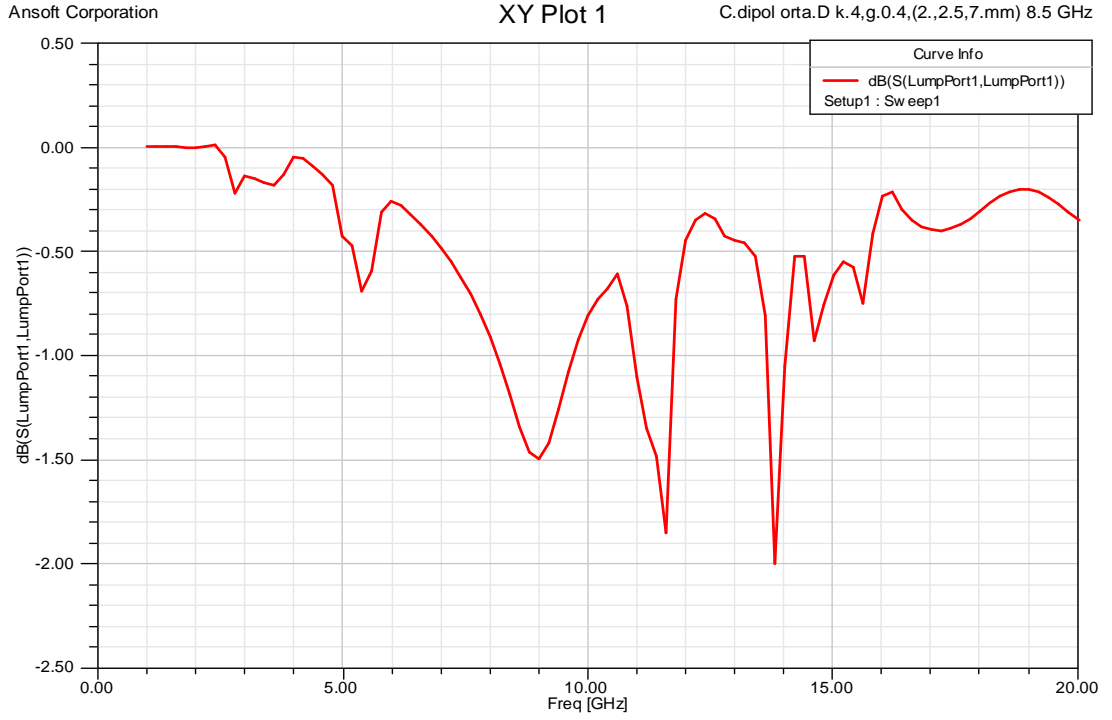


Şekil 4.60. Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=6, 2.5, 2$ ,  $g=0.4\text{mm}$   $S_{21}$  sonucu. (4.7-8.1 GHz arasında EBG oluşmuştur.)

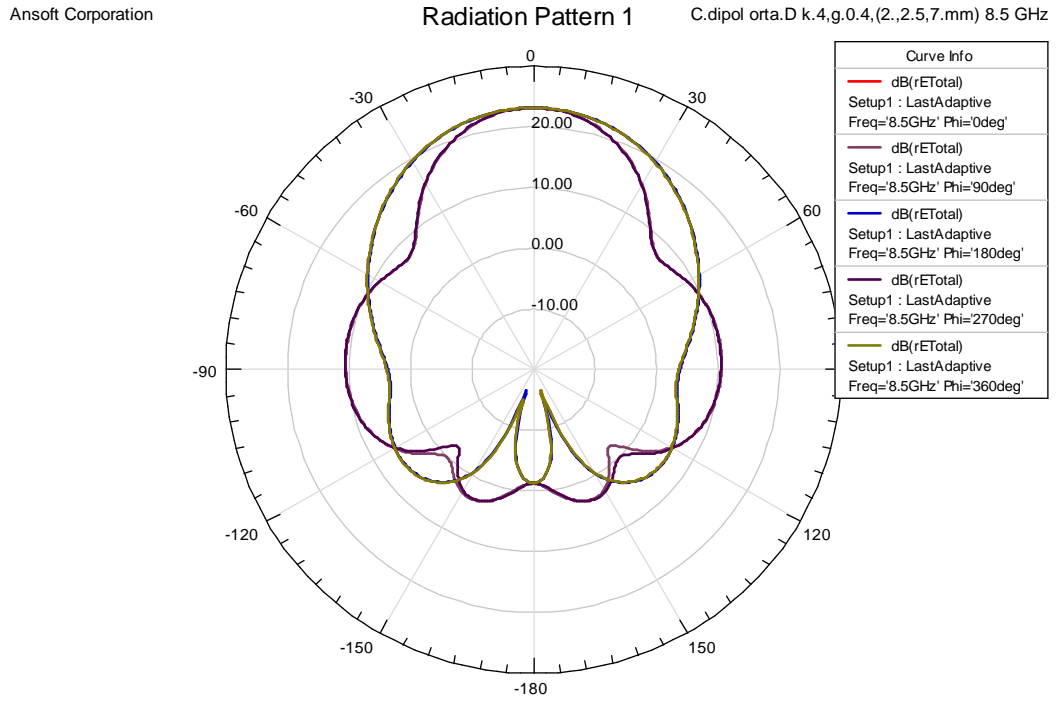
### 4.3.8. Farklı Uzunluk Yama Dipol Anten Denemesi



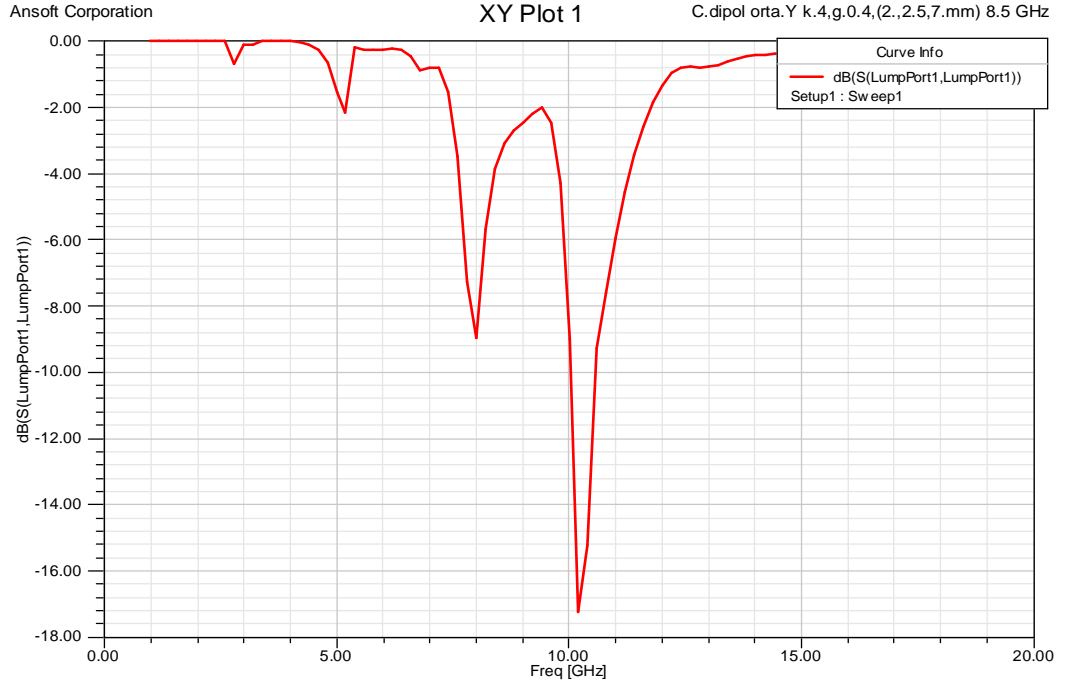
Şekil 4.61.  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 7$ ,  $g=0.4\text{mm}$  değerlerine sahip HIGP tasarımı. Dipol anten merkeze yerleştirilmiştir.



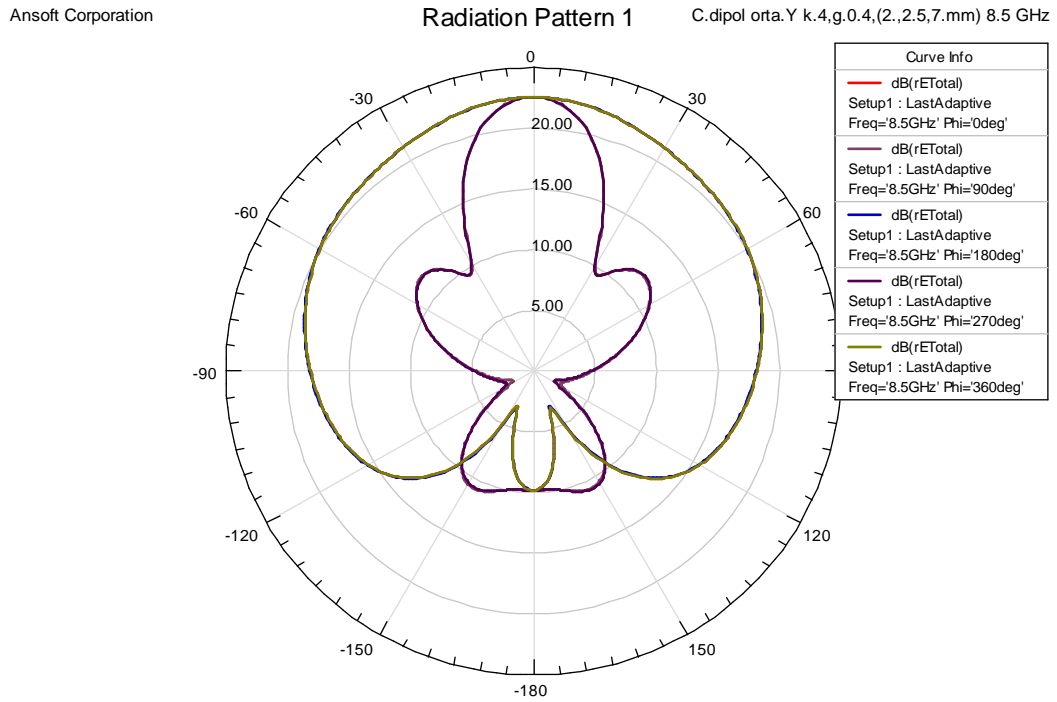
Şekil 4.62. Farklı uzunluk yama dipol anten dik pozisyon denemesi, ışırma sonucu.



Şekil 4.63. Farklı uzunluk yama dipol anten dik pozisyon denemesi, radyasyon paterni.

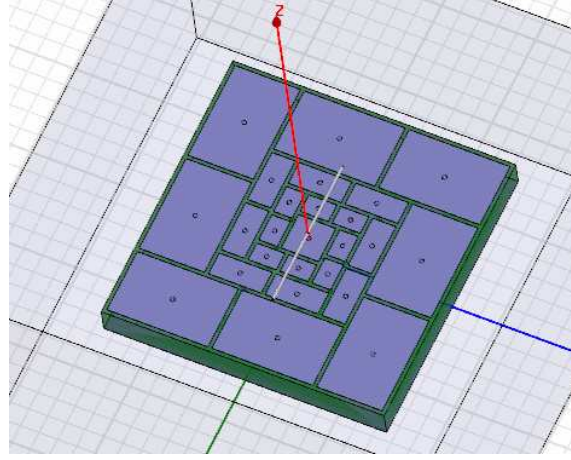


Şekil 4.64. Farklı uzunluk yama dipol anten yatay pozisyon denemesi,ışırma sonucu.

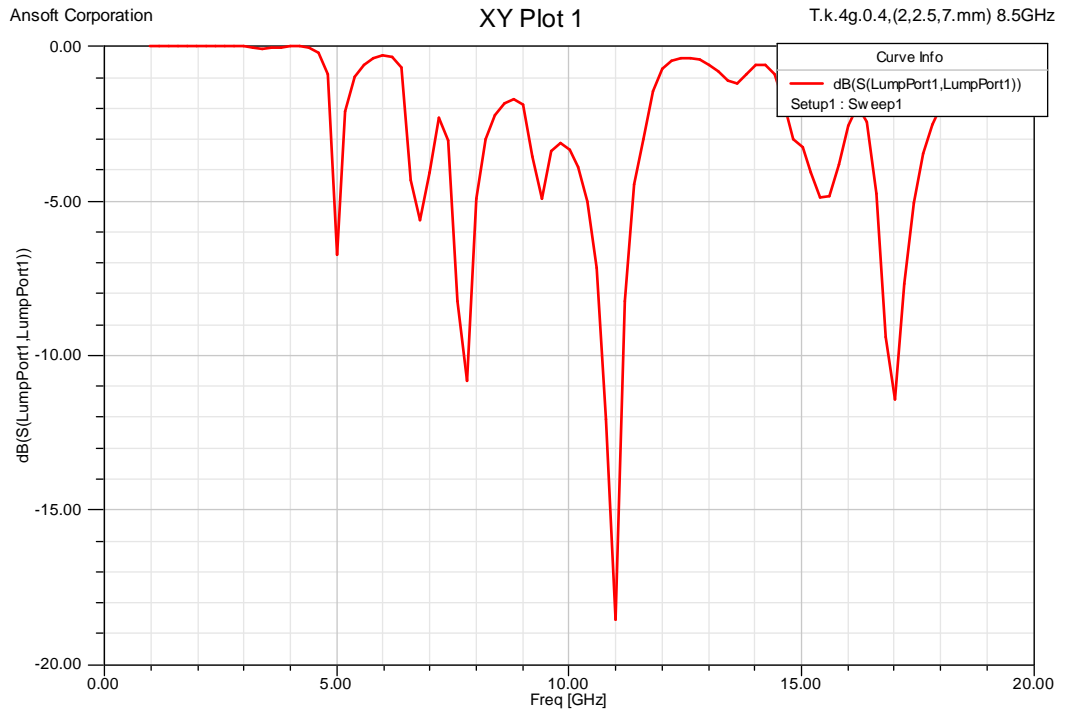


Şekil 4.65. Farklı uzunluk yama dipol anten yatay pozisyon denemesi, radyasyon paterni.

#### 4.3.9. Yarım HIGP Farklı Uzunluk Yama Dipol Anten Denemesi



Şekil 4.66. Yarım HIGP farklı uzunluk yama dipol anten denemesi.

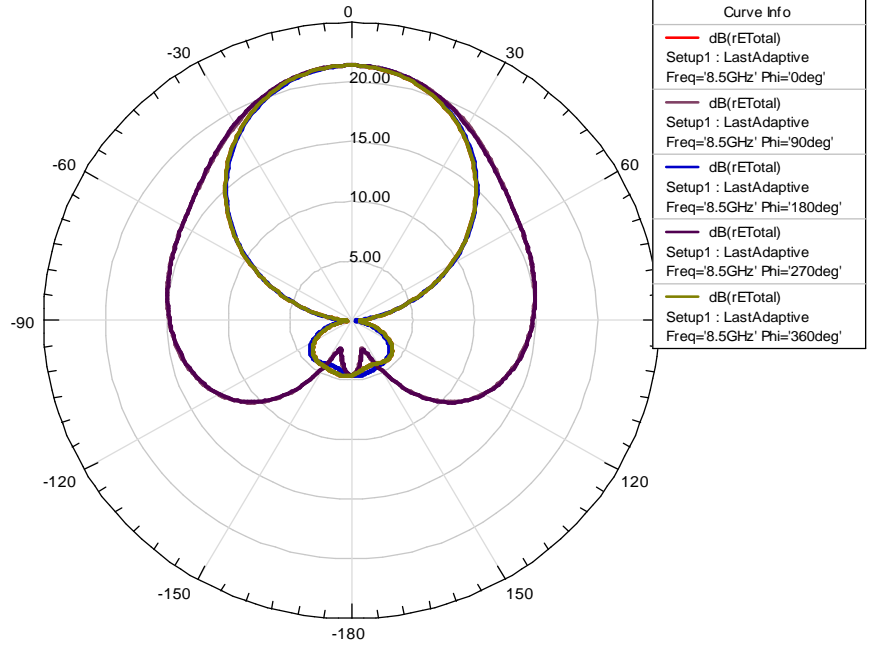


Şekil 4.67. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama dipol anten denemesi sonucu.

Ansoft Corporation

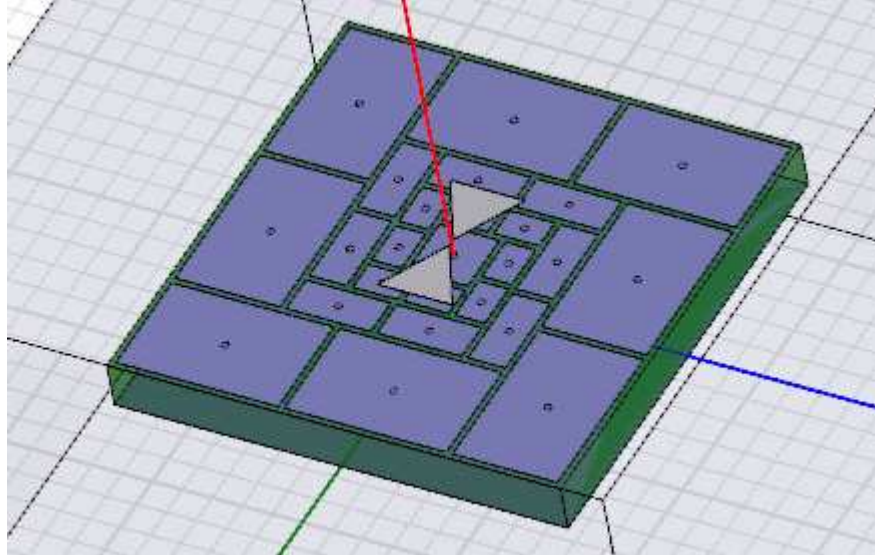
Radiation Pattern 1

T.k.4g.0.4,(2,2.5,7.mm) 8.5GHz

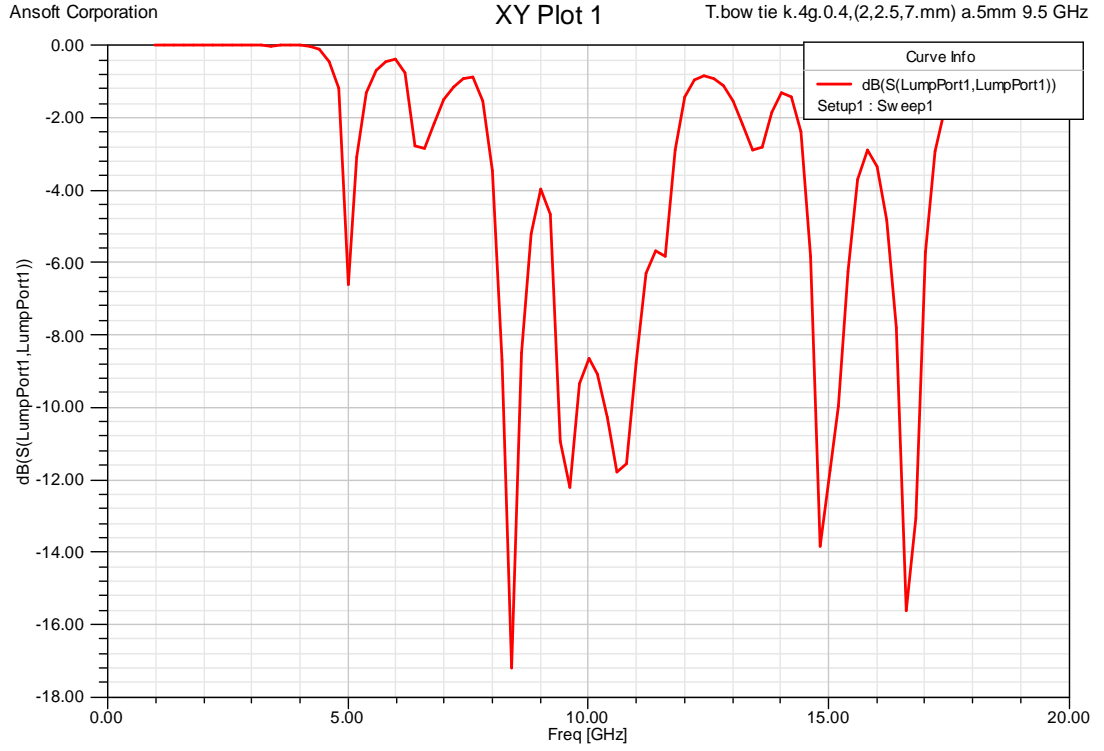


Şekil 4.68. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama dipol anten radyasyon paterni.

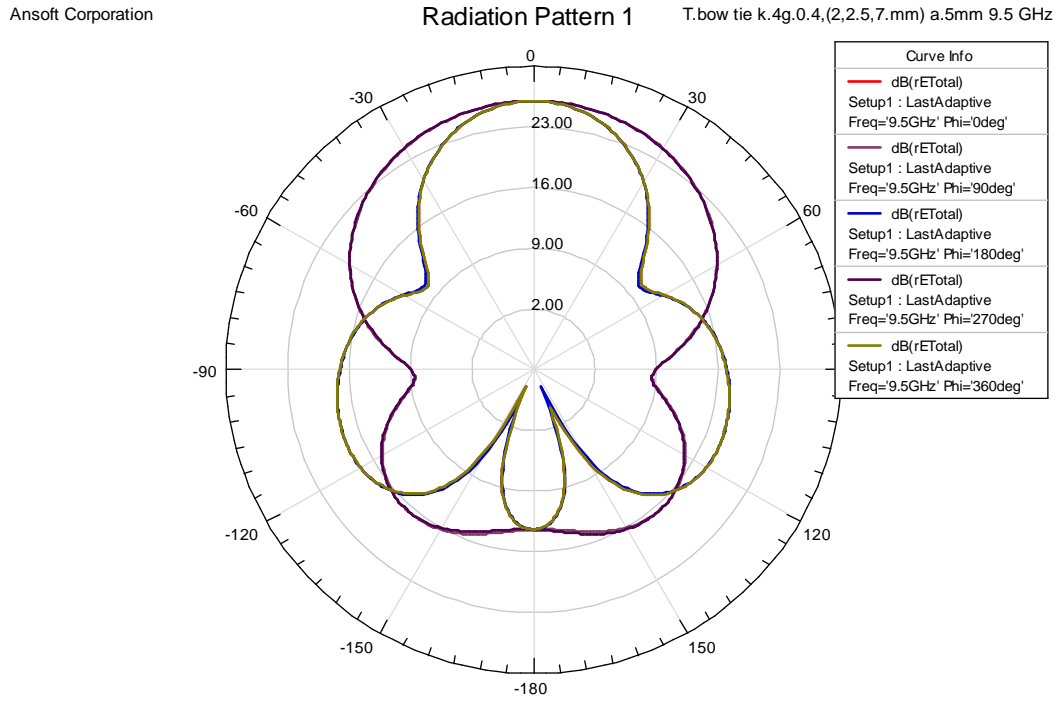
#### 4.3.10. Yarım HIGP Farklı Uzunluk Yama Bow Tie Anten Denemesi



Şekil 4.69. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama bow tie anten denemesi. Bow tie anten  $a=5$  mm ile 9.5 GHz de 18dB ışına yapmaktadır.



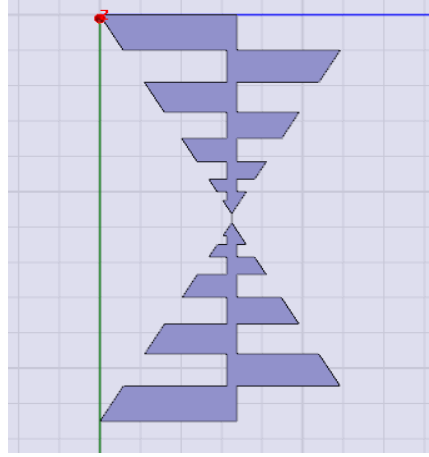
Şekil 4.70. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama bow tie anten denemesi sonucu.



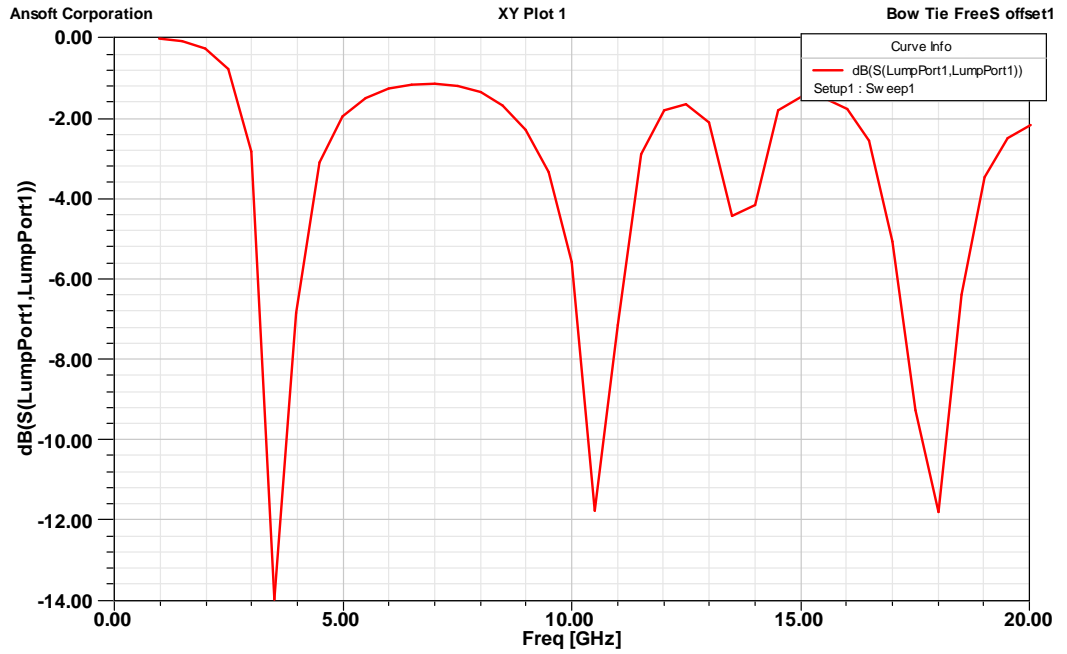
Şekil 4.71. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama bow tie anten denemesi radyasyon paterni.



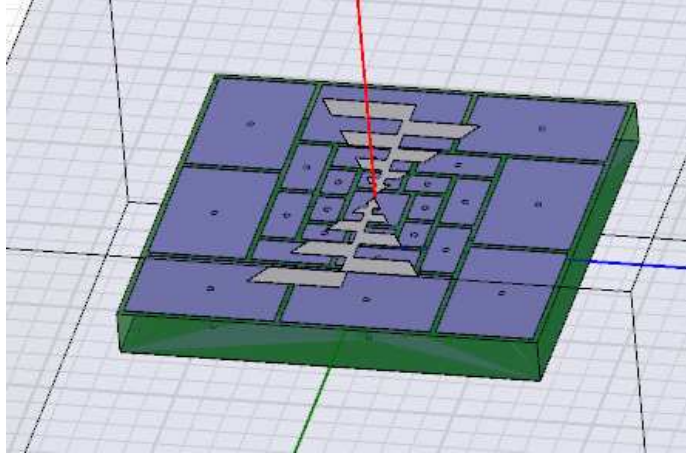
#### 4.3.11. Yarım HIGP Farklı Uzunluk Yama Log Periyodik Anten Denemesi



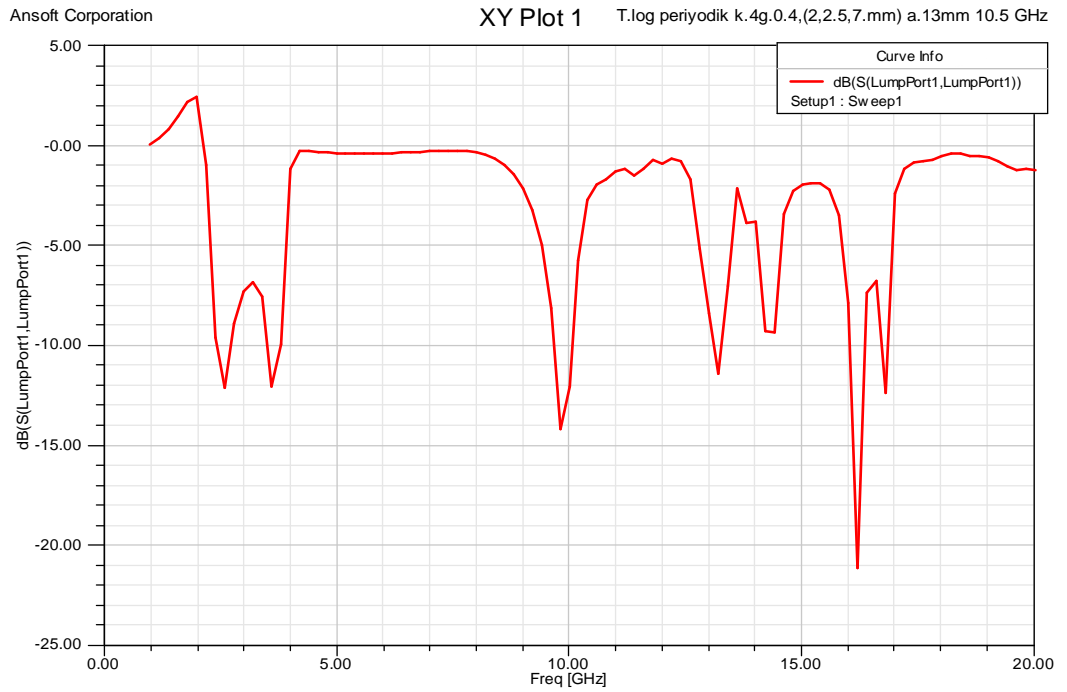
Şekil 4.72. Log periyodik anten tasarımı. Log periyodik anten  $a=13\text{mm}$  den boşluklar çıkarılarak üretilmiştir.



Şekil 4.73. Log periyodik anten ışıma sonucu.10.5 GHz'de 12 dB'lik ışıma çözüm için kullanılmıştır.

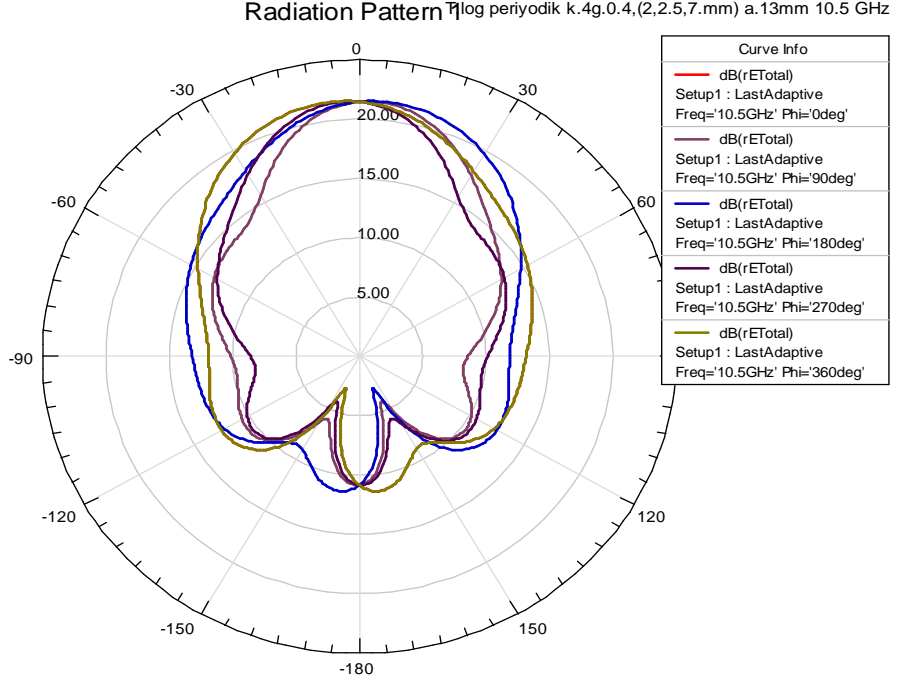


Şekil 4.74. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama log periyodik anten denemesi.



Şekil 4.75. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama üzeri log periyodik anten denemesi sonucu.

Ansoft Corporation



Şekil 4.76. Yarım HIGP, farklı uzunluk yama üzeri log periyodik anten denemesi radyasyon paterni.

Şekil 4.76. Radyasyon paterni incelendiğinde simetrik geriye yayılımın etkin bir biçimde yok edildiği ve HIGP 'in ayna benzeri bir görev yaparak geriye radyasyonu ileri yönde bir katkıya çevirdiği görülmektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Daha iyi antenler geliştirmek bilim adamlarının yeni araştırma sahaları keşfetmelerini sağlayacaktır. HIGP 'lerin kullanımı ile fiziksel olarak küçük ama elektriksel olarak büyük, düşük profil antenler geliştirilebilir. MTM olarak HIGP düşük profil antenler iletken yüzeylerde çalışan yüzeye monteli antenler için bilim insanlarına geniş bant yapmalarına olanak sağlamaktadır. HIGP anten boyutlarının küçültülmesi ile bu geniş bant HIGP 'li düşük profil antenler özellikle uzay araçlarında, uçaklarda ve insansız hava araçlarının yüzeylerinde kullanılabilme olasılıkları artmakta hacim, ağırlık ve anten ışınması bakımından etkin rol oynamaktadırlar.

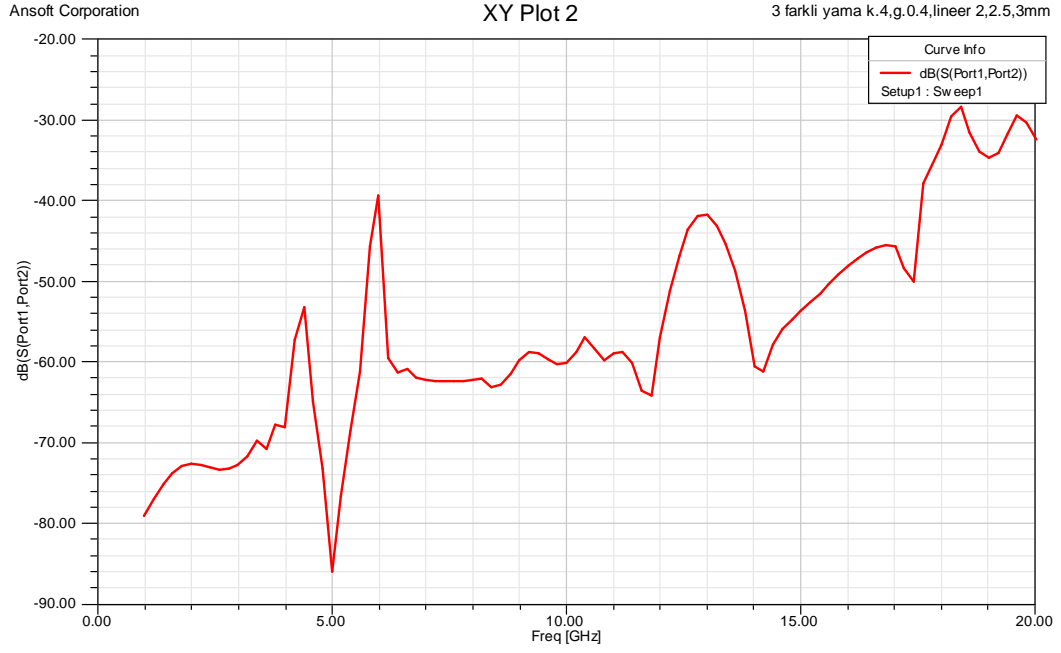
Çizelge 5.1. Simülasyon EBG sonuçları.

Şekil Tipi	k.(mm)	w.(mm)	g.(mm)	Bant boşluğu
<b>Elips</b>				
<b>g iyileştirme</b>		4	0.3- 0.2	7-18 GHz
		4	0.4- 0.3	7-18 GHz
		4	0.5- 0.4	7.3 -17.1 GHz
<b>w iyileştirme</b>		4	0.4- 0.3	7-18 GHz
		5	0.4- 0.3	6-17.5 GHz
		6	0.4- 0.3	5.6-14.7 GHz

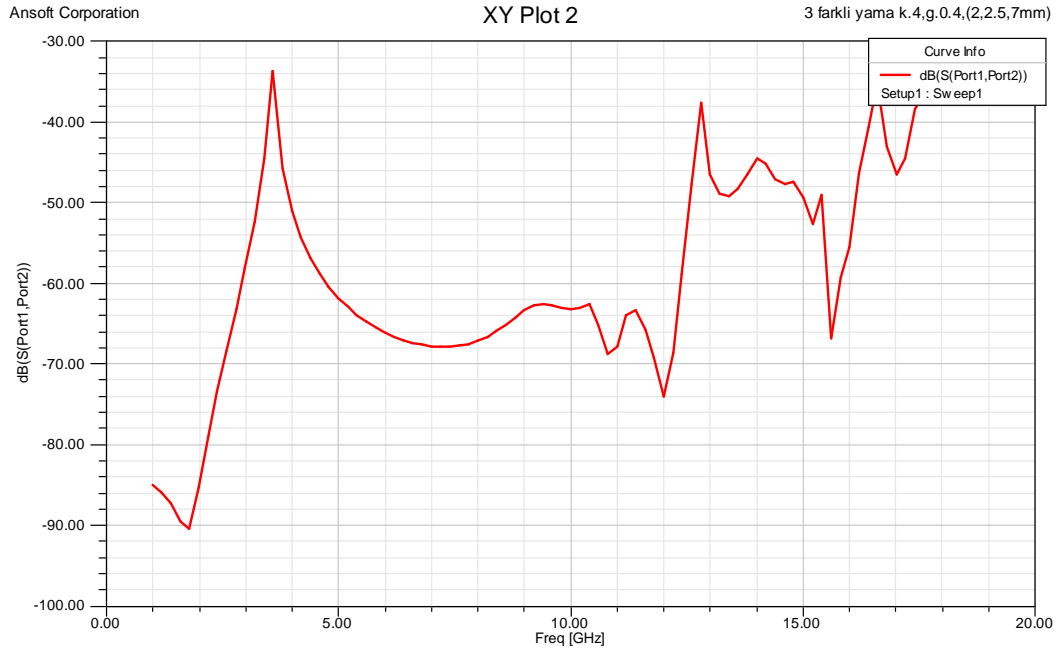
Şekil Tipi	k.(mm)	w.(mm)	g.(mm)	Bant boşluğu
<b>Kelebek benzeri</b>				
<b>g iyileştirme</b>		4.8- 4.6	0.3	5 -11.5 GHz
		4.8- 4.6	0.4	5.2-15.2 GHz
		4.8- 4.6	0.5	5.2-14.6 GHz
<b>w iyileştirme</b>		3.8- 3.4	0.4	5.2-13.2 GHz
		4.8- 4.6	0.4	5.2-15.2 GHz
		5.8- 5.8	0.4	4.8-11.1 GHz

Şekil Tipi	k.(mm)	w.(mm)	g.(mm)	Bant boşluğu
Farklı uzunluk				
g iyileştirme	4	2.5	0.3	5.6-12.8 GHz
	4	2.5	0.4	6-12.4 GHz
	4	2.5	0.5	6-12.8 GHz
	4	2.5	0.6	6-12 GHz
w iyileştirme	4	1	0.5	EBG yok
	4	1.5	0.5	17-19 GHz
	4	2	0.5	6.7-13.7 GHz
	4	2.5	0.5	6-13 GHz
	4	3	0.5	6-11 GHz
k iyileştirme	2	2.5	0.4	7-11.4 GHz
	3	2.5	0.4	6.6-12 GHz
	4	2.5	0.4	6-12.6 GHz
	5	2.5	0.4	12.5-13.6 GHz
w çoklu uzunluk	4	1,2,3	0.4	EBG yok
	4	2,3,4	0.4	4-6, 6-11.6, 11.6-15 GHz
	4	3,4,5	0.4	6.5-9.1, 9.3-12.1 GHz
	4	4,5,6	0.4	4.2-7, 7-11.5 GHz
	4	1,1.5,2	0.4	EBG yok
	4	1.5,2,2.5	0.4	EBG yok
	4	2,2.5,3	0.4	4.4-5.6, 6-12.8, 13-17.5 GHz
	4	2.5,3,3.5	0.4	5.5-11.2, 11.2-14.8 GHz
	4	1,2,4	0.4	EBG yok
	4	2,2.5,5	0.4	4-5.3, 6.2-13.5, 13.9-15.1 GHz
	4	2,2.5,6	0.4	3.8-5.9, 6.1-14.2 GHz
	4	2,2.5,7	0.4	En büyük EBG 3.8-12.8 GHz
	4	2,2.5,8	0.4	12.8-15.5 GHz
w ters uzunluk	4	6,2.5,2	0.4	4.7-8.1 GHz

Farklı tiplerdeki mantar tipi EBG yapılar için bir değişken değiştirilip diğer değişkenler sabit tutularak iyileştirme yapılmış ve en iyi değişken değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. İlgi çekici çoklu EBG örnekleri aşağıda gösterilmektedir.



Farklı uzunluk yama linear optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 3$ ,  $g=0.4\text{mm}$   
 $S_{21}$  sonucu, 4.4-5.6, 6-12.8, 13-17.5 GHz 3 farklı EBG oluşmuştur.



Farklı uzunluk yama karmaşık optimizasyon  $k=4$ ,  $dy=2, 2.5, 7$ ,  $g=0.4\text{mm}$   
 $S_{21}$  sonucu, 3.8-12.8 GHz arasında en büyük olmak üzere 3 EBG oluşmuştur.

HIGP geriye radyasyonu fazla olan anten tiplerinde daha çok etkilidir. PMC görevi yaparak geriye radyasyonu azaltır ve yansıtır. Ana radyasyon paternine geri radyasyonun eklenmesi ile ışımanın arttığı gözlemlenmiştir. Tek frekansta ışıyan anten farklı frekanslarda da ışıma yapmaya başlamıştır. Bundan dolayı HIGP 'nin anten karakteristiğine de etki yaptığını söyleyebiliriz.

Bu çalışmada üç farklı ölçek dikdörtgen HIGP tasarlanmış ve iyileştirmeler sonucunda elde edilen en iyi iki sonuç yukarıda gösterilmiştir. Kullanılan üç farklı uzunluk sonucunda farklı bölgelerde üç EBG oluşmuştur. Tezin mantıksal olarak beklenen sonuçları, beklendiği şekilde elde edilmiştir. Çoklu EBG farklı bölgelerde parçalı EBG 'ler vermesine karşılık toplamda tekli EBG 'lere göre daha fazla EBG elde edilmiştir.

Literatürdeki benzerlerine göre fazla band genişliğine sahip olan çoklu EBG 'lerin geniş band anten denemeleri için yararlı olacağı düşünülmektedir.

## **5.2. Öneriler**

Çoklu ölçek HIGP yapılarla çoklu EBG elde edilmiştir. Sonuçların doğruluğunu kanıtlamak için CST gibi aynı kabiliyetlere sahip başka bir simülasyon programı ile sonuç karşılaştırmalarının yapılması ve en son basamak için yapının üretilerek testlerinin yapılması önerilmektedir.

Çoklu ölçek sayısı artırılarak daha değişik tasarımlar yapılabilir. Bu tasarımcının hayal gücü ile sınırlıdır.

**KAYNAKLAR**

- Broas, Romulo F. Jimenez, Daniel F. Sievenpiper and Eli Yablonovitch. 2001. A high-impedance ground plane applied to a cellphone handset geometry, **IEEE Trans. On Microwave Theory Tech.**, Vol. 49, 7:1262-1265.
- Broas, Romulo F. Jimenez, Daniel F Sievenpiper and Eli Yablonovitch. 2005. An application of high-impedance ground planes to phased array antennas, **IEEE Trans. On microwave Theory Tech.**, Vol. 53, 4:1377-1381
- Cakiroglu, Bora. 2008. Construction and testing of broadband high-impedance ground plane for surface mount antennas, MS Thesis, AFIT/GE/ENG/08M-02. **School of Engineering, Air Force Institute of Technology**, Wright-Patterson AFB OH.
- Dogrul, Murat. 2008. Design and optimization of broadband high impedance ground planes for surface mount antennas. Ms Thesis, AFIT/GE/ENG/08M-08. **School of Engineering, Air Force Institute of Technology**, Wright-patterson AFB OH,
- Golla, Kevin J. 2001. Broadband application of high impedance ground planes. Ms Thesis, AFIT/GE/ENG/01M-11. **Graduate School of Engineering and Management, Air Force Institute of Technology AU**, Wright Patterson AFB OH.
- Engheta, Nader and Richard W. Ziolkowski. 2006. *Metamaterials physics and engineering explorations*. Piscataway, NJ: **IEEE Press**,
- Özdemir, E. ve Ünal, E., 2010. Farklı ebatlı dikdörtgen yama HIGP yapıların yüzey dalga akımlarının incelenmesi ve düşük profilli dipol antenle etkileşimi SIU 2010. **IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı**. Diyarbakir, 597-600 Dicle Üniversitesi.
- Özdemir, E. ve Ünal, E., 2010. Farklı boyutlu dikdörtgen yama HIGP yapıların yüzey dalga akımları ve düşük profilli bow tie antenle etkileşimi **V. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi**, 54-57, Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Kuzey Kıbrıs Kampusu.
- Rahmat-Samii, Yahya and H. Mosallaei. 2001. Electromagnetic band-gap structures: Classification, characterization and applications, Proc. **11th International Conference Antennas and Propagation, Manchester**, U.K., 560-564 Saville, Michael. 2000. Investigation of conformal high-impedance ground planes, Ms Thesis, AFIT/GE/ENG/00M-17. **School of Engineering, Air Force Institute of Technology**, Wright-Patterson AFB OH.
- Sievenpiper, Dan, Lijun Zhang, Ramulo F Jimenez Broas, Nicholas G. Alexopolous and Yablonovitch 1999. High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band, **IEEE Trans. On Microwave Theory Tech.**, Vol. 47, 11:2059-2074.
- Sievenpiper Dan. High-impedance electromagnetic surfaces. Ph.D. 1999 **Dissertation. Department of Electrical Engineering**, University of California at Los Angles, Los Angles, CA.
- Sievenpiper, Dan F., L. Zhang, R.F. J. Broas, N. G. Alexopolus, and E. Yablonovitch. 1999 High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band, **IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques**, 47:2059-2074.



- Sievenpiper, Dan F, R. Broas, and E. Yablonovitch. 1999 Antennas On High-impedance ground planes. **IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques**, 47:1245-1248.
- Yang, Fan and Yahya Rahmat-Samii. 2003. Reflection phase characterizations of the EBG ground plane for low profile wire antenna applications, **IEEE Trans. On Antennas and Propagation**, Vol. 51, 10:2691-2703.
- Yang, Fan and Yahya Rahmat-Samii. Electromagnetic band gap structure in antenna engineering, **The Cambridge RF and Microwave Engineering Series**.

**TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans tez çalışmalarımın her aşamasında, değerli fikir ve katkıları ile bu çalışmaya ışık tutan ve yönlendiren danışman hocam, Yrd.Doç.Dr. Emin ÜNAL 'a, konumun belirlenmesinde büyük katkısı olan Murat DOĞRUL ve Bora ÇAKIROĞLU 'na her konuda yardımlarını esirgemeyen ve bana her zaman destek olan aileme çok teşekkür ederim.

## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Aydın-Nazilli 'de doğdum. İlk, orta öğrenimimi Nazilli 'de ve lise öğrenimimi Muğla 'da tamamladım. 2000 yılında girdiğim Hava Harp Okulu Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2004 yılında mezun oldum. Kontrol-İhbar subayı olarak görev yapmaktayım. Şubat 2007 tarihi itibari ile Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladım.